



TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**TUUKKA RUOTSALA**

**TUOTANTOPROSESSIN MATERIAALIVIRTOJEN  
KEHITTÄMINEN**

Diplomityö

Prof. Miia Martinsuo ja lehtori Ilkka Kouri on hyväksytty tarkastajiksi Tuotantotalouden ja rakentamisen tiedekunnan kokouksessa 14.8.2013

# TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Master's Programme in Business and Technology

**RUOTSALA, TUUKKA:** Tuotantoprosessin materiaalivirtojen kehittäminen

Diplomityö, 129 sivua, 11 liitettä (11 sivua)

Marraskuu 2013

Pääaine: Managing Technology-Driven Businesses in Global B2B Markets

Tarkastajat: Professori Miia Martinsuo, lehtori Ilkka Kouri

Avainsanat: Lean-tuotanto, sisälogistiikka, tuotantosolujen materiaalitäydennys, informaatiovirrat, e-kanban, varastojen hajautus

Tässä työssä tutkittiin tuotantosolujen materiaalitäydennystä elektroniikka-alan case-yrityksessä. Tutkimuksen tarkoituksena oli parantaa uuden lanseerausvaiheessa olleen tuotteen tuotannon joustavuutta ja pienentää yksikkökustannuksia tehostamalla sen valmistuksen sisälogistisia materiaalivirtoja. Vertailu- ja lähtökohtana oli jo pitkään tuotetun vanhan tuotteen valmistusprosessin nykytila. Tutkimuksen painopiste oli keskusvaraston ja tuotantosolun välisissä materiaali- ja informaatiovirroissa. Muut tutkitut virrat olivat alikokoonpanolinjan ja solun sekä solun ja pakkaamon välillä.

Tutkimus toteutettiin monimenetelmäisesti: Kokonaiskuvan saamiseksi sekä tarpeiden kartoittamiseksi tehtiin 21 avainhenkilöhaastattelua, materiaalitäydennystä havainnoitiin kuusi kertaa, täydennysprosessista tehtiin kolme kvantitatiivista mittausta tutkimuksen eri vaiheissa sekä toimintatutkimuksena luotiin e-kanban-konsepti, jota testattiin käytännössä vanhan tuotteen täydennysprosessilla. Empiirisen tutkimuksen ohella tehtiin akateeminen kirjallisuusselvitys, jolla vastattiin tieteelliseen tutkimusongelmaan koskien *tiedon tarvetta nykyaikaisten materiaalin hallinnan kehitystapojen soveltamisesta korkean teknologian elektroniikkatuotteiden soluvalmistusympäristössä*.

Vanhan tuotteen valmistusprosessia analysoitaessa havaittiin sen sisältävän huomattavia määriä hukkaa. Tutkimuksen tuloksena tuotannon ja logistiikan rajapintaa kehitettiin: Materiaalinkäsittelyä sisältäviä työvaiheita siirrettiin solujen operaattoreilta keräilijöille, mikä vapautti resursseja arvoa tuottavaan työhön. Vakioimalla materiaalitäydennyksen työvaiheita sekä ottamalla käyttöön sähköinen e-kanban-tilausjärjestelmä täydennyskierroksen kesto aika lyheni 27%, vaikka keräilijöiden työmäärä samalla kasvoi. Perustuen vanhan tuotteen prosessien kehittämisestä saatuihin kokemuksiin luotiin uudelle tuotteelle moderni e-kanbaniin pohjautuva täydennyskonsepti. Lisäksi tutkittiin, mitä hyötyjä voidaan saada palkkaamalla tuotannonalainen materiaalinkäsittelijä ja hajauttamalla uuden tuotteen komponentit pois keskusvarastosta lähelle soluja.

Materiaalitäydennyksen sähköistäminen oli case-yrityksessä ennakkoluuloton kokeilu, joka tutkimustuloksiin pohjautuen onnistui. Se toimi myös pelinavauksena ollen ensimmäinen askel matkalla kohti uuden tuotteen lean-optimoitua toimitusketjua.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Programme in Business and Technology

**RUOTSALA, TUUKKA:** Material Flow Optimization of Production Process

Master of Science Thesis, 129 pages, 11 appendices (11 pages)

November 2013

Major: Managing Technology-Driven Businesses in Global B2B Markets

Examiners: Professor Miia Martinsuo, Assistant Professor Ilkka Kouri

Keywords: Lean Production, internal logistics, material supply in cellular manufacturing, information flows, e-kanban, warehouse decentralization

This study focuses on material replenishment of cellular manufacturing system in a case company producing high-tech electronics devices. The practical goal of the research was to improve the flexibility and decrease the unit cost of the manufacturing process of a new product by improving the internal material flows. The baseline of the study was to analyse and improve the equivalent flows of currently produced similar product. Three analysed material flows were between the production cell and central warehouse, subassembly line and shipping department.

Multiple parallel methods were used in this study: Key persons were interviewed, replenishment processes were observed, quantitative measurements were used to analyse the influence of the e-kanban system implementation, which was created in an action-based research. Along with the action science part an academic literature review was conducted to answer the research problem regarding *a need of knowledge related to applying modern materials management development methods in a cellular manufacturing environment of high-tech electronics products*.

The analysis showed that the replenishment process of the current product contained lots of waste. The waste was reduced by kaizen activities particularly by developing the cooperation between production and logistics. The share of value-adding work time i.e. productivity of operators was improved by transferring material handling related tasks to logistics personnel. The replenishment run became 27% quicker by implementing the e-kanban information system and standardizing work even though the work load of pickers rose. Founded on the results concerning the current product a streamlined replenishment process concept was developed for the new product. The benefits of hiring a material handler and decentralizing the warehouse were also analyzed.

Based on the theoretical and empirical results of this study, e-kanban fits the cellular manufacturing system in high-tech electronics. The adoption of e-kanban was a development leap towards leaner supply chain of the new product in the case company.

## ALKUSANAT

Diplomityön tekeminen oli äärettömän opettavainen prosessi alusta loppuun. Toimialamielessä tämä projekti oli minulle iso hyppy tuntemattomaan, mutta pitkien teoreettisten opintojen jälkeen oli toisaalta myös hienoa palata juurilleni tekemään töitä omin käsin. Näin jälkikäteen ajatellen olen ollut todella etuoikeutettu näinä epävarmoina aikoina päästessäni tekemään käytännöllistä ja luovaa projektia, joka vastasi täydellisesti omiin kiinnostukseni kohteisiin, ja jossa pääsin pelaamaan omilla vahvuuksillani.

Työn lopputuloksesta kuuluu iso kiitos ohjaajilleni koulun puolesta, lehtori Ilkka Kourille sekä professori Miia Martinsuolle. He näkivät uskomattoman määrän vaivaa ja antoivat runsaasti hyviä ohjeita sekä kehittävää palautetta luomisprosessin aikana.

Suuri kiitos myös case-yrityksen puolesta ohjaajanani toimineelle Satulle, joka perehdytti minut Yrityksen toimintaan, neuvoi, jaksoi vastata lukuisiin kysymyksiini sekä omalta osaltaan edesauttoi huomattavasti työn edistämisessä. Kiitos kuuluu myös alusta asti läheisesti mukana olleille Matiakselle, Esalle sekä Karoliinalle, joilta sain aina apua tarvittaessa. Erityisesti haluaisin kiittää myös ohjelmointivelho Joonasta. Ilman häntä kehitetty järjestelmä olisi jäänyt vain konseptiksi. Kiitos kuuluu myös tuotannon operaattoreille ja keräilijätiimille, jotka keksivät suunnitelmiin monia pieniä parannuksia ja muutenkin olivat positiivisella mielellä mukana osaltaan edesauttamassa tämän projektin tekemisessä.

Lämpimät kiitokset kaikesta tuesta vanhemmilleni Ninalle ja Johanille sekä siskolleni Riikalle perheineen.

Helsinki, 18.11.2013

TUUKKA RUOTSALA

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ALKUSANAT</b> .....	<b>iii</b>
<b>SISÄLLYSLUETTELO</b> .....	<b>iv</b>
<b>LYHENTEET JA MERKINNÄT</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Tutkimuksen tausta ja tarve .....	1
1.2. Tutkimuksen tavoitteet.....	2
1.3. Tutkimusrajaukset.....	5
1.4. Tutkimusmetodologia.....	5
1.5. Työn rakenne.....	6
<b>2. MATERIAALIVIRRAT SISÄLOGISTIIKASSA</b> .....	<b>7</b>
2.1. Logistiikka Lean-filosofiassa .....	8
2.1.1. Hukka sisälogistiikassa.....	8
2.1.2. Virtauksen kehittäminen sisälogistiikassa – Heijunka, JIT ja eräkokojen pienentäminen.....	10
2.1.3. Kaizen .....	14
2.2. Lean-tuotantosolu .....	14
2.3. Kanban-konsepti.....	18
2.4. Supermarket-varastot .....	21
2.5. Tuotantosolun materiaalitäydennys .....	24
2.5.1. Solun täydentäminen.....	24
2.5.2. Materiaalin kuljettaminen soluun .....	26
2.5.3. Tuotannon materiaalinkäsittelijä – Water Spider .....	28

2.6. Keskitetty ja hajautettu varastostrategia .....	29
2.7. Informaatiovirrat tuotantoympäristössä.....	32
2.7.1. Informaatio tuotantosolujen materiaalitäydennyksessä .....	34
2.7.2. E-Kanban .....	36
2.7.3. E-kanbanin ominaisuudet .....	38
<b>3. TUTKIMUSMETODOLOGIA.....</b>	<b>42</b>
3.1. Tapausyritys ja tutkimusasetelma.....	42
3.2. Haastattelut .....	43
3.3. Havainnointit.....	44
3.4. Dokumentti- ja tietokanta-aineistot .....	45
3.5. Kvantitatiiviset mittaukset .....	45
3.6. Toimintatutkimus .....	46
3.7. Aineiston analyysi.....	47
3.8. Konseptin testaus .....	47
<b>4. VALMISTUSPROSESSIN NYKYTILA .....</b>	<b>49</b>
4.1. Tuotannon toimintaympäristö .....	49
4.2. Alikokoonpanolinjan ja kokoonpanosolujen rajapinta .....	54
4.3. Kokoonpanosolu ja sen täydennysimpulssi .....	56
4.4. Keräily- ja täydennysprosessi .....	58
4.5. Kokoonpanosolun ja pakkaamon välinen yhteys .....	63
4.6. Yhteenveto nykyprosessista .....	64
4.7. Vanhan tuotteen keräilyprosessiin löytyneitä kehitysideoita .....	66
<b>5. SUUNNITELMA UUDEN TUOTTEEN SISÄLOGISTIIKAN KEHITTÄMISEEN .....</b>	<b>70</b>
5.1. Uuden sukupolven tuote .....	70
5.2. Uuden tuotteen tuotantoprosessi.....	73
5.2.1. Alikokoonpanolinja uudelle tuotteelle.....	74
5.2.2. Uuden tuotteen tuotantosolut sekä pakkaamoprosessi .....	75

5.2.3. Materiaalitäydennys solun näkökulmasta .....	76
5.3. Skenaario 1: Komponenttitäydennys ilman reaaliaikaista informaatiovirtaa .....	79
5.4. Skenaario 2: Komponenttien täydennys hyödyntäen e-kanbania .....	82
5.5. Informaatiovirran toteutus solun ja varaston välille .....	84
5.6. E-kanbanin testaaminen vanhalla tuotteella .....	88
5.7. E-kanbanin jalostuspotentiaali UT-tuotannossa .....	94
5.8. Materiaalinkäsittelijä UT-tuotannossa .....	97
5.8.1. Alikokoonpanolinja .....	99
5.8.2. Pakkaamo .....	101
5.9. Varastojen uudelleenjärjestely .....	103
<b>6. TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>108</b>
6.1. Tieteelliset tulokset .....	108
6.2. Vanhan tuotteen materiaalintäydennyksen tehostaminen .....	110
6.3. Yksikkökustannusten alentaminen .....	113
6.4. E-kanban case-yrityksessä .....	114
6.5. Tutkimuksen validiteetti ja reliabiliteetti .....	118
<b>7. JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>120</b>
7.1. Tutkimuksen tarkastelu .....	121
7.2. Jatkokehitystoimenpiteet .....	122
<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>125</b>
<b>LIITTEET (11 kappaletta) .....</b>	<b>129</b>

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

CONWIP	Constant Work in Process. Tuotannonohjausmenetelmä
EDI	Electronic Data Interchange. Yritysten välinen ohjelmistorajapinta.
ERP	Enterprise Resource Planning, toiminnanohjausjärjestelmä
FIFO	First in, First out. Varastonhallintatapa,
Heijunka	Tuotannon tasoittaminen lean-filosofiassa
JIT	Just-in-Time, juuri-oikeaan-aikaan. Varastotasojen minimointiin pyrkivä tavaroiden täydennystapa
Kaizen	Jatkuva parantaminen, tärkeä osa lean-filosofiaa
KET	Keskeneräinen tuotanto
MRP(1)	Material Requirements Planning, materiaalinhallintajärjestelmä
MRP(2)	Manufacturing Resource Planning, materiaalinhallintajärjestelmä
Poka-yoke	Tahattomia virheitä estävä menetelmä tai järjestelmä
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka
SOS	“Solunohjaussofta”
RFID	Radio Frequency Identification, etätunnistusmenetelmä
TPS	Toyota Production System. Toyotan luoma lean-filosofiaan perustuva tuotantojärjestelmä.
UT	Uusi tuote
VMI	Vendor Managed Inventory. Toimittaja huolehtii nimikkeen saldon ylläpidosta ennalta sovituihin rajoihin.
VSM	Value Stream Map, arvovirtakartta
VT	Vanha tuote



# 1. JOHDANTO

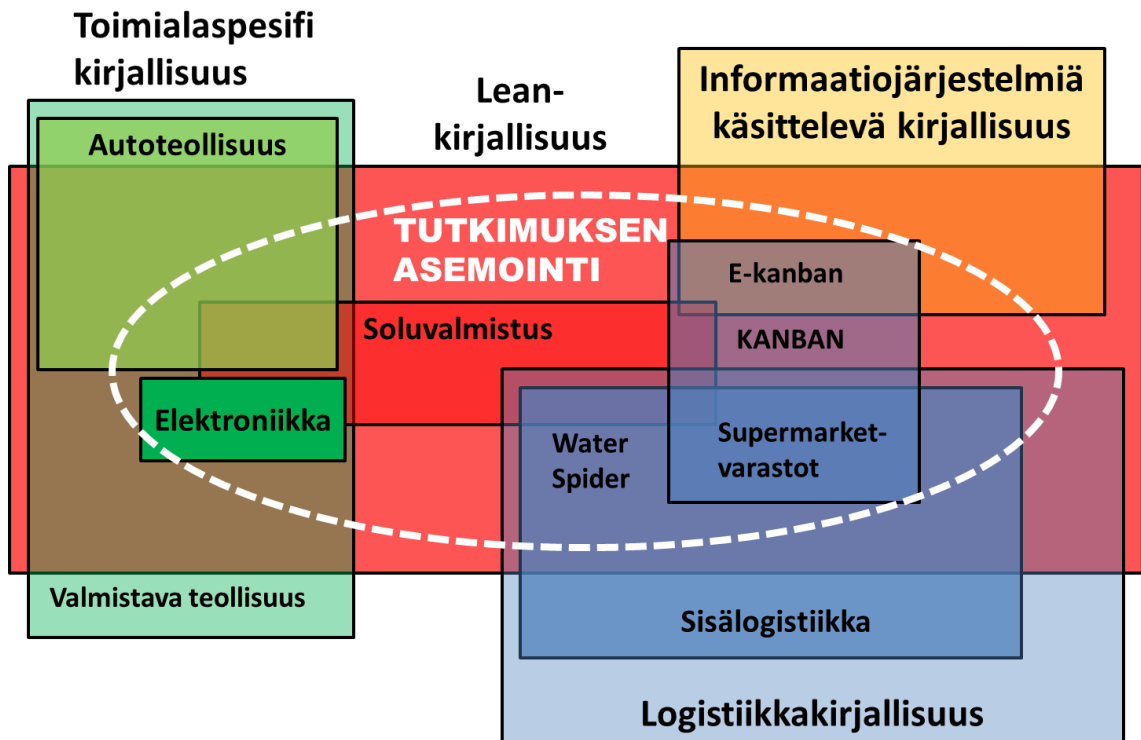
Tämä tutkimushanke on tehty elektronisia mittalaitteita valmistavalle yritykselle (Yritys) osana heidän päätuotteensa uuden sukupolven tuoteversion tuotantoprosessin viimeistelyä. Johdannossa käsitellään tutkimushankkeen lähtökohtia ja tavoitteita sekä työn tilaajan että akateemisesta näkökulmasta. Lisäksi esitellään tutkimusongelma sekä tutkimuksen rajaukset ja metodologia.

## 1.1. Tutkimuksen tausta ja tarve

Vaikka lean-tutkimus onkin viime aikoina hyvin pirstoutunut koskemaan kaikkia teollisuuden haaroja ja jopa palvelualoja (Modig & Åhlström, 2013, s. 85), voidaan erityisesti korkean teknologian elektroniikkatuotteiden valmistukseen liittyvän lean-kirjallisuuden katsoa laahaavan yleisestä kehityksestä jäljessä, koska siihen erikoistunutta tutkimustietoa on hyvin rajallisesti saatavilla. Tämä tutkimus soveltaa erityisesti autoteollisuuden sisälogististen operaatioiden tutkimuksesta saatuja teorioita ja kokemuksia tuotantosolujen materiaalitäydennystä koskevaan kehityshankkeeseen elektroniikkatuotteita kokoonpanevassa tuotantoprosessissa. Toisien sanoen tämän diplomityön tieteellinen tutkimusongelma on:

*Tiedon tarve nykyaikaisten materiaalin hallinnan kehitystapojen soveltamisesta korkean teknologian elektroniikkatuotteiden soluvalmistusympäristössä.*

Tämä työ asettuu keskeiseen mutta vähälle huomiolle jääneeseen rakoon elektroniikkatuotteiden soluvalmistuksen, sisälogistiikan materiaalivirtojen sekä lean-teorian välille. Elektroniikkateollisuus on valtava, globaali teollisuudenala, joka ei kuitenkaan ole lean-tuotantosovelluksissa saanut ansaitsemaansa huomiota. Elektroniikkateollisuuden tutkimus on painottunut aiemmin voimakkaasti tuotantoteknisiin asioihin sekä korkeamman abstraktiotason lean-filosofian soveltamiseen tuotteiden loppukokoonpanon ja sisälogistiikan operaatioiden kustannuksella (kts. esim. Wong & Wong, 2010; Doolen & Hacker, 2005). Soluvalmistuksen tutkimus, kuten lean-tuotannon tutkimus yleisesti, liittyy lähes poikkeuksetta autoteollisuuteen, josta koko lean-filosofia on lähtöisin. Logistiikan tutkimus on puolestaan yleisesti keskittynyt toimitusketjutasolle erityisesti kahden vertikaalisessa toimittajasuhteessa olevan yrityksen välisiin suhteisiin. Sisälogistisista operaatioista löytyy tutkimusta, mutta jälleen lähinnä autoteollisuuden piiristä (kts. esim. Baudin, 2002; 2004, Battini et al., 2009; 2010; 2012). Tutkimuksen asemointi tähän tutkimuskenttään on havainnollistettu kuvassa 1.



**Kuva 1: Tutkimuksen asemointi suhteessa aiempaan tutkimukseen**

Tutkimuksen haasteena on varmasti luotettavan informaation löytäminen, sillä todennäköisesti suurin osa tutkimuksen kannalta oleellisesta informaatiosta on salaista, epävirallista tai dokumentoimatonta. Monet innovatiivisista, kysymykseen vastaavista teorioista on kehitetty yritysmaailmassa, eikä niiden haluta vuotavan yleiseen tietoisuuteen liiketaloudellisista syistä.

Empiirisellä tasolla tämän diplomityön tarkoituksena oli analysoida vanhan tuotteen valmistusprosessia painottuen erityisesti operaatioihin tuotannon ja logistiikan rajapinnassa, sekä etsiä ja tunnistaa sieltä kaikki hukkaa sisältävät, pääomaa sitovat, operaattoreiden arvoa tuottavaa työaikaa vähentävät ja kustannuksia generoivat työvaiheet, jotta ne eivät siirtyisi uuden tuotteen prosessiin. Tarkoitus oli miettiä nykytila-analyysin pohjalta jatkuvan parantamisen periaatteella toimenpiteitä hukan vähentämiseen myös vanhan tuotteen tuotannossa, joka jatkuu uuden rinnalla vielä muutaman vuoden ajan.

## 1.2. Tutkimuksen tavoitteet

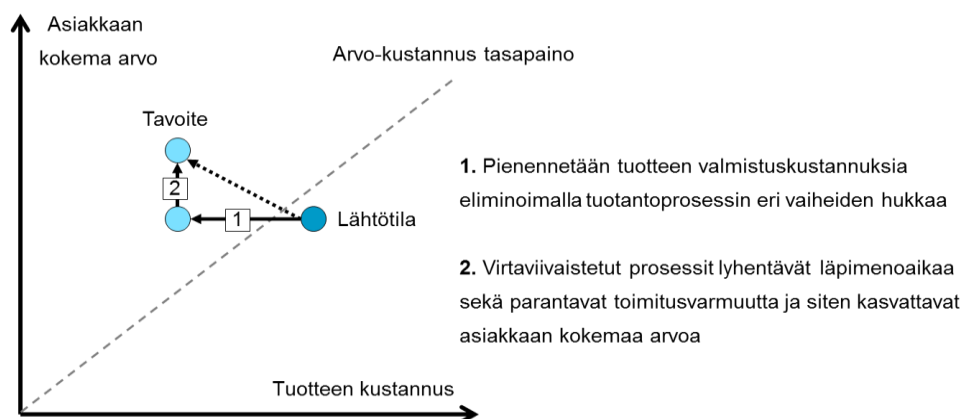
Diplomityön tärkeimmät työn tarjoajan asettamat tavoitteet liittyvät seuraavan sukupolven tuotteen valmistuskustannusten pienentämiseen sekä sen valmistusprosessin joustavuuden parantamiseen.

Painopistealueeksi tarkentui tuotantosoluun kytkeytyvien materiaalivirtojen optimointi, koska vanhan tuotteen nykytila-analyysin tuloksena niihin liittyen löytyi suurempi suoranaiseksi säästöiksi käännettävä kehityspotentiaali kuin solun sisäisten operaatioiden kehittamisestä. Tämän rajauksen myötä tutkimuskysymyksiksi kiteytyivät:

- 1. Miten materiaalivirtoja kehittämällä voidaan pienentää valmistuksen yksikkökustannusta joustavuuden kärsimättä?*
- 2. Mitä lisäarvoa nykyaikaisilla informaatiojärjestelmillä voidaan saada soluvalmistukseen materiaalintäydennysprosessiin?*
- 3. Miten voidaan parhaiten kehittää vanhan tuotteen täydennysprosessia nykyisessä toimintaympäristössä?*

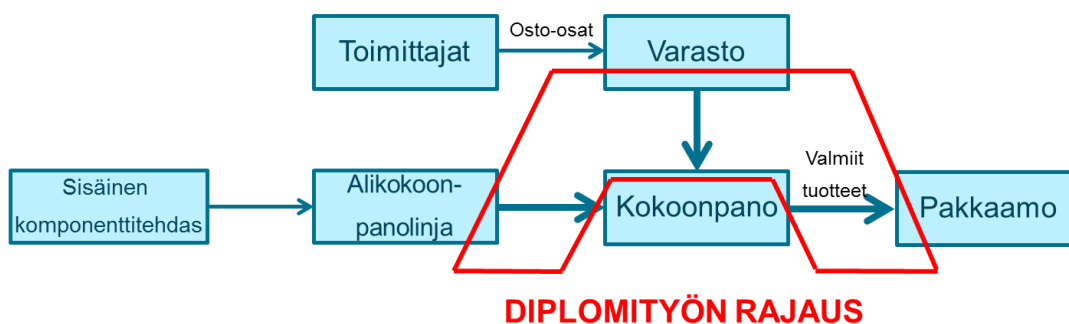
Yritys toivoi tutkimushankkeen konkreettisena tuloksena uuden tuotteen materiaalivirtojen optimointiin liittyen vaiheittaisen kehityssuunnitelman, jossa olisi eri skenaarioita. Ideaalitulannetta ja sen välivaiheita pitäisi lisäksi pystyä vertaamaan nykytilaan valituilla mittareilla, joita ovat tuotantosolun materiaalitäydennysprosessin taajuus ja ajallinen kesto sekä yksittäisten keräilyjen määrä. Tuottavuuden mittaamisen näkökulmasta teoriassa hyvä, mutta toteutettavuudeltaan haastava mittari on operaattorin arvoa tuottamattomaan työhön käyttämä aika. Siihen voidaan vaikuttaa selkeyttämällä logistiikan ja tuotannon henkilöiden rooleja ja vastuita.

Jälkeenpäin työn tulokset pitäisi pystyä näkemään muutoksina tuotteen kustannusrakenteessa, joissa materiaalinkäsittelyn yleiskustannukset olisivat suhteellisesti pienentyneet tehostuneiden prosessien kautta (haastattelu 20). Kokonaisyksikkökustannuksen on tarkoitus pienentyä vähentämällä operaattoreiden materiaalinkäsittelytapoja järkeistämällä, ja siten arvoa tuottavan työajan kasvaessa. Joustavuuden parantamisen mittaaminen on haastavampaa tämän projektin aikamääreissä. Pidemmällä tähtäimellä parantuneet ja ketterämmät prosessit varmasti parantavat yrityksen toimitusvarmuutta, mikä on yksi kolmesta Yrityksen johdon erityisesti painottamasta strategian painopisteestä. Edellämainitut projektin tavoitteet voidaan visualisoida soveltamalla Hinesin et al. (2004) kehittämää matriisia, joka havainnollistaa asiakasarvon, tuotantokustannusten ja hukan poistamisen välisen yhteyden (kuva 2).



**Kuva 2: Projektin tavoitteet havainnollistettuna arvo-kustannus-kuvaajaan. Mukaeltu Hines et al. (2004)**

Kuvan 3 mukaisesti tutkimus kohdistui kolmeen kokoonpanosolua ympäröivään materiaalivirtaan: 1) Komponenttivarastosta (keskusvarastosta) kokoonpanosoluun, 2) tuotteen ydinkomponentin toimittavalta alikokoonpanolinjalta soluun 3) sekä valmiiden tuotteiden osalta solusta pakkaamoon.



**Kuva 3: Diplomityön rajausta Yrityksen tuotantoprosessissa**

Olellista työssä on, että yksittäisiä materiaalivirtoja tai kokoonpanosolua ei optimoida, vaan kehitetään itsenäinen ja kokonaisuutena toimiva tuotantoprosessi, jossa kaikki kokoonpanoa ympäröivät materiaali- ja informaatiovirrat olisivat lean-filosofian mukaisesti synkronoitu tukemaan joustavasti ja nopeasti solun tarpeita kulloisenkin tuotantotilanteen mukaan.

Projektin haastavin osa on keskusvaraston ja tuotantosolujen välinen yhteys, koska ne sijaitsevat fyysisesti yli sadan metrin päässä toisistaan. Tämän tutkimuksen alkaessa niiden välillä ei ollut virallista tiedonvälitystä. Se aiheutti pitkiä reagointiaikoja, mikä puolestaan johti ylisuuriin varastotasoihin tuotantosolussa. Työn tavoite oli saada virtaviivaistettua keräilyprosessia, poistettua epävirallisesta informaatiosta johtuvat täydennysprosessin haavoittuvuudet sekä pienennettyä osien varastointitarvetta solussa.

Yhtenä mahdollisena väliaikaisratkaisuna oli reaaliaikaisen informaatiovirran kehittäminen sidosryhmien välille. Pidemmän tähtäimen suunnitelmana oli tutkia, voiko keskusvaraston roolin välikätenä poistaa kokonaan, ja siirtää uuden tuotteen komponenttien varastopaikat tuotantosolujen välittömään läheisyyteen. Tämä teoriassa vähentää riippuvuutta erillisestä informaatiokanavasta ja parantaa varaston palvelutasoa. Tämän ratkaisun hyödyt ja haitat piti analysoida sekä laskea, ja selvittää, sopiiko se oikeasti Yrityksen tuotantoprosesseihin. Kysymys oli, että väheneekö ylimääräisiä työvaiheita ja muuttuvatko varastotasot (tilatarve) aiheuttamatta haittaa muille Yrityksen operaatioille niin, että investointi hankkeeseen olisi kannattava.

Kokoonpanosolun ja alikokoonpanolinjan välille tavoittena oli tarkoitus luoda menetelmä, jolla sai reaaliaikaisesti välitettyä tietoa solun alikokoonpanojen tarpeesta puskurivarastoon ja yhä edelleen linjan tuotannonohjaukselle, sillä sen tarvitsi toistaiseksi palvelulla samanaikaisesti sekä uuden että vanhan tuotteen tarpeita. Optimoitu ratkaisu piti myös löytää siihen, miten alikokoonpanot kuljetetaan välivarastosta soluun juuri oikeaan aikaan. Näiden fyysinen noin 30 metrin välimatka vaati myös jonkinlaisen informaatiokanavan.

Pakkaamon materiaalivirta oli kaikista yksinkertaisin, koska se ei ollut niin aikakriittinen. Yhtenä tutkittavana alikokonaisuutena on, että olisiko järkevää palkata tuotannolle oma materiaalinkäsittelijä (water spider), joka hoitaisi myös alikokoonpanojen ja valmistuotepakkausten kuljettamiset sekä voisi tukea myös muiden tuoteperheiden tiimejä.

### **1.3. Tutkimusrajaukset**

Tutkimusprojekti rajattiin siten, että se koski Yrityksen Suomen tehtaan sisäisiä prosesseja, eli alihankkijoihin, sopimusvalmistajiin ja operatiiviseen hankintaan liittyvät asiat jätettiin pääasiassa pois. Poikkeuksena olivat pakkauskokojen muutostarpeet. Lisäksi itse valmistettavan ja tuotteen toiminnan kannalta oleellisen alikokoonpanon valmistusprosessi rajattiin pois. Se nähdään tuotteen näkökulmasta yhtenä komponenttina. Projektiin kuuluva tuotantosolun optimointi, rakentaminen sekä työstandardin määrittäminen jätettiin diplomityöraportista rajaussyistä pois.

### **1.4. Tutkimusmetodologia**

Projektin soveltavasta luonteesta johtuen tutkimus tehtiin monimenetelmäisesti eli hyödyntäen kvantitatiivista ja kvalitatiivista analyysiä, missä yhden menetelmän löydösten validiteetti pyrittiin varmistamaan rinnakkaisella menetelmällä. Alkuvaiheessa varsinaisen tutkimusongelman fokusointiin sekä eri sidosryhmien tarpeiden ja rajoitteiden selvittämiseksi tehtiin haastatteluja. Täydennysprosessin nykytila-analyysissa painotettiin havainnointeja. Yrityksen tarpeisiin sopivaa uudenaikaista materiaalintäydennyskonsep-

tia etsittiin akateemisen kirjallisuusselvityksen avulla. Konsepti suunniteltiin ja pilotoitiin empiirisessä toimintatutkimusosassa. Tutkimusmetodologiasta kirjoitetaan tarkemmin luvussa 3.

## **1.5. Työn rakenne**

Työn etenee seuraavasti: Luvussa kaksi kirjallisuuskatsauksessa esitellään empiiristä osaa tukevaa teoreettista tutkimusta ja haetaan vastausta esitettyyn tutkimusongelmaan. Luku käsittelee soluvalmistussympäristön materiaali- ja logistisia operaatioita tukevia informaatiovirtoja. Varsinaiset painopisteet ovat leaniin läheisesti liittyvissä supermarket-varastoissa sekä sähköisessä materiaalilausjärjestelmässä (e-kanban). Kolmannessa luvussa esitellään tutkimuksen case-yritys sekä tutkimuksen lähtöasetelma. Samalla esitellään käytetyt tutkimusmenetelmät sekä arvioidaan niiden luotettavuutta sekä pätevyyttä. Neljännessä luvussa käsitellään tutkimuksen nykytila-analyysin löydökset. Lukuun viisi on koottu projektin toimintatutkimuksen tulokset Yrityksen uuden tuotteen sisälogistiikan kehittämiseksi niin lyhyellä kuin pitkällä aikavälillä. Kuudennessa luvussa tutkimushankkeen tulokset kootaan yhteen, ja viimeisessä luvussa tehdään niiden pohjalta johtopäätökset sekä annetaan suositukset jatkotoimenpiteisiin.

## 2. MATERIAALIVIRRRAT SISÄLOGISTIIKASSA

Tämän luvun tarkoituksena on esitellä teoreettisia konsepteja, joita hyödyntämällä voidaan ratkaista tälle työlle asetettu tutkimusongelma, joka oli *tiedon tarve nykyaikaisten materiaalin hallinnan kehitystapojen soveltamisesta korkean teknologian elektroniikkatuotteiden soluvalmistussympäristössä*. Yleisenä rajaukselle koko teoreettiselle tutkimukselle on ollut pitää fokus rajattuna valmistavassa kappaletavaruotannossa sekä tuotantosoluihin perustuvassa tuotantojärjestelmässä (kts. kuva 1). Puhtaasti elektroniikkateollisuuteen liittyvää lean-kirjallisuutta on tarjolla hyvin rajatusti, sillä lean-tutkimus on keskittynyt voimakkaasti autoteollisuuteen.

Luvussa 2.1 esitellään nykyaikaisen tuotannon valtasuuntaus eli japanilaislähtöinen lean-filosofia, jossa keskitytään ennen kaikkea sisäisten kustannusten leikkaamiseen eliminoimalla kaikki ylimääräinen hukka prosesseista. Leaniin liittyen tässä työssä esitellään valikoituja paloja tuotannosta ja toimittajarajapinnan, varastoinnin sekä sisälogistiikan kokonaisuuksista. Painopiste on tuotannon virtauksen parantamisessa huomioiden sekä yritysten välisen toimitusketjutason että solun sisäiset materiaalsiirrot työvaiheiden välillä.

Yrityksessä käytössä olevien lean-henkisten tuotantosolujen konsepti esitellään luvussa 2.2, jotta sen tarpeet voidaan ymmärtää materiaalitäydennyksen näkökulmasta. Itse solun materiaalitäydennysprosessiin liittyvään kirjallisuuteen paneudutaan yksityiskohtaisemmalla tasolla luvussa 2.5. Sitä ennen esitellään moderniin materiaalitäydennysprosessiin oleellisesti liittyvät kanban-konsepti sekä supermarket-varastot luvuissa 2.3 ja 2.4. Erityisesti kanbanien määrän ja koon matemaattiseen optimointiin sekä niiden informaatiovirtojen parantamiseen on käytetty paljon tutkimusresursseja ympäri maailmaa. Tässä tutkimuksessa painotetaan työn kannalta oleellisempaan jälkimmäiseen kokonaisuuteen. Supermarket-varastoista puolestaan akateemista tutkimusta on saatavilla niiden levinneisyyteen nähden hyvin rajatusti. Tältä osin kirjallisuus liittyy pääosin tuotantolinjojen asemien materiaalitäydennyksiin autoteollisuudessa. Tuotantolinjoilla ja tuotantosoluilla on kuitenkin vahva analogia, joten löytynyttä kirjallisuutta voidaan hyvin soveltaa tämän tutkimuksen tarpeisiin.

Luvuissa 2.4 ja 2.5.3 syvennetään supermarket-varastoihin liittyvää tietämystä. Tuotannon materiaalinkäsittelijäkonsepti (water spider) on yksi tehokas tapa yhdistää logistiikka ja tuotanto ympäristössä, jossa komponenttien jakelu perustuu hajautettuun varastointijärjestelmään. Luku 2.6 keskittyykin vertailemaan hajautetun ja keskitetyn varasto-

järjestelmän vahvuuksia ja heikkouksia keskenään. Varastoihin liittyvästä tutkimuksesta valtaosa keskittyy valmistavan yrityksen ja loppuasiakkaan väliseen jakeluportaaseen. Varastojen logiikka on kuitenkin kaikkialla hyvin samanlainen, joten jakeluportaan varastoihin liittyvää kirjallisuutta voidaan hyödyntää myös sisälogistiikkaan liittyvässä tutkimuksessa.

Luvussa 2.7 käsitellään informaation arvoa tuotannossa, sekä miten informaation avulla voidaan tehostaa sisälogistiikan prosesseja. Löydetyn kirjallisuuden perusteella asetettuun tutkimusongelmaan parhaiten sopivaksi konseptiksi nousi räätälöidyn ohjelmiston avulla sähköisesti tilaussignaalit lähettävä e-kanban, johon paneudutaan syvällisemmin luvussa 2.7.2 ja 2.7.3. Informaatiovirtoihin lean-tuotannossa liittyvää tutkimusmateriaalia on hyvin saatavilla, joten tähän tutkimukseen lähteitä valittaessa tärkeänä kriteerinä oli niiden tuoreus.

## **2.1. Logistiikka Lean-filosofiassa**

Lean-ajattelu juontaa juurensa 1900-luvun puolivälin Japaniin, jossa autovalmistaja Toyota alkoi kehittää luovaa ratkaisua, jonka avulla se voisi pärjätä länsimaisia kilpailijoita vastaan paljon niukempien resurssien rajoittamassa ympäristössä (Holweg, 2006). Olosuhteiden pakottamana Toyotan silloinen päänsinööri Taichi Ohno keksi koko lean-filosofian perusajatuksen: Kaikki hukka (waste eng., muda jap.) pitää eliminoida (Monden, 1983, s. 2-3). Jos vähät resurssit saadaan kohdistettua arvoa tuottavaan tekemiseen, voidaan vastata kilpailussa paljon suurempia yrityksiä vastaan, jotka käyttävät runsaat resurssinsa tehottomasti. Lean ei ole sattumanvarainen yksittäinen innovaatio. Se on kokonaisvaltainen ajattelumalli, joka syntyi yli 30 vuotta kestäneestä yritykseen ja erehdykseen perustuvasta kehittämisestä Toyotan tuotannossa (Lewis, 2000).

Toisin kuin yleisesti ajatellaan, lean ei pakota ihmisiä työskentelemään kovempaa tai nopeammin (Monden, 1983, s. 125). Idea on sen sijaan siinä, että sama työpanos käytetään järkevämmiin suoritteisiin, jotka lisäävät työn kohteen arvoa eli yksinkertaisesti koitetaan päästä kaikesta epäolennaisesta eroon (Liker, 2004, s. 31). Leanissä keskitytäänkin optimoimaan tuotannon virtausta ja käytettävissä olevien resurssien kohdistamista vastaamaan kulloiseenkin kysyntään tyypillisesti massatuotannossa käytettyjen resurssitehokkuusmittareiden kuten koneiden käyttöasteiden ja työtuntikohtaisen tuottavuuden sijaan.

### **2.1.1. Hukka sisälogistiikassa**

Lean-ajattelu on laajentunut pelkästä tuotannosta sittemmin koskemaan liiketoimintaa yleisesti. Samoja periaatteita voidaan soveltaa niin toimistotyössä kuin palveluliiketoiminnassakin. Lean-filosofiassa hukalla on kahdeksan alatyyppeä, jotka esitetään taulu-



kossa 1. Seitsemän niistä on alkuperäisiä, jotka Taichi Ohno löysi aikoinaan tutkiessaan Toyotan prosesseja. Kahdeksannen on lisännyt yhdysvaltalainen lean-tutkija Jeffrey K. Liker (Liker, 2004, s. 28-29).

**Taulukko 1: Kahdeksan hukan syytä (Liker, 2004, s. 28-29; Harrison & van Hoek, s. 228-229)**

1.	Ylituotanto	Pahinta mahdollista hukkaa, koska se johtaa kaikkiin muihin hukan muotoihin (Rother & Harris, 2001, s. 43)
2.	Odottaminen	Epätaloudellista ajankäyttöä johtuen myöhästymisistä, osien loppumisesta tai koneiden hajoamisista.
3.	Tarpeeton kuljettaminen	Keskeneräisten tuotteiden kuljettaminen pitkiä matkoja tai tehottomasti. Tavaroiden viemistä varastoon työvaiheiden välillä.
4.	Tarpeeton käsittely	Huono työn suunnittelu tai huonot työkalut. Ylilaadun tekeminen.
5.	Tarpeeton varastointi	Ylimoitettut varastot raaka-aineita, keskeneräistä tuotantoa tai valmiita tuotteita. Piilottaa ongelmia kuten alihankkijan myöhästyneet toimitukset tai epätasaiset tuotantoprosessit.
6.	Tarpeeton liike	Etsiminen, kurottaminen, pinoaminen, kävely.
7.	Virheet	Uudelleen työstäminen, romutus ja tarkastaminen aiheuttavat ylimääräistä ajan ja vaivan hukkaa.
8.	Työntekijöiden hyödyntämätön potentiaali	Ei hyödynnetä organisaatiossa olevia taitoja, ideoita ja mahdollisuuksia laiminlyömällä tai jättämällä ne huomiotta.

Logistiikan näkökulmasta pahimmat hukkaa aiheuttavat tekijät ovat Harrisonin & van Hoekin (2011, s. 228) mukaan erityisesti odottaminen, varastointi, tarkastamiset ja ylimääräinen kuljettaminen. Erityisesti varastojen aiheuttamia haittoja korostetaan lean-kirjallisuudessa runsaasti. Stephens & Meyers (2010, s. 11) nostavat esiin varastojen aiheuttamina konkreettisina haittoina niiden vaatiman runsaan lattiatilan, jota voitaisiin hyödyntää tuottavammissakin tehtävissä kuin tavaroiden säilytyksessä. He jatkavat, että varastoihin sisältyy aina myös paljon pääomaa. Kolmantena haittana he listaavat, että isot varastot tarvitsevat paljon henkilökuntaa ja materiaalinkäsittelylaitteita niiden pyörittämiseen sekä sen, että korkeilla varastotasolla riski varastoitavien nimikkeiden vanhentumisesta tai pilaantumisesta kasvaa.

Suuret varastot aiheuttavat myös epäsuoria haittoja, joiden vaikutukset säteilevät tuotanto-organisaatiossa moneen paikkaan. Liker (2004, s. 99-101) kiteyttää asian sanomalla, että varasto piilottaa ongelmat sekä tehottomat ja epätasapainossa olevat työvaiheet ja – prosessit. Käytännössä suuret varastot antavat valmistukselle keinotekoisen hyvänolon tunteen. Jos ongelma on piilotettu korkeilla varastotasolla, ei sitä tarvitse kohdata, eikä käyttää aikaa ja energiaa sen ratkaisemiseen. Yleisesti tiedetään, että ongelma pitää tiedostaa ja analysoida, ennen kun voidaan aloittaa toimenpiteitä sen selvittämiseksi. Siksi

suuret varastot estävät tuotannon ongelmien tulemisen näkyviin ja siten prosessien kehittämisen tuottavampaan suuntaan. Liker (2004, s. 104) siteeraa lean-filosofian suurta vaikuttajaa Taiichi Ohnoa, jonka kerrotaan sanoneen, että mitä suuremmat varastot yrityksellä on, sitä pienemmällä todennäköisyydellä varastoissa on niitä nimikkeitä, joita sillä hetkellä oikeasti tarvitaan.

Harrisonin & van Hoek (2011, s. 224-225) korostavat varaston haittavaikutuksia valmistuksen läpimenoajan näkökulmasta. Heidän mukaansa varastotasojen ja läpimenoajan välillä on vahva positiivinen korrelaatio. Jos valmistusprosessissa tapahtuu viivästyminen, on se tapana paikata lisäämällä puskuria näiden kahden asianosaisen vaiheen väliin. Se aiheuttaa lisää tavaran seisomista ja virtauksen häiriintymistä. Sekin paikataan yleensä kasvattamalla prosessin muita puskureita, mikä aiheuttaa negatiivisen noidankehän. Liker (2004, s. 29) puolestaan esittää, että valmistusvaiheiden väliset isot varmuusvarastot aiheuttavat työntekijöille välinpitämättömyyden tunnetta ja vajaateholla toimimista, koska lähetä piti –tilanteiden puuttuessa motivaatio prosessien kehittämiseen katoaa. Baudinin (2002, s. 47) mukaan ylisuuret puskurit ja sitä kautta pidentyneet läpimenoajat viivästyttävät mahdollisten virheiden ja vikojen havaitsemista sekä niiden juurisyiden löytämistä. Baudin (2004, s. 31) puolestaan korostaa rationaalista näkökulmaa, että varastojen järki on osapuutteiden välttämässä. Hän esittää neljä muistisääntöä varastojen pitämiseen lean-logistiikassa: 1) pidetään vain minimisaldot tuotannon tukemiseksi, 2) saldoja valvotaan aktiivisesti, 3) tasoitetaan kysyntää mahdollisimman paljon sekä 4) reagoidaan nopeasti ongelmien ensimmäisten oireiden ilmetessä.

### **2.1.2. Virtauksen kehittäminen sisälogistiikassa – Heijunka, JIT ja eräkojen pienentäminen**

Ylivertainen tapa päästä eroon valmistusprosessien varastoista on pyrkiä kohti tasaista yhden kappaleen virtausta (one-piece flow, eng.). Se tarkoittaa valmistusprosessia, jossa tavaroiden liike pysähtyy vain keskenään synkronoitujen arvoa lisäävien työvaiheiden ajaksi. Näin ollen varastojakaan ei teoriassa tarvita, eikä siten mainittuja varastojen aiheuttamia haittoja esiinny. Yhden kappaleen virtaus on kuitenkin ideaalinen tavoite; käytännössä sen saavuttaminen on ainakin tehdasmittakaavassa mahdotonta.

Yhden kappaleen virtaus kuvaakin leanin olemusta abstraktina filosofiana eikä kaikki ongelmat ratkaisevana työkalupakkina. Lean-ajattelu tavoittelee aina jatkuvaa parantamista ja matkaa kohti ideaalista täydellisyyttä. Alla olevaan listaan on koottu kolme eri määritelmää lean-ajattelun tavoitteista hieman eri painotuksilla.

- ”Leanin huipputaso olisi järjestelmä, jossa ei esiinny lainkaan varastoja tai viallisia tuotteita, mutta joka kykenisi tuottamaan ääretöntä määrää eri tuotevariaatioita (Bayou & de Korvin, 2008).”

- “Leanin järjestelmän tavoite on saada tarjonta vastaamaan täydellisesti kulloiseenkin kysyntään tasaisen ja häiriöttömän tuotantovirran avulla (Stevenson, 2012, s. 621).”
- ”Täydellisyys saavutetaan, kun hukka on poistettu niin, että jokainen työsuorite ja kaikki käytössä olevat resurssit lisäävät todellista arvoa loppuasiakkaalle (Jones et al., 1997).”

Pyrkimys kohti tasaista yhden kappaleen virtausta tuo mukanaan monia hyviä asioita, mutta toisaalta vaatii prosesseilta, erityisesti logistiikalta, paljon venymistä onnistuakseen. Baudinin (2002, s. 49) mukaan lean-logistiikka tähtää tavaravirtojen ajallisten ja määrällisten vaihteluiden vähentämiseen niin tehdaslattialla kuin myös muiden toimitusketjun solupisteiden välillä, mikä on yhden kappaleen virtauksen kulmakivi. Vaihteluvuuden vähentäminen prosesseissa mahdollistaa toimitusketjun operoinnin pienillä varastotasoilla, mistä seuraa prosessien laadun parantumista sekä sen avulla mahdollisuus saada säästöjä (Iyer et al., 2009, s. 3). Työntekijöiden näkökulmasta yhden kappaleen virtaus vähentää passiivisuutta ja korostaa heidän mahdollisuuksiaan vaikuttaa prosesseihin. Tuotteiden virratessa nopeasti ja puskureiden puuttuessa työntekijät saavat paremman kokonaisuymmärryksen oman sekä kollegoidensa työn vaikutuksesta prosessiin kokonaisuutena (Harrisonin & van Hoek, 2011, s. 225).

Paras työkalu tähdättäessä kohti yhden kappaleen virtausta on hyödyntää logistissa operaatioissa imuohjaus- (pull) ja juuri-oikeaan-aikaan –periaatteita (Just-in-Time, JIT), joilla voidaan vastata kysynnän vaihtelun ja lyhyen toimitusajan aiheuttamaan ristiriitaan (Wanke & Zinn, 2003). Yhdessä ne tarkoittavat, että materiaalin siirrot ja täydennykset toimitusketjussa tehdään vain ja ainoastaan vastaamaan toimitusketjun alavirrassa seuraavana olevan prosessin tilauksiin. Asiakkaalle toimitetaan sitä, mitä on tilattu silloin, kun se on tilattu ja tasan se määrä, joka on tilattu. Mitään työsuoritetta ei tehdä, ellei olla varmoja konkreettisesta asiakastarpeesta. Näin saadaan minimoitua kesken-eräisen tuotannon ja varastojen määrä sekä luotua edellytykset tasaiselle virtaukselle (Liker, 2004, s. 37). Pull-täydennykset ja tasaiset materiaali virrat vaativat toimiakseen jonkinlaisen informaatiovirran, jotta ne saadaan aidosti synkronoitua kulloiseenkin tuotantotilanteeseen (Rother & Harris, 2001, s. 101). Tuotannon ja logistiikan rajapinnan välisiä informaatiovirtoja käsitellään tarkemmin luvussa 2.7.

Imuohjauksen vastakohtana on työntöohjaus eli push-strategia, jossa tuotteiden valmistaminen perustuu ennalta sovittuun suunnitelmaan, joka ei ole käytännössä kytköksissä reaalisesti senhetkiseen asiakastarpeeseen (Liker, 2004, s. 106). Bonney et al. (1999) mukaan push- ja pull-ohjausten periaatteellinen ero on siinä, että pull-strategiassa informaatio kulkee asiakkaalta lähtien valmistusprosessia ylävirtaan, kun taas tavarat tulevat vastaavasti alavirtaan. Työntöohjauksessa sekä informaatio että materiaalit lähtevät valumaan ylhäältä kohti asiakasta. Push-pohjainen valmistussuunnitelma onkin täy-

tynyt tehdä etukäteen perustuen ennusteeseen, ja yleinen totuus on, että ennuste on aina väärin.

Työntöohjaus on järkevä toteutusvaihtoehto esimerkiksi valmistusympäristössä, jossa toistuvuutta on vähän, mutta se tuo mukanaan aina paljon lean-ajattelun vastaisia elementtejä (Fernandes & Filho, 2011). Ennusteelle tekeminen johtaa ylituotantoon, joka generoi kaikkia muitakin hukan alalajeja. Lisäksi valmistuksen epätäydellinen kohtaaminen asiakaskysynnän kanssa aiheuttaa epätasaisuuksia ja häiriöitä tuotannon virtaukseen sekä johtaa vääjäämättä välivarastoihin. Kimura & Teradan (1981) mukaan ennusteella ei myöskään ole kykyä reagoida äkillisiin kysynnän muutoksiin, mikä aiheuttaa ylituotantoa. He jatkavat, että imuohjauksella on kolme suurta hyötyä verrattuna työntöohjaukseen: 1) Se estää prosessien heilahtelujen siirtymisen alavirrassa seuraavaan vaiheeseen, 2) minimoi keskeneräisen tuotannon eli KET-varastot sekä 3) tuo varastojen ja prosessien ylläpitovastuun lähemmäs työntekijöitä.

Käytännössä yhden kappaleen virtauksen täydellinen onnistuminen on harvinaista varsinkin suuremmassa mittakaavassa eri osastojen välillä. Edes lähelle pääseminen vaatii yritykseltä erityistä osaamista, tahtoa, resursseja sekä henkilöstön, joka on kokonaisuudessaan sisäistänyt lean-ajattelun sekä reaktiivisen mentaliteetin omien vastuuprosessinsa kehittämiseen. Tyypillisempää varsinkin kappaletavarateollisuudessa ja erityisesti logistisissa operaatioissa on, että tavarat liikkuvat jonkinlaisissa erissä. Lean-ajattelussa on kolme vahvasti käsi kädessä kulkevaa työkalua, joilla erätuotannosta yritetään siirtyä kohti tasaista yhden kappaleen virtausta. Ne ovat 1) eräkoon jatkuva pienentäminen, 2) vaihto- ja asetusaikojen lyhentäminen sekä 3) tuotannon tasoittaminen (heijunka, jap.).

Asetusaikojen lyhentäminen mahdollistaa pienempien erien valmistamisen. Analogisesti logistiikan maailmaan käännettynä esimerkiksi pakkaamiseen ja lastaamiseen käytetyn ajan minimointi mahdollistaa pienempien erien kuljettamisen useammin, mikä on ainakin Toyotalla käytössä oleva lähestymistapa tavaravirtojen optimointiin (Liker, 2004, s. 37; Iyer et al., 2009, s. 79). Monden (1983, s. 72) havainnollistaa hyvin eräkoon pienentämisen hyötyjä: Jos asetusaika (logistiikassa materiaalsiirron valmistelu-aika) saadaan puolitettua, voidaan erä koko puolittaa. Se puolestaan puolittaa vaihekohtaisen läpimenoajan, joka puolittaa tarvittavan varastotason.

Jos valmistusprosessissa on joku vaihe, joka on pakko toteuttaa suurissa erissä, olisi teoriassa tärkeää alkaa kuljettaa materiaalia seuraavaan vaiheeseen sitä tahtia, kun ensimmäiset yksiköt alkavat valmistua sen sijaan, että odotettaisiin koko erän valmistumista ja kuljettamista kerralla. Siten saadaan minimoitua suuren eräkoon aiheuttamat ongelmat prosessin kokonaisuuden kannalta. Rother & Harris (2001, s. 63) mainitsevat suurten eräkokojen haittoina hidastuneen reagoinnin, alavirrassa ylisuuren valmistuotevaraston asiakaskysyntään vastaamiseksi sekä ylävirrassa vastaavasti komponenttivarastot isojen

erien osatarpeiden tyydyttämiseksi. Pitää kuitenkin muistaa, että sisälogistiikassa eräkoon suuruus on kääntäen verrannollinen materiaalinkäsittelytarpeen suuruuteen (Caputo & Pelagagge, 2010).

Toinen oleellinen tekijä yhden kappaleen virtausta kohti pyrittäessä eli eräkokoja pienennettäessä on tuotannon tasoittaminen. Se tarkoittaa valmistuksen prosessien hienokuormituksen säätöä niin, että päivittäinen tuotannon vaihtelu olisi mahdollisimman pientä ja mahdollisimman lähellä optimaalista kapasiteetin käyttöastetta. Toyota esimerkiksi sallii tuotannossaan viikottaisen 10% vaihtelun, mikä helpottaa huomattavasti tuotannon ja logistiikan ohjaamista (Iyer et al., 2009, s. 80). Autoteollisuus voi kuitenkin käyttää jälleenmyyjäverkostoaan puskurina tuotannon tasoittamiseen, sillä suurinta osaa valmistettavista autoista ei tehdä konkreettiselle asiakastilaukselle (Baudin, 2002, s. 29). Puhtaassa make-to-order-ympäristössä jälleenmyyjien varastojen käyttäminen tuotannon tasoittamiseen ei ole mahdollista. Tällöin tarvitaan erityistä yhteistoimintaa myynti- ja tuotannosuunniteluosastojen välille, jotta myynti ymmärtäisi pyrkiä kaikin käytettävissä olevin keinoin tasoittamaan asiakastilausten välittämistä valmistukselle kuitenkin riskeeraamatta kauppojen lukitsemista. Jones et al. (1997) mukaan myynnin tulisikin pyrkiä siirtymään ensin kuukausittaisista toimituksista ja tilauksista ensin viikottaisiin ja lopulta jopa päivittäiseen sykliin, mikä mahdollistaisi eräkoon pienentämisen valmistuksessa.

Tasainen ja ennakoitavissa oleva materiaalivirta mahdollistaa logististen prosessien optimoinnin ääriarajoilleen, mikä tarkoittaa sisälogistiikassa JIT-täydennyksiä kärryillä, jotka ovat aina täynnä, eli materiaalinkäsittelijöiden ei tarvitse kuljettaa ilmaa. Vastavasti alihankkijarajapinnassa tavaraa voidaan tuoda säännöllisesti ja tehokkaasti täysillä rekoilla (Iyer et al., 2009, s. 67). Säännölliset täydennykset ehkäisevät kiirettä ja varaston kasaantumista ja välillisesti myös muiden tuotannollisten ongelmien syntyä.

Heijunka on välttämätön työkalu pidettäessä tuotantoprosessi tasaisena ja varastotasot pieninä. Käytännössä se on mahdollistaja muiden lean-työkalujen soveltamiseksi; heijunkan pitää olla kunnossa ennen kuin prosesseja voidaan alkaa optimoimaan yksityiskohtaisemmalla tasolla. Se onkin hyvä esimerkki siitä, kuinka kokonaisvaltainen tuotantotapa lean-filosofia on – kaikki sen elementit ovat toisistaan riippuvaisia (Rother & Harris, 2001, s. 90).

Harrison & van Hoek (2011, s. 12) sanovat, että logistiikka on materiaali- ja informaatiovirtojen hallintaa. Lean-logistiikka tarkoittaa siis materiaalivirtojen hallintaa suoritettuna mahdollisimman vähällä ajan ja resurssien hukalla. Sama ajatus toistuu myös Baudinilla (2004, s. 27). Käytännössä se tarkoittaa, että sisälogistiikan tavaravirrat toteutetaan konkreettiseen asiakastilaukseen perustuvalla imuohjauksella ja yksittäiset tavara-siirrot mahdollisimman pieninä erinä mahdollisimman usein. Siten saadaan aikaan ta-

sainen ja säännöllinen virtaus läpi koko tuotantoprosessin sekä minimoitua korkeat varastotasot, jotka ovat huonosti johdettujen prosessien ensimmäinen ja näkyvin oire.

Likerin (2004, s. 287) mukaan mitä sujuvampi virtaus tuotannon ydinprosessissa on, sitä sujuvammaksi sen haarat ja tukiopeeraatiot voidaan saada ja näin optimoitua koko tehtaan tuotanto. Toyotalla tämä otetaan Mondenin (1983, s. 69) mukaan vakavasti, sillä heillä on tehdastasolla tavoitteena luoda yhden kappaleen virtauksen periaatteella verkosto alikokoonpanovirtauksia, jotka kytkeytyvät toisiinsa juuri oikeaan aikaan (JIT) autojen loppukokoonpanossa. Materiaalivirtojen ohjauksessa pitäisi välttää ennusteseen perustuvaa tavaroiden työntämistä seuraavalle vaiheelle eli push-strategiaa viimeiseen asti. Optimaalinen tilanne olisi käyttää yhden kappaleen virtausta, mutta jos siihen ei ole mahdollista päästä niin toiseksi paras ratkaisu on tilaukseen perustuva imuohjaus, jossa tavara siirretään seuraavaan vaiheeseen pienissä erissä kuitenkin käymättä välillä varastossa.

### **2.1.3. Kaizen**

Jos kysyntää ei satunnaisesti ole lainkaan, on edullisempaa olla tuottamatta mitään, kuin valmistaa tuotteita varastoon. Tällaisissa tilanteissa on pitkän tähtäimen liiketoiminnan kannalta edullisempaa käyttää työntekijäresurssit esimerkiksi toiminnan ja prosessien kehittämiseen järjestämällä kaizen-kehityshankkeita (Monden, 1983, s. 58). Kaizen eli jatkuva parantaminen on yksi lean-filosofian kulmakivistä. Käytännössä kaizen-hankkeet ovat lyhytkestoisia projekteja, joissa työntekijät uudelleenarvioivat prosesseja etsien ja poistaen niistä hukkaa yhteistyössä tiiminvetäjien ja yrityksen lean-asiantuntijoiden kanssa.

