

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

NKONTK14

2016

Jesse Aapro

KONSEPTI MUSTEPATRUUNOIDEN UUDELLEENTÄYTTÖÖN

Jesse Aapro

KONSEPTI MUSTEPATRUUNOIDEN UUELLEENTÄYTTÖÖN

Tuotannon automatisointi on arkipäivää monilla teollisuuden aloilla, ja sen tarkoituksena on laskea kustannuksia ja auttaa suomalaisia yrityksiä menestymään kansainvälisessä kilpailussa. Opinnäytetyön päätavoitteena oli aloittaa tuotantolinjan kehittäminen mustepatruunoiden uudelleentäyttöön. Ensisijaisena tarkoituksena oli tuotantolinjan karkean 3D-mallin muodostaminen ja toimintakuvauksen kehittäminen sekä muutamien teknologiavaihtoehtojen selvittäminen. Työssä on myös tarkasteltu esi- ja perussuunnitteluvaiheita sekä konseptin muodostamisen viittä vaihetta, joista konseptin kehittämisen osalta saavutetaan kolmas vaiheista eli jalostusvaihe.

Kirjoittamisessa on hyödynnetty kirjallisuutta sekä muita lähteitä tuotekehityksestä ja erilaisista ideointimenetelmistä. Työssä käsitellään ensin suunnitteluvaiheita ja konseptin muodostamisen vaiheita. Konseptin muodostamisen vaiheista edetään ideointimenetelmiin ja tuotantolinjan eri toimintojen toteutustapoihin. Lopuksi esitellään tuotantolinjan 3D-mallia ja toimintaperiaatetta. Konsepti on keskeneräinen eikä kehittämisen jatkosta toistaiseksi ole varmuutta.

Työn avulla on mahdollista saada parempi käsitys suunnittelun ja konseptoinnin eri vaiheista sekä tuotantolinjan kehittämisen vaadittavasta aikataulusta ja ratkaisuista. Työn ehkä tärkein tulos on osoittaa, että mustepatruunoiden uudelleentäytön automatisointi on mahdollista. Toimeksiantajalla on mahdollisuus jatkaa nykyisen konseptin kehittämistä uuden suunnitteluryhmän kanssa tai poimia konseptin onnistuneimmat osa-alueet ja käyttää niitä hyödyksi kokonaan uuden tuotantolinjan suunnittelussa.

ASIASANAT:

Automatisointi, tuotantolinja, automaatiojärjestelmä, suunnittelun vaiheet, konsepti

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation

2016 | 44

Timo Vaskikari

Jesse Aapro

CONCEPT FOR THE REFILLING OF CARTRIDGES

Production automation is common in different industries with the main goal to lower overall costs and help Finnish companies to succeed in global competition. The main objective of this thesis was to initiate the development of a production line for refilling used ink cartridges. The primary purposes were to create a rough 3D -model, clarify the operational principle and find out some technology options for the production line. Preliminary and primary planning as well as the five phases of concept formation were also examined in the thesis. The third phase, which is called the processing phase, was reached.

Literature and other sources of product development and various brainstorming methods were used during the writing process. The phases of planning and a process of concept formation is discussed at the beginning of the thesis. Brainstorming techniques and implementation methods used in the development of the production line are also discussed after the phases of planning. Finally, a 3D -model of the production line with the operating principle is presented. The concept is a work in progress and the continuation of the development is uncertain.

The thesis helps to get a better understanding of the phases of the designing and concept formation as well as the required time frame and solutions for the development of a production line. Perhaps the most important result of the work is to show that it is possible to refill ink cartridges automatically. The customer has the opportunity to continue developing the existing concept with a new design team, or use the current concept to help to design a completely new production line.

KEYWORDS:

Automation, production line, automation system, planning stages, concept

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 TUOTANTOLINJAN SUUNNITTELUPROSESSI	8
2.1 Lähtötilanne	9
2.2 Projektin tavoitteet	9
2.3 Linjaston suunnittelun vaiheet	10
2.3.1 Esisuunnittelu	11
2.3.2 Perussuunnittelu	13
3 KONSEPTTIN MUODOSTAMINEN	15
3.1 Suunnittelussa käytetyt kehitysmenetelmät	16
3.2 Teknologia vaihtoehdot	19
3.2.1 PLC ja PC-pohjainen ohjaus	19
3.2.2 Anturit	21
3.2.3 Kenttäväylät	22
3.2.4 Konenäkö ja RFID-tekniikka	23
3.2.5 Liikkeenohjaus	24
3.2.6 Kuljettimet	25
3.3 Teknologian vertailu	26
3.4 IEC-standardin mukaisten ohjelmointikielien vertailu ja valinta	27
4 TUOTANTOLINJAN RAKENNE JA MALLINTAMINEN	29
4.1 Karteesinen robotti	29
4.2 Mustepatruunoiden nollaaminen	31
4.3 Vaiheet mustepatruunoiden täytöstä, pesuun ja kuivaukseen	32
4.4 Kehikko mustepatruunoille	35
5 TUOTANTOLINJAN TOIMINTAKUVAUS	37
6 POHDINTA	40
LÄHTEET	43

LIITTEET

Liite 1. Kuvat 3D-mallista.

KUVAT

Kuva 1. Tuotantolinjan suunnittelun vaiheet.	11
Kuva 2. Karteesisen robotin runko eurolavalla.	30
Kuva 3. Nollauspiste.	32
Kuva 4. Alipaineastiat, pesuastiat ja mustealtaat.	34
Kuva 5. Mustepatruunakehikko ja mekanismi.	36

KUVIOT

Kuvio 1. Karteesisen robotin toimintakaavio.	39
--	----

TAULUKOT

Taulukko 1. Tuotekehitysmatriisi.	18
-----------------------------------	----

1 JOHDANTO

Automaatio on keskeinen kilpailutekijä, vaikka työpaikat vähenevätkin automaation vuoksi. Korkea automaatioaste hyödyttää erityisesti säilyttämään tuotantotoimintaa maissa, joissa henkilöstökustannukset ovat merkittäviä. Talouden ja sosiaalijärjestelmän sopeutumiskyvyttömyys on yksi työpaikkojen vähentymiseen johtaneista syistä. Automaation perustuessa yhä enemmän valmiisiin komponentteihin, erilaisia sovelluksia pystytään luomaan aikaisempaa helpommin. (Kippo & Tikka 2008, 8–9.) Yleisen näkemyksen mukaisesti tuotantokustannukset kääntyvät laskuun tuottavuuden nousussa, mikä johtaa halvempien tuotteiden tarjonnan lisääntymiseen. Työllisyys voi lisääntyä sekä elintaso ja elämän laatu parantua kuluttajien käyttäessä enemmän halventuneiden tuotteiden vuoksi yli jäänyttä rahaa. (Raivio & Syrjänen 2005, 12.)

Käytettyjen mustepatruunoiden täyttäminen tapahtuu edelleen pääosin käsin vieden aikaa miltei 10 minuuttia kaikkineen vaiheineen. Mustepatruunoissa on tyypillisesti vähäisesti mustetta, muutamia millilitroja, eikä patruunoita ole tarkoitettu uudelleen käytettäväksi. Asiakkaan tulisi hävittää mustepatruuna käytön jälkeen, jolloin yhden patruunan musteen litrahinta on noin 4 000–5 000 euroa. Uudelleen täytetyn mustepatruunan musteen litrahinta on noin 40 euroa, ja patruuna mahdollistaa useimmiten suuremman tulostusmäärän. (Tones Oy, henkilökohtainen tiedonanto 10.2.2016.) Mustepatruunoita tuotetaan vuosittain yli 500 miljoonaa kappaletta maailmanlaajuisesti ja niistä suurin osa ei päädy enää uudelleen käyttöön. Yhden mustepatruunan tuottaminen kuluttaa noin kolme litraa öljyä, mikä johtaa yli 1 400 000 000 litran öljyn kulutukseen vuosittain. (Micro Solution Enterprices 2013.)

Tuotekehitystä aloitettaessa on tärkeää miettiä, miten kunnianhimoista hanketta ollaan aloittamassa, koska suurempien projektien osalta kestää paljon pidempään päästä päämäärään. Päämäärän ollessa aivan liian kaukana annetaan kilpailijoilla mahdollisuus ehtiä ensin. (Välimaa, Kankkunen, Lagerroos & Lehtinen 1994, 20.) Opinnäytetyössä päätavoitteena on karkean mallin suunnitteleminen tuotantolinjasta, millä pyritään toteuttamaan mustepatruunoiden uudelleen täyttämiseen vaadittavat vaiheet. Vastaavaa tuotantolinjaa ei tiedettävästi ole suunniteltu aikaisemmin. Tuotantolinjan suunnittelu aloitettiin Tones Oy:n tilauksesta.

Opinnäytetyössä edetään vaihe vaiheelta suunnitteluprosessin ensimmäisestä vaiheesta lähtien. Prosessi alkaa lähtötilanteen ja läpikäytävien suunnitteluvaiheiden selvi-

tyksestä sekä niihin sisältyvästä varsinaisesta konseptin luomisesta ja kehittämisestä päättyen tuotantolinjan rakenteen ja mallin esittelyyn sekä lopullisen tuotantolinjan toiminnankuvaukseen. Toiminnankuvaus on rajattu koskemaan ainoastaan tuotantolinjan yleistä toimintaa, eikä automaatiojärjestelmän tai muiden osa-alueiden tarkempaan toimintaan ole perehdytty. Projektin ollessa erittäin laaja on myös monia muita rajoituksia tehty teknologiavaihtoehtojen ja valintojen sekä muun tekniikan, osien ja materiaali-valintojen osalta. Opinnäytetyössä keskitytään teknologianvaihtoehtojen osalta ainoastaan muutaman automaatiojärjestelmiä valmistavan yhtiön vaihtoehtoihin ja esitetään yksi mahdollinen ratkaisu tuotantolinjan automaatiojärjestelmäksi. Työssä käsitellään suhteellisen kattavasti kahta ensimmäistä suunnitteluvaihetta ja konseptin muodostamista, koska aihealueiden ymmärtäminen on tärkeä osa tuotantolinjan suunnittelun aloittamista.

Suunniteltavalla tuotantolinjalla voidaan tukea mustepatruunoiden uusiokäyttöä ja suojella ympäristöä. Kun värikasetit palautetaan uudelleen täyttöä varten, voidaan ne suoraan hyödyntää sellaisenaan ja palauttaa myyntiin. Ympäristönsuojelu merkitsee sellaisten materiaalien ja tekniikan suosimista tuotteen valmistusprosessissa ja tuotteessa itsessään, jolla voidaan säästää luontoa (Välimaa ym. 1994, 168). Kun tuote täyttää siltä odotetut vaatimukset, asiakasta ei välttämättä kiinnosta, onko tuotetta jo kertaalleen käytetty (Välimaa ym. 1994, 168). Raivion ja Syrjäsen mukaan (2005, 12) ympäristöön investoitaessa voi automaatio huomattavasti vaikuttaa positiivisesti kannattavuuteen.

Projekti on toteutettu osana Turun ammattikorkeakoulun Projektipaja 2 -opintojaksoa. Suunnitteluryhmä koostui neljästä insinööriopiskelijasta, ja varsinainen osaaminen tuotantolinjan suunnittelusta oli rajallista, mikä osaltaan asetti rajoitteita aikatauluun. Ryhmän koostuessa opiskelijoista oli suunnitteluun käytettävissä normaalia vähemmän aikaa. Projektin aikana saavutettiin edellisistä haasteista huolimatta suhteellisen paljon 3D-mallin ja tuotantolinjan toimintaperiaatteen sekä alustavien teknologia vaihtoehtojen osalta.

2 TUOTANTOLINJAN SUUNNITTELUPROSESSI

Automaatiolla tarkoitetaan yleensä itsenäisesti toimivia järjestelmiä. Automaatio-käsite edellyttää automaatiolle tyypillisiä piirteitä. Mittaukset ovat aina osa automaatiota, min-
kä tietoihin ohjaukset ja säädöt perustuvat. Mittausten tai ohjausten puuttuessa ei vält-
tämättä voida käyttää automaatio-sanaa. Kerättäessä pelkkää reaaliaikaista mittaustie-
toa voidaan käytännössä puhua vain tiedonkeruuasemasta. Tietotekniikan edistyminen
on ollut yksi automaation kehityksen edellytyksistä. Integroiduista järjestelmistä on siir-
rytty hajautettuun järjestelmään, missä instrumentit, älykkäät kenttälaitteet ja ohjattavat
prosessit sijaitsevat prosessiasemien läheisyydessä. (Kippo & Tikka 2008, 7–8.)

Järjestelmän kehityksen alkaessa on yrityksen oltava yksimielinen määrätystä asioista,
joita ilman on vaikea asettaa tulevaisuuteen tähtääviä tavoitteita. Tulevaisuuden pää-
määrän tulee olla realistinen ja ennen kehitystyön aloittamista on varmistuttava, ettei
aleta kehittää uudelleen jotain, mitä on jo olemassa tai se korvautuu lähitulevaisuudes-
sa, jollain muulla. Yrityksellä on suotavaa olla näkemyksiä ihmisten arvojen muuttumi-
sesta ja sen vaikutuksesta maailmaan. Kilpailevien yrityksiä vahvuudet ja heikkoudet
tulee olla selvillä, sekä mikä tarve kehitettävällä järjestelmällä tai laitteella tyydytetään.
Varsinaisen tarpeen puuttuessa on epätodennäköistä, että yritys pystyy myöskään sel-
laista luomaan. Edellisten lisäksi on ennen kehityksen aloittamista yrityksen oltava sel-
villä omista sisäisistä rajoitteistaan, joita voivat olla esimerkiksi taloudelliset rajoitteet.
(Välimaa ym. 1994, 14–15.) Automaatioinvestoinnin syitä voi olla monia, kuten ongel-
mat nykyisessä tuotannossa tai kokonaan uuden tuotannon aloittaminen. Yleensä in-
vestoinnin taustalla on kuitenkin kriittiset ongelmat tuotannossa tai pelko markkina-
osuuden menetyksestä. Investointi saatetaan myös tehdä kohennettaessa imagoa
luontoystävällisyydellä tai parannettaessa työoloja. (Kippo & Tikka 2008, 7–8.)

Automaation osuus teollisuudessa voi vaihdella teollisuudenalasta riippuen muutaman
ja usean kymmenen prosentin välillä. Automaatioon investoitaessa kannattavuutta tu-
lisikin arvioida kokonaisuutena. Kustannuksia tai säästöjä voivat muodostaa monet eri
asiat kuten energian käyttö, koulutus, tuotteet, tarvikkeet, jäähdytys ja lämmitys. Sääs-
töjä on mahdollista kasvattaa lisäämällä kapasiteettia, laadun tasaamisella tai laske-
malla kunnossapitokustannuksia. (Suomen Automaatioseura ry 2007, 31–32.) Onnis-
tuessaan sijoitettu pääoma tuottaa voittoa ja voi olla muodostua keskeiseksi yrityksen
kannalta, joten tuotekehityksen voi ajatella investointina. Automaatio on aina investoin-

tina kalliimpi, mutta halvempi käyttökustannuksiltaan verrattuna työvoimaan. Pienellä panostuksella tulisi saavuttaa mahdollisimman hyvä tulos ja tuotto. (Välimaa ym. 1994, 139–140.)

