

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

NKONTK12

2016

Kim Kaski & Juho Rantala

# ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

– Piikkio Works

Kim Kaski & Juho Rantala

## ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

- Piikkio Works

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella hyttipaneeleita valmistavalle Piikkio Worksille toteutuskelpoinen robottisolu, joka kykenisi lastaamaan sekä työstämään risteilijäaluksiin valmistettavia hyttipaneeleita. Tämä tapahtuisi automatisoimalla hyttipaneelien tuotantolinjaston loppupää, jotta yrityksen tuotantokapasiteettia voidaan kasvattaa.

Työ aloitettiin vierailamalla Piikkio Worksilla, ja yhdessä yrityksen yhteyshenkilöiden kanssa pohdittiin työn tavoitteita sekä niitä osa-alueita, joihin tulisi kiinnittää huomiota. Robottisoluun päätettiin robotin ja robotin ohjauslaitteen lisäksi suunnitella työstötaso kappaleiden työstöä varten, kääntöpöytä paneelien kääntämiseksi, tarvittavat turvalaitteet, työkaluteline, lastauspukit sekä työstön suorittava jyrsin.

Opinnäytetyön tavoite saavutettiin toimittamalla Piikkio Worksille toimiva suunnitelma robottisolun toteutusta varten.

### ASIASANAT:

Robotti, Robottisolu, Automaatio

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering

2016 | 44

Kim Kaski & Juho Rantala

## ROBOT CELL

- Piikkio Works

The aim of this thesis was to design an executable robot cell for the cabin panel manufacturer Piikkio Works. The requirements for the robot cell was the capability of loading and milling the cabin panels for cruise ships. This would happen by automating the end of the cabin panel production line.

The thesis was started by visiting Piikkio Works and considering the goals of the task together with the company's contact persons. In addition to the robot and its controller there was a machining table designed for the milling, a turntable to turn around the cabin panels, necessary safety equipment, a tool stand, loading racks and a milling machine.

The goal of the thesis was achieved by delivering a functional plan for Piikkio Works to carry out the robot cell.

KEYWORDS:

Robot, Robot cell, Automation

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILANNE</b>	<b>7</b>
2.1 Tuotteet	7
2.2 Tuotannon kehittäminen automaatiolla	7
2.3 Hyvän layoutin tavoitteet	13
2.4 Layout-suunnitelma	13
<b>3 ROBOTTI</b>	<b>18</b>
3.1 Yleistä robotiikasta	19
3.2 Robotiikka Suomessa	20
3.3 Robottityypit	21
3.3.1 Kiertyvänivelinen robotti	22
3.3.2 Suorakulmainen robotti	22
3.3.3 SCARA-robotti	23
3.3.4 Sylinterirobotti	24
3.3.5 Rinnakkaisrakenteinenrobotti	25
<b>4 SOLUN RAKENNE</b>	<b>26</b>
4.1 Robotti osana solua	26
4.2 Lähtökohta robotin valinnalle	26
4.3 Robotin valintakriteerit	27
4.4 Soluun valittu robotti	27
4.5 Robottisolun hinta	29
4.6 Robottisolun työkalut ja työkalun vaihto	30
4.6.1 Alipainetarttuja	30
4.6.2 Jyrsin ja työstötaso	31
4.6.3 Työkaluteline	31
4.6.4 Kääntöpöytä	32
4.6.5 Lastauspukit	32
4.6.6 Vesileikkaus	32
<b>5 ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS</b>	<b>34</b>
5.1 Valoverho	34

5.2 Turvamatot ja –puskurit	35
5.3 Turvalaserskanneri	36
5.4 Robottisoluun valitut turvalaitteet	37
<b>6 TAKAISINMAKSUARVIO</b>	<b>38</b>
<b>7 YHTEENVETO JA POHDINTAA</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>44</b>