Lean-filosofian ratkaisu matalaan kysyntään on siis täysin päinvastainen, kun se yleinen harhaluulo, että joutilas työntekijäresurssi kannattaa ohjata tekemään tuotteita varastoon vastaamaan tulevaan kysyntään. Kuten on jo mainittu, ylituotanto on pahinta hukkaa. Harrison & van Hoekin (2011, s. 224) mukaan ennakoiva varastoon valmistaminen voi suurella todennäköisyydellä johtaa väärin tuotteiden valmistamiseen, eikä siten tee vapaasta kapasiteetista yhtään tuottavampaa. Sen sijaan se johtaa lisäkuluihin kasvaneiden varastojen sekä käytettyjen materiaalien muodossa sekä laiminlyö mahdollisesti kaizenilla esiin tulevan kehityspotentiaalin.

## **2.2. Lean-tuotantosolu**

Solutuotanto on funktionaalisen tuotannon ja tuotantolinjan ohella kolmas mahdollinen tapa järjestää yrityksen tuotanto. Valmistavan yrityksen mittakaavassa mitkään edellä mainituista eivät sulje toisiaan pois, vaan myös monenlaisia yhdistelmiä edellä mainituista on olemassa. Hyvin tyypillinen esimerkki on, että alikokoonpanoja tehdään tuo-

tantosoluissa, mutta varsinainen lopputuote kootaan tuotantolinjalla. Tämä on vallitseva tilanne esimerkiksi autoteollisuudessa.

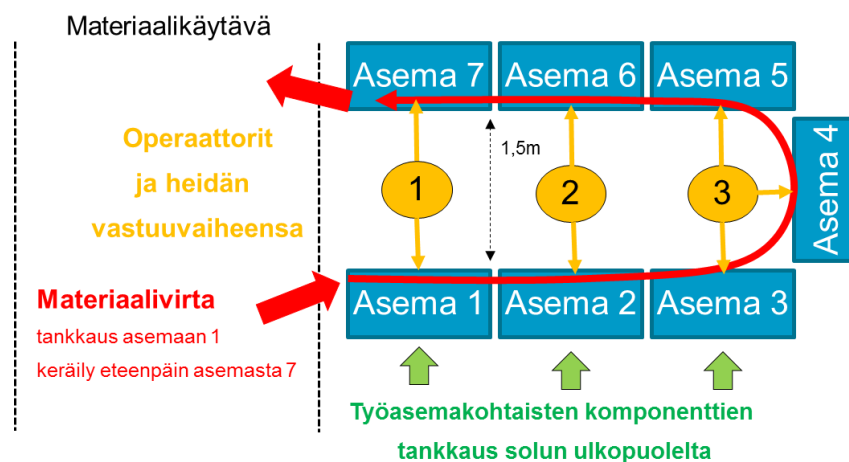
Stevenson (2012, s. 254) kiteyttää solutuotannon hyödyt kirjoittamalla, että solutuotanto mahdollistaa suuren tuotevalikoiman valmistamisen mahdollisimman vähällä hukalla. Solutuotannossa tuotanto kulkee tasaisena virtana eri valmistusvaiheiden läpi minimoiden viiveen, varastoinnin ja kuljettamisen tarpeen. Se helpottaa tuotannon suunnittelua sekä vähentää tilantarvetta ja läpimenoaikoja, mikä puolestaan parantaa tuottavuutta ja laatua, koska virheet sekä häiriöt löydetään aiemmin. Tiimissä työntekijät alkavat kantaa enemmän vastuuta työnsä jäljestä, ja työntekijöiden välinen epätasainen työkuorma tulee paremmin esiin (Baudin, 2002, s. 203).

Baudinin (2002, s. 85) mukaan tuotantosolu on tuotantolinjan kooltaan pienempi erikoistapaus. Tuotantolinjan tapaan tuotantosolu on itsenäinen yhdistelmä fyysisiä työasemia, joiden avulla monitaitoinen operaattoritimi pystyy valmistamaan keskenään samankaltaista prosessointia vaativia tuotteita (Stevenson, 2012, s. 253; Baudin, 2002, s. 202). Usein se tarkoittaa yhtä tuoteperhettä eli ydintuotetta ja sen eri konfiguraatioita. Tuotantosolussa, toisin kuin funktionaalisisessa layoutissa, kaikki tuotteet käyvät läpi saman reitin ja prosessin joka kerta. Jos solussa valmistetaan runsaasti eri tuotteita, voi niiden välillä olla hienoista variaatiota, kuten jollain konfiguraatiolla joku vaihe voidaan jättää välistä. Parhaimmillaan tuotantosolu on pienten ja kevyiden tuotteiden valmistuksessa, jotka eivät vaadi samanaikaista asennustyötä kahdesta eri suunnasta (Baudin, 2002, s. 201).

Likerin (2004, s. 31) mukaan tuotantosolu on lean-ajattelun fyysinen huipentuma. Hän perustelee asiaa sillä, että solun rakenne, jossa peräkkäiset työasemat pystyvät kukin prosessoimaan vain yhtä tuotetta kerrallaan, pakottaa valmistuksen yhden kappaleen virtaukseen. Jos kaikki valmistusvaiheet ovat vielä ajallisesti yhtä pitkiä sekä ne on synkronoitu tuotteelle asetettuun tahtiaikaan, voidaan solun sisäisestä tuotantoprosessista teoriassa poistaa kaikki odottaminen ja välivarastot. Solutuotannon avulla onkin helppoa päästä eroon lean-filosofian korostamista seitsemästä hukasta.

Tavoite päätyä sujuvaan yhden kappaleen virtaukseen pitää ottaa huomioon jo solua suunniteltaessa. Itse solun pohjaratkaisuksi on olemassa monta vaihtoehtoa. U-solu on käytetyin ja tunnetuin tuotantosolun toteutusratkaisu. Siinä työasemat on järjestetty nimensä mukaisesti U-kirjaimen tai hevosenkengän muotoon solun sisätilan leveys pitäisi olla noin 1-1,5 metriä. U-solu on myös materiaalivirtojen näkökulmasta optimaalinen ratkaisu, sillä saapuva ja lähtevä materiaali käsitellään samassa paikassa, ja mieluiten se piste olisi tehtaan materiaalikäytävän varrella (Rother & Harris, 2001, s. 42; s. 101). Ideaalitalanteessa ensimmäistä ja viimeistä työasemaa hoitaa sama henkilö, joka siten pystyy valvomaan, että yhtä valmistunutta kohti aloitetaan tasan yksi uusi valmistussyk-

li yhden kappaleen virtauksen ylläpitämiseksi (Monden, 1983, s. 100). Näitä U-solun peruseriaatteita on havainnollistettu kuvaan 4.



**Kuva 4: Periaatekuva U-solusta**

U-soluja voidaan myös yhdistää sarjaan, jolloin edellisen solun lopputuote on seuraavalle solulle vain yksi komponentti. Näin päästään periaatteessa tuotantolinjaan, jossa pysytään välttämään paljon perinteisen lineaarisen tuotantolinjan heikkouksia, kuten huonoa vikasetokykyä, kun solujen välille asetetaan pienet puskurivarastot. Esimerkiksi Toyota hyödyntää yhdistelmä-U-soluja autojensa loppukokoonpanossa (Monden, 1983, s. 105-107).

U-solun idea on se, että operaattorit työskentelevät solun sisällä, ja materiaalien käsittely hoidetaan solun ulkopuolella (Baudin, 2002, s. 93). On erittäin tärkeää, että operaattoreiden vastuulle annetaan ainoastaan solun sisäisiin prosesseihin liittyviä työtehtäviä. Solun sisällä tapahtuva syklinen prosessi on aikakriittinen. Solun läpivirtaus muuttuu tehottomaksi aina, kun operaattorit joutuvat poistumaan solusta tai tekemään syklin ulkopuolisia työtehtäviä kuten hakemaan osia, tarkistamaan laatua tai kuljettamaan valmiita tuotteita seuraavaan vaiheeseen. Tällaiset työtehtävät pitää antaa esimerkiksi tuotannon materiaalinkäsittelijälle tai muille tukihenkilöille, joiden työ ei ole riippuvaista solun valmistussyklistä. (Rother & Harris, 2001, s. 21)

Solun sisällä operaattorit toimivat autonomisena ja yhtenäisenä tiiminä. Solussa tapahtuvan tiimityön etuna verrattuna tuotantolinjaan on se, että työntekijöillä on mahdollisuus keskittyä oikeasti merkittävään, arvoa lisäävään työhön sekä nähdä sen lopputulos, mikä parantaa työntekijöiden viihtyvyyttä, tyytyväisyyttä ja moraalia sekä korostaa vastuuta oman työnsä laadusta (Baudin, 2002, s. 201; Liker, 2004, s. 96).

Kriittistä solun toiminnalle on, että kaikki sen työntekijät osaavat tehdä jokaisen työvaiheen (Chakravorty & Hales, 2007). Työsuoritteita pitää yksinkertaistaa, allokoida ja



ryhmittää järkevästi, ja niihin pitää tarjota koulutus jokaiselle operaattorille. Vain moniosaavilla operaattoreilla solusta saadaan kaikki hyöty irti, eli sitä pystytään ajamaan täsmälleen kysyntään vastaavalla vauhdilla. Lisäksi operaattorit pystyvät tukemaan toisiaan työvaiheiden rajapinnoissa, mikäli viereisellä työvaiheella on väliaikainen ongelma (Monden, 1983, s. 73). Itsenäisesti toimivassa moniosaavassa solussa perinteisen työnjohdon merkitys vähenee samalla kuin työntekijöiden vastuu omasta roolistaan kasvaa. (Baudin, 2002, s. 206; Stevenson, 2012, s. 255)

Sen lisäksi, että solun operaattorit osaavat työskennellä jokaisella solun työasemalla, pitää solun suunnittelussa ottaa monta näkökohtaa huomioon, jotta optimaaliselle tuotavuustasolle voidaan päästä. Rotherin ja Harrisin (2001, s. 42) mukaan solu pitää suunnitella niin, että sitä voidaan operoida yhdellä ihmisellä, vaikka näin ei olisi milloinkaan tarkoitettu tehtävän, koska siten saadaan optimoitua solun fyysinen pohjaratkaisu. Lisäksi heidän mukaansa solun suunnittelussa tulisi ottaa huomioon seuraavat seikat:

- Työasemat ja laitteet sijoitetaan mahdollisimman lähelle toisiaan kävelyn minimoimiseksi.
- Kaikki esteet poistetaan pois kävelyreiteiltä.
- Kaikki tilat ja pinnat pitää poistaa, jonne keskeneräistä tuotantoa voi alkaa kerääntyä.
- Valmisteiden siirrot pitää tapahtua samassa korkeustasossa sekä samalla kohtaa syvyysuunnassa siirtomatkojen minimoimiseksi.
- Gravitaatiota pitää hyödyntää asennustöissä ja tavaroiden liikuttamisessa aina kun mahdollista.
- Työkalut pitää integroida työasemiin eikä työntekijöihin.

U-solun tuotantolaitteet järjestetään ja suunnitellaan siten, että ihmisten ja koneiden tekemä työ on eroteltu (Rother & Harris, 2001, s. 21). Käytännössä se tarkoittaa, että operaattoreiden ei pidä käyttää aikaa koneiden syklien loppumisen odottamiseen, vaan yksi operaattori pystyy samaan aikaan operoimaan useammalla koneella. Koneiden välissä saisi olla paikka korkeintaan yhdelle tuotteelle, joka odottaa siirtoa seuraavaan vaiheeseen virtauksen ylläpitämiseksi. Laitteiden keskinäiset syklijat pitää synkronoida keskenään välivarastojen kerääntymisen ehkäisemiseksi, koska Rother & Harrisin (2001, s. 8) mukaan toisistaan erilliset tuotantovaiheet aiheuttavat aina prosessiin hukkaa kuten odottamista tai ylimääräistä varastointia.

Solun huonona puolena on, että jokainen solu tarvitsee itsenäisenä yksikkönä kaikki valmistusprosessiin liittyvät laitteet, mikä voi jossain tapauksissa olla mittava investointi (Stevenson, 2012, s. 255). Lisäksi monituoteympäristössä solu voi vaatia laitteita, joita ei tarvita kaikkiin konfiguraatioihin, eli niiden käyttöaste voi jäädä huomattavan matalaksi. Funktionaalisessa järjestelmässä tätä ongelmaa ei ole, koska yhdellä tällaisella

laitteella voitaisiin palvella useampaa prosessin seuraavaa vaihetta. Stephen & Meyers (2010, s. 103; s. 122) kuitenkin korostavat, että operaattorin käyttöasteen maksimointi on soluissa yksittäisten koneiden käyttöasteita tärkeämpää. Heidän mukaansa solun suurimmat hyödyt tyypillisesti paikkaavat alhaisten konekäyttöasteiden aiheuttamat kustannukset.

Solun laitteistoja miettiessä ja suunniteltaessa pitää mielessä asetus- ja vaihtoaikojen minimointi lean-filosofian hengessä, mikä on tuotannon tasoittamisen ja eräkokojen pienentämisen yksi tukijalka. Solun, kuten yleisesti kaiken muunkin tuotannon, hyödyt tulevat parhaiten esiin silloin kuin sitä voidaan ajaa mahdollisimman pienellä kysynnän vaihteluilla (Rother & Harris, 2001, s. 63).

Stephens & Meyers (2010, s. 136) nostavat vielä esiin nopeutuneen tuotannollisten ongelmien ratkaisukyvyyn, koska operaattorit pystyvät keskustelemaan ja kommunikoi- maan löytyneeseen haasteeseen liittyen heti paikalla ja siten jäljittämään myös ongelman konkreettisen juurisyyn. Bidandan et al. (2003) tutkimuksessa nousi esiin kommu- nikaation tärkeys. Puuttuessaan se aiheuttaa konflikteja ja epäselvyyksiä niin solujen välillä kuin niiden sisälläkin.

### **2.3. Kanban-konsepti**

Kanban on Toyotan omiin tarpeisiinsa kehittämä informaationvälitysjärjestelmä tuke- maan JIT-tuotantoa. Toisin kuin yleisesti luullaan, kanban ei siis ole oma järjestelmän- sä, vaan se on osa Toyota Production Systemiä (TPS), johon koko lean-filosofia käy- tännössä perustuu (Monden, 1983, s. 35). Monden (1983, s. 4-5), joka erittäin syvä- luotaavasti käy kirjassaan läpi koko alkuperäisen kanban-järjestelmän, korostaa lisäksi, että kanban-järjestelmä tarvii toimiakseen ja JIT:n onnistumiseksi myös muita TPS:n ydinelementtejä kuten tuotannon tasoittamista, vaihtoaikojen minimointia, työtehtävien standardointia, jatkuvaa parantamista ja laadun rakentamista prosessiin.

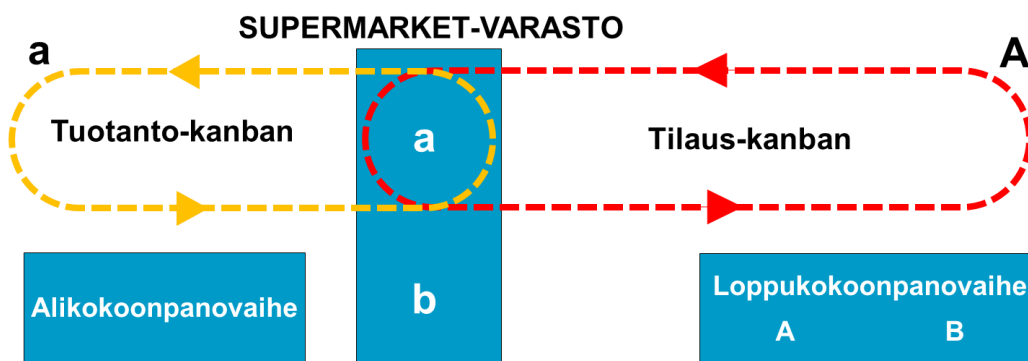
Kanban on otettu käyttöön alun perin vuonna 1950 Toyotan Honshan tehtaalla osana yritystä tasapainottaa koneistus- ja loppukokoonpanolinjojen välistä tuotantoa. Kanba- niin perustuva järjestelmä todettiin toimivaksi, ja se laajenikin nopeasti. Vuoteen 1962 mennessä se oli käytössä jo jokaisella Toyotan tehtaalla, ja siitä 20 vuotta myöhemmin käytännössä kaikki Toyotan alihankkijat olivat myös omaksuneet kanbanin käytön ai- nakin toimittajarajapinnassa. (Monden, 1983, s. 35-36)

Stephens & Meyersin (2010, s. 19) mukaan kanban on käytännössä pieni ja yksinkertai- nen muovipäällysteinen kortti, jota käytetään kommunikaatiovälineenä JIT-tuotannon hallitsemiseen ja varmistamiseen. Korttiin on merkitty materiaalisiiirtoon liittyvää in- formaatiota kuten osanumerot, eräkoot sekä lähtö- ja tulo-osoitteet. Toisin sanoen kan-

banin periaatteena on yhdistää valmistusprosessin eri vaiheet. Jos kanbania ajatellaan järjestelmänä, on sen määritelmä erilainen, kuten seuraavista sitaateista voidaan todeta:

- Puskurivarastojen organisoitu kokonaisuus (Liker, 2004, s. 110).
- Materiaalivirtojen kontrollointimekanismi, jonka avulla hallitaan tuotantoprosessien tuotantomääriä ja ajoituksia (Graves et al., 1995).

Kuvan 5 mukaisesti kanbaneja (kortteja) on tyypillisesti kahdenlaisia: Tilaus- ja tuotanto-kanbaneja. Esimerkkikuvassa on loppukokoonpanovaihe, jossa valmistetaan lopputuotteita A ja B, jotka tarvitsevat edeltävältä alikokoonpanovaiheelta analogisesti joko komponenttia a tai b. Vaiheiden välissä on supermarket-tyyppinen puskurivarasto, jossa tuotanto-kanbanit on yhdistetty valmiisiin alikokoonpanoihin. Valmistettaessa tuotetta A, vähenevät alikokoonpanot a ensin tai myöhemmin hälytysrajansa tasolle. Tällöin operaattori tai materiaalinkäsittelijä menee supermarket-varastolle noutamaan tyhjässä osalaatikossa olevan tilaus-kanbanin osoittaman määrän lisää alikokoonpanoa a. Hyllyn luona hän ottaa tuotanto-kanbanit pois täysin odottavista a-laatikoista ja jättää ne näkyville sovittuun paikkaan. Tilauskanbanit siirretään tyhjästä laatikoista näihin täysiin, jotka jatkavat noutohenkilön mukana takaisin loppukokoonpanoon. (Matta et al., 2004; Sugimori et al., 1977)



Kuva 5: Kanban-järjestelmän toimintaperiaate (mukaeltu: Monden, 1983, s. 5)

Alikokoonpanovaiheen puolella huomataan esille laitettujen tuotanto-kanbanien, jotka kertovat, että paljonko ja mitä tuotetta supermarketista on edennyt tuotantoprosessin seuraavaan vaiheeseen. Alikokoonpano laittaa esiin nostettujen tuotanto-kanbanien osoittaman määrän a-alikokoonpanoa tuotantojonoonsa, jotta noudetut tuotteet saadaan korvattua supermarket-varastossa. Tuotannon virtaus on kontrolloitu tuotanto-kanbaneilla KET:n rajoittamiseksi. Valmistuksen aloittaminen tarvitsee siis aina kanbanin välityksellä tulevan valtuutuksen alavirran vaiheelta (Matta et al., 2004). Alikokoonpanovaihe ei etukäteen periaatteessa tiedä, kuinka ja paljon mitä komponentteja loppukokoonpano milloinkin seuraavaksi haluaa. Se korostaakin lean-henkistä tuotannon joustavuutta sekä vaatimusta lyhyelle asetusajalle a:n ja b:n välillä. Kaksikorttinen kanban on tyypillisesti

käytössä, jos prosessin kahden vaiheella on fyysistä välimatkaa. Toisiaan hyvin lähellä oleville vaiheille riittää usein pelkkä tuotanto-kanban (Kouri et al., 2008).

Monden (1983, s. 23-25; 28; 174) nostaa esiin muutamia ideaalisia vaatimuksia, jotta kanban-systeemi toimisi suunnitellusti:

- Alavirran vaihe saa tilata edelliseltä vaiheelta vain tarvitsemansa määrän tarvittavalla hetkellä
- Osia ei saa hakea supermarketista ilman kanban-korttia.
- Hyllystä ei saa hakea enempää tuotteita kuin korttiin on kirjoitettu .
- Kortin pitää aina olla fyysisesti yhdistettynä tuotteisiin.
- Valmistava vaihe ei saa tuottaa enempää kuin on tilattu
- Tilaukset pitää valmistaa täsmälleen samassa järjestyksessä kuin ne on saatu
- Viallisia tuotteita ei saa päästää prosessissa eteenpäin
- Kanbanien lukumäärä pitää olla mahdollisimman pieni

Poikkeuksia varten Toyotalla on oma pika-kanban (express kanban, eng.), jonka avulla voidaan kiilata tuotantojonon kärkeen, mutta sitä käytetään vain vakavissa poikkeustilanteissa. (Monden, 1983, s. 28)

Kanban-järjestelmän välillinen rooli jatkuvan parantamisen stimulaattorina on Mondenin (1983, s. 130) mielestä yhtä merkittävä kuin sen pääasiallinen tarkoitus tuotannonohjauksessa. Alkuperäisessä TPS:ssä hän sanoo kanban-systeemin pienentämien varastotasojen tuovan esiin tuotantoprosessien ongelmia, joihin voidaan iskeä järjestämällä täsmä-kaizeneita. Niissä syntyneet parannustoimet korjaavat ongelmat parantaen tuotavuutta ja lopulta vähentäen kustannuksia. Kyseessä on jälleen hyvä esimerkki, miten toisistaan riippuvaisia leanin eri elementit ovat.

Vaikka liiketoimintaympäristö on muuttunut suuresti kanbanin luomisajoista, on kanban-järjestelmä pyrkinyt pysymään kehityksessä mukana varioitumalla vastatakseen erilaisiin tarpeisiin. Lage & Godinho (2010) tunnistivat tutkiessaan 32 erilaista kanban-variaatiota neljä alkuperäisen kanban-järjestelmän ydinelementtiä:

1. Kahden erilaisen kortin eli tilaus- ja tuotanto-kanbanien käyttö kommunikoinnissa (dual-kanban, eng.)
2. Imuohjaus
3. Tuotannonohjausvastuun hajauttaminen tiimien esimiehille
4. Keskeneräisen tuotannon määrän rajoittaminen työasemilla.

Jotta edellämainitut ydinelementit toimivat sujuvasti, täytyy tuotantoympäristön olla erittäin vakaa; asetusajan pitää olla erittäin lyhyt, tuotevalikoiman pieni sekä kysynnän tasainen (Gelders & Wassenhove, 1985). Jos alavirrasta tulevissa tilauksissa on sekä

määrällistä että ajallista voimakasta vaihtelua, joutuu ylävirran prosessi vastaamaan ylimääräisellä kapasiteetilla työvoimassa ja tilantarpeessa sekä korkeilla varastotasoilla, mikä sotii lean-ajattelua vastaan (Monden, 1983, s. 35). Lage & Godinho (2010) lisäävät vielä, että pelkän tilausrajapinnan vaihtelun lisäksi kanban-systeemin toiminnan kannalta haitallisia ovat eri vaiheiden eripituiset prosessointiajat, standardoimattomat työvaiheet ja suoritteet, pitkät vaihto- ja asetusajat, suuri konfiguraatiomäärä sekä raaka-ainetoimitusten epävarmuus.

## 2.4. Supermarket-varastot

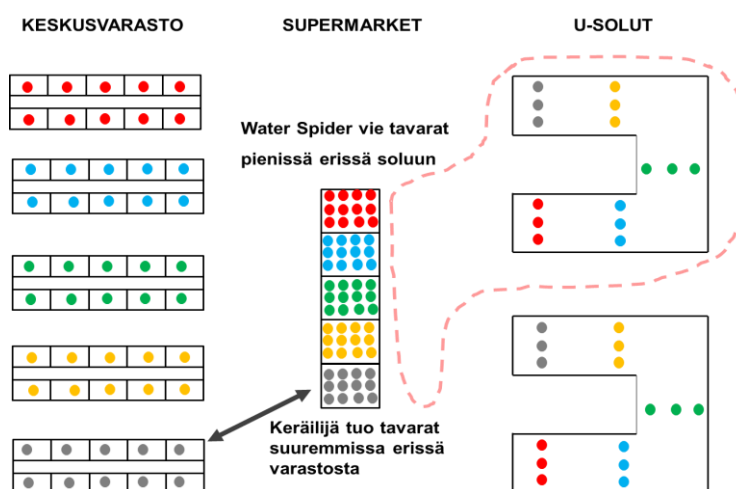
Supermarket-varastot ovat tärkeä osa TPS:ää, koska ne mahdollistavat kanban-järjestelmän toimivuuden. Niiden tarina juontaa juurensa 1950-luvulle, jolloin Yhdysvalloissa vieraillessaan silloinen Toyotan pääinsinööri Taiichi Ohno keksi soveltaa amerikkalaisten ruokakauppojen esillepano- ja täyttöperiaatteita teollisuudessa (Liker, 2004, s. 106). Nimensä mukaisesti supermarket-varastojen toimintaperiaatteella on erittäin vahva vastaavuus ruokakauppoihin. Täsmälleen kuten kuluttaja ostaa ruokakaupassa itselleen vain sen mitä tarvitsee järkevän kokoisessa pakkauksessa, ottaa tuotantoprosessin asiakas eli seuraava tuotantovaihe supermarket-varastosta vain kulloinkin tarvitsemansa osat. Ruokakaupassa kaupan henkilökunta tuo säännöllisesti varastosta uuden tuotteen kuluttajan ostaman tilanne. Teollisuudessa edeltävä prosessivaihe valmistaa uudet osat korvaamaan supermarketista poistuneet komponentit.

Vakiintuneelta määritelmältään Supermarket-varasto on osa hajautettua varastojärjestelmää, joka on tarkoitettu osien ja komponenttien lyhytaikaiseen säilytykseen niiden käyttöpaikan välittömässä läheisyydessä (Battini et al., 2010; 2012). Supermarketit ovat siis käytännössä puskurivarastoja kahden kanbania käyttävän prosessivaiheen välissä. Niiden tarkoitus on pitää tuotantoprosessit käynnissä vaimentaen vaiheiden välillä tapahtuvaa vaihtelua. Emde & Boysen (2011) tiivistävät asian hyvin sanomalla, että supermarket-varastot ovat sisälogistiikan vastine jakeluportaan cross-dock-terminaaleille. Molempien logiikka on sama: Tavaraa tuodaan suuremmissa kuormissa, se kulkee lineaarisesti varaston läpi FIFO-periaatteella, ja se viedään pienemmissä erissä juuri oikeaan aikaan seuraavalle vaiheelle.

Emde & Boysen (2011) kirjoittavat, että jatkuvasti kasvanut tuotevariaatioiden määrä on nostanut sisälogistiikan vaatimustasoa voimakkaasti samalla, kun kustannustasoa on pitänyt painaa alaspäin. Heidän mukaansa vain tehokas ja hyvinhoidettu logistiikkafunktio pystyy takaamaan tasaisen ja joustavan valmistuksen monituoteympäristössä. Sen tavoitteen saavuttamiseksi supermarket-varastot ovat tuotannon ja logistiikan rajapintaan paras tarjolla oleva lean-henkinen ratkaisu, jolla mahdollistetaan järkevimmin osien täydennys valmistusvaiheille pienissä erissä.

Lisäksi Emde & Boysen (2011) nostavat esiin materiaalitasoriskin ja tuottavuuden vastakkainasettelun komponenttitäydennyksen näkökulmasta: Varastotasojen nostaminen tuotantopisteillä kasvattaa liikennettä tehdaslattialla ja siten myös välittömiä materiaalin käsittely- ja pitokustannuksia, mikä korostaa tehokkaan materiaalitäydennysprosessin vaikutusta tuotannon kokonaiskustannuksiin. Tavaramäärää rajoittavat ja helposti täydennettävät supermarket-varastot ovat oiva keino minimoida tuotantolattian varastotasot ja kaukaa keskusvarastosta tulevien suurten kertaerien määrä. Varastotasojen ja toimitusvarmuuden välinen optimointiongelma onkin supermarket-tutkimuksen ydinkysymys. Käytännössä kaikki tähän tutkimukseen löydetty kirjallisuus liittyy supermarketien määrän, saldojen ja sijoittelun sekä niihin liittyvän kuljetustavan kokonaiskustannusten optimointiin monimutkaisten mallinnuksien avulla.

Battini et al. (2012) esittää sisälogistiikan prosessissa olevan kolme vaihetta: Varasto, kuljetus ja esillepano tuotantoalueella. Supermarket-varasto on hyvin tyypillinen ratkaisu viimeiseen vaiheeseen eli itse tuotantoaseman ja logistiikan väliseksi rajapinnaksi, kuten voidaan nähdä kuvassa 6. Mitä lähempänä tuotantoasemaa supermarket-varasto sijaitsee, sitä vähemmän kuljettamisen ja materiaalinkäsittelyn aiheuttamaa hukkaa se aiheuttaa tuotannossa. Jos se on integroitu tuotantosoluun, voi operaattori hoitaa osien poimimisen työnsä ohella, eikä erillistä materiaalinkäsittelijää tarvita. Jos taas supermarket sijaitsee tuotantosolujen tai –linjan läheisyydessä palvellen useampaa työpistettä, tarvitaan osien keräilemiseksi ja kuljettamiseksi operaattorin työaika tai tuotantosyklin ulkopuolinen työntekijäresurssi kuten tuotannon materiaalinkäsittelijä. Tuotantopisteen ulkopuoliset supermarket-varastot ovat käytännöllisiä prosesseissa, joissa kokoonpanon komponentit kannattaa kuljettaa soluun valmistussekvenssin mukaisissa ki-teissä (Battini et al., 2009; Baudin, 2002, s. 190). Tällöin materiaalinkäsittelijä hoitaa kittaamisen keräilyn ohessa.



**Kuva 6: Supermarket-varastojen toimintaperiaate sisälogistiikassa (mukaeltu: Caputo & Belagage, 2010)**

Konkreettisesti supermarket-varastot ovat tyypillisesti rakenteeltaan kitkaliittimillä toisiinsa yhdistettyjä muovi- tai teräsputkia. Putkista tehty kehikko on liikuteltavissa pyörien päällä, mikä korostaa lean-henkistä joustavuutta; supermarketin paikkaa on helppo vaihtaa muun layoutin mukana. Kehikon sisällä on takaa eteenpäin kaltevasti asetettuja rullaratoja, jotta niille asetetut komponenttilaatikot liukuvat gravitaation voimalla varaston etureunaan käyttäjän ulottuville. Materiaaleja on laatikoissa aina ennalta sovittu määrä, joka vastaa nimikkeen kanban-korttia. Leanin visuaalisen johtamisen hengessä supermarketin täydennystarve on nähtävissä yhdellä silmäyksellä, kunhan kullekin radalle sijoitettujen laatikoiden määrä on vakioitu. Samalla se käytännössä eliminoi osien laskemistarpeen ja siten helpottaa inventointia. Laatikoiden koko ja määrä on optimoitu tarpeen mukaan. Yleensä supermarket-varastoon sijoitetut osat ovat nopeakiertoisia A-nimikkeitä (Pleasant, 2012). Kuvassa 7 on nähtävillä Yrityksen eräs solun ulkopuolella oleva hyvin perinteinen supermarket-varasto. Soluun integroitu supermarket-varasto on puolestaan nähtävissä kuvassa 24.



**Kuva 7: Tyypillinen supermarket-varasto**

Materiaalinen pitäminen käsin liikuteltavissa muovilaatikoissa on supermarket-varastoille hyvin olennaista, sillä se edesauttaa tavaroiden virtauksen ylläpitämistä ja ennen kaikkea helpottaa niiden käsittelyä. Materiaalien kuljettaminen pienissä erissä säästää tilantarvetta, ja vähentää laivojen ja trukkien käyttöä tuotantotiloissa. Takaa täytettävät rullaradat ovat myös hyvin yksinkertainen tapa ylläpitää FIFO:a varastossa.

Tyypillisesti materiaalien kuljettaminen tuotannossa nähdään arvoa tuottamattomana työnä. Baudin (2002, s. 175) kuitenkin väittää, että materiaalien järkevään esillepanoon supermarketteihin käytetty vaiva lisää arvoa prosessin asiakkaan eli kokoonpanotiimin näkökulmasta, vaikka loppuasiakas ei siitä maksakaan. Hyvänä vertauskohteena hän pitää kuluttajia, jotka ovat valmiita maksamaan hyödykkeistä enemmän, kun ne saa kaikki ostettua samasta isosta marketista verrattuna siihen, että heidän pitää käydä hakemassa samat tuotteet useasta eri paikasta halvemmalla.

Materiaalien esillepanon optimoinniksi Baudin (2002, s. 187) ehdottaa yhden kappaleen esillepanometodin käyttöä. Se tarkoittaa tapaa, jossa hyllystön etureunan käyttö on optimoitu, ja takana oleva tila on vähemmän arvokasta. Koska esille tuodut kappaleet asetetaan pienin mahdollinen särmä ulospäin, ja jokaiselle nimikkeelle varataan vain yksi paikka, saadaan kerralla esille mahdollisimman monta nimikettä. Kyseessä on siis patteristo rinnakkaisia ja päällekkäisiä jonoja. Vain jonojen ensimmäisiin tuotteisiin voidaan tarttua. Kun se otetaan pois, valuu seuraavana jonossa oleva tuote ensimmäisen paikalle. Täyttö hoidetaan takaa. Nimikkeiden paikkojen merkitsemiseen Baudinilla (2002, s. 240) on hyvä muistisääntö: Kopioi menetelmä lähimmästä ruokakaupasta.

Kaiken kaikkiaan supermarket-varastot ovat toimiva nykyaikainen ratkaisu, jolla saadaan oikein tehtynä parannettua huomattavasti materiaalien virtausta tehdaslattialla sekä hillittyä varastotasoja tuotantopisteissä. Golz et al. (2011) mukaan parhaimmillaan moderni supermarket-varastoihin perustuva materiaalintäydennysjärjestelmä toimii tasaisemmin, pienemmällä työntekijämäärällä sekä vähemmällä materiaalinkäsittelylaitteilla kuin puhtaasti perinteiset keskitetyt varastojärjestelmät. Tästä osoituksena esimerkiksi Wong & Wongin (2010) tutkimus liittyen malesialaisten elektroniikkasopimusvalmistajien lean-implementointi-prosesseihin. Analysoimistaan neljästä yhtiöstä kolme oli ottanut supermarket-varastot käyttöön, ja kaikki olivat saaneet poikkeuksetta positiivisia tuloksia. Suuremman määrän elektroniikkavalmistajien lean-käyttöönottoprosesseja tutkineet Doolen & Hacker (2005) puolestaan eivät puhuneet supermarket-varastoista mitään.

## **2.5. Tuotantosolun materiaalitäydennys**

Baudin (2002, s. 8) toteaa, että materiaalitäydennys on tärkein yksittäinen kokoonpanoprosessin tuottavuuteen vaikuttava tekijä kahdesta syystä: Ensinnäkin yksikin puuttuva osa pysäyttää tuotannon ja toisekseen jokainen sekunti, joka operaattorilla kuluu materiaalien käsittelyyn, on pois kokoonpanotyöstä. Operaattorin työ lisää tuotteeseen enemmän asiakasarvoa kuin keräilijän tai materiaalinkäsittelijän, joten operaattorin tehokas työaika pitää maksimoida. Sama ajatus on myös lähtökohtainen vastaus ensimmäiseen tutkimuskysymykseen: Siirtämällä materiaalinkäsittelysuoritteita operaattoreilta keräilijöille tai tuotannonalaiselle materiaalihenkilölle, saadaan operaattorin arvoa tuottavan työajan osuutta lisättyä ja siten valmistettua tuotteita tai enemmän aikayksikköä kohti materiaalitäydennysprosessin vaarantumatta.

### **2.5.1. Solun täydentäminen**

Operaattorin ja keräilijän välinen rajapinta, jota tässä luvussa käsitellään, on saapuvan logistiikan viimeinen vaihe ja siten vain pieni osa koko materiaalitäydennysprosessia. Useita toimitusketjutason toimittajiin, toimitustapaan ja pakkauksiin liittyviä päätöksiä,



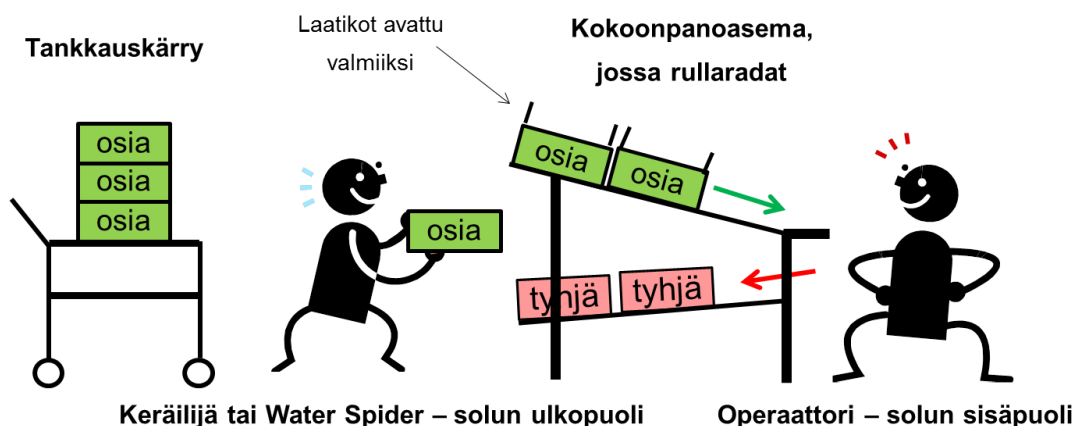
joilla voidaan helposti optimoida tai pilata lattiataason materiaalinhallinnan tehokkuus, tehdään poissa tuotantotiloista ylemmissä johtoportaisissa. Pelkästään parantamalla tuotannon, hankinnan, varaston ja oston välistä yhteistyötä liittyen alihankkijoilta tulevien toimitusten taajuuteen, pakkauskokoihin ja malleihin voidaan helposti löytää saapuvan logistiikan prosesseista paljon kehityspotentiaalia, jonka valjastamalla voidaan välillisesti parantaa myös valmistuksen tuottavuutta. Battini et al. (2012) kirjoittaa sisälogistiikan ja muiden osastojen rajapinnoista korostaen erityisesti tuotannon yhteistyötä eturistiriitatilanteissa sourcingin ja markkinoinnin kanssa. Esimerkiksi Iyer et al. (2009, s. 22) esittämä perinteinen tuotannon näkökulmasta ideaalinen toimitustapa eli suuri taajuus, pieni erä koko sekä synkrointi tuotantotahtiin vaatii toimittajilta ja varastolta veynymistä sekä ostoprosessien automatisointia. Vastaavasti markkinoinnille ja myynnille olisi edullista tehdä tuotteista paljon eri konfiguraatioita ja variaatioita asiakkaiden toiveiden mukaan. Tämä kasvattaa nimikemäärää, mikä hankaloittaa tuotannon ja logistiikan työtä (Battini et al., 2012).

Rother & Harrisin (2001, s. 45) mukaan tuotannon materiaalitäydennyksen pääsääntönä on tuoda osat ja komponentit täsmälleen niiden lopulliselle kokoonpanopaikalle. Tuotannon kannalta on merkittävä ero, tuleeko komponentti suoraan asentajan käteen oikeaan aikaan oikeanlaisessa pakkauksessa vai pitääkö se hakea muutaman metrin päästä supermarket-varastosta, ja avata sen kuljetuspakkaus. Baudinin (2002, s. 174) sanoin koko valmistusprosessin kannalta ajateltuna materiaalinkäsittelijöiden palvelun laatu on paljon tärkeämpää kuin heidän työsuoritteensa resurssitehokkuuden optimointi.

Täydennysprosessin tehokkuus ei kuitenkaan ole mitätön asia. Rother & Harris (2001, s. 45) mukaan solussa ei tarvitsisi olla kuin noin kahden tunnin tuotantoa vastaavat tavarat kerrallaan. Se asettaa myös vaatimuksia sisälogistiikan prosesseille, sillä niin tiheällä tilaussyklillä varsinkin useamman solun tilanteessa materiaaleja käsittelevillä henkilöillä on jatkuvasti kädet täynnä töitä. Täydennysprosessissakin pitäisi lean-hengessä pyrkiä hukkan poistoon eli esimerkiksi minimoida kävely, odottelu ja ilman kuljettaminen. Toisaalta kanban-periaatteen mukaisesti mitään ei saisi tuoda, mitä ei ole varta vasten tilattu. Tärkeintä olisikin miettiä tuotantosolua ja materiaalitäydennysprosessia yhtenä tiiviinä kehitettävänä kokonaisuutena, eikä kahtena irrallisena prosessina.

Solun suunnittelulla pitää huolehtia siitä, että materiaalit eivät kuitenkaan tule operaattoreiden kulkureiteille, eikä materiaalihenkilön tarvitsisi tulla solun sisäpuolelle. Optimaalinen tapa materiaalien syöttöön solussa tapahtuvassa kevyessä kokoonpanotyössä on käyttää gravitaatiolla toimivia rullaratoja kuvan 8 mukaan. Siten materiaalit saadaan syötettyä solun ulkopuolelta valuen suoraan operaattorin työtason eteen. Operaattorin ei tarvitse pitää osia käsissään, mikä vapauttaa molemmat kädet arvoa tuottavaan työhön eli parhaimmillaan kaksinkertaistaa työtehon. Osalaatikon tyhjentyessä operaattori nos-

taa sen nopeasti pois rullaradalta työtason alapuolella olevalle palautusradalle, jota pitkin se valuu solun.



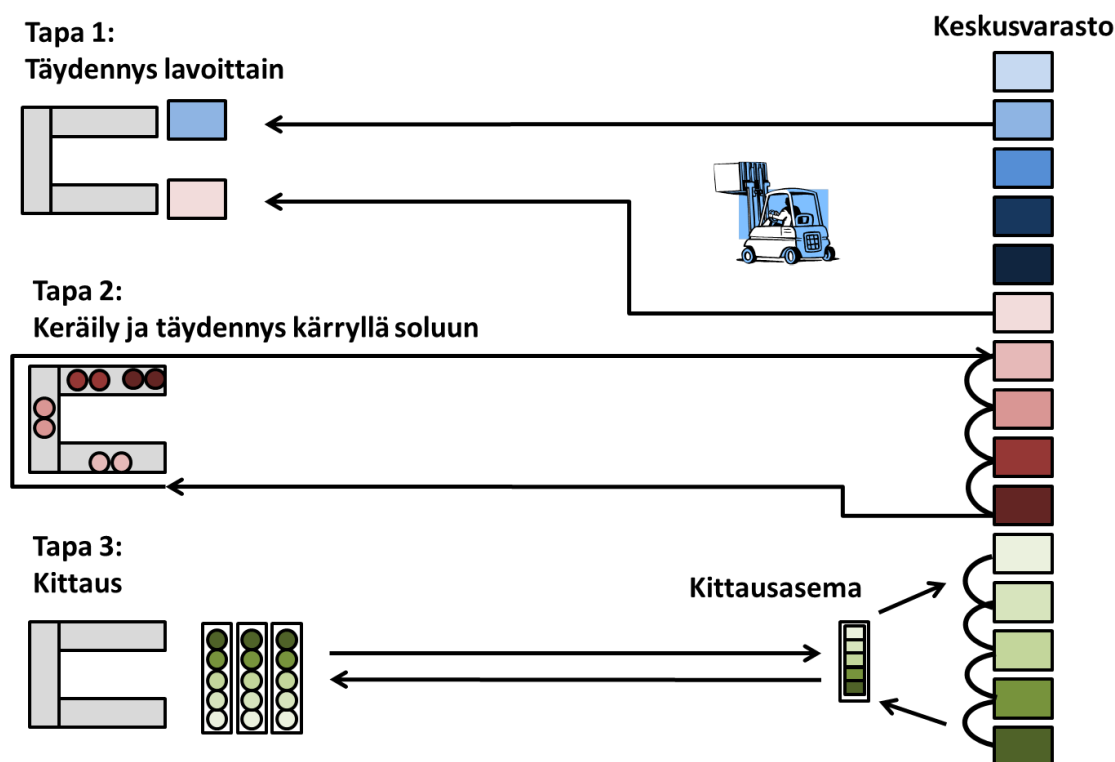
**Kuva 8: Tuotantosolun materiaalitäydennyksen pääperiaate (mukaeltu: Rother & Harris, 2001, s. 47)**

Baudin (2002, s. 171) korostaa sitä, että tavaroiden oikea esillepano solussa vaikuttaa kokonaisvaltaisesti operaattorin työn tehokkuuteen ja laatuun. Materiaaleja tuovan henkilön pitää avata paketti valmiiksi ennen asettamista soluun sekä varmistaa, että se asetetaan operaattorille oikein päin. Ideaalinen osalaatikko olisi palautettava kiertolaatikko, eli se palautuisi toimittajalle seuraavaa toimituserää varten jätteen vähentämiseksi. Lisäksi siinä olisi komponenteille yksittäiset kolot, mikä helpottaa laskemista ja vähentää osien kolisemista toisiaan vasten. Pakkauskoko pitää optimoida joko operaattorin mukavuuden kannalta tai täsmätä se valmistuneiden tuotteiden määrään jollain sopivalla monikerralla (Rother & Harris, 2001, s. 45).

Keskenään samankaltaiset osat kannattaa erotella jollain tahattomia virheitä estävällä poka-yoke-menetelmällä, jotta operaattori ei vahingossa erehdy poimimaan väärää osaa, ja siten laittamaan virheellistä kokoonpanoa prosessissa eteenpäin. Baudinin (2002, s. 223) mukaan virheelliset keräilyt ja poiminnot ovat nykypäivän kokoonpanoprosessien suurin yksittäinen virhelähde, ja sen merkitys vain korostuu tuotevariaatioiden ja komponenttien määrän kasvaessa. Toisaalta tuotannon kannalta olisi järkevää pitää riittävästi eri variaatioiden osia solussa operaattorin välittömässä läheisyydessä vaihto- ja asetusajkojen minimoimiseksi.

### 2.5.2. Materiaalin kuljettaminen soluun

Baudin (2002, s. 207), Caputo & Pelagagge (2010) sekä Battini et al. (2009) kaikki esittelevät kolme pääasiallista tapaa tuotantosolun ja tuotantolinjan asemien täyttämiseen, jotka on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9: Erilaiset materiaalinkuljetustavat solun ja varaston välillä. Mukaeltu: Battini et al., (2009)

Ensimmäisessä koko solun ympärillä on materiaalikäytävä, jota pitkin materiaalinkäsittelyhenkilö kulkee täyttäen asemia joko pienissä laatikoissa tai kokonaisilla tavaralavoilla trukin avulla. Huonona puolena käytävässä on, että se vie paljon lattiatilaa sekä vyöryttää pakkausten avaamis- ja tuotteiden poimimisvastuun operaattorille. Tyypillisesti soluun varastoidaan näin suurimennekkisiä ja bulk-osia kuten pahveja, pultteja ja muttereita.

Toisessa vaihtoehdossa tavarat tulevat keskusvarastosta solun lähellä olevaan supermarketiin kanban- ja JIT-periaattella, josta tuotannon materiaalinkäsittelijä kuljettaa keräilylistan perusteella oikeat osat laatikoissa soluun työasemille joko käsin tai kärryllä. Tämä skenaario säästää tilaa, mutta vaatii materiaalinkäsittelijän työtehtävän perustamisen.

Kolmas vaihtoehto on samankaltainen kuin toinen, mutta sen lisäksi materiaalinkäsittelijä kittaa osat valmiiksi operaattoreita varten. Sen huonona puolena on materiaalien moninkertainen käsittely sekä huono viansieto. Kitissä oleva epäkelppo osa aiheuttaa paljon enemmän päänvaivaa kuin rullaradan monikappalelaatikosta otettava, jonka voi vain yksinkertaisesti laittaa sivuun viallisille osille sovittuun paikkaan. Kittaaminen voi tietynlaisissa prosesseissa tehostaa kokoonpanoa valtavasti, kun operaattoreiden poimimistarve katoaa. Kittien kokoaminen kasvattaa kuitenkin työvoimakustannuksia, joten kittaaminen on parhaiten perusteltua joko matalan palkkatason maissa tai tuotantoympäris-

töissä, joissa keskenään erilaisten osien määrä on suuri ja hinta verraten korkea (Caputo & Pelagagge, 2010).

Vertaillen kolme edellämainittua tapaa kokonaiskustannusten näkökulmasta päätyivät Battini et al. (2009) tulokseen, jossa kittaus on paras vaihtoehto pienille eräko'oilte, isoille kokonaisten trukkilavojen kuljetus ja keskikokoisille supermarket-varastoihin perustuva kärry hyödyntävä täydennys. Jos tehtaassa oli paljon rinnakkaisia linjoja tai soluja, nousi supermarket ja kärry parhaaksi ratkaisuksi. Caputo & Pelagagge (2010) puolestaan ajattelevat asiaa laajemmin todeten, että yllämainituista kolmesta tavasta mikään ei absoluuttisesti voi nousta parhaaksi ainoaksi toteutukseksi kaikille komponenteille. He ehdottavatkin, että tuotantojärjestelmässä materiaalitäydennys toteutettaisiin hybridinä hyödyntäen kerrallaan ainakin kahta edellä mainituista tavoista parhaiten niille luontuville komponenteille; esimerkiksi A-nimikkeet kitattaisiin ja hidaskiertoisemmat B- ja C-nimikkeet täydennettäisiin hyödyntäen kanbania. Vaikka käytännössä täydennys tehostuisi, on kuitenkin tämän järjestelmän haittapuolena se, että kahta erilaista systeemiä on vaikeampi hallita ja ohjata samanaikaisesti kuin yhtä.

### 2.5.3. Tuotannon materiaalinkäsittelijä – Water Spider

Kaikkien lean-käsitteiden joukossa tuotannon materiaalinkäsittelijä (water spider, eng.) on yksinäinen poikkeus, sillä abstraktin konseptin sijaan se on käytännössä konkreettinen ihmiselle tarkoitettu työtehtävä. Baudinin (2002, s. 189) mukaan materiaalinkäsittelijän tärkeimpiä tehtäviä ovat esimerkiksi:

- Materiaalipakkausten purkaminen
- Materiaalitilausten tekeminen keskusvarastosta
- Supermarketien täyttäminen
- Kittien kokoaminen yksittäiskomponenteista
- Erityisesti tuotantolinjan tai solujen työasemien täyttö.

Käytännössä materiaalinkäsittelijän pitää säännöllisesti kulkea supermarket-varastojen ja solujen välillä. Jos operaattori joutuu tekemään näitä tehtäviä, joutuu hän aina poistumaan solusta, mikä käytännössä tarkoittaa tuotannon väliaikaista katkeamista tai ainakin hidastumista. Solun rakenne pitää suunnitella myös materiaalinkäsittelijän työn optimoimiseksi, kohdassa 2.5.1 osoitettujen keinojen mukaisesti. Pisteet osien jättämiselle ja noutamiselle pitää olla helposti ja nopeasti käsillä.

Tuotannon materiaalinkäsittelijän työnkuva ei kuitenkaan ole niin yksinkertainen, että se rajoittuisi pelkästään materiaalinkäsittelyyn. Elektriikkateollisuutta tutkineet Wong & Wong (2010) tiivistävät asian osuvasti: ”*Kyseessä on henkilö, joka tukee tuotantoa siten, että operaattorit voivat keskittyä vain arvoa tuottavan työn tekemiseen.*” Käytän-

nössä se tarkoittaa kokonaisvaltaisemmin tuotannon hukan ennaltaehkäisyä ja eliminointia kuin pelkkää materiaalivirran ylläpitoa. Tuotantoprosessien hukkaa tuottavat vaiheet pitää löytää, ja keskittää ne materiaalinkäsittelijän hoidettavaksi. Periaatteessa erillinen materiaalinkäsittelijä ei tee juurikaan arvoa tuottavaa työtä mutta maksaa itsensä takaisin sillä, että operaattorit pystyvät käyttämään työaikansa paljon tehokkaammin oleellisiin työsuoritteisiin, mikä myös tuo toisen potentiaalisen sovelluskohteen vastamaan tämän diplomityöprojektin ensimmäisen tutkimuskysymyksen haasteeseen, eli ylimääräisten materiaalinkäsittelysuoritteiden ottamiseen pois operaattoreiden vastuulta tuottavuuden parantamiseksi.

Tuotantosolu ympäristössä materiaalinkäsittelijän työnkuvaan voi kuulua päätehtävän eli materiaalitäydennysten lisäksi esimerkiksi 1) avustaa esimerkiksi laitteiden asetusoperaatioissa tuotekonfiguraation vaihtuessa, 2) tauottaa operaattoreita taukojen ajan, 3) hoitaa kanban-korttien käsittely, 4) ylläpitää solun 5S:ää, 5) kuljettaa valmiita tuotteita prosessissa eteenpäin sekä 6) palauttaa tyhjiä osalaatikoita pois solusta logistiikalle. Lisäksi materiaalinkäsittelijän vastuulle voidaan antaa myös osittain tiiminjohdollisia tehtäviä kuten uusien työntekijöiden opastamista sekä tuotanto- ja visuaalisten mittaristojen ylläpitoa. (Baudin, 2002, s. 189; Miller, 2010)

Tehtävänkuvan vaatimuksiin pohjautuen materiaalinkäsittelijän pitää olla erittäin kokenut, oma-aloitteinen ja moniosaava työntekijä. Hänen pitää sisäistää ja ymmärtää tauottamisen onnistumiseksi luonnollisesti itse kokoonpanotyö solussa, kaikki käytettävät menetelmät ja työkalut, solun vaatimukset osien esillepanoon ja täyttäjien ajoitukseen sekä tietää paljon komponenteista, niiden ominaisuuksista ja käsittelystä. Kaikessa mukana olevien materiaalinkäsittelijöiden hiljainen tieto tuotantoprosesseista on kullannarvoista, ja sitä pitäisi ehdottomasti osata hyödyntää myös johtaja- ja insinööritasolla kaizeneissa ja tuotannonkehitysprojekteissa.

## **2.6. Keskitetty ja hajautettu varastostrategia**

Sisälogistiikassa tuotantosolujen täydennystavan ohella toinen merkittävä strateginen päätös koskee varastojen tyyppin ja sijaintien valintaa. Varastointiratkaisulla on hyvin suuri rooli sisälogistiikan varastointi- ja kuljetuskustannusten summasta muodostuvien kokonaiskustannusten minimoinnissa, sillä se korreloi suoraan niin työvoiman tarpeeseen, laitehankintoihin sekä tehtaan pohjaratkaisun suunnitteluun (Battini et al., 2009). Varastostrategia vaikuttaa materiaalivirtoihin merkittävästi niin prosessin ylä- kuin alavirtaankin. Sisälogistiikan jakelu- eli solujen täydennystapa ja varastoratkaisu ovat toisistaan hyvin riippuvaisia (Battini et al., 2010). Lisäksi toimittajastrategiaa pitää myös pohtia valitun varastointiratkaisun näkökulmasta. Esimerkiksi pienet ja hajautetut varastot eivät tue suurissa erissä tulevia toimituksia.

Käytännössä varastot voidaan hajauttaa ympäriinsä supermarket-varastoihin, keskittää yhteen keskusvarastoon tai käyttää näiden yhdistelmää. Molemmissa ääripäissä on sekä hyvät ja huonot puolensa, jotka riippuvat voimakkaasti ympäröivistä olosuhteista. Wanke & Zinn (2003) korostavat varsinaista valintapäätöstä tehdessä, että mitään päätöstä ei pidä tehdä vain yhden yllämainitun ominaispiirteen näkökulmasta, vaan asiaa pitää aina tutkia ja optimoida laajemmin, sillä monet listatuista asioista ovat voimakkaasti keskenään riippuvaisia. Alla olevaan taulukkoon 2 on koottu alan kirjallisuudesta koostettuja, yritystasolla hajautuspäätökseen vaikuttavia elementtejä:

**Taulukko 2: Varastojen hajauttamispäätökseen vaikuttavia tekijöitä**

<b>Tutkimus:</b>	<b>Esiinnostetut attribuutit:</b>
Battini et al. (2009)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yrityksen komponenttikohtainen volyyymi</li> <li>• Osien arvo ja koko</li> <li>• Tuotantoalueen vapaa tila</li> <li>• Tyypillinen kuljetuseräkkö</li> </ul>
Caputo & Pelagagge (2010)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotteiden tyyppi</li> <li>• Tuotannon pullonkaulat</li> <li>• Yrityksen omat toimintatavat ja perinteet</li> </ul>
Wanke & Zinn (2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asiakastoimitusaika</li> <li>• Kysyntäprofiili</li> </ul>

Suuren keskitetyn varaston etuina ovat varastoinnin näkökulmasta alhaisemmat yksikkökustannukset, koska siten voidaan hyödyntää mittakaavaetua. Keskusvarastoon mahtuu tavaroita suuremmissa erissä, eli samalla työ- ja laitemäärällä saadaan siirrettyä enemmän yksiköitä (Simchi-Levi et al., 2009, s. 52). Battini et al. (2009) lisäävät vielä keskitetyn ratkaisun hyödyiksi kyvyn varastoida suurempi nimikemäärä sekä pienentyneen tilantarpeen tuotanto-osastolla, jossa tila on Emde & Boysenin (2011) mukaan kaikista arvokkainta ja niukinta.

Simchi-Levi et al. (2009, s. 51) mukaan keskitetty varasto pienentää järjestelmässä tarvittavia varastotasojä, koska samalla myös riskit keskittyvät. He perustelevat asiaa matemaattisesti: Varastosaldo aikayksikköä kohti on kysynnän sekä määrätyn kokoisen varmuusvaraston summa. Kysynnän vaihtelut vaimentuvat niiden kohdistuessa yhteen paikkaan, koska tyypillisesti tietyllä aikavälillä tavallista enemmän tarvitsevaa asiakasta vastaa joku, joka tarvitsee nimikkeitä keskimääräistä vähemmän. Kysynnän keskihajonta pienenee, mikä on suoraan verrannollinen varmuusvaraston kokoon, ja siten tarvittava kokonaissaldo pienenee samassa suhteessa. Toisin sanoen tasaisemmin jakaantuneen kysynnän ansiosta keskitetty ratkaisu on toimitusvarmuudessa hajautettua parempi, eli tavarat loppuvat epätodennäköisemmin.

Keskitetyn varastoratkaisun heikkoutena on sen käyttämien suurten eräkokojen aiheuttama joustavuuden puute ja materiaalinkäsittelyn kömpelyys (Battini et al., 2009). Keskusvarastosta tuotantosoluille on yleensä pitkä matka, minkä takia täydennyskierrroksia on harvemmin ja kerralla viedään paljon tavaraa (Battini et al., 2012). Wanke & Zinn (2003) toisaalta korostavat, että varsinkin kauttaaltaan halpojen ja yksinkertaisten nimikkeiden ollessa kyseessä on kuljetuskustannusten minimoinnilla merkitystä kokonaiskustannusten kannalta. Iso tavaramäärä vaatii isot materiaalinkäsittelylaitteet, mikä johtaa myös suuriin tavaramääriin tuotantopisteillä eli kasvattaa KET:n arvoa. Se puolestaan johtaa operaattorin kasvaneeseen materiaalinkäsittelytarpeeseen, mikä on pois hänen arvoa tuottavasta ajankäytöstään. Emde & Boysen (2011) tuovat esiin myös pitkän välimatkan aiheuttaman haitan yllättävissä tilanteissa. Esimerkiksi yksi keskusvarastotilauksesta unohtunut nimike aiheuttaa huomattavasti enemmän vaivaa kuin hajautettujen varastojen tilanteessa.