2.1 Lähtötilanne

Tällä hetkellä työntyöntekijät täyttävät mustepatruunat käsin. Patruunat täytetään manuaalisesti upottamalla patruuna musteeseen ja käyttämällä useamman minuutin ajan tyhjiökaapissa. Tyhjiökaapissa ilma poistuu mustepatruunasta ja muste tunkeutuu patruunan sisään täyttäen patruunan. Mustepatruunat puhdistetaan juoksevalla vedellä, jolloin mustepää ja ilmanottoaukko tiivistetään kädellä veden sisäänpääsyn estämiseksi. Kaikissa mustepatruunamalleissa pelkkä pinnan puhdistaminen ei riitä, vaan tarvitaan muita puhdistusmenetelmiä patruunan huolelliseen puhdistamiseen. Puhdistuksen jälkeinen patruuna kuivataan liinalla tai paperilla, jonka jälkeen se on valmis pakattavaksi.

Prosessi on suhteellisen hidas, ja yhden työntekijän tekemänä suuria määriä mustepatruunoita ei ole mahdollista täyttää uudelleen työpäivän aikana. Uudelleentäytettyjä mustepatruunoita halutaan tuoda suuremmissa erissä myyntiin, joten tarve mustepatruunoiden uudelleentäyttöprosessin automatisoinniksi on suuri. Koko projektin, uuden tuotantolinjan suunnittelusta rakentamiseen, oli arvioitu kestävän puoli vuotta.

2.2 Projektin tavoitteet

Projektin pääasiallisena tavoitteena aikataulun rajoissa on tuotantolinjan mallintaminen ja sen toimintaperiaatteen kehittäminen. Tavoitteena oli myös tarkastella pintapuolisesti teknologian vaihtoehtoja tuotantolinjan eri osa-alueille, joista opinnäytetyössä on keskitytty pääasiassa automaatiojärjestelmän vaihtoehtoihin. Muiden tarvittavien mekaanisten ja sähköisten laitteiden sekä osien vaihtoehtot on jätetty huomioimatta, koska tarvittavien osien ja laitteiden huomattavan määrän vuoksi niitä ei ole mahdollista käsitellä käytettävissä olevassa ajassa. Projektin ja opinnäytetyön tavoitteena oli tarjota ajatuksia mustepatruunoiden uudelleentäytön automatisoinnista ja muodostaa ensimmäinen karkea 3D-malli tehtävään sopivasta tuotantolinjasta.

Mustepatruunoiden täyttämiseen tarkoitettulta tuotantolinjalta vaadittavia ominaisuuksia olivat mustepatruunoiden täyttö, peseminen, kuivaaminen, tarran kiinnittäminen ja pakkaus. Kokonaisuuden hahmottamiseksi voidaan tuotantolinjan suunnittelua jakaa osiin kaikkien haluttavien ominaisuuksien kesken, jolloin muodostuu useampia erillisiä työasemia, jotka on liitetty yhteen. Mustepatruunat tulee tunnistaa toisistaan, jotta niiden liikkeistä tuotantolinjalla saadaan tietoja ja mahdollistetaan samalla muun tarpeellisen tiedon kerääminen kuten tuotantomäärien laskeminen vuorokauden aikana. Linjastoa suunniteltaessa täytyy huomioida turvallisuuden ja käytettävyyden lisäksi linjan nopeus. Hitaimman työaseman nopeus määrää koko tuotantolinjan nopeuden, johon tulee huomioida mustepatruunoiden siirtämiseen työpisteeltä toiselle kuluva aika. Mustepatruunoita tulee pystyä käsittelemään useampia samanaikaisesti prosessin hitauden vuoksi, jotta voidaan saavuttaa kohtuullinen mustepatruunoiden käsittelymäärä päivän aikana.

Tuotantolinjasta mustepatruunoiden uusiotäyttöön haluttiin mahdollisimman yksinkertainen suhteellisen tiukan aikataulun ja käytettävissä olleiden resurssien vuoksi. Tuotantolinjan tarpeeton monimutkaisuus ja erilaiset ylimääräiset ominaisuudet eivät palvele yrityksen etuja. Huhtalan ja Pulkkinen (2009, 84) mukaan yritykset kehittävät jatkuvasti tuotteitaan, mutta harvoin päätyvät luovimpiin ratkaisuihin, jotka ovat yleensä yksinkertaisia toteutuksia monimutkaisiin ongelmiin.

2.3 Linjaston suunnittelun vaiheet

Suunnittelussa lähdetään yleensä liikkeelle huomioimalla käyttäjän ja asiakkaan tarpeet. Suunnittelu voidaan jaotella pienempiin suunnittelutehtäviin, jolloin jokaisen tehtävän tuloksena projektin tuotantolinjaston malli täydentyy. Kuvassa 1 esitetään automaatio suunnittelun eri vaiheita. Pystysarakkeissa on esitetty vaatimuksia projektin eri vaiheisiin ja vaakariveissä projektin ajalliset elinkaarivaiheet. (Suomen Automaatioseura ry 2007, 13, 18.)

Suunnittelukokonaisuus muodostuu pysty- ja vaakarivien leikkauskohtien lokeroista, joita voidaan pilkkoa pienempiin suunnittelutehtäviin. Vaaleat lokerot vaikuttavat tummia vähemmän, vaikka sisältökokonaisuuksien tiedot muuttuvat projektin edetessä on periaatteessa jokainen kohdista tarkistettava elinkaarivaiheen aikana. Yleensä suunnitteluprojekteissa suunnittelutehtävät kulkevat osittain rinnakkaisesti eivätkä niiden riip-

puvuudet ole yhtä yksinkertaisia kuin kuvassa 1 on esitetty. (Suomen Automaatioseura ry 2007, 19–20.)

Elinkaari- vaihe ja etappi	Sisältö		Ratkaisuavaruus			
	Ongelma-avaruus					
	Lähtötiedot	Vaatimukset	Tiedot ja toiminnot	Teknologia- valinnat	Toteutus: SW, HW, sijoitus	Käyttö- ja ylläpitotapa
Esisuunnittelu Investointipäätös	■	■	■	□	□	■ →
Perussuunnittelu Sopimus	■	■	■	■	■	■ →
Suunnitteluvaihe Toteutuslupa	■	■	■	■	■	■ →
Toteutusvaihe Toimitushyväksyntä	□	□	□	□	■	■ →
Asennusvaihe Mekaaninen valmius	□	□	□	□	□	□ →
Toiminnallinen testaus Luovutus	□	□	□	□	□	■ →

Kuva 1. Tuotantolinjan suunnittelun vaiheet (Suomen Automaatioseura ry 2007, 19).

Esisuunnittelun osalta huomataan merkitsevimpien asioiden olevan lähtötietojen ja vaatimusten määrittäminen. Perussuunnittelun aikana merkitsevimpiä ovat vaatimukset, tiedot ja toiminnot sekä teknologiavalinnat. Vähemmän tärkeitä perussuunnitteluun kuuluvia kohtia ovat lähtötiedot, toteutus ja käyttö- ja ylläpitotapa. Muita vaiheita ovat suunnitteluvaihe, toteutusvaihe, asennusvaihe ja toiminnallinen testaus. Suunnittelu- ja toteutusvaiheen aikana varsinaista tuotantolinjan toteutusta aletaan käsitellä, jolloin varsinainen tuotantolinjan ohjelmiston ja rakenteiden toteuttaminen tapahtuu.

2.3.1 Esisuunnittelu

Esisuunnitteluvaiheeseen ei ole olemassa mitään yleistä ohjeistusta, mutta yleensä kartoitetaan oleelliset vaatimukset ja lähtötiedot, jotka liittyvät hankkeen toteuttamiseen. Esisuunnittelun tuloksiin kerätään kaikki tieto projektiin liittyvistä riskeistä ja niiden hallittavuudesta, sekä erilaisista turvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä. Alustava kustannusarvio valmistellaan yleensä esisuunnitteluvaiheessa. (Suomen Automaatio-

seura ry 2007, 20.) Kustannusten kertyminen projektin alussa on yleensä vähäistä. Loppuvaiheessa kustannukset kasvavat huomattavasti prototyyppiä valmistettaessa ja useamman henkilön sitoutuessa projektiin. Kehityskustannusten ollessa korkeita, kannattaa projektiin panostaa heti alkuvaiheessa, jotta projektin eteneminen olisi mahdollisimman nopeaa. (Välimaa ym. 1994, 64.)

Projektin aloittaminen tulisi kyseenalaistaa, jos taloudellinen tilanne ei ole riittävällä tasolla, mikä johtaa usein siihen, ettei saada valmiiksi oikeastaan mitään. Tunnettaessa rajat osaamisen osalta on helpompaa osoittaa tiettyihin tehtäviin, joku joka tekee sen paremmin. Yrityksen asettaessa kokonaisuus päämääräksi ei ole merkitystä kuka tekee mitään, vaikka onkin mahdollista, että toimintatavasta aiheutuu lisäkustannuksia. Tällöin tulisi kuitenkin pohtia, onko projektia järkevää aloittaa, jos sitä ei ole varaa tehdä kunnolla. (Välimaa ym. 1994, 17.)

Kun aikataulu on tiukka tai kun on mahdollista käyttää valmiita ratkaisuja, voi tehokkuus kärsiä, joten suunnittelussa pyritään tasapainoon valmiiden ratkaisujen ja räätälöinnin välillä. Yhtenäistä vaatimukset määrittelevää dokumenttia harvoin kirjoitetaan. Projektin edetessä tarkentuvat myös vaatimukset. Vaatimusten määrittely on jatkuvaa työtä asiakkaan kanssa, mutta yleensä vaatimukset jäädytetään projektin alkuvaiheissa jäädytysajankohdan vaihtelevuudesta huolimatta. Tarvittaessa muutoksia voidaan tehdä myöhemmässäkin vaiheessa toimitusaikataulusta riippuen. (Suomen Automaatioseura ry 2007, 20.) Uusia ideoita pyritään tuottamaan erilaisilla kehitysmalleilla, kuten aivoriihi tai tuumatalkoot. Nämä erilaiset tekniikan ovat yleisesti käytettyjä innovointimenetelmiä. Kehityskohteet sisältävät usein ristiriitoja, jolloin tietyn ominaisuuden parantaminen voi johtaa toisen ominaisuuden heikentymiseen. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 85.)

Konseptinmuodostaminen alkaa suunnitteluspesifikaatioiden eli suunnittelutehtävän kuvauksen laatimisesta ja päättyy optimaalisimpaan konseptiin. Suunnitteluspesifikaation tulisi kuvata muotoilu tyhjentävästi ja määrällisesti ilmaistuna ja sisältää kaikki järjestelmälle sen elinkaarenaikana asetettavat vaatimukset, jotka on määritetty suunnittelijan näkemyksen mukaisesti. Sarjamuotoisen kehitysmallin ongelmille on esitetty useampia erilaisia ratkaisuja, joista monissa on keskitytty konseptivaiheen hyödyntämisen parantamiseen. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 122–123, 180.)

Miten Lean-ajattelu liittyy tuotantolinjan suunnitteluun? Lean-ajattelussa pyritään tunnistamaan arvovirta ja kiinnittämään huomio kokonaisuuteen. Osoptimointia pyritään

välttämään, koska on olemassa mahdollisuus, että aiheutetaan haittaa kokonaisuudelle. Arvovirrasta yritetään mahdollisimman tehokkaasti poistaa kohdat, jotka eivät tuota arvoa. Tavoitteena on eliminoida kaikki paitsi arvoa tuottavat kohdat virrasta. Kyseisen kaltaista täydellisyyttä tavoiteltaessa keskitytään tehokkuuteen ja yksinkertaisuuteen. Kaikkia tuotantolinjan aktiviteetteja arvioidaan kriittisesti, kun selvitetään, tuottavatko ne arvoa ja voiko aktiviteetin arvokkuutta parantaa muokkaamalla sitä, vai kannattaako koko aktiviteetti poistaa. Lean-tuotekehityksessä parhaiten ongelmia voidaan havaita tarkastelemalla prosessia kokonaisuutena ja ratkaista kehittämällä koko prosessin arvovirtaa. Tuotekehitys voidaan ajatella iteroivana prosessina, jossa on tärkeintä saada informaatio liikkumaan oikeaan aikaan ja oikeaan paikkaan. Suunnittelun alkuvaihe on paras vaihe muodostaa erilaisia konsepteja, vaikka monet yritykset eivät näin toimi-kaan. Siirtyminen tarkkoihin ja yksityiskohtaisiin suunnitelmiin liian aikaisessa vaiheessa, johtaa paljon todennäköisemmin ongelmien kohtaamiseen myöhemmässä vaiheessa. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 183–186, 193, 199.)

2.3.2 Perussuunnittelu

Peruslinjaukset järjestelmäratkaisusta muodostuvat perussuunnitteluvaiheen aikana. Automaatiojärjestelmältä edellytettävä toiminta määritellään vaatimusten mukaan samalla välttämällä ennenaikaisia oletuksia sen toteutuksesta. Kuvassa 1 esitetystä kuvaustasossa tiedot ja toiminnot voidaan määritellä tarkemmin koko järjestelmän toimintalogiikkaa, jota on mahdollista esittää käyttämällä erilaisia skenaarioita tapahtumaketjuista. Skenaarioiden käyttäminen ei kuitenkaan aina ole riittävän kattava tapa kuvata automaatiosovellusten toimintaa, jolloin toimintaa kuvataan halutun käyttäytymisen saavuttamiseksi tarvittavilla tiedoilla, toiminnoilla, säännöillä ja laskentakaavoilla. (Suomen Automaatioseura ry 2007, 21–22.)

Perussuunnittelun alussa täsmennetään erityyppisiä perustoimintoja, kopioitavat tyyppiratkaisut ja suunnitteluperiaatteet. Järjestelmän toiminnallisen arkkitehtuurin määrittäminen aloitetaan myös perussuunnittelun alkupuolella laajoista kokonaisuuksista kohti yksityiskohtia. Suunnittelu on perusteltua toteuttaa lähtökohtaisesti tekniikasta riippumattomaksi, jolloin suunnitelmat sopivat paremmin uudelleen käytettäviksi. Monia valintoja teknologian, kenttäväylien ja valittavien muiden tuotteiden välillä joudutaan usein tekemään suunnittelun aikaisessa vaiheessa. Suunnittelua voi kuitenkin rajoittaa suunnittelijan aikaisemmat kokemukset, jotka vaikuttavat valittavaan teknologiaan. In-

vestointipäätösten jälkeen osa valinnoista on tilattava välittömästi toimitusajoista johtuen, mikä rajoittaa suunnittelutyön mahdollisuuksia ja vaikuttaa tuleviin teknologian valintoihin, sekä aiheuttaa suunnittelutyölle lisävaatimuksia. (Suomen Automaatioseura ry 2007, 22–23.)

Mekaniikkasuunnittelu toteutetaan 3D-suunnittelutyökaluilla, jolloin saadaan havainnollistavia malleja kokoonpanoista jo aikaisessa vaiheessa. Kokoonpanopiirustukset ovat tärkeitä suunniteltaessa suurempia kokonaisuuksia. Kokoonpanopiirustukset voidaan kuitenkin korvata 3D-malleilla, jotka mahdollistavat helpomman yksityiskohtien esittämisen (Huhtala & Pulkkinen 2009, 280–281). Tuotantolinjaa mustepatruunoiden uudelleentäyttöön suunniteltaessa kokoonpanopiirustukset korvataan kokonaan kolmiulotteisilla malleilla, jotta kokoonpanoa voidaan havainnollistaa tarkemmin. Huhtalan ja Pulkkinen mukaan (2009, 281) kolmiulotteisia malleja on mahdollista tutkia selainpohjaisilla katseluohjelmilla. Tällaiset katseluohjelmat harvoin vaativat erityistä osaamista ja täyttävät merkittävän osan toiminnallisista vaatimuksista. Tilanteissa, joissa suunnittelu-ryhmä koostuu henkilöistä, joilla on osaamista 3D-mallien luomisesta ja muokkaamisesta, voidaan erilaisia katseluohjelmia pitää tarpeettomina.

