

Jukka Vuorenmäki

TAAJUUSMUUTTAJIEN KOKOONPANOSSA TARVITTAVIEN
KOMONENTTIEN TOIMITUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
2019

TAAJUUSMUUTTAJIEN KOKOONPANOSSA TARVITTAVIEN KOMONENTTIEN TOIMITUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI

Vuorenmäki, Jukka

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma: Insinööri (AMK). Robotiikka- ja automaatioalan muuntokoulutus. Aiempi tutkinto on logistiikan insinööri.

Syyskuu 2019

Sivumäärä: 92

Liitteitä: 3

Asiasanat: Automaatio, mobiilirobotiikka, logistiikka, tuotanto, kokoonpano

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä konseptisuunnitelma Danfoss Drivesin Vaasan taajuusmuuttajatehtaan tilankäytön ja toimintojen tehostamiseksi komponenttien kokoonpanoon toimittamiseen liittyvän logistiikan automatisoinnin avulla. Kirjoittajan robotiikka- ja automaatio-opintojen lisäksi työssä hyödynnettiin hänen aiempaa koulutusta sekä työuralla kertynyttä kokemusta sisälogistiikasta ja tuotannon materiaali-
virroista.

Meneillään on mielenkiintoinen aikakausi robottien, konenäköjärjestelmien ja monenlaisen automaatiotekniikan kehittyessä varsinaisin harppauksin. Automaation hyödyntäminen on viime vuosina lisääntynyt globaalisti myös tuotantolaitoksissa ja logistiikkakeskuksissa. Trendin odotetaan jatkuvan, koska automatisoinnilla on saavutettavissa ainakin kustannustehokkuuden, toimitusnopeuden ja laadun parannusta. Tarve hyödyntää resursseja joustavasti ohjaa automaatiotratkaisujenkin valintaa muutoksiin helpommin sopeutuvien järjestelmien suuntaan. Tämän johdosta mobiilirobotiikan osuuden odotetaan kasvavan. Suomessa automaatioon panostamista puoltaa lisäksi väestön työikäisten osuuden pieneneminen.

Työ aloitettiin havainnoimalla taajuusmuuttajatehtaan nykyistä tuotantomallia ja materiaalivirtaa sekä perehtymällä tehostustarpeisiin. Seuraavaksi perehdyttiin nykykaikeisiin markkinoilla oleviin automaatio- ja mobiilirobottijärjestelmiin esitemateriaalin avulla sekä tavattiin automaatiojärjestelmätoimittajien edustajia. Vaasan lähiseudulla käytössä oleviin mobiilirobottiratkaissuihin tutustuminen paikan päällä antoi hyvän käsityksen laitteiden toiminnallisuudesta ja tarjosi samalla tilaisuuden kuulla käyttäjien mielipiteitä. Lisäksi tiedonhaussa hyödynnettiin automaatiota käsittelevää kirjallisuutta ja aiheesta internetistä löytyvää materiaalia.

Työ koostuu nykyisen toimintamallin, tuotantotilojen ja taajuusmuuttajien kokoonpanossa käytettävien komponenttien kuvauksista sekä toimintafilosofioiden teoreettisesta tarkastelusta, automaation ratkaisuvaihtoehtojen esittelystä ja automatisoidun konseptin kuvauksesta. Automaatiokonseptissa kuvattu moderni tekniikka on yleisesti markkinoilla tarjolla. Laaditun konseptisuunnitelman ratkaisuja on mahdollista soveltaa skaalautuvasti erilaisiin kappaletavaran käsittely-ympäristöihin. Laitteiden tai järjestelmien toimittajiin ei työssä oteta kantaa. Järjestelmien rakenteiden ja toiminnan yksityiskohtainen suunnittelukaan ei kuulu työn piiriin, vaikka työssä on niitä kuvien avulla havainnollistettu. Materiaalivirtaan, tuotantoon ja tuotteisiin liittyviä toimeksiantajan liiketoiminnan kannalta salassa pidettäviä tietoja ei julkaista tässä työssä.

AUTOMATIZATION OF COMPONENT DELIVERY PROCESS FOR FREQUENCY CONVERTER ASSEMBLY

Vuorenmäki, Jukka

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical and Automation Engineering: Bachelor of Engineering. Conversion education in Robotics and Automation. Previous qualification is Engineer in Logistics.

September 2019

Number of pages: 92

Appendices: 3

Keywords: Automation, mobile robotics, logistics, manufacturing, assembly

The aim of this thesis was to create a concept plan for Danfoss Drives Vaasa frequency converter factory to make space usage and operations more efficient through the automation of component delivery logistics. In addition to writer's current studies in robotics and automation, this work utilized his previous education as well as his career experience in intralogistics and material flow on production.

We are going through an exciting era of robots, machine vision systems, and a variety of automation technologies that are taking a leap forward. In recent years, the utilization of automation has also increased globally, including in manufacturing factories and logistics centers. The trend is expected to continue because automation is helping to achieve cost efficiency, delivery speed and quality. The need for flexible use of resources also guides the choice of automation solutions towards more adaptable systems. As a result, the share of mobile robotics is expected to increase. In Finland, investments for automation is also guided by the declining of the working-age population.

The work was started by observing the current production model, material flow and need of improvements at the Vaasa factory. Next phase was orient to the modern automation and mobile robot systems on the market with the help of demonstration materials and equipment vendors. Getting to know the mobile robot solutions on the Vaasa area gave a good understanding of the device functionality and offered the opportunity to listen to users' comments. In addition, the literature on automation and the information available on the internet was used to information collecting.

The work consists of a description of the current operating model and production facilities, the components used in the assembly, as well as a theoretical examination of the operating philosophies, the presentation of automation solutions and the description of the automated concept. The modern technology described in the automation concept is available in the market. The solutions of the developed concept can be scalably applied to different environments. Equipment or system suppliers are not considered in this work. The detailed design of the structures and operation of the systems is outside the scope of this work, although there are some illustrative pictures. Material flow, production and product-related information that is confidential to the principal's business will not be disclosed in this work.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Työn rajaukset.....	8
1.3	Dispositio	9
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJA	11
2.1	Danfoss Drives, Vacon Oy	11
2.2	Yleisesti tehtaan tuotannosta.....	12
2.3	Tuotantotilat.....	13
3	MATERIAALIVIRTA VASTAANOTOSTA KOKOONPANOON.....	15
3.1	Lean-filosofia.....	15
3.2	Tuotannon imuohjaus.....	16
3.3	Nykyisen materiaalivirran kuvaus	17
3.3.1	Materiaalinhallinta.....	17
3.3.2	Vastaanottoprosessi	20
3.3.3	Materiaalien toimitus kokoonpanoon	20
3.3.4	Materiaalien sijoittelu ja käyttö kokoonpanolinjoilla.....	21
3.3.5	Paluulogistiikka kokoonpanolinjoilta.....	22
4	KÄSITELTÄVÄT MATERIAALIT	23
4.1	Nykyisten tuotemallien komponentit.....	23
4.2	Suuntaus tulevien tuoteperheiden komponenteissa	26
4.3	Komponenttien pakkaukset.....	26
5	AUTOMATISOINNIN ODOTETUT VAIKUTUKSET.....	27
5.1	Virtaus.....	27
5.2	Laatu	28
5.3	Työturvallisuus	31
5.4	Työvoima	33
5.5	Siisteys	35
5.6	Muunneltavuus.....	36
5.7	Tilankäyttö	38
5.8	Kustannukset.....	40
5.9	Komponenttien käsittely	41
5.10	Mielikuvat.....	43
6	AUTOMATISOINNIN MENETELMÄT.....	44
6.1	Materiaalivirran hallinta.....	44
6.2	Riskienhallinta	45

6.2.1	Kapasiteetti	45
6.2.2	Materiaalin saatavuus	46
6.2.3	Ylläpito	46
6.2.4	Suojautuminen staattisen sähkön purkauksilta.....	48
6.3	Varastoinnin automatisointi	49
6.3.1	Materiaalin vastaanottaminen.....	53
6.3.2	Materiaalin sijoittelu varastopaikkoihin	55
6.4	Komponenttien keräily tuotantoon toimitettavaksi.....	56
6.4.1	Keräilyasema	56
6.4.2	Komponenttien jäljitettävyys.....	58
6.5	Komponenttien toimitus tuotantoon	58
6.5.1	Kuljetusvälineen mitoitus	58
6.5.2	Kulkureitit	59
6.5.3	Energianlähde	60
6.5.4	Kuljetuksen ratkaisuvaihtoehdot	60
6.5.5	Komponenttien toimitusperiaate mobiiliroboteilla.....	66
6.5.6	Robottiparvet	66
6.5.7	Mobiilirobotteihin liittyvät uhat	67
6.5.8	Mobiilirobotteihin liittyvät mahdollisuudet	68
6.6	Kuljetusyksiköiden käsittely kokoonpanolinjoilla.....	69
6.7	Komponenttien poiminta kuljetusyksiköstä.....	70
6.8	Tuotevaihdot kokoonpanossa.....	70
7	AUTOMATISOIDUN PROSESSIN KUVAUS.....	71
7.1	Materiaalivirran hallinta.....	71
7.2	Vastaanotto	72
7.3	Varastointi.....	74
7.4	Keräily.....	75
7.5	Toimitus tuotantoon	79
7.6	Paluulogiikka.....	85
7.7	Rajapinnat	86
8	YHTEENVETO	87
9	LOPPUSANAT	89
	LÄHTEET	90
	LIITTEET	

SANASTO JA KÄSITTEET

Asetusaika	Tuotteen valmistamisen valmisteluun kuluva aika.
Kappaletavara	Materiaali, jota voidaan käsitellä ja kuljettaa kappaleittain.
Karakuri Kaizen	Tuotannon tehostamiseen tarkoitettu mekaaninen laite.
Kuljetusyksikkö	Pakkauskokonaisuus, jota käsitellään toimitusketjussa.
Kuormalava	Matala käsittely-yksikkö, jonka päälle tavarat laitetaan.
Laatukustannus	Huonosta laadusta aiheutuva suora tai epäsuora kulu.
Lean	Johtamisfilosofia, joka karsii tuottamatonta työtä.
Mobiilirobotti	Itsenäisesti lattialla liikkuva materiaalia kuljettava laite.
Parametri	Ohjelmalle annettava tulokseen vaikuttava alkuarvo.
Parvi	Robottien työskentely yhdessä työkuormaansa jakaen.
Priorisointi	Asioiden tai tehtävien asettaminen tärkeysjärjestykseen.
Puskurivarasto	Välivarasto tasoittamassa materiaalivirtaa.
Päällirakenne	Ajoneuvon tai laitteen päälle lisätty kuormatila tai apulaite.
Rajapinta	Ohjelmien tai ohjelmistojen välinen informaatioyhteys.
RFID-tunniste	Radiotaajuudella toimiva etäluettava tunniste.
Tarjotin	Materiaalikohtaisesti muotoiltu varastointiyksikkö.
Tunniste	Tuotteen yksilöivä visuaalinen tai digitaalinen tunnus.
Varastointiyksikkö	Pakkauskokonaisuus, jota käsitellään varastoinnissa.

1 JOHDANTO

Toimeksiantajalla oli halu selvittää tässä opinnäytetyössä käsiteltävää automaation hyödyntämistä tuotannon materiaalilogistiikassa. Opinnäytetyönä tehtynä selvitys ja automaatiokonseptin suunnittelu tarjosi mahdollisuuden tarkastella ratkaisuvaihtoehtoja objektiivisesti sekä niiden kyvykkyyttä realistisesti arvioiden.

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

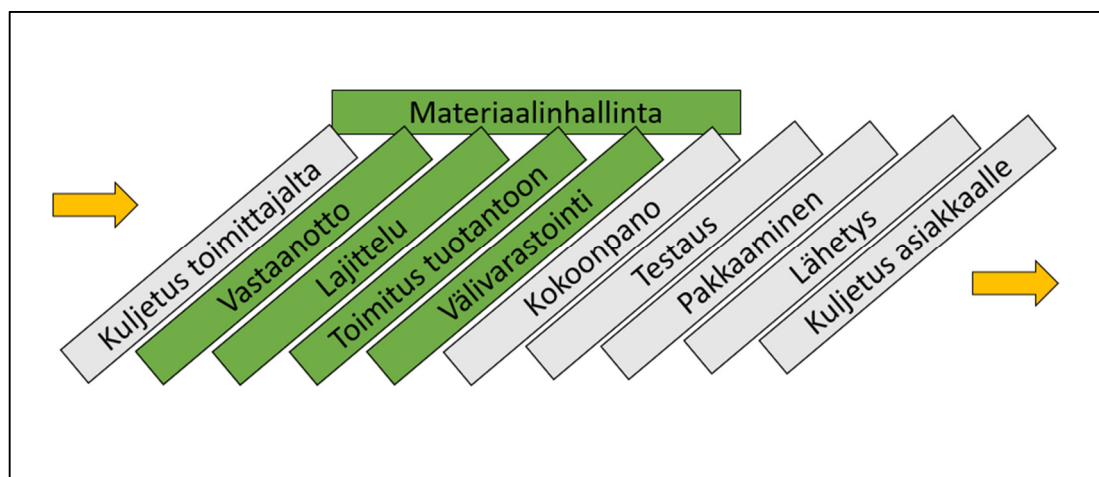
Vaasassa toimivan Danfoss Drivesin taajuusmuuttajatehtaan tuotantomäärät ovat olleet kasvussa jo vuosia ja trendin voi hyvin odottaa jatkuvan, koska taajuusmuuttajien käyttö erilaisissa kohteissa lisääntyy ja monipuolistuu jatkuvasti. Etenkin energian säästötarpeet ja uusiutuvan energian tuotannon lisääntyminen lisäävät taajuusmuuttajien tarvetta sen lisäksi, että sähkömoottoreita halutaan ohjata yhä tarkemmin ja optimaalisemmin. Ja vaikka ilmaston lämpenemisen hillitsemiseksi huomio energian säästämiseen ja ympäristöystävällisemmän energian käyttöä kohtaan lisääntyy, energian käytön odotetaan globaalisti silti kasvavan (Global Energy Institute 2018). Tällä hetkellä 20 % maailmassa kulutetusta energiasta on sähköenergiaa ja siitä sähkömoottoreiden osuus on noin 40 % (Danfoss Drives n.d.). Kilpailu taajuusmuuttajamarkkinoilla on kovaa ja kilpailukyvyn ylläpito vaatii jatkuvaa kehitystä kustannustehokkuuden, tuotteiden ja palvelun laadun parantamiseksi. Danfoss Drivesilla taajuusmuuttajien valmistusprosesseja pyritään jatkuvasti parantamaan sekä pienin kehitysaskelin, että kartoittaen kehitysmahdollisuuksia radikaalimpienkin muutosten keinoin. Kilpailukyky on monen tekijän summa, mistä automaatio tai robotiikka on yksi, ja voi olla tärkeinkin (Ventä ym. 2018, 83).

Tehtaan tuotannonkehitystiimissä on ideoitu muun muassa menetelmä, jossa kokoonpanossa tarvittavat komponentit kerättäisiin ensin kuljetusalustalle, joka sitten vietäisiin komponentteineen kokoonpanolinjalle. Menetelmä valittiin jatkokehityksen ja yksityiskohtaisemman suunnittelun kohteeksi, koska se nähtiin muun muassa keinona vapauttaa tehtaan kokoonpanoalueen lattiatilaa tuotantokäyttöön sekä mahdollistaa nopeat tuotevaihdot kokoonpanolinjoilla. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan automaatiopainotteisesti kyseistä menetelmää ja sen toteutusvaihtoehtoja, punnitaan ja

perustellaan vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia sekä kuvataan automaatiotekniikan mahdollisuuksia soveltava potentiaalinen konsepti. Opinnäytetyössä suunniteltu toimintakonsepti on mahdollista implementoida kokonaisuudessaan tai sitä osittain soveltaen.

1.2 Työn rajaukset

Loogisen kokonaisuuden muodostamiseksi tarkasteltavan aiheen selkeä rajaaminen on tärkeää. Työ rajattiin tehtaan sisälle kokoonpanoa edeltävän logistiikan kehittämiseen. Ennen materiaalin vastaanottoa tapahtuvat työvaiheet sekä kokoonpanolinjoilla materiaalin käyttöönotosta alkava kokoonpanotyö ja sen jälkeiset toiminnot eivät siis kuulu tässä opinnäytetyössä tehtävään tarkasteluun ja toimintamallin suunnitteluun (kuvio 1). Silti näihin prosessin molempiin suuntiin on sisälogistiikan tarpeilla ja tuloksella vaikutuksia, joita työssä myös hieman sivutaan. Työssä on sovittu tehtäväksi konseptisuunnitelma, jossa kuvataan automatisoitu toimintamalli, mutta ei oteta kantaa automaatiolaitteistojen valmistajien tai järjestelmätoimittajien valintaan. Työssä esitellyt tekniset ratkaisut ovat kuitenkin jo markkinoilla olemassa olevia, ja siten mahdollisia implementoida käyttöön. Ratkaisut edellyttävät asiakaskohtaista räätälöintiä, mikä on hyvin tyypillistä laajemmissa sisälogistiikan automaatioprojekteissa.



Kuvio 1. Työssä käsiteltävät toiminnot on korostettu vihreällä.

Materiaalivirtaan, tuotantoon ja tuotteisiin liittyy toimeksiantajan liiketoiminnan kannalta sellaisia salassa pidettäviä tausta-aineiston tietoja, joita ei voida eikä ole tarpeenaan julkaista tässä työssä. Työstä on muutenkin pyritty tekemään eri ympäristöihin ja mittakaavaan sovellettavissa oleva.

1.3 Dispositio

Koska minulla ei ollut aiempaa kokemusta Danfossista yrityksenä, sen toimintatavoista ja yrityskohtaisista termeistä, aloitin työn käymällä uusien työntekijöiden perehdytyksen, tutustumalla työntekijöihin ja seuraamalla työskentelyä eri kokoonpanolinjoilla sekä materiaalin täydennysprosessissa. Oli tietoinen valinta hyödyntää konseptin suunnittelussa ulkopuolista näkemystäni, jolloin totutut toimintatavat tai tehtaalla aiemmin mahdollisesti harkitut tai kokeillut ratkaisut eivät rajoittaisi ratkaisuvaihtoehtojen ideointia. Saatuani käsityksen tuotannon toiminnasta, tarkistin vielä mitkä ovat ensisijaiset asiat, joihin suunniteltavilla ratkaisulla kehitystä halutaan. Tällä varmistettiin, että konseptin suunnittelu perustuu toimeksiantajan ensisijaisiin tarpeisiin.

Imuohjausperiaatetta noudattaen tutkin komponenttien toimitusprosessia ja käsiteltäviä komponentteja aloittaen niiden käyttöpaikalta kokoonpanolinjoilla ja edeten prosessia alkuun päin materiaalin tehtaalle vastaanottamiseen. Tällä tavoin edettynä käyttöpaikan tarve ja käsiteltävät komponentit johtivat vaatimuksiin toimitusprosessin aiemmissa vaiheissa.

Suunnittelun taustaksi kartoitin tuotantotilojen tietoja ja mittoja, nykyisen materiaalin hallintaprosessin sekä suunnitellut kokoonpanoajat eri tuotemalleille. Selvitin myös miten konseptisuunnittelun kannalta oleelliset komponentteihin liittyvät tiedot on saatavilla. Tämän jälkeen aloin muodostaa näkemystäni konseptin toteutuksesta ja selvittämieni taustatietojen perusteella tein laskelmia tehtaan sisäisiin kuljetuksiin kuluvista ajoista sekä vaihtoehtoisia hahmotelmia komponenttien kuljetusyksiköiden rakenteesta. Oleellisena osana konseptin suunnittelua oli muodostaa realistinen käsitys materiaalivirtojen suuruusluokasta, koska sillä on suora vaikutus käsittelykapasiteetin tarpeeseen.

Tapasin mobiilirobottien toimittajia sekä kävin tutustumassa eri valmistajien mobiilirobottien käyttöön todellisissa käyttökohteissa, joissa omien havaintojeni lisäksi sain kuulla myös arvokkaita loppukäyttäjien mielipiteitä laitteiden käytöstä, toiminnallisuudesta ja luotettavuudesta.

Tämä opinnäytetyö jäsentyy siten, että alussa on kuvattu toimeksiantajaa yrityksenä, sen tuotantoa ja tuotantotiloja. Sitten käsitellään tuotantoon liittyvän logistiikan teoriaa ja ohjausperiaatteita, kuvataan nykyinen toimintamalli sekä taajuusmuuttajien kokoonpanossa käytettyjä komponentteja. Seuraavaksi tarkastellaan yleisesti logistiikan automatisoinnin avulla tavoiteltavia vaikutuksia sekä ratkaisuvaihtoehtoja automatisoinnin toteuttamiseksi hyvine ja huonoine puolineen. Lopuksi kuvataan edellä olevien aiheiden perusteella ehdotus automatisoidusta konseptista materiaalivirran toteuttamiseksi.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

Työssä käsiteltävän aiheen taustaksi esitellään toimeksiantajan historiaa ja nykytilannetta sekä aiheen kannalta tarpeellisin osin Vaasan tehtaan tuotantotiloja ja tehtaalla käytettävää valmistusmenetelmää.

2.1 Danfoss Drives, Vacon Oy

Danfossin juuret ovat vuodessa 1933, jolloin tanskalainen Mads Clausen perusti nesteen virtausta ohjaavia venttiilejä valmistavan yrityksen. Siitä lähtien yritys on kasvanut ja laajentunut. Danfoss on edelleen perheyritys työllistäen globaalisti noin 28 000 työntekijää, joista Suomessa on noin 750. Danfoss-konserniin kuuluu nykyisin neljä toimialasegmenttiä; Cooling, Drives, Heating ja Power Solutions, jotka keskittyvät omien alojensa tuotteiden kehittämiseen, valmistukseen ja myyntiin. Danfossin Drives on keskittynyt vaihtovirtataajuusmuuttajiin.

Vuonna 1993 perustettiin Vaasa Conrol Oy, kehittämään, valmistamaan ja markkinoimaan taajuusmuuttajia eli oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta portaattomasti säätäviä tehoelektroniikkalaitteita. Ensimmäiset Vacon-taajuusmuuttajat tuotiin markkinoille vuonna 1995. Vuonna 2000 yritys listautui pörssiin ja nimi vaihtui Vacon Oy:ksi. Vuoden 2014 lopussa Vacon siirtyi osaksi Danfoss-konsernia. Taajuusmuuttajien suunnittelu ja valmistus Suomessa tapahtuu Danfoss Drives -brändin nimissä, mutta osakeyhtiön nimi on edelleen Vacon Oy. Vuonna 2018 Vacon Oy:n liikevaihto oli 267 miljoonaa euroa. Tilikauden tulos oli 16,9 miljoonaa euroa ja liikevoittoprosentti oli 14,6. Yhtiön omavaraisuusaste oli 32 prosenttia. (Jurvelin 1998; Korteila 2010; Vacon Oy 2014; Vacon Oy 2019.)

Danfoss Drives on suurin yksinomaan taajuusmuuttajiin, liikkeenohjaukseen tarkoitettuihin taajuusmuuttajiin ja pehmokäynnistimiin keskittynvä toimija (Danfoss Drives n.d.). Danfossin omat taajuusmuuttajabrändit ovat Vacon ja VLT. Niiden lisäksi tehtaalla valmistetaan OEM (original equipment manufacturer) -tuotteita, jotka toimitetaan tehtaalta asiakkaan tai jälleenmyyjän nimellä, ulkoasulla ja haluttaessa myös ohjelmistolla.

Danfossin taajuusmuuttajat eivät ole riippuvaisia ohjausjärjestelmistä, moottoriteknologiasta tai moottorin valmistajasta. Tämän ansiosta asiakas voi valita käyttökohteeseensa parhaiten sopivan moottoriteknologian ja valmistajan. Se takaa huippuluokan suorituskyvyn ja optimoidun energiankulutuksen. (Danfoss Drives n.d.)

2.2 Yleisesti tehtaan tuotannosta

Vaasassa sijaitseva Danfoss Drivesin tehdas on tuotannon osalta kokoonpanoyksikkö, jossa tehdään ulkopuolelta hankittavista komponenteista kootaan taajuusmuuttajia, asennetaan niihin ohjelmistot, testataan jokaisen valmiin tuotteen toiminnallisuus sekä pakataan tuotteet toimitusvalmiiksi. Taajuusmuuttajien mekaniikan kokoonpano on käytännössä erilaisten komponenttien yhteenliittämistä määrätyllä tavalla. Komponenttien kiinnityksessä käytetään pääasiassa ruuveja. Sitä varten työpisteillä on helposti saatavilla ruuvinvääntimet, joihin on asetettu tarvittavat kiristysmomentit. Kokoonpanossa käytetään käsineitä, suojalaseja, turvakenkiä sekä ESD-vaatetusta.

Tuotannon tukena on osasto, joka tekee korjauksia asiakkailta palautuneisiin sekä toiminnallisuustesteissä puutteellisiksi havaittuihin tuotteisiin. Myös tuotekehitysosasto toimii tehdään tiloissa, joten yhteistyö ja kommunikaatio tuotannon kanssa on aktiivista, nopeaa ja tehokasta. Kokoonpano toimii arkisin kahdessa vuorossa ja tuotteita testataan kolmessa vuorossa.

Danfoss Drives noudattaa lean-filosofiaa, mikä tulee erityisesti tuotannossa hyvin esiin. Tuotannon perustana on imuohjaus, jolloin tuotteita valmistetaan tilausten perusteella nopealla vasteajalla. Tuotantotilojen järjestys ja kulkureitit ovat selkeitä ja visuaalisesti merkittäviä. Myös materiaalivirrat ovat itsessään hyvin visuaalisia materiaalin liikkuaessa fyysisesti työvaiheelta toiselle työn edetessä ja tuotteiden jalostuessa. Näin on helppo yleissilmäykselläkin havaita tuotannossa oleva tilanne.

2.3 Tuotantotilat

Vaasan seudulla on runsaasti energiateknologia-alan yrityksiä. EnergyVaasa -klusterissa on 140 yritystä, joiden liikevaihto on yhteensä noin 4,4 miljardia euroa (EnergyVaasa brochure 2015, 3). Alan markkinat ovat maailmanlaajuiset ja yrityksissä viennin osuus onkin yli 80 % (EnergyVaasa brochure 2015, 4). Danfoss Drivesin tehdas sijaitsee Vaasan lentokentän ja eteläisen sisääntulotien vieressä Runsorin teollisuusalueella 9 km keskustasta kaakkoon. Alue on nimeltään Vaasa Airport Park -yrittyspuisto. Se muodostaa Pohjoismaiden suurimman energia-alan yritysten keskittymän tarjoten työpaikan yli 4 000 ihmiselle (Vaasa Parks n.d.). Danfoss Drivesin tehdas on kolmessa kerroksessa ja sitä on laajennettu useaan kertaan toiminnan ja tuotantomäärien kasvaessa. Tuotanto ja materiaalin käsittely on keskitetty maanpinnan tasolla olevaan kerrokseen. Kellarissa ja toisessa kerroksessa on pääasiassa toimisto- ja varastotiloja sekä väestönsuojat. Tuotannon käytössä lattiapinta-alaa on tällä hetkellä noin 20 000 m².

Rakennuksen lattia koostuu betonilaatoista, jotka on päällystetty staattisen sähkön purkauksia ehkäisevällä hiertomassa-pinnoitteella Armeka ESD STB. Tuotantotiloissa lattian kantavuus on 2 000 kg/m², pistekuormana 7 500 kg. Tästä poikkeuksena on vanhimman hallin lattian kantavuus 1 200 kg/m², pistekuormana 4 000 kg (Rantala sähköposti 13.6.2017). Lattiassa on liikuntasauvoja, mutta ei kynnyksiä eikä mainittavia korkeuseroja. Kerrosten välillä kulkureitteinä ovat portaikot ja hissit. Tuotantotiloissa jalankulkuväylät on merkitty selkeästi lattioihin teipeillä. Vihreällä teipillä rajatun jalankulkuväylän ulkopuolella on tuotantotiloissa käytettävä ESD-vaatetusta sekä suojavälineinä turvakenkiä ja suojalaseja.

Tuotantotilojen vapaa korkeus lattiasta ilmanvaihtojärjestelmiin, valaisimiin tai vastaaviin rakenteisiin on 3,5–4,7 metriä uudempien laajennusosien ollessa vanhempia osia korkeampia. Tavarantoimitusosissa vapaa korkeus kattopalkkeihin on 8 metriä. Kaikista halleista on suora kulkuyhteys sen viereiseen halliin palo-oven kautta. Hallien välisten palo-ovien aukkoja on kahta korkeutta 3,5 ja 4 metriä. Etäisyys tuotantotilojen päätyseinien välillä on 285 metriä. Toiseen suuntaan eri hallien leveydet vaihtelevat ollen keskimäärin noin 70 metriä. Kokoonpanotilojen sisälämpötilan tavoitearvo on 22 celsiusastetta, vaihteluvälin ollessa 20–26 °C. Kokoonpanossa

huoneilman suhteellinen kosteus on yleensä noin 35 %. Se voi vaihdella ulkoilman kosteuden vaikutuksesta välillä 10–61 %. Tuotantotilojen lämpötiloja ja ilmankosteutta seurataan automaattisesti useista mittauspisteistä. (Saari sähköposti 18.6.2019.)

Kokoonpanolinjoilla materiaalien sijoittelu on suunniteltu hyvä työergonomia huomioiden ja kokoonpanon työmenetelmät on standardoitu. Kokoonpanohenkilön työ tapahtuu pääsääntöisesti seisaallaan. Työtasojen korkeus on sähköisesti säädettävissä, työvälit sekä tarvittavat komponentit ovat kokoonpanohenkilön ulottuvilla ja hän voi säätää valaistuksen kirkkautta. Painavien kappaleiden nostoissa on käytettävissä tarkkuusnostimia keventämään käsiteltävän taakan painoa. Lisäksi työpisteellä on tietokone, jolla käytetään tuotannonohjausjärjestelmää ja josta pääsee helposti käsiksi selkeisiin ja ajan tasalla oleviin digitaalisiin kokoonpano-ohjeisiin.

Taajuusmuuttajien kokoonpano tapahtuu vaiheittain. Kokoonpano on suunniteltu tehtäväksi niin, että yksi henkilö tekee yhteen vaiheeseen määritetyt toimenpiteet. Sen jälkeen toinen henkilö jatkaa kokoonpanoa seuraavassa vaiheessa. Näin edetään kunnes taajuusmuuttaja on valmis testaukseen. Kokoonpanovaiheet ovat vierekkäin muodostaen yhtenäisen linjaston. Jokaiselle tuotemallille on kokoonpanovaihekohtaisesti määritetty standardiaika, joka työhön kuluu. Yhden tuotemallin eri kokoonpanovaiheisiin kuluva aika on tasapainotettu mahdollisimman samansuuruisiksi, jolloin työvaiheen valmistuessa myös edellinen ja seuraava työvaihe ovat valmiina. Pienen aikavälin tasoittamiseksi linjastolla on kokoonpanovaiheiden välillä puskurivarastona käytettävä lyhyt rullataso. Näin kokoonpanon työntekijät eivät joudu odottamaan viereisen työvaiheen valmistumista.

Yksi linjasto koostuu tyypillisesti kolmesta tai neljästä kokoonpanovaiheesta, joiden jälkeen on testausyksiköitä. Tyypillisesti kokoonpanolinjalta valmistuneen laitteen testausprosessi vie enemmän aikaa kuin yksittäisen kokoonpanovaiheen, joten testausyksiköitä tarvitaan riittävän monta halutun tuotantokapasiteetin saavuttamiseksi. Testausyksikkö on kaappi, johon taajuusmuuttaja laitetaan testauskaapeleiden kiinnittämisen jälkeen. Tämän jälkeen testausyksikkö toimii itsenäisesti ajaen läpi taajuusmuuttajamallikohtaisen testausohjelman ja ilmoittaa, mikäli testissä havaitaan poikkeamia. Poikkeamat johtavat korjaaviin toimenpiteisiin.