Hajautettu varasto palvelee tuotantosoluja nopeammin lyhyemmän etäisyyden takia. Emde & Boysenin (2011) mukaan hajautetut varastot mahdollistavat paremmin pieneräkuljetukset supermarketista soluille, mikä pienentää tuotannossa kerrallaan olevaa osamäärää ja nopeuttaa reagointia poikkeustilanteisiin sekä materiaalien kiertoa. Hajautettu varasto onkin kaikin puolin keskitettyä joustavampi. Se kulkee helpommin mukana layout-muutosten sattuessa, sekä niiden oikealla sijoittelulla voidaan mahdollistaa pull- ja JIT-pohjainen täydennysstrategia, mikä on Wanke & Zinnin (2003) mielestä sitä hyödyllisempi, mitä arvokkaammat tuotteet ovat kyseessä. Hajautettujen supermarketien luona materiaalia voidaan vielä käsitellä solun kannalta helpommaksi käsitellä esimerkiksi avaamalla pakkauksia tai laittamalla osat rullaratalaatikoihin (Battini et al., 2009).

Hajautettujen varastojen huono puoli on niiden vaatima tila tuotantoalueelta. Lisäksi niiden varastotasot ovat yhteensä korkeampia kuin keskitetyssä mallissa, koska jokaisella yksittäisellä varastolla täytyy olla oma kysynnän keskihajontaa vastaava varmuusvarasto (Battini et al., 2009; 2012). Vaikutus korostuu vaadittujen esillepanopisteiden määrän kasvun mukana.

Kuljetuskustannusten näkökulmasta keskityn ja hajautetun varastomallin vertailu on hankalaa ja riippuu hyvin paljon tilanteesta. Hajautetussa mallissa varaston ja tuotannon väliset kustannukset ovat pienemmät johtuen lyhyistä välimatkoista. Toisaalta tavarat pitää jotenkin kuljettaa myös näihin hajautettuihin varastoihin, mikä myös aiheuttaa kustannuksia. Keskitetyssä mallissa pitkien matkojen haittoja paikkaa suuremmat kuljetuseräkoot. (Simchi-Levi et al., 2009, s. 52)

Kaiken kaikkiaan voidaan siis sanoa, että varastotyypin oikea valinta on mille tahansa organisaatiolle yksilöllinen ja monimutkainen päätös, jossa pitää ottaa monen sidosryhmän edut ja tarpeet huomioon silti optimoiden kokonaiskustannuksia. Absoluuttisesti

kaikkia yksityiskohtia kuten tilan ja kuljetun matkan hintaa on varmasti varsinkin pienemmällä resursseilla vaikea tutkia, vaikka akateemisessa maailmassa aiheeseen liittyviä matemaattisia mallinnuksia on tehty runsaasti. Varastostrategian valinta on erittäin merkittävä ja kauaskantoinen päätös, jonka seuraukset näkyvät pitkän aikaa. Siksi siihen ja erityisesti sen kanssa hyvin läheisiin solujen täydennysprosessin optimointiin ja suunnitteluun kannattaa panostaa.

## 2.7. Informaatiovirrat tuotantoympäristössä

Informaatioteknologian kehittyminen suurin harppauksin viimeisen kahden vuosikymmenen aikana tuonut paljon uusia mahdollisuuksia tehostaa sekä sisälogistiikan prosesseja kuin myös niihin läheisesti liittyviä tuotannonohjausmenetelmiä. Erityisesti ohjelmistopohjaiset ratkaisut ovat lyöneet itseään läpi, koska ne mahdollistavat nopean ja tarkan reagoinnin sekä siten siirtymisen ketterämpiin prosesseihin (Riezebos & Klingenberg, 2009). Käytännössä jokaisella menestyvällä valmistavalla yrityksellä on käytössään jonkinlainen materiaalinhallinta- ja/tai toiminnanohjausjärjestelmä, joka mahdollistaa reaaliaikaisen informaation välittämisen ja johdonmukaisen raportoinnin logistiikan ja tuotannon välillä.

Lean-filosofian ja informaatioteknologian suhde on varsin ristiriitainen. Historiallisesti se voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa 1970-luvulla, jolloin länsimaissa ei vielä tiedetty lean-tuotannosta mitään, otettiin käyttöön ensimmäisiä ohjelmistopohjaisia materiaalinhallintajärjestelmiä (Material Requirements Planning, MRP). Sen aikaisella toteutuksella ne olivat suuria ja kömpelöitä, eivätkä ne pystyneet vastaamaan kysynnän muutoksiin tai odottamattomiin tilanteisiin, vaan oikeastaan nostivat kustannuksia (Jones et al., 1997). Äkilliset muutokset vaativat aina työlästä manuaalista uudelleenaikataulutusta. MRP-pohjaiset järjestelmät pohjautuvat puhtaasti enustelle, eivätkä vastaa reaaliaikaiseen asiakaskysyntään. Iyer et al. (2009, s. 78) kirjoittaa, että MRP:n huono puoli on se, että komponenttitoimitusten ja asiakastilausten konkreettinen yhteys eli imuohjaus katkeaa. Riezebos et al. (2009) lisää vielä, että MRP on puhdas työntöohjaussysteemi, joka olettaa kapasiteetin olevan rajaton, tuoterakenteen jäykkä eikä se myöskään rajoita mitenkään KET:n määrää tuotannossa.

Leanin synnyinsijoilla Japanissa ei tietotekniikan hyödyntämiseen lähdetty vielä 1970-luvulla mukaan. Sugimori et al. (1977) kirjoittavat kuuluisassa lean-artikkelissaan, että ohjelmistopohjaiset tuotannonohjausjärjestelmät aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia, ylituotantoa ja epävarmuutta. Toyotalla esimerkiksi pitäydyttiin silloin yksinkertaisessa ja toimintavarmassa perinteisessä korttiohjatussa kanban-järjestelmässä. Lean-filosofian rantautuminen länsimaihin 1980-luvulla johti seuraavaan vaiheeseen, jossa IT-



pohjaisten järjestelmien merkitys väheni samalla kun yritykset alkoivat sisäistää lean-ajattelua (Riezebos et al., 2009).

Kolmas vaihe IT:n ja lean-filosofian yhteisessä alkoi 1990-luvulla. Yritysten prosessien monimutkaistuesssa ja tietotekniikan kehittyessä IT-järjestelmien rooli alkoi jälleen korostua. MRP-järjestelmät alkoivat paisua, kun niihin alettiin materiaalitaipeiden ohjaamisen lisäksi liittää uusia toimintoja kuten kapasiteettisuunnittelu ja tuotannon aikataulutus. MRP:n seuraavaa evoluutiota alettiin kutsua Manufacturing Resource Planning-ohjelmistoksi. Koska senkin lyhenne oli MRP, nimettiin järjestelmät loogisesti MRP1 ja MRP2:ksi. Kun MRP2:een tuli lisäksi moduleita henkilöstöhallinnan, tuotekehityksen, projektien ohjauksen ja kassanhallinnan tarpeisiin, vakiintui uudeksi termiksi ERP (Enterprise Resource Planning). (Riezebos et al., 2009; Fernandes & Filho, 2011; Al Mashari, 2002)

ERP:n käyttöönotosta tuli yrityksille kilpailuedun sijasta kilpailukykytekijä, koska järjestelmät alkoivat sisäistää oletuksena kulloisetkin parhaimmat käytännöt ja standardit liiketoimintaprosessien pyörittämiseen (Al-Mashari, 2002). Koska myös lean-ajattelun omaksuneet yritykset alkoivat ottaa käyttöön ERP-järjestelmiä, uusi käänne olikin alkaa muokata ERP-järjestelmiä huomioimaan lean-yritysten tarpeet. Yritykset alkoivat hyödyntää ERP:iä esimerkiksi tavaran tilaamiseen toimittajilta yhteisen EDI-rajapinnan (Electronic Data Interchange) yli siten, että toimittajan lähetykset synkronoitiin yrityksen omien tuotanto- ja sisälogistiikkaprosessien JIT- ja kanban-prosesseihin (Wan & Chen, 2007). Riezebos et al. (2009) mukaan vastaavat ERP-kanban-hybridiohjelmistot ovat sittemmin vakiintuneet laajasti nykyaikaisessa teollisuudessa. Kiteytettynä siis 30 vuodessa lean-ajattelu ja IT-järjestelmät ovat muuttuneet erillisistä kilpailevista järjestelmistä toisiaan tukeviksi.

Informaation merkityksestä prosessien tehostamiseen on tehty valtavasti tutkimusta, jonka yleisesti hyväksyttynä tuloksena on, että informaatiovirtojen sähköistamisellä voidaan saavuttaa merkittäviä parannuksia (Forza & Salvador, 2000). Myös IT:tä karastaneet Sugimori et al. (1977) korostivat informaation merkitystä kirjoittamalla, että Pull- ja JIT-tuotanto perustuu oletukseen, että prosessit saavat jatkuvasti tarkkaa tietoa kysynnän ajoituksesta ja määrästä. Iyer et al. (2009, s. 152) kääntävät saman ajatuksen toisinpäin kirjoittaessaan, että pull-systeemin tarkoituksena on saada tuotanto vastaamaan kysyntään yhdistämällä toimitusketjun materiaali- ja informaatiovirrat. Lean-asiantuntija Liker (2004, s. 37) korostaa jatkuvan parantamisen näkökulmaa kirjoittamalla, että informaatiovirtaa tarvitaan yhdistämään eri prosessit ja niiden työntekijät, jotta prosesseissa olevat ongelmat saadaan paljastettua mahdollisimman nopeasti. Simchi-Levi et al., 2009, s. 168) vahvistavat samaa väittämää sanoen, että reaaliaikainen tieto lisää luottamusta virtauksen naapuriprosesseihin ja siten edesauttaa siirtymistä kohti

yhden kappaleen virtausta. Parhaiten informaation roolin tuotannon kiteyttävät kuitenkin Harrison & van Hoek (2011, s. 15), jotka sanovat runollisesti informaation olevan kuin liima, joka sitoo prosessin eri palaset yhteen, jotta tuotantoa ja logistiikkaa voidaan koordinoida yhtenä kokonaisuutena asiakaskysyntään vastaamiseksi parhaalla mahdollisella tavalla. Baudin (2004, s. 27) puolestaan tähdentää käytännönläheisesti lean-logistiikan informaatiojärjestelmien olevan yhdistelmä visuaalisen johtamisen työkaluja ja IT-järjestelmiä.

Lean-tuotanto on muutenkin muuttanut informaation laatua ja informaatiojärjestelmien arkkitehtuuria tuotantoympäristössä. Riezebos et al. (2001, s. 213) mukaan solutuotanto vei valtaa pois keskitetyltä tiedonhallinnalta. Tuotannon suunnittelu, työjonon hallinta, kapasiteetin ohjaus ja materiaalien koordinointi ovat siirtyneet keskitetystä työnohjauksesta hajautetusti solutasolle. Tuotantosolupohjaisessa valmistuksessa organisaatiotasolla horisontaaliset informaatiovirrat korostuvat, koska työntekijät ovat aiempaa enemmän tekemisissä prosessin sisäisten asiakkaiden ja toimittajien kanssa. Se mahdollistaa nopeamman tiedonvälityksen, minkä avulla ongelmat havaitaan ja niihin voidaan reagoida nopeasti, mikä tasapainottaa tuotantoprosessin virtausta. Perinteinen keskitetty tapa käsitellä informaatiota ylikuormittaa esimiehiä, lisää unohduksen ja laiminlyönnin riskiä, pidentää reaktioaikoja sekä jättää huomioimatta työntekijöiden omia havaintoja. (Forza & Salvador, 2000)

### **2.7.1. Informaatio tuotantosolujen materiaalitäydennyksessä**

Informaation merkitys tuotantoprosessien kehittämiseen tulee hyvin esiin Lage & Godinhon (2010) tutkimuksesta, jossa he kävivät läpi 32 erilaista akateemisesta kirjallisuudesta löytämäänsä kanban-variaatiota. Tulokseksi he saivat, että yli 80% heidän tutkimistaan variaatioista oli keskittynyt informaatiovirran ja tilaussignaalin välittämisen parantamiseen verrattuna alkuperäiseen kanban-logiikkaan. Materiaalinhallinnassa kanban on yhä tänä päivänä erittäin toimiva menetelmä, mutta laaja tutkimuspohja osoittaa, että siinä on myös parantamispotentiaalia. Lage & Godinhon (2010) tutkimista kanban-variaatioista monipuolisimmat tulevaisuuden soveltamismahdollisuudet ovat ERP-synkronoidulla e-kanbanilla. Siitä kirjoitetaan tarkemmin seuraavassa luvussa 2.7.2 ja 2.7.3.

Informaatiota voidaan käsitellä ja hyödyntää monin eri tavoin tuotantoympäristössä. Simchi-Levi et al. (2009, s. 170) sanovat, että myös liika informaation jakaminen voi olla haitallista, koska tiedon arvo laskee sen määrän funktiona. Heidän mukaansa vain pieni määrä vaihdetusta informaatiosta tuottaa suurimman osan arvosta pareto-säännön mukaisesti. Optimaalisen informaatiotason löytämiseksi ja epäoleellisen tiedon suodattamiseksi lean-filosofiassa paljon käytetty tapa nopeaan ja luotettavaan informaation

välittämiseen on hyödyntää tuotannossa visuaalisia indikaattoreita kuten valoja ja värejä (Liker, 2004, s. 157-158; Forza & Salvador, 2000).

Moniportaisen toimitusketjun mittakaavassa Simchi-Levi et al. (2009, s. 158) mukaan informaation keskittäminen puolestaan ehdottomasti kannattaa. Heidän mukaansa keskitetty informaationhallinta mahdollistaa reaalisen kysyntätiedon jakamisen pitkin koko toimitusketjua, mikä mahdollistaa piiskavaikutuksen (bullwhip effect, eng.) minimoimisen ja siten virtauksen tasoittamisen. Hajautettu informaatio toimitusketjussa johtaa jokaisen portaan oman toiminnan osaoptimointiin ja ennusteperusteisiin työntöohjattuihin toimintoihin, mikä on vasten lean-ajattelua. Toimitusketjussa keskitetyn informaation hyödyt vain korostuvat mitä isommat ovat kysynnän varianssi ja pidempi läpimenoaika, ja mitä enemmän vaiheita ketjussa on (Simchi-Levi et al., 2009, s. 158; Riezebos et al., 2009).

Tuotantoprosessin kokonaistehokkuuden ja erityisesti sisälogistiikan näkökulmasta informaation välityksellä toimittajarajapinnassa on suuri merkitys. Sähköiseksi muuttunut EDI-pohjainen tilaaminen on lyhentänyt huomattavasti tilausten käsittelyaikoja sekä asiakkailta että toimittajilta, ja esimerkiksi cross-dockingin, strategisten kumppanuuksien ja VMI:n ansiosta nopeutuneet toimitukset ovat tihentäneet toimitussyklejä (Simchi-Levi, 2009, s. 162). Se on mahdollistanut varastotasojen pienentämisen ja siten siirtymisen hajautettuun varastojärjestelmään. Kuten jo luvussa 2.1 on tuotu esiin, on prosessi tullut vastaavasti hauraammaksi ja herkemmäksi ongelmille. Niiden ennaltaehkäisyssä on nopealla reagoinnilla ja sujuvalla informaation kululla merkittävä rooli. Monimutkaiset ja hajautetut kommunikaatiomenetelmät aiheuttavat tiedon tuplaantumista, mikä kuormittaa henkilöstöä ja vaikeuttaa toimitusten koordinoitua (Forza & Salvador, 2000). Toimittajarajapinnan informaatioprosessit ovatkin varsin sekalainen ja laaja kokonaisuus, jota on paljon jo tutkittu, mutta joka omaa yhä paljon potentiaalia. Esimerkiksi Riezebos et al. (2009) suosittelevat IT:tä ja lean-filosofiaa käsittelevät artikkelinsa päätteeksi jatkotutkimuksia liittyen IT:n rooliin lean-toimitusketjussa.

Tehdaslattialla materiaalintilauksen välittämiseen käytettyjä informaatiojärjestelmiä on paljon, koska kukin firma on räätälöinyt prosessista aikojen kuluessa omanlaisensa. Tieteellistä tutkimusta niistä on erittäin vaikea löytää, koska suuri osa prosesseista on salaisia tai tarkoituksella dokumentoimatta. Lisäksi sisälogistiikan vahvasti autoteollisuuteen painottunut tutkimus ei ole kiinnittänyt erilaisiin informaationvälitystapoihin niin suurta huomiota, koska autoteollisuudessa reaaliaikaista informaatiovirtaa ei välttämättä tarvita. Siellä osalle komponenteista on käytössä sekvenssiohjattu täydennys, jolloin tiedetään jo etukäteen, mikä osa tulee mihinkin autoon. Vastaavasti bulk-osille standardiksi on noussut supermarket-varastojen ja materiaalinkäsittelyhenkilön yhdistelmät, joissa

varastot käydään täydentämässä joko ajastettuna tai henkilö pysyy jatkuvasti näköetäisyydellä.

Myös muualla valmistavassa teollisuudessa materiaalinkäsittelijää hyödynnettäessä voi olla, että pelkkä operaattorin ja materiaalihenkilön välinen puhe riittää kommunikatiivälineeksi. Jos tuotannon ja varaston välimatka on pitkä, pitää luoda erillinen informaationvälitysjärjestelmä. Lage & Godinhon (2010) analysoimien erilaisten kanbanjärjestelmien lisäksi erittäin perinteinen myös Toyotalla käytetty tapa ilmoittaa täydennystarpeesta on sytyttää ja sammuttaa erivärisiä valoja (Monden, 1983, s. 52). Fernandes & Filho (2011) puolestaan analysoivat 19 erilaista tilausjärjestelmää jaoteltuna tilaukselle valmistettaviin, varasto-ohjattuihin, aikataulutettuihin sekä edellä mainittujen hybrideihin. Heidän tutkimuksestaan voisi nostaa esiin laajalle levinneet sekä myös tutkittavassa yrityksessä tietyissä prosessien osissa käytössä olevat CONWIP-järjestelmät (Constant Work in Process), jossa kerrallaan keskeneräisiä tuotteita voi olla vain rajoitettu määrä sekä Hybrid-Push-Pull (HPP), jossa prosessin joku vaihe ei perustu imuohjaukseen vaan tehdään ennusteelle.

Erilaisia ohjelmistopohjaisia materiaalitulauksen välittämiseen ratkaisuja on runsaasti. Periaatteessa ne voidaan jakaa kahteen kategoriaan: Avoimilta markkinoilta löytyviin sekä itse tehtyihin. Ideaalinen ratkaisu on saada materiaalitulaukset suoritettua ERP:n avulla, mikä pitää erilaiset IT-järjestelmät minimissään. Pienemmissä yrityksissä on silti käytössä yhä erilaisia esimerkiksi Excel-pohjaisia MRP-suunnittelujärjestelmiä. Lisäksi tarjolla on MES-ohjelmistoja (Manufacturing Execution System), joilla voidaan yhdistää ERP erilaisiin automatisoituihin tuotantojärjestelmiin. Uudempia luovia ratkaisuja on esimerkiksi hampurilaisravintoloiden autokaistoilta tuttu puheohjattu tilaaminen, nettikameraan perustuva visuaalinen signaali sekä rajattuun määrän työpisteitä perustuva CONWIP.

### **2.7.2. E-Kanban**

1990-luvun JIT-tuotantoa ja imuohjausta alettiin soveltaa hyvin laajalti, kun sen hyödyt olivat tulleet yleiseen tietoisuuteen. Parempien ratkaisujen vielä puuttuessa vakiintui JIT-tuotannon ohjausjärjestelmäksi perinteinen kanban, jossa signaali välitettiin esimerkiksi paperikortilla, nostamalla lippu tai sytyttämällä lamppu (Vernyi & Vinas, 2005). Perinteinen kanban oli yksinkertainen, visuaalinen, luotettava, halpa ja jatkuvan parantamisen sekä imuohjauksen mahdollistava prosessi, joka toimi moitteetta monenlaisissa eri tuotantoympäristöissä (Kouri et al., 2008).

Pikkuhiljaa perinteisestä kanbanista alettiin myös löytää puutteita. Qing et al. (2011) mukaan paperi-kanban on edukseen lähinnä suurivolyymisessä ja toistuvassa tuotannossa. Yleismaailmalliset trendit kuitenkin kulkivat toiseen suuntaan. Tuotevariaatioita al-

koi olla enemmän, globalisaation takia toimittajat saattoivat sijaita fyysisesti huomattavasti aiempaa kauempana sekä lean-filosofian omaksumisen johdosta eräkoot alkoivat pienentyä ja tuotekonfiguraatioiden vaihdot yleistyivät (Maríková, 2008). Se aiheutti yllättäen pidentyneitä toimitusaikoja ja kasvatti virheellisten toimitusten määrää (Wan & Chen, 2007). Drickhamerin (2005) mukaan siitä seurasi niin kutsuttu kanban-paradoksi: Kasvanut toimittaja- ja tuotemäärä johti suurempaan määrään signaaleja ja kommunikaatiota, mikä yllättäen alkoi kasvattaa korttien käsittelystä johtuvan arvoa tuottamattoman työn määrää prosesseissa. Muuttuneet tarpeet alkoivat kasvattaa painetta kanban-järjestelmän kehittämiseen.

Kanban-kortteihin perustuvista järjestelmistä löytyy myös muita arkisempia heikkouksia. Ensinnäkin pienet paperiset kortit saattavat helposti jäädä työntekijöiden taskuihin, päätyä roskiin tai hukkua muuten vaan, mikä johtaa aina osapuutteisiin, huonontuneeseen varaston palvelutasoon, odottamiseen ja siten kohonneisiin kustannuksiin (Drickhamer, 2005). Inhimillisistä erheistä johtuen kortteja saatetaan lähettää väärin osoitteisiin, mikä aiheuttaa ongelmia, koska paperisia lappuja ei pysty jäljittämään tai seuraamaan, jolloin virheet huomataan viiveellä (Wan & Chen, 2007).

Systeemitasolla perinteisen kanbanin suurimpana haasteena JIT-tuotannossa Caputo & Pelagaggen (2010) mukaan on sen huono ohjattavuus reaaliaikaisen tiedon puuttuessa varsinkin, jos tuotekonfiguraatiota pitää vaihtaa usein. Paperi-kanbanit eivät pysty tuottamaan perusteellista tilannekuvaa tuotannosta, minkä vuoksi tuotantoa koskevat päätökset pitää tehdä jo valmiiksi vanhentuneen tiedon pohjalta. Se hankaloittaa luonnollisesti prosessien johtamista ja ennustettavuutta. Monituoteympäristössä se johtaa väistämättä solujen varastotasojen kasvattamiseen, sillä reaktioaikaan nähden hidas informaation kulku pakottaa pitämään kaikkia mahdollisia konfiguraatioita solussa käden ulottuvilla (Qing et al., 2011). Wan & Chen (2007) lisäävät vielä viimeiseksi perinteisen kanbanin huonoksi puoleksi prosessitasolla tuotannon analysoinnin vaikeuden. Paperi-kanbanit eivät rekisteröi automaattisesti mitään toimintoja, vaan kaikki informaatio, mitä halutaan käyttää prosessien mittaamiseen pitää kerätä manuaalisesti, mikä on työlästä ja kasvattaa datan epävarmuutta. Uudenaikaiset, tietotekniikkaan pohjautuvat ratkaisut tarjoavatkin mahdollisuudet parantaa huomattavasti prosessien läpinäkyvyyttä, mikä on lean-tuotannon virtauksen sujuvoittamiseksi äärimmäisen kriittistä (Wan & Chen, 2007).

Yllä mainittuihin ongelmiin vastauksena kehittyi e-kanban-konsepti, jonka avulla pystytään luomaan imuohjaus myös perinteiselle kanbanille epäedullisiin tuotantolosuhteisiin. Ensimmäiset e-kanbanit otettiin käyttöön autoteollisuudessa toimittajajapinnassa 1990-luvun taitteessa (Kouri et al., 2008). E-kanbanin kehitys oli hyvin vahvasti symbioosissa internet-teknologian kehittymisen sekä ERP-järjestelmien yleistymi-

sen kanssa. Tietovirtojen virtaviivaistamiseksi lean-ajattelua seuraten ERP-toimittajat alkoivat lisätä kanbanin sähköistämisen mahdollistavia moduuleja tuotteisiinsa (Riezebos et al., 2009; Wan & Chen, 2007). E-kanban voikin olla joko osana valmista ERP-ohjelmistoa tai itsenäinen, räätälöity internetin yli toimiva ratkaisu, jolla joko on rajapinnat yrityksen muihin järjestelmiin tai sitten ei. Se mahdollistaa e-kanbanin hyödyntämisen myös pienemmille yrityksille, joilla ei ole rahaa hankkia kallista ja massiivista ERP:iä. Tilaussignaalin sähköistämiseen voidaan käyttää montaa keinoa. Tyypillisiä tapoja ovat esimerkiksi viivakoodien tai RFID:n (Radio Frequency Identification) hyödyntäminen manuaalisen tilaamisen ohella.

E-kanban tarvitsee JIT-tyyppisen tuotantoympäristön, jotta siitä saadaan paras mahdollinen teho irti. Pelkkä signaalin sähköistäminen ei yksinään takaa tuloksia, elleivät muut prosessin osat kulje kehityksessä mukana (Kouri et al, 2008). Maríková (2008) listaa artikkelissaan e-kanbanin käyttöönottoympäristön vaatimuksia, eli lean-tuotannon peruseriaatteet pätevät myös e-kanbanille:

- Synkronisoidut ja standardoidut prosessit
- Toimittajien kanssa sovitut, optimaaliset pakkauskoost
- Visuaalinen johtaminen
- Koulutettu ja kurinalainen henkilöstö
- 5S

Qing et al. (2011) mukaan e-kanban toimii perinteisen kanbanin lailla parhaiten massa-tuotantoympäristössä mutta siitä poiketen myös pienerätuotannossa, jos käsiteltävänä on alle kymmenen eri konfiguraatiota. Myös mitä suurempi fyysinen etäisyys on ja mitä enemmän kanbanien lukumäärä prosessin sisällä voi vaihdella, sitä suurempi hyöty e-kanbanista voidaan saada, koska signaali liikkuu nopeammin ja varmemmin oikeaan osoitteeseen (Kouri et al., 2008; Kotani, 2007).

### **2.7.3. E-kanbanin ominaisuudet**

Internetin yli toimiva e-kanban mahdollistaakin prosessien ja eri toiminnallisuuksista vastaavien ohjelmien välillä ristikkäin kulkevien monimutkaisten tietovirtojen toteuttamisen, joiden avulla voidaan nopeuttaa prosessien toteuttamista tai jopa jättää jotain vaiheita kokonaan pois (Wan & Chen, 2007). Drickhamer (2005) tarjoaa integroitujen järjestelmien hyödyistä hyvän esimerkin: Tuotannon materiaalinkäsittelijän tuodessa yhtä kanbania vastaavan määrän osia tuotantopisteelle, lukee hän laatikosta viivakoodin. Signaali välittyy e-kanbanina ERP:iin, joka kääntää sen automaattisesti ostotilaukseksi ja lähettää EDI:n avulla sähköisenä toimittajan ERP:hen. Se lukee tilauksen, muuttaa sen työmääräykseksi ja toimittaa korvaavan määrän käytettyä fyysistä tuotetta heti seuraavana päivänä. Näin e-kanbanin ja modernien IT-järjestelmien avulla saadaan elimi-

noitua tarve arvoa tuottamattomalle operatiiviselle ostotoiminnalle. Vernyi & Vinas (2005) kuitenkin korostavat, että tälle tasolle päästäkseen pitää yrityksen olla erittäin edistynyt lean-tuotannossa. Käytännössä se vaatii hajautettua varastojärjestelmää sekä läheistä toimittajayhteistyötä.

Monet e-kanbanit konkreettisista hyödyistä pureutuvat suoraan perinteisen kanbanin mainittuihin heikkouksiin. Sähköiset tilaussignaalit paperisten sijaan poistavat kokonaan tarpeen käsitellä kortteja sekä riskin niiden hukkumisesta. Kaikki e-kanbanissa liikkuva informaatio on eksplisiittistä, mikä mahdollistaa tilausten seurannan, sekä kuittauksen tilauksen vastaanottamisesta. Myös virheelliset tilaukset voidaan jäljittää ja perua, koska kaikki järjestelmässä tapahtuvat toiminnot kerätään lokiin aikaleiman kanssa (Vernyi & Vinas, 2005). Tätä dataa voidaan myöhemmin hyödyntää sekä sisäisen että alihankkijoiden toiminnan analysoinnissa. Järjestelmästä voidaankin esimerkiksi tutkia hetkellisiä KET-varastotasojä sekä valmistusmääriä sekä laatua ajan funktiona (Wan & Chen, 2007). Cutler (2004) tiivistääkin oivasti e-kanbanin tärkeimmän hyödyn olevan koko tuotantoyrityksen reaaliaikainen läpinäkyvyys riippumatta fyysisistä välimatkoista. Reaaliaikainen informaatiovirta mahdollistaa esimerkiksi tuotekonfiguraation vaihtamisen lyhyemmällä varoitusaikalla sekä sisälogistiikassa komponenttitäydennysten paremman synkronoinnin kulloiseenkin tuotantovauhtiin. Kotanin (2007) tutkimuksessa Toyotalla e-kanban vähensi eräkokojen määrällistä vaihtelua sekä paransi reagoitakykyä kysynnän vaihteluihin.

Drickhamer (2005) kirjoittaa, että e-kanban muodollistaa kommunikaatiota ja vähentää inhimillisistä erheistä johtuvia tuotantohäiriöitä. Jos e-kanbanista käyttäjärajapinnasta tehdään manuaalinen, on virhemahdollisuus silti olemassa. Wan & Chenin (2007) mukaan siitä voidaan päästä eroon automatisoimalla transaktioita. Signaaleja saadaan sähköistettyä lukemalla viivakoodeja numerosarjojen kirjoittamisen sijasta, hyödyntämällä RFID-lähettimejä sekä erilaisia anturijärjestelmiä kuten valokennoja, jotka tunnistavat onko jollain paikalla laatikko vai ei. Laatikon siirtäminen saa anturin lähettämään signaalin, joka voidaan ohjelmistolla muuttaa uudeksi osatilaukseksi (Raju Naik et al., 2013). E-kanbaniin voidaan myös liittää työtä helpottavia ominaisuuksia, kuten konfiguraatioihin liittyviä asennuspiirustuksia sekä työohjeita videoina tai äänitiedostoina. Yhdistämällä e-kanban ohjelmitavaan logiikkaan ja esimerkiksi valoverhoantureihin voidaan puolestaan toteuttaa erilaisia älykkäitä poka-yoke-ratkaisuja, joista on hyötyä erityisesti monituoteympäristössä (Wan & Chen, 2007).

E-kanbanilla on siis monenlaisia hyötyjä verrattuna perinteiseen kanbaniin. Tässä tutkimuksessa esille tulleet hyödyt on koottu yhteen seuraavaan taulukkoon 3 niiden esiintymisjärjestyksessä. Löytyneet lähteet esitetään aikajärjestyksessä.

**Taulukko 3: Kirjallisuudessa esille tulleet e-kanbanin hyödyt verrattuna perinteiseen paperi-kanbaniin**

	Raju Naik et al., 2013	Dahiphale et al., 2012	Qing et al., 2011	Mariková, 2008	Kouri et al., 2008	Wan & Chen, 2007	Kotani, 2007	Vernyi & Vinas, 2005	Drickhamer, 2005	Cutler, 2004	Baudin, 2004	Cullen, 2002	YHT:
Tiedonkulun nopeutuminen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	12
Toimittaja-yhteistyön parantuminen	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	11
Parantaa tilausten tiedonkulun läpinäkyvyyttä	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	10
Poistaa kadonneiden korttien ongelman	x	x		x	x	x			x	x		x	8
Vähentää pitkien etäisyyksien aiheuttamia ongelmia		x		x	x	x	x		x		x	x	8
Toimii monituoteympäristössä	x	x	x	x	x	x							6
ERP synkronointi			x	x	x	x			x		x		6
Helpottaa analysointia ja raportointia (pitää lokia)		x		x	x	x			x				5
Nopeampi reagointi häiriötilanteisiin			x		x	x	x				x		5
Tilaamisen / ostamisen automatisointi			x			x		x	x				4
Inhimillisten virheiden vähentyminen					x	x		x					3
Helpottaa tilausten jäljittämistä		x		x		x							3
Hallinnon vähentynyt tarve								x	x				2
Toimii pieneräutuotannossa			x			x							2
Helpottaa simulointia ja ennustamista			x										1
Mahdollistaa monipuolisten poka-yoke-järjestelmien käytön						x							1

Taulukosta voidaan nähdä osumien kasautuminen vasempaan yläkulmaan. Siitä voidaan vetää johtopäätös, että koska kyse on varsin tuoreesta konseptista, ovat sen tuomat mahdollisuudet parantuneet ja monipuolistuneet viime vuosina samaa tahtia tekniikan kehityksessä.

Monet yllä esille tulleet tekijät sopivat täydellisesti tämän tutkimuksen kohteena olleen yrityksen tarpeeseen, koska tutkittavat uusi sekä vanha tuote molemmat omaavat alle kymmenen konfiguraatiota, niitä tuotetaan massamaisesti JIT-solutuotantoympäristössä ja ne kärsivät varaston ja tuotantosolujen välisen pitkän etäisyyden aiheuttamista kommunikaatiovaikeuksista. Teoriassa e-kanbanin pitäisi pystyä vastaamaan toiseen tutkimuskysymykseen eli poistamaan lähtötilanteen täydennysprosessin aiheuttamia ongelmia siirtymällä sähköiseen, joustavaan ja reaaliaikaiseen tiedonvälitykseen.

Myös tutkitussa kirjallisuudessa saadut havainnot e-kanbanin soveltamisesta eri toimialoille tukevat sen käyttöönottoa Yrityksessä. Kaksi tutkittua artikkelia käsitteli e-kanbania elektroniikkateollisuudessa, mikä on toiseksi suurin yksittäinen joukko autoteollisuuden jälkeen. Lisähuomiona molemmat e-kanbania elektroniikkateollisuudessa



tutkineet artikkelit olivat aivan toiseksi ja kolmanneksi tuoreimmat, kuten voidaan huomata alla olevasta taulukosta 4.

**Taulukko 4: E-kanbania soveltaneet teollisuuden alat tutkitussa kirjallisuudessa.**

	Autoteollisuus	Ilmailu-teollisuus	Lääketieteelliset laitteet	Ruuanvalmistus-laitteet	Elektroniikka	Hydrauliikka-komponentit	Hammasharjojen valmistus
Raju Naik et al., 2013	x						x
Dahiphale et al., 2012					x		
Qing et al., 2011					x		
Kouri et al., 2008	x						
Marfková, 2008	x						
Kotani, 2007	x						
Vernyi & Vinas, 2005	x	x	x	x			
Drickhamer, 2005	x		x			x	
Baudin, 2004	x						
Cullen, 2002	x						

Sähköisellä työjonon hallinnalla e-kanban pystyy reagoimaan muutoksiin erittäin nopeasti. Tilauksia on helppo siirtää toistensa ohi muuttuneiden tarpeiden mukaan parhaimmillaan vain raahaamalla ikoneja graafisessa käyttöliittymässä. Lisäksi e-kanbanilla voidaan periaatteessa ennustaa lyhyen aikavälin työsuoritteita sekä jopa simuloida erilaisia tuotantoskenaarioita. Ohjelmiston lokiin kerätyistä tiedoista voidaan tehdä erilaisia tilastoja sekä analyysyjä, jotka on mahdollista synkroinoida ERP:n liiketoimintatiedon raportointityökalujen kanssa johtoportaan hyödynnettäviksi. Jos ne laitetaan esille graafisessa muodossa, saadaan e-kanbanista jalostettua myös toimiva visuaalisen johtamisen työväline (Qing et al., 2011).

Kouri et al., (2008) kirjoittavat, että jos e-kanbanin toteutus tehdään huolella ja iteratiivisesti ohjelmiston loppukäyttäjät mukaanottaen ja kouluttaen järjestelmän toiminta huolellisesti käyttöönottovaiheessa, voidaan sen avulla tehostaa yrityksen tuotanto- ja ostoprosesseja merkittävästi. Wan & Chen (2007) kiteyttävätkin e-kanbanin hyödyt osuvasti: ”E-kanban yhdistää kanban-järjestelmän yksinkertaisuuden ja nykyaikaisen informaatioteknologian tarjoaman monipuolisuuden.”

## 3. TUTKIMUSMETODOLOGIA

### 3.1. Tapausyritys ja tutkimusasetelma

Tutkimuksen tilaaja oli elektronisia mittalaitteita valmistava yritys. Laitteet sisältävät erittäin korkean teknologian komponentteja, joita on valmistuksessa käsiteltävä hyvin huolellisesti laadun ja toiminnallisuuden varmistamiseksi. Esimerkiksi staattisen sähkön purkaukset sekä likaisen huoneilman kontaminaatiopartikkelit ovat tuotteelle vahingollisia, mikä asetti tiettyjä rajoitteita teoreettisen tutkimuksen puolella olemassa olevan tiedon hyödyntämiseen sekä käytännön tasolla tehdyille tuotantosolujen muutoksille.

Yritys on kapean toimialan maailmanlaajuinen markkinajohtaja ja tekninen edelläkävijä. Sen kilpailuetekijät verrattuna kilpailukenttään ovat tuotteiden ylivertainen suorituskyky, laatu, palvelutaso sekä tunnettu brändi. Suurin osa tutkittavan kaltaisia tuotteita valmistavista kilpailijoista on kooltaan pienempiä, ja ne omaavat vähemmän resursseja tuotekehitykseen sekä jälkimarkkinointiin (Haastattelu 18).

Tutkittava, massavalmistettava tuote on luonteeltaan puhtaasti B2B-hyödyke, joten sen ostajatkin ovat ammattilaisia, jotka asettavat tuotteelle tiukat vaatimukset. Tuote on kapealla markkinasegmentillä, jonka tärkein yksittäinen asiakasryhmä ovat valtiolliset laitokset. Kypsillä markkinoilla kilpailua käydään markkinaosuuden suuruudesta. Uuden sukupolven tuotteella onkin isot tekniset ja taloudelliset odotukset Yrityksen markkinaosuuden säilyttämissä tai jopa kasvattamisessa.

Tuoteominaisuuksista mittaustuloksen tarkkuus ja luotettavuus ovat tärkeimmät asiakasarvoon vaikuttavat attribuutit hinnan seurattessa lähellä perässä (Haastattelu 18). Uuden sukupolven tuotteen suunnittelussa valmistettavuuden mahdollistama yksikkökustannuksen pudotus oli suunnittelun lähtökohtana, jotta kiristyvän kilpailun hintapaineessa voidaan pysyä kannattavasti mukana myös jatkossa (Haastattelu 1). Yrityksen näkökulmasta tämä tutkimus asemoituu osaksi uuden tuotteen tuotekehitysprojektin loppumetrejä nimenomaisena tarkoituksenaan kruunata jo suunnittelusta alkanut yksikkökustannusten pienentämisprosessi myös tuotannossa.

Projektin soveltavasta luonteesta johtuen tutkimus tehtiin monimenetelmäisesti hyödyntäen sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia menetelmiä tulosten laadun ja luotettavuuden takaamiseksi. Kvalitatiiviset eli laadulliset menetelmät liittyvät haastatteluihin ja tutkijan omiin löydöksiin ja havainnoiteihin, kun taas kvantitatiivisissa eli määrällis-

sä menetelmissä analysoidaan suuria määriä dataa, ja tehdään löydöksiä sen perusteella. Gummesson (1993) jakaa menetelmät viiteen alakategoriaan, jotka esitellään taulukossa 5. Kaikki taulukossa olevat menetelmät olivat käytössä tässä tutkimushankkeessa.

**Taulukko 5: Tutkimusmentelmien esittely (Gummesson, 1993)**

<b>Menetelmä</b>	<b>Tässä tutkimuksessa:</b>	<b>Hyödyt:</b>	<b>Haitat:</b>
<b>Kirjallisuus-tutkimus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tutkimusongelman foku-sointi ja tieteelliseen tutki-musongelmaan vastaaminen</li> <li>• Yrityksen tarpeisiin sopivan uudenaikaisen materiaalin-täydennys-konseptin etsintä</li> <li>• Tehtiin hankkeen puolivä-lissä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Joskus ainoa mah-dollinen tapa</li> <li>• Hyödyntää jo ole-massa olevaa laajaa aineistoa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riski datan oi-keellisuudessa</li> <li>• Jonkun toisen ajattelua</li> <li>• Ei voida tulkita liikaa</li> </ul>
<b>Kysely-tutkimus:</b> Kerätään data kyselylomakkeilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytössä lähes koko tutki-muksen ajan muiden mene-telmien realibiliteetin var-mistamiseksi</li> <li>• Yhteensä 23+12+32 = 67 mittausta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voidaan testata isoja volyymeja</li> <li>• Voidaan kääntää numeroiksi</li> <li>• Joustava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monimutkaisuus uhkana</li> <li>• Epävarmuus todellisesta vastaajasta</li> <li>• Otoksen vääristyminen</li> </ul>
<b>Haastattelu:</b> Asiantuntijoiden haastatteleminen henkilö-kohtaisesti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lähtötilan kartoitus</li> <li>• Sidosryhmien tarpeiden ja rajoitteiden selvittämiseksi</li> <li>• Käytössä tutkimuksen al-kupuolella</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perusteellisuus</li> <li>• Elekieli</li> <li>• Ryhmähaastattelut voivat laajentaa per-spektiiviä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yhden ihmisen henkilökohtainen mielipide</li> <li>• Aikaa vieviä</li> <li>• Väärät ky-symykset tai haastateltavat</li> </ul>
<b>Havainnointi:</b> Ensi käden tiedon keräämistä aistien avulla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Täydennysprosessin nykytila-analyysi</li> <li>• Kehitystoimenpiteiden vaikutuksen analysointi</li> <li>• Tukee haastatteluja ja mit-tauksia</li> <li>• Käytettiin tutkimuksen keskivaiheilla ja lopussa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monipuolinen ja ko-konaisvaltainen</li> <li>• Mahdollista saada myös hiljaista tietoa dataan</li> <li>• Tulkintojen ja vai-kutelmien ääretön määrä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kohde voi käyt-täytyä epälu-onnollisesti</li> <li>• Pitää olla oike-aan aikaan oike-assa paikassa</li> <li>• Tutkimuksen kohdetta pitää osata ymmärtää ennakoita</li> </ul>
<b>Toiminta-tutkimus:</b> Tutkija osallistuu henkilö-kohtaisesti tutki-muksen kohteen toimintaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E-kanban-konseptin suun-nitelu ja pilotointi</li> <li>• Testiversion kehittäminen tuotantoversioksi</li> <li>• Vaati laajaa osastojen välis-tä yhteistyötä</li> <li>• Tehtiin hankkeen loppupu-olella</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytännöllinen ja perusteellinen</li> <li>• Voi tutkia moni-mutkaisia asioita</li> <li>• Totuudenmukainen</li> <li>• Soveltava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ennakoimaton</li> <li>• Vaatii tukevia menetelmiä</li> <li>• Voi hukata tavoitteen</li> <li>• Mahdoton toistaa</li> </ul>

### 3.2. Haastattelut

Tutkimushankkeen ensimmäinen vaihe painottui tuotanto- ja tukifunktioiden avainhenkilöiden haastatteluihin. Tutkija teki haastatteluita hankkeen kahden ensimmäisen kuu-

kauden aikana. Tarkoituksena oli kerätä monipuolisesti tietoa tutkimuksen alkuasetelmasta, tehdä sidosryhmät tietoisiksi hankkeesta sekä selvittää myös heidän tarpeitaan ja toiveitaan liittyen tutkimusprojektiin sekä sen tavoitteisiin. Haastattelut nostivat esiin uusia tutkimuskysymyksiä ja kirkastivat hankkeen fokusta. Tutkimuksen aikana tehdyt 21 dokumentoitua haastattelua voidaan jaotella teemoittain taulukossa 6. Osa haastatteluista on merkitty taulukkoon kahteen kertaan, jos niiden teemat sopivat useampaan kohtaan.

**Taulukko 6: Haastattelut tutkimus- ja aihealueittain**

<b>Yleiskuvan saaminen</b>	Kokoonpano – uusi tuote	1
	Kokoonpano – vanha tuote	2
	Alikokoonpanolinja	4, 5
	Pakkaamo	6, 7
<b>Nykytila-analyysi</b>	Keräily ja täydennys	3, 17
	Varasto	12
	Markkinat & loppuasiakkaat	9, 18
	Tuotannonohjaus	9, 19
<b>Uuden tuotteen prosessin kehittäminen</b>	Ohjelmistotekniikka ja ERP	8, 11
	Keräily ja täydennys	10, 15, 17, 20, 21
	Alikokoonpanolinja	13
	Hankinta ja toimittajayhteistyö	14, 19
	Pakkaamo	16

Haastattelut toteutettiin yhtä lukuun ottamatta yksilöhaasteluina. Pääpiirteissään haastatteluissa toistui sama kaava: Tutkija sopi ajankohdan haastateltavan henkilön kanssa, jonka jälkeen tutkija perehtyi aiheeseen ja laati räätälöidyn kysymyspatteriston. Aihealueet poikkesivat toisistaan niin paljon, ettei varsinaista strukturoitua haastattelurunkoa voitu hyödyntää. Haastattelut dokumentoitiin tekemällä käsin muistiinpanot samaan paperiin kysymyslistan kanssa. Yksityiskohtaisempi lista haastatteluista on nähtävissä liitteessä 10.

### 3.3. Havainnoinnit

Havainnoinnit olivat tässä diplomityössä erittäin tärkeä tutkimusmenetelmä erityisesti nykytila-analyysin tekemisessä. Kesällä lähtötilassaan olleen vanhan tuotteen täydennysprosessia koskevat neljä henkilökohtaista täydensivät avainhenkilöiden haastatteluja antaen prosessista perusteellisemman. Havainnoinneista saadut tulokset vahvistivat lean-kirjallisuudessa yleisesti esiintyvää väittämää, että kehityshankkeissa kannattaa luottaa henkilökohtaisesti verifioituun dataan (esim. Liker, 2004, s. 227).

Havainnointitutkimuksessa menetelmänä käytettiin suoraa havainnointia (Gummesson, 1993, s. 42) eli seurattiin muutaman metrin etäisyydeltä kohdehenkilön toimintaa tehden samalla kellotuksia sekä muistiinpanoja. Yleisesti tärkeimpänä tutkittavana asiana oli kohdehenkilön työsuorituksen ajankäytön jakaantuminen arvoa tuottavien ja tuottamattomien suoritteiden kesken. Tarvittaessa häneltä kysyttiin selventäviä kysymyksiä, mutta ei varsinaisesti haastateltu. Havainnoiteihin pyydettiin aina sekä kohdehenkilön että hänen suoran esimiehensä hyväksyntä. Kaikki havainnoidut henkilöt suhtautuivat tutkimukseen poikkeuksetta innostuneesti.

Tutkimuksen puolivälissä tehtiin yksi havainnointi vanhan tuotteen tuotantosoluun, jossa tutkittiin operaattoreiden materiaalinkäsittelyyn käyttämää aikaa. Yksi havainnointi tehtiin tehtaan naapuriosastolle, jossa on käytössä tuotannonalainen materiaalinkäsittelijä. Hänen toimintaansa seurattiin kahden tunnin ajan tutkien, voiko konseptia skaalata tutkimuksen kohteena olleelle osastolle. Kaksi viimeistä havainnointia tehtiin tutkimushankkeen lopussa. Niiden tarkoituksena oli selvittää uuden sähköisen tilausjärjestelmän vaikutusta täydennysprosessin kulkuun. Tehdyt havainnoinnit aihealueittain ovat nähtävissä taulukossa 7. Tarkempi lista havainnoinneista on liitteessä 11.

**Taulukko 7: Tehdyt havainnoinnit aihealueittain**

<b>Nykytila-analyysi</b>	Vanhan tuotteen täydennysprosessin lähtötila	1, 3, 5, 6
	Tuotantosolun tarpeiden tunnistaminen	2
<b>Uuden tuotteen prosessin kehittäminen</b>	Materiaalinkäsittelijän toiminta naapuriosastolla	4
	Vanhan tuotteen täydennysprosessi parannuksien jälkeen	7, 8

### 3.4. Dokumentti- ja tietokanta-aineistot

Yrityksen tietokantojen aineistoja käytettiin hyväksi nykytila-analyysin tekemiseen. Lähdeaineistona hyödynnettiin Yrityksen ERP:stä sekä erilaisista raportointijärjestelmistä saatua dataa, joka on liiketaloudellisista syistä salaista. Raakadata pyydettiin kunkin alueen asiantuntijalta, jonka päivittäisiin työtehtäviin datan käsittely ja siihen pohjautuva raportointi kuuluu. Tutkija itse jalosti ja suodatti saadun raakadatan muotoon, jossa se esimerkiksi luvun 4.1 kuvissa esiintyy. Kaikki data kerättiin 06-07/2013 välisenä aikana. Tutkimuksessa pyrittiin käyttämään aina mahdollisimman tuoretta dataa.

### 3.5. Kvantitatiiviset mittaukset

Tutkimushankkeen aikana tehtiin myös neljä kvalitatiivista mittausta tukemaan täydennysprosessiin kohdistettuja havainnoiteja. Havainnointien perusteella prosessissa oli niin monta muuttujaa, ettei satunnaisotoksella luotettavan datan kerääminen olisi onnis-

tunut, eikä tutkijalla ollut käytännössä mahdollista havainnoida jokaista täydennyskierrosta. Keräilijä sekä kerättävät materiaalit vaihtuivat lähes jokaisella kierroksella, joten otosta piti laajentaa mittauksen reliabiliteetin takaamiseksi.

Käytännössä mittaus suoritettiin yksinkertaisella kyselytutkimuksella eli kiinnittämällä päivämäärälistä tyhjillä kentillä varastoon keräilijöiden reitin varrelle. He merkkasivat listaan manuaalisesti kierrokselle lähtöajan, tilattujen kanbanien lukumäärän jaoteltuna varastoittain, paluuajan kierrokselta varastoon, oman henkilöllisyytensä sekä kierrokseen liittyneet erityishuomiot.

Saatu data syötettiin käsin taulukkolaskentaohjelmaan, jonka avulla sitä sai visualisoitua sekä analysoitua keskiarvot ja -hajonnat. Niiden perusteella saatiin paremmin määrittyä alussa kehitystavoitteita sekä lopussa verrattua saatuja tuloksia lähtötilanteeseen. Kerätty mittausdata on nähtävissä taulukoituna liitteissä 1, 2 ja 3 sekä siitä johdettuja tuloksia on esillä paremmin havainnollistettuna luvussa 6.

### **3.6. Toimintatutkimus**

Toimintatutkimuksena eli menetelmällä, jossa tutkija itse osallistuu tekemiseen (Gummsson, 1993, s. 50), (action-based research, eng.) luotiin Yritykseen täysin uudellinen, ennakkoluuloton konsepti: Materiaalitäydennyksen tilaaminen sähköisesti hyödyntäen puhtaalta pöydältä kehitettyä e-kanban-ohjelmistoa. Toimintatutkimus kulki ennalta-arvaamatonta reittiä. Sen tuloksista ei ollut mitään varmuutta tutkimuksen alkaessa. Alun perin uuden tuotteen prosessia palvelemaan suunniteltu ohjelmistopohjainen ratkaisu nousi pikkuhiljaa esille tutkimuksen aikana, ja virallisesti sitä päätettiin alkaa edistää tutkijan järjestämän, 23.08.2013 pidetyn tuotannon ja logistiikan yhteisen ideointipalaverin tuloksena. Samoihin aikoihin kirjallisuustutkimuksen puolella tuli esiin e-kanban-konsepti, joka vastasi hankkeen toiseen tutkimuskysymyksen vaatimuksiin.

Käytännössä toimintatutkimus alkoi elokuun loppupuolella, jolloin tutkija kävi neuvottelemassa testausinsinöörien esimiehen kanssa puolipäiväisen ohjelmoijaresurssin tarpeesta tutkimushankkeen käyttöön. Ohjelmistosta saatiin kokeiluversio 1.0 aikaan hyvin nopeasti. Samalla kuitenkin uuden tuotteen tuotannon aloitus myöhästyi, joten ohjelmistoto päätettiin tehdä käytännössä kokonaan uudestaan, jotta sitä voidaan testata nopeasti vanhan tuotteen täydennysprosessilla. Versio 1.1 otettiinkin kokeilukäyttöön noin kahta viikkoa myöhemmin. Sen toiminta osoittautui hyvin puutteelliseksi, ja version 1.2 kehitys aloitettiin saman tien. Siitäkin löydettiin pienempiä puutteita, jotka korjaamalla sen joustavuutta saatiin parannettua muun toiminnan kärsimättä. Tätä kirjoittaessa versio 1.3 on vakiinnuttanut paikkansa vanhan tuotteen täydennysprosessissa tuotantokäytössä, ja versio 1.4 on työn alla uuden tuotteen prosessia varten. Ohjelmiston kehittämisprosessista on kirjoitettu tarkemmin luvuissa 5.4 - 5.7. Toimintatutkimukseen voidaan

myös laskea nykytila-analyysin sivutuotteena syntyneet kaizen-parannukset vanhan tuotteen täydennysprosessiin sekä itse tuotantosoluihin liittyen tavaroiden esillepanoon.

### **3.7. Aineiston analyysi**

Saatusa tutkimusaineistoa analysoitiin ristiin mahdollisimman monipuolisen kokonaiskuvan saamiseksi. Havainnoinneista saadulla datalla syvennettiin ja tarkennettiin haastatteluilla saatua parasta mahdollista oletusta. Havainnointien datan validiteettiä vielä varmistettiin 67 täydennyskierrokselta kerätyllä kvalitatiivisella mittausdatalla. Samaa kvalitatiivista dataa pystyttiin myös soveltamaan toimintatutkimukseen, koska uudistusten vaikutukset olivat mittausdatassa nähtävissä ennakoitulla tavalla.

Periaatteessa voidaan sanoa, että lähtötasoprosessin hukan olemassaolo saatiin selville haastatteluilla ja kvalitatiivisilla mittauksilla, mutta sen laatu selvisi vasta havainnointien avulla. Se toimi katalyyttinä empiiriselle toimintatutkimukselle, jonka tuloksia analysoitiin uusilla kvalitatiivisilla mittauksilla ja havainnoinneilla. Kirjallisuustutkimus kulki käsi kädessä toimintatutkimuksen kanssa. Niiden samanaikainen toteuttaminen oli antoisaa ja hyödyllistä, koska siten teoriaa ja empiriaa pystyi koko ajan soveltamaan toistensa suhteen.

### **3.8. Konseptin testaus**

Käytännön testaus oli olennainen osa toimintatutkimuksena luodun e-kanbanin käyttöönottoa. Koska tässä tutkimuksessa oltiin luomassa Yritykselle täysin uudenlaista järjestelmää, haluttiin sitä päästä pilotoimaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tarkoituksena oli saada oikeaa mittadataa hypoteettisten simulaatiotulosten asemesta, jotta järjestelmän sopivuutta korkean teknologian soluvalmistusympäristöön voitaisiin tutkia luotettavammin, eli saada myös empiirinen näkökulma tutkimusongelman selvittämiseen. Ensimmäisten testikokemusten perusteella järjestelmää voitiin myös operatiivisessa mielessä kehittää, minkä pohjalta sen puutteita korjattiin ennen lopullista tuotannollista käyttöönottoa.

Testauksen tärkein rooli oli vahvistaa kirjallisuudesta löydetyt e-kanbanin hyvät puolet käytännössä (kts. taulukko 3). Kvantitatiivisista mittauksista voitiin nähdä prosessin nopeutuminen, mutta tätä tutkimusta tuettiin vielä kahdella havainnointikierroksella (havainnointi 7; 8), joilla pyrittiin selvittämään e-kanbanin osuutta kokonaisparannuksesta.

Testaus yhdistettiin metodologisesti kvantitatiivisiin mittauksiin. E-kanbanin version 1.1 aikana tehtiin mittaus 2 ja vastaavasti lopullisen version 1.3 tultua käyttöön suoritettiin lopullinen mittaus 3. Kolmannen mittauksen aikana myös tutkittiin järjestelmän toimivuutta solussa mittaamalla operaattoreilta tilaamiseen kulunut aika. Se on olennai-

nen mittari, sillä jos keräilijän työ nopeutuu samalla kun operaattorin työaika kuluu lähtötilaa enemmän tilauksen suorittamiseen, on prosessia osatimonoitu, mitä yritettiin nimenomaan välttää.

Sähköinen tilausjärjestelmä monipuolisti myös mittausmahdollisuuksia, koska keräilijöiden vastaanotto- ja keräilyvalmistusmiskuituksista jää aikaleimat lokiin. Niiden perusteella voitiin helposti laskea reaktioaika tilaukseen, nimikkeiden keräilyyn kulunut aika sekä suhteuttaa ne koko täydennyskierron keston.

Testaus suoritettiin optimaalisesti osana operatiivista tuotantoprosessia eli täysin autenttisissa olosuhteissa. Testissä mukana olleet henkilöt olivat vanhan solun operaattorit sekä keräilijät C, D ja E. Näin ollen saatu mittadata on erittäin validia, eikä pohjautu simulaatioihin tai oletuksiin, mikä nostaa saatujen tulosten arvoa. Testauksen tuloksista kirjoitetaan tarkemmin luvuissa 5.6 sekä 6.4.



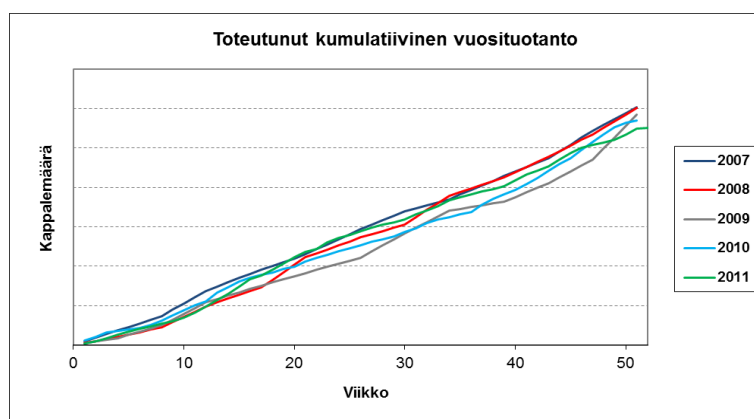
## 4. VALMISTUSPROSESSIN NYKYTILA

Tässä valmistusprosessin nykytila-analyysin tuloksia käsittelevässä luvussa perehdytään syvemmin tuotteen nykyisen version Suomen tehtaan tuotantoprosessiin sekä asiakkaan, toimitusketjun, tehtaan sekä solun näkökulmasta. Luvussa käydään läpi tuotantoprosessiin liittyviä tutkimuksessa todennettuja haasteita ja kehittämiskohteita, joista pyritään kehittämään alettaessa valmistaa seuraavan sukupolven laitetta.