3 KONSEPTIN MUODOSTAMINEN

Esisuunnittelu ja perussuunnittelu kuvaavat yleisesti kyseisten suunnitteluvaiheiden aikana otettavia askeleita. Perussuunnittelussa päästään suunnitteluvaiheiden aikana kehitetyistä konseptivaihtoehdoista lopullisen konseptin valintaan ja varsinaisen prototyypin valmistuksen aloittamiseen. Huhtalan ja Pulkkinen mukaan (2009, 376) konseptien muodostaminen on yksi tärkeimmistä esi- ja perussuunnitteluun kuuluvista vaiheista. Tyypillisesti konseptien luomiseen kuluva aika on muutamasta kuukaudesta aina useampaan vuoteen. Pelkkien muunnoksien tekeminen tuotteelle, joka on ollut jo pidempään markkinoilla, vie yleensä vähemmän aikaa kuin kokonaan uuden luominen. Konseptia lähdetään yleensä luomaan pienellä ryhmällä tuotekehityksen alussa. Konseptointiin kuuluu viisi päävaihetta, jotka ovat määrittelyvaihe, luontivaihe, jalostusvaihe, vahvistusvaihe ja loppuvaihe. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 376.)

Konseptoinnin vaiheista tärkeimpänä voidaan pitää määrittelyvaihetta, jonka aikana muodostetaan projektisuunnitelma sekä vaatimukset ja aikataulu selkenevät. Määrittelyvaihetta varten kerätään tietoja esimerkiksi asiakkaanvaatimuksista, vastaavista projekteista ja yrityksen strategiasta, joita käytetään alustavaan tehtäväkuvaukseen selvittämään kehityskohteen tavoitteita. Luontivaiheessa luodaan konsepteja, jotka muodostetaan määrittelyvaiheessa kerättyjen tietojen perusteella.

Jalostusvaiheessa muodostettuja konsepteja kehitetään arvostelun ja palautteen perusteella. Suositeltavaa olisi käyttää rakenteellisia menetelmiä ja ideointimenetelmiä konseptien kehittämiseen. Jalostusvaiheen aikana valitaan yleensä myös käytettävä teknologia, vaikka uusia konsepteja voikin vielä kyseisessä vaiheessa lisätä. 3D-mallien suunnittelu eri konsepteista aloitetaan jalostusvaiheen aikana, jolloin voidaan luoda malleja myös osakonsepteista. Konsepteja arvioidaan huomioiden niiden valmistettavuus, kokoonpantavuus ja kustannusarvio, sekä moduulien välinen tiedonsiirto ja rajapinnat.

Vahvistusvaiheessa konsepteja valitaan haluttu määrä, joka voi vaihdella päämäärästä riippuen. Vahvistusvaiheessa osakonsepteista tai mekaniikasta tehtävien kolmiulotteisten mallien ei ole välttämätöntä olla tarkkoja. Malleja tukemaan voidaan muodostaa erilaisia hahmotelmia rakenteista. Valittujen teknologioiden ja systeemien tulee olla vahvistettu vahvistusvaiheeseen mennessä, jolloin konsepteista tehdään myös riskianalyytit. Vahvistamista voidaan helpottaa rakentamalla prototyyppejä suunnitelmista.

Asiantuntijoita tulisi käyttää konsepteja viimeisen kerran arvioitaessa loppuvaiheessa, jotta konsepteja voidaan selittää syvällisemmin. Tiukkaan aikatauluun pyritään vastaamaan konseptoinnin etupainotteisuudella, jolloin resursseja keskitetään enemmän ensimmäisiin vaiheisiin. Parhaimmat konseptit pyritään siirtämään tuotekehitykseen ja luomaan lopussa kattava konseptiportfolio myöhempää käyttöä varten. (Huhtala & Pulkkinen 2009, 376–378, 382–392.) Suunnitteluvaiheessa on huomioitava, että projektin loppuvaiheessa tehtyjen muutosten kustannusvaikutukset ovat huomattavasti suuremmat verrattuna alussa ideointivaiheessa tehtyihin muutoksiin. Suurimmat muutokset tulisikin aina kohdistaa alkuun ideointivaiheeseen. (Välimaa ym. 1994, 23.)

3.1 Suunnittelussa käytetyt kehitysmenetelmät

Systemaattisen tuotekehityksen mukaisesti tuotantolinjalta haluttuja toimintoja jaetaan osatoimintoihin ja kehitetään useampia ratkaisuja kullekin toiminnolle. Tuotantolinjan suunnittelussa käytettiin erilaisia kehitysmalleja niitä soveltaen, kuten tuumataalkoot ja kuusi ajatteluhattua. Monissa tuotekehitysmalleissa tulisi pyrkiä hyödyntämään monia- laista ja laajaa ideointiryhmää, mikä ei kuitenkaan ollut mahdollista tuotantolinjaa suunniteltaessa. Konseptia luotaessa voi olla mahdollista, että monipuolisia ratkaisuvaihtoehtoja muodostuu vähemmän ideointiryhmän ollessa pieni ja yksialainen.

Tuumataalkoot on kehitysmalli, jossa toimitaan noin 5–8 henkilön ryhmässä. Ryhmästä valitaan yksi henkilö ohjaus- ja sihteerasemaan. Ongelman esittelee joku ryhmän jäsenistä ja selostaa mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja sekä toimii samalla asiakkaan roolissa ideoinnin lopuksi valitsemalla parhaimman vaihtoehdon. Asiakkaan esittämän ongelman analysoinnin jälkeen kirjoitetaan ratkaisuvaihtoehtoja noin viiden minuutin ajan, jonka jälkeen ratkaisut siirretään kaikkien näkyville ideakävelyn ajaksi. Ratkaisuja tarkastellaan hiljaa itsekseen noin 15 minuutin ajan, minkä jälkeen parhaat valitaan. Valittuja ideoita karsitaan siten, että jokaista ryhmän jäsentä kohden on vain yksi idea jäljellä. Asiakkaana toimiva henkilö valitsee näistä enintään kolme, joita jatkokehitetään ilmentyviin ongelmiin ratkaisuja etsien toistamalla prosessia vielä pariin kertaan. (Välimaa ym. 1994, 94–95.)

Kuusi ajatteluhattua -metodilla voidaan päästä nopeasti ratkaisuun eikä ideointiin tai ratkaisun etsimiseen kulu ylimääräistä aikaa. Metodilla on mahdollista lyhentää ongelman ratkaisuaika tunneista noin puoleen tuntiin. Lisäksi metodi soveltuu konseptin muodostuksen aikana löydettävien erilaisten ongelmien suhteellisen nopeaan ratkai-

semiseen, mikä oli välttämätöntä asetetun aikataulun vuoksi. Edward de Bonon mukaan (1999, 176) ajatteluhattuja voidaan käyttää kahdella tavalla, joko ryhmässä tai yksinään. Ongelmaa ratkaistaan eriväristen hattujen avulla, joita voidaan kierrättää ryhmän jäsenten välillä tai määrätä jokaiselle jo alussa hatut, joita pidetään prosessin loppuun asti. Hattujen värejä ovat valkoinen, punainen, musta, keltainen, sininen ja vihreä, joista jokainen edustaa omanlaistaan ajattelutapaa tai roolia. Edward de Bono sanoo (1999, 176) ajattelumallin tarkoituksena olevan ajattelun yksinkertaistaminen antamalla ajattelijoille mahdollisuus edetä asia kerrallaan.

Valkoisen hatun tarkoituksena on tarjota ainoastaan faktoja sekä käyttäytyä mahdollisimman neutraalisti ja objektiivisesti. Punainen hattu on tunteille ja tuntemuksille, jotka ovat oleellinen osa ideointia. Hattu mahdollistaa ryhmän jäsenten tuntemuksien selvittämisen eri asioista ja ratkaisusta. Musta hattu on tarkoitettu riskeille, vaaroille ja muille eteen tuleville esteille. Ideoidessa erilaisia ratkaisuja ei ole järkevää jättää mahdollisia vaaroja kokonaan huomioimatta. Mustan hatun tarkoituksen onkin löytää erilaisia riskejä ja piileviä ongelmia ehdotetuista ideoista. Keltainen hattu on kuin mustan hatun vastakohta ja pyrkii löytämään mahdollisimman paljon etuja ja positiivisia asioita muiden ehdottamista ratkaisusta. Keltaisen hatun ajattelun tuleekin olla rakentavaa ja positiivista sekä arvon ja hyödyn etsimistä. Sininen hattu tarjoaa ideoinnille syyn ja saavutukset. Edellisten lisäksi strategian asettaminen ja tarvittavien hattujen käytössä olon varmistaminen kuuluu siniselle hatulle. Vihreä hattu on luovuudelle ja uusien ideoiden esittämiselle sekä ideoiden kehittämiseksi. Ideaalisessa tilanteessa vihreää hattua käyttää useampi varsinaisen ajattelijan lisäksi, kuten kuuntelijat. (Bono 1999, 46, 71, 88, 91, 115, 147.)

Ajatteluhattu-metodilla kerättiin tärkeitä kysymyksiä, kuten miten alipaine vaikuttaa eri materiaaleihin, miten rikkiäisten mustepatruunoiden joutuminen täyttöön estetään sekä miten mustepatruunoiden nollaamiseen käytetty koodi varsinaisesti toimii. Erityisesti väittelyä herätti useamman eri hatun suhteen mustepatruunoiden kuljettamiseen suunniteltu kehikko ja sen toimivuus. Mustepatruunakehikon tarkoituksena on siirtää mustepatruunat täyttöön ja puhdistukseen. Punaisen hatun avulla paljastui suunnitteluryhmän tarvitsevan parempaa organisointia, mitä pyrittiin parantamaan projektin edetessä.

Tuotekehitysmatriisien avulla kehitettiin tuotantolinjan kokonaisuuksia ja päätettiin toteutustapa kullekin toiminnolle ja ongelmalle, joita ajatteluhattu-metodi toi esiin. Taulukossa yksi nähtävässä tuotekehitysmatriisissa on neljä vaihtoehtoista toteutustapaa

tuotantolinjan kullekin eri osa-alueelle. Taulukossa on päätetty toteutustavat tuotantolinjan päätoiminnoille, kuten mustepatruunoiden nollaamiselle, täyttämiseksi, puhdistamiseksi ja paketoimiseksi. Päätoiminnot ovat taulukon ensimmäisessä pystysarakkeessa.

Taulukko 1. Tuotekehitysmatriisi.

Nollaaminen	Uuden nollaussaitteen suunnittelu	Olemassa olevien nollaussaitteiden käyttäminen	Olemassa olevien nollaussaitteiden muokkaaminen	Nollaamisen pois jättäminen
Täyttäminen	Täyttäminen alipaineessa ruiskulla	Täyttäminen alipaineessa upottamalla	Imeyttäminen ilman alipainetta	Täyttäminen ruiskulla ilman alipainetta
Puhdistaminen	Vesipesu	Ilmapesu	Mekaaninen puhdistus	Vesi- ja ilmapesu
Paketoiminen	Käsin ilman automatiikkaa	Sylinterin avulla puristusta käytämällä	Mekaanisten rullien avulla ympäröitymällä	Paketoimisen pois jättäminen

Ensimmäinen pystysarake kertoo toiminnot ja vaakariveillä, jokaisessa solussa on osaratkaisut kyseiselle toiminnolle. Toiminnoille valittujen osaratkaisujen solut ovat merkattu harmaalla. Päätoiminnoista haastavin on mustepatruunan nollaaminen, jonka osalta suunnitteluryhmästä ei löytynyt varinaista osaamista. Uuden nollaussaitteen suunnittelu on aikaa vievää, mutta tarpeellista nykyisten nollaussaitteiden yhteensopimattomuuden vuoksi. Nollaussaitteiden valmistajasta ei ole varmaa tietoa, koska tähän mennessä laitteet on hankittu tuntemattomalta taholta internetistä. Täyttämisen ja puhdistamisen osalta on valittu aikaisemmin käytetyt ja toimivaksi todetut menetelytavat. Paketoimisella tarkoitetaan mustepatruunaa suojaavan teipin asettamista mustepatruunan ympärille ja patruunan pistämistä myyntipakkaukseen. Tämä ominaisuus jätettiin konseptin ulkopuolelle, koska vastaavia laitteita on jo mahdollista hankkia ja mahdollista integroida myöhemmin tuotantolinjaan. Tuotantolinjan vaatimuksia olivat suhteellisen pieni koko, edullisuus, yksinkertainen rakenne, valmistuksen helppous, korjaamismahdollisuudet ja nopeus. Asetettujen vaatimusten mukaan on pyritty valitsemaan paras toteutustapa kullekin tuotantolinjan osa-alueelle rakennetta ja toimintatapaa suunniteltaessa sekä teknologiaa valittaessa.

3.2 Teknologia vaihtoehdot

Teknologian vertailussa on huomioitu useita eri valintaan vaikuttavia asioita kuten valmistaja, saatavuus ja ominaisuudet. Kaikkien tuotantolinjaan tulevien osien vertaileminen olisi kuitenkin hidasta erilaisten osien suuresta määrästä johtuen, joten opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan näistä keskeisimpiä automaatiojärjestelmään liittyviä osia. Muutamista laitevalinnoista on annettu esimerkkejä myös rakennetta ja mallintamista käsittelevässä luvussa. Seuraavissa luvuissa esitetyt vaihtoehdot ovat ehdotuksia ja osaan valinnoista vaikuttaa aikaisemmat kokemukset kyseessä olevan ohjelman tai järjestelmän käytöstä, joten esitellyt vaihtoehdot eivät välttämättä edusta sopivinta tai parasta mahdollista ratkaisua tuotantolinjaan.

3.2.1 PLC- ja PC-pohjainen ohjaus

Useimmiten yksittäisiä ja useampia laitteita ohjataan ohjelmoitavalla logiikalla, PID-säätimellä tai NC-ohjauksella. PID eli Proportional-integral-derivative tarkoittaa periaatteessa kolmea toimintoa, joita säätimellä on mahdollista hallita. Ohjausjärjestelmien tulisi tarvittaessa voida toimia itsenäisesti, vaikka ne yleensä ovat liitettynä korkeamman tason järjestelmään. Ohjausjärjestelmä voi olla avoin tai suljettu. Avoimessa järjestelmässä toiminnolle annetaan käsky ilman, että tarkkaillaan, suorittaako toimilaitte komennon. Suljetussa ohjausjärjestelmässä seurataan antureiden tietojen perusteella, onko annettu komento suoritettu. PID-säädintä käytetään yleensä yksittäisiin toimintoihin, kuten lämpötilan, korkeuden tai aseman ohjaamiseen. (Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 210.) Automaatiojärjestelmien valmistajia on useita ja opinnäytetyössä esitetyt ovat mahdollisia vaihtoehtoja tuotantolinjaan. Erityisen tärkeää PLC:tä vertailtaessa on varmistaa, että valmistaja käyttää maailmanlaajuisesti hyväksyttyä IEC 61131-3-standardia. PLC tulee sanoista Programmable Logic Controller, millä tarkoitetaan ohjelmoitavaa logiikkaa. Logiikan toiminta perustuu sille tehtyyn ohjelmaan, minkä mukaisesti tuloja ja lähtöjä ohjataan. Kyseisen standardin käyttäminen mahdollistaa paremman yhteensopivuuden tietyille yleisesti käytetyille ohjelmointikielille, joiden eroja tarkennetaan edempänä ohjelmointikieliä käsittelevässä osiossa.