## **LIITTEET**

Liite 1. Robotin toimintaan liittyvät mitat

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksianto saatiin Piikkiössä toimivalta hyttipaneeleita valmistavalta yritykseltä Piikkio Worksiltä. Yrityksen tavoitteena on automatisoida hyttipaneeliensa sarjatuotantolinja, jossa hyttipaneelit kulkevat rullahihnaa pitkin uunin läpi. Laadittua suunnitelmaa on projektin jälkeen tarkoitus käyttää yrityksen tuotantokapasiteetin kohentamiseen, jotta yritys kykenee vastaamaan asiakkaidensa lisääntyneisiin tilauspyyntöihin. Aikaisemmin linjaston päähän on tarvittu työntekijää nostamaan paneelit manuaalisesti pukeille, jonka jälkeen lastatut pukit on kuljetettu ulkokautta hallin toiselle puolelle jyrsimelle, jossa ne on edelleen työntekijän toimesta leikattu ja rei'itetty.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella yhdessä Piikkio Worksin yhteyshenkilöiden kanssa robottisolu sekä siihen kuuluvat oheislaitteet, jotta koko tuotanto voitaisiin automatisoida. Osana toteutusta oli myös tarkoitus robottisimulointi-ohjelmia hyödyntäen mallintaa tuotannon eri työvaiheet, jotta kyetään luomaan mahdollisimman tarkka kuva tuotannon toimivuudesta konkreettisesti.

Piikkio Works Oy on vuonna 1982 perustettu laiva- ja offshore rakentamiseen erikoistunut varsinais-suomalainen yritys. Yhtiö suunnittelee ja valmistaa asiakasyrityksilleen yksilöllisesti räätälöityjä hyttikokonaisuuksia risteily-, matkustaja- sekä offshore aluksille. Piikkio Worksin toimipisteellä Piikkiössä yrityksen tuotantotiloissa hyttipaneelit valmistetaan sarjatuotantolinjalla, ja samassa tehtaassa sijaitsevat myös yrityksen kokoonpanotilat valmiiden hyttien kasaamiseksi. Piikkio Worksin nykyinen tuotantokapasiteetti on noin 6 000 hyttiä vuodessa. Yritys on Meyer Turku Oy:n tytäryhtiö. (Meyer Turku OY 2016.)

## 2 TUOTANTOPROSESSIN NYKYTILANNE

Tuotantolinjan alussa metallilevyistä leikataan tarvittavan kokoinen kappale paneelin valmistukseen. Levy kulkee kuljettimia pitkin seuraavaan vaiheeseen, jossa se taitellaan haluttuun muotoon. Levyt käännetään kääntöpöydällä, jonka jälkeen niiden pinnalle levitetään liimakerros ja villat. Tämän jälkeen paneelit kuljetetaan uuneihin, joissa liiman kuivumista nopeutetaan. Uunista ulos tullessaan paneelit ovat tulleet tuotantolinjaston päähän. Tästä paneelit poimitaan työntekijän toimesta käsin, ja ne viedään varastoon tai välivarastoon odottamaan jatkotoimenpiteitä, kuten jysintää. Paneelit voivat odottaa pitkiäkin aikoja ennen jysintään siirtoa, ja jysintä suoritetaan manuaalisesti työntekijän toimesta. Prosessi on tehokas siihen asti, kunnes paneelit tulevat uuneista ulos.

### 2.1 Tuotteet

Tämä opinnäytetyö kohdistuu tuotantolinjastoon, jossa valmistetaan laivan hyttien seinä- ja kattopaneeleja. Paneelien leveys on 200–1 500 mm ja pituus 1 500–3000 mm. Osaan paneeleista jysitään tai leikataan reikiä ja kulmia eri tarkoitusten vuoksi. Aukkojen syitä ovat esimerkiksi johdot, ikkunat tai lamput. Paneelien ulkopinta on tasainen, mutta sisäpinnalle voidaan kiinnittää aaltopeltiä tai villaa. Kokonaispaino vaihtelee suuresti mutta, enimmiltään yksittäinen valmiiksi koottu kappale voi painaa noin 60 kilogrammaa.