Vanhan tuotteen tuotantoprosessi analysoitiin syvällisesti, sillä sitä käytetään vertailukohtana uuden sukupolven tuotteelle tässä tutkimuksessa luotaviin skenaarioihin. Tässä luvussa esitellään valmistusprosessin layout sekä arvovirtakartta vaiheikoineen, josta selviää selkeästi nykyprosessin ongelmat ja hukkaa tuottavat työvaiheet eli uudelle tuotteelle kehityspotentiaalia omaavat prosessin osat. Nykytila-analyysissa paneuduttiin erityisesti tuotantosolun materiaalitäydennysprosessiin, jonka toimivuutta pohditaan ruohonjuuritasolla. Lopuksi esitellään, mitä kehityshankkeita analyysin pohjalta tehtiin vanhan tuotteen tuotantoprosessin virtaviivaistamiseksi, eli vastatataan kolmanteen tutkimuskysymykseen.

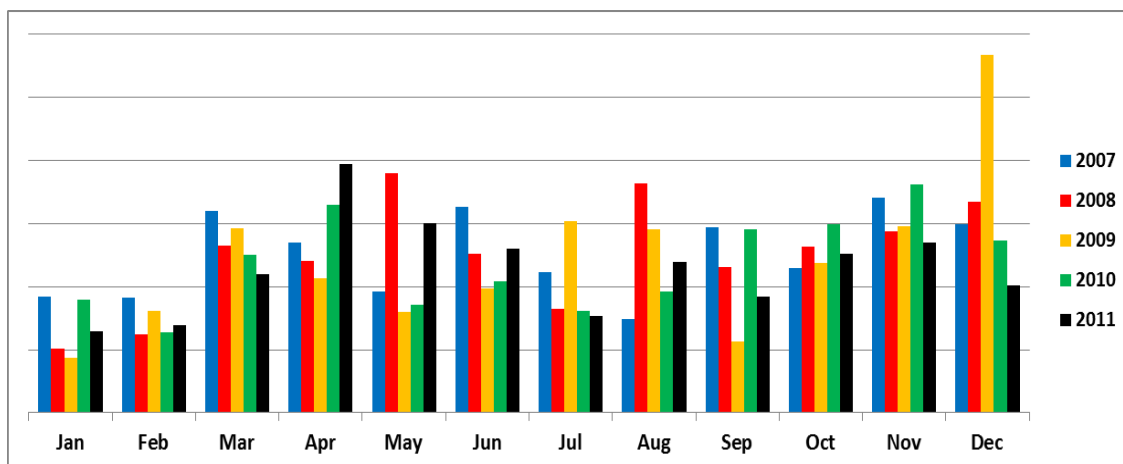
### 4.1. Tuotannon toimintaympäristö

Tuotteen tuotannon ohjaaminen on varsin haastavaa. Vaikka kokonaismarkkina on täysin saturoitunut, ja vuositasolla tuotantomäärät toistavat itseään hyvinkin tarkasti, on toisaalta kysynnän vaihtelu jopa kuukausitasolla huomattavan suurta. Vuosituotannon toistuvuus välillä 2007–2011 voidaan nähdä alla olevasta kuvasta 10.



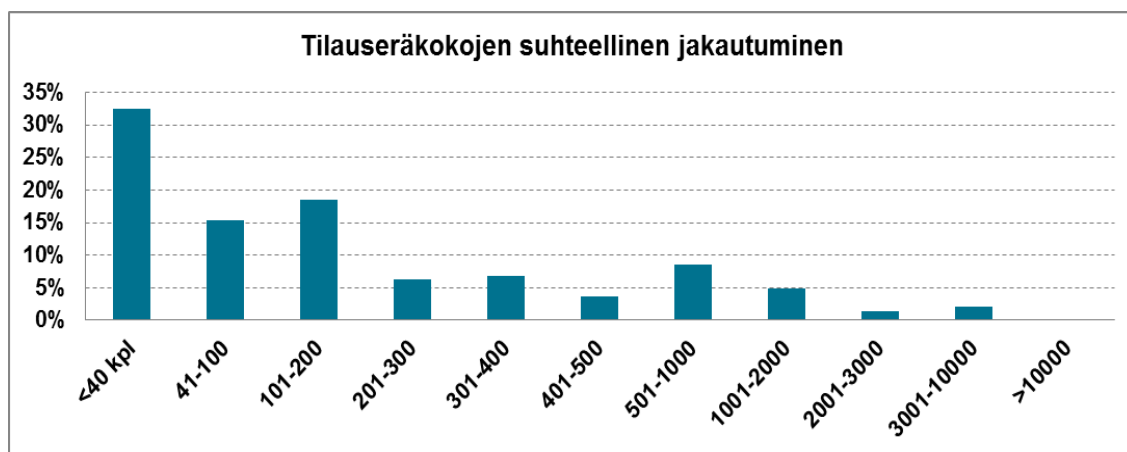
**Kuva 10: Vanhan tuotteen kumuloitunut vuosituotanto 2007-2011 (Lähde: Yrityksen sisäinen raportti vuodelta 2012)**

Vastavaavasti kuvassa 11 voidaan nähdä, kuinka voimakkaasti tasaiselta näyttävä vuosituotanto on hajaantunut eri kuukausien kesken. Syynä tähän on yksinkertaisesti asiakas-tilausten määrän, tyypin ja ajoituksen arvaamattomuus. Osa asiakkaista tilaa koko vuoden tarpeensa kerralla, osa muutamassa satunnaisessa keskikokoisessa erässä ja osa tilaa kerralla hyvin pieniä määriä.



**Kuva 11: Vanhan tuotteen toimitusmäärien hajonta kuukausittain 01/2009–10/2012 (Lähde: Yrityksen sisäinen raportti vuodelta 2012)**

Pienin mahdollinen kertatilaus on yksi kappale, ja suurimmillaan tilauserät ovat yli 10 000 kappaletta. Viimeisen kolmen vuoden ajalta asiakastilauserien mediaanikoko on 120, mikä kertoo siitä, että valtaosa tilauksista on pieniä määriä. Toisaalta Yrityksen ERP:stä noudetun datan perusteella tilausten keskiarvokappalemäärä 404 ja keskihajonta 1119 viestivät yksittäisen tilauseräkoon voimakkaasta vaihtelusta. Tilauserän koko suhteessa tilausmääriin on kuvattu alla olevassa kuvassa 12.



**Kuva 12: Tilauseräkojen suhteellinen jakautuminen (Lähde: Yrityksen ERP, tiedot noudettu 17.07.2013)**

Valmiit tuotteet pakataan lähetyslaatikkoon, jonne mahtuu 40 yksikköä. Jos tilaus ei ole 40:llä jaollinen, jätetään yksi laatikko tilauserästä vajaaksi. Tyypillisesti asiakkaat haluavat valmiit tuotteet kertatoimituksena, mikä aiheuttaa tila- ja aikaongelmia erityisesti pakkaamossa tilauskoon alkaessa olla enemmän kuin tuhat yksikköä.

Pakkaamon prosessit on suunniteltu käsittelemään yksikköinä yhtä tilausta yhden laatikon sijaan, mikä on järkeenkäypä ajatus yrityksen koko muun tarjoaman paitsi tutkittavan tuotteen näkökulmasta. Pienet yhden laatikon tilaukset ovat taas työläitä ja kannattavuudelta arveluttavia, sillä ne joutuvat käymään saman kirjaamis- ja pakkausputken läpi kuin suuremmatkin tilaukset.

Keskenään hyvin erikokoiset tilaukset ja ajallisesti vaihteleva kysyntä aiheuttavat tuotannossa monenlaisia ongelmia. Voimakkaisiin kysynnän vaihteluihin pystytään vastaamaan vain korkeilla varastotasoilla, jotka tavallisessa tilanteessa samalla piilottavat ja aiheuttavat muita tuotannon ongelmia (Liker, 2004, s. 32).

Tutkittavan tuotteen ympärillä puskurivarastojen merkitys yhä korostuu, sillä tuotteen tuoterakenteen vakiokomponenteista suurin osa valmistetaan Kauko-Idässä olevan sopolimismuovitehtaan tehtaassa, missä myös valtaosa lopputuotteista kokoonpannaan. Suomessa valmistettaviin tuotteisiin lähetetään komponentteja merikontissa muutamia kertoja vuodessa, mikä romahduttaa varaston kiertonopeudet ja kasvattaa tuotteen läpimenoaikaa huomasti.

Vanhan tuotteen nimikekohtaiset varaston kiertonopeudet ja varastossa viivyttävä aika voidaan nähdä taulukosta 8. Kuvassa näkyvää dataa ei ollut valmiina, vaan kiertonopeuksien laskemiseksi piti yhdistellä sekä ERP:stä että raportointijärjestelmästä saatua dataa, ja tehdä laskut manuaalisesti. Mittarit on laskettu vuosikulutuksen painotettuna keskiarvona erikoisnimikkeiden suhteellisen merkityksen vähentämiseksi. Suomessa valmistetut nimikkeet menevät kaikki yhteen tiettyyn konfiguraatioon, eikä niiden varastonkierron ole siksi puhtaasti verrattavissa muihin Aasiasta tuleviin nimikkeisiin.

**Taulukko 8: Vanhan tuotteen nimikekohtainen varastonkierto välillä heinäkuu 2012 - kesäkuu 2013. Sinisellä merkityt nimikkeet valmistetaan Suomessa. (Lähde: Yrityksen ERP ja raportointijärjestelmä, lähtödata noudettu 26.07.2013)**

Vanhan tuotteen nimikekohtainen varastonkierto 07/2012 - 06/2013					
		Suhteellinen rahallinen arvo	Suhteellinen vuosikulutus	Varaston kiertonopeus	Viipymä varastossa (pv)
VT nimike 1		0.05	2.32	2.84	127
VT nimike 2		5.39	1.44	27.83	13
VT nimike 3		5.91	0.62	8.11	44
VT nimike 4		6.50	0.06	10.59	34
VT nimike 5		5.71	0.18	2.61	138
VT nimike 6		0.03	2.32	4.15	87
VT nimike 7		0.04	1.49	2.17	166
VT nimike 8		0.04	2.30	4.07	88
VT nimike 9		0.25	0.30	2.03	177
VT nimike 10		0.06	0.62	4.40	82
VT nimike 11		0.22	0.06	1.46	246
VT nimike 12		2.37	0.62	5.09	71
VT nimike 13		0.07	2.32	2.25	160
VT nimike 14		0.11	0.62	4.15	87
VT nimike 15		0.94	1.23	2.72	132
VT nimike 16		1.51	0.09	1.46	247
VT nimike 17		1.61	0.40	6.22	58
<b>Kulutuksen mukaan painotettu keskiarvo:</b>		<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>5.61</b>	<b>107</b>

Kaiken kaikkiaan vanhan tuotteen nimikkeiden varaston vuotuinen kiertonopeus 5.61 on varsin alhainen lukema ottaen huomioon, että kyseessä on volyymituote, jonka nimikemääräkin on suhteellisen vähäinen. Syynä tähän on edellä mainittu totuus siitä, että valtaosa nimikkeistä valmistetaan Aasiassa suurissa erissä hyödyntäen mittakaavaetua, ja ne tulevat Suomen kokoonpanotehtaaseen merirahtina. Tämä hidastaa Yrityksen reagoitukykyä ja pakottaa pitämään keinotekoisia ylisuuria varastoja. Ajoittain nimikkeitä joudutaan myös lennättämään Suomeen, jos ennuste ei olekaan osunut tai tilauskanta kasvaa yllättäen.

Kontin saapuessa perille Yrityksen omat tilat eivät riitä varastoimaan kaikkia kerralla saapuvia komponentteja, vaan suurin osa varastoinnista on ulkoistettu suomalaisen sopimuskumppanin varastohotelliin. Tämä aiheuttaa taas lisää haasteita rinnakkaisten saldojen ylläpitämisessä ja kommunikaatiossa, sillä tämä varasto ei sijaitse fyysisesti kokoonpanotehtaan alueella. (Haastattelu 3; 19)

Arvokkaampien nimikkeiden kohdalla kiertonopeus on suurempi. Erityisesti VT nimike 2:n kohdalla tämä tulee selvästi esiin. Se on tuotteen ydinkomponentti, joka muodostaa myös suurimman osan lopputuotteen arvosta. Kyseessä on VMI-nimike, ja se myös saapuu säännöllisemmin pienimmissä erissä lentorahtina.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että Kauko-Idästä epäsäännöllisesti suurissa erissä tulevat komponenttitoimitukset eivät Suomen tehtaan näkökulmasta ole tuotannollisesti kovin

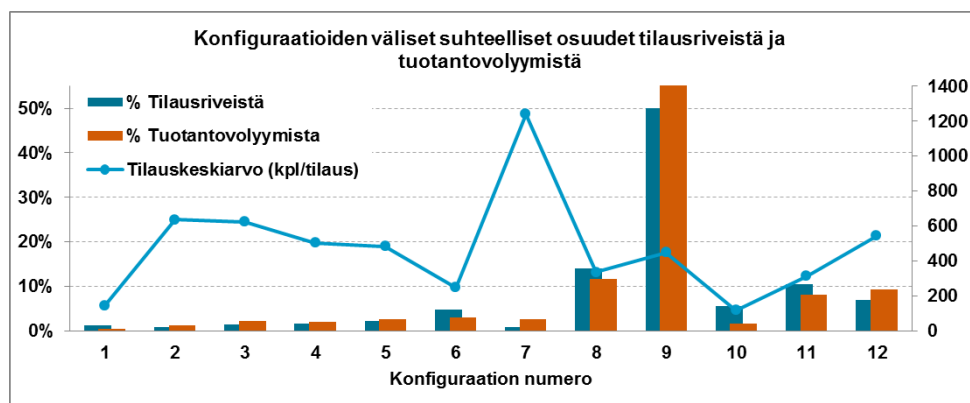
tehokas ratkaisu. Samalla ne aiheuttavat valtaosan tuotteen läpimenoajasta sekä sen, että oston pitää pystyä ennakoimaan tarve yli kolmen kuukauden päähän merikonttitilausta tehdessään (Haastattelu 19). Toisaalta Kauko-Idän komponenttitehdas valmistaa suhteessa moninkertaisen määrän lopputuotetta Suomen tehtaaseen verrattuna. Siksi vanhaan tuotteeseen liittyen Suomen tehtaalle hitaista toimituksista aiheutuvat haitat ovat yritysmittakaavassa pienemmät kuin Aasian sopimusvalmistajan hyödyt (Haastattelu 2).

Suuret erät ja pitkät toimitusajat sisältävät riskin viallisesta komponenttierästä. Tämä riski onkin kerran realisoitunut, kun erään nimikkeen koko toimituserä pilaantui johtuen väärin tilatun merikontin huonosta ilmastoinnista (Haastattelu 2; 19). Ongelma havaittiin vasta Suomessa, ja se aiheutti mittavan ja kalliin operaation tuotannon katkeamisen estämiseksi. Toisaalta osa nimikkeistä on kevyitä ja paljon tilaa vieviä, osa suhteellisen painavia ja osa sisältää lentorahdissa rajoituksien alaisia ainesosia, jotka kaikki ovat lennättämisen kannalta haitallisia tekijöistä.

Kaiken kaikkiaan Suomessa tapahtuvan vanhan tuotteen valmistuksen kannalta edellä kuvatun kaltainen komponenttien toimitusprosessi ei juurikaan mahdollista tuotantoprosessin kokonaisvaltaista ja radikaalia kehittämistä kohti virtaavampaa lean-valmistusta. Suomen tehtaan tuotannon kehittäminen kohti pienempiä varastotasoja sekä lyhyempää läpimenoaikaa ja siten parempaa tuottavuutta aiheuttaa käytännössä aina päänvaivaa eli lisäkustannuksia joko ostolle tai logistiikalle.

Valmistusta ajatellen on toisesta kokoonpanotehtaasta Kauko-Idässä paljon hyötyä, koska sen avulla voidaan tasapainottaa tuotannon vaihtelua ohjaamalla tilauksia sille tehtaalle, jolla on sillä hetkellä joustavampi henkilöresurssitilanne (Haastattelu 9). Sopimusvalmistajan näkökulmasta suurin osa komponenteista valmistetaan myös heidän tehtaansa lähialueilla, mikä ainakin teoriassa helpottaa osien toimittamista ja varastonhallintaa. Tilannetta rajoittaa toisaalta se, ettei aina rahti- ja verotussyistä ole järkevää valmistaa Aasiaan meneviä tilauksia Suomessa tai vastaavasti Eurooppaan meneviä tilauksia Aasiassa (Haastattelu 2). Työn kustannus Kauko-Idässä on luonnollisesti pienempi kuin Suomessa, joten valmistus Suomessa pitää oikeuttaa korkealla tuottavuudella ja erikoisosaamisella.

Kauko-Idän tehdas onkin keskittynyt pääasiassa tuotteen korkean volyymin konfiguraatioihin. Kaikki erikoisemmat tilaukset kokoonpannaan ja testataan Suomessa, jonne yrityksen ydinosaaminen on keskittynyt (Haastattelu 2; 9). Yhteensä vanhalla tuotteella on 12 eri konfiguraatiota/mallia, joilla on ollut asiakastoimituksia. Alla olevasta kuvasta 13 voidaan nähdä, että keskimääräinen tilauserä vaihtelee huomattavasti konfiguraatioiden välissä. Volyyminmallia 9 myydään reilusti isommissa kertaerissä kuin esimerkiksi konfiguraatioita 6 ja 10, joista on paljon tilauksia mutta hyvin pieni volyymi.



**Kuva 13: Vanhan tuotteen tilausmäärän ja tuotantovolyymien jakaantuminen eri konfiguraatioille (Lähde: Yrityksen ERP, tiedot noudettu 17.07.2013)**

Tuotannolle ja logistiikalle näin monen eri konfiguraation ylläpitäminen aiheuttaa monia haittoja. Se 1) paisuttaa erityisesti pienivolyymisten mallien osalta varastoitavien nimikkeiden määrää ja siten 2) lisää ostotransaktioita, 3) aiheuttaa hidaskiertoista varastointitarvetta, 4) monimutkaistaa solun materiaalitäydennystä, 5) aiheuttaa asetusajoja tuotantoon sekä 6) lisää riskiä saldivirheiden ja tavaroiden hukkumisen osalta. Uuden tuotteen tapauksessa tähän onkin puututtu, ja eri konfiguraatioita tulee vain kuusi. Tästä keskustellaan tarkemmin luvussa 5.

## 4.2. Alikokoonpanolinjan ja kokoonpanosolujen rajapinta

Nykymuodossaan oleva vanhan tuotteen tuotantoprosessi on suunniteltu 2000-luvun vaihteessa, jolloin lean-tuotanto oli globaalisti lyönyt itsensä läpi, mutta Suomessa sen kehittäminen oli vielä alkutekijöissään. Tuotantoprosessi perustuikin melko puhtaasti vanhanaikaiseen erätuotantoajatteluun, jossa prosessin eri vaiheiden välissä tapahtuu aina odottamista. Nykyinen tuotantoprosessi on havainnollistettu liitteestä 4 löytyvään arvovirtakarttaan (Value Stream Map, VSM).

Vanhan tuotteen tuotantoprosessin voidaan katsoa alkavan alikokoonpanolinjan alusta, sillä siellä tehtävät suoritteet tehdään myös samalle ennusteelle tuotetilausten kanssa. Keskusvarasto toimittaa alikokoonpanolinjalle ydinkomponentti 1:n, joka jalostetetaan linjalla vaihe 1:ssä alikokoonpanon puolivalmisteeksi. Ydinkomponentti 1 tilataan tehtaalle noin kolmen viikon välein, eli kappaleen tavallisella päiväkulutuksella saldoa riittää noin kymmeneksi päiväksi.

Puolivalmiit alikokoonpanot työnnetään odottamaan puskurivaiheeseen, joissa ne asetellaan 90 kappaletta vetäviin telineisiin. Näissä telineissä odottaa kerralla noin kuuden tunnin tarve. Yksi teline vie 0,7 neliometriä lattia tilaa, eli neljä telinettä yhteensä hauraavat käytännössä 3 neliometriä arvokasta tilaa tuotantolattialta.

Puskurista puolivalmisteet otetaan alikokoonpanovaihe 2:een, jossa jokaista niistä valmistellaan manuaalisesti 10 sekunnin ajan kalibrointia varten. Samalla ne siirretään erissä kalibrointitelineeseen, joka työnnetään kalibrointiaseman odotuspuskurivarastoon. Siellä on tilaa 55 erälle kerralla, joihin sisältyy myös valmiit erät.

Kalibrointi yhdelle erälle kestää noin 9 tuntia. Työaikaan valmiita eriä odottaa pääsyä alikokoonpanovaihe 1:een vain yksi kerrallaan, mutta koska laite toimii vuorokauden ympäri, kerääntyy puskuriin ajoittain myös kalibroituja eriä. Puolivalmiita alikokoonpanoja kalibroinnin puskurissa odottaa jopa vuorokauden tarve. Kalibrointilaite toimii vuorokauden ympäri, mutta muodostaa silti tuotantoprosessin pullonkaulan. (Haastattelu 4)

Kalibroinnin jälkeen alikokoonpanot käyvät läpi manuaalisen alikokoonpanovaihe 3:n, jossa niiden laatu tarkistetaan ja hyväksytyt kokoonpanot siirretään kalibrointitelineestä kahdeksan kappaleen asennustarjottimille. Sen jälkeen valmisteet jakautuvat kolmeen eri ryhmään. Hylätyt kokoonpanot menevät uudestaan kalibroitavaksi, eli ne käsitellään kahteen kertaan. Hyväksytyt alikokoonpanot lähtevät joko Aasiaan sopimusvalmistajalle, tai ne viedään odottamaan kokoonpanolinjan puskuriin, jonne niitä noin 1,5 päivän tuotanto. (Haastattelu 4)

Alikokoonpanon puskuri sijaitsee noin 10 metrin etäisyydellä sekä alikokoonpanolinjasta että varsinaisista kokoonpanosoluista niin, ettei kummallakaan ryhmällä ole kuitenkaan suoranaista näköyhteyttä siihen. Se umpinainen kaappi, jonka saldon näkee vain avaamalla sen oven. Alikokoonpanon reaaliaikaista saldotietoa ei myöskään ole missään tietojärjestelmässä, vaan se selviää ainoastaan käymällä fyysisesti paikan päällä katso-massa sitä.

Prosessi toimii tällä hetkellä siten, että operaattorit kokoonpanosoluista käyvät hake-massa alikokoonpanoja puskurivarastosta aina tarpeen mukaan, ja heidän pitää samalla käydä suullisesti ilmoittamassa alikokoonpanolinjan puolella, että puskurikaappiin mah-tuu taas lisää valmisteita. Mitään automatisoitua, idioottivarmaa tai visuaalista infor-maatioväylää ei siis ole, vaan prosessin toiminta riippuu täysin operaattoreista ja heidän välisestä epävirallisesta kommunikaatiostaan.

Minkäänlaista tasaista virtausta ei vaiheiden välillä ole havaittavissa, vaan valmisteet liikkuvat suuremmissa erissä täysin satunnaisesti. Ääritapauksissa käy jopa niin, että operaattorit käyvät tyhjentämässä puskurin kerralla kokonaan soluihin, eivätkä muista ilmoittaa siitä alikokoonpanolinjalle. Linja huomaa sattumalta kaapin tyhjentyneen ja kiireesti alkaa työntää sitä uudestaan täyteen, vaikka koko 1,5 päivän tarve on jo valmiina varastoituna prosessiin vaikkakin väärään paikkaan.

Edellämainittu ongelma alikokoonpanolinjan ja kokoonpanosolujen välillä on yksi tämän tutkimuksen ydinongelmista, joka on tarkoitus korjata luomalla uuden tuotteen valmistusprosessiin kanbaniin perustuva pull-tyyppinen täyttöprosessi sekä informaatiokanava solusta alikokoonpanolinjalle, joka hoitaisi täyttämisen vain ja ainoastaan silloin kun kokoonpanosolut oikeasti tarvitsevat kyseisiä osia. Jos tätä tietovirtaa ei ole mahdollista automatisoida, tarkoitus olisi luoda puoliautomaattinen visuaaliseen signaaliin perustuva kanban-impulssi solusta alikokoonpanolinjalle, joka uudessa layoutissa sijoittuu noin 30 metrin päähän soluista. Samaa tarvesignaaliin perustuen viesti pitäisi saada puskurista myös alikokoonpanolinjan aiemmille vaiheille, jotka siten osaisivat täyttää oikean määrän korvaamaan varastosta lähteneet valmisteet.

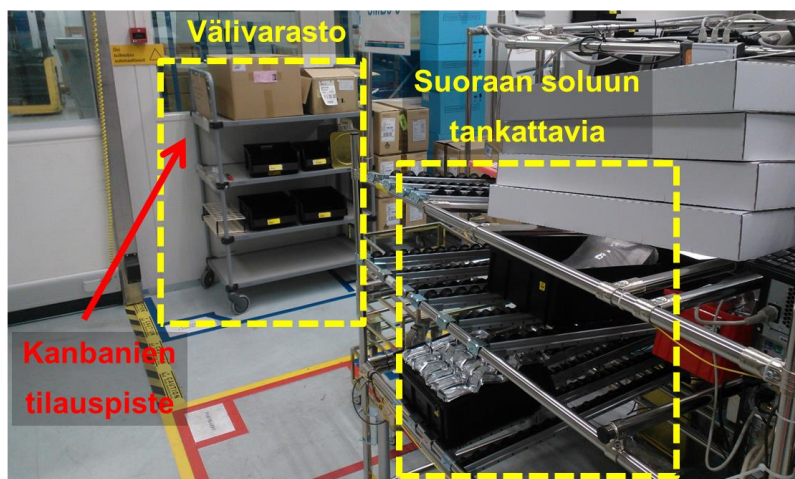
### **4.3. Kokoonpanosolu ja sen täydennysimpulssi**

Kokoonpanosoluissa puolivalmisteet yhdistetään keskusvarastosta tuleviin osto-osiin, missä niistä muodostuu yksi kokonainen tuote. Yhden laitteen kokoonpanoon ja pakkaamiseen solussa menee kahden operaattorin tilanteessa noin neljä minuuttia. Solun sisäistä toimintaa on viime vuosina kehitetty soveltamalla hyvällä menestyksellä erilaisia lean-elementtejä, mikä on lyhentänyt vaiheen läpimenoaikaa huomattavasti ja pienentänyt solun sisäisiä KET-varastoja (Vaittinen, 2011). Solussa ei kuitenkaan ole pakotettua yhden kappaleen virtausta, minkä vuoksi operaattorit tekevät ajoittain tietyn vaiheen useammalle kappaleelle kerralla, jättävät ne väliaikaisesti kahden kokoonpanovaiheen väliin odottamaan suorittaen kierron loppuun taas yksi tuote kerrallaan.

Monikymmensivuinen, yksityiskohtainen työohje kokoonpanoon on olemassa, mutta sitä ei käytetä varsinaisena työstandardina, vaan operaattorit käyvät välillä varmistamassa siitä kokoonpanon yksityiskohtia tarpeen mukaan. Työohjetta säilytetään 3 metriä solun ulkopuolella olevan tiimi-PC:n vieressä. Operaattoreiden kokoonpanosuoritteiden välillä on hienoista varianssia. Jokainen tekee tiettyjä vaiheita hieman omilla vivahteilla, mutta suuria eroja suoritteissa ei ole.

Soluihin on normaalisti varastoitu noin 1,5 – 2 päivän tuotannon edestä komponentteja nimikkeestä riippuen; osa kanban-supermarkettiin suoraan soluihin ja osa erilaisiin väli-varastoihin solun ulkopuolelle, josta operaattorit käyvät itsenäisesti hakemassa ne sen sijaan, että keräilijä toisi ne suoraan soluun. Esimerkki tästä on nähtävissä kuvassa 14. Myös kanbanien tilauspiste on sijoitettu solun ulkopuolella olevan välivarasto-rullakon päähän.





**Kuva 14: Kuva solun ulkopuolisesta esillepanopisteestä (kuvattu 26.06.2013)**

Kanbanien tilausprosessi toimii niin, että yksi operaattori katsoo ja kysyy muilta, mitä nimikkeitä soluihin pitäisi tilata, painaa ne mieleensä ja poistuu solusta kanban-tilauspisteelle. Tuotanto siis keskeytyy tai ainakin hidastuu vähintään toisessa solussa aina kun täydennystarve tulee. Ajoittain tilauksen suorittaa myös kokoonpanon tiiminvetäjä. Kaikkien nimikkeiden kanban-kortit on varastoitu päällekkäin sattumanvaraiseen järjestykseen hyllyn päällä olevaan korttipidikkeeseen kuvan 15 osoittamalla tavalla. Löytääkseen haluamansa kanban-kortit joutuu operaattori pahimmillaan käymään koko nipun läpi useampaan kertaan. Tilattavat kanban-kortit asetetaan saman rullakon päähän eri riville, josta keräilijä tulee noutamaan ne. Kanban-kortteihin on merkitty tuotteen koodi sekä keskusvarastopaikka, joilla ne löytyvät varastosta. Komponentin kutsumanimi on merkitty vain osaan kortteja mutta tarkkaa esillepano-osoitetta ei käytännössä yhteenkään. Kuvia ja värejä eli visuaalista ohjaamista ei ole myöskään käytetty laminoiduissa paperikorteissa lainkaan. Osassa nimikkeistä kanbanina toimii tyhjentynyt rullaratalaatikko kortin sijasta. Osa nimikkeistä puolestaan tilataan suullisesti keräilijän saapuessa paikalle. Käytössä on siis kolme erilaista rinnakkain käytettävää tilaustapaa.



**Kuva 15: Kanban-kortit tilauspisteessä (kuvattu 26.06.2013)**

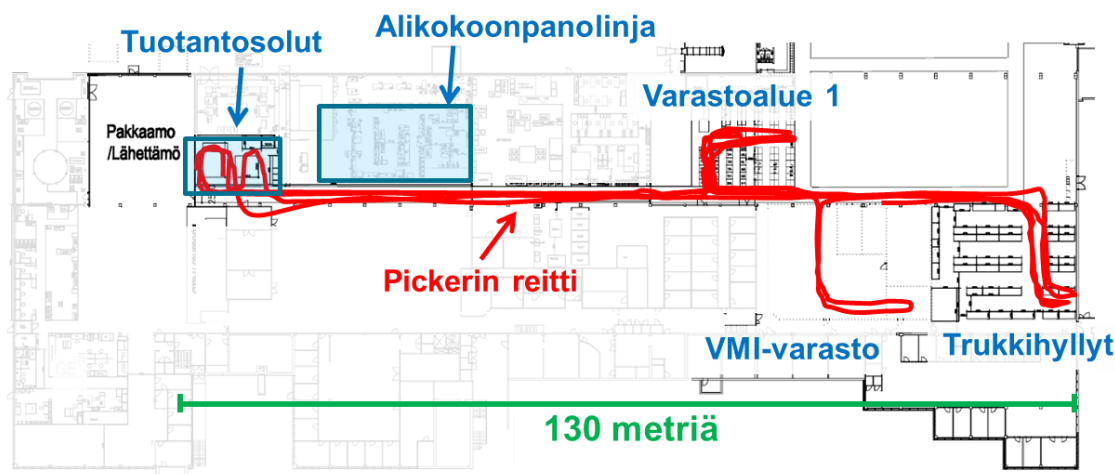
Alikokoonpanolinjalla on oma supermarket-varasto, mutta vakiintuneeksi käytännöksi on tullut, että he tuovat omat kanban-korttinsa 15 metrin päässä sijaitsevaan, yllä esitellyyn loppukokoonpanon kanban-tilauspisteeseen, koska yleensä keräilijät eivät muista vierailta heidän omalla, hieman syrjässä pääkäytävästä olevalla kanban-pisteellään. Alikokoonpanolinjan kanban-kortteihin puolestaan on merkitty tarkka osoite, joten tavaroita tuodessa ne kyllä viedään oikealle paikalleen kokoonpanosoluun päätyksen sijasta.

Logistiikan organisaatioon kuuluvien keräilijöiden kanssa on sovittu, että he tulevat kaksi kertaa päivässä katsomaan, onko solussa täydennystarvetta. Käynnit ovat yleensä aamulla 07.30–08.30 ja iltapäivällä klo 12.00–13.00. Tavallisesti prosessi toimii moitteetta, mutta loma- ja kiireajat aiheuttavat haasteita. Jos keräilijöitä on samanaikaisesti useampia poissa, voi tutkittavan tuotteen tuotantosolujen täydentäminen unohtua kokonaan tai he eivät kertakaikkiaan ehdi tulla, jos muilla tuoteperheillä on aikakriittisempi tilanne, ja niiden tiiminvetäjät pitävät asiasta kovaa melua. Solujen 1,5 päivän varastotasoja käytetään paikkaamaan tätä ongelmaa prosessissa. Samat 1,5 päivää voi suoraan lisätä tuotteen läpimenoaikaan komponenttien odottaessa käyttöä solun supermarketissa.

Vanhan tuotteen nimikkeissä on kuitenkin yksi, jolle soluissa ei ole varastotilaa yli päivän tarpeelle. Kaksi täydennyskertaa onkin sovittu pääasiassa pelkästään tämän nimikkeen takia muun solun selviytyessä periaatteessa yhdellä päivittäisellä täydennyksellä. Edellä mainitussa tilanteessa, jossa keräilijä ei pääsekään jonain päivänä tulemaan, joutuu kokoonpanon tiiminvetäjä ottamaan yhteyttä keräilyn tiiminvetäjään tilauksesta ilmoittaakseen. Joissain tapauksissa operaattorit käyvät itse hakemassa nimikkeitä keskusvarastosta tuotannon jatkumiseksi.

#### **4.4. Keräily- ja täydennysprosessi**

Keräilyprosessiin suurimman haasteen tuo varaston ja tuotantosolujen välinen suuri, pahimmillaan jopa 130 metrin fyysinen välimatka, jossa ei ole mitään reaaliaikaista informaatiovirtaa. Lisäksi tällä hetkellä vanhan tuotteen nimikkeet ovat hajasijoitettu kolmeen eri varastoon: Isot tavarat trukkihyllyille tehtaan perälle, VMI-nimikkeet omaan varastoonsa sekä sekalaiset pienemmät tavarat erilliselle varastoalueelle. Varastot sijaitsevat suhteellisen lähellä toisiaan, mutta poikkeaminen päämateriaalikäytävältä jokaiseen yksittäiseen varastoon vaatii noin 50 metrin edestakaisen kävelyn. Tuotantosolujen suhteellisen sijainti varastoihin nähden on havainnollistettu kuvassa 16.



**Kuva 16: Kaksinkertaisen kierroksen spagettikaavio liitettyä tehtaän layoutiin**

Yllä olevan kuvan punainen keräilyreitti perustuu havainnointi 1:een, jossa keräilijän saapuessa soluun hänelle ilmoitettiin suullisesti lisätarpeesta, joka vaati kaksinkertaisen kierroksen tekemisen. Toinen vierailu varastoalue 1:llä sekä trukkihyllillä venyttivät yhden keräilykierroksen kävelypituuden noin 850 metrin mittaiseksi. Kaksinkertaisia kierroksia tapahtuu muutenkin säännöllisesti, yleensä noin kaksi kertaa viikossa. Pääsyyinä on joko jonkin nimikkeen keräilyn unohtaminen silloin tällöin, edellä mainittu suullinen lisätilaus tai liian iso tavaramäärä, joka ei mahdu kerralla keräilykärryyn. Havainnointi 1:ssä kärryn kapasiteetti oli jo turvallisuudenkin näkökulmasta äärirajoilla, vaikka tilattu tavaramäärä ei ollut paljoa keskitasoa suurempi. Lastattu keräilykärry voidaan nähdä kuvassa 17. Kärry itsessään voi vaihdella, eikä siinä ole tietyille nimikkeille mitään standardoituja paikkoja. Samaa kärryä käytetään myös muiden tuoteperheiden palvelemiseen.



**Kuva 17: Keräilykärryn lasti (havainnointi 1)**

Nykyisellään VT-täydennysprosessi toimii niin, että kaksi tai kolme keräilijää on vuorollaan nimetty vastuullisiksi viikko kerrallaan tutkittavan tuotteen palvelemisesta. Heidän pitää keskenään sopia, kuka käy minäkin päivänä minkä kierroksen. Satunnaisesti tämä johtaa siihen, että yhden keräilijän hoidettua jo täydennyksen, kävelee toinen keräilijä siitä tietämättä muutaman minuutin päästä tuon 130 metrin matkan katsomaan, onko soluissa täydennystarvetta.

Tavallisesti yksi keräilijöistä ottaa varastosta kärryn mukaansa ja kävelee varastosta 130 metriä solulle hakemaan operaattorien tilattavaksi laittamat kanban-kortit. Tähän menee aikaa noin kaksi minuuttia. Saavuttuaan soluun keräilijä ottaa operaattorien solusta välivarastoon kuljettamat tyhjät kanban-rullaratalaatikot mukaan täytettäväksi sekä järjesteele tilattavat kanban kortit varastopaikan mukaan. Tähän sekä paluumatkaan varastolle menee molempiin myös noin kaksi minuttia.

VMI-varasto on yksittäisistä varastoista selkein kokonaisuus. Siellä saman tuoteperheen nimikkeet ovat keskenään samassa paikassa selkeästi merkittynä. Tavaroiden etsimiseen ei juuri mene aikaa. Kirjaamisineen VMI-varastossa käynti kestää kolmesta neljään minuuttia.

Erillinen varastoalue vaatii enemmän aikaa. Nimikkeitä on enemmän, ja niiden etsimiseen voi mennä vähän aikaa, vaikka suurin osa tavaroista onkin sijoiteltu samaan hyllyväliin. Lisäksi tietyillä nimikkeillä oli jopa avaamattomissa samanlaisissa pakkauksissa eri määrä komponentteja, mikä vaatii aina manuaalisen tarkistuksen. Jos tavaroita pitää keräillä kahdesta tai useammasta eri laatikosta, pitää niiden summa laskea päässä yhteen ennen kirjaamista järjestelmään.

Pahimmillaan päässälaskut voivat olla tasoa 6 x 360. Koska osa avatuista paketeista otetuista nimikkeistä eivät ole missään nipuissa, pitää niille laskea manuaalisesti kanban-korttia vastaava määrä, mikä vaatii runsaasti aikaa ja on aina virheherkkä vaihe. Tämä voidaan nähdä kuvan 18 kohdassa C. Erillisellä varastoalueella käynti vie neljästä kuuteen minuuttia.



**Kuva 18:** Ylimääräisiä työvaiheita keräilyssä ja esillepanossa: Kuvissa A ja B tavaroiden siirtelyä käsin laatikosta toiseen. Kuvassa C nimikkeiden manuaalista laskemista (havainnointi 1; 2; 5)

Trukkivarasto on hankalin osa keräilyvaihetta. Heinäkuussa 2013 tehdyssä uudistuksessa varastopaikat uudelleenjärjestettiin perustuen nimikkeiden vaatimaan varastointitilavuuteen. Näin ollen saman tuoteperheen nimikkeitä hajaantui eri paikkoihin. Toisin sanoen varaston sisäinen optimointi aiheutti huomattavaa haittaa keräilylle ja välillisesti myös tuotannolle. Osa vanhan tuotteen nimikkeistä trukkivarastossa sijoitettiin ylähyllylle noin 5 metrin korkeuteen, eli niiden keräily vaatii nimenomaan trukin käyttöä. Pelkästään lavan laskemiseen ja nostamiseen takaisin ylös menee noin 3 minuuttia. Trukkivarastossa on myös jo mainittu volyyminimike, joka pitää täydentää kaksi kertaa päivässä. Sen keräily vaatii tosin aina nimikkeen siirtämisen kuljetuslaatikosta erilliseen rullaratalaatikkoon yksitellen (kuva 18B). Yhden laatikon täyttöön menee aikaa yli minuutti, ja operaatio pitää toistaa noin 10 kertaa päivässä. Trukkivarastossa keräilyyn menee tavallisesti aikaa viidestä viiteentoista minuuttia.

Takaisin soluun saapuessaan keräilykierrökseen on siis kulunut aikaa yleensä 18–31 minuuttia tilattujen kanbanien määrästä riippuen, mikäli matkalle ei osunut yllättäviä muuttujia, kuten trukkikortillisen keräilijän odottamista tai trukin käyttämistä trukkikortittomalle keräilijälle. Solussa pitää vielä selvittää, että minne noudetut tavarat sijoitetaan. Operaattorit haluavat tiettyjä nimikkeitä välillä eri paikkoihin. Lisäksi kanban-korteissa ei ole erikseen ilmoitettu kumpi kahdesta solusta nimikettä on tilannut, vaan keräilijän pitää itse tarkastaa asia visuaalisesti tai kysymällä. Solussa nimikkeille ei siis ole tarkkaa komponenttitason osoitetta. Osalle nimikkeistä on vain yksi yhteinen sijoittelupiste molemmille soluille, kun taas osa tuodaan erikseen kumpaankin soluun. Kolmas vaihtoehto on jo mainittu erillinen välivarasto, jonne osa nimikkeistä pitää laittaa, elleivät ne mahdu solun rullaradoille. Sen haittapuolena on, että operaattorit joutuvat myöhemmin käymään hakemassa nimikkeet erikseen tuotantosoluun.

Välivarastoon vietävistä nimikkeistä kaksi pitää vielä siirtää taas toimittajan pakkauslaatikosta solussa käytettävään rullaratalaattikkoon. Toinen näistä työvaiheista voidaan nähdä kuvan 18 kohdassa A. Yhteen tällaiseen siirtoon menee aikaa noin kaksi minuuttia, ja molempien nimikkeiden kohdalla toistuvuus on päivittäistä. Varsinaiseen solujen täydentämiseen keräilijällä menee aikaa viidestä kymmeneen minuuttia, ja paluuseen varastolle kaksi minuuttia. Näin voidaan sanoa että, tyypillisesti kierroksen kokonaiskesto on 30–45 minuuttia, ellei mitään yllätyksiä tapahdu. Suurin osa tästä ajasta on lean-ajatteluun peilattuna silkkaa hukkaa kuten etsimistä, kävelyä ja ylimääräistä tavaroitten siirtelyä.

Poimintojen kirjaaminen on yksi hukkaa aiheuttava kokonaisuus itsessään. Se tehdään käyttäen mobiilia päätelaitetta, joka on yhteydessä Yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään. Pääteellä luetaan poimittavan nimikkeen varastopaikka, jonka jälkeen sinne syötetään manuaalisesti siirrettävä (pääsälaskettu) yksikkömäärä sekä varastosiirron kohde eli tuotantosolu. Tämä kirjaus tehdään siis jokaiselle poiminnalle erikseen, mikä vie aikaa noin 10–20 sekuntia sekä on virheherkkä työvaihe.

Heinä-elokuussa suoritettu suurempi mittaus vanhan tuotteen keräilyssä antoi keräilykierroksen aikakeskiarvoksi 42 minuuttia keskihajonnan ollessa 15 minuuttia, eli suhteessa varsin suuri. Vaihdettavia kanbaneja oli keskimäärin noin yhdeksän, joista kaksi VMI:hin, kaksi erilliselle varastoalueelle ja neljästä viiteen trukki-alueelle. Hälyttävä yksityiskohta on suhteessa suuret keskihajonnat eli varastokohtaisten nimikkeiden voimakkaasti heilahteleva kysyntä, sillä Persona et al. (2007) mukaan nimikkeen kysynnän keskihajonta on suoraan verrannollinen vaadittuun varmuusvaraston kokoon. Yhteenvedo mittaustuloksista on nähtävissä taulukossa 9. Tarkemmat mittaustulokset on nähtävissä liitteessä 1.

**Taulukko 9: Mitattujen vanhan tuotteen täydennyskierrosten aikojen ja noudettujen kanbanien keskiarvot ja keskihajonnat (Mittaus 1)**

	KIERROSAIKA	KANBANIEN MÄÄRÄ (kpl)			YHT.
		B3	VMI	TRUKKI	
<b>Keskiarvo</b>	<b>00:42</b>	<b>2.00</b>	<b>2.35</b>	<b>4.43</b>	<b>8.78</b>
Keskihajonta	00:15	2.15	2.30	2.83	3.69

Melkein jokaisen keräilyhavainnoinnin aikana aikaa tuhraantui vielä lisää sattumanvaraisiin muuttujiin, kuten kaatuneen mobiilipäätelaitteen uudelleenkäynnistämiseen (noin 4 minuuttia), hajonneen trukkilavan vaihtamiseen (5 minuuttia) tai loppuneiden nimikkeiden seuraavan saapumiserän tarkistamiseen (yli 5 minuuttia). Yksi esiintunut ongelma on, että mikäli kanban-nimikkeiden kotiinkutsuja logistiikkapartnerin varastohotel-

lista ei tehdä ajoissa, löydetään puute vasta keräilyvaiheessa. Se aiheuttaa aina keräilyprosessin katkeamisen sekä paljon ylimääräistä setvimistä.

Kaiken kaikkiaan vanhan tuotteen valmistuksen keräilyprosessissa on paljon kehityspotentiaalia, joista suurimmat voitot erityisesti pitkällä tähtäimellä saataisiin jonkinlaisen informaatiojärjestelmän luomisella tuotantosolun ja keräilijöiden välille, jotta he saisivat jo etukäteen tietää, mitä milloinkin pitää keräillä. Tällä hetkellä prosessissa liikkuu paljon epävirallista tietoa eikä keräilyprosessin mitään osaa ole standardoitu. Havainnointien aikana kuuli keräilijöiltä usein lauseen ”minä tiedän, että se vain menee näin” liittyen esimerkiksi FIFO:on tai tavaroiden esillepano-osoitteeseen.

Pähkinänkuoressa nykymuotoisen keräilyn ydinongelma on standardoimaton työ, eli prosessin suuri vaihtuvuus niin kerättävien nimikkeiden kuin keräilijöiden keskuudessa. Jokainen kierros on alusta loppuun täysin erilainen, ja jokainen keräilijä hoitaa sen omalla tyyllillään. Myös varaston ja tuotantosolujen pitkä etäisyys aiheuttaa paljon kävelyä, mikä ei ole arvoa tuottavaa työtä. Prosessi sisältää paljon virhealtista ja aikaa vieviä manuaalisia työsuoritteita kuten määrien laskemista ja tavaroiden siirtelyä laatikosta toiseen.

#### **4.5. Kokoonpanosolun ja pakkaamon välinen yhteys**

Tuotantoprosessi jatkuu kokoonpanon jälkeen valmistuneiden tuotteiden pakkaamisella kuljetuslaatikkoon ja viemisellä järjestelijälle varsinaiseen pakkaamoon. Yksi solu täyttää 40 kappaleen kuljetuslaatikon noin kahdesta kolmeen tunnin välein. Se tarkoittaa, että kuljetuslaatikossa seisoo koko ajan tunnin tuotanto eli noin 20 kappaletta. Pakkauslaatikon sulkeminen kestää noin minuutin yhdeltä operaattorilta.

Valmiit pakkauslaatikot laitetaan solujen vieressä olevalle trukkilavalla, johon mahtuu kerralla 12 pakkauslaatikkoa eli 480 valmista jalostettua tuotetta. Se vastaa pahimmillaan yhden solun kolmen päivän tuotantoa, koska eri solut valmistavat yleensä samaan aikaan eri tilauksia, jos tilauskoko on alle 1000. Jos molemmat solut tekevät samaa tilausta, täyttyy trukkilava puolentoista päivän välein, mikä voidaan taas lisätä läpimenoaikaan. Isommissa tilauksissa valmiita tuotteita toimitetaan pakkaamon toivomuksesta järjestelijälle 12 laatikon välein, kun pienemmät viedään tilauksen valmistuttua. Käytännössä solussa odottavien valmiiden tuotteiden lukumäärä vaihtelee voimakkaasti käynnissä olevan tilauksen mukaan. Paras mahdollinen arvio on puolet keskiarvotilauksen määrästä eli noin 200 kappaletta per solu, mikä vastaa hieman yli päivän tuotantoa.

Tilauksen valmistuttua poistuu yksi operaattori solusta muutaman metrin päähän tiimi-PC:lle, jossa hän kirjaa tilauksen valmiiksi toiminnanohjausjärjestelmään. Tämä manuaalinen työvaihe kestää viidestä kymmeneen minuuttia. Sen jälkeen tilauksen valmiiksi

saaneet operaattorit kuljettavat lavan pumppukärryillä noin kymmenen metrin päähän järjestelijälle, joka tarkistaa tilauksen kiireellisyyden, ja sen perusteella sijoittaa lavan pakkaamon työjononoon. Järjestelijällä on käytössä excel-pohjainen tiedosto, jonka avulla hän voi suunnilleen ennakoida milloin valmis lava tuodaan hänelle. Käytännössä kuitenkin tavara liikkuu jälleen työntöohjatusti.

Tässä tutkimuksessa pakkaamon toimintaan ei puututa. Tutkittavan tuotteen näkökulmasta pakkaamoprosessi ei ole tehokas, koska pakkaamon kolme työvaihetta käsittelevät koko tilauksen aina kerralla, eikä vaiheita toistaiseksi tehdä limittäin. Jos kyseessä on tutkittavan tuotteen osalta suurehko, yli tuhannen kappaleen tilaus, voi pakkaamon läpimenoajaksi tulla jopa yli neljä vuorokautta, mikä melkein kaksinkertaistaa tehtaan sisäisen läpimenoajan. Sen aikana yhteen yhtä tuotteen kuljetuslaatikkoa kohti tehdään alle viisi minuuttia arvoa lisäävää työtä, eli prosessi sisältää valtavasti odottamista, joka on lean-filosofian mukaan yksi seitsemästä tuotannon hukasta.

Pakkaamorajapinnasta löytyy kaksi merkittävää kehityskohdetta, jotka tavallaan liittyvät toisiinsa. Ensimmäinen on valmiiden pakkausten virtauksen parantaminen. Valmiit tuotteet pitäisi saada liikkumaan nopeammin ja pienemmissä erissä pois tuotannosta pakkaamon puolelle, eikä jättää niitä tuotantosoluun useiksi päiviksi. Toisaalta voisi kysyä, onko operaattorit oikeat henkilöt viemään valmiit tuotteet pois solusta. Vaikka fyysinen matka solusta järjestelijälle ei ole kuin kymmenen metriä, menee painavan lavan pyörittelyyn pumppukärryillä noin viisi minuuttia, mikä on aina pois tuotantoajasta.

Järjestelijän toive oli, ettei laatikoita toimitettaisi yksi kerrallaan, mikä toisaalta ei tuotannon näkökulmasta ole mielekästä niin kauan, kun operaattorin pitää hoitaa materiaalien liikuttelu. Ideaalinen tilanne olisi edistää kompromissina kolmea tai neljää laatikkoa kerrallansa, koska se ei aiheuttaisi massiivista kertatavaravyöryä järjestelijälle, pitäisi tämän paremmin ajan tasalla tuotantotilanteesta, mutta estäisi samalla tuotantosolun käyttämisen väliavarastona. (Haastattelu 6 & 16)

#### **4.6. Yhteenveto nykyprosessista**

Vanhan tuotteen täydennysprosessista löytyi runsaasti hukkaa, jonka löytäminen oli edellytys kolmanteen tutkimuskysymykseen vastaamiseksi (kts. luku 1.2). Rother & Shookin (1999, s. 31) käyttämän tavan mukaan laskettuna vanhan tuotteen koko valmistusprosessin läpimenoajaksi saataisiin noin 119 vuorokautta, josta arvoa tuottavaa jalostusaikaa olisi yhteensä noin puolitoista vuorokautta. Siitäkin yhdeksän tuntia kuluu kalibrointiin ja puoli vuorokautta puoliautomaattiseen alikokoonpanovaihe 1:een.



Jos rajapinta ensimmäisen portaan toimittajiin jätetään pois, eli nimikekulutuksella painotettu 107 vuorokauden varastonkierto unohdetaan, saadaan Suomen tehtaan läpimenoajaksi noin 12 vuorokautta, kuten voidaan nähdä liitteessä 4 olevasta arvovirtakuvauksesta. Jättämällä tutkimukseen kuulumattomat pakkaus- ja lähetysprosessit sekä alikokoonpanolinjan osuus pois eli keskittymällä vain tutkittavaan prosessin osaan alikokoonpanopuskurista järjestelijälle asti, saadaan läpimenoajaksi noin 2,5 vuorokautta, josta noin 4,5 minuuttia voidaan laskea kokoonpanon ja tuotepakkaamisen osalta arvoa tuottavaksi työajaksi. Kokonaisuutta ajatellen pitää kuitenkin muistaa, että suuret voitot vanhan tuotteen läpimenoajan lyhentämisessä voidaan saada nimenomaan tämän tutkimuksen ulkopuolisia prosesseja kehittämällä toimittajarajapinnassa sekä pakkaamossa.

Prosesseissa on paljon hukkaa, mikä johtuu eräpohjaisesta valmistuksesta sarjatuotannossa. Kaikkien valmistusvaiheiden välissä on jonkinlainen puskurivarasto, joka yleensä on tarpeeseen nähden ylisuuri. Tietyissä välivaiheissa varasto on harkittu herkkien tuotantolaitteiden vikaantumisriskin vuoksi. Lukuunottamatta tuotantosolun sisäistä kokoonpanoprosessia, ei minkäänlaista tasaista virtausta valmistuksessa ole havaittavissa. Käytännössä joka toisessa vaiheessa valmiiksi saatu valmistuserä työnnetään prosessissa eteenpäin, eikä yhdenkään tuotantoprosessin välillä ole informaatiovirtaa, joka auttaisi alavirran asiakasta valmistautumaan seuraavaan vaiheeseen. Rother & Harrisin (2001, s. 8-9) mukaan toisistaan fyysisesti ja tiedonkulun näkökulmasta erillään olevat prosessin osat johtavat aina erätuotantoon, joka puolestaan johtaa aina odotteluun tai ylituotantoon aiheuttaen hukkaa.

Uuden tuotteen tapauksessa useaan edellä mainittuun haasteeseen on helppoa puuttua luomalla alusta alkaen joustavammat prosessit kaikkiin kolmeen tutkittavaan tavaravirtaan, jossa materiaalin lisäksi liikkuisi myös informaatio. Varastotasojen ja siten tavaran turhaa seisomista saadaan pienennettyä radikaalisti vaihtamalla kokoonpanosolua ympäröivät työntöohjatut tavaravirrat informaatiovirtaa hyödyntäviin imuohjattuihin virtoihin, joissa asiakasprosessi eli kokoonpano tilaa materiaalit vain tarpeeseen juuri oikealla hetkellä. Solun ja pakkaamon välillä imuohjausratkaisu ei käytännössä voisi toimia, mutta informoimalla paremmin järjestelijää tulevista toimituksista, voisi hän suunnitella oman työnsä järkevämmiin ja siten parantaa pakkaamon toimintaa myös muiden tuoteperheiden näkökulmasta.

Operaattoreiden ja keräilijöiden yhteistoiminnassa on myös paljon kitkaa sekä väärinymmärryksistä alkaneita huonoja toteutustapoja, jotka ovat vain juurtuneet löyhiksi työstandardeiksi. Operaattoreilla menee paljon aikaa tuotantosolun ulkopuolella tapahtuvaan materiaalinkäsittelyyn, jonka pitäisi nimenomaan olla vain ja ainoastaan keräilijöiden tehtävä. Nyt operaattoreiden pitää itse hakea materiaaleja välivarastoista ja alikokoonpanolinjan puskurivarastosta soluun, viedä tyhjät kanban-laatikot pois solusta sekä

manuaalisesti valikoida täytettävät nimikkeet kahdesti päivässä. Lisäksi he kuljettavat valmiit tuotteet solusta järjestelijälle. Jos näitä tehtäviä saataisiin pois operaattoreiden vastuulta, voisivat he käyttää työajan tehokkaammin ydinosaamiseensa eli kokoonpanoon, ja siten valmistuksen työtuntikohtaista tuottavuutta voitaisiin parantaa.

#### **4.7. Vanhan tuotteen keräilyprosessiin löytyneitä kehitysideoita**

Nykytila-analyysin tutkimustulosten syvälinen esittely sisäisille sidosryhmille aiheutti keskustelua ja johti pikaisesti pienimuotoiseen lyhyen tähtäimen kehityshankkeeseen, jolla löytyneisiin epäkohtiin oli tarkoitus pureutua. Projekti käynnistettiin järjestelmällä kaksipäiväinen kaizen-kehityshanke tuotannon tiiminvetäjän, keräilyn tiiminvetäjän, yhden keräilijän sekä tutkijan muodostamalla tiimillä. Kehityshankkeelle annettiin kolme tavoitetta:

1. Nopeuttaa keräilijän kierrosta kuljettamalla materiaalit jatkossa vain kokonaisissa laatikoissa
2. Keskittää nimikkeet mahdollisimman tehokkaasti samaan paikkaan varastossa
3. Eliminoida tarve käyttää trukkia.

Täysin arvoa tuottamattomia työvaiheita piti karsia vähentämällä kirjaamista vaativien varastosiirtojen absoluuttista määrää sekä poistamalla ylimääräinen välivarasto solusta. Vajaista laatikoista eroon pääsemisellä oli tarkoitus myös vähentää yksikkölaskennasta johtuvia saldivirheitä, jotka olivat osasyynä solujen tarpeettoman korkeisiin varastotasoihin.

Suurimmat hyödyt prosessista saatiin uudelleenjärjestämällä nimikkeiden varastopaikkoja. Yrityksessä oli muutamaa vuotta aiemmin ennen tätä tutkimushanketta siirretty hajautetuista varastoista yhteen isoon keskusvarastoon, jolloin aiemmin tiimien vastuulla olleet varastosaldot siirtyivät logistiikan vastuulle. Henkilökohtaisten saldivastuiden kadotessa moninkertaistuivat saldivirheet ja niiden eskaloimat muut ongelmat. VT-keräilyn kaizenissa siirrettiin kaksi trukkivarastossa hajallaan ollutta volyyminimikettä erilliselle varastoalueelle. Näiden kahden nimikkeen siirrolla saavutettiin suuri hyöty, sillä toinen niistä oli siirretty pari kuukautta aiemmin maatasosta noin viiden metrin korkeuteen trukkihyllyn kolmanteen kerrokseen logistiikan sisäisessä varastonparanuseraatiassa, jossa tuotannon tai keräilyn tarpeita ei huomioitu mitenkään. Siirrettäessä se takaisin maan tasolle vältyttiin kokonaan tarpeesta käyttää trukkia, ja saatiin siten säästöä noin viisi minuuttia per kierros.

Trukkivarastoon jäi vain yhden suurivolyymisen nimikkeen neljä eri konfiguraatiota, jotka sijoiteltiin lähemmäksi samaan hyllyväliin. Niiden keräilyä saatiin muutenkin tehos-

tettua: Aiemmin niitä oli siirretty isojen kuljetuslaatikoiden sisällä olleista pienemmistä kuljetuslaatikoista muovisiin rullaratalaatikoihin (kuva 18B). Kaizenissa muokattiin solun rullaratoja siten, että nämä nimikkeet tuotaisiin jatkossa suoraan soluun alkuperäisissä pienemmissä käsittelylaatikoissaan. Se poisti kokonaan yhden tarpeettoman väli-vaiheen ja siten johti päivittäiseen noin viiden minuutin säästöön. Samalla siirryttiin käsittelemään kokonaisia laatikoita, jolloin yksittäisestä laskemisesta päästiin eroon.