Beckhoff on automaatiojärjestelmien valmistaja ja tuottaa PC-pohjaisten ohjaustekniikoiden lisäksi muun muassa liikkeenohjaukseen ja kenttäväyliin tarkoitettuja komponentteja sekä I/O-järjestelmiä. I/O-järjestelmät ovat modulaarisia ja mahdollistavat

tehokkaan hajautuksen. Beckhoff valmistaa avoimeen standardiin perustuvia teollisuustietokoneita eli IPC:tä paneeli-PC:stä erilaisiin sulautettuihin ratkaisuihin, jotka soveltuvat monenlaiseen automaatioon. Teollisuustietokoneet ovat suunniteltu vaativiin olosuhteisiin sekä pitkäikäisiksi ja eroavat perinteisistä tietokoneista erityisesti kestävyydeltään. Beckhoffin ohjaustekniikka on suunniteltu erityisesti moniakselisiin liikkeenohjaussovelluksiin. (Beckhoff Automation Oy 2016a.) Beckhoffin sulautetuista PC-järjestelmistä sopivimpia ovat mallit CX20xx, CX50xx ja CX51xx. Muut mallit ovat liian vaatimattomia ominaisuuksien osalta käyttötarkoitukseen tai muulla tavalla sopimattomia. Myöhemmässä suunnitteluvaiheessa tarvittavan suorituskyvyn ja ominaisuuksien tarkentuessa on mahdollista valita tarkemmin haluttu malli tarvittavan suorituskyvyn ja laajennettavuuden mukaan.

Siemens on yksi maailmansuurimmista automaatiojärjestelmien valmistajista. Siemens valmistaa erilaisia hajautettuja I/O-ratkaisuja, PC-pohjaisia ohjausjärjestelmiä ja ohjelmoitavia logiikoita. (Siemens AG 2016a.) Siemens tukee automaation tietoliikenteelle väyliä Profibus, ProfiNet, AS-i ja Teollisuus-Ethernet. Siemensin tuotevalikoima on todella laaja verrattuna muihin valmistajiin. (Siemens AG 2016b.) Siemens käyttää logiikoiden ja PC-pohjaisten tekniikoiden ohjelmointiin omia Simatic Step 7 ja WinCC RT-ohjelmiaan, joiden voidaan väittää olevan monimutkaisempina kuin Beckhoffin vastaava ratkaisu.

Siemensin kaikissa ohjaustekniikoissa ja ohjelmoitavissa logiikoissa ei kuitenkaan ole tukea kaikille IEC 61131-3-standardissa mainituille ohjelmointikielille. Tämä ei kuitenkaan ole täysin välttämätöntä, koska PC-pohjaisilla ohjaustekniikoilla on vähän rajoituksia ohjelmoinnin suhteen. Siemensin mallistosta käyttötarkoitukseen parhaiten sopivia ovat IPC sarjat 2xx ja 4xx, jotka molemmat kuuluvat The Box PC -mallistoon. Tarkasteltaessa sopivimpia PLC:tä, mallit S7-300 ja 400 ovat parhaiten sopivia. Molemmilla edellisistä voidaan saavuttaa suhteellisen hyvä servojen ohjaus, joita konseptijärjestelmässä käytetään mustepatruunoiden kehikoita liikuttavan kuljettimen ohjaamiseen.

Vihreä Omron 2020 on visio, jota Omron tavoittelee luomalla ja tuottamalla ympäristökuormitusta vähentäviä laitteita. Omron tuottaa ohjelmoitavia logiikoita ja koneautomaatio-ohjaimia. (Omron Industrial Automation 2016a.) Koneautomaatio-ohjaimien ohjelmointistandardina toimii IEC 61131-3 ja tietoliikenteelle on saatavilla EtherNet/IP ja EtherCAT portit. Älykkäät modulaariset I/O-järjestelmät mahdollistavat avoimen kommunikoinnin Profinet IO, Profibus DP, DeviceNet, CompoNet ja EtherNet tiedonsiirtomenetelmillä. Koneautomaatio-ohjainten hallintaan ja ohjelmointiin käytetään avoi-

men standardin mukaista Sysmac Studiota. (Omron Industrial Automation 2016b.) Omronin NJ-sarja on tarkoitettu suhteellisen yksinkertaiseen ohjaukseen ja parhaiten sopivat mallit ovat NJ3 ja NJ5, joissa molemmissa on tuotantolinjaan vaadittavat ominaisuudet.

3.2.2 Anturit

Antureista käytetään yleisnimitystä kenttälaitteet. Kenttälaitteiden tehtävänä on tiedon kerääminen erilaisista ohjattavista prosesseista ja laitteiden tiloista. Muita toimilaitteita ohjataan saadun tiedon avulla. (Keinänen ym. 2007, 210.) Antureita voidaan jaotella monin tavoin esimerkiksi mitatun fyysikaalisen suureen perusteella kahteen pääryhmään analogisiin ja digitaalisiin antureihin. Analoginen anturi tuottaa jatkuvan signaalin, mikä muunnetaan A/D-muuntimen avulla digitaaliseen muotoon. Anturit ovat yleensä aktiivisia tai passiivisia, joista aktiivinen toimii ilman ulkoista virtalähdettä. (Groover 2008, 131–132.) Anturin valintaan liittyviä seikkoja ovat siltä odotettava nopeus, tarkkuus ja luotettavuus. Tavanomaisten antureiden ongelmana on yleensä häiriöalttius, mitä aiheuttaa erityisesti lämpötilan vaihtelu. Älykkäillä antureilla saavutetaan parempi signaalin laatu laitteen oman vahvistuksen ja suodatuksen avulla. Älykkään anturin etuja tavanomaisiin ovat mittausalueen määrittäminen, itsediagnostiikka, digitaalinen tiedonsiirto ja toiminta tavan valinta. (Keinänen ym. 2007, 188.)

Erilaisten antureiden valmistajia on huomattavia määriä ja tuotantolinjassa tarvitaan nykyisten suunnitelmien mukaan vain muutamia antureita, kuten ultraäänianturia tarkkailemaan mustesäiliöiden musteen pinnantasoa ja kapasitiivinen anturi havaitsemaan mustepatruunakehikon paikan nollauspisteellä. Useimpien antureiden hinnat pysyvät maltillisina ja eri valmistajien antureiden välillä ei juuri ole eroja, joten anturit voi valita hinnan tai omien kokemusten mukaisesti.

Ultraäänianturit ovat yleensä sopivimpia pinnankorkeuden tarkkailemiseen. Ultraäänianturin toimintaperiaate perustuu ultraäänien kulkemisaikaan kohteelle ja takaisin. Eduiksi voidaan lukea toimintavarmuus vaikeammassa olosuhteissa kuten pölyisessä ilmassa sekä useampien erilaisten pintojen tunnistusmahdollisuus. (OEM Finland OY 2016a.) Kapasitiivinen anturi toimii parhaiten tunnistettaessa kappaleita, jotka eivät ole metallia. Kapasitiivisen anturin toimintaperiaate perustuu magneettikenttään, jonka alueelle tullessaan kappale aiheuttaa muutoksia, jotka voidaan tunnistaa. (OEM Finland OY 2016b.)

3.2.3 Kenttäväylät

Kenttäväylä on osa automaatiojärjestelmää ja sillä siirretään tietoa järjestelmää ohjaavien toimilaitteiden, järjestelmää mittaavien antureiden ja koko automaatiojärjestelmän välillä. Automaatiojärjestelmän hajautus toteutetaan käyttämällä kenttäväylää. Kenttäväylällä voidaan toteuttaa alemman tason kenttäohjaukset logiikoille ja korkeamman tason kommunikointi tietokoneiden välillä. Puutteet standardoinnissa ovat kuitenkin hidastaneet kenttäväylien yleistymistä. Standardointi vähentää merkityksettömästi eroavien kenttäväylien määrää ja mahdollistaa useampien valmistajien tuotteiden yhdistelemistä. Kenttäväylän eduksi voidaan lukea tiedon kulkeminen digitaalisena, kaapeloinnista muodostuvat säästöt ja käytettävyys. Kenttäväylä protokollia on useampia, joista yleisimpiä ovat Profibus, AS-i ja DeviceNet. Kenttäväylien avoimen protokollan ansiosta kuka tahansa voi valmistaa ja myydä protokollaan sopivia laitteita. (Keinänen ym. 2007, 9, 214.)

Profibus on tarkoitettu kytkemään toimilaitteet ja PLC:t, mutta se soveltuu myös datan keräämiseen. Profibus-väylän eduksi voidaan lukea helppokäyttöisyys ja joustavuus. Protokolla perustuu OSI-referenssimalliin, jolla määritellään, miten tietoa vaihdetaan sanomakehystä käyttämällä. OSI-referenssimallissa, jokaisella seitsemästä kerroksesta on oma tehtävänsä. Kerrokset ovat fyysinen, siirtoyhteyserros, verkkokerros, kuljetuserros, istuntokerros, esitystapa- ja sovelluserros. Profibus-kenttäväylä toimii Token periaatteella. Token on käytännössä laitteen vastaanottama signaali, jonka saadessaan pääsee kommunikoimaan muiden kanssa. Siirtonopeudet vaihtelevat välillä 9,6 kbit/s–12000 kbit/s riippuen segmentin pituudesta. (PROFIBUS & PROFINET International 2016.)

AS-i-väyläkaapeli on tarkoitettu erilaisille antureille ja toimilaitteille ohjaushierarkian alimmalle tasolle. AS-i käyttää lattakaapelia, jolla on mahdollista tiedonsiirron lisäksi syöttää komponenttien tarvitsema sähköteho. Komponenttien asennuksessa hyödynnetään lävistystekniikkaa, jossa piikit lävistävät lattakaapelin luoden sähköliitännän. Väyläkaapeli on myös mahdollista liittää erillisillä laajennusmoduulilla Profibus ja DeviceNet väyläjärjestelmiin. (AS-International Association 2016.)

Tiedonsiirto AS-i-väyläkaapelissa tapahtuu Master-Slave menetelmällä. Menetelmässä Slave -yksiköt saavat ohjeet Master-yksiköiltä, joka hyödyntää kiertokyselyä (polling)

ohjeiden jakamiseen. Väylä mahdollistaa kahdeksan ampeerin virran toimilaitteille ja IP67 -suojausluokan. (AS-International Association 2016.)

DeviceNet on tarkoitettu tietokoneiden, antureiden, PLC:n ja muiden toimilaitteiden kytkemiseen. DeviceNet käyttää AS-i tapaan Master- ja Slave-yksiköitä, joita on mahdollista sijoittaa 64 yhteen väylään. Väylän tiedonsiirtonopeus määräytyy väylän kokonaispituudesta riippuen maksimipituuksien ollessa 100 m, 250 m tai 500 m määräytyy nopeudet vastaavasti, joko 500 kbit/s, 250 kbit/s tai 125 kbit/s nopeuteen. Kokonaispituutta laskettaessa huomioidaan kaikkien haarojen pituus. Käytettävissä oleva virta riippuu kaapelin tyypistä, joita ovat paksu-, ohut- ja lättäkaapeli. Paksukaapeli mahdollistaa kahdeksan ampeerin maksimi virran, ohut kolmen ampeerin ja lättäkaapeli viiden ampeerin virran. (Omron 2008, 2, 17, 26.)

Beckhoff kehitti EtherCAT:n pienentämään viivettä Ethernetin tiedonsiirrossa. Ethernetistä poiketen Slave -yksikkö lukee Master-yksikön lähettämän tiedon viestin kulkiessa Slave -yksikön läpi ja vastaavasti lähetettävä tieto lisätään suoraan läpikulkevaan viestiin, mikä johtaa vain muutaman nanosekunnin viiveeseen. EtherCAT käyttää normaalia IEEE:n standardia 802.3 ja on täysin yhteensopiva normaalin Ethernetin kanssa. Lähes kaikki verkkotopologiat ovat mahdollisia, kuten tähti ja puu sekä erilaiset yhdistelmät. Tiedonsiirtonopeus on 100 Mbit/s ja viive sadalla servolla on noin 100 µs. (Beckhoff Automation Oy 2016b.)

3.2.4 Konenäkö ja RFID-tekniikka

Luotettavien ja halpojen älykameroiden saatavuuden parannuttua on konenäön integroiminen kappaletavara-automaatioon yleistynyt. Konenäkö soveltuu hyvin yksitoikkoihin tehtäviin kuten lajittelu- ja tarkistustehtäviin. (Raivio & Syrjänen 2005, 10.) Konenäköä voidaan ensisijaisesti käyttää mustepatruunoiden kuljettamiseen suunniteltujen kehikoiden tunnistamiseen. Kehikot tunnistetaan toisistaan, jolloin järjestelmä osaa siirtää mustepatruunat oikeaan värialtaaseen. Konenäön toissijaisia käyttötarkoituksia voivat olla tilastotiedon kerääminen täytettyjen mustepatruunoiden määristä ja väreistä. RFID -tekniikan yleistyminen asettaa kuitenkin varsinaisen konenäön tarpeellisuuden kyseenalaiseksi, koska tunnistimilla voidaan erottaa kehikot toisistaan yhtä vaivattomasti ja edullisemmin. RFID lyhenne tulee sanoista Radio Frequency Identification ja tarkoittaa radiotaajuuksilla toimivaa tekniikkaa, mitä käytetään tunnistamiseen ja yksilöintiin.

Omron, ABB ja National Instruments sekä monet muut yritykset tarjoavat älykaineroita normaalien kameroiden lisäksi. Älykainerat sisältävät yleensä kaiken tarpeellisen jo itsessään kuten valonlähteen ja linssin. Kameralla voidaan tunnistaa mustepatruunakehikon kyljestä esimerkiksi QR-koodi tai viivakoodi, mikä kertoo kehikossa olevien mustepatruunoiden värin järjestelmälle. QR-koodi on kaksiulotteinen viivakoodi, johon mahtuu enemmän informaatiota perinteiseen viivakoodiin verrattuna. Lyhenne QR tulee sanoista Quick Response. Älykainerat ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia kuin RFID-tekniikkaan perustuva tunnistusmenetelmä. Suurin osa valmistajista ei ilmoita älykaineroidensa hintoja, mutta National Instruments on listannut kaikkien tuotteidensa hinnat, joista selviää hinnan olevan mallista riippuen 2000–9000 euroa (National Instruments Corporation). RFID-lukijoiden hinnat ovat välillä 440–1800 euroa (RFID Journal LLC), joiden lisäksi on hankittava tarpeellinen määrä RFID-tunnisteita eli tageja. Tunnisteiden alipaineen kestosta ei ole kuitenkaan täyttä varmuutta, joten kestävyys tulee selvittää ennen käyttöönottoa. Tunnisteen kestävyuden selvittäminen on tarpeellista, koska kiinnitettynä mustepatruunoiden kehikkoon tulee tunniste kulkemaan kehikon mukana kaikkien tuotantolinjan vaiheiden kautta.

