



Uuden sukupolven kokoonpanotehdas: VISIO JA TIEKARTTA MATERIAALITOIMINTOIHIN

Heikki Lahtinen

07.07.2020

IXTRIIM OY



TUDI 4.0 – Teollisuuden digitaalinen uudistuminen hankkeen toteuttajana toimii Teknologiakeskus TechVilla Oy. Hanke on toteutettu ajalla 11/2017– 7/2020. Hanketta ovat rahoittaneet Uudenmaan liiton Etelä-Suomen EAKR-ohjelma, Hyvinkään kaupunki, Reijo Rautauoman säätiö, Teknolohiateollisuuden 100-vuotissäätiö, Riihimäen-Hyvinkään kauppakamari ja yritykset.

Lisätietoja hankkeen verkkosivuilta: www.tudi.fi

TECHVILLA



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



HYVINKÄÄ *h*

RIIHIMÄEN-HYVINKÄÄN
KAUPPAKAMARI

RRS Reijo
Rautauoman
säätiö

LIMOWA

Tekijä: Heikki Lahtinen

Uuden sukupolven kokoonpanotehdas: VISIO JA TIEKARTTA MATERIAALITOIMINTOIHIN

Julkaisu on Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) päärahoittaman TUDI 4.0 – Teollisuuden digitaalinen uudistuminen -hankkeen tuotos.

Versio 1.0

Sisällysluettelo

1.	JOHDANTO.....	6
1.1	Mihin visiota ja tiekarttaa tarvitaan?	7
1.2	Teollisuus 4.0:n saavuttaminen logistiikkatoimintojen osalta (Logistiikka 4.0)	9
1.3	Tuotannon logistiikka oppiaineena ja tutkimuskohteena	11
1.4	Selvityksen rakenne, ”mitä sinun kannattaa lukea” ja käytetyt menetelmät	14
2.	POIMINTOJA JA TULKINTOJA TAUSTA-AINEISTOISTA	17
2.1	Onko pienten erien valmistaminen kustannustehokkaasti mahdollista?	19
2.2	Mihin yritykset pyrkivät operaatioissaan?	20
2.3	Joustavuuden 3 eri ulottuvuutta	23
2.4	Laatu vs. määrä?	26
2.5	Lean vs. JIT/JIS/JIR vs. digi	29
2.6	Läpimenoaikojen lyhentäminen	35
2.7	Vaihtelun ymmärtäminen.....	37
2.8	EFFRAn hahmotelma tulevaisuuden tehtaan tiekartasta.....	38
2.9	Materiaalivirran digitalisaation vaikutukset organisaatioon.....	40
3.	TÄMÄN RAPORTIN ASEMOINTI JA RAJAUKSET	42
4.	SAATAVILLA OLEVIA TEKNOLOGIOITA LOGISTIIKKA 4.0:n TOTEUTTAMISEEN	46
4.1	Standardien tarve ja käyttö	50
4.2	Tunnistusteknologioita materiaalivirran ohjauksessa	53
4.3	Kokoonpanoteollisuuden tietojärjestelmäarkkitehtuurista	55
4.4	Materiaalikäsittelyn kehittämisen vaihtoehtoja	57
4.5	Matalan tason ratkaisuja tulevaisuuden tehtaan saavuttamiseen	62
4.6	Miten teknologiainvestointeja voidaan arvioida.....	63
5.	VISIO UUDEN SUKUPOLVEN KOKOONPANOTEHTAASTA	66
5.1	Yhteenvetotaulukko visiosta – kypsyysmalli tulevaisuuden tehtaan materiaalitoiminnoille	67
5.2	Vision tarkastelua toiminnoittain	68
5.3	Mahdollistavat teknologiat: taustajärjestelmät ja tunnisteet.....	71
5.4	Materiaalitoimintojen mittaaminen ja johtaminen digitalisoituvassa tulevaisuuden tehtaassa.....	71
5.5	Case-esimerkkejä vision osien toteuttamisesta	72
5.5.1	Varastoautomaatti puskurina ja lajittelijana kokoonpanoa varten.....	73
5.5.2	Mobiilirobottien käyttö materiaalien syöttämisessä	74
5.5.3	Itsestään ohjautuva tuotanto monitaitoisissa työpisteissä	75
5.5.4	Muuttuva tahtiaika linjamaisessa kokoonpanossa.....	76
6.	KÄYTÄNNÖN TOIMENPITEITÄ VISION SAAVUTTAMISEEN	80
6.1	Kuinka valita sopiva toimitusketju?	80

6.2	Kapasiteetin ohjauksesta materiaalivirran ohjaukseen, RRS.	81
6.3	Tuotantoon hankittavien materiaalien luokittelu ja ohjausratkaisun valinta	82
6.3.1	Perusperiaatteita luokittelun toteuttamiseen	82
6.3.2	Erilaisten materiaaliluokkien kehittäminen.....	83
6.3.3	Ohjausohjelmisto tuotantoon hankittavien nimikkeiden tukena	84
6.4	One-piece-flow:n tuomia hyötyjä.....	85
6.4.1	One-piece-flow räätälöinnin ja vaihtelun hallinnan ratkaisuna	85
6.4.2	One-piece-flow joustavan toiminnan ja asiakasräätälöintien mahdollistajana	86
6.4.3	One-piece-flow vaihtelun tasaajana.....	86
6.5	Tunnistus- ja paikannusteknologioiden hyödyntäminen	87
6.6	Vastaanotto, yksilöinti ja yhteistyö	88
6.6.1	Vastaanoton kehittäminen	88
6.6.2	Nimikkeiden yksilöinti.....	89
6.6.3	Nimikkeiden sijoittelu (ja keräilyn reititys).....	90
6.6.4	Yhteistyön kehittäminen	90
6.7	Layout-kysymyksiä materiaalivirran näkökulmasta	91
6.8	Tiekartta kohti uuden sukupolven kokoonpanotehdasta	93
7.	KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSIA.....	98
7.1	Teollisuuden sisälogistiikan nykytila.....	99
7.2	Asiakkaiden vaatimuksia teollisuuden materiaalitoiminnoille.....	101
7.3	Keskeisiä toiminnan muutostekijöitä 2-3v aikana.....	102
7.4	Investoinnit logistiikan teknologioihin 2-3v aikana	105
7.4.1	Investointien ryhmittely- ja keskeiset korrelaatiot	107
7.4.2	Yleisten muutostekijöiden vaikutuksia teknologiainvestointeihin.....	109
7.4.3	Kuuluanalyysiä asiakkaiden vaatimusten ja nykyisen suorituskyvyn välillä	110
7.5	Lähitulevaisuuden (2-3v) näkymiä tehtaan logistiikkaan	111
7.6	Miten logistiikan visio voidaan saavuttaa tehtaissa 2-3v aikana?.....	112
7.7	Logistiikan ja tuotannonohjauksen rajapinta 2-3v aikana.....	113
8	YHTEENVETOA, JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA JATKOAIHEITA	114
8.1	Tarkastuslista tulevaisuuden tehtaan materiaalitoiminnoille	115
8.2.	Jatkotutkimusteemoja.....	116
LÄHTEET		118
LIITTEET		122
Liite 1.	Laskentakaavoja varastonohjauksen tarpeisiin	122
Liite 2.	Toimitusketjuyhteistyö	124
Liite 3.	Hankintastrategioita eri nimikeryhmille	130

Liite 4. Hankintatoimen roolin muutos.....	131
Liite 5. Asennetesti varaston pitämiselle.....	135

1. JOHDANTO

Teollisuutemme on muuttumassa voimakkaasti. Samanaikaisesti markkinoille on tulossa runsaasti erilaisia logistiikan teknologioita, jotka voivat auttaa tuotannon kehittämisessä ja tulevaisuuden tehtaan hyötyjen saavuttamisessa. Tuotantoa on siirtynyt paljon alemman kustannustason maihin ja lähemmäksi kasvavia markkinoita, mutta meillä on edelleen merkittävästi niin perusteollisuutta kuin tässä selvityksessä erityisen tarkastelun kohteena olevia korkean teknologian valmistusyrityksiäkin. Valmistus on tärkeää pidemmällä aikavälillä, sillä emme voi keskittyä pelkästään näiden toimialojen t&k-toimintaan, vaan meillä tulee olla myös jonkin verran niihin liittyvää valmistustoimintaa esimerkiksi vaativimpien prototyyppien ja piensarjojen osalta, koska merkittävä osa innovaatioista liittyy myös valmistusteknologiaan ja tekemisen prosessiin (ks. esim. Pisano & Shih 2012). Tämä vaatii kuitenkin osaamisen kasvattamista, tutkimustiedon soveltamista ja saatavilla olevan teknologian sekä kansallisen ICT-kyvyn käyttöönottoa yrityksissä. Osaaminen ja innovaatiot voivat olla kasvun ja työllisyyden ajureita teollisuudessa, ja uusien toimintamallien päälle voi syntyä myös osaamisintensiivistä asiantuntijapalveluliiketoimintaa.

Tällä on edelleen myös osallistava vaikutus yhteiskunnassamme: varsinkin tässä raportissa käsiteltävät materiaalitoimintojen fyysiset tehtävät ovat usein olleet hyviä sisääntulotyöpaikkoja erilaisille ihmisille. Näin lyhyen raporttiin ei saa täydellistä kuvausta koko kentästä, mutta tehtävät ovat kuitenkin niin vaativia jatkossa, että tässä esitettävälle näkemyksille uskotaan kuitenkin olevan tarvetta yrityskentässä. Voitaneen jopa sanoa, että varsinainen (jalostava) tuotantotoiminta ja sitä tukeva tehtaan logistiikka kannattaa eriyttää toisistaan siten, että molempia toteuttaa niihin erikoistunut henkilöstö. Tehtaan logistiikka on vaativa toiminto, mutta oikein toteutettuna sillä voidaan – jopa suhteellisen yksinkertaisilla ratkaisuilla – saavuttaa liiketoiminnan vaatima ketteryys, mutta myös mahdollistaa erilaiset yksilöille sopivat työtehtävät.

Raportti on osa ”Teollisuuden digitaalinen uudistuminen TUDI 4.0” -hanketta. Tässä pyritään kuvaamaan visio uuden sukupolven (high mix / low volume) kokoonpanotehtaasta materiaalitoimintojen osalta ja esittämään sellaisia konkreettisia toimenpiteitä, joilla erityisesti pk-sektorin toimijat voivat kehittää toimintojaan. Tämä on varmasti tärkeää myös suuryrityksille, että niiden kumppaneiden toiminta kehittyy – ja siksi esitettävää visiota ja ehdotettavia toimenpiteitä on sparrattu yhdessä alan kärkiyritystenkin edustajien kanssa. Oheisessa kuviossa (Kuva 1.1) on tiivistetty aiempaa yleistä sisälogistiikan kehittämisagenda, mutta se soveltuu suurelta osin myös nyt käsillä olevaan teemaan teollisuudessa.

Prosessien kehittäminen

- Kilpailukyvyyn kehittäminen: yksinkertaistaminen ja virtaviivaistaminen
- Nopeus, 3x joustavuus, täsmällisyys/virheettömyys
- Edelleen haasteena varasto/materiaaliprosessien mittaaminen

Uuden teknologian käyttöönotto

- Automaattinen tunnistus ja reaaliaikainen paikannus sekä ICT (yksilöinti tarvitaan)
- Materiaalinkäsittelyn automatisaatio ja robotisaatio
- Huolehditään joustavuustehokkuudesta!

Toimintamallien ja teknologian kehityksen vaikutukset organisaatioon

- Muutokset vaativat uudenlaista osaamista
- Vaikuttavat työtehtäviin ja työhyvinvointiin
- Pääasiassa muutokset ovat työturvallisuutta tukevia (mutta varmistetaan jatkuvasti)

Kuva 1.1 Yleinen viitekehys sisälogistiikan muutoksista (mukaellen Lahtinen 2013)

Esitys rakentuu useista eri osista. Hankkeessa mukana olleet yritykset voisivat hypätä joitakin kohtia yli lähemmäksi varsinaisia lukuja 4 (teknologia) ja varsinkin 5 (visio) sekä 6 (toimenpide-ehdotuksia), vaikka niitä ennen käydäänkin tässä keskustelua tietyistä peruseriaateista teoriakatsauksen muodossa (luku 2), taustaolettamuksista ja rajauksista (luku 3). Lisäksi joihinkin osioihin on kirjoitettu tarkennuksista *pienemmällä fontilla kursivoituna* tieteellistä tarkkuutta parantamaan mahdollista opetus- ja koulutuskäyttöä varten, mutta raportin pääpaino on kuitenkin käytännön tason tekemisessä yrityksille. Joukossa on silti jonkin verran lähdeviitteitä niille lukijoille, jotka haluavat syventyä johonkin teemaan. Laajempi taustateksti auttanees myös ymmärtämään sitä polkua, josta tässä raportissa esitetyt ehdotukset kumpuavat: asiat eivät ole vielä valmiita ja täysin loppuun asti tutkittuja, mutta monipuolisen teoria- ja käytännön katsausten kautta pyritään varmentumaan siitä, että ohjeistot eivät jäisi yksittäisiksi tempuiksi, vaan ne rakentuvat huolellisesti pohditun perustan päälle, niitä yhdistelemällä voidaan puhua visiosta, joka voidaan myös saavuttaa näiden yksittäisten osien kautta. Muutamia käytännön asioita on koottu vielä erillisiin liitteisiin syventämään, selkeyttämään ja konkretisoimaan ilmiöitä niin, että ne ovat aidosti hyödynnettävissä.

1.1 Mihin visiota ja tiekarttaa tarvitaan?

Useiden teollisuutemme alojen kilpailukyvyn parantaminen edellyttää kykyä tuottaa kustannustehokkaasti, täsmällisesti, nopeasti ja joustavasti asiakaskohtaisesti räätälöityjä tuotteita (high mix/low volume). Meillä on toki massiivista prosessiteollisuutta metsä- ja kemiansektoreilla, mutta esimerkiksi elektroniikka- ja metalliteollisuus sekä erityisesti kone- ja laitevalmistus hakevat markkinoilla kilpailuetua asiakaskohtaisilla räätälöinneillä halpatuotantomaiden tuomaa painetta vastaan. Viime mainittu teollisuusryhmittymä, erityisesti (sähköä/mekaniikkaa tuottavat) teknologiateollisuuden kärkiyritykset ovat olleet aktiivisesti mukana selvittämässä uusia mahdollisuuksia, mutta tämän ulkopuolella olisi mielenkiintoista pohtia, kuinka näitä vastaavia ajatuksia voisi hyödyntää laajemmin esimerkiksi rakentamisessa, jossa monet peruselementit ovat samoja, mutta työn tuottavuus ei ole kuitenkaan kehittynyt vastaavalla tavalla.

Uskomme, että sisälogistiikka ja materiaalivirran ohjaus ovat keskeisessä roolissa tarvittavan kilpailukyvyn varmistamisessa, ja nyt saatavilla olevat digitaaliset työvälineet mahdollistavat loikan seuraavalle tasolle. Tämä vaihe tarvitaan myös tulevan robotiikan ja automaation hyötyjen realisoinnissa; pelkät tehokkaammat koneet eivät riitä, jos arvoketju, prosessi ja materiaalitoiminnot eivät ole kunnossa. Tämä raportti siis ei ole yksistään kehittyneiden teknologioiden tarkastelua, vaan se lähtee liikkeelle nimenomaan materiaalitoimintojen perusasioista ja rakentuu sitten jo toimivaksi havaittujen ICT-ratkaisujen päälle ennen kuin edetään vaikeampiin uusiin teknologioihin.

Selkeät ratkaisut helpottavat pk-yritysten liittymistä suuryritysten ja kansainvälisiin arvoketjuihin. Tässä tähdätään erityisesti kokoonpanevan teollisuuden kilpailukykyä tuomalla tietoa, osaamista ja käyttöönottomalleja digitaalisten työvälineiden hyödyntämiseen materiaalivirran ohjaamisessa tehtaan sisälogistiikassa ja teollisuuden arvoketjuissa. Yritykset pyrkivät tuottavuuden paranemiseen soveltamalla digitaalisia työvälineitä (esim. automaattista tunnistuksen ja reaaliaikaisen paikannuksen sensoreiden tuottamaa informaatiota soveltaen). Tämä voi johtaa materiaalivirran ohjauksessa ja sisälogistiikassa merkittäviin kustannussäästöihin sekä nopeuden, joustavuuden ja laadun paranemiseen erityisesti virheettömän informaation ansiosta. Tässä raportissa ei kuitenkaan aseteta numeerisia tulostavoitteita (esim. % suhteessa nykyisiin arvoihin) suorituskyvyn paranemiselle, koska yritysten prosessit ja kilpailuprioriteetit ovat erilaisia.

Yritykset itsekin usein väittävät, että heidän toimintansa on niin ainutlaatuista, että sille on hankala laittaa sopivaa benchmarking -tavoitetta muualta markkinasta. Tätä voisi kritisoida aika voimakkaastikin. Yrityksen varastoprosessit eivät ole niin ainutlaatuisia kuin yritykset itse kuvittelevat, mutta suora benchmarking on silti yleensä melko vaikeaa. Yleisinä kehittämisperiaatteina voisi olla ainakin (ks. Zosel 2014; Murphy & Knemeyr 2015):

- 1) Vähennä tuotteiden turhaa käsittelyä (vältetään henkilöstökulua ja vahinkoja)
- 2) Poista turha kulkeminen tavaroiden perässä
- 3) Yksinkertaista prosesseja (helpompaa, varmempaa, nopeampaa)
- 4) Anna tietokoneen tehdä ne työvaiheet, jossa se on parempi kuin ihminen
- 5) Älä käytä manuaalista dataa (virheet, viiveet, kommunikaatio, jakelu) jos mahdollista
- 6) Suunnittele toiminnot (ei ajelehdita) ja systeemit (asiat riippuvat toisistaan)
- 7) Vastuullisuus (ergonomia, ekologia, elinkaari)
- 8) Automatisoi ja mekanisoi ne toiminnot, joissa ne voivat tuoda tehokkuusetua.

Merkittävä osa yllä olevista soveltuvat myös Lean -ajatteluun (ks. mm. Luku 2.5). Silti Leanin hengessä on vaikea perustella, miksi varastoja pidetään. Varsinkin jos logistiikkaa katsotaan laajemmin toimitusketjukokonaisuutena, yleiset kustannukset, laatu, saatavuus jne. mittarit ovat sangen päteviä. Jos haluttaisiin objektiivinen suhteellinen mittari yritysten varastoprosesseille, se kannattaisi tehdä nk. DEA (Data Envelopment Analysis) -menetelmällä, jossa varastoa (tai tässä kokoonpanoa) tarkastellaan input-output -järjestelmänä (Faber 2015).

Tällöin voisimme aidosti vertailla erilaisia tehtaiden läpäiseviä materiaaliprosesseja toisiinsa (benchmarking), mutta jo matalamman tason katselmuksilla (esim. auditointi) ja parhaiden käytäntöjen (best practices) löytämisellä ja soveltamisella yritykset voivat päästä merkittäväällä tavalla eteenpäin suorituskykynsä kehittämisessä. Nykyään on käytössä useita erilaisia varasto- ja materiaalitoimintojen auditointimalleja (TUDI-hankkeessa kehitetty katselmus ansaitsee oman mainintansa tämän teoksen kohderyhmälle; Ahlqvist & Koskela 2020), joista osa sopii oikein ymmärrettynä jopa yrityksen sisäisenä itsearviointina tehtäväksi. Ehkä näissä toiminnoissa on absoluuttisten suorituskykymittareiden sijasta – tai vähintään niiden rinnalla – kannattaa Leanin hengessä pyrkiä jatkuvaan parantamiseen (Kaizen); silloin mittaaminen ja mittarit voivat olla toisella (ja ehkä helpommalla) tavalla asetettuja.

Tästä huolimatta pyritään kuitenkin esittämään jossain määrin yhtenäinen visio – tavoitetila uuden sukupolven kokoonpanotehtaan materiaalitoiminnoille – ja esittämään konkreettisia toimenpiteitä sen saavuttamiseen. Visiota tarvitaan, jotta osataan hahmottaa nopeasti lisääntyvästä teknologiatarjonnasta omaa prosessikehitystä tukevat ratkaisut siten, että nämä tukevat koko operaatiostrategian mukautumista olemassa olevaan kilpailutilanteeseen. Roadmap puolestaan helpottaa vision saavuttamista: muutama keskeinen neuvo – ja edelleen oikean tasapainon löytyminen – ovat tärkeitä alueella, jossa helposti uskotaan ”yhtä totuutta”. Meidänkin pitäisi päästä tässä selkeisiin yksinkertaistuksiin, jotta voisimme antaa selkeitä ja konkreettisia kehittämisehdotuksia, mutta silloin on välttämätöntä, että osaamme ohjeistaa, millaisiin tilanteisiin esitetty ratkaisu soveltuu. Tai ehkä olisi vielä selkeämpi sanoa toisinpäin: yritysten tulee tunnistaa kilpailukyvyyn prioriteetit ja valita niissä tarvittavia prosesseja tukemaan soveltuvat teknologiset ratkaisut.

Raportin loppupuolella onkin tiivistettynä visio ja tiekartta (esim luku 6.8) sekä tarkastuslista (luku 8), jotka voivat auttaa nopeaan tilannekatsaukseen. Niihin on tiivistetty niitä kokemuksia, joita tämän raportin koostamisessa eri tausta-aineistoista, haastatteluista ja kyselyistä on noussut esille – sekä sellaisia, joita kirjoittaja on havainnut muissa kohteissa ja erityisesti TUDI-hankkeiden työpajoissa ja vierailuissa, joita on järjestetty systemaattisesti vuodesta 2015 alkaen. Vaikka havainnot ja yhteenvedot ovat tässä kirjoittajan omia johtopäätöksiä, isossa kuvassa niillä on pyritty kertomaan niitä tunteja ja näkemyksiä, joita nk. TUDI-foorumissa on esitetty (ks. LinkedIn TUDI-foorumi). Näiltä osin uskotaan ja toivotaan, että kirjoittaja on tehnyt oikeita tulkintoja yritysten edustajien ja muiden asiantuntijoiden näkemyksistä.

Iyer, Seshadri ja Vasher (2009) ovat esitelleet kirjassaan ”Toyotan toimitusketjun hallinta” v4L -konseptin, joka jatkuvaan parantamiseen ja oppimiseen (Learning) perustuen menestyy Variety (~valikoima = tuotetaan monipuolisia tuotteita), Velocity (~kierto/nopeus), Variability (~vaihtelu) ja Visibility (~läpinäkyvyys) -tuotannossa. Nämä tavoitteet sinällään voivat olla tämänkin koosteen runkona - ja lopulta tulee tietysti pohtia sitä, voidaanko suomalaisessa high mix / low volume -tuotannossa saavuttaa nämä (jopa pk-yrityksissä) entistä paremmin, kun apunamme on nyt uudet digitaaliset työvälineet? Oletuksemme on, että asiakkaille valmistetaan yhä monipuolisemmin yksilöllistettyjä tuotteita (Variety), toiminnan pitää olla nopeaa (Velocity), tuotannon tehokkuus vaatii poikkeamien ymmärtämistä ja vaihtelun (Variability) hallintaa – ja käytännössä arvoverkoston jäsenillä

tulee olla läpinäkyvyyttä (Visibility) materiaalitoiminnoissaan siten, että kullakin osapuolella on oikea tieto todellisesta kysynnästä ja siten kyky varautua siihen. Ehkä tämä ei tule kerralla valmiiksi tai ainakin muuttuva markkinatilanne vaatii jatkuvaa mukautumista. Siksi siihen kannattaa lähteä kyvykkyyksiä kehittäväällä ja oppivalla (Learning) asenteella.

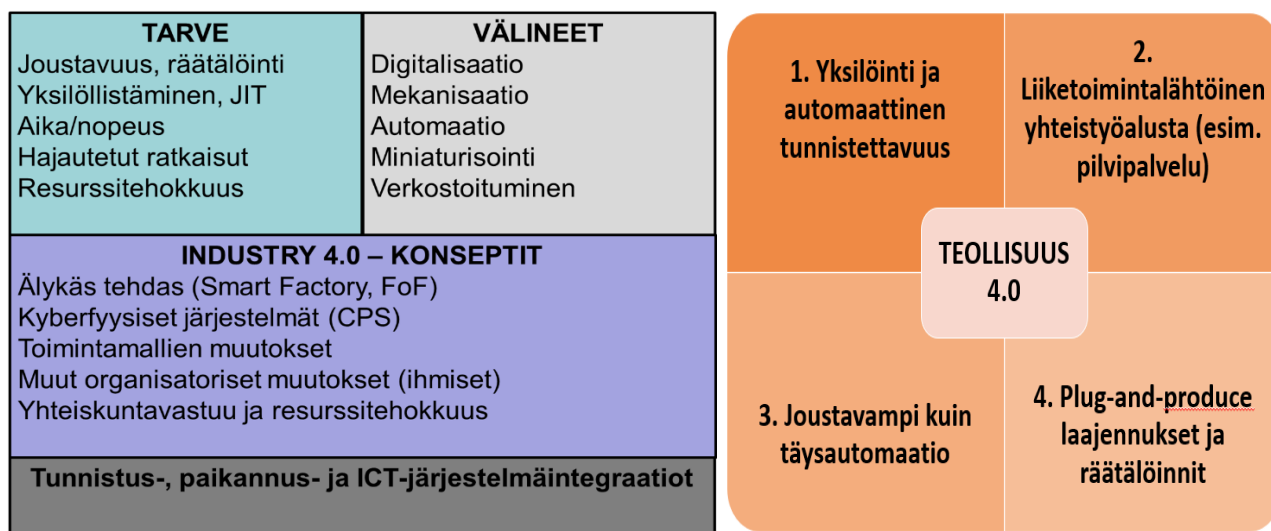
Kun tässä(kin) on tavoitteena nopeat konkreettiset toimenpide-ehdotukset, saatamme vähätellä viime mainitun merkitystä, mutta ainakin kirjoittajalle itselleen TUDI-yhteisö on tarjonnut mahdollisuuden kehittymiseen, vaikka lähtökohtaisesti olettaisi olikin, että logistiikka- ja materiaalitoiminnot osataan. Sama varmasti toimii yrityksissäkin: kun etenemme kohti tulevaisuuden v4-tehdasta, meille syntyy siitä jatkuvasti uutta osaamista ja kyvykkyyttä, joka mahdollistaa meitä entistä paremmin toiminnan näissä neljässä eri ulottuvuudessa.

1.2 Teollisuus 4.0:n saavuttaminen logistiikkatoimintojen osalta (Logistiikka 4.0)

Asiantuntijat näkevät nyt käsillä olevan nk. neljännen teollisen vallankumouksen tuovan merkittäviä mahdollisuuksia kehittää tuottavuutta perinteisillä aloilla, joihin voidaan helposti laskea tässä mukaan myös materiaalinkäsittely ja logistiikka. Tämä Teollisuus 4.0 (alun perin saksaksi Industrie 4.0 eli eng. Industry 4.0) on laajempi käsite kuin esineiden internet (IoT = Internet of Things) tai teollinen internet – tai ainakin Teollisuus 4.0 tulisi nähdä laajempaan kuin em. teknologiat uutena lähestymistapana tuotantoon ja materiaalivirtoihin. Tässä raportissa katsotaan IoT:ia enemmän siitä näkökulmasta, miten uudet teknologiat mahdollistavat nykyisen tuotannon kehittämistä joustavuuden ja ketteryyden näkökulmista materiaalivirtaa parantamalla – eikä niinkään niistä näkökulmasta, mitä uusia tuotteita ja palveluita tai parempaa tehtaan kunnossapitoa IoT mahdollistaisi.

Industrie 4.0:n tuntomerkeinä – tai siihen kuuluvina konsepteina - voidaan nähdä älykkäät tulevaisuuden tehtaat (Smart Factory, Factory of the Future), kyberfysiset järjestelmät (CPS = Cyberphysical systems), toimintamallien muutokset ja edelleen näiden vaikutukset laajemminkin organisaatioihin, ihmisiin ja yhteiskuntaan aina vastuullisuutta ja resurssitehokkuutta myöten. Tämä raportti ei pääse ehkä niin syvälle noihin teemoihin, mutta pyrkii rakentamaan jonkinlaisen teoriapohjan kuitenkin tuotannon materiaalitoimintojen kehittämisessä perusprosesseista ylöspäin: eli laitetaan ensin toimintaa kuntoon ja sitten sovelletaan siihen teknologiaa niiltä osin, kun tarve on ja teknologia tuo lisämahdollisuuksia. Teknologia ei ole tässä tulevaisuuskatsauksessa itse tarkoitus, vaikka monella tapaa näemmekin sen tuomat hyödyt.

Lahtinen (2016) on tulkinnut saksalaisten kehittämistä seuraavat (Kuva 1.2) yhteenvedot. Näitä teemoja käsitellään alla olevissa luvuissa erikseen esim. ”mihin yritykset pyrkivät operaatioissaan (Luku 2.2)”, ja edelleen sen jälkeen ”joustavuus”, ”määrä” ja vaihtelun hallinta” sekä ”mitä välineitä uuden sukupolven kokoonpanotehtaassa voidaan soveltaa (Luku 4 ”teknologiat”)” ja keskeisenä tietysti lopulta itse ”älykäs tehdas” eli visio luvussa 5 – sekä sen käytännön toimeenpanoa luvun 5 loppuosassa ja luvussa 6. Lisäksi on huomattava, että Teollisuus 4.0:n konseptit rakentuvat tunnistus- ja ICT -ratkaisujen päälle. Kyse on kuitenkin huomattavasti laajemmasta asiasta kuin pelkkä teknologia; nyt pitää nähdä laajemmin murros toimintamalleissa.



Kuva 1.2 Teollisuus 4.0 konseptit (vas) ja tunnusmerkit (oik) (Lahtinen 2016 tulkinnyt Lasi ym 2014 ja Hauth 2016).

Koko raporttia voitaneen jotenkin arvioida ”Logistiikka 4.0” -konseptin kuvaamisena tehtaan materiaalitoimintojen osalta. Eli tässä ollaan selvästi kapeammalla fokuksella liikkeellä kuin varsinainen Teollisuus 4.0. Toisaalta, jos tästä jatketaan eteenpäin, voitaneen kohta laittaa yhtäläisyysmerkit näiden käsitteiden välille, sen verran monipuolinen lähestymistapa Logistiikka 4.0:kin on – ja sen verran suuret vaikutukset sen oikealla toteutuksella on tuotannon mahdollisuuksien parantamiseen. Käytännön soveltajien piirissä voidaan nähdä se, että Logistiikka 4.0 on mm. johtavien Hannoverin teollisuussmessujen avaintema (koronaviruksen takia peruuntuneet 2020 sekä tulevat 2021 messut).

Logistiikka 4.0:lle ei ole olemassa yhtä selkeää ja yksinkertaista yleisesti hyväksyttyä määritelmää. Amr ym (2019) ovat yrittäneet hahmotella sen määritelmäksi Teollisuus 4.0:n pohjalta oppia ottaen jotenkin seuraavasti:

”Strateginen teknologinen suunta, joka integroi erilaiset teknologiat toimitusketjun tehokkuuden (sekä efficiency että effectiveness) kasvattamiseen, siirtää organisaatioiden fokuksen arvoketjuun, maksimoi asiakkaille ja kuluttajille tuotetun arvon nostamalla kilpailukykyä ... tämä saavutetaan digitalisaatiota hyödyntämällä toimintoja hajauttamalla ja läpinäkyvyyttä parantamalla”.

Em. raportin määritelmät Logistiikka 1, 2, 3 ja 4.0 ovat siitä kiinnostavia, että ne tunnistavat Logistiikka 3.0 joustavan ja ketterän logistiikan olevan jollakin tapaa evoluutiota aiemmasta kehityksestä, kun Logistiikka 4.0 on vielä syvemmälle menevä kokonaisvaltainen konsepti. Tälle raportille oleellisia ovat nuo joustavuuden ja ketteryyden vaatimukset (high mix / low volume -tuotanto!), ja sitten lopulta visiossa vahva näkemys siitä, mihin ollaan matkalla kokonaisuutena, jotta ”erilaisten teknologioiden integrointi” onnistuu ja toiminta voi lopulta pyöriä tehokkaasti ja läpinäkyvästi hajautetullakin ohjaamisella.

Teollisuus 4.0:sta puolestaan syntyy niin paljon akateemista (ja käytännöllistä) analyysiä, että sitä ei kovin helpolla saa koostettua yhteen raporttiin. Yksi useista mielenkiintoisista artikkelikoosteista on Cohen ym. (2019) toimittama erikoisnumero ”Digital Manufacturing and Assembly Systems” kansainvälisessä tiedelehdessä. Se tosin kattaa laajemmin teollisuuden uudistumista kuin tässä käsitelty materiaalihallinnon näkökulma – ja varsinainen sisälogistiikka taas jää turhan kevyelle painotukselle (jota korjaamaan voi lukea puolestaan juuri perustetun ”Production System and Logistics” foorumin julkaisuja).

Ja edelleen, että vaikka nyt käsillä olevassa raportissa fokusoidaan tehtaan sisäiseen logistiikkaan ja materiaalivirtojen ohjaukseen, sen tehokas toiminta vaatii kokonaisuuden ymmärtämistä osaoptimointien

sijaan – ja tiivistä kytkentää laajempaan toimitusketjuun aina asiakkaiden tarpeista (esimerkiksi läpinäkyvyys) ja tuotteen (ja sitä kautta tarvittavien nimikkeiden) kysynnän luonteesta lähtien alihankkijoiden ohjaamiseen tuotemerkintöineen ja pakkauksineen. Koko toimitusketju vaatisi vielä kattavampaa tarkastelua, joka ei ole tämän raportin puitteissa mahdollista, mutta silti tässä pyritään riittävään kokonaisuuteen niiltä osin, että tehtaan logistiikan kehittämisessä päästään liikkeelle oikeaan suuntaan.

Yhtenä esimerkkeinä näistä ”logistiikan” tarvittavista laajennuksista on varastonhallinta (Inventory Management) olisi oma laaja kokonaisuutensa, joka tulisi analysoida materiaalinkäsittelyn ja varastoinnin (Material Handling & Warehousing) rinnalla, vaikka tämä usein tapahtuukin yrityksen hankintatoimen johdolla. Meillä suomen kielessä puhutaan varastossa, mutta englannin kielessä tässä on selvästi kaksi eri johtamisen ulottuvuutta Inventory Management ja Warehouse Management. Tässä raportissa ollaan enemmän fyysisellä puolella tehtaassa materiaalitoiminnoissa ja siihen sovelletaan materiaalinkäsittelyn ja varastojen johtamisen (tässä Warehouse Management) teemoja. Kuitenkin kokoonpanon kehittämiseen liittyvä materiaalivirran kehittäminen, materiaalipuutteiden minimointi ja kokonaisuuden optimointi sitoutuvine pääomineen, vaatisi myös varastonohjauksen (Inventory Management) sisällyttämistä teemaan kattavammin. Raportin rajallisen laajuuden vuoksi tässä on tehty jonkin verran rajauksia.

Esimerkiksi tuotannon sisäiset siirrot voidaan hoitaa monella eri teknologialla. Oleellista on kuitenkin hahmottaa tekeminen, kysynnän luonne, valikoimien laajuus ja prosessi yleisellä tasolla – ja erityisesti se, miten soluja täydennetään? Tuleeko materiaali alihankkijalta vai keskusvarastolta siihen ja edelleen, käytetäänkö VMI (=Vendor Managed Inventory) tai kaupintavarastoja vai olisiko juuri kyseisille materiaaleille kanban tai kenties materiaalitarvelaskentaan (MRP) liittyvät menetelmät sopivampia? Kirjoittaja näkee varastonohjauksen ehkä suurempana ja merkittävämpänä asiana kuin mitä se on ollut TUDI-foorumien keskusteluissa – ja nyt tulevana digitalisaation aikakautena tämän kehittämiseen on useita vaihtoehtoja kehittyneistä suunnittelujärjestelmistä tekoälyyn asti (APS/AI) ja niiden tuottamat tieto ja ratkaisut ovat edelleen integroitavissa sujuvampaan tuotantoon.

1.3 Tuotannon logistiikka oppiaineena ja tutkimuskohteena

Vaikka tämä kokonaisuus ei ole mikään erityisen vaikea teema, sen analysointi vaatii usein virtauksen yksinkertaistamista, koska kokonaisuudesta muodostuu helposti liian monimutkainen käytössä olleille mallinnustyökaluille ja omalle käsityskyvyillemme. Tuotteen, prosessin ja/tai systeemin kehittämistä tarkastellaan erikseen ja eri aikoina, kun niitä pitäisi jotenkin pystyä hahmottamaan ja kehittämään jos nyt ei yhtäaikaaisesti niin vähintään iteratiivisesti. Nämä samat haasteet koskevat myös perinteisempää ”materiaalinkäsittelyä ja sisälogistiikkaa”; niitä ei ole tarkasteltu riittävällä tavalla systemaattisesti yhtenä kokonaisuutena aiemmin vähittäis- ja tukkukaupassakaan.

Tai ehkä oikeampi väite olisi, että yksittäiset osa-alueet tässä eivät ole kovin komplekseja, mutta kun nämä kaikki yhdistetään toisiinsa ja niillä on osin ristikkäisiä ja/tai vastakkaisia tavoitteita ja vaikutuksia, kokonaisuudesta tulee suhteellisen laaja ja monimutkaisesti hallittava. Siksi tarvitaan kokonaiskuvaa ja isompia linjoja, jotta yksittäiset valinnat tukisivat yritystä oikealla tavalla eteenpäin. Ja koulutus- ja tutkimuslaitokset voivat auttaa tämän tiedon tuottamisessa.

Voitaneen myös väittää, että huolimatta sinällään suhteellisen yksinkertaisista periaatteista, tuotannon logistiikkaa, materiaalinojauksista ja -käsittelyä ei ole ehkä riittävästi tutkittu ja opetettu, jolloin uusin tietämys ei ole yhtenäistä ja laajasti sovellettua. Ja koska näitä ei ole alan yhteisöissä kattavasti yhdessä tarkasteltu, kokonaiskuva on voinut olla puutteellinen, jolloin yrityksissä luotetaan yksittäisiin ”temppeihin”, nojataan yhteen guruun neuvoineen tai jopa kuvitellaan, että käyttöön hankittu ohjelmisto tekee oikeat ratkaisut ilman, että kenelläkään on riittävä kokonaiskuva sen ohjausarvoista. Siksi tässä raportissa pyritäänkin eri luvuissa esittelemään asioiden taustoja jonkin verran sekä luettelemaan lähteitä ja referenssikohteita, jotta

lukija voi arvioida lopussa (esim. luku 8) esitettyjä ”temppuja” tai vision ja roadmapin (luku 6.8) järkevyyttä. Nämä voivat toimia myös jossakin määrin avauksena aihepiirin jatkoselvityksille.

Eri maissa ja EU-tasolla on ollut ja on omia aloitteitaan, kuten esimerkiksi EFFRA (European Factories of the Future Research Association), joka tosin on ottanut logistiikan tarkasteluun vasta nyt. Jotta tutkimuksellinen tarve saataisiin täytettyä, viime vuonna (2019) on perustettu kansainvälinen tieteellinen foorumi ”Tuotantojärjestelmien ja logistiikan konferenssi” (The Conference on Production Systems and Logistics, CPSL www.cpsl-conference.com). Konferenssi järjestetään vuosittain ja se kokoaa yhteen ja jakaa globaalisti tutkimustuloksia, -tietämystä ja -kokemuksia. Liekö otosharhaa, mutta juuri julkaistuista ko. konferenssin ensimmäisistä aineistoista tähän raporttiin poimittiin mm. Stuttgartissa (Bozkurt ym. 2020 ”logistiikan innovaatiot kohti eräkokoa 1”) ja Hannoverissa (Kämpfer ym. 2020 ”tuoteportfolioiden tarkastelu tuotannon logistiikan näkökulmasta”) tehtyjä tutkimuksia. Isommassa mittakaavassa koko Teollisuus 4.0:a silmällä pitäen eri maissa on omia ylätasojen kehittämisohjelmiaan, kuten Industrie 4.0 (Saksa), Produktion2030 (Ruotsi), Society 5.0 (Japani), Made in China (Kiina) ja Industrial Internet (USA), joiden alla myös logistiikkaa ja materiaalitoimintoja kehitetään, mutta meillä Suomessa tällainen koordinaatio toistaiseksi puuttuu, mutta TUDI-foorumi varmaan omalta osaltaan auttaa asiasta kiinnostuneiden tiedonvaihtoa.

Useat tutkimukset pohjautuvat erityisesti autoteollisuuden kokoonpanolinjoihin. Meidän teollisuutemme volyymit ovat useissa tuoteryhmissä niin pieniä, että autoteollisuuden vertaaminen ei välttämättä ole relevanttia, koska vastaavanlaista virtausta ja modulointia ei saada aikaiseksi. Toisaalta autoteollisuuskin on kohdannut valtavan haasteen yhä yksilöllisemmistä asiakasvaatimuksista (esim. uusimmasta Audi A3:sta voidaan räätälöidä enemmän kuin 19³⁸ erilaista mallia, joka johtaa käytännössä siihen, että jokainen auto on erilainen yksilö; ks esim Bozkurt ym 2020). Ja edelleen koko kyseinen teollisuudenala on nyt kohtaamassa ”epäjatkuvuuskohdan”, kun perusteknologiat ovat muuttumassa polttomootoreista sähkökäyttöisiksi, mikä osaltaan muuttaa tehtaiden ja kokoonpanon sekä koko arvoverkoston rakennetta. Millaisiin tehtaisiin tällaisessa tilanteessa kannattaisi investoida – ja millaista logistiikkaa siellä toteuttaa? Ehkä voimme sittenkin joitakin oppeja soveltaa autoteollisuudesta high mix / low volume -tuotantoon tässä muuttuvassa tilanteessa varsinkin, jos muuta aineistoa ei ole riittävästi käytössä. Sitä tuki syntyy tässäkin käsillä olevassa koosteessa.

Uuden sukupolven kokoonpanotehtaassa merkittävänä lisäelementtinä on ”digitalisaatio”. Mitä se käytännössä tarkoittaa ja mitä hyötyjä sillä voidaan saada tuotantoon? Ja muuttaako digitalisaatio, ja jos muuttaa, niin miltä osin aiemmin havaittuja peruseriaatteita? Vai onko kysymys enemmänkin siitä, että digitaalisten työvälineiden myötä voimme vasta realisoida aiemmin teoriatasolla tehtyjä havaintoja ja ehdotuksia käytännön toiminnaksi?



Kuva 1.3. Toyota Production System esimerkki Bolognan tehtaalta (Lahtinen 2012).

Perinteisempää teollisuus- ja tuotantotaloutta meillä opetetaan varsin hyvin. Sen kylkiäisenä ja täydennyksenä voisi olla vielä nykyaikaisempaa tehtaan sisälogistiikkaa. Tämä voisi toimia myös toisinpäin: ehkä logistiikan osaajille voisi tuoda lisänäkemyksiä tuotannon avainkysymyksistä. Ja sitten yhdessä pohtia niitä teemoja, kuinka nämä digitalisaation aikakaudella nivotaan tiiviisti yhteen? Yllä oleva kuva (1.3) esittää mennyttä aikaa, mutta siinäkin on vielä monilla toimijoilla tehtävää: perusasiat esimerkiksi Leanista kuntoon voi viedä yritystä paljon eteenpäin. Tämä tehdas näyttää hienolta ja toimivalta, vaikka se oli tuolloin vasta 2S (silmämääräisesti arvioituna vaikutti siltä, että kehitys oli jo pidemmällä tuolloin; ainakin 3.S ”siisteys” vaikutti hyvältä) vaiheessa 5S:n käyttöönotossa. Kaiken ei siis tarvitse tulla tässäkin kerralla valmiiksi, mutta meillä on tärkeää olla selkeä suunta, johon tuotantoa ja sen materiaalinohjausta kehitetään. Toisaalta tässä raportissa myöhemmin esitellään 5S:n vielä kaksi lisäulottuvuutta Safety & Security, päättyen 7S:n.

Koska Lean ja jatkuva parantaminen on keskeinen osa myös tätä ”digitalisaatioraporttia”, yllä mainitulta tehtaalta poimittuja havaintoja on laitettu case-kuvakseksi tähän (kooste Lahtinen 2012). Tehtaalla on kolme varsinaista kokoonpanolinjaa. Ensimmäisen linjan kapasiteetti ja toteutunut volyyymi ovat kaikkein suurimmat, kun siinä kootaan pienimpiä sähkötrukkeja. Toisella ja kolmannella linjalla valmistui sekä sähkö- että polttomoottorikäyttöisiä trukkeja, mutta siten, että suuremmat trukit kokoonpantiin eri linjoilla kuin pienemmät. Näiden kahden jälkimmäisen linjan kapasiteetin käyttöaste on huomattavasti matalampi. Kokoonpanoaikataulut tehdään viikon jaksoissa eteenpäin siten, että asiakastarpeet saadaan parhaiten täytettyä, ja linjaston päässä on sekä räätälöinti- että testausalue ja edelleen pieni tila, jonka seinille on tuotannon sujuvuutta ja onnistumista kuvaavat selkokieliset – eli Toyotan tapauksessa visuaalisesti yksinkertaiset raportit.

Keskeisin havainto liittyi tässä logistiikan ja tuotannon rajapintaan: logistiikkaosasto toimi ”supermarket” –alueella, josta se toimitti rullavaunussa tarvittavat osat ja komponentit asennettavaksi kuhunkin truckiin (ks. kuva 1.3). Ensimmäinen rullavaunu kulki linjalla koottavan trukin mukana vaiheet 1-5, ja toinen rullavaunu 6.-12. työvaiheen. Tällä menettelyllä saatiin selkeytettyä ja tehostettua kokoonpanijoiden työtä: heidän ei tarvitse enää kulkea etsimässä ja kokoamassa tarvittavia osia kasaan, vaan logistiikasta vastaavat henkilöt huolehtivat, että tarvittavat komponentit ovat saatavilla.

Aikaisemmin kokoonpanolinjojen yhteydessä oli komponenttien ja tarvikkeiden varastointia. Varasto oli osaltaan tarpeeton, se lisäsi kokoonpanijoiden työtä, ja kokoonpanijan kulkiessa etsimässä tarvittavaa komponenttia muu tuotantolinja saattoi pysähtyä, ja edelleen hidastaa tehtaan tuotantokykyä. Kuvassa 1.3 on esitetty yleisilme tehdassalista. Siinä vasemmalla näkyy ”supermarket”, josta toimitetaan komponentteja oikealla kulkeviin kokoonpanolinjoihin.

Tuotannon ohjauksessa käytettiin yksinkertaista Kanban-toimintamallia, jolla varmistetaan tarvittavien osien ja komponenttien saaminen tuotantolinjalle tarpeen mukaan. Kanban toteutetaan tuotteiden kuljetuslaatikoiden mukana kulkevilla korteilla, jotka välittävät tilaus-täydennystietoa. Näiden avulla toimituksia saadaan tehtaalte jopa neljä kertaa päivässä. Tällä tavoin varastot pysyvät kokonaisuutena pieninä, mutta tarpeellisten osien saatavuus saadaan silti varmistettua. Käytännössä varastoja kuitenkin tarvitaan: esimerkiksi mastojen osalta se on noin 0.5 – 1 päivän tarve, ja kokoonpanolinjojen päässä oli korjausalue sellaisille trukeille, joita ei jostain syystä ole saatu koottua täysin valmiiksi.

1.4 Selvityksen rakenne, ”mitä sinun kannattaa lukea” ja käytetyt menetelmät

Raportin taustalla on tehty kirjallisuuskatsausta, jossa on sekä katsottu pintapuolisesti akateemista – ehkä rajoittunuttaakin kirjallisuutta tähän teemaan – sekä TUDI-hankkeiden aikana koostettuja yhteenvetoraportteja erityisesti vierailukohteissa havaituista hyvistä käytännöistä. Empiirinen aineisto koostuu kahdesta erilaisesta aineistosta: 12 yritysten asiantuntijoille suunnatusta avoimesta teemahaastattelusta sekä lopuksi tuotetusta kyselytutkimuksesta. Haastattelut painottuivat toukokuun 2020 puoliväliin ja kyselytutkimuksen aineisto (n=64) on kerätty toukokuun loppupuolella ja kesäkuun alussa. Teemahaastattelu ja kyselytutkimus poikkeavat täydellisesti menetelminä toisistaan, ja siksi tässä onkin yritetty kartoittaa visiota ja tiekarttaa tulevaisuuden tehtaalte siten, että siihen saataisiin aidosti monipuolisia näkökantoja. Tietysti selvityksen tekijä on vastuussa niistä havainnoista ja johtopäätöksistä, joita on raporttiin nostanut.

Avointa teemahaastattelua käytetään usein käytettäväksi silloin, kun halutaan tietoa vähemmän tunnetuista ilmiöistä ja asioista. Haastattelija ei tuntenut kaikkia haastateltavia kohteita, mutta useat niistä olivat kuitenkin siinä määrin tuttuja, että vaatimus ”Teemahaastattelu edellyttää huolellista aihepiiriin perehtymistä ja haastateltavien tilanteen tuntemista, jotta haastattelu voidaan kohdentaa juuri tiettyihin teemoihin” täyttyi tämän osalta. Haastatteluissa ei edetty yksityiskohtaisten ja tarkkojen kysymysten mukaan tiettyssä järjestyksessä, vaan niissä painotettiin ja annettiin tilaa vastaajien (jotka ovat asiansa ammattilaisia) vapaalle tulkinnalle. Haastattelut kestivät yleensä noin 35-40min, mikä oli liian lyhyt aika siihen, että kaikki teemat olisi ehditty käydä läpi kaikkien kanssa. Toisaalta haastattelija oli perehtynyt siinä määrin jo aihepiiriin – ja ollut mukana TUDI-hankkeessa, että todennäköisesti keskusteluissa käytiin läpi relevantteja aihepiirejä. Silti haastatteluissa tuli esille asioita (ja ne painottuivat eri tavoin) kuin selvityksen tekijän aiemmat oletukset olivat. Haastateltavat oli sinällään hyvin valittu toimeksiantajan puolelta niin, että se kattoi heterogeenisesti kohdeyritysten joukkoa. Yleensä haastatteluissa syntyvä tieto saturoituu aika nopeasti (esim 6-8 haastattelun jälkeen), mutta tässä uutta sisältöä tuli loppuun asti. Sillä perusteella haastatteluista olisi ehkä ollut syytä jatkaa hieman pidemmälle, koska käsiteltävä aihepiiri on melko laaja, mutta tätä kuitenkin rajattiin resurssien riittävyyden vuoksi. Liiallisten johtopäätösten nostaminen tuosta haastattelijajoukosta ei ole välttämättä vielä järkevää, mutta haastattelut antoivat runsaasti ideoita ja sisältöä tähän raporttiin, mutta myös rajauksia siitä, mikä ei ole niin relevanttia. (ks. esim. KvaliMOT, Hirsjärvi & Hurme). Jatkossa, jos kattavampia resursseja on käytössä, samankaltaista haastattelutyötä kannattaisi viedä pidemmälle niin, että aineisto alkaa saturoitumaan paremmin; silloin voitaisiin sanoa suuremmalla varmuudella näkemyksiä tulevaisuuden tehtaalte. Nyt jääme enemmän idealuettelon varaan, kun systemaattista yhteenvetoa ei ole tehty tai ei tiedetä, mihin kohtaan aineisto päättyisi ja mitä asioita siinä painottuisi?

Kyselytutkimus suoritettiin Google Forms -työkalulla selvityksen tekijän laatimin kysymyksin. Kysely itsessään laadittiin vakavalla mielellä hyvän kvantitatiivisen tutkimuksen periaatteiden mukaisesti,

mutta koska satunnaisotoksen hankkiminen on vaikeaa käsillä olevassa aihepiirissä ja yritys kentässä, kyselytutkimusosuuksien tulosten yleistämisessä osaksi laajempaa yritysjoukkoa tulee noudattaa varovaisuutta. Luontevampi tulkinta kyselyn perusteella esitettävillä asioilla on ”tässä aineistoissa” tai ”tämän aineiston mukaan”. Kerätty datan määrä ja sen yhtenäisyys ovat sinällään positiivisia asioita, ja aineisto mahdollistaa monenlaisten alustavien havaintojen tekemisen jopa laajemminkin kuin alun perin olisi osattu odottaa. Kysely suunnattiin noin 550 vastaanottajalle sähköpostitse, mutta sitä jaettiin myös sosiaalisen median kautta. Tällä tavoin ei voida tarkalleen tietää otosta ja siten vastausastetta.

Aineiston luotettavuutta kuitenkin tutkittiin siitä näkökulmasta, eroavatko aluksi ja lopuksi vastanneiden jakaumat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan tai eroavatko teollisuuden ja muiden yritysten (kontrolliryhmä, joka koostui mm. teknologiatoimittajista, asiantuntijoista, logistiikkapalveluntarjoajista ja kaupan edustajista) vastaukset toisistaan. Mann-Whitneyn U-testin perusteella vastaukset eivät eronneet toisistaan, muuta kuin joissakin yksittäisissä tekijöissä toimialojen välillä. Isossa kuvassa voitaneen siis ajatella, että aineistosta poimitut ilmiöt voisivat jossain määrin toimia myös laajemmassa kontekstissa, mutta varovaisuusperiaatteen mukaan tätä ei kannata lähteä liian yleisesti soveltamaan. Siksi kyselytutkimuksen vastauksia onkin parempi arvioida varauksella ”tämän aineiston mukaan”.

Vaikka kyseessä on eteenpäin katsova visio- ja tiekarttatyö, selvitystä ei tehty varsinaisena pitkälle eteenpäin katsovana ”tulevaisuustutkimuksena” megatrendien ja teknologian kehittymisineen, vaan pikemminkin kartoitettiin nykyisten teknologioiden luomia mahdollisuuksia ja sovellettavuutta olemassa olevassa ympäristössä lähivuosina. Toivottavasti tämä ei anna lukijalle väärää kuvaa: ambitiotaso on pyritty pitämään riittävän korkeana toiminnan kehittämiselle, mutta pidättäytytty silti realistisissa ja suurelta osin jo osin testatuissa teknologioissa. Lähitulevaisuuden (4-5v) kannalta oleellisempaa näissä on se, että osaamme oikealla tavalla soveltaa olemassa olevaa kuin se, että keksisimme jotain uutta logistiikan teknologiaa. Toisaalta on hyvä muistaa, että kehitys on ollut yllättävän nopeaa esimerkiksi mobiili- ja yhteistyörobottien alueella (AMR, Cobot). Tämäkin aikajänne on riittävän pitkä ja monimutkainen, että siihen sisältyy epävarmuuksia. Ja ihminen on aina ollut kiinnostunut tulevaisuudesta: itse asiassa ilman tulevaisuuteen katsomista nykyisellä toiminnallakaan ei ole mieltä ja merkitystä (ks. Kamppinen ym ”Tulevaisuustutkimus” 2002).

Jotta haastateltavia ei voi tunnistaa, heidän esille nostamia teemoja ja ajatuksia on ripoteltu tekstiin ko. asiayhteyksiin – ei omina purkuina ja suorina lainauksinaan. Nimettömänä tehty kyselytutkimus puolestaan raportoidaan omana lukunaan. Ja tietysti on huomattava, että nämä kaikki aiemmasta kirjallisuudesta ja hankkeista lähtien haastatteluihin ja kyselyyn muodostavat jossain määrin yhtenäisen kokonaisuuden. Ja siten eri aineistoja ja menetelmiä voidaan pitää tässä mielekkäällä tavalla toisiaan täydentävinä triangulaation ja luotettavuuden parantamiseksi.

KAPPALE	KESKEINEN SISÄLTÖ JA KOHOKOHDAT
1) JOHDANTO	- Miksi tämä teema on tärkeä ja mihin tätä raporttia tarvitaan? - Teollisuuden logistiikka oppiaineena ja tutkimuskohteena: meidän kannattaa jatkaa yhteistyötä ja vahvistaa osaamis- ja tietopohjaa.
2) TAUSTA-AINEISTOJA	- Teoria- ja kirjallisuuskatsaus teollisuuden materiaalivirtoihin ja yleisiin operaatiostrategian teemoihin: nopeus, kustannus, vaihtelun hallinta, Lean. - Digitalisaatio vaikuttaa myös organisaatioon. TEORIAA
3) ASEMOINTI JA RAJAUKSET	- Tulevaisuuden tehdas on laaja kokonaisuus – ja sen logistiikka monitahoinen. - Tässä raportissa on valittu teemat, joita käsitellään ja osin perusteltu pois jätettyjä aiheita.
4) TEKNOLOGIAKATSAUS	- Erityisesti ICT, standardisointi ja tunnistaminen. - Joitakin havaintoja uusista joustavista teknologioista (erityisesti mobiilirobotit) TARJOLLA OLEVAA TEKNOLOGIAA
5) VISIO	<u>Yhteenveto VISIOsta</u> koko materiaaliprosessin matkalta kypsyyssasteittain. - Kivijalka pitää olla kunnossa (ICT) <u>Caseja VISION</u> eri osista (luku 5.5.): Varastoautomaatti, mobiilirobotti, itseohjautuvuus ja muuttuva tahtiaika MIHIN PITÄISI PÄÄSTÄ?
6) KÄYTÄNNÖN TOIMENPITEITÄ JA TIEKARTTA	- Kuinka valitset sopivan toimitusketju: kustannustehokkuus vai ketteryys? Entä tuotantostrategian? - Miten hankintoja voidaan luokitella (6.3) tai vastaanottoa kehittää (6.6) ? <u>Tiekartta</u>: Miten VISIO voidaan saavuttaa vaiheittain (luku 6.8)? MITEN SINNE MENNÄÄN?
7) KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSIA	- Millainen yritysten logistiikan nykytila on – ja kuinka se vastaa asiakkaiden vaatimuksiin? - Miten yritykset näkevät materiaalitoimintojen muuttuvan 2-3v aikajänteellä? - Millaisia teknologiainvestointeja näihin suunnitellaan, miksi ja millaisia esteitä niille on?
8) YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	- Tuotteet ja materiaalitoiminnot aiheuttavat kustannuksia, joita voidaan hallita toimintamalleja kehittämällä. <u>Yhteenvetotaulukko</u> toimenpiteistä pk-yritykselle: näin edetään kohti tulevaisuuden tehtaan visiota. PIKAVINKIT!
X) LIITTEITÄ	- Laskentaperiaatteita tehtaan materiaalitoiminnoille. Matematiikka ei muutu, mutta voiko digi muuttaa ohjausta? - Toimitusketjuyhteistyö ja hankintojen kehittäminen. - Fokus oli pääasiassa tehtaan sisällä, mutta käytännössä logistiikan kehittäminen vaatii laajemman näkökulman.

Kuva 1.4. Raportin keskeinen sisältö ja kohokohdat.

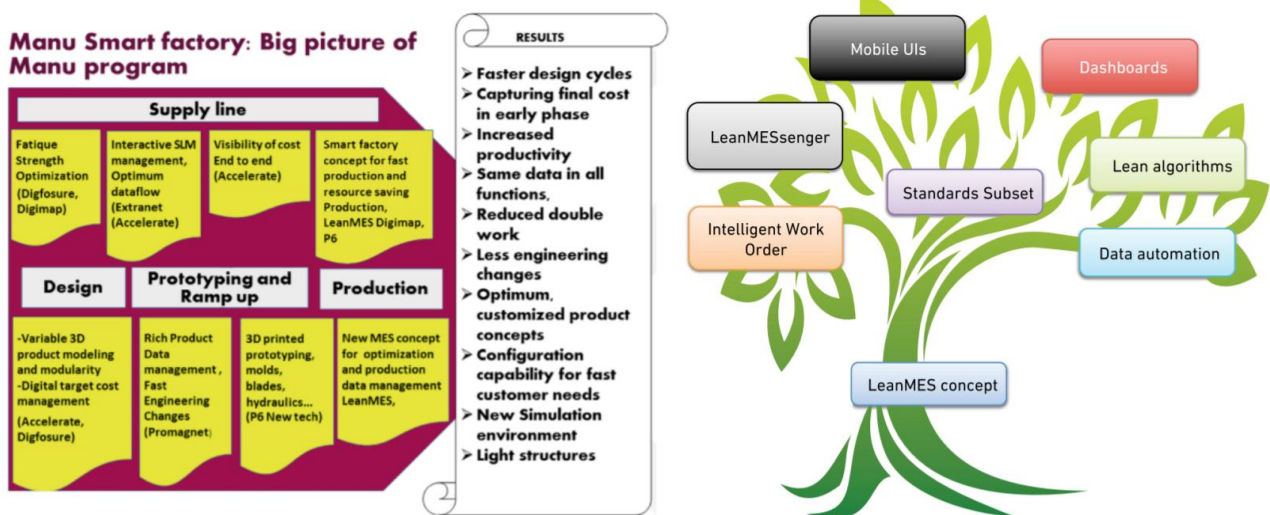
Kuvaan 1.4 on nimetty teoksen keskeiset kohdat lukijan ohjaamiseksi hänelle tärkeisiin ja kiinnostaviin aiheisiin. Vaikka tähän on kerätty yhteen paljon teoriaosuuksiakin, pääpaino ja tarkoitus on silti saada nostettua esille konkreettisia kehittämisideoita yritysten materiaalitoimintojen kehittämiseen matkalla kohti tulevaisuuden tehdasta. Teoriaa voi ajatella tukiaineistona ja perusteluna tehdyille suosituksille. Se voi osaltaan toimia apuna myös esitettyjen ratkaisujen arvioinnissa sekä jatkoselvitysten oikeassa kohdistamisessa.

2. POIMINTOJA JA TULKINTOJA TAUSTA-AINEISTOISTA

Tähän osioon koottu muutamia nostoja aiemmista selvityksistä ja kirjallisuudesta peilaamalla niitä suoraan käsillä olevaan teemaan. Suomessa on TUDI-teeman lisäksi toteutettu laaja MANU-hanke (2012-2017) DIMECCin toimesta. Se kattaa tähän raporttiin (ja koko TUDI-teemaan) kuulumattomia teemoja runsaasti, mutta kuitenkin siellä on tutkittua ja selvitetty sellaisia osioita ”DIGIMAP” ja ”LeanMES” -otsikoiden alla, että niitä on hyvä nostaa esille myös tähän muistutuksena, että muuallakin tehdään arvokkaita ponnisteluja osittain vastaavien asioiden ratkaisemiseksi, vaikka TUDIssa näiden fokus on selkein näkemistämme vaihtoehtoista. Siksi pääasiallinen keskustelun diskurssi onkin TUDI-foorumin (ks. myös LinkedIn TUDI-Foorumi) puitteissa käytyyn keskusteluun pohjautuvaa.

Joka tapauksessa tällaisessa raportissa on hyvä ottaa oppia myös siitä arvokkaasta työstä, jota muualla on tehty. Siten tässä raportissa on tietysti nostettu esille myös kv.hankkeista maailmalla havaituista kehityslinjoista, mutta ei kuitenkaan unohdeta monipuolista kotimaassa tapahtuvaa kehitystä. TUDI on perustunut avoimeen yhteistyöhön, tiedon jakamiseen ja toisilta oppimiseen; huolehditaan sen toteutumisesta myös laajemmassa yhteistyössä. Näitä täydennetään (erityisesti tässä luvussa, mutta myöhemmin myös 5 ja 6.luvuissa) akateemisilla kirjallisuusviitteillä kattavuuden ja luotettavuuden parantamiseksi. Kuten jo johdannossa kirjoitettiin, pääpaino tässä koosteessa tulee olla käytännön ohjeistuksessa ja konkretiassa, joten lukija voi halutessaan hypätä eteenpäin niihin osiin, jotka hänelle ovat tarpeellisimpia voiden kuitenkin luottaa siihen, että tässä pyritty kattavaan tarkasteluun relevanteilta osin ja esitetyt ratkaisut perustuvat useammasta eri lähteestä kerättyihin näkemyksiin.

Kannattaa katsoa myös kv. kehityspolkua, kuten esim. saksalaisen Fraunhoferin eri yksiköiden tekemiä kokeiluja yhdessä yritysten kanssa. Logistiikassa erityisen tunnettu on Dortmundissa sijaitseva IML (~materiaalivirrat ja logistiikka; huom. Fraunhofer SCS enemmän ”toimitusketjun hallintaa”), mutta tämän työn kannalta myös Magdeburgin IFF (~tehdastoiminnot ja -automaatio) ja Stuttgartin IPA (~tuotantoautomaatio) -yksiköt ovat varmasti kiinnostavia. Fraunhofer on myös partnerina Stuttgartissa olevassa laitoksessa, joka selvittää tulevaisuuden joustavaa toimintaa (<https://www.arena2036.de/en/>). Fraunhoferilta on saatu joitakin tuoreita aineistoja tähän työhön. Tässä selvityksessä ei ole tehty yhteistyötä (vielä) Ruotsin ”Produktion 2030” ja PLANin kanssa. Mutta näitä ei kannata myöskään unohtaa. TUDI 4.0:ssa on luotu niin laaja verkosto ja koottu yhteen sen verran paljon suomalaista alan osaamista, että voisimme varmasti uskottavasti jatkaa yhdessä minkä tahansa näistä instansseista kanssa, mutta meillä tämä tekeminen ei ole sillä tapaa institutionalisoitunut kenenkään suuren tutkimuslaitoksen ympärille, että ”toteuttavat resurssit” olisivat myös käytettävissä. Tietysti VTT on aktiivinen toimija omilla hankkeillaan (ks. esim L4MS ~ pk-yritysten tuotannon logistiikka <http://www.l4ms.eu/> tai ”älykäs teollisuus”); tässä raportissa fokus pyritään kuitenkin pitämään materiaalitoiminnoissa eikä laajenemaan liian laajalle teollisuuden kehittämiseen.



Kuva 2.1 DIMECCin MANU-ohjelman keskeiset osat ja tulokset (vas) ja LeanMES-alaprojektin keskeiset osat (oik). (Syrjälä 2017; Lantz 2017).

Teollisuuden digitaalisen uudistumisen voisi nimensä perusteella kuvitella olevan hyvin teknologiapitoinen lähestymistapa. Tässä kuitenkin halutaan kuvata toimintojen tausta siten, että meillä olisi riittävä ymmärrys kokonaisuudesta, asiakastarpeista, kilpailuprioriteeteista ja prosesseista, jotta kehittämistoimenpiteet osuisivat oikeisiin kohtiin yksittäisten teknologioiden sijasta.

Mielenkiintoisina havaintoina ”sisälogistiikan” tutkimuksesta voisi nostaa esille Bartholdin (2014) havainnot tai Mason-Jones & Towill (1999) huomiot ”toimitusketjusta”:

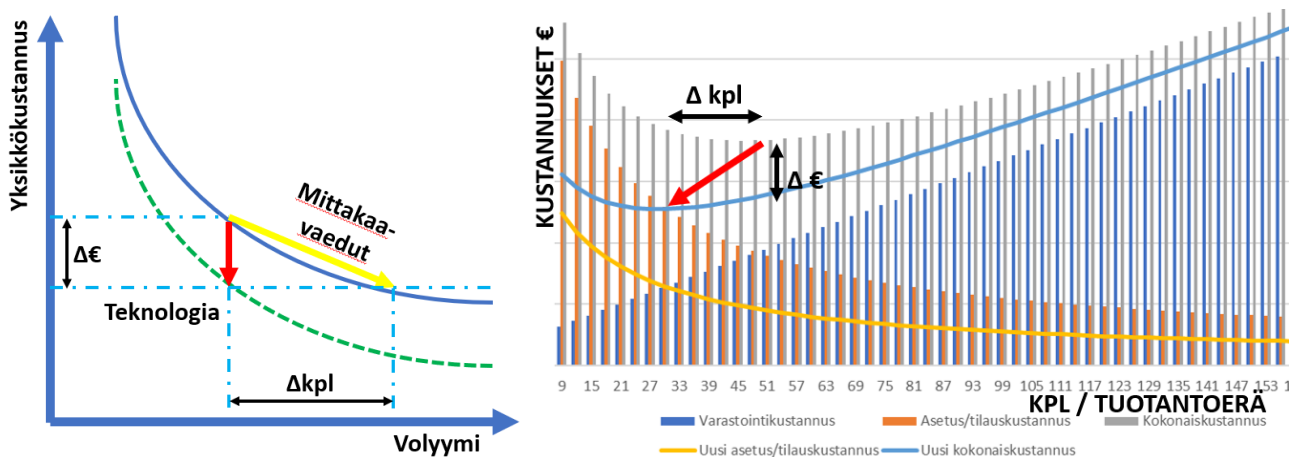
- 1) Pienemmät varastot ovat usein tehokkaampia kuin suuret (Tämä on varmaan arkijärjelle vieras ajatus, kun näemme jatkuvasti uutisia valtavista logistiikkakeskusinvestoinneista. Oleellista on tunnistaa, millainen varastoprosessi on sopiva kuhunkin tilanteeseen), jos toimintaa ei sovitetä kohteeseen tai varasto liian suuri tarpeeseen.
- 2) Pienemmillä pääomainvestoinneilla voidaan saada suorituskyykyisempi varastoprosessi kuin suurilla investoinneilla, koska suurissa investoinneissa on vaara, että tehdään kalliita investointeja automatisointiin, joka osoittautuu liian jäykäksi asiakastarpeisiin. (Huomaa myös Aliche et al 2008 Leanin soveltaminen varastoihin: merkittäviä tuottavuusparannuksia voitiin saada aikaiseksi ilman merkittäviä teknologiainvestointeja; tässä raportissa uskotaan myös teknologian mahdollisuuksiin parantaa vielä pidemmälle, mutta ei investoida ensin teknologiaan vaan tunnistetaan tarpeet tarkoin).
- 3) Ulkoiset seikat ja teknologiat, käytettävissä olevat järjestelmät, toimipisteiden sijainnit jne. eivät selitä tilastollisesti riittävästi yrityksen suorituskyykyä, mutta nopeus yksinään selittää. (Tämä raportin kontekstissa on oleellista, jos digitaalisia työvälineitä kyetään hyödyntämään siten materiaalinohjauksessa, että läpimenoaikoja voidaan kokonaisuudessaan lyhentää).
- 4) Ei merkittäviä eroja suorituskyykyllä ammattiliittojen (tai liittoon kuulumattomien) välillä. (Tutkimuksissa on joskus olettamuksena, että ei-ammattiliittojen työntekijöiden varastot olisivat tehokkaampia ja joustavampia, mutta tutkimustulokset eivät tue tätä. Tässä raportissa pyritään tuomaan esille objektiivisesti paras ja kestävä vaihtoehto materiaalitoimintojen toteutukselle.)

Nämä ovat ehkä vastaan yleistä ajattelua, mutta eivät sittenkään välttämättä kovin yllättäviä mm. Leanista kiinnostuneille ja siihen perehtyneille toimijoille. Siksi tässäkin halutaan katsoa pelkkiä teknologioita laajemmalle, jotta voidaan varmistua teknologioiden soveltuvuudesta ja oikeasta käytöstä sitten, kun niitä lähdetään soveltamaan kokoonpanotehtaan materiaalivirtoihin.

2.1 Onko pienten erien valmistaminen kustannustehokkaasti mahdollista?

Yksi keskeinen yrityksiä kiinnostava teema on kustannustehokkuus suhteessa yhä muuttuviin asiakasvaatimuksiin. Käytännössä merkittävä osa suomalaisista korkean teknologian yrityksistä valmistaa asiakaskohtaisesti räätälöitäviä laitteita, jolloin materiaali- ja volyymit ovat väkisin pieniä ja ohuita. Perustavaa laatua oleva kysymys onkin siten, voidaanko tällaista ”high mix / low volume” -tuotantoa toteuttaa kustannustehokkaasti?

Alla vasemmalla (kuva 2.1) on esitelty yleisen taloustieteen periaatteen mukaista tuotantokäyrää, jossa yksikkökustannukset laskevat volyymin kasvaessa. Perinteisesti ajatellaan, että edullisemmat yksikkökustannukset valmistuksessa vaativat siis suurempaa volyymiä eli mittakaavaetua (economies of scale) sinisen käyrän mukaan. Alle on kuitenkin vihreällä katkoviivalla kuvattu vaihtoehtoinen tuotantokäyrä, johon yritys voisi päästä oppimisen tai uuden teknologian avulla. Uusi teknologia (punainen nuoli) voisi siis auttaa vaihesiirtymässä, jossa vastaava yksikkökustannuksen aleneminen ($\Delta\epsilon$) saadaan huomattavasti pienemmällä volyymillä (Δkpl) kuin pelkkä tuotannon kasvattaminen nykyisellä toimintamallilla vaatisi.