### 2.2 Tuotannon kehittäminen automaatiolla

Lähes kaikenlaista tuotantoa voidaan tehostaa lisäämällä siihen automaatiota tai automatisoimalla se kokonaan. Automaatiolla voidaan saavuttaa huomattavia etuja perinteiseen manuaaliseen työhön verrattuna. Saavutetut edut parantavat yrityksen kilpailukykyä ja tuottavuutta. (ABB, 2016.)

Piikkio Worksilla paneeli-tuotantolinjan loppupäätä voidaan tehostaa automaation avulla. Tarkoituksena on korvata nykyinen manuaalinen työ asentamalla robottisolu linjaston päähän. Robottisolun tehtävänä on työstää paneeleita jysimällä ja siirtää valmiit

paneelit telineisiin. Näin pystytään välttämään nykyisen toimintamallin mukaiselta keskeneräisten tuotteiden varastoimiselta ja raskaalta manuaaliselta työltä. Automaatiosta on siis paljon hyötyä tuotannossa, mutta sillä voi olla myös negatiivia vaikutuksia, sekä vaatimuksia yritykselle.

## **Automatisoinnin tuomat edut**

### Tuotannon lisäys

Robotin avulla kappaleinen käsittely ja työstö nopeutuvat. Robotin ei tarvitse miettiä seuraavaa liikettä, vaan kaikki tapahtuu ennalta määrätyn ohjelman mukaan. Robotin liikkeet ovat aina ennalta määrättyjä, olosuhteisiin nähden säädetty optimaalisiksi ja ne eivät hidastu väsymyksen tai häiriötekijöiden vuoksi. Nämä johtavat kappaleiden läpimenoajan nopeutumiseen ja suurempaan tuotantomäärään annetun ajan sisällä. Automatisoinnin avulla myös tauot ja keskeytykset vähenevät tai katoavat kokonaan, mikä mahdollistaa jatkuvamman tuotannon ja suuremman tuloksen. Ihmiseen verrattuna robotti tekee vähemmän virheitä, jolloin virheistä johtuvaa hukkaan heitettyä työaikaa syntyy vähemmän. Automatisoinnin avulla vapautuneet työntekijät voidaan siirtää toisiin tehtäviin, jolloin hyötyä saadaan myös muilla osa-alueilla. (ABB, 2016; Vista Industrial Products, 2016.)

Piikkio Worksin kohdalla automatisoinnin lähtökohta ei ollut vielä tässä vaiheessa nopeuttaa kappaleiden lastaamista pukeille, sillä tarvittavaan nopeuteen päästään jo ihmis-työvoimalla, vaikka muu tuotanto olisi nopeimmillaan. Robotti tuotantolinjan päädyssä toki mahdollistaa jatkossa täysin automaattisen ja nopeamman tuotannon, mutta se ei ollut vielä tavoitteena. Tuotannon nopeuden kannalta se, mitä pyritään nopeuttamaan, on työstettävien paneelien aika tuotannossa. Tähän päästään poistamalla jälkikäteen suoritettavia toimenpiteitä. Yksi suurimmista paneelien tuotannossa vietettyä aikaa lisäävä tekijä on jälkityöstöä vaativat paneelit. Nämä paneelit suoraan robotin avulla työstämällä nopeuttaa kappaleiden valmistumista.



### Kustannusten pieneneminen

Jokaiseen kappaleeseen käytetty aika vähenee, jolloin niihin sijoitettu työaika pienenee. Tämä tarkoittaa pienempää kustannusta jokaista kappaletta kohden. Automatisoinnilla voidaan korvata henkilötyövoimaa, jolloin työntekijöitä voidaan korvata kokonaan tai siirtää muihin tehtäviin. Nämä johtavat pienentyneisiin kustannuksiin ja sitä kautta suurempaan voittoon. Yksi suurimmista syistä automatisointiin on vähentää työvoimakustannuksia. (ABB, 2016; Vista Industrial Products, 2016.)