3.2.5 Liikkeenohjaus

Liikkeenohjausjärjestelmä tarkoittaa käytännössä paikoitukseen erikoistunutta ohjausjärjestelmää. NC-ohjaus ja robottiohjaus ovat pitkälle kehittyneitä liikkeenohjausjärjestelmiä, joiden tarkoitus on ohjata useampaa toisistaan riippuvaa paikoitusjärjestelmää. (Keinänen ym. 2007, 214.) Karteesiselle robotille eli lineaariselle robotille sopivia servomootoreita ja ohjausjärjestelmiä on valittu kolmelta eri valmistajalta. Valinta perusteina toimii fyysinen koko, vääntövoima ja käyttövirta.

ABB:n servomootoreista BSM R -sarja on sopivin tehoiltaan ja kooltaan käyttötarkoitukseen kyseiseltä valmistajalta. Sarja tarjoaa 0.318–2.39 Nm ja mahdollisuuden erillisen jarrun lisäämiseen. Jarrujen tarkoitus on pitää oman erillisen virransyöttönsä ansiosta roottori paikoillaan servon virran katkettua. Sopivimpia malleista ovat BSM60R-140 ja BSM60R-240, jotka asettuvat sopivaan koko ja teholuokkaan. ABB:n aikaisemmin mainittuja servo malleja ohjataan käyttämällä ohjainta MicroFlex e150, mikä sopii molempien servojen ohjaamiseen ja tukee EtherCAT, Ethernet/IP ja Modbus TCP-tiedonsiirtoa. (ABB 2016.)

Siemensin S-1FK7 -servomootoreista löytyy muutamia vaihtoehtoja karteesisen robotin liikuttamiseen. Servojen vääntö vaihtelee 0,18–48 Nm mallista riippuen. Saatavilla on kolme variaatiota, joiden erityispiirteitä ovat CT, HD ja HI, mitkä tarkoittavat kompaktia, dynaamista ja korkeaa inertiaa. Jokaisesta variaatiosta on vielä 13–22 erilaista variaatiota kyseisellä erityispiirteellä. Pienempi kokoisten S-1FK7 CT -servojen neljän sopivimman ominaisuuksia ovat 0,18–2,6 Nm vääntö ja 0,8–1,8 A käyttövirta. (Siemens AG 2016c.)

Beckhoff tarjoaa erilaisia variaatioita servomootoreista kuten synkronoituja servoja. Servojen voimalla ei ole suurta merkitystä valinnassa, koska yksittäiseen servoon kohdistuu vähän räsitusta käytönaikana. Beckhoffilla on useampia eri variaatioita ja sarjoja, joista kuitenkin monet ovat tarpeettoman tehokkaita ja kooltaan liian suuria tarkoitettuun käyttöön.

Sarja AM2xxx on käytännössä ainoa sopivassa teho- ja kokoluokassa toimiva synkronoitu servosarja. Sarjan malleista vertailtavia ovat 1–2 ampeerin mallit, jotka tarjoavat 0,6–2,5 Nm vääntöä. Servot ovat tarkoitettu erityisesti paikoitukseen ja antavat mahdollisuuden jarrujen lisäämiselle niitä tarvittaessa. (Beckhoff Automation Oy 2016c.) Sarjan servoja ohjataan AX2000 ja AX2500-sarjan ohjaimilla digitaalisesti, jotka eroavat toisistaan erityisesti nimellisvirran suhteen. AX2000-sarjan nimellisvirta 70/80 ampeeria, kun taas AX2500-sarjan nimellisvirta on vain kuusi ampeeria, mikä sopii paremmin vähävirtaisten pienien servojen käyttöön. Molemmat käyttävät Beckhoff:n omaa Twin-Cat-ohjelmistoa. (Beckhoff Automation Oy 2016d.)

3.2.6 Kuljettimet

Kuljetin ratkaisuja on monia, kuten hihnakuljettimet, rullaketjukuljettimet ja lamellikuljettimet. Kuljettimista käyttötarkoitukseen sopivin on hihnakuljetin, mikä on saatavissa halutussa koossa ja edullisin verrattuna muihin kuljettimiin sekä helppo puhdistaa ja huoltaa (MayTec 2016, 9). Hihnakuljettimia on mahdollista hankkia tietyissä kokoluokissa tai omien mittojen mukaan eikä varsinaisia rajoituksia hihnan leveydelle ole. Hihnakuljettimet, joissa käytetään kumisia hihnoja, ovat huomattavasti edullisempia verrattuina muihin kuljetinratkaisuihin. Hihnaa liikutetaan sähkömoottorin avulla, mikä on sijoitettu kuljettimen sivulle, alle tai kuljettimen sisälle (MayTec 2016, 11). Tuotantolinjan suunniteltu rakenne ei kuitenkaan salli suurien moottorien sijoittamista kuljettimi-

en sivuille, joten ainut mahdollisuus on käyttää malleja, joissa moottori on sijoitettu kuljettimen sisälle.

3.3 Teknologian vertailu

Vertailussa on pyritty ottamaan huomioon eri laitteiden yhteensopivuus ja käyttötarkoitukseen sopivuus. Kaikki valinnat ovat vain lyhyeen vertailuun perustuvia ehdotuksia ja ennen tuotantolinjan kokoonpanoa ja konseptin loppuun viemistä on valintoja vertailtava tarkemmin ja laaja-alaisemmin eri valmistajien välillä. Harvat valmistajat ilmoittavat tuotteidensa hintoja julkisesti, joten hintojen vertaileminen on jätetty pois eikä varsinaisesti vaikuta valintoihin. Automaatiojärjestelmien valmistajia on huomattava määrä ja lopullinen päätös halutusta valmistajasta voidaan antaa toimeksiantajalle, jolloin toimeksiantaja voi tehdä päätöksen aikaisemman kokemuksen ja osaamisen perusteella.

Miltei kaikilta automaatiojärjestelmien valmistajilta löytyy yhtiön oma PLC tai IPC sekä ratkaisut liikkeenohjaukselle. Aikaisemmin esitetyistä teknologia vaihtoehtoista on mahdollista muodostaa useampia erilaisia koonpanoja. Liikkeenohjausta ja kenttäväylää valittaessa on huomioitava yhteensopivuus PLC:n tai IPC:n kanssa. Beckhoff, Siemens ja Omron valmistavat jokainen miltei kaiken mitä automaatiojärjestelmissä voi tarvita ja tuotantolinjaan lopullisia teknologia valintoja tehdessä kannattaa mahdollisimman paljon tarvittavasta teknologiasta valita yhdeltä valmistajalta, jolloin vältetään yhteensopivuus ongelmia. Seuraavassa kappaleessa on kasattu yksityiskohtaisemmin yksi mahdollinen kokoonpano ehdotus tuotantolinjalle käyttäen Beckhoffin automaatiojärjestelmää.

Beckhoff tarjoaa ainoastaan teollisuustietokoneita perinteisempien PLC:den tilalle. Tuotantolinjaan sopiva kokoonpano aikaisemmin luetelluista vaihtoehtoista on esimerkiksi Beckhoffin IPC CX2030-0122, liikkeenohjaus AX2513-B310 ja AX2523-B310 sekä servot AM2xxx sarjasta. Kenttäväylänä toimii Profibus DP, mikä on mahdollista lisätä moduulilla CX2030-M310. Profibus DP kenttäväylää käytetään IPC:n ja AX2513 väliseen tietoliikenteeseen. Moduuleita AX2523 tarvitaan kolme, joista jokainen ohjaa yhtä karteesisen robotin akselia. Kaikkia kolmea AX2523 akseli moduulia ohjaa varsinainen Master moduuli AX2513. Varsinaisen logiikan ohjelmointiin käytetään IPC:n Ethernet liitäntää. I/O moduulien määrää on epäluotettavaa arvioida konseptin keskeneräisyyden vuoksi, lopullinen tarvittavien porttien määrä mukautuu esimerkiksi tarvittavien antureiden ja muiden kytkinten määrän mukaan. I/O muodostuu sanoista Input/Output ja

sillä tarkoitetaan laitetta tai muuta toimintoa, jolla välitetään tietoa laitteelle tai toiminnolle.

Edullisinta ratkaisua tavoiteltaessa käytetään RFID-tekniikkaa mustepatruunakehikon paikan tarkkailemisessa tuotantolinjalla. Ohjelmointiin tarkoitettujen ohjelman TwinCAT 2 RFID-kirjasto sisältää tuen viidelle eri RFID-lukijoita tuottavalle valmistajalle, jotka ovat Balluff, Baltech, Deister electronic, Leuze electronic ja Pepperl+Fuchs. Tuki koskee kuitenkin vain rajattua osaa RFID-lukijoista, joten lopullista valintaa tehtäessä on syytä varmistaa, onko kyseessä oleva lukija tuettujen joukossa. Beckhoffin kokoonpanoon voidaan valita esimerkiksi Balluff M-300-001 RFID-lukija ja M-101-01/L tunnistin. Lukija käyttää tietoliikenteeseen sarjaporttia RS232, mikä voidaan yhdistää IPC:lle Beckhoffin RS232 moduulilla CX2030-N030.

Vastaavanlaisia kokoonpanoja on mahdollista tehdä myös Siemensin ja Omronin automaatiojärjestelmiä käyttämällä. Haluttaessa yhdistää eri valmistajien tuotteita luodaan mahdollisuus yhteensopivuus ongelmille. Kasattaessa automaatiojärjestelmä useamman valmistajan tuotteista kannattaa vaihtoehtoja tutkittaessa keskittyä valmistajan tukemiin ja käyttämiin standardeihin. Standardien avulla taataan myöhemmässä kausuvaiheessa kaikkien toimilaitteiden ja logiikoiden yhteensopivuuden.

3.4 IEC-standardin mukaisten ohjelmointikielien vertailu ja valinta

IEC:n standardi 61131-3 on ohjattaville logiikoille, minkä tarkoituksena on ollut ratkaista ongelmat eri valmistajien järjestelmien välillä. Standardi antaa mahdollisuuden käyttää eri valmistajien laitteita yhdessä ja ohjelmoida logiikka standardin sisältämin ohjelmointitavoin, joita ovat strukturoitu teksti (Structured text), tikapuukaavio (Ladder diagram) sekä toimilohkokaavio (Function block diagram) ja ohjelista (Instruction list). Ohjelmointikielet soveltuvat PLC:lle, sulautettuihin järjestelmiin, teollisuustietokoneille ja normaaleille tietokoneille. Kyseinen standardi mahdollistaa myös useamman eri ohjelmointitavan käyttämisen samassa järjestelmässä. (SFS ry 2014, 313–314.) Ohjelmiston lopulliseen toimivuuteen vaikuttaa inhimilliset tekijät, jotka voidaan jakaa ohjelmistokohtaisiin ja projektikohtaisiin tekijöihin. Ohjelmistovika aiheutuu aina suunnittelun yhteydessä eroten kaikista muista vioista. Ohjelmistojen viat voidaan luokitella neljään luokkaan, joita ovat sovellusvika, määrittelyvirhe, käyttäjän virhe ja virheellinen dokumentointi. (Heinonkoski 2004, 60.)

Strukturoitu teksti (ST) on tekstimuotoinen ja korkean tason ohjelmointikieli kuten Python, PHP ja C. Strukturoitu teksti ei käytä matalan tason operaattoreita vaan tarjoaa laajan valikoiman erilaisia lausuntoja kuvaamaan monimutkaisia toimintoja. Tekstimuotoisella ohjelmointikielellä ohjelmista tulee paljon pienempiä ja yksinkertaisempia verrattuna graafisiin ohjelmointikieliin. Strukturoitu teksti ei kuitenkaan sovi aloittelijoille sen monimutkaisemman luonteen vuoksi. (John & Tiegelkamp 2010, 116.) Strukturoidun tekstin ohjelma sisältää tietyn määrän lauseita (statements), joita erotetaan puolipisteellä. Ohjelmointikieli on vapaamuotoinen, mutta tästä huolimatta on syytä käyttää kommentteja mahdollisimman paljon luotettavuuden ja selkeyden parantamiseksi.

Ladder Diagram (LD) eli tikapuukaavio on graafinen ja yksi käytetyimmistä ohjelmointikielistä. Tikapuukaaviota luetaan vasemmalta oikealle ja ohjelmoinnissa käytetään toimilohkoja, joilla on erilaisia funktioita. Tikapuukaaviossa käytetään verkkoja, joihin toimilohkot sijoitetaan. Elementtejä on mahdollista kytkeä peräkkäin tai rinnakkain. Ohjelma käsitellään ylhäältä alaspäin verkko kerrallaan. Verkko rajoittuu kiskoihin toimilohkojen molemmin puolin. (Groover 2008, 283; John & Tiegelkamp 2010, 147–148.)

Ohjelista (IL) on yleisesti käytetty tekstimuotoinen ohjelmointikieli, joka muistuttaa Assembly ohjelmointikieltä. Ohjelistassa lauseet muodostuvat kolmesta elementistä, jotka ovat etiketti, toiminto ja operandi. (John & Tiegelkamp 2010, 100.) Toimintalohkokaavio (FBD) ohjelmointikieli on alun perin signaalikäsittelystä, jossa liukuluvut ja kokonaisluvut ovat oleellisia. Toimintalohkokaavio on kuitenkin nykyään yleistynyt ohjelmointikieli teollisuudessa. (John & Tiegelkamp 2010, 134.)

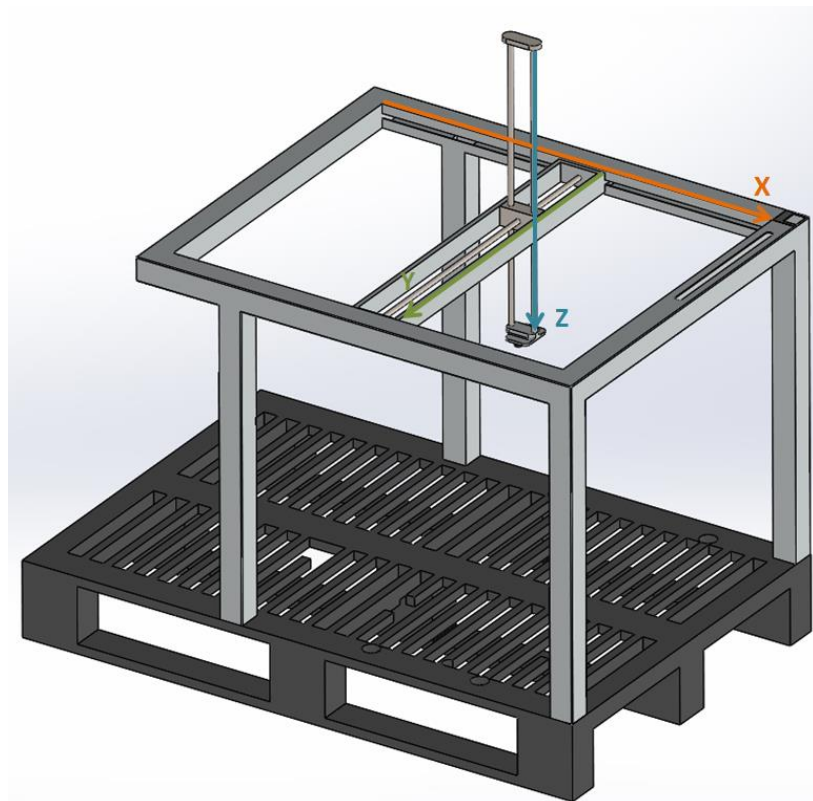
4 TUOTANTOLINJAN RAKENNE JA MALLINTAMINEN

Tuotantolinjan rakenteesta suunniteltiin alusta alkaen mahdollisimman kevyt ja helposti liikuteltava. Myöhemmässä suunnittelun vaiheessa koko järjestelmä päädyttiin rakentamaan muovisen eurolavan päälle, jonka mitat ovat 1200 mm, 800 mm ja 160 mm. Menettelyllä saavutettiin ilmeisiä hyötyjä liikuteltavuudessa. Eurolavan korkeus mukaan laskettuna koko tuotantolinjan korkeus on 1462 mm. Leveys ja pituus ovat yhtäläiset eurolavan mittojen kanssa. Seuraavissa kappaleissa on selvennetty millaisiin ratkaisuihin ja rakenteeseen tuotekehityksen eri menetelmillä päästiin. Kuvissa esitetty tuotantolinja koostuu noin. 80 erilaisesta osasta, joista mahdollisimman monet on piirretty oikeaan kokoluokkaan käyttämällä valittujen osien ja laitteiden mittoja.