3 MATERIAALIVIRTA VASTAANOTOSTA KOKOONPANOON

Tässä luvussa kerrotaan miten nykyisessä toimintamallissa tuotanto saa tarvitsemansa komponentit ja mitä tukitoimintoja prosessiin liittyy. Aluksi käydään läpi hieman teoriaa kahdesta tehtaan tuotannossa noudatettavasta oleellisesta periaatteesta.

3.1 Lean-filosofia

”Lean-sana on ensimmäisen kerran julkaistu syyskuussa 1988 MIT:n tutkijoiden artikkelissa *The Triumph of the Lean Production System*. Heidän tutkimuksessaan oli käyty läpi 70 autotehdasta 14 maassa. Osa tehtaista, kuten Toyota, erottui tuottavuudeltaan merkittävästi muista. Tuottavuuseroa ei selittänyt maantieteellinen sijainti tai käytetty teknologia vaan johtamisfilosofia ja konserni, johon tuotantolaitos kuului. Tutkijoilla oli vaikeuksia keksiä sopiva nimitys löydökselleen, ja lopulta he päätyivät sanaan *lean*. Se on siis alun perin ollut markkinointitermi, joka seuraavien vuosien aikana juurtui osaksi alan sanastoa.” (Torkkola 2015, 10.)

Lean-filosofia on siis lähtenyt tuotantoympäristöstä, mutta sitä voidaan soveltaa kaikkialla, niin asiantuntijatyössä kuin vapaa-ajan harrastuksissakin. Lean-filosofian ytimessä on keskittyminen asiakkaalle arvoa tuottavan työn sujuvan etenemisen edellytyksiin. Siinä pyritään mahdollisimman tasaiseen työn virtaukseen, järjestelmän kuormituksen hallitsemiseen ja kaikenlaisesta arvoa tuottamattomasta tekemisestä, eli hukasta, eroon pääsemiseen. Leanin toiminnan saavuttamiseksi on kehitetty lukuisia työkaluja, kirjoitettu lukematon määrä kirjoja ja järjestetty eri tasoisia koulutuksia.

Avain menestykseen ei ole leanin työkalujen käyttö, vaan nimenomaan toimintafilosofia. Työkalujen tarkoitus on tukea toimintaa eikä päinvastoin. Toisinaan innokkaassa leanin käyttöönotossa unohtuu myös muutoksen johtaminen ja realistisen lähtötilanteen kartoitus. Pelkästään varastoja ja keskeneräistä työtä vähentämällä saadaan esiin järjestelmän heikkouksia, mutta ei löydetä keinoja ratkaista asiakkaan kokemia ongelmia. Ensin on järjestettävä perusasiat kuntoon ja vasta sen jälkeen vähennetään hukkaa muutoksista aiheutuvat riskit tunnistaen. Pienin askelin toiminnan jatkuva

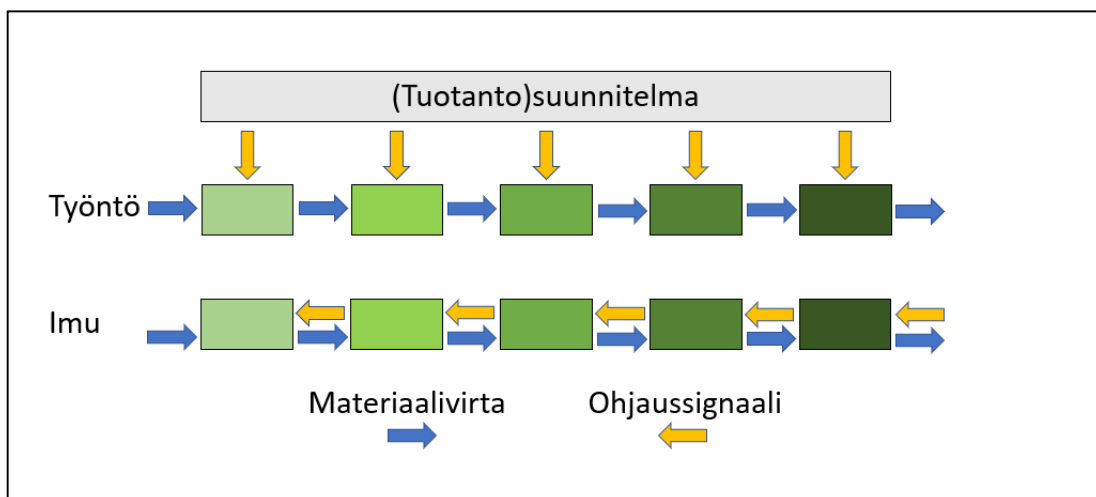
parantaminen kuuluukin juuri noihin leanin perusasioihin. Maailma, olosuhteet ja asiakkaiden tarpeet muuttuvat, joten tehtävää ja parannuskohteita riittää loputtomiin.

Danfoss Drivesin tuotannossa lean-filosofiaa toteutetaan laajasti ja siihen käytetään useita työkaluja. Esimerkiksi työskentelyalueilla on vain jatkuvasti tarvittavat työvälineet, visualisointia käytetään hyödyksi monessa paikassa ja ongelmanratkaisumenetelmät ovat systemaattisia. Lean ilmenee tehtaalla siis visuaalisen järjestyksen lisäksi järjestelmällisenä toimintana. Niiden ansiosta normaalista poikkeavat asiat ja tilanteet tulevat esiin. Selkeiden toimintamallien ansiosta kaikkien tehtaalla työskentelevien on helppo raportoida korjaavia toimenpiteitä ja kehityskohteita eteenpäin. Jokainen pääsee osallistumaan työpaikkansa kehittämiseen. Esiin nousseille asioille on olemassa systemaattinen toimintamalli tähdäten entistä laadukkaampaan toimintaan.

3.2 Tuotannon imuohjaus

Yksi lean-ajattelun ja yleisemmin tehokkaan tuotannon periaatteita on ohut, tasainen, tarkoituksenmukainen ja hallittu materiaalivirta, jota ohjaa asiakkaiden tarve eli kysyntä (Logistiikan Maailma n.d.).

Imuohjauksen ja työntöohjauksen merkittävin ero on siinä, mikä ohjaa käytännön materiaalivirtaa: Työntöohjauksessa ennalta tehty suunnitelma ”työntää” tilaukset tuotannon läpi ja imuohjauksessa seuraava vaihe ”imee” tarpeen mukaan materiaaleja edeltävältä vaiheelta (kuvio 2). Imusta ja työnnöstä käytetään englanniksi termejä pull ja push (control). Imuohjauksen taustalla on ajatus siitä, että varastot aiheuttavat kustannuksia ja piilottavat prosessien ongelmia, joten ne tulisi siis minimoida. Ideaalimaailmassa tuotteita voitaisiin valmistaa äärimmäisen nopeasti alusta asti yhden kappaleen erissä juuri asiakkaan tarpeen mukaan. Koska tällainen ideaalimaailma ei ole realismia, seuraavaksi paras vaihtoehto on lean-ajattelun mukaan imuohjaus. Se on tuotannonohjausmenetelmä, jonka toiminta perustuu asiakastarpeen tahtiin ja jossa varastojen sekä keskeneräisen tuotannon määrä on rajoitettu. Tuotteita ja puolivalmisteita tuotetaan ja siirretään eteenpäin ainoastaan mikäli niille on tarve, eli ketjun seuraava vaihe (alavirtaan eli asiakkaaseen päin) pyytää sitä. Ketjun seuraava vaihe on siis asiakas, jonka tarve ohjaa edellistä vaihetta. (Logistiikan Maailma n.d.)



Kuvio 2. Imu- ja työntöohjauksen ero (Logistiikan Maailma n.d.).

Danfoss Drivesin tuotannossa imuohjausta toteutetaan ohjaamalla kokoonpanoa perustuen asiakkailta saataviin tilauksiin. Tuotantosuunnitelma johtaa materiaalitarkpeisiin ja generoi täydennystilauksia komponenttitoimittajille. Taajuusmuuttajia ei siis valmisteta jälleenmyyjän hyllyyn odottamaan mahdollista ostajaa, vaan tehdään vain sitä mille tarve on jo olemassa. Tämä mahdollistaa myös monipuolisen asiakaskohtaisen varioinnin eli tuotteisiin voidaan vielä kokoonpanossa lisätä tai vaihtaa ominaisuuksia, merkintöjä tai ulkoasua. Imuohjaus edellyttää koko tuotantoketjulta sellaista nopeutta ja reagoitokykyä, mihin asiakaskunta on tyytyväinen.

3.3 Nykyisen materiaalivirran kuvaus

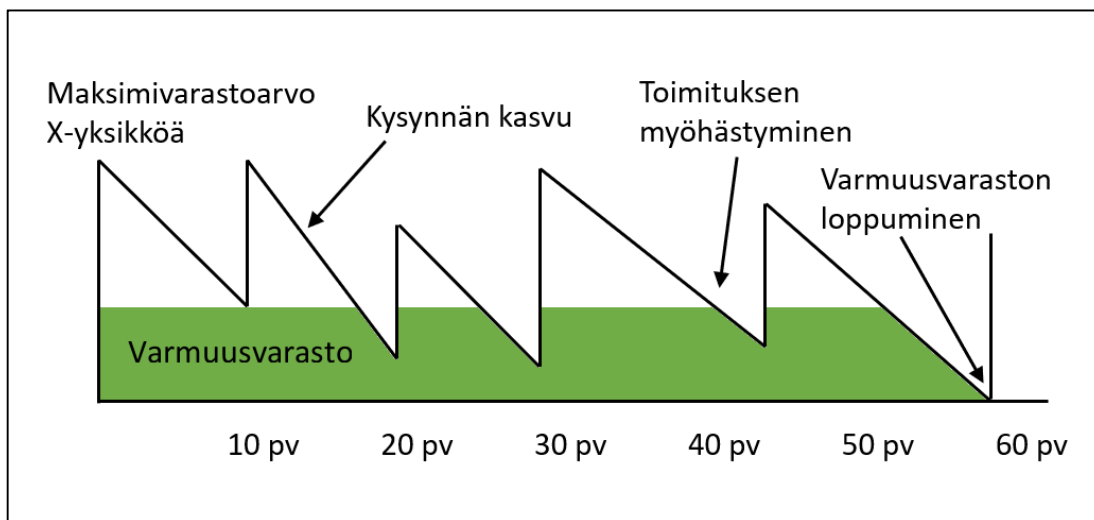
3.3.1 Materiaalinhallinta

Materiaalinhallinnalla tarkoitetaan tuotannossa tarvittavien komponenttien hankinnan, varastoinnin, kulutuksen ja laadun systemaattista ohjausta ja valvontaa. Se on erittäin merkittävässä roolissa tuotantokustannusten ja kannattavuuden hallinnassa.

Varastoinnilla tarkoitetaan varastorakennuksia ja -tiloja sekä varastotoimintoja. Toimitusketjun kaikissa vaiheissa varastoja pyritään pitämään mahdollisimman vähän. Tämä johtuu varastoihin sitoutuvasta pääomasta, joka olisi tuottavampaa vapauttaa

muuhun tarpeeseen. Varastotasoa voidaan pienentää tai varastoista voidaan jopa luopua, jos toimitusajat pystytään optimoimaan niin, että raaka-aineet tai tuotteet toimitetaan toimittajalta suoraan tuotantoon tai valmistajalta asiakkaalle ilman varastointia. (Ritvanen, Inkiläinen, von Bell & Santala 2011, 79.)

Vaasan taajuusmuuttajatehtaalla komponenttien kiertoaika on nopea ja varsinaista varmuusvarastoa (kuva 1) pidetään vain komponenteille, joiden saatavuus on epävarma ja toimitusaika pitkä. Tehtaalla on komponentit ainakin seuraaville tunneille suunniteltua tuotantoa varten. Näiden komponenttien säilyttäminen ennen käyttöönottoa on varastointia. Talousopin mukaan varastolla tarkoitetaan vaihto-omaisuuden materiaaliolosuutta, eli hankittuja materiaaleja, jotka eivät ole jalostuksessa (Hokkanen & Karhunen 2014, 125). Taajuusmuuttajatehtaalla varastoitavien materiaalien määrä pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä ensisijaisesti varastoon sitoutuvan pääoman vuoksi.



Kuva 1. Varastotason muuttuminen kulutuksen ja täydennyserien toimitusten myötä sekä varmuusvaraston merkitys (Hokkanen & Karhunen 2014, 208).

Danfoss Drivesin tehtaalla materiaalin hallinnassa käytetään useita järjestelmiä eri käyttötarkoituksiin. Toiminnanohjaus, tuotannonohjaus, tuoterakenteet, tuotteiden suunnittelu, tilaukset materiaalityöntekijältä ja myynti hoidetaan erillisillä järjestelmillä. Nämä keskustelevat digitaalisesti tarvittavilta osin keskenään. Komponenttien imuohjauksen hallinnassa käytetään virtuaalista kolmen laatikon kanban-järjestelmää.

Kanban-sana tarkoittaa korttia. Korttien lukumäärä on rajoitin, jolla ohjataan kuinka monta keskeneräistä työtä saa prosessissa olla samaan aikaan (Torkkola 2015, 47). Kolmen kanban-laatikon järjestelmässä on aina yksi toimituserä käytettävissä kokoonpanolinjalla, toinen erä odottamassa käyttöönottoa ja kolmas erä saatavilla tavarantoimittajalta. Toimituserä voi olla enemmänkin kuin yksi fyysinen laatikko, johon komponentit on pakattu. Virtuaalisuus tarkoittaa, ettei fyysisiä tyhjiä laatikoita toimiteta tavarantoimittajalle merkiksi uuden täydennyserän tarpeesta, kuten perinteistä fyysistä kanban-järjestelmää käytetään, vaan materiaalin käyttö generoi täydennystarpeen ja johtaa materiaalin tilaukseen digitaalisesti.

Jokaiselle nimikkeelle on vähintään kaksi tavarantoimittajaa riskien ja kustannustason hallinnan vuoksi. Eri toimittajien tai yhden toimittajan mahdollisesti eri tehtailta saapuvia komponentteja ei eritellä kirjanpidossa, vaan ne kirjataan saman nimikkeen varastosaldoon. Materiaalin hallinnassa käytetään dynaamista tarveseurantaa. Siinä uudet komponentit tilataan tavarantoimittajilta tehtaalle siten, että päivittäin ajetaan raportti suunnitellun tuotannon materiaalityöistä, verrataan tehtaalla kirjanpidossa olevaa materiaalisaldoa sekä tavarantoimittajilta vielä tulossa olevia toimituseriä. Näistä saadaan nettotarve, jota materiaalinohjaushenkilöt käyttävät perustana uusien komponenttien tilauksille. Tarvittaessa tilausmääriä hienosäädetään käytettävissä olevien tietojen mukaisesti. Kun tuotannossa tehdään joitain tuotteita suunniteltua aikaisemmin, on dynaamisen tarveseurannan vuoksi erittäin tärkeää, että uusi tuotantoaikataulu päivitetään myös tuotannonohjausjärjestelmään tarvelaskennan oikeiksi lähtötiedoiksi. Komponenttien toimitusaika on 1–60 päivää. Toimitusajan keskiarvo on kuitenkin vain 2–3 päivää, koska lähialueilla on useita tavarantoimittajia, joilta toimituksia saadaan tarvittaessa samankin päivän aikana. Aktiivisia nimikkeitä on noin 4 000. Materiaalinohjaustiimi tilaa valmistettaviin tuotteisiin tarvittavien komponenttien lisäksi myös varaosia ja pakkausmateriaaleja.

Komponentit tilataan jokaiselle käyttöpaikalle omalla tilausrivillään. Tavarantoimittajat merkitsevät tilausrivikohtaisesti toimittamiensa komponenttien käyttöpaikat, jonka perusteella tehtaalla tavarantoimituksen vastaanotto toimittaa komponentit käyttöpaikoilleen tai täydennyspaikoille. Jos niissä ei ole tilaa, erä varastoidaan varapaikalle.

Materiaalin vastaanotossa tehdään kirjaukset tuotannonohjausjärjestelmään komponenttien saapuessa tehtaalle. Seuraava merkintä komponenttien käsittelystä kirjataan järjestelmään, kun kokoonpanija asentaa ne laitteeseen. Tällä välillä komponenttien tarkkaa sijaintia tehtaan sisällä ei ylläpidetä tietojärjestelmissä. Ne voivat sijaita vastaanotossa, laaduntarkistuksessa, tehtaan sisäisissä kuljetuksissa ja useilla kokoonpanolinjojen käyttö- ja täydennyspaikoilla. Materiaalinoijaushenkilöt käyvät päivittäin tarkistamassa kokoonpanolinjojen käyttö- ja täydennyspaikoilla olevien komponenttien määrät varmistaakseen todellisen tilaustarpeen.

3.3.2 Vastaanottoprosessi

Materiaalin vastaanotto on keskitetty tehtaan osaan, joka sijaitsee noin puolessa välissä suorakaiteen muotoista rakennusta. Päivittäin materiaalia saapuu keskimäärin noin 350 lavaa. Se toimitetaan tuotantoon mahdollisimman pian vastaanottotarkistuksen ja pakkausmateriaalien poiston jälkeen. Vastaanotossa poistetaan saapuvan materiaalin kuljetusyksiköistä pääasiassa muovikelmuja ja kiinnitysvanteita. Valtaosaa saapuvasta materiaalista ei lainkaan hyllytetä vastaanoton tiloissa oleviin kuormalavahyllyihin. Kyseisessä hyllystössä on enimmäkseen tavarantoimittajien omistuksessa olevaa materiaalia, pääasiassa kondensaattoreita ja piirikortteja, joilla on pitkä toimitusaika. Nämä materiaalit siirtyvät vasta käyttöön otettaessa Danfoss Drivesin omaisuudeksi.

Komponenttien kuljetusyksiköissä on tavarantoimittajien merkinnät paperitulosteina, joista materiaalinkäsittelijät näkevät mille kokoonpanolinjalle ja mihin varasto-osoitteeseen kyseinen erä on tilattu. Materiaalinkäsittelijät lajittelevat vastaanottoalueella komponenttierät toimitusosoitteiden perusteella halleittain, jotta kuljetukseen käytettävä matka saadaan minimoitua. Lajittelun jälkeen erät toimitetaan kokoonpanon tiloihin.

3.3.3 Materiaalien toimitus kokoonpanoon

Materiaalin toimituksissa vastaanottoalueelta tuotantoon käytetään ajettavia sähkökäyttöisiä pinoamistrukkeja, joilla voidaan käsitellä kahta kuormalavaa samanaikaisesti. Kun ensimmäisenä haarukoille otettu kuormalava on nostettuna ylös, voidaan

tukipyörien rakenteissa olevilla nostimilla käsitellä toista kuormalavaa. Kuormalavat ovat eur-mitoituksella (800 x 1200 mm) ja niissä käytetään usein tarvittava määrä 200 mm korkeita irrotettavia lavakauluskerroksia. Kuormalavoilta materiaalit nostetaan käsin joko toimittajan pakkauksissa tai ilman pakkauksia käyttöpaikkojen läpivirtaus-hyllyihin. Lavat voidaan nostaa myös materiaaleineen kuormalavahyllyjen käyttö- tai täydennyspaikoille.

3.3.4 Materiaalien sijoittelu ja käyttö kokoonpanolinjoilla

Pääosa tehtaan nopeakiertoisista komponenteista varastoidaan kokoonpanotiloissa. Jokaisen kokoonpanolinjan kohdalla, kokoonpanohenkilön työpisteen etupuolella on tarvittavien työkalujen ja tietokonepäänteen lisäksi läpivirtaushyllystä sekä selkäpuolella kuormalavahyllystä. Näissä hyllystöissä varastoidaan komponentit, joita tarvitaan kyseisellä linjalla tehtäviin taajuusmuuttajamalleihin. Komponentit ovat joko tavarantoinnista tulleissa pakkauksissaan tai tehtaan sisäisessä käytössä olevissa muovilaatikoissa, joihin komponentit on läpivirtaushyllystään täydennyksen yhteydessä siirretty. Kokoonpanohenkilö poimii käsin tarvitsemansa komponentit läpivirtaushyllystä ja asentaa ne työn alla olevaan tuotteeseen. Kun komponentteja käytetään, siirtyy läpivirtaushyllystön rullia pitkin painovoimaisesti lisää komponentteja kokoonpanohenkilön saataville. Käyttöpaikkojen lisäksi komponentteja on kuormalavahyllystöissä täydennyspaikoilla. Kuormalavahyllystöjen korkeus on neljä metriä. Tuotantotilojen materiaalihyllystöt on mitoitettu niin, että niissä on tilaa komponenteille kolmen vuoron tarpeisiin. Kokoonpanolinjastokohtaisesti on nimetty työntekijä, jonka tehtävänä on toimia materiaalihenkilönä. Hän huolehtii komponenttien siirroista täydennyspaikoilta niiden käyttöpaikoille, sekä kyseisen kokoonpanolinjasto jätteiden käsittelystä.

Komponenttien käyttö kokoonpanolinjoilla kuluttaa käyttöpaikoilla olevaa varastoa. Tämä luo käyttöpaikalle visuaalisesti havaittavan täydennystarpeen, jolloin sinne siirretään täydennyspaikalta lisää materiaalia. Jos materiaali loppuu käyttöpaikalta, kokoonpanohenkilö voi työpisteellään olevan tietokonepäänteen avulla ilmoittaa pikaisesta täydennystarpeesta. Tällöin kokoonpanoalueella olevaan monitoriin sekä materiaalin vastaanoton käytössä olevaan tablettitietokoneeseen tulee näkyviin kiireellinen täyttötarve. Täydennystarpeen ilmoittaminen on tehty erittäin helpoksi tietokoneeseen

kytketyn Andon-painikkeen avulla. Sen käyttö avaa välittömästi käyttöliittymän, jolla voi helposti raportoida puutteista. Sana andon tarkoittaa perinteistä japanilaista bambukehyksestä ja paperista tehty lyhtyä. Tässä tapauksessa kyse on merkinantovälineestä, jonka avulla pystytään reagoimaan nopeasti ja siten minimoimaan tuotannossa syntyviä erilaisia hävikkejä ja virheitä (Laukkanen 2015). Andon on osa Jidoka-periaatetta, josta kerrotaan luvussa 5.2 Laatu.

Kokoonpanolinjastojen työpisteet ovat käyttötarkoitukseensa modifioituja metallirunkoisia kalusteita, joissa on ergonomiaa parantava sähköinen korkeussäätö. Työpisteissä on kirkkaudeltaan säädettävät valot sekä määrätyt paikat ja tarvittavat telineet ja keventimet työvälineille. Standardoituja ja säädettäviä työpisteitä käytettäessä työvälineet löytyvät helposti ja työ etenee suunnitellulla tahdilla myös työntekijän vaihtuessa.

3.3.5 Paluulogistiikka kokoonpanolinjoilta

Tyhjentyneet kuormalavat lavakauluksineen sekä muovilaatikat kerätään pinoamistrukkeja käyttäen takaisin materiaalin vastaanottoalueelle edelleen käsiteltäviksi. Materiaalintoimittajien ja taajuusmuuttajatehtaan välisessä sisäisessä kierrossa olevat kuljetusyksiköt palautetaan toimittajille uudelleenkäytettäviksi niiltä tulevien toimitusten paluukuljetuksina.

Kokoonpanolinjaston materiaalihenkilön tehtävänä on komponenttien täydennysten lisäksi huolehtia tuotannon jätteet asianmukaiseen käsittelyyn. Tuotannossa syntyviä jätteitä ovat pääasiassa piirikorttien ESD-suojapussit, pahiset pakkausmateriaalit sekä kokoonpanossa käytettävät kertakäyttöiset tarvikkeet. Jätteet lajitellaan eri jakeisiin ja toimitetaan tehtaan kierrätysalueen jäteastioihin ja -puristimiin. Kierrätysalue sijaitsee yhdessä tehtaan halleista, joten kulku sinne tapahtuu sisätiloissa.

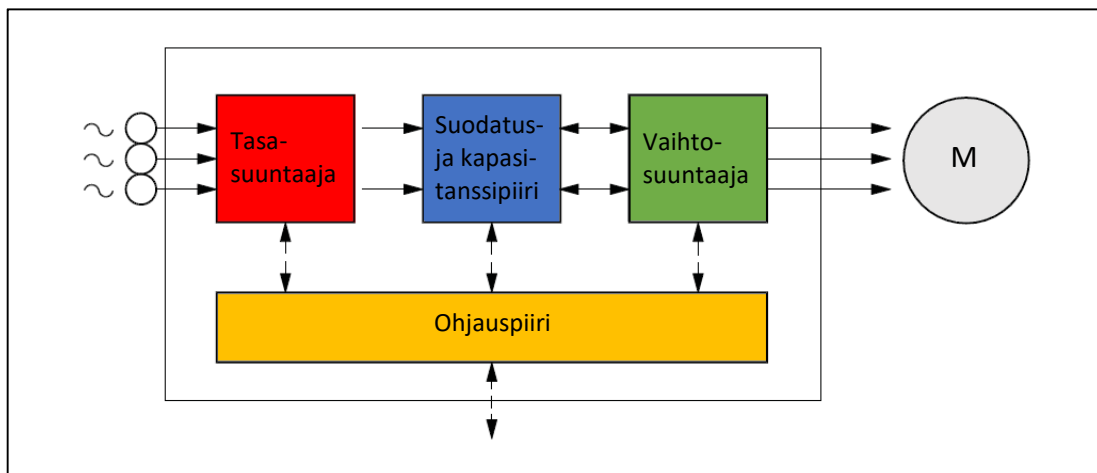
4 KÄSITELTÄVÄT MATERIAALIT

Tuotannon logistiikan kehittämisessä on hyvä ymmärtää riittävästi lopputuotteesta, jotta pystytään huomioimaan tuotannon todelliset tarpeet ja tuottamaan oikeanlaista palvelua. Tässä luvussa tutustutaan yleisesti taajuusmuuttajiin, niiden toimintaperiaatteen sekä niissä käytettäviin komponentteihin. Komponenttien ominaisuudet sekä monimuotoisuus asettavat käsittelylle logistiikassa omat vaatimuksensa.

4.1 Nykyisten tuotemallien komponentit

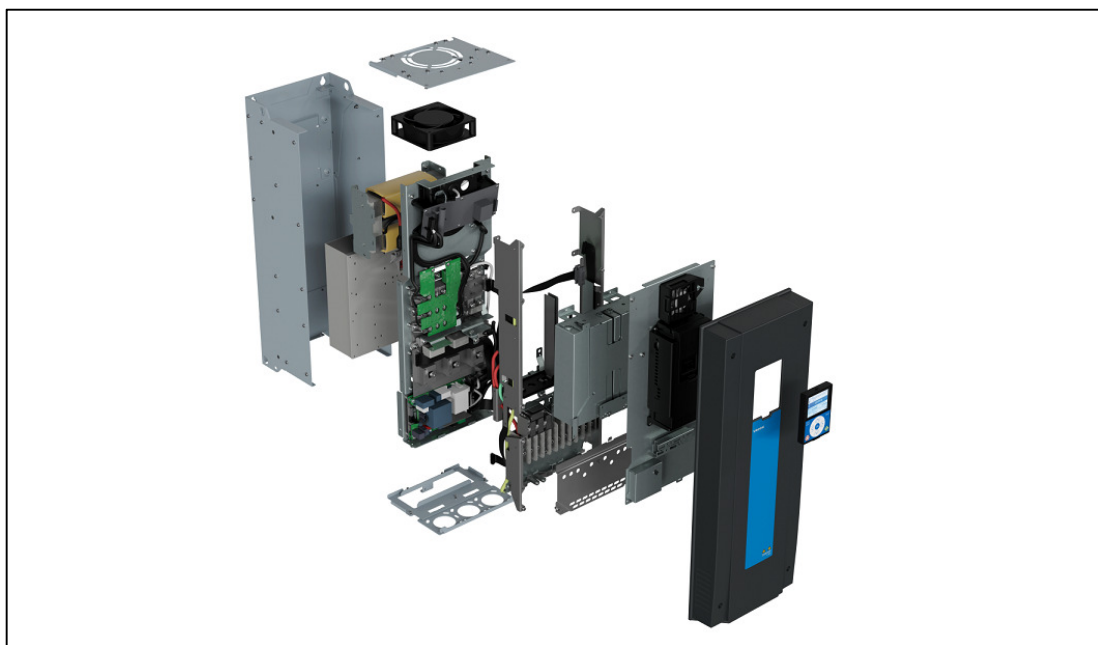
Määritelmän mukaan taajuusmuuttaja (tai taajuudenmuutin) on sähkölaite, joka muuntaa vaihtovirran taajuuden toiseksi. Näin kahden sähköverkon välillä saadaan hallitusti muutettua jännitteen taajuutta ja amplitudia. Tyypillinen taajuusmuuttajan käyttökohde on kytkä se valtakunnallisen sähköverkon ja vaihtosähkömoottorin väliin. Näin taajuusmuuttajalla voidaan portaattomasti ohjata vaihtosähkömoottorin pyörimisnopeutta ja vääntömomenttia prosessin tarpeen mukaisesti. Moottorilla suoritettava prosessi tehostuu, se tarvitsee vähemmän virtaa, on hiljaisempi ja mekaaninen kestävyys paranee. Taajuusmuuttajaa käytettäessä ei prosessin säädössä tarvita vaihteistoa tai puhallin- ja pumppukäytöissä kuristimia. (Bargmeyer ym. 2014, 8.)

Suurin osa taajuusmuuttajista koostuu neljästä osasta (kuva 2). Tasasuuntaajalla muunnetaan kolmivaiheinen syöttövirta tasajännitteeksi. Suodatus- ja kapasitanssipiiri tasoittaa sykkivän tasajännitteen. Vaihtosuuntaajalla muutetaan tasajännite halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi käyttöä varten. Ohjauspiirillä hallitaan taajuusmuuttajan toimintaa. (Bargmeyer ym. 2014, 42–43.)



Kuva 2. Taajuusmuuttajan toimintaperiaate (Bargmeyer ym. 2014, 42).

Komponentit, joista taajuusmuuttaja kootaan (kuva 3), ovat pääasiassa sähkökomponentteja, virtakiskoja ja sähköjohtoja liittimiseen, elektroniikkakomponentteja sisältäviä piirilevyjä, metallisia runko-osia sekä kiinnitystarvikkeita, joista eri mittaiset ruuvit ovat merkittävässä osassa. Valmiiseen tehoyksikköön laitetaan tyypillisesti muovinen etukansi ja laitteen ohjauspaneeli näyttöineen.



Kuva 3. Taajuusmuuttajan osia (Electric Systems and Controls Ltd n.d.).

Tässä työssä materiaalin ja kokoonpanotahdin tarkasteluun on valittu kolme taajuusmuuttajamallia, joiden tuotanto jatkuu vielä vuosia ja joiden rakenne vastaa kohtuullisen hyvin tuotantoon tulossa olevia uusia malleja. Otantaa on perusteltua käyttää automatisoidun materiaalinkäsittelyn konseptin suunnitteluun ja mitoitukseen. Taajuusmuuttaja koostuu noin sadasta fyysisestä komponentista eli nimikkeestä. Osittain samoja nimikkeitä käytetään kokoonpanolinjan eri vaiheissa sekä muiden mallien kokoonpanossa. Tällaisia nimikkeitä ovat pääasiassa kiinnitystarvikkeet sekä yleismalliset sähkökomponentit. Samoista nimikkeistä johtuen kokoonpanolinjoilla on oltava nimikkeille enemmän käyttöpaikkoja kuin yhden laitteen komponenteille tarvittaisiin. Samoilla kokoonpanolinjoilla valmistetaan lisäksi tuotteen eri variaatioita, joihin tarvitaan osittain eri komponentteja. Tämä lisää edelleen käyttöpaikkojen määrän tarvetta.