### Turvallisuuden lisääntyminen

Ihminen tekee virheitä, ja nämä virheet voivat johtaa tapaturmiin. Tuotannossa, jossa käsitellään raskaita kappaleita ja suoritetaan toistuvia liikkeitä, tapaturmat voivat olla vakavia ja johtaa poissaoloihin tai vammautumisiin. Nämä voivat olla kohtalokkaita työntekijän terveyden kannalta, mutta myös kalliita työnantajalle. Työntekijään investoitu aika ja koulutus voivat mennä hukkaan kerralla. Robotit pystyvät suorittamaan toistuvia tehtäviä raskaillakin kappaleilla vaurioitumatta, ja niiden tekemät virheet ovat minimaalisia. Vaara ihmisen loukkaantumiseen poistuu, kun robotin turvajärjestelmiä käytetään oikein. Robotti pystyy myös työskentelemään ihmiselle sietämättömissä olosuhteissa. Lisääntynyt turvallisuus on kaikkien etu. (ABB, 2016; Vista Industrial Products, 2016.)

### Välivaraston pieneneminen

Uuden tuotantolinjan ja layoutin avulla kappaleet työstetään jo samalla linjastolla ja valmis kappale saadaan suoraan tuotantolinjan päädyssä. Nykyisen tilanteen mukaan pa-

neelit säilötään välivarastoon, jossa ne viettävät pitkiäkin aikoja. Tämän jälkeen ne tuodaan takaisin tuotantolinjan viereen jyrstittäväksi. Vasta aikaa ja tilaa vievän välivarastoinnin jälkeen kappaleet saadaan viimeistelyä ja lähetettyä asiakkaille.

Välivarastojen pieneneminen on yksi keskeisimmistä tavoitteista automatisoinnille Piikio Worksillä. Suuret varastot keskeneräisiä paneeleja odottamassa jälkikäsitteilyä vievät paljon hallitilaa ja hidastuttavat toimituksia. Asennettavan robottisolun tehtävä on viimeistellä sitä tarvitsevat paneelit jo heti linjaston yhteydessä, mikä seurauksena varastointiin käytetty tila voidaan jatkossa käyttää muuhun tarpeelliseen.

### Toimitusvarmuus ja nopeus paranevat

Kun kappaleet työstetään jo heti linjaston yhteydessä, eikä keskeneräistä tavaraa varastoida, tavarantoimitusnopeus tilauksesta lähtien nopeutuu. Reagointikyky nopeisiin tai muuttuviin tilanteisiin paranee, jolloin myös toimitusvarmuus paranee, eikä toimitusaikoja tarvitse pidentää tai toimituksista kokonaan kieltäytyä. Nopeampi ja varmempi toimitus lisäävät asiakastytyväisyyttä ja mahdollistavat reagoinnin nopeisiin tilannemuutoksiin. Nämä tuovat yritykselle paremman kilpailukyvyn ja pysyvämmät asiakkaat. (ABB, 2016.)

## Automatisoinnin haasteet

### Investoinnit

Automatisointi vaatii yritykseltä suuria investointeja. Kaikki, varsinkin pienet, yritykset eivät voi tehdä suuria investointeja, jotta vuosien päästä saataisiin parempaa tuottoa. Tämä sulkee automatisoinnin vaihtoehdon pois monilta yrityksiltä, jolloin voidaan jäädä kilpailukyvyllä muita yrityksiä jälkeen. Investointien takaisinmaksuaika voi vaihdella järjestelmästä ja yrityksestä riippuen paljon, mutta sijoittuu yleensä yhden ja kolmen vuo-

den väliin. Piikkio Worksin tapauksessa takaisinmaksuaika vaihtelee laskutavasta ja investoinnin suuruudesta riippuen 0,54 vuodesta 2,17 vuoteen. (Heikki Hallila 2016; Vista Industrial Products, 2016.)

#### Uudenlaisen osaamisen tarve

Robotin ja automaattisten toimintojen käyttö vaatii osaamista. Työntekijää, joka on jo tehnyt pitkän työuran vanhalla manuaalisella tavalla, voi olla vaikea opettaa käyttämään ja ymmärtämään uutta teknologiaa. Teknologian käyttö voi olla normaalia tehottomampaa, jolloin siitä ei saada kaikkea potentiaalia irti. Jotta robottia ja muita laitteita käytettäisiin oikein ja tehokkaasti, on siihen järjestettävä asianmukainen koulutus. Koulutukset maksavat ja ovat osa investointeja. Koulutuksen lisäksi on oltava osaavia työntekijöitä, jotka omaksuvat oppimansa taidot ja pystyvät soveltamaan niitä työnteossa. Joissain tapauksissa yrityksen on palkattava uusia osaajia joukkoonsa, mikä lisää kustannuksia.