Kuva 2.2 Yksikkökustannukset suhteessa volyymiin ja käytössä olevaan teknologiaan (vas). Optimaalisen tuotantoerän suuruus asetus/tilaus- ja varaston ylläpidon summafunktiona (oik).

Kuvassa 2.2 (oik) on puolestaan esitelty optimaalista tuotantoerän suuruutta laskennallisella esimerkillä. Tässä mallissa otetaan huomioon siis tilaamisen ja koneiden asetusten kustannukset yhtenä elementtinä ja toisena varaston ylläpidon kustannukset. Optimaalinen tuotantoerä toteutuu silloin, kun edellä mainitut kustannukset yhteensä minimoituvat. Esimerkissä otetaan kuitenkin huomioon, että asetus- ja tilauskustannukset per tuotantoerä voisivat pienentyä kehittämistoiminnan seurauksena (esimerkiksi digitaalisten työvälineiden hyödyntäminen varastossa ja hankinnoissa). Tällöin minimikustannuskohta siirtyy (punainen nuoli) merkittävästi vasemmalle eli optimaalinen tuotantoerä, jolla kokonaiskustannukset minimoituvat, pienenee merkittävästi.

Optimaalisen tuotantoerän laskennan taustalla on perinteinen Taft (1918) malli, joka tekee useita oletuksia mm. kysynnän tasaisuudelle tulevaisuuteen. Malli on vastaava kuin logistiikassa usein sovellettu optimaalisen tilauserän (EOQ) laskenta. Puutteistaan huolimatta ne ovat usealla tapaa soveltamiskelpoisia ainakin karkeassa haarukoinnissa. Peukalosääntöinä voidaan olettaa, että jos asetuskustannukset puolittuvat, eräkokoa laskee noin 30%. Tällöin kokonaisvolyymin pitäisi kasvaa kaksinkertaiseksi, että vanha eräkokoa olisi perusteltua.

Tuotannon eräkoon pieneneminen tasaa virtaa, ja vähentää myös tarvittavan varmuusvaraston määrää nimikkeen kysynnän keskihajonnan verran. Ja vastaavasti parempi sähköinen tilausputki toimittajalle

voi lyhentää tilaus-toimitusviivettä, jolloin varmuusvarastoa tarvitaan neliöjuurien suhteellisen osuuden verran vähemmän. Liitteessä 1 on esitelty perinteisiä matemaattisia malleja näiden arviointiin.

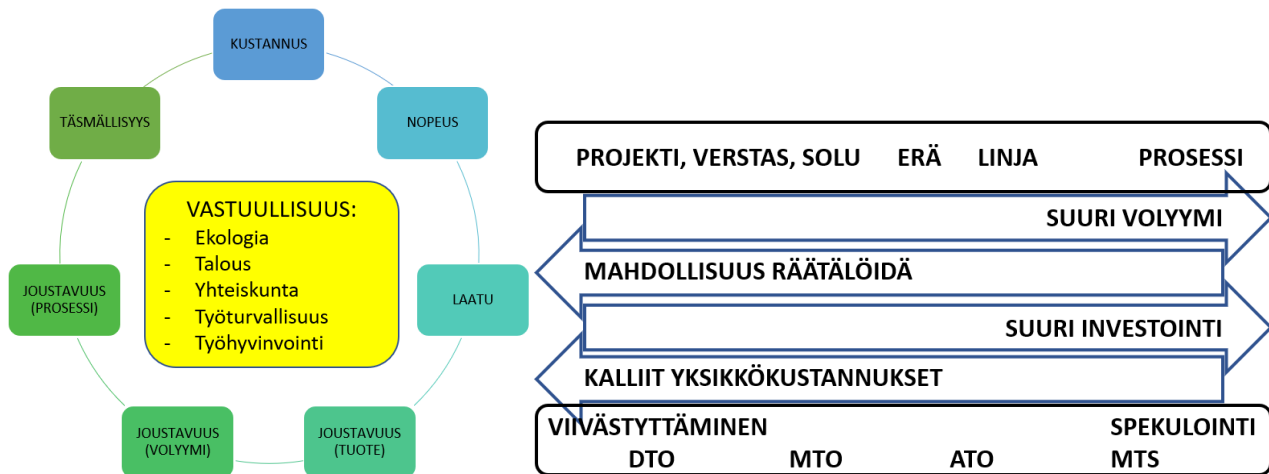
Valikoiman ja valmistettavan malliston laajuus liittyvät osaltaan voimakkaasti volyymiin ja eräkokoon. Näitä käsitellään myöhemmin erityisesti alaluvuissa 2.3 ”joustavuus” ja 2.4 ”määrä vs. laatu”, mutta ne ovat läpi raportin keskeisiä tekijöitä: asiakkaiden oletetaan tarvitsevan räätälöityä ratkaisua, joiden tuottaminen maksaa, mutta myös kokoonpanossa käytettävien nimikkeiden valikoiman laajuudella on suuri merkitys materiaalihallinnon kustannuksiin ja siksi niitä kannattaa pyrkiä hallitsemaan esimerkiksi harmonisoimalla nimikkeitä, joka puolestaan saattaa auttaa alihankkijaa tehostamaan omaa toimintaansa nimikekohtaisten volyymien kasvaessa (ja siten mahdollisesti toimittamaan komponentteja kokoonpanoon edullisemmin).

Oma kysymyksensä on siinä, voisiko meillä olla myös enemmän suurempina sarjoina valmistettavia tuotteita. Meiltä puuttuu keskikokoiset ”Hidden Champions” (perhe)yritykset (ks esim. Arto Lahden kirja 2015), joilla olisi johtava rooli kapeassa segmentissä maailmanmarkkinoilla, ja sitä kautta erikoistunutta valmistusosaamista tällaiseen. Ehkä TUDI voi luoda sellaista osaamista ja kilpailukykyä, että joku yritys pääsee tällaiselle kasvupolulle. Tai voisiko pandemian aiheuttamat opit johtaa siihen, että saatavuuden varmistaminen nousee niin merkittäväksi, että tuotantoa (myös suurempina sarjoina tehtäväksi) siirtyisi suomalaisille alihankkijoille tehtäväksi?

2.2 Mihin yritykset pyrkivät operaatioissaan?

Tämän selvityksen kannalta oleellisia ulottuvuuksia ovat yleiset ”operaatiostrategialle” asetetut tavoitteet. Perinteisesti näitä on ajateltu olevan kustannukset, nopeus, laatu ja joustavuus. Tässä kirkastetaan tavoitteita vielä lisäämällä niihin ”täsmällisyys” ja ”vastuullisuus”. Viime mainittu on yksistään erittäin laaja kokonaisuus – ja tärkeydestään huolimatta se on rajattu merkittävilta osiltaan tämän katsauksen ulkopuolelle. Edelleen joustavuus nähdään kolmiulotteisena: kykyä tuottaa erilaisia tuotteita (tai räätälöidä yksittäiselle tuotteelle eri versioita), kykyä mukautua volyymivaihteluihin ja kykyä muuttaa tarvittaessa prosessia, jotta voidaan palvella ketterästi ja joustavasti muuttuvia asiakastarpeita.

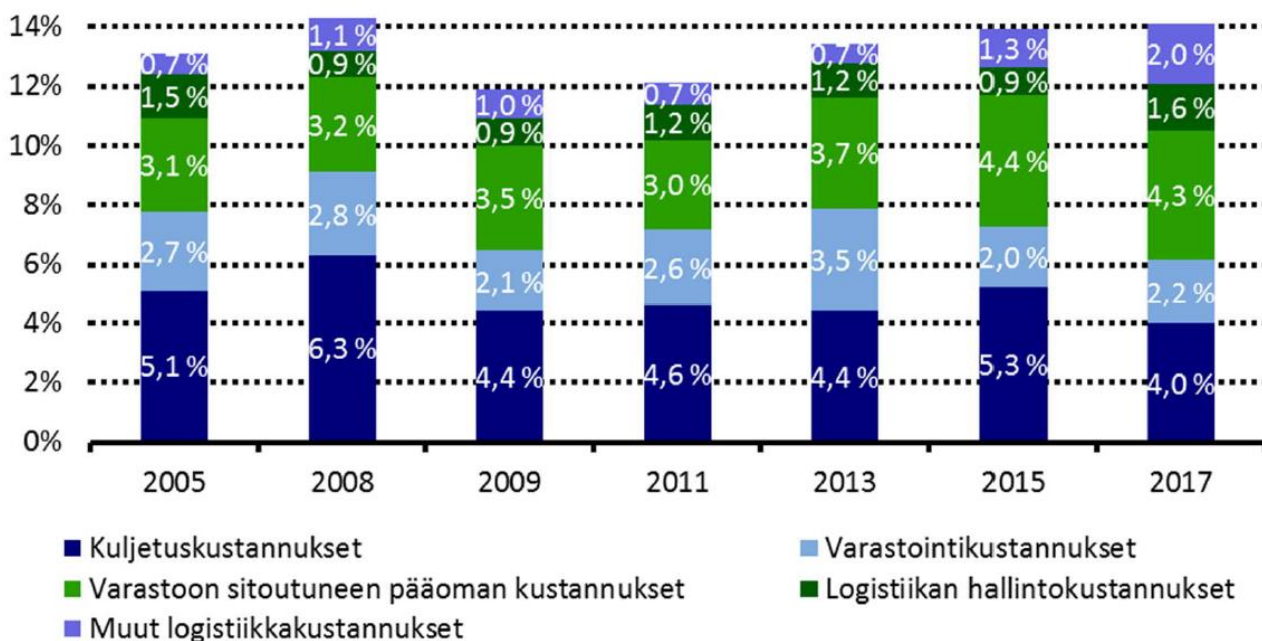
Tämä on erityisen tärkeää alihankintateollisuudessa toimiville yrityksille silloin kuin päämiesten tarpeet tai jopa päämiehet vaihtuvat. Täsmällisyys on hyvä erottaa logistiikassa nopeudesta: nopeutta tarvitaan yleensä, mutta tietyissä tilanteissa riittää hitaampikin toimitus, kun se on vain täsmällisesti oikeaan aikaan sovitussa paikassa (esim. kokoonpanolinjalla). Ja jos hitaampi, mutta oikea-aikainen toimitus riittää, se antaa runsaasti lisämahdollisuuksia oman toiminnan ja tuotannon organisoimiseen, joka kannattaa käyttää hyväksi mm. virtauksen ja kuormituksen tasaamisessa. Yleensä ongelmana tällaisten soveltamiselle on se, että asiakkaiden tarpeita ei ole yksilöity, vaan ne perustuvat olettamuksiin ja siten tuotannon organisoinnissa ei tehdä priorisointeja erilaisten asiakassegmenttien vaatimusten mukaan. Täsmällisyyden rinnalla voi arvioida myös ”virheettömyyttä”, jos ”laatu” halutaan nähdä tuotteen laatuna ja ”täsmällisyys & virheettömyys” toiminnan laatuna materiaalihallinnossa.



Kuva 2.3. Operaatiostrategian ulottuvuudet (vas). ja tuotannon organisointimahdollisuuksia (oik.)

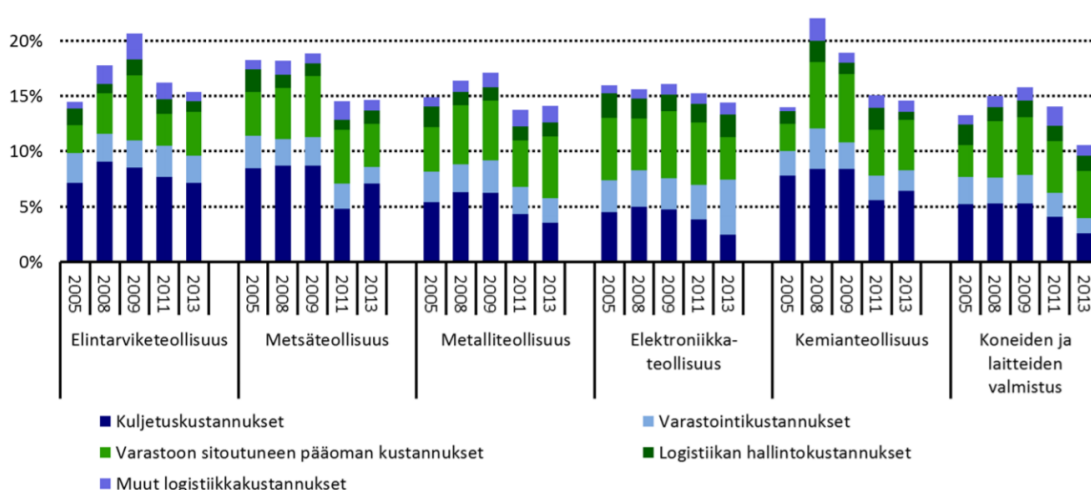
On huomattava, että operaatiostrategian vaatimukset ovat usein toisilleen vastakkaisia – ja siksi kunkin yrityksen on löydettävä niistä itselleen sopiva yhdistelmä. Esimerkiksi hyvää ja halpaa lienee mahdollista toimittaa, mutta ei nopeasti ja kannattavasti. Vastaavasti yritys voi toimia kannattavasti, mutta ei välttämättä myydä asiakasräätälöitäviä tuotteita edullisesti. Edelleen tuotantostrategiat MTS, ATO, ETO jne. voivat toimia niin, että osassa tuotteista toimitaan tietyllä strategialla ja toisissa muilla asiakastarpeen ja kysyntätilanteen mukaan.

Logistiikan kustannukset ovat merkittävä osa yritysten kokonaiskustannuksia – ja niitä pienentämällä kustannuskilpailukyky ja yrityksen voitto voisivat kasvaa merkittävästi. Tässä ei ole käytettävissä tarkempaa analyysiä yritysten tuotannon logistiikan kustannuksista siten, että siinä huomioitaisiin myös logistiikan laatukustannukset, joita esimerkiksi materiaalipuutteet voisivat aiheuttaa tuotannolle. Siksi tässä tyydytään yleiseen havaintoon (Solakivi ym 2018) siitä, että suomalaisten kaupan ja teollisuuden yritysten logistiikan kustannukset ovat noin 14% liikevaihdosta. Ehkä tämän raportin kannalta oleellista on havaita, että tuosta määrästä ”vain” 1/3 on kuljetuskustannuksia, jonka osuus vaihtelee jonkin verran mm. öljyn markkinahinnan muutosten mukaan, mutta loppuosa on sitten suurelta osin ”materiaalihallinnan” kustannuksia, kuten materiaalin käsittelyä (varastointi) tai pääomakustannuksia (varastoon sitoutunut raha). Koska yritysten liikevaihto on kasvanut, ja näiden kustannuskomponenttien osuus ei ole laskenut, voitaneen olettaa, että täällä ei ole tapahtunut merkittävää työn tuottavuuden paranemista, tai että kyse on merkittävästä ja jatkuvasta rakennemuutoksesta. Kyse on todennäköisesti jälkimmäisestä, mutta digitaalisten työvälineiden käyttöönotolla voidaan samalla ratkaista edellä olevaa.



Kuva 2.4. Kaupan ja teollisuuden yritysten logistiikkakustannukset suhteessa liikevaihtoon (Solakivi ym 2018).

Aiemmissa kansallisissa logistiikkaselvityksissä on eritelty kaupan ja teollisuuden lukuja erikseen. Nämä mittaukset pitävät sisällään omia haasteitaan, mutta tässä yhteydessä niitä voitaneen pitää luotettavimpina saatavilla olevina aineistoina. Vuonna 2014 suomalaisten teollisuusyritysten logistiikkakustannuksiksi arvioitiin €12MRD (Solakivi ym 2014). Tästä noin 40% (4,8MRD) oli kuljetuskustannuksia ja loppuosa varastointiin, pääomaan ja käsittelyyn liittyviä kulueriä. Kyseisissä aineistoissa on luokiteltu kustannuksia myös yrityskokoluokittain, toimintastrategioittain (MTS, ATO jne), mutta ehkä nämä ylätasen luvut ovat luotettavimpia aggregoituina kuin pienemmissä erissä. Joka tapauksessa tästä nostetaan esille yksi taulukko teollisuuden eri toimialojen mukaan: vaikka kustannuksia toimialojen välillä ja eri vuosina onkin olemassa, peruskuva on samankaltainen.



Kuva 2.5 Teollisuuden toimialojen logistiikkakustannusten rakenne v 2005-2013 (Solakivi ym 2018).

Edelleen on mielenkiintoista havaita, että Suomen teollisuuden logistiikkakustannus (n 12MRD euroa v. 2014) on noin 40% koko teollisuuden arvonlisäyksestä (Tilastokeskuksen mukaan vajaa 33 MRD euroa v. 2016; kirjoittajan lisäys). Logistiikan kokonaiskustannuksilla on siis erittäin suuri vaikutus kansantalouden tasolla ja suhteessa koko toimialaan.

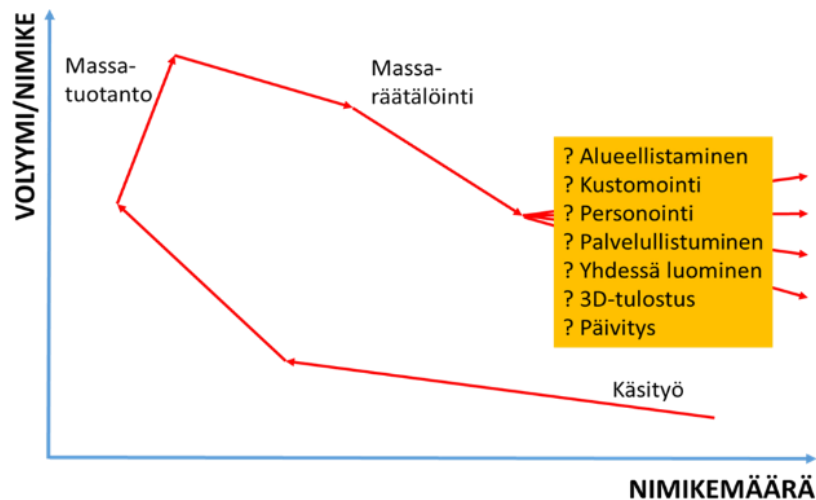
LIMOWA ry on aiemmin (Lahtinen 2015) kartoittanut tuottavuutta sisälogistiikassa lähinnä taustatietoina työhyvinvointia logistiikkakeskuksessa käsittelevässä selvityksessä (n=106). Kyselytutkimuksena tehdyissä mittauksissa logistiikan suorituskky nähtiin sinällään uskottavana mittarina yhdistellen mm. kustannuksia, nopeutta, joustavuutta ja täsmällisyyttä. Teollisuus- ja rakennusyritysten (n=20) suorituskky (pisteluku 21,3) oli alempi kuin vähittäis- ja tukkukaupan (n=36; 24,2) tai logistiikkayritysten (n=50; 23,6) ja teollisuustoimijoiden suorituskvyn vaihtelu oli myös merkittävästi suurempaa ($\sigma = 7,2$) kuin kaupan ja logistiikan ($\sigma = 3,0-3,6$). Ehkä voidaan ajatella niin, että teollisuudessa logistiikka ei ole yhtä tärkeä osa kilpailukykyä kuin kaupassa ja palveluissa, mutta toisaalta voitaneen myös ajatella, että teollisuudessa kehittämispotentiaalia on enemmän kuin noilla kahdella muulla toimialalla. Ja tässä raportissa on oleellista tunnistaa ne teollisuuden toimijat, jotka voisivat hyötyä logistiikan kehittämisestä uusien teknologioiden avulla ja siten parantaa kilpailukykyään. Käytettävissä olevilla teknologioilla ja toiminnan organisoinnilla nimittäin nähtiin myös korrelaatio logistiikan suorituskvyn kanssa. Saman selvityksen mukaan teollisuusyritysten logistiikkahenkilöstön työhyvinvointi on suunnilleen samalla tasolla kuin muilla kuin toimialoilla.

Jo aiemmin mainittu Iyer ym. (2009) konsepti "v4L" vetää omalla tavallaan hyvin yhteen logistiikan ja toimitusketjun tavoitteistoa maailmanluokan tuotannossa. Kirja on rakennettu kuvaamaan Toyotan soveltamia ratkaisua, mutta 4*V sopii hyvin myös meidän tutkimien olevien tuotantoyritys tavoitteille: Variety (kyky toteuttaa high mix / low volume), Velocity (nopeasti; tai jopa nopealla varaston ja pääoman kierrolla), Variability (vaihtelua halliten) siten, että koko toimitusputki on läpinäkyvä (Visibility). Viime mainittua käsitellään liitteessä 2 "toimitusketjuyhteistyön" nimissä, vaihtelun hallintaa alla luvussa 2.7, ja nopeutta läpimenoajan lyhentämisenä luvussa 2.6.

Koko raportin keskeinen oletus on tarpeesta tuottaa useita erilaisia tuotteita, ja siihen sukelletaan seuraavaksi "joustavuutena". L (Learning) tarkoittaa oppimista, jota tapahtuu, kun näitä asioita kehitetään systemaattisesti ja pitkäjänteisesti. 4*V:n hallintaan voidaan antaa vinkkeinä mm. työn standardisointi ja vakaaksi tunnetun teknologian käytön, jatkuvaan virtaukseen pyrkimisen, linjan pysäyttämisen ongelmien ilmetessä ja imuohjattu visuaalinen kontrolli, jossa työkuorman tasapainottaminen on helppoa. Nämä ovat melko lailla ylätasen ohjeita, mutta saanevat oman käytännön sisältönsä myöhemmin alla.

2.3 Joustavuuden 3 eri ulottuvuutta

Logistiikan operaatioissa on tunnistettu tarve vähintään kolmeen erityyppiseen joustavuuteen (Holweg 2005). Näitä ovat 1) volyymi, 2) tuote ja 3) prosessi. Ensimmäinen on meille kaikille tuttu ja tyyppinen kyky mukautua kysynnän vaihteluihin esimerkiksi tuotteen elinkaaren tai suhdanteen mukaan. Toinen liittyy suoraan useiden TUDissa mukana olevien yritysten "high mix" tarpeeseen, kykyyn räätälöidä tehokkaasti asiakkaiden tarvitsemat tuotteet. Mutta viimeinen on tavallaan kaikkein kiinnostavin: miten luomme joustavuutta tekemisen prosesseihin esimerkiksi tehtaan layoutin osalta siten, että siinä silti voidaan hyödyntää valmistusteknologioissa mittakaavaetuja, vaikka volyymit eivät riitäkään "liukuhihnaan" ja räätälöinti vaatii monimutkaista mukautumiskykyä? Myöhemmin uusien teknologioiden osuudessa tuodaan esille mm. nopeasti kehittyneet mobiilirobotit ja cobotit, jotka tuovat teknologiselta puolelta kokonaan uuden ratkaisukokonaisuuden joustavuuteen, kun perinteisesti automatisointi on aina nähty jäykkyytenä ja suuria volyymejä vaativana.



Kuva 2.6. Nimikemäärän ja nimikekohtaisen volyymin historiallinen kehitys ja nykyiset ajurit.

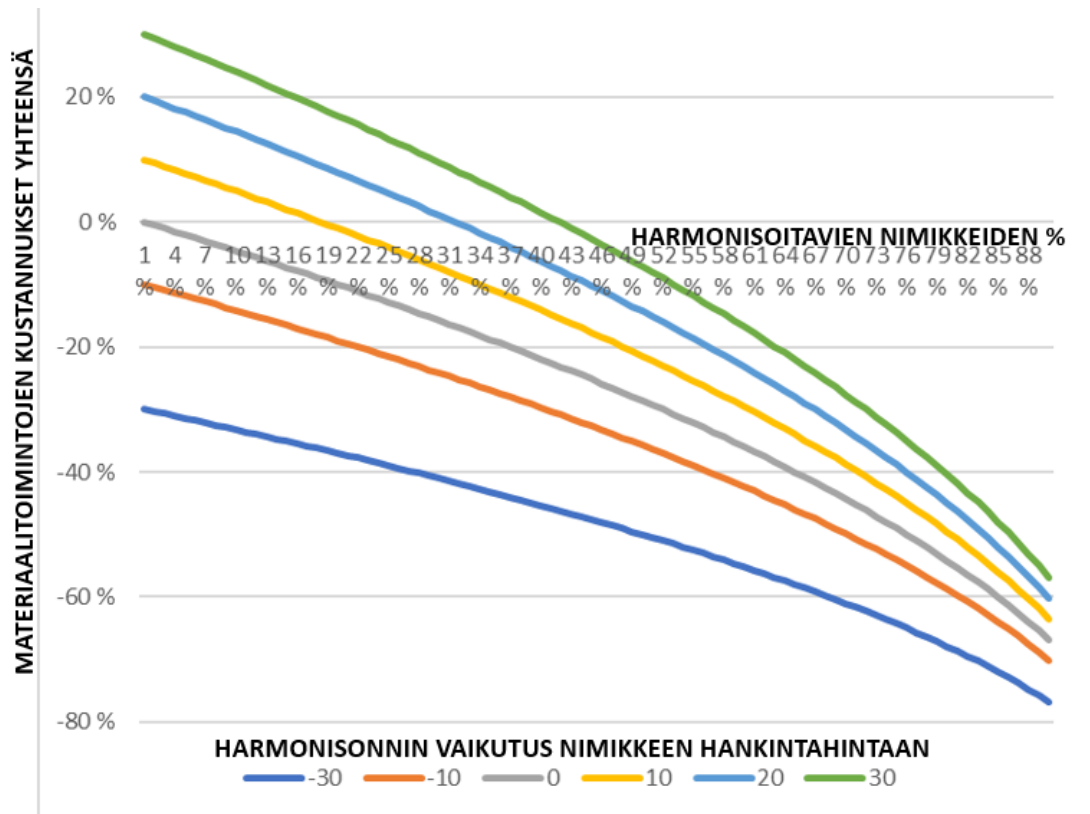
Vaikka nyt fokuksessa onkin materiaalivirran ohjaaminen tuotantolaitoksessa, tässä kohdassa on hyvä pohtia liityntää laajemmin liiketoiminnan kokonaisuuteen. Esimerkiksi tuotesuunnittelu on keskeinen osa useiden yritysten tuottamaa lisäarvoa, ja varsinkin nyt, kun puhutaan kyvystä räätälöidä asiakkaille erilaisia tuotteita, sen merkitys korostuu.

Edelleen suunnittelu liittyy voimakkaasti logistiikan kustannuksiin, vaikka yleensä sen ajatellaan vaikuttavan vain materiaalien ja tuotannon kustannuksiin. Logistiikan kustannukset ovat usein jopa yhtä suuret kuin muut valmistuksen kustannukset, joten tähän kohtaan kannattaa todellakin kiinnittää huomiota – erityisesti high mix / low volume tuotannossa, kun perusajatuksena on, että materiaalityökalujen kustannukset ovat suurelta osin riippuvaisia nimikemääristä.

Oheiseen kuvaan on poimittu muutama esimerkkikuvaaja logistiikan kokonaiskustannusten muutoksista, kun nimikkeistöä harmonisoidaan. Peruskäyrä on värjätty harmaaksi ja se kuvaa nykyisillä hankintahinnoilla tehtäviä komponenttiosastoja, kun nimikkeitä yhdistellään siten, että niiden kokonaismäärä vähenee tietyn %-määrän.

Esimerkki on rakennettu tuoteplatform -ajattelun pohjalta: siinä on vaihtoehtoisia käyriä sille, että komponentit ovat joko kalliimpia (parempia, monikäyttöisempiä) tai halvempia (volyymit per nimike kasvavat/mittakaavaetu; huom. alennus tai korotus on laskettu kaikille nimikkeille; ei vain harmonisoinnin kohteena oleville nimikkeille).

Kuvaajista voidaan päätellä, että jopa huomattavasti kalliimmatkin komponentit voisivat olla järkeviä, jos niiden avulla voidaan vähentää nimikkeistöä ja siten säästää logistiikan kustannuksissa. Komponentit saavat maksaa kokonaisuudessaan (huom. malli ei siis laske, että harmonisointi maksaisi vain harmonisoitavalle nimikkeelle enemmän, vaan tuoteplatformiin siirryttäessä kaikki nimikkeet olisivat kalliimpia) 10% enemmän, jos valikoimaa onnistutaan kaventamaan 20%, 20% enemmän 1/3 supistuksella ja 30% enemmän, jos valikoimaa voidaan supistaa 43%; näissä tapauksissa säästöt logistiikan kustannuksista peittävät materiaalien hankintahintojen nousun. Kokonaan toinen näkökulma on se, että harmonisointi nostaa volyymejä per hankittava nimike, ja mahdollistaa siten suuremman neuvotteluvoiman ja mittakaavaedut. Todennäköisesti monen komponentin hankintahinta laskisi tällaisessa konsolidoinnissa.



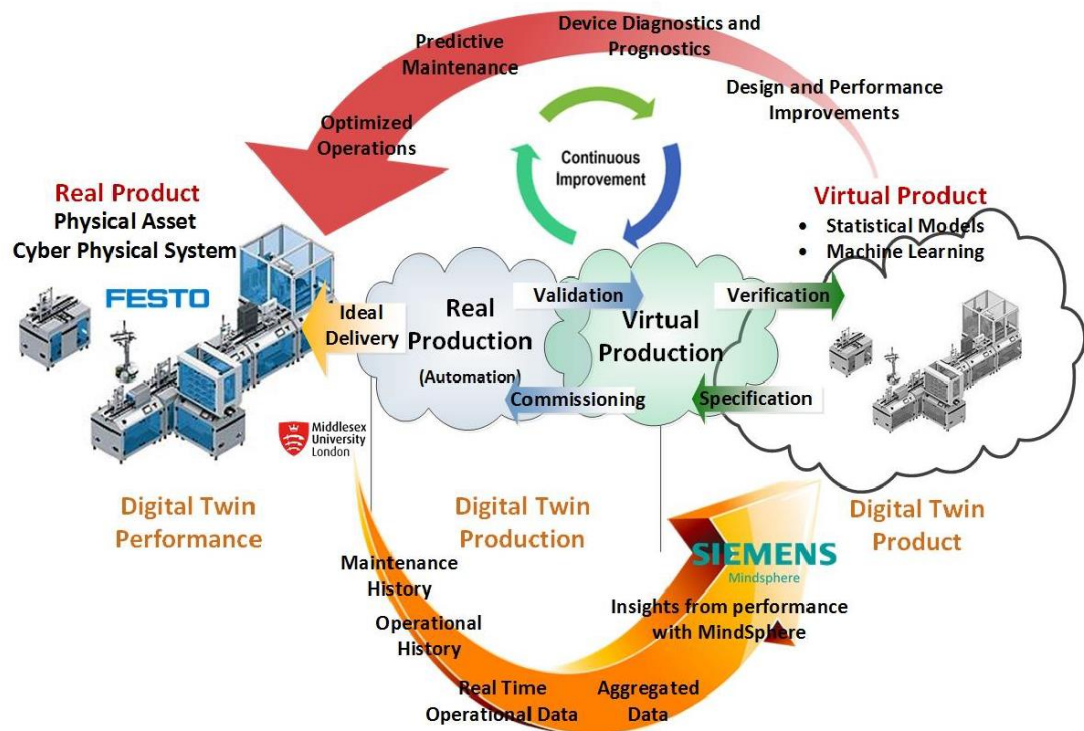
Kuva 2.7. Nimikemäärän vähentämisen vaikutukset logistiikan kustannuksiin.

Edellä oleva laskenta ei ota huomioon digitalisoinnin vaikutuksia. Meidän on kuitenkin hyvä kvantifioida myös muita saavutettavissa olevia etuja ja verrata niitä digitalisoinnista saatavissa oleviin hyötyihin. Lisäksi on hyvä havaita, että mallinnus koskee vain materiaalityötoimintojen kustannuksia: jos tuotealustat otetaan laajemmin käyttöön ja niihin asennettavia nimikkeitä harmonisoidaan, tämä voi antaa kokonaan uusia mahdollisuuksia mekanisoinnin tai jopa automatisoinnin ja robotisoinnin saralla.

Suunnittelussa on käytössä digitaaliset työvälineet, mutta saadaanko sieltä selvät ja riittävät ohjeet hankinnoille ja tuotantoon? Onko suunnittelussa osattu ottaa huomioon tarvittavat osat ja isommat kokonaisuudet ja esimerkiksi standardisoinnin ja harmonisoinnin mahdollisuudet, jotta tuotanto ja sen materiaalityötoiminto ovat sujuvia? Suunnittelussa voidaan ylläpitää ”digital twinejä”, jotka mahdollistavat taas uusien replikaatioiden tekemisen, mutta ennen kaikkea jälkimarkkinatoimenpiteet niiden vaatimien varaosineen.

Digital Twin ”digitaalinen kaksonen” on yleistynyt kielenkäytössä alalla nopeasti. Tässä yhteydessä tarkastellaan erityisesti tuotannossa valmistettavia tuotteita ja niitä varten ohjattavia materiaaleja. Digital Twin voi olla myös laajempi käsite, jossa esimerkiksi tuotantolinjaa ja toimintamallia tarkkaillaan digitaalisten kaksosten avulla. Tarvittaessa voidaan palata myös aiempaan hyväksi havaittuun ratkaisuun ja toimintamalliin näppärästi.

Uutena käsitteenä ja konseptina digitaalista kaksosta koskeva kirjallisuus ei ole ehkä vielä täysin järjestynyttä tai luokiteltavissa, mutta konferenssipapereita on jo saatavilla merkittäviä määriä. Yksi sellainen, tämänkin lukijoita kiinnostava, saattaisi olla Raza ym. (2020), joka käsittelee Feston ”kyberfyysistä järjestelmää”.



Kuva 2.8. Feston tuotantolinjan ja valmistettavan tuotteen digitaalisen kaksosen viitekehys (Raza ym 2020)

Tämä tuoteräätälöinti kytkeytyy tiiviisti myös seuraavaan alalukuun ”laatu vs. määrä”. Kun lähdetään tekemään erittäin pieniä määriä yksittäistä tuotetta, kuinka varmistumme toiminnan laadusta samanaikaisesti? Ja varsinkin silloin, jos erilaisia tuotteita tehdään erilaisilla tuotannon prosesseilla, jolloin tekijöillä ei synny riittävä rutiinia ja perinteiset ohjaus- ja johtamisratkaisut eivät toimi? Näissä tilanteissa oikea käsitys saatavilla olevista digitaalisista työvälineistä voi auttaa pitämään ”paketin kasassa”.

Perinteisesti yritykset ovat rakentaneet logistiikkaan joustavuutta myös ulkoistamisella. Sitä ei tarkastella tässä kohdassa omana rakennevaihtoehtonaan, mutta luonnollisesti yritysten kannattaa arvioida sen soveltuvuutta ja järkevyyttä. Ja edelleen, jos ulkoistaminen kytketään prosessien virtaviivaistamiseen, sopivaan työnjakoon asennuksen ja logistiikan välillä sekä saadaan digitalisaation tuki muille parannuksille (esim. virheettömyys ja täsmällisyys), ulkoistuksen tuomat hyödyt voivat olla erittäin merkittäviä. Mutta jotta nämä hyödyt saavutettaisiin, perusasiat pitää olla siinäkin tapauksessa kunnossa, muuten hyöty valuu palveluntarjoajalle mehukkaisiin katteisiin.

2.4 Laatu vs. määrä?

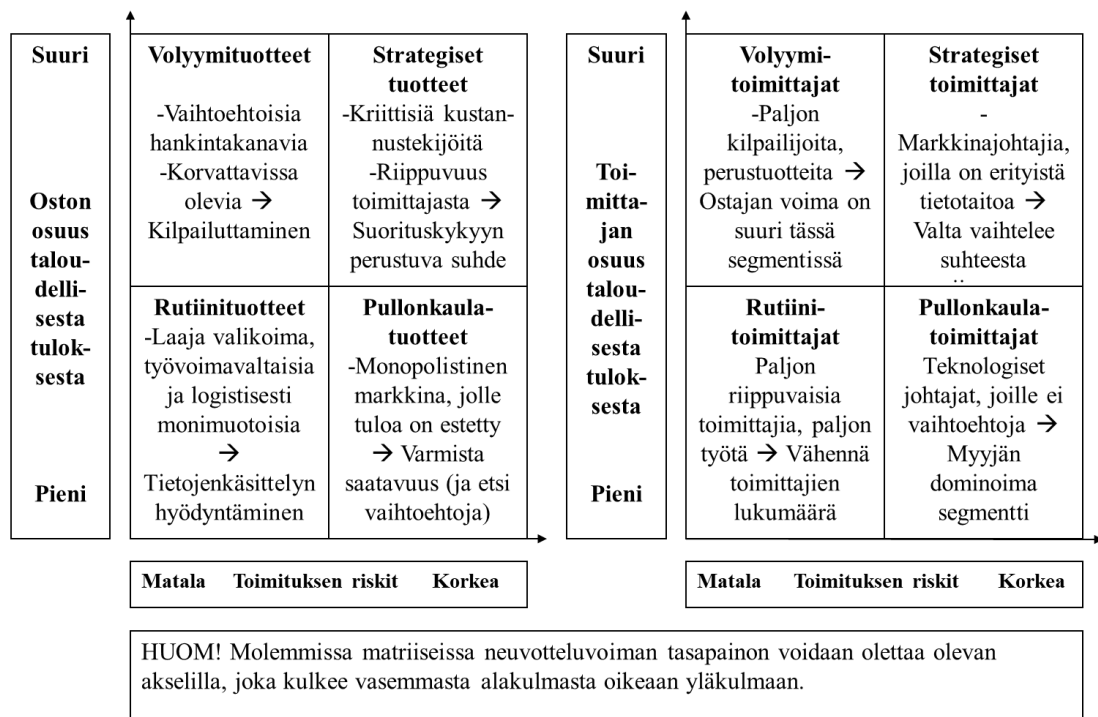
Tässä raportissa keskitytään materiaalivirran ohjauksen osalta suurelta osin keskustelemaan oikeista ”määristä”, joilla nimikkeitä ohjataan ja siten materiaalia siirrellään. Tämä on kuitenkin tavallaan alakäsite sille, että toiminnan laatu on kunnossa. Ja tässä yhteydessä se kulminoituu erityisesti toiminnan/varaston/tuotannonohjausjärjestelmien sisältämään informaatioon esimerkiksi tuoterakenteissa, tilauserissä ja varastosaldoissa. Jotta määriä voidaan täsmällisesti ohjata oikein, vaatimuksena on täsmällinen ja viiveetön informaatio. Usein tämä vaatimus esitetään toimitusketjussa organisaatorajojen yli. Se vaatii vahvan luottamuksen lisäksi myös tietojärjestelmiltä kyvykkyyttä.

Hyvä lähtökohta onkin laittaa nämä perusasiat kuntoon oman yrityksen sisällä. Hyvätkään järjestelmät eivät auta, jos niitä ei käytetä kurinalaisesti oikein esimerkiksi kuittaamalla varastoon syötöt ja otot sekä tehtävät. Hyvä logistiikka on hyvää tiedonhallintaa. Tämä taas vaatii selvät yksilöinnit, tunnisteet ja niiden huolellisen soveltamisen (esim. automaattinen tunnistus ja reaaliaikainen paikannus) sekä tämän tiedon jakamisen sitä tarvitseville.

Kun tietopohja on kunnossa, voidaan keskittyä määrien ohjaamiseen. Esimerkiksi yksittäiselle nimikkeelle tämä voi tarkoittaa 1) saldoseurantajakson valintaa (jatkuva vai jaksottainen saldoseuranta), 2) tilauspisteen määrittelyä ja 3) hankintaeräkokoa. Kun nimikemäärät kasvavat, on luonnollista käyttää apuna tietojärjestelmään kytkeytyvää erillistä ”optimointiohjelmistoa”. Liitteessä 1 käydään joitakin yleisiä laskentamalleja läpi sille, kuinka materiaalihallinnan ”määrät” voidaan ratkaista.

Materiaalinohjaus perustuu ennusteeseen kunkin kokoonpanossa tarvittavan nimikkeen kysynnästä. Hankintojen kehittäminen ymmärretään nykyään laajemmin kuin pelkästään roolina varmistaa tuotannon tarvitsemat materiaalit; siihen kuuluvat myös toimitusketjun ja kumppanien kehittäminen monella tapaa. Tässä alaluvussa voidaan kuitenkin ajatella, että hankinta on vastuussa ”määrästä”, jolla nimikkeitä pidetään varastossa ja ajankohdasta, jolloin sitä tilataan lisää sekä edelleen eräkoosta, jolla hankinta tapahtuu. Kokonaisuus rakentuu kuitenkin ennusteen päälle siitä, miten nimikkeitä tarvitaan. Koska tässä raportissa oletetaan asiakkaiden vaatimusten olevan hyvin yksilöllisiä ja monipuolisia, kaikkia nimikkeitä ei voitane varastoida ”varmuuden vuoksi”, vaan tuotannon vaatima tilaus-toimitusviive (production-delivery lead time) on kohtuullinen ATO (Assemble-to-order) -tuotannossa, mikä mahdollistaa joidenkin komponenttien täydentämisen alihankkijoilta tuotantoa valmisteltaessa. Useiden nimikkeiden kohdalla joudutaan kuitenkin turvautumaan ennusteisiin. Luvussa 6.3 esitellään yhtä konkreettista käytännön vaihtoehtoa materiaalien ohjaustarpeiden valintaan.

Ennen nimiketasolle menemistä voisi ryhmitellä toimittajia perinteisellä Kraljicin (1983) matriisilla. Se auttaa myös hahmottamaan laajemmassa kuvassa tehtaan logistiikan kehittämistarpeita: millaisilla suhteilla kussakin toimittajakategoriassa operoidaan. Seuraavassa kuvassa matriisia on sovellettu sekä nimike- (vas) että toimittajatasolla (oik.). Ja muutenkin kokoonpanotehtaan materiaalitoimintojen kehittämisessä kannattaa ottaa huomioon hankintatoimen yleisiä kehityslinjoja. Joitakin näistä on kerätty liitteisiin 3 ja 4, joista ensimmäinen sopii itse asiassa suoraan tässä esitetyn salkkumallin käytännön tulkintaan ja voi auttaa tämän soveltamisessa käytäntöön.



Kuva 2.9. Kraljicin matriisi kommenteilla lisättyinä.

Litteessä 1 esitetyt kaavoja tulkittaessa on hyvä hahmottaa, että ne on esitetty nimikkeille, jotka eivät ole toisistaan riippuvaisia – ja joiden kysynnän ennustetaan olevan normaalijakautunutta. Lisäksi laskentakaavat pätevät yksittäisille nimikkeille yksittäisessä toimitusketjun pisteessä. Käytännössä yrityksen nimikkeet voivat olla toisistaan riippuvaisia – ja optimointi pitää tehdä toimitusketjun peräkkäisissä pisteissä yhdessä. Tässä yhteydessä esitetyillä ratkaisuilla yritys pääsee kuitenkin alkuun, ja käytännön laskenta voidaan siirtää tietokoneille, kun järjestelmät ja niiden sisältämä data ovat kunnossa – ja tekijät ymmärtävät varastojen ja nimikkeiden käyttäytymisen sekä käytettävissä olevat laskentakaavat.

Kämpfer ym. (2020) puolestaan nostavat esille yrityksen itse tuottaman tuoteportfolion säännöllisen tarkastelun tarpeen. Jatkuvasti kasvava räätälöinti johtaa lopulta äärettömään määrään erilaisia variaatioita. Tuoteportfolion ylläpitoon tarvitaan rahoituksellisen ja kaupallisen näkökulman lisäksi myös logistiikan perspektiivi. Varmaan vähintä mitä tehtaan sisälogistiikan näkökulmasta kannattaa tehdä, on valmistuksessa käytettävien nimikkeiden harmonisointi ja sitä kautta vaihtelun hallinta. Tämä tosin vaatii usein yhteistyötä useiden eri osastojen kanssa (aina myynnistä ja tuotesuunnittelusta alkaen).

Ja ehkä me annamme liikaa periksi ja siimaa asiakkaille siinä, että asiakas vaatii räätälöintiä niin paljon. Tätäkin voisi rationalisoida esim tuotealustoihin ja moduleihin, jolloin tekemiseen saadaan jossakin määrin mittakaavaetuja.

Materiaalinohjauksen lisäksi on tietysti päätettävä, kuinka suurissa erissä lopputuotteita valmistetaan. Käytännössä asiakasräätälöinti voi olla niin voimakasta, että yritykset ovat menossa kohti eräkokoa 1. Mutta jos tuotteita voi valmistaa erissä, yrityksen tulee pohtia tuotantostrategiaansa, minkä kokoisissa erissä niitä tuotetaan. Jos tuotantoa tasautetaan, jotta resursseja voidaan käyttää jatkuvasti samalla käyttöasteella kysynnän vaihdellessa, erotus pitää kattaa esimerkiksi varastoa kasvattamalla tai pienentämällä kysyntätilanteen mukaan. Yritys voi tietysti pitää vaihtoehtoisesti varastot pieninä ja reagoida tuotannon volyymillä kysyntään. Tällöin tuotannon tehokkuus ei yleensä ole niin hyvä kuin tasaisessa tuotannossa, mutta vastaavasti varastokustannukset ja riskit ovat pienemmät – ja toiminta on ehkä muutenkin asiakaslähtoisempää.

2.5 Lean vs. JIT/JIS/JIR vs. digi

Yritysten kiinnostus Leaniin on taas kasvanut. Lean käväisi esillä Suomessa 1990-luvun puolivälin jälkeen, mutta jäi jollain tapaa unohduksiin, kunnes finanssikriisin jälkeen yritykset lähtivät hakemaan uusia tapoja toimia. Sen jälkeen Lean on ollut jatkuvasti esillä ja vähitellen siitä alkaa olemaan kokemuksia jaettavaksikin myös materiaalitoimintojen osalta.

Perusperiaatteena voitaneen sanoa, että Leanissa pyritään poistamaan hukkaa. Vielä Leaniakin laajemmassa kuvassa voitaisiin väittää, että varastot ovat itsessään turhia. Varastossa oleva tavara ei tuo lisäarvoa, mutta se aiheuttaa kustannuksia. Hukka voidaan nähdä Leanissa eri tasoilla, joista tässä käsitellään ”turhaa tekemistä” (Muda), kun alaluvussa 2.7 ”vaihtelun hallinta” mennään vielä syvemmälle tarkastelemaan tarpeetonta resurssien käyttöä vakauttamalla tuotantoa. Varsinaisiin varasto- ja materiaalinkäsittelytoimintoihin on nimetty useita erilaisia hukan lähteitä (esimerkkeineen), joista pitäisi päästä eroon, joita on lueteltu seuraavasti:

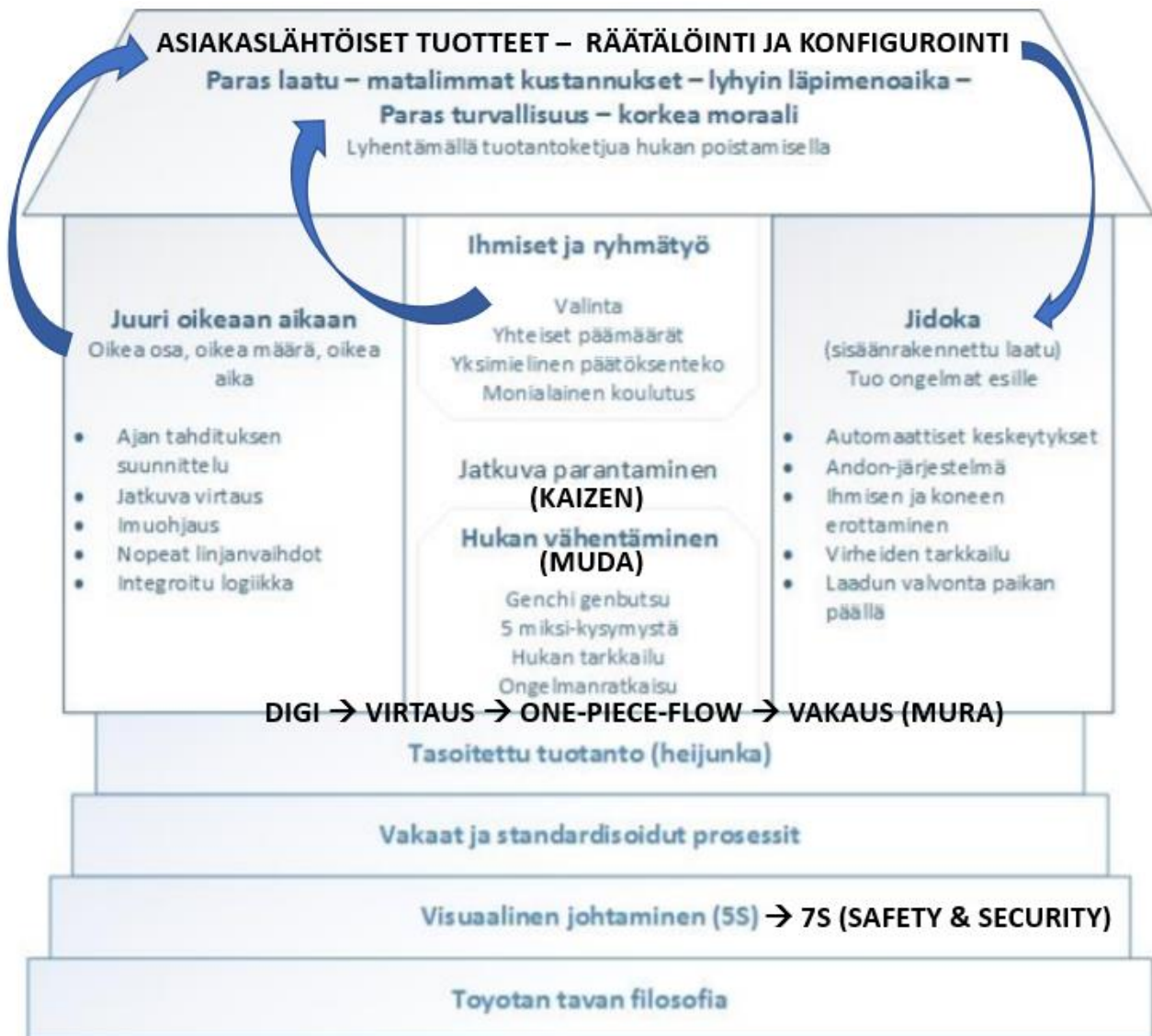
- Kuljetukset (tyhjällä trukilla ajaminen)
- Virheet (keräilyvirheiden korjaamiseen kuluva aika)
- Turha vaihto-omaisuus (vastaanoton ja lähettämön ruuhkautuminen)
- Turha liike (häiritään siirtämisiä)
- Odotusajat (pullonkaulat keräilypisteillä; ”mikä estää kokoonpanijaa tekemästä työtään?”)
- Ylituotanto (pidetään liian suuria varastoja)
- Yliprosessointi (tarpeettomat tarkastukset ja merkinnät)
- Ylisuunnittelu (prosessin seuranta)
- Työntekijöiden luovuuden ja osaamisen käyttämättä jättäminen

Pasila (2019) on jaotellut hukkaa (rakennustyömailla tapahtuvissa) asennuksissa vielä siten, että näemme hukan tyypit suhteessa varsinaiseen lisäarvoa tuottavaan työhön (Kuva 2.10). Lisäarvoa tuottava työ vaatii myös tukevia toimintoja, kuten valmisteluja, mittauksia ja raportointia. Mutta työmailla tehdään paljon myös lisäarvoa tuottamatonta kokonaan tarpeetonta työtä, kuten korjaamista, materiaalien etsimistä, tarpeetonta siirtelyä jne. Sinällään on mielenkiintoista nähdä, että rakentamisessa on nyt lähdetty pureutumaan samankaltaisiin teemoihin Building 2030 -hankkeessa kuin meillä on nyt valmistavassa teollisuudessa käsillä.



Kuva 2.10. Hukka suhteessa lisäarvoa tuottavaan työhön (Pasila 2019; suomenkielinen kuva Building2030-hankkeen raportista 2020).

Kuvaan 2.11 alle on koottu "Toyotan tuotantojärjestelmää kuvaava Lean-talo". Sitä on hieman täydennetty vielä omilla kommentteilla ja tämän teoksen kannalta kiinnostavilla asioilla. Perusrakenne pitäisi edelleen pystyä ottamaan huomioon raportin loppuosassa, miten tällainen "tulevaisuuden tehdas" toteutetaan nykyaikaisilla digivälineillä? Talo kuitenkin rakennetaan perustuksista alkaen – ja tämä pitää muistaa myös digiaikana.



Kuva 2.11. Toyota Production System & "Lean talo". (muokattu Liker 2010 pohjalta)

Tämä raportti ei mene sen syvemmälle ergonomiaan, mutta muistuttaa kuitenkin alla olevalla kuvalla 2.12 asian tärkeydestä, vaikka fokus onkin nyt materiaalivirtojen puolella. On hienoa myös nähdä se, että useissa yrityksissä nämä ja muut osittain henkilökuntaan liittyvät teemat on koettu erittäin tärkeiksi "tehdasta digitalisoitaessa".



Kuva 2.12. Lean Factory konsepti CEMAT -messuilla, jossa painotettiin erityisesti työpisteiden visuaalisuutta ja ergonomisuutta.

Missä näistä digitalisaatio voi avustaa merkittävästi? Kohteita on varmasti runsaasti esim. tarpeettoman etsimisen vähentämisessä (yksilöinti, tunnistaminen ja paikantaminen). Edelleen on voimassa kokonaisuuden ymmärtäminen: mihin liiketoiminnalla varsinaisesti pyritään? Esimerkiksi tuotantovolyymin tulee olla suhteessa kysyntään ja strategiaan tavoitteisiin, käytössä olevat järjestelmät mahdollistavat laadukkaan toiminnan (tarpeettomien tarkastusten välttäminen) ja ohjaustratkaisuilla voidaan optimoida tekemistä ja välttää turhaa ajoa, tekemisen keskeytymistä tai ruuhkautumista tiettyihin työvaiheisiin. Edelleen on hahmotettu JIT:sta kehittyneempiä ratkaisuja, kuten JIS (Just-in-sequence) tai JIR (Just-in-Real-Time) (ks. Bozkurt ym 2020), joissa materiaalitoimituksia täsmätetään vielä paremmin varsinaiseen tuotannon tahdistukseen.

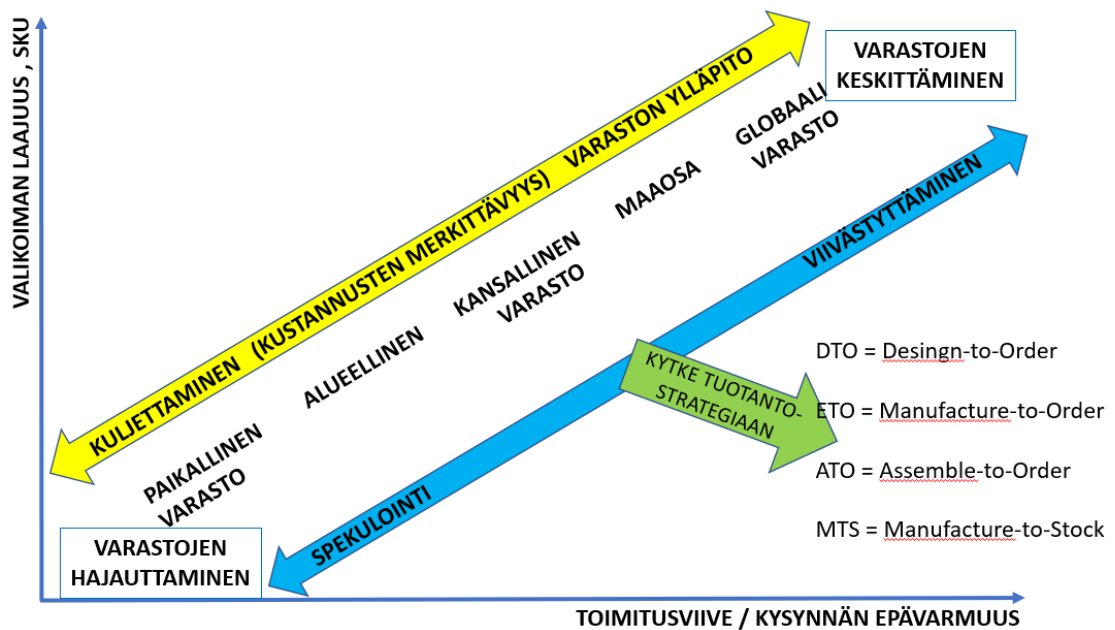
Aiemmin havaittiin, että yritykset siirsivät varastoja alihankkijoilleen ja jakelijoilleen, mutta nyt voitaneen nähdä, että 1990- ja 2000- luvun alun varastojen kokonaismäärän lasku on pysähtynyt ja ennemminkin palautunut. Tällaisen tulkintaan voidaan päätyä, kun tarkastellaan kaikkien varastojen suhdetta liiketoiminnan volyymiin yhdysvaltalaisessa kokonaisaineistossa (Kuva 2.13). Taloustaantumissa varastot ovat kasvaneet hyppäyksenomaisesti, kun bisnes on sulanut alta, mutta viimeisimmän pitkän finanssikriisin jälkeisen nousukauden varastojen kasvua ei voine selittää teknologian puutteella – vaan ennemminkin yksilöllisyydellä ja yhä kasvavilla tarpeilla (eli nimikemäärien kasvulla; oletuksena on silti, että varaston arvo per nimike olisi laskenut tietotekniikan käytön edistyessä). FEDin ohjaukorkokkaan ei ole niin korkealla kuin tavallisesti, mutta sitä kuitenkin nostettiin välillä merkittävästi – ja toisaalta aiemminkin alhaisen korkotason markkinassa varastotasot ovat jatkaneet laskuaan. Ehkä tässä voidaan lopputulemana todeta, että varastoihin pitää löytää tasapaino: pienempi varastotaso on parempi, mutta se ei saa häiritä liiketoiminnan toteutumista eli asiakastoimitusten estymistä ja sitä kautta rahan saamista.



Kuva 2.13. Varastojen suhde yritysten liikevaihtoon Yhdysvalloissa 1992-2020 (st.louisfred.org).

Etenevätkö yritykset nollavarastoihin – vai kannattaako hankkia suuremmissa erissä mittakaavaetujen saavuttamiseksi? Kysymykseen ei liene ole yksiselitteistä ja helppoa vastausta, mutta nykyisin yritykset osaavat tarkastella laajempaa kokonaisuutta. Keskeinen työväline varastojen pienentämiseen on toimitusaikojen lyhentäminen: mitä lähempää ja nopeammin materiaaleja saa, sitä vähemmän puskureita tarvitaan. Tähän voi tietysti ottaa avuksi myös parempaa kumppanuutta materiaalitoimittajien kanssa ja sopivaa teknologiaa. Läpimenoaikojen lyhentämistä käsitellään laajemmin seuraavassa alaluvussa. Toisaalta tuotannon virtauksen maksimoimiseksi voi olla järkevä pitää pientä puskurivarastoa pullonkaularesurssien edellä nk. kapeikkoajattelun (TOC = Theory of Constraints ~ tuotannon maksimi voidaan saavuttaa, kun pullonkaularesurssi toimii maksimikapasiteetillaan; kansan kielellä: ketjun on vain niin vahva kuin sen heikoin lenkki). Eli Leanin hengessä voidaan edetä kohti nollavarastoja, mutta ei liian jääräpäisesti; pitää tunnistaa, millä kohdalla varaston pitäminen on järkevää.

Lahtinen (2015) on esitellyt varastojen keskittämistä tai hajauttamista oheisen viitekehyksen mukaan. Kuljetuksia tai varastoja ei optimoida toimitusketjussa yksinään, vaan niitä tulee kyetä katsomaan kokonaisuutena. Tämä on tietysti luontevaa, kun ottaa huomioon kuvan 2.4 mukaan sen, että logistiikan kustannuksia ovat muutkin kuin kuljetuskustannukset – ja itse asiassa niin varastoon sitoutuneen pääoman kuin fyysisten varastokustannusten (tilat, koneet, henkilöstö ~ materiaalinkäsittelytyö) merkitys on suuri. Alla olevassa mallissa tasapainotetaan kuljetus ja varaston ylläpidon kustannusta. Kun kuljetuskustannus on suuri, varastoja hajautetaan spekulointistrategialla (push) lähelle asiakkaita – ja jos varastointikustannus on määrävä tekijä, varastoja keskitetään – ja usein toiminnassa sovelletaan nk. viivästyttämisstrategiaa (postponement). Varastointikustannus usein kasvaa, kun nimikemäärä (SKU = Stock-Keeping-Unit) on suuri. Keskittämiseen ja hajauttamiseen vaikuttaa tietysti myös asiakkaan hyväksymä tilaus-toimitusviive (Lead Time) ja kysynnän epävarmuus.



Kuva 2.14. Varastojen sijoittuminen toimitusketjussa (ja sovellettava tuotantostrategia).

Spekulaatio- vs. viivästyttämisstrategian voi siirtää myös tuotannon viitekehukseen tuotantomallista: onko kyseessä varastoon valmistaminen (MTS = Make-To-Stock) vai onko tuotannon ja tilauksen yhdistymispiste (OPP = Order Penetration Point; coupling point) myöhemmin esim. ATO (Assemble-To-Order) tai muuna toimintana (jopa ETO/DTO). Varastojen keskittämistä ja spekulointi- vs. viivästyttämisstrategiaa suurilla nimikemäärillä on tarkasteltu liitteessä 1 yksinkertaisina matemaattisina malleina.

Materiaali, kone vs henkilöstö. Jos yritys luopuu kokonaan varastosta, riskinä on, että kapasiteetin käyttöaste laskee materiaalipuutteiden takia, ja siten koneet ja henkilöstö odottelevat ja ovat vajaakäytöllä. Tämän raportin yksi keskeinen ajatus on eteneminen nk. one-piece-flow:n ja siitä saatavat hyödyt. Silloin ollaan aika lähellä JIT toimintamallia. Kuitenkin yritysten kannattaa katsoa kokonaisuutta laajemmin: esimerkiksi materiaalinohjausratkaisujen valinta ja sopivassa kohdassa oleva varastopuskuri kapeikkoajattelun (Theory of Constraint) mukaan voi olla järkevä ratkaisu. TUDI-foorumilla onkin ollut esillä käsite ”plan for every part” eli digitalisoituvassa tuotannossa kaikelle materiaalitoiminnoissa liikkuville osille on selvä suunnitelma mihin se tullaan käyttämään.

Roessler & Haschemi (2019) ovat soveltaneet kehittämänsä viitekehystä automatisoinnin ja digitalisoinnin tason ymmärtämiseen älykkäässä tehtaassa. Heidän mallissaan on 12 pääkategoriaa, joista 7 liittyy melko suoraan Leaniin (keltaisella) ja 5 digitaalisuuteen (sinisellä alla olevassa kuvassa 2.15). Vaikka tämän luvun otsikko olikin lean vs. digi vs. JIT, niitä ei ehkä kannata liiaksi erottaa toisistaan – tai tehdä toisilleen vastakkaisiksi, vaan ehkä tulevaisuuden älykäs tehdas onkin juuri sitä, että siinä osataan yhdistää Lean ja digiratkaisut. Näkisinkin esimerkiksi alla olevista ”varastonhallinnan ja keskeneräisin tuotannon” olevan suoraan digitalisaatiolla hallittava asia. Samoin tuote- ja materiaaliavirrat, visuaalinen johtaminen ja ongelmanratkaisu voivat saada paljon apua digitalisaatiosta.

Turvallisuus, ympäristö, siisteys & järjestys	Visuaalisen johtamisen hyödyntäminen	Tuote- ja materiaali-virrat, tilankäyttö
Johtamiskulttuuri ja lattiatason johtaminen	Välineistö, työkalut ja kunnossapito	Laatujärjestelmä & ongelmanratkaisu
Varastonhallinta ja keskeneräinen tuotanto	Digitalisointi	Automatisointi (prosessi- ja informaatio)
Reaaliaikainen kyvykkyys ja paikallinen älykkyys	Vertikaalinen ja horisontaalinen integraatio	Älykkäät tuotteet

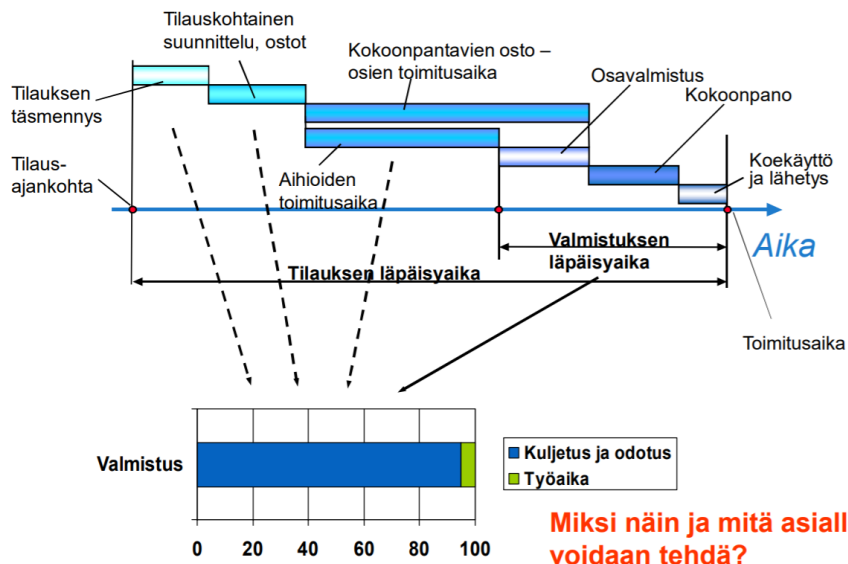
Kuva 2.15. Viitekehys kyvykkyysien arviointiin tulevaisuuden tehtaassa.

Roesslerin ja Haschemin (2019) artikkeli on siitä erinomainen ensimmäisen vaiheen yhteenveto toimintaympäristön auditoinnin osalta, ja sen keskeiset ajatukset ovat varmasti monella tapaa sovellettavissa myös suomalaisissa teollisuusyrityksissä vastaavissa tilanteissa: vaikka nyt puhumme teollisuuden digitaalisesta uudistumisesta, emme ole sokeita muullekaan kehityksellä; siellä missä Leania voidaan järkevästi soveltaa nyt digitaalisten työvälineiden aikakautena, saavutetaan mahdollisesti uudella tapaa tehokkuutta ja joustavuutta (ts. älykäs tehdas).

Luvun lopputulemana voidaan nähdä samanlainen yhteenveto kuin Bittencourt ym (2019): Lean on merkittävä askel toimintojen haltuun ottamiseen ennen digitalisointia. Tehottoman prosessin automatisointi ei tee prosessista tehokasta! Eli me emme aseta tässä enää Leania ja digitalisaatiota toistensa vastakohdiksi, vaan toisiaan täydentäviksi. Bortolotti ym. (2012) totesivatkin: Lean ensin, sitten automaatio.

2.6 Läpimenoaikojen lyhentäminen

Asiakkaat tarvitsevat tuotteet usein nopeasti. Aina tilanne ei ole kuitenkaan niin, vaan todellinen asiakkaan hyväksymä toimitusaika on hyvä ymmärtää selkeästi, koska se vaikuttaa koko tuotannon organisointiin, hankintoihin ja materiaalitoimintoihin. Usein asiakaskohtaisesti räätälöidyissä ratkaisuissa hyväksytään pidempi toimitusaika kuin massatuotteissa. Siksi niitä valmistetaan erilaisella tuotantostrategialla (esim. ATO tai jopa DTO vs. MTS = Manufacture-to-Stock, varastoon valmistaminen). Kun tarkastellaan yritysten tilaus-toimitusprosessien läpimenoaikoja, havaitaan vain pienen osa ajasta kuluva lisäarvoa luovaan toimintaan, kun valtaosa muusta ajasta on puhdasta odottelua. Teoriatasolla läpimenoaikoja voisi siis lyhentää merkittävästi.



Kuva 2.16. Tyypillisestä läpimenoajasta suuri osa on odotusaikaa ja vain pieni osa lisäarvoa tuovaa tekemistä.

Mason-Jones & Towill (1999) ovat tehneet hyvän koosteen läpimenoaikojen lyhentämisestä toimitusketjuissa. Johdantotekstissä he viittaavat (nyt jo hyvin vanhoilta vaikuttaviin tutkimuksiin) läpimenoajan merkityksestä yrityksen suorituskyvylle. Eräissä selvityksessä käytettävissä olevat teknologiat ja tietojärjestelmät, tehtaiden taso ja sijainti, henkilöstön järjestäytyminen jne. eivät selittäneet tilastollisesti merkittävästi suorituskykyä.; siihen pystyi ainoastaan NOPEUS.

Tuossa yli 20v vanhassa tutkimuksessa he totesivat toimitusketjun tiedonhallinnan (tiedon jakamisen), irrallisten siilojen purkamisen ja materiaalivirtojen toimitusaikojen lyhentämisen kaikkein vaikuttavimmiksi tekijöiksi niin yksittäisen yrityksen kuin koko toimitusketjun suorituskyvyllekin. Helpoimpana täytäntöön pantavina he näkevät siiloutumisen teknologisten esteiden purkamisen ja toimitusketjun tiedonjaon organisatoriset esteet. Suurimpina haasteina puolestaan asenteelliset kysymykset. Vaikka materiaalivirtojen toimitusviiveiden merkitys on suuri kaikkialla, he näkevät paljon esteitä sen kehittämiseen. Ehkä nyt digitaalisten työvälineiden aikakaudella tähän saadaan kätevästi uusia ratkaisuja siten, että myös läpimenoaikoja voidaan lyhentää – ja siten saavuttaa uudenlaista kilpailukykyä.

Toimitusketjuyhteistyötä käsitellään erikseen liitteessä 2 ja onnistuessaan se auttaa myös hallitsemaan seuraavassa alaluvussa selvitettävää vaihtelua tasaamalla nk. piiskavaikutusta.

Läpimenoajan voi yhdistää myös em. Leaniin: mikä estää kokoonpanijaa tekemästä työtään? Ovatko syynä materiaalipuutteet tai jokin muu virhe? Kehittyneissä tehtaissa on usein tilanne, jossa logistiikka ja tuotanto on eriytetty ja logistiikka palvelee tuotantoa. Työkalut ja materiaalit ovat kokoonpanijoiden saatavilla ja asennuskelpoisina jatkuvasti, jolloin työtä katkaisevia etsimisiä, tuotepuutteita tai virheen korjauksia on hyvin vähän. Tämä liittyy myös alla olevaan ”vaihtelun hallintaan. Tällöin virtaus on sujuvampaa ja läpimenoaika lyhyempi. Koko tuotantolaitosta silmällä pitäen voi ajatella myös nopeutta, jolla toimintaa kyetään mukauttamaan. Myöhemmin esitellään joustavuutta tukemaan esimerkiksi mobiilirobotteja ja co-botteja, mutta jo suunnitteluvaiheessa on hyvä käyttää digitaalisia työvälineitä nopeuttamaan näiden käyttöönottoa. Alaluvuissa 5.5.3 ja 5.5.4 käsitellään tahtiaikaa tuotannossa; siinä ei ole kyse varsinaisesti nopeuttamisesta, vaan tuotannon sujuvoittamisesta.

TUDI-verkoston vierailukohteena on tutustuttu yritykseen, joka päivitti strategiaansa ja organisaatiotaan siten, että liikevaihto pystytään tuplaamaan, kassavirtaa parantamaan ja nopeuttamaan uusien tuotteiden tuomista markkinoille. Yritys siis asetti tavoitteekseen olla ”maailmanluokan toimija”. Keskeinen osa tätä työtä oli Lean-kulttuurin synnyttäminen ja ylläpito. Yritys onnistui parantamaan toimitusvarmuutta ja samanaikaisesti nopeutettua läpimenoaikaa liki 1/4

aiemmasta tasosta. Tekniikoista käytössä olivat mm. 5S ja Kaizen, mutta myös koneiden asetusajoja lyhentävä SMED.