4.1 Karteesinen robotti

Mustepatruunoiden liikuttamisesta tuotantolinjan eri vaiheisiin vastaa karteesinen robotti, joka on rakenteeltaan yksinkertainen ja edullinen toteuttaa. Karteesinen robotti eli lineaarinen robotti kulkee ainoastaan kolmen akselin X, Y ja Z mukaisesti. Karteesisten robottien hinnat ovat pudonneet noin 25 prosenttia viimeisten viiden vuoden aikana, mikä tarjoaa mahdollisuuden pienemmille yrityksille käyttää robottia laajaan kirjoon erilaisia tehtäviä, kuten varastointiin, paketointiin ja pick and place -sovelluksiin (Machine Design). Vastaavia karteesisia robotteja ei kuitenkaan myydä valmiina tarvittavassa kokoluokassa, joten robotin tukirakenne sekä muut tarvittavat osat on valmistettava ja hankittava erillisinä. Kuvassa 2 on esitetty karteesiselle robotille suunniteltu runko, jossa on suunniteltu käytettäväksi 50 x 50 mm kokoista alumiini neliöputkea.

Kierretangot kulkevat kahden neliöputken sisällä pitkäikäisen leikkauksen mukaisesti. Kierretankoihin on kiinnitetty karteesisen robotin rungon osa, joka mahdollistaa liikkeen vaakasuorasti pituussuunnassa eli X-akselilla. Liikkeen Y-suunnassa mahdollistaa kierretanko, mikä on kiinnitetty X-akselin mukaisesti kulkevaan osaan. Näiden kahden edellä mainitun osan avulla robotti voi kulkea mihin tahansa kohtaa X–Y-alueella. Kolmas kierretanko on kiinnitetty Z-akselin mukaisesti liikkuvaan rungon osaan. Kierretankoa tukee toinen kierteittämätön tanko, mikä estää robotin alipainetarraimen pyörimisen Z-akselin ympäri. Kyseisten tankojen avulla annetaan robotille mahdollisuus liikkua Z-akselin suuntaisesti.



Kuva 2. Karteesisen robotin runko eurolavalla.

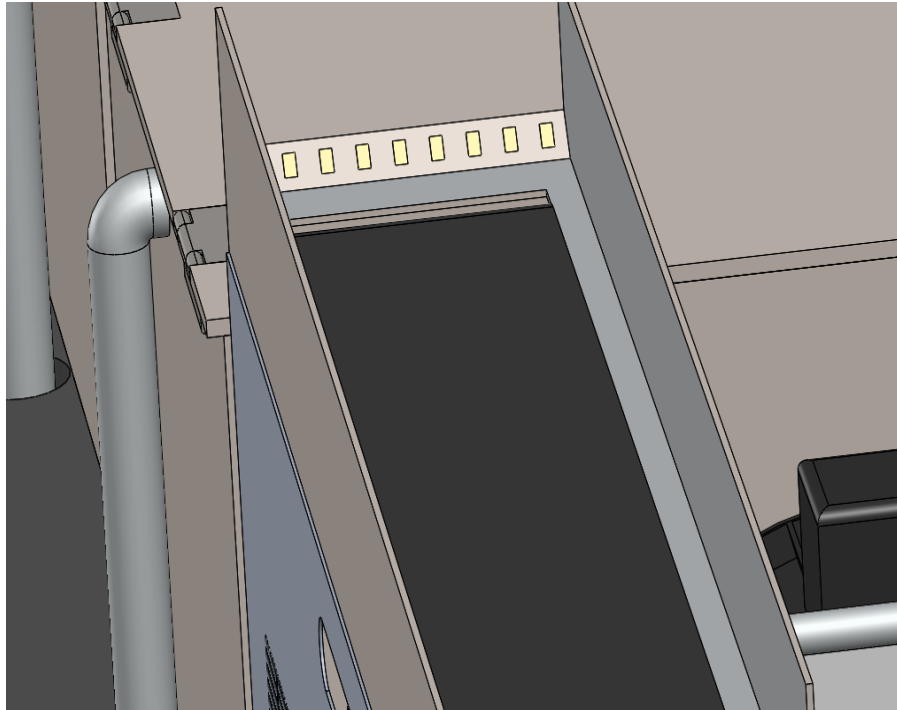
Karteesisen robotin hyödyiksi voidaan erityisesti lukea sen yksinkertaisuus ja edullisuus verrattuna perinteisiin kuusi akselisiin robotteihin. Karteesiset robotit koostuvat standardoiduista osista, joita on helppo korvata tarvittaessa. Karteesinen robotti liikkuu ainoastaan X, Y ja Z -suunnissa, jotka on merkattu kuvassa 2 erivärisin viivojin. Liike toteutetaan servojen avulla, joita ohjataan valitulla IPC:llä tai PLC:llä ja anturien antaman tiedon perusteella. Toimilaitteita vaihtamalla voidaan saavuttaa huomattava liikkeen tarkkuus, mutta kustannukset kasvavat tarkkuuden kasvaessa. Normaalisti karteesinen robotti voi kuitenkin siirtää noin 50 kg painoisia kappaleita 10 μm tarkkuudella (Machine Design). Yleensä karteesisen robotin rakennetta suunniteltaessa ja servoja valittaessa on huomioitava nostettavan kappaleen paino, joka vaikuttaa liikkeen tarkkuuteen (Machine Design). Mustepatruunoita kuljetetaan kuitenkin vain alle kymmenen kerrallaan tuotantolinjalla vaiheesta toiseen, jolloin painon vaikutuksen voi jättää huomioimatta. Karteesisella robotilla saavutettava nopeus on pidemmissä liikeradoissa kilpailuetu muihin robotti malleihin nähden. Nopeus voi olla 5 m/s tai enemmän, mutta

tuotantolinjan suunniteltu suhteellisen pieni koko käytännössä hävittää nopeuden tuomat edut.

4.2 Mustepatruunoiden nollaaminen

Mustepatruunoiden nollaamiseen on käytetty erikseen ostettuja laitteita, joiden toimittaja ja valmistaja ovat haastavia selvittää oleellisten tietojen puuttuessa. Laitteiden toiminta ei ole täysin selvää, joten uuden nollauslaitteen rakennetta ei konseptin muodostamiseen käytettävissä olleessa ajassa ollut mahdollista suunnitella. Oletettaessa kuitenkin, että laitteen toiminta perustuu ainoastaan mustepatruunoiden tulostusmäärää tarkkailevan laskurin nollaamiseen, ei vastaavan laitteen suunnittelun pitäisi olla mahdotonta.

Mustepatruunoiden nollaukseen tarkoitettu piste on mallinnettu metallisen kaapin yhteyteen, jonka yhteyteen on sijoitettu myös liukuhihna. Liukuhihnalla kuljetetaan täyttöön saapuvat mustepatruunat nollattavaksi ja robotin poimittavaksi. Liukuhihnan päättyyn on sijoitettu kullatut nollauspiiriltä tulevat koskettimet mustepatruunoiden siruille, jotka on esitetty selvennykseksi kuvassa 3. Jokaiselle mustepatruunalle on oma nollauspisteensä. Tapauksissa joissa mustepatruuna ei nollaudu teknisistä syistä, täytyy mustepatruunoiden kehikko poistaa liukuhihnalta, jotta rikkiäistä mustepatruunaa ei turhaan täytettäisi musteella.



Kuva 3. Nollauspiste.

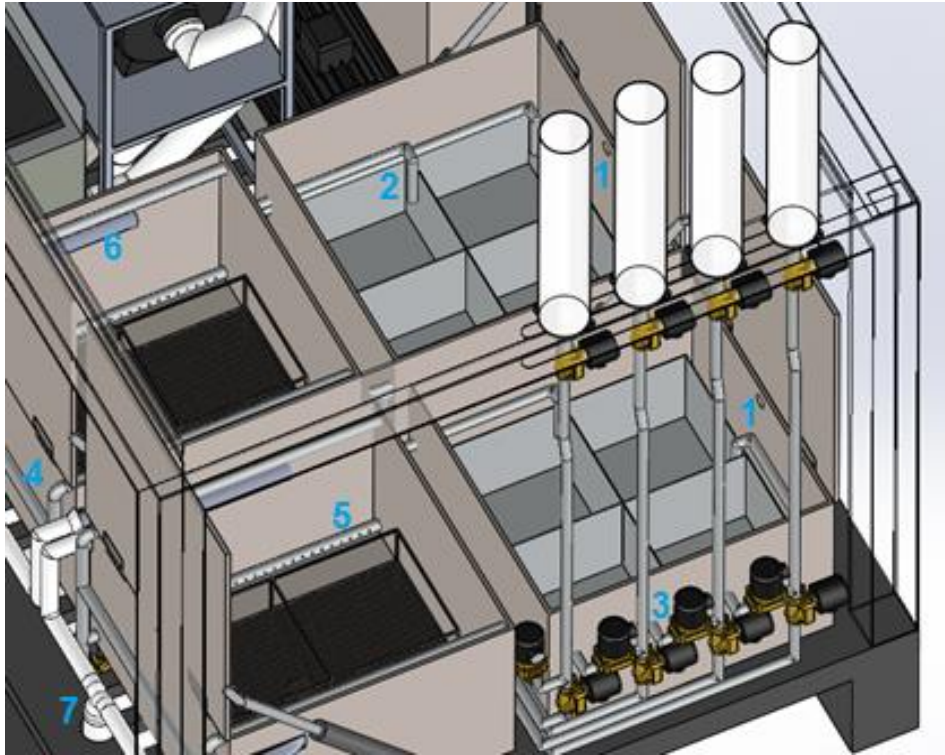
Yksi liukuhihna tuo mustepatruunoita piteleviä kehikoita robotin saataville ja toinen robotilta uudelleentäyttöprosessin läpikäymisen jälkeen kehikon poistoon ja paketoimiseen tai varastointiin. Liukuhihnat ovat sijoitettu kahden metallikaapin yhteyteen, joista nollauspisteelle mustepatruunakehikoita kuljettavan liukuhihnan kaappi pitää sisällään pienikokoisen sähkökaapin ja 5/3-suuntaventtiilin alipaineen ohjaamiseen. Täyttöprosessin läpikäyneitä kehikoita ulos kuljettavan liukuhihnan kaapissa sijaitsee I/O-kortit ja valinnan mukaan IPC tai PLC. Molempiin kaappeihin on mahdollista sijoittaa pienet moottorit liukuhihnojen liikuttamiseen, jos moottorit sijoitetaan kuljettimen alle. Käytävissä olleen ajan puitteissa kuljettimia tai niiden moottoreita ei ollut mahdollista suunnitella tai valita. Liukuhihnan moottori on mahdollista joissain tapauksissa sijoittaa varsinaisen kuljettimen sisään, mikä voi olla vaihtoehtoista parhain tilan ahtauden vuoksi. Kuljettimen pienestä koosta johtuen ei ole kuitenkaan varmaa onko kyseinen sijoitustapa mahdollinen.

4.3 Vaiheet mustepatruunoiden täytöstä, pesuun ja kuivaukseen

Vaiheet mustepatruunoiden täytöstä, pesuun ja kuivaukseen on sijoitettu eräänlaisten metallilaatikoiden sisään, jotka tarjoavat riittävän tilan ja kestävyuden. Täyttö, pesu ja

kuivaus suoritetaan niille suunnitelluissa astioissa, koska varsinaista pesuun tai alipaineen luomiseen käytettävää säiliötä ei ole saatavilla oikean kokoisena. Metallilaatikot ovat yksinkertaisia, kestäviä ja halpoja valmistaa, mikä noudattaa päätavoitteita konseptin mahdollisimman alhaisten kustannusten saavuttamiseksi. Metallilaatikoita on yhteensä neljä, joista kaksi on suunniteltu alipainesäiliöiksi ja kaksi pesuun sekä kuivaukseen. Kaikkiin on kiinnitetty sylinterien avulla avattavat ja suljettavat kannet, joita voidaan ohjata valitulla IPC:llä tai PLC:llä. Kansia ja laatikoiden reunoja ympäröivät tiivisteet, joilla estetään alipainekäytössä ilman pääseminen sisään ja pesussa veden roiskuminen ulos. Molempiin mustepatruunoiden täyttöön tarkoitettuihin alipainesäiliöihin on kiinnitetty putki, jonka kautta ilma poistetaan säiliöstä. Alipainesäiliöiden pohjalla on neljä metallista allasta, yksi jokaiselle värille. Altaiden koossa on huomioitu nesteen pinnan nousu mustepatruunoita pitelevän kehikon laskeutuessa altaaseen. Jokaiseen altaaseen on tuotu erillinen pienempi metallinen putki, joita käytetään mustealtaan täyttämiseen.

Kuvassa 4 on havaittavissa alipaineputkien liitännät alipainesäiliöille, joista molemmat on merkattu numerolla yksi. Neljää alipainesäiliön kyljen läpi tuotavaa putkea käytetään mustealtaiden uudelleen täyttämiseen. Molempiin alipainesäiliöihin tulevat putket on merkattu numeroilla kaksi ja kolme. Pesuun tarkoitetut vesiputket on merkattu numeroilla neljä ja viisi. Kuvaukseen tarkoitetut ilmapuhaltimelta vedetyt putket on merkattu numeroilla kuusi ja seitsemän.



Kuva 4. Alipaineastiat, pesuastiat ja mustealtaat.

Karteesisen robotin kanssa samaan runkoon on kiinnitetty neljä 300 mm x 50 mm kokoista kirkkaasta muovista valmistettua mustesäiliötä, joita käytetään alipaineastioissa olevien mustealtaiden täyttämiseen. Mustesäiliöistä kulkee 10 mm halkaisijoiltaan olevat metalliset putket molempiin alipaineastioihin. Musteen liikkumista putkissa rajoittaa neljä pääventtiiliä ja kumpaankin alipaineastiaan tulevien putkien neljä ohjausventtiiliä. Venttiileitä on yhteensä 12 ohjaamassa musteen kulkemista varsinaisista säiliöistä täyttöaltaisiin. Pääventtiilien käyttäminen on tarpeellista, jotta huoltotapauksissa musteen kulku putkissa voidaan estää mahdollisimman lähellä varsinaista mustesäiliötä.