#### Tilan tarve

Suunnitellut uudistukset vaativat paljon tilaa. Halli, jossa tuotantolinja sijaitsee, on melko tilava, joten suuria, jos edes minkäänlaisia, muutoksia tilojen suhteen ei tarvitse tehdä. Uudet asennettavat laitteet ja niiden oheistuotteet vievät paljon tilaa, ja niiden asentaminen nykyiseen layouttiin olisi hyvin vaikea, jopa mahdotonta. Jotta uudet laitteet saadaan mahtumaan tuotantolinjan yhteyteen, on tuotantolinjan rakennetta muutettava. Mahdollisesti tulevaisuudessa asennettavat uudet tuotantolinjat on myös otettava suunnittelussa huomioon. Tämä vaatii suunnittelulta paljon enemmän, kuin pelkästään yhden tuotantolinjan automatisointi vaatii. Nykyinen linjasto ja uudet laitteet on asetettava niin, että uusi linjasto voidaan myöhemmin rakentaa rinnalle, eikä liikkuminen hallissa muutu mahdottomaksi.

Kokonaisuudessaan tila hallin sisällä tulee väistämättä vähenemään. Tila, jota aikaisemmin voitiin käyttää paneelien viimeistelemiseen ja säilömiseen, ei ole enää käytettävissä samalla tavalla. Lisäksi kaikki nämä muutokset tuovat lisäkustannuksia automatisoinnin

toteuttamiselle. Automatisointi voi siis kustantaa huomattavasti enemmän, kuin mitä laitteen hintalapusta on luettavissa.

### Tuotannon pysähtyminen uudistuksen ajaksi

Jotta tuotantolinjaa voidaan modernisoida automaatiolla, täytyy linjasto sulkea tai ainakin rajoittaa sitä asennustöiden ajaksi. Tästä koituu vajetta tuotannossa, joka vaikuttaa suoraan kassavirtaan. Vaje ei näy suoraan robotin hinnassa, joten se täytyy ottaa mukaan laskelmissa todellisten kustannusten selvittämiseksi. Jos tuotannon rajoitettua toimintaa ei oteta huomioon ajoissa tilauksia vastaanotettaessa, voi tilausten täyttäminen hidastua. Tämä voi johtaa ongelmiin asiakkaiden kanssa.

### Layout

Layoutilla tarkoitetaan rakennuksen pohjapiirrosta ja sitä, miten laitteet sekä kaikki työntekoon vaikuttavat asiat on siellä sijoitettu. Layoutista on helposti nähtävillä etäisyydet ja laitteiden koot. Layout-piirrosta tulkitsemalla voidaan selvittää rakenteiden etäisyydet helposti ja tarkasti tarvitsematta tehdä mittauksia paikan päällä. Toimivan layoutin suunnittelulla on merkittävä vaikutus tuotantotehtaan tehokkuuteen. Materiaalien ja kokoonpanokappaleiden liikkumisen tuotannon eri vaiheilla tulisi olla sulavaa eikä turhia pullonkauloja tai viivästyksiä prosessissa saisi ilmetä. Layoutin suunnittelu riippumatta siitä onko kyseessä uusi vai vanha tehdas, vaatii suunnittelijalta osaamista ja erikoistumista kyseiseen työhön, sillä minkäänlaisia ennalta määrättyjä lainalaisuuksia tai yleispäteviä sääntöjä ei layoutin toteutukseen ole olemassa. Jokaisen layoutin voidaan todeta näin olevan yksilöllinen. Toimivan layoutin perusidea tuotantotehtaassa ei voida katsoa pätevän jonkin muun alan yrityksessä. Myöskään pienen tehtaan layout-asettelu ei vastaavasti toimi suuren tuotantokapasiteetin omaavassa tehtaassa. Hyvänä layoutina voidaan myös pitää sellaista suunnitelmaa, joka ei milloinkaan ole täysin valmis. Tällöin yritys pyrkii aina mukautumaan muuttuviin olosuhteisiin tuotantonsa suhteen sekä kehittämään uusia, entistäkin toimivampia toteutuksia. (Aswathappa, K. Bhat, K. Shridhara, 2010.)