2.7 Vaihtelun ymmärtäminen

Yksi keskeinen - ellei jopa keskeisin – osa tuotannon logistiikka ja toimitusketjun hallintaa on vaihtelun hallinta. Toimitusketjuissa puhutaan piiskavaikutuksesta, joka on teoriatasolla tunnettu jo vuosikymmeniä, mutta ehkä vasta nykyisin meillä on riittävät tietojärjestelmät ja tiedonjakamisen välineet sen estämiseen. Edelleen tarvitaan kuitenkin näkemystä ja tahtoa, jotta tämä onnistuu. Periaatteessa kyse on vaihtelun tasaamisesta. Estetään piiskan heilahdus eli kysynnän heilahtelu ja voimistuminen mitä kauemmaksi alkuperäisestä kysyntälähteestä mennään.

Samantyyppinen ongelma on myös tehtaan sisällä. Meidän täytyy ymmärtää vaihtelua, jota esiintyy tehtaissa esimerkiksi saapuvassa ja lähtevässä tavarassa (ajoitus ja määrä), asetusajoissa (kesto), tekemisen ajoissa (kesto) jne. Peukalosääntönä olkoon tässä, että kaikki vaihtelu on haitaksi tehokkaalle tuotantotoiminnalle!

Ennusteisiin sisältyvää vaihtelua voidaan pienentää, jos ennusteita yhdistetään. Peukalosääntönä voidaan sanoa, että volyymien kasvaessa yhdistelyn kautta vaihtelu on suhteessa pienempää. Ja tämä taas helpottaa ennustamista. Eli käytännössä liian tarkka (esim. yksittäisen päivän kysynnän ennustaminen toimitusketjun yhdessä pisteessä) ennustaminen vaatii käytännössä suuremmat kokonaisvarastot kuin hieman karkeamman tason ennustaminen. Materiaalitarpeen ennustamisessa on tietysti huomioitava se, mikä osa kysynnästä jo tiedetään esimerkiksi lukittujen asiakastoimitusten muodossa ja mikä vaatii ennustamista.

Ylemmänä alaluvussa 2.5 käsiteltiin Lean toimintatapaa lyhyesti. Tässä voisi ottaa esille myös Leanista tutut Heijunka ja Mura -käsitteet. Karkeasti ottaen niiden voidaan ajatella tarkoittavan tuotannon tasaamista (Heijunka) ja vaihtelun hallintaa (Mura) siten, että edellinen on ylemmän tason käsite koko toiminnalle ja alempi yksittäisen vaiheen tai tekemisen sisällä olevaa vakauttamista. Tietysti tuotantotoiminta ja mittakaavaedut on aina helpompi saada aikaiseksi vakaassa ja tasaisessa toiminnassa, mutta tässä nämä pitää kuitenkin kytä linkittämään koko raportin teemaan: kuinka voimme tuottaa tehokkaasti erilaisia määriä yksilölliseen tarpeeseen vastaavia joustavia ratkaisuja? Ja mitkä ovat digitaalisten työvälineiden mahdollisuudet tukea tätä kehitystä?

Mielenkiintoisia tehtaan suorituskyvyn mittareita on Bozarth ym (2009) tutkimuksessa, jossa oli mukana yli 200 tehdasta 7 eri maasta. Tutkimuksessa arvioitiin toimitusketjun kompleksisuuden vaikutusta tehtaan suorituskykyyn. Kompleksisuus jaettiin detaljitasoon ja dynaamisiin monimutkaisuuksiin sekä niiden yhdistelmään. Yllättäen detaljitason tekijät, kuten toimittajien, asiakkaiden, osien tai tuotteiden lukumäärä eivät olleet tilastollisesti merkittäviä ($p=0.05$) tehtaan suorituskykyä heikentäviä tekijöitä. Sitä eivät myöskään aiheuttaneet tuotteiden lyhyet elinkaaret tai suuri kv.hankintojen osuus. Sitä vastoin suorituskykyä heikensivät (tilastollisesti merkitsevästi $p=0.05$) pitkät toimitusajat alihankkijoilta (suurin vaikutus hankintapuolella) ja niiden epävarmuus, pieni eräkokoo, asiakastarpeiden heterogeenisyys (huom. eri mittari kuin em. tuotteiden lukumäärä), epävakaata tehtaan tuotannon aikataulutus (suurin yksittäinen vaikutus tehtaan tasolla) tai kysynnän vaihtelu (suurin vaikutus asiakasrajapintaan). Iyer ym (2009) neuvovat vähentämään kompleksisuutta mm. käytettävien osien harmonisoinnilla, ja vaikka asiakkaat tarvitsevatkin monenlaisia malleja, pyrkien niissäkin painottamaan volyymituotteita ja ohjaamaan kysyntää niihin.

Toimitusketjun kompleksisuus on edelleenkin tutkimusagendalla. Turner ym. (2018) havaitsivat, että yrityksillä on hyvin erilaisia tapoja reagoida monimutkaisuuteen. Usein ei välttämättä edes pyritä vähentämään kompleksisuutta, vaan yritys pyrkii vain mukautumaan siihen. Tämäkin voi olla toimiva strategia joissakin tilanteissa. Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Mattson ym. 2016) todettiin kasvavan kompleksisuuden olevan valmistavan teollisuuden suuri haaste. He tiivistivät operaattorin

näkökulmasta kompleksisuuden kolmeen ulottuvuuteen: työasema, työn vaihtelu ja ongelmatilanteiden käsittely. Yleisellä tasolla työn vaihtelu (tässä tutkimuksessa erityisesti valmistettavien tuotteiden heterogeenisyys) vaikutti eniten työn monimutkaisuuteen – ja käytännössä monimutkaisia työtehtäviä sisällään pitävässä työpisteessä pitää olla runsaasti informaatiota tarjolla työntekijöille, jotta he pystyvät paremmin tuottamaan esimerkiksi useita erilaisia versioita tuotteesta, pärjäämään epävarmuuksien ja häiriöiden kanssa ja työskennelläkseen suorituskäytönsä ylärajoilla.

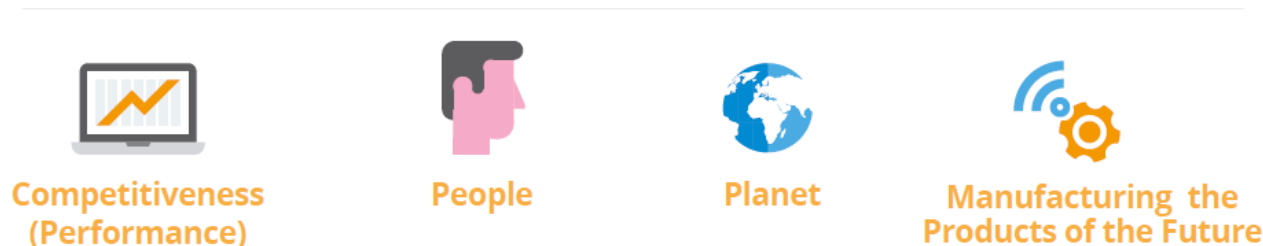
Sekä käytännön toteuttajat että akateeminen maailman on hyödyntänyt Hopp & Spearman (2011) ajatuksia ”tehdasfysiikasta”. Kirja rakentuu eräänlaisten yksinkertaisten lakien ympärille, joista keskeinen tuotannon tehokkuuden kannalta on vaihtelun hallinta. Jos yritys haluaa pitää palvelutason ylhäällä ja kustannustason alhaalla, sillä täytyy olla puskuria kapasiteetissa, varastossa tai toimitusaikana. Edelleen TUDI-foorumien ympärillä ajatus liittyy siihen, muuttuvatko nämä keskeiset ohjausarvot jotenkin digitalisaation kanssa toimittaessa? Itse matematiikka ei muutu. Tätä voi edelleen jatkaa nk. ”six sigma” -ajatteluun, joka on viime aikoina alkanut kiinnostamaan ja yleistymään suomalaisten teollisuusyritysten joukossa. 10-15v sitten tätä kysyttiin yksittäisenä osaamisalueena jo useissa amerikkalaisissa rekryilmoituksissa. Käytännössä six sigma on tieteellinen tilastollinen menetelmä, jossa tunnistetaan prosessissa olevaa vaihtelua, pureudutaan juurisyihin – ja korjataan niitä Lean-hengessä jatkuvasti pienin parannuksin. Kun vaihtelua saadaan pienennettyä, virtaus paranee ja tehokkuus kasvaa.

Tämä vaihtelun hallintaa painottava luku ansaitsisi kokonaan oman raporttinsa. Sen menetelmät voisivat avata uudella tavalla ymmärrystä tekemisen prosessista ja suorituskäytön saloista. Esimerkiksi Six Sigman takana olevat tilastolliset menetelmät on nyt helpommin käyttöönotettavissa, kun yrityksillä on ohjausjärjestelmät ja niissä tarvittavaa dataa. Six Sigman kehitti Motorolaalla työskennellyt insinööri 1980-luvun puolivälissä ja se oli keskeinen osa Jack Welchin johtamisperiaatteita General Electricillä vuosikymmen myöhemmin. Meidän pk-yrityksillä voisi olla nyt parantuneen datan myötä aika tarttua näihin työkaluihin ja saavuttaa 99,99966% tarkkuustaso komponenteissaan ja prosessien osissaan.

2.8 EFFRAn hahmotelma tulevaisuuden tehtaan tiekartasta

EFFRAn (2019) FoF2020 Roadmap (FoF = Factory of the Future eli ”tulevaisuuden tehdas”) sisältää neljä pääkomponenttia 1) kilpailu- ja suorituskäyky, 2) ihmiset, 3) ympäristö, ja itse 4) tuotteet. Näistä voi käyttää muistisääntönä vaikka englanninkielistä 4P lyhennelmää Performance, People, Planet & Product. Sitä voi käyttää ensimmäisenä viitekehystenä myös TUDI 4.0:n tavoitteiston osalta, mutta painopisteet ovat hieman erilaiset: TUDI 4.0:ssa rajoitetaan hakemaan ensin logistiikan keinoin suorituskäykyä nykyisten tuotteiden valmistamiseen, jotka ovat tyypillisesti voimakkaasti räätälöitäviä pienten volyymien tuotteita (high mix / low volume). Ehkä laitamme kuitenkin suomalaisten yritysten nykyiset tuotteet jo EFFRAn kategoriaan ”tulevaisuuden tuotteiden valmistaminen”, koska tuo ”high mix” on niin voimakasta asiakaskohtaista räätälöintiä, että se jo yksistään antaa perusteet pohtia tulevaisuuden tehtaan perusteita.

Kehittyneet yritykset haluavat toteuttaa tämän vastuullisesti niin henkilöstön kuin ympäristönkin huomioiden. Tai voisiko jopa sanoa: osaava henkilöstö kykenee paremmin hyödyntämään teknologian mahdollisuudet? Ja liiketoiminnalla ei ole tulevaisuutta, jos sitä ei kyetä toteuttamaan ekologisesti kestäväällä tavalla. Nämä eivät olleet kovin voimakkaasti TUDI 4.0:n alkuperäisessä sisällössä, mutta ne ovat kyllä sulautuneet siihen voimakkaasti viime aikoina – ja siksi niihin on välttämätöntä ottaa kantaa myös tulevaisuuteen katsottaessa. Tähän kohtaan siis kytkeytyy laajasti osaamiseen (ja innovointiin, jota varmaan tällaisessa yhdessä tehtävässä työssä syntyy parhaiten) ja työhyvinvointiin (esim muuttuvat tehtävät ja toimenkuvat) sekä sidosryhmiin ja ympäröivään yhteiskuntaan liittyvät teemat.



Kuva 2.17. EFFRAn tulevaisuuden tehtaan kulmakivet (www.effra.eu)

EFFRAn kattava ”tulevaisuuden tehdas”, Factory of the Future, on laajempi kokonaisuus, mutta jo TUDIssa esillä olleilla teemoilla voimme saavuttaa merkittävän osan kilpailukyvyyn kehittämisestä. Ja toisaalta, siinä missä TUDIn fokus on alun perin nimenomaan ollut logistiikka- ja materiaalitoiminnoissa, EFFRA on lisännyt logistiikan vasta aivan viime vaiheessa 2019 osaksi omaa tiekarttaansa. Maailmalla tulevaisuuden tehdas pitää sisällään monenlaista teknologista kehitystä mm. valmistusteknologioiden osalta. Tässä raportissa rajoitutaan, kuten aiemmin on jo todettu, logistiikan rooliin tulevaisuuden tehtaassa – ja erityisesti digitaalisten työvälineiden hyödyntämiseen tässä prosessissa. Silti EFFRAn esittelemät kehityslinjat on syytä huomioida ja katsoa niitä mahdollistavia teknologioita ja lähestymistapoja, joilla käyttämällä toimintaa voidaan kehittää. Näistä erittäin suuri osa liittyy logistiikkaan ja materiaalivirtaan.

EFFRAn yhteenvedoon kannattaa vielä lisätä heidän nostamansa keskeiset suorituskykymittarit (KPI = Key Performance Indicator) kullekin vaikuttavuuden osalle. Ja edelleen sitten tämän työn osalta pohtia sitä, miten tulevaisuuden tehtaassa näiden toteutumista tuetaan logistiikan ja materiaalihallinnon osalta uusia digitaalisia työvälineitä apuna käyttäen. EFFRA nostaa esimerkkeinä esille kilpailu- ja suorituskykymittaristoon tuottavuuden paranemisen, laadun ja vasteajan sekä ympäristöasioista resurssien käytön (vesi, materiaali ja energia), päästöjen (ml. hiilidioksidi) ja jätteen määrän vähentämisen. Erityisesti yrityksen suorituskykyyn ja tehtaan logistiikan ohjausratkaisuihin ja mittaristoihin kuitenkin kaivattaisiin vielä konkreettisempia keinoja, kuinka tuottavuutta käytännössä mitataan ja kehitetään.

Impact	Co-creation through Manufacturing Eco-systems	Enabling Technologies & Approaches
◆ People ◆ Planet ◆ Competitiveness ◆ Products of the Future	◆ Excellent, responsive and smart factories Scalable first-time right manufacturing Agile and robust optimal manufacturing ◆ Low environmental footprint, customer-driven value networks Demand and consumer driven manufacturing networks Circular economy (symbiotic manufacturing networks) ◆ Parallel product and manufacturing engineering Concurrent, holistic and collaborative product-service engineering Virtual end-to-end life-cycle engineering from product to production lines, factories and networks Manufacturing smart and complex products ◆ Human-driven innovation Co-creation in European knowledge networks Managing constant change Human & technology complementarity	◆ Advanced and smart material processing technologies and process chains ◆ Smart mechatronic systems, devices and components ◆ Intelligent and autonomous hand and robotics, assembly and logistic technologies ◆ De-manufacturing and recycling technologies ◆ Energy and power supply technologies ◆ Simulation and modelling (digital twins) ◆ Robust and secure industrial communication technologies, distributed control architectures ◆ Data analytics, artificial intelligence and deployment of digital platforms ◆ New business and new organisational approaches

Kuva 2.18. EFFRAn tulevaisuuden tehtaan keskeiset teemat ja mahdollistavat teknologiat (www.effra.eu)

Tulevaisuuden tehdas nähdään erinomaisena ja mukautumiskykyisenä tuotantona, joka yhdistää nopeuden, täsmällisyyden, laadun ja luotettavuuden joustavuuden ja ketteryyden kanssa. Tulevaisuuden tehdas pystyy valmistamaan laadukkaasti niin suuria kuin pieniäkin eräkokoja skaalautumalla nopeasti. Koska asiakastarpeet elävät jatkuvasti, myös tehtaan ja tuotantojärjestelmien tulee olla mukautettavissa, jotta ne voivat mahdollistaa joustavan tuotannon. Ja tämä tulee edelleen integroida digitaaliseen ekosysteemiin niin asiakkaiden kuin alihankkijoidenkin kanssa.

Koska tuotteet ovat yhä monimutkaisempia ja räätälöidympiä, ja muutkin vaateet esimerkiksi ekologisuuden ja vastuullisuuden suhteen kasvavat, käytännössä tuotteita ja niiden valmistamista joudutaan paljolti suunnittelemaan yhtä aikaa nopeasti muuttuvassa tilanteessa samalla kun pyritään ottamaan huomioon ja ennakoimaan koko tuotteen elinkaari sen vaatimine palveluineen (jotka tietysti voivat olla laitteiston toimittaneelle yritykselle hyvää liiketoimintaa). Tässä yritykset voivat käyttää apuna myös digitaalisia työvälineitä esimerkiksi simulointien ja digitaalisten kaksosten osalta, ja näitä voi hyödyntää myös logistiikkaa ja materiaalivirtaa kehitettäessä tulevaisuuden tehtaassa. EFRAn nimeämiä mahdollistavia teknologioita huomioidaan kuitenkin osana muuta teknologiakatsausta luvussa 4.

2.9 Materiaalivirran digitalisaation vaikutukset organisaatioon

Robotisaation ja automatisaation vaikutuksia Suomen kansantalouteen tulevana vuosikymmenenä on selvitetty myös Valtioneuvoston toimesta (Ventä ym 2018). Kyseisessä raportissa on omat päälukunsa niin teollisuudelle kuin logistiikallekin. Tämä raportti kulkee jossakin näiden välimaastossa. Ventä ym (2018) selvitystä voinee tulkita niin, että automatisaatio on yksi jatke ICT:n ja digitalisaation kehitykselle, ja edelleen niin, että robotisaatio on vielä kapeampi osa-alue automatisaatiosta. Teollisuudessa robotiikka voidaan jakaa kahteen osaan varsinaisiin tuotantorobotteihin ja materiaalinkäsittelyautomaatioon. Vaikka tämä raportti painottuu jälkimmäiseen ”materiaalivirtaan”, on kuitenkin oleellista, että syöttö roboteille tapahtuu oikealla tapaa. Tässä alaluvussa on kuitenkin tarkoitus keskustella käsillä olevien muutosten vaikutuksista organisaatioon.

Agiplanin konsulttiselvityksessä (2016) jo tuotiin esille digitalisoinnin mahdollisuudet prosessien tehostamiseen. He näkivät tämän vaikuttavan edelleen monella tapaa vaadittaviin osaamisiin ja toimenkuvien muutoksiin, mutta tarkempi konkreettinen näkemys jäi vielä avoimeksi. Tulevaisuuteen suuntavissa tutkimuksissa on arvioitu automatisaation ja robotisaation vähentävän merkittäväällä tavalla työpaikkoja, mutta toisaalta ennusteet jo seuraavalle kymmenelle vuodelle pitävät sisällään suurta hajontaa: Pajarinen ym. (2015) ennustaa tehdasteollisuudessa jopa noin puolen työpaikoista poistuvan, kun Arndt (2016) arvioi vastaavan luvun 7%:ksi. Todennäköistä joka tapauksessa on, että työtehtävien luonne muuttuu merkittävästi, ja siten poistuvien työtehtävien tilalle tulee uusia, erilaista osaamisia vaativia toimenkuvia.

Toimiala- ja toimintoluokitukset ovat omalla tavallaan hieman vaarallisia, koska eri toimijat ymmärtävät niitä eri tavoin. Suosituksesta poiketen tässä nostetaan esille muutama oletus Ventä ym. (2018) raportista: tehdasteollisuudessa tuottavuuskasvun oletetaan olevan keskimäärin 2,6% vuodessa eli vuosikymmenessä tuottavuus paranisi n. 30%. Logistiikkatoiminnoissa automatisaation nähdään tehostavan lähinnä ”varastointi” -kustannuskomponenttia, joka ko. selvityksessä nähtiin yllättävän pieneksi. Jos kuitenkin ottaa vertailua kaupan alalta, siellä 25%:n tuottavuuskasvun ennakoitaan tarkoittavan 20%:n työpaikkakatoa, mutta teollisuudessa tuottavuusloikka tarkoittanee enemmän kilpailukyvyyn kasvua ja siten työpaikkojen lukumäärän säilymistä tehtäväkuvien kuitenkin muuttuessa.

Samalla kannattaa arvioida myös digitalisoituvien työtehtävien vaikutusta työhyvinvointiin. Voitaneen olettaa, että digitalisaation vaikutus työhön on suuri – ja vaikutus voi olla positiivista tai negatiivista, joten johtamisessa on otettava huomioon nämä seikat. Työhyvinvointia logistiikassa käsitelty selvitys (Lahtinen 2015) näki riippuvuussuhteet logistiikkakontekstissa suunnilleen vastaavana kuin muillakin toimialoilla, mutta yksittäisissä mittareissa oli eroja. Selvityksen keskeisenä johtopäätöksenä lienee kuitenkin se, että johtamisen ja yhteisön merkitys on erittäin keskeinen niin koetulle hyvinvoinnille kuin logistiikan suorituskyvyillekin.

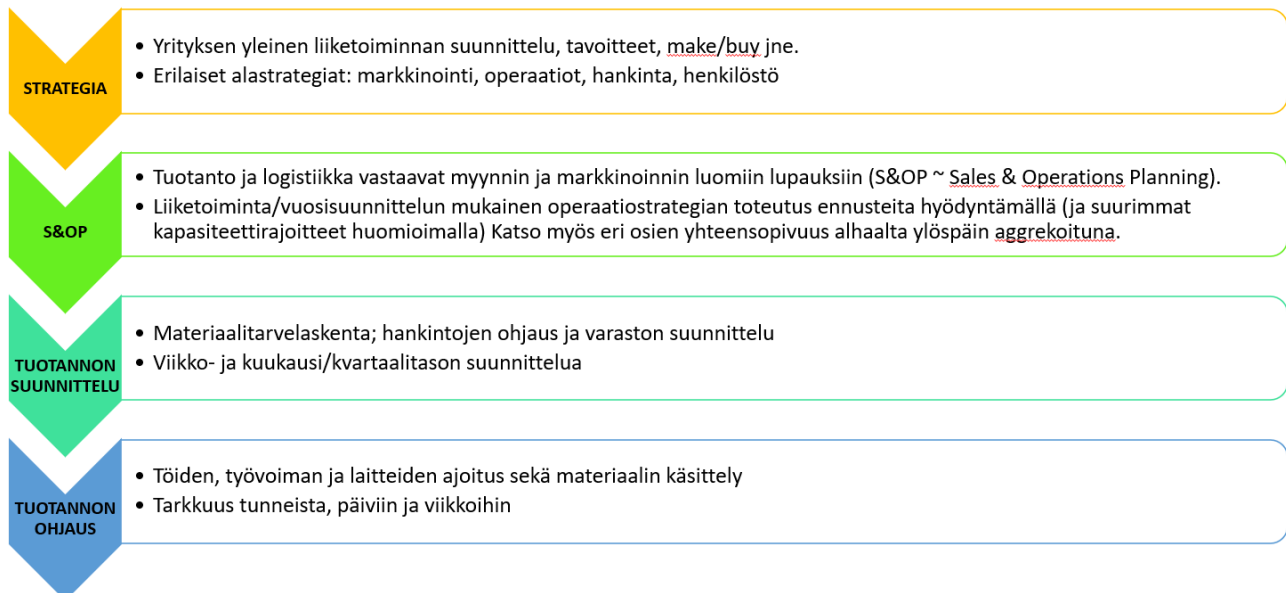
Edelleen johto pyrkii hyödyntämään digitalisaatiota siten, että se ottaa huomioon ihmiset. Lähtökohtaisesti voitaneen ajatella, että vaikutukset ovat positiivisia, jos digivälineillä poistetaan turhaa manuaalista

rutiinistyötä. Mobiilirobotit ja cobotit voidaan nähdä työkavereina tekemässä niitä vaiheita, joita meidän ei kannatta tehdä itse. Ne eivät ole viemässä työpaikkojamme, vaan auttamassa meitä keskittymään niihin tehtäviin, joissa olemme parhaimmillamme.

Digitalisointi tulisi näkyä tuottavuuden paranemisena. Ja kansantalouden tasolla tuottavuus näkyy bruttokansantuotteen kasvuna, joka edelleen korreloi erittäin voimakkaasti kansalaisten kokemana hyvinvointina. Suomella tulisikin olla selkeä automatisaatio- ja robotisaatiostrategia, jonka kulmakivenä on peruskoulutuksen, tutkimuslaitosten ja yritysten kombinaatiossa syntyvä teeman syvälinen osaaminen (Ventä ym 2018). Osaaminen on muutenkin suuri teema, joka pitää muistaa myös nyt käsillä olevassa murroksessa: tilannekuva voi näyttäytyä hyvin teknologiapainotteiselta, mutta ratkaisevan muutoksen tekevät ihmiset. Ja muutos vaatii osaamista. Se voi olla koulutusta, kokemusta tai yhdessä oppimista; nyt käsillä olevaa digitaalista murrosta ei varmaan tällaisenaan voi opiskella missään ja omien kokemusten kautta ”yritysten ja erehdysten polkua pitkin” aika voi käydä vähiin, siksi näistä saatuja kokemuksia kannattaa jakaa porukalla, jotta hyötyihin päästään käsiksi järkevässä aikataulussa.

3. TÄMÄN RAPORTIN ASEMOINTI JA RAJAUKSET

Tässä on lueteltu tämän raportin asemointiin ja rajauksiin liittyviä asioita. Asemointi tulee nähdä koko yrityksen operaatioiden näkökulmasta. Ja yrityksen operaatioihin pitää ymmärtää kuuluvan myös ne jatkuvat toiminnot, joilla ollaan yhteydessä alihankkijoiden ja asiakkaiden kanssa toimituksiin liittyen. Tehtaan läpäisevän materiaaliavirran ymmärtäminen riittävässä laajuudessa onkin yksi keskeinen tapa kehitystyöhön ryhtymiselle. Kuten EFFRA (2019) toteaa, ”kehittyneillä käsittely- ja logistiikkaratkaisulla tehtaan sisällä ja sen ulkopuolella, on suuri merkitys suorituskyvylle.” Eli vaikka nyt puhummekin kokoonpanotehtaan logistiikasta ja materiaalitoiminnoista, asemoinnin pitää huomioida kuitenkin tehtaan läpäisevä toimitusketju. Jotta raportti pysyisi kuitenkin järkevän kokoisena käsitellä, omaksua ja hyödyntää, tässä tehdään myös rajauksia. Ehkä keskeisin näistä oli toimeksiannon mukaisesti hankinnan jättäminen kevyempään rooliin; koska moni sisälogistiikan ja materiaaliavirran kehittämiseen liittyvä asia kuitenkin lähtee yrityksen ulkopuolelta, hankintaa ja toimitusketjun johtamista on yksittäisten tekstissä olevien pienempien mainintojen lisäksi tarkasteltu vähän kattavammin liitteissä.



Kuva 3.1 Toiminnan suunnittelun hierarkia: tässä eniten ”tuotannon suunnittelu”, mutta muutkin osat on huomioitava, jotta kokonaisuus on tasapainoinen.

Yrityksen kannalta toimintojen pitää olla tasapainossa. Yksi yleisesti lähestymistapa siihen on nk. S&OP (Sales and Operations Planning; ei yleensä suomenneta mitenkään). Siinä tasapainotetaan myynnin ja tuotannon suunnitelmat siten, että ne vastaavat toisiaan. Tässä työssä keskitytään 3.tasoon, nk ”resurssisuunnitteluun” (~ tuotannonsuunnittelu) materiaalitoimintojen osalta. Päivittäisen toiminnan kannalta myös alimmalla tasolla – töiden ja henkilökunnan aikatauluttamisella (~ tuotannonohjaus) on suuri merkitys, mutta siihen tässä ei kuitenkaan oteta niin syvällisesti kantaa. Sitä vastoin laajemman MPS/MRP jne. tarve tarkastellaan. Neljä tasoa pitää sopia yhteen top-down & bottom-up; materiaaliavirtojen osalta molemmilla lähestymistavoilla on merkitystä.

Tämän raportin keskeisimmät asemointiin ja rajauksiin liittyvät teemat on lueteltu alla. Luettelo ei ole mitenkään erityisemmin tärkeysjärjestys ja siinä on hyvin eri tasoisia – isompia ja pienempiä - asioita mainittu. Osaa näitä voi olla hyvä arvioida myös suhteessa raportin lopussa olevien teemojen ”jatkotutkimusaiheet” kanssa, jotta kokonaiskuvaa saadaan jatkossa vietyä entistä pidemmälle.

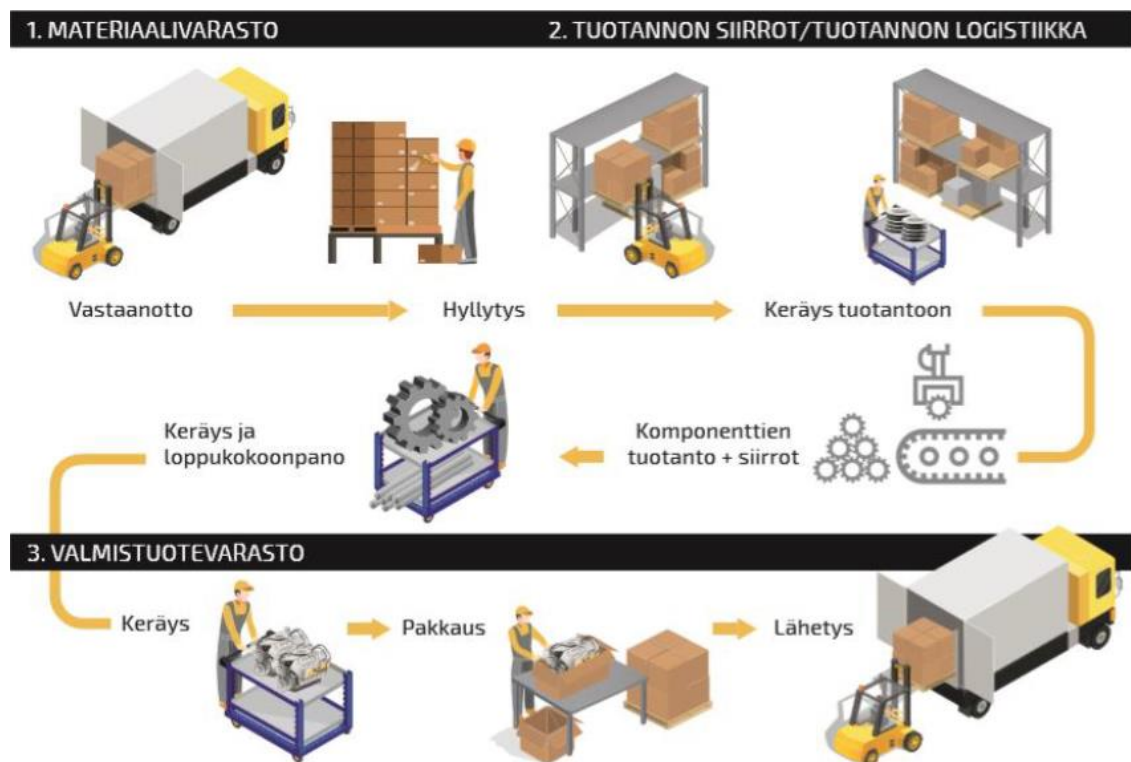
- 1) Keskitytään pääsääntöisesti olemassa olevaan teknologiaan, joka on jo testattu ja toimivaksi havaittu muualla.
- 2) Pääasiassa tarkastellaan nykyisen kapasiteetin hyödyntämistä kokonaan uuden tehdasinvestoinnin sijasta. Tietysti yrityksen on hyvä aika ajoin pysähtyä miettimään hypoteettisia ratkaisuja puhtaalta pöydältä, mutta käytännössä muutokset ovat kuitenkin siinä määrin jatkuvia, että pääratkaisut olisivat oikeita – ja yksittäisiä prosessimuutoksia voidaan tehdä päätuotteiden ja -asiakkaiden vaihtuessa.
- 3) Tulevaisuuden kokoonpanotehdas tarkoittaa aikajänteenä tässä yhteydessä lähivuosisia (2020-2024). Samalla on tietysti syytä ajatella, että tehtävät teknologiavalinnat ovat suuria investointeja – ja erityisesti toimitilojen ja raskaan automaation osalta niiden arvioitu elinkaari on vuosikymmeniä, joten ehdotetut ratkaisut tulisivat silti olla vielä pidemmän aikavälin megatrendeihin perustuvia ja siten yli yksittäisten suhdannesykliden kantavia.
- 4) Ei analysoida erityisemmin varsinaisia valmistusteknologioita ja niiden kehitystä, mutta luonnollisesti yritysten kannattaa seurata kehitystä esimerkiksi 3D-tulostuksessa ja elektroniikan ruiskuvalutekniikoissa niiltä osin kuin yrityksellä on niihin tarvetta. Varsinkin edellä mainittu muuttaa monella tapaa materiaalitoimintoja.
- 5) Ei analysoida erikseen automaation ja robotisaation kehitystä tuotannossa, vaan arvioidaan lähinnä kehitystä materiaalitoimintojen näkökulmasta.
- 6) Tarkastellaan toimintaa ”yhden suhdannesyklin yli”. Työtä aloitettaessa koronakriisi iski voimakkaasti päälle. Tässä kuitenkin tarkastellaan asiaa koronaan varautumista laajemmin tai yleisemmin ts. ei fokusoida erityisemmin akuuttiin pandemiaan, vaikka nämä ehdotukset sinällään helpottavatkin ongelmatilanteissa selviämiseen.
- 7) Raportissa ei aseteta erityisempää kapasiteettirajoitetta tuotannolle, kun olettamuksena on, että nykyisistä koneista ja fasiliteeteista voitaisiin saada merkittävästi enemmän irti virtausta lisäämällä. Käytännössä yrityksillä lienee olemassa myös pullonkauloja, jotka rajaavat koko järjestelmän kapasiteettia. Näitä tulee tarkastella ”erillisellä investointiohjelmalla”.
- 8) Vaikka tässä työssä esitelläänkin visio tulevaisuuteen, monet käytännön konkreettiset ratkaisut ovat enemmän inkrementaalisia parannuksia kuin vallankumouksellisia systeemitason muutoksia. Tietysti lukijan on hyvä arvioida myös useamman muutoksen yhtäaikaista vaikutusta – tai kehitystoiminnan epäsuoria vaikutuksia toiminnan kehittymiseen.
- 9) On hyvä huomata, että kuva 3.1 kattaa ”toiminnan ja tuotannon suunnittelua” varsinaisen valmistettavan tuotteen suunnittelun sijasta. Tätä ”tuotesuunnittelua” ei ole merkittävällä tavalla huomioitu tässä raportissa, mutta yritysten kannattaa kyllä seurata ja hyödyntää siellä tapahtuvaa kehitystä. Ja edelleen sillä on vaikutusta tuotannon suunnitteluun, materiaalien hankintaan, jäljitettävyyteen jne. eli tuotesuunnittelukin voitaisiin integroida tähän kokonaisuuteen jatkossa entistä tiiviimmin.
- 10) Tuoteräätälöinti ajatellaan tapahtuvaksi fyysisten osien avulla. Jos tuotteeseen sisältyy ohjelmistoa, sen avulla asiakkaalle tapahtuva räätälöinti voi tapahtua erilaisen logiikan mukaan. Tässä raportissa tuoteräätälöinnin nähdään nostavan logistiikan kustannuksia. Jos asiakasta voidaan palvella paremmin ohjelmistoräätälöinnillä, se vaihtoehto kannattaa tutkia.

Alkuperäinen ajatus oli jopa rajoittua voimakkaasti sen datan hyödyntämiseen, jota automaattinen tunnistus ja reaaliaikainen paikannus tuottavat, ja jättää varsinainen automaatio ja robotiikka vähemmälle huomiolle. Hankkeen aikana on kuitenkin ollut niin voimakasta kehitystä mobiili- ja yhteistyörobottien osalta, että näitä ei voida mitenkään jättää (eikä niitä kannata jättää) huomioimatta uuden sukupolven kokoonpanotehtaan suunnitelmissa.

Kyse on siis tehtaan logistiikan ja tuotannonohjauksen yhdistämisestä siten, että logistiikan keinoin pyritään auttamaan saamaan enemmän irti (esim. joustavuutta) nykyisestä valmistusteknologiasta. Jotta voitaisiin

suunnitella valmistusohjelmaa, pitää ymmärtää kysyntä siitä millaisia laitteita/koneita asiakkaille pitää valmistaa, kuinka paljon ja milloin? Tästä vastaavasti päästään hahmottamaan logistiikkaa: mitä materiaaleja tarvitaan, kuinka paljon ja milloin? Tässä työssä pyritään siis tasapainottamaan uudella tavalla high mix / low volume -tuotannon tarvitsemat variointi (millaisia tuotteita), niiden määrä (matala volyymi per tuote) ja niiden toimitusaika. Koska variointi on laajaa, varastoon valmistaminen ei ole kovin relevantti vaihtoehto. Ja asiakkaat taas tarvitsevat usein tuotteita nopeasti ja hankkivat sieltä, mistä saavat ne haluamassaan aikataulussa, myös high mix / low volume -yritysten toimitusten pitää olla kohtuullisen nopeita. Tämä johtaa usein hyvin valmisteltuun ja hiottuun ATO (~ ”tilauksesta kokoonpantava”) -tuotantoon tai jopa vielä pidempään viivästyttämiseen, kuten asiakkaille suunniteltavissa projektitoimituksissa yleensä tehdään (esim. DTO ~ Design-to-order).

Toisinaan tuntuu, että meillä suomen kielessä tahtoo mennä sekaisin lead time (~ tilaus-toimitusviive) ja toimitusaikaikkuna/toimituspäivä (~ delivery time window / delivery data). Oletuksena on, että kaikille asiakkaille jälkimmäinen on tärkeä tietää ja siitä on pidettävä kiinni. Toisaalta jos ja kun yritys segmentoinnin kautta voisi hahmottaa ja oppia ymmärtämään, kenelle asiakkaille nopein mahdollinen toimitus on tärkeä ja ketkä voisivat hyväksyä vähän pidemmän toimitusajan, tämä voisi auttaa merkittäväällä tavalla tasaamaan tuotantoa ja sen materiaalivirtaa. Tällä voisi olla edelleen suuri vaikutus esimerkiksi kuljetusten järjeistämiseksi sekä ekologisemmalle toiminnalle. Edelleen tarkoitus ei ole sanoa, etteikö nopeita toimituksia kannattaisi tehdä, mutta yrityksen tulisi priorisoida se, kenelle ne ovat oikeasti välttämättömiä (ja hinnoitella palvelunsa siten). Muutenkin tämä raportti saattaa näyttää kovin tekniseltä ja asiakkaan unohtamiselta, mutta asia on täysin päinvastoin: pyrkimys on luoda järjestelmä, joka täyttää toimituskyvyn asiakkaille.



Kuva 3.2 Sisälogistiikan vaiheet tuotantolaitoksessa (www.leanware.fi)

Tämän raportin rajauksena voisi ajatella olevan yllä oleva sisälogistiikan prosessi. Sen tehokas hoitaminen vaatii sopivat yhteydet alihankkijoiden suuntaa sekä oikeanlaisen ICT-infrastruktuurin tunnistamiseen ja tietojärjestelmiseen. Koko sisälogistiikan idea on, että virta on tehokasta nuolien osoittamaan suuntaan ja turhat työvaiheet ja käsittely saadaan pois, kun toimitaan oikean tiedon varassa ja tehdään asiat kerralla oikein. Sitä onkin raporttiin vaikea piirtää kuvaksi: dataa kertyy ja sitä käytetään paljon tulevaisuuden

tehtaassa! Asemointi pitää siis sisällään datan ja tietojärjestelmät. Niitä ei voi rajata pois mitenkään, vaikka pyritäänkin kehittämään logistiikka ja materiaalinkäsittelyä tehtaassa. Vanha toteamus ”logistiikka elää tiedoista” pitää tänä päivänä entistä enemmän paikkaansa. Toisaalta fokusoituminen pelkkään ”sisälogistiikkaan” voi johtaa osaoptimointiin – ja siksi tiettyjä osia hankinnoista ja toimitusketjusta pitää ottaa mukaan (kuten erityisesti liitteissä on huomioitu).

4. SAATAVILLA OLEVIA TEKNOLOGIOITA LOGISTIikka 4.0:n TOTEUTTAMISEEN

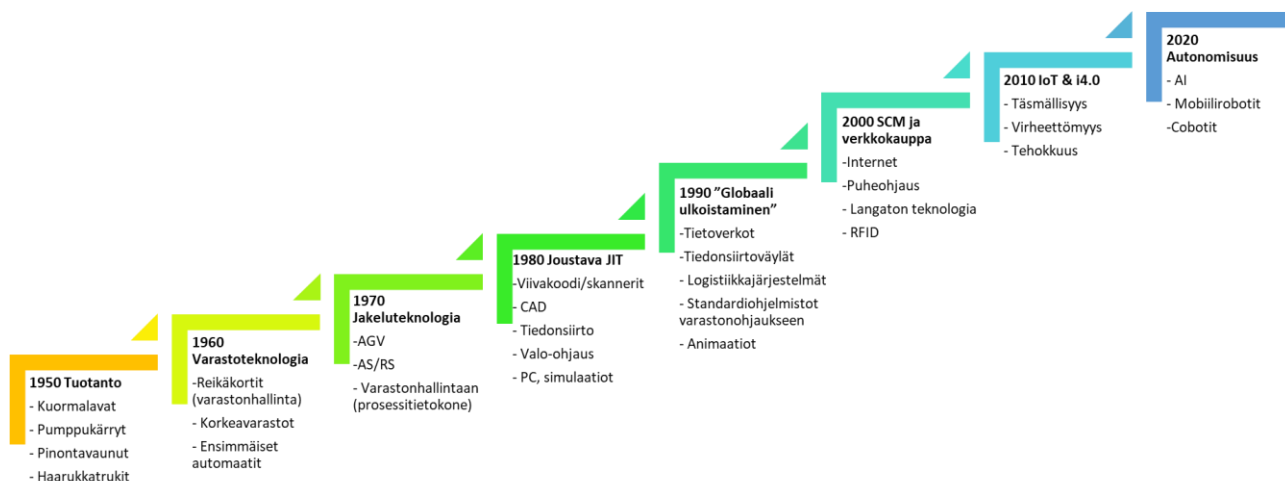
Tässä raportissa on käytetty taustalla laajempaa ”sisälogistiikan” aihepiirissä tapahtunutta kehitystä. Tarkoituksena on yrittää soveltaa myös vähittäis- ja tukkukaupassa hyväksi havaittuja ratkaisuja soveltuvien osin myös teollisuudessa. Tai itse asiassa esim. saksalais-itävaltalaisissa (huom. vahva koneenrakennusperinne) tutkimuksissa (Esim. Kartnig ym 2012; Gunther & Heptner 2007) sisälogistiikan historia nähdään lähteneen kuitenkin vielä kauempaa Yhdysvaltain armeijan tarpeista maailmansodassa ja Korean sodassa, mutta hyvin nopeasti siirtyneen tehdasympäristöihin myös Saksassa. Vaikka historiakatsaukset ottavatkin hyvin esille sisälogistiikan kehitystä teollisuudessa, mutta meillä Suomessa näkymä on rajoittunut, aivan viime vuosia lukuun ottamatta, enemmän kaupan jakelukeskuksiin. Niissäkin automatisaatio tuli verrattain myöhään, kun 1990-luvun alun lama pysäytti ja viivästytti omalla tapaa kehitystä, joka vahvemmin taas lähti liikkeelle 2010-luvulla.

Mutta otetaan muutama askel taaksepäin ”sisälogistiikan historiaan” kokonaisuuden hahmottamiseksi. Meidän ei kannata myöskään unohtaa näitä perinteisempiä ratkaisuja ja niiden tuomia hyötyjä, vaikka nyt puhummekin ”tulevaisuuden tehtaasta”. 1950-luvun ehkä merkittävin keksintö logistiikkaan liittyen on ollut – yksinkertainen, mutta tehokas – 800x1200mm kuormalavan käyttöönotto, jonka tiedämme tänä päivänä olevan myös kertautuma standardilaatikoille 400x600mm (eli 800x1200mm pääsee aina alaspäin puolittamalla pitkän sivun: nk. myymälälava 800x600, tyypillinen ”myymälädolly” 400x600mm ja sitten laatikoihin 300x400mm, 200x300mm jne.). Tämän raportin kannalta ehkä keskeisin sana tässä lavaesimerkissä on kuitenkin standardi. Ne auttavat monella tapaa eteenpäin, kuten lava auttoi käsittelylaitteissa trukkien ja haarukkavaunujen sekä hyllyjen osalta.

Siksi alaluku 4.1 pureutuukin standardien tarpeeseen ja käyttöön. Standardi on läheinen sana myös standardisoinnille ja harmonisoinnille, joita tässä raportissa käytetään hieman eri merkityksissä. Kaikilla on kuitenkin paikkansa tässä kokonaisuudessa. Ja näiden sopiva yhdistelmä tuo systeemivaikutusta, jossa digin avulla tuotettua dataa voidaan paremmin hyödyntää ja edelleen ottaa seuraavia kehityssaskelia kohti tulevaisuuden tehtaan materiaalivirtaa.

Maailmantalous kasvoi nopeasti 1960-luvulla, joka vaikutti myös palkkojen nousuun, ja siten myös sisälogistiikan ympäristössä etsittiin mahdollisuutta hakea tehokkuutta siirtämällä manuaalista työtä koneille. Myös tehtaiden tilankäyttöä pyrittiin parantamaan siirtämällä materiaaleja pois tuotannon tieltä mm. korkeavarastoihin. Varastot nähtiin tärkeänä tasapainottavana elementtinä tuotannolle. Seuraavalla vuosikymmenellä aineellisen hyvinvoinnin edistyessä kuluttajien vaatimuksetkin kasvoivat, ja tarvittiin logistiikan teknologioita, jotka mahdollistivat laajenevasta valikoimasta nopeita ja kustannustehokkaita toimituksia. Tällöin ensimmäiset varsinaiset automaattivarastot (AS/RS; automatic storage & retrieval system), AGV:t jne. tulivat markkinoille näkyville. Merkittävin kehitys 1970-luvulla oli kuitenkin ensimmäinen oikea mikroprosessori, joka korvasi logistiikassa käytössä olleet reikäkortit varastohallinnassa ja toiminnanohjauksessa – ja sitä kautta avasi kokonaan uuden ajan; sitä voitaneen kutsua Teollisuus 3.0:ksi.

Tämä kehityslinja on sikälikin tärkeä, että usein näemme kehittyneemmät teknologiat ensin – tai messut ”kalustonäyttelyinä”. Kun lähdemme tarkemmin analysoimaan teknologioita ja niiden tuomia hyötyjä, prosessin kuntoon laittamisen merkitys on aivan kiistaton. Ja sen jälkeen tulee ICT-infrastruktuuri ja sen hyödyntämisen mahdollisuudet. Tietokoneiden ja datan merkitys logistiikassa ja tulevaisuuden tehtaassa on valtava tuottavuusloikan synnyttämiseksi. Kehittyneemmät teknologiat ovat sitten askelia pidemmälle, mutta yritysten ei kannata missään nimessä jättää automaattisen tietojen käsittelyn (ATK...) tuomia mahdollisuuksia käyttämättä!



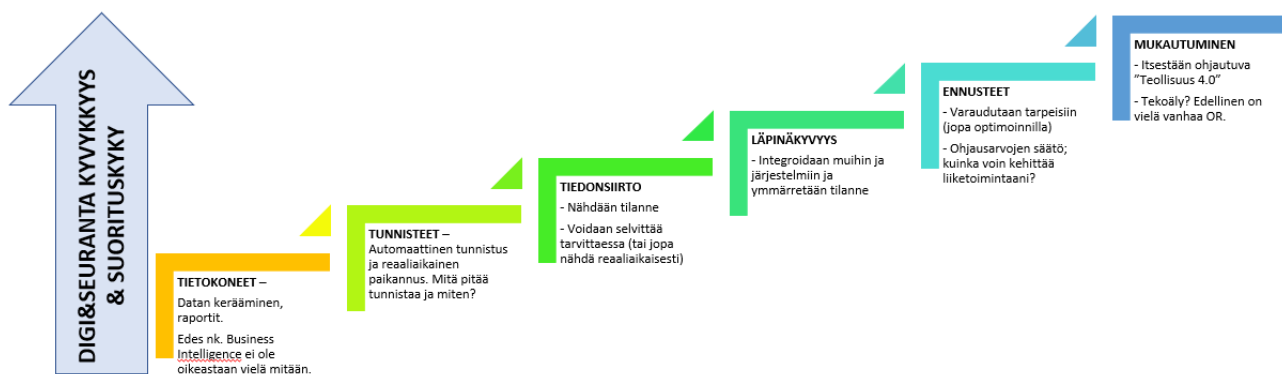
Kuva 4.1. Sisälogistiikan teknologioiden historia ja tulevaisuus (kehitetty Kartnig ym 2012 ajatusten pohjalta)

1980-luvulla länsimaissa pyrittiin vastaamaan japanilaisten markkinoille tuomaan haasteeseen ja havaittiin tarve pyrkiä kustannustehokkaampaan toimintaan myös pienemmissä tuotantoerissä. Tuolloin tuotannossa yleistyvätkin joustavammat NC-koneet ja automatisoidummat solut. Logistiikkaa oli välttämätöntä aloittaa katsomaan kokonaisuutena, jotta siihen saataisiin tarvittavaa joustavuutta, ja siten Leanista mm. JIT tuli käyttöön (edistyneissä yrityksissä). Varastoteknologioissa "miniload" toi merkittävää suorituskykyä ja AGV:t edistyivät siten, että jälkimmäisetkin alkoivat yleistymään toden teolla. Vuosikymmenen keskeisimpänä logistiikka edistäneenä teknologiana voidaan silti nimetä yksinkertaisesti viivakoodi ollenkaan vähättelemättä PC:n markkinoille tulon vaikutusta simulaatioissa, suunnittelussa ja varastonohjauksessa. Seuraava vuosikymmen olikin sitten erityisesti tietotekniikan (verkot, tiedonsiirto, ohjelmistot) kehitystä logistiikassa, ja tälle vuosikymmenelle tultaessa siirryttiin yhä globaalimpaan talouteen ja verkkokauppaan, jossa oikeastaan kaikki tekeminen rakentuu Internet-pohjaisten ratkaisujen ympärille. Tunnistusteknologiat kehittyvät ja yhä enemmän dataa alkaa syntyä. Viimeisin vuosikymmen ja lähitulevaisuus aukenevat alla olevassa tekstissä.

Historiallista kehitystä on koottu yhteen Kartnig ym. (2012) ajattelun pohjalta kuvaan 4.1, mutta sitä on tässä raportissa modifioitu edelleen siten, että siihen on kytketty 2000-luvulla tapahtunutta kehitystä (esim IoT; täsmällisyys ja virheettömyys) – ja ennakoitua nyt käsillä olevaa murrosta kohti tulevaisuuden itseohjautuvaa joustavaa tehdasta, jossa hyödynnetään tekoälyä ja joustavampia teknologioita kuin perinteinen automaatio.

2010-luku eteni suurelta osin Teollisen Internetin (myös Asioiden Internet; Industrial Internet, Internet of Things, IoT) osien kehittämisessä. Eurooppalaisilla johtavilla messuilla asiantuntijoiden kiinnostus saattoi jossakin vaiheessa noin vuosikymmenen puolivälin tienoilla siirtyä enemmän tehokkuudesta joustavuuteen ja täsmällisyyteen. Tähän voinee vaikuttaa osaltaan myös verkkokaupan nopean kasvun realisoituminen nyt käsillä olevan teollisuuden tarpeiden rinnalla. Tämä vuosikymmen näyttää alkavan mobiilirobottien esiinmarssilla ja coboteilla lienee oma merkityksensä. Nämä tarkoittavat vihdoin kaivan kaivatun joustavuuden tulemistakin logistiikan teknologioihin, mutta ne voi nähdä laajemmin myös autonomisuuden sisäajona kohti Teollisuus 4.0:a. Yhä monimutkaistuvan kokonaisuuden hallinta kaipaa joustavia ja ketteriä teknologioita, jotka avaavat paljon uusia mahdollisuuksia tuottavuuden, tarkkuuden ja joustavuuden yhtä aikaiselle saavuttamiselle. Nyt ei silti kannata unohtaa aiempien vuosikymmenten oppeja. Ne tulee hyödyntää myös: ja tällä polulla "digitalisaatiolla" – tietojärjestelmillä ja tunnistimilla – on vähintään yhtä suuri merkitys kuin voimakkaasti näkyvällä materiaalinkäsittelyteknologialla.

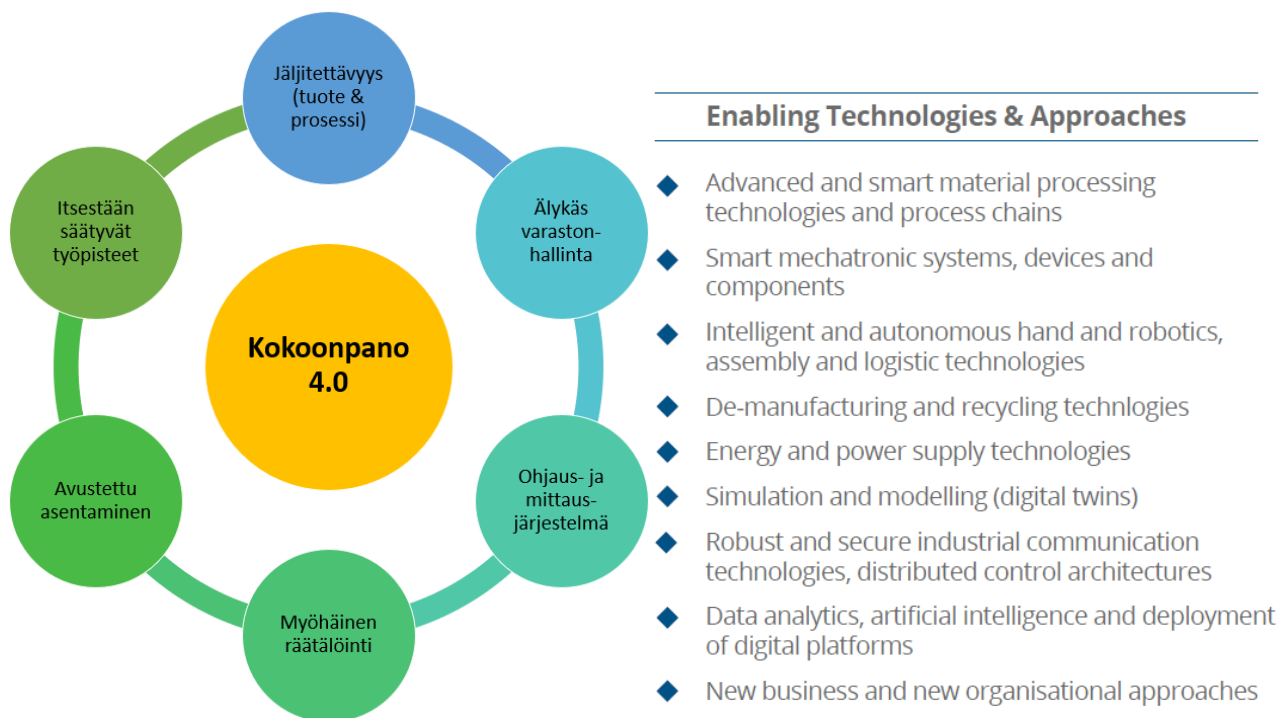
Sisälogistiikan kehitystä laajemmin – tai oikeastaan ennen sitä, on siis tunnistettava tietojärjestelmien ja tietojenkäsittelyn kehitys. Merkittävä osa materiaalihallinnon ja logistiikan kehittämistarpeista vaativat pohjalle kunnollisen tietojärjestelmän ja siihen ajantasaiset tiedot. Bley ym. (2016) ovat todenneet saksalaisia yrityksiä käsittelevässä aineistossa, että erityisesti pk-yritykset yliarvioivat omat ICT- ja digivalmiutensa. Seuraavaan kuvaan 4.2 on karkealla tasolla jaoteltu tietotekniikan kehitystä (x-akseli) sekä digikyvykkyyden ja suorituskyvyn paranemista (y-akseli). Jos oikealla yläkulmassa on tavoitteena itsestään mukautuva ”autonominen Teollisuus 4.0”, joka pystyy hyödyntämään tekoälyä, kaiken taustalla on origossa tietokoneet. Meillä puhutaan esimerkiksi BI:sta (Business Intelligence ~ liiketoiminnan älykkyys), kun tietokoneella pureudutaan datamassoihin, luokitellaan tietoja ja saadaan haluttuja raportteja johtamisen tueksi ulos. Se ei kuitenkaan ole oikeastaan vielä kovinkaan paljoa verrattuna reaaliaikaisen master datan ja yrityksen ulkopuolisen big datan avulla tehtäviin ennusteisiin ja toiminnan matemaattisiin optimointeihin.



Kuva 4.2. Tietotekniikan kehittyminen mahdollistamaan Teollisuus 4.0.

Kyvykkyyksien keskeisiä osia ovatkin tunnistet (AutoID ja RTLS) ja tiedonsiirto, ja sitä kautta syntyvä läpinäkyvyys, kun eri järjestelmiä ja jopa toimitusketjussa olevia organisaatioita integroidaan. Logistiikka ja toimitusketju ovat laajoja kokonaisuuksia, joissa pitää katsoa ”end-to-end” organisaatorajojen yli, mutta käytännössä sellaiset integraatiot ovat hankalia ja niitä toteutetaan vain rajoitetuilta osin valikoidun toimitusketjutiedon jakamiseksi. Nyt käsillä olevaan sisälogistiikkaankin kytkeytyy usein monta erijärjestelmää ja teknologiaa – ja niidenkin keskinäisessä integraatiossa on usein haasteita. Master Data pitää kuitenkin saada kuntoon sekä tieto täsmälliseksi että reaaliaikaiseksi, jotta suorituskyvystä voidaan ottaa merkittäviä harppauksia ylemmille askelmille.

Bortolini ym (2017) ovat nimenneet tyypilliset ”Kokoonpano 4.0” ominaisuudet oheisen kuvan (kuva 4.3 vas) mukaan. TUDI-verkostossa tunnistetaan melko hyvin tähän liittyvät asiat. Kaavio vetää kuitenkin omalla tavallaan hyvin yhteen näitä teemoja, ja sitä voisi tarkentaa avaamalla kutakin kehällä olevaa teemaa konkreettisemmin. Tai ehkä miettiä mitä apuja aikaisemmat ”kokoonpano 2.0 tai 3.0” voisivat tuoda näiden lisäksi? Esimerkiksi 5S:n myötä järjestetty työpiste ja materiaalien tulo siihen, auttavat tässä mainitun ”itsestään säätyvän” työpisteen lisäksi. Jäljitettävyyden (track-and-trace) on perustavaraa tunnistetien ja tietojärjestelmien kattavan hyödyntämisen jälkeen, mutta niiden merkitys on suuri toimitusketjun ja elinkaaren aikana.

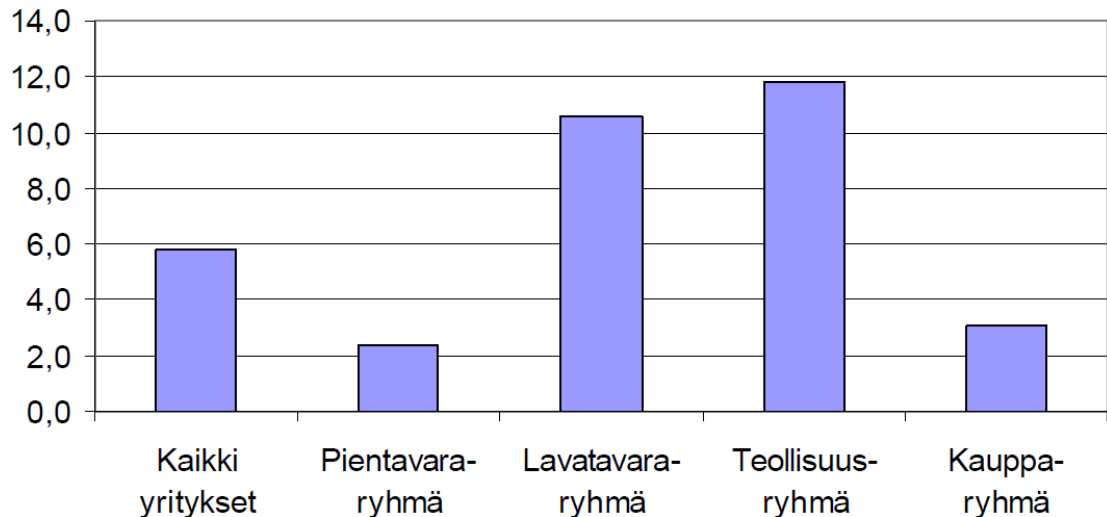


Kuva 4.3. Kokoonpano 4.0:n tuntomerkit (vas. Bortolini ym. 2017) ja EFFRAn luettelo mahdollistavista teknologioista (oik. www.effra.eu 2019).

EFFRAn tulevaisuuden tehtaan tiekartta tunnistaa mahdollistavia teknologioita ja lähestymistapoja suuren joukon kuvan 4.3 (oik.) mukaan. Näistä osa menee tämän raportin "materiaalivirtaa" kauemmaksi, mutta yllättävän suuri osa voidaan tavalla tai toisella nähdä sisältyvän myös tähän "logistiikan ja toimitusketjun" näkökulmaan, vaikka joitakin asioita tästä raportista luvun 3 mukaan onkin rajattu pois. Eli loppujen lopuksi logistiikka ja materiaalitoiminnot ovat yllättävän keskeisiä tulevaisuuden tehtaassa joko mahdollistamassa muiden kehityslinjojen hyödyntämistä tai ottamalla huomioon muissa kehityslinjoissa tapahtumassa olevat muutokset.

Ja jotta yritys ei menisi pelkästään teknologioiden perässä, sen on tietysti tunnistettava se (asiakaslähtöinen) liiketoiminta/toiminto, jota halutaan kehittää osana kokonaisuutta. Frazellen (2001) askeltava malli 1. Profile, 2. Benchmark 3. Innovate 4. Automate 5. Humanize voisi toimia tässäkin runkona. Eli ennen varsinaista 2.kohdan katselmusta (benchmark on minusta liian hieno sana tähän) pitäisi tunnistaa millaisesta toiminnasta on kyse (mitä tämä bisnes tarvitsee)? Ja tulosten pohjalta 3. kehitetään toimintaa, 4.otetaan teknologiaa käyttöön ottamalla huomioon 5. ihmiset ja johtaminen. Vähän samaa asiaa, mutta eri näkökulmasta toteavat Bortolotti ym. (2012): tee toiminta ensin Lean-mukaan ja automatisoi sitten. Jos prosessit ovat täynnä virheitä ja hukkaa, niiden digitalisointi ja automatisointi eivät tee niistä itsestään tehokkaita.

Benchmarking on vaikeaa ilman kunnollista profilointia. Koska uudempaa kattavaa aineistoa ei ole saatavana, esimerkki pitää hakea kauempaa: Aminoff ym. (2004) ovat WADELMA-selvityksessä nähneet kaupan ja teollisuuden tunnusluvuissa suuria eroja. Esimerkiksi kaupan keräilytehoa min/rivi on neljä kertaa lyhyempi kuin teollisuudessa alla olevan kuvan mukaisesti. Mutta jos tähän ottaa rinnalle vertailuun sen, että teollisuuden lähtevän rivin arvo on 10-kertainen kauppaan verrattuna, keräilyyn hitaus ei kuitenkaan näy vastaavalla tavalla suhteessa taloudelliseen lisäarvoon. Meidän tuleekin aina tuntea hyvin tutkittava prosessi, kehittää sitä suhteessa itseensä eikä yrittää liian suoraviivaisesti hakea mittaustulosten vertailua muilta. Niistä kannattaa kuitenkin hakea oppia. Suorien lukujen vertailuun meidän pitäisi kehittää uusia malleja (esim. input-output -järjestelmää analysoiden) ja kerätä siihen soveltuvaa benchmarking-tietoa.



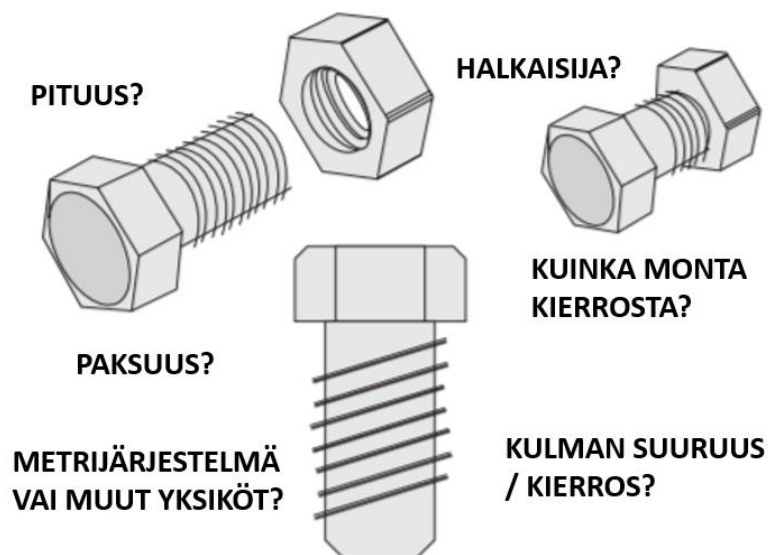
Kuva 4.4. Keräilyyn kuluva aika minuutti/rivi eri yritysryhmissä (Aminoff ym. 2004).

Käytännössä automatisointi vaatii kunnollista ICT-pohjaa, ja se taas vaatii perusprosesseja ja standardeja. Siksi tässä lähdetäänkin seuraavissa alaluvuissa pureutumaan standardeihin ja sitten ICT-ratkaisuihin. Eli ohjenuorana voisi olla ”Standardisoi, digitalisoi, automatisoi” (tässä järjestyksessä).

4.1 Standardien tarve ja käyttö

Yritykset toimivat arvoverkostoissa, joissa materiaali virtaa yrityksestä toiseen. Laadukas ja sujuva toimintaa vaatii usein toimivan yhteistyön organisaatorajojen yli – erityisesti materiaalivirran ja toimitusketjun osalta. Jos kykenisimme standardisoimaan niin toimintamallit kuin käyttämään yhteisesti hyväksytyjä merkintätapoja esim. lähetyksille, sen kolleille ja yksittäisille nimikkeille, seuraavan vaiheen vastaanotto voisi tehostua merkittävästi ja edelleen muu materiaaliprosessi, kun vastaanottajan master data on kunnossa ja vastaa todellisia materiaaleja varastossa paikkoineen.

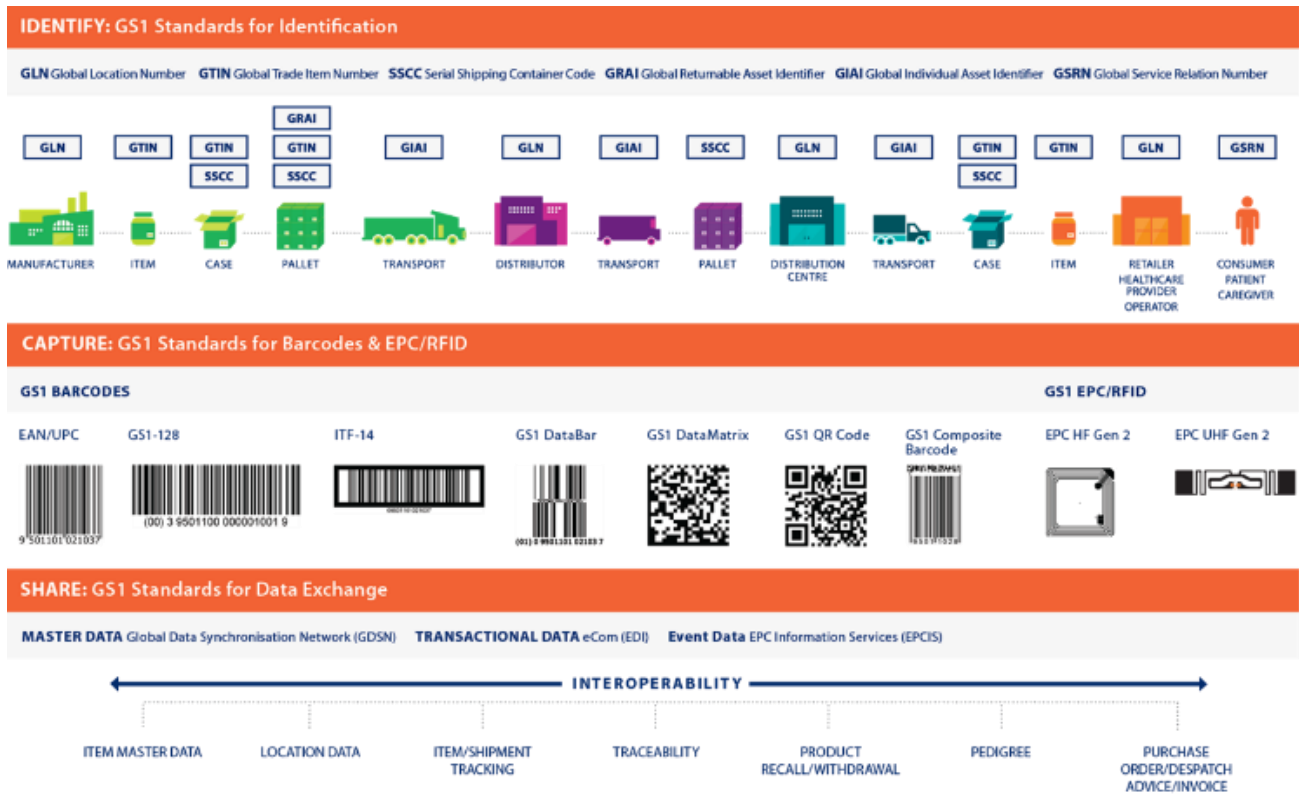
Yksi materiaalitointoja merkittävästi helpottava asia olisi nimikkeiden lukumäärän vähentäminen harmonisoimalla käytettäviä komponentteja. High Mix / Low Volume -tuotannossa on helposti jatkuvasti paisuva nimikemäärä, kun yhä enemmän asiakaskohtaisesti yksilöllisesti räätälöitäviä tuotteita valmistetaan ja samaan aikaan ylläpidettävät vanhat asiakastoimitukset vaativat monipuoliset varaosat. Olkoon tässä helpoimpana esimerkkinä käytettävät kiinnitystarvikkeet (ks alla vas.kuva; Rich & Malik, 2019). Yrityksellä on helposti satoja, ellei tuhansia eri nimikkeitä tässä segmentissä. Jos suunnittelusta alkaen lähdettäisiin kuitenkin yhtenäistämään toimintamalleja ja panostamaan vakiomalleihin, varasto- ja linjallesyöttöprosessit yksinkertaistuisivat ja tehostuisivat merkittävästi.