Taajuusmuuttajissa on lujatekoisten komponenttien lisäksi useita piirikortteja ja kevytrakenteisia liittimiä, joiden käsittelyssä on huomioitava isomman vaurioitumisriskin vuoksi erittäin huolellisen käsittelyn tarve. Taajuusmuuttajien sekä niiden yksittäisten komponenttien käsittelyssä on muutenkin jatkuvasti otettava huomioon staattisen sähkön purkausvaaran eliminointi sekä sähköiskun vaara testilaitteistoon tehtävistä liitännöistä tai mahdollisesti varautuneessa tilassa olevista kondensaattoreista.

Taajuusmuuttajien tehoelektronikassa muodostuu kuormituksen aikana lämpöä, joka on johdettava pois laitteesta. Lämmön siirtymisen tehostamiseksi käytetään tiettyjen komponenttien liitospinnoilla termistä kontaktia parantavaa lämpötahnaa, jota tehtaalla kutsutaan pastaksi sen englanninkielisestä nimestä johdettuna (thermal paste). Pasta levitetään komponentteihin kokoonpanolinjakohtaisesti joko kokoonpanon yhteydessä tai se on tehty valmiiksi ennen kokoonpanovaiheeseen toimitusta. Pastan levityksen jälkeen komponentteja on käsiteltävä pastaan koskematta ja estettävä siihen epäpuhtauksien joutuminen.

Osassa komponenteista halutaan ylläpitää jäljitettävyys, jotta tiedetään mikä komponenttiyksilö on asennettu mihinkin taajuusmuuttajaan. Tällöin komponentista kirjataan yksilöllinen tunniste tuotannon tietojärjestelmään. Käytännössä kirjaus tapahtuu kokoonpanohenkilön skannatessa tunniste komponentista viivakoodilukijalla.

4.2 Suuntaus tulevien tuoteperheiden komponenteissa

Vaasan tehtaassa tuotannossa mukaudutaan markkinoiden tarpeisiin, jolloin se tulevaisuudessa voi uusien tuotemallien osalta painottua fyysisesti pienempien tai isompien mallien suuntaan. Automaation suunnittelussa on otettava huomioon mikäli kokoonpanossa käytettävien komponenttien fyysinen koko tulee keskimäärin kasvamaan ja samalla niiden paino lisääntymään. Kookkaampien komponenttien säilyttäminen käyttöpaikoilla tai varastossa veisi enemmän tilaa ja kokoonpanolinjat olisi mitoittettava niille sopiviksi. Toisaalta kiinnitystarvikkeiden ja muiden pienten komponenttien koko säilynee nykyisellä tasolla. Tuotteiden suurentuessa komponenttien kokovariaatio tulisi siis lisääntymään kasvattaen entisestään tarvetta hallita eri kokoisten komponenttien käsittelyä.

4.3 Komponenttien pakkaukset

Tehtaalle saapuvat materiaalit on pakattu komponenttien käsittelyherkkyyden sekä kuljetusmatkan ja -menetelmän edellyttämällä tavalla. Komponenttien on kestettävä vahingoittumatta niihin kuljetuksessa todennäköisesti kohdistuvat rasitukset. Kustannusten ja ympäristövaikutusten vuoksi pakkauksia ei tule ylittää eli käyttää pakkausmateriaalia tarpeettomasti. Parhaimmillaan lähitoimittajilta tehtaalle tulevat tuotteet ovat pelkässä kuljetusyksikössään ilman lisättyjä suojauksia tai muita pehmuksia. Tällöin komponenttien käsittely ja käyttöönotto on sujuvaa ja se aiheuttaa mahdollisimman vähän lisäarvoa tuottamatonta työtä. Pakkausmateriaali aiheuttaa kokoonpanossa käsittelyn tarvetta sekä tuottaa tiloihin pölyä ja likaa.

5 AUTOMATISOINNIN ODOTETUT VAIKUTUKSET

Logistiikkaprosessien automatisoinnilla tavoitellaan parannusta määrättyihin asioihin. Toisinaan saadaan sivuvaikutuksena positiivista kehitystä myös muualle. Automaatiolla on myös rajoituksensa sekä negatiiviset vaikutuksensa, jotka on syytä tiedostaa. Investointipäätöstä tehtäessä on automatisoinnin kokonaisvaikutus pystyttävä arvioimaan mahdollisimman tarkkaan. Tässä luvussa käydään läpi mihin asioihin ja millä tavalla taajuusmuuttajatehtaan sisälogistiikan automatisointi vaikuttaa.

5.1 Virtaus

Tuotannossa valmistettava tuote voi fyysisesti liikkua tehtaalla sitä jalostettaessa tai se voi pysyä paikallaan ja vain prosessi etenee. Sana prosessi on peräisin latinan kielen sanoista *processus* tai *procedere*, jotka tarkoittavat ”eteenpäin viemistä” (Modig & Åhlström 2013, 27). Prosessissa viedään jotain eteenpäin, jalostetaan eli tuotetaan sille lisäarvoa. Eteenpäin viemistä voidaan kutsua myös virtaukseksi. Virtaustehokkuus kuvaa lisäarvoa tuottavien vaiheiden osuutta prosessissa. Kaikki muu aika on arvoa tuottamatonta eli hukkaa. Virtaustehokkuudessa ei siis ole kyse arvoa tuottavien toimintojen nopeuttamisesta (Modig & Åhlström 2013, 33). Materiaalin lisäksi erilaisissa prosesseissa voi virrata esimerkiksi informaatiota tai vaikka ihmisiä.

Lean-filosofian mukaisesti tavoiteltuna ominaisuutena (tai sivutuotteena) automatisoinnilla saavutetaan materiaalivirran vaihtelun vähenemistä, koska materiaalivirrassa automaation työnopeus on manuaalisiin työmenetelmiin verrattuna huomattavasti vakiompi. Vaihtelu materiaalivirrassa kumuloituu kasvattaen kokonaisprosessin läpimenoaika. Pitkä läpimenoaika, jonka vuoksi ensisijaista tarvetta ei täytetä ajoissa, synnyttää usein uusia toissijaisia tarpeita, joita ei ollut alun perin olemassakaan (Modig & Åhlström 2013, 46).

Automaatioon pohjautuva materiaalivirta on vähäisemmän vaihtelun ansiosta ennustettavampi. Kun prosessin eri vaiheisiin kuluvaan aikaan vaikuttavat inhimilliset tekijät vähenevät, voidaan luotettavammin arvioida kokonaisprosessiin kuluva aika ja mitä sen eri kohdissa tulee tiettyinä hetkinä tapahtumaan. Hyvä ennustettavuus helpottaa materiaalitäydennysten ajoittamista ja resurssien allokointia.

5.2 Laatu

Korkea laatu on organisaatioille strateginen kilpailutekijä. Itse kullakin on erilaisia mielikuvia laadusta ja laatu voidaankin määritellä monilla eri tavoilla. Laatu saatetaan ymmärtää kestävyytensä, toimintavarmuutena ja luotettavuutena. Laadun voidaan katsoa sisältävän myös päämäärän, että tuote tai toiminnot tehdään kerralla oikein. Tuotteen tai palvelun perinteiseen, virheettömään laatuun tähtäävän toiminnan lisäksi kiinnitetään aiempaa enemmän huomiota myös toiminnan laadun jatkuvaan parantamiseen ja kehittämiseen. (Logistiikan Maailma n.d.)

Laatu painottuu pitkälti asiakaslupausten lunastamiseen eli siihen, onko halutunlainen tuote tai palvelu kyetty tuottamaan asiakkaalle silloin ja siten kuin se hänelle on luvattu. Käytännössä siis oikeaan aikaan ja fyysiset tuotteet moitteettomassa kunnossa ja tarvittavilla ominaisuuksilla. Ainoa oikea taho arvioimaan lupaus toteutumista on asiakas. Toimittajan tai palveluntarjoajan mielipiteellä ei juurikaan ole merkitystä, mikäli asiakas kokee, ettei ole saanut sitä mitä hänelle on luvattu. Viimeistään negatiivisen kokemuksen toistuesssa asiakas yleensä harkitsee hankintojensa siirtämistä kilpailevalle toimittajalle. Tästä näkökulmasta prosessia tarkastellen täytyykin ensin selvittää mitä yrityksen sisäinen tai ulkoinen asiakas haluaa. Asiakkaan tarve määrittää lisäarvon. Prosessia täytyy tarkastella asiakkaan silmin ja erotella arvoa lisäävät vaiheet turhista (Liker 2004, 27).

Laatukustannusten alentamiseksi on tärkeää, että tuotteet tai palvelut tehdään kerralla oikein. On kalliimpaa korjata ja oikaista virheitä kuin tehdä ne virheettömästi alun perin. Käytännössä laatukustannusten syntymistä ei voida koskaan täysin estää, mutta oikein kohdennetuilla toimenpiteillä niiden rakenteeseen ja määrään voidaan vaikuttaa huomattavasti. (Logistiikan Maailma n.d.)

Toimintoja automatisoimalla on mahdollista tuottaa tasaista laatua. Lähtökohtaisesti koneen toistot ovat joka kerta identtisiä. Toki on huomattava, ettei tasainen laatu sinällään tarkoita, että se olisi hyvää. Yhtä lailla kone tuottaa tasaiseen tahtiin epäku-ranttia laatua, mikäli se on sellaista laitettu tekemään tai todellisuus ei vastaakaan an-nettuja parametreja. Käytännössä automaattisissa järjestelmissä on aina niin monia muuttujia, että laadussa on jonkin verran vaihtelua ja välillä tapahtuu suoranaisia vir-heitäkin. Tällaisia laatuun vaikuttavia muuttujia ovat esimerkiksi erot käsiteltävissä tuotteissa, koneiden ja kuljetusyksiköiden kuluminen, lika sekä inhimilliset virheet. Automatisoiduissa prosesseissa virheet ovat yleensä toistuvampia, joten juurisyyn jäl-jittäminen ja korjaavien toimenpiteiden määrittäminen ovat helpompia tehdä verrat-tuna manuaalisten työmenetelmien virheisiin.

Valmistavan yrityksen tavoitteena on tuottaa kaiken aikaa tarkalleen määritellyn mu-kaisia tuotteita. Todellisuudessa tavoitetta ei voida jatkuvasti saavuttaa täydellisesti vaikka olisi miten hyvä ja miten kovasti yrittäisi. Hyvin lähelle voidaan päästä, mutta lopputuloksessa on aina hieman vaihtelua. Toisin sanoen, joka kerta tuotteen valmis-tuessa tuotantolinjalta se eroaa hieman kaikista muista tuotteista. Kappaleen mitat ja valmistukseen kulunut aika eivät ole aina täsmälleen sama. (Gygi, DeCarlo & Wil-liams 2005, 18.)

Kun tuotteelle aiheutuu tavaran käsittelyssä fyysinen vaurio, koneellisesti aiheutettuna se on usein vakavampi ja laajempi kuin paljain käsin aikaan saatu. Kun kuljettimella tai robotin käsittelyssä tuote osuu tukirakenteeseen, putoaa tai muuta vastaavaa tapah-tuu, liike-energiaa on yleensä niin paljon, että heikoin kohta antaa periksi ennen kuin liike pysähtyy. Tyypillisesti automaattisissa järjestelmissä on työjonossa useita yksi-köitä, jotka saattavat vaurioituvat ennen kuin järjestelmä pysähtyy tai työntekijä huo-maa sen pysäyttää. Erilaisin tunnistimin on mahdollista nopeuttaa automaattisesti ta-pahtuvaa poikkeaviin tilanteisiin reagointia, mikä yleensä tarkoittaa koneen pysäyttä-mistä. Varsinkin kuljettimilla liikenopeudet ovat kuitenkin usein niin suuria, että odo-tettavissa oleva ongelmatilanne tulisi pystyä ennakoimaan. Esimerkiksi ylitäytetyt kul-jetusyksiköt tai niistä roikkuvat pakkausmuovit on mahdollista havaita tunnistimien avulla useissa kuljettimien kohdissa ja siten välttää myöhemmin aiheutuvat törmäykset tai takertumiset.

Yleensä mikään työ ei ole niin yksinkertaista, että vain yhden asian pitää onnistua. Virheiden mahdollisuuksia on todellisuudessa huomattavasti enemmän. Siksi järjestelmän yksinkertaistaminen on yksi parhaista keinoista parantaa laatua. Järjestelmän monimutkaisuus on tunnusluku, joka kertoo, kuinka monen asian pitää onnistua, jotta kokonaisuus toimisi ensimmäisellä kerralla oikein. Prosessin kokonaissaanto (RTY, rolled throughtput yield) saadaan kertomalla osavaiheiden onnistumisprosentit toisiltaan. Esimerkiksi järjestelmä, jossa on viisi vaihetta (tai viisi asiaa, joiden pitää onnistua) ja kunkin yksittäisen vaiheen onnistumisprosentti on 90: Kokonaissaanto RTY = $0,9 * 0,9 * 0,9 * 0,9 * 0,9 = 0,9^5 = 0,59$ eli 59 %. Jos yhtä vaihetta parannetaan siten, että se toimii erityisen hyvin eli siinä on vain yksi prosentti virheitä, vastaavasti uusi saanto RTY on 64 prosenttia. Jos laadun parannusta ei tehdä vaan karsitaan vaiheista yksi pois, kokonaissaanto on $0,9^4 = 66$ %. (Torkkola 2015, 142.)

On tärkeää, että työntekijät pystyvät heti korjaamaan havaitsemansa riskitekijät ja virheet toiminnan laadukkaan jatkumisen varmistamiseksi. Robottien ja ihmisten yhteistyön hyödyntämisen periaatteesta mainio esimerkki on Toyotan tuotantojärjestelmän keskeinen käsite Jidoka, josta käytetään myös termiä autonomaatio. Siinä inhimillinen äly yhdistetään koneeseen, joka pysähtyy, kun ongelmia ilmenee. Jidoka viittaa kykyyn keskeyttää välittömästi tuotanto mikäli ilmenee koneen toimintahäiriö, laatuvirhe tai muu vastaava poikkeava tapahtuma. Jidoka auttaa estämään virheellisten suoritteiden eteenpäin pääsemistä arvovirrassa, tunnistamaan ja ratkaisemaan ongelmia ja rakentamaan laatua tuotantoprosessiin. (MCS-Management Consulting Services Oy n.d.)

Simuloinniksi kutsutaan menetelmää, jossa jäljitellään todellisen prosessin tai järjestelmän toimintaa (Hokkanen & Karhunen 2014, 214). Automaation simuloiminen on helpompaa kuin manuaalisen työskentelyn, koska tyypillisesti muuttujia on vähemmän ja toiminnot ovat lähes samalla tavalla toistuvia. Siksi myös laatuvaikutukset ovat simulaatiossa tarkemmin ennakoitavissa ja siten toimintoihin on helpompi tehdä laatua parantavia muutoksia.

Logistiikan laatua parantavat vaikutukset muodostuvat automaatiojärjestelmien väsymättömän tarkasta tavasta tehdä oma osuutensa. Virheitä ja vaurioita aiheutuu lähinnä siitä, jos tuotteet eivät olekaan juuri siellä ja siinä muodossa kuin automaatioprosessissa niiden oletetaan olevan. Tuotteet saattavat osua johonkin tai pudota, kun niitä ei päästä käsittelemään suunnitellulla tavalla.

Tavarankäsittelyn automatisointi pakottaa yrityksen hiomaan prosessinsa mahdollisimman selkeiksi. Prosessien selkeyttäminen ja hallinnassa pitäminen parantaa työn laatua, lisää työturvallisuutta sekä lisää toiminnan tehokkuutta muuallakin kuin automatisoiduissa toiminnoissa. Automaation käyttö on jatkuvaa parantamista, kun järjestelmää ja laitteiden ominaisuuksia opitaan kokemuksen karttuessa hyödyntämään tehokkaammin.

5.3 Työturvallisuus

Turvallisuuden edistäminen työpaikalla on järjestelmällistä toimintaa, jossa huomioidaan työvälineet, työympäristö, työmenetelmät sekä organisaation toiminta ja työtavat. Työtapaturmia ehkäistään siten, että tapaturman vaaraa aiheuttavat tekijät tunnistetaan ja poistetaan kokonaan tai, jos poistaminen ei ole mahdollista, vaarat vähennetään mahdollisimman pieniksi. Tapaturmavaaroja tunnistettaessa on huomioitava myös työn tekemiseen liittyvät erityistilanteet, kuten normaalista poikkeavat olosuhteet ja toiminnalliset häiriöt tuotantoprosessissa. (Työsuojeluhallinto n.d.)

Maailmanlaajuisen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liiton laatima standardi SFS-EN ISO 12100 määrittää koneturvallisuuden yleiset suunnitteluperiaatteet, riskien arvioinnin ja pienentämisen toimintamallit. Kyseisen A-tyyppin standardin lisäksi löytyy B- ja C-tyyppisiä, joita sovelletaan erityisten toimintojen tai toimilaitteiden suunnittelussa. B-tyyppin standardit käsittelevät suunnittelijoiden tarvitsemaa perustietoa ja C-tyyppin standardit sisältävät yksityiskohtaisia yksittäisten koneiden tai koneryhmien turvallisuusvaatimuksia (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry 2015). Standardien mukaisesti suunniteltujen, käyttöön otettujen ja huolellisesti kunnossapidettyjen automaatiolaitteiden voidaan katsoa olevan käyttäjilleen ja muille vaikutusalueella oleville oikein käytettyinä turvallisia. Standardin mukaan laitteiden suunnittelussa on

huomioitava myös ennakoitavissa oleva virheellinen käyttö. Ihmisten tietoisesti otamat riskit, huolimattomuus ja ajattelemattomuus ovatkin usein syynä automaatioon liittyvissä työtaturmissa. Turvallisuus on otettava huomioon laitteiden koko elinkaaren ajan eli päivittäisen käytön lisäksi myös niiden käyttöönottoasennuksissa ja käytöstä poistossa.

Kuljettimet ja mobiilirobotit vähentävät materiaalien siirroissa huomattavasti trukkien ja lavansiirtovaunujen käytön tarvetta. Tämä lisää turvallisuutta pienentämällä inhimillisten virheiden mahdollisuutta, kuten muun liikenteen huomioonherpaantuminen tai toisen osapuolen toiminnan väärin olettaminen. Mobiilirobottien lavansiirtovaunuja hitaampi liikenopeus parantaa turvallisuutta vähemmän liike-energian ja sen tarjoaman pidemmän reagointiajan ansiosta. Kuljettimilla materiaali liikkuu pääasiassa muulta liikenteeltä erotetulla alueella.

Mobiiliroboteissa on eri menetelmiin perustuvia tutkia, joilla ne havainnoivat kulku-riteillään olevia esteitä ja havaintojensa perusteella hidastavat, kiertävät esteet tai pysähtyvät odottamaan. Silti mobiilirobotin viedessä materiaalia niin kapeita kulkukäytäviä pitkin, että puristumisvaara on olemassa, on ohjeistettava ettei samassa käytävässä saa olla henkilöitä. Ainoastaan automaation ylläpidon henkilöt saavat välttämättömissä tilanteissa työskennellä mobiilirobotin kanssa samassa kapeassa käytävässä ja heilläkin tulee olla toinen henkilö valvomassa turvallisuutta.

Komponenttien laitossa kuljetusyksiköön ja niitä siitä poimittaessa täytyy huomioida henkilöergonomia. Käytännössä ergonomia on tekniikan ja toiminnan sovittamista ihmisille (Launis & Lehtelä 2011, 19). Keräysasemien ja kokoonpanopisteiden rakenteita suunniteltaessa on huomioitava kuljetusyksikön etäisyys ja asento työntekijään nähden. Kokoonpanopisteellä on huomioitava myös työtason korkeuden säätömahdollisuus ja sen vaikutus kuljetusyksikön sijaintiin.

5.4 Työvoima

Automatisoitaessa manuaalisesti tehtäviä töitä, ovat kustannussäästöt yleensä yhtenä tavoitteena. Säästöä saavutetaan sillä, että automatisoitavista töistä voidaan työntekijöitä vähentää tai siirtää tuottavampiin tehtäviin. Automaation käyttöönoton myötä manuaalisia työtehtäviäkin säilyy ja tulee tarve uusille, muun muassa automaation huollossa ja ylläpidossa. Uusia tehtäviä voidaan ulkoistaa tai niihin voidaan kouluttaa yrityksen omia työntekijöitä. On kuitenkin harhaanjohtavaa keskittyä siihen, kuinka robotiikka ja automaatio voi korvata ihmisiä. On tarkasteltava ennen muuta sitä, kuinka automatisointi tekee kilpailukykyisen ja laadukkaan tuotannon mahdolliseksi. Omaksumalla robotiikkaa ja muita uusia teknologioita, pysytään varmimmin kilpailukykyisinä ja kestäväen kehityksen uralla. Automaation lisääntyminen vaikuttaa ennen kaikkea työtehtävien sisältöön ja lisää siten tuottavuutta. Vuoteen 2030 mennessä robotiikasta ja automaatiosta johtuvan teollisuuden tuottavuuden kasvuksi Suomessa on arvioitu 40 %, mikä tarkoittaa noin 2,6 %:n vuotuista tuottavuuskasvua. (Ventä ym. 2018, 10–87.)

Työ tehostuu automatisoinnissa myös sen keskittämisen myötä. Toissijaisia tehtäviä tehdään tyypillisesti useiden eri henkilöiden toimesta ensisijaisen työn ohella ja se usein keskeyttäen. Näin toissijaisiin työtehtäviin kuluu usein huomaamatta enemmän aikaa kuin keskitettynä yhdessä paikassa tehtäväksi. Pakkausmateriaalien jätehuolto on hyvä esimerkki tehtävien keskittämisestä. Materiaalin vastaanotossa pakkausmateriaalien käsittely vie todennäköisesti vähemmän aikaa kuin tuotannossa useilla eri käyttöpaikoilla ensisijaisen työn ohessa tehtynä.

Automaatiokonseptissa materiaalit varastoidaan pääosin yhdessä paikassa ja sieltä eri kokoonpanolinjoille toimitetut määrät ovat luotettavasti tiedossa. Varastoissa olevien komponenttien määrää ei tarvitse jatkuvasti käydä tarkistamassa, jolloin materiaalinhallinnasta aiheutuvan manuaalisen ja fyysisenkin työn määrä vähenee merkittävästi.

Vaasan tehdasta on jatkettu laajennuksissa pohjoisen suuntaan, jolloin tehtaasta on muodostunut selkeästi suorakaiteen muotoinen. Tästä johtuen kokoonpanolinjojen väliset etäisyydet sekä materiaalien kuljetusmatkat vastaanotosta kokoonpanoon ovat pidemmät kuin neliömäisemmällä alueella. Manuaalisesti ohjattavilla

lavansiirtovaunuilla tehtäviin sisäisiin kuljetuksiin kuuluu henkilötyöaika, jolloin laitetta käyttävä henkilö ei pysty tekemään muuta arvoa tuottavaa työtä. Materiaalien kuljettaminen automaation avulla vapauttaa henkilötyöaika tuottavampiin töihin. Pitkissä kuljetusmatkoissa on saavutettavissa suurin hyöty.

Ihminen on hyvä arvioimaan tilanteita, muodostamaan yleiskäsityksen, tajuamaan asiayhteydet, tunnistamaan malleja ja käyttämään vaistojaan. Sen sijaan ihminen on huono käsittelemään asioita rinnakkain, suorittamaan rutiinitehtäviä, muistamaan yksityiskohtia, luopumaan vääristä päätelmistä ja hallitsemaan stressiä. Näiden ominaisuuksien vuoksi monet rutiinitehtävät kannattaisi jättää koneiden tehtäväksi. Ihmisten on hyödyllisempää tuottaa lisäarvoa niillä ominaisuuksilla missä he koneet päihittävät. Ihminen on konetta kyvykkäämpi, joustavampi, monipuolisempi resurssi moneen vaihtelevaan tehtävään (Ventä ym. 2018, 86).

Kone taas tekee mitä sen on käsketty tehdä. Toistoja toistojen perään ilman taukoja, väsymättä ja keskittymisen herpaantumatta, mutta myös kyseenalaistamatta onko tehtävissä mitään järkeä. Ainakin toistaiseksi robotit ovat heikoilla työtehtävissä, jotka vaativat runsaasti sosiaalista älykkyyttä ja sorminäppäryyttä (Ventä ym. 2018, 56). Kun tulee vastaan tilanne, joka poikkeaa siitä mihin kone on ohjelmoitu, se ei osaa toimia luovasti kuten ihminen. Ongelman ratkaisemiseksi se ei osaa juuri muuta kuin pysähtyä ja lähettää ylläpidolle signaali tehtävänsä keskeytymisestä. Koneen toimintakyvyllä on rajoituksensa ja sen ulkopuolella koneen toiminta joko pysähtyy tai muuttuu epäluotettavaksi. (Honkanen 2016.)

Väestön ikääntyminen on Suomessa lähivuosina nopeampaa kuin monissa muissa maissa. Eliniän pidentyminen ja alhainen syntyvyys johtavat siihen, että väestön ikärakenne muuttuu pysyvästi. Lasten ja nuorten määrä vähenee, työikäinen väestö supistuu ja ikääntyneiden osuus kasvaa. Vuodesta 2016 alkaen on Suomessa syntyvyys ollut kuolleisuutta alhaisempaa ja Tilastokeskuksen ennusteen mukaan näin odotetaan myös jatkuvan. Nettomaahanmuutto ylläpitää väkiluvun kasvua vuoteen 2035 saakka, jonka jälkeen väestön määrän ennustetaan kääntyvän laskuun. (Parjanne 2004, 3; Tilastokeskus 2018.)

Yleisesti varasto- ja kokoonpanotyöhön on jo nykyään haastavaa saada motivoitunutta työvoimaa. Työkäisen väestön väheneminen tulee jatkossa lisäämään rekrytointihaasteita, joten on mietittävä keinoja tarvittavan työvoiman saamiseksi ja sen hyödyntämiseen tehokkaasti. Rutiinitehtäviä automatisoimalla saadaan sekä vähennettyä työvoiman tarvetta, että osoitettua henkilöstölle työtehtäviä, joissa ihmisten kykyjä voidaan myös paremmin hyödyntää. Näin työntekijät kokevat työnsä mielekkäämmäksi ja samalla työkyvyn alenemiseen vaikuttavia riskejä voidaan vähentää. Automatisoitavia tehtäviä kannattaa siis miettiä siltä kannalta, että rutiinitehtävät hoituisivat automaation avulla mahdollisimman itsenäisesti ja ihmisten tehtäväksi keskitettäisiin monimutkaisempia luovuutta ja ajattelua edellyttäviä töitä. Oleellista ei ole pyrkiä 100 %:n automaatio- tai robotiikka-asteeseen, eli täysin autonomiseen tuotantoon, vaan ääripäiden välissä on laaja tehokkaan yhteispelin alue, jossa ihmisten ja koneiden kyvykkyyksistä haetaan parhaita kombinaatioita (Ventä ym. 2018, 83–84).

5.5 Siisteys

Automaation häiriöistä yleensä merkittävä osa johtuu laitteistoon tai toimintaympäristöön kertyneestä pölystä ja liasta. Automaation antureihin ja liikkuviin osiin joutuesaan ne todennäköisesti jossain vaiheessa aiheuttavat häiriöitä ja ylimääräistä kulumista. Koska mobiilirobotit tarkkailevat tutkallaan kulkureittinsä esteettömyyttä, reiteillä olevat roskat ja muut tarpeettomasti säilytettävät tuotteet aiheuttavat vähintäänkin viivettä niiden toimintaan. Jos roskaa ei havaita, mobiilirobotin pyörän alle jäädessään se voi laitteen vaurioitumisen lisäksi heilauttaa haitallisesti kyydissä olevaa kuormaa. Siksi automaation käytössä on tärkeää huomioida siisteyden jatkuva ylläpito, joka on työturvallisuuden, laadun ja viihtyvyydenkin kannalta pelkästään hyvä asia.

Varastoautomaatiota käytettäessä tehtaalle saapuvista pakkausmateriaaleista suurin osa on mielekästä poistaa jo vastaanottokäsittelyssä ja keräilyssä, jolloin niitä toimitetaan tuotantoon asti huomattavasti nykyistä vähemmän. Tämän ansiosta pakkausmateriaalien mukana tai niistä aiheutuen kulkeentuu tuotantoon vähemmän pölyä ja roskaa. Tuotantotilojen sisäilmasta tulee puhtaampaa, jonka seurauksena valmistettaviin tuotteisiin aiheutuu vähemmän häiriöitä, työolosuhteet paranevat ja tuotantotilojen puhtaanapito helpottuu.

5.6 Muunneltavuus

Tuotannossa pyritään isoon volyymiin yksikkökustannusten alentamiseksi. Silti monilla markkinoilla siirtyminen yksilöityihin tuotteisiin ja tuotannon adaptointi vaihtelevaan kysyntään on kasvava trendi. Se asettaa automaation ja robotisaation kasvavien haasteiden eteen. Mitä monimutkaisempi valmistus on, sitä vaativampaa on myös sen automatisointi. (Ventä ym. 2018, 84.)

Automaatiojärjestelmät eivät mukaudu yhtä helposti toiminnallisiin muutoksiin kuin ihmiset, joten jo niiden suunnittelussa kannattaa huomioida ja ennakoida muuttuvat tarpeet. Käsiteltävät tuotteet, tuotantomäärät, tuotannolta vaadittavat palveluajat tai jalostusmenetelmät tulevat lähivuosina todennäköisesti jollain tavalla muuttumaan nykytilanteesta. Vaikka kaikkia muuttuvia tarpeita ei osattaisikaan ennakoida, kannattaa mahdollisuuksien mukaan jättää automatisoitavissakin kohteissa varaa muutosoptioille. Kuljetinratojen linjauksissa voidaan esimerkiksi jättää mahdollisuus lisätä haarautuvia kuljetinosuuksia loogisiin kohtiin. Mobiilirobotit ovat kulkureittiensä ja laitemäärän osalta joustavampia. Niissäkin on huomioitava ainakin ohjausjärjestelmän laajennusvara, mikäli laitteita otetaan myöhemmin käyttöön huomattavasti aiottua enemmän. Järjestelmä kannattaa siis suunnitella skaalautuvaksi, jolloin sitä samalla toimintaperiaatteella toimivana pystytään laajentamaan ja hyödyntämään myös isommassa mittakaavassa. Tarvittaessa järjestelmää on hyvä pystyä myös supistamaan poistamalla siitä tarpeettomaksi käyneitä osia järjestelmän silti säilyessä toimintakuntoisena.

Automaatiojärjestelmien valmistajat tekevät laitteistoistaan yleensä modulaarisia, jolloin eri osia pystyy liittämään yhteen. Käyttäjän kannalta olisi hyvä, jos mekaniikka ja ohjelmistot olisivat yleisten standardien mukaisia, jolloin eri valmistajien laitteiden yhteen kytkeminen on helpompaa eikä asiakas ole sidottu tiukasti tietyn toimittajan ratkaisuihin.

Kun automaation laajuus on skaalattavissa, sen käyttö on mahdollista aloittaa myös pienemmällä mittakaavalla. Siten uuden järjestelmän käytön opettelusta ja todennäköisesti alussa esiintyvistä toiminnallisista häiriöistä aiheutuva riski tuotannolle on rajattu pienemmälle vaikutusalueelle ja helpommin hallittavaksi. Jälkeenpäin

järjestelmää voidaan laajentaa kattamaan merkittävämpi osa tuotannosta. Automaation käytössä volyyimiedut saavutetaan tyypillisesti vasta laajemmalla käytöllä.

Kun manuaalisessa toimintamallissa halutaan vaihtaa kokoonpanolinja toisen taajuusmuuttajamallin valmistukseen, täytyy materiaalin hallinnan näkökulmasta joko tyhjentää läpivirtaushyllystä edellisen mallin komponenteista tai lopettaa hyllyn täydentäminen ja odottaa tyhjenemistä kulutuksen myötä. Joka tapauksessa komponenttien vaihto on manuaalisesti ohjattava erikoistilanne ja kuluttaa ajan lisäksi resursseja lisäarvoa tuottamattomaan työhön.