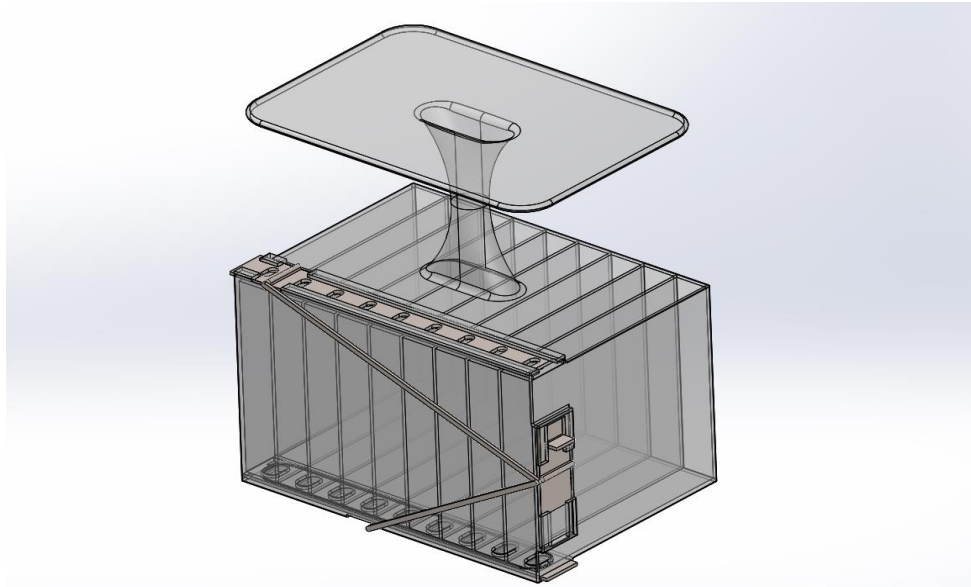
Pesuun tarkoitettuihin laatikoihin on kiinnitetty ritilätelineet, joihin mustepatruunakehikot lasketaan ennen pesun alkamista. Ritilätelineet toimivat tukena pesun aikana mustepatruunoiden kehikolle. Yhdelle telineelle mahtuu kaksi kehikkoa samana aikaisesti. Pesuastiaan tuodaan painevesiputki ja ilmapuhaltimen putket, joista puhaltimen putki on muovinen ja vesiputki alumiinia tai muovia riippuen käytetystä paineesta. Pesualueen pohjalla on viemäri puhdistusveden poistolle. Mustepatruunoiden pesualueelle vettä tuodaan vesipumpulla, jonka valintakriteerit ovat samankaltaiset alipainepumpun kanssa. Suurta tehoa ei kuitenkaan tarvita pienien mustepatruunakehikoiden pesemiseen. Pesuvaiheen riittäväksi pituudeksi arvioidaan noin minuutti, joten molempiin pe-

suastioihin voidaan ohjata vettä samanaikaisesti kahdella venttiilillä. Pesuvaiheen kestäessä oletettua kauemmin on mahdollista, että muodostuu pidempi viive pesuvaiheen ja seuraavan vaiheen välille, eikä prosessi toimi enää halutulla nopeudella. Mallissa on käytetty esimerkkinä valmistajan Walrus Pump pumppua TQ200. Pumppu on pienikokoinen ja hiljainen sekä tarjoaa riittävän 40 l/min virtausnopeuden (WALRUS PUMP Co., Ltd. 2016).

Alipaineen muodostaa yksi alipainepumppu, jota ohjataan 5/3-suuntaventtiilin avulla kummallekin alipainesäiliölle. Alipainepumppua valittaessa vaatimuksiin kuuluivat pieni koko ja edullisuus kuitenkin uhraamatta merkittävästi tehosta. 3D-mallissa on käytetty valmistajan Pfeiffer Vacuum alipainepumppua Duo 5 M mallina. Alipainepumppu on suhteellisen isokokoinen käyttötarkoitukseen, mutta tarjoaa mahdollisuuden nopeaan alipaineen muodostamiseen alipainesäiliössä. Alipainepumppu muodostaa riittävän alipaineen alle minuutissa alipaineastian ja mustepatruunan täyttäminen altaassa vie muutaman minuutin. Tilanteissa, joissa myös toiseen alipaineastiaan tulisi muodostaa alipaine samanaikaisesti, voi aiheutua lyhyt viive, koska alipainepumppu voidaan ohjata vain yhdelle alipaineestialle kerrallaan. Viive on kuitenkin maksimissaan alipaineen muodostumiseen kuluva aika.

4.4 Kehikko mustepatruunoille

Mustepatruunat tuodaan täyttöön ja nollaukseen niille suunnitelluissa kehikoissa. Kehikon tarkoitus on ratkaista ongelma, miten pesuvaiheessa veden pääseminen mustepatruunaan estetään ja täyttövaiheessa musteen sisäänpääsy sallitaan. Kehikko on tarkoitettu yhdeksälle mustepatruunalle, joiden täytyy olla samaa mallia ja väriä. Mustepatruunan kehikossa on vipu, mitä painamalla suojalevyt mustepatruunan aukkojen edestä avautuvat tai vastaavasti sulkeutuvat. Vastaavia kehikkoja ei tiedettävästi ole otettu käyttöön missään yhteydessä aikaisemmin, joten valmiin kehikon hankkiminen ei ole mahdollista. Rakenne on suunniteltu siten, että kehikon tulostaminen 3D-tulostimella olisi mahdollisimman vaivatonta. Kuvassa 5 on mustepatruunakehikon 3D-tulostettava runko sekä viidestä metalliosasta koostuva mekanismi mustepatruunan aukkojen sulkemiseen ja avaamiseen.



Kuva 5. Mustepatruunakehikko ja mekanismi.

Kehikossa on yhdeksän mustepatruunan kokoista lokeroa, joihin patruunat työnnetään ennen linjalle lähettämistä. Eriväriset mustepatruunat saattavat olla eroavia mittasuhteiltaan, joten esimerkiksi mustille mustepatruunoille pitää käyttää erilaista kehikkoa. Kehikot tunnistetaan toisistaan kehikkoihin kiinnitettyjen RFID-tunnisteiden avulla, jotta mustepatruunat täytetään oikealla värillä. Vastaavasti kehikot on mahdollista tunnistaa QR-koodin ja kameran avulla riippuen lopullisista valinnoista. Kehikon kyljessä olevan vivun painuessa alaspäin liikkuu ylempi suojalevy vivun suuntaan ja alempi vastakkaiseen suuntaan samalla avaten mustepatruunoiden täyttöön tarkoitetut reiät. Suojalevyjen ja kehikon väliin on sijoitettu pienet tiivisteet, jotta pesuvaiheessa mahdollisimman vähäinen määrä vettä pääsee mustepatruunaan asti.

Mustepatruunoiden kehikolla on yksi tärkeimmistä rooleista koko tuotantolinjan toiminnassa, koska mustepatruunoita ei ole mahdollista pestä ilman kehikkoa. Kehikon toimintaa ei ole kuitenkaan varmennettu, mikä voikin johtaa tuotantolinjan joidenkin toimintojen ja vaiheiden uudelleen ideoimiseen, kuten puhdistuksen toteuttamiseen. Näin ollen ennen konseptin 3D-mallin pidemmälle suunnittelua tulisi kehikosta tulostaa 3D-tulostimella prototyyppi ja testata mekanismin toimintaa. Mekanismin toimintaa voi häiritä esimerkiksi niveliin kuivanut muste.

5 TUOTANTOLINJAN TOIMINTAKUVAUS

Mustepatruunat saapuvat uudelleen täytettäväksi siinä kunnossa, kun ne on keräysasti-oihin jätetty, joissain on vielä mustetta sisällä ja osa vain hajonnut tavalla tai toisella. Huomiotta ei voi myöskään jättää tilanteita, joissa mustepatruunoiden sisälle on tahallisesti lisätty väärää väriä, mikä käytännössä tekee esimerkiksi keltaisen musteen lisäämisen mustalla musteella sotkettuun keltaiseen mustepatruunaan mahdottomaksi. Ongelma voidaan ratkaista jatkamalla konseptin kehitystä siten, että lisätään mustepatruunoiden sisäinen puhdistusvaihe ennen varsinaista uudelleentäyttöä. Kaikki selkeästi rikkiäiset ja sotketut mustepatruunat pitää kuitenkin poistaa ennen mustepatruunoille tarkoitettuun kehikkoon asettamista.

Kehikot tulevat olemaan merkattuja, jotta oikean väriset mustepatruunat asetetaan niille tarkoitettuun kehikkoon. Kehikkoihin on kiinnitetty RFID-tunnisteet tai QR-koodit, jonka avulla automaatiojärjestelmän on mahdollista tunnistaa ja siirtää kehikko oikean värisen mustealtaaseen. Tunniste tai koodi luetaan nollauksen yhteydessä kehikon reunasta. Tuotantolinjan toiminta alkaa, kun mustepatruunakehikko asetetaan liukuhihnalle, joka kuljettaa kehikon ensimmäiseen vaiheeseen eli nollaukseen. Nollauksen aikana mustepatruunoissa olevat sirut nollataan, jotta tulostimeen asetettaessa mustepatruuna ilmoittaa täysinäistä tilaa. Nollauksen aikana myös mustepatruunoiden sirun toimivuus testataan, vaikka sirun rikkoutuminen onkin harvinaista. Rikkiäistä mustepatruunaa ei ole mahdollista poistaa automaattisesti, joten rikkiäisen mustepatruunan kehikko on pakko poistaa liukuhihnalta patruunan poistoa varten.

Mustepatruunoiden nollauduttua karteeminen robotti siirtyy kehikon yläpuolelle ja tarraa kiinni kehikosta alipainetarraimen avulla. Kehikko siirretään ohjauksen ohjelmaan määritettyjen reittien mukaisesti vapaana olevalle alipainesäiliölle ja säiliön oikeaan mustealtaaseen kehikosta luetun QR-koodin tai RFID-tunnisteen mukaisesti. Karteemisen robotin X-akselilla kulkevan rungon osan (kts. Kuva 2.) korkeus pysyy muuttumattomana sekä mustealtaat ja kehikot ovat aina samankokoisia. Edellisestä johtuen ei kehikkoa laskettaessa mustealtaaseen tarvitse varsinaista paikkaa määrittellä antureiden avulla. Automaatiojärjestelmä katkaisee alipaineen tarraimelta, kun kehikko on mustealtaassa. Karteeminen robotti siirtyy ulos alipaineastiasta ja kyseisen alipainesäiliön kansi sulkeutuu. Alipainesäiliön ja pesualtaan kansi liikutetaan pienten sylinterien avulla, joita on mahdollista ohjata IPC:llä tai PLC:llä. Alipainepumppu käynnistyy kan-

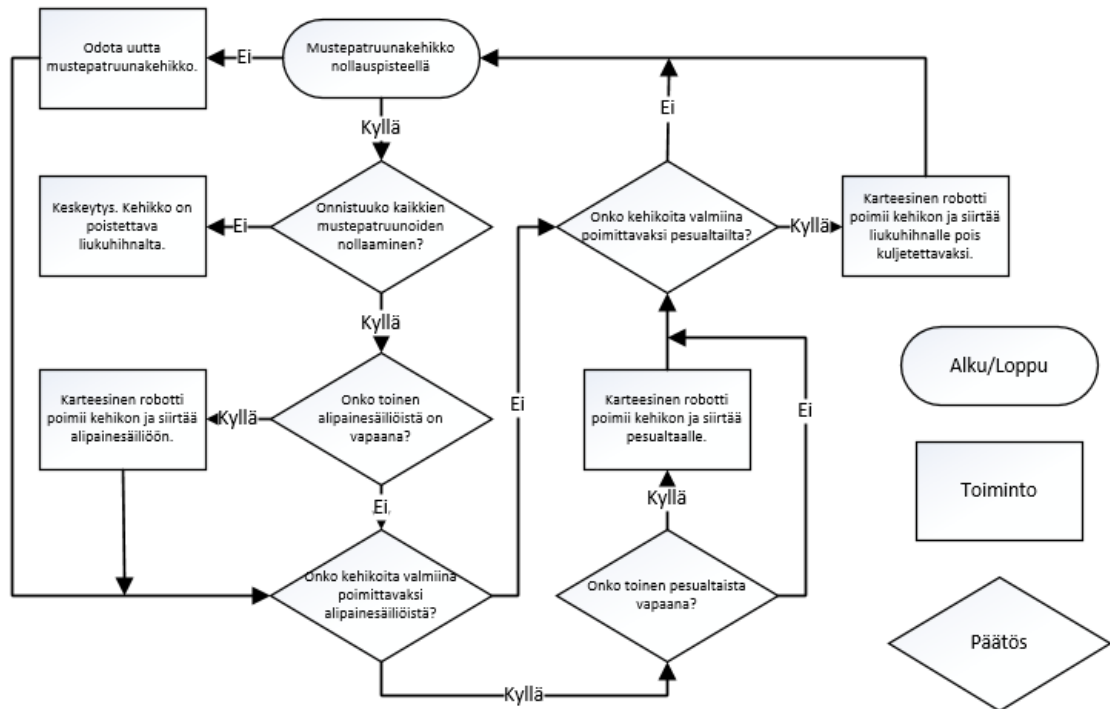
nen sulkeuduttua ja poistaa minuutin sisällä suurimman osan ilmasta säiliön sisältä. Alipaineen saavuttamisen jälkeen ei alipainepumppua ole tarpeellista pitää päällä. Mustepatruunat ovat mustealtaaseen upotettuina muutaman minuutin, jonka jälkeen kansi avautuu ja karteeminen robotti nostaa mustepatruunakehikon mustealtaasta. Kehikkoa voi olla tarpeellista pitää hetki mustealtaan yläpuolella, jotta suurin osa kehikoon tarttuneesta musteesta valuu takaisin altaaseen.

Karteeminen robotti siirtää kehikon alipainesäiliöltä kahdelle pesualtaalle, joista vapaana oleva valitaan tai molempien ollessa vapaana ohjelman mukaisesti alipainesäiliötä lähinnä oleva allas valitaan. Pesualtaan kansi avautuu ja kehikko siirretään sille tarkoitetun ritilätelineen päälle. Karteeminen robotti siirtyy pois pesualueelta ja pesuastian kansi sulkeutuu. Vesipumppu käynnistyy ja vesi ohjataan venttiilien avulla kolmeen pesualtaassa olevaan suuttimeen. Mustepatruunakehikossa oleva mekanismi on oleellinen pesuvaiheessa, koska sen avulla suljetaan pesun ajaksi mustepatruunan ilmaukko ja varsinainen mustepää. Kehikkoa laskettaessa ritilätelineelle liikkuu samalla kehikossa oleva vipu telineeseen osuessaan asentoon, mikä sulkee suojalevyt pesunajaksi. Pesu kestää muutaman minuutin ja on säädettävissä ohjelmallisesti haluttuun aikaan. Vesipumppu sammuu asetetun ajan jälkeen ja ilmapuhallin käynnistyy. Pesuastiasa on kaksi ilmapuhaltimelta tulevaa putkea, jotka on ohjattu kehikoiden suuntaisesti. Molemmat puhaltavat kuitenkin vinottain kehikon yläpuolelta, joten pitempi kuivausaika voi olla tarpeellista myös kehikon alempien osien kuivattamiseksi. Kuivausvaiheen päättyessä avautuu pesuastian kansi ja karteeminen robotti nostaa kehikon pois ritilältä. Kehikoissa oleva mekanismi vapautuu ja avaa mustepatruunat tiivistäneet suojalevyt.