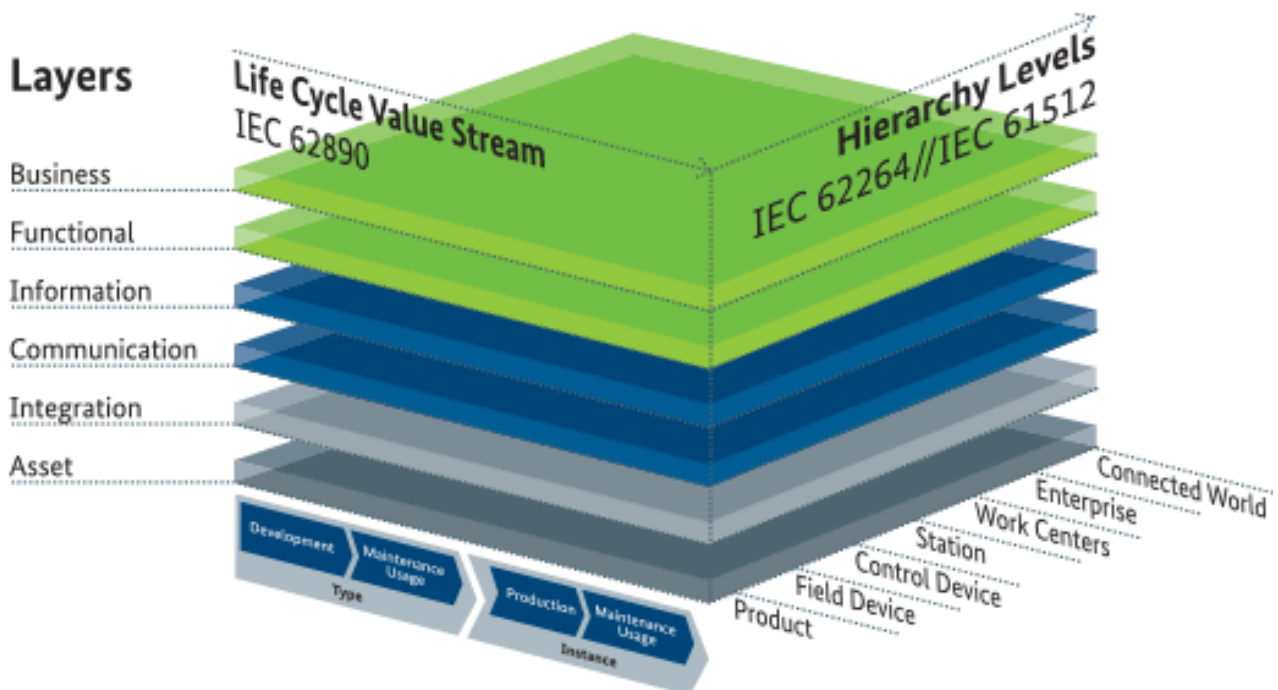
Kuva 4.5. Olisiko yrityksen käyttämät ruuvit ja mutterit harmonisoitavissa? (Rich & Malik, 2019)

Tehtaan logistiikka on aina osa laajempaa tilaus-toimitusketjua. Jos tehtaan logistiikkaa halutaan kehittää, voi olla hyvä parantaa vastaanotossa tapahtuvaa tuotteiden tunnistamista, joka on taas osa laajempaa lähetyksen ja sen kolloiden tunnistamista. Vastaavasti hyötyjä kannattaisi tarjota myös asiakkaalle niin varsinaisessa lähetyksessä olevissa pakkausmerkinnöissä kuin siinäkin, että tuote itsessään lukuisine komponentteineen olisi tunnistettavissa ja ylläpidettävissä koko elinkaarensa ajan. Tavallaan kyse toimittaja-asiakassuhteissa on siitä, millaisiin tunnistuksiin ja merkintöihin lähetykset perustuvat, ja ovatko nämä käytännöt standardien mukaisia? Jos päämies taas vaatii joitakin erikoismerkintöjä, se on alihankkijan puolelta räätälöintiä, joka pitäisi kyetä tuotteistamaan ja siten myös muuttamaan taloudellisesti lisälaskutukseksi.

Alla olevassa kuvassa 4.5 on esitelty kulutustavarapuolella laajasti käytössä olevaan GS1 (Global Standards 1) -järjestelmää, jota Suomessa ylläpitää voittoa tavoittelemattomasti Keskuskauppakamari. Ennen varsinaisiin yksityiskohtiin menemistä on syytä havaita toiminnan kerroksittainen rakenne: 1) identifiointi, 2) varsinainen tunnistaminen teknologioita apuna käyttäen, sekä 3) tunnistetun tiedon hyödyntäminen ja jakaminen eri osapuolille. Identifiointitaso sisältää jokaisen mahdollisen erilaisen yksikön luotettavan yksilöinnin ja erottamisen muista, kuten osapuoli-, tuote-, kuormankanta- jne. tunniste. Tunnisteteknologiatasolla on sitten erilaisia viivakoodeja (EAN/UPC, GS-128, GS1 QR) ja radiotaajuustunnisteita (RFID). Näillä kerättyä tietoa tapahtumista, nimikkeistä, sijainneista jne. hyödynnetään sitten 3.tasolla siten, että Master Data on kunnossa – ja yritykset voivat edelleen sen pohjalta tehdä oikeita ratkaisuja. Esitelty ratkaisu vaikuttaa suhteellisen toimivalta vähittäis- ja tukkukaupassa, mutta samaa ideologiaa voidaan tuoda myös teollisuusyritysten käyttöön. Toki yritysten täytyy näiden lisäksi ratkaista, miten ja millaisia yksilöintejä ja tunnisteita käytetään yrityksen sisällä.



Kuva 4.6. GS1 (Global Standards 1) -järjestelmä. www.gs1.fi



Kuva 4.7. Teollisuus 4.0:n referenssiarkkitehtuurimalli (RAMI 4.0) (Reference Architecture Model for Industry 4.0).

Yllä olevassa kuvassa 4.7 on puolestaan esitelty referenssiarkkitehtuurimalli Teollisuus 4.0:a varten. Jotta jokainen Teollisuus 4.0:n mukaisessa toimintamallissa mukana oleva osapuoli voi ymmärtää kokonaisuuden ja soveltaa oman toimintansa niveltävään sujuvasti osaksi sitä, tällainen kokonaisvaltainen elinkaaren eri vaiheet ja hierarkiatasot kattava malli tarvitaan. Siinä elinkaari on jaettu kahteen osaan: "Type" eli

suunnitteluun ja ”Instance” eli tapahtuma. Ensimmäinen kattaa siis kehittämiseen ja ylläpitoon liittyviä suunnitelmia, simulaatioita ja prototyyppejä, kun jälkimmäinen on materiaalivirran kannalta keskeinen tuote- ja sarjanumeroineen sekä muine tietoineen kattaen edelleen kunnossapidon ja jälkimarkkinat. Vastaavasti tunnistetaan hierarkia tuotteesta, tunnistesta, kohteesta, yrityksestä jne. Edelleen malli jakautuu erilaisiin kerroksiin liiketoiminnan yltäasolta aina fyysisen tuotteen materiaalivirtaan ja käsittelyyn liittyen. Tätä on vielä selkeytetty alla olevaan kuvaan, jossa näkyy myös hyvin ”digitalisointi” reaali- ja virtuaalimaailman välillä: kuinka tuotteet/yksiköt tunnistetaan reaaliaikaisesti, ja miten tätä tietoa jaetaan erilaisiin järjestelmiin ja hyödynnetään liiketoiminnan päätöksen tukena.



Kuva 4.8. Digitalisointi virtuaalisen ja fyysisen maailman välissä. Reaali- ja virtuaalimaailman datalla voidaan tehdä paljon hyötyä virtuaalisissa työkaluissa.

4.2 Tunnistusteknologioita materiaalivirran ohjauksessa

Kuten edellä kuvassa 4.6 kerrottiin, ennen kuin yritys siirtyy näihin varsinaisiin tunnistusteknologioihin, sillä tulee olla nimiöinti ts. yksilöinti kunnossa. Varsinaisista tunnistusteknologioista valintaa tehdään useimmiten viivakoodin ja radiotaajuustunnisteiden (RFID) välillä. Oleellisinta on aina hahmottaa käsillä oleva prosessi sekä siinä oleva tunnistamisen tarve ja rajoitteet. Esimerkiksi tunnistetaan jokainen kappale erikseen, vai onko kyseessä nimike, jossa riittää esimerkiksi sen pakkauksen tai alustan tunnistaminen? Rajoitteita tunnistamisella voivat olla esimerkiksi tunnistettavat materiaalit itsessään. Tietynlainen tunniste ei välttämättä ole riittävällä tarkkuudella luettavissa, jos tagi on kiinnitetty metallipintaan.

Reaaliaikaista tietoa kannattaa hyödyntää organisaation sisällä, mutta siitä olisi merkittävä apua muille toimitusketjun osapuolille (ks. liite 2). Esimerkit ovat usein hankintapuolelta tehtyjä, mutta samat peruseräpäätökset toimivat myös asiakkaiden suuntaan: kokoonpanotehtaan kannattaa arvioida, millä tavalla se luo lisäarvoa asiakkaalle myös tietosisällöillä ja materiaalitoiminnoillaan – ja kannattaako tästä jakaa tietoa asiakkaalle millä tavoin.

Case kuvaus pientavaralogistiikasta, jossa yhdistetään Kanban-toimintaperiaate ja RFID-teknologia. Nk. Älyhyly tunnistaa tuotteet automaattisesti ja reaaliaikaisesti. Siinä käytetään UHF RFID-teknologiaa,

joka pystyy lukemaan suuren määrän tunnisteita samanaikaisesti. RFID-tunniste varastolaatikossa luetaan, kun laatikko sijoitetaan palautushyllylle. Älyhylly tunnistaa tyhjät laatikot, ja lähettää automaattisesti tilauksen toiminnanohjausjärjestelmään. Älyhyllyssä käytetään merkkivaloa ilmaisemaan tuotesaldoa. RFID-teknologia mahdollistaa tilausprosessin automatisoinnin mahdollisimman helppokäyttöiseksi, sillä tieto siirtyy reaaliaikaisesti ja tunniste huomioi kysynnän vaihtelun välittömästi. Tämän ansiosta myyjien ei tarvitse käydä asiakkaan luona, tai hyllyttäjän lukemassa koodeja tyhjästä laatikoista tai hyllypaikoista. Vaikka etäluettavat RFID-tunnisteet voisivat korvata viivakoodit kokonaan, ratkaisuja käytetään edelleen rinnakkain. Osa asiakkaista käyttää edelleen viivakoodia tunnistamiseen. RFID on olennainen osa tuotemerkintää, joka sisältää myös selväkieliset tiedot tuotteen sisällöstä sekä viivakoodin. Älyhyllyt auttavat varmistamaan materiaalin jatkuvan saatavuuden. Oikeat tuotteet oikeaan aikaan parantavat tuottavuutta. Automatisoitu tuotteiden tilaus vähentää manuaalisen työn tarvetta, viiveitä ja virheitä. Varastosaldon seuranta ja inventointi on automatisoitu ja toimii reaali-aikaisesti. "Älyhyllyidea" on sovellettu myös lääkkeiden jakelussa. (www.toptunniste.fi)



Kuva 4.9. RFID-teknologia Kanban-hyllyssä. (www.toptunniste.fi)

Toinen RFID-esimerkki on työkonevalmistajalta. He ovat integroineet ERPiinsä teknologiatoimittajan RFID-ratkaisun, ja alihankkijoilla on RFID-tulostimet. Jokainen ostotilaus joka menee alihankkijalle, pitää sisällään tietoja, jotka alihankkija pystyy tulostamaan RFID-tulostimella ja liittämään toimituksen kylkeen, joka seuraa lähetystä koko toimituksen ajan. Kun tilaus saapuu kokoonpanotehtaalte, se rekisteröidään automaattisesti, koska saapuvan tavaran ovilla on RFID-portit. Portti lukee RFID-tagin tiedot ja välittää ne automaattisesti, 100% tarkkuudella virheettömästi ja reaaliaikaisesti palvelimen kautta ERPiin ilman, että manuaalista työtä tai viivakoodien skannausta tarvitaan. Tämä on parantanut saldotarkkuuksia, vähentänyt tuotannon katkeamia ja auttanut madaltamaan varmuusvarastojen tasoa. (www.turckvilant.com)

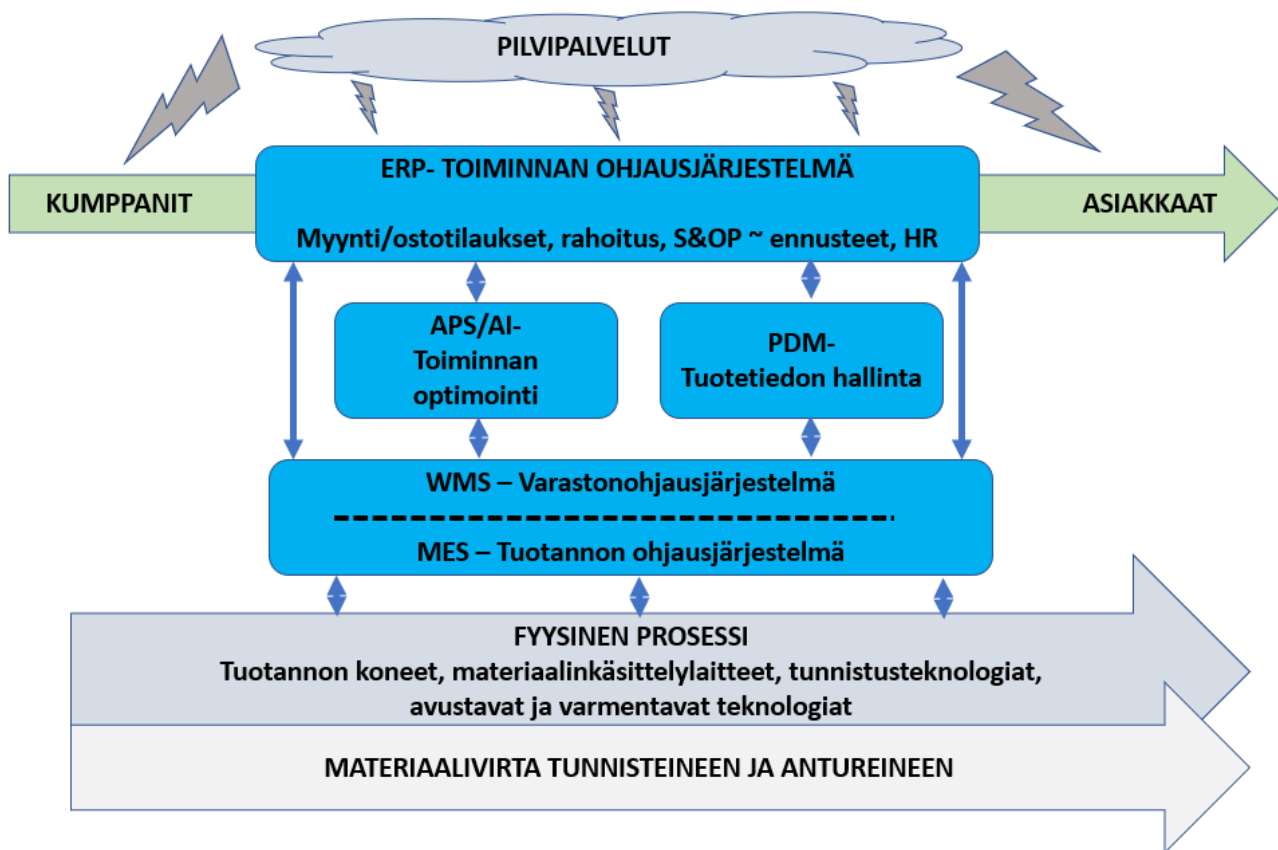
Tunnistusteknologioita voidaan käyttää myös varsinaisen operatiivisen toiminnan ulkopuolellakin. Tunnisteita voidaan kiinnittää joihinkin haluttuihin kappaleisiin tai jopa satunnaisotannalla, ja sitten niiden liikkeitä analysoimalla tehdä johtopäätöksiä koko tehtaan materiaalivirran sujuvuudesta. Eli uutta teknologiaa voidaan pilotoida ja sen hyötyjä arvioida joissakin tilanteissa myös ilman kokonaisvaltaista käyttöönottoa. Ja tietysti näiden etupuolella on myös mahdollisuudet simulaatioiden hyödyntämiseen.

4.3 Kokoonpanoteollisuuden tietojärjestelmäarkkitehtuurista

Keskusteluissa näkyy joskus ajatus, että suurilla yrityksillä järjestelmät ovat paremmalla tasolla kuin pienillä. Asia ei ole kuitenkaan kovin yksinkertainen: suurilla saattaa olla enemmän prosesseja, pidempi historia – ja sitä kautta hyvinkin monimutkaisia ja monipuolisia järjestelmiä, jotka eivät välttämättä kovin hyvin integroidu toisiinsa ja/tai yhteistyökumppaneiden järjestelmiin. Usein järjestelmien viidakossa saattaa myös niiden välimaastoon jäädä katvealueita, jotka vaativat manuaalista työtä – ja siten ovat omiaan aiheuttamaan viiveitä ja virheitä master dataan. Tässä voisi siten jopa esittää hypoteesin, että vahvan vision omaava pk-yritys kykenee yksinkertaistamaan ja virtaviivaistamaan prosessejaan siten, että niihin voidaan ottaa käyttöön kattava end-to-end -järjestelmä, joka hyödyntää reaaliaikaista ja täsmällistä tunnistamista. Nyt kun yritykset ovat uudelleen voimakkaasti aktivoituneet tähän automaattisen tietojenkäsittelyn (ATK) kehittämiseen, on mielenkiintoista nähdä, nousevatko pk-toimijat nopeammin esille näiden ratkaisujen tehokkaina hyödyntäjinä?

Digitalisaatio on myös laaja yleiskäsite ja osin päällekkäinen vanhan ATK:n kanssa, mutta tässä nostettiin tarkoituksella vanha termi esille. Voitaneen ajatella niin, että vasta nyt pk-yritykset voivat realistisesti ajatella hyötyvänsä niistä tekijöistä, joita vanhassa ATK:ssa hahmoteltiin jo muutama vuosikymmen sitten. Ehkä tässä raportissa on hyvä hahmottaa, että liikumme laajasti sekä virtuaalisessa että fyysisessä maailmassa – ja digitalisaatio tarkoittaa ensisijaisesti juuri sitä, kuinka fyysisen maailman elementit – esim. materiaalivirta – saadaan kytkettyä digitaaliseen muotoon ja siten yhdistetty virtuaalisen toiminnan suunnittelu-, johtamis- ja mittaamiskäytäntöjen kanssa.

ISA 95 -standardi mahdollistaa erilaisten järjestelmien, kuten ERP:n (toiminnanohjaus), WMS:n (varastonhallinta), MES:n (tuotannonohjaus), APS:n (älykkäät toiminnan suunnittelujärjestelmät → AI, tekoäly), PDM:n (tuotetiedon hallinnan) jne. välisen yhteistyön sujuvuuden.

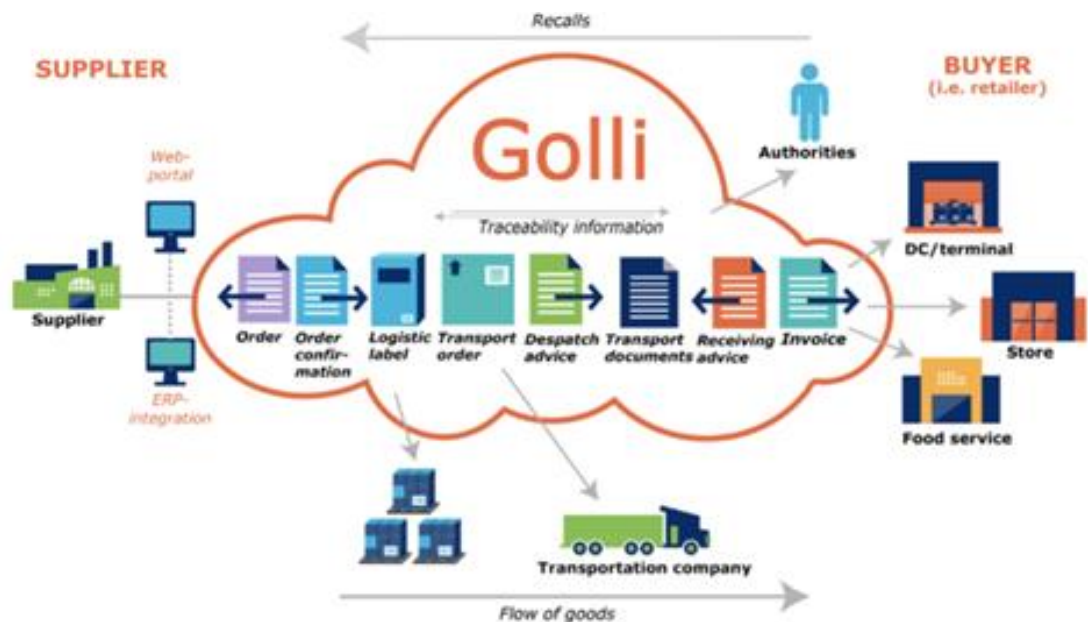


Kuva 4.10. Järjestelmien kytkeytyminen toisiinsa, toimitusketjuun ja fyysiseen materiaalivirtaan.

Toiminnanohjausjärjestelmiä (ERP) on saatavana runsaasti erilaisia. Nykyisin päädytään useimmiten hankkimaan yleisohjelmisto, jolle on oletettavasti saatavilla pitkä ylläpito (johon kyllä kannattaa kiinnittää huomiota, koska järjestelmän vaihtaminen on usein erittäin raskas ja riskialtis projekti). Samalla on kuitenkin hyvä kysyä, missä yritysten kilpailukyky syntyy, jos ne käyttävät samanlaisia ja/tai jopa samaa järjestelmää kuin kilpailijat, ja jota on hankala räätälöidä yrityksen omia prosesseja ja tarpeita vastaavaksi? ERP:ssä yleensä tapahtuu liiketoiminnan kannalta keskeiset asiat, kuten osto- ja myyntitilaukset, laskutus ja talous aina HR:n asti. ERP onkin keskitetty tietokanta, josta voimme ottaa tietoja tarkasteltavaksi ja tallentaa niitä takaisin. ERP on yleensä laaja kokonaisuus, mutta se ei silti kykene ottamaan huomioon yrityksen omia erityistarpeita. Siksi avuksi on kehitetty useita muita ohjelmistoja, jotka voidaan liittää ERP:iin, ja joissa voidaan keskittyä tietyn erityisosa-alueen toimintojen hoitamiseen. Tällaisia on esimerkiksi asiakassuhteiden hallinta CRM, varastonhallinta WMS ja tuotannon toimeenpano MES (Manufacturing Execution System; tilanteesta riippuen WMS ja MES voivat olla myös yksi ja sama järjestelmä). Edelleen nyt käsillä oleva digitalisaatio sekä logistiikan ja materiaalihallinnon lisälaitteet, kuten viivakoodit, puhe valo-ohjausratkaisut ja automaattit on usein helpompi integroida WMS:n kuin ERP:n kanssa ja WMS puolestaan hoitaa yhteydet ERP:iin. Nämä WMS:n kytkeytyvät ”näkyvät teknologiat” ovat sitten yhteydessä tunnistisiin ja antureihin fyysisessä materiaalivirrassa ja toimintaympäristössä. ERP ei yleensä ole kovin hyvä optimoinnissa tai tekoälyssä, vaan niitä varten on omia ohjelmistojaan (AI = Artificial Intelligence, APS = Advanced Planning System ~ Kehittynyt suunnittelujärjestelmä ~ esim. optimointiohjelmisto), jotka hyödyntävät muissa järjestelmissä olevaa dataa.

Golli on Suomen GS1:n kehittämä pilvipalvelu päivittäistavarakaupan tarpeita varten. Vastaavasta ratkaisusta voisi olla hyötyä myös tukkukaupassa ja teollisuudessa. Gollissa pienemmät toimijat voivat ilman ERP- ja erityisesti ilman XML/EDI -investointeja liittyä keskusliikkeiden tavarantoimittajiksi ja lähettää toimituksensa siten, että koko kuljetusketju on digitalisoitu. Tämä tehostaa erityisesti vastaanottavan yrityksen työtä. Jos tällainen ratkaisu saataisiin sovellettua teollisuuteen, tilaus-

toimitusprosessit voisivat tulla huomattavasti tehokkaammaksi, ja tarkemman sekä sujuvamman vastaanoton kautta myös varsinainen tehtaan materiaalihallinto tulisi paremmaksi.

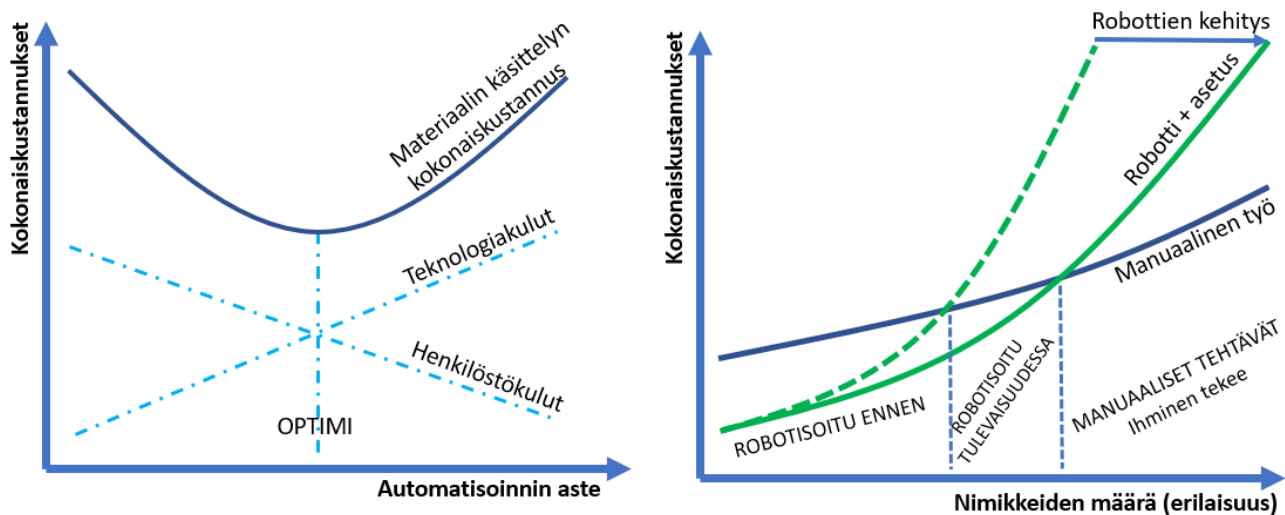


Kuva 4.11. Nk. Golli-järjestelmä pilvipalveluna toimijoiden välillä. (www.gs1.fi)

Tällainen "Golli 2.0" kannattaisi kehittää ja implementoida teollisuusyritystenkin toimintamalleihin. Pienemmille alihankkijoille ja materiaalitoimittajilla olisi valmis ratkaisu, kuinka he voisivat liittyä veturiyriytysten (digitaalisiin) arvoketjuihin. Järjestelmässä olisi automaattisesti pakkaus- ja lähetysmerkinnät, sähköiset kuormakirjat ja kuljetustilaukset. Tieto saataisiin myös läpinäkyväksi koko toimitusketjussa. Kyse olisi siis pelisääntöjen, eräänlaisten toimitusstandardien, sopimisesta. Todennäköisesti olemassa olevilla ratkaisuilla päästäisiin riittävän pitkälle; käyttöönotettava ratkaisu vain toisi yhtäläisen mallin kaikkien osapuolten kesken. Ja koska "Golli 2.0" rakentuisi kv. toimitusketjustandardien päälle, suomalaiset yritykset voisivat käyttää sitä myös kv. kumppaneidensa kanssa toimiessaan.

4.4. Materiaalikäsittelyn kehittämisen vaihtoehtoja

Johdannossa käytettiin vertailua vähittäis- ja tukkukaupan sisälogistiikan kehittymiseen. Vaikka niissäkin valikoimat ovat kasvaneet, on valmistavan teollisuutemme rakenne kuitenkin edelleen niin pienissä volyymeissä per nimike, että varastoautomaatio vastaavalla tavalla ei ole yrityksille luonteva vaihtoehto. Kuitenkin tässä pyritään arvioimaan, millaisia ratkaisuja eri tilanteisiin kannattaa soveltaa esittelemällä muutamia saatavilla olevia perustekniikoita. Yleensä toimivin kokonaisuus on jonkinlainen yhdistelmä saatavilla olevia ratkaisuja – ja ensin edellisissä luvuissa mainitut nimiöintiin ja tunneisiin liittyvät tekijät tulee olla ratkaistuna ja sitä kautta Master Data tietojärjestelmissä kunnossa, jotta varsinaisia materiaalinkäsittelyteknologioita voidaan pohtia käytettäväksi.

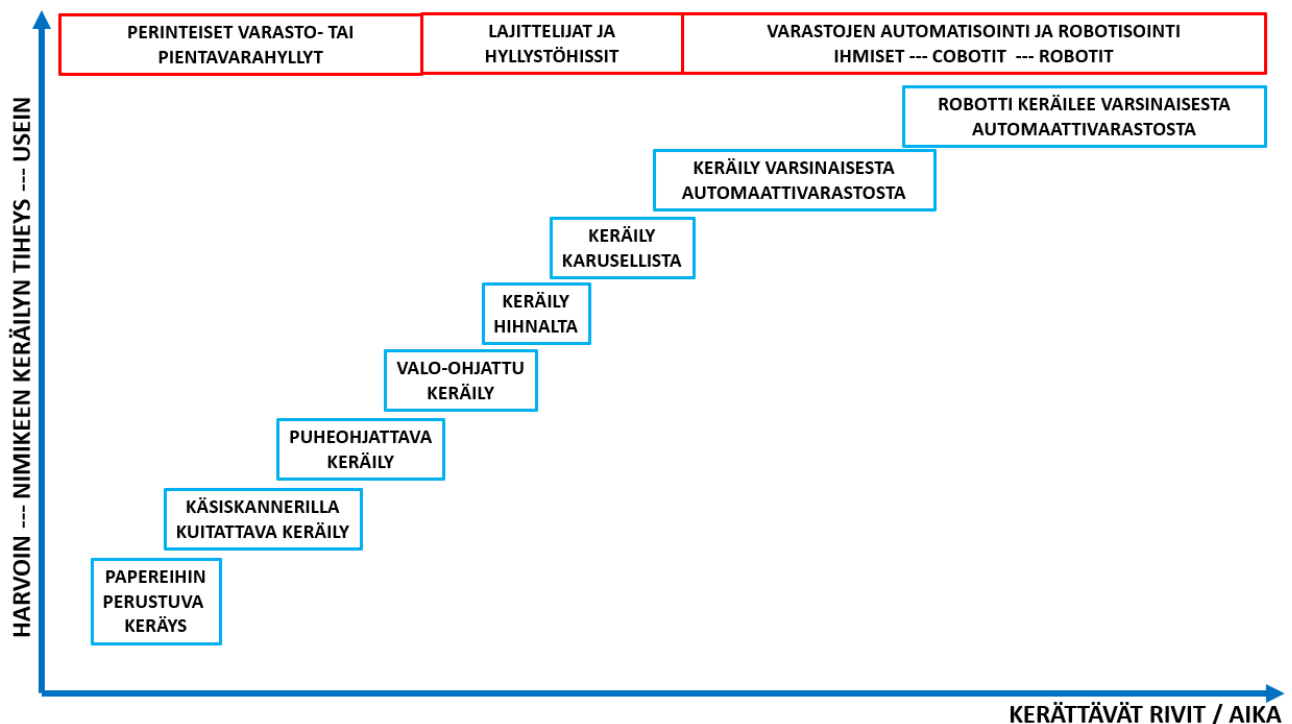


Kuva 4.12. Optimoidaan automaatioaste kustannusten ja joustavuuden suhteen manuaalisen työn kanssa (vas). Huomataan myös robottien kehitys ja sitä kautta sovellusalueen kasvu.

Alla olevaan kaavioon (kuva 4.13) on kerätty materiaalinkäsittelyjärjestelmään liittyvät osat siitä näkökulmasta, kuinka useiden tutkimusten mukaan kallein ja työläin vaihe keräily organisoidaan. Vaikka keskustelu pyörii useimmiten tässä luvussa käsiteltyjen teknologioiden ympärillä, meidän tulee aina muistaa kokonaisuus – ja valita soveltuvat teknologiat siihen. Ja edelleen teknologioiden on tuettava toisiaan. Esimerkiksi materiaalinkäsittelyteknologiat vaativat ICT:n olevan kunnossa ja käytössä.



Kuva 4.13. Keräilyyn vaikuttavia tekijöitä ja sen organisoinnin mahdollisuuksia (Richards 2017 ideoiden pohjalta).



Kuva 4.14. Keräilyteknologian valintakriteereitä (käytetty materiaalitoimittajilta saatavia ideoita apuna, mutta on jätetty tarkat kvantitaativiset suorituskykylukemat pois, ja pitäydytty enemmän periaatteellisella tasolla teknologioiden keskinäisen asemoinnin korostamiseksi).

Edelliseen kaavioon (kuva 4.14) on tiivistetty periaatteellisella tasolla valintakriteerejä sovellettavalle keräilyteknologialle. Tässä valintaohjeessa ratkaisu on lähinnä sen suhteen, kuinka tehokasta keräilyä tulisi olla (kuinka monta riviä kerätään tietyssä ajassa) ja kuinka usein kyseistä nimikettä kerätään. Yrityksellä on tietysti jälkimmäisiä montaa eri kategoriaa, mutta tässä haetaan periaatteellisella tasolla sitä, kuinka erilaisia fyysisesti ja kuinka monta nimikettä lukumäärällisesti keräilykohteessa on. Tämä indikoidaan kuvaavaan myös sitä, kuinka tuotteet eroavat toisistaan ts. olisiko niitä mahdollisesti käsitellä automaattisesti esim. tarttujien avulla. Teknologiavalinnoissa pitäisi ottaa huomioon toiminnan ennakoitiin ja näköpiirissä olevat muutokset. Kaavion yläreunassa on kytkentä fyysiseen materiaalinkäsittely-ympäristöön: perinteisistä varasto- ja pientavarahyllyistä voidaan kerätä joustavasti hyvin erilaisilla tekniikoilla monenlaisia tuotteita, mutta yhä nopeampi keräily vaatii enemmän automaatiota, joka saattaa kuitenkin olla liian jäykkää materiaalivirtojen tarpeille.

Työn tuottavuuserot erilaisissa keräilyissä voivat olla monikymmenkertaisia. Esimerkiksi useita erityyppisiä tavaroita sijaitsevassa sekavarastossa manuaalisen työn keräilynopeus voi olla 20-30 riviä tunnissa, kun se automaattista voi olla 30 kertaa suurempi. Yrityksen kannalta oleellisia valintoja ovatkin, millaisia tavaroita missäkin varastossa on – ja millaisia tilauksia niistä kerätään sekä oikean kombinaation löytäminen näille automaatin, lava-, kolli- tai pienkeräyksen kesken.

Lavavarastossa keräilyyn on tuotu eri toimijoilta erilaisia ratkaisuja työn tuottavuuden kasvattamiseen. Useat niistä liittyvät työn ennakoitiin, tarpeettomien trukkiin nousemisten ja poistumisen vähentämiseen ja/tai puoliautomaattiseen ohjaukseen näiden välillä. Edelleenkin on oleellista tunnistaa yritykselle sopiva tapa keräillä, tuotteet pitää olla merkitty ja lavapaikkojen olla selvät. Edelleen kehittämismahdollisuutena on optimoida sijainteja joko määrävälein tai dynaamisesti jatkuvasti kehittyvällä ratkaisulla.

Ohessa on IGZ Automation –yhtiön ratkaisu, joka laajentaa perinteistä – ja tällä hetkellä yleistymässä olevaa ”pick-to-light” –keräilyä. Demossa kerättävät tuotteet tulevat automaattista keräilijän eteen (siniset laatikot),

joista keräilijä poimii tuotteita siitä laatikosta, jonka kohdalla valo palaa. Kerättävän tuotteen kuva voi myös näkyä näytöllä avustamaan keräilijää poimimaan oikeasta laatikosta. Konenäkö (musta laatikko näytön vasemmassa yläkulmassa) valvoo, että keräilijä poimii oikeasta laatikosta ja tarkastaa, että tuotteet lajitellaan myös vasemmalla puolella oleviin laatikoihin oikein, vaikka sielläkin valo-ohjaus on opastamassa keräilijää. Tämän uskotaan parantavan edelleen keräilyn täsmällisyyttä ja vähentävän virheitä. Tehokkuuden ohella yhdeksi trendiksi voisikin nostaa pyrkimyksen yhä täsmällisempään toimintaprosessiin.



Kuva 4.15. Hahmontunnistus varmentaa, että poiminta ja pudotus tapahtuvat oikein. (Kirjoittajan oma valokuva 10.3.2016).

Yllä olevasta mallista voidaan jatkaa edelleen pidemmälle kuvantunnistukseen. Siinä tekoäly valvoo, että poimitaan oikea nimike ja asennetaan se oikeaan kohtaan. Tällainen ratkaisu vaatii entistä suuremmat ja tarkemmat datamassat avuksi – ja todennäköisesti myös 5G-infrastruktuuria tehtaan lattialle. Peruseriaatteet ovat silti suhteellisen yksinkertaisia. Ja kyse ei ole niinkään siitä, että ihmiseen ei luoteta, vaan järjestelmä voisi auttaa kokoonpanijaa virheettömään toimintaan näyttämällä oikean tuotteen ja asennuskohteen (, ja sitten varmistamalla, että näin todella tapahtui).

Jossakin vaiheessa pelkkä täsmällisyys ei riitä, vaan keräykseen on saatava myös tehokkuutta. Kaupan automaattivarastoissa tämä on ratkaistu siten, että keräyspisteessä toimitaan visuaalisen ohjauksen perusteella, joka on tarkempi, nopeampi ja virheettömämpi kuin merkkijonojen tulkintaan perustuvat toimintamallit. Tuotteen kuva ja lukumäärä on näytöllä, valo-ohjaus näyttää poimintalinjan ja laserspotteri vielä oikean lokeron. Keräysnopeus onkin 600 riviä tunnissa ja maksimissaan voidaan päästä yhdellä henkilöllä jopa 1200 rivin tuntikeräysnopeuteen asemilla, jotka säätyvät ergonomisesti oikeaan korkeuteen keräilijän mukaan.

Markkinoilla on saatavana keräilyrullakoita, joissa on pick-to-light- tai skannausominaisuudet valmiina, rullakko on kytkettynä WMS:iin. Eli rullakoissa on hyllyjä, joilla tuotteet kerätään varastosta, ja valo-ohjaus näyttää keräilijälle, mihin kohtaan rullakkoa tavara asetetaan. Tätä voitaneen käyttää edelleen sitten esimerkiksi kokoonpanolinjalla asennusvaiheessa siten, että valo-ohjaus laitetaan toimimaan keräilyä avustavana teknologiana.



Kuva 4.16. Mobiilirobotit ja cobotit työssään. Esitys Miikka Ahola / Kone (21.11.2019)

Agiloxin tuoretta uutuutta voidaan pitää jo todella kätevänä ja monipuolisena! Kehitys on ollut todella nopeaa, kun vuoden 2014 kv.logistiikkamessuilla huippu-uutuutena oli Eisenmannin Logimover (ks. Lahtinen 2014 CEMAT-messuraportti). Se on ikään kuin trukin molemmat piikit irrallisena itseohjautuvina laitteina. Tämä "double skid system" voi kuljettaa 1000kg painoisia eurolavoja (ks . Bozkurt ym. 2020), ja sitä on tutkittu ja sovellettu Saksassa teollisuuden lisäksi erityisesti elintarvikkeiden jakelukeskuksissa. Agiloxista saadaan nyt muutamaa vuotta myöhemmin jatkuvasti kehittyviä versioita, jotka osaavat kulkea itseksensä ja myös nostaa kuormia.



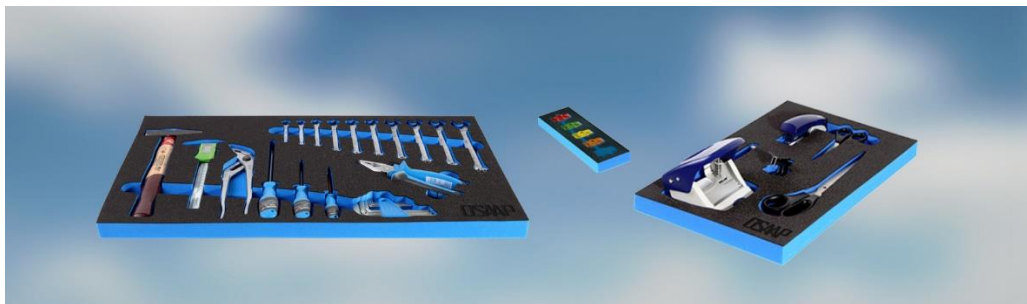
Kuva 4.17. (vas.) Agilox (www.agilox.net) Oik. alh. Eisenmann Logimover ja kesk. siitä kehitetty mobiilirobotti (ks. Lahtinen LogiMAT 2016 -raportti).

Kaupan puolella käytetään usein enemmän energiaa logistiikan tehokkuuden parantamiseen, kun teollisuudessa tavoite on (stereotyyppisesti ajatellen) enemmän täsmällisyydessä ja joustavuudessa. Kulutustavaroissa on usein tunnisteet, vähintään EAN/UPC-viivakoodin muodossa, mutta teollisuudessa meillä kulkee paljon nimikkeitä, joissa ei ole systemaattisesti tunnistetta tai tuotetta voidaan joutua käsittelemään sellaisessa muodossa (esim. ilman pakkausta), että tunnisteen kiinnittäminen siihen on vaikeaa. Meidän kannattaakin seurata tarkasti, mitä tapahtuu pakkausten ja käsittely-yksiköiden kehityksessä? Nk. älypakkaukset yleistyvät ja TUDI-piirissä ideoitiiin aiemmin myös nk. "rullakkoekosysteemiä" eli käytännössä "älykkäiden kiertävien kuormankantajien" järjestelmää (ks. kuvaus esim. Lahtinen 2016 "Horizontaalinen yhteistyö logistiikassa" -kirjasta. Se voisi olla esimerkiksi pilvipohjainen palvelu, jolla voitaisiin seurata ja ohjata käsittely-yksiköiden liikkumista tehtaan sisällä ja toimitusketjun osapuolten välillä. Tämä auttaisi pitämään datan ajan tasalla siitä, missä mikäkin tavara on.

4.5 Matalan tason ratkaisuja tulevaisuuden tehtaan saavuttamiseen

Vaikka tulevaisuuskeskustelussa painottuvatkin älykkäät teknologiat, osa tehtaan tehokkuuden ja materiaalivirran parantamisesta ovat hyvin yksinkertaisia ratkaisuja, joista varsinainen ICT loistaa poissa.

Esimerkiksi vaahtomuovista voidaan tehdä asiakaskohtaisesti räätälöityjä elementtejä, jotka helpottavat työkalujen tai muiden tarvikkeiden säilyttämistä oikeilla paikoillaan. Investoinnin kuvitella olevan erittäin pieni. Hyödyt voivat olla merkittäviäkin esimerkiksi asennuslinjoilla, joissa oikeat työkalut tulee olla jatkuvasti saatavilla. Osaapin ratkaisu voi olla myös visuaalisesti miellyttävä.



Kuva 4.18. Vaahtomuoviset levyt näyttävät työkalujen paikat (www.osaap.de)

TUDI-hankkeen puitteissa on käyty keskustelua myös sisä- ja ulkotrukkien erottamisesta toisistaan. Tarve tälle korostuu erityisesti elektroniikka- ja muussa sellaisessa tuotannossa, jossa puhtaudella ja hygienialla on suuri merkitys, ja tällä on mahdollisesti myös merkitystä mobiilirobottien yleistyessä: lattioiden pitää olla puhtaita ja melko tasaisia. Alla oleva ProfilGate on yksinkertainen lattiaan upotettava matto, jonka yli trukilla voidaan ajaa, mutta joka puhdistaa samalla trukin pyörät niin, että lika ei siirry hallissa paikasta toiseen. Tämä vähentää siivouksen tarvetta.



Kuva 4.19. Harjamatto puhdistaa (<http://www.profilgate.com/>)

Markkinoilla on myös monenlaista pientarviketta tehtaan materiaalivirran tehostamiseen. Yhtenä esimerkkinä voisivat olla putkia ja liittimiä toimittavat yritykset. Asiakas voi koota itse näistä tarvitsemansa ratkaisut, ja näitä voidaan myös joustavasti muokata tilanteen muuttuessa. Tällä saadaan joustavuutta ja ehkä ergonomiakin. Ja työntekijät voivat sitoutua työhönsä paremmin, kun he voivat vaikuttaa työpisteisiinsä. LeanFactory idea kattaa puolestaan kaikkea yleistä toimistotarvikkeiden järjestelijöistä päivittäisjohtamisen tauluihin asti.



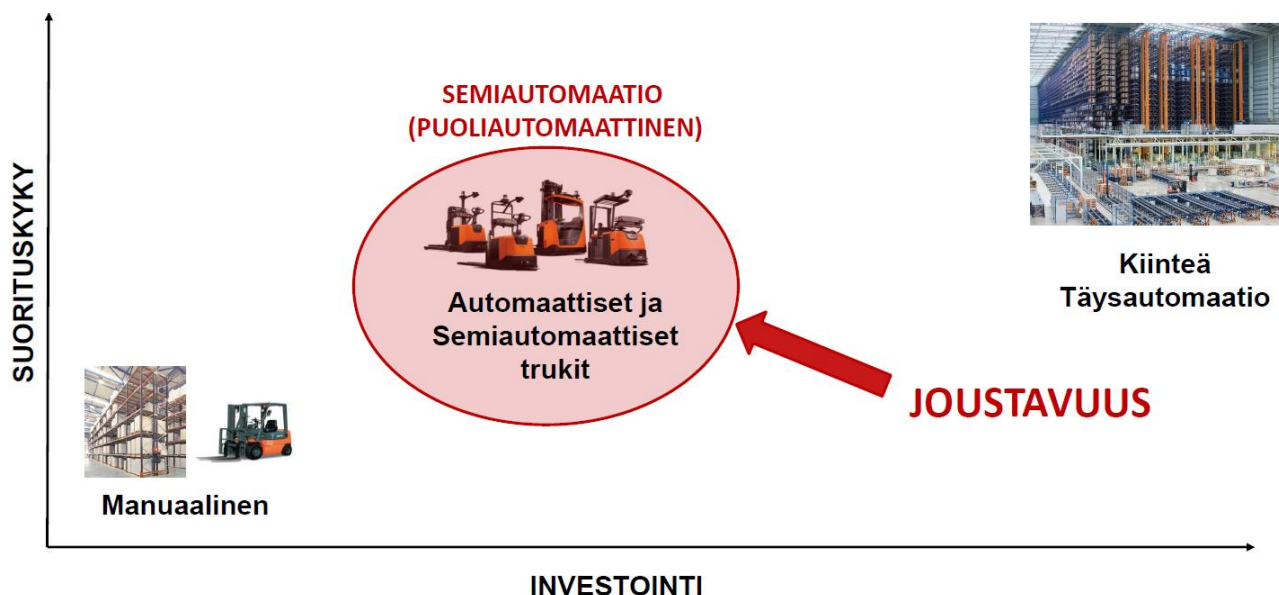
Kuva 4.20. Kevytrakenteinen ja räätälöitävä läpivirtaushylly. www.pek3.com

4.6 Miten teknologiainvestointeja voidaan arvioida

Yritysten investointipäätösten tulee perustua huolelliseen näkemykseen lähivuosina tarvittavista kyvykkyyksistä. Tämä voi olla esimerkiksi nykyisen suorituskyykykuilun paikkaaminen, mutta myös näkymä uudesta suorituskyvystä. Yleensä kyselyissä yritysten vaatimukset investointien takaisinmaksuajoista ovat erittäin lyhyitä (esim 2-3v), mutta toisaalta, kun kysytään toisinpäin investoinneilta vaadittavalta tuotolta, näkymä on erilainen: esimerkiksi 12-13% tuottovaatimus tarkoittaa noin 8v takaisinmaksuaikaa ja 20% 5

vuotta. Bozkurt ym. (2020) ovat yllättäen todenneet, että logistiikan investointeja perustellaan usein vain strategisilla kysymyksillä ja käytännön tason kustannusten ja ominaisuuksien perustelu on puutteellista. He nimeävätkin laadullisia tekijöitä, joita investointien yhteydessä olisi syytä tarkastella pelkän laskemisen lisäksi. Näitä ovat skaalautuvuus, universaalisuus, modulaarisuus ja yhteensopivuus.

Logistiikka-alan messuilta voi helposti jäädä mieleen jonkinlainen teknologia- tai kalustonäyttelyilme. Tärkeämpää on kuitenkin tunnistaa, mitä kullakin teknologialla voidaan saada aikaiseksi, ja millä tavalla ne soveltuvat oman yrityksen ja käsillä olevan prosessin kehittämiseen. Toisinaan käytetään sanontaa: ”jos se ei ole rikki, älä korjaa sitä” kuvaamaan joutumista ojasta allikkoon, kun yritetään muuttaa kokonaisuudesta jotain osaa. Investointiin ryhtymiselle täytyy olla huolellinen liiketoiminnallinen analyysi ja taustaymmärrys prosessista (tässä tapauksessa usein tilaus-tuotanto-toimitusprosessista, joka on usein yrityksen ydinprosessi). Ja prosessia kannattaa yleensä tiivistää ja virtaviivaistaa ennen ja samalla kun uutta teknologiaa otetaan käyttöön. Varsinkin automaation kanssa voidaan joutua tilanteeseen, jossa uusi ratkaisu on tehokas tiettyyn tekemiseen, mutta se ei ole riittävän joustava muuttuviin tarpeisiin.



Kuva 4.21. Puoliautomaatio joustavuuden turvaajana sisälogistiikassa (Toyota Material Handling 2015).

Toyota MH käyttää termiä ”semiautomaatio” (puoliautomaatio) kuvaamaan teknologisia ratkaisuja, joissa esimerkiksi trukkeihin tai hyllystöihin lisätään älykkäitä ominaisuuksia siten, että järjestelmää voidaan ajaa osittain automaattisesti ja osittain manuaalisesti. Vastaavia ratkaisuja on eri toimittajilla. Esimerkiksi CEMAT 2014 -messuilla he esittelivät automaattisen navigoinnin kapeakäytävävaraston trukkeihin. Siinä keräilijä voi keskittyä omaan työhönsä ja poimia oikean tuotteen, kun automaatio ohjaa keräilykorin oikeaan paikkaan optimaalisesti (vrt. ihmisen opettelu ajamaan korkeus- ja sivusuuntaa yhtä aikaa; ks. Lahtinen 2014 CEMAT-messuraportti).

”puoliautomaattitrukit” ajaisivat manuaalisesti päivällä ja automaattilla ilta/yö/viikonloppuna? Muutenkin joukossa pk-toimijoita, joille AGV+automaatio ehkä liian jäykkää ellei selvästi keskittynyt johonkin massaan.

Messuille ei kannata ehkä lähteä ostelemaan irrallisia kikkkeitä, vaikka hienoja ratkaisuja onkin runsaasti tarjolla. Siinä missä 5 vuotta sitten myyjien puheissa painottui nopeus ja tehokkuus, nyt teknologiaa tarjotaan myös joustavuuden ja virheettömyyden tueksi. Ehkä oleellisinta on tunnistaa oman liiketoiminnan tarpeet, ja sitten etsiä sellainen palveluntarjoaja – integraattori, joka osaa räätälöidä kyseiseen prosessiin sopivan ratkaisun niin, että liiketoiminnan tavoitteet täyttyvät. Yksittäisen koneen, laitteen tai automaatin hankinta ei välttämättä johda kokonaisuuden kannalta optimaaliseen ratkaisuun. Valtavan nippelitarjonnan sijasta

fokusta kannattanee kiinnittääkin isoihin integroituihin ratkaisuihin, mutta ei kuitenkaan pelkästään siten, että yritys lähtisi kopioimaan jossakin muualla tehdyn ratkaisun sellaisenaan omaan prosessiin. Automaation ja robotiikan hinta on nyt kuitenkin tulossa alas suhteellisen reipasta vauhtia suorituskyvyn kasvaessa. Hinta/laatusuhde tulee jatkossa yhä houkuttelevammaksi monelle toimijalle.

5. VISIO UUDEN SUKUPOLVEN KOKOONPANOTEHTAASTA

Sardesai ym. (2019) ovat työstäneet skenaarioita (lähi)tulevaisuuden toimitusketjuista, niihin kytkeytyvistä trendeistä ja käytettävistä teknologioista. Oleellista niissä lienee tätä työtä silmällä pitäen on se, että kyseessä on erilaisia skenaarioita, miten tulevaisuus nähdään. Tässä päädytään kuitenkin yhdenlaiseen visioon tulevaisuuden tehtaan materiaalitoimintojen osalta. Ehkä tätä voi peilata myös vaihtoehtoisin skenaarioihin, joita Sardesai ym. (2019) esittelevät – ja toisaalta, yritykset voivat ajatella visiota ja tiekarttaa myös niin, että sitä voidaan lähteä tavoittelemaan paloittain. Ja vaikka maailma muuttuisi taustalla (kuten em. skenaariotyo reagoi), jos visiota kohti edetään roadmapin mukaisesti kivijalasta ja perusasioista ylöspäin, tehdyt toimenpiteet eivät valu hukkaan.

Ennen varsinaiseen visioon menemistä tässä on esimerkkinä vielä perinteisestä teollisuudesta autojen kokoonpano, mutta tätä voi pitää jo orientaationa kohti tulevaisuuden kokoonpanotehdasta. Case-kuvaus on kirjoitettu yritysvierailun perusteella Mercedesen tehtaalta Saksan Sindelfingenistä (alkuper. Lahtinen 2016 LogiMAT-raportti). Kun ajoneuvon kori on valmistettu ja se on kulkenut pintakäsittelylinjojen läpi, alkaa varsinainen kokoonpano- ja varustelutyö. Voimakas variaatioaste näkyy tässä erittäin selvästi, erityisesti tutustumiskohteena olleissa S- ja Maybach-malleissa. Nämä ovat hintavia autoja, joiden vaativalle asiakaskunnalle on tarjolla runsaasti valinnanvaraa. Kokoonpano S-sarjalle kestää kaksi päivää, joka on huomattavasti enemmän kuin useille keskiluokan ajoneuvoille. Tämän kokoonpanohallin pinta-ala on 81.000m², ja siinä työskentelee 15 hengen tiimeinä noin 2100 henkilöä.



Kuva 5.1. Mercedes-Benz -kokoonpanotoimintaa Sindelfingenissä.

Työntekijöiden viihtyvyys ja tiimit ovat tärkeitä. Suuri osa kokoonpanolinjan lattiasta on tehty puusta, joka on miellyttävä materiaali työntekijöille. Kokoonpanoa tehdään kolmessa vuorossa, kun korivalmistus toimii vain kahdessa vuorossa. Tuotantolinja pysäytetään taukojen ajaksi, jotta työntekijät voivat vapautuneesti käydä kahvilla ja syömässä sekä samalla vaihtaa kuulumiset kollegoiden kanssa yhteishengen lujittamiseksi. Tässä yhteydessä ei pystynyt arvioimaan onko kyse yhteishengestä tai sosiaalisesta paineesta, mutta työntekijöiden parkkipaikalla merkkiuskuollisuus tähtikeulaan oli liki täydellistä.

Varustelussa sisälogistiikan ja sen ohjaustratkaisujen merkitys näkyy voimakkaasti. Käytännössä jokainen auto voi olla yksilönä erilainen kuin muut, vaikka S-mersuissa onkin sellainen poikkeus, että peräti 80% on mustia. Linjalle toimitetaan tuotteita ”supermarketista”, joista poiminta tapahtuu pick-to-light –tekniikalla korkean täsmällisyyden takaamiseksi. Tehokkuuden ja joustavuuden lisäksi tämä täsmällisyys on merkittävä ulottuvuus, joka meidän pitää sisälogistiikassa toteuttaa. Tunnisteina tehtaalla käytetään aika lailla viivakoodia. Muiden lean-termien poissaolosta poiketen Poka Yoke ”älä tee virheitä”, näkyi logistiikkaprosessissa. Virheettömyys on välttämätöntä Just-In-Time toimintamallilla etenevässä linjassa. Tehokkuuden ja FIFO-periaatteen varmistamiseksi suuri osa tuotteista tulee vielä läpivirtaushyllyjen kautta kokoonpanijalle.

Mekaanisia apuvälineitä on käytössä mm. polttoainesäiliöiden asentamisessa, jossa yksinkertainen kevennin helpotti asentajien työtä. Pintakäsittelyn jälkeen ajoneuvoista on poistettu ovet varustelun ajaksi, ja ne asennetaan takaisin kokoonpanon päättyessä. Tämäkin helpottaa työergonomiaa ja todennäköisesti vähentää myös turhia liikkeitä. WLAN-tekniikkaa käytetään jotenkin ruuvauslaitteissa tunnistamaan kukin kohde erikseen ja varmistamaan oikeasta kiristysmomentista. Päivittäisjohtamisen taulut ovat myös käytössä, kuten myös digitaaliset näytöt tuotannon etenemisen vaiheista

5.1 Yhteenvedotaulukko visiosta – kypsyysmalli tulevaisuuden tehtaan materiaalitoiminnoille

Tässä raportissa esitetään sanallisen vision lisäksi myös taulukko siitä, millaisia osia joustavan ja ketterän uuden sukupolven kokoonpanotehtaan materiaalitoimintoihin sisältyy. Tämä kaavio on samalla rakennettu myös tulevaisuuden tehtaan kypsyysmalliksi materiaalitoimintojen osalta. Perusideana on ollut jakaa arvoa luova toimintoketju vaiheisiin asiakkaan kanssa tehtävistä kaupallisista toiminnoista (yhteinen suunnittelu, myynnin kuvat jne.) varsinaiseen toteutukseen, jossa korostuu toimitusketju- ja logistiikkaprosessi hankinnoista lähtien tehtaan vastaanottoon, mahdolliseen varastointiin ja edelleen materiaalin syöttämiseen oikeassa järjestyksessä kokoonpanoon siten, että kokoonpanossa saadaan tehokkaasti ja täsmällisesti oikeat nimikkeet oikeille paikoille. Edelleen valmistuva kokonaisuus pitää kyetä toimittamaan asiakkaalle.

Alla oleva taulukko voisi ensin tuntua teknologialuettelolta, mutta sitä tulee kuitenkin osata tulkita toimintoja tukevana. Kaikissa osa-alueissa ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä olemaan tikapuiden ylimmällä askelmalla, vaan yrityksen on tunnistettava omaan operaatiostrategiaansa sopiva taso. Lisäksi on syytä huomata, että varsinaisten toimintovaiheiden taustalla ovat mahdollistavat järjestelmät ja teknologiat. Siihen kuuluvat myös hyvä johtaminen ja oikeiden asioiden mittaaminen (esim. tasapainotetulla tulokortilla BSC).

ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS	ASIAKAS
- Digital Twin - Available-to-promise (ATP) & projektien/toimitusten karkea aikataulutus - Massaräätälöinti - AR/VR - Harmonisointi - Suunnittelun ja myynnin rajapinta - Modulointi - Tuoterakenne - Arviointi/palautte järjestelmät	- Integraatiot taustajärjestelmiin, RPA - Ennusteet (jopa APS/AI) - S&OP - <u>Setitys/kititys</u> - Läpinäkyvyys ja toimitusketjujuyhteydet (eri tasot VMI, CPFR jne.) - Tilausehdotukset - Paikallinen → Globaali → Hybrid - Push → Pull → JIT/Kanban - Luokittelut	- "Golli 2.0"? - <u>Track-and-trace</u> - Toimitusaikakikkunat ja -paikat - Toimituspäivät - Merkinnät - Dokumentointi - Sähköinen kuljetustilaus	- Robotisointi, "hihnalle automatisointi" = lajittelijat. - Turhien pakkausten poisto ja kierrätys - Valokuvaus - Nimikkeiden yksilöinti - Kollitunnistus - Cross-docking - Lähteyksen tunnistaminen	- Automaatio - Warehouse mgmt + inventory mgmt - Varastojen sijoittuminen (keskittäminen / hajauttaminen) + maantiede toimitusketjuissa - Järjeistetty tai dynaaminen paikoitus - Merkityt varastopaikat - Saldotarkkuus	- Automatisointi - Goods-to-picker - → itseohjautuva (mobiili)robotti/ puoliautomaatio - Varmennettava teknologia (hahmon/kuvantunnistus) - Avustavat tekn. (ennakointi, puhe- tai, valo-ohjaus) - Älykäs ohjaus (nimike-, erä-, alue- tai dynaam. keräily) - Mekanisointi → koneet (trukit)	- Mitä vaikutuksia ihmiseen – ja miten ihmisen joustavuus hyödynnetään? - Eksoskeleton - Cobotit - Hahmon- ja/tai kuvantunnistus - VR/valo-ohjaus - Keventimet - Itseohjautuvuus - Häiriöiden korjaus (siirto sivuun AMR?) - Jatkuva virtaus (one-piece-flow) - Tuotantoon, kun materiaalit saatavilla	- Palaute - Track-and-trace - Optimoitua (lähteykset ja reitit; kalusto & kuljetusmuoto) - Sähköinen kuljetustilaus & dokumentit - Lavaustyökalut (robotisointi?) - (Äly)Pakkaus, tunnistet, anturit ja merkinnät - Pakkaaminen	- Kierrätys - Elinkaari (TCO) - Lisä- ja varaosat - Huolto (VR?) - Ennakointi - Palvelut - Sensorit ja data - Käyttöönotto - Asennus & ohjeistus (VR)
KAUPALLISUUS	HANKINTA	KULJETUS	VASTAANOTTO	VARASTOINTI	KERÄILY	KOKOONPANO	TOIMITUS	YLLÄPITO
TEOLLISUUS 4.0 (Älykäs tulevaisuuden tehdas, cyberfyysiset järjestelmät, autonomisuus, tulevaisuuden org.) LOGISTIIKKA 4.0 (log.teknologioiden integraatio, plug-and-produce, toimitusketjun suorituskyky, resurssitehokkuus) JOUSTAVUUDEN LISÄÄMINEN (Asiakaskohtainen tuoteräätälöinti, volyyymi- ja prosessijoustavuus, virtaviivaistaminen) KOHTI VIRHEETTÖMÄMPÄÄ TOIMINTAA (Yksinkertaistaminen, kerralla kuntoon, nopeus, jatkuva virtaus one-piece-flow, kustannustehokkuus) LEAN-TOIMITAVAT (JA KULTTUURI) MUDA (hukan poisto), KAIZEN (jatkuva parantaminen)MURA/HEIJUNKA (vaihtelun vähentäminen ja tuotannon tasaaminen)								
MITTAAMINEN: JOHTAMINEN: TUNNISTUSHIERARKIA: TAUSTAJÄRJESTELMÄT JA –TEKNOLOGIAT:			Asiakas (Perfect Order ~ molempiin suuntiin → saatavuus, täsmällisyys, nopeus), BSC (vastuullisuus, kustannus) 7S, ergonomia, työtyytyväisyys ja –hyvinvointi, auditoinnit, toiminnan suunnittelu, simulointi ja optimointi Nimiöinti, koodit, standardit, harmonisointi, viivakoodit, AutoID, RTLS → Master Data (+ Big Data) ERP, CRM, WMS/MES, APS/AI, 5G					

Kuva 5.2. Uuden sukupolven kokoonpanotehtaan visio ja tiekartta materiaalitoimintojen osalta

Tiekarttaa analysoidaan myöhemmin luvussa 6.8 sen jälkeen, kun tässä on kerrottu vision osia ja 6 luvussa annettu käytännön toimenpide-ehdotuksia tulevaisuuden tehdasta kohti mentäessä. Vision sanallinen kuvaaminen on huomattavan paljon haastavampaa, ainakin lyhyesti. Pidemmän tarinan voi lukea alta luvusta 5.2 eteenpäin ja liittää sen aina lukuun 6.8 ”tiekarttaan”. Jos visio tulevaisuuden tehtaan materiaalitoiminnoista pitäisi purkaa sanallisesti lyhyesti auki, se voisi olla esimerkiksi jotain tällaista:

”Mahdollistetaan joustavat asiakaskohtaiset tuotteet täsmällisillä ja mukautumiskykyisillä prosesseilla ilman turhaa resurssien kulutusta hyödyntämällä saatavilla olevia logistiikan teknologioita, jotka rakentuvat standardisoidujen yksilöntien, tunnistamisen ja tietojärjestelmäarkkitehtuurien päälle. Jokaiselle nimikkeelle, keskeneräiselle tuotteella ja valmisvarastolle on reaaliaikainen tieto/suunnitelma sen/niiden statuksesta ml. saldot ja sijainnit siten, että tuotantoa voidaan ohjata täsmällisen datan pohjalta.”

5.2 Vision tarkastelua toiminnoittain

Kaupallisuus.

Yrityksen kaiken tekemisen tulee perustua sen todellisiin asiakastarpeisiin ja niiden tulee tapahtua valittua toimintostrategiaa noudattaen. Digitalisaatio antaa useita mahdollisuuksia asiakkaiden joustavampaan ja ketterämpään palvelemiseen jopa virtuaalista tai laajennettua todellisuutta (VR/AR) apuna käyttäen sekä antaa mahdollisuuden reaaliaikaiseen asiakaspalautteeseen. Edelleen tässä tulee kytkeä suunnittelu ja myynti yhteen, vaikkakaan tässä raportissa ei sinällään oteta kantaa tuotesuunnittelun uusin mahdollisuuksiin. Materiaalihallinnon liiallista paisumista voidaan hallinta esimerkiksi asiakasratkaisujen moduloinnilla ja nk. massaräätelöinnillä.

Hankinta.

Tässä työssä pyritään pääasiassa tarkastelemaan kokoonpanotehtaan sisäisiä materiaalitoimintoja. Tämä ei kuitenkaan voi olla liian tiukka raja, sillä useat materiaalitoimintoihin liittyvät tekijät liittyvät hankinnassa tehtäviin linjauksiin, siksi hankintoihin viitataan myös muutamissa kohdissa ja liitteet 2-4 käsittelevät hankintojen kehittämistä. Visiossa niistä pitänee nostaa esille luokittelut, yhteistyö, ”hukan poistaminen”, ja datan hyödyntäminen ennusteissa ja jopa tilaustoimintojen automatisoinnissa. Hankintojen tulee mahdollistaa valittu operaatiostrategia ja tässä yhteydessä turvata nimikkeiden saatavuus tuotannolle. Digitalisoituvalla hankinnalla itsellään on muitakin kehittämistavoitteita ja -tarpeita.

Kuljetukset.

Liikenteen digitalisaatiosta on puhuttu jo pitkään. Kokoonpanotehtaan kannalta keskeisiä nostoja ovat sähköinen kuljetusten tilaaminen (tehokkuus ja virheettömyys), lähetysratkannokset ja lähetysten seurantajärjestelmät. Viime mainituilla pystytään parantamaan informaation tarkkuutta ja siten tehostamaan tuotannon ohjausta.

Vastaanotto.

Vaikka perinteisesti vastaanoton kustannukset sisälogistiikassa ovat olleet pienet suhteessa keräilyyn, olemme usein havainneet, että keräilyn kehittäminen vaatii vastaanoton toimintamallien kehittämistä. Tässä vastaanotto nostetaan jopa kriittiseen rooliin. Tietysti taustalla pitää olla mahdollistavat tietojärjestelmät, systemaattinen nimeäminen (”Master Data” kokonaisuudessaan) ja tunnisteteknologiat, mutta vastaanoton tehokkuudesta ja virheettömyydestä (tunnistetaan lähetykset ja nimikkeet oikein, varmistetaan nimikkeiden kappalemäärät ja siten päivittyvät varastosaldot = varastosaldojen tarkkuus on yksi toiminnan tehokkuuteen

vaikuttava avaintekijä) lähtee liikkeelle joko sujuva toiminta tai sekasotku, jota täsmennellään koko materiaalivirran matkalla.

Vastaanottoon voi liittyä myös muuta tekniikkaa, kuten lajittelijoita, vastaanottolokerikkoja automaatteihin syöttämistä tehostamaan (esim. Agilonin lisävaruste) tai jopa kontin/trailerin purkuun sopivia robotteja. Vastaanotossa kannattaa myös vähentää turhaa pakkausjätettä.

Jotkut järjestelmät myös kuvaavat saapuvat lähetykset, kollit ja nimikkeet sekä taltioivat nämä. Näillä voi olla merkitystä myöhemmin reklamaatioiden ja hyvitysten saamisessa. Mutta varsinkin nimikkeiden kuvaamisella ja syöttämisellä tietojärjestelmään voidaan kehittää tulevaa keräilyä, jolla varmennetaan juuri oikean nimikkeen valinta. Tähän voidaan kytkeä jatkossa myös konenäköavuksi.

Varastointi.

Siirrot vastaanotosta hyllypaikoille tai käyttöpisteisiin voivat ottaa yllättävän kauan aikaa, ja näissä voi olla myös yrityskohtaisesti suuria eroja. Esimerkiksi v.2015 omaa auditointityökalua testatessamme ”door-to-stock” ajat vaihtelivat 1:stä 30:n tuntiin ka:n ollessa noin 14h (ja mediaani 12h). Tällä on suuri merkitys sitten, kun systeemi oikeasti pyörii kovilla kierroksilla (mm. saldotarkkuudet ~ informaation reaaliaikaisuus). Itse varastoinnille on tärkeintä ennen varastoautomaation menemistä se, että varastosaldot ovat oikein ja hyllypaikat on merkattu, ja tiedetään selkeästi, mitkä nimikkeet on sijoitettu mihinkin hyllypaikkaan. Seuraava prosessivaihetta eli keräilyä varten, voi olla hyvä, jos yhdellä hyllypaikalla on vain yhtä nimikettä keräilyvirheiden vähentämiseksi. Käytännössä tämä ei ole usein mahdollista, koska varastopaikkoja on rajallinen määrä.

Varastopaikat voivat olla määräytyneet satunnaisesti, mutta kehittyneemmät yritykset luokittelevat niitä esimerkiksi tuotteiden keräilytiheyden mukaan. Hyllypaikat voivat olla myös dynaamisia, jossa em. luokittelua tapahtuu jatkuvasti, jotta varastosijainnit optimoituvat, ja tehostavat seuraavaa työvaihetta. Koko varastoinnin keskeinen kulmakivi on kuitenkin varastonohjausjärjestelmä (WMS). ERP ei aina sisällä riittävästi ominaisuuksia (varsinaan fyysisen) varaston käsittelyyn – ja WMS tarvitaan myöhemmin myös niissä kohdissa, kun fyysisen ja digitaalisen maailman väliin tarvitaan integraatiota: usein erilaiset keräily- ja käsittelyteknologiat on helpompi kytkeä yhteen WMS:n kuin ERP:n kanssa. WMS:n lisäksi varastoon voi kytkeytyä erilaisia älykkäitä suunnittelujärjestelmiä (APS) tai tekoälyä (AI ~ Artificial Intelligence), jotka optimoivat varastoa, ja usein nämä ovatkin kytköksissä niin myynnin kysyntäennusteiden kuin hankinnankin kanssa siitä, missä kohdassa tilataan ja kuinka paljon lisää mitäkin nimikettä.

Jotta perinteinen varastoautomaatio olisi kannattavaa, volyymien pitää olla suuria, käsiteltävien kappaleiden jossain määrin homogeenisia – ja näkymän riittävän pitkä tulevaisuuteen: varastoautomaatioinvestointi saattaa olla vuosikymmeniä eteenpäin valittava ratkaisu.

Keräily.

Keräily on usein kaikkein eniten työtä ja kustannuksia aiheuttava varastoprosessin osa. Siksi siihen on tarjolla monenlaista teknologiaa. Tässäkin on ennen teknologiaan menemistä hyvä varmistua, että perustekeminen on kunnossa. Esim. kerätäänkö kaikki johonkin tilaukseen liittyvät komponentit kerralla (samalla saldot varmistaen) vai kerätäänkö kukin osakokoonpano erikseen? Tämä saattaa nostaa tuota ”dynaamisten” varastopaikkojen haastavuutta. Ehkä oleellisinta on 1.saldot, 2.varastopaikkojen merkintä 3. yhtä nimikettä yhdellä varastopaikalla (vältetään keräilyvirheitä seuraavassa vaiheessa) 4. keräilyjärjestyksen optimointi 5. hyllypaikkojen optimointi (ja sen dynamiikka, joka tietysti vaikuttaa 4.kohtaan).

Keräilyyn on saatavana niin avustavia kuin varmentaviakin teknologioita. Viime mainitut voivat olla suunnilleen samanlaisia kuin seuraavassa työvaiheessa kokoonpanossa. Avustavia teknologioita on suuri joukko, joista tunnetuimpia ja eniten koettuja ovat puhe- ja valo-ohjaus.

Kokoonpano.