Automaation avulla komponenttien toimitus kokoonpanolinjalle tarvetta vastaavissa pienissä erissä mahdollistaa nopeammat tuotevaihdot. Komponentteja on kokoonpanolinjalla korkeintaan vain muutaman seuraavan laitteen tarpeisiin. Linjalle saadaan toimitettua helposti ja nopeasti toisen mallin komponentit, kun edellinen komponentti on käytetty. Joustavuuden rajoitteena on kokoonpanon muut seikat eli onko linjalla mahdollista tehdä muita malleja tilan, työtasojen, työkalujen ja testilaitteistojen puolesta. Osalle työkaluista ja kokoonpanossa käytettävistä apuvälineistä on myös mahdollista tehdä siirrettävä yksikkö, jolloin ne voidaan automaation avulla siirtää komponenttien tavoin halutulle kokoonpanolinjalle. Tarjolle tulee myös mahdollisuus tehdä tarvittaessa kokoonpanon eri vaiheet samassa kokoonpanolinjan kohdassa, jos siellä käytettävissä olevia komponentteja vaihdetaan työn etenemisen mukaisesti eräkoon ollessa yksi.

Tilausperusteinen valmistus ilman varastointia aiheuttaa tuotannon volyyymiin jatkuvaa tuotekohtaista vaihtelua, joten komponenttien kuljetuskapasiteetti on mitoitettava vaihteluvälin ylärajan mukaisesti tai ainakin tiedostettava alemmasta kapasiteetista johtuvat riskit. Kuljetusvälineestä riippuen saattaa olla hyödyllistä, jos kuljetustarpeen vähentyessä tai kohdistuessa eri tavalla, myös kuljetuskapasiteettia voitaisiin vähentää, käyttää muihin tehtäviin tai sitä pystyttäisiin kohdistamaan muuttuneen tarpeen mukaisesti.

5.7 Tilankäyttö

Tehokkaampi tilankäyttö on yksi merkittävimmistä tekijöistä automaatioon investoitaessa. Automaatio tuo tilankäyttöön välitöntä tehostusta kahdella tavalla. Materiaalin varastointi on mahdollista pienemmässä tilassa kuin manuaalisessa varastossa, koska käsittelytilaa tarvitaan huomattavasti vähemmän. Toinen tilankäyttöä tehostava tekijä on materiaalin siirtäminen kuljettimien avulla. Kuljettimet voidaan sijoittaa niin, että lattiapinta-ala on joustavasti käytössä lisäarvoa tuottavaan työhön ja aktiiviselle trukki liikenteelle varattua aluetta ei välttämättä tarvita lainkaan. Mobiilirobottien käyttö mahdollistaa tuotannon pienissä erissä dynaamisessa tuotantotilassa vähentäen kokonaistilantarvetta ja tuoden tilankäyttöön joustavuutta.

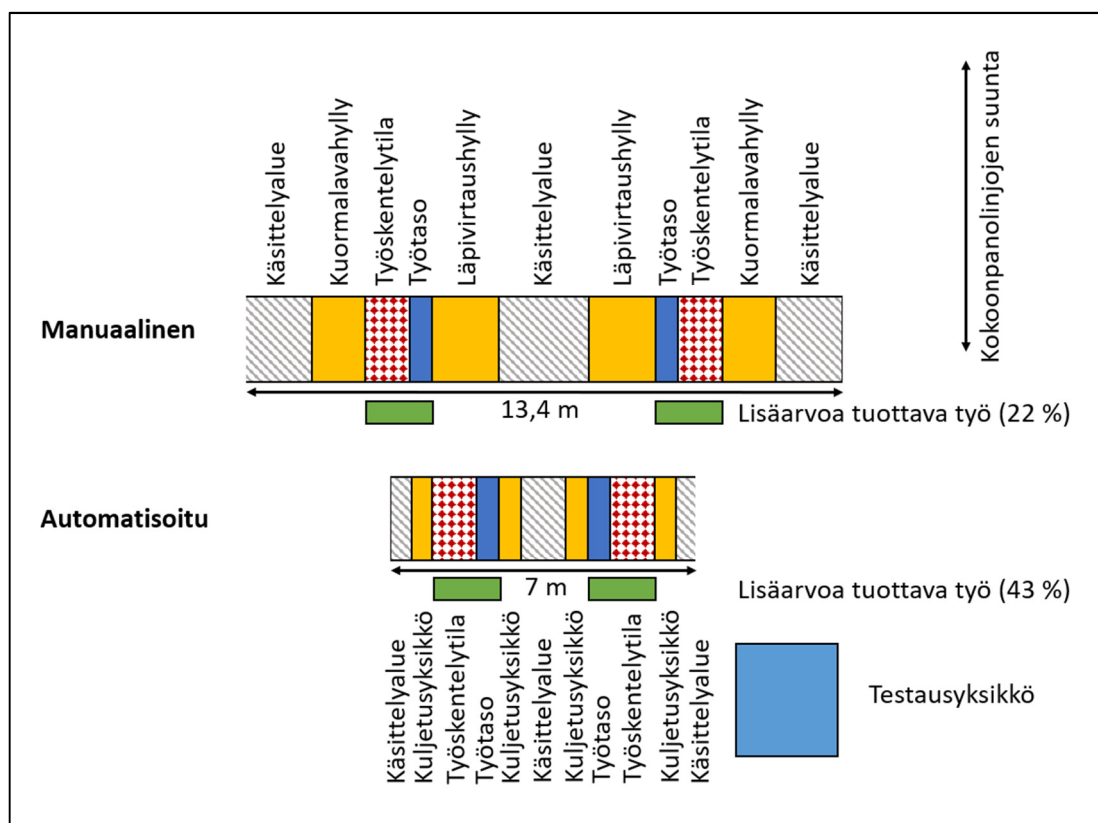
Varastoautomaattia käytettäessä aktiiviset materiaalit kannattaa varastoida siellä. Nimikkeiden varastointi yhdessä paikassa useamman sijaan vaatii vähemmän tilaa, koska jokaisen varastointipaikan yhteydessä on aina jonkin verran käyttämätöntä varastosekä käsittelytilaa. Keskitetyssä varastoinnissa näiden suhteellinen osuus on pienempi. Varastoautomaatin koko määräytyy sen perusteella, kuinka monta eri nimikettä on tarve varastoida sekä mitkä ovat varastoitavien nimikkeiden kappalemäärät ja niiden mitat. Mitoituksessa kannattaa huomioida myös lähivuosille odotettavissa oleva tarve ja järjestelmän laajennusmahdollisuus. Varastoautomaatti voidaan rakentaa sille varattun tilan mittojen perusteella optimaalisen muotoiseksi.

Kuljetusyksiköitä käytettäessä komponenttien sivusuuntainenkin tilantarve kokoonpanolinjoilla vähenee, koska niiden lokerot voidaan mitoittaa toimituserän pakkausten sijaan komponenttien mittojen mukaisesti.

Kun tarvittava erä komponentteja voidaan ketterästi toimittaa mille tahansa tuotannossa, jokaiselle tuotteelle ei tarvita omaa kokoonpanolinjaa. Mahdollisuus valmistaa eri tuotemalleja samoilla kokoonpanolinjoilla vähentää tilantarvetta tuotantotiloissa siinä tapauksessa, että kaikkia malleja ei valmisteta koko ajan täydellä kapasiteetilla.

Kun tuotantotiloissa olemassa olevaa lattiapinta-alaa saadaan automaation avulla vapautettua lisäarvoa tuottavaan käyttöön, vähenee tarve tilojen laajenukselle ja etäisyyttä tuotannon eri yksiköiden välillä saadaan vähennettyä. Tuotantotiloissa lisäarvon

tuottamiseen käytettävissä olevan lattiapinta-alan arvo on huomattavasti enemmän kuin alueen yleinen vuokrataso tehdasneliötä kohden. Kuvassa 4 verrataan piirroksessa pystysuuntaisesti olevien kokoonpanolinjojen poikkipinta-alan tarvetta manuaalisessa ja automatisoidussa toimintamallissa. Se havainnollistaa, että automatisoidussa toimintamallissa kokonaispinta-alan tarve on lähes puolet pienempi. Kun alueet, joissa lisäarvoa tuotetaan (työskentelytila ja työtaso) pysyvät ennallaan, niiden osuus tilankäytöstä lähes kaksinkertaistuu. Kuvassa on mukana myös testausyksikön vaatima tila.



Kuva 4. Kokoonpanolinjojen poikkipinta-alan tarpeen havainnollistaminen manuaalisessa ja automatisoidussa toimintamallissa.

Materiaalien vaatima vähäisempi lattiapinta-ala tarjoaa myös enemmän mahdollisuuksia hyödyntää työskentelytilaa eri tavoin. Esimerkiksi käyttämällä yhteistyörobotia samassa tilassa kokoonpanohenkilön apuna tai automatisoimalla joidenkin kokoonpanovaiheiden tai -linjojen tehtävät kokonaan.

Automatisoinnin myötä tilansäästöä tuo lisäksi prosessien muuttaminen niin, että aiemmin eri paikoissa tehtyjä toimintoja keskitetään. Toiminnoille ei siten tarvitse varata tilaa ja työvälineitä moneen paikkaan. Pakkausmateriaalien käsittely toimikoon edelleen esimerkkinä tilansäästössäkin.

Kuormalavahyllystöjen avulla saadaan materiaalin varastointiin käytettävää tilaa hyödynnettyä tuotantotiloissa myös korkeussuunnassa. Niitä on kuitenkin hankala käyttää joustavasti ja lattiapinta-alaa säästään, koska niiden edessä täytyy olla kuormalavojen käsittelytilaa. Käsittelytilaa voidaan koko korkeudeltaan hyödyntää muuhun käyttöön pelkästään kulkureittinä. Automaattisesti liikkuva ja manuaalisesti ohjattava trukki tarvitsevat suunnilleen saman verran käsittelytilaa. Kuormalavahyllystöissä vaakapalkit, lavojen pystysuuntainen käsittelyvara sekä kuormalavat vievät korkeudesta yllättävän ison osuuden. Esimerkiksi neljä metriä korkeasta hyllystä, jossa lavat ovat neljässä kerroksessa, käsittelytila, palkit ja lavat vaativat yhteensä noin 114 cm eli 28 %. Kuormalavat itsessään toki vievät saman pystysuuntaisen 144 mm:n tilan varastoautomaattisakin, mikäli materiaalit varastoidaan lavoille. Sen sijaan muovisissa automaatiokäsittelyyn sopivissa laatikoissa pohjaosan korkeus on vain 23–33 mm (SSI Schäfer 2019, A16 ja A22).

5.8 Kustannukset

Laajoissa automaatoratkaisuissa välittömät kustannussäästöt edellyttävät riittävää tuotantovolyyymiä, koska investointikustannusten suhteellinen osuus on huomattava. Järjestelmän käytön aikana säästöä kertyy pääasiassa henkilötyö- ja tilakulujen sekä tuotannon laatu- ja yksikkökustannusten alenemisena. Automaatiojärjestelmän käytön aikaiset kustannukset muodostuvat enimmäkseen huolto- ja ylläpitotöistä sekä energian käytöstä. Kustannuksia muodostuu myös järjestelmän elinkaaren lopussa, kun laitteistot puretaan ja hävitetään asianmukaisesti.

Koska suurimmat säästöt yrityksissä ovat monesti saavutettavissa palkkakustannuksissa, ajatellaan helposti automatisoinnin pelkästään vähentävän työvoiman tarvetta. Yhteiskunnan kannalta automaatio ei siis toisi kovinkaan positiivisia näkymiä työllisyysilanteeseen. Kuitenkin automatisointi usein auttaa yrityksiä selviytymään pitkällä

aikavälillä paremmin ja siten turvaa työpaikkoja. Lisäksi yritykset pystyvät automaatiolla kasvattamaan tuotantokapasiteettiaan ja näin työtä syntyy lisää myös manuaaliin työvaiheisiin tai tuotantoa tukeviin työtehtäviin. (Kerminen sähköposti 30.7.2019.)

Toisaalta automatisoidussa toimintaympäristössä työntekijät voivat tehdä työnsä paremmissa ja turvallisemmissa olosuhteissa, kevyemmin, omaa osaamistaan ja taitojaan hyödyntäen ja ennen kaikkea entistä laadukkaammin. Paremmat ja turvallisemmat työolosuhteet vähentävät myös sairauspoissaoloista johtuvia kustannuksia. Teollisuussektori on vielä varsin työvoimavaltainen, ja automatisoinnilla saavutettavan tuottavuuden kasvun potentiaali on tuntuva (Ventä ym. 2018, 74).

Mobiilirobottien toimittajat todennäköisesti haluaisivat Suomeen referenssikohteen, jossa heidän edustamiaan laitteita käytettäisiin aktiivisesti päivittäisessä toiminnassa ja nimenomaan parvina, jolloin tehtävät jaetaan käytettävissä olevien mobiilirobottien kesken. Tämä tarve on hyödyllistä ottaa esiin mobiilirobottoimittajien kanssa käytävissä hintaneuvotteluissa. Lisäksi suomalaisissa yliopistoissa on meneillään kehityshankkeita, joiden kautta on mahdollista hakea osaamisen lisäksi taloudellista tukea kotimaisille investoinneille.

5.9 Komponenttien käsittely

Automatisoiduissa kappaletavarajärjestelmissä materiaalia käsitellään käytännössä aina myös manuaalisesti. Jotta toistuvat rutiinityöt on mahdollista automatisoida, materiaalia joudutaan usein esikäsittelemään. Tämä tarkoittaa esimerkiksi tuotteiden purkamista kuljetuspakkauksistaan sellaisiin varastointiyksiköihin, joita automaatiossa pystytään käsittelemään. Myös varastointiyksiköissä satunnaisissa asennoissa olevien erilaisten tuotteiden keräily on manuaalisesti tehtynä monesti yksinkertaisempaa, nopeampaa ja virheettömämpää.

Prosessissa vaadittavien materiaalin käsittelykertojen määrän lisääntyminen ei välttämättä johdu niinkään automaatiosta, vaan sen mahdollistamasta ohuemmasta materiaalivirrasta. Kun siirrytään pienempien erien tuotantoon, materiaalia on vastaavasti

täydennettävä käyttöpaikoille pienemmissä erissä. Tämä johtaa useampiin käsittelykertoihin, jolloin käsitellään pienempää materiaalimäärää kerrallaan.

Materiaalin vastaanottokäsittely automaattisesti vaatii yleensä tavarantoimittajien kanssa selkeästi sovittua ja yhtenäistä tuotteiden pakkaustapaa. Toisaalta on tavarantoimittajillekin kilpailuetu, jos he pystyvät toimittamaan asiakkailleen komponentit niin, että niitä on vastaanottajan helppo käsitellä automaattisesti. On syytä olettaa, että lähivuosina tulee kasvamaan halu automatisoida materiaalin käsittelyä. Merkittävä osa komponenteista tulee jo nyt Danfoss Drivesin määrittämällä tavalla pakattuina, merkittyinä ja halutun kokoisina erinä.

Tuotteiden robotisoitu kerääminen niin luotettavalla tarkkuudella, että siitä on manuaalisen työn haastajaksi, edellyttää tällä hetkellä markkinoilla olevalla tekniikalla tuotteiden asettelua niin, että ne on helposti tunnistettavissa ja poimittavissa tarttujan avulla. Tuotteet voidaan asettaa alustalle, jossa on paikat tuotteille. Kun tuotteet pysyvät niille varatuissa paikoissa halutussa asennossa ja erillään muista tuotteista, niihin koneellisesti tarttuminen onnistuu myös oletetun sijainnin perusteella eikä esimerkiksi konenäköä tarvita tartuntapisteen määrittelyssä.

Mitä useampien laitteiden täytyy toimia yhdessä, sitä monimutkaisemmaksi käyttö muuttuu. Automaatiossa toimintavarmin on prosessi, jossa robotti voi tehdä työnsä yksinkertaisella tai minimaalisella ulkoisilta antureilta ja ohjaimilta tulevalla palautteella. Prosessista tulee paljon monimutkaisempi, jos tarvitaan kamerajärjestelmiä tai voimantunnistusta osien tunnistamiseen ja poimimiseen, tai palautelaitteita, joilla valvotaan ja hallitaan robotin suorituskykyä ja vuorovaikutusta muiden koneiden kanssa. (Universal Robots 2019, 12.)

Vaikka automaatiolla tai tekoälyllä demonstroidaan yhä huimempia suorituksia, liike-elämän suureen määrään arkihaasteita jää päällimmäiseksi huoli siitä, miten moninaisten tehtävien tekeminen saadaan ylipäättään onnistumaan riittäväällä luotettavuudella tai yleisellä hyväksyttävyydellä. Automaatiota ja robotiikkaa käytetään reaali maailmassa, jonka monimuotoisuutta on usein mahdotonta parhaimmankaan itseoppivan järjestelmän ottaa huomioon. (Ventä ym. 2018, 86.)

5.10 Mielikuvat

Automaation ja robotiikan näkyminen päivittäisessä toiminnassa on myös keino vahvistaa työntekijöille ja vierailijoille muodostuvaa mielikuvaa, että tehtaalla ollaan jatkuvasti tekemisissä viimeisimmän teknologian kanssa. Modernin automaatiotekniikan käyttöä voidaan hyödyntää myös mielikuvissa, joita asiakkaille ja muille kohderyhmille markkinoinnissa ja brändinhallinnassa luodaan.

Kokemuksesta tiedetään, että robottien hankinta vaikuttaa henkilöstöön merkittävästi. Ihmiset ovat kiinnostuneita roboteista ja niiden kanssa mielellään tehdään töitä. Henkilöstö kokee ylpeyttä saadessaan olla töissä yrityksissä, joissa on robotiikkaa ja pitkälle vietyä automaatiota. Se vaikuttaa motivaatiotasoon ja työtyytyväisyyteen merkittävästi. Myös asiakaskunta arvostaa kehittyviä yrityksiä, joilla on robotiikkaa ja pitkälle vietyä automaatiota. Se takaa yleensä sen, että tuotteet ja palvelut ovat laadukkaita ja edullisia. (Ventä ym. 2018, 88.)

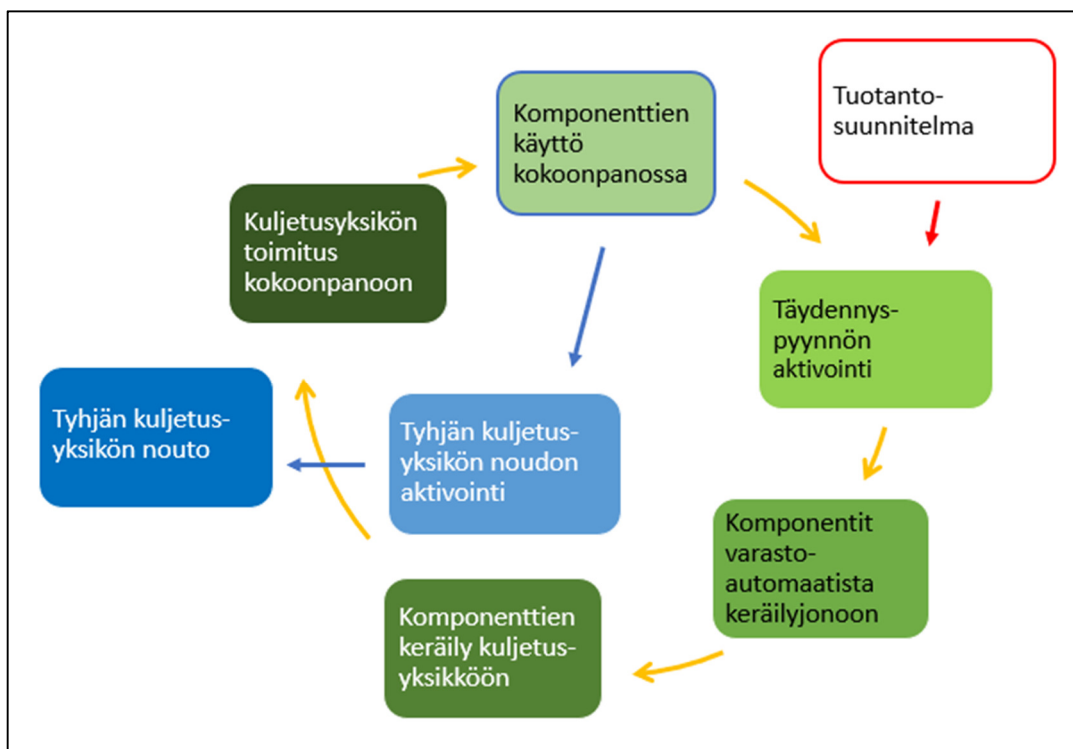
6 AUTOMATISOINNIN MENETELMÄT

Seuraavaksi tutustutaan millä tavalla komponenttien toimitukseen liittyvää sisälogistiikkaa voidaan automatisoida ja mitä automaation suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Erilaisia automaatoratkaisuja on tarjolla melko monipuolisesti, joten niistä on valittu tässä käsiteltäväksi kirjoittajan näkökulmasta toteuttamiskelpoiset.

6.1 Materiaalivirran hallinta

Materiaalien tilaus ja tuotannon ohjaus voidaan automaatiota käytettäessä hoitaa toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmien avulla pääperiaatteiltaan kuten nykyisinkin. Varastopaikkakohtainen varastokirjanpito voidaan tarvittaessa ylläpitää myös varastoautomaatin ohjelmistossa. Tällöin materiaalien varastopaikkana näkyy yleisesti varastoautomaatti.

Yksittäisille tuotantolinjoille täydennyspyynnöt voidaan muodostaa kokoonpanovaiheen tiettyjen komponenttien käyttöönoton perusteella. Kokoonpanovaiheen kuljetusyksiköstä tietty käyttöönotettava komponentti aktivoi täydennyspyynnön kyseisessä kokoonpanovaiheessa seuraavaksi tarvittavalle täydennyserälle. Varastoautomaatissa täydennyspyyntö muodostaa tarvittavien komponenttien varastointiyksiköiden siirron keräilyjonoon ja ohjaa keräilyasemalla komponenttien keräilyä seuraavaan kuljetusyksikköön. Kokoonpanopisteellä olevasta kuljetusyksiköstä viimeisenä käyttöön otettava komponentti aktivoi noutopyynnön tyhjentyneelle kuljetusyksikölle. Täydennyksen aktivoinnin aiheuttava komponentti kannattaa olla muu kuin kuljetusyksiköstä viimeisenä käyttöönotettava. Näin voidaan seuraava kuljetusyksikön keräily ja toimitusprosessi aloittaa ennakkoiden, kun tiedetään kokoonpanovaiheessa kyseisen komponentin asennuksen jälkeen kuluva standardiaika. Kuviossa 3 on havainnollistettu komponenttien ja kuljetusyksikön käsittelyn vaiheita. Materiaalivirran sujuvuuden kannalta on suotavaa tehdä meneillään olevat tehtävät, kuten kokoonpanovaihe ja kuljetusyksikköön keräily, valmiiksi ennen tauon pitämistä.



Kuvio 3. Komponenttien ja kuljetusyksikköjen käsittelyn vaiheet.

6.2 Riskienhallinta

6.2.1 Kapasiteetti

Materiaalin käsittelyyn, varastointiin ja kuljettamiseen käytettävä automaatiotekniikka on mitoitettava sen tuotantovolyymin ja kokoonpanon tahtiaikojen mukaisiksi, minkä arvioidaan tehtaalla tarkastelujakson aikana toteutuvan. Tuotantovolyymin vaihtelun takia kapasiteettiin on hyvä mitoitaa järkeväksi arvioitu varmuusvara.

Mekaanisten ratkaisujen sekä prosessin ohjauksen suunnittelussa tulee huomioida hallintakeinot myös niihin tilanteisiin, kun automaatioprosessissa ilmenee vakava toimintahäiriö tai kapasiteettia täytyy tilapäisesti lisätä yli suunnitellun maksimin. On hyvä jättää mahdollisuus hoitaa myös manuaalisesti työvaiheet, jotka on suunniteltu tehtäväksi normaalisti automaatiolla. Tällöin poikkeustilanteet pystytään hoitamaan nopeasti aiheuttamatta työläästi korjattavia poikkeamia prosessiin, toiminnanohjausjärjestelmään tai materiaalikirjanpitoon.

Oleellinen osa automaation ja etenkin parvessa toimivien mobiilirobottien toimintavarmuuden kannalta on niiden ohjauksessa käytettävän tietoverkon ja langattoman tiedonsiirron viiveetön ja häiriötön toiminta. Tämä edellyttää tiedonsiirtoon käytettävän tekniikan ja kapasiteetin suunnittelua ja mitoitusta lisääntyneen tiedonsiirron tarpeen ja tuotantokriittisyyden mukaiseksi.

Automaatioprosessin ajankäyttöä kannattaa seurata kapasiteetin hallitsemiseksi. Etenkin kaikille tilanteille, jolloin kone tai työntekijä odottaa jotain ennen kuin pystyy jatkamaan työtehtäväänsä, olisi hyvä löytää syyt korjaavia toimenpiteitä varten. Kaikkia tietoja ei ole mahdollista kerätä automaattisesti automaatiojärjestelmistä. Tarvitaan myös työntekijöille helppo tapa raportoida odotusajoista, jolloin he joutuvat odottamaan konetta tai automaatiolaitteita sellaisessa tilassa ettei se jostain syystä pysty jatkamaan, mutta ei ole silti vielä virhetilanteessa. Sen sijaan että ajankäytön manuaaliselle seurannalle luotaisiin jokin uusi järjestelmä, se voidaan integroida tehtaan laadunvarmistusjärjestelmään.

6.2.2 Materiaalin saatavuus

Materiaalin sijoittelun ohjaus kannattaa suunnitella mahdollisuuksien mukaan sellaiseksi, etteivät automaatiolaitteistojen toiminnalliset häiriöt rajallisella alueella seisauta toimintoja sen vaikutusalueen ulkopuolella. Kannattaa varmistaa, että varastoautomaatissa oleviin materiaaleihin pääsee käsiksi häiriön pitkittyessä. Vaikka manuaalisen poiminnan kapasiteetti ei riitäkään täyden tuotannon volyymeihin, kriittisimpien toimitusten komponenttien saatavuus voidaan näin kuitenkin varmistaa.

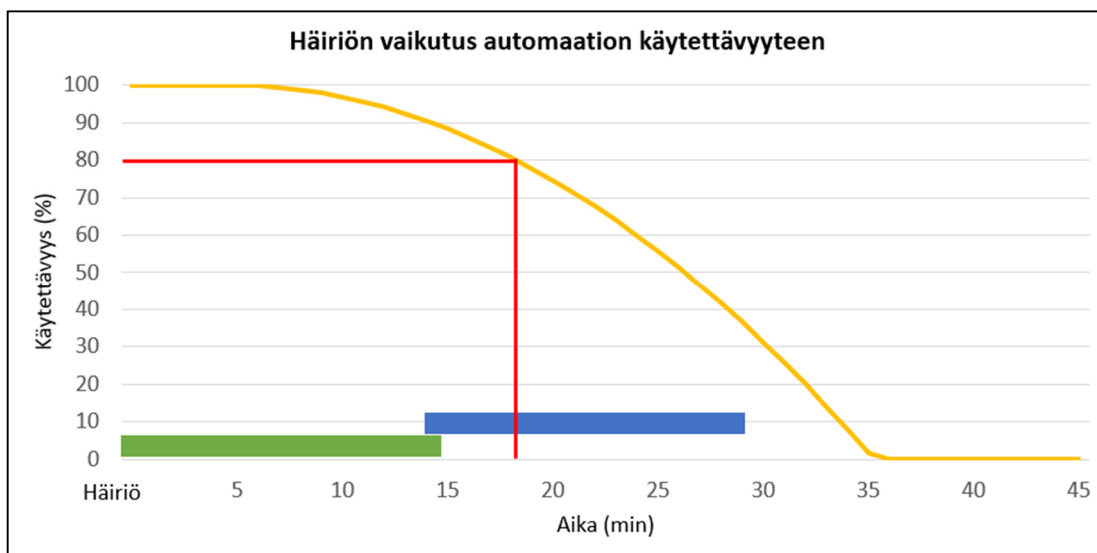
6.2.3 Ylläpito

Automaatio koostuu mekaanisista laitteista, jotka tarvitsevat huoltoa ja ylläpitoa. Ennakoivalla huollolla varmistetaan laitteiden paras käytettävyys ja vältetään tuotannon keskeyttäviä häiriöitä. Myös tietoturva on otettava vakavasti huomioon, sillä automaation toiminnan häirintä tarkoituksella tai vahingossa aiheuttaa merkittävän riskin yrityksen toimintaan, laatuun, palvelutasoon ja maineeseen.

Automaatioprosesseissa on hyvä olla hälytysjärjestelmä sen itse tunnistamista häiriötilanteista sekä tilanteista, jolloin automaation työjono ei jostain syystä ole edennyt asetetun aikarajan kuluessa. Tällöin laite tai järjestelmä on epäilemättä ongelmissa ja tarvitsee ihmisen apua.

Automaation häiriötilanteissa reagointiajalla on huomattava merkitys häiriön vaikutusten laajuuteen. Tuotantoprosessin seisahtuessa häiriön vaikutus kasvaa ajan suhteen eksponentiaalisesti. Vaikutuksen nopeus on järjestelmäkohtainen ja riippuu esimerkiksi välivarastoissa olevan materiaalin määrästä ja häiriön sijainnista prosessissa. Yhden prosessin vaiheen seisahtuessa välivarastoissa olevat käsittely-yksiköt loppuvat pian, jolloin muut prosessin vaiheet jäävät yksi kerrallaan odottamaan häiriössä olevan vaiheen toimintoja. Lopputuloksena on koko prosessin seisahtuminen, ellei häiriötä saada sitä ennen poistettua.

Kuviossa 4 havainnollistetaan kuvitteellisella esimerkillä häiriön ajoissa havaitsemisen tärkeyttä. Esimerkissä ei häiriön ilmetyä ensimmäiseen viiteen minuuttiin käytettävyys (oranssi kuvaaja) alene lainkaan. 18 minuutin kuluttua käytettävyys on vielä tasolla 80 % (punainen kuvaaja), mutta se huononee jokaisen minuutin aikana aiempaa enemmän. Kaksi kertaa pidemmän ajan eli 36 minuutin kuluttua koko prosessi on jo seisahtunut. Automaatioon luodun hälytysjärjestelmän avulla häiriö voidaan huomata heti sen ilmetyä ja ehkä korjaustoimenpiteetkin tehdä ennen käytettävyyden merkittävää huononemista (vihreä vaakapalkki). Ilman hälytysjärjestelmää häiriö huomataan vasta, kun sen vaikutukset alkavat näkyä. Tällöin käytettävyys ehtii korjaustoimenpiteiden aikana laskea dramaattisesti (sininen vaakapalkki, joka alkaa käytettävyyden ollessa 90 %). On myös huomioitava, että pienemmän aikapaineen aikana suoritettut korjaustoimenpiteet tulevat mitä todennäköisemmin tehdyksi huolellisemmin kuin kii-reessä ja tuotannon odottaessa.



Kuvio 4. Kuvitteellinen esimerkki automaatioissa ilmeneen häiriön vaikutuksesta sen käytettävyyteen.

Parvessa toimivien mobiilirobottien yksittäisillä häiriöillä ei ole edellä mainitun laajuista vaikutusta prosessiin, kunhan häiriössä olevalle laitteelle osoitetut työtehtävät siirtyvät automaattisesti toisten mobiilirobottien työjonoon. Tämä edellyttää, että järjestelmä itse tunnistaa häiriön. Toki yksittäinen häiriö vähentää kapasiteettia ja vaikuttaa kuljetuksessa olevan tilauksen käsittelyyn, mutta häiriön vaikutus ei laajene eksponentiaalisesti.