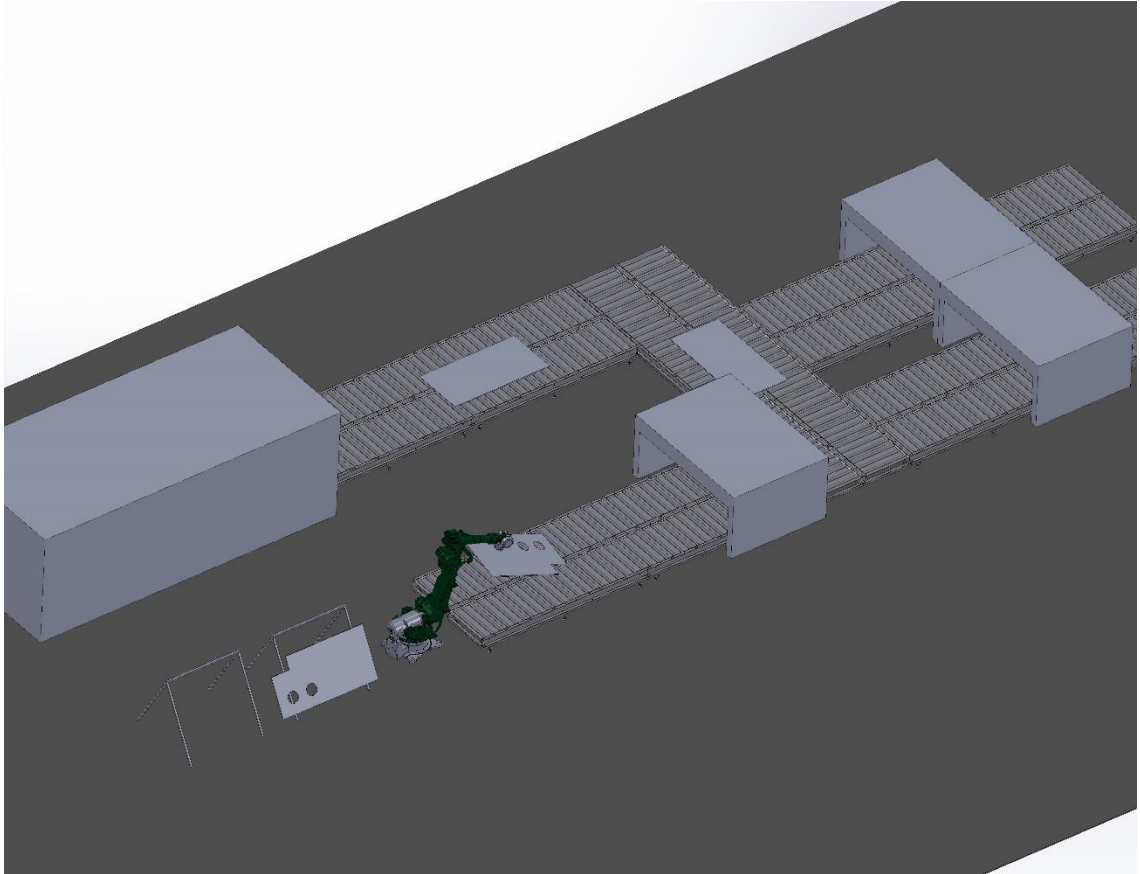
### 2.3 Hyvän layoutin tavoitteet

Lähtökohtaisesti layoutin suunnittelulla pyritään lisäämään tuotannon tehokkuutta. Tähän päästään tarkastelemalla useampaa eri tuotannon osa-aluetta. Tärkeimpänä päämääränä voidaan pitää suunnittelun tavoitetta mahdollistaa riittävä tuotantokapasiteetti, jotta pystytään tarjoamaan asiakkaille mahdollisimman suurta kysyntää vastaava kyky tuottaa tuotteita. Kuvan 1 kaltaisella layout ratkaisulla voidaan myös vaikuttaa tuotannon tehostamiseen mahdollisimman pienillä materiaalin käsittelykuluilla sekä vähentää ihmisten ja materiaalin turhaa siirtelyä tuotantoprosessissa. (Aswathappa, K. Bhat, K. Shridhara, 2010). Tämä antaa samalla joustavuutta tuotannon toteutukseen Myös virheiden sekä henkilökunnalle tapahtuvien onnettomuuksien ennaltaehkäisemiseen tarvitaan toimivaa ja ammattitaidolla suunniteltua layoutia. Tämän voidaan katsoa kohentavan tehtaassa työskentelevien työntekijöiden työmoraalia, samalla kun se vähentää tarvetta esimiesten suorittamaan ylimääräiseen työnvalvontaan. Piikkio Worksin robottisoluakin suunniteltaessa on otettava ensimmäisenä huomioon, kuten aina kaikissa tuotannon