Kanban eli kaksilaatikkojärjestelmä on monille nimikkeillä kätevä ratkaisu. Niissä täydennysvastuu voi olla tavarantoimittajalla (VMI ~ Vendor Managed Inventory) tai ne voivat olla jopa tavarantoimittajan taseella kaupintavarastona (Consignment Stock), jossa maksu tapahtuu käytön mukaan. Tähän on olemassa jo erilaisia edistyneitä, esimerkiksi RFID-teknologialla toteutettuja kaksilaatikkoratkaisuja, joissa tyhjä laatikko laitetaan tiettyyn paikkaan, jossa on RFID-lukija ja siitä syntyy täydennyspyyntö tavarantoimittajalle. Kun pyrimme täsmällisyyteen toiminnoissa, meidän tulee varmistua siitä, että ohjeet ovat selvät, ja komponentti poimitaan oikeasta laatikosta. Tähän voi käyttää avustavia tai varmentavia teknologioita: Valo-ohjaus voi näyttää oikean poimittavan nimikkeen tai kuvantunnistus varmistua siitä. Kevyemmässä ratkaisussa hahmontunnistuksella varmistutaan, että ”käsi kävi” oikeassa laatikossa. Edelleen – varsinkin liki samannäköisten komponenttien osalta – voidaan hyödyntää värejä: laatikot voivat olla eri väreisiä ja asennusohje näyttää myös tekstin värillä, mistä laatikosta poiminta tulee tehdä.

Toimitus.

Toimitusvaiheeseen sisältyy monenlaista yhteydenpitoa asiakkaaseen ja mahdollisesti myös kuljetusliikkeeseen – ja tulevaisuuden tehtaassa on niihin digitaalisia työvälineitä. Perusta lähtee kuitenkin pakkauksesta, joka suojaa tuotetta ja pakkaamisesta, joka pitäisi pystyä tekemään riittävän tehokkaalla (ja ekologisella) tavalla. Pakkaukseen kytkeytyy tunnistetta ja dokumentaatiota, mutta pakkaus voi olla myös ”älykäs”, jolloin siinä on esimerkiksi toimituksen tilaa ja kuntoa seuraavia ja raportoivia antureita. Pakkausten kokoaminen lavoilta ja lavojen siirtämiseen kuljetusyksikköön (konttiin tai traileriin) on myös automatisaatiota kehitetty, mutta todennäköisesti high mix / low volume -lähetykset ovat niin heterogeenisiä myös fyysisiltä mitoiltaan, että tällaisia voi olla hankala saada hyödynnettyä samalla tavalla kuin esimerkiksi elintarvike- ja virvoitusjuomateollisuudessa.

Itse kuljetustilaus ja dokumentointi voivat hoitua sähköisesti. Ja kun sisältö, koko, lähtö- ja määräpaikka ovat selvillä, dataa voidaan käyttää optimointityökaluissa kuljetusmuoto-, kalusto- ja reittioptimoinnissa. Näillä on merkittävät kustannus- ja muut vaikutuksensa, kuten päästöt. Ja edelleen digitaalisessa muodossa oleva kuljetustieto mahdollistaa toimitusten seurantapalvelun (track-and-trace) ja tämän tiedon jakamisen asiakkaalle, jolla voi olla suuri merkitys heidän toiminnannohjauksen ja yleisesti asiakastytyvyyden kannalta. Toimitukseen liittyy myös asiakaspalautteen ja muiden mittareiden seuranta.

Ylläpito.

Valmistettavat tuotteet ovat usein sellaisia, että ne joko sisältävät palvelua (~ palvelullistuminen ~ servitization) tai vaativat asennusta ja opastusta kohteessa. Viime mainittuun voidaan ottaa avuksi esimerkiksi virtuaalitodellisuutta tai muita ”linsejä”, joissa asentajalle ohjeistetaan työn kulku vaiheittain. Samaa tekniikkaa voidaan käyttää hyväksi myös varsinaisissa kunnossapitotoiminnoissa myöhemmin elinkaaren aikana. Näihin tehtävä ”sisällöntuotanto” on kuitenkin ollut aiemmin melko työlästä ja kallista, mutta nykykehitys tuonevat nämä mahdollisiksi myös pk-toimijoille käsillä olevan visioaikataulun puitteissa.

Tulevaisuuden tehtaan toimittamissa tuotteissa on sensoreita, jotka keräävät ja raportoivat ylläpitoon tietoja. Tämä voi auttaa palveluiden tuottamisessa, huollon ja varaosatoimintojen ennakkoinnissa. Kaikessa toiminnassa pyritään asiakkaan elinkaarikustannusten (TCO ~ total cost of ownership) hallintaan siten, että ylläpito on myös toimittajalle kannattavaa. Lopulta toimitettava tuote tulee kuitenkin elinkaarensa päähän, jolloin vähintään sen materiaalit on kierrätettävä, mutta sitä ennen kannattaa tutkia muut korkeamman jalostusasteen kiertotalouden mahdollisuudet, kuten esimerkiksi joidenkin komponenttien uusiokäyttö. Yritysten kannattanee lähteä jo suunnittelussa pohtimaan, että olisiko tuote purettavissa samalla tavalla osiksi, kun se pannaan kokoon? Varmaankaan vielä tällä 4-5v visiojaksolla emme näe tätä vaihetta robotisoituna, mutta olisiko syytä varautua nyt tuotannossa tällaiseen vaihtoehtoon tulevaisuudessa?

5.3 Mahdollistavat teknologiat: taustajärjestelmät ja tunnisteet

Yrityksen materiaalitoimintojen läpäisevän vaiheittaisen toimitusketjun lisäksi visiossa pari erilaista osaa ”kivijalkana”. Toinen näistä kattaa taustajärjestelmiä ja muuta infrastruktuuria sekä mittaamista ja johtamista, ja toinen tiekarttaa siitä, miten visiota voidaan tavoitella vaiheittain. Molemmat liittyvät kuitenkin siihen, että käytännön digitaalisiin ratkaisuihin tehtaan materiaalitoiminnoissa ei voida edetä, jos perusta ei ole kunnossa.

Tietojärjestelmähierarkiaa purettiin auki mm. kuvassa 4.10. Siinä voidaan hahmottaa, että yritys kytkeytyy arvoketjuun ERP:n kautta: erityisesti tämä näkyy myynti- ja ostotilausten hallintana. Nämä molemmat ovat ”materiaalitoimintojen” kannalta aivan keskeisiä. Niistä tiedämme, mitä nimikkeitä ja milloin on käsiteltävä, ja mitä tuotantosuunnitelmaan mukaan ”kytketään yhteen”. ERP ei usein itse ole ”älykäs”, vaan toiminnan optimointi voi vaatia erillistä älykästä suunnitteluohjelmaa tai tekoälyä (APS/AI). Käytännössä ERP voi olla kuitenkin liian jäykkä tulevaisuuden tehtaan muille teknologioille, kuten tuotannon koneiden tai varastoautomaation ohjaamiseen. Näitä varten onkin otettu käyttöön MES/WMS -ratkaisuja, jotka käyttävät ERP:n tietoja (ja syöttävät takaisin), mutta joihin on kuitenkin ERP:ää helpompi integroida tekemisen prosessissa tarvittavia laitteita, jotka edelleen tunnistavat materiaali virtaa.

Ja edelleen materiaalivirran tunnistaminen ei lähde liikkeelle tunnistusteknologiasta, kuten viivakoodista tai RFID:stä, vaan siitä perustasta, että nimikkeet, tuoterakenteet, paikat ja osapuolet on yksilöity. Sen jälkeen niiden hallinta, esimerkiksi saldotarkkuuksien ja sitä kautta toiminnan sujuvan ohjaamisen aikaan saamiseksi, voidaan toteuttaa oikealla tunnistusteknologialla.

5.4 Materiaalitoimintojen mittaaminen ja johtaminen digitalisoituvassa tulevaisuuden tehtaassa

Visioon on sisällytetty perinteisen 5S:n jatkojalostuksena kaksi muuta S-ulottuvuutta Safety & Security. Työturvallisuus on ehdottoman tärkeä osa vastuullista tulevaisuuden tehdasta. Jatkuva parantaminen tapaturmien vähentämiseen esimerkiksi työturvallisuushavaintojen kautta kertoo turvallisuuskulttuurista ja ihmisten arvostamisesta, mutta myös siitä, että tekemisen prosessi on hallinnassa. Tehdas- ja logistiikkakeskusympäristöissä Security puolestaan on nähty turvallisuutena suhteessa ulkopuolisiin häiriöihin, kuten tarpeettomiin liikkujiin alueella, tieto- ja tavaravarkauksiin. Tulevaisuuden tehdas perustuu yhä enemmän dataan ja sen perusteella tehtäviin ratkaisuihin. Käsillä voi olla enemmän järjestelmiä pilvessä ja niiden välisiä integraatiota jopa eri organisaatioissa olevien toimijoiden kesken. Siksi tämä (cyber)security ulottuvuus pitää tavalla tai toisella varmistaa jo alkuvaiheessa perinteisempien security-toimintamallien rinnalla.

Kaikesta automatisaatio- ja robotisaatiokeskustelusta huolimatta ihmiset ovat edelleen tärkein osa tulevaisuuden joustavaa tehdasta. Ja valistuneet yritykset osaavat – tai ainakin haluavat – huolehtia tästä ulottuvuudesta ja ylläpitää työtyytyväisyyttä ja -hyvinvointia. Tämä on toki keskeinen osa perinteistäkin johtamista, mutta digitalisoituvissa materiaalitoiminnoissa on syytä varmistua, että elementit pyörähtävät oikeaan suuntaan muutoshankkeissa: digitalisointi voi nimittäin vaikuttaa niin tarvittavaan osaamiseen, koettuun autonomiaan, työn merkitykseen jne. Kehitys voi olla positiivista, jos työntekijä ymmärtää muutoshankkeen oikein eikä näe sitä uhkana omalle työlleen, mutta myös vastakkaisia ajatuksia voi olla liikkeellä. Ja sekin voi olla tärkeää, että työntekijä ei koe olevansa automaatin jatke väärällä tavalla.

Kun digitalisaation myötä saatavilla olevan data määrä kasvaa, se mahdollistaa toiminnan suunnittelua eri tavoin mm. simulointien ja optimointien kautta. Ja samalla se moni(kymmen)kertaistaa mittaamisen

mahdollisuudet osana johtamista. Silti perinteiset vinkit mittaamisen ja johtamisen yhdistämisestä pätevät aika pitkälle: mittaa sitä mikä on oleellista teille ja asiakkaalle, mihin työntekijät voivat vaikuttaa ja mitä halutaan kehittää eteenpäin (tai minkä pohjalta esimerkiksi palkitaan). Digitalisaation suurin hyöty mittaamiselle varmasti tulee reaaliaikaisuudesta ja sitä kautta nopeammasta mahdollisuudesta tehdä tarvittavia korjausliikkeitä. Liikkeenjohdon kokonaisuymmärrys on näissä tärkeää: pitää ymmärtää kokonaisuus ja juurisyyt, kun toimintaa lähdetään päivittämään.

Materiaalitoimintoihin voidaan soveltaa monenlaisia auditointi/katselmusmalleja (joista tähän suoraan liittyvänä esimerkkinä on nostettava esille TUDI-hankkeessa tuotettu katselmusopas; Almqvist & Koskela 2020), ja kokonaisuutta voidaan johtaa myös tasapainotusta tulokortista (BSC ~ Balanced Scorecard) johdetuille, materiaalitoimintoihin soveltuvilla mittareilla. Näitä voivat olla nykyisen suorituskyvyn lisäksi (esim. nimikkeiden saatavuus% tuotantoon tai toimitustäsmällisyys asiakkaille) mm. henkilöstön kehittyminen, prosessin läpimenoajan tai sitoutuneen pääoman pienentäminen tai vastuullisuuteen (esim. ekologia) liittyvät tekijät. Näin yritys voi varmistua siitä, että tehdas vastaa myös tulevaisuudessa markkinoiden vaatimuksiin.

Kotimaisessa WADELMA-hankkeessa on tehty kansainvälisestäikin ansiokasta työtä toteuttamalla varastotoiminnan kustannuslaskentaa erilaisissa ympäristöissä (kauppa, teollisuus) nk. toimintolaskentamenetelmällä (ks. Aminoff ym. 2004). Yleensä varastoauditoinnit ovat kyselypohjaisia, mutta tarkemmalla toimintolaskennalla päästään paremmin ymmärtämään varaston profiilia kustannusajureineen. WADELMA-tyyppinen selvitys kannattaisi ehdottomasti uusia, jotta saisimme päivitetyn nykyisiä kustannusrakenteita vastaavan ymmärryksen tekemisestä ja miten digitaalisia työvälineitä käyttämällä toimintaa voitaisiin tehostaa. Esimerkiksi vastaanoton roolin muutos kokonaiskustannuksista on kiinnostava, kun yritykset menevät yhä enemmän JIT – ja jopa JIS-tyyppisiin ratkaisuihin.

Kehittämiskohteet liittyvät myös toisiinsa. Esimerkiksi varaston saldovirheistä aiheutuvat tuotepuutteet tai toimittajien viiveet jatkuvat usein edelleen tuotantoon ja toimituksiin asti. Asiakkaat voisi myös olla nykyistä paremmin segmentoituna logistiikkavaatimusten suhteen: tällöin tiedettäisiin kunkin asiakkaan aidot vaatimukset, eikä kaikkia tilauksia välttämättä priorisoitaisi nopeuden mukaan.

Kommunikointia esimerkiksi digitaalisin reaaliaikaisesti tilannetta visualisoivin välinein voisi parantaa hyödyntää. Tämä voisi näkyä esimerkiksi tehtaan lattialla siten, että suuret näytöt kuvaisivat jonoina lähdössä olevia toimituksia, ja eri värikoodit kuvaisivat näihin tilauksiin sisältyvien rivien statusta. Tällöin kokonaistilanne olisi visuaalisesti ymmärrettävissä ja johdettavissa.

Sisälogistiikan tutkimuksissa keräily esitetään aina kalleimmaksi ja työvoimavaltaiseksi tehtäväksi (ks. esim Aminoff ym. 2004 ja viittaukset siihen sen jälkeen). Keräilyn tehostamiseen onkin tarjolla runsaasti erilaisia ratkaisuja, kuten puhe- tai valo-ohjattua keräilyä. Perusväittämä on kuitenkin se, että järjestelmien hyödyt eivät välttämättä synny pelkästä teknologiasta, vaan niiden käyttöönoton yhteydessä tarvittavan informaation täsmällisyyden parantamisesta. Tällöin esimerkiksi etsimiseen kuluu huomattavasti vähemmän aikaa.

5.5 Case-esimerkkejä vision osien toteuttamisesta

Koska visio itsessään on hyvin laaja, tässä luvussa käydään muutamia yksittäisiä näkökulmia läpi, joissa jokin osa visiosta voidaan toteuttaa. Nämä ovat kuitenkin yksittäistä teknologiaa laajempia ja yhdistävät erilaisia tässä raportissa esille nostettuja näkökulmia. Edelleen nämä neljä casea voidaan liittää toisiinsa.

5.5.1 Varastoautomaatti puskurina ja lajittelijana kokoonpanoa varten

Tässä alaluvussa esitetään nykyisin saatavilla olevaa varastoautomaattia ”älykkään tehtaan” kulmakivenä. Ajatuksena on kuvata yksinkertainen kokoonpanotoiminta, jossa ei enää kyseisessä yksikössä ole ”muokkaavaa teollisuutta” markkinoilta saatavilla olevaan materiaalinkäsittelyjärjestelmään perustuen siten, että automaatti toimisi materiaalin puskurina ja lajittelijana kokoonpanoa varten.

Automaatit auttavat tilankäytössä, tuotteiden säilyvyyden/rikkoontumattomuuden varmistamisessa – ja voivat auttaa myös keräilytehoissa. Silti pk-yrityksessä suurin hyöty taitaa löytyä tietohallinnon parantamisesta? Eli automaation käyttöönotto vaatii tietojärjestelmää ja siellä ajantasaisia tietoja!! Ja nämä tiedot auttavat toiminnan tehostamisessa.

Oheisessa kuvassa on kytketty robottisolu Konecranesin nk. Agilon -varastoautomaattiin. Periaatteessa kokonaisen kokoonpanotehtaan voisi rakentaa tällaisen idean varaan. Esimerkissä logistiikka saapuvan ja lähtevän tavarankäsittelyineen voisi olla toisella puolella automaattia, josta komponentteja syötetään varastoon ja josta valmiit tavarat otetaan varastoautomaatista asiakkaille lähetettäväksi. Vaihtoehtoisesti rakenne voi olla myös niin, että automaatti on puskurina kokoonpanoon, mutta kokoonpantuja valmiita tuotteita ei enää syötetä takaisin automaattiin, vaan ne kerätään siltä puolelta suoraan lähetettäväksi asiakkaille.

Kuvassa olevan robotin lisäksi ja/tai sijasta automaatin kyljessä voi olla myös manuaalista kokoonpanoa. Ja vielä siten, että automaattista voi olla useampi ulosottopiste yksi kuhunkin erilaiseen kokoonpanoon soluun, jotka on varusteltu tietynlaisilla työkaluilla, osaamisilla ja kyvykkyyksillä tarvittavan kokoonpanotyön mukaan. Kukin tuote siis valmistetaan siihen soveltuvassa solussa automaatin kyljessä tai ulosottoaukolta alkavalla linjalla. Jos tuotteen valmistaminen vaatii monta eri solua, keskeneräinen tuotanto voidaan syöttää tarvittaessa välillä takaisin automaattiin, kun solu on tehnyt oman työvaiheensa.



Kuva 5.3 Robottisolu nk. Agilon varastoautomaatin yhteydessä (www.konecranes.com) Kai Lindforsin toimittamasta myyntiesitteestä otettu kuvakaappaus.

Ideassa on siis kyse siitä, että varastoautomaatti hoitaa koko logistiikan, järjestäytymiset ja materiaalitoimitukset. Pienessä mittakaavassa, jos kaikki tarvittavat tuotteet voidaan käsitellä tällaisessa automaatissa, yritys selviäisi jopa ilman irrallista varastonhallintajärjestelmää. Automaatille syötetään komponentit omasta syöttöaukostaan sellaisessa paikassa, jossa materiaalinvirtaus on hyvää, tehokasta ja turvallista, eikä se häiritse varsinaista tuotantotyötä. Varsinainen kokoonpano on sitten omissa soluissaan tai linjoilla, joihin automaatti tarjoaa komponentteja oikeassa järjestyksessä. Tähän pitää sitten olla joko tuotannonohjausjärjestelmä tai jokin muu ratkaisu, jossa varastoautomaatti tietää tuoterakenteet, kokoonpanoaikataulut ja -järjestyksen.

Automaatti tarjoaa monia etuja tällaiseen toimintaan. Saldotarkkuus on lähellä täydellistä, keräilyvirheet voidaan minimoida ja oikea nimike saada kokoonpanoon oikeaan aikaan. Tuotanto sujuu häiriöttömästi, kun nimikkeet tulevat kokoonpanoon oikein – ja kokoonpanoa ei edes aloiteta, jos varastoautomaatiossa ei ole valmistettavan tuotteen kaikkia komponentteja. Järjestely vähentää merkittävästi myös manuaalisen työn määrää ja tarpeetonta liikkumista. Automaattia voidaan rakentaa käsillä olevin tilojen mukaan joustavasti 6m korkeuteen asti, siinä voi olla välillä kuljettimia jne.

Tehokkuuden parantamiseksi automaatti voi etukäteen, esim edellisen illan ja yön aikana, järjestellä komponentteja siten, että ne tuodaan lähelle sitä ulosottoaukkoa, jossa kyseistä nimikettä tarvitaan kokoonpanoon. Silloin työ voi sujua entistä nopeammin ja joustavammin. Rajoitteina tällaisella ratkaisulla voitaneen nimetä automaatin asettamat maksimimitat ja -painot käsiteltäville nimikkeille. Ja suurten volyymien tapauksessa pitää arvioida, onko järjestelmä liian hidas esimerkiksi materiaalien syöttämiseen, johon on tosin omia ”syöttölaiteratkaisujaan” olemassa tätä ongelmaa vähentämään.

5.5.2 Mobiilirobottien käyttö materiaalien syöttämisessä

Edellä kuvattua ratkaisua voisi laajentaa suurempaan laitokseen siten, että kokoonpanopisteiden väliset materiaalitoimitukset hoidettaisiin mobiiliroboteilla. Mobiilirobottien kehitys on ollut erittäin voimasta viime vuosina ja itse käsitekin on melko tuore: aiemmassa TUDI Logimat 2017 -raportissa puhuttiin vielä ”kevyistä AGV -ratkaisuista”.

Nämä ovat käteviä ja helppoja käyttöönottaa myös siinä mielessä, että ne on nopeasti ohjelmoitavissa ilman erityistä ohjelmointiosaamista, mutta myös siksi, että laitteita ei tarvitse integroida kovin moniin muihin järjestelmiin. Mobiilirobotti voi siis toimia hyvin itsenäisesti. Tietysti laite itsessään pitää toiminnallisessa mielessä integroitua moneen eri osaan toteutuksessa, mutta ohjelmistoa ei välttämättä tarvitse integroida koviin moneen eri paikkaan.

Wehking & Popp (2015) ovat esittäneet myös konseptin ”mobiilista supermarketista”, jossa AGV-pohjaista ratkaisua (huom. tuolloin ei vielä ollut käytössä nykyisenkaltaista mobiilirobottia) käytetään joustavassa ja ketterässä tuotannossa siten, että samakin nimike voidaan eri kerroilla toimittaa eri paikkoihin asennussekvenssien tarpeen mukaan (ks. Bozkurt ym 2020). Tämä lienee sovitettavissa alla olevan luvun kanssa yhteen silloin, kun mobiilirobotti halutaan yhdistää muuttuvan tuotantolinjan kanssa, mutta mobiilirobotti sopii toki perinteiseenkin supermarket-toimintaan.

Mobiilirobotti tehostaa monella tapaa tehtaan toimintaa. Asentaja voi keskittyä varsinaiseen työhönsä ja aikaa ei kulu materiaalien noutamiseen kokoonpanopisteeseen. Mobiilirobotit voivat tarvittaessa jopa työskennellä eri aikoina ja valmistella työtä, mutta ne kyllä soveltuvat hyvin muunkin tehdasliikenteen joukkoon ilman turvallisuusongelmia. Tämä voi olla mielenkiintoista myös työntekijöille: jätetään puuduttavampaa rutiinityötä tavaranoudoissa robotin hoidettavaksi – ja keskitytään itse mielenkiintoisempiin ja enemmän osaamista vaativiin työvaiheisiin. Tai mobiilirobotti voi olla osa kehityspolkua, jossa logistiikan ja tuotannon työtehtävät eriytyvät: logistiikka huolehtii materiaalihallinnon

ja tarvittavat työkalut asentajalle käden ulottuville, ja asentaja voi keskittyä omaan työhönsä. Lean-hengessä voidaan siis kysyä, mikä estää asentajaa tekemästä työtään? Mobiilirobotti voi osaltaan auttaa hukan poistamisessa tässä asiassa.

Bartholdi ja Hackman (2019) ovat havainneet, että keräilyn tehokkuus voi heikentyä suurissa varastoissa. Mikäli varaston koko kasvaa, tämä pitää ottaa huomioon prosesseissa ja teknologioissa. Yksi mahdollinen ratkaisu toiminnan kasvaessa on siirtää osa siitä mobiilirobotille. Robotin kulkemille etäisyyksille ei ole tässä laskettu kilometrihintaa, mutta sen oletetaan olevan ihmistyötä edullisempaa ja täsmällisempää. Mobiilirobotit soveltunevat siten myös vähän pidemmällä matkoilla tavaroiden hakemiseen.

5.5.3 Itsestään ohjautuva tuotanto monitaitoisissa työpisteissä

Voimakkaasti korostuneessa high mix / low volume – tuotannossa voi olla hyvin haasteellista saada linjamaista kokoonpanoa toimimaan, kun tahtiajat (onko standardiaikoja vaihteleville työvaiheille edes olemassa) vaihtelevat voimakkaasti tuotteittain. Itse asiassa valmistusjärjestelmän monimutkaisuus kasvaa eksponentiaalisesti, kun tuotteiden elinkaaret lyhenevät, ne sisältävät yhä enemmän ominaisuuksia, asiakaskohtaista räätälöintiä jne. Tuotanto- ja logistiikkajärjestelmästä tulee vähitellen niin kompleksinen, että sitä ei välttämättä kyetä järkevällä tavalla hallitsemaan keskitetyllä rakenteella, vaan tarvitaan uusia lähestymistapoja. Tällaiseen tilanteeseen ratkaisuna voi olla joustavat monitaitoiset asennuspisteet, joiden kautta työt ja materiaalit ohjataan. Osaava työvoima on kallista ja sitä ei välttämättä ole koko ajan joka paikkaan saatavana – eikä sitä ole varaa pitää puskurissa ylimääräisenä resurssina.

BCG ja IPO ovat simuloineet suurin piirtein tällaista tuotantoa erittäin voimakkaasti räätälöitävien autojen kokoonpanossa. Heidän simulaatiotulosten perusteella tuottavuus voisi olla 12% parempi kuin vastaava kokoonpano linjamaisessa tuotannossa (Kupper ym 2018). Tämän saman %-luvun voisi nähdä olevan myös kustannussäästö palkkojen osalta. Simulaatiomallissa autojen korit liikkuvat AGV:llä niiden kokoonpanopisteiden kautta, joita ko. yksilön kokoonpanoon tarvittiin.

Yritys voi sen sijaan – tilojen niin salliessa – pitää useampia yleiskäyttöiseksi varusteltuja asennuspisteitä, joiden kautta työt virtautetaan. Materiaalit syötetään näihin työpisteisiin kulloinkin käsillä olevaan tehtävään, mutta varsinkin yleisimmät osat voivat onnistuneen harmonisoinnin kautta olla jopa kaksilaatikko kanbanilla toimivia ja vain vaativimmat erikoisosat tulevat työvaiheelle ja tilaukselle ohjattuna. Ja sitten se varsinainen pihvi tuotannon näkökulmasta: joustava ja monitaitoinen kokoonpanija siirtyy työpisteeltä toiselle tarpeen mukaan. Ja jos tuotanto yksittäisessä pisteessä pysähtyy jonkin ongelman vuoksi, koko systeemi ei pysähdy, kuten linjamaisessa tuotannossa.

Pysähdyksen voi aiheuttaa moni eri tekijä. Varsinkin kun puhumme nyt erittäin suuresta variaatioiden määrästä (high mix) ilman toistoja (low volume), niin inhimillisestikin ajatellen on ymmärrettävää, että jokainen yksittäinen vaihe – silloin kun niitä on satoja tai tuhansia, ei välttämättä toimi täysin saumattomasti. Tässä raportissa keskitytään erityisesti materiaalivirtoihin ja logistiikkaan tehtaalla. Perusajatus on, että materiaalilogistiikka kyetään nykyaikaisilla tietojärjestelmiä hyödyntämällä rakentamaan joustavaksi ja toimintavarmaksi, ja siten visiona on, että tuotannon virta ei pysähdy materiaali puutteiden takia. Kuitenkin jo taustalla olevista teorioista lähtien 100% toimitusvarmuuden saaminen yksittäiselle nimikkeelle on mahdotonta – ja käytännössä saatavuudelle asetetaan vaatimustasoksi nimikkeen luonteesta riippuen esim. 98,5 tai 99%.

Nimikkeen saatavuuden nostaminen 95%:sta 98%:iin vaatii varmuusvaraston kasvattamista noin 25%:lla. Jos 95% haluttaisiin nostaa 99,5%:iin, niin varmuusvarastoa pitää kasvattaa noin 57%. Muutos 98%:sta 99,5% vaatii siis yli 25%:n varaston kasvattamisen. Ja tämä on merkittävästi pääomaa sitova asia. Edelleen on hyvä hahmottaa, että jos laitteen kokoonpano vaatii esim. 20 erilaista komponenttia – ja näiden kunkin

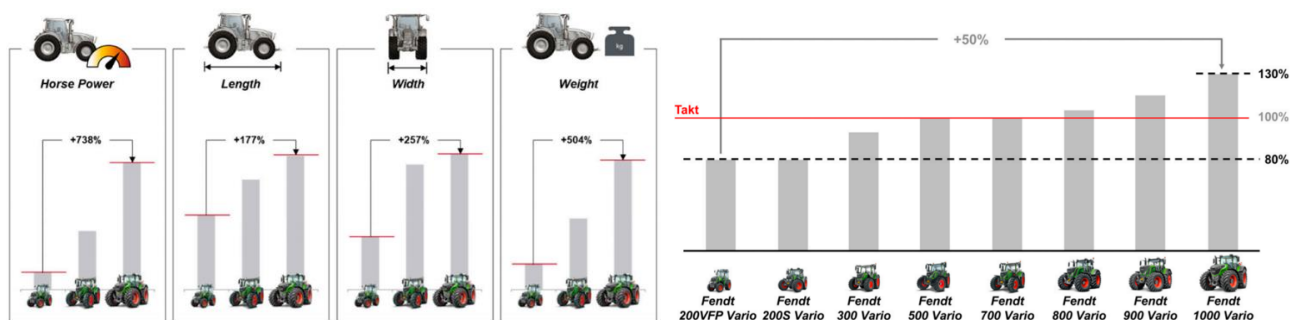
saatavuus olisi 98%, tuote saataisiin kerralla valmiiksi vain noin 67%:n todennäköisyydellä. Jos saatavuudet ovat 99,5%, kaikki osat ovat saatavilla jo yli 90%:n todennäköisyydellä. Koska tämäkin on aivan liian matala toimituskyky yritykselle, high mix / low volume -toimijat ovat pakotettuja niin pitkiin tilaus-toimitusviiveisiin asiakkaille, että komponentteja tilaukselle ehditään hankkia sekä tuotanto suunnitella ja aikatauluttaa tehokkaasti toteutettavaksi.

Tällaista virtautusta voidaan ohjata infotaulun avulla. Varsinkin, jos kytketään vielä "andon-valot" työpisteille siten, että vuoroa johtava näkee kunkin pisteen statuksen (esim. työ käynnissä, ongelma päällä tai työpiste vapaa) reaaliaikaisesti. Silloin osaava työnjohto osaa jakaa tiimiään kompetenssien mukaan oikeille työpisteille ja -vaiheille jatkuvasti. Tietysti lisäkehitysvaihtoehtona voisi olla jopa tekoälyn soveltaminen tällaiseen: tekijälle tulisi ohjeita, mihin pisteelle seuraavaksi mennä ja mitä tehdä. Kaiken taustalla on silti tuotannon- ja varastonohjausjärjestelmät, jotka ohjaavat logistiikkaan erikoistuneelle henkilöstölle, mitä materiaaleja mihinkin työpisteeseen pitää toimittaa. Kokoonpanijoiden ei tarvitse liikkua varastoon, vaan he siirtyvät vain tehokkaasti työpisteiltä toiselle, jossa heille on tarvittavat materiaalit ja työkalut saatavilla. Toimintamallissa siis optimoidaan henkilöstöresurssin käyttö kuitenkin siten, että työn on monipuolista ja vaihtelevaa. Tehtävien standardiajat eivät ole (ainakaan aluksi) tässä mallissa kriittinen tekijä, vaan osaaville työntekijöille voidaan antaa valtuudet työnsä kehittämiseen. Asiakkaalle puolestaan annetaan toimitusaikaikkuna esim. 2pv liukumalla, jolloin tuotanto voi olla sopivan väljää eikä minuutilleen kelloitettu; tietojärjestelmään kertyy kuitenkin tiedot, milloin koko asiakastoimitus on valmiina pakattavaksi, ja työvaihe alkaa ja asiakkaalle menee tieto, kun järjestelmään on tullut kuittaukset kaikista tarvittavista osista. Edelleen tällaista järjestelmää voidaan edistää siten, että annetaan materiaalisiirrot edellisessä luvussa esitellyllä tavalla mobiilirobottien tehtäväksi.

Bozkurt ym (2020) esittelevät JIS:n (Just-in-Sequence) ja JIR:n (Just-in-Real-Time) jatkokehityskaskelina JIT:lle. Juuri JIR voisi olla ideatasolla sopiva malli tällaisen kokoonpanon ruokkimiseen. Muutoin tilantarve logistiikkatoiminnoille kokoonpanon yhteydessä voisi kasvaa liian suureksi ja keskusvarastolta täydennettynä liikkumiseen voisi puolestaan mennä liikaa aikaa ja vaivaa tai se voisi aiheuttaa epävarmuutta (hajontaa, jota uuden sukupolven kokoonpanotehtaassa pyritään hallitsemaan). Ohjausjärjestelmät pitää päivittää JIS:a ja erityisesti JIR:a varten sopiviksi, mutta digitaalisilla työvälineillä tämä on mahdollista. Tietysti siihen pätee sama kuin muihinkin ohjausratkaisuvaihtoehtoihin: yrityksen on tiedettävä mitä se haluaa, ja valitun ratkaisun on sovelluttava kokonaisuuteen.

5.5.4 Muuttuva tahtiaika linjamaisessa kokoonpanossa

Edellä kuvattua itsestään ohjautuvaa tuotantoa kevyempi ratkaisu on nk. muuttuvan tahtiajan menetelmä. Tästä on erinomainen kuvaus Huchzermeier ym (2020) artikkelissa, jossa kuvataan tämän "VarioTakt" -menetelmän kehittämistä saksalaisessa Fendtin traktoritehtaan loppukokoonpanossa. Perusproblematiikka on hyvin tyypillinen high mix / low volume -tuotannolle. Fendtillä on lukuisia erilaisia mallisarjoja ja edelleen niin sisällä voimasta asiakaskohtaista räätälöintiä. Aiemmin traktoreita tehtiin 40 kpl sarjoissa, mutta se johti suureen varastoon; malleja on tullut yhä lisää ja asiakkaat kaipaavat tässä tapauksessa itselleen räätälöityä tuotetta (jopa mukavuusvarusteluissa kuten äänentoistossa). Oletuksena kuitenkin on, että asiakkaat hankkivat näitä rationaalisemmin perustein kuin henkilöautoja, kun traktori on työkone, jota käytetään tietyn tehtävän suorittamiseen.



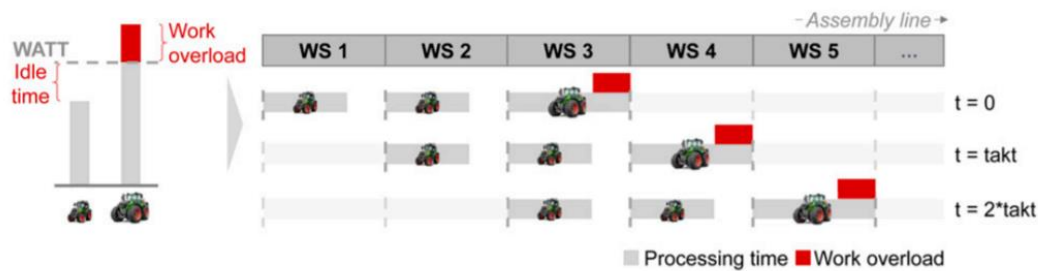
Kuva 5.4. Fendtin erilaisten mallien kokoeroja (vas) ja kokoonpanoajoja (oik), jossa valittu tahtiaika on tahtiaikojen painotettu keskiarvo (Huchzermeier ym. 2020).

Malliston kasvaessa ja räätälöinnin lisääntyessä työn tuottavuutta oli vaikeaa kehittää omistajan antaman tavoitteen (6% vuodessa) tahdissa. Fendtilä ei myöskään haluttu – ja käytännössä nähty mahdollisuutta – uuteen tehdasinvestointiin tai kokoonpanolinjojen määrän kasvattamiseen. Siksi tuotantoa yritetään puskea läpi yhdellä linjalla. Tyypillisesti päivässä valmistuu 75 traktoria ja linjalle lähti yksi traktori aina 6,1 minuutin välein ($6,1 \text{ min tahtiaika} \times 75 = 457,5 \text{ min}$ eli tuotanto pyörii noin 7,6 tuntia päivässä). Tehtaalla haettiin tuotantolinjan tahtiaika aiemmin määrittelemällä painotettu keskiarvo tuotannon vaatimasta ajasta eri mallien kesken (kuva yllä oik.). Tämä menetelmä johti siihen, että pienempien ja suurimpien traktoreiden kokoaminen tapahtui samassa ajassa samalla linjalla, vaikka todellinen ero niiden välillä oli tyypillisesti 50%. Tässä on syytä vielä huomata, että kunkin mallin sisällä on räätälöinnistä riippuvaa variaatiota. Alla olevasta kuvasta oikealta voidaan nähdä aiemman kiinteän ja uuden vaihtuvan tahtiajan erot. Vanhassa mallissa jäi pieniä traktoreita koottaessa joutoaikaa ja siinä jouduttiin kovaan paineeseen isojen traktoreiden kohdalla. Uudessa mallissa nämä saadaan karsittua.

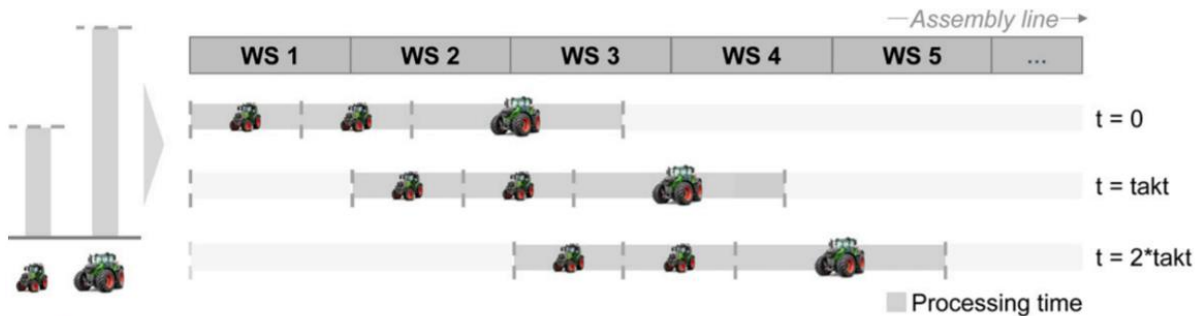


Kuva 5.5 Valokuva kokoonpanolinjalta (Huchzermeier ym. 2020)

Fixed Takt Time for the Fendt 200 Vario and Fendt 1000 Vario Models with Idle Time and Utility Work



Variable Takt Times for the Fendt 200 Vario and Fendt 1000 Vario Models Eliminate Idle Time and Utility Work



Kuva 5.6 aiemman kiinteän tahtiajan (yllä) sekä uuden vaihtuvan tahtiajan (alempi kaavio) vertailu (Huchzermeier ym. 2020)

Fendt on saanut toimintamalliin erityistä arvostusta ja se on palkittu Saksan parhaana tuotannon kehittämisen ideana 2017. Toimintamalli ottaa mukaan myös henkilöstön omat tarpeet; edelleen tarvitaan osaavaa, joustavaa ja monitaitoista henkilökuntaa, mutta päivittäinen tekemisen rytmi pitäisi olla hallittavissa myös isojen ja vaikeiden traktoreiden osalta – ja laadun asiakkaallekin parempaa. Työntekijöille ei myöskään jää pienten traktoreiden jälkeen joutoaikaa, jota pitäisi tilkitä täytetöillä, vaan fokus voi olla puhtaasti kovinta lisäarvoa tuottavassa tekemisessä.

Linjalla käytetään mittareina mm. 1) tasapainoa prosessointiajan ja tahtiajan välillä, 2) prosessiaikojen keskihajontaa, 3) prosessiaikojen maksimipoikkeamaa ja 4) henkilöstön sääntöjen täyttymistä. Tasapaino on 100%, kun prosessointiaika = tahtiaika. Keskihajonta pyritään saamaan 10%:n eli toteutuneiden prosessiaikojen tulisi olla 10% vaihteluvälillä sisällä mediaaniprosessiajasta. Sama 10%:n tavoite on myös maksimipoikkeamissa: tällä pyritään vakauttamaan työntekoa ja kokoonpanijoiden aikataulupainetta työvaiheiden välillä.

Kuvattu idea on mahdollisesti sovellettavissa erilaisiin ja eri kokoisiin tehdasympäristöihin. Tämä työn kannalta kiinnostavaa on lisäksi se, millä tavoin digitaalisia työvälineitä käytetään toimintamallin rakentamisen ja – erityisesti – sen toteuttamisen apuna? Ja edelleen mikä on materiaalivirran ohjauksen rooli tällaiseen tuotantoon? Sanomattakin on selvää, että logistiikan vaatimukset ovat kovat, jotta oikea tavara on oikeaan aikaan asennettavissa linjalla. Tämä vaatii esikokoonpanoja, joita on varsinaisen linjan molemmin puolin, mutta ehkä tärkeintä on tietojärjestelmä varastonohjauksineen, jonka avulla varmennetaan, että linjalle kokoonpanoon lähtevään asiakastilaukseen on kaikki tarvittavat komponentit olemassa, jotta tuotanto ei pysähdy tällaiseen pullonkaulaan. Näiltä osin lähestymistapa on siis hieman erilainen kuin edellä kuvatussa ”autonomisessa” ratkaisussa.

Bozkurt ym (2020) kuvaavat Hofmannin (2018) mallin pohjalta, että tällainen linja voi olla vielä rakennettu mobiilirobottien varaan: jos jokin kokoonpanon osa kyseisellä tuotteella ei onnistu tarvittavassa ajassa, kyseinen mobiilialusta voi siirtyä linjalta hetkeksi sivuun (ja mennä esim. soluun, jossa vaativampi työ tai osapuute voidaan ratkaista) ja muu linja jatkaa eteenpäin. Itse asiassa tässä saataisiin yhdistettyä kaikki

nämä kolmessa viimeisessä alaluvussa esitettyä ideaa: 1) mobiilirobottien käyttö tuotantologistiikassa, 2) joustavat ja ketterät työpisteet virtauksen varmistamisessa ja 3) muuttuva tahtiaika.

6. KÄYTÄNNÖN TOIMENPITEITÄ VISION SAAVUTTAMISEEN

Koko raportti tähtää – laajuudestaan huolimatta – käytännön sovelluksiin pk-yrityksille. Tämän luvun lopussa tiivistetäänkin edellisessä luvussa esitellyn vision saavuttamisen polku eli nk. RoadMap (~ suomeksikin on hyvä sana ”tiekartta”). Ennen siihen menemistä, tässä on omina alalukuinaan nostettu esille käytännön valintaohjeita mm. ”sopivan toimitusketjuun”, ”tuotantolinjaan” ja ”hankintojen luokitteluun”. Lisäksi tarkastellaan mm. one-piece-flow:ta hyötyjen kautta, tunnistustusteknologioita, vastaanoton kehittämistä ja layoutia. Kaikki ratkaisut eivät ole pelkästään ”tulevaisuuden tehtaan” tai ”digitaalisuuden” nimissä esitettyjä, vaan myös yleisellä tasolla toimivia ratkaisuja teollisuuden materiaalivirran kehittämiseksi.

6.1 Kuinka valita sopiva toimitusketju?

Tyypillisesti yrityksillä on voimakas paine kustannuksia alentamaan. Operaatiostrategiassa on kuitenkin syytä huomata, että eri tavoitteet on tärkeä saada tasapainotettua. Siksi yritys ei voi edetä pelkästään kustannusjohdissa, koska se voi johtaa joustamattomaan toimintaan, jolloin taas asiakastyytyväisyys kärsii tai koko toimitus jää jopa kokonaan tekemättä. Oheiseen taulukkoon on yritetty luokitella periaatteita, joiden perusteella yritys osaisi valita, tuleeko sen soveltaa kyseiselle tuotteelle kustannustehokkuuteen vai ketteryyteen perustuvaa toimitusketjua? Samalla on hyvä huomata, että väärä valinta johtaa joko liian kalliiseen tai liian jäykkään toimintaan.

TUOTTEEN OMINAISUUDET	KUSTANNUSTEHOKAS TOIMITUSKETJU	KETTERÄ TOIMITUSKETJU	KILPAILUN ELEMENTIT JA KILPAILUKYKY
- Kysyntä vaikeasti ennustettavaa - Uutuustuote - Korkea katemahdollisuus - Rääätälöivät tuotteet	LIIAN JÄYKKÄ!	SOVELLA TÄTÄ! ”Uuden sukupolven tehdas”	- Joustavuus - Nopeus - Rääätälöinnit - Huippulaatu ATO, CTO ETO, DTO
- Kysyntä vakaampaa ja ennustettavissa olevaa - Perinteiset tuotteet - Matalat marginaalit - ”perusmallit”	SOVELLA TÄTÄ! ”Perinteinen tuotanto” ”MTS”	LIIAN KALLIS!	- Matalat kustannukset - Tasainen laatu - Oikea aikaiset toimitukset
• MTS = Manufacture-to-stock • Perinteinen varastoon valmistaminen • spekulatiostrategia	• ATO = Assemble-to-order • Kokoonpano asiakastilauksen mukaan • Viivästyttämisstrategia	• CTO, ETO = Configure, Engineer • Kokoonpanoa voimakkaampi rääätälöinti • Viivästyttämisstrategia	• DTO = Design-to-order • Puhtaasti asiakaskohtainen projekti suunnittelusta alkaen (laivanrakennus)

Kuva 6.1 Kustannustehokas vai ketterä toimitusketju omalle tuotteelle

Esitetty kehikko perustuu nk. Fisherin malliin. Vaikka siitä on myöhemmin tehty useita erilaisia modifikaatioita, on mielenkiintoista havaita, että alkuperäisessä (Fisher 1997) todettiin useita niitä muutoksia kulutustavaramarkkinassa, joita me havaitsemme tällä hetkellä teollisuudessa ja joihin me pyrimme vastaamaan. Erityisen kiinnostavaa teollisuuden digitalisaation näkökulmasta on se, että Fisher nosti tutkimuksessaan esille vähittäiskaupan kokemat ongelmat huolimatta siitä, että käytössä on tehokkaat tietojärjestelmät viivakoodeineen, kassapäätteineen (POS) ja organisaatioiden välisine tiedonsiirtoineen (OVT/EDI/XML) eli digitaalinen infrastruktuuri oli jo tavallaan kunnossa.

Fisherin tutkimuksessa havaittiin, että vähittäiskaupat myyvät yhä enemmän ei-oota (OOS = Out-of-Stock). Kehittyneekään digitaaliset työvälineet eivät olleet riittäviä, koska kysynnän luonnetta ja toimitusketjujen rakennetta ei ymmärretty oikein. Toimintaympäristö oli muuttunut voimakkaasti: valikoimat olivat kasvaneet merkittävästi (SKU = Stock-keeping-unit), tuotteiden elinkaaret olivat

lyhentyneet ja näihin liittyen uusia tuotelanseerauksia oli jatkuvasti. Vastaavia ilmiöitä voidaan tunnistaa myös nyt käsillä olevassa teollisuuden murroksessa; vähittäiskaupassa(kaan) ei riittänyt pelkkä teknologia.

Toiminta siis vaatii kustannustehokkaiden toimitusketjujen lisäksi ketteriä toimintamalleja. Ja oleellista on tunnistaa, mitkä nimikkeet tulee olla kussakin kategoriassa. Helpointa lienee arvioida sitä joko kysynnän ennustettavuuden (vakaa perinteinen tuote vai uusi tuote, jolta kysyntähistoriatiedot puuttuvat) tai kilpailuprioriteettien mukaan (vaatiiko asiakas mahdollisimman halpaa vai räätälöityä ratkaisua). Myöhemmin mallia on räätälöity esim. M&S tavarataloketjun tarpeisiin (perinteiset vaatteet esim. miesten musta pukusukka tai valkoinen t-paita vs. jatkuvasti muuttuva muoti naisten mekoissa) (ks. Harrison & van Hoek 2005). Yritys tarvitsi molemmat ratkaisut. Oleellista oli tunnistaa kullekin tuotteelle toimitusketjukategoria oikein.

6.2 Kapasiteetin ohjauksesta materiaaliveirran ohjaukseen, RRS.

Tässä alaluvussa jatketaan edellä kuvattua toimitusketjuvalintaa kapasiteetin ohjauksen näkökulmasta. Samalla tämä toimii siltana seuraavalle osiolle, joka käsittelee materiaaliveirran ohjausta. Kysynnän volyymi ja luonne nimittäin ohjaavat monella tapaa valittavaa tuotantostrategiaa ja niissä kussakin painottuu materiaaliveirran ohjausratkaisut eri tavalla.

Yrityksen on päätettävä tuotantostrategiansa (esim. MTS, ATO, MTO tai DTO) ja sen pohjalta sitten kokoonpano(linjoje)n periaatteet. Onko käytössä ylipäätään linjat vai jokin joustavampi malli, ja jos on linja, onko niitä yksi vai useampi? Perinteisesti on ajateltu, että hyvin erilaisille tuotteille on erilliset linjat, koska tahtiajat poikkeavat toisistaan, mutta edellä olleet esimerkit itsestään ohjautuvasta (luvussa 5.5.3) ja Fendtin (luku 5.5.4) esimerkissä ratkaisivat asian toisin. Tässä pohditaan useamman linjan valintaan sekä asiakasräätälöintejä linjalla.

Luokittelumalleja voi olla esim. jako siten, että pilotit, sarjat ja modulit tuotetaan omilla linjoillaan, joissa modulilinjat voivat ruokkia varsinaista sarjatuotannon kokoonpanolinjaa, ja pilotit valmistaa vaikka job shopeissa. Ja edelleen sarjatuotannossa tunnistettaisiin erilaisia kategorioita esim. RRS (Runners, Repeaters & Strangers) -periaatteen mukaisesti. Siinä tuotteet jaetaan kolmeen eri kategoriaan räätälöintiasteen mukaan: runners on perustuotetta, repeaters usein toistuvaa, mutta kuitenkin räätälöitävää ja strangers poikkeavia tuotteita. Jos viime mainittuja yritetään tuottaa samalla linjalla kahden edellisen kanssa, linja voi pysähdellä ja edetä hitaasti.

Asiakaskohtaisia tuotteita, joissa myyntiä, räätälöintiä ja valmistusta tapahtuu rinnakkain, on hyvä päättää, millä kohdalla kauppa lukitaan tuotantoon ja millä kohdalla mahdolliset räätälöinnit lukitaan. Nämä ovat tärkeitä yritykselle taloudellisesti ja asiakastyytyväisyyden kannalta, mutta ne ovat kriittisiä tuotannon- ja materiaalinohjauksen kannalta. Valittu aikaikkuna kokoonpanosta ottaa resurssit pois muulta työltä, ja siihen aikaikkunaan pitää saada myös materiaalitoimitukset osumaan. Edelleen on hyvä hahmottaa, että tuotantoajan ja räätälöinnin lopettamisen lukitsemisen voivat tapahtua eri aikaan, mutta tuotantoaikataulun lukitsemisen jälkeen ei voi tehdä enää sellaisia räätälöintejä, joihin ei voida saada tarvittavia materiaaleja. Siksi reaaliaikainen näkymä materiaaleihin ja niiden täydennysmahdollisuuksiin ovat oleellisia myös tuotannonsuunnittelulle ja myynnille/asiakaspalvelulle, jota asiakkaalle ei myydä tai luvata sellaista, jota jäljellä olevassa aikataulussa ei voida toimittaa.

Yksi keskeinen sovellus on myös pullonkaulojen tunnistaminen ja niiden virtauksen maksimointi. Siihen nojautuu myös asiaa käsittelevä teoria: systeemin maksimituotoksen saavuttaminen vaatii pullonkaulan 100% hyödyntämisen. Tällöin voi olla hyvä pitää pientä varastoa pullonkaularesurssin etupuolella. Edelleen tämä kannattaa yhdistää myöhemmin käsiteltävään vaihtelun hallintaan, jota teoretisoitiin jo kirjallisuuskatsauksessa luvussa 2.7.

Logistiikan ja toimitusketjun puolella erilaiset optimointiratkaisut ovat yleisiä ja laajasti käytössä. Tähän kapasiteetin ohjaukseen ja työn ajoitukseen liittyen voi myös soveltaa laskennallisia periaatteita. Esimerkiksi Petri Helo on kehittänyt ohjelmistoa, jossa geneettisen algoritmin avulla voidaan saavuttaa 30min aikataulusäästö FIFO-malliin verrattuna töitä uudella tavalla skeduloimalla silloin, kun high mix / low volume -tuotanto vaatii suuria asetusajoja (ks. Helo 2015). Projektin alussa viitattiin myös DIGIMAP ja LeanMES -hankkeisiin; niissä Delfoi on tehnyt myös laskelmia ohjausohjelmiston vaikutuksista.

Käytännössä tuotantostrategian valinta liittyy hyvin voimakkaasti kyseisen yrityksen asiakaskysynnän ymmärtämiseen ja edelleen siten varastojen tyypeihin ja sijoittumiseen toimitusketjussa. Ääriesimerkkeinä tietysti tuotantostrategian eripäistä MTS ja DTO. Jos asiakaskysyntä ei mahdollista tuotannon vaatimaa toimitusviivettä, käytännössä tuotteet pitää valmistaa varastoon (MTS), ja lopputuotevarastot tulee sijaita riittävän lähellä asiakkaita – tai ainakin paikassa, josta ne voidaan nopeasti esim. pika(lento)rahtina toimittaa asiakkaalle. Tyypillisempi on kuitenkin tilanne, jossa tehdään asiakasräätelöintejä niin paljon, että varastoon valmistaminen ei ole mahdollista. Silloin on pohdittava, mitä komponentteja ja/tai osakokoonpanoja varastoidaan, kuinka paljon ja missä? Tästä voikin edetä edelleen seuraavaan alalukuun ”tuotantoon hankittavien materiaalien luokittelusta”, mutta hankintoja käsitellään myös liitteissä.

6.3 Tuotantoon hankittavien materiaalien luokittelu ja ohjausratkaisun valinta

Tässä esitettävä ratkaisu on helpoin tehdä silloin, kun yrityksellä on perustietojärjestelmä olemassa ja siellä on ajantasaiset tiedot esimerkiksi toteutuneista hankinnoista (ABC-analyysi) ja tuotannosta tilauksittain (XYZ-analyysi). Lisäksi materiaaleihin voi kytkeytyä luvun 6.1 logistiikkaputken lisäksi erilaisia lisäarvo- tai ylläpitopalveluita, jotka ovat tärkeitä varsinkin kunnossapitoa, elinkaarta ja palveluliiketoimintaa silmällä pitäen. Näitä ei sisällytetä tähän isossa mittakaavassa, mutta muistutetaan, että materiaalien luokittelu voi auttaa hahmottamaan ohjausratkaisuja myös näistä näkökulmista, ja silloin kyse on jo sen verran vaativista asioista, että ne tulee olla digitaalisesti jäljitettävissä.

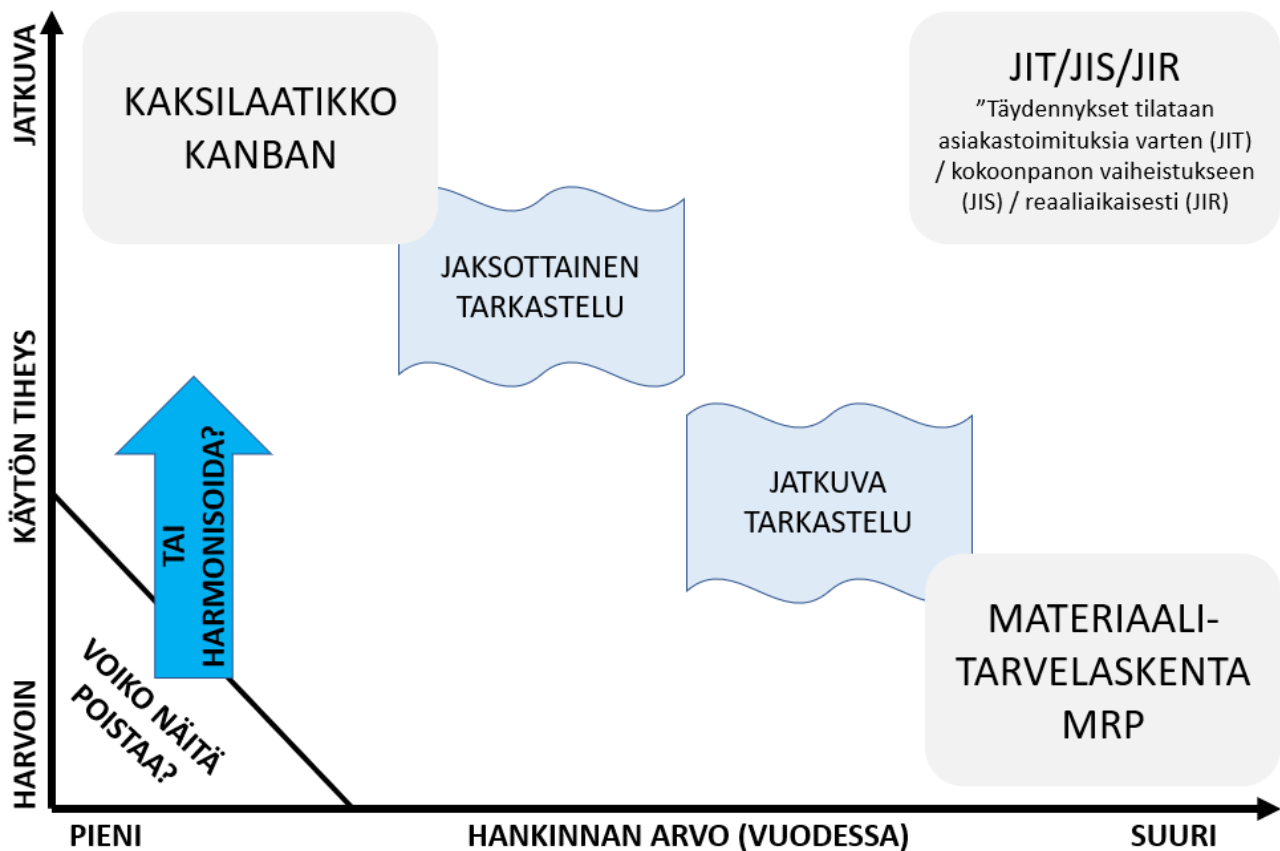
6.3.1 Peruseriaatteita luokittelun toteuttamiseen

Hankinnoista voidaan tehdä ABC/XYZ-analyysi, jossa luokitellaan hankittavat nimikkeet ABC-analyysin mukaan niiden arvon pohjalta ja XYZ-analyysi, jossa vastaava luokittelu tehdään tapahtumamäärien mukaan. Tässä on hyvä huomata, että ABC voidaan tehdä hankintojen perusteella, joka on yleensä helpommin saatavilla oleva tieto. XYZ-puolestaan tuotannossa olevien asiakastilausten perusteella, joka vaatii kehittyneempää tietojärjestelmää, josta materiaalit voidaan tällä tavalla erotella. Mikäli tämä jälkimmäinen ei jostakin syystä onnistuisi järjestelmän kautta, luokittelu voitaneen kuitenkin tehdä periaatteellisenä esim. usein vs. harvemmin tarvittavat nimikkeet.

Lisäksi on hyvä todeta, että XYZ-analyysi toteutetaan usein kysynnän hajonnan mukaan. Näillä toteutustavoilla on toisaalta vain pieni ero, mutta tässä päädyttiin selvyyden vuoksi yllä mainittuun tapahtumamääriin perustuvaan luokitteluun puhtaasti keskihajonnan laskemisen sijaan. Tälle on kaksi eri perustetta. Tuotannossa pitää olla kaikki komponentit saatavilla tarvittavalla koko ajan hetkellä, sillä muutoin koko toimitus ei tapahdu ajallaan. Jos tätä vertaa esimerkiksi vähittäiskauppaan, hajonnalla on eri tavalla merkitystä; kyse on enemmän siitä mikä palvelutaso halutaan ylläpitää (ks. Liite X kuvaus palveluasteen määrittelystä eri nimikeryhmille ja edelleen niille laskettavasta varmuusvarastosta). Toiseksi tapahtumien lukumäärään päädyttiin siksi, että se määrittelee pitkälti materiaalin käsittelyn kustannukset fyysisessä prosessissa tehtaalla.

Analyysit perustuvat siis nimikkeiden lajitteluun niin arvon tai volyymin mukaan ja edelleen sopivaan luokitteluun 20/80-säännön mukaan. Prosenttiosuudet voivat vaihdella, mutta yksi jako voisi olla 20/30/50%

nimikkeistä kuhunkin ryhmään. Kun ABC ja XYZ-analyysien kentät yhdistetään samaan matriisiin, saadaan karkealla tasolla perusohjaustapa kullekin nimikkeelle alla olevan kaavion mukaisesti.



Kuva 6.2 Kaaviokuva sopivan ohjaustavan valinnasta kanban, JIT ja MRP.

Tätä kaaviota voi tarkastella rinnakkain luvussa 2.4 esitetyn hankintojen jaottelun (nk. Kraljicin malli) sekä liitteinä olevien hankintastrategioiden (liitteet 2, 3 & 4) kanssa.

6.3.2 Erilaisten materiaaliluokkien kehittäminen

Vähäarvoiset ja (erittäin) harvoin tarvittavat nimikkeet on syytä ottaa tarkasteluun myös siitä näkökulmasta, tarvitaanko kyseistä nimikettä lainkaan? Voisiko sen esimerkiksi korvata jollakin toisella yrityksen jo käyttämällä nimikkeellä? Eli harmonisoitaisiin käytettäviä materiaaleja. Edulliset mutta tasaisesti käytettävät nimikkeet (esimerkiksi kiinnitystarvikkeet) voi ohjata esimerkiksi kanbanilla (kaksilaatikkojärjestelmällä), jossa täydennystilaukset tehdään pakkauksittain silloin, kun edellinen laatikko on kulutettu loppuun. Tyypillisesti nämä ovat nimikkeitä, joissa toimitusviiveet (lead time) ovat lyhyitä. Täydennystilauksen tulee siis ehtiä varastoon ennen kuin nimike ehtii loppua.

Kalliit ja usein tarvittavat nimikkeet voivat olla JIT-ohjauksessa (tai JIS/JIR), koska niihin sitoutuisi muuten liikaa pääomaa varsinkin, jos kyseissä komponenteissa on asiakas- tai tilauskohtaista räätälöintiä. Ja koska toimitusviive on erittäin tärkeä näissä(kin) nimikkeissä, toimittavan alihankkijan tullee olla riittävän lähellä maantieteellisesti tai logistiikkaputki rakennettu niin varmaksi ja läpinäkyväksi, että toimitusviive tiedetään tarkalleen eikä siinä ole hajontaa.

Arvokkaissa, mutta harvemmin tarvittavissa nimikkeissä ei myöskään voi olla ylivarastoa, mutta näitä saattaa olla kappalemääräisesti niin paljon, että käytännössä varastointiin kuitenkin päädytään. Tällöin toimivat

kysyntäennusteet ja materiaalitarvelaskenta ovat tarpeen. Edelleenkin toimitusviiveellä on suuri merkitys (suhteessa neliöjuureen) tarvittavan varmuusvaraston määrään.

Yrityksessä huomataan myös se, että luokittelu tehdään historiatietojen pohjalta, mutta käytännössä luokittelu muuttuu yrityksen toiminnan kehittyessä. Esimerkiksi, jos CZ-luokasta karsitaan nimikkeitä harmonisoinnin kautta, seuraavalla kerralla luokittelua tehtäessä CZ-luokkaan tulee uusia tuotteita.

6.3.3 Ohjausohjelmisto tuotantoon hankittavien nimikkeiden tukena

Logistiikkaputken ohjaaminen on suurelta osin myös informaatiovirran ohjaamista. Koko tehtaan toiminta perustuu S&OP-toimintaan, mutta yksittäisten nimikkeiden tasolla hankinnassa kannattaa käyttää ohjausohjelmistoa varsinkin silloin, kun MRP-nimikkeitä on paljon, niihin sitoutuva pääoma ja saatavuusaste ovat ratkaisevia. Kuten S&OP, varastonohjaus materiaalitäydennyksillekin rakentuu ennusteiden varaan. Tässä siis puhutaan niistä nimikkeistä, jotka ovat One-piece-flow:n ulkopuolella; silti näissäkin on kyse enemmän tai vähemmän PFEP:istä (Plan For Every Part; tässä ehkä vähän eri merkityksessä); jokaiselle nimikkeelle on olemassa suunnitelma, mihin se tullaan käyttämään ja milloin. Varaston kiertonopeus on syytä pitää hyvänä.

	X 60% tuotannon TAPAHTUMISTA	Y 30% tuotannon TAPAHTUMISTA	Z 10% tuotannon TAPAHTUMISTA
A 60% tuotannon nimikkeiden ARVOSTA	(palveluastetavoite esim 99,0%).	(97,2%)	(95,5%) Kehitä JIT/JIS/JIR – suhdetta: liian kalliita pitää varmuusvarastossa.
B 30% tuotannon nimikkeiden ARVOSTA	(99,2%)	(98,2%)	(96,2%)
C 10% tuotannon nimikkeiden arvosta	(99,4%) Ei kovin paljoa pääomaa kiinni varastossa, mutta pitää tuotannon sujuvana	(98,6%)	(96,6%)

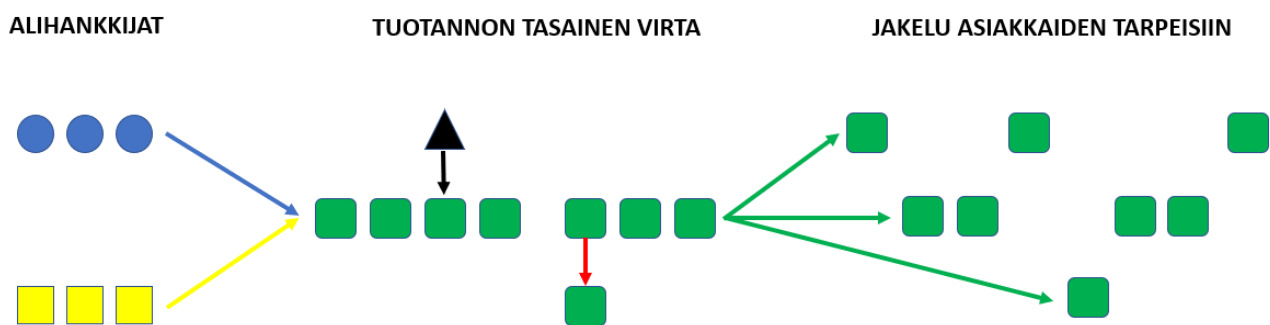
Kuva 6.3. Esimerkkejä ohjausarvioista, joita ohjausohjelmistossa voidaan käyttää eri nimikeryhmille.

Jos kokoonpanossa voidaan käyttää kysynnän historiatietoja nimikkeittäin ja jos myyntisuunnitelma on myös olemassa, ohjausohjelmiston avulla voidaan laskea tulevan kysynnän ennuste nimikkeittäin. Ja edelleen, vielä tärkeämpänä, määritellä varmuusvaraston tasot kullekin nimikkeelle niille halutun palveluasteen mukaan, tilauspisteet ja eräkoot. Palveluaste määritellään strategisesti kullekin nimikkeelle esimerkiksi kuvassa 6.3 olevien periaatteiden mukaan. Kokemus ohjaa tässä valintoja, mutta yleissääntönä voidaan sanoa, että nimikkeiden palvelutaso voidaan linjata osittain samoin periaattein kuin kaaviokuva 6.2. Jatkuvasti

käytettävät edulliset nimikkeet (kanbanilla täydennettävät) kannattaa pyrkiä pitämään korkeimpana (esim 99,4%), MRP:n nimikkeet 99% ja JIT:ssä olevat esim 96,5%. Nämä vain periaatteellisia: kukin yritys löytää omaan toimintaansa sopivat ohjausarvot. Ja kun valmistettava kokonaisuus koostuu monesta osasta, näilläkään saatavuus% ei saada kovin täydellistä kokonaistoimitusvarmuutta asiakkaiden suuntaan. Ja tuotannon ohjauksen kannalta oleellista on, että tuotteen kokoonpanoa ei aloiteta, jos sitä ei voida tehdä loppuun asti, koska muuten sen pysähtyminen linjalla estää muiden tuotteiden virtausta. Ohjaus- ja optimointiohjelmisto voi auttaa myös henkilöstöresurssien allokoinnissa.

6.4 One-piece-flow:n tuomia hyötyjä

Yhä pienenevää eräkokoja voi ajatella laajempaan vertauksena liukuhihnalla tapahtuvan massatuotannon ja yksittäiskappaleena tehtävän räätälityksen yhdistelmänä. Tuottavuus liukuhihnalla saatiin ylös, mutta se on joustamaton nyt, kun tarvitaan useita erilaisia asiakasräätälöintejä. Tämä vaatii edelleen yhä suurempaa komponenttien nimikemäärää, joka puolestaan vaatii tilaa käsitellä ja aiheuttaa tehottomuutta. Siksi mm. Stuttgartin Institute of Material Handling and Logistics (IFT) tutkii ja kehittää logistiikan konsepteja, joilla voidaan toimia tehokkaasti silloinkin, kun räätälöidään yksittäiskappaleita asiakkaille (Bozkurt ym 2020).



Kuva 6.4. Periaatekuva One-Piece-Flow:sta sivuun siirto linjalta mahdollistaen (joustavampi linja)

6.4.1 One-piece-flow räätälöinnin ja vaihtelun hallinnan ratkaisuna

Toiminnassa esiintyy monenlaista vaihtelua, joka vaikeuttaa operaatioiden tehokasta ja järkevää toteutusta. Vaihtelun lähteet ovat moninaiset, mutta ne pitää oppia tunnistamaan, jotta niitä voidaan yrittää hallita. Vaihtelua on esimerkiksi ajoituksessa (onko materiaali saapunut oikeaan aikaan), läpimenoajassa (asetusaika tai työstöaika) tai koneiden ja henkilöstön saatavuudessa (ovatko vapaana ko. ajan hetkellä rikkoontumisen tai poissaolon vuoksi), jotka voisivat olla hallittavissa. Ja usein esiintyy myös muuta satunnaista vaihtelua, joka ei ole hallittavissa. Uuden sukupolven kokoonpanotehtaat tulee suunnitella ja niissä tulee toimia siten, että vaihtelua pyritään minimoimaan. Tämä vaatii niin juurisyiden tunnistamista ja ratkaisemista kuin myös jo tapahtuneiden asioiden oikeaa tulkintaa ja hallintaa siten, että ilmiö ei pääse voimistumaan.

Onko tarve one-piece-flow määritelmälle? Tähän yhteyteen voidaan myös kytkeä ajatus ”plan-for-every-part”. Ainakin jokaiselle harvinaisemmalle nimikkeelle (joka harmonisointien ja eliminointien jälkeen ylipäättään on tuotanto-ohjelmassa mukana) tulee olla suunnitelma ja tieto siitä, mihin ja miten sitä tullaan käyttämään. Tämä on tietysti luontevaa JIT-nimikkeille, mutta sen tulisi olla myös kaikille materiaalitarvelaskennan piirissä oleville osille. Ainoastaan esimerkiksi kanban -menetelmällä täydennettäviä osia (esim. ruuvit jne.) voidaan pitää tämän filosofian ulkopuolella, mutta nekin perustellusti: käsittely- ja tilauskustannus on helposti suuri suhteessa tuotteen arvoon ja puutekustannus katastrofaalinen

suhteessa sidottuun pääomaan. Nämä nimikkeet oikein harmonisoituna (ja tämän vienti läpi suunnittelusta alkaen) eivät näyttele merkittävintä kustannusta ja pääomaerää yritykselle.

6.4.2 One-piece-flow joustavan toiminnan ja asiakasräätälöintien mahdollistajana

Jotta voidaan tehdä riittävän monipuolista asiakasräätälöintiä, volyymit per valmistettava tuotenimike putoavat pieniksi – ja käytännössä tämä johtaa one-piece-flow:n tarpeeseen. Siihen ryhtyminen vaatii osaamista ja joustavuutta, mutta monella tapaa se on järkevää. Ja toiminta voi olla myös kannattavaa, kun se on suunniteltu one-piece-flow:n ehdoilla. Jos yritys pyrkii tuottamaan suurempia eräkokoja ja sarjoja, se joutuu varastoimaan (ottamaan riskiä ja sitomaan pääomaa) suurta määrää tuotteita. One-piece-flow toimii siis tuotejoustavuutena (kyky asiakaskohtaisiin räätälöinteihin).