6.2.4 Suojautuminen staattisen sähköön purkauksilta

Jokaiseen tehtaalla koottavaan taajuusmuuttajaan kuuluu useita elektronisia komponentteja. On erittäin tärkeää pystyä hallitsemaan ja välttämään staattisen sähköön hallitsematon äkillinen purkautuminen (electrostatic discharging, lyhenne ESD), sillä se saattaa aiheuttaa komponentteihin vaurioita, joiden seurauksena valmiit tuotteet eivät toimi, ne menevät epäkuntoon myöhemmin tai niissä esiintyy vaikeasti paikallistettavia virhetoimintoja. Staattisen sähköön purkauksessa virta ei yleensä ole suuri, mutta jännite saattaa olla tuhansia voltteja. Ihminen ei edes havaitse alle 3 000 voltin purkauksia, mutta monet yleisesti käytetyt elektroniset komponentit ovat alttiina jo 300-500 voltin jännitteelle tai jopa vähemmälle. ESD-vaurio on usein näkymätön, ja se saattaa läpäistä jopa tuotteen lopullisen testauksen. Jos vaurio on syntynyt, se voi

vaikuttaa tuotteen luotettavuuteen ja käyttöikänsä, mikä tulee kalliiksi sekä asiakkaalle että valmistajalle. Välittömästi havaittavissa olevaa vauriota kutsutaan fataaliksi ja piilevää latentiksi. ESD:ltä suojaudutaan johtamalla staattiset varaukset hallitusti maadoituksen tai varausta poistavan materiaalin kautta sähköjärjestelmän maatasoon. (Treston 2018, 3–7; EOS/ESD Association, Inc. n.d.)

Tehtaan kokoonpano-, testaus-, tavaran vastaanotto- ja lähettämöalueiden lattiat on pinnoitettu sähköä johtavalla ESD-pinnoitteella. Kokoonpanoalueella työskentelevien ja muiden siellä liikkuvien on käytettävä ESD-suojavaatteista ja -kenkiä. Työpisteiden varustus on oltava ESD-hyväksyttyä mikä käytännössä tarkoittaa, että ne ovat puoli-johtavia. Tällöin sähköinen varaus purkautuu lattian kautta. ESD-suojatun alueen lyhenne on EPA (ESD Protected Area). Staattisen sähköön varauksen maadoittaminen on huomioitava myös kaikissa automaatiolaitteissa ja niissä käytettävissä varusteissa. Tyypillisesti niihin saa ESD-suojauksen lisäoptiona. Myös varastolaatikoiden ja kuljetusyksiköiden tulee olla ESD-suojattuja.

6.3 Varastoinnin automatisointi

Varastoautomaatti on tietokoneohjattu varastointi- ja siirtojärjestelmä, joka parantaa merkittävästi tuotteiden varastoinnin ja keräilyn tehokkuutta (Ventä ym. 2018, 30). Se käsittelee varastointiyksiköitä niiden yksilöllisen tunnisteen perusteella. Yleisin ja yksinkertainen tunnistus on viivakoodi, mutta myös RFID-tunnisteita käytetään. Varastoautomaatissa on materiaalin sisään syöttöä varten syöttöasema tai kuljetinrata. Varastoautomaatin sisällä on kuljetin- ja nostinjärjestelmä, jolla varastointiyksiköt viedään varastopaikoille ja noudetaan niiltä keräilyasemille. Varastoautomaattien valmistajat ovat käyttäneet erilaisia teknisiä ratkaisuja, mutta yleisellä tasolla niiden toiminnallisuus on keskenään periaatteessa samanlainen. Erot vaikuttavat lähinnä hintaan, käsittelynopeuteen ja tilankäytön tehokkuuteen. Ominaisuuksiensa perusteella erityyppiset toteutukset sopivat ensisijaisesti erilaisiin käyttötarkoituksiin. Varastointiyksikköinä voidaan käyttää ratkaisusta riippuen varastolaatikoiden lisäksi kuormalavoja, varastointialustoja sekä pahvikolleja.

Varastoautomaatissa tilantarve on pienempi kuin manuaalivarastossa, koska varastointiyksiköiden käsittelyalueiden, eli hyllyjen välisten käytävien, sekä varastopaikkojen välisen keskinäisen etäisyyden tarve on pienempi. Myös nimikkeiden varastointi yhdessä varastopaikassa usean sijaan tarvitsee vähemmän tilaa. Dynaamisesti ohjatussa varastoautomaatissa voidaan käsitellä eri kokoisia varastointiyksiköitä. Muuttuvana dimensiona voidaan käyttää pelkkää varastointiyksikön korkeutta tai myös sen pituutta ja leveyttä. Tällöin yhtenä varastopaikan valintaa määrittävänä parametrinä on käsiteltävän varastointiyksikön mitat. Varastointiyksikkö vie juuri sen tarvitseman kokoiseen varastopaikkaan ja kaikki muu tila automaatista jää edelleen käytettäväksi. Komponenttien varastointi laatikoissa vaatii vähemmän varastointitilaa kuin käytettäessä muotoiltuja tarjottimia. Tarjottimia käytettäessä komponentit vaativat tarkempaa esikäsittelyä niitä vastaanotettaessa tai materiaalin toimittajalla pakattaessa.

Manuaalivarastoon verrattuna varastoautomaatin avulla paranee myös rikosturvallisuus sekä varaston saldotarkkuus, koska siinä materiaalin laittoa ja sieltä pois ottoa voidaan rajoittaa ja hallita ohjausjärjestelmän käyttöoikeuksilla. Automaatin videovalvonta on huomattavasti yksinkertaisempi toteuttaa kuin laajalla alueella olevaan manuaalihyllystään. Materiaalit ovat varastoautomaatista manuaalihyllystään nopeammin kenen tahansa käyttöoikeudet omaavan saatavilla, koska siihen ei tarvita trukinkuljettajan taitoja tai apua eikä varasto-osoitteiston osaamista. Lisäksi työturvallisuuteen ja laatuun positiivisesti vaikuttaa se, etteivät työntekijät liiku jalan hyllyjen ja trukkien välissä.

Varastoautomaattia käytettäessä tuotteiden inventointi eli tuotenimikkeen ja määrän tarkistaminen varastokirjapitoa vastaan, voidaan tehdä tehokkaasti. Yksinkertaisimmillaan tarkistus tapahtuu automaattivarastojen keräilyasemalla silloin, kun varastohjausjärjestelmän mukaan lähdelaatikon pitäisi keräilyn jälkeen olla tyhjä. Järjestelmä pyytää keräilyä visuaalisesti tarkistamaan onko näin. Mikäli laatikossa ei ole tuotteita, keräilyä painaa kuittauspainiketta ja laatikko lähtee asemalta pois. Samalla varastokirjanpitoon rekisteröityy kyseisen varastointiyksikön tarkistetuksi saldoksi nolla ja tarkistustapahtuma kirjataan inventointilokiin. Tarkistus ei vie keräilyltä juuri yhtään enempää aikaa kuin varsinaiseen tuotteiden keräämisen kuluu. Tätä menetelmää kutsutaan nollainventaarioksi. Vastaavasti varastojärjestelmä voi pyytää keräilyä tarkistamaan, että tuotekoodit ja kappalemäärä vastaavat varastokirjanpidossa

olevaa määrää, mutta se vie jo selkeästi enemmän aikaa kuin tyhjän laatikon tarkistaminen. Tämänkin voi ajoittaa hetkiin, jolloin keräilyasemalla on joutilasta kapasiteettia. Saldovirheeksi kutsutaan tilannetta, jolloin varastopaikalla tai varastointiyksikössä olevien tuotteiden määrä tai tuotekoodi ei täsmää kirjanpitoon. Keräily ei ala saldovirhettä selvittämään, vaan lähettää laatikon taholle, joka tekee tarvittavat tarkistukset ja korjaukset kirjanpitoon. Kun käsiteltävien tuotteiden kiertonopeus on riittävä, tulee tyhjentyvät varastolaatikat tarkistamalla ainakin suurin osa tuotteista inventoitua keräilyn ohessa. Vain hitaasti kiertävät ja muualla kuin automaattivarastossa olevat tuotteet täytyy inventoida erikseen. Edellä on kuvattu tilannetta, jossa varastointiyksikönä on varastolaatikko, mutta toimintaperiaate on samanlainen muidenkin varastointiyksiköiden kyseessä ollessa.

Kun varaston täyttöaste on korkea, voidaan varastointitilaa tiivistää siirtämällä eri varastointiyksiköissä olevia samoja nimikkeitä samoihin yksiköihin. Pieniä määriä eri nimikkeitä eri yksiköistä voidaan siirtää samoihin yksiköihin, kun nimikkeet erotetaan toisistaan väliseinillä. Tiivistämistä voidaan tehdä tarvittaessa keräilyasemalla varastonohjausjärjestelmän ohjaamana. Tiivistämisestä on hyötyä niiden tuotteiden kohdalla, joiden kiertonopeus on keskitasoa ja joita on kappalemääräisesti paljon. Nopeimmin kiertäviä ei kannata tiivistää, koska ne kerätään todennäköisesti kohta pois varastoautomaatista. Liikkumattomat tai erittäin hitaasti kiertävät nimikkeet kannattaa siirtää varastoitavaksi muualle kuin varastoautomaattiin.

Sukkulatyypisten varastoautomaattien (kuva 5) käyttö on viime vuosina lisääntynyt niiden nopeuden, suhteellisen yksinkertaisen rakenteen, vikasietoisuuden ja skaalautuvuuden ansiosta. Tämän tyyppisissä varastoautomaateissa on samassa hyllysolassa useita horisontaalisesti varastointiyksiköitä kuljettavia kevytrakenteisia kiskoilla liikkuvia kuljetinvaunuja. Niiden avulla käsittely onnistuu samanaikaisesti solan kaikilla hyllytasolla. Vertikaaliset siirrot eri kerrosten ja hyllytasojen välillä hoidetaan erittäin nopeilla tavarahisseillä. Sukkulat kuljettavat varastointiyksiköitä pelkästään varastopaikkojen ja hissien välillä. Jossakin ratkaisussa sukkulat liikkuvat saman kerroksen eri solissa ja jopa eri kerrosten välillä. Verrattuna klassiseen ratkaisuun, jossa hissiyksiköt liikkuvat myös vertikaalisesti, sukkulajärjestelmässä toimintoja tapahtuu eri puolilla varastoautomaattia samanaikaisesti. Monesta liikkuvasta yksiköstä koostuvassa järjestelmässä ei yhden osan virhetila tai huoltokatko aiheuta merkittävää häiriötä

kokonaisuuteen. Moderniin tekniikkaan perustuvistakin varastoautomaateista on globaalisti niin monia sovelluksia ja runsaasti käyttökokemusta, että niiden toimintavarmuus on kiitettävällä tasolla. Toki monimutkaisen järjestelmän elinkaaren alkuvaihe sisältää aina huomattavan ison riskin sen toimintavarmuuden kannalta. Käyttöönnotossa onkin syytä varmistaa liiketoiminnan kannalta kriittiset toiminnot mahdollisimman hyvin.



Kuva 5. Muovilaatikoita käsittelevän varastoautomaatin sukkuloita (SSI Schäfer n.d.).

Varastoautomaattia ja keräilypisteiden määrää on hyvä pystyä laajentamaan modulaarisesti, jotta järjestelmää voi mukauttaa laajenevaan toimintaan. Varastoautomaatista voidaan johtaa kuljetinradat manuaalisten keräilypisteiden lisäksi robotisoiduille keräilypisteille, jolloin molempia keräilyjä voidaan tehdä samanaikaisesti.

6.3.1 Materiaalin vastaanottaminen

Jos tuotantoon toimitetaan pelkästään siellä lähiminuutteina tarvittavat komponentit, saapuvaa tavaraa täytyy joko säilyttää jossain ennen tuotantoon toimitusta tai jaksottaa toimitukset tulemaan tehtaalle vielä täsmällisemmin imuohjauksella. Joka tapauksessa komponentit täytyy pääosin purkaa pakkauksistaan ja keräillä kuljetusyksiköihin. Molemmat toimenpiteet siirtävät ajankäyttöä prosessissa nykyistä aiemmaksi.

Pakkauksista purkamisen jälkeen saapuva materiaali sijoitetaan varastointiyksiköinä toimiviin muovilaatikoihin (kuva 6), jotka syötetään kuljetinrataa pitkin varastoautomaattiin. Nopeasti kiertävän materiaalin ollessa kyseessä kannattaa tavaran syöttö ja otto toteuttaa erillisiltä käsittelyasemilta, jolloin toiminnot eivät aiheuta toisilleen materiaalivirtaan pullonkaulaa.



Kuva 6. Varastoautomaatissa käytettävä viivakooditunnisteellinen muovilaatikko rullakuljettimella (SSI Schäfer 2019, A26).

Vaikka osa saapuvasta materiaalista olisikin tehokkainta toimittaa kokoonpanoon ilman välikäsittelyä varastoautomaatissa, on yhdenmukaisen prosessin mukaisesti toimiminen laadun kannalta parasta. Poikkeukset ja soveltaminen normaaliprosessin ulkopuolella aiheuttavat virheitä, joiden korjaamiseen kuluu yleensä enemmän resursseja ja rahaa kuin hieman hitaammin, mutta prosessin mukaisesti toimittaessa.

Automaatiokäsittelyäkin voidaan nopeasti kiertävien tai kiireellisesti kokoonpanossa tarvittavien tuotteiden osalta optimoida, kun ohjausjärjestelmässä huomioidaan tuotteen kiertoluokitus tai tilauskanta eli taajuusmuuttajatehtaan tapauksessa kokoonpanon tarve. Komponenttien vastaanotossa varastoautomaattiin ei tarvitse huomioida muuta kuin tuotteen oikeellisuus ja määrä. Käyttöpaikkaa ei tarvitse huomioida. Tavarantoimittajilta ei siis tarvitse tilata tuotteita käyttöpaikkakohtaisesti, joten tilaustapahtumia tulee vähemmän ja komponentit voidaan toimittaa tehtaalle nimikekohtaisissa kuljetusyksiköissä.

Lähitoimittajien kanssa voisi sopia varstolaatikoiden kierrosta toimittajan ja tehtaan välillä siten, että tuotteet voidaan syöttää tehtaalle saapuessaan sellaisenaan varstoautomaattiin. Luotettavien tavarantoimittajien toimituksille kannattaa vastaanottotarkastuksia tehdä pelkästään satunnaisotannalla, jolloin tavarantoimittaja syöttää laatikot itse suoraan vastaanoton kuljetinradalle. Tällöin toimituksen yhteydessä on toimittajalta saatava materiaaleista määrä- ja nimiketiedot laatikkokohtaisesti Danfoss Drivesin varstojärjestelmään.

Muiden tavarantoimittajien osalta vastaanotossa täytyy käsitellä nykyistä huomattavasti enemmän saapuvia lähetyksiä pakkausten purkamisen ja varstolaatikoihin siirtämisen vuoksi. Pakkausten purkaminen, lajittelu ja jätehuolto on keskitetysti yhdessä paikassa tehtynä järjestettävissä tehokkaammaksi ja turvallisemmaksi kuin eri puolilla tehdasta lyhyissä jaksoissa useiden henkilöiden tekemänä. Pakkausmateriaaleista ja kuormalavoista kokoonpanotiloihin kulkeutuvan pölyn ja roskan määrä vähenee parantaen edellytyksiä laadukkaampien tuotteiden valmistukseen, parempaan sisäilmaan sekä vähäisempään siivoustarpeeseen.

Pieni osuus komponenteista ei mittojensa vuoksi sovi varstolaatikkoon. Näille tuotteille ei ole mielekästä kehittää kovin erityistä käsittelyä, vaan ne voidaan toimittaa kokoonpanoon lavakauluksellisilla kuormalavoilla kuten nykyisinkin. Tällaisia komponentteja ovat esimerkiksi runko-osat, joiden pisin sivu on yli 60 senttimetriä. Myös tilavuutensa nähden erityisen painavien komponenttien osalta on syytä harkita, onko automatisoitu käsittely vai perinteinen manuaalinen toimitus kokoonpanoon kokonaisuuden kannalta mielekkäämpi.

Rajatulle vastaanottoalueelle on järjestettävissä hyvät ja turvalliset työolosuhteet, tarvittavat ohjeet sekä valvonta ja opastus, jotka kaikki vaikuttavat työn laatuun ja tehokkuuteen parantavasti.

6.3.2 Materiaalin sijoittelu varastopaikkoihin

Varastoautomaatissa varastopaikka määräytyy ohjausjärjestelmään annettujen parametrien perusteella. Yksi niistä on materiaalin odotettu kierto, jolloin nopeimmin kiertävät tuotteet varastoidaan lähimmäksi keräilyasemia. Vaikka tiettyjen automaatiotarkaisujen kuljettimilla saattavat nopeudet olla hyvinkin suuria ja tuotteet saadaan haetua nopeasti kauempaakin, turhaa kuljettamista on silti lean-filosofian mukaisesti pyrittävä välttämään automaatiOSSakin. Luonnollisesti varastopaikkavaihtoehtoja rajoittaa se, mitkä niistä ovat vapaina. Varastointijärjestelmissä korostuu riskienhallinta varaston ohjauksessa. Aktiivisesti tuotteiden sijoittelua tarkastelemalla saavutetaan nopeampia vasteaikoja tuotteiden käsittelyssä, mutta myös pienennetään häiriötilanteiden vaikutuksia. Esimerkiksi samoja nimikkeitä kannattaa varastoida vähintään kahden eri hissi- ja kuljetinjärjestelmän taakse, jolloin suunniteltu ja varsinkaan suunnittelematon katkos ei todennäköisesti vaikuta materiaalien saatavuuteen. Varastoautomaatissa olevien käsittely-yksiköiden sijaintia voidaan optimoida tulevaa tilauskantaa vastaavaksi esimerkiksi öisin tai sellaisina aikoina, kun varastoautomaatissa ei ole muita tapahtumia. Optimoinnilla nopeutetaan materiaalien saatavuutta silloin, kun toimitusnopeudelle on tuotannossa erityistä tarvetta.

ABC-analyysi on yksinkertainen, mutta tehokas varaston ohjaus- ja valvontamenetelmä. Siinä jaetaan varastonimikkeet ryhmiin, joita valvotaan ja ohjataan eri tavoilla. Valvontaa ja ohjausta kohdistetaan eniten tärkeimpiin ryhmiin ja jätetään muut ryhmät vähemmälle valvonnalle. Yleensä tärkeintä ryhmää nimitetään A-ryhmäksi ja vähiten tärkeintä C-ryhmäksi. Ryhmiä voi olla enemmänkin, viittä ryhmää voidaan pitää suosituksena. Ryhmiin jako on kuitenkin jokaisen yrityksen tehtävä itse omista lähtökohdistaan. Yleensä A-ryhmään valitaan kalleimmat tai muuten liiketoiminnan kannalta tärkeät tai muista syistä erityistä valvontaa vaativat nimikkeet. C-ryhmään valitaan yleensä halvimmat tai muuten merkitykseltään vähäiset nimikkeet. B-nimikkeet sijoituvat ominaisuuksiensa puolesta A- ja C-nimikkeiden väliin. Varaston ohjauksen

näkökulmasta A-nimikkeet kannattaa yleensä varastoida lyhimmän kuljetusetäisyyden päässä tarvepaikasta. Jaottelua täytyy aktiivisesti päivittää tuotteiden, markkinoiden ja olosuhteiden muuttuessa. (Tikka 2016, 52.)

6.4 Komponenttien keräily tuotantoon toimitettavaksi

6.4.1 Keräilyasema

Keräily jaetaan usein dynaamiseen ja staattiseen. Dynaamisessa keräilyssä tavarat pysyvät paikoillaan ja keräilijä liikkuu niiden luokse. Staattisella keräilyllä tarkoitetaan menetelmää, jossa tavarat tulevat esimerkiksi kuljetinradalla keräilijän luokse. Tällöin keräilijä pysyy paikoillaan ja poiminta tapahtuu esimerkiksi valojen ohjaamana hänen eteensä tuodusta varastointiyksiköstä. Keräilijän tehtäväksi jää poimia haluttu kappalemäärä ja sijoittaa se varattuun kuljetusyksikköön, joka voi olla lava, laatikko, rullakko tai vastaava. (Hokkanen & Virtanen 2016, 36.)

Keräilijän liikkuminen tuotteiden luo ei tuota lisäarvoa. Tämä on huomioitava vaikka siirtymiseen tarvittava matka olisi lyhytkin, mutta se toistuu usein. Siksi kiinteän keräilypisteen käyttö on tehokkaampaa kuin komponenttien keräily usealta varastoautomaatin käyttöaukolta. Kun taajuusmuuttajien tuotannon eräkokoja pienennetään, keräilytapahtumien määrä kasvaa niin, että keräämiseen käytettävä aika on kohdistettava liikkumisen sijaan lisäarvoa tuottavaan keräilyyn. Tämä on saavutettavissa sellaisen varastoautomaatin avulla, jossa kerättävät tuotteet saadaan tuotua keräilijän luo tiettyyn pisteeseen sellaisella tahdilla, ettei hän joudu lainkaan odottamaan tuotteita.

Keräilyasema on työpiste, johon kerättävät materiaalit tuodaan kuljetinrataa käyttäen varastoautomaatista työntekijän eteen (kuvat 7 ja 8). Tietojärjestelmän näyttöpäätte tai keräilyvalot osoittavat montako kappaletta kyseistä nimikettä tulee kerätä. Keräilyasemalla työskentelevä henkilö nostaa tuotteet yleensä käsin lähdeyksiköstä kohdeyksikköön. Kohdeyksikkö on laatikko tai muu järjestelmä, jota käytetään materiaalin kuljettamisessa eteenpäin. Keräilyn yhteydessä voidaan tehdä jotain lisäarvoa tuottavaa, kuten kerättävien tuotteiden sarjanumeroiden kirjaamista tai pakkaamista. Rajatulle keräilyalueelle on järjestettävissä hyvät ja turvalliset työolosuhteet, tarvittavat ohjeet

sekä valvonta ja opastus, jotka kaikki vaikuttavat työn laatuun ja tehokkuuteen parantavasti. Myös ergonomiaan on keräilyasemalla helpompi ja edullisempi panostaa kuin laajemmalla työskentelyalueella. Keräilytyössä tulee runsaasti toistoja, joten kierto-
liikkeiden minimointiin täytyy kiinnittää erityistä huomiota.



Kuvat 7 ja 8. Keräilyasema, jossa on kerrallaan yksi lähdeyksikkö ja yksi kohdeyksikkö, ohjausmonitori sekä keräilyn kuittauspainike (Dematic n.d.).

Jos keräilyasemia on useita, materiaalin ja keräilyn ohjaus kannattaa toteuttaa siten, että niissä kaikissa voidaan kerätä minkä tahansa toimituspyynnön materiaalit. Keräilyasemassa on myös pystyttävä keräämään sekä manuaaliseen kokoonpanoon, että robottikokoonpanoon meneviin kuljetusyksiköihin.

Ihmisen on helppo hahmottaa missä kohtaa ja missä asennossa poimittava tuote on varastolaatikossa. Lisäksi hän huomaa luonnostaan, jos tuotteen päällä on roska, toinen tuote tai täytemateriaalia. Hänen on helppo tarttua käsin tuotteeseen ja nostaa ne kohdelaatikkoon. Vastaava suoritus on robotille varsin haasteellinen ja kaikenlaiset häiriötekijät aiheuttavat helposti tilanteen, mistä kone ei selviydy tai tuote pääsee putoamaan tarttujan otteesta. Automaattisessa keräilyssä suurimpia haasteita onkin kerättäviin kappaleisiin tarttuminen niin luotettavasti, että jokainen poimintakerta onnistutaan tarttumaan juuri haluttuun määrään tuotteita ja pidettyä ne robotin tarttujassa hallitusti kohdelaatikon kohdalle asti. Robotin tartunnan onnistumista helpottaa, jos varastolaatikoita pidetään kaiken aikaa sellaisena, että tuotteet ovat järjestyksessä eikä laatikoissa

ole epämääräisiä täytemateriaaleja ja vastaavia. Käsiteltäessä toistuvasti samanlaisia säännönmukaisia kappaleita, kannattaa tehdä tuotteille käsittelyalusta, jossa on paikat kullekin tuotteelle. Tällaiselta alustalta, eli tarjottimelta, robotin on huomattavasti helpompi poimia tuotteet tarttujallaan.

6.4.2 Komponenttien jäljitettävyys

Osassa komponenteista halutaan ylläpitää jäljitettävyys, jotta tiedetään mikä komponenttiyksilö on asennettu mihinkin taajuusmuuttajaan. Tällöin komponentista kirjataan yksilöllinen tunniste tuotannon tietojärjestelmään skannaamalla se komponentista viivakoodilukijalla kokoonpanohenkilön toimesta.

Komponenttien keräilyn yhteydessä sarjanumeroiden skannauksessa luotettava jäljitys säilyy ainoastaan eräkoon ollessa yksi. Tällöin skannattu komponentti tullaan asentamaan juuri kyseisen kerätyn erän tuotteeseen, mikäli virheitä ei tapahdu. Useamman komponentin sarjanumeroseuranta onnistuu vain, jos tuotteet voidaan kerätä kuljetusyksikköön niin, että kokoonpanija ottaa kaikki sarjanumeroseurattavat komponentit käyttöön halutussa järjestyksessä. Tällöin inhimillisen virheen mahdollisuus on vaikea sulkea pois vaikuttamatta negatiivisesti keräily- ja kokoonpanotyön tehokkuuteen.

6.5 Komponenttien toimitus tuotantoon

6.5.1 Kuljetusvälineen mitoitus

Kuljetusvälineen on pystyttävä kuljettamaan kerrallaan vähintään yhtä kuljetusyksikköä, jossa on taajuusmuuttajan komponentteja 5-10 laitteeseen. Kuljetusyksikkö komponentteineen muodostaa tietyn kokaisen ja painoisen kokonaisuuden, jonka painopiste ei todennäköisesti ole sen keskellä. Kuljetusvälineen kantokyky on syytä mitoittaa hieman tällä hetkellä tunnistettua tarvetta isommaksi, jotta komponenttien yhteispainon lisääntyminen tai kuljetusyksikköön myöhemmin mahdollisesti tehtävien muutosten lisäämä paino eivät ylitä kantokykyä. Mitoituksen perustuessa suuremman kokuokan taajuusmuuttajien komponentteihin, kuljetusyksikköön sopii enemmän

pienemmän kokoluokan komponentteja. Tuotantoerän ollessa isompi kuin suurin kuljetusyksikköön komponenttien mittojen ja painon puolesta sopiva toimituserä, täydennystoimitukset on jaettava sopivan kokoisiin osiin.

6.5.2 Kulkureitit

Komponentteja on tarve kuljettaa tehtaan sisällä materiaalin vastaanottoalueelta tai komponenttivarastosta kokoonpanolinjoille juuri tiettyjen kokoonpanovaiheiden kohdalle.

Tehtaan kulkureiteillä ja tuotantoalueella liikkuu henkilöitä muun muassa jalan, potkulaudoilla, lavansiirtovaunuilla, pinoamisvaunujen ja materiaalivaunujen kanssa sekä ajettavalla lattianpesukoneella. Liikkumiseen ja tavarankäsittelyyn tarkoitettut alueet pidetään pääsääntöisesti vapaina esteistä, mutta tuotantoon liittyviä lavoja tai vastaavia esineitä alueilla saattaa tilapäisesti olla. Tällöinkin kulkeminen pyritään pitämään mahdollisena esimerkiksi niin, että este on kierrettävissä. Tilapäisten esteiden vaikutuksesta kulkureitit varastosta kokoonpanolinjoille välillä muuttuvat, joko toista kautta kuljettavaksi tai este väistään kulkulinjaa muuttamalla. Työturvallisuus on etusijalla myös tehtaan sisäisessä liikenteessä.

Tuotantomenetelmiä kehitettäessä ja vaikutettaessa tuotantokapasiteettiin markkinoiden muuttuessa, on tuotantotiloissa ajoittain tarve tehdä muutoksia kokoonpanolinjojen asemointiin ja materiaalin virtaukseen. Muutokset johtavat tarpeisiin päivittää myös kulkureittejä sekä komponenttien sijoittelua kokoonpanolinjoilla.

Vaikka tällä hetkellä tuotantotiloissa ei ole merkittäviä kynnyksiä tai korkeuseroja, on niihin varautumista kuljetusvälineen valinnassa syytä harkita. Esimerkiksi tulevien tuotantotilojen muutosten myötä saattaa tulla tarve siirtyä lattiatasolta jonkin korkeuden yli tai sen päälle, jolloin kuljetusvälineen olisi syytä kyetä siirtämään materiaalia ainakin loivaa luiskaa pitkin.

Lattiassa olevat merkittävät epätasaisuudet voidaan merkitä mobiilirobottien ohjausjärjestelmän navigointikarttaan, jotta ne osaavat hidastaa tai kiertää huonot paikat. Huomioitavien tai korjausta vaativien lattian kohtien kartoitusta voidaan tehdä säännöllisesti ja aktiivisesti mobiilirobotteihin ja manuaalikäyttöisiin trukkeihin asennettavilla pystysuuntaista kiihtyvyyttä mittaavilla antureilla rekisteröimällä tärähdysten voimakkuuksia, havaintojen sijainteja ja niiden toistumistaajuutta.

6.5.3 Energianlähde

Koska kuljetusvälineen käyttö tapahtuu tehtaan sisätiloissa, sen on oltava päästötöntä ja muutenkin mahdollisimman vähän työympäristölle häiriöitä aiheuttavaa. Sen vuoksi kuljetusvälineestä aiheutuva melu on oltava vähäistä. Toisaalta hiljaisen kuljetusvälineen on annettava signaaleita esimerkiksi äänen tai valon avulla silloin, kun se on tarpeen työturvallisuuden lisäämiseksi. Esimerkiksi laitteen liikkeelle lähtö tai sen saapuminen näköesteen takaa voivat aiheuttaa merkinantotarpeen. Käytännössä ainoa vartenotettava vaihtoehto käyttöenergiaksi on sähkö. Kuljetusvälineelle sähkönsyötömahdollisuudet ovat kiinteä kaapeli, liikkuvaan kohteeseen ajojohtimen avulla tai energian varastointi akkuun.

6.5.4 Kuljetuksen ratkaisuvaihtoehdot

Kuljetinrata koostuu moduuleista, joissa on sähkömoottorikäytöllä pyörivä hihna tai peräkkäin asennettuja toisiinsa vetohihnalla kytkettyjä rullia, joiden päällä kappaletavara kulkee haluttuun suuntaan (kuva 9). Kuljettimissa on tarvittavissa kohdissa kaarteita, nousuja, laskuja, sivuttaissiirtokohtia, pysäyttimiä, kulkuportteja ja muita vastaavia moduuleista, jotta kuljettimilla saadaan siirrettyä materiaali haluttuun paikkaan sekä tarvittaessa muuttamaan materiaalin järjestystä tai välivarastoimaan materiaalia ennen käyttö- tai käsittelypaikkoja. Kuljettimien runkorakenne on yleensä kiinteä, joten merkittävien muutosten teko vaatii toiminnan keskeyttämistä ja asennusaikaa mekaanisten muutosten tekoon sekä ohjausjärjestelmän päivitykseen. Kuljetin on hyvä vaihtoehto silloin, kun suuria määriä materiaalia on jatkuvasti siirrettävänä kahden vakiopisteen välillä (Hokkanen & Karhunen 2014, 145). Kiinteät kuljettimet eivät tue tuotannon ketterää muuttamista vastaamaan kulloisiakin tarpeita.



Kuva 9. Kuljetinratoja (Direct Industry n.d.).

Mobiilirobotti on kuljetinrataa dynaamisempi vaihtoehto. Se on sisätiloissa lattialla omatoimisesti liikkuva materiaalia kuljettava laite, jonka ohjauksessa käytetään joko lattiaan tehtyjä merkintöjä tai laite havainnoi itsenäisesti suunnittelemaansa kulkureitillä olevia esteitä (kuva 10).