Myös toiselle nimikkeistä, jotka pitää soluun viedessä siirtää käsin rullaratalaattikkoon (kuva 18A), keksittiin pahvista tehty materiaalikaualo vanhan muovilaatikkoradan paikalle, jonne nimikkeet voi kaataa suoraan valmistajalta tulevasta pahvilaatikosta. Siirto-operaatio piti aiemmin tehdä yhdestä kahteen kertaa päivässä, ja siihen kului aikaa noin kahdesta kolmeen minuuttia per muovilaatikko. Tällä hyvin yksinkertaisella parannuksella saatiin siis kahdesta kuuteen minuuttia päivittäistä säästöä.

Trukkivarastoon jääneiden nimikkeiden kuljetuspakkauksissa tulee mukana aina vahvi-kepahvi sekä vaahtomuoviset suojapalat, jotka ovat identtisiä niiden kanssa, joilla suojataan valmiita kokoonpantuja tuotteita kuljetuspakkauksessa. Kaizenissa organisoitiin kierrätysjärjestelmä, jolla komponenttien mukana tulleita pahveja ja suoja saatiin paremmin uudelleenkäytettyä loppukokoonpanossa. Näin voitiin vähentää tarvetta varastoida ja ostaa niitä erikseen. Samat pahvit ja suojat siirrettiin myös pois saldoilta bulk-nimikkeiksi, mikä yksinkertaistaa niiden varastohallintaa, koska irrallisina niiden saldojen paikkansapitävyys on pitkällä tähtäimellä mahdotonta.

Iso parannus oli siirtää alikokoonpanotiimin komponenttien täydennys samaan prosessiin vanhan tuotteen loppukokoonpanon kanssa. Samalla nimikkeet siirrettiin pois logistiikan vastuulta takaisin tiimin vastuulle varastohotellista täydennettävään kanban-ohjaukseen. Nämä osat ovat pääasiassa harvinaisempiin konfiguraatioihin käytettäviä C-kategorian osia, joten keräilijöiden työ sekä logistiikan varastohallinta yksinkertaistui merkittävästi. Kokoonpanosolujen vierelle rakennettiin uusi supermarket-varasto, jonne siirrettiin tuotannossa tarvittavia bulk-materiaaleja kuten teippejä ja liimaa pois varaston vastuulta. Yhteensä varaston vastuulta siirrettiin tuotannolle 13 nimikettä, eli varastoja hajautettiin merkittävästi. Vanhan tuotteen tuotannossa oston ja keskusvaraston hoitamista toimittaja-kanban-prosesseista oli huonoja kokemuksia. Näillä siirroilla hidaskier-toisten osien hallittavuus paranee sekä Yrityksen tiloissa varastoitavia saldoja pystyttiin vähentämään jopa puoleen.

Varastopaikkauudistusten jälkeen saatiin käytettävissä olevin keinoin standardoitua keräilyä huomattavasti. Volyymiminikkeistä suurin osa saatiin samaan hyllyväliin erilliselle varastoalueelle. Trukkialueelle jäi yksi suurivolyyminen komponenttiperhe, ja VMI-varastoon vastaavasti kaksi nimikettä, joista toinen kuuluu alikokoonpanotiimille. Johtuen erilaisista pakkausko'oisista, ei täydennyskierrosta voitu kokonaan vakioida.

Kompromissina päädyttiin ratkaisuun, jossa aamukierros on jatkossakin varioituva, mutta iltapäiväkierros standardoitiin kaventaen sisältömahdollisuudet neljään eri vaihtoehtoon trukki-varastoon jääneen nimikkeen neljän eri konfiguraation mukaan. Vakioidusta iltapäiväkierroksesta tehtiin keräilylista, johon tavarat merkattiin loogisessa keräilyjärjestyksessä, jotta keräilijän reitti voitiin optimoida. Iltapäiväkierroksella hän käy ensin hakemassa trukkihyllynimikkeen, jonka jälkeen käy matkalla erillisellä varastoalueella sekä bulk-varastossa. Kaikki kirjauksiin tarvittavat viivakoodit olivat myös merkattu keräilylistaan, mikä nopeutti kirjaamista.

Iltapäiväkierroksen vakiointi nosti esiin mahdollisuuden soveltaa sähköistä tilaamisjärjestelmää myös vanhan tuotteen keräilyssä. Lopulta uudelle tuotteelle kehitettyä järjestelmää päätettiinkin pilotoida suoraan vanhan tuotteen tuotantokäytössä. Tästä kokeilusta kirjoitetaan tarkemmin luvussa 5.7.

Yhtenä merkittävänä jatkuvan parantamisen hankkeena täydennysprosessille suunniteltiin uudenlainen kärry, jotta aiemmista yli kolmen metrin korkeuteen kipuavista tavaravuorista päästään eroon. Tutkija keskusteli tutkimuksen loppuvaiheessa keräilijöiden kanssa aiheesta, ja vallitsevaksi teemaksi nousi kärryn pituuden kasvattaminen sekä sen hyllyvälin korkeuden nostaminen, jolloin enemmän materiaalia saadaan optimaaliselle korkeudelle. Tutkija rakensi uuden kärryn, jolloin siitä järjestettiin mini-kaizen keräilijöiden C ja D kanssa tiistaina 29.10.2013. Testistä saatujen kokemusten perusteella kärry rakennettiin loppuun keräilijöiltä saadun palautteen perusteella ja otettiin tuotantokäyttöön. Uuden ja vanhan kärryn erot nähtävissä alla (kuva 19).



**Kuva 19: Uuden ja vanhan kärryn vertailua**

Yhteenvedona kaizenin tuloksina päästiin kokonaan eroon tarpeesta käyttää trukkia sekä laskea yksittäisiä nimikkeitä hyvin pienillä muutoksilla varastopaikkoihin ja solun täydennyspisteisiin. Lisäksi kaikki C-nimikkeet siirrettiin tiimin saldovastuulle solun viereiseen supermarket-varastoon, mikä mahdollisti keräilyprosessin standardoinnin niin pitkälle kuin muuttamatta toimittajapakkausten kokoja oli mahdollista. Varastosiirroilla saatiin keskusvarastosta vapautettua yhteensä kuusi lavapaikkaa sekä täysin hukkaa sisältäviä työvaiheita poistettiin päivittäisestä prosessista yli 20 minuutin edestä. Lisäksi tarkistuskäynnin eliminoinut sähköinen tilaus ja looginen keräilyjärjestys vähensivät iltpäiväkierroksen kävelymäärän 520 metristä 290 metriin.

Yksi uudistus liittyi tuotepakkaukseen mukaan tulevaan kuivatussuolapussiin, jonka säilytyksen täytyy ehdottomasti tapahtua kuivassa ilmatiiviissä tilassa. Sille oli aikaisemmin tehty räätälöity metallikaappi, josta operaattorin oli helppo poimia pussi kerrallaan erilliseltä rampilta. Haittapuolena oli kaapin pieni koko. Sitä piti täyttää joko useamman kerran päivässä pienissä erissä tai kerran aamulla täpötäyteen, jolloin se piti avata muuttaman kerran päivän aikana, ja kaapia käsin pusseja sen perältä lähemmäs poimimisrampia. Ongelma ratkaistiin suunnittelemalla uusi isompi pönttö samaan tarkoitukseen. Konseptista tehtiin ensin puinen malli, jonka avulla sen ergonomiasta päästiin yksimielisyyteen. Tiiviys- ja kontaminaatiosyistä päätettiin pönttö tehdä kuitenkin lopulta teräksestä (kuva 20). Tuotannollisesti uusi kaappi on tehokkaampi, sillä sen luukku siirrettiin päältä takapuolelle, ja samalla täyttövastuu siirtyi operaattorilta keräilijälle. Näin periaatteessa saatiin operaattorille noin viisi minuuttia lisää arvoa tuottavaa työaikaa per päivä per solu, mikä vastaa päivässä melkein kahta tuotetta.



**Kuva 20: Uusittu, keräilijän vastuulle siirtynyt suolapönttö (kuvattu 17.10.2013)**

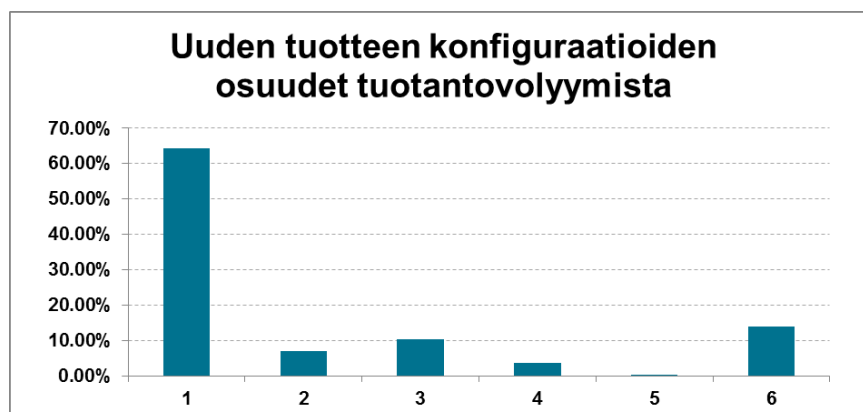
## 5. SUUNNITELMA UUDEN TUOTTEEN SISÄLOGISTIIKAN KEHITTÄMISEEN

Tämän tutkimushankkeen tarkoituksena oli luoda vaiheittainen suunnitelma Yrityksen uuden tuotteen tuotantosolun ympärillä olevien materiaalivirtojen kehittämiseksi sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä. Tutkimuksen kohteena oli kolme säännöllistä ja luonteeltaan hyvin erityyppistä materiaalivirtaa liittyen uuteen tuotteeseen: 1) Ostokomponenttien toimittaminen keskusvarastosta sekä 2) alikokoonpanojen toimittaminen niiden tuotantolinjalta soluun sekä 3) solussa valmistuneiden tuotteiden vieminen järjestelijälle pakkaamoon. Materiaalivirtoja kehittämällä oli tarkoitus päästä eroon vanhan tuotteen erätuotantotyyppisistä prosesseista kohti lean-filosofian mukaista tuotannon virtausta.

Tässä luvussa esitellään tutkimushankkeen aikana luodut toimenpiteet kolmen edellä mainitun materiaalivirran sujuvoittamiseksi. Ensimmäisenä käydään läpi vanhaa prosessia kehittämällä saatu yksinkertainen paperikanbaniin perustuva konsepti ostokomponenttien täydentämiseen. Sen jälkeen esitellään, mitä lisäarvoa informaatiovirran toteuttaminen materiaalivirran tueksi tuo mukanaan. Tuotantoprosessiin liittyvien informaatiojärjestelmien hyötypotentiaalia käydään tarkemmin läpi myös tulevaisuuden näkökulmasta. Seuraavaksi tarkastellaan materiaalivirtoja alikokoonpanojen toimittamisessa soluun sekä valmiiden tuotteiden viemisessä lähettämöön. Niihin liittyen esitellään, miten tuotannon alainen materiaalinkäsittelijä voisi tehostaa prosesseja. Lopuksi hahmotellaan vielä pitkän tähtäimen suunnitelmana uuden tuotteen komponenttien eriyttämistä keskusvarastosta tuotantotiloihin. Ennen kehityssuunnitelman esittelyä käydään läpi uuden tuotteen sekä sen tuotantojärjestelmän ominaisuuksia ja suurimpia eroavaisuuksia verrattuna vanhan tuotteen valmistusprosessiin.

### 5.1. Uuden sukupolven tuote

Uuden tuotteen suunnitteluvaiheessa sen valmistettavuuden optimointiin on käytetty paljon resursseja. Tuotannon henkilöitä on ollut mukana tuotekehitysprosessissa sen alusta asti, mikä edesauttoi tuotteen tiettyjen yksityiskohtien muokkaamista tuotannon näkökulmasta edullisemmiksi. Esimerkiksi uudessa tuotteessa on vain noin puolet siitä nimike- ja konfiguraatiomäärästä, mikä vanhalla tuotteella on. Uuden tuotteen konfiguraatioista suurimenekkisimmälle on ennustettu yksin yli puolet tuotantovolyymista pareto-sääntöä mukaillen, kuten kuva 21 osoittaa, mikä helpottaa tuotannonohjausta ja varaston työtä. (Haastattelu 1)

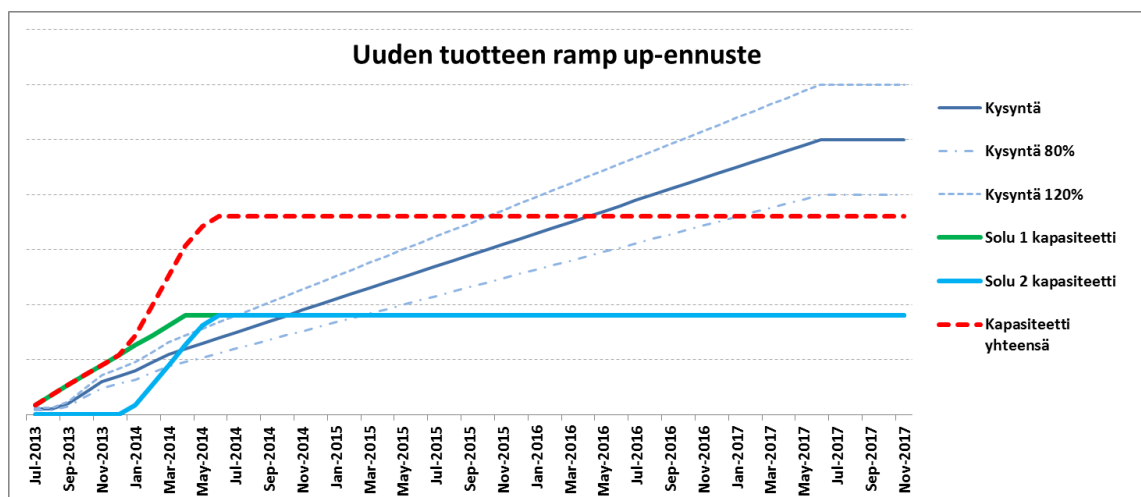


**Kuva 21: Uuden sukupolven tuotteen konfiguraatioiden suhteelliset, ennustetut osuudet tuotantovolyymista (Lähde: Yrityksen sisäinen raportti, raakadata haettu 05.08.2013)**

Kaikkia uuden tuotteen konfiguraatioita ei lanseerata kerralla, vaan niitä julkaistaan yksitellen ylösajo-vaiheen aikana kysynnän kasvaessa. Sekin edesauttaa tuotannon sopeuttamista pikkuhiljaa uuden tuotteen tuotantoprosessin koviin vaatimuksiin. Lanseerausvaiheessa asiakkaille tarjotaan vain yhtä mallia. Luomalla alusta asti joustava järjestelmä eri konfiguraatioiden suhteen, voidaan myöhemmin lisättävät uudet mallit liittää prosesseihin kivuttomasti. (Haastattelu 1)

Uuden tuotteen konfiguraatioiden etuna on se, että niissä vain yksi osa muuttuu. Vanhan tuotteen tapauksessa eroa perusversiolla ja monimutkaisimmilla malleilla on useissa osissa ja itse kokoonpanoprosessissa. Pahimmillaan siirtyminen vanhan tuotteen valmistusprosessissa mallista toiseen voi vaatia jopa 15 minuutin asetusajan, jolloin vaihdetaan tuotantosolun materiaalisyötöissä olevia komponentteja virheiden välttämiseksi sekä laitetaan toinen, erilainen testausohjelma käyttöön. Uuden tuotteen tapauksessa asetus aika on mitätön, koska kokoonpanoprosessi pysyy käytännössä samana, ja kaikkien mallien komponentteja säilytetään tuotantosolun välittömässä läheisyydessä. Se edesauttaa heijunka-periaatteen toteuttamista ja parantaa erityisesti pienten, korkeintaan yhden laatikon, tilausten kannattavuutta.

Uuden tuotteen ylösajoennuste on nähtävissä kuvassa 22. Uuden tuotteen lanseerausvaiheessa on paljon muuttujia, minkä takia oletetulle kysynnälle on esillä myös 80% ja 120% skenaariot. Alkuvaiheessa uutta tuotetta aletaan valmistaa kahdessa solussa. Kolmannen solun perustaminen tulee ajankohtaiseksi aikaisintaan vuoden 2015 aikana. Kuten kuvasta voidaan huomata, oletetun kysynnän heilunnan ääripäät vaikuttavat kapasiteetin ja kysynnän leikkauspisteeseen eli kolmannen solun perustamishetkeen jopa 14 kuukaudella.



**Kuva 22: Uuden tuotteen ramp up-ennuste (Lähde: Yrityksen sisäinen raportti, raakadata haettu 05.08.2013)**

Uuden tuotteen mekaaninen rakenne on huomattavasti valmistettavampi kuin vanhan. Itse kokoonpanovaiheessa tuote kasataan kahdeksasta komponentista, joista yksi on sisäisesti tehtävä alikokoonpano. Se on periaatteessa hyvin paljon vastaava kuin vanhalla tuotteella, tosin sitäkin on huomattavasti yksinkertaistettu suorituskyvyn silti parantamalla. Pakkausvaiheessa uusi tuote tarvitsee vielä neljää yksikkökohtaista varastonimikettä sekä 40 yksikön kuljetuspakkaukseen kahta nimikettä (Haastattelu 17).

Uuden tuotteen komponenttivalmistajia valittaessa on pyritty minimoimaan toimittajien lukumäärä kuitenkin pitäen toimitusriski hallinnassa. Toimittajien määrä on karsiutunut neljään, ja toimitusketjun rakenne on ennen kaikkea selkeytynyt huomattavasti helpottamalla esimerkiksi vierailuja toimittajien luona. Aikaisempi suuriin volyymeihin ja alhaisiin yksikkökustannuksiin perustunut toimittajastrategia vaati komponenttien hankkimista Kaakkois-Aasiasta valtavissa erissä, mikä romahdutti varaston kiertonopeuden. Uuden tuotteen kanssa ykköstason (tier 1, eng.) toimittajista kaikki paitsi yksi sijaitsevat Suomessa, ja niistäkin kauimmainen vain noin 50 kilometrin päässä. Ainoa ulkomainen toimittaja on sekin EU-alueella, ja sen toimitukset on sovittu hoidettavan maitse kuorma-autolla (Haastattelu 14). Se mahdollistaa tuotteen valmistusprosessin siirtymisen harppauksella kohti lean- ja JIT-henkistä toteutusta. Vertailun vuoksi esimerkiksi Toyotan Japanin tehtaiden komponenttitoimituksista noin 85% tulee korkeintaan tunnin ajomatkan päästä (Iyer et al., 2009, s. 100).

Käytännössä uusi toimittajastrategia parantaa huomattavasti koko toimitusketjun tehokkuutta ja joustavuutta. Taulukossa 10 on kuvattuna uuden tuotteen toimitusketjun ominaisuuksia tuotantoprosessin päästyä täyteen vauhtiin noin vuonna 2016 tilanteessa, jossa keskusvarasto on yhä käytössä. Vastaavan tilanteen skenaario, jossa uuden tuotteen osat on hajautettu omaan varastoon, käsitellään luvussa 5.9.



**Taulukko 10: Uuden tuotteen toimitusketjun ominaisuuksia elinkaaren kypsässä vaiheessa**

Nimike	1. tason-toimittaja	Toimittaja-maa	Tarve / tuote	Täydennys-erä soluun	Varastotaso (x päivän tuotanto)	Täydennys-sykli	Varaston kiertonopeus	Viipymä varastossa (pv)
Alikokoonpano	Sisäinen	FIN	1	282	2	Imuohjaus	132	2.7
UT nimike 1	Toimittaja 1	EU	1	180	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 2	Toimittaja 2	FIN	1	180	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 3	Toimittaja 2	FIN	1	180	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 4	Toimittaja 3	FIN	1	180	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 5	Toimittaja 3	FIN	1	180	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 6	Toimittaja 2	FIN	1	2,000	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 7	Toimittaja 2	FIN	1	2,000	4	2 / vko	66	5.5
UT nimike 8	Toimittaja 4	FIN	1	180	2	5 / vko	132	2.7
UT nimike 9	Toimittaja 4	FIN	1	180	2	5 / vko	132	2.7
UT nimike 10	Toimittaja 4	FIN	1	180	2	5 / vko	132	2.7
UT nimike 11	Toimittaja 4	FIN	2	1,000	2	5 / vko	132	2.7
UT nimike 12	Toimittaja 4	FIN	1/40	20	2	5 / vko	110	3.3
UT nimike 13	Toimittaja 4	FIN	1/40	10	2	5 / vko	110	3.3
UT nimike 14	Toimittaja 4	FIN	1/20	9 x 20	2	5 / vko	110	3.3
<b>Keskiarvo:</b>							<b>96.8</b>	<b>4.1</b>

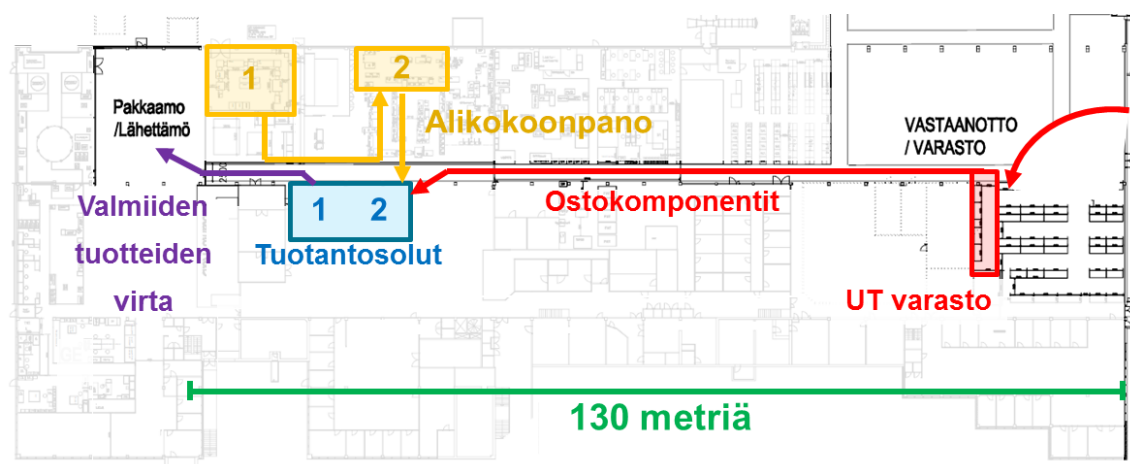
Vuoteen 2016 mennessä toimittajien kanssa on tarkoitus ehtiä sopia lean-tyylisistä säännöllisistä pienerätoimituksista, jotka elinkaaren aikaiseen huippuunsa kasvaneet voilymit ovat mahdollistaneet. Tarkoitus olisi, että toimitustiheys olisi kaikilla nimikkeillä vähintään 2 kertaa viikossa. Varsinkin toimittaja 4:n kanssa, joka sijaitsee samassa kaupungissa sekä toimittaa myös muille Yrityksen tuoteperheille, voidaan tahtia kiihdyttää jopa päivittäiseen sykliin. Siten saadaan keskusvarastosta huolimatta keskimääräinen varastonkierto nostettua vanhan tuotteen 5,7:stä lähelle sataa ja vastaavasti keskimääräinen varastoviipymä yli sadasta päivästä noin neljään. Tämä vapauttaa pääomaa parempaan käyttöön, pienentää varaston ylläpitokustannuksia, läpimenoaikaa ja saldovirheitä sekä ennen kaikkea parantaa ohjattavuutta, joustavuutta sekä reagointikykyä. Samalla myös sisäisten lean-hankkeiden toteuttaminen järkeistyy, sillä niiden merkitys koko tuotantoketjun kannalta kasvaa.

## 5.2. Uuden tuotteen tuotantoprosessi

Tärkeää uuden tuotteen tuotantoprosessissa on joustavuuden parantaminen, koska voimakkaasti heilahteleva asiakaskysyntä ei ainakaan lyhyellä tähtäimellä muutu juuri tasisemmaksi. Asiaan voidaan pidemmällä tähtäimellä vaikuttaa syventämällä yhteistyötä Yrityksen sisällä tuotannon, tuotannonohjauksen ja myynnin välillä. Tuotannon näkökulmasta myynnin pitää pyrkiä välttämään pieniä yhden laatikon sekä suuria yli tuhannen yksikön kertatilauksia, ja pyrkiä säännöllisempiin keskikokoisiin toimituksiin. Se helpottaa valmistuksen ohella erityisesti pakkaamon toimintaa. Toinen tuotannon kannalta hyvä ratkaisu olisi siirtyä suurimenekkisimmän konfiguraation (kts. kuva 21) osalta valmistuotevarastoon pohjautuvaan, imuohjattuun valmistusprosessiin. Valmistuotevarastolla saadaan tasoitettua tuotantoa ainakin jossain määrin.

Materiaalitäydennyksen näkökulmasta vanhan tuotteen ydinongelma säilyy yhä, eli tuotantosolujen fyysinen etäisyys keskusvarastosta on yli 100 metriä ja alikokoonpanolin-

jan puskurivarastosta noin 30 metriä, kuten kuvasta 23 voidaan nähdä. Etäisyyden takia pelkkä suullinen kommunikaatio ei riitä takaamaan tilaustarpeen välittämistä, vaan imuohjauksen ja JIT-periaatteen täyttämiseksi molempiin materiaalivirtoihin pitää yhdistää informaatiovirta. Hyvää layoutissa on se, että se on pääpiirteissään lineaarinen, vaikka matka onkin pitkä. Alikokoonpainovaihe 1:stä 2:een tapahtuva puolivalmisteiden siirto kulkee epätaloudellisesti vastavirtaan, koska niihin liittyy laitteita, joita ei käytännössä voida siirtää. Alikokoonpanolinjan osat 1 ja 2 on kuitenkin tarkoitus yhdistää fyysisesti layoutmuutoksella vanhan tuotteen alasajon jälkeen.



Kuva 23: Uuden tuotteen valmistuslayout 2013-2014

### 5.2.1. Alikokoonpanolinja uudelle tuotteelle

Kuten liitteessä 5 olevasta arvovirtakartasta voidaan nähdä, alkaa uuden tuotteen valmistusprosessi käytännössä alikokoonpanolinja 1:stä, jossa lopputuotteen ydinkomponenttina toimiva alikokoonpano jalostuu 6 kappaleen levyinä puolivalmisteeksi asti. Alikokoonpanolinjan henkilökunta kuljettaa puolivalmisteet puskurivarastona toimivaan olosuhdekaappiin. Puolivalmisteaihoita varastoidaan noin 2-3 päivän kulutus laiteristikistä johtuen.

Tuotantotarpeen tullessa otetaan puolivalmisteita kaapista 288 yksikköä, mikä on vaiheisiin kaksi ja kolme kerralla mahtuva maksimimäärä. Kyseiset vaiheet ovat uuden tuotteen valmistusprosessin pullonkaula, sillä myös vanhan tuotteen alikokoonpanot käyttävät samoja prosesseja. Koneella ajettavat vaiheet kaksi ja kolme sekä manuaalinen vaihe neljä kestävät keskenään suunnilleen yhtä kauan. Pienellä lisäkehityksellä olisi mahdollista synkroinoida ne tarkasti parantaen virtausta: Kun konekäytöt loppuvat, tyhjennetään vaiheen kolme laite valmiiksi vaiheelle neljä, siirretään laitteen kaksi puolivalmisteet vaiheeseen kolme, täytetään laite kaksi uusilla materiaaleilla ja käynnistetään ajo molemmilla laitteilla uudestaan. Koneiden ollessa käynnissä työestetään vaihees-

ta kolme valmistuneet 288 kappaletta vaiheessa neljä, mikä kestää suunnilleen yhtä kauan kuin koneiden ajosyklikin (Haastattelu 13; 17).

Vaiheen neljä jälkeen alikokoonpanot ovat käytännössä valmiita hyödynnettäviksi tuotantosolussa, jonne ne tuodaan ohjaamisen helpottamiseksi samoissa 288 erissä. Ne kuitenkin viedään ensin toiseen puskurivarastoon, jossa valmiita alikokoonpanoja on suunnilleen yhden päivän tarve. Sillä ehkäistään vaiheiden kaksi ja kolme laiteriskiä. Varasto on fyysisesti sama olosuhdekaappi, kuin mikä on vaiheiden yksi ja kaksi välissä. Kaappi jaetaan väliseinällä kahteen eri sektoriin, jotta puolivalmiit ja valmiit alikokoonpanot eivät sotkeutuisi (Haastattelu 13).

Hyvä puoli saman varastokaapin käyttämisessä on se, että erillistä informaatiojärjestelmää ei tarvita tuotannonohjaamiseen vaiheiden 2-4 sekä 1 välillä, vaan tuotantotarve on ratkaisu CONWIP-ratkaisulla. Kun kaapin valmiskokoonpanopuolelta viedään materiaaleja soluille, antaa se samalla impulssin puolivalmisteiden jalostamiseksi valmispuolelle syntynyt vaje. Alikokoonpanot prosessoidaan erityisellä jigillä vaiheessa 2. Jos jigijä, joita on rajattu määrä, on vapaana ja valmiina, voidaan puolivalmisteita ottaa työstettäväksi vaiheisiin 2-4. Vaiheiden läpikäyminen 288 kappaleelle kestää siis noin kolme tuntia, mikä on pahimmillaan alikokoonpanolinjan reagointiaika.

Haasteena olosuhdekaapille on FIFO:n järkevä toteuttaminen. Kaappia täytetään edestä, ja koska sen hyllytasot ovat kiinteät, ei minkäänlaista virtausta voida saada. Järkevin tapa olisi toteuttaa visuaalinen ohjaus yhdistettynä ennalta sovittuun kiertosuuntaan. Näin henkilö, joka poimii valmiit alikokoonpanot kaapista, jättää esimerkiksi magneetin tai tarran merkiksi laatikon kohdalle, joka olisi seuraavaksi poimimisvuorossa. Seuraavat tuoreet osat puolestaan tuodaan kiertosuunnan mukaisesti ensimmäisiin vapaisiin paikkoihin, jolloin ne käytetään jatkossa logiikan mukaan viimeisenä.

Vastaava CONWIP-käytäntö on myös alikokoonpanolinjojen 1 ja 2 välillä. Kun puolivalmisteet siirretään varastojigistä tuotantojigiin vaihetta kolme varten, viedään vapautuneet varastojigit alikokoonpanolinjalle 1, jolle ne merkitsevät tuotannon käynnistämistarvetta.

### **5.2.2. Uuden tuotteen tuotantosolut sekä pakkaamoprosessi**

Itse tuotantosolu on perinteinen U-solu, jossa työskentelee kaksi operaattoria. Se on saatu sijoitettua optimaalisesti materiaalikäytävän varrelle juuri siten, että materiaalien täydennys- ja keräyspisteet ovat U:n käytävänpuolisten ulokkeiden päissä aivan, kuten luvussa 2.2 esiteltiin solun optimaaliseksi layoutiksi. Solun sisällä on pakotettu nykyaikainen yhden kappaleen virtaus. Työasemissa on ohjelmoitu logiikka, joka ei anna aloittaa uutta tuotetta, ellei viimeinen valmistusasema ole tyhjä. Operaattorit kiertävät solus-

sa myötöpäivään ja materiaalit vastapäivään. Näin saadaan virtaus toimimaan siten, että operaattorit voivat imuohjaus- ja CONWIP-periaatteen mukaisesti siirtää tuotteen aina juuri tyhjentyneeseen seuraavaan vaiheeseen.

Materiaaleja tuodaan kahteen soluun integroituun supermarket-varastoon työnnettävillä kärryillä. Kärryyn pohjatuvat sisälogistiset toimitukset ovat Yrityksessä käytössä laajemminkin, mikä tukee luvun 2.5 lopussa esitettyjä Battinin et al. (2009) tutkimuksen tuloksia. He kirjoittivat, että kärry on tehokkain kuljetustapa ympäristössä, jossa on rinnakkaisia identtisiä tuotantolinjoja (soluja) sekä keskikova volyyymi.

Tuotteen muodostavat komponentit tuodaan kokoonpanoaseman taakse, josta ne valuteetaan gravitaation avustamana rullaratoja pitkin FIFO-periaatteen mukaisesti operaattoreille. Kokoonpanoasemaa vastapäätä on pakkausasema, jonne kaikki pakkausmateriaalit tuodaan samalla täydennyskierroksella. Soluille on vielä yhteinen tiimisupermarket, jonne tuodaan saldottomia bulk-nimikkeitä. Materiaalitäydennystä saavat solun työasemat on havainnollistettu alla olevissa kuvissa 24 A ja B.



Kuva 24: Tuotantosolun materiaalinsyöttöä saavat työasemat (kuvattu 22.08.2013)

### 5.2.3. Materiaalitäydennys solun näkökulmasta

Tutkimushankkeen alkaessa tuotantosolusta oli pystyssä alkeellinen protoversio, joka oli rakennettu kehitystapahtumassa noin puoli vuotta ennen tutkimusprojektin alkua. Silloinen solu oli suunniteltu käytännössä vain kokoonpanon näkökulmasta. Toisin sanoen materiaalitäydennysprosessia ja valmistusta ei ollut mietitty kokonaisuutena. Kokoonpanoasemassa materiaaleille oli asetettu paikat optimoidun kokoonpanovaiheen perusteella hyvinkin tarkasti, mutta pakkausasema puolestaan oli vielä alkutekijöissään.

Uuden tuotteen osto-osien materiaalitäydennysprosessin suunnittelussa lähdettiin liikkeelle perusasioista. Vanhan tuotteen prosessin analyysi antoi paljon ideoita, mihin suuntaan täydennysprosessia kannattaisi viedä. Suunnittelussa oli kolme kantavaa teemaa, jotka olivat samalla vanhan prosessin suurimmat puutteet: 1) Standardoinnin li-

sääminen, 2) hukkaa sisältävien työvaiheiden eliminointi kuten jätemäärän vähentäminen ja pakkauksesta toiseen siirtojen vähentäminen sekä 3) mahdollisesti informaatiovirran luominen imuohjaus- ja JIT-periaatteiden mukaan saamiseksi. Yrityksen toive liittyen tuotantosolun osto-osien täydennykseen oli saada kaksi vertailukelpoista konseptia paperille, joista toinen hyödyntäisi informaatiovirtaa ja toinen ei.

Kaksi ensimmäistä teemaa olivat molemmille skenaarioille samat, ja ne ovat voimakkaasti kytköksissä toisiinsa – standardoinnin lisääminen vähentää prosessin hukkaa, ja hukkan eliminointi vaatii standardointia. Standardoinnin lisäämisen ensimmäinen askel oli alkaa vakioida tilauksen tavarasisältöä, joka vanhan tuotteen prosessissa oli joka kerta täysin erilainen; ääritapauksina tarpeita ei hiljaisen tuotannon aikana ollut ollenkaan ja säännöllisesti viikoittain tuli niin suuri kertatilaus, että sen takia jouduttiin tekemään kaksi kierrosta, kuten luvussa 4.4 kerrottiin. Näistä kahdesta ääripäästä oli tarkoitus päästä eroon, ja pienentää yhdellä kierroksella noudettavan tavaramäärän keskihajontaa huomattavasti.

Kuten taulukosta 10 voidaan nähdä, niin uudelle tuotteelle on yhteensä 10 nimikettä, joita menee aina yksi jokaiseen valmistuneeseen tuoteyksikköön. Kantavaksi ajatukseksi nousi pian vakioida näiden nimikkeiden pakkauskoost siten, että ne loppuisivat solusta samaan aikaan, ja kaikkia vietäisiin aina sama määrä yhdellä täydennyskierroksella, eli ne periaatteessa kitataan. Nämä kymmenen nimikettä keräiltäisiin ja laitettaisiin esille samalla tavalla jokaisessa tilauksessa. Se helpottaa ja suoraviivaistaa keräilijöiden keräilyprosessia varaston päässä huomattavasti, koska satunnaisten nimikkeiden ja määrien sijaan keräiltäväksi tulee aina vakiolista, joka poistaa päässä laskujen tarpeet. Tavaroiden oikealla sijoittelulla varastossa vähenee tarvittava arvoa tuottamaton etsimis- ja miettimisaika. Lisäksi se pienentää virheriskiä varastosiiroja näppäillessä eli vähentää saldovirheitä.

Seuraava vaihe uuden täydennysprosessin suunnittelussa oli miettiä sopiva sykli, joka samaan aikaan optimoisi keräilyn toiminnan ja pienentäisi tuotantosolun varastot sekä siten myös tilantarpeen. Uuden tuotteen ennustettu solukohtainen tuotantovolyymi aikayksikköä kohti on noin kolme kertaa suurempi kuin vanhan sarjatuotannon. Se asetti aivan uudenlaisia vaatimuksia logistiikkaprosesseille. Yrityksessä ollut alkuperäinen ajatus, että soluun tulisi päivän tarvetta vastaavat varastotasot osottautuivat yksinkertaisilla laskelmilla mahdottomaksi, koska kokoonpanoaseman rullaradat olisivat vaatineet yli kymmenen neliometriä kallisarvoista lattiatilaa. Toisaalta Rother & Harris (2001, s. 45) esittelemä kahden tunnin kulutus saldotavoitteeksi on turhan tiheä käytettävissä olevaan keräilijäresursseihin nähden.

Ongelmaa havainnollistamaan luotiin Excel-pohjainen työkalu, jolla pystyttiin simuloimaan solun tarpeita erilaisilla pakkausko'oilla. Tilarajoitteen perusteella soluun oli

mahdollista sijoittaa noin 200 tuotteen komponentit ilman, että soluun tarvitsisi kehittää joku innovatiivinen ratkaisu, jolla varastoja pystyttäisiin laajentamaan ylöspäin. Toisen rajoitteen antoivat UT nimike 1, jolle oli toimittajan kanssa yhteistyössä räätälöity 60 yksikön pahvinen kuljetuspakkaus, sekä UT nimikkeet 4 ja 5, joille oli vastaavasti sovit- tu toimittajan kanssa 90 kappaleen vetoisten kiertolaatikoiden palautusjärjestelmästä. Näiden pienin yhteinen monikerta on 180, joka samalla minimoi solun varastotason se- kä ennen kaikkea fyysisesti mahtui solulle suunniteltuun tilaan.

Keräilylle 180 kappaleen kuljetuserä sopi mainiosti, sillä periaatteessa se mahtuu tila- vuutensa puolesta kuljetettavaksi yhdellä käynnillä, eikä täydennysykyistä tullut liian tiheää (Haastattelu 3; 10). Excel-työkälun laskelmiin pohjautuen täydellä tuotantovauh- dilla solukohtaiseksi täydennysväliksi tuli siten noin 3 tuntia 20 minuuttia, mikä mah- dollistaa sen, että yksi pätevä ihminen pystyy teoriassa hoitamaan jopa neljän solun täy- dennykset. Tuotannon katkeamisen estämiseksi kokoonpanoasemaan piti vielä jättää tilaa puskurille, jonka kriittiseksi komponentiksi määräytyi UT nimike 1:n 60 kappaleen laatikko. 180 kappaleen erän kuluttua loppuun, jäljelle jää noin 70 minuutin edestä komponentteja. Täydennyksen pitää ehtiä tulla sinä aikana tai tuotanto katkeaa. Tämä konkreettinen ehto määräsi suunnittelukriteerit itse täydennysprosessille.

Kriittinen tekijä täydennysprosessin uuden konseptin jalkauttamiseksi tehokkaasti oli saada muiden nimikkeiden pakkauskoot sopimaan jotenkin päätettyyn 180 erään. Vaa- timuksena oli, ettei keräilyvaiheessa tarvitse avata mitään pakkauksia, koska varastossa olevat avoimet pakkaukset ovat yksi pahimmista saldovirheiden aiheuttajista. Asiaa tut- kittiin yhteistyössä hankintaosaston kanssa ja päädyttiin siihen, että pakkauskojen yh- tenäistäminen oli mahdollista kustannuksia kasvattamatta, koska muihin pakkauskoiki- hin kuin edellä mainittuihin yhteistyökuvioihin voitiin vielä esituotantovaiheessa vai- kuttaa. Koska toimittajien vaiva ei kasvanut, saatiin käytännössä toimitusketjutasossa logistiikan kustannuksia vähennettyä parilla nopealla osastorajat ylittävällä keskustelul- la.

Itse tuotantosolu piti myös synkronoida ajatellen 180 kappaleen erää. Kaizen- kehitysprojektissa rakennetut asemat oli tehty testituotantoa varten, ja ne olivat väärän kokoisia. Ensimmäinen vaihe oli suunnitella ja mitoittaa käytettävät laatikot ja selvittää toimittajilta tulevat nippu- ja pakkauskoot. Sen jälkeen laskettiin rullaratojen mitat ja luonnosteltiin asemat. Sekä kokoonpano- että pakkausasema piti purkaa kokonaan ja rakentaa uusilla mitoilla vastaamaan uuden prosessin tarpeita. Rakennusvaiheessa so- vellettiin luvussa 2.2 esitettyjä työasemien suunnitteluteorioita sekä luvun 2.4 rullarata- logiikkaa tavaroiden esillepanoon ja tyhjien laatikoiden palautukseen.

Nimikkeet, jotka luonteeltaan tai pakkausteknisistä seikoista johtuen eivät sovellu vaki- oituun täydennyskierrrokseen, päätettiin tuoda erillisinä toimituksina ensivaiheessa solu-

jen väliin sijoitettavaan bulk-osien supermarket-varastoon. Nämä osat ovat hinnaltaan huokeita, kuuluisaa Kraljic-matriisia mukaillen ”ei-kriittisiä-nimikkeitä” (esim. Simchi-Levi et al., 2009, s. 287), eivätkä saa aiheuttaa tuotannon katkeamista. Siksi niitä voidaan varastoida supermarketiin kohtuullinen määrä, jotta niiden vaikeasti ohjattavan täydennyksen riskitaso laskee. Niiden täydentämiseen on kaksi vaihtoehtoa, joita molempia kokeillaan: Joko ne tilataan sähköisesti erillisinä muiden artikkelien kanssa, tai toisena vaihtoehtona keräilijä täydentää niitä pohjautuen perinteiseen kanbanmenetelmään tuoden edellisen kierroksen tilaukset aina seuraavalla, mikä vapauttaa jälleen operaattoreilta yhden työtehtävän, mutta siirtää vastuun logistiikalle.

Tutkimuskysymystä 1 mukaillen tärkeimpänä yksittäisenä asiakokonaisuutena uuden tuotteen tuotantosolun suunnittelussa oli keräilijöiden ja solun operaattoreiden vastuualueiden erottaminen toisistaan. Vanhan tuotteen prosessin piirissä vastuissa oli paljon päällekkäisyyksiä lähinnä niin päin, että operaattorit poistuivat jatkuvasti solusta tekemään periaatteessa logistiikalle kuuluvia tehtäviä. Baudin (2002, s. 173) käyttävää osuvaa vertausta viitaten tuotantosolun olevan kilpa-auto ja keräilijöiden olevan kuin sähkökästi toimiva varikkomiehistö. Tehden oikeat huolto- ja tankkaustoimenpiteet oikeaan aikaan pystyy kilpa-auto jatkamaan kisaamista täydellä vauhdilla. Vastaavanlaisen tehokkuuden jalkauttaminen on tavoitteena myös tutkittavassa uuden tuotteen valmistusprosessissa esillepanotapoja sekä tilausjärjestelmää optimoimalla.

### **5.3. Skenaario 1: Komponenttitydennys ilman reaaliaikaista informaatiovirtaa**

Ensimmäinen skenaario uuden tuotteen täydennysprosessiin oli luoda paranneltu versio nykymallista, jossa logistiikka tulee täyttämään soluja aina säännöllisesti ennalta sovituintuina ajankohtina. Informaatiokanavana toimisi perinteinen kanban-lappu, joka ei mahdollista reaaliaikaista tiedonvälitystä. Toisaalta aikavakiodun täydennystavan hyötynä on sen periaatteellinen yksinkertaisuus. Muuttujia ja sidosryhmiä on mahdollisimman vähän.

Pelkästään nykyprosessia parantamalla olisi teoriassa mahdollista puolittaa yhteen täydennyskierrokseen kulunut aika verrattuna vanhan tuotteen prosessin lähtötasoon, vaikka vakiodun täydennyksen hyödyt periaatteessa katoavat tavaroiden alkaessa loppua taas eri tahtiin erilaisten pakkauskokojen takia. Ensimmäisenä kehitystavoitteena verrattuna tutkittuun nykytilaprosessiin on täysin ylimääräisen tilauksen tarkistuskäynnin eliminointi. Sen seurauksena keräilijä kulkee yli 100 metrin matkan varaston solun välillä kaksi kertaa pelkästään tyhjän kärryn kanssa, mikä on silkkaa ajan ja energian hukkaa.

Koska uuden tuotteen tuotantosoluun voidaan varastoida noin 4 tunnin tuotantotarpeet, pitäisi keräilijä määrätä jatkossa aikavakiodulle kierrokselle kolme kertaa päivässä –

esimerkiksi kello 09, 12 ja 15. Näin varmistetaan, etteivät tuotteet pääse loppumaan soluista, ellei tuotannossa tapahdu yhtäkkiä muutoksia kuten epäkelvojen komponenttien kasaantumista. Toisen solun päästessä tuotantovauhtiin voidaan kierrokset porrastaa esimerkiksi puolen tunnin välein, eli solu 1 hoidetaan edellä mainituin tasatunnein ja solu 2 vastaavasti aina puoli tuntia myöhemmin. Ideaalisesti samalla kierroksella voisi hoitaa myös molemmat solut, mutta sen onnistuminen riippuu kulloisestakin tavaramäärästä, jonka suuruutta on vaikea ennakoita tarpeeksi ajoissa.

Uutena ajatuksena keräilijä toisi tullessaan edellisellä kierroksella noutamiinsa kanbaneihin vastaavat täydennykset. Kierrosten välissä kortit siis odottaisivat varastossa niputettuna soluittain seuraavan lähdön määräävää kellonlyömää, mikä mahdollistaisi pärjäämisen yhdellä kärryllä. Näinkin yksinkertaisella muutoksella ylimääräinen tarkistuskäynti ennen kierroksen aloittamista voitaisiin välttää. Samalla kävelty matka lyhenisi yli 200 metriä ja kulunut aika noin 5 minuuttia. Aikavakioidun täydennyskierroksen tavoitteellinen rakenne voidaan nähdä alla (taulukko 11).

**Taulukko 11: Aikavakioidun täydennyskierroksen tavoitteellinen rakenne kirjaamisiin kulunut aika mukaan luettuna**

1.	Poimii sovitusta paikasta edellisellä kierroksella noudetut kanbanit ja keräilee nimikkeet kärryyn	5 – 8 min
2.	Kävelee soluun	2 min
3.	Täydentää solun ja tiimisupermarketin	5 - 7 min
4.	Kerää tilaus-kanbanit	2 min
5.	Kävelee soluun	2 min
	<b>YHTEENSÄ:</b>	16 - 21 min

Toimiakseen taulukossa esitetyllä teholla pitää prosessin kaikki osat standardoida ja optimoida, vaikka noudettavaan tavaramäärään se ei yletykään. Tarve materiaalinkäsittelyyn pitää silti minimoida Stephens & Meyersin (2010, s. 278) esittämän lastausperiaatteen mukaisesti; aina kuin mahdollista kuljetetaan tavarat koottuna yhteen yksikköön. Käännettynä uuden tuotteen täydennysprosessiin sama ajatus tarkoittaa, että vajaita pakkauksia ei jätetä varastoon eikä tavaroita siirretä laatikosta toiseen, mikä vähentää inventointitarvetta ja nopeuttaa toimintaa sekä varaston että solun päässä.

Prosessille nimettyyn kärryyn ja/tai soluun tehdään A3-koossa erittäin selvät ja visuaaliset työohjeet, joissa on selvästi auki kirjoitettuna prosessin toimintavaiheet, tuotannon haluamat esillepanotavat nimikkeille sekä jokaisella kierroksella tarkistettavat asiat, kuten bulk-nimikkeiden täydennystarpeen tarkastaminen solussa.



Vastaavasti prosessin kanban-kortit päivitetään siten, että jokaiselle solun esillepanopisteelle on oma kortti, sekä solujen välille tehdään selvä ero. Kortteihin merkitään lisäksi kuva täytettävästä nimikkeestä, tuotteen sisäinen koodi, selkokieline nimi sekä erä koko visuaalisesti selkeässä muodossa. Täydennysosoitteen havainnollinen merkitseminen ja korttien päivittäminen osoitteiden muuttuessa on äärimmäisen tärkeää kierroksen selkeyttämisessä solun päässä. Niin saadaan minimoitua keräilijöiltä vaadittava erikoisosaamisen tarve, mikä vähentää heidän suuren vaihtuvuuden aiheuttamia sekaannuksia.

Aikavakioidun täydennystavan vahvuutena on sen yksinkertaisuus ja varmatoimisuus vakaassa tuotantotilanteessa. Sen implementoinnilla vältettäisiin uudenlaisen systeemin opettelu, ja sen käynnistysvaikeuksien kanssa painiminen. Lisäksi sen avulla voitaisiin standardoida keräilyprosesseja tehdasmittakaavassa muiden tuoteperheiden kanssa. Teoriassa hiljaisen tuotannon aikana, jolloin täydennettävä tavaramäärä olisi suhteellisen vähäinen, voisi tapa mahdollistaa jopa molempien solujen palvelemisen samalla käynnillä tai vieressä sijaitsevan vanhan tuotteen tuotantosolun täydentämisen.

Toisaalta reaaliaikaisen informaatiovirran puuttuminen aiheuttaa prosessiin haittoja. Kierrokset ovat jatkossakin keskenään erilaisia, koska tilausväli elää riippuen keräilijöiden muista tehtävistä ja resursseista. Keräilyvaiheessa varioituva materiaalmäärä voi aiheuttaa päänvaivaa ja hidastaa kärryn täydentämistä, koska tavaroille ei voida asettaa vakiopaikkoja standardikärryyn, vaan pakkaamisessa pitää joka kerta pätkäillä tavaroiden mahduttamista siihen sekä purkujärjestystä solussa.

Suurin ongelma on kuitenkin tiedon puute yhdistettynä prosessin osittaiseen työntöohjaukseen. Käytännössä siis JIT ei aikavakioidulla täydennysperiaatteella toteudu. Keräilijät tuovat toki sitä, mitä on tilattu (pull) mutta eivät juuri oikealla hetkellä (push). Logistisia operaatioita ei ole mitenkään synkronoitu tuotantotahtiin, koska kolmen tunnin täyttösykli ja paperisten kanbanien käyttö aiheuttavat prosessiin vastaavasti kolmen tunnin reagointiviiveen. Minuutin syklijajalla valmistettavalle tuotteelle kolme tuntia on pitkä aika. Se hankaloittaa toimenpiteitä esimerkiksi konfiguraatiota vaihdettaessa tai odottamattomien poikkeustilanteiden sattuessa. Niihin pitää varautua vain pitämällä varastotasot solussa riittävän korkealla.

Hiljaisen tuotannon aikana keräilijä tulee joka tapauksessa, vaikka tarvetta ei olisi. Vastaavasti kiiretilanteessa kärry voi täytyä yhä yli kapasiteettinsa vaatien tuplakierrosta. Tuotantosolussa operaattorit eivät voi käytännössä tietää, milloin keräilijät ovat tarkalleen tulossa tai esimerkiksi, jos täydennystä jostain syystä ei olekaan tulossa sekaannusten tai poissaolojen takia. Uuden tuotteen tilanteessa tähän ei voi enää varautua pitämällä solussa yli päivän osatarpeita. Silti vanhan tuotteen prosessin lähtötilanteeseen verrattuna uuden tuotteen prosessissa kävelymetrit ja kierrokseen kuluva aika puolittuvat, mikä nostaa arvoa lisäävän työn osuutta radikaalisti. Standardoitu prosessi vähentää etsi-

miseen ja arpomiseen kulunutta aikaa. Tavaroiden kuljettaminen toimittajapakkauksiinsa poistaa laskemistarpeen kokonaan ja vähentää materiaalien käsittelytarvetta.

Tutkimuksen tuloksena aikavakioituva täydennystapa päätettiin pitää varasuunnitelmana. Sen ylösajaminen kriisitilanteessa olisi nopea ja varma ratkaisu, koska prosessi on lähes identtinen kaikille tutun vanhan tuotteen alkuperäisen prosessin kanssa. Vastaava periaatteellinen riskinhallintaperiaate on käytössä myös alan edelläkävijällä Toyotalla: B-suunnitelman pitää olla vähintään yhtä toteutettavissa kuin A-suunnitelman (Iyer et al., 2009, s. 133).

#### **5.4. Skenaario 2: Komponenttien täydennys hyödyntäen e-kanbania**

Valitulla informaatiojärjestelmän toteutuksella on huomattava potentiaali hoitaa uuden tuotteen materiaalitäydennysprosessi tuottavalla tavalla heti tuotteen lanseerauksesta lähtien. Informaatio sisältöä välittävä reaaliaikainen tilaus mahdollistaa siirtymisen aika- taulutetusta push-pull-hybridi-täydennyksestä tyylipuhtaaseen JIT-täydennykseen ja imuohjaukseen lean-ajattelua mukaillen. Toimiessaan systeemi on erittäin joustava ja tehokas. Tutkittavan Yrityksen tilanteessa pitää tuki pitää mielessä, että luodaan kokonaan uudenlaista järjestelmää, jossa varmasti on omat kasvukipunsa. Tämän tutkimuksen nimenomaisena tavoitteena on kuitenkin saada uudenlainen tilausjärjestelmä rakennettua, ja sisäänajettua se tuotantokäyttöön.

Aikavariotuva materiaalitäydennystapa poikkeaa luvussa 5.3 esitetystä siten, että jokaisen kierroksen materiaalmäärä yritetään vakioida mahdollisimman samankaltaiseksi. Toisin sanoen tavarat pysyvät samoina ajoituksen vaihdellessa tilanteen ja tarpeen mukaan.

Vakioitu kitti tarjoaa paljon mahdollisuuksia materiaalitäydennysprosessin hienosäätöön. Keräilykärri räätälöidään kitin tarpeisiin synkronisoiden se yhdessä solun kokoonpanoaseman sekä tavaroiden varastopaikkojen kanssa. Näin saadaan vähennettyä päänsäivä, vakioitua täydennyskierroksen rakennetta tavaroista myös ihmisten liikkeisiin ja suoritteisiin sekä ennen kaikkea vähennettyä etsimiseen käytettyä hukka-aikaa. Jos kärriyn merkitään kullekin tuotteelle paikat esimerkiksi varjokuvia hyödyntäen, saadaan vielä samalla luotua poka-yoke, jonka avulla varmistetaan, ettei mikään nimike unohdu kyydistä. Hajallaan olevien vanhan tuotteiden nimikkeiden kirjaamiseen meni myös aikaa, sillä keräilyjän piti etsiä hyllytasojen reunoilta tarvittavat viivakoodit varastosiirtokirjaamiseen. Uuden tuotteen kit-ajattelussa, voidaan kaikki kirjaamiset tehdä kerralla hyödyntäen keräilylistaa, jossa kit-nimikkeet ovat samassa paikassa allekain viivakoodeineen. Kuten luvussa 5.6 kerrotaan tarkemmin, tätä konseptia testattiin van-

halle tuotteelle räätälöidyn e-kanbanin versiossa 1.3, ja siitä saatiin keräilijöiltä erinomaista palautetta:

*”Viivakoodien tulostaminen keräilylistaan estää kirjaamisen unohtamisen. Paperin ollessa poikittain ne eivät myöskään ole liian lähellä toisiaan, jolloin mobiilipädi ei vahingossa lue väärää koodia”* - Keräilijä C, Havainnointi 8

Vielä tehokkaampi keino olisi luoda vakioduille nimikkeille yksi yhteinen kit-nimike, jonka voisi kirjata kerralla. Näin yhdellä kirjaamisella saataisiin suoritettua tarvittavat 8-9 varastosirtoa, mikä jälleen pienentäisi myös virheriskiä. Toistaiseksi tämä ominaisuus ei kuitenkaan toimi Yrityksen ERP:ssä (Haastattelu 8).

Verrattuna aikavakioituun täydennykseen on tilattavaan kittiin yhdistetyn JIT-täydennyksen hyvänä puolena se, että kärry on joka kerta sopivan täynnä, toisin kuin varioituvalla täydennystavalla. Hyvänä esimerkkinä käyköön kuva 17 luvussa 4.5. Jos tuotantovauhti on äärimmäisen kova, joutuu keräilijä viemään ylisuuria kuormia, mikä yleensä johtaa hukkaa aiheuttavaan tuplakierrokseen. Toisaalta tuotannon ollessa hiljainen, käy keräilijä silti tekemässä kierroksen, vaikka reaalista tarvetta ei käytännössä olisi. Silloin hän kuljettaa ilmaa.

Aikavarioituva täydennys toimii joustavammin tuotannon mukaan. Tietty tavaramäärä viedään vain silloin kuin se konkreettisesti tarvitaan. Tällöin hiljaisen tuotannon aikana voidaan keräilijäresurssi ohjata muualle. Tiivistettynä voidaan sanoa aikavarioituvan täydennyksen eduksi verrattuna aikavakioituun pienempi kirjaamiseen, etsimiseen ja miettimiseen kulunut aika tilausta kohti sekä aina täyden kärryn ansiosta pienempi kävelytarve per kuljetettu tavarayksikkö. Taulukossa 12 voidaan nähdä tavoitteellinen kierrokseen käytetyn ajan allokaatio uuden tuotteen aikavarioituvassa täydennyskierroksessa.

**Taulukko 12: Aikavarioituvan täydennyskierroksen rakenne uuden tuotteen tilanteessa**

1.	Tarkistaa sähköisen tilauksen. Keräilee niitä vastaavat materiaalit sekä vakioitun volyyminimike-kitin mukaan kärryyn. Vakioitu keräily sujuu nopeasti.	4 – 8 min
2.	Kävelee soluun	2 min
3.	Täydentää solun ja tiimisupermarketin	4 – 6 min
4.	(Kerää tilaus-kanbanit) – sähköisellä tilauksella ei tarpeellinen vai-	(1 min)
5.	Kävelee takaisin varastoon	2 min
	<b>YHTEENSÄ:</b>	12 – 18 min

Edellä mainittujen hyötyjen lisäksi aikavarioituvalla täydennystavalla on myös heikkou- tensa. Prosessi on teoriassa monimutkaisempi ja tutkittavassa Yrityksessä täysin uuden- lainen hyppy tuntemattomaan. Sen sisäistäminen vaatii virheiden korjaamista, opettelua, testaamista ja kehittämistä ennen kuin siitä saadaan täysi hyöty irti. Riskinä sen toimin- nan suhteen on sen riippuvuus tietotekniikasta. Ohjelmiston kaatuessa tai internetin päät- kiessä joudutaan käyttämään vaihtoehtoisia tapoja. Yksi uhka on kit-ajatuksen toimi- mattomuus. Toimittajat voivat satunnaisesti vaihtaa pakkauskokoja pahimmillaan va- roittamatta mutta sitäkin suurempi uhka on suuren hylkyprosentin kohdistuminen vain jollekin tietylle nimikkeelle. Tällöin se alkaa vaatia lisätäydennyksiä, mitkä aiheuttavat lisätyötä sekä pahimmillaan katkaisevat tuotannon.

Toisaalta onnistuessaan sähköinen tavarantilaus omaa mahdollisuuksia tehostaa proses- sia yhä lisää synkronisoimalla sitä yrityksen muiden tietojärjestelmien kanssa, mistä kir- joitetaan yksityiskohtaisemmin luvussa 5.7. Samaa täydennyskierrosta voidaan vali- koivasti käyttää myös vanhan tuotteen palvelemiseen, koska sähköinen järjestelmä asennetaan sillekin. Näin voidaan valjastaa mahdollinen synergia uuden ja vanhan tuot- teen prosessien välillä.