automatisoinneissa, se että prosessi tapahtuu turvallisesti, eikä se suoraan tai välillisesti aiheuta vaaraa tehtaassa työskenteleville ihmisille. Hyödyntämällä kaikki käytössä oleva tila ja sijoittamalla koneet oikein, kyetään tuotantolaitteista saamaan mahdollisimman paljon irti. Tällöin vähenee myös tarve liialliselle huollolle sekä mahdollisuus laitteiden vikaantumiselle pienenee.

### 2.4 Layout-suunnitelma

Tuotantolinjan päädyssä uuneihin liitetyn linjaston ja päätyseinän välissä on hyvin rajoitetusti tilaa. Seinään on linjaston päästä matkaa noin 5 metriä ja alkuperäisen suunnitelman mukaan tälle matkalla olisi ollut tarkoitus sijoittaa robottisolu, joka pystyy myös varastoimaan paneeleja. Tilan puutteen vuoksi robottisolua on vaikea sijoittaa linjaston päättyyn. Ongelman ratkaisemiseksi päätimme suunnitella kuvassa 1 esitellyn layoutin, joka vaatisi robottisolun suunnittelussa otettavaksi huomioon myös nykyisen jo olemassa olevan tehdaskokoonpanon muutokset. Kuvassa 1 on havainnollistettu linjaston rakenne

ja toiminta, sijoittamalla rullahihnapöydät osittain uuteen järjestykseen, siirtämällä yhtä uuneista, sekä lisäämällä robotti paikalleen.