Sillä voidaan tehdä volyymijoustavuutta myös näppärästi, mutta joustavuus rakennetaan eri tavalla kuin silloin, kun puskurina on varasto. Erityisesti osaavan työvoiman ja ulkoistetun työvoiman sopiva suhde ja ohjaus tulevat avainkysymyksiksi. Edelleen ilman sen suurempaa todistusaineistoa, tässä voitaneen olettaa, että jopa prosessijoustavuus on parempi, kun erä koko lähenee yhtä: silloin tosin voidaan joutua ottamaan käyttöön kokonaan uudenlainen lähestymistapa tekemiseen esim. luvussa 5.5.3 kuvatulla tavalla ”itseohjautuvana tuotantona”

Tällaisessa tuotannossa voi olla JIT:sta pidemmälle kehitettyjä JIS/JIR (~sequence / real-time) versioita, joissa materiaalia täsmäytetään kokoonpanoon vielä yksityiskohtaisemmin. Joustavassa tuotannossa tämä voi tarkoittaa myös paikan vaihtumista. Eli jos kokoonpanosolut ovat joustavia, ja valmistettavat tuotteet virtaavat vaihtelevasti läpi tehtaassa, tulee myös materiaalitoimitusten kyetä osumaan oikeaan kohtaan juuri oikeaan aikaan (ks esim. Bozkurt ym 2020). Liian hienosäädetyllä aikataulun kanssa kannattaa kuitenkin olla varovainen, että koko tuotanto ei pysähdy tämän takia (ks. TOC ~ kapeikkoajattelu), jos jokin yksittäinen asennusvaihe on riskialtis (ts. sen suoritusajassa on merkittävää vaihtelua). Materiaalipuutteisiinhan JIS/JIR eivät kaadu, koska tulevaisuuden tehtaassa ne voidaan tietojärjestelmien avulla varmentaa etukäteen ennen kuin ko. tuote menee kokoonpantavaksi.

6.4.3 One-piece-flow vaihtelun tasaajana

Ehkä kaikkein suurin hyöty one-piece-flow:sta on kuitenkin sen avulla saavutettava vaihtelun hallinta. Tätä problematiikkaa käsiteltiin jo lyhyesti teoreettisesti luvussa 2.7. Sen voi osaltaan myös linkittää liitteenä olevaan teemaan ”toimitusketjuyhteistyö” ja siinä nk. piiskavaikutuksen hallintaan. Jos ajatellaan Lean managementia, useimmiten nostamme esille siitä hukan poistamisen (Muda), mutta Leanin kulmakiviin kuuluvat myös resurssien järkevä käyttö ja tuotannon tasaaminen (Mura, Heijunka).

One-piece-flow:ssa pitää varoa sitä, etteivät tilaus-toimituskustannukset nouse liian suureksi tai asetusajat (ja -kustannukset) tee toiminnasta liian hidasta. Ainakin edelliseen voidaan saada tukea prosessien digitalisoinnista ja tietojenkäsittelyn automatisoinnista (ATK ~ automaattinen tietojenkäsittely oli aikoinaan tunnettu termi, mutta vasta nyt alamme olla sillä tasolla, että sellaista voitaisiin tehdä käytännössä. Vrt. esim RPA ~ Robot Process Automation). Hyvällä (materiaalihallinnon) tietojärjestelmällä one-piece-flow voi olla kuitenkin riittävän kustannustehokkaasti toteutettavissa ja se kyllä itsessään tuo paljon hyötyjä varastointikustannusten pienemisen, joustavuuden paranemisen ja tuotannon vakautumisen kautta.

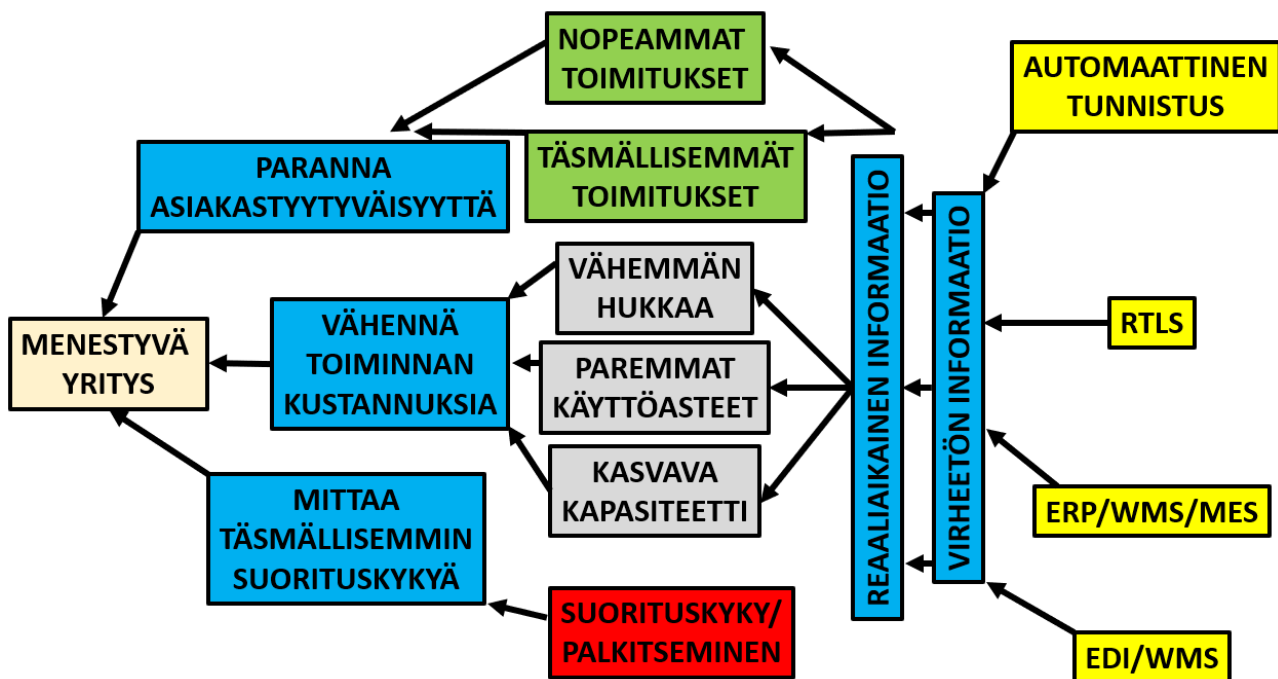
Kun yritys siirtyy one-piece-flow:n, suuria eriä voidaan pilkkoa pienemmiksi, jolloin kapasiteetin käyttöaste ja virtaus on tasaisempaa koko tehtaassa, vaikka yksittäisen koneen tai työvaiheen osalta suhteellinen tehokkuus laskisikin. Ja tässä tullaankin yhteen keskeiseen tulevaisuuden tehtaassa kulmakiveen: materiaalien

ja tekemisen virtaus on jatkuvaa. Sen sijaan, että fokus olisi pelkästään nk. osaprosessien resurssituottavuudessa, one-piece-flow voi painottaa myös virtaustehokkuutta ja siten läpimenoaikojen lyhentämistä.

One-piece-flow tasaa virtaa myös alihankkijoilla ja jakelijoilla tekemällä ketjun läpinäkyvämmäksi ja siten jo itsessään enemmän liitteessä kuvattua toimitusketjuyhteistyötä tukevaksi ilman, että investoidaan sen enempää toimitusketjuyhteistyön digitaalisiin ratkaisuihin ja integraatioihin.

6.5 Tunnistus- ja paikannusteknologioiden hyödyntäminen

Oheiseen kuvaan oikeaan yläkulmaan on nimetty automaattinen tunnistaminen ja reaaliaikainen paikannus. Näitä tietoja voidaan käyttää mm. toiminnan- ja varastonohjausjärjestelmissä. Yrityksellä voi olla myös muita dataa ja data lähteitä. Kuvan keskeinen viesti on kuitenkin se, miten nykyaikaisella teknologialla päästään täsmälliseen ja reaaliaikaiseen informaatioon, ja miten sitä edelleen hyödyntämällä voidaan parantaa asiakastytyvyyttä tai tehostaa omaa toimintaa, jotta koko yrityksen suorituskyky paranee.



Kuva 6.5. Automaattinen tunnistus, reaaliaikainen paikannus ja tietojärjestelmät virheettömän ja täsmällisen informaation varmistamisessa ja hyödyntämisessä.

Yksi keskeinen – ellei jopa kaikkein keskeisin osa – matkalla kohti digitaalista sisälogistiikkaa liittyy materiaalien ja tuotteiden tunnistamiseen. Tunnistamisessa huomio kiintyy usein tunnistusteknologioihin, kuten viivakoodiin tai RFID:een. Tämä on kuitenkin syytä erotella vähintään kolmella eri tasolla: 1) identifiointi eli yksilöinti, 2) varsinainen tunnistaminen ja 3) tunnistetiedon käyttö. Näitä arvioidaan käytännön tilanteessa seuraavaksi niissä tilanteissa, kun uutta materiaalia vastaanotetaan yrityksen omaan varasto- ja logistiikkaprosessiin.

Yleisellä tasolla kuva 6.5 nimeää ”nopeuden”, ”täsmällisyyden”, ”virheettömyyden” ja ”kustannustehokkuuden”, jotka jo aiemmin nimettiin yrityksen operaatioiden tavoitteiksi. Kun informaatio on virheetön ja reaaliaikaista, nämä voidaan saavuttaa myös joustavassa tuotannossa, vaikka valmistuksen eräko koko olisikin 1 ja jatkuvasti tuotetaan erilaisia ratkaisuja asiakkaille.

6.6 Vastaanotto, yksilöinti ja yhteistyö

Aiemmin on jo todettu, että varastoprosessi on merkittävä osa logistiikan kokonaiskustannusta. Alla olevassa kaaviossa hahmotellaan vielä varastoprosessin keskeisiä vaiheita, ja esitellään niiden keskinäisiä kustannusosuuksia Bartholdin ja Hackmanin (2019) teoksen perusteella. Luvut eroavat jonkin verran Suomessa käytetystä nk. WADELMA-tutkimuksesta (Aminoff, Kettunen & Hyppönen, 2004), mutta periaate on suunnilleen sama: keräily on ylivoimaisesti kallein osa fyysistä varastoprosessia.



Kuva 6.6 Varastoprosessin kustannuskomponentit ja vaikutusmahdollisuudet niihin

Keräilyn itsensä kehittämiseen on paljon esimerkkejä logistiikassa mm. jakelukeskuksissa yleistyneiden puheohjattujen järjestelmien muodossa. Tässä esitetään kuitenkin käytännön toimenpiteinä tapoja vaikuttaa kokonaiskustannuksiin siten, että kiinnitetään entistä suurempi huomio erityisesti vastaanotossa tapahtuvaan yksilöintiin ja siten tunnistamismahdollisuuksien käyttöönottoon sekä yhteistyöhön tavarantoimittajien kanssa. Yhteistyötä käsitellään erikseen vielä Liitteessä 2 sen laajuuden vuoksi. Mutta muuten keskeiset parannusehdotukset ovat alla omina alakohtinaan.

6.6.1 Vastaanoton kehittäminen

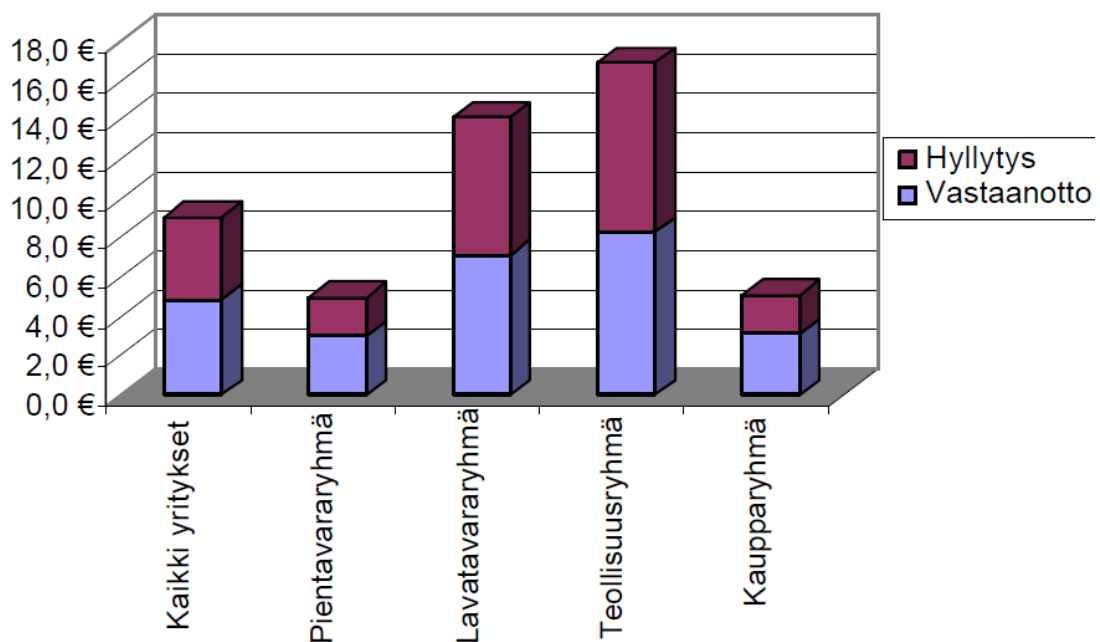
Tunnistus- ja paikannusteknologiaa käsitellään omana kokonaisuutenaan edellä (Luku 6.5). Vastaanoton osalta on tärkeää, että valittu teknologia esim. viivakoodi tai RFID soveltuu käyttökohteeseen. Käsitykseni mukaan nykyään suuri osa saldovirheistä ja jopa merkittävä osa keräilyvirheistäkin selittyy vastaanoton puutteilla. Tukkukaupan puolella saatetaan kuvata kaikki saapuvat tavarat ja automaattiin syötettäessä verrataan ostajan tuotteen kuvaa ja vastaanotossa todennettua toisiinsa. Silti näissä on paljon opittavaa ja kehittäväää: yksi benchmarking-kohde voisi olla lääketeollisuus; siellä todennäköisesti osataan tunnistaa varmuudella vastaanotettava tuote, jotta asiakkaalle ei päädy vahingossa väärä aine.

Kuvassa 4.6 on nimetty GS1-standardin pohjalta erilaisia tapoja identifioida mm. tuote, osapuoli tai kuormankantaja. Yksi vastaanoton kannalta oleellinen tekijä voi olla nk. "sarjatoimitusyksikkökoodi" (SSCC ~ Serial Shipping Container Code), joka standardisoi eri lähetysmerkinnät siten, että EAN-128 TAI RFID-tunnisteeseen voidaan saada kaikista muista lähetyksistä poikkeava ainutlaatuihin koodi. Tässä kohdassa sitä

käytetään vastaanotossa saapuvan lähetyksen tunnistamiseen, mutta se voi toimia hyvin myös lähetysten seurannassa (track-and-trace), kun lähetykset kulkevat eri logistiikkatoimijoiden kautta.

Jatkoselvityksiä pohdittaessa meidän olisi ehkä hyvä luoda vielä porukalla kokonaiskuva vastaanotosta. Eräänlaisena hypoteesina voisi esittää, että one-piece-flow:ta ja JIT/JIS/JIR kohti mentäessä, vastaanoton merkitys on suurempi kuin selvityksissä mainittu 10% kustannuksista. Ja erityisen oleellista on hahmottaa vastaanoton merkitys seuraaville työvaiheille: nimikkeiden tunnistus tulee tapahtua oikein, jotta master data pysyy kunnossa, ja keräilyvaiheessa oikealta hyllypaikalta löytyy oikea nimike. Ja vastaanotollekin on keskeistä nopeus: dock-to-stock (laiturilta varastoon) aika pitää saada riittävän lyhyeksi. Osia tarvitaan kokoonpanossa, mutta datan tarkkuus ja reaaliaikaisuus on usein vielä tärkeämpi: esimerkiksi tuotannonsuunnittelu tarvitsee tietoa, mille tuotteille kaikki komponentit ovat varastossa – ja kokoonpanotyö voidaan käynnistää.

Aminoff ym. (2004) ovat nähneet teollisuuden vastaanoton kustannukset per rivi suuremmiksi kuin vertailuryhmissä. Vastaanoton kustannus vanhassa aineistossa oli teollisuusyrityksillä noin 4 kertaa suurempi kuin kaupan toimijoilla. Tässä kohdassa eroa voidaan pitää erittäin merkittävänä suhteessa saapuvien rivien arvoon: kaupan saapuva rivi oli tässä vertailussa vain vajaa 10% pienempi kuin teollisuudessa. Samainen vertailu osoitti keräilyvirheiden lähtevän tavarán osalta olevan teollisuudessa pieni, vaikka mielikuissa kauppa on tehokkaampi: voisiko kaupassa osasyä olla myös edullisemmissa tavaroissa ja ei-niin-katastrofaaliset seuraukset keräilyvirheiden johdosta?



Kuva 6.7. Saapuvan rivin käsittelykustannus eri yritysryhmissä (Aminoff ym. 2004)

Pakkaukset on tehty suojaamaan tuotetta ja usein myös tunnistet ja tunnistaminen kytkeytyy pakkaukseen. Vastaanottovaiheessa on kuitenkin hyvä pohtia ylimääräisten pakkausten poistamista, jotta keräily ja asennus tapahtuvat sitten sujuvasti aikataulun mukaan ilman turhaa työtä.

6.6.2 Nimikkeiden yksilöinti

Varsinaista tunnistusteknologiaakin oleellisempi – tai sen pohjalla täytyy olla – on nimikkeiden yksilöintijärjestelmä. Kuvassa 4.6 on esitelty yhtä esimerkkiä nk. GS1 -järjestelmää tunnisteille. On hyvä ymmärtää, että ennen varsinaisia tunnistusteknologioita, meillä pitää olla perusdatainfrastruktuuri kunnossa: nimikkeet, osapuolet, kuormankantajat jne. yksilöitynä. Kokoonpanotehtaassa pitää olla selvä käsitys valmistettavista tuotteista: eli tuloksena syntyy suuri määrä erilaisia yksilöllisiä tuotteita, joilla on omat sarjanumeronsa ja seurantomahdollisuutensa.

Kukin näistä syntyy tuoterakenteessa, jossa voi olla isompia tai pienempiä moduleita, niiden versiointia ja suuri määrä myös muita komponentteja. Tuoterakenteet on hyvä olla kunnossa, mutta myös jokaisella osalla yksinään. Jäljitettävyys (track-and-trace) -vaatimukset voivat ulottua yksittäisiin osiin asti. Ja tätä on mahdotonta tehdä, jos kutakin nimikettä ei ole riittävällä tasolla yksilöity. Tämä luo omalta osaltaan myös pohjan sille, että jatkossa voidaan varastohallintajärjestelmässä tietää, mikä nimike on missäkin kohdassa varastoa.

6.6.3 Nimikkeiden sijoittelu (ja keräilyn reititys)

Yritykset eivät välttämättä kiinnitä kovin paljoa huomiota siihen, mikä nimike sijoitetaan mihinkin kohtaan varastoa. Tällä on kuitenkin suuri merkitys niin hyllytykseen käytettyyn aikaan kuin erityisesti keräilyyn kuluvaan aikaan.

Nykyisillä ICT- ja automaattioratkaisuilla inventointi voidaan hoitaa keräilyprosessin kylkiäisenä jatkuvana toimintana. Tällä päästään erinomaisen saldotarkkuuteen varsinkin silloin, kun tavarat ovat automaateissa. Tukkukaupan puolella saldovirheet voivat olla vain promillen osia eli esimerkiksi jotain suuruusluokkaa 1/3000-5000. Teollisuusyrityksissä ei varmaan vielä olla tällä tasolla, mutta tämäkin kehittyy ja on omalta puoleltaan osa tulevaisuuden tehdasta: datan pitää olla kunnossa, jotta toimintaa voidaan suunnitella ja ohjata.

Tukkukaupan varastossa keräilyn oikeellisuus voi olla yli 99,9% eli virheiden määrä on alle 1/1000. Valtaosa näistä on määrävirheitä, joita syntyy inhimillisesti laskennan virheinä silloin, kun asiakkaiden tilaukset eivät ole täysiä myyntierä tai muita pakkauskokoja. Sitä vastoin Master Datan pitää näissä olla kunnossa, että aina tiedetään, mistä yksiköstä on kyse, kun tiedetään keräilyn määrä.

Varaston fyysiset puitteet kannattaa myös mitoittaa oikein: ylikapasiteetti on kallista, mutta niin on myös vajaa kapasiteetti tai lähes maksimikapasiteetilla toimiminen. Frazelle (2002) on aikoinaan määritellyt, että kustannukset ja vahingot kasvavat eksponentiaalisesti toiseen potenssiin kullekin prosenttiyksikölle, jossa varaston kapasiteetin käyttöaste ylittää 86%. Eli esimerkiksi 96% varastokapasiteetilla toimiminen nostaisi kustannuksia ja vahinkoja yli 20% $((1,10^{10})-1)$ verrattuna 86% ”optimikäyttöasteeseen”. Tilankäyttö ja henkilöstö kannattaa optimoida kokonaisuutena: tilakaan ei ole aivan halpaa: Wadelma-selvityksessä aikoinaan varastoinnin kokonaiskustannuksista henkilöstö oli ylivoimaisesti suurin komponentti n. 57% osuudellaan, mutta rakennus ja tontti tulivat n. 29% osuudellaan selkeänä kakkosena (ks. Aminoff ym 2004). Kaikille muille kustannuksille varastoinnissa ei jää kuin noin puolet tilakustannuksesta. Yllä mainittua 86% rajaa kannattanee tarkastella suhteessa näihin kustannuseriin: kovin vajaalla kapasiteetilla toimiva fyysinen varastotila taas tulee helposti kalliiksi varastoitavia nimikkeitä kohti. TUDIssa onkin ollut koko ajan eräänä kantavana periaatteena läpimenon ja virtauksen parantaminen, jotta liian suuria varastoja ei tarvitse ylläpitää (ja tilaa jää lisäarvoa tuottavalle kokoonpanotyölle).

6.6.4 Yhteistyön kehittäminen

Aiemmassa TUDI-hankkeessa selvitettiin setitystä (tai kititys; ”set order” ”kit”) myös siitä näkökulmasta, miten sillä saadaan vastaanottoon ja keräilyyn uutta tehokkuutta. Kyseisessä tilanteessa yritys tarvitsi vasta

tuotannon jälkeisessä vaiheessa tiettyjä nimikkeitä, kun tuotetta otettiin asiakkaalla käyttöön. Nämä nimikkeet kuitenkin tulivat tehtaalte, ne vastaanotettiin ja siirrettiin varastoon, ja edelleen kerättiin sieltä ja pakattiin mukaan asiakastilauksiin. Uudessa ratkaisussa yhteistyötä alihankkijan kanssa kehitettiin siten, että nimikkeet tulivat pakattuina setiksi, jonka toimitukset ajoitettiin siten, että ne voitiin liittää valmistumassa olevan tuotteen mukana asiakkaalle toimitettavaksi.

Toki tämä vaatii yhteistyötä kumppaneiden kanssa – ja runsaasti päivityksiä nykyisiin prosesseihin, mutta tietojärjestelmien avulla tällaiset on tunnistettavissa ja ajoitettavissa siten, että kokonaisuus voidaan saada toimimaan, jos siihen sitoutuvat sekä päämies että alihankkija. Ja alihankkijalle voi kannattaa maksaa tästä palvelusta oman osuutensa: se nimittäin nostaa merkittävällä tavalla tehtaan logistiikan tehoa, kun turhat etsimiset, kävelyt ja tekemiset saadaan pois. Bozkurt ym. (2020) nostavat tämän tärkeäksi seikaksi myös seuraavan alaluvun näkökulmasta: jos on valtava määrä erilaisia nimikkeitä, supermarket toiminnot vievät niin paljon tilaa, että käytännössä toimintaa voi olla hankalaa toteuttaa.

6.7 Layout-kysymyksiä materiaalivirran näkökulmasta

Perinteisesti ajatellaan, että suoraviivaiset ja selkeät layout-ratkaisut ovat avain tehokkuuteen. Tätä ei käydä tässä kiistämään, mutta aluksi voisi silti arvioida, voidaanko digitaalisia työvälineitä käyttämällä pystyä toimimaan ketterästi ja tehokkaasti myös vanhoissa olemassa olevissa tiloissa? Eli jos seiniä ei voida siirtää, voidaanko tuotannon ja materiaalien virtautusta parantaa? Kehittyvä joustava automaatio mahdollistaa kuljetusratkaisuja myös eri tasoille (kerroksiin) ja tarvittaessa jopa naapurirakennuksiin. Molemmilla näillä voi olla yllättävä merkitys koko laitoksen joustavuuden ja tehokkuuden yhtäaikaiselle parantamiselle. Siinä missä vähittäiskaupan layout-suunnittelu ensisijaisesti maksimoi myyntituottoja ja pyrkii tukemaan tehokkaan myymälän sisälogistiikan toimintaa, tuotantolaitoksessa prioriteettina pitää olla jalostavan työn mahdollisuuksien maksimointi logistiikan tukiessa toimintaa.

Logistiikassa peruslayoutit jaetaan usein I, L ja U-malleihin, joissa tavara ei kulje ristiin, vaan materiaalivirta on selkeää ja suoraviivaista. Tuotannon osalta tätä voinee tarkentaa edelleen siten, että pohditaan kunkin solun sisällä tapahtuvaa virtaa. Yksi optimivaihtoehto voisi ollakin sellainen, että isossa kuvassa virtaus on selkeää tuotantolaitoksen läpi em. layoutien mukaan, mutta yksittäisen solun sisällä voidaan toimia U-mallissa.

U-mallin layoutin etuina on Hohmannin (2010) mukaan mm. seuraavia asioita:

- 1) *Aloitus- ja lopetuspisteet ovat lähellä toisiaan, mikä helpottaa visuaalista johtamista ja tuotannon tahtiajasta riippuen se mahdollistaa yhden henkilön hallinnoivan sekä tulevaa että lähtevää virtaa.*
- 2) *Etäisyydet solun sisällä lyhenevät, mikä mahdollistaa tehtävien jakamisen, työkalujen jakamisen ja vähentää tarpeetonta liikkumista tai kuljettamista.*
- 3) *Soveltuu One-piece-flow:lle.*
- 4) *Kommunikointi tiimin kesken on helppoa solun sisällä.*
- 5) *Kokoonpano tapahtuu solun sisällä, materiaalit on solun ulkopuolella.*
- 6) *Laitteet ja kokoonpanopöydät voivat olla pyörien päällä, jolloin solua voidaan muokata näppärästi.*
- 7) *Hukka vähenee monella tapaa (tarvittava pinta-ala, tuotteiden etsiminen, hakemiseen kuluva aika).*
- 8) *Tahtiajoista riippuen työ voidaan toteuttaa joustavasti jopa yksittäisen tekijän toimesta solun sisällä, mutta joka tapauksessa virtaus on helpompi hallita peräkkäistä operaattoreiden välillä.*

Yksi hyvä tapa tutkia nykyistä tai lähivuosina tarvittavaa layoutia on nk. spagettidiagrammi. Siinä piirretään tekemisten vaatimat siirrot ja liikkumiset tuotantolaitoksen ja varaston pohjapiirroksen. Kaavio paljastaa hyvin nopeasti esimerkiksi materiaalinoutojen vaatimat turhat liikkumiset ja auttaa siten sijoittamaan nimikkeitä paremmin varastoon tai tuotannon laitekantaa. Edelleen se auttaa materiaalitoimintojen osalta hyvin nopeasti pohtimaan sitä, onko syytä sijoittaa osa materiaaleista lähelle asennuspisteitä (esim. nk.

supermarket) ja työkalut siten, että kokoonpanossa voidaan keskittyä tuottavaan työhön ja materiaalitoiminnot eriytetään siitä?

Layout on hyvä suunnitella siten, että se mahdollistaa ja tukee uusia teknologisia ratkaisuja. Hyvä layout tukee visuaalisesti tekemistä, mutta silloin kun tähtäimessä on täydellinen keräily- ja asennustarkkuus, layoutin tulee mahdollistaa myös teknologioiden hyödyntäminen, kuten virtuaalilasit, valo-ohjattu keräys tai hahmon- ja kuvantunnistus. Näillä teknologioilla voidaan varmistaa, että esim. Kanbanista tai supermarketista poimittava (hahmontunnistus ehkä valo-ohjausta apuna käyttäen) ja asennettava (kuvantunnistuksella) nimike ovat varmasti oikein.

Tässä raportissa pääteemana on tekemisen joustavuus. Layoutin kannalta voi ja pitää pohtia näitä samoja 3 eri ulottuvuutta: tuoteräätälöinti, volyymivaihteluihin mukautuminen ja kyky uudistua tarvittaessa prosesseissa. Mihin järjestykseen nämä laitetaan? Ehkä tärkeintä on kuitenkin kyetä tuottamaan high mix / low volume siten, että tuoteräätälöinti on tärkein, volyymijoustavuus seuraavaksi ja layoutin sekä prosessin joustavuus vasta viime sijaisia. Toisaalta viime mainittuakaan ei kannata tehdä liian jäykäksi, jotta sitä voidaan mukauttaa tarpeen mukaan, kun kysynnässä tapahtuu oleellisia muutoksia. Digitaaliset työvälineet voivat auttaa niin layoutin suunnittelussa – kuin jopa vaikuttaa siihen, miten vaihtoehtoisissa layouteissa toimitaan. Esimerkiksi one-piece-flow:n vaatima layout ilman välivarastoja voi olla erilainen kuin massatuotannon linja mm. varastojen sijoittumisen ja niiden vaatiman tilan osalta. Toisaalta vaikka koko raportti tähtääkin nollavarastoajatteluun, myös layoutissa pitää tarvittaessa olla tilaa kapeikkoajattelun vaatimalle pullonkaulaa suojaavalle puskurivarastolle.

Prosessien joustavuutta voi tuoda mobiilirobottien laajempi soveltaminen. Eri laitteet ja linjat voivat olla paikallaan layoutissa; mobiilirobotit voivat tuoda niille materiaalia ja siirtää jalostettua tavaraa eteenpäin seuraavaan pisteeseen. Tässä yhteydessä niiden uskotaan olevan merkittävästi kuljettimia joustavampia ratkaisuja.

Lopuksi voi ottaa vielä vertailu vähittäiskauppaan, joka on monella tapaa kehittynyt kovan kilpailun paineessa. Teollisuuden kannattaisi käydä perehtymässä niin kotimaisiin kuin kansainvälisiin vähittäis- ja tukkukaupan konsepteihin uusien ”tuottavuusideoiden” hankkimiseksi. Yksi keskeinen kysymys tämänkin raportin kannalta on, ”mitä teollisuus voi oppia kaupan logistiikasta ja materiaalivirran ohjauksesta”. Lähtökohtaisena olettamuksena tässä on luonnollisesti se, että sisälogistiikan prosessit ovat kaupan toimijalle ydinkyvyyttä, kun teollisuudessa kilpailukykyä luodaan usein monilla muilla keinoilla. Tosin tukkukauppaakin myy nykyään muutakin lisäarvoa kuin pelkkää tavaraa: tietovirroillakin on merkitystä. Kaupassakin tehdään jatkuvaa tasapainottelua myyntituottojen (ml. valikoiman laajuus) sekä käsittely- ja tilakustannusten kesken. Oheisessa kuvassa on ”tehokasta esillepanoa” virvoitusjuomien osalta, mutta ei käsittelyn osalta on jouduttu hieman antamaan periksi, jotta myymälätilaa voidaan käyttää useammalle nimikkeelle.



Kuva 6.8 Vähittäiskaupan virvoitusjuomahyllystä (kirjoittajan itse ottama 06.06.2020).

Virvoitusjuomat on pakattu 600x800mm nk. myymälälavoille ("teholava"). Tehtaalla pakkaaminen onnistuu näihin tehokkaasti ja ne voidaan tuoda sellaisenaan myymälään ja oikealle käytävälle, mutta hyllyyn asettaminen onkin vähän vaikeampi asia: asiakkaat vaativat laajempaa valikoimaa ja jos jokainen lava asetetaan "käsittelysivu" käytävälle, se vaatii 800mm tilaa plus välit, mutta toisinpäin asennettuna kukin lava saadaan reilun 600mm:n välein asetettua. Nimikkeitä mahtuu hyllyyn enemmän eikä käytävien suhteellinen osuus koko layoutista kasva mahdottoman suureksi (vrt. WADELMA Aminoff ym. 2004; käytävien osuus varastoissa 47%, hylly/varasto 30% jne., ja varastotilan vuokratkustannus on tyypillisesti n. 30% varastoprosessin suorista kustannuksista). Painavan lavan työntäminen sivuttain hyllyyn vaatii kuitenkin voimaa lavansiirtovaunulta, jolla myymälälavaa pusketaan, kun noin päin asennettuna käsittelyvaunu ei mahdu lavan alle. Vaihtoehtona voisi olla kehittää lavansiirtovaunu, jossa olisi kapeammat ja säädettävät piikit, mutta renkaiden pitäisi olla kuitenkin sitä koko luokkaa, että niillä pystyy siirtämään tavaraa, mutta kuitenkin niin, että ne mahtuvat myymälälavan alle kapeammasta raosta (tai tietysti standardia lavan ala-aukkojen korkeudesta voisi päivittää...).

6.8 Tiekartta kohti uuden sukupolven kokoonpanotehdasta

Tämä alaluku rakentuu aiemmin esitellyn vision ja tiekartan pohjalle. Tiekarttaa voi ajatella kolmella eri tavalla:

- 1) Vision alareunassa on mahdollistavat teknologiat ja taustajärjestelmät, jotka pitää olla kunnossa, jotta ylemmät asiat ovat mahdollisia.
- 2) Niiden yläpuolella on varsinainen tiekartan vaiheistus: Lean-toimintamallit pitää olla kunnossa, prosessit jne., jotta voidaan edetä vaativampiin vaiheisiin ja kohti Logistiikka 4.0:aa, lopulta saavuttaa Teollisuus 4.0.

- 3) Ja edelleen näiden päällä on visio ”tulevaisuuden tehtaan materiaalitoiminnoista” kuvattuna toimitusketjun matkalle. Kokonaisuus rakentuu asiakkaiden tarpeille ja toimittaa ne. Myös tämä on omalla tavallaan tiekartta: teknologioita on lueteltu kuhunkin prosessivaiheisiin siten, että tikapuun ylemmälle askelmalle nouseminen on vaativampaa kuin edellinen. Ja yrityksen ei tarvitse pyrkiä kaikissa huipulle, vaan siihen tasoon, joka riittää asiakkaiden vaatimusten täyttämiseen järkevällä kustannustasolla.

Koska keskimäinen osa lähtee liikkeelle Lean-toimintatavoista ja -kulttuurista, tässä pureudutaan ensin sen pohjan kuntoon laittamiseen. Esimerkeistä tosin huomataan, että kun Lean saadaan riittävällä tavalla implementoitua, se tuo myös pari seuraavaa askelmaa (virheettömyyden ja joustavuuden) kätevästi ulottuvillemme. Sitten ollaankin jo lähellä sitä tilannetta, että ylemmän osan teknologioita ja toimintamalleja voidaan lähteä soveltamaan (Logistiikka 4.0), kun on varmistuttu, että myös alaosan ICT- ja muut asiat ovat kunnossa.

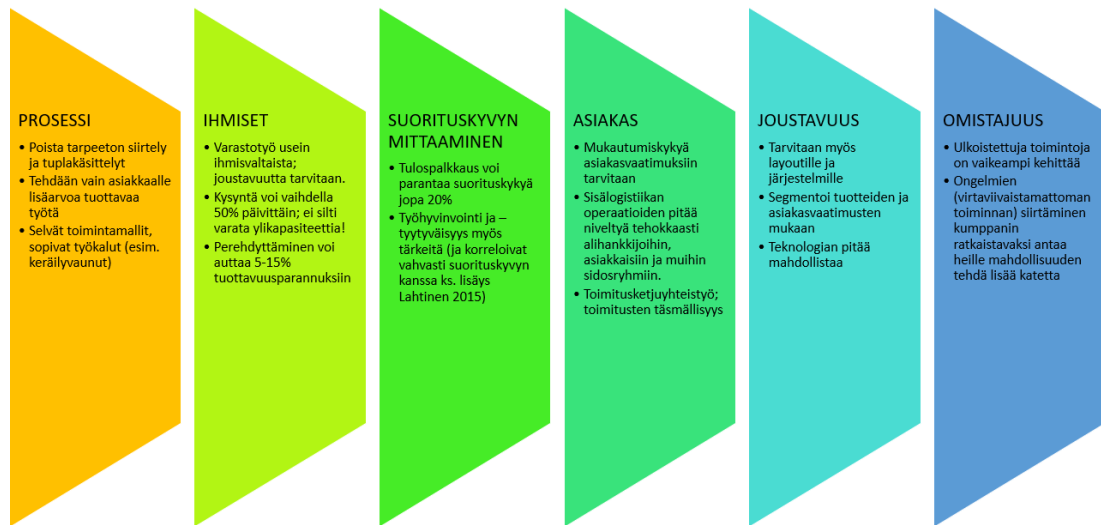
Vaikka tämä raportti käsittelee tuotannon materiaalivirtaa, on tässä esitettävät tutkimuslöydöt tehty varastoista yleisellä tasolla (ks. Aliche ym 2008). Tarkoituksena on havaita Leanin vaikutuksia materiaalitoiminnoissa niilläkin osa-alueilla, joiden perinteisesti ajattelemme olevan tehokkaita. Vaikka varastot muodostavat usein 30-50% koko toimitusketjun kustannuksista, varastoprosessien kehittämistä ei ole usein nähty strategisesti kovin merkittävänä, ja siksi niihin ei ole panostettu riittävästi ja tulokset ovat paikoin heikkoja.

Teollisuudessa ja palveluissa saatu jopa 50% kustannussäästöjä ja hukkaa pois. Varastoissa potentiaali on myös suuri. Tilat ovat usein vanhoja ja prosessit suunniteltu (jos on edes kunnolla suunniteltu) menneen maailman kysyntätilanteen mukaan. Nyt saattaa olla paine teknologiainvestointeihin, mutta ne taas tekevät toiminnan omalta puoleltaan helposti liian jäykäksi. Ulkoistaminen ennen ymmärrystä ja virtaviivaistusta johtaa vain siihen, että logistiikkapalveluntarjoaja saa paremman katteen.

Aliche ym. (2008) havaitsivat, että Leanin soveltamisella voitiin päästä jopa 20-40% kustannussäästöihin varastoissa ja samanaikaisesti parantaa palveluastetta ilman merkittäviä teknologiainvestointeja. Raportin kirjoittajat McKinseyltä ja Karlsruhen teknillinen yliopisto (KIT) ovat luoneet varastojen arviointiin ja kehittämiseen DCRM (Distribution Center Reference Model) -mallin, jolla he ovat pystyneet arvioimaan eri tasoilla eri tyyliä varastoja (joissa tuotteet, prosessit ja puitteet ovat erilaisia). Jo ensimmäisissä 20 arvioinnissa he huomasivat, että useat varastot toimivat 30-50% alle referenssitasojen. Ja tämä ero ei johtunut teknologian puutteesta. Yksi eurooppalainen (ei päivittäistavaratoimija, jossa kilpailu on kovaa ja prosesseja hiottu pitkään) toimi 42% alle referenssitason ja yhden viikon Lean-hiominen jälkeen suoritustasoa saatiin peräti 25% ylöspäin. Ero syntyy kumulatiivisena vaikutuksena useista hieman epäoptimaalisista prosessin osista.

Malli rakentuu 5-vaiheiselle prosessille. Ensin on sovellettu erilaisia benchmarking-työkaluja kehittämispotentiaalin arvioimiselle. Toisena osana on syvälinen analyysi prosesseihin ja potentiaalin kvantifiointi. Kolmas vaihe on yksityiskohtaisen toimenpideohjelman määrittely, joka pitää sisällään myös kehittämispotentiaalin/realisoinnin validoinnin. Sitten kehittämishankkeita pilotoidaan – ja viidennessä ja viimeisessä vaiheessa uusi toimintamalli otetaan käyttöön kokonaisuudessaan ja vakiinnutetaan osaksi varaston päivittäistä toimintaa.

TOIMIVAN LEAN-VARASTON KUUSI KULMAKIVEÄ



Kuva 6.9. Lean-varaston kuusi kulmakiveä (sisältää myös Aliche ym 2008). (Muokataanko vielä enemmän tämän raportin löydöksillä; tämä on kuitenkin jo ”tuloksia”)

Aliche ym. (2008) tunnistavat kuusi eri teemaa, joista Lean-varastotoiminta syntyy. Nämä on nimetty yllä olevassa kuvassa pienine selityksineen ja täydennyksineen tuoreemmista tutkimuksista. Kaikkia näistä ei ole ehkä käsitelty riittävän tasapainoisesti tässä raportissa, mutta toimikoon tämä kuva niiltä osin myös yhteenvetona: ennen varsinaisiin ”tulevaisuuden tehtaan teknologioihin” menemistä, meillä on useita mahdollisuuksia kehittää materiaalitoimintoja eteenpäin ilman merkittäviä investointeja. Tämä edellyttää kattavaa ymmärrystä asiakkaista, prosesseista, ihmisten kytkemisestä mukaan, toiminnan mittaamisesta jne.

Tiekarttaa voi käyttää edelleen siten, että leanin ja virheettömyyden lisäksi edetään yhä nopeampaan ja joustavampaan tuotantoon. Siinä materiaali virtaa jatkuvasti one-piece-flowna. Tämä mahdollistaa asiakaskohtaisen räätälöinnin, mutta tarkoituksena on kyetä rakentamaan joustavuutta myös volyymivaihteluihin ja tarvittaviin prosessimuutoksiin, joita voivat aiheuttaa niin asiakkaiden muuttuvat vaatimukset kuin jopa kokonaan uudenlainen teknologia (vertaa esim. mahdolliset muutokset, kun siirrytään polttomoottoristen autojen kokoonpanosta sähköautoihin).

Ennen räätälöinteihin menemistä ja panostamista, on kuitenkin hyvä yksinkertaistaa niin tekemistä kuin valmistettavia tuotteitakin ja harmonisoida niissä käytettäviä osia. Tämä lähtee tuotesuunnittelusta, jossa yllättävän vähän ilmeisesti mietitään logistiikan ja materiaalitoiminnan kustannuksia, jotka kuitenkin usein ovat liki yhtä suuria kuin muut varsinaiset valmistuskustannukset.

Volyymijoustavuus on omalla tavallaan kompleksinen asia tiekartassa. Jos pyritään jatkuvaan one-piece-flow -virtaan, jokainen tuote voi olla erilainen kuin edellinen (tuoteräätälöinti) ja volyymiä voidaan vaihdella henkilöstön määrää muuttamalla (esim. vuokraus, ulkoistus, osa-aikaistukset). Volyymitason muutokset vain menevät koko ketjun läpi sitten alihankkijoille myös samanlaisina. Ja äkilliset kysynnän kasvut näkyvät toimitusaikojen pidentymisenä asiakkaan päässä. Tästä syystä varastojen pitäminen voi toimia puskurina tuotannon tasaamiseen ja riittävän palvelutason pitoon asiakkaiden suuntaan, mutta silloin toiminta taas sitoo hieman enemmän pääomaa.

- Digital Twin - Available-to-promise (ATP) & projektien/toimitusten kärkeä aikataulutus - Massaräätälöinti - AR/VR - Harmonisointi - Suunnittelu ja myynnin rajapinta - Modulointi - Tuoterakenne - Arviointi/palautte järjestelmät	- Integraatiot taustajärjestelmien, RPA - Ennusteet (jopa APS/AI) - S&OP - <u>Setitys/kititys</u> - Läpinäkyvyys ja toimitusketjuyt eistyö (eri tasot VMI, CPFR jne.) - Tilausehdotukset - Paikallinen → Globaali → Hybrid - Push → Pull → JIT/Kanban - Luokittelut		- Robotisointi, "hinnalle automatisointi" = lajittelijat. - Turhien pakkausten poisto ja kierrätys - Valokuvaus - Nimikkeiden yksilöinti - Kollitunnistus - Cross-docking - Lähtöksen tunnistaminen	- Automaatio - Warehouse mgmt + inventory mgmt - Varastojen sijoittuminen (keskittäminen / hajauttaminen) + maantiede toimitusketjuissa - Järjeistetty tai dynaaminen paikoitus - Merkityt varastopaikat - Saldotarkkuus	- Automatisointi - Goods-to-picker → itseohjautuva (mobili)robotti/ puoliautomaatio - Varmentava teknologia (hahmon/kuvantunnistus) - Avustavat tekn. (ennakointi, puhe- tai, valo-ohjaus) - Älykäs ohjaus (nimike-, erä-, alue- tai dynaam. keräily) - Mekanisointi → koneet (trukit)	- Mitä vaikutuksia ihmiseen – ja miten ihmisen joustavuus hyödynnetään? - Eksoskeleto - Cobotit - Hahmon- ja/tai kuvantunnistus - VR/valo-ohjaus - <u>Keventimet</u> - Itseohjautuvuus - Häiriöiden korjaus (siirto sivuun AMR?) - Jatkuva virtaus (one-piece-flow) - Tuotantoon, kun materiaalit saatavilla	ASIAKAS - Palaute - Track-and-trace - Optimointi (lähetykset ja reitit; kalusto & kuljetusmuoto) - Sähköinen kuljetustilaus & dokumentit - Lavaräätälöinti (robotisointi?) - (Äly)Pakkaus, tunnistet, anturit ja merkinnät - Pakkaaminen	- Kierrätys - Elinkaari (TCO) - Lisä- ja varaosat - Huolto (VR?) - Ennakointi - Palvelut - Sensorit ja data - Käyttöönnotto - Asennus & ohjeistus (VR)
KAUPALLISUUS	HANKINTA	KULJETUS	VASTAANOTTO	VARASTOINTI	KERÄILY	KOKOONPANO	TOIMITUS	YLLÄPITO
TEOLLISUUS 4.0 (Älykäs tulevaisuuden tehdas, kyberfysiset järjestelmät, autonomisuus, tulevaisuuden org.) LOGISTIIKKA 4.0 (log.teknologioiden integraatio, plug-and-produce, toimitusketjun suorituskyky, resurssitehokkuus) JOUSTAVUUDEN LISÄÄMINEN (Asiakaskohtainen tuoteräätälöinti, volyymi- ja prosessijoustavuus, virtaviivaistaminen) KOHTI VIRHEETTÖMÄMPÄÄ TOIMINTAA (Yksinkertaistaminen, kerralla kuntoon, nopeus, jatkuva virtaus one-piece-flow, kustannustehokkuus) LEAN-TOIMITAVAT (JA KULTTUURI) MUDA (hukan poisto), KAIZEN (jatkuva parantaminen) MURA/HEIJUNKA (vaihtelun vähentäminen ja tuotannon tasaaminen)								
MITTAMINEN: JOHTAMINEN: TUNNISTUSHIERARKIA: TAUSTAJÄRJESTELMÄT JA –TEKNOLOGIAT:			Asiakas (Perfect Order ~ molempiin suuntiin → saatavuus, täsmällisyys, nopeus), BSC (vastuullisuus, kustannus) 7S, ergonomia, työtyytyväisyys ja –hyvinvointi, auditoinnit, toiminnan suunnittelu, simulointi ja optimointi Nimiointi, koodit, standardit, harmonisointi, viivakoodit, <u>AutoID</u> , RTLS → Master Data (+ <u>Big Data</u>) ERP, CRM, WMS/MES, APS/AI, 5G					

Kuva 6.10. Visio ja tiekartta. Perusasioiden kautta voidaan edetä vaativampiin ja kokonaisuus pitää hahmottaa.

Kun perusta on kunnossa ja Lean-kehitysaskleet on saatu toteutettua, voidaan lähteä soveltamaan kehittyneempiä logistiikan teknologioita materiaalitoiminnoissa ja ottaa askelia kohti Teollisuus 4.0:aa. Bittencourt ym. (2019) kirjallisuuskatsaus kohti Teollisuus 4.0:a kattoi 26 artikkelia, joista 9 tunnisti nimenomaan Lean-toimintatavat tärkeänä tukena toiminnan digitalisoinnille ja automatisoinnille. Jos prosessit eivät ole hallinnassa ja ne ovat tehottomia (esim. paljon lisäarvoa tuottamatonta työtä ~ hukkaa), digitalisointi ja automatisointi eivät tuo suurta lisäarvoa. Tämä lienee selvä jo maalaisjärjellä ajateltuna, mutta se on hyvä nostaa tähän esille. Uusin teknologia ei auta meitä, jos tekeminen ei ole hallinnassa.

Toisaalta usein case-kuvauksissa todetaan, kuinka suuria hyötyjä tietyistä teknologiaimplementoinnista oli. Nämä edistysaskleet olisi hyvä purkaa auki siten, että näkisimme, mikä osuus syntyy prosessin kuntoon laittamisesta ja mikä on teknologian tuomaa tuottavuusloikkaa. Useinhan tilanne on se, että prosessia kehitetään ja virtaviivaistetaan samalla, kun uutta teknologiaa otetaan käyttöön. Ja tämä on hyvä asia. Mutta juuri asioiden keskinäisten suhteiden ja merkitysten kannalta pitäisi ymmärtää nämä peruseräatteen ja kyetä jotenkin kvantifioimaan ne erikseenkin.

Tässä yhteydessä palataan termiin ”logistiikka 4.0” kuvaamaan uuden sukupolven materiaalitoimintoja. Logistiikka 3.0 lienee sellaista joustavaa ja ketterää logistiikkaa, joka on jo paljon pidemmällä kuin perinteinen logistiikka, mutta 4.vaiheessa nämä kytkeytyvät täydellisesti ja saumattomasti yhteen. Logistiikan teknologiat ovat yhteensopivia, niitä voidaan kytkeä ”plug-and-produce”-periaatteella muihin järjestelmiin (yleisimmin WMS:n kautta). Kun reaaliaikaista ja virheetöntä dataa päästään kunnolla hyödyntämään ja toimintaa optimoimaan, toimitusketjun suorituskyky ja resurssitehokkuus nousevat uudelle tasolle. Logistiikan integraatiot ovat jo siten lähellä Teollisuus 4.0:n ”kyberfysisiä järjestelmiä”, jotka mahdollistavat tulevaisuuden joustavan – jopa autonomisesti ohjautuvan – tehtaan. Tämä on tarpeen, kun asiakasräätälöinnit kasvavat niin monimutkaisiksi, että kokonaisuutta ei voida ohjata ja optimoida ”ylhäältä päin”, vaan tekeminen pitää jalkauttaa prosesseihin ja soluihin.

Lopulta voidaan tulla tilanteeseen, jossa ”tulevaisuuden tehtaan materiaalitoimintojen visiota” arvioidaan toimitusketjun ja varastoprosessin osalta. Kokonaisuus rakentuu asiakkaiden tarpeille ja toimittaa ne. Teknologioita on lueteltu kuhunkin prosessivaiheisiin siten, että tikapuun ylemmälle askelmalle nouseminen on vaativampaa kuin edellinen. Ja yrityksen ei tarvitse pyrkiä kaikissa huipulle, vaan siihen tasoon, joka riittää

asiakkaiden vaatimusten täyttämiseen järkevällä kustannustasolla. Kuitenkin tiekartta on ikään kuin kypsyysmalli, jossa kivijalan ollessa kunnossa voidaan edetä tikapuun askelmalta seuraavalle. Usein ei ole järkevää yrittää hypätä askelmaa ylemmäksi ennen kuin perusasiat ovat kunnossa. Eikä se ole edes mahdollista, jos edeltävä prosessivaihe ei ole kunnossa. Esimerkiksi nimiöinti pitää olla hallinnassa, jotta tunnisteita voidaan hyödyntää ja edelleen varmistua oikeassa varastopaikassa olevista nimikkeistä ja niiden saldoista, joita taas tarvitaan tehokkaassa tuotannonohjauksessa. Tiekarttaa voi tarkastella vielä konkreettisten tiiviiden ohjeiden kautta luvun 8 yhteenvetona olevasta luettelosta.

7. KYSELYTUTKIMUKSEN TULOKSIA

Hankkeessa toteutettiin myös kyselytutkimus, jossa haluttiin kartoittaa teollisuuden sisälogistiikan nykytilaa sekä yritysten näkemyksiä 2-3v eteenpäin. Vaikka itse visiopaperi tähtää 4-5v tulevaisuuskuvan luomiseen, tällä kyselyllä haettiin tavallaan välimaalia nyt käsillä ja näkyvillä olevilla ratkaisuilla. Kyselyn otosjoukko koostuu TUDI-verkostossa mukana olleista asiantuntijoista ja muista teemasta kiinnostuneista. Sähköpostikyselynä toimitettu otos oli 550, mutta koska kyselyä informoitiin myös sosiaalisessa mediassa, tarkkaa otosta – ja sitä kautta vastausastetta, on vaikea määritellä tarkasti.

Usein tutkimusasetelma on sellainen, että ensin tehdään kyselytutkimus (kirjallisuuskatsauksen ja teoriapohja päälle), jota sitten tarkennetaan haastattelututkimukselle. Tässä hankkeessa edettiin kuitenkin päinvastoin: kirjallisuutta ja teoriaa täydennettiin asiantuntijoille tehdyillä haastatteluilla – ja vasta kun kokonaiskuva oli melko tavalla kasassa, näitä lähdettiin selvittämään kyselytutkimuksella. Tällä päästiin todennäköisesti tarkempiin ja relevantimpiin kysymyksiin ja vastausvaihtoehtoihin, jotka ovat paremmin analysoitavissa. Haastatteluosuuden havaintoja on sisällytetty raportin teoria- ja toimenpidesuosituslukuun sekä tämän osuuden kysymyksenasetteluihin, mutta haastatteluista sellaisenaan ei ole purettu tekstiä.

Analyysiin otettiin 64 vastausta, joista osaan täydennettiin yksittäisiä puuttuvia arvoja imputoimalla ko. kysymyksen mediaanivastaus. Tällä tavalla kaikkiin kvantitatiivisiin analyysihin saadaan $n=64$. Aineistoa voi pitää melko laajana, kun noin 115 kysymyksen/väittämän lisäksi myös avoimiin kysymyksiin saatiin laajasti vastauksia ja näkemyksiä.

Koska otantaa ei voida pitää satunnaisena kaikkia yrityksiä kuvaavaan ilmiöön, tulosten tulkintaa TUDIn ulkopuolella kannattaa suhtautua varauksella, jos tätä haluaa arvioida akateemisilla tutkimuskriteereillä. Kun vastausaste myös on matala, herää kysymys kadon aiheuttamista puutteista. Tätä arvioitiin Mann-Whitneyn U-testillä: alussa ja lopussa vastanneiden vastausten jakaumat eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Tällä perusteella oletetaan, että koska ”hyvin motivoituneet” nopeasti vastanneet ja myöhemmin kahden muistutusviestin jälkeen näkemyksensä toimittaneet eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan, todennäköisesti loputkin populaation yritykset olisivat samoilla linjoilla.

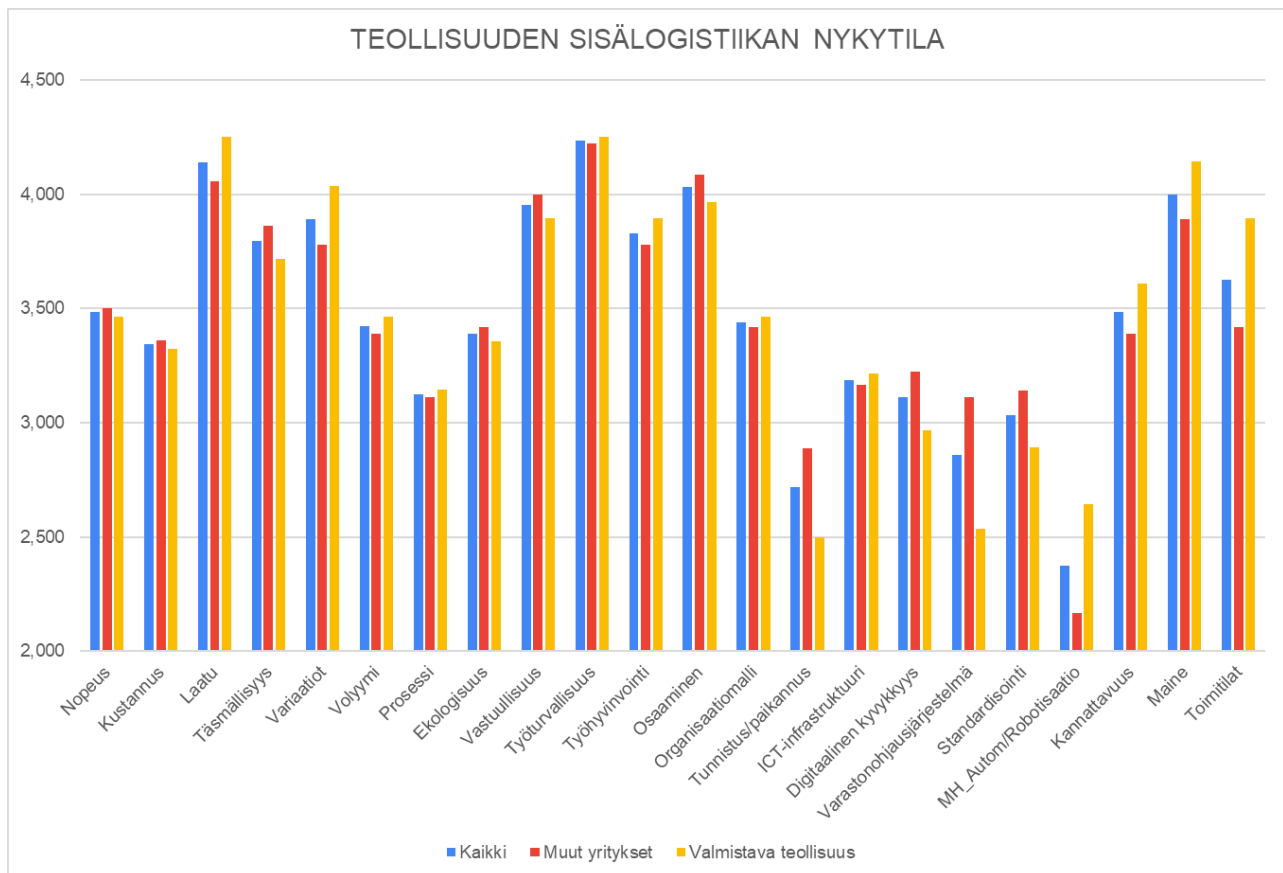
Vastauksia saatiin useista eri kokoisista ja erilaista toimintaa toteuttavista yrityksistä. Tämä omalla tavallaan lisänee aineiston mielenkiintoisuutta. Ehkä vielä mielenkiintoisempi havainto on kuitenkin siinä, että yksittäisiä väittämiä lukuun ottamatta vastaajien näkemykset eivät ryhmien välillä eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (Mann-Whitneyn U-testi, merkitsevyysraja 0.05).

Tutkimus toteutettiin siis sinällään huolellisesti, mutta populaation määrittelyn (mikä itse asiassa on kohderyhmä, jota halutaan tutkia: TUDI-yritykset vai kaikki valmistavat yritykset jne.?) vaikeudet ja siitä järkevän satunnaisotoksen saaminen sekä matala vastausaste kerrannaisvaikutuksineen tekee sen, että on varmempi arvioida tässä nostettu havaintoja teemalla ”tässä aineistossa” tai ”tämän aineiston mukaan”. Eli tulosten ja tulkintojen yleistämiseen aineiston ulkopuolelle tulee suhtautua varauksella, vaikka tutkimusasetelmassa mikään ei viittaakaan virheisiin, etteivätkö nämä ilmiöt olisi myös laajemmassa populaatiossa olemassa.

Tämä pääluku jakautuu edelleen alalukuihin siten, että niissä kuvataan teollisuuden sisälogistiikan nykytilaa, asiakkaiden vaatimuksia, toiminnan muutostekijöitä, suunniteltuja teknologiainvestointeja sekä näiden investointien ajureita ja esteitä. Kuvauksen lisäksi pyritään nostamaan esille muutamia analyysejä, joissa on käytetty tilastollisia menetelmiä. Eli niissä kohdissa yritetään vähän selittää ilmiöitä esim. niiltä osin, millaisissa tilanteissa investoidaan ja mihin, mitä niillä haetaan ja millaisia esteitä investoinneille on. Monipuolisia näkemyksiä avoimiin kysymyksiin on sisällytetty kuhunkin alalukuun.

7.1 Teollisuuden sisälogistiikan nykytila

Teollisuuden sisälogistiikan nykytilaa voi arvioida oheisesta kuvasta. Esimerkiksi työturvallisuus, tuotteiden laatu ja osaaminen saavat korkeita keskiarvopisteitä (4,0 – 4,2 asteikolla 1-5) ja vastaavasti tunnistus- ja paikannusteknologiat sekä materiaalinkäsittelyautomaatio ja robotisaatio (2,3 – 2,7) matalia pistemääriä. Toisaalta tämä on ymmärrettäväkin tulossa – ja nyt haussa onkin ratkaisuja, kuinka näitä voitaisiin hyödyntää paremmin tehtaiden logistiikan kehittämisessä lähivuosina. Suuria eroavaisuuksia valmistavan teollisuuden ja muiden alojen näkemysten välillä on em. matalien lukemien lisäksi mm. varastohallintaohjelmistojen ja toimitilojen laadun osalta.



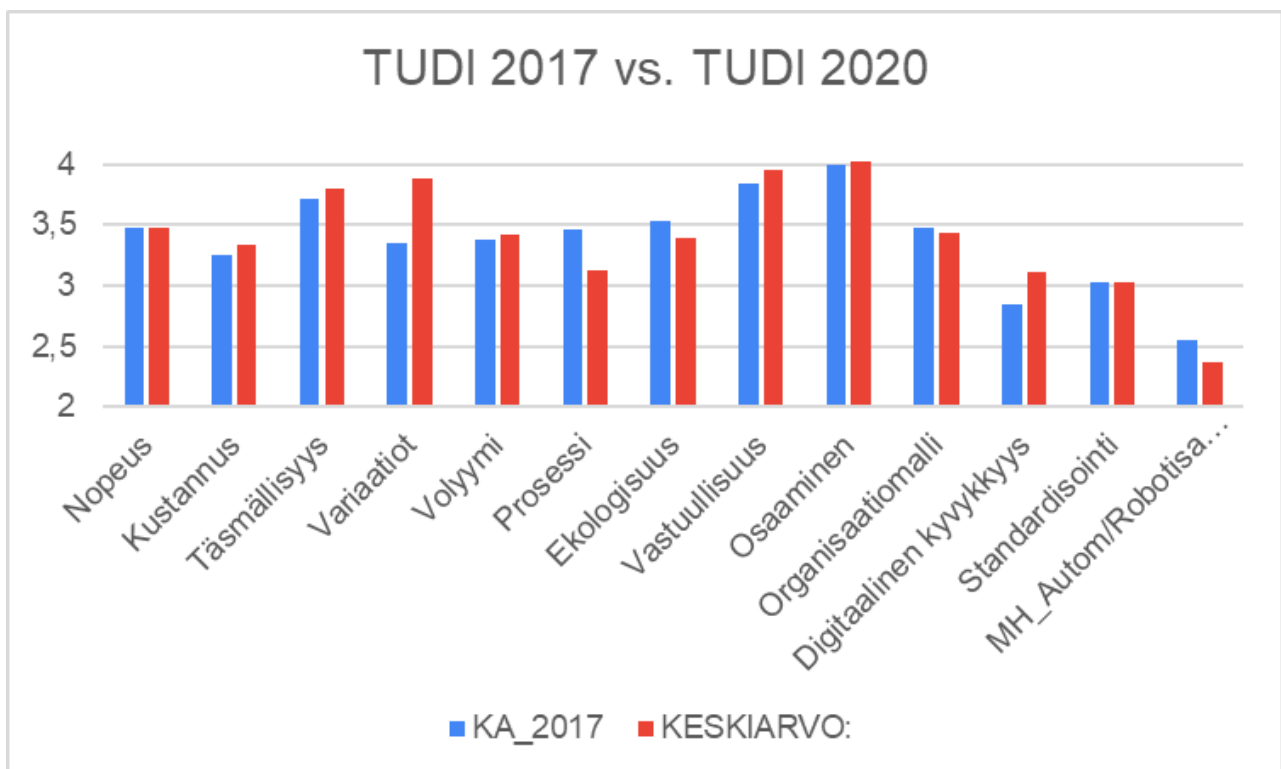
Kuva 7.1 Teollisuuden sisälogistiikan nykytila yritysten itsensä ja verrokkiryhmän mukaan.

”Keskikastiin” 3,1 – 3,5 tuli keskiarvoja mm. nopeudelle, kustannustehokkuudelle sekä kyvyllä joustaa volyymivaihteluihin tai prosessimuutosten tarpeisiin. Samaan luokkaan voitaneen niputtaa vielä digitaalinen kyvykkyys ja ICT-infrastruktuurikin. Vaikka yritykset ovat tehneet näihin jo työtä, niiden nykytilan perusteella voidaan nähdä, että kehitystarpeita on olemassa. Toisaalta esim. prosessijoustavuutta (ks alempana) ei nähdä kovin merkittävänä tekijänä asiakastarpeiden suunnalta, mutta joukossa on todennäköisesti yrityksiä, jotka hahmottavan sen omalla kohdallaan: esimerkiksi tuoteperheet tai jopa ydinteknologiat muuttuvat, ja yrityksen pitää kyetä joustavasti valmistamaan erityyppisiä kokonaisuuksia (ei pelkästään räätälöintiä nykyisten tuoteperheiden sisällä). Silloin prosessijoustavuus astuu myös kuvaan mukaan.

Suurin keskihajonta on varastohallintajärjestelmissä (WMS) (1,10), materiaalinkäsittelyautomaatiossa (1,08) ja tunnistus- ja paikannusteknologioissa (1,06). Vaikka näissä keskiarvot olivat pieniä, joukossa on myös hyviä yrityksiä: esimerkiksi WMS saa hyvän arvosanan (4 tai 5) liki 30% vastaajista, mutta se on heikko (1 tai 2) 36%:lla yrityksistä. Muut yllä mainitut teknologiat saavat hyvän arvosanan vain noin 1/6 osan vastaajista. Hajonta on pienintä osaamisessa (0,76) ja työturvallisuudessa (0,79).

Tätä ”nykytilaa” ja kaikkia muitakin suurempia kysymyspatteristoja tarkasteltiin myös Excelin ”luottamusväli”-funktiolla 95% luottamustasovaatimuksella. Kuvaajien tulkinnot (silmämääräisesti tarkastellen) eivät mitenkään oleellisesti poikenneet tehdyistä havainnoista.

Selvitimme joitakin teemoja täsmälleen samoilla kysymyksillä kuin 2017 helmikuussa TUDI-hankkeessa. Näitä kehityslinjoja voi hahmottaa alla olevasta kuvasta. Useiden muuttujien keskiarvot pysyneet melko täsmälleen samalla tasolla, mutta jos jotain halutaan nostaa esille, niin erityisen merkittävää positiivista kehitystä on havaittavissa mm. kyvyssä tuottaa asiakaskohtaisia räätälöintejä. Tämä on ehkä keskeisin high mix / low volume -tuotannon ulottuvuus, ja myöhemmästä kuvasta voidaan tulkita, että tuoteräätälöintien nykytilakyvykyys koetaan samalle tasolle kuin asiakkaiden vaatimukset keskimäärin, kun useissa muissa ulottuvuuksissa yritykset ovat perässä markkinoiden vaatimuksia. Positiivista kehitystä on havaittavissa myös digitaalisessa kyvykkyudessa, kustannuksissa jne. Vastaavasti pientä koetun tilanteen heikkenemistä on nähtävissä mm. prosessien mukautumiskyvyssä, ekologisuudessa ja ehkä hieman yllättäen materiaalinkäsittelyautomaatiassa.



Kuva 7.2. Teollisuuden nykytilan keskiarvo TUDI-kyselyissä 2020 ja 2017.

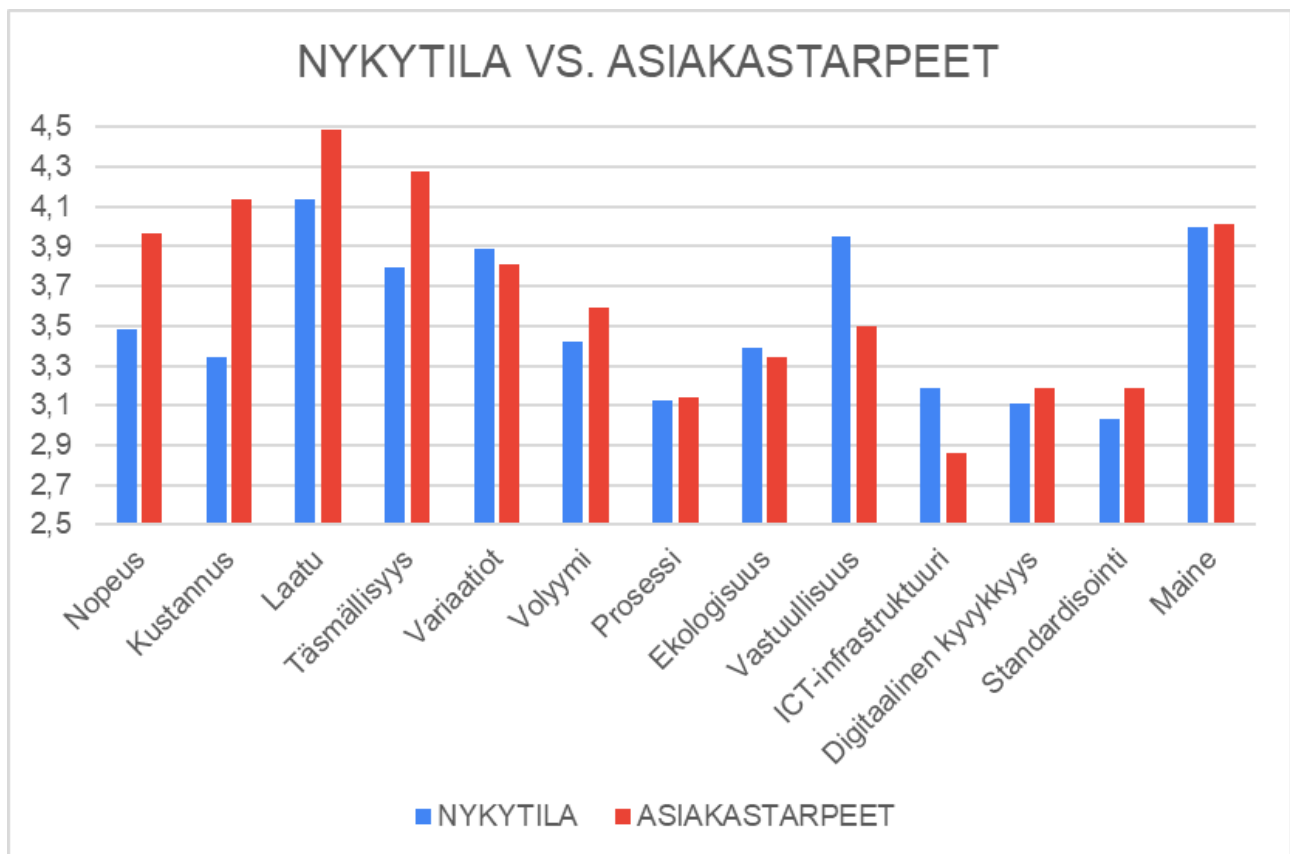
Sanallisissa vastauksissa nykytilan kuvaus sai melko heterogeenisiä kannanottoja. Tämä on luontevaakin, kun kyselyyn vastattiin erilaisista organisaatioista. Silti voitaneen sanoa, että moni kehittynyt teknologia nousi esille. Esimerkiksi RFID/QR läpi arvoketjun, WMS dynaamisilla varastopaikoilla tukemassa automaatiota ja valo-ohjattua keräilyä, varastoautomaatit tukemassa tuotantoa, ja jopa RPA ja tekoälykin on paikoin käytössä. Joissakin yksittäisissä kommentteissa todetaan kuitenkin, että monimutkaisemmasta teknologiasta ei olla saatu kaikkea hyötyä irti, kun ICT-järjestelmät takkuavat.