Yllä esiteltyä konseptia uuden tuotteen aikavariotuvaan täydennykseen ei valitettavasti ehditty oikeasti sisäanjaa UT-esisarjojen rakentamisen viivästyttyä huomattavasti tästä tutkimuksesta riippumattomista syistä. Vaihtoehtoina olisi ollut rakentaa järjestelmä ja simuloida sitä parhaalla mahdollisella tavalla, mutta sitä ei koettu mielekkääksi. Sen sijaanärkevimmäksi ratkaisuksi tuli uudelleensuunnitella käytännössä jo valmis uudel- le tuotteelle kehitetty järjestelmä, ja kääntää se palvelemaan vanhaa tuotetta. Tämä muutos tehtiin, ja sen tuloksista kerrotaan tarkemmin seuraavissa luvuissa.

## **5.5. Informaatiovirran toteutus solun ja varaston välille**

Vanhan tuotteen täydennysprosessin analysointitulosten sekä alustavan toteutettavuus- analyysin pohjalta päätettiin osana tutkimusta lähteä pilotoimaan reaaliaikaiseen infor- maatiovirtaan perustuvaa sähköistä materiaalintilausjärjestelmää eli variaatiota e- kanbanista. Uuden tuotteen tuotantoprosessin luonne tukee siirtymistä e-kanbaniin hy- vin, sillä prosessin puutteet vastasivat hyvin sen kirjallisuudessa esiintyneisiin hyötyihin (kts. esim. Kouri et al., 2008; Wan & Chen, 2007).

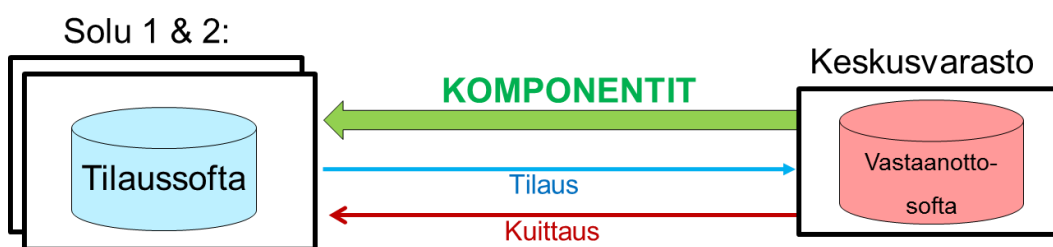
Alustavana ajatuksena oli hyvin yksinkertaisella mekaanisella valo-ohjatulla järjestel- mällä saada välitettyä pelkästään tilauksen ajankohta varastoon, mikä riittäisi, jos tilaus olisi täysin vakioitu kaikissa tapauksissa. Vaikka lean-filosofiassa periaatteessa karsas- tetaan uusimman teknologian soveltamista ennen läpikotaista testaamista (Liker, 2004, s. 167), päätettiin tässä projektissa hylätä yksinkertainen valo-ohjaus ja keskittää resurs- sit ohjelmistopohjaiseen ratkaisuun.

Ohjelmistoratkaisuun päätymiseen oli monta syytä. Tärkeimpinä niistä todettiin, ettei tilausta voitukaan kitata idioottivarmasti, koska uuden tuotteen ydinkomponenttien lisäksi varastosta toimitetaan ja mainittuja saldottomia bulk-osia. Niiden laskemiseen ja saldojen ylläpitämiseen käytetty vaiva ei ole sen arvoista, joten niiden täydentämiseen tarvitaan joku muunlainen järjestelmä. Toisekseen uuden tuotteen komponenttien saannosta ei ollut varmaa tietoa. Saannon vaihdellessa voimakkaasti, vakioitu materiaalmäärä ei toimisi. Se johti siihen, ettei pelkkä aikasignaalin välittäminen riitä, vaan tietovirrassa pitää liikkua monipuolisempaa informaatiota.

Toisena tärkeänä syynä oli mekaanisen ratkaisun joustamattomuus. Solusta varastoon on yli sata metriä matkaa, mikä vaatisi pitkät kaapelit sisäkattoon. Yrityksessä on kuitenkin tyyppillistä tehdä layout-muutoksia vastaamaan kulloiseenkin tuoteportfoliotarpeeseen, joten keskipitkällä tähtäimellä myös uudet tuotantosolut muuttavat. Tällöin kaapelit pitää linjata aina uudestaan. Ohjelmistoratkaisu puolestaan mahdollistaa täydellisen riippumattomuuden etäisyyksistä ja sijainneista. Joustavuuden puolesta puhuu myös esimerkiksi luvussa 2.8.3 Wan & Chen (2007) esittelemät mahdollisuudet yhdistää ohjelmistoon erilaisia poka-yoke-mahdollisuuksia esimerkiksi liittyen kulloinkin tuotettavaan konfiguraatioon ja virhepoimimisen eliminointiin, jotka olisivat mekaanisina kalliita tai jopa mahdottomia toteuttaa.

Kolmas ohjelmiston suoranainen hyöty oli, että samaa systeemiä voidaan käyttää myös alikokoonpanojen tilaamiseen, eli sen avulla saadaan kaksi eri prosessia yhdistettyä. Alikokoonpanotkin tarvitsevat paremmin luvussa 5.8.1 selitetyistä syistä johtuen informaatiojärjestelmän materiaalitäydennysten tukemiseksi. Molemmat tilaukset voidaan hoitaa samalta solun näytöltä, mikä yksinkertaistaa operaattoreiden työtä.

Neljäntenä tekijänä oli Yrityksen sisällä valmiina ollut vahva ohjelmointiosaaminen. Ohjelman ensimmäisestä versiosta tuli äärimmäisen yksinkertainen, kuten voidaan nähdä kuvasta 25. Sen demokuntoon saaminen kesti yhdeltä ihmiseltä yhden päivän. Ohjelmisto koostuu solussa olevasta tilausohjelmasta sekä varastossa olevasta vastaanotto-ohjelmasta, jotka on synkronoitu keskenään internetin yli siten, että ne tunnistavat toisensa. Hyvin yksinkertainen toimintaperiaate on, että operaattori lähettää tilauksen, jonka huomattessaan varaston henkilökunta lähettää vastaanottokuittauksen, keräilee tavarat, kuittaa tilauksen keräilyksi ja tuo ne soluun.



**Kuva 25: Tilausohjelmiston ensimmäisen vaiheen rakenne**

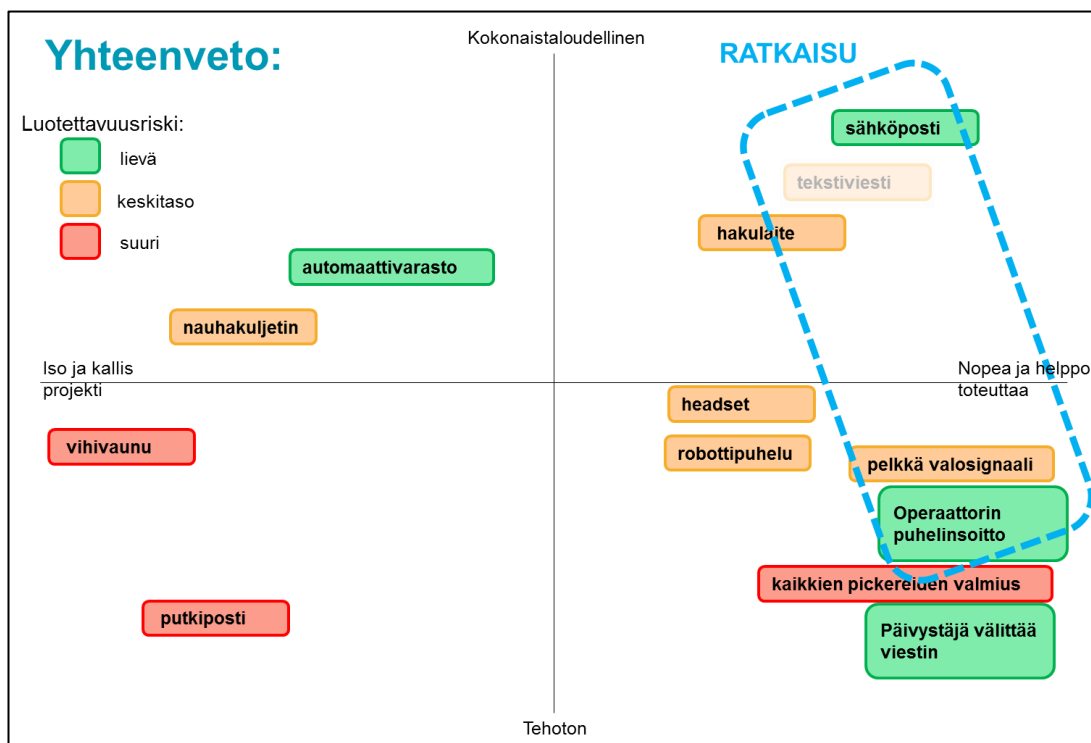
Tuotannon puolesta hyväksynnän saanut ohjelmistokonsepti esiteltiin logistiikalle, joka myös suhtautui uuteen ideaan positiivisesti. Heidän näkökulmansa nosti kuitenkin uuden ongelman pintaan. Vaikka tilausviesti saadaan ohjelmiston avulla reaaliajassa tuotantosolusta varastoon sijoitettuun kiinteään tietokoneeseen, jää silti kyseenalaiseksi saavuttaako se milloinkin missä tahansa olevan keräilijän riittävän nopeasti. Tämän ongelman ratkaisu nousi koko pilotointihankkeen ydinkysymykseksi.

Kehitettävälle ratkaisulle annettiin tietyt kriteerit, joiden rajoissa piti pysyä. Kuten luvussa 5.2.3 kerrottiin, on keräilijällä uuden tuotteen valmistusprosessin toimiessa täydellä teholla hieman yli 60 minuuttia aikaa suorittaa täydennys ennen kuin tuotanto katkeaa. Tuotannon katkeamisen estäminen oli luonnollisesti tärkein kriteeri, koska sen tapahtuessa solun uudelleen käynnistäminen vaatii yli 10 minuuttia aikaa. Virallisesti päätettiin, että keräilijän pitää ehtiä soluun lastatun karrin kanssa 30 minuutissa, jotta prosessiin jää hieman turvamarginaalia.

Operaattorin näkökulmasta tavaran tilaaminen ei saa tulla liian monimutkaiseksi. Tilaamisvaihe ei saa kestää yli minuuttia käyttäen soluun asennettavaa kosketusnäyttöä. Toisena tuotannon asettamana kriteerinä oli, että järjestelmän on oltava ehdottoman joustava. Jokaisella tilauksella on pystyttävä tilaamaan juuri se, mitä kulloinkin tarvitaan, mikä mahdollistaa järjevän toiminnan myös poikkeustilanteissa. Logistiikka puolestaan antoi kriteeriksi sen, ettei keräilijä saa joutua päivystämään odottaen tilausta, vaan hänen pitää pystyä palvelemaan muitakin tuotepereheitä samanaikaisesti. Lisäksi varastoon PC:lle tuleva hälytys ei saa häiritä muun logistiikan väen toimintaa ärsyttävien valoin tai äänin.

Ratkaisun etsimiseen liittyen järjestettiin 23.08.2013 paperi-kaizen-henkinen ideointipalaveri, johon osallistuivat tutkijan lisäksi vanhan tuotteen tuotannon prosessi-insinööri, uuden tuotteen tuotteistamisen projektipäällikkö, keräilytiimin päällikkö, logistiikkapäällikkö sekä kaksi keräilijää. Palaverin seurauksena saatiin kasaan pitkä lista potentiaalisista ideoista. Tutkija analysoi listan ideat erityisesti siitä näkökulmasta, miten hyvin ne palvelevat uuden tuotteen tuotantoa sekä sopivat yhteen Yrityksen olemassa oleviin prosesseihin. Lisäksi analysoitiin ideoiden signaalinvälityksen luotettavuutta, toteutetta-

vuotta rahallisesti ja ajallisesti sekä niiden ratkaisukykyä vastaamaan asetettuun ongelmaan. Nämä ominaisuudet koottiin yhteen seuraavaan nelikenttään (kuva 26).



Kuva 26: Ehdotettujen signaalinvälitystapojen analysointinelikenttä

Alustavaksi ratkaisuksi päätettiin operaattorin tilaussignaalin kääntäminen tekstiviestiksi, joka tulee reaaliajassa keräilijän kännykkään, koska näin voitiin myös hyödyntää keräilijöillä jo olevia puhelimia. Samalla myös riski tilauksen yksityiskohtien unohtamisesta katoaisi, sillä viestin sisältö säilyy eksplisiittisenä kännykän muistissa, eli eliminoidaan paperi-kanbanien hukkaamisen riski sekä tarve hyödyntää epävirallista suusanallista informaatiota, kuten vanhan tuotteen keräilyssä oli yleistä. Toimitettavassa viestissä on yksinkertaisesti vain kolme kaksoispistein erotettua tekstikenttää, johon ohjelma lähettää robottitekstiviestillä tilauksen osoitteen, keräiltävän materiaalitulauksen tunnusteen sekä viimeisen hetken, jolloin se pitää olla toimitettu.

Kännykässä on kuitenkin myös riskinsä. Se voidaan unohtaa jonnekin, akku voi loppua tai viesti jäädä huomaamatta. Näistä syistä päätettiin tukea informaatiojärjestelmän varmuutta ottamalla käyttöön B- ja C-suunnitelmat. Ensin mainitussa tilaus syyttää uuden tuotteen varastohyllyn kulmaan asennetun signaalivalon vilkkumaan keltaisena, mikä ennemmin tai myöhemmin kiinnittää ohikulkevan keräilijän huomion. Valo saadaan sammumaan kuittaamalla tilaus vastaanotetuksi. Jos tätä kuittausta ei ole tullut 20 minuutin kuluessa eli 30 minuutin riskirajan lähestyessä, alkaa sama valo vilkkua punaisena sekä solussa operaattorien tilausnäytölle tulee ponnahdusikkuna, jossa kehoitetaan

ottamaan keräilijään yhteyttä puhelimitse varmistaakseen tilauksen status. *Optimaalinen ratkaisu saatiin siis yhdistelemällä kolme toimivaa, edullista ja nopeasti toteutettavissa ollutta vaihtoehtoa.*

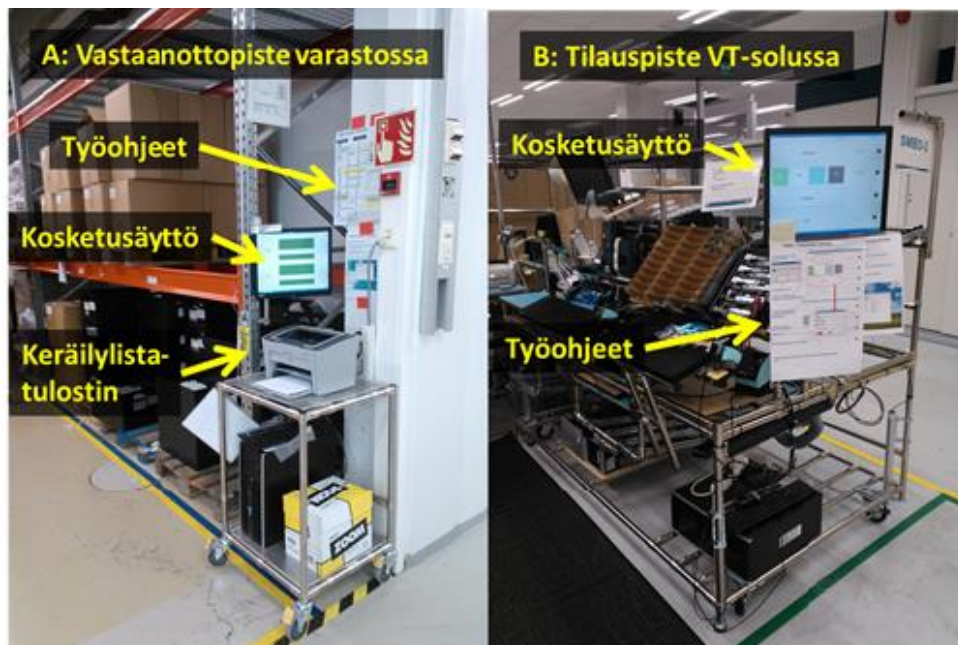
Alettaessa rakentaa järjestelmää todettiin kuitenkin pian, että on kannattavampaa vaihtaa ensisijainen viesti ohjelmistoteknisistä syistä tekstiviestistä sähköpostiviestiksi. Näin se saatiin sopimaan paremmin Yrityksen muihin järjestelmiin sekä vältettiin kalliin GSM-modeemin sekä sen varalaitteen hankinta. Toisaalta keräilijälle jouduttiin ostamaan sähköpostia tukeva puhelin, mutta kokonaistaloudellisesti se tuli huomattavasti halvemmaksi. Sähköpostin avulla kommunikoiivat tilaus- ja vastaanotto-ohjelmisto on yksinkertaisin mahdollinen e-kanban.

## **5.6. E-kanbanin testaaminen vanhalla tuotteella**

Uuden tuotteen nollasarjojen viivästyessä samaan aikaan, kun kohdassa 4.7 esitellyt parannukset vanhan tuotteen keräilyprosessiin saatiin aikaan, keksittiin Yrityksessä testata kehiteltyä e-kanban-järjestelmää sovellettuna versiona vanhan tuotteen prosessiin, jotta sen käytöstä saadaan mittaustuloksia ja kokemuksia ennen suurivolyymisemmän uuden tuotteen valmistuksen aloittamista. Jos järjestelmä koetaan mielekkääksi, voidaan se myös jättää sellaisenaan tuotantokäyttöön, eli tämän tutkimuksen tuloksista saadaan kaksinkertainen hyöty. Koska järjestelmä oli alun perin suunniteltu nimenomaan palvelemaan uuden tuotteen keräilyä, jossa pakkauskoot oli synkronoitu ja solu suunniteltu prosessin ehdoilla, jouduttiin ohjelmistoa muokkaamaan lyhyessä ajassa varsin radikaalisti.

Järjestelmän pystytys sujui yllättävän kivuttomasti. Projektia varten tilattiin kaksi kosketusnäyttöä ja PC-yksikköä, joista toinen pystytettiin VT-tuotantosoluun ja toinen keskusvaraston VT- ja UT-hyllyvälin materiaalikäytävän päähän optimaaliselle paikalle, josta keräilijät kulkevat jatkuvasti ohi. Järjestelmä lopullisilla paikoillaan voidaan nähdä kuvissa 27 A ja B.





**Kuva 27: Tilausjärjestelmän versio 1.1 fyysisesti sekä varastossa että VT-solussa (kuvattu 03.10.2013)**

Ohjelmistopuolella ensimmäisen varsinaisen kokeiluversion ohjelmointiin ja testaamiseen meni yhdeltä ihmiseltä pari päivää. Aikataulupaineen puskiessa päälle päätettiin järjestelmä ottaa vastoin lean-ajattelua tuotantokäyttöön jopa hieman keskeneräisenä, jotta keräilijät ja operaattorit saavat molemmat rauhassa totutella ajatukseen sähköisestä tilaamisesta, sekä ensimmäisiä löytyneitä parannuksia saadaan korjattua seuraavaan paranneltuun versioon, jolla varsinainen mittaus oli tarkoitus tehdä.

E-kanbanin version 1.1 ajatus oli pitää aamukierros lähtötilanteen kaltaisena, eli keräilijät tulevat yhä soluun katsomaan tiiminvetäjän jättämistä paperisista kanban-korteista, mitä soluun pitää tuoda. Aamukierros kuitenkin tilattiin sähköisenä pelkästään tilaamisen sekä siihen reagoimisen harjoittelun vuoksi.

Iltapäiväkierrokseen puolestaan hyödynnettiin kohdassa 4.7 kuvatun kehitystapahtuman tuloksena syntynyttä ajatusta, jossa kierroksen variaatio saatiin rajattua neljään eri vaihtoehtoon trukivaraston nimikkeen neljän konfiguraation mukaan. Niiden erotteluun hyödynnettiin voimakkaasti lean-lähtöistä ajattelua visuaalisuuden korostamisesta. Kyseisen nimikkeen konfiguraatiot on erotettu toisistaan yksittäispakkaukseen tulevalle erivärisellä tarralla. Koska kyseinen nimike on ainoa, joka vaihtuu eri kierrosten välillä, päätettiin tarrojen värejä hyödyntää laajemminkin. Operaattori solussa tekee tilauksen haluamalleen konfiguraatiolle tilausohjelmapainikkeesta, joka on samanvärisen kuin halutun konfiguraation tunnistetarra. Vastaavasti varastossa vastaanottonäytöllä syttyy samanvärisen hälytysikkuna, joka ohjaa pickerin poimimaan samanvärisen keräyslistan. Sen avulla hän kävelee trukivarastoon oikealle hyllylle, jossa eri konfiguraatioiden

hyllypaikat on merkitty pienillä samaa värilogiikkaa seuraavilla merkkilapuilla. Näin koko kierroksen aikana keräilijän ei tarvitse tarkistaa koodeja kertaakaan. Iltapäivätilauksessa on yhteensä viisi nimikettä, joista neljä ovat joka kerta samat vakioiden tilauksen rakenteen niin hyvin kuin mahdollista.

Iltapäivän kierros palveli järjestelmän kehittämisajatusta huomattavasti pelkkää reaktioaikaa mitannutta aamukäyntiä paljon paremmin, koska sen avulla pystyttiin myös mittaamaan keräilyyn kulunut aika. Ohjelman rakenne suunniteltiin siten, että ensin keräilijä kuittaa tilauksen saapumisen, josta jää lokiin reaktioaikaa mittaava aikaleima. Iltapäiväkierroksella hänen pitää myös kuitata keräilyn valmistuminen, jolloin keräilyyn kulunut aika voidaan myöhemmin poimia lokista ulos. Iltapäiväkierrokselle oli lisäksi tehty räätälöidyt keräilylistat, joiden vaikutusta keräilyyn voitiin analysoida. Keräilylistoissa oli valmiiksi painettu keräiltävien tavaroiden varastopaikat, määrät, alustavat esillepano-osoitteet sekä tulostettuna kaikki kirjaamiseen tarvittavat viivakoodit valmiina.

Sähköisen tilaaminen ensimmäiselle versiolle suoritettiin kaksi viikkoa kestänyt mittaus samalla mittaustavalla kuin nykytila-analyyseissä, jotta tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia. Koska mittausdata oli vain kahdelta viikolta, ja sekin oli täysin uuden systeemin opettelua ja sisäänajoa, pitää dataan suhtautua pienellä varauksella. Saadut tulokset olivat kuitenkin rohkaisevia, sillä sekä sähköisen tilaamisen sekä kohdassa 4.7 käsiteltyjen kaizen-parannusten vaikutukset alkoivat näkyä, kuten voidaan havaita taulukossa 13 olevasta mittaustuloksista:

**Taulukko 13: Mittaus 2:n tulosten yhteenveto (Mittausdata liitteessä 2)**

	KERÄILYAIKA	REAKTIOAIKA	KANBANIEN MÄÄRÄ (kpl)			YHT
			B3	VMI	TRUKKI +BULK	
<b>Keskiarvo</b>	<b>00:26</b>	<b>0:05:32</b>	<b>2.92</b>	<b>0.83</b>	<b>2.17</b>	<b>5.92</b>
Keskihajonta	00:11	0:08:07	1.78	0.83	1.85	1.16

Keskimääräinen täydennyskierrokseen kulunut aika tippui 42 minuutista 26:een. Mittaus 2:n kierrosten ajan keskihajonta oli kuitenkin suhteessa huomattavan suuri, mutta positiivisena puolena tavaramäärää saatiin pienennettyä sekä erityisesti vakioitua verrattuna mittaus 1:een. Toisaalta vakioinnin seurauksena järjestelmän joustavuus laski, mikä johti jatkokehitystarpeeseen.

Kyseinen mittaus 2 oli kuitenkin tämän tutkimuksen mittauksista epäluotettavin. Otos oli hyvin pieni, ja koko prosessi oli keskellä isoa murrosvaihetta, joten siitä ei voida vetää suoria johtopäätöksiä: *Operaattoreiden kannalta solun tuottavuutta parantavat, esillepanoihin vaikuttavat muutostyöt olivat vielä kesken, eli tässä vaiheessa keräily oli tehostunut, mutta koko prosessin näkökulmasta se oli yhä osaoptimointia.*

E-kanbanin version 1.1 keräämät lokitiedot analysoitiin myös keräilijöiden tekemän mittauksen rinnalla. Keskimääräiseksi reaktioajaksi solun sähköiseen tilaukseen saatiin noin kuusi minuuttia. Jos datasta suodatetaan pois yksi kerta, jolloin inhimillisen erehdyksen takia keräilijä unohti aamulla ottaa puhelimen mukaansa, ja reaktioaika venyi puoleen tuntiin, tippuisi keskiarvo alle kolmeen minuuttiin. Edellämainitussa unohdustapauksessa kuitenkin signaalinvälityksen varajärjestelmä näytti voimansa. Keräilytiimin esimies huomasi punaisena vilkkuvan tilauspisteen hälytysvalon, etsi vuorossa olleen keräilijän käsiinsä ja selvitti, miksi tilaukseen ei ollut reagoitu ajoissa.

Keräilylistoista löydettiin heti kaksi parannusideaa. Kirjaamisen lukulaite ei suostunut lukemaan viivakoodia laminoidulta paperilta, joten koodit piti tulostaa tarroina uudelleen. Tarrat olivat suurempia kuin suoraan paperiin tulostetut koodit, joten lukulaite alkoi herkästi lukea vahingossa viereistä tarraa. Nämä ongelmat keksittiin ratkaista seuraavaan versioon niinkin yksinkertaisella parannuksella kuin kääntämällä paperi poikittain pystysuunnan sijasta, jolloin viivakoodeille tuli runsaasti lisätilaa.

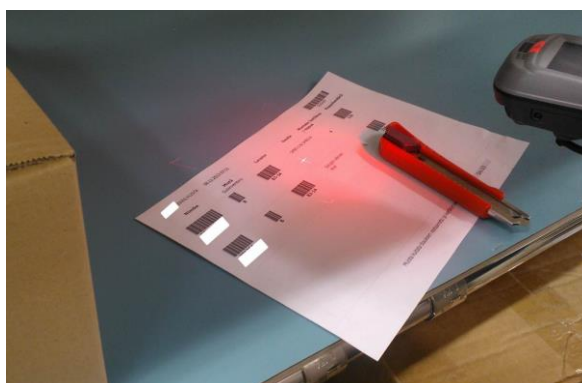
Tilausjärjestelmän seuraavaa versiota 1.2 alettiin kehittää heti seuraavana päivänä ensimmäisen version lanseeraamisesta. Kantavia parannusajatuksia oli kolme: 1) Ohjelman joustavuutta piti parantaa, 2) sen piti pystyä hoitamaan myös aamukierros, mikä tarkoitti kaikkien mahdollisesti tilattavien nimikkeiden lisäämistä tilausikkunaan sekä 3) sen piti pystyä palvelemaan myös alikokoonpanotiimia, jotta kahden eri tiimin tilaukset saatiin yhdistettyä ja synergia potentiaali hyödynnettyä.

Lyhyen VT-tiimin esimiehen kanssa pidetyn aivoriihen jälkeen päädyttiin ratkaisuun, jossa nimikkeet ryhmitettiin vastaaviin aamu- ja iltapäiväkitteihin kuin versiossa 1.1, joiden määriä pystyi kuitenkin tilaamaan varioituvasti – tarvittaessa myös nolla kappaletta. Nimikkeet ryhmiteltiin aamun ja iltapäivän välille siten, että keräilijän tarvitsee käydä korkeintaan kahdessa varastossa kolmesta samalla kierroksella sekä kuljetustilavuodeltaan tavaramäärä jakautuu kierrosten välille aiempaa tasaisemmin.

Joustavuuden kasvattaminen tarkoittaa mahdollisten tilaus- ja keräilykombinaatioiden absoluuttisen määrän kasvattamista. Periaatteessa erilaisia tilauksia on uudessa versiossa ääretön määrä, mikä monimutkaisti hieman operaattoreiden tilaamista mutta oli pakollinen parannus. Varaston päässä kiinteät laminoidut keräilylistat eivät enää pystyneet palvelemaan uutta versiota vaihtelevine tilausmäärineen, vaikkakin vaihtelu oli huomattavasti lievempää kuin alkuperäisen paperi-kanbanin aikana.

Muuttuvan keräilylistan ongelmaan kehitettiin yksinkertainen ratkaisu tulostamalla se joka kerta uudestaan kulloisenkin tilauksen mukaan. Laittevarastosta löytyi tarpeeton ja toimintakuntoinen tulostin, joka asennettiin varaston PC-yksikköön. Ohjelmistoon lisättiin funktio, joka tulostaa tilatut rivit standardoituun, poikittain aseteltuun varta vasten

räätelöityyn keräilylistapohjaan. Keräilylistassa on kentät, joihin tulee haettava nimike varastokoodilla ja selkokielisellä nimellä, varastopaikka, tarkka osoite solussa, keräiltävä laatikkomäärä sekä sen monikertana automaattisesti laskettu kirjattava yksikkömäärä. Kaikkiin informaatiokenttiin tulostui myös oikea viivakoodi automaattisesti, mikä nopeutti ja helpotti kirjaamista ilmiselvästi, sekä poisti laminoidun paperin sekä ylisuurten vakiotarrojen aiheuttamat ongelmat. Samalla keräilijä saattoi pitää listaa mukana myös mennessään soluun voiden tarvittaessa tarkistaa esillepano-osoitteet esimerkiksi kävelymatkan aikana. Täydennettyään solut keräilylistan voi yksinkertaisesti heittää roskiin. Näin saatiin järjestelmän joustavuus nostettua lähes vaadittavalle tasolle. Uusi keräilylista on nähtävissä kuvassa 28.



**Kuva 28: Uudenmallinen, varioituva keräilylista (Kuvattu 08.11.2013)**

Versiota 1.2 ehdittiin kokeilla vain kahden päivän ajan, kunnes eräs solun operaattori keksi järjestelmästä pahan haavoittuvuuden. Sillä pystyi tilaamaan vain yhden konfiguraation osia kerrallaan, mikä ei palvele tilannetta, jossa eri solut valmistavat samaan aikaan eri konfiguraatioita. Kaaviokuva e-kanbanin version 1.2 toimintalogiikasta on nähtävissä liitteessä 8.

Parannuksen ideointi aloitettiin saman tien, ja myös ratkaisu keksittiin nopeasti. Ohjelmiston valikoista poistettiin erillinen konfiguraatiotaso, ja varioituvat nimikkeet lisättiin vakionimikkeiden perään listalle. Samalla myös ohjelman rakenne selkeytyi huomattavasti verrattuna edeltävään versioon. Tämä on nähtävissä liitteen 9 kuvasta, jossa version 1.3 toimintalogiikka on havainnollistettu.

Kahden ensimmäisen päivän aikana ohjelmistosta löytyi muutama pieni virhe, jotka korjattiin saman tien. Näiden nopean korjausten jälkeen sekä solun operaattorit että keräilijät olivat järjestelmään tyytyväisiä. Ensimmäisten päivien aikana epävirallisissa keskusteluissa saatu viesti molemmilta käyttäjätahoilta oli, että järjestelmä on merkittävä uudistus parempaan suuntaan. *Keräilijät olivat tyytyväisiä erityisesti kirjaamista helpottavaan viivakoodeja hyödyntävään keräilylistaan, tilatun tavaramäärän tasaisemmasta jakautumisesta aamu- ja iltapäiväkeikkojen kesken sekä turhan tarkistuskierron*

sen eliminoitumiseen. Solun operaattorit puolesta olivat tyytyväisiä järjestelmän läpinäkyvyyden parantamisesta, kanban-korttien poistumisesta sekä turvasta, jonka järjestelmän Toyotan express-kanbanin (Monden, 1983, s. 28) tapaan toimiva ”erikoistilaus”-funktio mahdollistaa äkillinen osapuutteen uhatessa.

Tutkimuksen viimeinen kvantitatiivinen mittaus suoritettiin version 1.3 päivittämisen jälkeen uuden täydennysprosessin vakiinnuttua ja käyttäjien alkaessa rutinoitua uuteen järjestelmään. Samalla vanhan tuotteen tuotantosoluun tehtiin paljon muutoksia, jotka paransivat nimikkeiden esillepanoa operaattoreiden näkökulmasta. Toisin sanoen pyrittiin pääsemään mahdollisimman monesta työvaiheesta eroon, jossa operaattorin piti tehdä materiaalinkäsittelyä ennen tuotteen viimeistä esillepanoa, kuten avata paketteja tai hakea materiaaleja solun ulkopuolelta. Näitä operaattoreilta poistettuja tehtäviä siirrettiin järjestelmällisesti keräilijöiden vastuulle, mikä lisäsi heidän työmääräänsä liittyen nimikkeiden lajitteluun ja esillepanoon tuotantosolussa, mikä toisaalta on heidän ydin-tehtävänsä. Siksi verrattuna mittaus 2:een, mittaus 3:n ajat ovat hitaammat, kuten taulukosta 14 voidaan nähdä. Koko tarkastelun alla ollut prosessi kuitenkin tehostui, koska operaattoreiden arvoa tuottamattomaan materiaalinkäsittelyyn kulunut aika väheni, samalla kun keräilijöiden täydennyskierrukseen käyttämä aika väheni alkutilaan verrattuna. Valmistustuottavuuden kasvun määrää on mahdoton arvioida, koska sen suhteen vertailudataa lähtötasosta ei ole.

**Taulukko 14: Mittaus 3:n tuloksia (data liitteessä 3)**

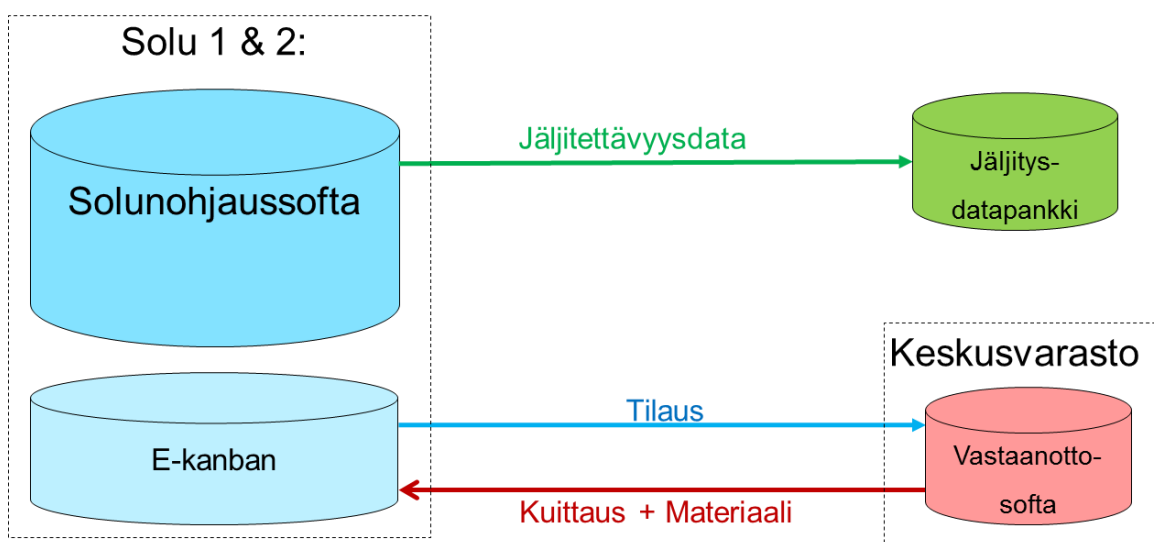
	KIERROS-AIKA	E-kanbanin lokitietoja		Keräilyajan osuus	KANBANIEN MÄÄRÄ (kpl)			
		REAKTIO	KERÄILYAIKA		B3	VMI	TRUKKI	YHT
KESKIARVO	00:30	00:04:39	00:17:12	48%	2.88	0.71	2.00	5.59
KESKIHAJONTA	00:07	00:02:44	00:09:10	12%	2.32	0.82	1.55	2.07

Myös tilauksen tekemiseen kulunutta aikaa mitattiin kolmannen kvantitatiivisen täydennysmittauksen ohella. Tilaamisaika riippui voimakkaasti operaattorista, mutta karkeasti voidaan sanoa, että e-kanbanin versiolla 1.3 tilaaminen kesti noin yhden minuutin, ja siihen tarvittiin yksi henkilö kummastakin solusta. Rutiinin puute näkyi tilauksessa selvästi, ja se ilmeni lievänä hätiköintinä. Ajan myötä on realistista kuvitella tilaamiseen vaaditun ajan keskiarvon asettuvan 30 sekunnin tuntumaan. Tarkempi mittausdata on nähtävissä liitteessä 3 mittaus 3:n yhteydessä. Uudelle tuotteelle tarkoitus on nopeuttaa tilausta ennalta ohjelmoidun kitin avulla. Siinä operaattorin tarvitsisi normaalitilanteessa painaa vain yhtä nappia, eli hyväksyä valmis tilausehdotus.

## 5.7. E-kanbanin jalostuspotentialiaali UT-tuotannossa

Tilausjärjestelmän laajentamispotentialiaalin kulmakivenä on niin kutsuttu solunohjaussof- ta (SOS), joka on jo olemassa oleva ohjelma. Se on luotu kahteen tarkoitukseen: 1) oh- jaamaan solun sisäisiä tuotantolaitteita oikeassa tahdissa sekä 2) keräämään valmistetta- vista uusista tuotteista jäljitettävyydataa ja siirtämään se jäljitysdatatietokantaan, josta se voidaan tarvittaessa noutaa tarkasteluun. Jokainen valmistettava uusi tuote kirjataan sekä kokoonpanon valmistuttua että sen yksittäispakkauksen valmistuttua. Käytännössä SOS kerää ikään kuin sivutuotteena valmistusdataa, jonka avulla tiedetään yhden se- kunnin ja yhden komponentin tarkkuudella reaaliaikainen tuotantotilanne. Tätä kallisar- voista informaatiota ei toistaiseksi hyödynnetä operatiivisessa toiminnassa.

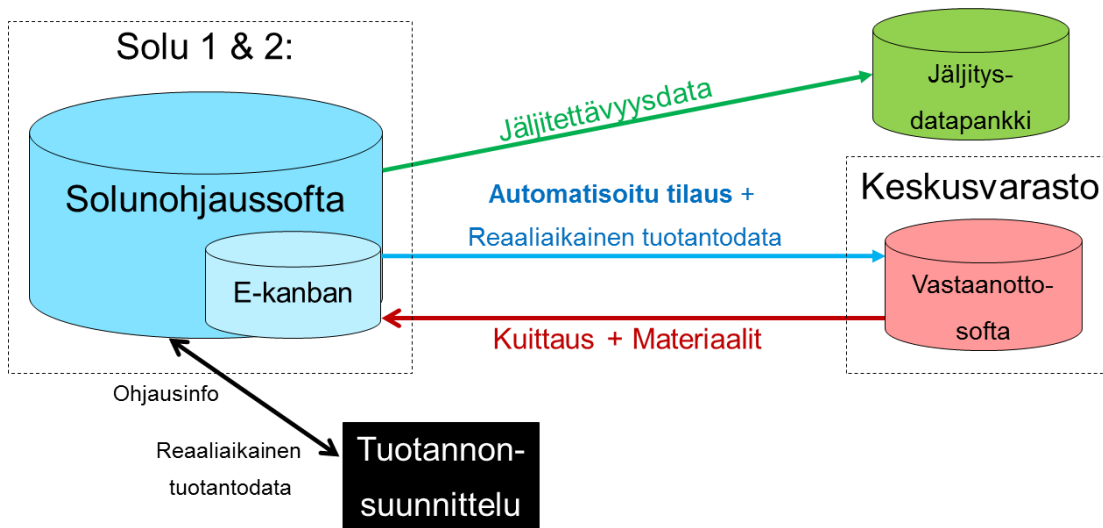
Tilausohjelma eli uuden tuotteen e-kanban on alkuvaiheessa irrallinen solunohjaussof- tasta, vaikka molempia operoidaankin samalta PC:ltä. Ensimmäisessä kehitysvaiheessa Q4/2013-Q1/2014 SOS keskittyy jäljitettävyydataa optimointiin ja e-kanban tilaa- misfunktion toiminnan hiomiseen. Vaihe on havainnollistettuna seuraavassa kuvassa 29.



Kuva 29: SOS ja E-kanban erillisinä järjestelminä kehitysvaiheessa 1 (Q4/2013 - Q1/2014)

Toisessa vaiheessa H1/2014 aikana aloitetaan SOS:n ja UT-e-kanbanin synkrointi. Periaatteessa tarkoituksena on kuvan 30 mukaan, että e-kanban-järjestelmä integroidaan isompaan SOS:iin, jotta erillisten järjestelmien määrä saadaan minimoitua. Synkronisoinnilla saavutetaan kaksi merkittävää parannusta e-kanbanin toimintaan. Ensinnä- kin SOS pystyy lähettämään reaaliaikaista tuotantodataa varaston vastaanotto- softalle. Siten keräilijät pystyvät paremmin pysymään solujen tuotantotilanteen ajan tasalla, en- nakoimaan tilauksen tulemisen sekä suunnittelemaan ja tehostamaan omaa työtään. SOS:iin voidaan myös rakentaa ennustefunktio, joka laskee viimeisten valmistuneiden tuotteiden valmistusaikaa määrätynkokoisena liukuvana keskiarvona, johon perustuva

solukohtainen tilausennuste näytetään varaston näytöllä. Jos tähän informaatioon lisätään vielä kulloinkin valmistettava UT-konfiguraatio, voivat keräilijät teoriassa kerätä seuraavan kierroksen materiaalit jo ennen tilauksen konkreettista lähettämistä.



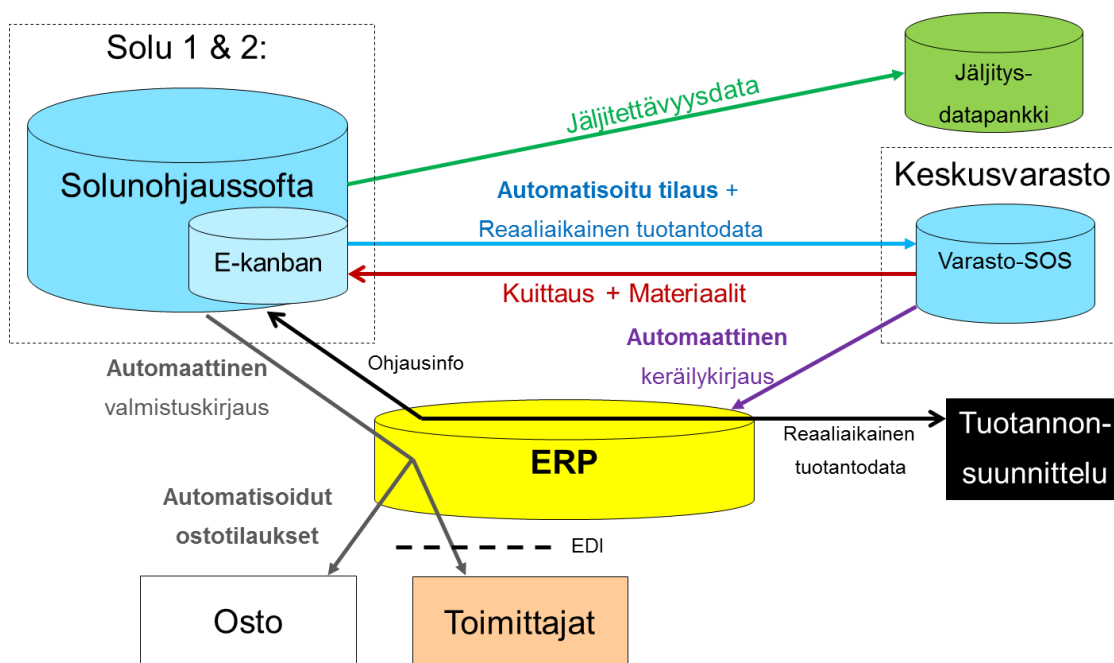
Kuva 30: SOS ja e-kanban integroitu kehitysvaiheessa 2 (H1/2014)

Toinen saavutettava hyöty on tilauksen automatisoiminen. Jos kitti on määritelty 180 kappaleen kokoiseksi, osaa SOS laskea itse, milloin 180. tuote edellisen kierroksen jälkeen on aloitettu ja lähettää tilauksen automaattisesti samalla hetkellä. Näin saadaan manuaalisen tilaamisen unohtamisriski eliminoitua täysin. Haasteita voi aiheuttaa tilanne, jossa tuotteen tilaus ja valmistuskonfiguraatio vaihtuvat kesken kitin. Ongelma on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin vanhalla tuotteella, koska uuden tuotteen tapauksessa vain yksi nimike vaihtuu. Tähän voidaan parhaiten varautua pitämällä varioituvia osia varastoituna solussa kohtuullinen määrä.

Kolmas hyöty saadaan, jos kaukana tuotannosta istuvalle tuotannosuunnittelijalle tataan pääsy SOS-järjestelmään. Sen sijaan, että hän tulostaa työmääräykset ja tuo ne kävellen soluun 100 metrin päähän kuten vanhan tuotteen nykyprosessissa, ohjataan työhöjonoa SOS:n avulla sähköisesti. Tässä vaiheessa tuotannosuunnittelija lukee myyntitilaukset ERP:stä ja muuttaa ne manuaalisesti työmääräyksiksi. Koska hän näkee solujen reaaliaikaisen tuotantotilanteen, voi hän ylläpitää työhön hienosuunnitelmaa optimaalisella tavalla paljon lyhyemmällä reaktioajalla.

Kolmannessa ja viimeisessä kehitysvaiheessa H2/2014 luodaan yhteinen rajapinta integroidun SOS-e-kanban-järjestelmän sekä Yrityksen ERP:n välille. Tämä vaihe on visualisoituna kuvassa 31. Sen avulla saadaan valjastettua kaikki Yrityksen tietojärjestelmien tarjoama tehostamispotentiaali tukemaan UT-tuotantoa. ERP:n yhdistäminen SOS:iin on ohjelmistoteknisesti haastava ja iso prosessi (Haastattelu 8), mutta tarjoaa selkeitä

hyötyjä. Solussa tuotteiden valmistuskirjaus voidaan automatisoida. Nykyään tilauksen valmistuttua operaattori menee tiimi-PC:lle solun ulkopuolelle ja hoitaa kirjauksen manuaalisesti. Kyseinen operaatio vaatii pitkien numerosarjojen näppäilyä manuaalisesti, mikä on aikaa vievää ja virheherkkää. Lisäksi jos kyseessä on suuri, esimerkiksi tuhanen kappaleen tilaus, tehdään valmistuskirjaus vain kerran päivässä. Se tarkoittaa, että pahimmillaan koko päivän tuotannon komponentit ovat haamusaldolla Yrityksen järjestelmissä, mikä aiheuttaa päänvaivaa erityisesti ostolle. SOS-ERP-rajapinnan avulla voidaan tuotteen valmistuskirjaus siirtää myös ERP:iin siten, että valmiit tuotteet kirjautuvat järjestelmään myös reaaliajassa, mikä poistaa haamusaldo-ongelman sekä tarpeen manuaaliselle valmistuskirjaukselle.



**Kuva 31: SOS ja ERP integroitu kehitysvaiheessa 3 (H2/2014)**

Valmistuskirjaus voidaan myös automatisoida kääntymään suoraan ostolle ostoehdotuksen muodossa tai mentynä vielä pidemmälle, voidaan se lähettää suoraan toimittajalle EDI-rajapinnan yli, eli käytännössä siirrytään VMI-varastoihin ja täydennyksiin aivan luvussa 2.9 esitellyssä Drickhamerin (2005) visiossa. Tämä onkin Yrityksen tahtotila keskipitkällä aikavälillä, mutta SOS-ERP-automatisointi toisi siihen vielä lisämausteen antaen toimittajalle mahdollisuuden seurata solukohtaisia saldoja reaaliajassa ja siten toimittaa yhä paremmin just-in-time.

Varaston päässä voidaan vakioitun keräilyn varastosiirtotoiminto automatisoida. Tilauksen tultua näkyviin PC:n ruudulle, hakee keräilijä tilatut tavarat kärkyyn ja tulee takaisin ruudulle painamaan kuittauksen. Se välittää tiedon ERP:iin, joka tekee saldosiirrot varastosta tuotantoon automaattisesti. Näin säästetään kaikki kirjaamiseen käytetty



vaiva, sekä päästään eroon mobiilin kirjaamislaitteen käyttötarpeesta. Vastaavasti tuotannosuunnittelussa manuaalisen käsittelyn tarve katoaa, jos myyntitilaukset saadaan käännettyä ERP:stä SOS:iin suoraan sähköisessä muodossa.

E-kanbaniin siirtyminen olisikin periaatteessa vain pelinavaus siirtymisessä kohti leanhenkistä, informaatiojärjestelmillä tuettua JIT-tuotantoa, jonka vaikutukset ulottuvat pitkälle toimitusketjun ylävirtaan. Varaston ja tuotannon väli nimenomaan uuden tuotteen tapauksessa on paras mahdollinen paikka testata sähköistä tilaamista, koska järjestelmässä on jo olemassa mahdollisuus integroida tämän tutkimuksen tuloksena luotu e-kanban jo olemassa olevaan SOS-järjestelmään.

## **5.8. Materiaalinkäsittelijä UT-tuotannossa**

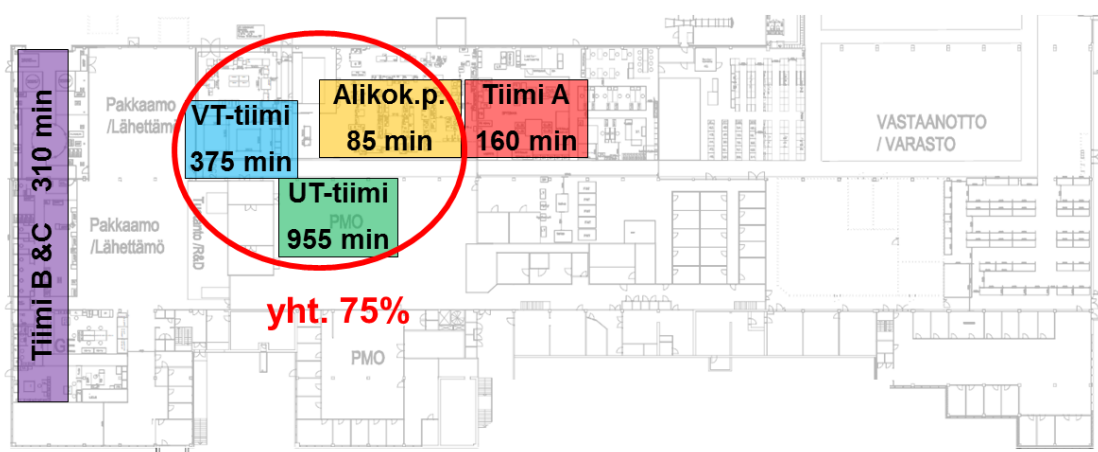
Tutkimushankkeen aikana tuli selväksi, että vanhan tuotteen solun operaattoreilla menee paljon työaika tuotantoa tukevien ulkopuolisten prosessien hoitoon. Solun sisäisen syklin ulkopuolisia työtehtäviä ei ollut standardoitu, ja vastualueiden rajat kaikkien kolmen tutkimuksessa käsitellyn materiaalivirran suuntaan olivat hyvin häilyviä. Käytännössä kaikki nämä työtehtävät vaativat solusta poistumista, mikä aina joko vakavasti häiritsi tai pahimmillaan keskeytti tuotannon aiheuttaen prosesseihin tyhjäkäyntiä ja hukkaa. Kärjistetysti voidaan sanoa, että jokainen Yrityksen työntekijä osaa tyhjentää roskakorin ja siirtää lavaa pumppukärryllä, mutta vain solun operaattorit osaavat tehdä vaativaa kokoonpano- ja testaustyötä. Tehdaslattialla rooleja ja vastuita selvittämällä voisi saavuttaa merkittäviä tuottavuusparannuksia, jos mittarina käytetään valmistuneita tuotteita per operaattorin työtunti.

Tutkimusprojektin aikana heräsi ajatus tuotannon materiaalinkäsittelijän työtehtävän perustamisesta tukemaan uuden tuotteen valmistusprosessia, eli vapauttamaan operaattorit materiaalinkäsittelyyn liittyvistä tehtävistä. Yrityksen eräällä toisella osastolla oli jo operatiivinen materiaalinkäsittelijä käytössä mutta suppealla, lähinnä kittaamiseen perustuvalla toimenkuvalla. Osana tutkimusta tätä toimenkuvaa käytiin havainnoimassa (havainnointi 4), mutta naapuriosaston materiaalinkäsittelijän kanssa ei erilaisista tuoteportfolioista ja tuotantoprosessien eroavuuksista johtuen käytännössä voida saada synergiaa. Tutkitulla toisella osastolla hän työskenteli puhtaasti tiimisupermarketien ja kokoonpanosolujen rajapinnassa tehden kittejä valmiiksi operaattoreille. Osaston suuri määrä tuotevariaatioita ja suhteessa pienet volyymit tukevat tätä käytäntöä.

Analysoitaessa potentiaalisia, soveltuvia tehtäviä selvisi pian, ettei uuden tuotteen valmistusprosessi yksin oikeuta täyspäiväisen materiaalinkäsittelijän palkkaamista työmäärän jäädessä selkeästi alle 40 viikkotyötunnin. Seuraavana analyysiin otettiin mukaan vanhan tuotteen prosessi, joka on fyysisesti aivan vieressä tehdaslattialla ja siten tukisi ajatusta materiaalinkäsittelijän hyödyntämisestä. Vanhan ja uuden tuotteen aiheuttama

kuormitus materiaalinkäsittelijälle jäi yhteensä alle 20 viikkotuntiin, kuten voidaan nähdä liitteessä 7 olevissa mittaustuloksissa. Alustavassa arviossa ajateltiin uuden tuotteen tarve kahdella solulla. Todennäköisesti uuden tuotteen volyyymien kasvaessa tarve materiaalinkäsittelijälle ei kasva samassa suhteessa volyyymien kanssa, koska vanhaa tuotetta ajetaan alas samaa tahtia. Siitä syystä uuden sekä vanhan tuotteen aiheuttama työmäärä voidaan nähdä arvioidulla tarkkuudella suunnilleen vakiona ajan suhteen huolimatta tuotesukupolven vaihdosta.

Tutkimuksessa haastateltiin lisäksi muiden saman osaston rinnakkaistiimien esimiehet liittyen materiaalinkäsittelijän hyödyntämispotentiaaliin. Alikokoonpanotiimistä löytyi oikeaa potentiaalia, mutta muiden tiimien osalta myös tuotannon alhaiset volyymit eivät luo materiaalinkäsittelijälle tarvetta. Lisäksi tiimit A, B ja C hajauttaisivat hänen toiminta-aluetta, kuten voidaan nähdä seuraavasta kuvasta 32. Se vaatisi jälleen erillisen mobiilin informaatiokanavan perustamista materiaalinkäsittelijän optimaaliseen ohjaamiseen, koska näköyhteys UT-tiimin laidalle asennettavaan kutsuvaloon katkeaisi.



**Kuva 32: Tuotannon materiaalinkäsittelijän toiminta-alue aikavaatimuksineen suhteessa tehtaan pohjaratkaisuun (Lähtödata liitteessä 7)**

Yhteensä osastolta löytyi noin 32 viikkotyötunnin edestä materiaalinkäsittelijälle ulkoistettavia, ei-lainkaan tai vain vähän asiakasarvoa tuottavia työtehtäviä (Liite 7). Niistä 74.6% liittyi joko alikokoonpano- ja uuden tai vanhan tuotteen tiimien tukemiseen, mikä oikeuttaa uuden tuotteen tiimin materiaalinkäsittelijän keskuspaikaksi kuvan 32 osoittamalla tavalla. Suurivolyymiset ja hektiset UT- sekä VT-valmistusprosessit tukisivatkin parhaiten luvussa 2.5.3 esiteltyä tuotannon materiaalinkäsittelijän teoreettista työnkuvaa.

Materiaalinkäsittelijän merkityksen ymmärtää kuitenkin paremmin, jos ajattelee hänelle jyvitettyt työsuoritteet suoraan yksi yhteen operaattorin arvoa tuottavan työajan lisäksi. Vanhan tuotteen tiimissä hän mahdollistaisi teoriassa noin 4,5% lisäkapasiteetin

viikossa. Hypoteettisesti hyöty uudelle tuotteelle on vielä suurempi ollen noin 11,5% luokkaa, jos tavoitteellinen sykli aika saavutetaan.

On kuitenkin muistettava, että tutkimustulos on tässä vaiheessa varsin idealistinen. Saatua tulosta 32 viikkotunnin tulos voisi oikeuttaa työtehtävän perustamisen, koska saatu 75% hyötysuhde verrattuna 40 viikkotuntiseen työtuntiin on varsin kova tavoite. Toisaalta materiaalinkäsittelijä tuskin pystyy suunnittelemaan työtään niin, että hän voi hoitaa kaikki mahdolliset työtehtävät. Päällekkäisiä tarpeita eri puolella tehdasta tulee varmasti niin, ettei materiaalinkäsittelijä pysty vastaamaan jokaiseen pyyntöön ainakaan ilman reaaliaikaista informaatiokanavaa. Hänelle löytyy toki myös lisää työtehtäviä, jos mennään vähän syvemmälle tuotannon vastuualueelle. Esimerkiksi UT-solussa materiaalinkäsittelijä voisi tukea operaattoreita tekemällä ajoittain varastoon pienen erän yksittäispakkauksia tuotteille. Se on periaatteessa operaattoreille epäkiitollinen materiaaleja käsittelevä työvaihe, mutta toisaalta materiaalihenkilön mukaantulo voi myös sotkea solun sisäistä työrytmiä.

Jos tehtaan varastojärjestelmä päätetään hajauttaa, kuten luvussa 5.9 tarkemmin esitellään, on materiaalinkäsittelijän palkkaaminen viimeistään silloin välttämättömyys. Tällöin hänen kuormitukseensa voidaan laskea runsaasti myös vastaanoton, keräily ja jopa oston työtehtäviä liittyen saldojen ylläpitoon. Täydellä teoreettisella volyyymilla neljän UT-solun ja kuuden eri konfiguraation tilanteessa tuotannon tempo on niin kova, että logistiikalle on erittäin haasteellista pystyä tehokkaasti palvelemaan tuotantoa ilman osastojen välissä toimivaa materiaalinkäsittelijää. Eittämättä hänen palkkaamisesta jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa olisi hyötyä uuden tuotteen tuotantoprosessiin, sillä se selkeyttäisi roolituksia ja vastuualueita tuotannossa. Varsinkin alikokoonpanojen toimituksessa sekä valmiiden pakkausten kuljettamisessa pakkaamoon materiaalinkäsittelijä vapauttaisi operaattorikapasitettia oleellisimpiin työtehtäviin, kuten seuraavissa luvuissa esitetään.

### **5.8.1. Alikokoonpanolinja**

Vanhan tuotteen alikokoonpanolinjan suhteen operaattoreiden oli vastuulla hakea kohdassa 5.2.1 esitellystä puskurivarasto-olosuhdekaapista lisää materiaalia soluihin aina tarvittaessa. Samalla heidän piti informoida suullisesti edeltävää vaihetta, jonka vastuulla oli kaapin saldon pitäminen minimitasollaan. Koska selkeää vastuuta ei ollut, että kuka informoi ketä ja miten, unohtui ilmoituksen tekeminen ajoittain johtaen ongelmiin prosessin ylävirrassa. Lisäksi alikokoonpanojen noutaminen ja niiden asettelu solun rullaradoille tuotantovalmiuteen vaatii runsaasti operaattoreiden aikaa ja vaivaa; yksittäiseen noutokäyntiin saattaa helposti mennä yhdellä operaattorilla jopa yli 10 minuuttia, mikä on kaikki pois tuotantoajasta. Konkretisoituna yksi nouto tarkoittaa noin kolmea tekemättä jäänyttä vanhaa tuotetta.