Tällä hetkellä mobiiliroboteista ja automaattitruckeista käytetään vaihtelevia nimityksiä. Lattiaan merkittyä linjaa seuraavia laitteita kutsutaan vihivaunuiksi, mutta lähes kaikista muista malleista käytetään yleisnimitystä AGV (automated guided vehicle), jolloin on syytä olla tarkkana minkälaista laitetta milloinkin tarkoitetaan. Kuormalavaa, varastolaatikkoa tai muuta kuljetusyksikköä kyydissään kantavaa tai materiaalin siirrossa käytettävän vaunun avulla kuljettavia laitteita kutsutaan yleisesti mobiiliroboteiksi. Nostohaarukoissaan kuormaa kantavaa laitetta kutsutaan automaattitruckiksi. Käytännössä samalla toimintaperiaatteella toimivista laitteista eri valmistajat käyttävät erilaisia englanninkielisiä nimityksiä ja lyhenteitä, kuten autonomous intelligent vehicles (AIV), optical guided vehicles (OGV), laser guided vehicles (LGV), inertia guided vehicles (IGV), intelligent autonomous vehicles (IAV) ja mobile robot. Nimitykset viittaavat osittain tekniikkaan, jolla laite havainnoi sijaintiaan.



Kuva 10. Mobiilirobotteja erilaisilla päällirakenteilla (Mobile Industrial Robots n.d.).

Suurimmat mekaaniset erot ovat esteitä havainnoivien järjestelmien sekä liikkumiseen ja suunnan muutoksiin käytettävien pyörien tekniikka ja määrä. Perusrakenteeltaan mobiilirobotit ovat yleensä melko matalia, yläpinnan ollessa alle 500 mm korkeudella. Joidenkin valmistajien ratkaisuissa kuorman käsittelylaite on huomattavasti alempana ja laitteen pääasiallisessa kulkusuunnassa olevassa päässä on korkeampi osa, mihin akusto sekä ohjaus- ja navigointitekniikka on sijoitettu. Rakenteesta riippuen laitteella voi kantaa kuormaa, vetää perässään yhtä tai useampia toisiinsa kytkettyä vaunua tai nostaa ja kantaa kuormia nostohaarukoissaan. Vaunuja siirtäviä tai nostohaarukoilla varustettuja mobiilirobotteja lukuun ottamatta ne tarvitsevat yleensä jonkinlaisen telineen kuorman otto- ja jättopaikalle. Tällöin ne tarvitsevat myös jonkinlaisen päällirakenteen kuorman käsittelyyn. Se kiinnitetään mobiilirobotin päälle ja voi olla esimerkiksi lyhyt rulla- tai hihnakuljetin, nostin tai vaikka käsivarsirobotti. Kuormankäsittelylaitteet ja muut lisälaitteet on mahdollista asentaa myös vaunuun, jotka mobiilirobotti tarvittaessa liikuttaa. Teolliseen käyttöön tarkoitetuilla mobiiliroboteilla on kantavuutta kuudestakymmenestä muutamiin satoihin kilogrammoihin asti ja tarvittaessa

enemmänkin. Päällirakenteiden paino ottaa osansa laitteen kantavuudesta. Lisää kantavuutta saadaan käyttämällä mobiilirobotin päällä apuvaunua, jonka pyöriin kuorman paino kohdistuu kokonaan tai osittain. Kuorman painopisteen sijainti ollessa korkealla, vaaditaan käytännössä mobiilirobotilta enemmän kantavuutta, jotta painopiste pysyy sallitulla alueella. Taajuusmuuttajatehtaalla kantavuustarve riippuu halutun toimituserän maksimikoosta sekä päällirakenteen ja kuljetusyksikön rakenteesta.

Useimpien mobiilirobottien liikkuminen tapahtuu pelkästään eteen- ja taaksepäin. Ne eivät pysty siirtymään sivuttain kääntymättä. Kääntyminen tapahtuu joko ohjaavien pyörien suuntaa muuttamalla tai eri puolten vetopyörien pyörimisnopeuden eroa ohjaamalla tai niiden pyörimissuuntaa vaihtamalla silloin, kun on tarve kääntyä paikallaan. Tiettyjen valmistajien mobiiliroboteissa ohjataan kaikkien pyörien suuntaa, jolloin liikkuminen on mahdollista horisontaalisesti kaikkiin suuntiin.

Navigoinnissa yksinkertainen ratkaisu on tehdä lattiaan merkinnät, joita laite liikkueksaan seuraa. Merkinnät voidaan tehdä visuaalisesti näkyville tai piilottaa näkymättömiin. Näkyville jääviä vaihtoehtoja ovat teippaukset ja magneettiset tai valoa heijastavat teipit. Näkymättömästi reitit voidaan merkitä upottamalla lattiaan magneetteja tai magneettista tai induktiivista kaapelia, jotka laite tunnistaa ja käyttää ohjauksessaan. Lattiaan upotettavan kulkuradan muuttaminen on hankalaa, joten tällaisen järjestelmän käyttö on mielekästä silloin, kun järjestelmän on tarkoitus pysyä kiinteänä koko toimintansa ajan (Hokkanen & Karhunen 2014, 146).

Autonomisessa ratkaisussa laitteessa itsessään on ohjelmoitu kuljettavan alueen pohjakartta, johon on asetettu sallitut ja kielletyt kulkualueet sekä muut rajoitukset. Pääsääntöisesti laitteessa on pyöriensä kierrosten laskentaan perustuva sijaintitiedon ylläpito, jota tarkennetaan ympäristöä havainnoivilla kameroilla tai tutkalla. Sijaintia voidaan tarkentaa sijoittamalla RFID-tunnisteita tai heijastimia tiettyihin kohtiin kulkureittejä. Ylös suunnatun kameran avulla voidaan paikannusta tarkentaa kattovalaisimien sijainteja havainnoimalla. Laitteelle annetaan määränpää, johon se pystyy liikkumaan sallitulla alueella itse kulkureittinsä suunnitellen. Kulkureittejä on mahdollista ohjata lisäämällä reiteille välipisteitä. Liikkuessaan laite havainnoi kulkureiteillään olevia esteitä ja toimii havaintojensa perusteella ennalta asetettujen toimintamallien mukaisesti esimerkiksi muuttamalla kulkureittiään kiertääkseen esteen. Kulkureitit

ovat näin dynaamisia eli voivat muuttua olosuhteiden tai tarpeiden muuttuessa. Ympäristöä ja esteitä havainnoidaan tutkalla, joka mittaa pelkästään etäisyyttä kohteisiin eri suunnissa tietyllä korkeudella. Laite ei siis tunnista näkemäänsä ja hahmota yhdellä silmäyksellä kokonaisuutta, kuten ihminen.

Tarkkuutta vaativissa paikoituksissa on joidenkin valmistajien malleissa mahdollisuus käyttää lisäksi lattiaan teipattuja magneettinauhoja tai QR-viivakooditarroja. Paikallinen merkitseminen on kevyempi ja helpommin muunneltava vastine kiinteistä lattiamerkinnöistä. Merkintöjen avulla tutkan signaaleista voidaan jättää huomioimatta laitteen sivusuunnassa tarvitsema tila ja laite saadaan kulkemaan ahtaammassakin välissä. Mobiilirobotti voidaan myös ohjauksiskojen avulla pakottaa kulkemaan halutuissa kohdissa tarkasti tiettyä linjaa pitkin. Mobiilirobotin kyky kulkea sujuvasti mahdollisimman kapeassa välissä on erittäin tärkeää, koska halutaan tiivistää lattiapinta-alan käyttöä. Tuotantotilojen kulkukäytävillä on hyvin tilaa, mutta kokoonpanolinjat halutaan mahdollisimman tiiviille alueelle, joten kuljetusyksiköiden otto-/jättopaikoille johtavat käytävät halutaan mahdollisimman kapeiksi.

Navigointiin käytettävä pohjakartta luodaan käyttöönoton yhteydessä ajamalla mobiilirobottia manuaalisella ohjauksella niillä alueilla, joilla sen on tarkoitus itsenäisesti liikkua. Mobiilirobotti rekisteröi tutkansa avulla havaitsemiensa esteiden sijainnit muodostaen alueesta kartan, jota on voidaan myöhemmin täydentää ja muokata. Navigointikartta voidaan myös kopioida muiden vastaavien mobiilirobottien käyttöön. Kulkualueiden kartoitukseen on olemassa myös kävellen työnnettäviä tutkavaunuja.

Energianlähteenä mobiilirobotissa käytetään mukana kulkevaa akkua, jota ladataan laitteen ollessa lataustelakassa. Lataustelakka on mobiilirobotin kotiasema, johon laite navigoi automaattisesti, kun akkua on tarve ladata tai sillä ei ole työtehtäviä suoritettavana. Mobiilirobotti kytkeytyy telekassa automaattisesti lataukseen. Akun latauskerrojen määrä on rajallinen ja joissain malleissa lataamista säännöstelläänkin sen käyttöön maksimoimiseksi.

On useita perusteita odottaa tällaisten joustavien siirtojärjestelmien yleistyvän. Niiden määrää on helppo lisätä tai vähentää tarpeen mukaan, yksikköhinta on edullinen verrattuna laajan automaatiojärjestelmän kertainvestointiin, ne pystyvät toimimaan

manuaaliseen toimintaan suunnitelluissa ympäristöissä ja tällaisten laitteiden ohjaamiseen ja keskinäiseen kommunikointiin tarvittava tekniikka kehittyy ja yleistyy (Rentschler 2019). Mobiilirobottien ohjausparametrejä on myös helppo muuttaa tarvittaessa.

Työn aikana tarjoutui mahdollisuus tutustua eri valmistajien itsenäisesti navigoiviin mobiilirobotteihin niiden todellisissa käyttökohteissa. Laitteet ovat markkinoilla laajassa käytössä melko uusia ja havaintojen perusteella niissä on tällä hetkellä vielä monenlaista kehittämisen varaa. Niiden toiminnassa kiinnittivät huomiota seuraavat asiat:

- Autonomisessa navigoinnissa liike on nykivää, kulmikasta ja yleisesti epävarman näköistä.
- Laitteet häiriintyvät yllättävän helposti liikkuvista objekteista ja kulkureittien reunoilla tapahtuvista muutoksista. Osa navigoinnin häiriöiden syistä jää arvailujen varaan, joten niiden toistumista ei voida estää.
- Mobiilirobotit tarvitsevat käytännössä kymmeniä senttimetrejä leveyttään enemmän tilaa kulkureiteilleen. Kapeammassa väleissä sujuva liikkuminen edellyttää apulaitteita tai -merkintöjä reiteille.
- Laitteet eivät muista navigointikarttaan merkitsemättömiä esteitä, jotka se on havainnut juuri aiemmin kulkemallaan reitillä. Samat väistöliikkeet toistuvat kyseisen esteen kohdalla.
- Laitteet eivät itsessään huomioi lattian epätasaisuuksia tai niiden merkitsemistä ohjausjärjestelmään ei ole tehty helpoksi ja osaksi käyttöönottoa.
- Kulkupinnat eivät todellisuudessa ole tasaisia ja siitä aiheutuu mobiilirobotin liikkeeseen tärinää. Paneelirakenteet ovat halvan oloisia ja rämisevät, ruuvit löystyvät ja robottien komponentteihin kohdistuu tärinää ja iskuja.

Kiinteää reittiä seuraavia vihivaunuja on ollut käytössä jo pitkään, joten laitteiden perusmekaniikka on pääosin toimivaksi todettua. Suurin osa itsenäisesti navigoivien mobiilirobottien kehityskohteista onkin navigaatiojärjestelmissä ja etenkin ohjelmistoissa. Siten toiminnallisuuksia ja ominaisuuksia on mahdollista päivittää myös jo käytössä oleviin laitteisiin. Mobiilirobotit ovat käytännössä liikkuvia tietokoneita ja niiden ohjelmistoihin tulee valmistajilta säännöllisesti päivityksiä.

Tällä hetkellä kaikkeen autonomiseen liikkumiseen liittyviä ratkaisuja kehitetään hyvin erilaisiin käyttötarkoituksiin avaruusteknologiasta maatalouteen. Mitä monipuolisemmin tekniikkaa käytetään, sen tehokkaammin siitä saadaan eri käyttökohteisiin sovellettavaa kokemusta, hinta laskee ja laatu paranee. Sen myötä markkinoille on odotettavissa lisää sovelluksia ja kilpailua johtaen tekniikan kehittymiseen entisestään. Jos nykyisten mobiilirobottien liike onkin välillä kulmikasta ja luonnottoman näköistä, muutaman vuoden kuluttua ulkopuolinen tuskin pystyy arvioimaan onko jokin laite ihmisen ohjaama vai liikkuuko se itseksensä.

6.5.5 Komponenttien toimitusperiaate mobiiliroboteilla

Mobiiliroboteilla voidaan materiaalit toimittaa kokoonpanoon vaihekohtaisesti tai linjakohtaisesti. Vaihekohtaisesti toimitettaessa jokaiseen kokoonpanovaiheeseen tuodaan tarvittavat komponentit juuri kyseisen vaiheen tarpeen mukaisesti, riippumatta linjan muiden vaiheiden tilanteesta. Toimitukset tiettyyn vaiheeseen voidaan jakaa vielä osiin. Linjakohtaisessa toimituksessa kyseisen linjan kaikkien vaiheiden materiaalit toimitetaan yhdellä kertaa. Molemmissa periaatteessa on etunsa. Vaihekohtaisessa toimituksessa saavutetaan nopeammat asetusaajat siirryttäessä eri tuotemallin kokoonpanoon. Yksittäisten toimitusten viivästyessä aiheutuu tuotannolle vähemmän häiriöitä. Linjakohtaista toimitusperiaatetta noudatettaessa toimituskertoja muodostuu vähemmän, jolloin niiden hallintakin on yksinkertaisempaa. Linjakohtaisesti kerralla toimitettava komponenttimäärä on kuitenkin niin iso, että sen kuljettaminen tuotantotiloissa ei ole kovin ketterää.

6.5.6 Robottiparvet

Parveksi (englanniksi swarm) kutsutaan toimintaa, jossa yksittäiset robotit jakavat työkuormaansa ja yhdistävät tarvittaessa voimansa yhteisen tehtävän suorittamiseksi. Yhdessä niiden on mahdollista kuljettaa yksittäisen robotin kapasiteetin ylittäviä kuormia ja muodostaa erilaisia rakenteita. Parven ohjaus vaatii tarkkaa ja ajantasaista koordinaatiota. Ohjaus on tyypillisesti keskitetty erilliselle ohjaustietokoneelle, joka jakaa annettujen parametrien perusteella tehtävät jokaiselle robotille. Tehtävien jako voi perustua kunkin robotin meneillään olevien tehtävien tilanteeseen ja sen sijaintiin työn

aloituspisteeseen nähden. Parviovhjouksen avulla vähennetään tarpeetonta liikkumista ja siten tehtävien aloittamiseen kuluva aikaa. Parven kuljetuskapasiteetin lisääminen tai vähentäminen onnistuu joustavasti jopa kesken työskentelyn. Parvessa toimivat laitteet voivat saada toisiltaan ajantasaista tietoa toimintaympäristöstä, jolloin esteiden kiertäminen ja kulkureittien optimointi on kaikilla parvessa olevilla sujuvampaa.

Mitä enemmän parvessa on mobiilirobotteja, sitä todennäköisemmin ne välillä joutuvat tuotantotiloissa odottamaan toisiaan tai työntekijöiden toimia. Toisaalta isommassa parvessa on myös todennäköisemmin lähempänä työtehtävän aloituspistettä mobiilirobotti, joka pystyy ottamaan tehtävän vastaan.

Mobiilirobottien määrä tulee mitoittaa siten, että niiden kuljetuskapasiteetti riittää myös tuotantovolyymien ollessa 100 %. Tällöin matalammilla tuotantovolyymeilla jää käytännössä niiden kapasiteettia hyödynnettäväksi muuhunkin käyttöön. Toissijaisen käytön on oltava sellaista, mitä voi vähentää, siirtää tehtäväksi myöhemmin tai lopettaa kokonaan ensisijaisen tarpeen vaatiessa kaiken kapasiteetin. Yksinkertaisen toissijaisen työn voi tilapäisesti siirtää vaikka tilapäistyövoiman tehtäväksi. Mobiilirobotti-parven käyttöastetta on seurattava, jotta on mahdollista muodostaa realistinen käsitys joutoajasta ja käytettävissä olevasta kapasiteetista toissijaisiin tehtäviin. Mobiilirobottien määrän tarpeeseen vaikuttaa se, paljonko kokoonpanolinjoilla tiedetään tai arvioidaan olevan joutokäyntiä tuotannon standardiaikoihin nähden.

6.5.7 Mobiilirobotteihin liittyvät uhat

Kuten aina uuden kehittyvän tekniikan kyseessä ollessa, todennäköisesti uusia parempia ratkaisuja tulee markkinoille. Kaikki robotteihin ja mobiilirobotteihin liittyvä tekniikka kehittyy, tulee edullisemmaksi, käytön yleistymisen myötä kokemus lisääntyy ja niille keksitään uusia käyttömahdollisuuksia. Toisaalta aiemmin toimintaansa tehostavaa tekniikkaa käyttöön ottavalla on kilpailuetu.

Koska henkilöturvallisuus on etusijalla mobiilirobottien liikkumisessa, ne esteen havaitessaan hidastavat vauhtiaan ja tarvittaessa pysähtyvät tai kiertävät sen. Yllättävissä tilanteissa hidastuvuus voi olla niin suuri, että kyydissä olevaan kuormaan kohdistuu haluttua suurempia voimia tai kuorma voi pudota. Itsenäisesti kulkevien laitteiden äkinäisiä liikkeitä on muiden alueella liikkuvien vaikea ennakoida ja se voi välillisesti aiheuttaa vaaratilanteita.

Jos mobiilirobottien reiteillä on paljon liikkuvia kohteita, navigointi vaikeutuu huomattavasti. Tällöin on mahdollista, että laite tulkitsee antureidensa sijaintitietoja ristiriitaisesti ja laite joko pysähtyy tai eksyy reitiltään. Toiminta häiriötilanteissa riippuu laitteen ohjelmistosta ja siihen voi tulla ajan mittaan päivityksiä, jotka parantavat tai heikentävät sen toimintaa. Navigoinnin tarkkuutta, luotettavuutta ja virheiden sietoa on mahdollista parantaa aiemmin mainituilla lisätunnistimilla. Tietoturvan kannalta mobiilirobottien ohjelmistojen avoimuus muodostaa riskin.

Itsenäisesti toimivien laitteiden akun varauksen loppuminen kesken työtehtävän on tietysti aina riski, mutta sitä minimoidaan akun varaustilan automaattisella seurannalla jolloin laitteet hakeutuvat tarvittaessa lataukseen. Jos akkujen vaihtojärjestelmää ei käytetä, laitteet toki ovat pois tuotantotehtävistä latauksessa viettämänsä ajan.

6.5.8 Mobiilirobotteihin liittyvät mahdollisuudet

Ohjelmistopäivityksien myötä on odotettavissa uusia ominaisuuksia ja käytön tehostumista. Esimerkiksi laitteiden navigointikyky ja paikoitustarkkuus saattavat tarkentua pelkästään ohjelmistokoodiin tehtävillä muutoksilla.

Mobiilirobotteja voi käyttää myös tuotannon joustavuuden lisäämiseen laittamalla ne kuljettamaan keskeneräisiä tuotteita työvaiheelta toisella kokoonpanolinjalla sijaitsevalle seuraavalle työvaiheelle, testaus- tai pakkauspisteelle, mikäli sillä voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä. Tällöin on toki huomioitava, että tarvitaan mahdollisesti lisää kuljetuskapasiteettia ja kuljettaminen työpisteiden välillä vaatii oman aikansa.

Mobiilirobotteja voi hyödyntää myös tuotannon ulkopuolisiin tärkeisiin tehtäviin. Tällaisesta esimerkkinä mainittakoon vaikka defibrillaattorin, ensiaputarvikkeet ja parit sisältävä teline, jonka mobiilirobotti voi kutsusta siirtää vakiopaikastaan potilaan luo. Tämän tyyppiset kiireelliset tehtävät voidaan priorisoida tehtäväksi ennen kaikkia muita ja meneillään olevat tehtävät keskeyttäen.

6.6 Kuljetusyksiköiden käsittely kokoonpanolinjoilla

Kuljetusyksikköä on mahdollista käsitellä niiden otto- ja jättöpaikoilla niin, että niillä kaikilla on omat käsittelylaitteensa tai liikuttelut hoidetaan mobiilirobottiin asennetulla käsittelylaitteella. Käsittelylaite voi olla esimerkiksi rulla- tai hihnakuljetin, siirtohaarukat tai mekaaniset käsivarret. Eri tilanteisiin ja tarpeisiin sopii erityyppinen käsittelylaite.

Kuljetusyksikön käsittelymenetelmiin mobiilirobotin ja otto-/jättöpaikan välillä on käytännössä kolme vaihtoehtoa. Sekä mobiilirobotissa, että jokaisella paikalla on omat käsittelylaitteensa. Toinen vaihtoehto on, että käsittely tapahtuu pelkästään mobiilirobotissa olevalla käsittelylaitteella. Kolmanneksi mobiilirobotti voi toimia pelkästään kuljetusalustana ja käsittelylaitteet ovat otto-/jättöpaikoilla. Näistä toisena mainittu vaihtoehto tarvitsee vähiten käsittelylaitteita ja otto-/jättöpaikat sekä niiden ympäristö on helposti muokattavissa. Pienemmän käsittelylaitteiden määrän ansiosta niiden huoltotarve on vähäisempi ja ohjaus yksinkertaisempaa. Taajuusmuuttajatehtaalla kuljetusyksikkö on mielekkäintä siirtää kokoonpanopisteen telineeseen joko nostamalla se trukkihaarukoilla tai työntämällä kiskoja pitkin käsivarsilla. Kuljetusyksikön siirto telineestä mobiilirobotin kyytiin tehdään päinvastaisilla liikkeillä. Kuljetusyksiköiden käsittelyssä olisi mahdollista käyttää myös mekaanisesti rullien, jousien ja painovoiman avulla toimivaa Karakuri Kaizen -ratkaisua. Kuljetusyksikön käsittelyssä on huomioitava, että kokoonpanolinjojen seisomatyöpisteen työtason korkeus on noin metrin korkeudella lattiasta. Kuljetusyksikkö on siis toimitettava riittävän korkealle hyvän työergonomian saavuttamiseksi.

Eri valmistajien toimittamien laitteiden toiminta yhdessä saattaa olla epäluotettavampaa kuin yhden valmistajan ratkaisussa. Tämä korostuu mobiilirobottien ja niiden

lisälaitteiden, kuten kuorman käsittelytekniikan, toiminnan luotettavuudessa, nopeudessa ja toiminnallisuudessa. Osa lisälaitteiden valmistajista toimii virallisesti tiettyjen laitevalmistajien kanssa, joten niiden yhteistoiminnan on syytä olettaa toimivan moitteetta.

Kuljetusyksiköt voidaan toimittaa samalla periaatteella sekä manuaaliseen, että robotisoituun kokoonpanoon. Molemmille toimitustavoille kannattaa muokata erilliset kuljetusyksiköt, jotka ovat optimaalisia juuri kyseiseen käyttöön.

6.7 Komponenttien poiminta kuljetusyksiköstä

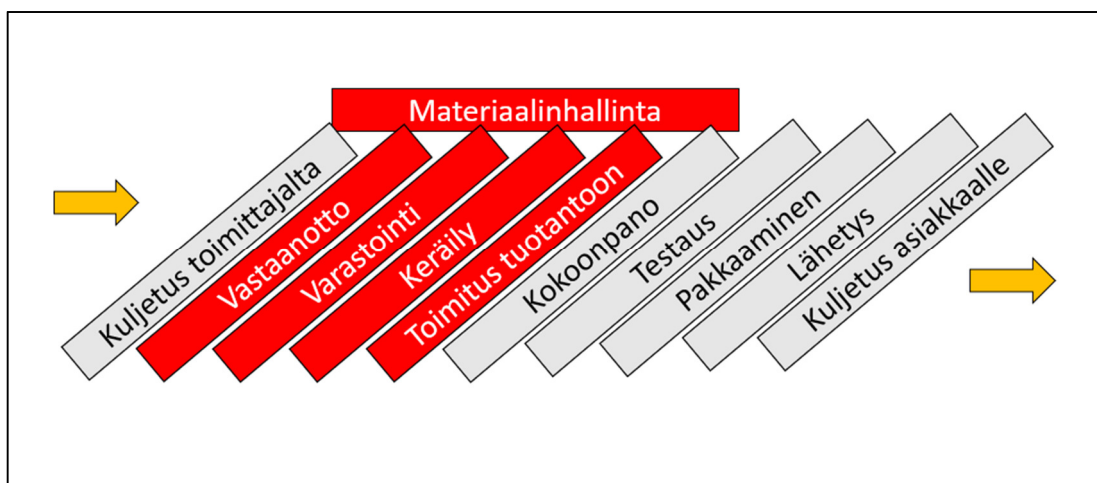
Automaation avulla voidaan varmistaa laatua myös kokoonpanossa. Hyvällä fyysisellä ja kognitiivisella ergonomialla voidaan vähentää keräilytyöstä työntekijälle aiheutuvaa kokonaiskuormitusta. Komponenttien poiminnan tapahtuessa lokeroista, on valaistukseen kiinnitettävä erityistä huomiota häiritsevien varjokohtien välttämiseksi. Kokoonpanolinjastoille voidaan asentaa vaihekohtaisesti keräilyvalot ohjaamaan mistä lokeroista seuraava komponentti on tarkoitus poimia asennettavaksi. Esimerkiksi kokoonpanohenkilön yläpuolella voi olla laite, joka värillisellä valolla osoittaa haluttua kuljetusyksikön lokeroa. Valon kohdistus oikeaan lokeroon perustuu tuotannonohjausjärjestelmässä olevaan tietoon komponenttien asennusjärjestyksestä. Poiminnan kuittaus voidaan toteuttaa esimerkiksi jalalla käytettävällä painikkeella käsien vapauttamiseksi tuottavaan työhön. Kuittauksen jälkeen valo kohdistuu osoittamaan kokoonpanojärjestyksessä seuraavan komponentin lokeroa.

6.8 Tuotevaihdot kokoonpanossa

Toisen tuotemallin kokoonpanoon voidaan siirtyä joustavasti. Kun yhden kuljetusyksikön tuotteet on käytetty, sen tilalle tuotavassa kuljetusyksikössä on seuraavan mallin komponentteja. Kun jokaisen kokoonpanovaiheen komponentit on jaettu vähintään kahteen kuljetusyksikköön, yhtä käytettäessä muiden vaihto voi olla meneillään. Vaihdot perustuvat tuotantosuunnitelmaan, kuten kokoonpanolinjojen materiaalityden-nyksetkin.

7 AUTOMATISOIDUN PROSESSIN KUVAUS

Työssä aiemmin käsitellyn perusteella esitellään ehdotus automatisoidusta konseptista taajuusmuuttajien kokoonpanossa tarvittavien komponenttien toimittamiseksi (kuvio 5). Valituilla ratkaisuilla pyritään ensisijaisesti tuottamaan tehokas ja joustava tuotantotilan käyttö, kokoonpanoon nopeat vaihtoajat ja tarkka materiaalin ohjaus. Kuvauksessa toistuu muutamia aiemmin esitettyjä asioita, jotta kiireinenkin lukija saisi pelkästään tämän luvun perusteella käsityksen automaatiokonseptista.



Kuvio 5. Automatisoidun prosessin osuus on korostettu punaisella.

7.1 Materiaalivirran hallinta

Taajuusmuuttajissa tarvittavat komponentit tilataan toimittajilta tehtaalle nettotarpeen mukaisesti. Erona nykyiseen toimintamalliin on se, että lähes kaikki tehtaalla käyttöä odottavat komponentit ovat varastoautomaatissa eivätkä eri kokoonpanolinjojen luona olevissa kuormalava- ja läpivirtaushyllystöissä. Näin käytettävissä olevien komponenttien määrä ja sijainti ovat koko ajan tiedossa ja nähtävissä toiminnan- tai tuotannonohjausjärjestelmän varastokirjanpidosta. Varastopaikkakohtainen kirjanpito on varastoautomaatin tietojärjestelmässä, eikä sitä tietoa muualla tarvita. Ajan tasalla olevan tarkan varastokirjanpidon ja tuotantosuunnitelman perusteella komponenttien täydennystilaukset on helppo tehdä ja rutiinitilaukset voidaan automatisoida. Materiaalien sijainti ja tuotantoon toimitusten tilanne ovat reaaliaikaisesti seurattavissa.

Toinen merkittävä ero nykyiseen toimintamalliin on täydennystilausten komponenttien tilaaminen nimikekohtaisesti eikä nimike- ja käyttöpaikkakohtaisesti. Näin tilausrivejä muodostuu vähemmän, tavarantoimittajan on helpompi ne käsitellä ja toimituserien määrän vähentyessä niiden lähettäminen tavarantoimittajilta ja vastaanottaminen tehtaalle on yksinkertaisempaa. Tilauseriästä muodostuu isompia, mutta tilauksia tehdään vastaavasti vähemmän. Materiaalin varastointi yhdessä paikassa vähentää tarvetta varastoitavan materiaalin määrälle ja siten alentaa varaston arvoa.

7.2 Vastaanotto

Kun tavarantoimittajalta saapuu materiaalitoimitus tehtaalle, kuormalavat siirretään ajoneuvosta tavarantoimituksen käsittelyalueelle, tehdään silmämääräinen tarkastus lavojen ja materiaalin kunnosta sekä tehdään sovitut vastaanottokuittaukset kuljetusdokumentteihin ja tietojärjestelmään. Saapuneet materiaalit otetaan käsittelyyn pääsääntöisesti saapumisjärjestyksessä, mikäli toimituksissa ei ole tiedossa muita kiireellisimmiksi priorisoituja komponentteja. Käsittelyjärjestyksessä huomioidaan myös käsittelyalueen tilankäyttö. Paljon tilaa vievät nopeasti käsiteltävissä olevat materiaalit on toisinaan perusteltua ottaa saapumisjärjestyksensä aiemmin työn alle käsittelytilan vapauttamiseksi.

Saapuneen materiaalien käsittelyssä komponentit siirretään muovisiin varastolaatikoihin ja komponenttien nimike- ja kappalemäärätiedot kirjataan laatikkokohtaisesti toiminnan- tai tuotannonohjausjärjestelmään. Varastolaatikoiden tunnisteenä käytetään luotettavaa ja yksinkertaista viivakoodia. Materiaalit siirretään aina tyhjiin varastolaatikoihin vaikka samaa nimikettä olisi varastossa ennestäinkin. Tämä nopeuttaa ja yksinkertaistaa vastaanottoa huomattavasti, vaikka varastopaikkojen tilankäyttö on hieman tehottomampaa. Materiaalista riippuen komponentit siirretään varastolaatikoihin joko ilman pakkauksia tai pakkauksissaan. Varastolaatikoita voidaan tarvittaessa jakaa väliseinien avulla kahteen tai useampaan lokeroon, jolloin samaan laatikkoon voidaan laittaa eri nimikkeitä niiden sekoittumatta. Varaston tietojärjestelmään on tällöin annettava laatikon tunnisteen lisäksi lokerotieto, jotta tuotteita voidaan hallita virheettömästi. Saman laatikon käyttö vähentää tilantarvetta ja nopeuttaa käsittelyä, mutta soveltuu vain pienille toimituserille tai pienikokoisille nimikkeille.

Materiaalin käsittelyssä poistetaan pakkausmateriaalit, joille ei ole tarvetta materiaalivirran myöhemmissä vaiheissa. Muovilaatikoissa olevien komponenttien on oltava kokonaan sen reunojen sisäpuolella. Reunojen yli tulevat tuotteet, tuotepakkausten pakkausmuovit ja pahvilaatikoiden kansiläpät aiheuttavat automaatiossa häiriöitä.

Muovilaatikat siirretään kuljetinradalle, joka vie ne viivakoodinlukijan ohi varastoautomaatin sisälle. Varastolaatikoissa on tunnistena yksilöllinen viivakoodi, johon laatikossa olevat komponentit linkitetään. Varastolaatikon tunnisteen perusteella tiedetään mitä komponentteja on missäkin laatikossa. Näin varastoautomaatin ohjauksessa tullaan toimeen pelkillä laatikoiden tunnisteilla.