Toisaalta useilla yrityksillä on aivan perusasioiden kanssa painimassa: logistiikan merkitys tuotannon suoritus- ja kilpailukyvyille, osaamisen kehittäminen ja ymmärryksen kasvattaminen, tietojärjestelmien parempi hyödyntäminen ja prosessien jatkuva parantaminen tulee esille vastauksissa. Vaikka moni sanookin kokonaisuuden toimivan, hekin näkevät omassa toiminnassaan kehittämistarpeita, ja joukossa on myös yrityksiä, joiden tehtaant logistiikka on vanhanaikaista ja kehittymätöntä. Tällöin sisälogistiikka itsessään on

tehtaan pullonkaula. Puhutaan jopa koulutuksen lisäämisestä ja merkityksen herättämisestä. Jotkut ottava kantaa myös toimitusketjuun, kuten pieneen varastoon ja kuriiri/lentorahdin käyttöön ja varastoinnin ulkoistamiseen – tai vielä tärkeämpään eli asiakkaiden tarpeiden täyttämiseen nopeilla toimituksilla. Operatiivisella tasolla on herätty turhan käsittelyn välttämiseen tai havaittu toiminnan jakautumisen useaan eri rakennukseen tuovan haasteita sisälogistiikalle.

7.2 Asiakkaiden vaatimuksia teollisuuden materiaalitoiminnoille

Nykyisen suorituskyvyn ja asiakkaiden tarpeen koetaan eroavan mm. useammassa kohdassa. Asiakkaiden vaatimukset ovat kovimmat laadun, täsmällisyyden, kustannusten, maineen ja nopeuden suhteen – ja ainoastaan maineen osalta nykytila vastaa asiakkaiden vaatimuksia keskimäärin. Varsinkin kustannustehokkuudessa ollaan kaukana markkinoiden vaatimuksista. High mix / low volume -tuotannossa ollaan oltu huolissaan kyvystä tuottaa asiakkaiden kaipaamaa räätälöintiä, mutta ainakin tämän kyselyn perusteella yrityksillä on siltä osin kyvykkyyttä. Huoli on enemmänkin siitä, pystytäänkö se tuottamaan (riittävän) kustannustehokkaasti? Työtä riittää laadun, nopeuden ja täsmällisyyden osalta.



Kuva 7.3. Yritysten näkemys nykytilasta ja asiakkaiden vaatimuksista.

Asiakastarpeiden koettu hajonta oli jonkin verran suurempaa kuin aiemmin tutkittu yritysten materiaalitoimintojen nykytila. Siinä missä edellä oli suurta hajontaa matalat keskiarvot saaneissa ryhmissä, tässä voidaan nähdä osittain samaa ilmiötä: asiakkaat eivät tingi laadusta (keskihajonta "vain" 0,80), maineesta (0,81) ja kustannustehokkuudesta (0,83), mutta vastuullisuuden (1,14), prosessijoustavuuden (1,15) ja volyymijoustavuuden (1,18) suhteen asiakkaat eivät ole lainkaan niin tarkkoja. Toisaalta peräti 2/3:sta yrityksistä koki volyymijoustavuuden tärkeänä (arvosana 4 tai 5), ja vastuullisuudenkin liki 60% vastaajista, kun taas noin viidennes ei kokenut niitä tärkeänä (arvosana 1 tai 2). Prosessijoustavuus oli tavallaan mielenkiintoisin: siinä hajonta painottui molempiin päihin siten, että noin 40% piti sitä tärkeänä ja 40% ei. Tämä on varmaan myös toimiala-, teknologia- ja

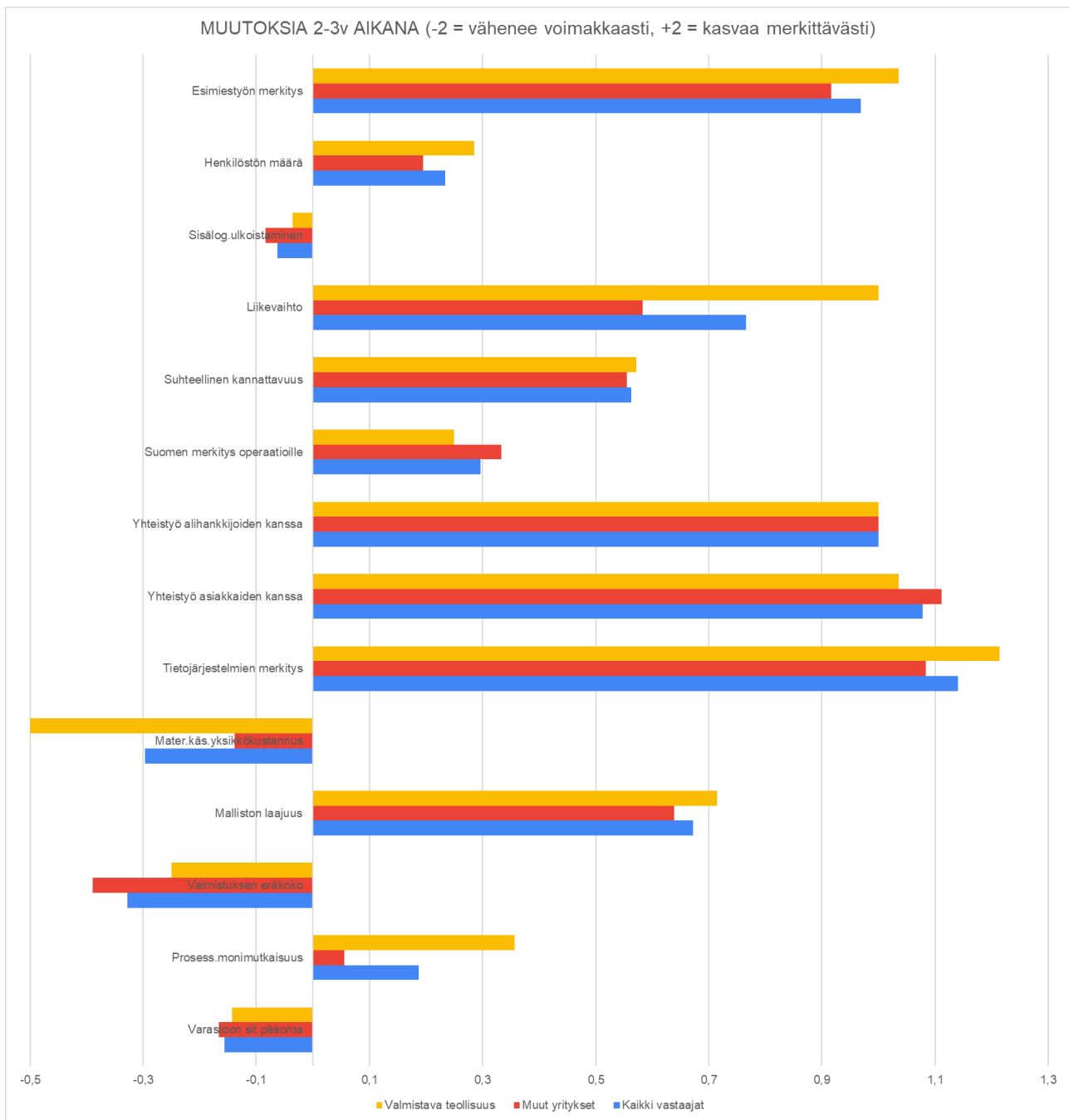
asiakassuhdekysymys: joissakin tilanteissa kyky tehdä prosessimuutoksia on tärkeä, mutta aina sitä ei tarvita (ja silloin siitä ei kannata maksakaan).

Avoimissa vastauksissa nousee usein esille asiakaskohtainen räätälöinti. Tuotannon- ja materiaalinohjauksen kannalta se nousee entistä merkittävämpään rooliin silloin, kun räätälöintiä muokataan asiakastarpeiden mukaan valmistusprosessin ja/tai toimitusprojektin aikana. Vaikka yritys tekisikin voimakkaasti räätälöityjä tuotteita, saattaa siinäkin tapauksessa olla suuria eroja eri asiakkaiden vaatimusten kesken. Ja vaikka vaatimukset kasvavat (erityisesti kansainvälisillä asiakkailta kv.markkinassa), niistä ei tunnuta olevan valmiita maksamaan (tai toimittajat eivät osaa tuotteistaa ja hinnoitella näitä palveluita oikein; kirjoittajan lisäys). Toisaalta pandemia-aika säikäytti vähän asiakkaiden ostajia, ja nyt esimerkiksi toimitusvarmuus on mahdollista saada hinnoiteltua oikein.

Joissakin tilanteissa jopa näyttää, että asiakkaat haluavat kaikkea yhtä aikaa: halpaa, hyvää (laatu korostui monessa vastauksessa), nopeasti, yksilöllisesti, mutta asettavat vaatimuksia myös tehtaalte maineen, vakavaraisuuden, vastuullisuuden ja jatkuvan kehittämistarpeen mukaan: asiakkaan on luotettava toimittajaansa. Ja pelkkä tuote ei tänä päivänä usein riitä, vaan siihen pitää olla asennus- ja ylläpitopalvelut päälle (joka edelleen tuo omat haasteensa varaosalogistiikalle ~ ehkä kannattaa jo suunnitteluvaiheessa suosia komponentteja, joita voidaan päivittää tulevinä vuosina. Kilpailutilanteen ollessa kireä asiakkailta on kyky neuvotella ehdot kohdalleen omasta näkökulmastaan. Toisaalta taitava toimittaja ymmärtää asiakkaiden tarpeita ja osaa profiloida, mitä kannattaa kenellekin myydä ja miten?

7.3 Keskeisiä toiminnan muutostekijöitä 2-3v aikana

Muutostekijöistä 2-3v aikajänteellä eteenpäin. Kuvasta voisi tulkita, että yritykset katsovat suhteellisen valoisasti tulevaisuuteen: liikevaihdon nähdään kasvavan erityisesti teollisuusyritysten mielestä ja kannattavuudenkin paranevan jonkin verran. Vaikka paljon puhutaan sisälogistiikan ulkoistamisen kasvusta ja tuotantotoiminnan karkaamisesta Suomesta ulkomaille, nämä eivät näy tässä aineistoissa niin, vaan päinvastoin: sisälogistiikan ulkoistamisen nähdään vähenevän ja Suomen merkityksen operaatioille kasvavan. Kysely ajoittui korona-aikaan, joten on ymmärrettävä, että yritykset siitä syystä pohtivat myös kansainvälisten toimitusketjujen sujuvuutta. Kuitenkin yritysten tulevaisuusnäkymät olivat sen verran positiiviset, että tämän ”Suomen merkitys operaatioille” kasvua ei voi pitää yksinomaan korona-aikaan liittyvänä tekijänä. Liiketoiminnan kannalta positiivisina voitaneen pitää myös varastoon sitoutuvan pääoman pienenemistä (ehkä paremmista tietojärjestelmistä johtuen) ja materiaalinkäsittelyn yksikkökustannuksen pienenemistä.



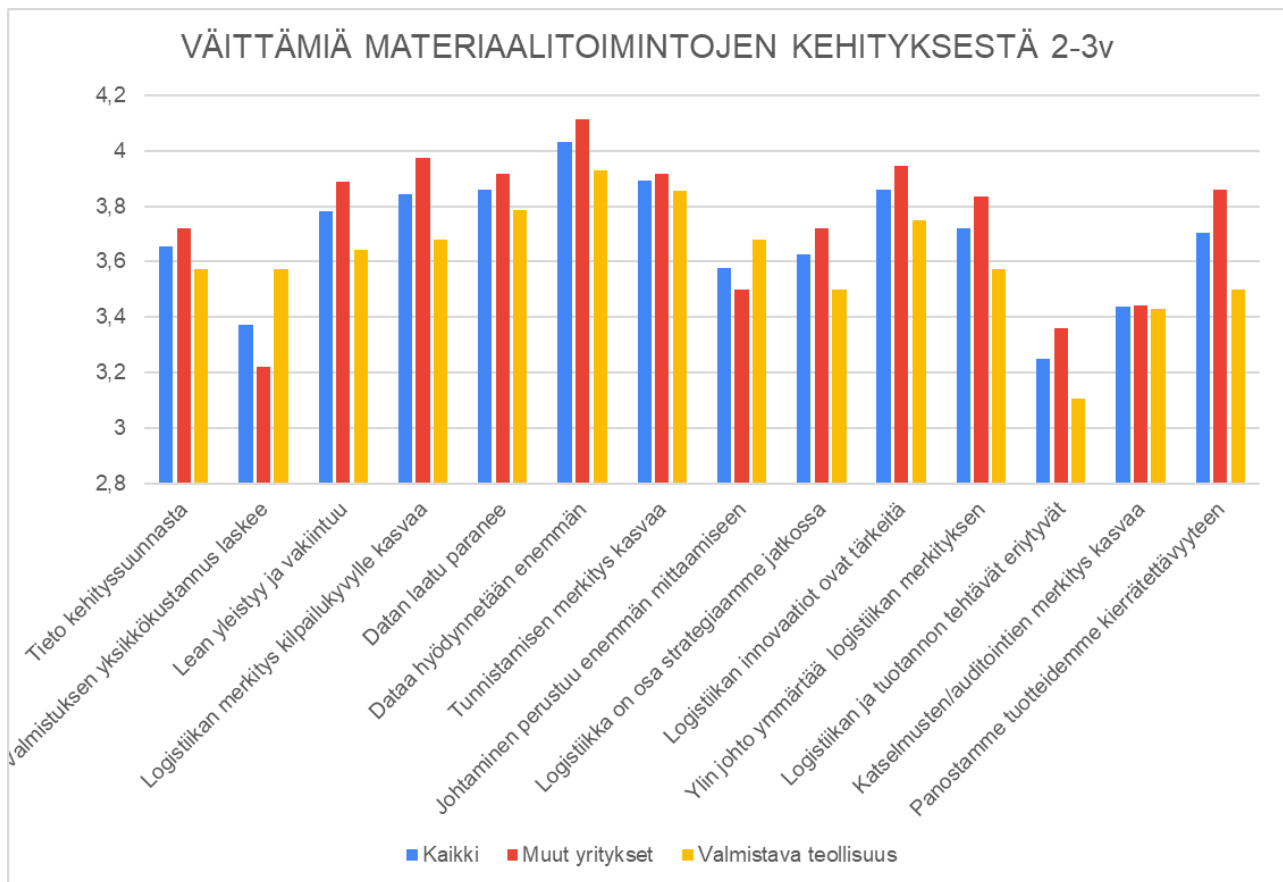
Kuva 7.4. Muutostekijöitä ja niiden voimakkuuksia 2-3v aikana.

Erittäin suurta merkityksen lisäystä koettiin tietojärjestelmille ja toimitusketjuyhteistyölle niin asiakkaiden kuin alihankkijoidenkin kanssa. Valmistavan teollisuuden – ja kaikkien muidenkin – kannattaa kiinnittää huomiota myös esimiestyöhön; senkin merkityksen kasvu tunnistettiin. Koko TUDI-kokonaisuuden perusoletus ”high mix / low volume” näkyy tässäkin malliston laajuuden kasvuna ja se varmaan osaltaan pitää prosessit monimutkaisena – ainakin teollisuusyritysten itsensä mielestä, vaikka juuri prosesseja virtaviivaistamalla tekemisestä voitaisiin saada enemmän tehoa irti.

Keskihajontoja tarkasteltaessa huomataan, että eniten ollaan yhtä mieltä henkilöstömäärän (pienestä) kasvusta (0,61) ja liikevaihdon sekä kannattavuuden paranemisesta (molemmat 0,64). Suurimmat erot taas tulivat varastoon sitoutuneelle pääomalle (0,91) ja valikoiman laajuudelle sekä sisälogistiikan ulkoistamiselle (molemmat 0,87). Ehkä viimeisimmän hajonta

selittää keskiarvojen pohjalta tehdyn pohdinnan, että tässä oli intuitio toisenlainen: sekä kasvaa että supistumista siihen tarjoaa noin 20% vastaajista kumpaankin, mutta supistujissa ollaan jyrkempiä näkemyksissä (onko taustalla epäonnistunutta ulkoistusta? Vai vastataanko tässä ulkoistamisasteen sijasta ulkoistamisen muutosnopeuteen?). Valikoima on high mix / low volume -tuotannossa hyvin kiinnostava ja se näkyykin siten, että valikoimien laajenemista ennustetaan, mutta joukossa on myös vastakkaisia mielipiteitä. Ehkä täällä onkin hyvä pohtia jonkinlaista harmonisointia ja modulointia myös omien tuotteiden osalta.

Lähtöleveysnäköjen näkymiä kartoitettiin myös väittämällä, kuinka hyvin tietyt tekijät kuvaavat yrityksen tilannetta seuraavan 2-3v aikana. Asteikkona oli 1= erittäin vähän/huonosti ... 5= erittäin paljon/hyvin. Matalimmat arvot tulivat "tuotannon ja logistiikan työntekijöiden eriytymiselle" ja "valmistuksen yksikkökustannusten laskulle". TUDI-verkostossa on ollut jossain määrin ajatus, että työnteke olisi tehokkaammin ja täsmällisemmin organisoitavissa, jossa valmistuksen ja logistiikan henkilöstö keskittyisi omiin tehtäviinsä. Tähän ei kuitenkaan näytä olevan kovin suurta trendin muutosta kyselyaineiston mukaan. Vastaavasti edellä arvioitiin materiaalinkäsittelyn yksikkökustannuksen laskevan (jonkin verran), mutta tässä ei nähty valmistuksen yksikkökustannuksen laskua kovin suurena.



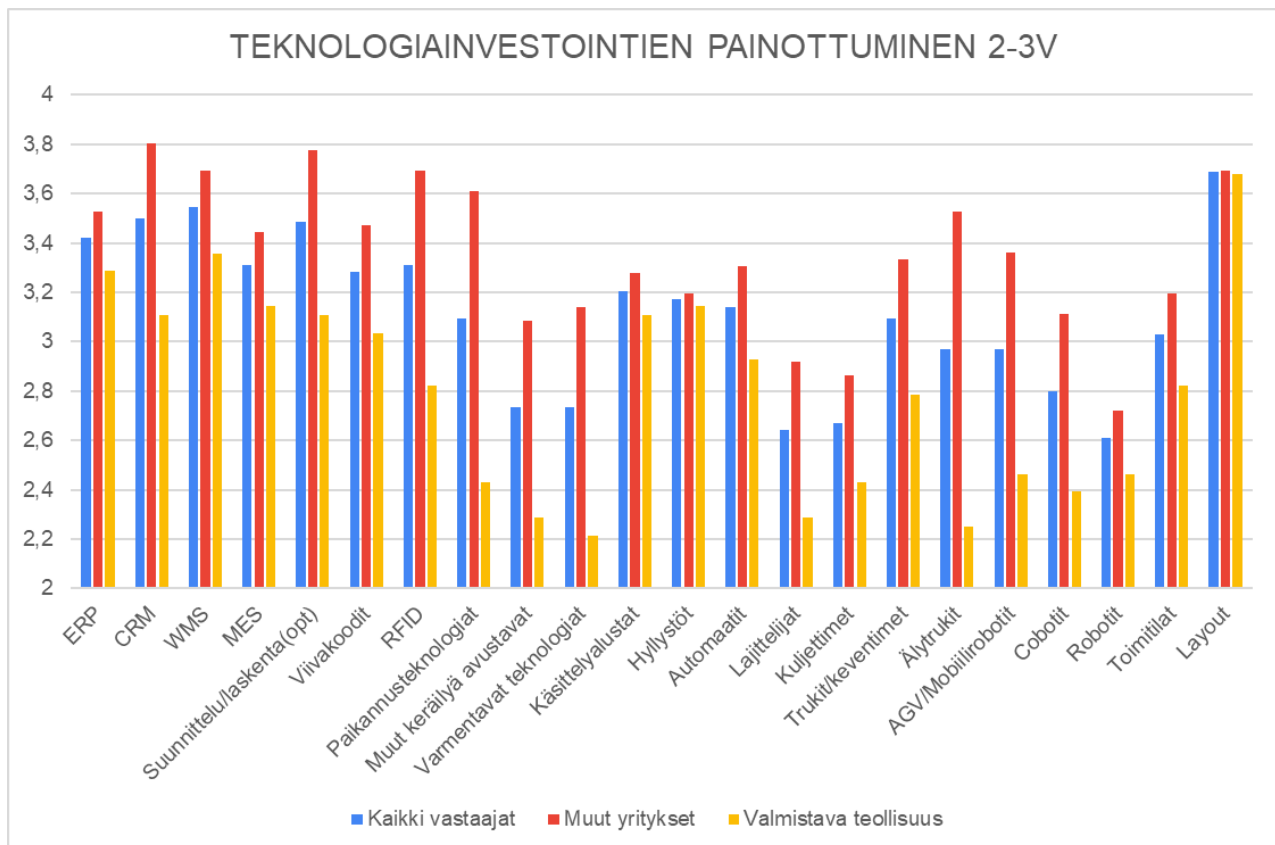
Kuva 7.4. Materiaalitoimintojen kehitysnäkymiä 2-3v aikajänteellä.

Toisaalta digitalisointi etenee: tunnistamisen merkitys kasvaa, datan laatu paranee ja dataa hyödynnetään enemmän. Nämä nousevat selvästi esille aineistosta. Toisaalta logistiikan innovaatiot koetaan tärkeiksi, logistiikan merkitys kilpailukyvyllle nähdään ja lean-toimintatavat yleistyvät. Näissä mittareissa teollisuus jää kuitenkin alemmaksi muiden yritysten verrokkiaineistoa: ehkä täällä on lisätyön paikka: meidän tulee auttaa teollisuusyrityksiä vielä konkreettisemmin pääsemään realisoimaan logistiikan hyödyt.

Viime mainitun setin suurimmat keskihajonnat olivat väittämässä ”ylin johto ymmärtää logistiikan merkityksen” (0,95), ”logistiikka osana strategiaa” (0,92) ja ”panostamme tuotteiden kierrätettävyyteen” (0,92). Nämä kaikki kolme varmaan kytkeytyvät osaamisen ja tiedon lisäämiseen – ja nostavat merkitystään vähitellen siten, että näkemykset tulevat yhteneväisemmiksi. Noin 10% nämä eivät ole merkittäviä (vastaus 1-2), kun taas 55-66% näkee niille suuren painoarvon (vastaus 4 tai 5). Pienimmät hajonnat ovat datan laadun paraneminen (0,61; digitalisaatio etenee!!), sen parempi hyödyntäminen (0,69) ja tieto toiminnan kehityssuunnasta (0,70). Viime mainitun voisi olettaa olevan ristiriitainen useammassa kohdassa nostettavalle osaamistarpeelle, mutta sitä se ei ole: keskiarvo ei ole kovin vahva ja pieni hajonta vahvistaa sitä: visiota ja tiekarttaa kehittämistoiminnoille tarvitaan.

7.4 Investoinnit logistiikan teknologioihin 2-3v aikana

Lähivuosien teknologiainvestointien painottumista arvioitaessa on kiinnostava nähdä, että teollisuuden oma näkemys logistiikan teknologiainvestoinneista on käytännössä kaikissa teemoissa huomattavasti matalampi kuin verrokkiryhmien edustajien.



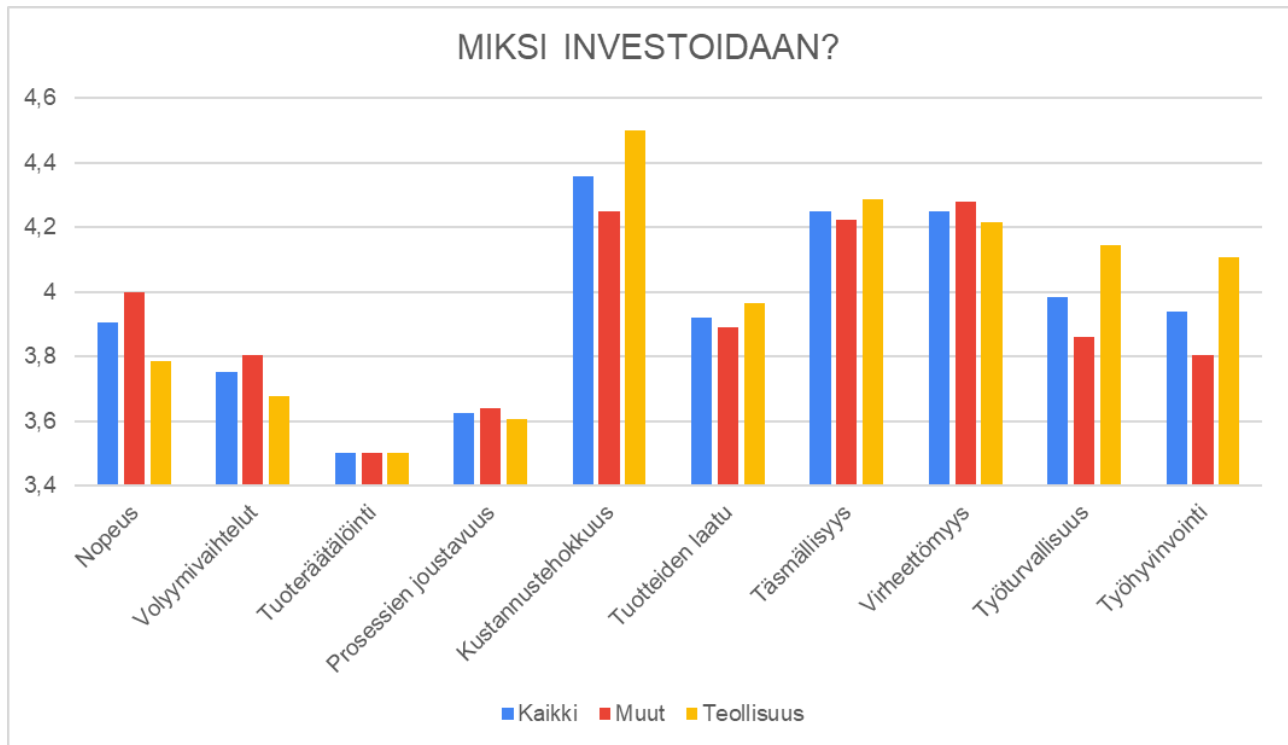
Kuva 7.5. Logistiikan teknologiainvestoinnit 2-3v aikajänteellä.

Suurimmat vastausten keskihajonnat ovat uusien materiaalinkäsittelyteknologioiden, kuten älytrukkien, mobiilirobottien ja cobottien osalta (1,34-1,25). Eniten sama mieltä ollaan perinteisiin teknologioihin investoimisen voimakkuudesta, kuten hyllystöt, käsittelyalustat ja layout. Niiden keskiarvot eivät ole kovin korkeita, eli ilmeisesti ne eivät ole kovin tärkeitä suurille ryhmille, mutta ilman niitä peruslogistiikka taas ei toimi, ja siksi on hyvä nähdä panostuksia myös näihin. Tai ehkä oikeampi tulkinta, että investoinnit jatkavat nykyisellä tasollaan.

Vapaissa sanallisissa vastauksissa haluttiin tuoda yllä mainittujen lisäksi tarve henkilöstön kouluttamiselle. Vaikka investointien aktiviteetti näyttää tässä olevan aivan positiivinen, käynnissä oleva koronatilanne kuulostaa kuitenkin siirtävän investointeja. Useampi vastaaja kertoi panostuksia olevan työpisteisiin ja usein

nykyisten toimitilojen päivitykseen, mutta joukossa oli myös näistä poikkeavia yksittäisiä vastauksia. Ehkä selkein linja on kuitenkin prosessin kuntoon laittaminen, ICT:n käyttöönotto ja muu vaativampi teknologia (esim. konenäkö, automaatio ja AGV mainittuna) seuraa perässä.

On mielenkiintoista arvioida myös sitä, miksi yritykset näitä investointeja tekevät? Kustannustehokkuus sekä laatuun ja täsmällisyyteen liittyvät asiat korostuvat. Mielenkiintoista on nähdä, että teollisuudessa koetaan investointien parantavan myös työturvallisuutta ja -hyvinvointia.



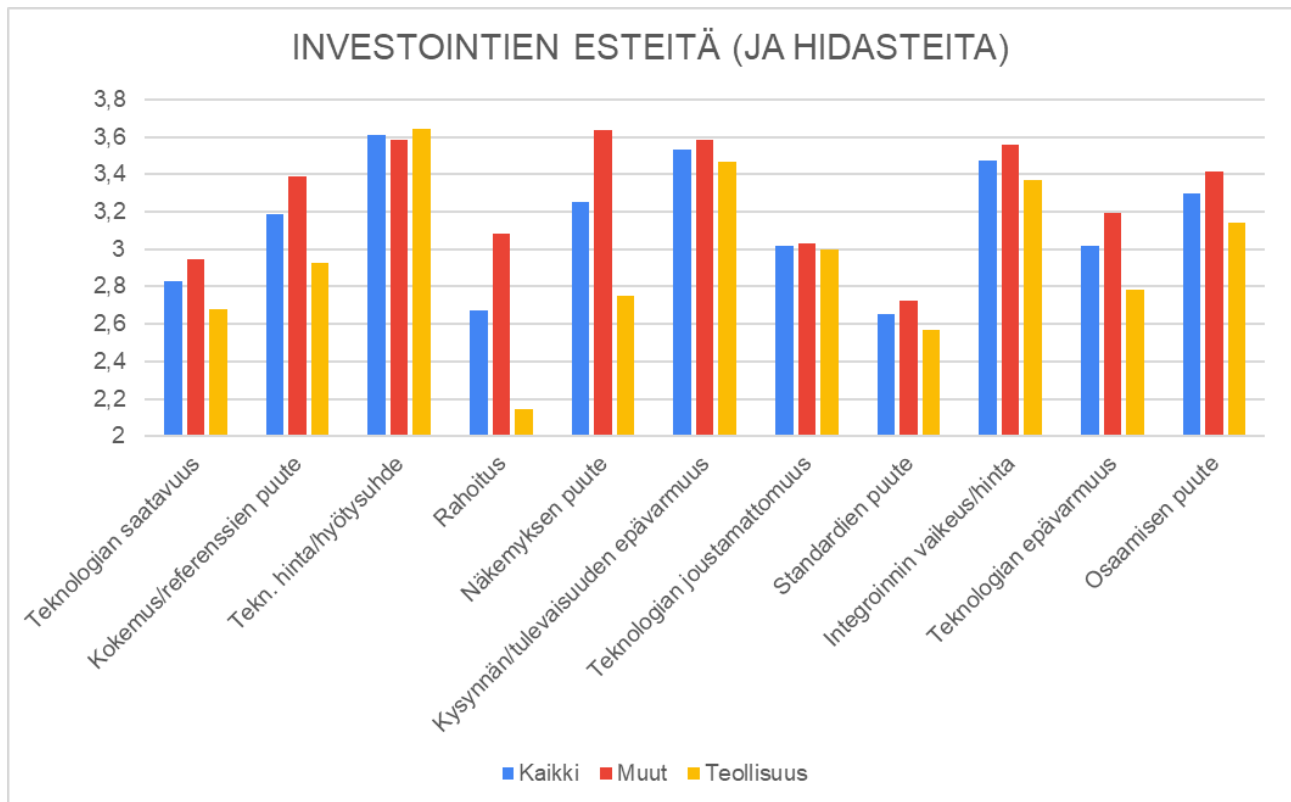
Kuva 7.6. Perusteet logistiikan teknologiainvestointinille

Rahoituksen puute ei vaikuta olevan merkittävä este teknologiainvestoinneille. Eikä edes standardien puuttuminen (keskiarvoja vertailtaessa), vaikka useissa TUDI-työpajoissa se onkin ollut esillä. Sitä vastoin teknologian hinta/hyötysuhdetta ei koeta riittävän hyväksi tai kysyntä nähdään sen verran epävarmana, että sitä varten ei uskalleta investoida teknologiaa. Osasyynä teknologian riittämättömäksi koetulle hinta/hyötysuhteelle lienee integrointien oletetut vaikeudet ja kustannukset.

Keskiahajonnoissa havaitaan, että kyky parantaa tuotevariointia (0,99) ja kykyä joustaa volyymin mukaan (0,87) pitävät sisällään suurimmat näkemyserot vastaajien kesken. Sitä vastoin virheettömyyden ja täsmällisyyden osalta ollaan liki liikuttavan yksimielisiä: reilusti yli 90% näkee investointien auttavan näissä asioissa (niin kuin sen digitaalisista työvälineistä voisi olettaakin) ja vain 1 vastaaja 64:stä oli antanut arvosanan 1 tai 2 näiden merkitykselle.

Vaikka rahoitus ei ollut isossa kuvassa ongelma muuten kuin koronan vuoksi tehtyinä investointien ajoituksen viivästyttämisinä, monivalinnassa korostui ym. hinta/hyötysuhde. Tämä korostui sanallisissa vastauksissa, kun moni nosti esille takaisinmaksuajan ja ROI:n investointikriteerinä, jonka laskeminen ei ole aina helppoa. Yksittäisiä mainintoja tuli myös investoinnin vaikutuksille ekologisuuteen ja vastuullisuuteen, toimittajan luotettavuuteen sekä siihen, että tavaraa saataisiin tuotettua nopeammin ja virheettömämmin. Haasteina nähdään myös integraatiot kompleksisuuden kasvun kautta: ”kaikki vaikuttaa kaikkeen”. Monet asiat (koneet, laitteet, tilat, prosessit) ovat menneestä maailmasta manuaalisia, kun nyt tarvittaisiin osaamista, yhteisiä toimintamalleja ja näkemyksiä uuteen aikaan siirtymisessä, jotta joustaviin ja ketteriin

toimintamalleihin päästään siirtymään. Asioita tarkastellaan usein liian lyhyellä perspektiivillä ja yritetään ratkoa liian pieniä ongelmia.



Kuva 7.7. Teknologiainvestoinneille koettuja esteitä ja hidasteita.

Keskihajonnat olivat pienimmät hinta/hyötysuhteesta (0,80), teknologian epävarmuus (0,90) tai standardien puutteesta (0,91). Vastaajat olivat siis näistä eniten samaa mieltä. Teknologioita ei siis vielä koeta riittävän hyviksi, kun hinta/hyötysuhde sai suurimman keskiarvon investointeja estävänä tekijänä, ja vastaajat ovat siitä eniten samaa mieltä. Suurimmat keskihajonnat saivat rahoituksen vaikeudet (1,16), integrointien haasteet (1,09) ja näkemyksen puute (1,05). Joukon yrityksistä yli 40% näkee ongelmia viime mainitussa (vastaus 4 tai 5), ja vaikka rahoitus ei keskiarvona näytä haasteelta, neljännes yrityksistä nostaa sen silti esille investointeja vaikeuttavana tekijänä.

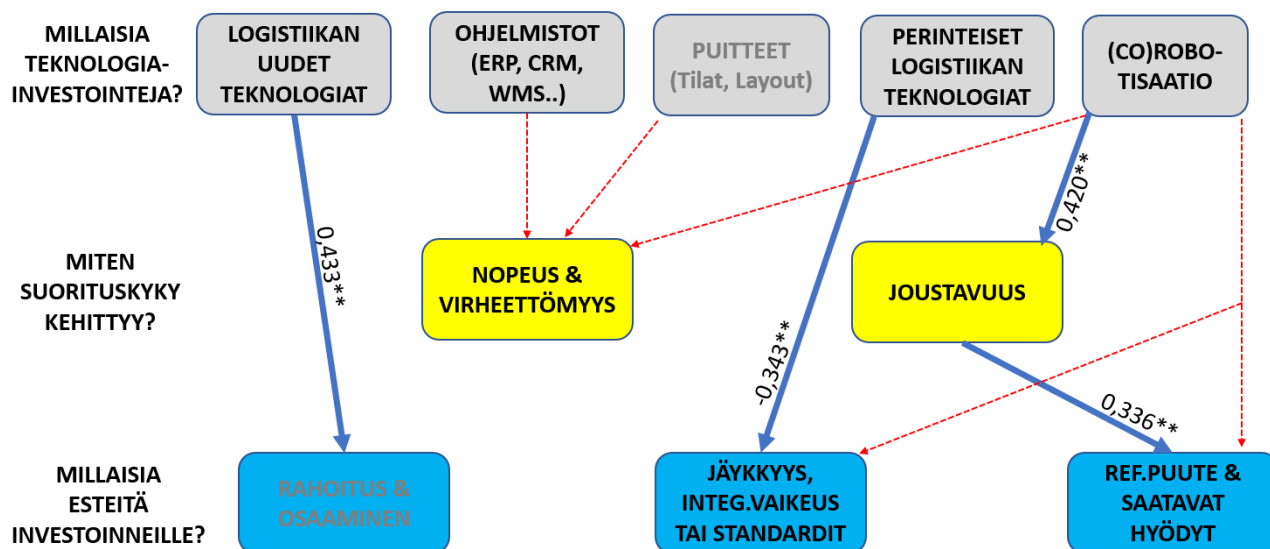
7.4.1 Investointien ryhmittely- ja keskeiset korrelaatiot

Investointinäkömään 2-3v eteenpäin analysoitiin toisellakin tapaa seuraavassa kuvatulla menetelmällä, jolla päästiin paremmin luokittelemaan ja ”sisälle” aineistoon sekä käsillä olevaan ilmiöön.

Eksploraatiivisessa faktorianalyysissä käsiteltiin kysymyksiä logistiikan teknologiainvestoinneista (22 eri väittämää), mihin niillä pyritään ts. miten suorituskykyä kehitetään (10) ja millaisia esteitä yritykset kokevat logistiikan teknologiainvestoinneille (11). Kuhunkin kysymyspatteristoon ei siis otettu analyysissä etukäteen kantaa, vaan tutkittiin faktorianalyysin avulla, mitkä tekijät (faktorit) voisivat selittää parhaiten vaihtelua vastaajien näkemyksissä. Aineistoa itseään voi pitää pienehkönä faktorianalyysille, mutta tulokset olivat kuitenkin vähintään jollakin tapaa järkeviä ja aineiston tunnusluvut asiallisia ja käytetyt menetelmät tavanomaisia (esim. VARIMAX-rotatio, pienet arvot pudotettiin pois ja keskityttiin oleellisimpiin).

Logistiikan teknologiainvestoinnit järjestäytyivät kuuteen eri ryhmään, mutta ”lajittelijat ja kuljettimet” pudotettiin pois, kun niillä ei ollut muuten mallin kannalta merkitystä ja ”puitteet” (tilat ja layout) on tässä

hieman varjostettuna, kun se merkitys faktorianalyysissä oli ryhmistä pienin, mutta toisaalta sillä oli myöhemmässä korrelaatio (ja erityisesti osittaiskorrelaatio) -tarkastelussa selkeä rooli. Samasta syystä estävänä tekijänä nähty ”rahoitus ja osaaminen” on varjostettuna, koska se ei ollut yhtä merkittävä kuin muut estävät tekijät. ”Miksi aiotte tehdä kyseisiä investointeja?” jakautui kymmenen eri kysymyksen kautta kahteen pääryhmään ”nopeutta ja virheettömyyttä” tavoittelevaan toimintaa ja ”joustavuuteen” (tuote-, volyyymi- ja prosessivariointi). Logistiikan investointeja vaikeuttavia tekijöitä tunnistettiin kolme pääryhmää alla olevan kuvan mukaisesti.



Kuva 7.8. Eksploratiivinen faktorianalyysi kysymyspatteristoista logistiikan teknologiainvestoinneille, niiden vaikutuksille ja koetuille esteille sekä korrelaatiota havaittujen tekijöiden (faktorit) väleille. (** tilastollisesti erittäin merkitsevä $p=0,01$, muut tilastollisesti merkitseviä $p=0,05$).

Faktorit nimettiin kirjoittajan toimesta niihin latautuneiden muuttujien perusteella (ks yllä oleva kuva). Edelleen keskeisten muuttujien välille toteutettiin korrelaatioiden tarkastelua. Tilastollisesti erittäin merkitseviä (virheen todennäköisyys alle 1%) riippuvuussuhteita olivat:

- 1) logistiikan uusille teknologioille nähtiin esteenä rahoitus ja osaaminen
- 2) perinteisten teknologia investointien esteenä jäykkyys, integrointien vaikeus tai standardit (korrelaatio NEGATIIVINEN ~ nämä eivät siis estä perinteisten teknologioiden investointeja)
- 3) cobotteja ja robotteja hankitaan joustavuutta parantamaan (tältä tämä aineiston perusteella näytti, että robotit ryhmittäivät tänne; kannattaisi varmaan katsoa, selittäisikö cobotit vielä paremmin joustavuutta?)
- 4) joustavuuteen pyrkijöiden ongelmana on ko. tilanteissa referenssien puute ja epävarmuus.

Tilastollisesti merkitsevinä (virheen todennäköisyys alle 5%) muina riippuvuussuhteina nähtiin nopeuteen ja virheettömyyteen pyrittävän ohjelmisto-, puite- ja robotti-investoinneilla, sekä esteenä co/robotisaatiolle jäykkyys, integraatioiden vaikeus ja standardien puute tai referenssien puute ja epävarmuus.

Korrelaatioita (tai osittaiskorrelaatioita) ei pyritty tarkastelemaan peräkkäisinä vaikutuksina polkuanalyysin tai rakenneyhtälömallien tapaan. Tässä tyydyttiin yksinkertaisesti vain kahden eri tekijän väliseen yhteisvaihteluun kerrallaan. Toisaalta osittaiskorrelaatiotarkastelut osoittavat, että yhteisvaihtelua esiintyy mallin osoittamalla tavalla, vaikka kontrollimuuttujiksi otettaisiin keskeiset ”nopeus & virheettömyys”, ”joustavuus” tai ”co/robotisaatio”. Aineiston tuomien rajoitteiden vuoksi

tieteellisten ja tilastollisten johtopäätösten lausumisessa on hyvä olla varovainen – ja jatkotutkimusta aihepiiriin ympäriltä tarvitaan.

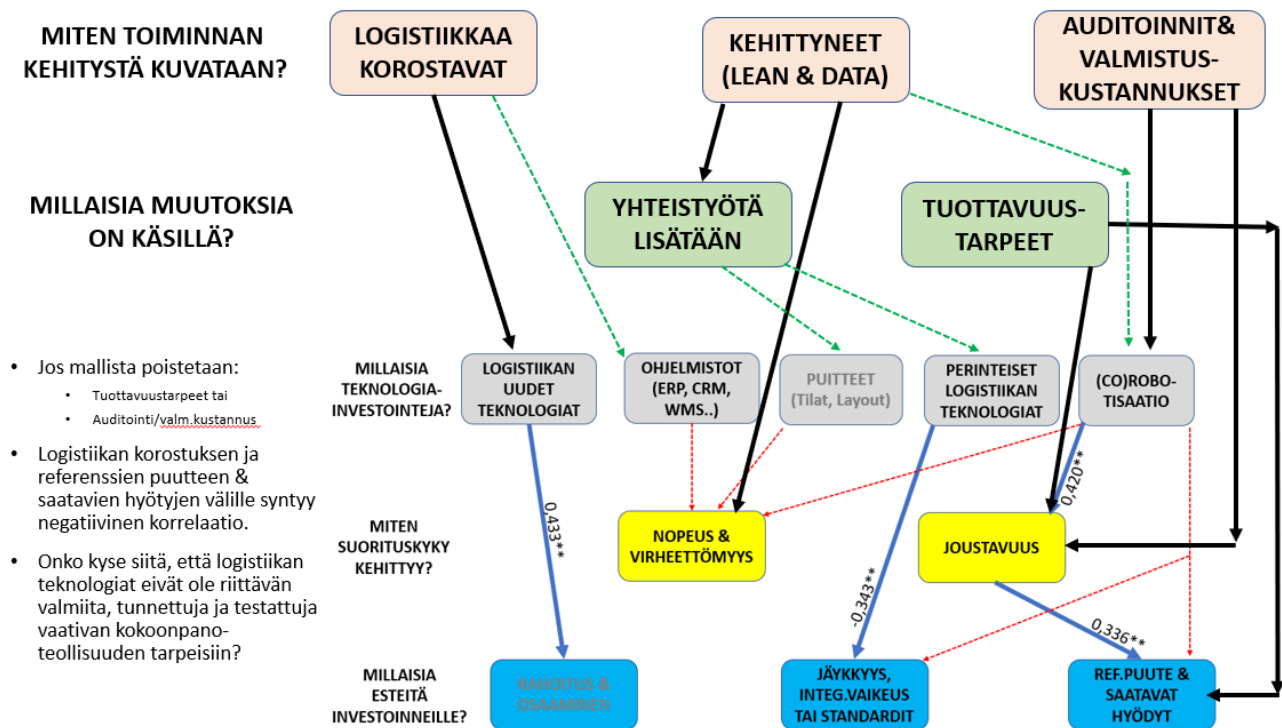
Uuden sukupolven kokoonpanotehtaan vision ja tiekartan sekä yritysten käytännön kehittämisponnisteluiden tukemiseksi tämän aineiston ja analyysin perusteella voisi suositella mm. seuraavia seikkoja:

- a) Referenssejä ja käytännön hyötyjä painottavia case-kuvauksia ja yritysvierailuja kannattaa järjestää ja pyrkiä kasvattamaan osaamis- ja tietopohjaa erityisesti joustavuuteen liittyvissä teemoissa (tuoteräätälöinti, volyymi- ja prosessijoustavuus).
- b) Em. toimintamallit voivat toimia ”best practices” pohjana myös robotisaatiolle (ja cobottien käyttöönotolle).
- c) Coboteille (ja laajemmin robotisaatiolle) tarvitaan siis malleja, jotka ovat ketteriä soveltaa – auttamalla integroimaan niin yrityksen sisäisiin järjestelmiin kuin mahdollisesti toimitusketjun rajapinnoillekin. Standardisointi voisi olla tähän yksi apuväline.
- d) Logistiikan uudet teknologiat (esim. avustavat keräilytekniikat, varmentavat tekniikat) saattaa olla joillekin yrityksille kohde, johon tarvitaan vielä osaamista ja näkemystä, sekä käytännössä myös rahoitusta investoinneille (rahoituksen saatavuus ei muuten ollut merkittävä tekijä mallissa).
- e) Ohjelmistoinvestoinnit auttavat nopeuteen ja virheettömyyteen (MASTER DATA KUNNOSSA!!).
- f) Nopeutta ja virheettömyyttä voidaan tukea myös paremmilla puitteilla (tilat ja layout; tutki myös toimintamallien esim. Lean merkitys) sekä robotisaatiolla.

7.4.2 Yleisten muutostekijöiden vaikutuksia teknologiainvestointeihin

Analyysiä jatkettiin eteenpäin siten, että malliin lisättiin keskeiset tekijät luvussa 7.3 esitellyistä muutostekijöistä. Muutosten voimakkuutta kysyttäessä esille nousi keskeisinä tekijöinä yhteistyön lisäämiseen sekä erilaisiin tuottavuustarpeisiin (mm. materiaalinkäsittelyn kustannus, henkilöstömäärä) liittyviä teemoja. Väittämät lähivuosien painotuksista jakautuivat ”logistiikka korostaviin”, ”Leania ja dataa hyödyntäviin” sekä ”Auditointeihin ja valmistuskustannuksiin”. Uusien ryhmiteltyjen faktoreiden väleillä ei ollut muuta korrelaatiota kuin leania ja dataa painottavien näkemykset yhteistyön lisäämisestä.

Seuraavaan kuvaan on esitetty korrelaatioita näiden ryhmiteltyjen tekijöiden välille. Logistiikan merkitystä korostavat investoivat logistiikan uusiin teknologioihin (tilastollisesti erittäin merkitsevä paksu musta nuoli; virheen todennäköisyys alle 1%; huom. nuolilla ei kuvata kausaliteetteja) ja ohjelmistoihin (virheen todennäköisyys alle 5%, vihreä katkoviiva). Valmistuskustannusten kanssa painivat näkevät co/robotisaatiossa investointimahdollisuuksia. Heikompi riippuvuussuhde oli havaittavissa yhteistyön lisäämisen sekä investointien välillä perinteisiin teknologioihin ja puitteisiin.



Kuva 7.9. Investointien selittäminen näköpiirissä olevien muutosten perspektiivistä.

Kaavion oikeassa reunassa on useita korrelaatioita, joissa toisena osapuolena on "valmistuskustannukset" tai "tuottavuustarpeet" (ml. käsittelykustannus ja henkilöstömäärä). Jos nämä ottaa mallista pois vuorotellen, muut asetelmat säilyvät melko tavalla ennallaan, mutta "logistiikan korostamisen" ja investointien esteenä nähtyjen "referenssien puutteen tai saatavien hyötyjen" välille syntyy molemmissa tapauksissa negatiivinen korrelaatio. Tilannetta voisi mahdollisesti selittää se, että tässä high mix / low volume -kontekstissa valmistus- ja käsittelykustannuksiin liittyy asioita, joissa teknologioita ei koeta riittävän varmoiksi tai meillä ei ole riittävää osaamista ja kokemusta. Kun mallia kevennetään, syntyykin negatiivinen korrelaatio, joka voisi indikoida sitä, että logistiikan korostaminen tietyissä tilanteissa tuo selkeät hyödyt eikä referenssien puute estä investointeja (ts. tekniikka on koestettua tiettyihin tilanteisiin). Jatkoanalyysiaiheena tätä voisi pohtia edelleen pidemmälle, miten high mix / low volume -tuotantoon saadaan lisää kokemusta näistä, jotta tuottavuustarpeet saadaan ratkottua (ja investointien esteitä ei nähdä.)

7.4.3 Kuiluanalyysiä asiakkaiden vaatimusten ja nykyisen suorituskyyvyn välillä

Alaluvuissa 7.2 ja 7.1 esiteltujen asiakasvaatimusten ja nykyisen suorituskyyvyn välisiä eroja pohdittiin myös suhteessa investointinäkömään. Aluksi laskettiin vastaavista väittämistä "asiakasvaatimus miinus nykytila" ja sitten näistä uusista "kuilu muuttujista" tehtiin eksploratiivinen faktorianalyysi. Sen tulokset olivat aika suoraviivaiset ja selkeät: kuiluja voidaan nähdä kolmessa eri pääkategoriassa, joita ovat "vastuullisuus & tuoteräätälöinti", "nopeus ja kustannustehokkuus" ja "ketteryys". Viime mainittu on siis kykyä joustaa volyymissä tai mukauttaa prosessia, nopeus ja kustannustehokkuus puolestaan "perinteisiä suorituskyyvymittareita". Vastuullisuus ja tuoteräätälöinti latautuivat yhteen ja ne voivat olla jotain nykyaikaista asiakasvaatimusta.

Kaikki aiemmissa analyyseissä luodut faktorit ovat jakaumaltaan toimineet niin teollisuus- kuin muissakin yrityksissä, mutta näistä uusista muuttujista perinteisissä suorituskyyvymittareissa nopeudessa ja kustannustehokkuudessa jakauma yritysryhmien välillä erosivat tilastollisesti

merkitsevästi toisistaan. Analyysimenetelmänä jakaumien välillä käytettiin Mann-Whitneyn U-testiä, ja kynnysarvona 0,05% merkitsevyyttä.

Tämän analyysivaiheen mielenkiintoisin tulos oli siinä, että vaikka kuilut olivat selkeästi ryhmiteltyjä, niillä ei ollut korrelaatiota lähivuosille suunniteltujen teknologiainvestointien kanssa! Toisaalta kuilut kyvyssä joustaa prosessi- ja volyymimuutoksiin korreloivat vahvasti ”joustavuuteen” liittyvien investointiargumenttien kanssa. Ja yhteisvaihtelua havaittiin myös sen ja valmistuskustannusten kanssa.

Korreloimattomuus kuilujen ja teknologiainvestointien välillä tuntuu aluksi irrationaaliselta, mutta tilanne voi olla niin, että asiat eivät ole vielä riittävän järjestäytyneitä. Siksi yritysten kannattaa jatkaa yhdessä näiden opettelua ja hyvien käytäntöjen jakamista. Pidemmällä aikavälillä – ja järkevästi toimivissa yrityksissä – investoinnit ovat hyvin perusteltuja. Tietysti myös tutkimusasetelmaa voi kritisoida: voiko investoinneille olla vielä jokin muu kriteeristö, joka ei avaudu ”kuilufaktoreista”, vaan investointeja tehdäänkin kapeammalla täsmäytyksellä juuri tiettyyn tarpeeseen? Ja koska tutkimuksessa selvitettiin reilusti yli 20 erilaista teknologiainvestointia, ehkä korrelaatioita olisi pitänyt katsoa yksittäisen kuilun ja yksittäisen investoinnin välillä – eikä tässä tehdyllä tavalla, jossa yritettiin niputtaa investointikriteerejä sopiviin ryhmiin. Siksi tämän alaluvun tulkinta voisikin olla, että ”tutkimuksessa ei havaittu korrelaatiota isossa kuvassa nykytilan ja asiakastarpeiden kuilujen ja suunniteltujen teknologiainvestointien välillä, mutta siinä ei analysoitu yksittäisen tarpeen ja investoinnin välistä riippuvuutta.”.

7.5 Lähitulevaisuuden (2-3v) näkymiä tehtaan logistiikkaan

Logistiikan ja toimitusketjun merkitys kasvaa ja se ymmärretään kattavammin organisaation johdossa. Logistiikka nähdään osaksi kilpailukykyä jatkossa ja ekologisuus ja vastuullisuus korostuvat. Vihreät arvot alkavat lähestymään kustannustehokkuutta – ja asiakkaatkin osaavat vaatia niitä. Perusasioilla, esimerkiksi jatkuvalla ja sujuvalla virtauksella on merkitystä, ja niissä tehtävää työtä voidaan tukea erilaisilla käsittelylaitteilla ja keventimillä. Tehtaiden ulkopuolella näkyy mm. verkkokaupan kasvu, ”winner takes it all” ja suuret yksiköt (mutta tämä voi olla vähän harhakuva, kun isot yleensä ylittävät uutiskynnyksen; yritykset hakevat myös ketteriä ja joustavia malleja; kirjoittajan oma ajatus kyselyaineiston ulkopuolelta).

Tietotekniikan merkitys kasvaa jatkuvasti logistiikassa – tai toisin sanottuna: kehittynyt tietotekniikka mahdollistaa logistiikan kehityksen. Digitalisaatiosta tulee normaalia toimintaa ja robotiikka kasvaa vähitellen. Robotiikan kasvu voi vaikuttaa töiden sisältöihin ja muuttaa osaamisvaatimuksia. Mutta ehkä todennäköisempi vaihtoehto tähän ovat erilaiset hybridimallit, joissa manuaalisia ja automaattisia toimintoja yhdistetään; rutiinit hoidetaan robotiikalla, ihmisen älykkyys (vaikka tekoälyn käyttökin lisääntyy). ja joustavuus jää muuhun käyttöön. Joustavuutta tarvitaan jopa aiempaa enemmän, jos ennakoitavuus on heikkoa. Yksittäisistä teknologioista varastohallintajärjestelmien (WMS) tehokkaampi hyödyntäminen ja AGV:n yleistyminen saivat mainintoja. Tämä jälkimmäinen lienee tarkoittaa tässä yhteydessä mobiilirobotteja, jotka vastaavat samalla tuohon joustavuustarpeeseen. Yrityksellä tulee olla kykyä mukautua myös volyymivaihteluihin nopeasti.

Toimitusketjuyhteistyö kasvaa operatiivisissa asioissa kuten pakkauksissa, eräkoossa ja merkinnöissä. Se näkyy digitalisaation aikakaudella myös järjestelmäintegraatioina organisaatorajapintojen yli. Tämä voi vaikuttaa esimerkiksi pääoman käytön tehostumiseen ja turhien välivarastojen karsimiseen. Toisaalta korona-aikana tehty kysely näyttää myös vaihtoehtoisen skenaarion: varastoinnin määrä kasvaa, jotta jatkuvasti pyörivälle tuotannolle on riittäviä puskureita.

Lähivuosina pääsemmekin yhä lähemmäksi logistiikan alkuperäisiä tavoitteita ”oikeaan aikaan oikeaan paikkaan”, kun tietojärjestelmät ja data ovat ajan tasalla – ja toiminta siten täsmällisempää ja virheettömämpää. Vaikka valikoimat kasvavat edelleen, perusinfrastruktuurin ollessa kunnossa tavara voi

kuitenkin liikkua yhä nopeammin, ketterämmin ja kustannustehokkaammin. 2-3v perspektiivi nähdään toisaalta aika lyhyenä aikana voimakkaalle uudistamiselle varsinkin nyt, kun korona siirtää investointeja, siten vaihtoehtoinen skenaario (tällä lyhyellä aikavälillä) joillekin yrityksille on vielä pysyä asemissa ja pitäytyä nykyisessä teknologiassa ja toimintamalleissa.

7.6 Miten logistiikan visio voidaan saavuttaa tehtaissa 2-3v aikana?

Edellä olevaan voisi jatkaa, että 2-3v aikajänteellä on erittäin vaikea saada suurta toimialan kattavaa muutosta vietyä läpi. Siksi raportissa esitettävää visiota ja tiekarttaa pohditaankin hieman pidemmällä 4-5v perspektiivillä. Moni kyselyyn vastannut esittikin epäilynsä juuri aika jänteen: näin nopeasti tulevaisuuden tehdasta ei luoda (vaikka Wuhaniin rakennettiin juuri suuri sairaala koronapotilaille 8 vuorokaudessa). Pessimistit eivät pety ja tietysti tulevaisuuden visioissa (ja varsinkin tiekartoissa) on hyvä pitää realismi mukana. Osa jopa totesi, että yrityksessä on vielä perusasioiden (esim. tuotannon työpisteet) kuntoon laittaminen käynnissä – ja vielä ei edes tavoitella logistiikan osalta suuria kehityskaskeleita. Sekin lienee hyvä valinta sellaiselle yritykselle, joka on omalle kohdalleen kyseisen etenemisjärjestyksen ja aikataulun luonut. Kyselyaineisto oli kuitenkin erittäin rikas ja monipuolinen tältä osalta ja antoi lukuisia vinkkejä, miten 2-3v aikajänteellä visiota voidaan lähestyä.

Erittäin suuri osa näkemyksistä liittyy osaamisen kasvattamiseen, onnistuneihin case-esimerkkeihin (meidän kannattaisi tehdä jonkinlainen best practices -kooste), ymmärryksen lisäämiseen ja yhteisen tahtotilan asettamiseen. Osa toivoo avoimuutta kokemusten jakamiseen: näistä voivat toisetkin oppia! Kyse on osittain myös uskosta tulevaan. Asioista ei saa tehdä liian monimutkaisia ja upota detaljeihin, vaan investointipäätösten tulee olla ymmärrettäviä liiketoiminnan näkökulmasta. Nämä voivat myös demotasolla.

Käytännössä suuri osa näistä voidaan saavuttaa toimijoiden välisellä yhteistyöllä. Tämä voi olla niin verkostoitumista TUDI-foorumien osajien kesken kuin yrityksen itsensä kannalta yhteistyötä alihankkijoiden ja/tai asiakkaiden sekä teknologiatoimittajien kanssa. Käytännön tasolla esimerkiksi koko hankinta- ja toimitusputki pitää saada läpinäkyväksi (ks. liite ”Toimitusketjuyhteistyö”) ja siihen on kyllä apuvälineeksi olemassa tietotekniikkaa. Koska investoinnit integroituvat moneen eri järjestelmään ja tilaus-toimitus-logistiikka -prosessit saattavat läpäistä eri osastoja, omakin yritys/konserni pitää saada mukaan; ainakin ylin johto, liiketoiminnan vastuulliset ja rahoitusjohto.

Itse toteutuksessa voidaan edetä pienin askelin. Eli kehitys tulee tapahtumaan vaiheittain. Visiota ei todennäköisesti ehditä 2-3v saavuttaa, mutta sinä aikana voidaan ottaa ensimmäisiä askelia, joilla visiota kohti edetään. Nämä osat tiekartassa ovat nykytilanteen ymmärtäminen ja siihen onkin käytössä paljon analyysityökaluja, kuten ABC-luokittelut ja PFEP (Plan for Every Part) ja sitä kautta oikeat eräkoot ja pakkaukset. Operatiivisen toiminnan Leanista tuttu ”kaizen” voi toimia tässäkin: tehdään jatkuvasti pieniä parannuksia.

Muutama havainto liittyy (koronan myötä mahdollisesti) heikkenevään suhdanteeseen ja sitä kautta vaikeuksiin investoida alamäessä. Suomen talouden positiivista kehitystä (ja jopa poliittista edistymistä esim. työehtosopimusten osalta) kaivataan omien investointien tueksi, mutta muistutetaan muutenkin logistiikan innovaatioiden merkityksestä, t&k-apuvoimista ja (EU-)rahoitusten hyödyntämisestä uusia toimintamalleja ja teknologioita pilotoitaessa. Kovaa työntekoa tämä tulee vaatimaan ja siten henkisten voimavarojen pitää olla kunnossa, mutta sitä kannattaa lähteä yhdessä viemään läpi eri sidosryhmien kanssa. Vain sitoutumalla tulevaan tavoitteeseen voimme sen saavuttaa. Merkittävä osa tekemisestä on ihmisten tekemistä, mutta prosessit ja data pitää olla kunnossa, jotta esimerkiksi tekoälyä voidaan yrittää lähteä kunnolla hyödyntämään.

7.7 Logistiikan ja tuotannonohjauksen rajapinta 2-3v aikana

Useille yrityksille tehtaan logistiikka ja tuotannonohjaus on yksi ja sama asia, mutta toisilla ne ovat erikseen. Niissä tilanteissa nähdään yhteensopivuuden kehittyvän ja ne yrittävät saada rajapinnat yhdenmukaisiksi siten, että päivittäinen yhteistyö on reaaliaikaista ja saumatonta. Jos tuotannon- ja materiaalinohjaus ovat erikseen, toimintojen tulee tehdä entistä enemmän yhteistyötä ja huomioida toisensa kaikessa tekemisessään, että ongelmat eivät kertaannu ja siirry osastolta toiselle. Yhtenäisillä järjestelmillä ja oikean datan avulla tuotanto voi olla tehokkaampaa.

Tuotannon ohjaukselle on kriittistä, että oikea materiaali tulee logistiikkatiimiltä oikeaan aikaan, oikean kokoisessa erässä ja oikeaan paikkaan. Tuotanto on tehokkaampaa, jos se pystyy näkemään materiaalisaldot ja suunnittelemaan tekemisensä siten, että työhön ryhdytään vasta siinä vaiheessa, kun kaikki komponentit ovat olemassa: silloin tuotannon virtaus voi olla katkeamatonta. Tarvelaskenta materiaalihallinnon puolella ja tuotannon ajoitus voivat siten olla synkronoituja ja suurelta osin automaattisia. Pandemia herätti yrityksiä entistä vahvemmin tässä asiassa: puutteet materiaaleissa voivat nopeasti pysäyttää koko tehtaan.

Kun tuotannonohjausta ja logistiikkaa tarkastellaan enemmän yhdessä, huomataan niiden keskinäisen yhteistyön ja kommunikaation merkitys. Data saadaan paremmin hyödyksi – ja optimointikin voi tapahtua siilojen sijasta kokonaisuudelle.

8 YHTEENVETOA, JOHTOPÄÄTÖKSIÄ JA JATKOAIHEITA

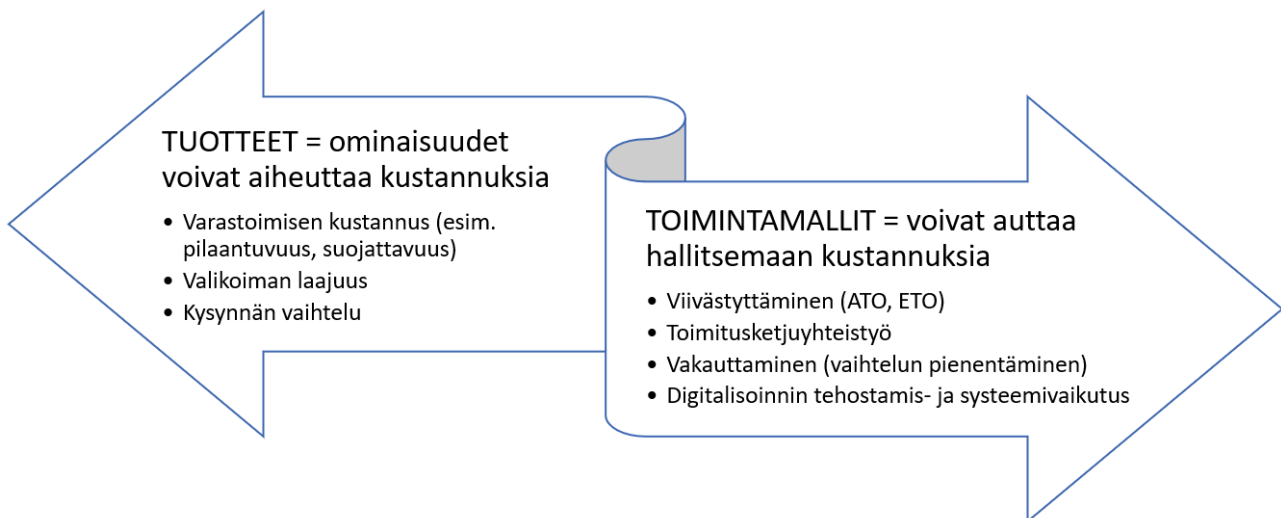
Tämä erittäin monipuolinen aihepiiri on houkutellut mukaansa laajan suomalaisten asiantuntijajoukon TUDI-foorumin ympärille. Tähän raporttiin on kerätty jonkinlainen katsaus ja otos siinä ympäristössä käydyistä keskusteluista tehtaan logistiikan ja toimitusketjujen osalta, jota edelleen täydennettiin viittauksilla tutkimuskirjallisuuteen. Lisäksi raporttia varten haastateltiin asiantuntijajoukkoa ja analysoitiin aihepiiriä käsittelevää kyselytutkimusta. Käsillä oleva raportti onkin jonkinlainen ”miljoonien mahdollisuuksien manifesti”, jossa luetellaan useita erilaisia mahdollisuuksia. Näiden monien mahdollisuuksien lisäksi – tai ehkä niiden sijasta, on parempi hahmottaa kokonaisuus. Edelleen yritysten tulee luoda näiden mahdollisuuksien pohjalta visio, ja lähteä sitä kohti, vaikka pienilläkin askelilla. Matkalla tulevaisuuden tehtaan materiaalitoimintoihin suunta lieenee tässä vaiheessa vielä tärkeämpää kuin vauhti.

Raportin laajuuden sinällään ei kannata antaa hämätä lukijaa, vaan kukin tämän käyttäjä voi poimia niitä osia, jotka ovat itselleen tärkeimpiä. Edelleen laajuus kuvastaa teeman kompleksisuutta, joka kasvaa mitä pidemmällä high mix / low volumessa edetään, ja laajuus on tukena myös siinä, että asioita on pohdittu riittävän kattavasti, jotta esitetyt keskeiset tuotokset visio (luku 5.1), roadmap (6.8) ja tarkastuslista toimenpiteistä (tässä alla luvussa 8.1) perustuvat kokonaiskuvaan niin käytännön keskusteluista kuin teoreettisesta tutkimuksesta.

Alla olevaan lukuun 8.1 onkin sisällytetty yhteenveto ”tempuista tai teeseistä”, joilla tehtaan materiaalitoimintoja voidaan kehittää. Nämä on kuitenkin pyritty esittämään sillä tavalla tasapainoisesti, että ne eivät estä asetetun vision toteuttamista ja toteutumista, vaan ne ovat askelia polulla, joka vähitellen johtaa kohti tulevaisuuden tehdasta logistiikan osalta.

Raportin laajuudesta ja monipuolisuudesta huolimatta teema ei kuitenkaan ole missään tapauksessa valmis ja loppuun käsitelty. Meidän kannattaa jatkaa yhdessä tästä eteenpäin. Innovaatioita tarvitaan myös tällä sektorilla – ja parhaiten ne syntyvät porukalla, jossa kaikkia tarvitaan ja jokaisella on roolinsa: veturiyrityksillä ja niiden alihankkijoilla, teknologiatoimittajilla, palveluntarjoajilla, asiantuntijoilla ja oppilaitoksilla, julkisen sektorin aloitteilla jne. Otetaan tähän mennessä saaduista kokemuksista oppia, voidaan peilata niitä tämänkin raportin ajatusten kanssa – tai jopa löytää tästä raportista ideoita oman yrityksen materiaalitoimintojen kehittämiseen. Porukalla tämä klusteri (tai innovaatioekosysteemi) tulee pääsemään eteenpäin.

Karkeasti ottaen voidaan nähdä, että tuotteet itsessään aiheuttavat kustannuksia virratessaan tehtaan läpi. Näihin vaikuttavat erityisesti tuotteen ominaisuudet, kuten varastoimisen hankaluus ja kysynnän vaihtelu – sekä erityisesti tuotteiden lukumäärä kokonaisuudessaan. Alla olevaan kuvaan on nimettynä näitä tekijöitä, mutta siinä ei ole otettu rinnalle ”lisäarvoa”, joka asiakkaalle synnytetään: valikoiman laajuudella on siinä suuri merkitys. High mix siis luo asiakkaille lisäarvoa, kun voidaan tuottaa asiakaskohtaisesti räätälöityä tuotetta, mutta se aiheuttaa runsaasti kustannuksia sekä tehtaan logistiikassa että tuotannossa: tuotannossa eräkoon pieneneminen vaikuttaa asetusajojen ja muiden merkityksen ja siten myös kustannusten kasvuun, kun maksimituotantovolyyymiä ei saavuteta, mutta valikoimalla on suuri merkitys myös tässä käsiteltävissä ”logistiikkakustannuksissa”. Samalla on hyvä muistaa, että tarjolla on monia eri toimintamalleja, joilla näitä kustannuksia voidaan hallita. Näitä on lueteltu oikeassa reunassa.



Kuva 8.1. Tuotteet ja toimintamallit kustannusvaikutuksineen tehtaan logistiikassa.

Digitalisointi on nimetty kahdella eri tavalla: tehostamis- ja systeemivaikutuksensa vuoksi. Tehostamisvaikutus liittyvät esimerkiksi automaattiseen tunnistamiseen, automaatioon ja robotisaatioon. Toisaalta kaksi viimeisintä ovat jo systeemivaikutuksen tulosta: kun perusrakenne, -prosessit ja nimiöinti ovat kunnossa, voidaan Master Datan avulla tuotannonohjaus ja toimintamallit saattaa seuraavalle tasolle. Systeemivaikutuksen merkitys voidaan ymmärtää myös toisinpäin: jos digitalisointia ja systematiikkaa ei ole, hukkaan on paljon, tekeminen on tehotonta – eikä automatisaatio pysty yksinään ratkaisemaan asiaa parempaan suuntaan.

8.1 Tarkastuslista tulevaisuuden tehtaan materiaalitoiminnoille

Tätä laajaa teemaa on yritetty vetää yhteen vielä oheiseen taulukkoon (Kuva 8.2) siten, että pk-yrityskin voi nopeasti saada kiinni keskeisistä väittämistä ja huomioitavista asioista. Tarkastuslista on pyritty jonkin verran ryhmittelemään ja teesejä priorisoimaan. Pääryhmät ovat ”perinteiset” ratkaisut, kuten Lean managementin hyödyntäminen sekä ”uudet teknologiat”, jotka pitävät sisällään niin markkinoilla olevia tietojärjestelmiä, tunnisteita kuin materiaalinkäsittelyteknologioitakin. Kunkin teesin tai toimiohjeen vieressä on lyhyt argumentointi miksi ja miten kyseinen asia kannattaa ratkaista, ja useisiin näistä on merkitty myös viittaus muualle tähän raporttiin, josta kyseistä asiaa voi tarkastella perusteellisemmin. Väittämiä on aika monta, mutta niin on aihepiirikin. Tähän pätee silti edellä jo useampaan kertaan todettu: nyt pitää lähteä oikeaan suuntaan, mutta maalia ei välttämättä saavuteta yhdellä askeleella nopeasti, vaan erilaisten vaiheiden ja kokeilujen kautta. Koska moni asia on uusi (ainakin tässä kontekstissa), meidän kannattaa vaihtaa kokemuksia hyvistä käytännöistä, joita tällä kehityspolulla saavutamme.