Uudelle tuotteelle alikokoonpanojen täydennysvastuu otetaan pois operaattoreilta. Kyseessä on tuotannon luvussa 2.5 esitellyn mukainen, täydellinen materiaalinkäsittelijän vastuulle annettava tehtävä. Jos vastuu vyörytetään alikokoonpanolinjan operaattorille, on kaikki se aika pois myös valmistusprosessista, vaikkakin sen merkitys ei heijastu tuotantoon niin pahasti kuin tahtiajan määräävän tuotantosolun operaattorin ollessa kyseessä.

Alikokoonpanojen tilaamisen käytetään samaa tilausjärjestelmää kuin osto-osienkin tilaamiseen, mikä tuo kehitylle uudelle e-kanbanille paljon lisäarvoa. Operaattorin painaessa samalla kosketusnäytöllä olevaa alikokoonpanotilauuspainiketta, lähtee vastaava tarpeen laadun, toimitusosoitteen ja aikamäärään ilmoittava sähköposti materiaalinkäsittelijän hallussa olevaan matkapuhelimeen, ja solun edustalla materiaalikäytävällä oleva materiaalinkäsittelijän kutsumiseen tarkoitettu hälytysvalo syttyy. Käytännössä tilaus tapa on siis täysin identtinen varastokomponenttien tilaamisen kanssa, minkä avulla saadaan hyödynnettyä sekä ohjelmiston tarjoamaa synergiaetua sekä standardoitua ja yksinkertaistettua solun operaattoreiden työnkuvaa.

Vaikka suurin osa materiaalinkäsittelijälle kaavailluista työtehtävistä liittyy sijainnillisesti vierekkäin olevien UT-tiimin, VT-tiimin sekä alikokoonpanotiimin tukitehtäviin ei materiaalinkäsittelijän työnkuva toisaalta A-, B- ja C-tiimien johdosta ole paikkasidonnainen, joten pelkkä valosignaali ei täysin takaa informaation välittymistä. Siksi myös tässä tapauksessa sähköpostiviestiä hälytysäänellä on hyvä pitää pääasiallisena informaatiokanavana.

Alikokoonpanojen tilaaminen on vielä yksinkertaisempaa kuin osto-osien, sillä niissä ei ole konfiguraatioita. Tilaus on täysin vakioitu, ja ainoa muuttuja on kulloisenkin tarpeen ajanhetki. Alikokoonpanojen täydennys ei toisaalta ole niin aikakriittistä kuin osto-osien tapauksessa. Tilauksen jälkeen soluun jää puskuriiin suunnilleen 1,5 tunnin tarpeita vastaava määrä. Erän hakemiseen puskurikaapista sekä toimittamiseen soluun pitää varata aikaa noin viisi minuuttia, joten jopa tunnin reaktioaika riittää varsin hyvin. Jos tilausta ei hoideta saman tien, kasvaa todennäköisyys sen unohtamiseen ja tuotannon katkeamiseen, vaikka tilaussähköposti jääkin materiaalihenkilön kännykkään muistiin. Jos materiaalinkäsittelijä unohtaa tilauksen tai ei muusta syystä pysty toteuttamaan sitä, ei se alikokoonpanojen kanssa ole niin vaarallista, sillä noutovarasto sijaitsee noin 30 metrin päässä soluista. Tarpeen tullen varsinkin kahden operaattorin tilanteessa solusta voidaan käydä hakemassa alikokoonpanoja itse merkittävästi häiritsemättä tuotantoa, vaikka tilanne on varsin epätoivottava.

Jos materiaalinkäsittelijää ei palkata hoitamaan prosessia, annetaan se pääsääntöisesti alikokoonpanolinjan operaattorin vastuulle. Tällöin sähköpostiin perustuva tilaus jää pois. Informaatiokanavana käytetään vastaavasti alikokoonpanolinjan puskurivarasto-

kaapin kylkeen tulevaa hälytysvaloa, johon on kytketty myös summeri. Jos solun lähettämään tilaukseen ei reagoida esimerkiksi puolen tunnin sisällä, antaa summeri ääniärsykkeen. Alikokoonpanolinjalla on jatkuvasti kahdesta neljään työntekijää noin kymmenen metrin säteellä puskurivarastokaapista. Näin voidaan käytännössä olla varmoja viestin perillemenosta viimeistään äänihälytyksen jälkeen.

Yksi houkutteleva ja suhteellisen pienellä vaivalla toteutettava ratkaisu olisi automatisoida alikokoonpanojen tilaus. Yksinkertainen tapa toteuttaa se olisi asentaa kokoonpanoaseman alikokoonpanorullaradan toiseksi lähimmän laatikon kohdalle valokennoanturi, joka osaa havainnoida onko sen yläpuolella laatikkoa vai ei. Kun toiseksi viimeinen alikokoonpanolaatikko on tyhjentynyt, valuu viimeinen jäljellä oleva 96 kappaleen laatikko uudeksi puskuriksi, mikä on samalla täydennyksen tilauspiste. Samalla hetkellä valokenno huomaa laatikon kadonneen ja antaa tästä signaali-impulssin solussa muista syistä valmiina olevalle ohjelmoitavalle logiikalle, joka saadaan ohjelmistoteknisesti helposti toimimaan yhdessä tilausjärjestelmän kanssa. Näin anturilta tulevalla hälytyksellä korvataan tilausimpulssina operaattorin manuaalinen painallus. Lisäksi voidaan samalla eliminoida riski uuden tilauksen unohtamisesta. Kyseinen järjestelmä on lisäksi hyvin yksinkertainen ja edullinen hankkia, koska sen ainoa hintava osa eli logiikka on solussa joka tapauksessa.

### **5.8.2. Pakkaamo**

Pakkaamoprosessi on sekä uuden että vanhaan tuotteen tuotannossa ongelma-alue, jolle ei ole paljoa tehtävissä muuttamatta pakkaamon sisäisiä prosesseja radikaalisti. Tavaravirta tuotannosta pakkaamoon on puhtaasti työntöohjattu. Vanhan tuotteen tapauksessa operaattorit vievät pumppukärryillä aina trukkilavallisen eli 12 kuljetuslaatikkoa kerrallaan. Se tarkoittaa, että tavara seisoo tuotannossa pahimmillaan päiväkaupalla.

Uuden tuotteen tilanteessa virtausta pakotetaan sujuvammaksi siirtämällä laatikot trukkilavalle vasta pakkaamossa. Solun viimeinen asema eli kuljetuslaatikkopakkauspiste on rakennettu siten, että sen kiskoille mahtuu korkeintaan kolme täyttä laatikkoa kerrallaan. Sen jälkeen se pitää tyhjentää hyödyntäen varta vasten tätä prosessia varten rakennettuja kärryjä, joihin mahtuu kerrallaan samat kolme laatikkoa, mikä on siis pakkaamoon menevän materiaalivirran kertaerä. Pakottamalla eräko ko pienemmäksi saadaan parannettua tuotannon virtausta. Kolme laatikkoa kerralla on tehtyjen tutkimusten perusteella optimaalinen määrä (Haastattelu 6; 7 & 16): Pienemmät erät vaatisivat enemmän työaikaa kuljettamisesta vastaavalta henkilöltä, mutta eivät helpottaisi pakkaamon työtä samassa suhteessa. Näin ollen yhden kappaleen virtaus ei ole kannattava ratkaisu, ellei pakkaamon ja tuotannon välistä materiaalivirtaa saada muutettua työntöohjatusta enemmän imuohjatuksi, mikä olisi mahdollista otettaessa valmistuotepuskuri käyttöön.

Kuljetuskärry ja pakkausasema ovat suunniteltu toimimaan yhdessä. Kun pakkausasema tulee täyteen, ajetaan kuljetuskärry sen eteen nokikkain siten, että kärryn pystyputket lukittuvat pakkauspisteen telakoitumisjigiin. Kärryn renkaat lukitaan, rullaratojen välissä olevat puomit avataan (kts. kuva 33) jolloin radat voidaan yhdistää. Näin laatikot voidaan liu'uttaa pakkauspisteen radalta hyvin pienellä vaivalla kuljetuskärryyn. Sen jälkeen puomit lasketaan alas ja lastia lähdetään viemään kohti pakkaamo.



**Kuva 33: Kuljetuspakkausasema sekä valmiiden pakkausten kuljetuskärry (kuvattu 08.10.2013)**

Tuotannon ylösajovaiheessa laatikoiden kuljettamisen pakkaamoon hoitavat ainakin aluksi solun operaattorit, mikä on epäkiitollinen tilanne. Yksi tyhjennyskäynti pakkaamoon vie kolmesta neljään minuuttia työaikaa, eikä se ole operaattorille arvoa tuottavaa työtä. Ongelma pahenee silloin, jos solussa on vain yksi operaattori. Tällöin tuotanto katkeaa kokonaan tyhjennyskäynnin ajaksi. Paras mahdollinen ratkaisu olisi antaa valmiiden tuotteiden kuljetus myös tuotannon materiaalinkäsittelijän vastuulle. Kyseinen työsuorite sopii kirjallisuuden perusteella (Baudin, 2002) hänen profiiliinsa täydellisesti: Se on lyhykestoinen, epäsäännöllinen, asiakasarvoa tuottamaton solun ulkopuolinen tehtävä.

Kolmannen kuljetuslaatikon täytyttyä on rullaradan tyhjentämiseen aikaa täydellä tuotantovauhdilla noin 40 minuuttia. Jos työtehtävä on operaattorin vastuulla, huomaa hän luonnollisesti itse heti, milloin kolmas laatikko valmistuu. Jos työ annetaan materiaalinkäsittelijän vastuulle, pitää jälleen kehittää joku informaatioväylä, jolla tyhjennystarve saadaan viestitettyä aina tarvittaessa. Järkevän oloinen ratkaisu olisi yhdistää kutsu samaan hälytysvaloon alikokoonpanojen täydennystarpeen kanssa. Koska materiaalihenkilön työtehtävistä noin 70% tapahtuu noin kymmenen metrin säteellä soluista, on käytännössä varmaa, että hän ehtii 40 minuutin marginaalin sisällä hoitaa neljä minuuttia

kestävän pakkaamokäynnin. Valon sytyttäminen hoituisi joko operaattorin toimesta manuaalisesti, tai sitten vastaavanlaisella valokennoanturilla automatisoituna, kuin esiteltiin alikokoonpanojen kohdalla. Kolmannen laatikon alla pakkauspisteellä on anturi, joka tunnistaa sen päälle tulleen laatikon. Se lähettää signaalin solun PLC:lle, joka sytyttää kutsuvalon.

## 5.9. Varastojen uudelleenjärjestely

Aikaisintaan parin vuoden kuluttua lanseerauksesta vuonna 2016-2017 tuotantovolyyymi nousee lopulliselle tasolle, sekä kolmannen ja jopa neljännen solun rakentamisesta tulee ajankohtaista. Kasvanut volyyymi mahdollistaisi varastojärjestelmän hajauttamisen, eli uuden tuotteen komponentit siirrettäisiin keskusvarastosta tuotantotiloihin solujen välittömään läheisyyteen uuteen supermarket-varastoon.

Mahdollisuuksien mukaan uudesta varastosta saataisiin synergiaa myös vanhalle tuotteelle varsinkin, jos sen volyymikomponenttien valmistusta saadaan siirrettyä Aasiasta takaisin kotimaahan sen elinkaaren loppuvaiheessa. Ongelmana tosin on, että supermarket-varastoon pitää saada siirtää kaikki täydennettävät nimikkeet, jotta logistiikan alaisesta keräilyfunktioista päästään kokonaan eroon. Vanhaa tuotetta on tarkoitus valmistaa vielä 5-8 vuoden ajan, eli pisimmillään vuoteen 2021 saakka. Se puolestaan asettaa uudelle varastolle suuria rajoitteita tilankäytön suhteen.

Jotta varastojen uudelleenjärjestelystä saadaan paras mahdollinen hyöty irti, täytyy Yrityksen muilla rintamilla tapahtua myös kehitystä. Ensinnäkin suuressa mittakaavassa toimittajayhteistyötä pitää syventää kaikkien neljän UT-toimittajan kanssa, jotta siirtyminen kohti pienempiä eriä ja tiheämpää toimitussykliä mahdollistuisi. Vastaavasti Yrityksen pitää sisäisesti parantaa kommunikaatiota ja suunnittelua sisäisten alitehtaiden ja osastojen välillä, jotta toimittajasynergiaa voidaan kasvattaa. Tätä kirjoittaessa Yrityksen toimittajaportfolio on vahvasti insinöörivetoisen yrityskulttuurin johdosta pahasti hajanainen.

Jos muidenkin tuoteperheiden materiaalitarpeita saadaan riittävästi keskitettyä samoille toimittajille, joilta uuteen tuotteeseen liittyvät materiaalit tulevat, voidaan päästä parhaimmillaan tilanteeseen, jossa toimittajakohtaiset volyymit kasvaisivat päivittäistoimitukset mahdollistavalle tasolle. Se olisi huima harppaus eteenpäin lean-mielessä, sillä siten saataisiin tuotannon sujuva virtaus skaalattua laajemmin aina ensimmäisen portaan toimittajiin asti.

Toinen edellytys on saada kehitettyä uuden tuotteen tuotantoon liittyviä Yrityksen IT-järjestelmiä kohdassa 5.7 esiteltyn suuntaan. Syventyneen toimittajayhteistyön seurauksena toimittajien IT-järjestelmät on tulevaisuudessa synkronoitu Yrityksen järjestel-

miin soveltuvin osin, jotta reaaliaikainen tuotantodata saadaan välitettyä EDI-rajapinnan yli, sekä täydennysperiaate on muutettu manuaalisesta kanban-tilauksesta täysautomaattiseen VMI-pohjaiseen prosessiin. Näin saadaan tuotantotilanne näkyviin toimittajille, ja ne voivat itse optimoida kulloisenkin toimituksen pohjautuen reaaliseseen asiakastarpeeseen. Siten päästään eroon kokonaan sekä operatiivisesta ostosta että keskusvarastotarpeesta, ja saadaan tuotantoprosessiin vähemmän muuttujia sekä virtaviivaisempi rakenne. Tuotannon virtauksen nopeuttaminen vaatii analogisesti informaation virtauksen nopeuttamista. Toinen ei toimi ilman toista.

Kolmantena, konkreettisempänä asiana uuden supermarket-varaston elinehtona on materiaalinkäsittelijän palkkaaminen uuden tuotteen tuotanto-osastolle. Kohdassa 5.8 esiteltujen työtehtävien lisäksi hänen vastuulleen tulisi supermarket-varaston ylläpito, mahdollisten manuaalitilausten tekeminen, saldoista huolehtiminen sekä tavaroiden kuljettaminen soluihin. UT-supermarketin toteutuessa materiaalihenkilö ei todennäköisesti enää edes ehdi palvella osaston A-, B- ja C-tiimejä, vaan voi rauhassa keskittyä lähemmäksi sijaitsevien UT-, VT- ja alikokoonpanotiimien tukemiseen. Samalla poistuu tarve välittää hänelle informaatiota elektronisesti, koska hän on jatkuvasti näkö- ja huutoetäisyydellä.

Jos varasto siirretään ja materiaalinkäsittelijän työtehtävä perustetaan, siirretään UT-solujen täydennysvastuu kokonaan hänelle. Silloin riittää, että elektronisen tilauksen vastaanottonäyttö siirretään varastosta uuden supermarketin viereen. Sähköpostisignaalin välittämisen tarve muuttuu kyseenalaiseksi, koska hänen ei pitäisi enää poistua soluista yli 30 metrin päähän. Todennäköisesti pelkkä näytölle tuleva hälytys sekä vilkkuvalo riittävät.

Fyysisesti uusi supermarket-varasto toteutetaan cross-dock-periaatteella kahden lavan läpivirtaushyllynä, eli tavarat syötetään takaa ja tyhjennetään edestä. Materiaalit virtaavat lineaarisesti hyllyn läpi FIFO:n takaamiseksi. Supermarketissa on jokaista nimikettä kaksi trukkilavallista tai pienemmällä nimikkeillä kaksi toimituserää kanban-periaatteella. Kun yksi loppuu, toinen jää puskuriin, ja samalla lähtee tilaussignaali toimittajalle joko automaattisesti tai materiaalinkäsittelijän toimesta manuaalisesti. Jotta läpivirtausperiaate toimii sekä hidasta ja kömpelöä trukkia ei tarvita, pitää kaikkien lavojen olla lattiatasossa. Kevyemmät, tilavuudeltaan pienemmät ja ilman lavaa liikuteltavat nimikkeet tiimisupermarket-materiaalit mukaanluettuna voidaan sijoittaa toiseen kerrokseen tilankäytön optimoimiseksi. Jos lattiatila muodostuu ongelmaksi, voidaan lavoja laittaa kolmeen kerrokseen käyttäen tavaroiden nostamiseen ja laskemiseen trukkia, mutta se tilanne ei millään mittarilla ole optimaalinen, koska se hidastaa keräilyä massiivisesti. Täydellä tuotantovauhdilla UT-solu pitää täydentää kolmen tunnin välein.

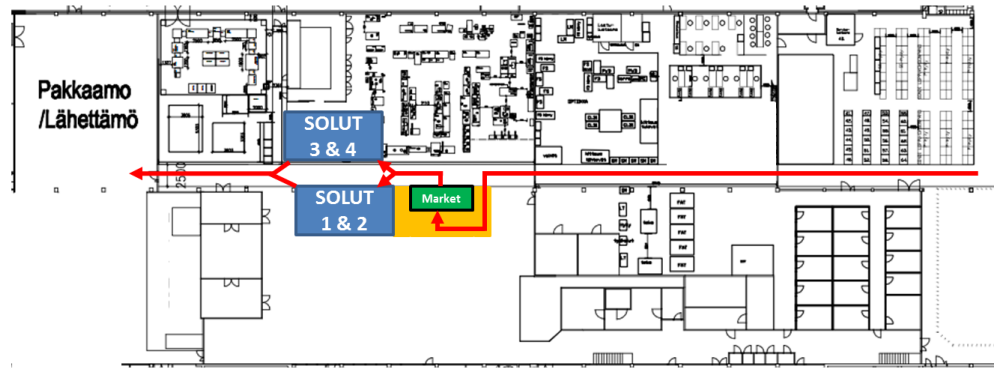


Neljän solun tilanteessa tilaus tulee siis teoriassa 45 minuutin välein. Tällöin materiaalinkäsittelijästä tulee käytännössä trukkikuski.

Suuri volyyymi vaatii tavaroiden liikuttamista käytännössä lavoilla. Lyhyen tahtiajan ja tuotteen sekä valmistuslaitteiden herkkyyden vuoksi materiaalinpsyttöä ei voi hoitaa sekvenssiohjattuna JIT-periaatteella. Kahteen toimituserään perustuva kanban onkin varmuudeltaan ja varastotasoiltaan optimaalisin ratkaisu olettaen, että ainakin kolme neljästä toimittajasta saadaan kahden vuoden aikana valmennettua päivittäisiin toimituksiin. Se taas tekee tilantarpeesta supermarket-varaston suurimman ongelman. Käytännössä uusi tuote vaatii supermarketiin kymmenen rinnakkaista lavapaikkaa, joista kaksi tulee ydinkomponentin eri konfiguraatioille. Kaksi erilaista kuljetuspakkaukseen tulevaa pienivolyyemisempää pahvia voidaan puolestaan yhdistää samalle lavalle tilan säästämiseksi. Kun puskurilavojen tarve otetaan huomioon, tarvitaan siis yhteensä 20 lavapaikkaa tilaa tuotannosta. Sen vapauttaminen tuotantotilasta solujen välittömästä läheisyydestä on äärimmäisen haasteellista ilman radikaaleja layout-muutoksia tai vanhan tuotteen alasajoa.

Olettaen, että tavarat mahtuvat 800mm x 1200mm EUR-lavalle, ja lavojen väliin sekä ulkosivuille jää viiden senttimetrin marginaalit, tulee supermarketin leveydeksi 8,55 metriä. Syvyys suunnassa marginaaleja ei tarvita, eli tilaa vaaditaan 2,4 metriä. Yhteensä hylly peittää pinta-alaa 20,5 neliometriä.

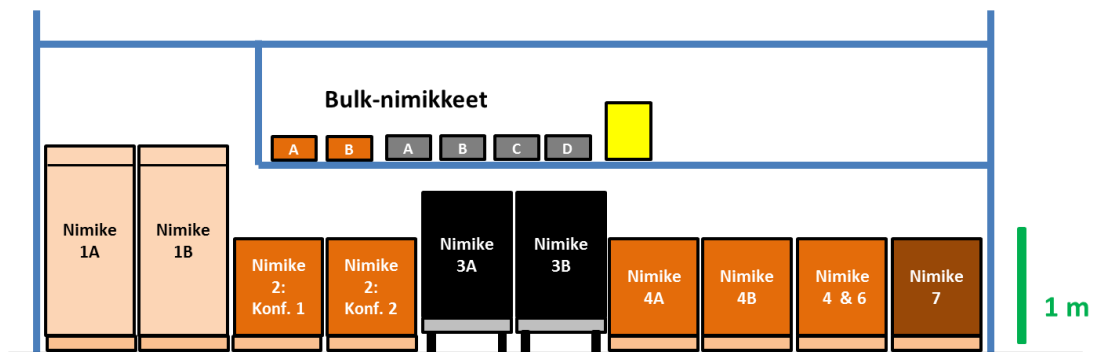
Myös materiaalien käsittelylle pitää uhrata tilaa. Hyllyn kummallekin puolelle tarvitaan koko hyllyn leveydeltä pumppukärryjen käytön mahdollistamiseksi 2,5 metriä leveä materiaalinkäsittelyalue, sekä päätyihin vielä 1,5 metriä lavan kuljettamiseksi. Yhteensä materiaalinkäsittelytilaa tarvitaan 36 neliometriä, eli tuotantotila vähenee kokonaisuudessaan melkein 57 neliometriä. Tilankäyttöä voidaan optimoida, jos uusi supermarket sijoitetaan materiaalikäytävän varrelle siten, että materiaalikäytävä on samalla toinen hyllyn materiaalinkäsittelyalueista. Toisaalta pitää muistaa, että melkein supermarketin tarpeen verran tilaa vapautuu vastaavasti keskusvarastosta muuhun käyttöön jättäen kuitenkin tilan suhteen nettotappioksi melkein 40 neliometriä. Vihreällä merkityn UT-supermarketin optimaalinen sijainti ja tilantarve mittakaavassa havainnollistetaan kuvassa 34, jossa päämateriaalivirta on kuvattu punaisella, tuotantosolujen paikat sinisellä ja materiaalinkäsittelyalueen tarve oranssilla.



**Kuva 34: UT-supermarketin sijoittelu ja tilavaade mittakaavassa tehdaslayoutissa**

Hyvänä puolena UT-komponenttien hajauttamisessa on, että perinteistä varaston hajauttamisen haittaa eli saldojen kaksinkertaistumista ei tapahdu, koska ainoastaan yhtä nimikettä käytetään muissa tuotteissa. Niidenkin volyymin on UT-tuotannossa huomattavasti suurempi kuin missään muualla, joten niiden pääasiallinen varastopaikka voidaan päättää olevan uudessa supermarket-varastossa.

Tavaroiden sijoittelu supermarketiin havainnollistetaan kuvassa 35. Huomionarvoista on nimikkeiden 1A ja 1B 1,8 metriä korkea pahvipakkaus, joka estää toisen kerroksen käyttämisen niiden kohdalla. Nimikkeet 3A ja 3B voidaan tuoda lavan sijasta lean-kärryillä, jotka lukkiutuvat tarvittaessa toisiinsa jäykäksi rakennelmaksi, jolloin niitä voidaan myös siirtää trukilla. Kärry olisi looginen vaihtoehto, koska nimikkeet tulevat toimittajalta kiertolaatikoissa, jotka käytön jälkeen viedään pakkaamoon lähetettäväksi takaisin toimittajalle. Modulaariset lean-kärryt voisivat kiertää samalla tavalla, mikä poistaisi tarpeen käyttää pumppukärryä tehtaan sisällä. Muut ruskealla merkityt lattiata-solla olevat nimikkeet tulevat perinteisellä eurolavalla. Pienemmissä pakkauksissa tulevat bulk-nimikkeet sijoitetaan ylähyllylle perinteisille rullaradoille. Ylähyllylle jäävään tyhjään tilaan voidaan tarvittaessa varastoida uusia bulk-nimikkeitä tai esimerkiksi alikokoonpanotiimin tarvikkeita.



**Kuva 35: Tavaroiden sijoittelu UT-supermarketiin**

Varaston hajauttamisella päästään kokonaan eroon logistiikan keräilytarpeesta, ja siten vähennetään yksi sidosryhmä tuotantoprosessista. Vastaanottoa hajauttaminen puolestaan kuormittaa, sillä he joutuvat kuljettamaan tavarat jatkossa yli sadan metrin päähän verrattuna nykyiseen 20 metrin päässä olleeseen keskusvarastoon. Kertalastit ovat kuitenkin kokonaisia lavoja verrattuna keräilijöiden kuljettamiin kärryihin, joten mittarilla kävelyä per kuljetettu materiaaliyksikkö prosessi tehostuu verrattuna aiempaan. Samalla saldovastuu siirtyy kokonaan tuotannolle, sekä solujen täydennysmatka lyhenee sadasta metrillä noin kymmeneen eli täydennyksen palvelutaso nousee. Saatuja hyötyjä on kuitenkin vaikea verrata kasvaneisiin haittoihin, ilman konkreettisia mittauksia tai simulaatioita, eikä niitä päästä luotettavasti vielä tekemään tässä vaiheessa. Arvoyhtälöksi jää 30 neliometriä lisää tilantarvetta vastaan tehostunut logistiikkaprosessi sekä suunnilleen päivän tarpeella pienentyneet varastotasot. VSM eli arvovirtakaavio uuden tuotteen tuotantoprosessista supermarket-varaston kanssa on nähtävissä liitteessä 6.

## 6. TULOSTEN TARKASTELU

Yrityksen tälle diplomityöprojektille alussa asettama tavoite oli saada luotua lanseerattavan uuden tuotteen tuotannolle sekä lyhyen että pitkän tähtäimen kehityssuunnitelma, jolla parannetaan sen valmistusprosessin joustavuutta sekä pienennetään tuotekohtaisia yksikkökustannuksia. Valmistusprosessin joustavuuden parantamisessa painopiste asetettiin sisälogistiikan materiaalivirtojen optimointiin. Käytännössä tutkittavia materiaali-  
virtoja oli kolme: 1) ostokomponenttien tuominen keskusvarastosta soluun, 2) alikokoonpanojen tuominen niiden valmistuslinjalta soluun sekä 3) valmiiden tuotteiden kuljettaminen solusta pakkaamoon. Suurin painoarvo tutkimuksessa annettiin kahdelle ensimmäiselle kokonaisuudelle, koska ne omasivat suurimman parannuspotentialin.

Yksikkökustannusten alentamisen näkökulmasta tutkimuksessa pyrittiin löytämään ratkaisu, miten operaattorin tuottavuutta voidaan parantaa aikayksikköä kohti siirtämällä tehtäviä operaattoreilta materiaalinkäsittelijöille.

Projektin puolivälissä tavoitteiden painotuksia muutettiin hieman uuden tuotteen valmistuksen käynnistymisen viivästyessä. Toiseksi Yrityksen toivomaksi painopisteeksi tuli nykytila-analyysin löydösten perusteella virtaviivaistaa myös vanhan tuotteen tuotantoprosessia samalla, kun taustalla jatkui uuden tuotteen täydennyskonseptin kehitys. Edistämällä molempia prosesseja samaan aikaan oli tarkoitus saada niitä harmonisoitua ja valjastettua mahdollisesti löytyvä synergia.

### 6.1. Tieteelliset tulokset

Tieteellisestä näkökulmasta tämä tutkimus painottui materiaalitäydennystä tehostavien lean-elementtien sekä täydennysprosessin tiedonkulkua nopeuttavien informaatiojärjestelmien tutkimiseen case-yrityksen kaltaisessa valmistusympäristössä. Tarkalleen tieteellinen tutkimusongelma oli:

*Tiedon tarve nykyaikaisten materiaalin hallinnan kehitystapojen soveltamisesta korkean teknologian elektroniikkatuotteiden soluvalmistusympäristössä.*

Lean-tuotannon ja sen tukiprosessien kehittämistä elektroniikkateollisuudessa löytyi yllättävän vähän kirjallisuutta. Aiheeseen olivat paneutuneet syvemmin Wong & Wong

(2010) sekä Doolen & Hacker (2005). Ensin mainitut olivat tätä tutkimusta sivuten saaneet positiivisia kokemuksia supermarket-varastojen sekä tuotannonalaisen materiaalinkäsittelijän käytöstä elektroniikkavalmistuksessa. Erityisesti materiaalinkäsittelijä-konseptille olisi Yrityksessä iso hyödyntämispotentiaali, sillä tyypillisiä materiaalinkäsittelijälle täydellisiä, operaattoreiden näkökulmasta arvoa tuottamattomia tehtäviä (kts. esim. Baudin, 2002; Miller, 2010) löytyi tutkimuksessa runsaasti etenkin uuden ja vanhan tuotteiden valmistukseen liittyen. Supermarket-varastot Yrityksessä olivat jo laajalti käytössä, vaikka varastojärjestelmä pohjautui isoon keskusvarastoon. Keskuvaraston aiheuttamat käytännön hyödyt ja haitat vastasivat hyvin tarkasti kirjallisuudessa esitettyihin havaintoihin autoteollisuudesta (kts. Battini et al., 2009; 2012; Emde & Boysen, 2011).

Toisesta näkökulmasta materiaalinhallintaa voidaan kehittää sen rinnalla kulkevaa informaatiovirtaa parantamalla. Lähtötilanteessa Yrityksen vanhan tuotteen täydennyksessä oli käytössä paperiset kanban-kortit, joiden lähes kaikki kirjallisuudessa esiin nostetut haitat ilmenivät käytännössä (kts. esim. Kouri et al., 2008; Drickhamer, 2005; Maríková, 2008). Tätä ongelmaa alettiin ratkoa etsimällä kirjallisuudesta Yrityksen tilanteeseen sopivaa nykyaikaista ratkaisumallia. Erilaisia kanban-sovelluksia tutkineiden Lage & Godinhon (2010) artikkelista löytyi kuvaus autoteollisuudessa hyvin yleisestä e-kanbanista, joka vaikutti konseptitasolla pureutuvan hyvin tutkittavasta prosessista löytyneisiin ongelmiin.

E-kanbania alettiin tutkia syvällisemmin ja sen potentiaali vakuutti: Täydennysprosessin käytännön ongelmat ja kirjallisuudessa esitetyt e-kanbanin tarjoamat hyödyt kohtasivat tutkimuksen näkökulmasta toisensa erittäin tarkasti. Vanhan, korttipohjaisen kanbanjärjestelmän suurimmat puutteet Yrityksessä olivat:

- Varaston ja solun pitkä välimatka
- Tarve nopeammalle, virallisemmalle ja selkeämmälle informaatiolle
- Puutteellinen reagointikyky esimerkiksi tuotekofiguraatiota vaihdettaessa
- Virhelähteiden suuri määrä

Yrityksestä valmiiksi löytynyt ohjelmointiosaaminen tarjosivat hyvät edellytykset e-kanbanin kokeilulle. Lisäksi e-kanbania oli jo sovellettu hyvin tuoreen tutkimusmateriaalin perusteella elektroniikkatuotannossa menestyksellä (kts. Dahiphale et al., 2012; Qing et al., 2011), mikä rohkaisi järjestelmän suunnittelun ja pilotoinnin aloittamiseen.

Pohjautuen taulukkoon 3 luvussa 2.9 kerättyyn yhteenvetoon e-kanbanin hyödyistä verrattuna perinteiseen paperi-kanbaniin, voidaan saatua tulosta soveltaa Yrityksen sekä uuden että vanhan tuotteen täydennysprosessin tilanteeseen. Alla olevaan taulukkoon 15 on merkitty vihreällä värillä e-kanbanin ominaisuudet, joista saadaan heti hyötyjä ver-

rattuna lähtötilanteeseen. Keltaisella ovat merkitty ne ominaisuudet, joiden toteuttamiseksi Yrityksessä pitää tehdä prosessitason uudistuksia tai tarvitaan lisäinvestointeja. Heti voidaan nähdä, että alla olevasta taulukosta löytyy teoriassa ratkaisu kaikkiin yllä listattuihin lähtötilan haasteisiin.

**Taulukko 15: Kirjallisuudessa esiintyneet e-kanbanin hyödyt sovellettuna Yrityksen tilanteeseen. Vihreä = lyhyen tähtäimen hyöty, keltainen = keskipitkän aikavälin hyöty. Mukaeltu taulukosta 3.**

<b>E-kanbanin edut paperi-kanbaniin verrattuna</b>	<b>Maininnat kirjallisuudessa (/12kpl)</b>
Tiedonkulun nopeutuminen	12
Toimittaja-yhteistyön parantuminen	11
Parantaa tilausten tiedonkulun läpinäkyvyyttä	10
Poistaa kadonneiden korttien ongelman	8
Vähentää pitkien etäisyyksien aiheuttamia ongelmia	8
Toimii monituoteympäristössä	6
ERP synkronointi	6
Helpottaa analysointia ja raportointia (pitää lokia)	5
Nopeampi reagointi häiriötilanteisiin	5
Tilaamisen / ostamisen automatisointi	4
Inhimillisten virheiden vähentyminen	3
Helpottaa tilausten jäljittämistä	3
Hallinnon vähentynyt tarve	2
Toimii pieneräutuotannossa	2
Helpottaa simulointia ja ennustamista	1
Mahdollistaa monipuolisten poka-yoke-järjestelmien käytön	1

Yhteensä 13/16 kirjallisuudesta löytyneestä e-kanbanin vahvuudesta voidaan soveltaa korkean teknologian elektroniikkatuotteita valmistavaan case-yritykseen, mikä perustellee e-kanbanin toimivuuden sopivuuden tutkittavaan valmistusympäristöön, ja siten vastaa kattavasti tutkimukselle asetettuun tutkimusongelmaan. Tutkimushankkeen loppupuolella vanhan tuotteen täydennysprosessiin räätälöityä e-kanban-ohjelmistoa ehdittiin testata, ja saadut tulokset myös vahvistavat yllä olevassa taulukossa saadut teoreettiset tulokset. Tästä kirjoitetaan tarkemmin luvussa 6.4.

## **6.2. Vanhan tuotteen materiaalintäydennyksen tehostaminen**

Tutkimushanke aloitettiin analysoimalla Yrityksen vanhan tuotteen sisälogistiikan materiaalivirtoja. Sen pohjalta ammennettiin ideoita, miten esille tulleita ongelmia ja hukkaa sisältäviä työvaiheita voitaisiin välttää lanseerausvaiheessa olevan seuraavan sukupolven tuotteen valmistusprosessissa, jotta kolmanteen tutkimuskysymykseen saataisiin vastaus:

- *Miten voidaan parhaiten kehittää vanhan tuotteen täydennysprosessia nykyisessä toimintaympäristössä?*

Tutkimusmentelminä haastateltiin tuotannon sekä keräilyn tiiminvetäjiä, tutkija kävi henkilökohtaisesti *genchi genbutsu*-hengessä (kts. Liker, 2004, s. 223) havainnoimassa keräilijän suorittamaa täydennysprosessia kuusi kertaa, sekä tehtiin kolme kertaa projektin eri vaiheessa pidempi mittaus, joissa keräilijät merkkasivat käymiensä täydennyskierrosten kestot sekä kuljetetut tavaramäärät. Havainnoinneista saadut tulokset tukevat keräilijöiden kirjaamia kirjauksia.

Kerätty mittausdata analysoitiin, ja tulokset esiteltiin kehitysprojektissa mukana olleille henkilöille. Yhteen vanhan tuotteen täydennyskierrukseen lähtötilanteessa kului aikaa keskimäärin 42 minuuttia, ja keräilijöiden piti kerralla vaihtaa yleensä noin yhdeksän kanbania. Huomio kiinnittyi kuitenkin molempien mitattujen suureiden suhteettoman suureen keskihajontaan. Prosesseja ei selvästikään ollut standardoitu, vaikka lean-kirjallisuus aina Mondenista (1983) alkaen korostaa sen merkitystä.

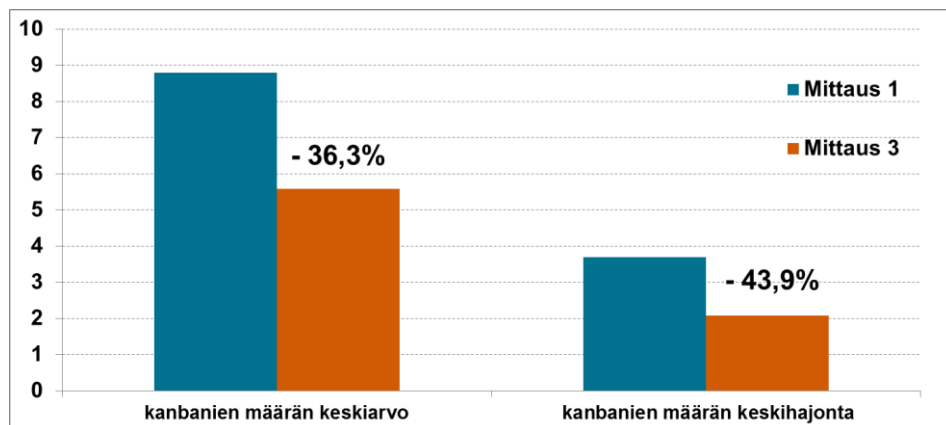
Havainnoinneilla saatiin selville, että prosessi sisälsi huomattavan paljon hukkaa sisältäviä työvaiheita, joista monet olivat identtisiä erityisesti Likerin (2004) sekä Rother & Harrisin (2001) esittämiin erätuotannossa esiintyviin ongelmiin. Selkeimpänä hukkatekijänä nousi esiin kävely. Varastolla ja tuotantosoluilla on fyysistä etäisyyttä noin 110 metriä. Täydennyskierroksen aluksi keräilijä käveli soluun hakemaan paperikanbanit, mikä kesti noin neljä minuuttia. Toinen ongelma oli kanbanien yksikkökokojen huono synkronointi toimittajapakkauksiin: Keräilijät joutuivat siirtelemään materiaaleja laati-koista toisiin samalla laskien manuaalisesti yksikkömääriä. Se oli paitsi hidasta niin myös erittäin virheherkkää. Saldovirheet olivatkin vanhan tuotteen tuotannossa yleisiä, minkä seurauksena Yrityksessä käytettiin paljon aikaa varastonimikkeiden inventointiin. Kolmantena hukkaa aiheuttavana oli kerättävien materiaalien monimuotoisuus. Nimikkeitä oli paljon. Osa niistä oli hyvin hidaskiertoisia, ja ne oli sijoitettu varastoon epäloogisesti. Esimerkiksi suurivolyymisin nimike oli sijoitettu trukki-varaston ylähyllylle, jolloin sen keräilyyn tarvittiin trukkia.

Keräilijä ei voinut ennakoida, millainen tilaus hänelle oli tulossa. Hiljaisen tuotannon aikana soluun vietiin yksi tai kaksi kanbania eli käytännössä käytettiin työaikaa ilman kuljettamiseen, koska ilman informaatiovirtaa keräilijä ei voinut tietää olemattomasta tarpeesta. Toisena ääripäänä kuljetettavaa tavaraa oli niin paljon, ettei se mahtunut kerralla kärryyn, vaan sitä piti hakea yhdellä tilauksella kaksi kertaa. Se kasvatti vaadittavan kävelymäärän yli 800 metriin sekä tilauksen hoitamiseen kuluneen ajan lähelle yhtä tuntia. Kaksinkertainen kierros aiheutti kaksinkertaisen määrään hukkaa.

Ongelmien juurisyitä tutkiessa löytyi yhdeksi hukkaan johtavaksi kokonaisuudeksi nimenomaan puutteet materiaalivirtaa tukevassa informaatiovirrassa. Informaatio liikkui prosessissa sekä täysin standardoimattomilla kanban-lapuilla että epävirallisesti suullisesti. Tyypillinen tuplakierroksen aiheuttava syy oli operaattorin suullinen pyyntö keräilijälle tuoda jotain nimikettä, joka unohtui helposti, ellei sitä kirjattu heti ylös.

Nykytila-analyysin tulokset herättivät Yrityksessä keskustelua prosessien todellisesta tilasta. Materiaalitäydentämisen tehokkuutta ei Yrityksessä ollut mitattu tai kehitetty aiemmin. Tutkimustulokset käynnistivät vanhan tuotteen täydennysprosessin ympärillä kehitysprojektin, joka päätettiin myös sisällyttää tähän diplomityöhön. Projektin tavoitteena oli minimoida kaikki mahdollinen hukka, mitä voitiin lyhyellä tähtämellä tuotannon ja keräilyn yhteistyönä saada aikaan ilman suuria investointeja.

Projektin loppupuolella tapahtunut käytännön kehitystyö kulmineoitiin kaksipäiväiseen kaizen-kehityshankkeeseen, joka poiki positiivisia tuloksia. Keräilyn näkökulmasta suurimpana hyötyinä siirrettiin 13 hidaskiertoista C-nimikettä logistiikalta tiimin saldovastuulle, mikä vähensi kerättävien nimikkeiden määrää ja selkeytti keräilyä. Volyyminimikkeet (A- ja B-nimikkeet) jäivät keräilyfunktion vastuulle. Vähentynyt kanbanien määrä voidaan nähdä mittauksien 1 ja 3 välillä kuvasta 36.



**Kuva 36: Vaihdetujen kanbanien keskiarvon ja keskihajonnan muutos yhtä kierrosta kohti mittauksien 1 ja 3 välillä**

Materiaalisiirrot vapauttivat kuusi lavapaikkaa tilaa keskusvarastossa, mikä mahdollisti jäljelle jääneiden nimikkeiden varastopaikkojen optimoinnin ja keskittämisen. Siten päästiin kokonaan eroon esimerkiksi tarpeesta käyttää truckia. Soluun tehdyt muutokset mahdollistivat myös paremman alkuperäispakkausten käytön – kaikki materiaali kuljetetaan varastosta soluun kokonaisissa pakkauksissa, mikä poisti manuaalisen laskemistarpeen kokonaan ja samalla eliminoi yhden suuren saldovirheiden aiheuttajan.



### 6.3. Yksikkökustannusten alentaminen

Vamistuksen yksikkökustannusten alentaminen oli tämän tutkimus- ja kehityshankkeen syvin tarkoitus. Keräilyn ja täydennyksen nopeuttaminen ei suoraan merkittävässä määrin pienennä tuotteiden valmistuskustannuksia, koska Yritystasolla kustannukset eivät laske, pitää alla kuvattua ensimmäistä tutkimuskysymystä lähestyä toisesta näkökulmasta.

- *Miten materiaalivirtoja kehittämällä voidaan pienentää valmistuksen yksikkökustannusta joustavuuden kärsimättä?*

Valituksi lähestymistavaksi tuli lisätä operaattoreiden arvoa tuottavan työajan suhteellista määrää tuotannon ja logistiikan välistä yhteistyötä parantamalla. Siten operaattorit pystyvät valmistamaan samaa työaikaan kohti enemmän tuotteita, mikä vähentää suoria valmistuskustannuksia per tuote. Käytännössä tuotantosolua muokattiin siten, että täydennyksiin voitaisiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti alkuperäisiä toimittajapakkauskia, joiden käsittely- ja valmisteluvastuu esillepanoon liittyen siirrettiin operaattoreilta keräilijöille Baudinin (2002) sekä Rother & Harrisin (2001) esittämin keinoin. Se kasvatti keräilijöiden työmäärää ja vastuuta, mutta vastaavasti rinnalla keräilyprosessiin tehdyt parannukset (kts. luvut 6.2 ja 6.4) lyhensivät keräilykierron kestoa. Siten yhteenvetona operaattoreiden ja keräilijöiden molempien tuottavuus parani, eli lukuun 2.5 koostettu teoria solun palvelutason nostamisesta keräilijöiden työn kustannuksella piti paikkansa.

Toisella rintamalla yksikkökustannuksia voi pienentää palkkaamalla materiaalinkäsittelyhenkilön. Keskipitkällä aikavälillä se on kannattava investointi tutkimuksen kohteena olleelle osastolle. Erityisesti uuden tuotteen kiivastahtisessa tuotannossa on erittäin paljon tuotannon ja logistiikan välissä olevalle harmaalle alueelle kuuluvia työtehtäviä, jotka kirjallisuustutkimuksen (kts. Baudin, 2002; Miller, 2010) mukaan sopivat parhaiten nimenomaan materiaalinkäsittelijän vastuulle.

Jo mainitun alikokoonpanojen noutamisen lisäksi toinen iso kokonaisuus on valmiiden pakkausten kuljettaminen solusta pakkaamoon. Uutta tuotetta valmistaessa se pitää hoitaa noin kahden tunnin välein per solu, mikä sitoo operaattoreilta runsaasti arvoa tuottavaa työaika. Yhteensä uuden tuotteen tuotannon parista kahden tuotantosolun tilanteella simuloituna löytyi yli 950 minuuttia eli melkein 16 tuntia viikkoa kohti operaattoreilta loogisesti tuotannon materiaalinkäsittelijän vastuulle siirrettäviä tehtäviä. Jos se aika saadaan valjastettua operaattoreilla kokonaan solutyöskentelyyn, vastaa se käytännössä kahden solun tilanteessa noin 11,5% työtuntikohtaista tuottavuusparannusta solun sisäiseen prosessiin. Vastaavasti vanhalle tuotteelle sama lukema oli nykyvolyyymeilla 375 minuuttia eli teoriassa tuottavuusparannukseksi tulisi noin 4,5%. Käännettäessä minuu-

tit valmiiksi tuotteiksi per viikko, muuttuu niiden merkitys huomattavasti oleellisemmaksi.

Esitetyt minuuttimäärät ovat haastattelujen avulla saatuja parhaita mahdollisia arvioita ja ennusteita, joten niiden absoluuttiseen tarkkuuteen kannattaa suhtautua kohtuullisella varauksella. Suuruusluokka kuitenkin pitäne paikkansa.

Yksi Yrityksen pitkän aikavälin mahdollisista suunnitelmista on hajauttaa keskusvarasto ainakin uuden tuotteen valmistuksen osalta jälleen tuotannon vastuulle. Jos tähän ratkaisuun päädytään, on materiaalinkäsittelijän työtehtävän perustaminen välttämätöntä. Tällöin koko materiaalinhallintaprosessi siirtyisi logistiikan vastuulta tuotannonalaiselle materiaalihenkilölle, joka toimisi pääasiassa uuden, solujen viereen perustettavan supermarket-varaston sekä solujen rajapinnassa vastaten samalla myös muista kahdesta esitetyistä materiaalivirrasta. Supermarket-varaston perustamisen edellytyksenä on materiaalinkäsittelijän lisäksi merkittävä toimittajayhteistyön syventäminen sekä panostaminen ostorajapinnan tietojärjestelmiin (kts. esim. Simchi-Levi et al., 2009; Drickhamer, 2005; Iyer et al., 2009). Siten saadaan toimitusssykyä lisättyä niin, että supermarket voisi toimia kahden lavan kanban-periaatteella, mikä vielä pitäisi tilantarpeen kohtuullisena.

Varaston hajautuksen hyödyt ja haitat olivat uuden tuotteen tapauksessa lähes identtiset kirjallisuudessa esitettyjen tulosten kanssa (kts. luku 2.6). Konseptin suurin ongelma oli yli 50 neliömetrin tilantarve tuotantolattialta, jossa ahtaus on jatkuvasti suuri ongelma. Toisaalta uusi tuotekohtainen supermarket mahdollistaisi soluille paremman palvelutason sekä matalammat saldot, koska varastovastuu siirtyisi tuotannolle ja siten myös kontrolli pysyy varmemmin hallussa. Hajautettujen varastojen kirjallisuudessa mainittua suurinta haittaa eli saldojen tuplaantumista ei tapahdu, koska uuden tuotteen nimikkeitä ei käytännössä käytetä muualla tehtaassa (kts. Battini et al., 2009; 2012). Toisaalta hajautus kuormittaa logistiikan vastaanottotiimiä aiempaa enemmän, sillä heidän kuljetusmatkansa kasvaa 20 metristä yli sataan metriin. He kuitenkin kuljettavat tavaran täysillä lavoilla. Nykytilassa saman matkan joutuvat kävelemään keräilijät, jotka kuljettavat pieniä kärrylasteja kerrallaan. Siten materiaalinkuljetus yleisesti tehostuisi tavaramäärä per kuljetettu matka-mittarilla.

#### **6.4. E-kanban case-yrityksessä**

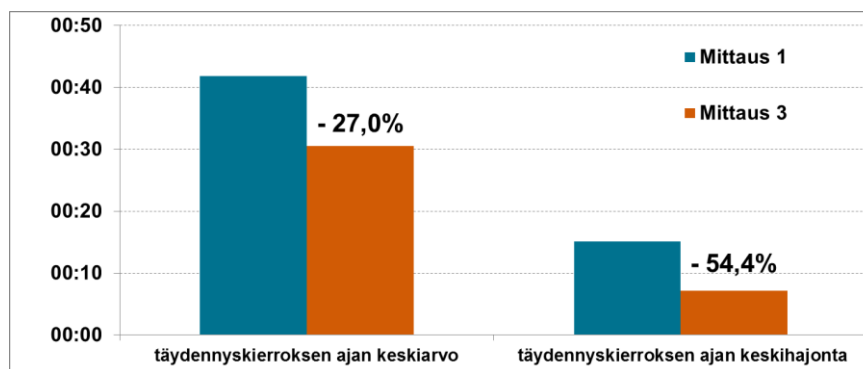
Tutkimuksen alkuperäisenä tavoitteena oli saada parannettua uuden tuotteen materiaalitankkauksen informaatiovirtaa. Aiheeseen liittyväksi, toiseksi tutkimuskysymykseksi kirkastui:

- *Mitä lisäarvoa nykyaikaisilla informaatiojärjestelmillä voidaan saada soluvalmistukseen materiaalintäydennysprosessiin?*

Tutkimuksen aikana esille nousi mahdollisuus soveltaa myös vanhalle tuotteelle vastaavaa sähköistä tilausjärjestelmää eli e-kanbania, joka oli samaan aikaan kehitteillä uuden tuotteen tuotantojärjestelmälle. Tätä päätettiin kokeilla, ja työn alla ollut ohjelmisto muokattiin vanhan tuotteen prosessin tarpeisiin. Sen avulla oli tarkoitus saada informaation kulku reaaliaikaiseksi ja eksplisiittiseksi, jolloin unohduksista piti päästä eroon.

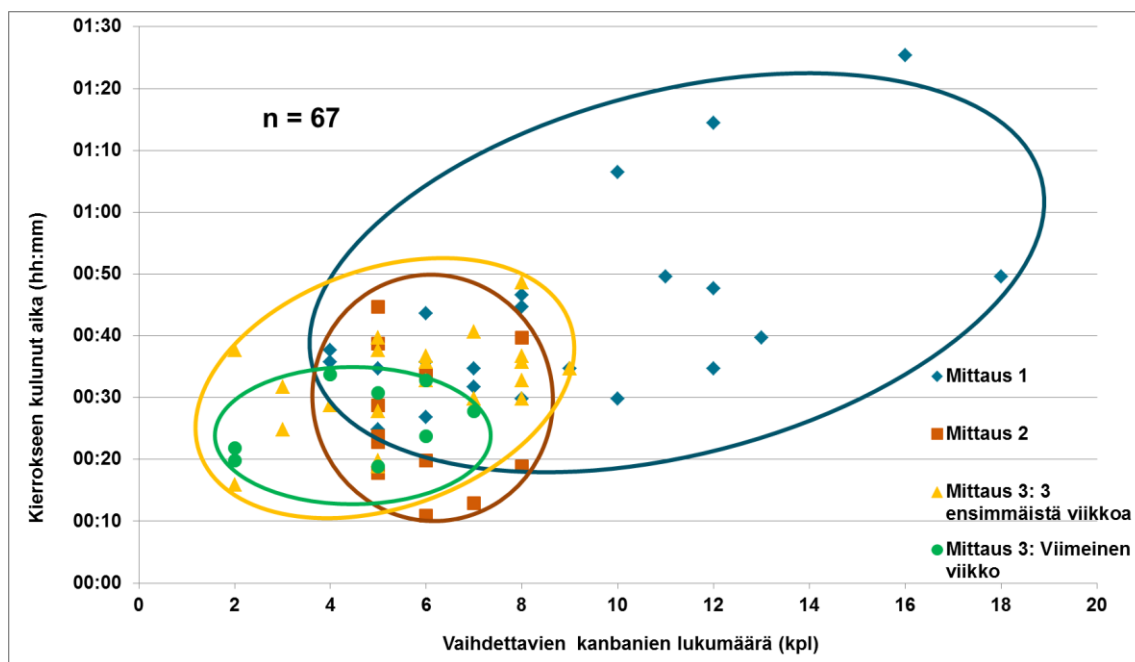
Ensimmäinen kokeiluvärsio sähköisestä tilauksesta otettiin käyttöön pian vanhan tuotteen valmistussolun kaizenin jälkeen. Kokeilu- ja korjausvaihe kesti noin kuukauden. Lopulta kolmanteen versioon oltiin tyytyväisiä, ja se jäi Yrityksessä tuotantokäyttöön. Viimeinen, kolmas mittaus täydennysprosessiin tehtiin hyödyntäen tätä versiota. Sen avulla tilaus voitiin lopulta välittää kokonaan sähköisesti, täysin reaaliajassa sekä riittävän joustavasti riippumatta tuotantotahdista ja valmistettavasta konfiguraatiosta. Tarvittaessa siis voitiin olla kokonaan tilaamatta, mihin aikavaikoitu paperi-kanbanjärjestelmä ei pystynyt.

Yli kuukauden kestäneen, sisäänajovaiheessa tehdyn mittauksen tuloksena yhteen täydennyskierrokseen kierrokseen käytetty aika oli tippunut 42 minuutista 30:een, vaikka keräilijöiden työtehtävät olivat lisääntyneet. Tämä voidaan nähdä alla olevasta kuvasta 37. Tuloksen merkittävyyttä voidaan havainnollistaa ajattelemalla, että yksi minuutti kierroksessa tarkoittaa vuodessa noin yhdeksää työtuntia. Tulevaisuudessa uutta tuotetta aletaan tuottaa 3-4 solulla, mikä vastaavasti jopa nelinkertaistaa saadun hyödyn.



**Kuva 37: Kierroksen kuluneen ajan keskiarvon ja keskihajonnan muutos mittausten 1 ja 3 välillä**

Toinen tapa visualisoida saatuja tuloksia on tarkastella kulunutta aikaa ja kuljetettua tavaramäärää samassa taulukossa. Alla olevaan kuvaan 38 on merkitty jokainen yksittäinen mittaus kuluneen ajan funktiona vaihdettavien kanbanien suhteen. Eri mittaukset on ryhmitetty eri väreillä, jotka on ympyröity niitä vastaavan värisillä kehillä.



**Kuva 38: Kvalitatiivisten mittausten tulosten yhteenveto**

Kuvassa on nähtävissä selvästi kaksi trendiä, jotka kertovat prosessin kehittämislle annettujen tavoitteiden toteutumisesta. Ensinnäkin mittauspisteitä ympäröivien kehien koko on pienentynyt merkittävästi tutkimuksen edistyessä, mikä kertoo sekä kierrokseen kuluneen ajan että tavaramäärän keskihajonnan voimakkaasta pienenemisestä, eli prosessien vakioinnin onnistumisesta. Toisekseen mittauskehät ovat siirtyneet selvästi kohti taulukon origoa, eli vaihdettavien kanbanien määrää saatiin pienennettyä varastopaikkajärjestelyillä sekä kierrokseen kulunut työaika pieneni, vaikka tuotteiden esillepanoon liittyvät työvelvollisuudet kasvoivat. Kuva kertoo myös, että mittauksessa 1 esiintyneet, yli tunnin kestäneet tuplakierroksen vaatineet keikat eivät enää toistuneet myöhemmissä mittauksissa, mikä oli yksi tärkeimmistä tavoitteista.

Sähköinen tilaus sisäistettiin Yrityksessä nopeasti, ja keräilijöiden reaktioaika tilaukseen vakiintui noin kolmen minuutin tasolle, mikä on erinomainen tulos. Täydennyksen sisältö oli myös vakioitunut. Hidaskiertoisten C-nimikkeiden poistaminen keräilystä pudotti vaihdettavien kanbanien keskiarvon yhdeksästä noin kuuteen. Vastaavasti kanbanien määrän keskihajonta tippui 3,7:stä 2,1:een. Yhteen kierrokseen kuluneen ajan keskihajonta puolestaan väheni 15 minuutista seitsemään.

Uuden tuotteen tilausprosessi oli tutkimuksen alkuhetkellä olemassa vain alustavana konseptina. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli jalostaa konsepti tuotannollisesti tehokkaaksi ja toteutuskelpoiseksi prosessiksi. Alkuperäinen ajatus vanhan prosessin kopioimisesta uudelle tuotteelle pienin parannuksin unohtui pian yllä mainittujen, nykyaikaisien uudistusideoiden noustessa esiin. Lopulliseksi ideaksi tuli vakioida materiaalintäy-

dennys mahdollisimman pitkälle ja korvata hidas, epävarma, osittain työntöohjattu mutta peruseriaatteeltaan toimiva paperi-kanban JIT- ja imuohjattuun ohjelmistopohjaiseen e-kanban-järjestelmään, jota siis testattiin käytännössä vanhan tuotteen keräilyssä.

E-kanbanin varsinaiseksi signaalivälityskeinoksi sekä uudelle että vanhalle tuotteelle valikoitui pitkän analysoinnin ja ideoinnin tuloksena ohjelmiston keräilijän matkapuhelimeen lähettämä robottisähköpostiviesti, joka ilmoittaa tilauksen yksityiskohdat sekä aikamääreen. Siten varmistetaan tilauksen perillemeno keräilijän sijainnista riippumatta. Varajärjestelminä ovat vilkkuvalo varaston vastaanottopäätteellä sekä operaattorin puhelinsoitto keräilijän puhelimeen. Sähköpostiratkaisun toteuttaminen oli ohjelmistoteknisesti yksinkertaista, koska vastaavan tyyppinen ratkaisu oli käytössä Yrityksessä jo tiettyjen laitteiden huoltokutsuna.

Sähköiseen tilaukseen siirtyminen eliminoi keräilijän tarpeen käydä fyysisesti katsomassa, mitä soluun pitää tuoda. Se säästää yli 200 metriä kävelyä sekä neljä minuuttia työaikaa per kierros samalla ehkäisten väärinymmärryksen riskiä sekä unohduksia. Saatut tulokset tukevat taulukossa 3 esitettyä kirjallisuusselvityksen tuloksia.