Tiettyjen lähellä tehdasta olevien tavarantoimittajien toimituksiin voidaan sopia yksinkertaistettu vastaanottokäsittelyä nopeuttava ja käsittelykertoja vähentävä toimintamalli. Varastoautomaatissa käytettäviä laatikoita toimitetaan tyhjinä tavarantoimittajalle, joka käyttää niitä komponenttien toimittamiseen tehtaalle. Kuljetuksen saapuessa laatikot puretaan autosta suoraan kuljetinlinjastolle, jota pitkin ne menevät varastoautomaattiin ilman välikäsittelyjä. Tämä edellyttää, että toimitusvarmuus on todettu erinomaiseksi ja laatutason säilyminen voidaan varmentaa satunnaisotannalla. Tällaiseen toimintamalliin kannattaa luoda järjestelmä, jossa tavarantoimittajalta saadaan laatikokohtaisesti tieto tuotenimikkeistä kappalemäärineen. Tällöin varastoautomaatin syöttöradalla olevan viivakoodinlukijan tunnistaessa laatikon yksilöllisen numeron, päivittyy varastokirjanpitoon myös tieto laatikon sisältämistä tuotteista.

Varastoautomaattiin johtavalla kuljettimella on viivakoodinlukijan jälkeen vaaka, jolla verrataan kunkin laatikon punnittua painoa sen teoreettiseen vertailupainoon. Vertailupaino saadaan kertomalla kyseiseen laatikkoon kirjattu kappalemäärä nimikkeen perustiedoissa olevalla painotiedolla. Tähän lisätään tyhjän muovilaatikon taarapaino. Painon tarkistukseen on hyvä jättää hieman toleranssia, mutta erittäin kevyitä nimikkeitä lukuun ottamatta tarkastus toimii luotettavasti. Varastolaatikat, joissa havaitaan raja-arvon ylittävä ero punnitun ja teoreettisen vertailupainon painon välillä, ohjataan sivuun manuaalisesti tarkastettavaksi eikä niitä ennen tarkastusta siirretä varastoautomaattiin.

Materiaalin vastaanottopisteille on keskitetty jätteiden käsittely ja lajittelu sekä pakkausten purussa tarvittavat työvälineet. Työskentelyalueen valaistus ja olosuhteet on tehty työergonomian kannalta hyväiksi. Esimerkiksi lattiaan kiinnitetty saksinostin käsittelyssä olevien kuormalavojen nostamiseksi optimaaliselle työskentelykorkeudelle vähentää huonoissa asennoissa tehtäviä nostoja.

Materiaalin vastaanotossa työskentely vaatii toimintamallien tuntemista ja on osattava tunnistaa mitä nimikkeitä on käsittelemässä. Kappalemäärien laskennan ja tietojärjestelmään tietojen syötön kanssa vaaditaan erityistä tarkkuutta, koska määrä ja tietovirheet aiheuttavat väistämättä häiriön materiaalivirran myöhemmässä vaiheessa tai pahimmillaan väärän komponentin asentamisen lopputuotteeseen.

7.3 Varastointi

Materiaalit varastoidaan ESD-hyväksytyissä viivakoodeilla yksilöidyissä muovilaatikoissa. Varastoautomaattina käytetään sukkulajärjestelmää, joka tarjoaa muovilaatikoiden käsittelyyn riittävää nopeutta ja järjestelmään laajennettavuutta minkä lisäksi hyllystö voidaan rakentaa käytettävissä olevan tilaa muotoa tehokkaasti hyödyntäen. Varastoautomaatilta vaadittavista ominaisuuksista nopeus on merkittävässä asemassa, koska käsiteltävien komponenttien kiertonopeus on suuri ja niiden tuotantoon toimituksissa viivästyksiset eivät ole hyväksyttäviä.

Materiaalin vastaanotossa syöttöradalle laitettut varastolaatikat siirtyvät varastoautomaatin sisällä sopiville varastopaikoille kuljetin- ja nostinjärjestelmän viemänä. Kun kokoonpanolinjalla tulee täydennystarve, varastoautomaatti noutaa keräilyasemalle johtavalle kuljettimelle kyseisten komponenttien varastolaatikat jonoon. Keräilyn jälkeen laatikot, joissa on edelleen materiaalia, siirtyvät takaisin varastopaikoille samojen parametrien mukaisesti kuin sisäänsyötöissäkin. Varastopaikka saattaa tällöin vaihtua alkuperäisestä. Ne varastolaatikat, jotka tyhjenevät keräilyn yhteydessä, siirretään kuljetinratoja pitkin ensisijaisesti materiaalin vastaanoton käytettäväksi. Mikäli vastaanoton tyhjien laatikoiden puskurivarasto on täynnä, tyhjät laatikot siirtyvät varastoautomaatin sisälle varastopaikoille odottamaan käyttöä.

Koska valtaosa taajuusmuuttajien komponenteista on pieniä, on varastoinnissa tilankäytön ja materiaalivirran tehokkuuden kannalta tarkoituksenmukaista käyttää standardikokoisia muovisia varastolaatikoita. Mittojensa vuoksi varastoautomaatissa käytettäviin laatikoihin sopimattomat tuotteet varastoidaan lavakauluksilla varustetuilla kuormalavoilla tuotantotiloissa. Kuormalavahyllystöjä on jätetty tuotantotiloihin pakkausmateriaalin, yleistarvikkeiden ja varastolaatikon sisämittoja isompien komponenttien varastointiin tarvittava määrä.

7.4 Keräily

Keräilyssä tähdätään siihen, että työntekijä ei liiku paikasta toiseen. Varastolaatikoissa olevat kerättävät komponentit tuodaan varastoautomaatista kuljetinradan avulla hänen luokseen ja keräilytyö tehdään tarkoitukseen hyvin sopivassa työpisteessä eli keräilyasemalla. Keräily tapahtuu manuaalisesti, koska se on edelleen robottia nopeampi ja virheettömämpi menetelmä varastointiyksiköissä satunnaisissa asennoissa olevien erilaisten kappaleiden poimintaan. Keräilyaseman rakennetta ja toimintoja on kuvattu liitteessä 3.

Kuljetusyksiköt toimitetaan mobiilirobotin kyydissä kokoonpanolinjoille niiden välisen käytävän kautta. Kuljetusyksiköitä siirretään siis mobiilirobotin kyydistä sekä sen oikealle että vasemmalle puolelle. Toimituserät kannattaa keräilyssä ohjata kerättäväksi ensisijaisesti sen puolen kuljetusyksikköön, joka menee sellaisenaan oikein päin kokoonpanolinjan telineeseen. Kuljetusyksikön kääntö 180 astetta pystyakselinsa ympäri voidaan tarvittaessa tehdä portaalirobotilla, joka nostaa keräilyasemalla kuljetusyksiköt mobiilirobotin kyytiin.

Keräilyasemalla on mobiilirobotin paikoitusta helpottavia magneettinauhoja, tarroja tai ohjauskiskoja, joiden avulla sen paikoitus ja lähtö asemalta on nopeaa. Rakenteesta voidaan tehdä myös sellainen, että mobiilirobotin ei tarvitse peruuttaa, jos se on käsittelynopeuden ja tilankäytön puolesta tarkoituksenmukaista. Keräilyasemalla puskurivarastossa olevien täysien tai tyhjen kuljetusyksiköiden määrää voidaan muuttaa helposti kuljettimien pituutta lisäämällä.

Keräilijän edessä on tietokoneen monitori, joka näyttää mitä komponentteja hänen täytyy kerätä, paljonko ja mihin kuljetusyksikön lokeroon. Varastolaatikoista keräilijä poimii komponentit osoitettuun kuljetusyksikköön, joita on yksi keräilijän molemmilla puolilla. Lisäksi keräilyaseman yläpuolella on keräilyvalot, jotka osoittavat mihin kuljetusyksikön lokeroon komponentti laitetaan. Kun keräilyasemalle tulee väliseinillä osoitettu varastolaatikko, keräilyvalot osoittavat mistä lokerosta komponentti tulee kerätä.

Kun haluttu määrä komponentteja on varastolaatikosta kerätty, keräilijä kuittaa keräyksen suoritetuksi, jolloin keräilyasemalla oleva varastolaatikko siirtyy pois asemalta ja seuraava siirtyy käsittelyyn. Yksittäisen kuljetusyksikön komponenttien keräilyjärjestyksellä ei ole merkitystä, joten varastoautomaatti toimittaa varastolaatikoita keräilyasemalle jonoon odottamaan siinä järjestyksessä mikä sille on nopeinta. Kun kaikki kyseiseen toimituserään tarvittavat komponentit on kerätty, kuljetinrata siirtää kuljetusyksikön mobiilirobotin ottopaikalle odottamaan kuljetusta kokoonpanolinjalle. Samaan aikaan tyhjien kuljetusyksiköiden kuljettimelta siirtyy seuraava seuraavana jonossa oleva tyhjä kuljetusyksikkö keräilyasemalle.

Kuljetusyksikön materiaalilokeroissa on värikoodaus ja osoitteisto, jota voi muokata jos väliseinien paikkoja tai määrää muutetaan. Näin materiaalin sijainti on yksiselitteisesti määritettävissä ja visuaalisuus selkeyttää muutenkin manuaalisia työvaiheita. Jokainen kuljetusyksikkö on merkitty yksilöllisellä viivakoodilla. Tällöin kuljetettavat komponentit voidaan tietojärjestelmässä kiinnittää kyseiseen kuljetusyksikköön kuljetuksen ja kokoonpanopisteellä olon ajaksi, jolloin materiaalin seuranta on tarkkaa. Kuljetusyksikön rakennepiirros on liitteessä 1.

Keräilyasemalla on jäteastiat, jotta tyhjenevien pakkauslaatikoiden ja muovien käsittely ja lajittelu on helppoa ja nopeaa. Keräilyaseman valaistus ja olosuhteet on tehty työergonomian kannalta hyväksi ja keräilyssä tarvittavat työvälineet ovat helposti saatavilla.

Kun varastokirjanpidon mukaan varastolaatikon tulisi tyhjentyä keräilyn yhteydessä, varastonohjausjärjestelmä kysyy keräilijältä tuliko laatikko tyhjäksi. Jos hän kuittaa laatikon tyhjentyneen, tyhjä laatikko jatkaa normaalisti keräilyasemalta eteenpäin

kiertoon ja varastojärjestelmään muodostuu automaattisesti kirjaus kyseisen varastopaikan tuotemäärän täsmänneen kirjanpitoon. Jos sen sijaan laatikkoon jää materiaalia, vaikka sen pitäisi varastokirjanpidon mukaan tyhjentyä, kyseinen laatikko ohjataan kuljetinratoja pitkin selvitysasemalle, jossa selvitetään saldoeron syy ja vaikutukset sekä tehdään korjaavat toimenpiteet. Vastaavasti keräilijä raportoi poikkeaman varastojärjestelmään, mikäli kerättäviä komponentteja ei ole laatikossa riittävästi. Tällöin muodostuu samalle nimikkeelle lisäkeräilypyyntö, saldovirhe kirjautuu järjestelmään ja muodostuu saldoeron syyn selvityspyyntö. Keräilijä ei siis saldovirhetilanteessa keskeytä työtään, vaan jatkaa keräilyasemalla komponenttien keräämistä.

Keräilyasemalla työskentely on yksinkertaista, koska näyttöpäätte kertoo mitä täytyy tehdä ja komponentit kerätään aina samanlaisiin kuljetusyksiköihin ilman tarvetta pakata tai esikäsitellä komponentteja. Uuden työntekijän perehdyttäminen tehtävään on nopeaa. Keräilyaseman jatkuva toiminta on tuotannon kannalta kriittistä, joten sen on oltava miehitetty aina, kun on tuotannossa tehdään kokoonpanoa.

Varastoautomaatin ja keräilyasemien sijoittelussa huomioidaan mahdollisuus lisätä myöhemmin järjestelmään yksi tai useampi robotisoitu keräilyasema kuljetinjärjestelmään. Robottikeräilyasemia voidaan lisätä ja mahdollisesti manuaalikeräilyasemia korvata sitten, kun varastointiyksiköissä satunnaisissa asennoissa olevien kappaleiden robotisoidun keräilynopeus ja luotettavuus kasvavat tehtaan materiaalivirran edellyttämälle tasolle.

Toimittajan omistuksessa olevaa materiaalia täydennetään tarpeen mukaan toimittajan varastosta varastoautomaattiin. Täydennyksessä komponentit siirtyvät Danfoss Drive-sin omaisuudeksi. Näiden komponenttien toimittaminen varastoautomaatista kokoonpanolinjoille tapahtuu kuljetusyksiköissä yhdessä muiden komponenttien kanssa.

Vaihekohtaisten kokoonpanoaikojen ja komponenttien määrän perusteella saadaan tarve komponenttien toimitustaajuudelle. Taulukossa 1 on kolmen taajuusmuuttajamallin perusteella koostettu yhteenveto laskelmasta, kuinka usein komponenttivarastosta on toimitettava johonkin kokoonpanovaiheista lisää materiaalia ja paljonko nimikkeiden keräämiseen on käytettävissä aikaa. Nämä kolme mallia koostuvat 19:stä erilaisesta variaatiosta eli sisältävät erilaisia ominaisuuksia. Pieni osa komponenteista

on kaikkien mallien kesken yhteisiä, osa on mallikohtaisia ja loppuja käytetään ainoastaan tiettyyn variaation. Laskelman komponenttimäärässä ei ole huomioitu ruuveja, koska ne on tarkoituksenmukaista toimittaa kokoonpanoon yksittäisten kappaleiden sijasta tukkupakkauksissaan.

Taulukko 1. Laskelma komponenttitoimitusten välisestä ja keräilyyn käytettävissä olevasta keskimääräisestä ajasta.

Kokoonpanon vaiheaika keskimäärin	1530 s
Komponenttimäärä keskimäärin per vaihe	24,7 kpl
Komponenttitarpeen väli keskimäärin	62 s
Kokoonpanolinjojen määrä	6 kpl
Vaiheita per kokoonpanolinja	3 kpl
Kuljetusyksiköitä per vaihe	2 kpl
Nimikemäärä kokoonpanolinjoilla yhteensä	444,3 kpl
Erä koko keskimäärin	4,5 kpl
Komponenttitoimitusten välinen aika keskimäärin	191 s = 3 min 11 s
Keräilyasemien määrä	1 kpl
Keräilyaika per nimike keskimäärin	15,50 s/rivi

Taulukossa on oranssilla värillä korostettu täydennystaajuuteen merkittävästi vaikuttavat muuttujat. Komponenttien täydennystarpeen välinen aika on suoraan verrannollinen sekä kokoonpanovaiheilla olevien kuljetusyksiköiden määrään sekä tuotannon eräkoko. Eräkoon pienentyessä tai kuljetusyksiköiden määrää vähennettäessä toimituksia on tehtävä useammin. Vastaavasti täydennyksiä voidaan tehdä harvemmin, mikäli erä koko tai kuljetusyksiköiden määrä on isompi. Laskelmassa kuutta kokoonpanolinjaa palvellaan yhdellä keräilyasemalla. Myös keräilyasemien määrä on suoraan verrannollinen keräilyn nopeusvaatimukseen. Esimerkiksi kaksinkertaistamalla asemien määrän, saadaan myös käytettävissä oleva aika tuplattua.

Kyseessä olevan pienkappaletavaran keräilyn nopeudesta voidaan käyttää referenssinä 400 keräilyriviä tunnissa eli 9 sekuntia per rivi (Vincent 2016). Keräilyrivi tarkoittaa yhden nimikkeen keräilyä riippumatta käsiteltävien tuotekappaleiden lukumäärästä. Esimerkissä yhden keräilyaseman keräilykapasiteetti riittäisi siis kymmenenkin

kokoonpanolinjan palvelemiseen. Taajuusmuuttajien komponenttien keräilyyn sisältyy tuotepakkausten avaamista, mutta ei kokoonpanoon toimitettavien tuotteiden pakkaamista tai muuta esikäsittelyä.

Laskelmassa näiden kolmen taajuusmuuttajamallin kokoonpanoa tehdään jatkuvasti kuudella kokoonpanolinjalla mallikohtaisten standardiaikojen tahdilla. Tämä ei vastaa aina todellisuutta, mutta automaation kapasiteetti on mitoitettava täydelle tuotantovauhdille. Kapasiteetin mitoituksessa on keskiarvojen lisäksi huomioitava täydennystarpeen vaihtelu, joka johtuu tuotantomäärän ja tuotannossa olevien taajuusmuuttajamallien osuuksien vaihtelusta. Laskelmien lähtötietoja ei julkaista tässä työssä, vaan ne jäävät toimeksiantajan käyttöön.

7.5 Toimitus tuotantoon

Kuljetusmenetelmäksi on valittu kuormaa kantava mobiilirobotti. Se on huomattavasti joustavampi ja muuttuviin tarpeisiin mukautuvampi kuin kiinteä kuljetinjärjestelmä. Kuormaa kantava rakenne mahdollistaa kapeammat käytävät kokoonpanolinjojen väliin nostohaarukoilla kuljetusyksikköä käsittelevään malliin verrattuna. Mobiilirobotit toimivat parvessa siirtäen kuljetusyksiköitä kokoonpanopisteiden ja keräilyasemien välillä. Navigointi tapahtuu itsenäisesti, mutta ohjaus toimii järjestelmän keskustietokoneessa parvitoimintojen hyödyntämiseksi tehokkaasti. Keräilyasemille ja kokoonpanolinjoille paikoituksessa käytetään sijaintitarkkuutta parantavia lattiamerkintöjä ja ohjauskiskoja.

Lähtökohtaisesti automaatiossa tehtävät tehdään siinä järjestyksessä kuin ne on annettu. Priorisoidut toimituspyynnöt menevät työjonossa muiden edelle. Lisäksi mobiilirobottien työjärjestyksen on järkevä päivittyä sen perusteella, kuinka lähellä vapaana oleva mobiilirobotti on työtehtävän aloituspistettä. Automaattinen työtehtävien priorisointi tulee kyseeseen, kun työtehtävälle annettu tavoiteaika on kulumassa umpeen. Järjestyksen pitämiseksi hallinnassa priorisointi on syytä kohdistaa tehtäviin, joita ei ole vielä aloitettu. Meneillään olevat tehtävät tehdään loppuun ennen seuraavan aloittamista, ellei ole kyse todella merkittävästä ja kiireellisestä poikkeustilanteesta.

Taajuusmuuttajien tuotantojärjestys suunnitellaan seuraaville tunneille. Työjonon järjestystä on pystyttävä muuttamaan tarpeen mukaan. Esimerkiksi kiireellisiä tilauksia voidaan siirtää tehtäväksi aiemmin. Komponenttien keräilyn ja tuotantoon toimitusten järjestys määräytyy työjonon perusteella. Kun tuotantosuunnitelman perusteella tiedetään valmistettavat tuotteet, kokoonpanokapasiteetti sekä suunnitellut eräkoot, voidaan analysoida tuotannon resurssien lisäksi automaation käyttöaste tuotannon edetessä. Analyysin tuloksena nähdään paljonko mobiilirobotteja, kuljetusyksiköitä ja keräilykapasiteettia tarvitaan ja ovatko käytettävissä olevat resurssit riittävät. Vertailun perusteella nähdään täytyykö kapasiteettia lisätä, tehdä muutoksia tuotantosuunnitelmaan tai vapautuuko resursseja muihin tehtäviin. Analyysistä nähdään myös, onko kaikkia tarvittavia komponentteja käytettävissä riittävä määrä aiottua tuotantoa varten. Toistamalla analyysiä jatkuvasti tuotannon edetessä ja uusien materiaalitöimitusten saapuessa, pystytään varautumaan tulosten osoittamiin poikkeamiin ja tekemään korjaavia toimenpiteitä tuotannon häiriöiden välttämiseksi.

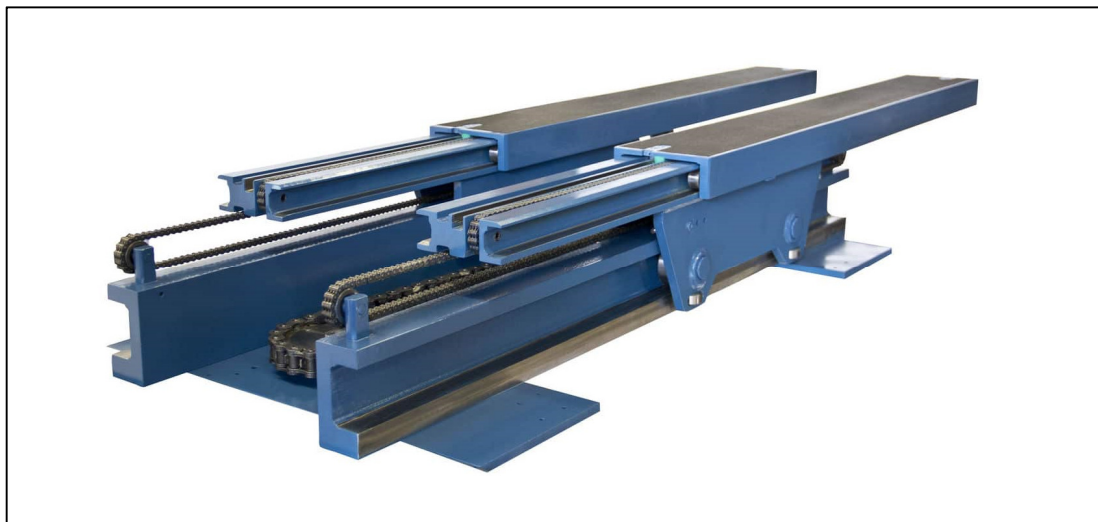
Kokoonpanolinja on tuotannossa jaettu kokoonpanovaiheisiin. Materiaalin täydennyksissä jokainen kokoonpanovaihe on jaettu vielä tarkoituksenmukaiseen määrään osia, joihin komponentit toimitetaan erikseen. Kokoonpanovaihe voi olla jaettu esimerkiksi kahteen osaan, jolloin niissä on eri komponentit ja niitä täydennetään kyseiseen kokoonpanovaiheeseen kahdella eri kuljetusyksiköllä. Osien komponenttien sijoittelu on tehty niin, että ensin käytetään kaikki yhden kuljetusyksikön komponentit ja vasta sen jälkeen seuraavan. Näin maksimoidaan käytettävissä oleva aika tyhjentyneen kuljetusyksikön pois vientiin ja uuden komponentteja sisältävän kuljetusyksikön toimitukseen. Tietyn kokoonpanolinjan ja -vaiheen osan komponentit kerätään keräilyasemalla kuljetusyksikköön kyseisen toimituserän kokoisena. Esimerkiksi toimituserän ollessa kyseisellä täydennyskerralla viisi, kaikkia vaiheen osan komponentteja kerätään viiteen taajuusmuuttajaan tarvittava määrä. Täydennyserien koot vaihtelevat tuotantosuunnitelman mukaisesti. Tuotantoerän ollessa isompi kuin suurin kuljetusyksikköön komponenttien mittojen ja painon puolesta sopiva toimituserä, täydennystöimitukset jaetaan tuotannonohjausjärjestelmässä pienempiin osiin.

Järjestelmän selkeänä pitämiseksi mobiilirobotilla kuljetetaan ja käsitellään vain yhtä kuljetusyksikköä kerrallaan. Kahden tai useamman kuljetusyksikön kuljettaminen yhdellä kertaa toisi siirtoon tehokkuutta, mutta järjestelmän ohjaukseen ja mekaaniseen

käsittelyyn tulisi lisää melko haastavia muuttujia. Kuten luvussa 5.2. Laatu todettiin, yksinkertaisempi järjestelmä on helpompi saada toimimaan luotettavammin. Varsinkin, jos järjestelmästä pois jätettävien vaiheiden riskitaso laadun suhteen on iso. Useamman kuljetusyksikön samanaikainen kuljettaminen lisäisi merkittävästi myös mobiilirobotilta edellytettävää kantavuutta lisäten laitteen kokoa.

Kuljetusyksiköitä käsitellään pelkästään mobiilirobottiin integroidulla mekanismilla. Tällä tavoin kokoonpanolinjoilla olevat telineet, joihin kuljetusyksiköt tuodaan ja joista tyhjät haetaan pois, voidaan tehdä hyvin yksinkertaisiksi ja helposti muokattaviksi. Tämä on tuotantotilojen joustavan käytön kannalta erittäin tärkeää. Itsenäisesti materiaalia käsitteleviä mobiilirobotteja on yksinkertaista käyttää myös muihin tehtäviin. Telineessä voi olla mobiilirobotin ja kuljetusyksikön paikoittamista helpottavia ja vakautta parantavia mekaanisia apuvälineitä.

Mobiilirobotissa olevan materiaalinkäsittelymekanismin rakenteeksi on kaksi sopivaa vaihtoehtoa. Kuljetusyksikköä voidaan siirtää tarkoitukseensa modifioiduilla teleskooppihaarukoilla nostamalla. Kuvassa 11 on esimerkki kuljetusyksikköä huomattavasti painavammille kuormille tarkoitettusta teleskooppihaarukayksiköstä. Toinen vaihtoehto on soveltaa varastoautomaattien sukkuloissa käytettävää siirtotekniikka työntämällä kuljetusyksikköä mobiilirobotin ja kokoonpanopisteen telineen välillä horisontaalisesti liikkuvilla käsittelyvarsilla. Jotta otto-/jättöpaikalle johtavasta käytävästä voidaan tehdä mahdollisimman kapea, sinne ei kannata jättää mobiilirobotille kääntymistilaa. Pelkästään pituussuuntaisesti liikkuvien mobiilirobottityyppien materiaalinkäsittelylaitteista on siis tehtävä sellaiset, että kuljetusyksikön käsittely tapahtuu laitteen sivun kautta. Tällöin riittää noin metrin käytäväleveys. Joustavan käytön mahdollistamiseksi siirtojärjestelmän on hyvä pystyä käsittelemään kuljetusyksikköä mobiilirobotin molemmilla puolilla. Markkinoilla on myös mobiilirobottimalleja, jotka kykenevät liikkumaan sivuttainkin. Niillä kuljetusyksikköä voitaisiin käsitellä pelkästään etukautta, mutta käsittelypaikalle johtavan käytävän olisi tällöin oltava leveämpi.



Kuva 11. RFT:n teleskooppihaarukayksikkö enintään 1500 kg:n kuormalavojen käsittelyyn (Direct Industry n.d; Römer Fördertechnik GmbH n.d.).

Kuljetusyksiköiden alin komponenttilokero on saatava kokoonpanopisteillä noin metrin korkeudelle lattiasta. Mobiilirobottien päällirakenne voi olla sellainen, että kuljetusyksikkö on koko ajan kyydissä ollessaan tällä korkeudella. Vaihtoehtoisesti päällirakenteessa voi olla nostin, jolloin kuljetuksen aikana kuljetusyksikkö on alhaalla eikä ole altis lattian epätasaisuuksista aiheutuville heilahduksille. Nostin tosin kuluttaa energiaa ja on kiinteää rakennetta monimutkaisempi. Lisäksi kuljetusyksikön alustarakenne voidaan mitoittaa siten, ettei yksikköä tarvitse nostaa korkealle, mutta se lisää tilantarvetta ja painopisteen siirtyminen korkeammalle tekisi yksiköstä kuljetuksessa epävakamman. Kuljetusyksikön putoamisen tai kaatumisen estämiseksi se lukitaan kuljetuksen ajaksi mobiilirobotin päällirakenteeseen. Liitteessä 2 on esimerkki mobiilirobotin päällirakennetkaisuista.

Keräilyasemalla kuljetusyksiköiden siirto mobiilirobottien kyytiin ja sieltä pois voidaan hoitaa asemalle kiinteästi asennetuilla portaalirobotilla. Siten saadaan käsittelyä nopeutettua sekä säästettyä energiaa mobiilirobottien akuista. Keräilyasemien yhteydessä on kuljetusyksiköiden kuljetinjärjestelmä, jonka avulla tyhjät kuljetusyksiköt voidaan siirtää nopeasti keräilypisteeseen ja valmiiksi kerätyt odottamaan kuljetusta. Portaalirobotti kääntää tarvittaessa kuljetusyksikön oikein päin mobiilirobotin kyytiin. Keräilyaseman rakennetta ja toimintoja on kuvattu liitteessä 3.

Mobiiliroboteissa on sekä eteen että taakse suunnatut varoitusvalot. Valo suunnataan siten, että se heijastaa värillisen täplän lattialle muutaman metrin mobiilirobotin edelle varoittamaan risteävää jalankulku- sekä muuta liikennettä (Wihuri Oy Tekninen kauppa n.d.). Valot on kytketty niin, että ne palavat vain yksi kerrallaan. Se valo syttyy, mihin suuntaan mobiilirobotti liikkuu tai on lähdessä liikkeelle. Äänimerkkejä tai muita varoitussignaaleja ei todennäköisesti tarvita, koska mobiilirobottien liikkuminen tuotantotiloissa tulee olemaan jatkuvaa, joten niihin osattaneen kiinnittää huomiota.

Taajuusmuuttajien kokoonpanossa käytetään suuria määriä ruuveja, muttereita ja vastaavia pieniä tuotteita, jotka tulevat tavarantoimittajilta niin sanotusti kilotavarana. Samoja nimikkeitä käytetään eri tuotteissa ja niiden eri kokoonpanovaiheissa. Ne on mielekkäämpi toimittaa kokoonpanolinjoille kanban-laatikkoperiaatteella sen sijaan, että toimitukset olisivat kappalemääräisesti tarkalleen tarvetta vastaavia. Täysi ruuvilaatikko toki voidaan toimittaa kuljetusyksikön mukana oikealle työvaiheelle samalla muiden komponenttien toimituksen yhteydessä. Tällöin kokoonpanijan on siirrettävä ruuvilaatikko kuljetusyksiköstä täydennyspaikalle. Muutoin ruuvilaatikko lähtee myöhemmin tyhjän kuljetusyksikön mukana pois kokoonpanolinjalta. Ruuvituotteiden täytyy olla tuoterakenteessa systemaattisesti erotettavissa, jotta niiden tilaus pystytään järjestämään imuohjauksen sijaan erillisen kanban-tilausprosessin kautta. Ruuvilaatikon toimituspyyntö muodostuu tällöin siitä, kun täydennyspaikka tyhjenee. Täydennyspaikkaa voidaan seurata ja tehdä toimituspyyntö manuaalisesti tai nekin toiminnot voidaan automatisoida.

Mikäli komponentteja halutaan jalostaa ennen kokoonpanolinjoille toimittamista, voidaan kyseiset komponentit toimittaa varastoautomaatista mobiilirobottien kuljetamana halutun suuruusissa erissä jalostuspaikalle. Siellä komponenteille tehdään tarvittavat toimenpiteet, jonka jälkeen ne toimitetaan käyttöpaikoilleen. Jalostettujen komponenttien toimittaminen lienee tarkoituksenmukaisinta tehdä manuaalisesti, mikäli niiden käsittely jalostuksen jälkeen poikkeaa muista. Esimerkkeinä ennen kokoonpanoa tehtävästä jalostamisesta mainittakoon joidenkin komponenttien yhdistäminen toisiinsa tai lämpöpastan levittäminen tiettyjen tuotemallien komponentteihin.