	TEESIT (MITÄ KANNATTAA TEHDÄ):	MIKSI:	MITEN (VIITE TÄSSÄ RAPORTISSA):
PERUSASIAT	1) Laaja kokonaisuus - ymmärrä asiakkaan todellisia tarpeita!	Vältetään osaoptimoitua. Valitaan oikea toimitusketju ja tuotantostratégia. Ei hukata resursseja väärin paikkoihin tai hankkeisiin (tai turhiin toimintaa jatkaviin investointeihin).	Luku 1.3 (älä nojaa yksittäisiin temppeihin ennen kokonaisuuden ymmärtämistä), luku 2.2 ja 6.1-6.2; segmentoidaan asiakkaat toimitusvaatimusten mukaan (esim. nopeus, täsmällisyys)
	2) Poista hukka kaikesta tekemisestä!	Turha käsittely ja siirtely maksaa ja aiheuttaa virheitä. Mikä estää tekemästä tuottavaa työtä?	Luku 2.5 (Lean), 6.6 (vastaanoton kehittäminen), 6.8 (tiekartha). Ks. Myös hankinta- ja toimitusketjuyhteistyö (liitteet 2-4), jos haluat lähteä purkamaan päällekkäistä työtä toimijoiden välillä.
	3) Tasataan vaihtelua!	Toiminnan ohjaus on vaikeaa tai tarvitaan suuret puskurit joko kapasiteettiin, varastointiin tai toimitusaikoihin, jos vaihtelu on voimakasta. Ja puskurit ovat kalliita & riskialttiita.	Luku 2.7 (Vaihtelun hallinta), oikea määrä 2.3, 6.4 (One-Piece-Flow). Mutta myös läpinäkyvyys toimitusketjuyhteistyön kautta (liite 2).
	4) Lyhennä läpimenoaika!	Suuri osa toiminnasta on odottelua. Tehostaa tuloksentekoa (ja auttaa asiakasta).	Luku 2.6 (Läpimenoaika), Luku 2.2 (Mihin yrityksen pyrkivät operaatioissaan). Hyödynnä tietojärjestelmiä: esim. vältä tarpeettomat pysähdykset tuotannossa, kun varmistetaan saatavuudet etukäteen.
	5) Yksinkertaista ja vakioi!	High Mix / Low Volume johtaa käytännössä äärettömään määrään variaatioita. Yksinkertaistetaan kaikki mikä voidaan. Niin nimikkeissä kuin tekemisen tavoissa.	Nimikkeiden yhdistäminen (harmonisointi) tai moduulointi (!). Standardien hyödyntäminen pakkauskoost, tunnistet, rajapinnat (esim. 4.1). Työohjeet, vakioidut toimintamallit.
	6) Nimiöinti ja tunnistaminen (osana toiminnanohjausjärjestelmää)!	Master Data pitää olla kunnossa. Ja sen tulee pohjautua selkeään tietoon (ja tuote) rakenteeseen.	Esim. luvut 4.1-4.3 (Standardisointi, tunnistaminen, tietojärjestelmä-arkkitehtuuri). Kukin nimike ja tuote tulee olla yksilöitävissä. Ja tarvittaessa myös muut yksiköt (alustat, lavat, laatikot, osapuolet jne.).
UUDET TEKNOLOGIAT	7) Luo teknologiastrategia, joka mahdollistaa tulevaisuuden liiketoiminnan!	ICT-infrastruktuurin peruslinjat pitää olla kunnossa ja kehityskelpoisia. Uusia teknologioita tulee kytkeä yhteen "plug-and-produce"-periaatteella.	Ks. Mm. Visio 5.1 ja Roadmap 6.8. Tarkastele lähitulevaisuuden asiakastarpeet ja niitä palvelevien prosessien suorituskykyvaatimet. Ohjelmistoalustat ovat ratkaisuevää tulevaisuuden kehittämiseksi.
	8) Automatisoi ja reaaliaikaista informaation kerääminen (tunnistaminen)!	Manuaalinen datan syöttö on virhealtista, hidasta ja kallista: digitaalisoi jo mahdollista. Hyödynnä myös reaaliaikaista tietoa.	Luku 4.2. Ensin pitää olla tuotteet nimiöitynä. Valitse sopiva tunnistusprosessin ja tunnistettavan kohteen tarpeiden mukaan. Varmista, että tunnistettu tieto on sitä tarvitsevien (softa/osapuoli) käytössä.
	9) Arvioi WMS:n käyttöönnoton tarvetta (ja ota sellaiset ominaisuudet käyttöön)!	Kytke edellisiin saldotarkkuudet, hyllypaikat, alusta teknologiaintegraatioille, jotka mahdollistavat sekä tehokkaat että joustavat integraatiot.	Esim. luku 4.3 (tietojärjestelmäarkkitehtuuri). Valitse sopiva ratkaisu huolellisesti myös muuttuva toiminta huomioiden. (ks. Edeltä myös kohta 7. "teknologiastrategia").
	10) Hyödynnä avustavia ja varmentavia teknologioita!	Tehokkuus ja täsmällisyys! Hyödynnä, jos parempia kuin ihminen. Tai jos auttaa ihmistä (turvallisuus, ergonomia, työhyvinvointi).	ERP (ja yleensä WMS) ja data pitää olla kunnossa ensin. Esim. puhetta/tai valo-ohjaus voivat tuoda tehokkuutta keräilyyn ja hahmon- sekä kuvantunnistuksen asennus- ja kunnossapitoon.
	11) Joustavat teknologiat!	Mobiilirobottien ja cobottien kehitys on ollut huimaa; uusi teknologia ei välttämättä tarkoita toiminnan jähkkyä!	Ks. Esim. 4.4. - 4.5 sekä case-kuvia luvusta 5.5. Nämä voivat olla plug-and-produce -ratkaisuja, jotka auttavat volyymi-, tuote- ja prosessijoustuksen saavuttamisessa.
	12) Hankinta ja toimitusketju kuntoon!	Logistiikka on kokonaisuus. Virtaus jatkuu alihankkijoilta asiakkaille. Vältetään osaoptimointi ja hyödynnetään koko ketjun potentiaali.	Valitse sopiva toimitusketju- (6.1) ja tuotantostratégia (esim. 2.2. ja 6.2). Luokittele materiaalit ja valitse niille sopiva ohjausratkaisu (6.3) sekä kehittä yhteistyötä kumppaneiden kanssa (liite 2-5) mm.
	13) Itseohjautuvat joustavat toimintamallit!	High Mix / Low Volume johtaa erittäin kompleksisiin systeemiin, vaikka yksinkertaisia tehtäisiinkin. Itseohjautuva tuotanto on yksi mahdollisuus antaa virtauksen jatkua.	Ks. Erityisesti alaluku 5.5.3! Visuaalinen ohjaus ja mobiilirobotit voivat auttaa. Tämä on jo matka kohti Teollisuus 4.0:aa.
	14) Tekoälyn (tai optimointiohjelmiston) hyödyntäminen!	Dataa on tarjolla nyt ennennäköinen (Master & Big Data) ja sitä kannattaa hyödyntää. Tekoäly voi auttaa toiminnan tehostamisessa.	Usein tarvitaan erillinen ohjausohjelmisto, joka hyödyntää järjestelmien dataa ja laskee uudet ohjausarvot (esim. tilauspisteet varmuusvarastotarpeen ja kulutussuunnitelmien pohjalta).
	15) Toimitusketjuyhteistyö ja materiaalien vastaanotto!	Useat ongelmat tuotannossa aiheutuvat materiaali- ja tuotantovirheistä, jotka taas ovat heijasteita puutteellisesta hankinnasta ja erityisesti ongelmista vastaanotossa.	Varmista nimikkeiden saatavuus esim. läpinäkyvyyttä lisäämällä (Liite 2). Varmista vastaanotossa oikeista nimikkeistä (6.6) ja niiden hyllytyksestä oikeaan varastopaikkaan (helpompi kerätä)
	16) Johtaminen (ja mittaaminen)	Teknologiaista huolimatta menestys tulevaisuudessaakin perustuu oikeaan strategiaan ja toimivaan (ihmisten) johtamiseen. Hyödynnetään dataa myös toiminnan mittaamisessa.	Etene vision ja tiikatarta avulla kohti kokonaisuuden kehittämistä, vaikka implementointi tapahtuisivatkin vaiheittain. Ks. Esim. 5.1-5.4 sekä 6.8.

Kuva 8.2. Tulevaisuuden tehtaan materiaalitoimintojen tarkastuslista.

Tarkastuslistan viimeinen kohta on muista irrallaan, mutta vetää niitä yhteen: viime kädessä logistiikassa ja tuotannossa onnistuminen perustuu oikeanlaiseen johtamiseen. Digitalisaatio ei sinällään muuta ihmistä ja johtamisen peruselementtejä, mutta se voi antaa uusia apuvälineitä esimerkiksi mittaamisen mahdollisuuksien (tarkkuus, monipuolisuus, reaaliaikaisuus) kasvun kautta, mutta edelleen on oleellista, että mitataan sitä mikä on tarpeellista – ja kohdistetaan johtopäätökset ja johtaminen siihen dataan.

8.2. Jatkotutkimusteemoja

Tähän raporttiin kerätyissä materiaaleissa ei kovin voimakkaasti näkynyt kiertotalous. Se on kuitenkin yksi teema, jota valmistavan teollisuuden digitalisaation rinnalla kannattaa arvioida. Nythän meillä on tieto materiaaleista ja jäljitettävyyttä tuotteille. Ehkä joskus tulevaisuudessa robotit osaavat myös purkaa kokoamansa laitteet ja lajitella komponentit uusiokäyttöä tai kierrätystä varten.

Teknologiapuolella 5G:n tulo ICT-infrastruktuurin perustaksi näkyy useissa juhlapuheissa, mutta tässä monella tapaa kuitenkin suoraan käytäntöön ja konkretiaan pureutuvassa selvityksessä se ei noussut mitenkään erityisemmin esille yritysten kaavailuissa. 5G lienee silti syytä asettaa jonkinlaisen tarkemman jatkotarkastelun kohteeksi, kun ilmeisesti monet asiantuntijat maailmalla näkevät sen tärkeäksi infrastruktuuriksi tulevaisuuden tehtaan informaatiovirroissa erityisesti reaaliaikaisen informaation keräämisen osalta.

Samaa voidaan sanoa myös monista muista uusista teknologioista, joita esimerkiksi Gartnerin hypekäyrällä usein nähdään. Teknologioita tulisi tarkastella ehkä vielä laajemmin, ehkä vähän pidemmällä aikavälillä (10-20v) ja sitten palata taas takaisin tässä hahmoteltuun aikajänteeseen 4-5v, jotta uusien teknologioiden roolia voitaisiin paremmin arvioida. Samalla on hyvä pohtia myös toimintamallien muutosta. Edelleen näitä voi arvioida suhteessa niihin rajauksiin, joita luvussa 3 esitettiin: tulisiko valmistusteknologioiden muutos huomioida paremmin?

Raportissa jo mainittiin oppimisen mahdollisuudet kaupan toimijoista. Mielenkiintoinen vertailuryhmä voisi olla myös rakennusalan toimijat. Siellä todennäköisesti pohditaan monia vastaavia asioita, kuten datan parempi hyödyntäminen, tuotteet täsmällisesti oikeaan paikkaan, esivalmistelu setityksen muodossa jne. Voisiko teollisuus auttaa rakentamista eteenpäin, tai voisiko rakentamisesta oppia jotain kokoonpanossa? Yksi hyvä linkki voisi olla esimerkiksi Aalto-yliopiston käynnistämä Building 2030 -hanke (ks. <https://www.aalto.fi/fi/building-2030>). Tai jopa meneminen ”pienempään” ja räätälöity rakentamiseen nk. talotehdasympäristöön.

Luvussa 3 on esitetty tämän raportin asemointia ja rajoituksia. Tulevia selvityksiä pohdittaessa myös tässä ulosrajattuja teemoja kannattaa arvioida siten, että toisiko niiden sisällyttäminen merkittävää lisäarvoa materiaalivirtojen kehittämiseksi jatkossa.

LÄHTEET

- Ahlqvist, H. & Koskela, M. (2020) Tuotannollisen yrityksen materiaalitoimintojen kehittäjän opas. TUDI-hankkeen julkaisuja. Teknologiakeskus TechVilla Oy.
- Alicke, K., Leopoldseder, M., Mishra, D. & Schulze, W-A. (2008) What's in your warehouse? Supply Chain Europe. Mar/Apr 2008, 17:2, pg 14-17.
- Aminoff, A., Kettunen, O. & Hyppönen, R. (2004) Varastotoiminnan Benchmark – Yleiset tulokset. VTT Julkaisuja.
- Amr, M., Ezzat, M. & Kassem, S. (2019) Logistics 4.0: Definition and historical background. Conference Paper.
- <https://www.arena2036.de/en/> The Flexible Research Factory, Stuttgart, Germany.
- Arntz, M., Gregory, T. & Zierahn, U. (2016): The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries, A comparative analysis, http://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries_5jlz9h56dvq7-en
- Bartholdi & Hackman (2019) Warehouse & Distribution Science.
- Bittencourt, V.L., Alves, A.C. & Leao, C.P. (2019) Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review. IFAC Conference PapersOnline 52-12, pp. 904-909.
- Bley, K., Leyh, C. & Schäffer, T. (2016) Digitization of German Enterprises in the Production Sector – Do they know how “digitized” they are?
- Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F. & Faccio, M. (2017) Assembly system design in the Industry 4.0 era: a general framework. IFAC Conference PapersOnline 50-1, pp. 5700-5705.
- Bortolotti, T. & Romano, P. (2012) “Lean first, then automate”: a framework for process improvement in pure service companies. A case study. Production Planning & Control, 23(7), pp. 513-522.
- Bozarth, C.C., Waring, D.P., Flynn, B.B. & Flynn, E.J. (2009) The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance. Journal of Operations Management, 27, pp. 78-93.
- Bozkurt, A., Hagg, M. & Schulz, R. (2020) Innovative logistics concepts for a versatile and flexible production manufacturing of lot size one. 1st Conference on Production System and Logistics, Institute of Mechanical Handling and Logistics, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.
- Building 2030 -hanke (Aalto-yliopisto).
- Cohen, Y., Faccio, M., Pilati, F. & Yao, X. (2019) Design and management of digital manufacturing and assembly systems in the Industry 4.0 era. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 105:3565-3577.
- EFFRA (2019) Vision for A Manufacturing Partnership in Horizon Europe 2021-2027. European Factories of the Future Research Association. Brussels, Belgium. www.effra.eu
- Fisher, M. (1997) What is the right supply chain for your product? Harvard Business Review, March-April.
- Frazelle, E (2001) World-Class Warehousing and Material Handling. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Hauth, M. (2016) Intralogistik Netzwerk Baden-Württemberg materials.
- Helo, P. (2015) Esitys TUDI-työkokouksessa 9.9.2015 Vaasassa.

- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. (2001) Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Yliopistopaino, Helsinki.
- Hofmann, M. (2018) Intralogistikkomponenten für die Automobilproduktion ohne Band und Takt – erste Prototypen. (Teoksessa: Kartnig G. (Toim. 2018), Tagungsband 14. Fachkolloquium, Rostock, pp. 137–144.)
- Hohmann, C. (2010). Benefits of U-shaped layout. Kirjoittajan oma nettisivu.
- Holweg, M. (2005) The Three Dimensions of Responsiveness. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 25 No. 7, pp. 603-622
- Hopp & Spearman (2011) Factory Physics 3rd ed.
- Huchzermeier, A., Mönch, T. & Bebensdorf, P. (2020) The Fendt VarioTakt: Revolutionizing Mixed-Model Assembly Line Production. Informs Transactions on Education, Vol. 20, No. 3, May 2020, pp. 141-153.
- Iyer, A. V., Seshadri, S. & Vasher, R. (2009) Toyota supply chain management: A strategic approach to the principles of Toyota's renowned system. New York: McGraw-Hill.
- Kamppinen, M., Kuusi, O. & Söderlund, S. (toim. 2002) Tulevaisuustutkimus – Perusteet ja sovellukset. Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran Toimituksia 896. Helsinki.
- Kartnig, G., Grösel, B. & Zrnic, N. (2012) Past, state-of-the-art, and Future of Intralogistics in Relation to Megatrends. FME Transactions, Vol. 40, pp. 193-200.
- Konecranes (2015) Agilon + robottisolu. Kai Lindforsin toimittamia materiaaleja huhtikuu 2020.
- Kupper, D., Sieben, C., Kuhlmann, K., Lim, Y.H. & Ahmad, J. (2018) Will Flexible-Cell Manufacturing Revolutionize Carmaking? The Boston Consulting Group.
- KVALIMOTV menetelmäohjeita: https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kvali/L6_3_2.html (ladattu toukokuu 2020).
- Kämpfer, T., Lucht, T., Schäfers, P. & Nyhuis, P. (2020) Assessing product portfolios from a production logistics perspective. 1st Conference on Production Systems and Logistics.
- <http://www.l4ms.eu/> (Logistics for Manufacturing SMEs)
- Lahti, A. (2015) German Hidden Champions. The EU's best option for global B2B markets.
- Lahtinen, H. (2012) LIMOWA ry:n matkaraportti Bolognasta TOYOTAn tehtaalta. Marraskuu 2012.
- Lahtinen, H. (2013) Sisälogistiikan t&k-agenda. Seminaariesitys.
- Lahtinen, H. (2015) Työhyvinvoinnista tuloksellisuuteen sisälogistiikassa – Muuttuva työympäristö ja havainnot nykytilasta. LIMOWA ry:n julkaisuja. Työhyvinvointi logistiikkakeskuksissa WelLog -hanke.
- Lahtinen, H. (2016) Horisontaalinen yhteistyö logistiikassa – Resurssitehokkaat logistiikkakeskukset. LIMOWA ry:n & Reijo Rautauoman Säätiön julkaisuja.
- Lahtinen, H. (2016) Messuraportti LogiMAT. LIMOWA ry:n julkaisuja.
- Lantz, M. (2017) LeanMES-esitys. DIMECCin MANU-ohjelman julkaisuja (ks. myös Eeva Järvenpään presentaatiot 2015).
- Lasi, H., Fettke, P., Feld, T. & Hoffmann, M. (2014) Industry 4.0. Business & Information System Engineering. 4/2014, pp. 239-242.

- Liker, J.K (2010) Toyotan tapaan. (alkuperäinen teos The Toyota Way 2004)
- Mattsson, S., Tarrar, M. & Fast-Berglund, Å. (2016) Perceived production complexity – understanding more than parts of a system. International Journal of Production Research.
- Pajarinen, M., Rouvinen, P., Ekeland, A. Computerization Threatens One-Third of Finnish and Norwegian Employment. ETLA Briefs 34 (2015) <https://www.etla.fi/wp-content/uploads/ETLA-Muistio-Brief-34.pdf>
- Pasila, H-J. (2019) Impact of Lean-Intervention on Productivity. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- Pisano, G.P. & Shih, W.C. (2012) Producing Prosperity. Why America Needs a Manufacturing Renaissance? Harvard Business Review Press.
- Raza, M., Kumar, P.M., Hung, D.V, Davis, W., Nguyen, H. & Trestian, R. (2020) A Digital Twin Framework for Industry 4.0 Enabling Next-Gen Manufacturing. Conference Paper, Middlesex University, London, UK.
- Rich, N. & Shararah, M.A. (2020) Systems for Manufacturing Excellence. Generating efficient and reliable manufacturing operations. Kogan-Page.
- Rich, N. & Malik, T. (2019) International Standards for Design and Manufacturing. Quality Management and International Best Practice. Kogan-Page.
- Richards, G. (2017) Modern Warehouse: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse, 3rd Ed. Kogan-Page.
- Roessler M.P.& Haschemi, M (2019) Analysis of Digitization and Automation in Manufacturing and Logistics Utilizing an Enhanced Smart Factory Assessment. Journal of Industrial and Intelligent Information, Vol. 7, No. 2, December 2019.
- Sardesai, S., Kippenberger, J. & Stute, M. (2019) Scenario planning for the generation of future supply chains. Fraunhofer IML, Whitepaper.
- Solakivi, T., Ojala, L., Laari, S., Lorentz, H., Töyli, J., Malmsten, J. & Viherlehto, N. (2014) Logistiikkaselvitys 2014. Turun kauppakorkeakoulun julkaisu.
- Solakivi, T., Ojala, L., Laari, S., Lorentz, H., Kiiski, T., Töyli, J., Malmsten, J., Bask, A., Rintala, O., Paimander, A. & Rintala, H. (2018) Logistiikkaselvitys 2018. Turun kauppakorkeakoulun julkaisu, sarja E-2:2018.
- Syrjälä, K. (2017) MANU – Future Digital Manufacturing Technologies and Systems. DIMECCin MANU-ohjelman (2012-2017) julkaisu 10.
- www.toptunniste.fi (case-kuvaus RFID-älyhylystä) (ladattu 16.06.2020)
- www.turckvilant.com (case-kuvaus RFID-teknologiasta asiakkaalla) (ladattu 16.06.2020)
- Turner, N., Aitken, J. & Bozarth. C. (2018) A framework for understanding managerial responses to supply chain complexity. International Journal of Operations & Production Management. 10.1108/IJOPM-01-2017-0062.
- Van Weele, A.J. (2005) Purchasing and Supply Chain Management: Analysis, Strategy, Planning & Practice 4th Ed. Thomson Learning, London, UK.
- Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M. ja Vainio, T. (2018) Robotisaation ja automaation vaikutus Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 47/2018. VNK 16.10.2018.

Wehking, K.-H., Popp, J. (2015) Changes in production logistics for automobile manufacturing (yhteenvetoteoksessa: Bargende, M., Reuss, H.-C., Wiedemann, J. (Eds.), 15. Internationales Stuttgarter Symposium. Springer, Wiesbaden, pp. 1193– 1200.)

LIITTEET

Liite 1. Laskentakaavoja varastonohjauksen tarpeisiin

Yritysten tietojärjestelmiin kertyy paljon tietoa, mutta perus-ERP ei usein sisällä älykkyyttä, jolla voisi analysoida dataa. Sitä varten markkinoilla on omia laskentaohjelmistoja. Niiden käytössä on hyvä ymmärtää joitakin peruseräiteitä, jotta osaa valita oikean ohjaus- ja laskentamallin käsillä olevaan tilanteeseen.

Suurissa datamassoissa tarkastelemme usein keskiarvoja. Tuotannon ja materiaalivirran sujuvoittamisessa kannattaa analyysissä tutkia myös poikkeamien hajontaa esimerkiksi mediaanien kautta keskiarvojen sijasta (tai niiden lisäksi). Tällöin voidaan hahmottaa todelliset merkittävät poikkeamat, jotka estävät tuotannon sujumisen sen sijaan, että huomio kohdistuisi liikaa ”pieneen kohinaan”, jota prosesseissa aina on.

Jotta tuotantoa varten on saatavilla oikeita nimikkeitä riittävä määrä oikeaan aikaan, tulee varastosaldot olla ajan tasalla ja yrityksellä selkeä käsitys tulevasta tarpeesta. Tätä tarkastellaan ennusteiden kautta. Kunkin nimikkeen kysynnän ennuste voidaan laatia tietokoneohjelmalla. Erilaisia tapoja on useita, kuten 1) dummy (käytetään erillisen periodin menekkiä), 2) eksponenttitasoituksen menetelmä tai 3) aikasarja-analyysi. Viime mainitussa voidaan ajatella, että kysyntä noudattaa funktiota, joka koostuu a) trendistä, b) suhdanne- ja c) sesonki- sekä d) satunnaisvaihtelusta. Kaikki nämä löytyvät tavallisista varastonohjausohjelmistoista, mutta yritys voi kokeilun vuoksi laskea joitakin esimerkkejä taulukkolaskentaohjelmalla tutkiessaan materiaalinohjauksen kehittämistä (ja digitalisoinnin potentiaalia). Ja edelleen yritys voi laskea aikaisempia ennusteita ja niiden keskiennustevirheitä pyrkiessään valitsemaan oikean laskentamallin ja sen parametrit.

Kun tuleva kysyntä tiedetään (tai on ennustettu), sitä voidaan suhteuttaa nykyiseen varastosaldoon – ja sen kehittymiseen. Tilauspisteen (koska tilataan lisää?) määrittely voidaan edelleen tehdä nimikekohtaisesti. Ensin kannattaa kuitenkin selvittää nk. varmuusvaraston vaatima saldo.

Varmuusvarasto lasketaan kaavasta ”varmuuskerroin * odotetun kysynnän hajonta * toimitusviiveen neliöjuuri”. Tämä siis tehdään nimikkeelle, jonka kysyntä ei riipu muista nimikkeistä ja jonka kysyntä on normaalisti jakautunut ja jossa toimitusviiveessä itsessään ei ole hajontaa. Mutta ehkä tässä yhteydessä on oleellisempi tarkastella itse yhtälöä ja mihin komponentteihin siinä voimme itse vaikuttaa? Varmuuskerroin kasvaa eksponentiaalisesti, kun lähestytään 100% saatavuutta. Eli samalla myös varmuusvaraston tarve kasvaa eksponentiaalisesti. Siksi onkin tarpeen hahmottaa, mille nimikkeille tarvitaan 99,5% saatavuus ja missä voidaan ja kannattaa tyytyä esim. 95%:n saatavuuteen? Hajontaa voidaan yrittää pienentää ja toimitusviiveitä lyhentää esimerkiksi kumppaneiden valinnalla ja toimitusketjuyhteistyöllä. Kaikki nämä yhdessä pienentävät tarvittavaa varmuusvarastoa ja siten sitoutunutta pääomaa.

Jos yrityksellä on varastoja monessa eri paikassa, sen kannattanee tutkia varastojen keskittämisen mahdollisuuksia. Varmuusvaraston tarve on nimittäin varastojen lukumäärien neliöjuurien suhde. Esim. $\sqrt{1}/\sqrt{25} = 1/5 = 20\%$. Eli jos esimerkiksi 25 Euroopan maassa oleva varastosavarasto keskitetään yhteen, tarvittavan varmuusvaraston määrä 20% alkuperäisestä tilanteesta, jos palveluaste halutaan pitää samana. Vastaavasti jos yritys keskittää yhteen toimipisteeseen neljä eri varastoa, tarvittava varmuusvarasto on 50% aiemmasta. ($\sqrt{1}/\sqrt{4}$).

Nimikkeiden harmonisointi tai räätälöinnin viivästyttäminen noudattelevat usein myös neliöjuuresta johdannaisia laskentamalleja. Näiden avulla on laskettu esim. kuvassa 2.7 (luku 2.3) esitetty malli, jossa arvioitiin nimikkeiden harmonisoinnin vaikutusta yrityksen materiaalihallinnon kustannuksiin. Samankaltainen tilanne on räätälöinnin suhteen: jos kaikkia erilaisia variaatioita pidetään varastossa, pääomaa sitoutuu valtavasti (koska kullakin näillä on oma hajontansa) varmuusvarastoon.

Tähän voi soveltaa jo yllä ollutta varmuusvaraston laskennan kaavaa: varmuuskerroin * kysynnän hajonta * toimitusviiveen neliöjuuri.

Jos yrityksellä on 100 erilaista komponenttia Kiinasta 6 viikon toimitusajan takana, ja niiden kunkin keskihajonta 10, niin tarvittava varmuusvarasto 99% saatavuudelle on $100 * (2,25 * 10 * \sqrt{6})$ eli noin 5500kpl. Jos em. komponentti voisikin olla yksi perusmoduli, josta räätälöidään ja konfiguroidaan asiakastilaukseen sopiva, varmuusvaraston tarve onkin $1 * (2,25 * (10 * \sqrt{100})) * \sqrt{6}$ eli noin 550kpl. Ja edelleen, ko. nimikkeen volyymi kasvaa todennäköisesti niin suureksi, että sitä voidaan kustannustehokkaasti valmistaa/valmistuttaa lähempänäkin, jolloin toimitusviive lyhenee ja siten varmuusvaraston tarve pienenee toimitusviiveiden neliöjuurien suhteessa. Kuudesta viikosta yhteen viikkoon lyhenevä toimitusviive supistaa varmuusvaraston tarvetta vielä noin 60%. Tässä hypoteettisessa esimerkissä varmuusvaraston tarve siis supistuisi 1/25 osaan alkuperäisestä.

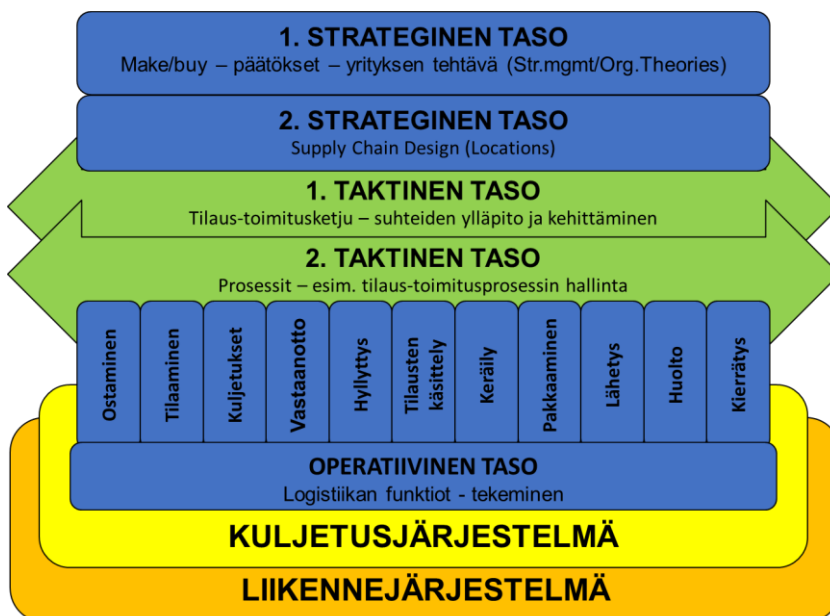
Optimaalinen tilauserä (EOQ = Economic Order Quantity) = $\sqrt{\frac{2 * \text{tilauskustannus} * \text{vuosikulutus}}{(\text{yksikköhinta} * \text{sisäinen korkokanta})}}$ Kaavan käytössä on paljon rajoitteita, joista vaikeimpia ovat tietysti oletus tasaisesta kulutuksesta (jonka määräkin voi olla oikeasti vaikea ennustaa 12kk eteenpäin). Myös tilaamisen kustannus tai sisäinen korkokanta eivät ole aina yksiselitteisesti määriteltävissä. Joka tapauksessa kaava antaa peukalosäännön siihen, minkä kokoisia kertatilaukset voivat olla. Funktio siis minimoi kokonaiskustannukset vuositason (tilaamisen kustannus + varastoimisen kustannus).

Liite 2. Toimitusketjuyhteistyö

Toimitusketjuissa on tutkittu ja tehty nk. vertikaalista – peräkkäisten toimijoiden välistä – yhteistyötä jo 15 vuoden ajan. Kokemukset ja tulokset tällaisesta toimitusketjuyhteistyöstä ovat pääsääntöisesti positiivisia. Lisäksi raporttia on pyritty laatimaan siten, että se soveltuu myös opetus- ja koulutuskäyttöön. Koska yhteistyö tai kumppanuudet ovat tyypillisiä korkeakoulujen kursseja ja opetussisältöjä, tämä liite vahvistaa teoksen sisältöä siinä määrin, että kokonaisuus soveltuu paremmin ja laajemmin koulutusmateriaaliksi. Ja tietysti tämä toimitusketjutasolla tapahtuva yhteistyö on kriittinen menestystekijä uuden sukupolven kokoonpanotehtaan materiaalitoiminnoille!

Toimitusketjuyhteistyötä voi miettiä vähintään kahdella eri tavalla joko yritysten välisinä suhteina tai rajat ylittävinä tilaus-toimitusprosesseina. Oheisessa kuvassa L2.1. nämä on nimetty kahdeksi erilaiseksi taktiseksi tasoksi logistiikkaan ja toimitusketjun hallintaan. Strategisella tasolla on ostaa vai valmistaa –päätökset ja siten yrityksen verkoston rakenne, ja operatiivisella tasolla puolestaan varsinainen fyysinen materiaa livirta ja siihen liittyvät tehtävät, kuten kuljetukset ja varastointi. Logistiikka ja toimitusketjun hallinta voidaan siis ajatella monitieteisenä kokonaisuutena, johon kuuluvat vähintään seuraavat lähestymistavat: 1) rakenne, 2) suhteet, 3) prosessit ja 4) funktiot. Näihin voidaan edelleen soveltaa useita erilaisia koulukuntia, kuten strategista johtamista, organisaatioteorioita, operaatiotutkimusta, prosessijohtamista (ml. laatujohtaminen) sekä insinööritieteitä.

Nyt käsillä olevat tehtaan materiaalitoiminnot tapahtuvat operatiivisella tasolla "vastaanottona, hyllytyksenä, keräilynä ja pakkaamisena" tai muina fyysisinä aktiviteetteina. Saumaton yhteistyö vaatii kuitenkin 2.taktisella tasolla olevat "prosessit" ja siellä olevat tilaus-toimitusketjun hallinnan menetelmät, kuten ICT, JIT jne. Toisaalta 1.taktinen taso suhteiden ylläpito ja kehittäminen ei liene muutu kovin voimakkaasti digitalisaation myötä, mutta se on tässä erillisenä, koska siinä sovelletaan erilaisia teoreettisia malleja kuin 2.taktisella tasolla. Edelleen strateginen taso on jaettu kahteen osan samasta syystä: make/buy -päätöksiä voidaan tarkastella yrityksen teorioiden kautta, kun sijaintipäätökset ovat tyypillisemmin erilaisia operaatiotutkimuspohjaisia malleja, joihin voidaan kytkeä sitten myös muuta päätöksentekokriteeristöä.



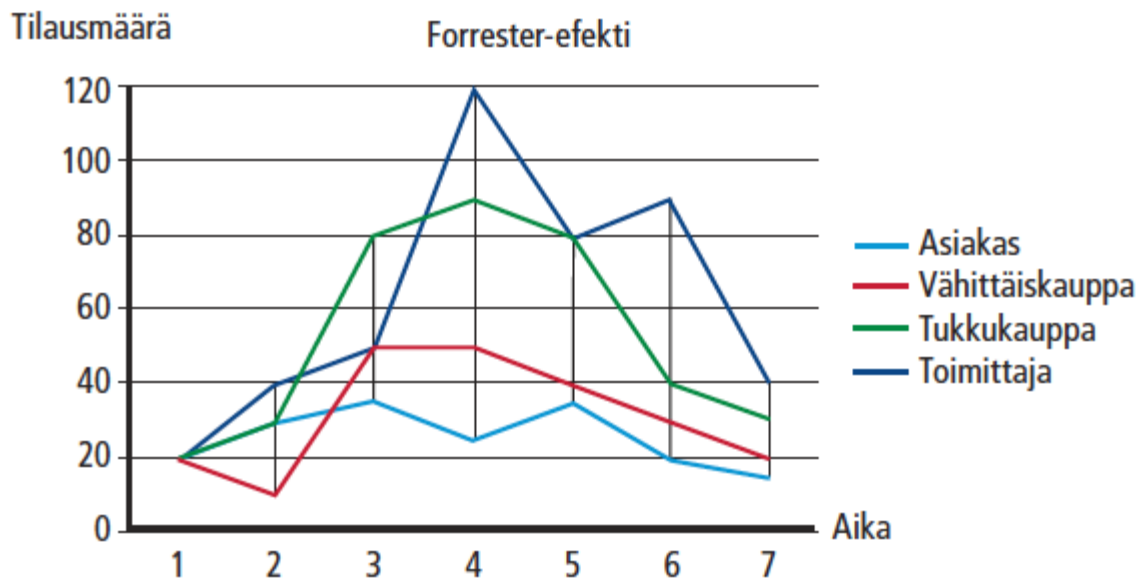
Kuva L2.1. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan luokittelua ja käsitteitä.

Tässä yhteydessä on siten paikallaan myös määritellä käsitteitä logistiikka, toimitusketjun johtaminen sekä tilaus-toimitusketjun hallinta. Vaikka näitä käytetään usein toisiaan korvaavina termeinä ja tutkijat usein (esim. Stock & Lambert 2001) pitävät tarpeettomana eritellä näitä, tässä kuitenkin tehdään niin. Toimitusketjun johtaminen on laajempi käsite kuin logistiikka (Christopher 2011) ja Van Hoek (2001) näkee logistiikan toimitusketjun hallinnan alakäsitteenä. Näissä väittämässä tarkastelu tapahtuu yritysten näkökulmasta, mutta meillä yhteiskunnassa logistiikka taas nähdään usein suurempana käsitteenä sen konkreettisuuden, työllistävyyden ja kuljetusten vaikutusten vuoksi. Logistiikka voidaan nähdä fyysisten materiaalivirtojen ja informaatiovirtojen suunnitteluna ja hallintana. Yksittäiset yritykset eivät kilpaile pelkästään yksilöinä, vaan nykyään yhä enemmän toimitusketju toimitusketjua – tai jopa ekosysteemi ekosysteemiä vastaan. Nämä laajemmat kokonaisuudet ovat monimutkaisia liiketoimintojen ja suhteiden verkostoja. Lambert, Cooper & Pagh (1998) määrittelevätkin logistiikan ja toimitusketjun johtamisen eroksi juuri nämä suhteet, joista jälkimmäinen on vastuussa ja siten sitä voidaan pitää laajempana käsitteenä. Toimitusketjun johtaminen on siten voimakkaasti suhteiden johtamista, kun taas tilaus-toimitusketjun hallinta voi olla lähempänä prosessijohtamista, missä puolestaan logistiikan funktiot ovat keskeisessä roolissa. Toimitusketjun johtaminen mahdollistaa resurssien tehokkaamman johtamisen, pääsyoikeuden ulkopuolisiin resursseihin ja arvon tuottamisen asiakkaille.

Tässä liitteessä tarkastellaan toimitusketjun johtamiseen kuuluvan toimitusketjuyhteistyön toteuttamisen malleja sekä niiden mahdollisia vaikutuksia suorituskykyyn. Tarkastelunäkökulma on enemmän tilaus-toimitusketjun hallintaan liittyvä prosessin sujuvuuden ja saumattomuuden turvaaminen, mutta sellaisen edellytyksenä voitaneen pitää toimivaa kumppanuutta – ja siten onnistunutta suhdejohtamista. Neljännen luvun teoreettinen tarkastelu on tehty pääsääntöisesti tällaista vertikaalista yhteistyötä selvittäneisiin tutkimuksiin perustuen, ja siten soveltuisi hyvin myös tähän kohtaan tekstiä. Toimitusketjun johtamisen merkityksen voidaan nähdä korostuneen, kun yritykset keskittyvät ydinosaamiseen, ulkoistavat toimintojaan, hankkivat globaalisti ja toimivat liki nollavarastoilla esimerkiksi JIT-periaatteen mukaisesti (ks. esim. kuva 1.5).

Tässä syvennyttään erityisesti toimitusketjussa olevien prosessien integroimiseen, toimitusketjun osapuolten toisilleen jakamaan tietoon ja niiden vaikutuksiin operatiivisen suorituskyvyn parantamiseen ja jätetään varsinainen strategisen tason kumppanuuksien tarkastelu sivurooliin. Marshall (2015) summaa, että suurin osa tutkijoista näkee tiedon jakamisen johtavan merkittävään kustannusten alenemiseen ja tuottavuuden paranemiseen mm. vähentämällä varastoon sitoutunutta pääomaa ja pienentämällä eräkökoja. Kun suuri osa tutkimuksista käsittelee erityisesti tiedon jakamista osapuolten kesken, mielenkiintoinen kysymys onkin se, tuleeko suorituskyvyn paraneminen ensisijaisesti täsmällisemmästä tiedosta vai yhteistyön tuomasta sujuvuudesta tavaravirtaan? Toimitusketjuyhteistyöllä voidaan nimittäin merkittävällä tavalla vaikuttaa nk. piiskavaikutukseen (The Bullwhip Effect).

Piiskavaikutukseksi sanotaan ilmiötä, jossa tilausten, varastotäydennysten ja varastoitujen määrien vaihtelu kasvaa siirryttäessä myyjäportaasta tuotantoon. Käytännössä tämä vaihtelu on sitä suurempaa mitä moniportaisempi ketju on ja mitä kauempana kysyntälähteestä ollaan eli piiskavaikutus syntyy, kun toimitusketjun osapuolet eivät näe todellista loppukysyntää. Tämä heilahtelu on havaittavissa sinällään tasaisen loppukysynnän tuotteilla, kuten esimerkiksi normaaleissa kotitaloustuotteissa. Ilmiö on havaittavissa oheisesta kuvasta L2.2.



Kuva L2.2. Piiskavaikutus. Kysynnän vaihtelu toimitusketjun eri tasoilla (www.logistiikanmaailma.fi)

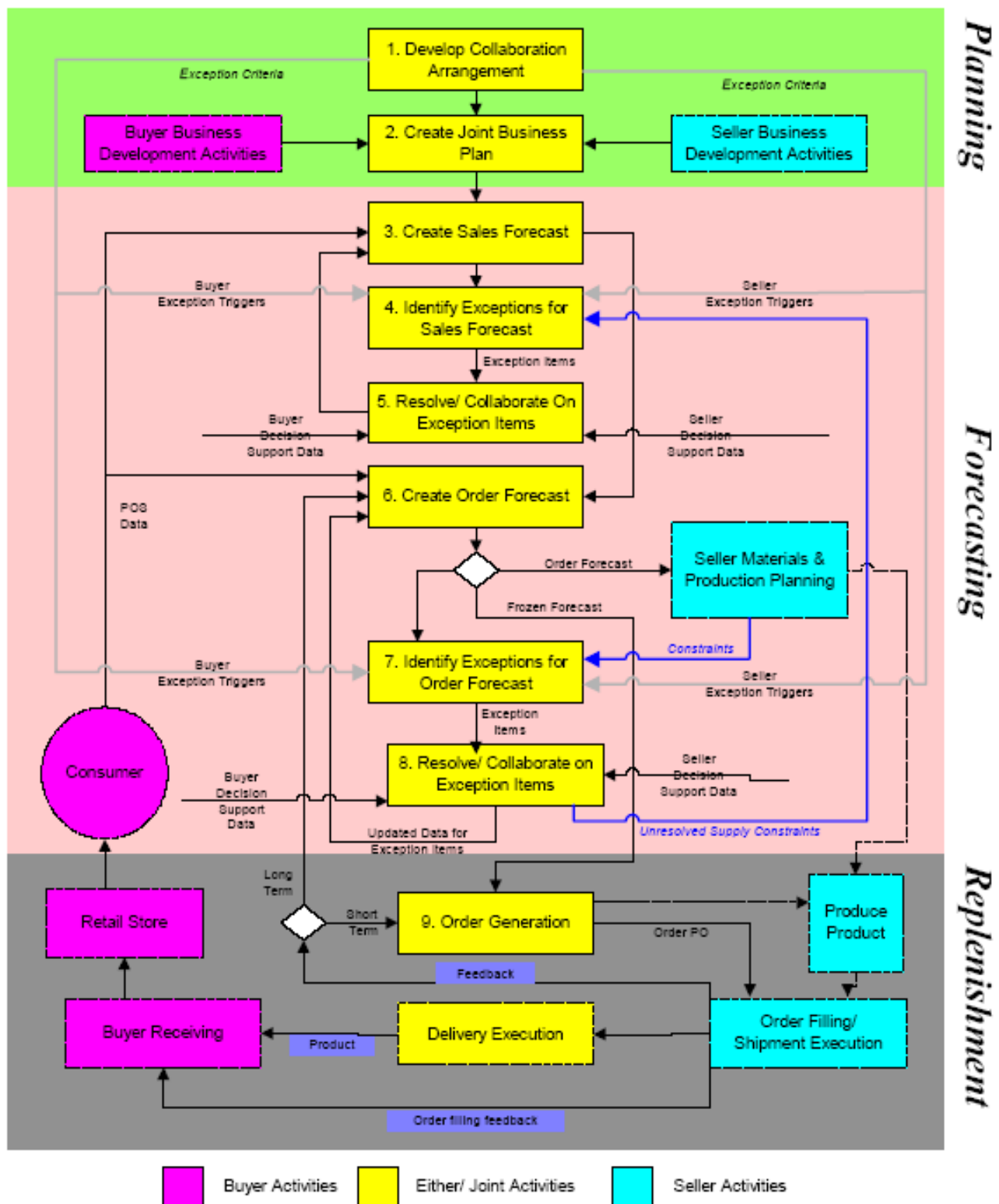
Piiskavaikutuksesta johtaa ylimääräiseen tuotantoon, varastointiin, kuljetuksiin ja jälkitoimituksiin eli resurssien käyttö on tehotonta. Lisäksi palvelutaso saattaa olla huono, myyntiä menetetään ja joudutaan turvautumaan jälkitoimituksiin eli asiakas voi pettyä yritykseen. Myös tuotannonsuunnittelu vaikeutuu ja kapasiteettipäätökset voivat osoittautua virheellisiksi. Nämä tekijät puolestaan aiheuttavat myynnin menetyksiä. Piiskavaikutus syntyy, vaikka kaikki ketjun osapuolet tekisivät sinällään rationaalisia päätöksiä.

Lee ym. (1997) tunnistavat piiskavaikutuksen aiheuttajiksi: 1) Kysyntäennusteiden päivittämisen hitauden, 2) hankintojen eräkoot, 3) hintatasojen vaihtelut ja 4) puutteiden säännöstelyt. Tietoja jakamalla kysyntää voidaan ennustaa yhdessä kumppaneiden kanssa, ylisuurten tilauserien houkutusta kannattaa välttää ja vakaa hintataso tukevat tasaista materiaalivirtaa. Puutetilanteissakaan ei kannata tehdä spekulatiivisia yli suuria tilauksia. Ehkä oleellisin seikka on aina analysoida huolella kysyntäinformaatiossa olevat piikit ja ymmärtää se, onko kysyntä todella muuttunut vai onko taustalla jokin tässä luetelluista tilapäisistä muuttujista. Piiskavaikutusta aiheuttavia tekijöitä voi hallita esimerkiksi seuraavilla taktiikoilla:

- 1) Vältä jatkuvaa historiatietoon ja uusiin tilauksiin perustuvaa moniportaista ennustamista. Ennakoikaa kysyntää yhdessä toimittajienne kanssa.
- 2) Vältä ylisuurten tilauserien houkutus, vaikka ne olisivatkin hankintahinnaltaan halvempia. Kehittäkää rutiinitilauksiin edulliset täyttötilausmenetelmät, ja tehkää kotiinkutsuja vain todelliseen tarpeeseen.
- 3) Vakauttakaa hintataso ja vähentäkää kallista kampanjointia. Joka päivä edulliset hinnat (Every Day Low Price, EDLP)-strategia on osoittautunut usein toimivaksi HILO (High-Low)-strategia sijasta. Hintavakaus vähentää myös muuta sählystä ja tehostaa toimintaprosesseja.
- 4) Toimitusongelmissa älä tilaa varmuuden vuoksi ylisuuria määriä, vaikka olettaisit sen olevan keino saada suurempi osuus jäljellä olevasta toimituskapasiteetista.

Yritykset pitävät usein markkinatiedot itsellään ja ongelmien syitä voidaan etsiä ketjun muista toimijoista. Toimitusketjuun ja logistiikkaprosessiin liittyen kysyntä-, tuotanto- ja varastotietoja pidetään usein

strategisina eikä niitä jaeta muille. Piiskavaikutusta voidaan kuitenkin vähentää jakamalla tietoa ketjun eri osapuolten välillä. Reaaliaikainen tieto lopputuotteen kulutuksesta auttaa välttämään kapasiteettiongelmia ja ylivarastointia sekä varmistamaan tuotteiden saatavuuden eri vaiheissa. Tämän päivän menestysyritykset ovat jo kiinnittäneet tähän huomiota ja erilaisia toimitusketjun yhteistyömalleja onkin esitetty useita, kuten kaupintavarasto (consignment stock), toimittajan ylläpitämä varasto (VMI), ECR (Efficient Consumer Response), CPFR (Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment) ja niiden muunnelmat. Kaupintavaraston ja VMI:n suurin ero vaihto-omaisuuden omistajassa ja siten riskinkantajassa. Kaupintavarastossa vaihto-omaisuus on myyjän taseessa ja riskillä, mutta asiakkaan käytössä, kun taas VMI:ssä toimittaja huolehtii asiakkaan valtuuttamana täydennystilauksista ja varasto on siten asiakkaan taseessa. Seuraavassa tarkastellaan yhtenä toimitusketjuyhteistyön vaihtoehtona CPFR-toimintamallia (Kuva L2.3).



Kuva L2.3. CPFR-toimintamalli

Tämä CPFR on VICS (Voluntary Interindustry Commercial Standards) rekisteröity tavaramerkki ja toimintamalli. Se on esitetty tässä yhtenä tapana tehdä tavaratoimittajayhteistyötä. Siinä eri toimintojen suorittajat on merkitty värikoodein (lila ostaja, syaani myyjä ja keltaisella yhteiset aktiviteetit). Toimintamalli jakaantuu myös kolmeen eri osaan: suunnittelu, ennustaminen ja tuotetäydennysten toimittaminen. Aluksi tehdään kehittämis- ja yhteistyösopimus sekä molempien osapuolten liiketoimintojen kehittämishankkeet. CPFR voi vaikuttaa monimutkaiselta paketilta, mutta monet sen tuomista hyödyistä on saavutettavissa jo

yksinkertaisemmillaakin yhteistyöratkaisuilla, kun vaan mahdollistamme toimitusketjun toteuttamiseen liittyvän tietojen vaihdon osapuolten välillä. Erityisen keskeisessä roolissa on loppukysyntäinformaatiota, jota esimerkiksi kaupassa saadaan jatkuvasti kassapäätteistä. Jaettavaa tietoa voivat olla varsinaisen myyntidatan lisäksi varastosaldo, tulevat kampanjat, uusien tuotteiden lanseeraukset sekä muut mahdolliset tapahtumat. Tämäkin lisää toimitusketjun läpinäkyvyyttä ja siten riskejä.

Liite 3. Hankintastrategioita eri nimikeryhmille

STRATEGINEN LÄHESTYMISTAPA	ESIMERKKEJÄ NIMIKKEISTÄ	TAVOITE	TOIMIJAT	TOIMINTAMALLEJA
4) Strateginen kumppanuus	- Strategiset tuotteet (taajuusmuuttajat, moottorit, vaihteistot)	- Yhteinen kehittäminen, pitkäaikainen win-win –suhde - Paras teknologia - Lisäarvo - kokonaiskustannus	- Johto mukana - Osastot ylittävä hankintatiimi - Kaupalliset & tekniset neuvottelut tärkeimmät.	- Teknologiastrategia - Toimittaja-auditoinnit - Riskianalyysit - TCO (Total Costs of Ownership), elinkaarikustannukset. - Varmista kapasiteetti ja toimitusaikataulut.
3) Varmista saatavuus	- Pullonkaulat	- Varmista saatavuus! - Optimoi varmuusvarasto palveluasetavoitteen mukaan (asetta oikeat parametrit)		- Arvioi riskejä ja etsi/kehitä vaihtoehtoisia toimijoita ja hankintalähteitä. - Huolelliset kysyntäennusteet - Seuraa toimituskykyä reaaliaikaisesti
2) Vivuta & kilpailuta	- Raaka-aineet (teräkset, muovit, köydet)	- Kilpailuta parhaat hankintaehdot - ”punaisen meren taktiikka”		- Tutki markkinat huolella - Kartoi potentiaaliset toimijat & kilpailuta - Optimoi hankintaerät (ja niiden ajoitus) - Arvioi myös maksuaikataulut
1) Vähäiset, välttämättömät	- Ruuvit, tiivisteet - Toimintaa tukevat (ruosteenirrotus, hiomatarvikkeet, toimistotarvikkeet)	- Tee mahdollisimman helpoksi, automatisoi ja/tai ulkoista kumppanille (esim VMI) - Tutki mahdollisuutta harmonisoida nimikkeitä → Ja siirrä ylempään kategoriaan tarvittaessa.	- Hankinnan henkilöstö - Huolehditään hallinnollisten toimintojen tehokkuudesta.	- Keskitä hankintoja ryhmittäin = vähennä kumppaneita. - Virtaviivaista laskunkäsittely - Vähennä logistiikan monimutkaisuutta - Ja turhia käsittelyitä.

Kuva L3.1. Idea Van Weelen aineistosta.

Kuva 2.9 luvussa 2.4 esitteli nk. Kraljicin ostosalkkumatriisin. Kyseistä mallia voi edelleen jatkaa yllä Kuvassa L3.1 olevaan luokitteluun, jossa näkyy kullekin Kraljicin matriisin ruudulle ominaiset tuotteet sekä niille järkeväksi havaittuja toimintamalleja. Hankinnan rooli eri nimikkeille vaihtelee niiden taloudellisen arvon ja riskien mukaan, mutta tätä ajattelua kannattaa jatkaa edelleen myös siihen, kuinka hankinta tukee tehtaan logistiikkaa. Van Weele (2005) jatkaa luokitteluita edelleen siten, että hän näkee hankinnoissa 4 ulottuvuutta: kaupallisen, logistisen, teknisen ja hallinnollisen. Ehkä kukin hankinta sisältää näitä ulottuvuuksia, mutta niiden painotus vaihtelee hankinnan kohteesta riippuen. Materiaalivirran digitalisointi auttaa tehostamaan erityisesti hallinnollisessa ulottuvuudessa tehtävää työtä, mutta sillä on varmasti oma merkityksensä myös logistisen ulottuvuuden kehittämisessä.

Edelleen näitä 4 ulottuvuutta voi pohtia siinä, kun perinteisesti yritykset ovat rakentuneet tuotannon ympärille siten, että hankinta on vain tukifunktiona. Tai jos hankinnan arvo tunnistetaan, organisoituminen on ”hankinta + tuotanto”. Jotta tuotanto voi keskittyä omaan ydintekemiseensä, järkevämpi organisoitumallia on ”hankinta + logistiikka + asennus”. Siinä kokoonpano ja logistiikka eriytetään toisistaan ja kumpikin keskittyy siihen, mitä parhaiten osaa. Ja jos logistiikka ulkoistetaan alan palveluntarjoajille, kilpailun kovuus pitää huolen sekä asiallisesta kustannustasosta, että riittävästä suorituskyvystä tehokkuuksineen ja täsmällisyyksineen.

Liite 4. Hankintatoimen roolin muutos

Tähän liitteeseen on kerätty erilaisia näkemyksiä siitä, kuinka hankintatoimen rooli on muuttunut yleisellä tasolla erilaisissa yrityksissä ja millaisia mahdollisuuksia se tuo (tai siitä voidaan oppia) myös tehtaan logistiikan ja materiaalivirtojen kehittämiseen. Seuraavaan kuvaan L4.1 on luokiteltu perinteinen passiivinen (nk. reagoiva) ostaminen verrattuna nykyaikaiseen ajattelutapaan, jossa hankinta toimii proaktiivisesti liiketoiminnan kehittämisen tukena. Väittämät ovat osin karrikoiviakin, mutta tämä voi toimia sopivana lähtökohtana ja tarkastuslistana yrityksessä siitä, onko hankintojen rooli ja niissä käytetyt lähestymistavat lähtökohtaisesti oikein.

Suurimmat lähestymistavan muutokset ovat ehkä siinä, että nykyisin ymmärretään hankinta enemmän strategisena lisäarvoa tuottavana ja liiketoimintaan vaikuttavana tekijänä, kun se perinteisesti on ollut enemmän täydennysfunktio muulle tekemiselle. Eli hankinta on aiemmin passiivisesti reagoanut markkinalla tai yrityksessä olevaan materiaalitarpeeseen, mutta nykyisin laadukas hankinta lähtee oikeiden kumppaneiden ja materiaalien valinnasta, joita ohjataan hyvässä yhteishengessä läpi toimitusketjun (ks. edellä Liite 2: toimitusketjuyhteistyö). Silloin ymmärretään myös helposti, että hankinnan kautta tulevat ongelmat eivät ole tavarantoimittajan ongelmia, vaan ne heijastuvat myös vastaanottavaan yritykseen voimakkaasti. Riittävä luottamus osapuolten kesken, tiedon jakaminen ja integraatiot voivat auttaa merkittäväällä tavalla niin päivittäisen operatiivisen materiaalivirran ohjaamisessa kuin toiminnan yhteisessä kehittämisessäkin. Siinä missä Lean-hengessä hukkaa pyritään välttämään (ks. esim. luku 2.5 teoriaosuudessa) yrityksen sisällä tehtaan materiaalitoiminnoissa, sama pätee myös hankinnan kautta koko toimitusketjuun: voit hankkia toimittajalta tuotteet oikealla tavalla merkittynä ja pakattuna, jolloin se tehostaa teidän omaa toimintaa vastaanotosta varastointiin ja tuotantoon. Toimittajille tämä voi olla myös hyvä paikka luoda logistiikan avulla lisäarvoa päämiehelle, joka kannattaa tuotteistaa ja hinnoitella oikein.

REAGOIVA OSTAMINEN

- Ostaminen on kustannus
- Ostolle annetaan vaatimuksia
- Viallinen materiaali hylätään
- Osto raportoi muille
- Osto reagoi markkinatilanteeseen
- Ongelmat ovat toimittajan vastuulla
- Hinta tärkein muuttuja
- Painopiste nykyhetkessä
- Järjestelmät irrallaan toimittajista
- Käyttäjät tai suunnittelijat
- Toisen ilo on toisen suru
- Paljon toimittajia = varmuus
- Ylivarastointi = turvallisuus
- Tieto on valtaa

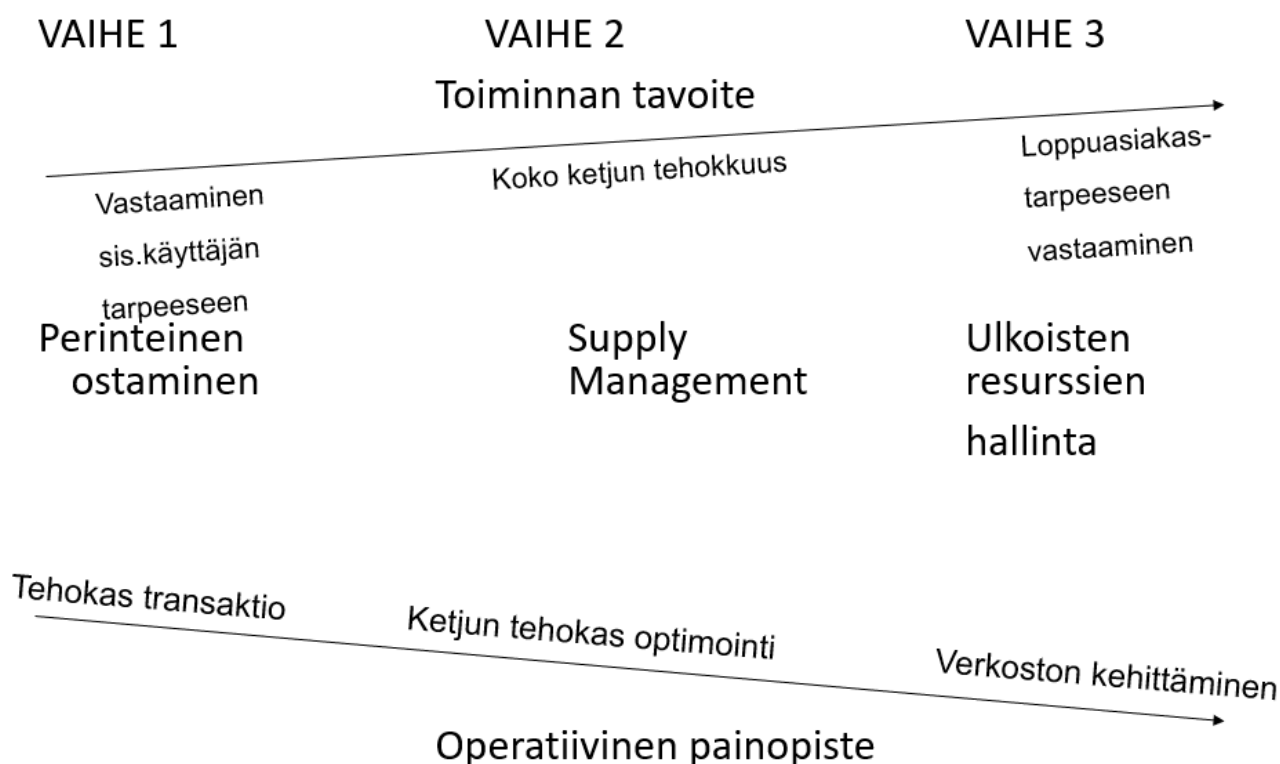
ENNAKOIVA (PROAKTIIVINEN) OSTO

- Osto voi tuoda lisäarvoa
- Osto ja toimittajat voivat vaikuttaa
- Osto välttää huonoja toimittajia
- Osto on yksi johtamisen pääalueista
- Osto on mukana luomassa markkinoita
- Ongelmat ovat yhteisiä
- Kokonaiskustannukset ja arvo
- Strateginen painopiste
- Järjestelmät integroitavissa
- Ostaja ja toimittaja vaikuttavat tuotokseen
- Win-win sopimukset
- Paljon toimittajia = menetetään mahdollisuuksia
- Ylivarastointi = tuhlausta
- Tieto on arvokasta oikein jaettuna

Kuva L4.1. Erilaiset lähestymistavat hankintoihin (Muokattu Baily ym. 2005 pohjalta).

Edellä mainittu luokittelu ei kovin konkreettisesti ottanut kantaa siihen, kuinka hankinta auttaa tehtaan materiaalivirran kehittämisessä, mutta jo perusasioiden varmistaminen kumppanin toimituskyvystä, tuotteiden laadusta ja toimitusten täsmällisyydestä oikeine tunnisteineen ja merkintöineen voi tehostaa merkittäväällä tavalla vastaanottavan yrityksen materiaali- ja tuotantotoimintaa. Edelleen tietysti tämän raportin ja TUDI-hankkeen hengen mukaisesti olisi hyvä tarkastella sitä, miten ”tulevaisuuden tehdas” nykyaikaisia digivälineitä apuna käyttäen voi realisoida hankinnan mahdollisuudet siten, että tehtaan toiminnot ovat sujuvia? Tämäkin lähtee yhteistyöhengestä ja etenee kohti ICT-integraatioita, mutta vaatii jo aiemmin todetulla tavalla perusasiat kuntoon nimiöinnistä ja tunnisteista alkaen. Edelleen kohti fyysistä integraatiota ja automaatiota edettäessä vaaditaan tietysti oikeanlaiset pakkaukset niiden käsiteltävyyttä parantamaan.

Kuva L4.2 jakaa hankintatoimen kehityksen puolestaan kolmeen eri vaiheeseen. Siinä perinteinen ostaminen on pyrkinyt vastaamaan ”sisäisen asiakkaan tarpeisiin”. Tällainen lienee tilanne aika monessa pk-yrityksessä valmistavassa teollisuudessa: hankinnan tärkein rooli on ollut oikeiden nimikkeiden saatavuuden varmistaminen tuotantolinjalle aikataulun mukaisesti. Siinä kehittämisen painopiste on transaktion sujuvuuden parantamisessa. Digitaalisuus voi tuoda esimerkiksi huomattavasti sujuvammia ja jopa automaattisia tilauskäytännöitä. Hankinta tulisi kuitenkin nykyään ymmärtää ”ulkoisten resurssien johtamisena”, mikä antaa huomattavasti laajemman perspektiivin kehittämismahdollisuuksiin: jos yrityksen liikevaihdosta 70-80% käytetään tuotteiden ja palveluiden hankintaan, voitaneen helposti todeta, että tämän resurssin johtaminen on jopa tärkeämpää kuin yrityksen omien työntekijöiden motivointi entistä parempiin suorituksiin.



Kuva L4.2. Hankintojen kehitysvaiheita perinteisestä ostamisesta kohti ”ulkoisten resurssien hallintaa”.

Kehittyneemmissä vaiheissa parannetaan koko ketjua tai jopa verkostoa. Tehtaan sisälogistiikan osalta tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että hankinnan tulee ottaa huomioon oikeat pakkaukset, niiden tunnistettavuus, käsiteltävyys ja kierrätettävyys. Loppuasiakastarpeeseen vastaaminen ja koko verkoston kehittäminen voivat olla myös monenlaisia: hankinta voi esimerkiksi pyytää vasta asennuskohteessa tarvittavia nimikkeitä toimitettavaksi sopivana settinä (ks. nk. setitys ja/tai kititys luku 6.6), jolloin tuotannon varastossa ei edes

tarvitse vastaanottaa nimikkeitä, joita ei vielä siinä toimitusketjuvaiheessa tarvita, vaan ne voivat virrata tuotannon läpi (nk. cross-docking) siten, että ne kytketään yhteen vasta varsinaiseen asiakastoimitukseen joko lähettämössä tai jopa asiakkaalla asennettaessa kokonaistoimitusta. Verkoston kehittäminen voi olla yhteisen oppimisen lisäksi myös monenlaista tiedon jakamista. Tämän päivän high mix / low volume -tuotteet kootaan usein laadukkaista nimikkeistä, joita voidaan jäljittää koko elinkaaren ajan esimerkiksi huoltotarpeita silmällä pitäen. Näissä korostuu logistiikka ja tunnistamista laajemmin tuotetiedon hallinta, joka lienee mahdollista pitää sellaisessa muodossa, että se etenee tavarantoimittajilta asiakkaille samassa muodossa.

Yleisellä tasolla voitaneen nähdä ja ymmärtää, että kilpailun kiristyessä yritykset keskittyvät ydinosaamiseensa ja hankkivat muut osat ja palvelut yrityksen ulkopuolelta. Kun alihankkija, jolle toimintaa on ulkoistettu tekee samanlaisia päätöksiä, ketjut alkavat pitenemään ja tulemaan yhä monimutkaisemmiksi. Tämä vaatii hankinnoilta lisää osaamista niin riskien kuin vastuullisuudenkin hallitsemiseksi. Niin ekologiset kuin sosiaalisetkin vastuullisuuden elementit ovat tärkeitä tämän päivän yritykselle.

Ja samalla koko yrityksellä ulkoisten resurssien johtamisen merkitys kasvaa: yrityksen hankintoihin käyttämä raha (esim. 70-80% liikevaihdosta) voi olla moninkertainen omiin sisäisiin kustannuksiin verrattuna (esim. 20% liikevaihdosta). Edelleen kehittyvät tuottavuuspaineet ja automaation lisääntyminen nostavat toimintaa seuraavalle tasolle niin, että ulkoisten resurssien ja siten myös materiaaliavirran ohjaamisen merkitys ovat erittäin suuria.

Sitä korostavat myös logistisen ajattelun yleistyminen ja kehittyneet johtamiskonseptit, kuten Lean management ja JIT/JIS/JIR. Hankintaa (ja jopa suunnittelua) voidaan viedä kohti design-for-logistics -ajattelua, jossa alihankkijoiden ja tavarantoimittajien tulee kyetä tuottamaan palvelunsa siten, että asiakas saa tarvitsemansa ratkaisut myös logistiikan näkökulmasta tehokkaasti. Käytännössä tämä voi olla juuri edellä mainittuja pakkauksia, käsittely-yksiköitä, merkintöjä tai jotain muuta, joka auttaa vastaanottajaa tehostamaan omaa työtään ja toimintaansa. Hukkaa kannattaa siis pyrkiä välttämään myös siten, että sitä arvioidaan peräkkäisten toimijoiden välillä pyrkien välttämään päällekkäistä työtä tai helpottamaan seuraavaa vaihetta asiakkaan tuotannossa.

Kun yritys ulkoistaa enemmän, se samanaikaisesti joutuu usein myös keskittämään hankintojaan ja hankkimaan yhä suurempia kokonaisuuksia kerrallaan. Tämä voi johtaa jopa tarpeettomaan pienempiä alihankkijoita poissulkevaan toimintaan, mikä ei liene voi olla tavoitteena. Mutta käytännössä suuryrityksen toimittajaksi pääseminen edellyttää vahvan ydinosaamisen ja kilpailukykyyn lisäksi mahdollisuutta toimittaa riittävän laajaa kokonaispakettia, jotta päämiehen ei tarvitse pitää liian montaa rinnakkaista alihankkijaa. Keskittämisen ei tarvitse olla itse tarkoitus, mutta siihen yritykset usein etenevät kehittyessään ja kasvaessaan, ja suuryritykset todennäköisesti etenevät edelleen hankintojen kategorisointiin ja jonkinlaiseen matriisiin, jossa sopivalla tavalla yhdistetään keskittämisen ja paikallisuuden etuja globaalissa hankintamarkkinassa toimittaessa.

Kun yritykset digitalisoituvat, tämä näkyy myös toimittajasuhteissa. Hankintoihin ja tilauksiin liittyvää rutiiniväilyä siirtyy järjestelmien hoidettavaksi ja järjestelmäintegraatiot yleistyvät. Käytännössä yritysten väliset EDI-yhteydet ovat liian kalliita ja jäykkiä varsinkin pienten yritysten rakennettavaksi ja ylläpidettäväksi useiden toimijoiden välillä, meidän kannattaisikin arvioida "GOLLI" (ks luku 4.3)-tyyppisen ratkaisun yleistämistä ja käyttöönottoa myös kokoonpaneavassa teollisuudessa siten, että tilaukset ja toimitustieto kulkevat sujuvasti alihankkijoille ja kuljetusliikkeille sekä edelleen takaisin hankintoja tekeväälle yritykselle niin, että rutiiniväilyt saadaan tehostettua ja tuotannolle tarvittavat materiaalit ja informaatio varmistettua oikeaan aikaan. Nykyään hankintojen onnistumista mitataan siinä missä mitä tahansa muutakin liiketoimintaa: ja digiaikana tähän on helpompi rakentaa (jopa reaaliaikaista) mittaristoa.

Hankinta toimii usein kansainvälisessä tai jopa globaalissa hankintamarkkinassa. Maailmanpolitiikassa on ollut jonkin verran viime vuosina globalisaatiota vastustavia voimia, kuten poliittisia pyrkimyksiä oman maan tuotannon tukemiseen protektionismin kautta (tai jopa BREXIT) ja koronaviruksen

aiheuttama liikenteen hidastuminen, joka yhdessä tuotannon pysäytysten kautta voi merkittäväällä tavalla vaikuttaa komponenttien saatavuuteen. Tällaiset tekijät saattavat vaikuttaa tuotannon siirtymiseen lähemmäksi, mutta edelleen iso kuva on se, että hankintoja tehdään erittäin laajalta maantieteelliseltä alueelta. Tämä näkyy toki logistiikan vaatimustason ja merkittävyyden kasvuna, mutta myös mm. kv.osaamis- ja IPR-suojaustarpeissa. Samalla kun pohdimme ohjelmistointegraatiota ja toteutusmalleja, meidän on syytä varmistua, että niissä käytettävät standardisoinnit mahdollistavat myös kv.verkostoissa toimimisen.

Keskittäminen, kumppanuuksien kehittäminen, tehokkuuden hakeminen ja riskienhallinta voidaan kätevästi yhdistää, kun suuren toimittajamäärän sijaan tietty nimike hankintaan kahdelta toimittajalta. Jos siirrymme vain yhteen, tulemme vähitellen riippuvaiseksi ko.toimittajasta ja keskittämisen kautta saatavat volyymi- ja muut edut menetetään usein. Liian monta toimittajaa ja taas johtaa tilanteeseen, jossa ei saada volyymietuja, ei pystytä kilpailuttamaan ja kehittämään käytännössä toimittajaa ja hallinnollinenkin yhteistyö on tehotonta yhteisten toimintamallien puuttuessa. Nk. hybridihankintamallissa keskitetään kokonaisuuksien hankinta kahdelle kilpailevalla toimittajalle: siinä saadaan riittävät volyymiedut niin hankintahintojen kuin toimittajan kapasiteetin sitomiseen (toimittajankin kannattaa sitoutua suhteeseen, investoida tuotantoon ja kehittämiseen) ja kahden kumppanin kanssa voidaan rakentaa toimivat suhteet aina tarvittaviin integraatioihin asti. Kaksi rinnakkaista toimijaa ovat erinomainen keino riskienhallintaan: koko JIT/JIS/JIR -tuotanto ei pysähdy, jos toimituksiin sattuu jokin merkittävämpi viive; todennäköisyys molempien toimittajien yhtä aikaiseen toimituskyvyn puutteeseen on pieni. Ja edelleen merkittävää on se, että toimittajien kesken säilyy kilpailutilanne. Jos oletetusta tarpeesta esim. 35% allokoidaan erikseen kummallekin toimijalle, hankintakauden aikana tapahtuvan kilpailun kohteeksi jää vielä 30% kokonaisvolyyymistä.

Liite 5. Asennetesti varaston pitämiselle



Kuva L5.1. Perinteinen ja nykyaikainen käsitys varaston pitämisestä (idea Sakki, 2009)