Uuden tuotteen osto-osien täydentämiseen luotiin konsepti, jonka tarkoitus on yhdistää optimoiduksi kokonaisuudeksi sähköinen tilaaminen, nimikkeiden varastopaikat, esillepanopisteet solussa sekä 180 kappaleen kittiin räätälöity kuljetuskärry. Lisäksi uusi prosessi standardoidaan, koulutetaan sekä siitä luodaan työohje. Keräilijät otetaan tiiviisti mukaan uuden prosessin testaus- ja sisäänajovaiheissa palautteen ja kehitysideoiden saamiseksi.

Tavoitteena volyymien noustessa on saada yhden uuden tuotteen täydennyskierroksen mediaaniajaksi alustaviin simulaatioihin ja vanhan tuotteen prosessista saatuihin kokemuksiin perustuen noin 15 minuuttia vakioimalla niin monta työvaiheita kuin mahdollista. Lyhentämällä täydennyskierrokseen kulunutta aikaa sekä varmistamalla sähköiseen tilaamiseen nopea reagointi, voidaan solun varastotasoja laskea vanhan tuotteen yli päivän tasolta uudelle tuotteelle noin kahden tunnin tasoon, mikä lyhentää merkittävästi tuotannon teoreettista läpimenoaikaa.

Alikokoonpanolinjan toimintaan vanhan tuotteen parissa ei tämän tutkimuksen osalta tehty muutoksia. Uudelle tuotteelle alikokoonpanojen tilaus yhdistettiin samaan tilausjärjestelmään, jolla operaattorit tilaavat materiaalia keskusvarastosta. Näin saatiin harmonisoitua järjestelmiä sekä helpotettua solun operaattorin työtä. Alikokoonpanojen noutaminen solujen operaattorien toimesta vaihdetaan uuden tuotteen parissa alikokoonpanolinjan operaattorin toimituksiin. Pidemmällä tähtäimellä prosessi on tarkoitus antaa tuotannonalaisen materiaalinkäsittelijän hoidettavaksi.

## 6.5. Tutkimuksen validiteetti ja reliabiliteetti

Tutkimuksessa käytettyjen menetelmien käytännön hyödyt ja puutteet vastaavat hyvinkin tarkasti taulukossa 5 esitettyihin teoreettisiin Gummessonin (1993) väittämiin. Tähän tutkimukseen tehdyt haastattelut antoivat runsaasti yksityiskohtaista informaatiota, jota ei olisi muuten voinut saada selville. Avainhenkilöt suhtautuivat haastatteluihin hyvin positiivisesti, mutta haastateltavien eleistä näki, että mitä kauemmas sidosryhmiin mentiin tutkimuksen näkökulmasta, sitä pienemmän kontribuution haastateltavilta sai.

Haastateltavilta saadun informaation reliabiliteetti voidaan arvioida kohtuullisen hyväksi. Oli hyvin epätodennäköistä, että kukaan haastateltavista olisi antanu epävalidia informaatiota. Toisaalta haastattelutiedon vertaaminen havainnoinneilla ja mittauksilla saatuun dataan todisti haastatteluilla saadusta informaatiosta tiettyjä epäjohdonmukaisuuksia ja epätarkkuuksia, eli haastatteluissa saatu data perustui haastateltujen subjektiivisiin oletuksiin. Tämän tutkimuksen kannalta oleellinen informaatio varmistettiin aina muutenkin kuin haastatteleamalla – pelkkiin haastatteluihin perustuva data ei vastaa tämän diplomityön tutkimuskysymyksiin. Toisaalta validiteettiä voidaan arvioida myös tutkijan näkökulmasta. Suurin osa haastatteluista osui tutkimuksen alkuvaiheeseen, jolloin tutkija oli ollut Yrityksessä vasta alla kahden kuukauden ajan. Siksi tietotaito liittyen Yrityksen toimintaan oli osittain puutteellista, minkä takia osa olennaisista kysymyksistä saattoi jäädä kysymättä. Tarvittaessa haastatteluja täydennettiin myöhemmin sähköpostikirjeenvaihdolla tai epävirallisemmilla keskusteluilla.

Havainnoinneilla omin silmin saadun datan luotettavuus on hyvin korkea. Havainnointitutkimuksen riski piilee tutkimuksen kohteessa. He olivat kuitenkin motivoituneita autamaan, eikä heidän elekielestään tai muusta toiminnasta paljastunut, että he olisivat tehneet työsuoritteet tavallisesta poikkeavalla tavalla. Havainnointien reliabiliteettiä toisaalta vähentää otoksen pienuus, mutta sitä paikattiin kvantitatiivisellä mittauksella.

Kyselymittauksessa keräilijät täyttivät itse kierrokseen liittyvät mittarit. Mittausta suoritettiin kolmessa eri vaiheessa yhteensä yli kahden kuukauden ajan. Mittarin toiminta ja sen tarkoitus selitettiin keräilijöille, paperin täyttäminen havainnollistettiin sekä kaksi ensimmäistä riviä oli valmiina täytetty esimerkinomaisesti. Siten pyrittiin parantamaan mittausmenetelmän stabiliteettiä ja reliabiliteettiä. Toisaalta mittausta ei pystytty valvomaan ennen e-kanbanin lokitietojen mahdollistamaa tuplavarmistusta. Tulokset olivat kuitenkin kauttaaltaan järkeenkäypiä. Keräilijät olivat esimerkillisesti kirjanneet ylös poikkeuksellisiin tuloksiin johtaneet syyt, mikä nostaa saatujen tulosten luotettavuutta.

Virhemahdollisuuksiakin mittauksessa on. Ensinnäkin keräilijät kirjasivat tiedot käsin, ja ne siirrettiin sähköiseen muotoon myös manuaalisesti. Mahdollisia virhelähteitä on esimerkiksi, että keräilijä unohti kirjata paluuajan heti, ja se täydennettiin myöhemmin

pohjautuen muistinvaraiseen arvaukseen. Mittarin johdonmukaisuuden kannalta se, että mittauksen aikana kierrosta kävi tekemässä viisi eri keräilijää kukin hieman omalla tyylillään, on myös arveluttava tekijä: Toisaalta se laajentaa mittauspohjaa kun taas toisaalta vähentää toistettavuutta ja konsistenssia.

Kvalitatiivisten mittausten toistettavuutta ja luotettavuutta heikentää myös se, että käytännössä jokainen mittaus tehtiin prosessin murrosvaiheessa. Täydennysprosessiin oli jatkuvasti taustalla menossa kehitystoimenpiteitä, jotka muuttivat prosessin kulkua ja työsuoritteiden sisältöä vähän kerrallaan.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoritetulle tutkimukselle oli Yrityksessä tilausta, sillä keräily- ja materiaalitäydennysfunktioista löytyi osaprosessi, jonka kehittäminen oli ennen tätä projektia jäänyt varjoon. Yrityksessä oli sovellettu hajanaisesti lean-tuotannon elementtejä vuodesta 2009 alkaen keskittyen lähinnä tuotantosolujen sisäisiin prosesseihin. Soluvalmistus olikin hyvällä tasolla, mutta tuotantoa tukevien funktioiden toiminta vaati kehittämistä. Lähes jokainen valmistustiimi oli määritellyt keräilylle mieleisensä tavan materiaalien tuomiin. Tuloksena oli sekasotku erilaisia standardoimattomia laastariratkaisuja. Tämän tutkimuksen tuloksena keskenään hyvin samankaltaiset uuden sekä vanhan tuotteen materiaalin täydennysprosessit saatiin nykyaikaistettua ja harmonisoitua toistensa suhteen.

Sekä tuotanto- että logistiikkafunktio olivat innokkaasti mukana projektissa, mikä lähensi niiden välistä yhteistyötä ja sai aikaan keskustelua osastojen välisen toiminnan kehittämisestä jatkossakin. Ensimmäistä kertaa Yrityksen historiassa logistiikka osallistui merkittävästi tuotannonkehittämishankkeeseen, minkä tuloksena tuotantosolun rakenne optimoitiin paitsi operaattoreiden vaatimusten niin myös materiaalitäydennyksen näkökulmasta (kts. esim. Baudin, 2002; Rother & Harris, 2001).

Toimintatutkimuksen tuloksena toteutettu e-kanban oli täysin uudenlainen, ennakkoluloton ratkaisu, joka toimii jatkossa suunnannäyttäjänä Yrityksen sisälogistiikan prosessien kehityksessä. Järjestelmän testaus- ja sisäänajovaiheessa tehtyjen mittausten perusteella se paitsi nopeutti täydennyskierrosta 27%, niin ennen kaikkea selkeytti keräilyprosessin toimintaa. Sekä operaattorit että keräilijät arvioivat uuden järjestelmän hyötyjä erittäin positiivisesti. Testausvaiheen aikaisissa keskusteluissa selvisi, että operaattorit korostivat erityisesti imuohjauksen parantumista sekä informaatiovirran nopeutumista ja parantunutta läpinäkyvyyttä. Nämä ominaisuudet olivat taulukossa 3 nähtävien e-kanbanin teoreettisten hyötyjen kärkipäässä.

E-kanbanin avulla operaattorit saavat paremmin ja joustavammin oikeita materiaaleja oikeaan aikaan, sekä he pystyvät reagoimaan poikkeustilanteisiin erikoistilauksella, mikä poisti tarpeen tukeutua tiiminvetäjiin. Havainnoinneissa 7 ja 8 tuli ilmi, että keräilijät olivat puolestaan tyytyväisiä prosessin virtaviivaistumiseen ja yksinkertaistumiseen sekä virhelähteiden vähenemiseen, jotka molemmat ovat tunnetusti lean-filosofian kulmakivia (kts., esim. Liker, 2004; Monden, 1983). Kolmantena asiana keräilijät arvostivat vähentynyttä kävelyn tarvetta, johtuen solun ja varaston pitkistä välimatkasta. Tämä oli myös yksi e-kanbanin teoreettisista vahvuuksista (esim. Kouri et al., 2008; Wan &



Chen, 2007). Johtopäätöksenä voidaan todeta, että toimintatutkimuksessa kehitetty järjestelmä ratkaisi Yrityksen käytännön prosessitason ongelman vahvistaen samalla laajassa kirjallisuustutkimuksessa esille tulleen hypoteesin siitä, että e-kanban on teoriassa sopivin menetelmä materiaalitilausimpulssin välittämiseen korkean teknologian elektroniikkatuotteiden solutuotantoympäristössä, jossa varastot eivät ole näköetäisyydellä soluista.

Tämän tutkimuksen löydöksiin perustuva esiselvitys samankaltaisen järjestelmän käyttöönotosta eräälle toiselle tuoteperheelle oli käynnissä tätä kirjoittaessa. Lisäksi järjestelmä on kerännyt kiinnostusta ja keskustelua yli osastorajojen, eli se on aiheuttanut orastavaa positiivista muutosta aiemmin konservatiiviseen yrityskulttuuriin.

Sähköinen tilausjärjestelmä toimii myös kulmakivenä uudelle, kokonaisvaltaisemmin lean-henkiselle toimitusketjulle, jossa prosessien kehitys on laajennettu tuotantosolusta koskemaan koko prosessia Yrityksen pakkaamosta ensimmäisen portaan toimittajien valmistukseen asti. Sen edellytyksenä on tosin jatkossa toimittajayhteistyön sekä informaatiojärjestelmien kehittäminen. Se hyödyttää koko Yritystä pitkällä tähtäimellä, mikä on Likerin (2004, s. 69) mukaan kaiken lean-kehittämisen lähtökohta.

## 7.1. Tutkimuksen tarkastelu

Tutkimukselle ei annettu varsinaisia numeraalisia tavoitteita, vaan tavoitteena oli yleisemmin keksiä keinoja parantaa erityisesti yhä konseptitasolla olleen uuden tuotteen valmistusprosessin joustavuutta sekä pienentää valmistuksen yksikkökustannuksia. Uuden tuotteen näkökulmasta tavoitteiden saavuttamista on hankala todentaa, koska projektin tulokset olivat parannuksia keskeneräiseen konseptiin, jonka arviot olivat alun perinkin viitteellisiä sekä teoreettisia.

Vanhan tuotteen osalta yksikkökustannuksen absoluuttista pienenemistä on mahdotonta määrittää, koska riippumatonta vertailudataa lähtötasosta ei ole olemassa. Työtuntikohtaista tuottavuutta ei mitattu Yrityksessä tutkimuksen alkuhetkellä, eikä menneistä valmistusmääristä voi vetää suoria johtopäätöksiä, koska valmistettavan konfiguraation, kulloisenkin tilauskannan sekä solujen operaattorimäärän sekä vaikutus että vaihtelu ovat suuria. Jonkinlainen arvio niistä voidaan tehdä riittävän pitkän ajan kuluttua, jolloin voidaan nähdä onko päiväkohtaisissa valmistusmäärissä kasvavaa trendiä verrattuna edellisvuoteen. Arvoa tuottamattomia työtehtäviä siirrettiin suuri määrä operaattoreilta keräilijöille, mutta niiden absoluuttinen vaikuttavuus yksikkökustannuksiin jää tämän tutkimuksen puitteissa epäselväksi. Konkreettista, mitattavissa ollutta tehostamista saatiin aikaan vanhan tuotteen keräilyprosessiin, jossa yhteen kierrokseen vaadittu työaika väheni neljänneksellä samalla kun keräilijän vastuulla oleva työmäärä kasvoi huomattavasti. Saadun hyödyn jyvittäminen tuotekohtaisiin valmistuskustannuksiin oli

kuitenkin mahdotonta, koska se näkyy vasta pidemmän ajan kuluttua ja silloinkin välillisissä materiaalikustannuksissa.

Prosessin joustavuus kuitenkin parani, sillä sähköinen tilaus muutti työntöohjatun keräilytoiminnon imuohjatuksi, mikä tukee esimerkiksi lean-gurujen kuten Likerin (2004) ja Mondenin (1983) tutkimuksia. Sen avulla resurssia käytetään vain silloin, kuin sitä oikeasti tarvitaan – kiivastahtisen valmistuksen aikana useammin ja vastaavasti hiljaisen harvemmin. Tästäkin saatu hyöty vaatisi pidempiaikaisen, käytännössä jopa vuositasolla tapahtuvan mittauksen.

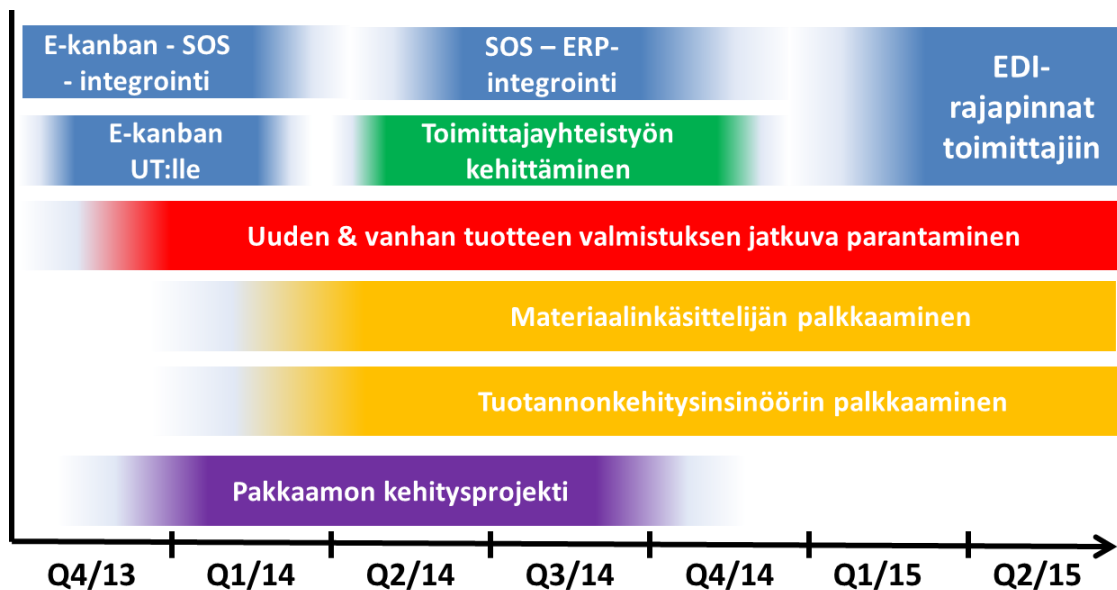
Keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä saadut tulokset ovat kirjallisuuteen perustuvia Yrityksen prosesseihin sovellettuja parannuksia, joiden hyödyt eivät ole tarkasti arvioitavissa. Materiaalinkäsittelijän palkkaamisen hyötyjä pystyttiin tosin alustavasti laskemaan. Etsimällä esimerkiksi Baudinin (2002) sekä Millerin (2010) listaamia potentiaalisia operaattoreiden osalta arvoa tuottamattomia työsuoritteista sekä uuden että vanhan tuotteen valmistusprosessista, saatiin niille laskettua liki 12% ja 4% tuottavuuden parannuspotentiaalit. Yrityksen antama tavoite oli nimenomaan luoda aiheeseen liittyen uutta tietoa, jota voidaan tarvittaessa myöhemmin soveltaa. Tästä näkökulmasta annettu tavoite voidaan katsoa täytetyksi.

Kokonaisuudessa tutkimushankkeen tulokset saavuttivat annetut tavoitteet. Tehostunut vanhan tuotteen keräilyprosessi generoi säästöjä, joiden määrän arviointi riippuu laskutekniikasta ja sovellettavasta kustannuspaikasta. Imuohjatuksi käännetty täydennyskonsepti puolestaan johtaa nopeammin reagoivaan ja joustavampaan prosessiin. Tulevaisuuteen suunniteltuja konsepteja eli materiaalintankkaajan työtehtävää sekä varaston hajauttamista voi toteuttaa ja jatkojalostaa, kun aika on kypsä. Soveltaen niihin liittyen tämän tutkimuksen tuloksia (luvut 5.8 ja 5.9) kirjallisuustutkimuksen löydöksiin (luvut 2.5.3 ja 2.6) ne voisivat tarjota tuottavuuden kehittämismahdollisuuksia case-yritykselle. Tässä tutkimuksessa tehtiin niin sanottu likainen työ, jossa analysoitiin niiden tarjoamia potentiaalisia hyötyjä Yritykselle.

## **7.2. Jatkokehitystoimenpiteet**

Tärkein suositus jatkotoimenpiteeksi Yritykselle on aloittaa jo olemassa olevan lean-osaamisen skaalaaminen laajemmin toimitusketjuun. Tätä kirjoittaessa käytännössä vain tuotantosoluja on laajemmin lean-optimoitu. Tämä tutkimus on ensimmäinen askel leanin laajentamisessa toimitusketjun ylävirtaan. Luonnollinen jatkumo on syventää yhteistyötä hankinnan sekä Yrityksen osastojen ja alitehtaiden välillä toimittajapohjan yhdenmukaistamiseksi toimittajariskit luonnollisesti huomioiden, jotta saadaan suurempi osa volyyymista keskitettyä lähellä sijaitseville ja luotettaville toimittajille. Tällöin niiden kanssa voidaan alkaa tehostaa jalostusprosessia yritysrajat ylittävällä laajuudella. Yri-

tykselle esitettävät toimenpidesuositukset aika-akselilla on koottu yksityiskohtaisemmin seuraavaan kuvaan 39.



**Kuva 39: Toimenpidesuositukset aikajanalla**

Leanin skaalaaminen toimitusketjuun vaatii Yrityksen IT-järjestelmien päämäärätietoista kehittämistä prosessien tueksi. Lyhyemmät reagointiajat, kasvanut transaktioiden määrä ja pienemmät varastot kasvattavat ihmisten työtaakkaa ja lisäävät tuotannon katkeamisriskiä, ellei prosessien informaatiovirtoja automatisoida ja pidetä kehityksessä mukana. Tässä tutkimuksessa luotu e-kanban on ensimmäinen edistysaskel tuotannon tietovirtojen kehittämisessä. Sen täysi hyöty voidaan valjastaa vasta, kun se on synkronoitu solua ohjaavaan SOS-sovellukseen ja Yrityksen ERP:n kanssa. Parhaimmillaan tulevaisuudessa uuteen tuotteeseen liittyen voidaan päästä eroon operatiivisesta ostosta, jos toimittajarajapinnassa siirrytään VMI-pohjaisiin toimituksiin sekä reaaliaikaiseen tietovirtaan EDI-rajapinnan yli. Tutkimustulosten mukaan se tarjoaisi teoreettisen mahdollisuuden siirtyä jopa päivittäisiin toimituksiin alihankkijoilta, mikä yli kaksikymmentäkertaistaisi varaston kiertonopeuden ja lyhentäisi koko prosessin läpimenoaikaa yli 90% verrattuna vanhan tuotteen lähtötasoon.

Yrityksen sisällä liittyen kummankin tutkitun tuotteen valmistukseen on suositeltavaa jatkaa tuottavuusparannuksia kaizen-hengessä liittyen sekä solun sisäisiin että tuotantoa tukeviin prosesseihin. Vanhan tuotteen materiaalitydennyksessä nopeasti toteutettavat ja merkittävät, minuuttitaso parannukset löydettiin tämän projektin aikana, mutta sekuntitasolla on vielä paljon potentiaalia. Vanhasta tuotteesta saatuja oppeja voidaan käytännössä soveltaa melkein yksi yhteen uuden tuotteen parissa sekä sisäisen yhteistyön kehittyessä myös muiden tuoteperheiden parissa. Syvällisemmällä havainnoinnilla

liittyen vanhan tuotteen valmistussoluun voidaan vielä löytää pieniä parannuskohteita, jotka liittyvät operaattoreiden materiaalinkäsittelyyn. Solun tuottavuutta saadaan jatkosakin nostettua, jos näitä suoritteita voidaan siirtää keräilijöiden tai mahdollisesti palkattavan materiaalinkäsittelijän vastuulle.

Henkilöstöresursseja koskevia kehittämiskohteita olisi perustaa tutkimuksen kohteena olleelle osastolle tuotannon materiaalinkäsittelijän toimenkuva, jonka hyödyt kasvaisivat sitä mukaa, kun uuden tuotteen valmistus kiihtyy. Oletetulla 75% työaikatehokkuudella tutkimuksen kohteena olleelta osastolta löytyy riittävästi operaattoreilta ulkoistettavia, asiakasarvoa tuottamattomia työsuoritteita materiaalinkäsittelijälle. Toinen mahdollinen uusi toimenkuva olisi mahdollisimman vähän operatiiviseen toimintaan sidottu tuotannonkehitysinsinööri, joka omistaisi ja koordinoisi kehityshankkeita liittyen myös muihin tiimeihin. Tuotanto- ja logistiikkaosaamista olisi myös hyvä ottaa enemmän mukaan tuotekehitysprojekteihin alusta asti.

Yrityksen kannattaa käynnistää hanke pakkaamon sisäisen toiminnan kehittämiseksi mahdollisimman pian, sillä tuotannon virtaus katkeaa pakkaamon ovelle. Pakkaamo on täysin työntöohjattu, jossa yhdelle tilaukselle ei tällä hetkellä voida tehdä kahta vaihetta samaan aikaan. Yritys, jossa vallitseva strateginen painopiste on parantaa asiakastoimistusten luotettavuutta, toimiikin pakkaamon kanssa proaktiivisesti työntämällä autonomisesti lähetettävät materiaalit useampaa päivää ennen sovittua lähetyspäivää sinne jotta ne varmasti ehtivät lähteä. Ydinkysymys kuuluukin, miten pakkaamon toimintaa saadaan paremmin synkronoitua valmistuksen kokonaiskuvan kanssa, jolloin edes massa-tuotettavien tuotteiden parissa voidaan siirtyä edes osittaiseen imuohjaukseen. Tutkitun vanhan tuotteen noin 12 vuorokautta kestävästä tehdasläpimenoajasta voisi pakkaamon toimintaa sujuvoittamalla vähentää kerralla jopa 4 vuorokautta, mikä olisi huomattava parannus.

## LÄHDELUETTELO

- Al-Mashari, M., 2002, Enterprise Resource Planning (ERP) Systems: A Research Agenda, *Industrial Management and Data Systems*, 102 (3), 2002, sivut 165-170.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., 2009, Design of the optimal feeding policy in an assembly system, *International Journal of Production Economics* 121, sivut 233-254.
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., Sgarbossa, F., 2010, Supermarket warehouses: stocking policies optimization in an assembly-to-order environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 50, sivut 775-788.
- Battini, D., Boysen, N., Emde, S., 2012, Just-in-Time supermarkets for part supply in the automotive industry, *Working Papers in Supply Chain Management Friedrich-Schiller-University of Jena*, 9 sivua.
- Baudin, M., 2002, *Lean Assembly: The Nuts and Bolts of Making Assembly Operations Flow*, Productivity Press, New York, 296 sivua.
- Baudin, M., 2004, *Lean Logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods*, Productivity Press, New York, 387 sivua.
- Bayou, M., E., de Korvin, A., 2008, Measuring the leanness of manufacturing systems—A case study of Ford Motor Company and General Motors, *Journal of Engineering and Technology Management* 25, sivut 287–304.
- Bidanda, B., Ariyawongrat, P., LaScola Needy, K., Norman, B., A., Tharmmaphornphilas, W., 2003, Human Related Issues in Manufacturing Cell Design, Implementation, and Operation: A Review and Survey, *Computers & Industrial Engineering* 48, sivut 507–523.
- Bonney, M., C., Zhang, Z., Head, M., A., Tien, C., C., Barson, R., J., 1999, Are Push and Pull Systems Really so Different?, *International Journal of Production Economics* 59, sivut 53-64.
- Caputo, A., C., Pelagagge, P., M., 2010, A Methodology for Selecting Assembly Systems Feeding Policy, *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 111, No. 1, sivut 84-112.
- Chakravorty, S., S., Hales, D., N., The Evolution of Manufacturing Cells: An Action Research Study, *European Journal of Operational Research*, 188 (2008), sivut 153-168.
- Cullen, T., J., 23.09.2002, Toyota speeds parts delivery with e-kanban, *Automotive News*, saatavilla: <http://www.autonews.com/article/20020923/SUB/209230839/toyota-speeds-parts-delivery-with-e-kanban#axzz2kJzzqNMT>, noudettu: 11.11.2013.
- Cutler, T., R., 01.09.2004, Discarding Paper Kanban for Electronic Web-Based Kanban, *Material Handling & Logistics*, saatavilla: <http://mhlnews.com/archive/discarding-paper-kanban-electronic-web-based-kanban>, noudettu: 17.09.2013.

- Dahiphale, K., N., Nagare, M., R., Vedak, N., 2012, Kanban Implementation for Hassle Free Manufacturing, International Conference on Technology and Business Management, 26-28.03.2012.
- Doolen, T., L., Hacker, M., E., 2005, A Review of Lean Assessment in Organizations: An Exploratory Study of Lean Practices by Electronics Manufacturers, Journal of Manufacturing Systems, Vol. 24, No. 1.
- Drickhamer, D., 01.03.2005, The Kanban E-Volution, Material Handling & Logistics, saatavilla: <http://mhlnews.com/technology-amp-automation/kanban-e-volution>, noudettu: 17.09.2013.
- Emde, S., Boysen, N., 2011, Optimally locating in-house logistics areas to facilitate JIT-supply of mixed model assembly lines, International Journal of Production Economics 135, sivut 393-402.
- Fernandes, F., C., F., Filho., M., G., 2011, Production Control Systems: Literature Review, Classification, and Insights Regarding Practical Application, African Journal of Business Management, Vol. 5 (14), sivut 5573-5582.
- Forza, C., Salvador, F., 2000, Information Flows for High-Performance Manufacturing, International Journal of Production Economics 70, sivut 21-36.
- Gelders, L., F., Wassenhove, L., N., 1985, Capacity Planning in MRP, JIT and OPT; a critique, Engineering Costs and Production Economics 9, sivut 201-209.
- Golz, J., Gujjula, R., Günther, H.-O., Rinderer, S., Ziegler, M., 2011, Part Feeding at High-Variant Mixed-Model Assembly Lines, Flexible Services and Manufacturing Journal 24, sivut 119-141.
- Graves, R., Konopka, J., M., Milne, R., J., 1995, Literature review of material flow control mechanisms, Production Planning and Control 6 (5), sivut 395-403.
- Gummesson, E., Case Study Research in Management: Methods for Generating Qualitative data, 1993, Preliminary script, Department of Business Administration, Stockholm University.
- Harrison, A., van Hoek, R., 2011, Logistics Management & Strategy: Competing through the Supply Chain, 4<sup>th</sup> edition, Harlow, Prentice Hall, 360 sivua.
- Hines, P., Holweg, M., Rich, N., 2004, Learning to Evolve: A Review of Contemporary Lean Thinking, International Journal of Operations & Production Management 24, No. 10, sivut 994-1011.
- Holweg, M., 2006, The genealogy of lean production, Journal of Operations Management 25, sivut 420-437.
- Iyer, A., Seshadri, S., Vasher, R., 2009, Toyota Supply Chain Management: A Strategic Approach to Toyota's Renowned System, 1<sup>st</sup> Edition, McGraw-Hill, 240 sivua.
- Jones, D., T., Hines, P., Rich, N., 1997, Lean Logistics, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 27, No. 3/4, sivut 153-173.
- Kimura, O., Terada, H., 1981, Design and Analysis of Pull System - A method of Multi-Stage Production Control, International Journal of Production Research, Vol. 19, no. 3, sivut 241-253.
- Kotani, S., 2007, Optimal Method for Changing the Number of Kanbans in the E-Kanban System and its Applications, International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 24, sivut 5789-5809.
- Kouri, I., Salmimaa, T., J., Vilpola, I., H., 2008, The Principles and Planning Process of an Electronic Kanban System, T. Sobh et al. (eds.), Novel Algorithms and Techniques in Telecommunications, Automation and Industrial Electronics, sivut 99-104.

- Lage Junior, M., Godinho Filho, M., 2010, Variations of the kanban system: Literature review and classification, *International Journal of Production Economics* 125, sivut 13-21.
- Lewis, M., A., 2000, Lean production and sustainable competitive advantage, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20 Iss: 8, sivut 959 – 978.
- Liker, J., K., 2004, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, 330 sivua.
- Maríková, O., 2008, E-kanban and its Practical Use, Conference STČ 2008.
- Matta, A., Dallery, Y., Di Mascolo, M., 2004, Analysis of assembly systems controlled with kanbans, *European Journal of Operational Research* 166, sivut 310-336.
- Miller, J., 14.03.2010, "Run is to Milk as Spider is to...", Kaizen Institute, saatavilla: [http://www.gembapantarei.com/2010/03/run\\_is\\_to\\_milk\\_as\\_spider\\_is\\_to.html](http://www.gembapantarei.com/2010/03/run_is_to_milk_as_spider_is_to.html), haettu: 06.09.2013.
- Modig, N., Åhlström, P., 2013, *Tätä on lean: Ratkaisu tehokkuusparadoksiin*, Rheologica AB, 167 sivua.
- Monden, Y., 1983, *Toyota Production System*, Norcross, GA, Institute of Industrial Engineers, 247 sivua.
- Persona, A., Battini, D., Manzini, R., Pareschi, A., 2007, Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components, *International Journal of Production Economics* 110(1-2), sivut 147-159.
- Pleasant, S., 21.03.2012, "What are "supermarkets?", Lean Learning Center, Saatavilla: <http://www.leanlearningcenter.com/2012/03/what-are-supermarkets/>, haettu 05.09.2013.
- Qing, J., Xue-Tao, P., Zhong, Z., 2011, On Solving JIT Production Problems for Small Batch Orders Based on E-Kanban Visualization, 2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.
- Raju Naik, M., Vijaya Kumar, E., Upender Goud, B., 2013, Electronic Kanban System, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 3, Issue 3.
- Riezebos, J., 2001, *Design of a Period Batch Control Planning System for Cellular Manufacturing*, PhD, Groeningen, The University of Groeningen, 275 sivua.
- Riezebos, J., Klingenberg, W., 2009, Advancing Lean Manufacturing, the Role of IT. *Computers in Industry* 60, sivut 235-236.
- Riezebos, J., Klingenberg, W., Hicks, C., 2009, Lean Production and Information Technology: Connection or Contradiction?, *Computers in Industry* 60, sivut 237-247.
- Rother, M., Harris, R., 2001, *Creating Continuous Flow: An Action Guide for Managers, Engineers and Production Associates*, Cambridge, MA, The Lean Enterprise Institute, 105 sivua.
- Rother, M., Shook, J., 1999, *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate MUDA*, Cambridge, MA, The Lean Enterprise Institute, 102 sivua.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E., 2009, *Designing and Managing Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*, 3rd Edition, New York, McGraw & Hill, 498 sivua.
- Stephens, M., P., Meyers, F., E., 2010, *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*, 4<sup>th</sup> Edition, New Jersey, Pearson Education International, 486 sivua.
- Stevenson, W., J., 2012, *Operations Management: Theory and Practice*, Global Edition, New York, McGraw-Hill, 908 sivua.

- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., Uchikawa, S., 1977, Toyota Production System and Kanban System – Materialization of Just-in-Time and Respect-for-Human System, *International Journal of Production Research*, Vol. 15, no. 6, sivut 553-564.
- Vaittinen, M., 2011, Valmistettavuuden suunnittelu mukautuvassa elektroniikkatuotannossa, Diplomityö, Aalto-yliopisto, Sähkötekniikan korkeakoulu, Elektroniikan laitos, 85 sivua.
- Vernyi, B., Vinas, T., 2005, Easing into E-Kanban, *Industry Week*, December, 32.
- Wan, H.-D., Chen, F., F., 2007, A Web-Based Kanban System for Job Dispatching, Tracking and Performance Monitoring, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies* 38, sivut 995-1005.
- Wanke, P., F., Zinn, W., 2003, Strategic Logistics Decision Making, 2003, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 34, No. 6., sivut 466-478.
- Wong, Y., C., Wong, K., Y., 2010, Approaches and practices of lean manufacturing: The case of electrical and electronics companies, *African Journal of Business Management*, Vol. 5 (6), sivut 2164-2174.



## LIITTEET (11 kappaletta)

### Liite 1: Mittaus 1, materiaalitäydennyksen lähtötilanne

					KANBANIEN MÄÄRÄ (kpl)						
PÄIVÄMÄÄRÄ		LÄHTÖAIKA	PALUUAIKA	KIERROSAIKA	B3	VMI	TRUKKI	YHT.	PICKER	HUOMIOITA	
KE	17. 07. 2013	AAMU	8:15	09:03	00:48	9	0	3	12	A	
		ILTAPÄIVÄ	13:15	13:40	00:25	0	2	3	5	B	
TO	18. 07. 2013	AAMU	8:00	08:45	00:45	2	2	4	8	A	
		ILTAPÄIVÄ	15:00	15:30	00:30	2	8	0	10	A	
TI	30. 07. 2013	AAMU	9:10	09:50	00:40	0	3	10	13	B	Trukkuskia odotettu 10min
		ILTAPÄIVÄ	14:05	14:41	00:36	0	0	4	4	A	
KE	31. 07. 2013	AAMU	8:35	09:07	00:32	1	3	3	7	B	10 min tiimpalaveri
PE	02. 08. 2013	AAMU	8:40	09:30	00:50	3	6	2	11	A	10 min muissa trukkihommissa
MA	05. 08. 2013	AAMU	9:30	10:20	00:50	1	5	12	18	A	
		ILTAPÄIVÄ	14:16	15:00	00:44	2	1	3	6	C	
TI	06. 08. 2013	AAMU	8:10	08:45	00:35	6	2	4	12	A	
KE	07. 08. 2013	AAMU	8:50	09:25	00:35	1	1	3	5	A	
		ILTAPÄIVÄ	15:30	16:06	00:36	0	0	6	6	C	Sis. tupakkatauon
TO	08. 08. 2013	AAMU	10:00	11:15	01:15	2	6	4	12	A	
		ILTAPÄIVÄ	13:40	14:18	00:38	0	1	3	4	A	Saldokorjailua
PE	09. 08. 2013	AAMU	8:30	08:55	00:25	2	2	1	5	A	
		ILTAPÄIVÄ	12:40	13:27	00:47	3	0	5	8	C	Tupakkatauko 7min
MA	12. 08. 2013	AAMU	8:40	09:15	00:35	1	0	8	9	C	
		ILTAPÄIVÄ	13:33	14:40	01:07	3	5	2	10	C	Setvimistä osapuutteiden takia
TI	13. 08. 2013	AAMU	8:33	09:00	00:27	0	0	6	6	C	
KE	14. 08. 2013	AAMU	8:34	10:00	01:26	5	3	8	16	C	Paljon tavaraa, 2 kierrosta
		ILTAPÄIVÄ	14:35	15:05	00:30	2	0	6	8	C	
TO	15. 08. 2013	AAMU	7:50	08:25	00:35	1	4	2	7	C	Trukkialueen siivoamista 5min
				<b>Keskiarvo</b>	<b>00:42</b>	<b>2.00</b>	<b>2.35</b>	<b>4.43</b>	<b>8.78</b>		
				Keskihajonta	00:15	2.15	2.30	2.83	3.69		



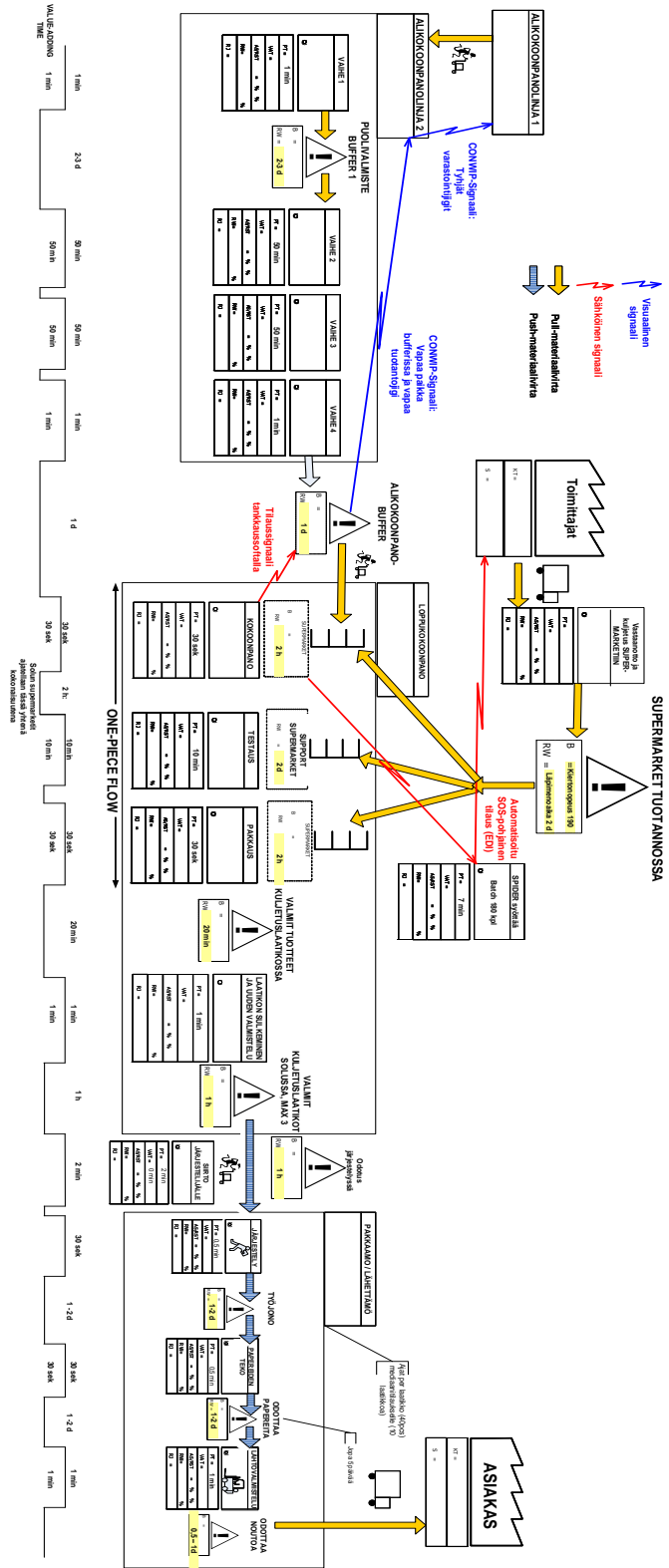
## Liite 3: E-kanbanin version 1.3 mittaukset

PÄIVÄMÄÄRÄ	LÄHTÖAIKA	PALUUAIKA	delta	E-kanbanin lojittelu		KERÄLYAIKA	Keräilyajan osuus	KANBANIEN MÄÄRÄ (kpl)			YHT	PICKER	HUOMIOTTA	TILAUKSEN MITTAUS									
				REAKTIO	REKRYTOINTI			B3	VMI	TRUKKI													
TI 15 10 2013	12:29	12:45	00:16	00:01:52	00:07:23		46%	0	0	2	2												
KE 16 10 2013	08:10	08:45	00:35	00:01:25	00:20:24		58%	6	2	1	9	D											
TO 17 10 2013	13:15	13:40	00:25	00:02:02	00:10:19		41%	0	0	3	3	D											
PE 18 10 2013	08:18	08:51	00:33	00:08:32	00:16:31		50%	3	2	1	6	D											
MA 21 10 2013	12:50	13:22	00:32	00:23:55	00:15:02		47%	0	0	3	3	D											
TI 22 10 2013	08:19	08:52	00:33	00:13:36	00:07:13		22%	5	2	1	8	D											
KE 23 10 2013	13:21	13:50	00:29	00:01:09	00:12:30		43%	0	0	4	4	D											
TO 24 10 2013	08:09	08:44	00:35	00:02:24	00:16:25		47%	6	2	1	9	D											
MA 28 10 2013	12:40	13:17	00:37	00:04:56	00:14:20		39%	0	0	6	6	D											
TI 29 10 2013	07:44	08:33	00:49	00:01:45	00:28:04		57%	5	2	1	8	D											
KE 30 10 2013	11:44	12:14	00:30	00:02:32	00:31:10		104%	4	0	3	7	E											
TO 31 10 2013	08:19	08:55	00:36	00:02:42	00:13:42		38%	5	2	1	8	D											
PE 1 11 2013	12:36	12:55	00:19	00:00:49	00:18:26		97%	3	0	2	5	E											
MA 4 11 2013	08:15	08:45	00:30	00:00:56	00:12:14		41%	4	2	1	7	D											
TI 5 11 2013	10:27	11:05	00:38	00:02:31	00:21:47		57%	0	0	2	2	D											
KE 6 11 2013	07:49	08:30	00:41	00:04:31	00:11:33		28%	5	1	1	7	D											
TO 7 11 2013	09:42	10:10	00:28	00:01:58	00:20:48		74%	0	0	5	5	D											
MA 8 11 2013	06:55	07:31	00:36	00:03:07	00:50:10		139%	5	0	1	6	D											
TI 9 11 2013	10:00	10:20	00:20	00:04:11	00:15:45		79%	4	0	1	5	E											
KE 10 11 2013	06:58	07:35	00:37	00:02:53	00:17:08		46%	6	1	1	8	D											
TO 11 11 2013	12:52	13:30	00:38	00:04:00	00:36:47		102%	5	1	1	7	E											
PE 12 11 2013	07:11	07:41	00:30	00:02:06	00:15:13		51%	1	1	2	4	D											
MA 13 11 2013	13:47	14:27	00:40	00:02:07	00:15:03		38%	0	0	5	5	D											
TI 14 11 2013	07:22	07:58	00:36	00:04:09	00:18:58		53%	5	1	1	7	D											
KE 15 11 2013	07:24	07:52	00:28	00:00:58	00:12:09		43%	5	1	1	7	D											
TO 16 11 2013	12:41	13:00	00:19	00:04:09	00:19:10		101%	4	0	1	5	E											
MA 17 11 2013	07:24	07:48	00:24	00:02:28	00:24:26		102%	3	2	1	6	D											
TI 18 11 2013	13:11	13:33	00:22	00:02:00	00:00:00		0%	0	0	2	2	C											
KE 19 11 2013	07:58	08:18	00:20	00:05:09	00:29:20		147%	1	1	0	2	C											
TO 20 11 2013	12:52	13:23	00:31	00:09:37	00:24:52		80%	0	0	5	5	C											
MA 21 11 2013	08:12	08:45	00:33	00:01:36	00:13:56		42%	5	1	0	6	C											
TI 22 11 2013	12:59	13:33	00:34	00:02:17	00:15:41		46%	0	0	4	4	C											
KE 23 11 2013	07:53	08:19	00:26	00:01:25	00:13:34		52%	5	1	0	6	C											
TO 24 11 2013	12:58	13:26	00:28	00:25:34	00:15:42		56%	0	0	3	3	C											
KESKIARVO														00:30	00:04:39	00:17:12	48%	2,88	0,71	2,00	5,59	01:07	
KESKIHAUONTA														00:07	00:02:44	00:09:10	12%	2,32	0,82	1,55	2,07	00:18	
HUOMIOTTA														Keräilyä oli loppuneen nimikkeen eiimiseen									
HUOMIOTTA														Keräilyä teki vähingossa molemmat kulitukset heit									
HUOMIOTTA														Keräilyä oli loppuneen tilauksen tullessa									





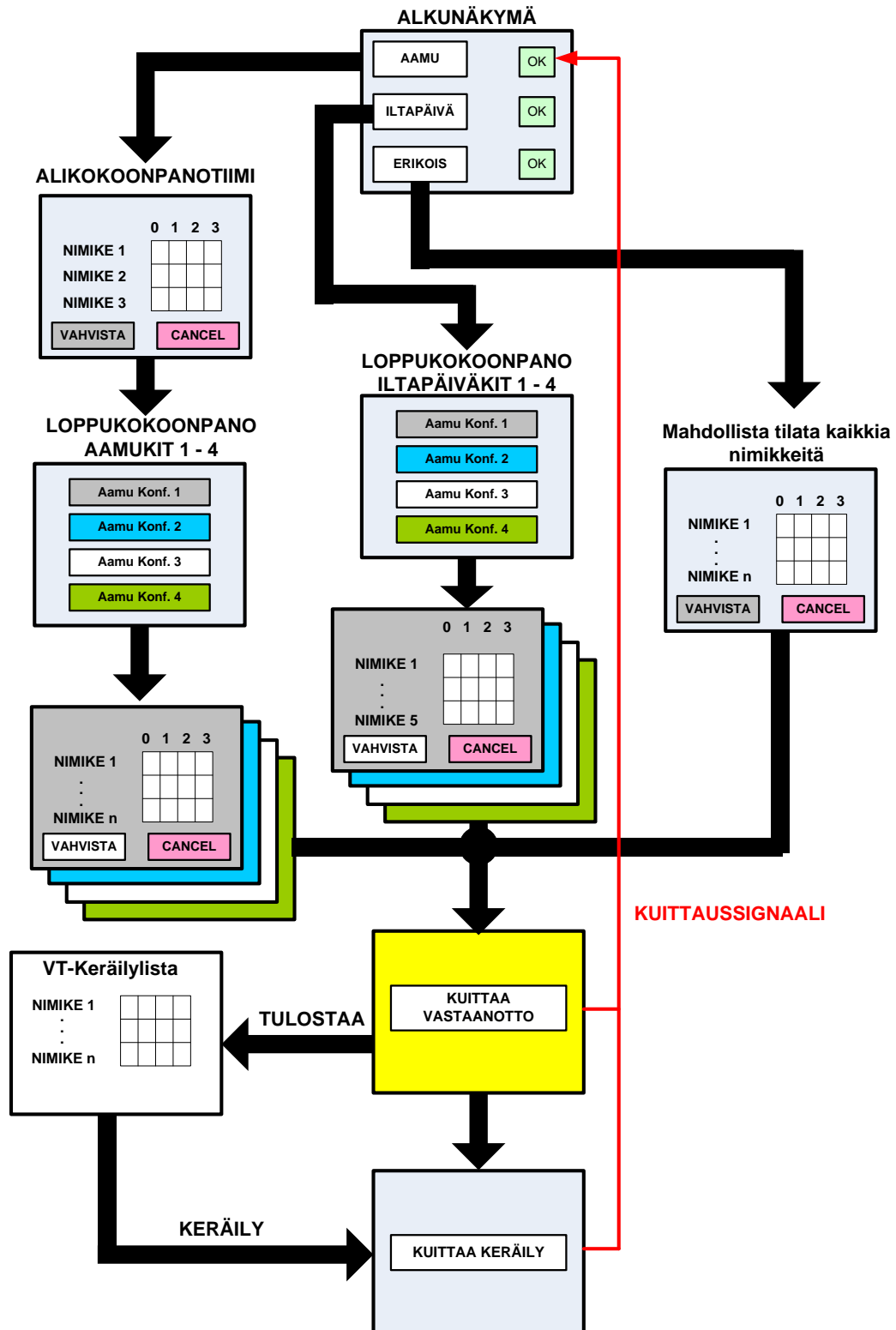
# Liite 6: UT-VSM: Osat supermarket-varastossa



## Liite 7: Tuotannon materiaalinkäsittelijän hyödyn- tämispotentiaali (kahden UT-solun tilanne n. H2/2014)

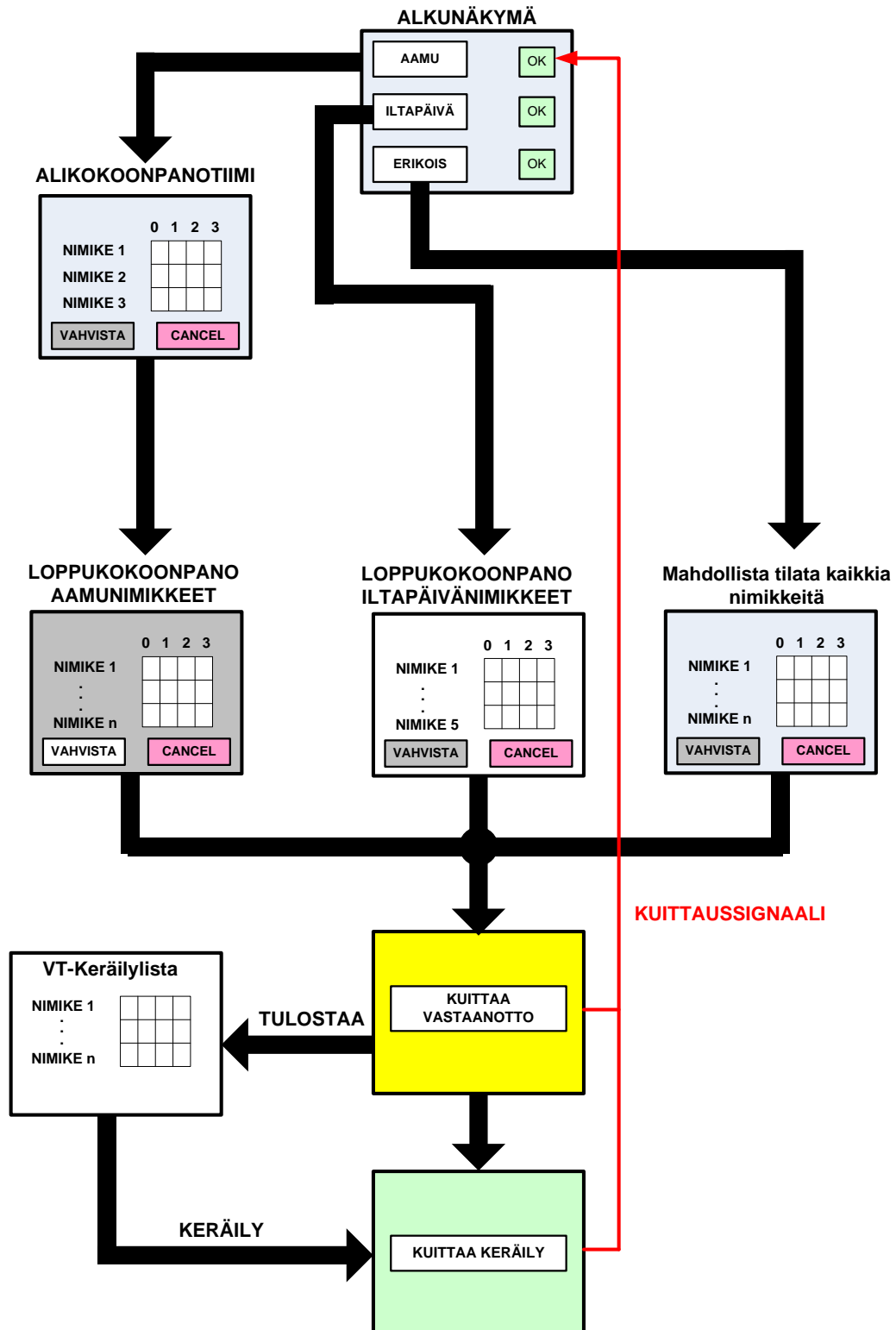
Materiaalinkäsittelijätutkimus					
Tiimi	Työsuorite	Kesto (min) /suorite	Taajuus (krt) /viikko	Viikottainen aika	
UT tiimi	Valmiiden pakkausten vieminen järjestelijälle	4	20	80	min
UT tiimi	Alikokoonpanojen nouto bufferista	4	20	80	min
UT tiimi	Support-supermarketin ylläpito	15	5	75	min
UT tiimi	Romutukset	20	1	20	min
UT tiimi	(Pahvi)roskien tyhjennys	10	10	100	min
UT tiimi	Ruoka- ja kahvitaikojen sijaistus	90	5	450	min
UT tiimi	Työvaihe konfiguraatio 2:n osalle	15	10	150	min
VT Tiimi	Valmiin jobin ERP-kirjaus	10	10	100	min
VT Tiimi	Kanban-kotiinkutsut	5	1	5	min
VT Tiimi	Romutukset	20	1	20	min
VT Tiimi	Shippaus- ja käsittelylaatikoiden teko	20	10	200	min
VT Tiimi	Valmiiden lavojen vieminen järjestelijälle	3	10	30	min
VT Tiimi	(Pahvi)roskien tyhjennys	10	2	20	min
Alikokoonpano- tiimi	ERP-kirjaukset ja pickaukset	10	2	20	min
Alikokoonpano- tiimi	Kanban-kotiinkutsut	3	5	15	min
Alikokoonpano- tiimi	Romutukset	20	1	20	min
Alikokoonpano- tiimi	Valmiiden laatikoiden vieminen järjestelijälle	5	2	10	min
Alikokoonpano- tiimi	Shippauslaatikoiden teko	5	4	20	min
Tiimi A	Toimittajapalautusten kirjaaminen ja toimittaminen palautus-hyllyyn	10	3	30	min
Tiimi A	Valmiiden laitteiden toimittaminen järjestelijälle	26	5	130	min
Tiimi B	Toimittajapalautusten kirjaaminen ja toimittaminen palautus-hyllyyn	10	1	10	min
Tiimi B & C	Yksittäisten nimikkeiden nouto keskusvarastosta/keräily-hyllystä.	10	30	300	min
Tiimi D	Toimittajapalautusten kirjaaminen ja toimittaminen palautus-hyllyyn	10	1	10	min
			Σ	1,895	min
				31.6	h

## Liite 8: E-kanbanin version 1.2 toimintalogiikka





## Liite 9: E-kanbanin version 1.3 toimintalogiikka



## ***Liite 10: Haastattelut***

Haastattelu 1: Projektipäällikkö, Life Cycle Management, 03.05.2013 klo 10-11, Uuden tuotteen tuotekehitysprosessin kulku

Haastattelu 2: Prosessi-insinööri, Tuotanto, 08.05.2013 klo 12-13, Uuden ja vanhan tuotteen ja tuotannon erot

Haastattelu 3: Tiiminvetäjä, Keräily, 15.05.2013 klo 13, Vanhan tuotteen keräilyprosessi

Haastattelu 4: Prosessi-insinööri ja elektroniikka-asentaja, Alikokoonpanolinja, 15.05.2013 klo 14.30 – 15, Alikokoonpanojen valmistusprosessi

Haastattelu 5: Vanhempi insinööri, Tuotannonkehitys, 15.05.2013 klo 11-11.30, Alikokoonpanojen valmistusprosessi

Haastattelu 6: Logistiikkajärjestelijä, Tuotanto, 21.05.2013 klo 13-14, Järjestelyprosessi ja pakkaamon toiminta

Haastattelu 7: Tiiminvetäjä, Pakkaamo, 22.05.2013 klo 13-14, Pakkaamon toiminta

Haastattelu 8: ERP-Prosessiasiantuntija, 24.05.2013 klo 10, ERP:n kehityspotentiaali uuden tuotteen tuotannossa

Haastattelu 9: Tuotannonsuunnittelija, 27.05.2013 klo 14-15, vanhan tuotteen tuotannon operatiivinen suunnittelu ja *heijunka*-tasaaminen

Haastattelu 10: Tiiminvetäjä, Keräily, 29.05.2013 klo 14.30-15, Uuden tuotteen keräilyprosessin kehittäminen

Haastattelu 11: Päällikkö, Tuotantoteknologian kehitys, 17.06.2013 klo 14-15, Solunohjaussoftan ja ERP:n kehityspotentiaali

Haastattelu 12: Tiiminvetäjä, Keskusvarasto, 02.07.2013 klo 13-13.30, Uuden tuotteen komponenttien varastopaikkojen optimointi

Haastattelu 13: Prosessi-insinööri, Alikokoonpanolinja, 03.07.2013 klo 13-13.30, Alikokoonpanotuotannon ja kokoonpanosolun välinen yhteys

Haastattelu 14: Päällikkö, Sourcing, 03.07.2013 klo 14-14.45, Uuden tuotteen sourcing- ja toimittajastrategia

Haastattelu 15: Tuotantotyöntekijät 1, 2, 3, 4 ja 5, 04.07.2013 klo 13-16, Vanhan tuotteen kokoonpano ja alikokoonpanojen tuotanto

Haastattelu 16: Logistiikkajärjestelijä, Tuotanto, 05.07.2013 klo 10-10.30, Järjestely- ja pakkaamoprosessi

Haastattelu 17: Prosessi-insinööri, Tuotanto, 08.07.2013 klo 09-10, Vanhan ja uuden tuotteen tuotantoprosessi

Haastattelu 18: Tuotepäällikkö, Tuotetta koskeva liiketoiminta ja markkinat, 11.07.2013 klo 13-14.30

Haastattelu 19: Operatiivinen ostaja, Tuotteiden nimikekohtainen materiaalinkierto ja oston sekä tuotannon rajapinta, 12.07.2013 klo 13-14

Haastattelu 20: Controller, Financials, 16.07.2013 klo 13-14, Uuden tuotteen kustannusrakenne

Haastattelu 21: Logistiikkapäällikkö, 23.07.2013 klo 10-11.30, Tuotteiden logistiikka

## ***Liite 11: Havainnoinnit***

Havainnointi 1: Vanhan tuotteen täydennysprosessi, Keräilijä B, 20.06.2013 klo 09-10

Havainnointi 2: Vanhan tuotteen tuotantosolun toiminta sekä tarpeet materiaalitäydennykselle, Operaattorit A ja B, 20.06.2013 klo 10-12

Havainnointi 3: Vanhan tuotteen täydennysprosessi, Keräilijä A, 02.07.2013 klo 08-09

Havainnointi 4: Materiaalikäsittelijä (Water spider), Rinnakkaisosasto, 02.07.2013 klo 09-11, Materiaalinkäsittelijän työnkuva

Havainnointi 5: Vanhan tuotteen täydennysprosessi, Keräilijä A, 04.07.2013 klo 08-09

Havainnointi 6: Vanhan tuotteen täydennysprosessi, Keräilijä B, 10.07.2013 klo 08-09

Havainnointi 7: Täydennysprosessi e-kanbanin version 1.1 kanssa, Keräilijä D, 01.10.2013 klo 09.45-10.20

Havainnointi 8: Täydennysprosessi e-kanbanin versio 1.3 kanssa, Keräilijä C, 06.11.2013 klo 12.50-13.20