Mobiilirobottien kappalemäärän määrittää niiden tehtävien määrä ja matka, jonka ne kuljetusyksiköitä liikuttavat. Taulukossa 2 on jatkettu aiemmin käsitellyn kolmen taa-juusmuuttajamallin komponenttien toimitusta laskemalla tarvittava mobiilirobottien määrä. Laskennassa on huomioitu kuljetusyksikön kyytiin ottamiseen kuluva aika paikoituksineen, liikkuminen keräilyasemalta kokoonpanolinjoille (keskimäärin 205 metriä nopeudella 0,7 metriä sekunnissa) sekä paikoittaminen ja kuljetusyksikön jättö kokoonpanolinjalle. Toimitusten yhteydessä pyritään aina ottamaan tyhjä kuljetusyksikkö paluukuljetuksena keräilyasemalle. Aina ei kokoonpanopisteeltä pois vietävää kuljetusyksikköä ole otettavissa paluukuljetukseen, ainakaan läheltä toimitetun yksikön jättöpaikkaa. Laskelmaan on arvioitu myös mobiilirobottien lataamiseen käytettävä aika taukojen ulkopuolella sekä hukka-aika, jolloin mobiilirobotit joutuvat odottamaan jotain ennen työtehtävän suorittamista. Mobiilirobottien ei henkilöstön tauko-aikojen ulkopuolella pitäisi periaatteessa viettää aikaansa latauksessa lainkaan, mutta laskelmassa siihenkin on syytä jättää varaa, koska ainakin akkujen kapasiteetti heikenee ajan myötä.

Taulukko 2. Mobiilirobottien määrän laskenta.

Komponenttitoimitusten välinen aika keskimäärin	191 s	= 3 min 11 s
Keräilyaseman ja tuotantolinjan välinen ajoaika	293 s	= 4 min 53 s
Keräilyasemalta toimitus tuotantolinjalle	378 s	= 6 min 18 s
Tyhjä kuljetusyksikkö tuotantolinjalta varastoon	475 s	= 7 min 55 s
Tyhjien noutoja vientien yhteydessä	90 %	
Latauksessa oloajan osuus	10 %	
Odotusajan osuus	15 %	
Tarvittavien mobiilirobottien määrä	5,97 kpl	

Laskelman perusteella kuuden kokoonpanolinjan palvelemiseen tarvitaan kuusi mobiilirobottia. Tässäkin laskelmassa kokoonpanoa tehdään jatkuvasti mallikohtaisten standardiaikojen tahdilla, mikä ei aina vastaa todellisuutta, mutta automaation kapasiteetti on mitoitettava täydelle tuotantovauhdille. On myös muistettava aiemmin korostetun eräkoon merkitys komponenttitoimitusten väliseen aikaan. Laskelmassa käytetyn kuuden kokoonpanolinjan sijasta laajempi automatisointi parantaa mahdollisuutta noutaa tyhjiä kuljetusyksiköitä useammin toimituksen yhteydessä ja lähempää toimituksen kohteena ollutta kokoonpanovaihetta.

Taulukossa 3 on esitetty aiempaa esimerkkiä jatkaen tehty laskelma kuljetusyksiköiden määrän tarpeesta. Lähinnä tuotannon volyymien vaihteluun varautumiseksi laskelmassa on lisätty kuljetusyksiköiden määrää viidenneksellä kokoonpanolinjoilla olevasta määrästä.

Taulukko 3. Kuljetusyksiköiden kappalemäärän laskenta.

Kuljetusyksiköiden tarve (kpl)	
Kokoonpanolinjoilla	33,3
Keräilyssä	2,0
Odottamassa keräilyä	2,0
Odottamassa vientiä tuotantoon	2,0
Kuljetuksessa	5,4
Varmuus- ja tuotannon vaihteluvara (20 %)	6,7
Yhteensä	51,3
Kokoonpanovaiheiden määrä	18,0
Kuljetusyksiköitä per kokoonpanovaihe	2,9

Laskelman mukaan kuudella kokoonpanolinjalla olevan 18 vaiheen tarpeisiin tarvitaan vähintään 51,3 kuljetusyksikköä. Laskelmasta huomataan kuljetusyksiköiden määrän olevan hyvin linjassa kolmen laatikon kanban-järjestelmän kanssa.

7.6 Paluulogistiikka

Turhaa liikkumista välttämällä, leanin sekä vanhan suomalaisen sananlaskun mukaisesti, on tehokasta viedä mennessään ja tuoda tullessaan. Kokoonpanolinjoilla tyhjentyneet kuljetusyksiköt kannattaa noutaa takaisin keräilyasemalle täysien toimituksen yhteydessä.

Kun kuljetusyksikkö tyhjenee kokoonpanolinjalla, muodostuu mobiilirobottiparvelle noutotehtävä. Tällöin sillä hetkellä lähimpänä oleva mobiilirobotti, jolla ei ole työtettä kesken, ottaa tehtävän hoitaakseen ja noutaa kuljetusyksikön pois kokoonpanolinjalta. Tyhjä kuljetusyksikkö viedään odottamaan seuraavaa käyttötarvetta keräilyaseman yhteydessä olevalle kuljettimelle, joka toimii puskurivarastona. Sen täynnä ollessa kuljetusyksikkö viedään sivummalla olevalle alueelle, josta mobiilirobotit siirtävät kuljetusyksiköitä keräilyaseman puskurivarastoon, kun sieltä vapautuu tilaa.

Mikäli kokoonpanoon toimitettu komponenttimäärä ei vastaa tarvetta, eli komponentteja jää puuttumaan tai niitä jää kuljetusyksikköön käyttämättä, kokoonpanohenkilö raportoi poikkeamasta. Raportoinnissa voidaan hyödyntää jo käytössä olevaa Andon-painiketta. Poikkeama on selvitettävä mahdollisimman pian, ettei havaittu saldovirhe ehtisi aiheuttaa häiriöitä muualla tuotannossa.

7.7 Rajapinnat

Monesta osasta koostuvan kokonaisuuden sujuva toiminta edellyttää informaation siirtoa järjestelmien välillä. Automaattivaraston ja mobiilirobottien mukana tulee omat ohjelmistonsa, millä niiden liikkeiden ohjaus tapahtuu. Tuotannonohjausjärjestelmästä tarvitaan rajapinnan kautta tieto, mitä materiaalia, kuinka paljon ja mihin kohteeseen.

Eri osista automaatiolaitteistoja voidaan tapahtumat siirtää toiminnanohjausjärjestelmään tai muualle yhdessä paikassa käsiteltäväksi. Seuraamalla automaattivaraston ja mobiilirobottien suorittamia tehtävätyyppejä ja niiden aikaleimoja, saadaan muodostettua tarkka kuva materiaalivirran toiminnasta, automaation käyttöasteesta ja virtausta rajoittavista pullonkauloista. Tietojen perusteella voidaan myös valita kehityskohteet, joista on saavutettavissa suurin hyöty.

8 YHTEENVETO

Lopuksi summataan mitä automaatiolla olisi saavutettavissa ja minkälaisesta muutoksesta sen käyttöönotossa olisi kyse.

Luvussa 7 kuvattu materiaalin käsittelyn automatisointi on mahdollista toteuttaa joko sellaisenaan tai osittain sopiviksi katsottuja ratkaisuja hyödyntäen. Taajuusmuuttajatehtaan tuotannossa automaatiolla on mahdollista saavuttaa ainakin seuraavia hyötyjä:

- Tehokkaampi lattiapinta-alan käyttö
- Nopeat vaihtoajat kokoonpanolinjoilla
- Tarkempi materiaalin seuranta ja ohjaus
- Parempi inventaariotarkkuus
- Vähemmän manuaalista ja fyysistä työtä materiaalinhallinnassa
- Työn kohdistaminen tarkemmin lisäarvoa tuottaviin tehtäviin
- Turvallisempi työympäristö
- Moderni mielikuva tehtaasta.

Automatisoinnin myötä manuaalista työtä siirtyy materiaalivirrassa aiempiin vaiheisiin. Myös materiaalin manuaalinen siirtäminen vähenee. Tuotantoa voidaan tehdä joustavasti pienissä erissä, mikä toisaalta lisää käsittelykertojen määrää. Lisäksi automaatiolaitteistojen ylläpito luo työtehtäviä, joille manuaalisessa toimintamallissa ei ole tarvetta.

Järjestelmän tulee olla modulaarinen ja skaalautuva, jolloin sitä jatkossa pystytään samalla toimintaperiaatteella käyttämään osissa sekä isommassa tai tarvittaessa pienemmässäkin mittakaavassa. Skaalautuvan automaatiokonseptin toimivuudesta voidaan ensin kerätä kokemusta implementoimalla se vain osaan kokoonpanolinjojen komponenttitoimituksia. Vaihtoehtoisesti voidaan aluksi ottaa käyttöön vain tietty osuus, esimerkiksi keräily tai toimitukset mobiiliroboteilla. Tällöin toiminnasta saadaan kokemusta, mutta automaatiosta ei saavuteta volyyमितua. Tietojärjestelmiin vaadittavien muutosten osuus saattaa tällöin kasvaa kohtuuttoman isoksi tai muutokset joudutaan korvaamaan manuaalisilla työvaiheilla.

Automatisointi on nykyiseen toimintamalliin nähden niin iso ja merkittävästi poikkeava muutos, että mahdollinen hankinta ja käyttöönotto edellyttää tarkempaa suunnitteluprojektia. On määriteltävä yksityiskohtaisesti muun muassa uudet prosessit, laitteistojen toiminnallisuudet ja tiedonsiirto järjestelmien rajapintojen välillä sekä kartoitettava automaatiojärjestelmien toimittajien kyvykkyys ja kustannustaso. Suomessa mobiilirobottien käyttö, etenkin parvessa toimien, on vielä harvinaista, joten ennen investointia olisi hyvä käydä tutustumassa käyttökohteisiin tarvittaessa ulkomailla. Käyttäjiltä saatujen kokemusten perusteella voidaan helpottaa ratkaisujen tekoa ja tehostaa käyttöönottoa. Erityistä huomiota mobiilirobottien valinnassa kannattaa kiinnittää niiden navigointikykyyn sekä toimintavarmuuteen. Itsenäinen liikkuminen ilman jatkuvia häiriöitä on erittäin kriittistä automatisoidun konseptin kannalta.

Automaation käyttöönotto, kuten mikä tahansa huomattava muutos toiminnassa, tarkoittaa muutosta toimintatapoihin siitä hetkestä eteenpäin. Siksi on ensiarvoisen tärkeää, että muutokseen sitoudutaan ja alkuhankaluuksien aikaanakin jatketaan uuden konseptin mukaisen toiminnan kehittämistä. Muutoksella tavoiteltuja hyötyjä ei voida saavuttaa, mikäli palataan aiempaan toimintatapaan. Ison muutoksen hallitseminen organisaatiossa vaatii nimetyn muutosjohtajan, joka vastaa muun muassa uusien ohjeiden jalkauttamisesta ja työntekijöiden sopeutumisesta uusiin toimintatapoihin.

Kaikkea autonomista liikkumista kehitetään tällä hetkellä niin monella taholla aktiivisesti ja innovatiivisesti, että uskon mobiilirobottienkin olevan viiden vuoden kuluttua huomattavasti kehittyneempiä. Uskoakseni teknologian kypsyminen tulee näkymään erityisesti luotettavampana navigointina muuttuvassa ympäristössä sekä laitteiden sulavana, määrätietoisena ja tarkkana liikkumisena. Mobiilirobotit tulevat etäisyyden mittauksen lisäksi tulkitsemaan ympäristöään kameroidensa avulla. Koneoppimisen ja neuroverkkojen hyödyntämisen myötä ne tulevat kykenemään aiempaa kokemusta ja monimutkaista suunnittelua vaativiin tehtäviin. Parvitoiminta tulee kehityksen myötä näkymään päivittäisessä toiminnassa myös siten, että laitteet voidaan mitoittaa pienemmälle kuljetuskapasiteetille. Harvakseltaan tapahtuvan isojen tai painavien materiaalien käsittelyn laitteet pystyvät hoitamaan sujuvasti yhdessä. Toisaalta kehittyvää tekniikkaa odottamaan jäävä ei pääse sitä koskaan hyödyntämään, koska aina on tulossa saataville jotain vieläkin houkuttelevampaa.

9 LOPPUSANAT

Pääsin tässä opinnäytetyössä hyödyntämään sekä kokemustani sisälogistiikasta, että robotiikka- ja automaatio-opinnoista saamiani tuoreita tietoja. Materiaalivirran tarkastelu automaation näkökulmasta toi tuttuun aiheeseen mukavasti uudenlaista pohdittavaa ja selvitettävää. Ratkaisuvaihtoehtojen kartoittaminen ohjasi miettimään muitakin kuin itsestään selviä automatisoinnin vaikutuksia. Pyrin objektiivisesti tarkastelemaan tavoiteltavien hyötyjen lisäksi automaation tuomia rajoitteita ja haittapuolia.

Työstä sovittaessa tehdyn selkeän tehtävän määrittelyn pohjalta oli hyvä luoda toteutuksesta suunnitelma. Se ei oleellisilta osin työn aikana muuttunut, joten asioiden selvittämisessä ja uuden konseptin suunnittelussa pystyin etenemään loogisin askelin. Sain vapaat kädet työskennellä projektini parissa saaden tukea ja palautetta Supply Chain Project Office -tiimiltä, jossa koin olevani tasa-arvoisesti mukana heti ensimmäisestä työpäivästäni alkaen. Tehtaalla suhtaudutaan mukavan positiivisesti toiminnan kehittämistä ja uuden teknologian hyödyntämistä kohtaan.

Projektista minulle kertynyt tieto tulee jatkossa varmasti olemaan hyödyksi, kun sisälogistiikan automatisointi tulee edelleen joka puolella lisääntymään ja monipuolistumaan. Todellisten asiakastarpeiden ymmärtäminen ja niihin automaatoratkaisuilla vastaaminen tulee olemaan tarpeen monen Suomessa toimivan yrityksen kilpailukykyyn parantamiseksi. Automatisoinnilla luodaan ikääntyvälle väestöllemme turvallisia ja viihtyisiä työpaikkoja.

Kiitän Danfoss Drivesin Vaasan taajuusmuuttajatehtaan henkilöstöä, jonka ansiosta työni eteni innovatiivisessa ympäristössä sujuvasti. Hatun noston ansaitsevat myös ne automaatiotoimittajien edustajat ja järjestelmien käyttäjät, joiden ansiosta pääsin tutustumaan eri yritysten käytössä oleviin mobiilirobottiratkaisuihin ja keskustelemaan käyttökokemuksista.

LÄHTEET

Bargmeyer, J., Burghardt, M., Hanigovszki, N., Hansen, M. L., Hildebrand Jensen, A., Wahl Jensen, J., Seekjar, H., Tataru-Kjar, A., Zare, F., Jansen, T. & Černý, M. 2014. Facts Worth Knowing about Frequency Converters. Danfoss.

Danfoss Drives. n.d. Viitattu 10.5.2019. <http://drives.danfoss.fi>

Dematic. n.d. Viitattu 12.3.2019. <https://www.dematic.com>

Direct Industry. n.d. Viitattu 22.7.2019. <http://www.directindustry.com>

Electric Systems and Controls Ltd. n.d. Viitattu 7.8.2019. <https://www.esc.ie>

EnergyVaasa brochure 2015. Viitattu 9.7.2019. http://vaasanseutu.fi/app/uploads/sites/7/2015/03/EnergyVaasa-brochure-2015_HR.pdf

EOS/ESD Association, Inc. n.d. Viitattu 30.7.2019. <https://www.esda.org>

Global Energy Institute. A Look at IEA's New Global Energy Forecast. 2018. Viitattu 18.6.2019. <https://www.globalenergyinstitute.org>

Gygi, C., DeCarlo, N. & Williams, B. 2005. Six Sigma for Dummies. Indianapolis: Wiley Publishing Inc.

Hokkanen, S. & Karhunen, J. 2014. Johdatus logistiseen ajatteluun. 7. painos. Sho Business Development Oy.

Hokkanen, S. & Virtanen, S. 2016. Varastonhoitajan käsikirja. 3. painos. Sho Business Development Oy

Honkanen, V. 2016. Tekniikka & Talous 4.11.2016. Helsinki: Alma Talent Oy.

Jurvelin, K. 1998. Tekniikka & Talous 12.2.1998. Helsinki: Alma Talent Oy.

Kerminen, T. Jukan opinnäytetyö. Vastaanottaja: jukka.vuorenmaki@danfoss.com. Lähetetty 30.7.2019 klo 12.27. Viitattu 30.7.2019.

Korteila, M. 2010. Arvopaperi: Maailmalle ja maineeseen. Helsinki: Alma Talent Oy.

Laukkanen, J. Koneviesti. 2015. Viitattu 25.7.2019. <https://www.koneviesti.fi>

Launis, M. & Lehtelä, J. 2011. Ergonomia. Tampere: Tammerprint Oy.

Liker, J. K. 2004. The Toyota Way – 14 management principles from the world's greatest manufacturer. CWL Publishing Enterprises Inc.

Logistiikan Maailma. n.d. Viitattu 12.6.2019. <http://www.logistiikanmaailma.fi>

MCS-Management Consulting Services Oy. n.d. Viitattu 14.6.2019. <http://mcs-fi.woo.fi>

Mobile Industrial Robots. n.d. Viitattu 22.7.2019.
<https://www.mobile-industrial-robots.com>

Modig, N. ja Åhlström, P. 2013. Tätä on Lean. Rheologica Publishing.

Parjanne, M-L. 2004. Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2004:18. Väestön ikärakenteen muutoksen vaikutukset ja niihin varautuminen eri hallinnonaloilla. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Rantala, P. Arkisto. Vastaanottaja: robert.rotkirch@danfoss.com.
Lähetetty 13.6.2017 klo 9.34. Viitattu 31.7.2019.

Rentschler, T. Swisslog - Five reasons why Industry 4.0 will permit even small warehouses to adopt automation. 2019. Viitattu 12.6.2019. <https://www.swisslog.com>

Ritvanen, V., Inkiläinen, A., von Bell, A. & Santala, J. 2011. Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet. Helsinki: Suomen huolintaliikkeiden Liitto ry, Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY ry.

Römer Fördertechnik GmbH. n.d. Viitattu 21.8.2019.
<https://roemer-foerdertechnik.de>

Saari, T. Tietoja tuotantotiloista. Vastaanottaja: jukka.vuorenmaki@danfoss.com.
Lähetetty 18.6.2019 klo 7.48. Viitattu 31.7.2019.

SSI Schäfer. n.d. Viitattu 15.8.2019. <http://www.ssi-schaefer.com>

SSI Schäfer - Fritz Schaefer GmbH. 2019. Warehouse, order-picking and transport containers 2019-2020.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2015. Esite: Koneturvallisuuden standardit.

Tikka, J. 2016. Logistiikan perusteet. Helsinki: Books on Demand.

Tilastokeskus. 2018. Väestöennuste 2018-2070.

Torkkola, S. 2015. Lean asiantuntijatyön johtamisessa. Helsinki: Talentum Pro.

Treston. 2018. Esite: Kuuden kohdan tarkistuslista ESD-suojattujen alueiden luomiseksi ja ylläpitämiseksi. Turku: Treston.

Työsuojeluhallinto. n.d. Viitattu 22.7.2019. <https://www.tyosuojelu.fi>

Universal Robots. 2019. Aloita Cobotit: 10 helppoa vaihetta.

Vaasa Parks. n.d. Viitattu 25.7.2019. <https://www.vaasaparks.fi>

Vacon Oy. 2014. Vacon Oyj, Pörssitiedote, 2.12.2014 kello 9.50

Vacon Oy. 2019. Vacon Oy:n vuoden 2018 tilinpäätös.

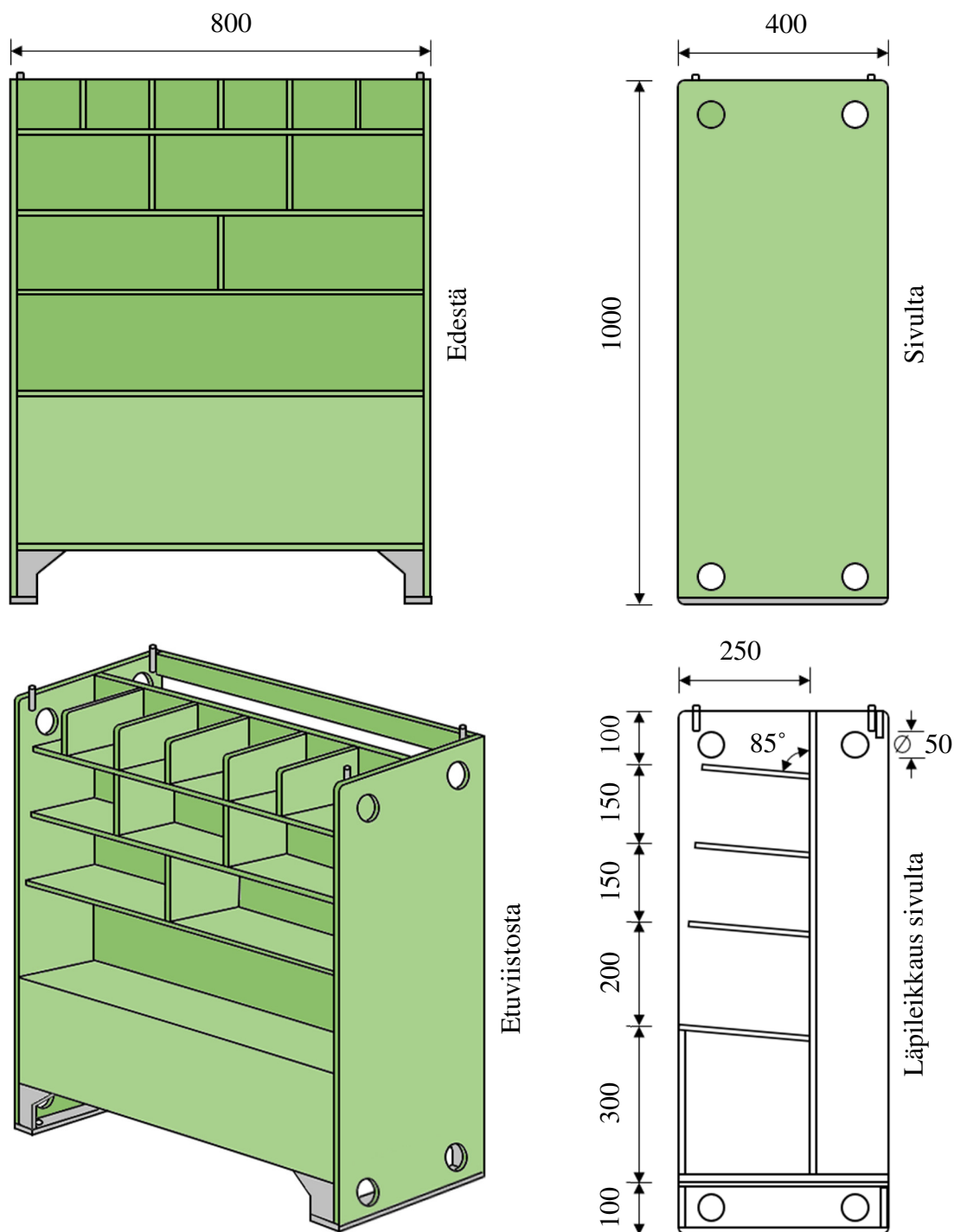
Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M. & Vainio, T. 2018. Robotisaation ja automaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston kanslia.

Vincent, J. 2016. The Verge: Amazon's latest robot champion uses deep learning to stock shelves. Viitattu 30.7.2019. <https://www.theverge.com>

Wihuri Oy Tekninen kauppa. n.d. Viitattu 23.7.2019. <https://www.tekninenkauppa.fi>

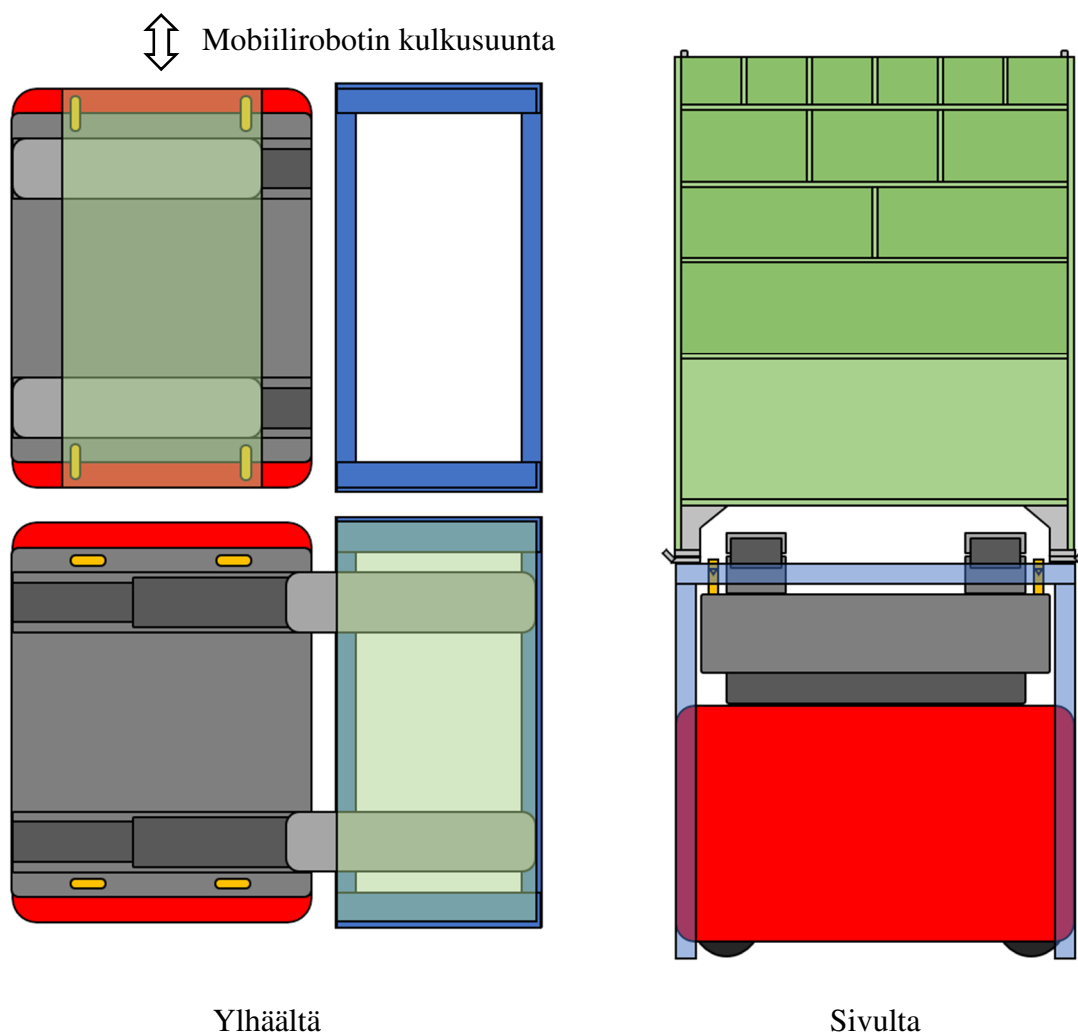
KULJETUSYKSIKKÖ

Kuljetusyksikössä on lokerot toimitettaville komponenteille. Pääosin vanerista tai muovista valmistetussa rakenteessa on myös teräsosia. Mitat ovat millimetreissä. Yksikkö on käsiteltävissä trukkihaarukoilla tai käyttämällä nostoreikiä.



PÄÄLLIRAKENNE JA KOKOONPANOLINJAN TELINE

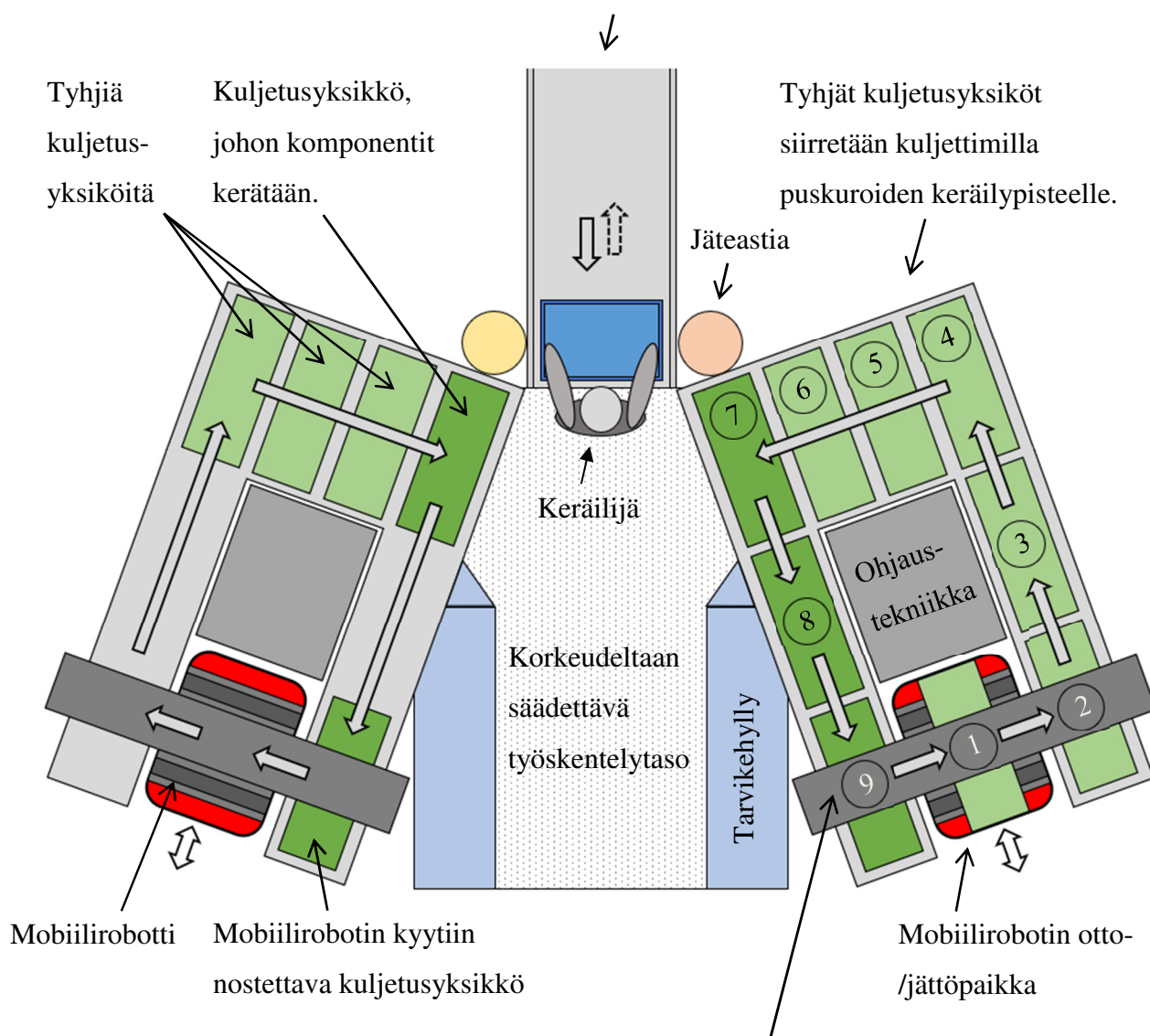
Esimerkit mobiilirobotin päällirakenteesta ja kokoonpanolinjan telineestä. Kuvasarjassa tyhjä kuljetusyksikkö (vihreä) siirretään mobiilirobotin (punainen) kyydistä telineeseen (sininen) päällirakenteena olevalla nostimella (harmaa), jossa on laitteen molemmille puolille liikkuvat teleskooppihaarukat. Nostimessa on lukitus (keltainen) kuljetusyksikön pitämiseksi paikoillaan kuljetuksen aikana.



KERÄILYASEMA

Keräilyaseman periaatekuvassa havainnollistetaan ylhäältäpäin sen rakennetta ja toimintoja. Kuva ei ole mittakaavassa ja siitä on jätetty pois muun muassa keräilijän edessä oleva tietokeen monitori sekä hänen yläpuolellaan olevat keräilyvalot.

Kaksikerroksinen kuljetin. Yhdellä tasolla laatikoita siirretään varastoautomaatista keräilyyn ja toisella tasolla takaisin varastoon.



Portaalirobotilla nostetaan tyhjä kuljetusyksikkö kuljettimelle (1 → 2) ja täysi mobiilirobotin kyytiin (9 → 1). Tarvittaessa kuljetusyksikköä käännetään noston aikana 180°.