Kehikko siirretään toiselle liukuhihnalle, mikä kuljettaa nollatut, täytetyt, pestyt ja kuivatut mustepatruunat ulos tuotantolinjalta pakkaukseen ja varastointiin. Mustepatruunat on konseptin nykyisessä tilassa poistettava käsin kehikoista, koska yksinkertaista ja edullista ratkaisua poiston automatisointiin ei ole vielä suunniteltu. Kehikoista poistettujen mustepatruunoiden ympärille kiinnitetään teippi pakkauksen yhteydessä. Teipin tarkoituksena on suojata mustepäätä sekä patruunoita käsitteleviä henkilöitä musteelta.

Karteemisen robotin toiminnasta saa tarkemman kuvan kuvion 1 toimintakaaviosta, jossa kaikki vaiheet on käyty läpi. Toimintakaavio on myös karkea kuvaus karteemisen robotin ohjaukseen käytettävän ohjelman toiminnasta. Toimintakaavio on jaettu eri ominaisuuksiin, joita ovat alku/loppu, toiminnot ja päätökset. Prosessi alkaa tarkastamalla onko uutta mustepatruunakehikkoa saapunut nollattavaksi, jos uusia kehikoita ei

ole tarkastetaan myös ovatko alipainesäiliöt ja pesualtaat tyhjiä. Mustepatruunoiden nollauksen epäonnistuessa järjestelmän toiminta on keskeytettävä, jotta kehikko on turvallista poistaa liukuhihnalta nollauspisteestä.



Kuvio 1. Karteesisen robotin toimintakaavio.

Kaikkien mustepatruunoiden nollaamisen onnistuessa tarkastetaan alipainesäiliöiden tila. Kummankin säiliöstä ollessa varattuina tarkastetaan, onko toisessa säiliöstä mustepatruunoita valmiiksi täytettyinä odottamassa siirtoa pesuvaiheeseen. Edellisestä päätöksestä riippuen edetään, joko pesualtaiden tilan tarkastamiseen tai mustepatruunakehikon siirtämiseen alipainesäiliöön. Toisen tai molempien pesualtaiden ollessa vapaina mustepatruunat siirretään puhdistettaviksi. Molempien pesualtaiden ollessa varattuina tarkastetaan onko pesualtaissa odottamassa puhdistusprosessin läpikäyneitä mustepatruunoita. Pesualtaiden ollessa käytössä alkaa eri toimintojen läpikäyminen alusta nollaamistilanteen tarkastamisella siihen asti ennen, kuin mustepatruunoita voidaan siirtää jälleen eteenpäin linjalla. Viimeisimpänä toimintona mustepatruunat siirretään liukuhihnalle, jolla mustepatruunat kehkoiineen siirretään pois tuotantolinjalta pakattaviksi.

6 POHDINTA

Automaatioprojektien välillä on paljon poikkeavuuksia eikä niiden onnistumisen arvioiminen ole läheskään aina yksinkertaista tai selvää. Toteutuksen ollessa täysin uudellinen voi aikaa kulua huomattavasti suunniteltua enemmän, mikä ei kuitenkaan tarkoita projektin olevan epäonnistunut. Projektin alkaessa oli selvää, että aikataulu oli arvioitu riittämättömäksi ottaen huomioon projektin laajuuden sekä suunnitteluryhmän koon ja kokemattomuuden. Vastaavanlaisten projektien kestäessä yleensä vuodesta kahteen vuoteen oli mustepatruunoiden uudelleentäyttöön tulevan tuotantolinjan suunnitteluun, konseptointiin, rakentamiseen ja ohjelmointiin varattu noin kolme kuukautta. Tavoitteita kohtuullistettiin projektin alkaessa, mutta suunnitteluryhmän kokemattomuuden vuoksi aikataulusta jäi edelleen liian tiukka, eikä esi- ja perussuunnittelun vaiheita ehditty saattaa päätökseen. Edellisistä seikoista johtuen konsepti jää monelta osalta alueelta keskeneräiseksi ja seuraavan ryhmän jatkettavaksi.

Opinnäytetyötä lähdettiin alun perin tekemään, jotta uudelleen täytettyjä mustepatruunoita olisi mahdollista myydä suuremmissa määrissä. Nykyinen uudelleentäyttömeneelmä on hidas ja rajoittaa myyntiin saatavien uudelleen täytettyjen mustepatruunoiden määrää sekä sitoo työntekijää muilta tehtäviltä. Opinnäytetyössä on käyty läpi kaikki ne vaiheet, jotka konseptin suunnitteluryhmä kävi läpi ideoinnista karkean 3D-mallin suunnittelun aloittamiseen. Työssä on käsitelty myös muita oleellisia projektiin liittyviä asioita, kuten ohjelmointitapoja sekä vaiheita konseptin suunnitteluun, joista tärkeimpänä voidaan pitää teknologiavaihtoehtojen kartoittaminen automaatiojärjestelmään. Tuotantolinjasta tehtyä karkeaa 3D-mallia on esitelty tarkemmin liitteissä mm. eri kulmista otettujen kuvien avulla. Työ antaa hyvän mahdollisuuden arvioida tulevaa aikataulua, jos konseptin ja tuotantolinjan kehittämistä päädytään jatkamaan.

Tuotantolinja valmistuessaan mahdollistaisi suhteellisen helpon skaalattavuuden ja tuotantomäärien optimoimisen. Suurin osa mustepatruunan uudelleentäyttöön liittyvistä vaiheista tulee olemaan automatisoitu, mutta edelleen mustepatruunoita täytyy manuaalisesti syöttää niille tarkoitetuissa kehikoissa liukuhihnalle ja kerätä pois toiselta liukuhihnalta. Käyttäjän tehtäväksi jää myös teippaus ja pakkaus, mitä ei ole sisällytetty varsinaiseen konseptiin. Kyseinen puute on kuitenkin mahdollista korjata konseptin myöhemmässä kehitysvaiheessa, jos ne koetaan tarpeelliseksi. Konsepti tarjoaa myös

uudenlaisen tavan täyttää tyhjiä mustepatruunoita automaattisesti yksinkertaisin menetelmin.

Tuotantolinjan taloudellinen kannattavuus ei ole varmaa eikä kannattavuutta voitu arvioida puuttuvien tietojen vuoksi. Alustavaa kustannusarviota ei ole laskettu ja kustannusten voidaankin odottaa olevan oletettua huomattavasti korkeammat. Suunnittelu-ryhmän koostuessa ainoastaan opiskelijoista ja kokemuksen ollessa vähäistä ei varsinaista alustavaa kustannusarviota laskettu, koska raameja tuotantolinjan kustannuksille ei ollut asetettu. Edellisestä johtuen tuotantolinjan käytön kannattavuus onkin todella kyseenalaista eikä konseptin kehittämistä tulisi jatkaa ennen selvää rajaa kustannuksille ja kannattavuuden selvittämistä.

Työstä voivat hyötyä kaikki asiasta kiinnostuneet eri alojen asiantuntijat sekä opiskelijat ja minkä tahansa konseptin suunnittelua aloittavat henkilöt, koska työssä on käyty läpi suhteellisen kattavasti esi- ja perussuunnittelun vaiheita sekä konseptin muodostamisen vaiheita. Työssä on pyritty siihen, että lukijan on suhteellisen vaivatonta seurata konseptin kehityksessä läpikäytyjä vaiheita sekä ymmärtää tuotantolinjan tarkoitus ja toimintaperiaate. Toimintaperiaate, teknologia valintoja ja ohjelmointia käsittelevät osiot voivat olla kuitenkin haastavampia ja näitä osia olisikin voinut selventää nykyistä tarkemmin. Edellä mainittujen osioiden tarkentaminen olisi kuitenkin voinut pidentää työn pituutta suhteettomasti ja tärkeitä työn nykyisessä muodossa esiin otettuja asioita olisi pitänyt karsia. Työstä jäi joidenkin selvennysten lisäksi puuttumaan laajemmat teknologia vertailut ja valinnat, joita ei ollut mahdollista toteuttaa aikataulun puitteissa. Konseptin kehittäminen jää keskeneräiseksi kolmanteen viidestä päävaiheesta eli jalostusvaiheeseen, jota tulisi seurata vielä vahvistusvaihe ja loppuvaihe.

Kirjoittamisprosessi oli haastavaa, koska työssä vaadittiin paljon tuotekehityksen osaamista ja näin ollen paljon uusien asioiden opiskelua ennen niistä kirjoittamista. Projekti painottui vahvasti ideointiin, ratkaisujen kehittämiseen erilaisiin ongelmiin ja 3D-mallin piirtämiseen. Kaikesta käytettävissä olleesta ajasta suuri osa meni 3D-mallin suunnittelemiseen. Karkea 3D-malli koostuu tällä hetkellä miltei sadasta erillisestä osasta. Vastaavaa konseptia mustepatruunoiden uudelleentäyttöön ei myöskään ole tiedettävästi aikaisemmin suunniteltu ja monet asiat, kuten alipaineen vaikutus eri osille ja materiaaleille vaikeuttivat 3D-mallin ja koko toimintaperiaatteen kehittämistä.

Konseptin edetessä on kuitenkin edelleen epäselvää, onko mustepatruunoiden valmistajien logoilla ja merkillä varustettuja mustepatruunoita edes luvallista myydä uudel-

leentäytettyinä. Kysymyksen selvittämättä jättäminen voi myöhemmin johtaa tarpeetomiin ongelmiin ja lisäkustannuksiin, jos kaikki merkinnät aikaisemmista valmistajista tulee hävittää. Kyseisen kaltaiset ongelmat voivat horjuttaa tuotantolinjan kannattavuutta entisestään. Huomiotta on myös jätetty lopullisten mustepatruunoita ostavien asiakkaiden suhtautuminen uudelleentäytettyihin mustepatruunoihin. Uudelleentäytettyjen mustepatruunoiden myyntihintaa on vaikea arvioida ilman kustannusten ja kannattavuuden arviointia, joka olisi tullut suorittaa jo ennen konseptin varsinaisen kehittämisen eteenpäin viemistä.

LÄHTEET

- ABB 2016. Viitattu 5.6.2016 www.abbmotion.com > Products > Servo motors > BSM R-Series.
- Advanced Micro Controls, Inc. 2016. Viitattu 5.7.2016 www.amci.com > Resources > Tech Tutorials > What Is A PLC?.
- AS-International Association 2016. Viitattu 21.3.2016 www.as-interface.net > Knowledge base > Facts and advantages.
- AS-International Association 2016. Viitattu 21.3.2016 www.as-interface.net > Knowledge base > System description.
- Beckhoff Automation Oy 2016a. Viitattu 1.4.2016 www.beckhoff.fi > Beckhoff > Yleiskatsaus.
- Beckhoff Automation Oy 2016b. EtherCAT. System documentation. Viitattu 2.4.2016 www.beckhoff.co.uk > I/O > EtherCAT > Documentation.
- Beckhoff Automation Oy 2016c. Viitattu 2.6.2016 www.beckhoff.com > Motion > Motor Series AMxxxx, ALxxxx, ASxxxx > Synchronous Servomotors > AM2xxx.
- Beckhoff Automation Oy 2016d. Viitattu 2.6.2016 www.beckhoff.com > Motion > Servo drives AXxxxx > AX2000, AX2500.
- Bono, E. 1999. Six Thinking Hats. Lontoo: Penguin Books Ltd.
- Groover, M. 2008. Automation Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Heinonkoski, R. 2004. Koneautomaation kunnossapito. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Huhtala, P. & Pulkkinen, A. 2009. Tuotettavuuden kehittäminen. Parempi tuotteisto useasta näkökulmasta. Tampere: Esa Print Oy.
- John, K-H. & Tiegelkamp, M. 2010. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Berliini: Springer-Verlag GmbH.
- Keinänen, T.; Kärkkäinen, P.; Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Kippo, A. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Machine Design 2016. Viitattu 5.7.2016 machinedesign.com > Technologies > Motion Control > The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots.
- MayTec 2016. Viitattu 5.7.2016 www.maytec.de > Downloads > Catalogs > The Conveyor System - 2013.
- Micro Solution Enterprises 2013. Mainoslehtinen.
- National Instruments Corporation 2016. Viitattu 12.6.2016 www.ni.com > shop > Vision Systems and Hardware > Smart Cameras.
- OEM Finland Oy 2016a. Viitattu 25.6.2016 www.OEM.fi > Anturi > Ultraäänianturit.
- OEM Finland Oy 2016b. Viitattu 25.6.2016 www.OEM.fi > Anturi > Kapasitiiviset lähestymiskytkimet.

Omron Industrial Automation 2016a. Viitattu 2.4.2016 www.omron.com > About OMRON > Sustainability > Environment.

Omron Industrial Automation 2016b. Viitattu 2.4.2016 industrial.omron.fi > Tuotteet > Katalogi > Etä-I/O.

Omron Industrial Automation 2016b. Viitattu 2.4.2016 industrial.omron.fi > Tuotteet > Katalogi > Koneautomaatio-ohjaimet.

Omron. 2008. DeviceNet. Operation Manual. Saatavissa myös <https://downloads.omron.eu/IAB/Products/Automation%20Systems/Remote%20IO/Compact%20IO/DRT2/W267/W267-E1-11+DeviceNet+OperManual.pdf>.

PROFIBUS & PROFINET International 2016. Viitattu 17.3.2016 www.profibus.com > Technology > Benefits.

PROFIBUS & PROFINET International 2016. Viitattu 17.3.2016 www.profibus.com > Technology > Overview.

Raivio, T. & Syrjänen, M. 2005. Automaatio ja Tekes. Näkökulma teollisen alan teknologiaohjelmatoimintaan. Helsinki: Libris Oy. Saatavissa myös https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/automaatio_ja_tekes.pdf.

RFID Journal LLC 2016. Viitattu 12.6.2016 www.rfidjournal.com > FAQs > How much do RFID readers cost today?.

SESKO ry. 2014. SFS-käsikirja 631-2. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Siemens AG 2016a. Viitattu 1.4.2016 www.siemens.com > Automation > Industrial Communication.

Siemens AG 2016b. Viitattu 1.4.2016 www.siemens.com > Automation > PC-based Automation.

Siemens AG 2016c. Viitattu 5.6.2016 w3app.siemens.com/mcms/infocenter/content/en/Pages/order_form.aspx > Drive Technology > Motors > Motors for Motion Control > SIMOTICS S Servomotors > 1FK7 Servomotors.

Suomen Automaatioseura ry. 2007. Automaatiosuunnittelun prosessimalli. Helsinki: Suomen Automaatioseura ry.

Välimaa, V.; Kankkunen, M.; Lagerroos, O. & Lehtinen, M. 1994. Tuotekehitys. Asiakastarpeesta tuotteeksi. Helsinki: Painatuskeskus Oy.

WALRUS PUMP Co., Ltd. 2016. Viitattu 5.7.2016 www.walruspump.com > Product > For Domestic Use > TQ200.

Kuvat 3D-mallista

Seuraavissa 3D-mallin kuvissa on pyritty paremmin esittämään mallin tämän hetkistä muotoa ja kokoa. 3D-mallin ollessa keskeneräinen puuttuu kuvista huomattava määrä yksityiskohtia, kuten erilaiset kiinnikkeet, liittimet ja tiivisteet. Liitteiden kuvat ovat otettu viistosti 3D-mallin yläkulmasta sekä edestä, sivulta, takaa ja yläpuolelta.