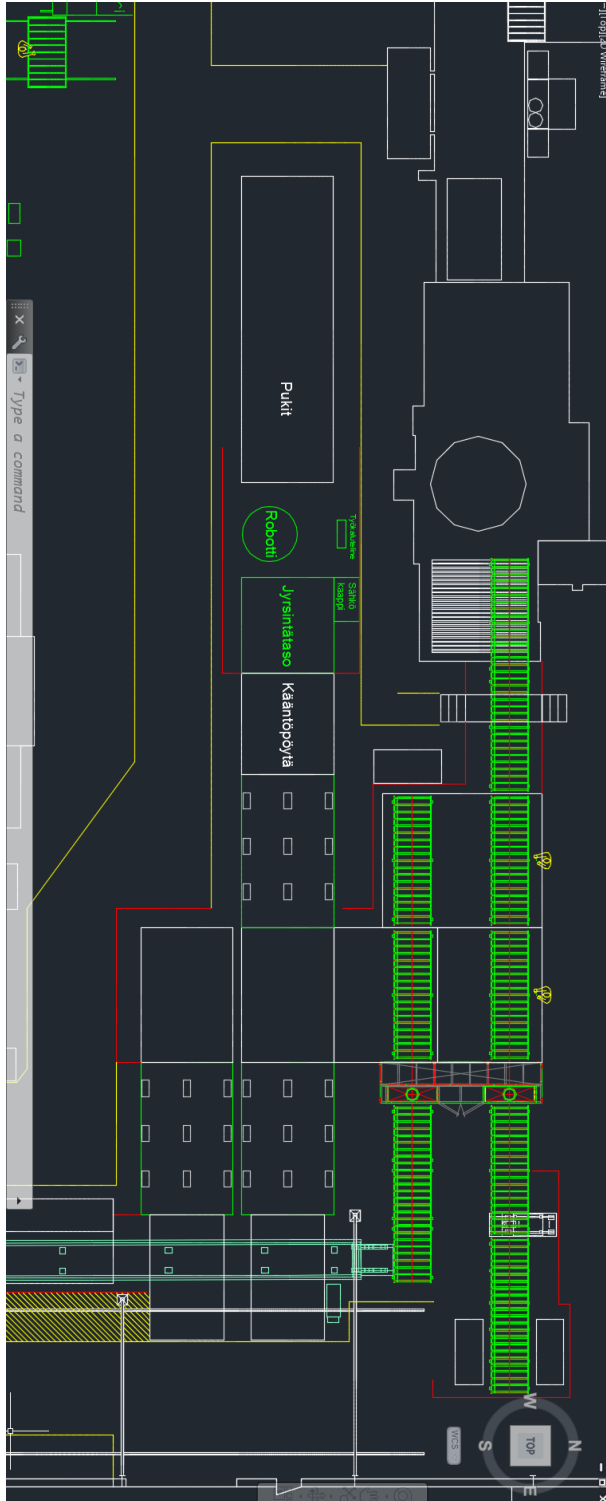


Kuva 1: Piikio Worksille toteutettava linjasto

Kuvan 2 ratkaisussa paneelit kulkevat kuvan yläreunaa vihreällä piirrettyä linjastoa pitkin vasemmalta oikealle särmäyskoneelta kohti uuneja. Uunien lämpökäsittelyn jälkeen ne kulkevat uuneilta kohti kääntöpöytää, jossa paneelit käännetään. Kääntämisen jälkeen paneelit kulkevat kuvaan 1 merkitylle jysintätasolle, jossa robotti aloittaa niiden

työstön. Lopuksi robotti vielä lastaa valmiit työstetyt paneelit pukeille, josta ne edelleen jatkavat työntekijän toimesta matkaa säilytykseen.

Ensimmäisenä vaihtoehtona on siis kääntää linjaston suunta ennen uuneja, jolloin tilaa robottisolulle tulee huomattavasti enemmän. Tuotantolinjan suuntaa on yrityksen toimesta ennenkin käännetty, joten sen pitäisi olla teknisesti ja tilan puitteissa mahdollista. Ongelmaksi voi tulla ahdas tila hallin keskiosaan, johon uusi robottisolu on tarkoitus sijoittaa. Robottisolu vie tilaa nykyiseltä paneelien varastoinnilta, mutta yksi paneelituotannon automatisoinnin tavoitteista oli vähentää paneelien välivarastointia halliin.



Kuva 2: Layout-suunnitelma



Toinen ratkaisu olisi ollut sijoittaa robottisolu nykyisen tuotantolinjan pätyyn. Tässä vaihtoehdossa suureksi ongelmaksi tulisi tilanpuute kuvassa 1 oikeassa reunassa näkyvän tuotantolinjan päädyn ja seinän välissä. Pieneen tilaan uunien jälkeen olisi mahduttava kääntöpöytä, jyrshintäso ja robotille tila toimia. Nykyinen kulkuyhteys hallin seinän vieressä katkeaisi, eikä laitteita siitä huolimatta saataisi mahdutettua tilaan. Ainoana ratkaisuna kyseisen suunnitelman toteuttamiseksi olisi laajentaa hallia siirtämällä päätyseinää pidemmälle. Tämä vaatisi huomattavasti enemmän investointeja, mutta laajenuksesta voisi olla hyötyä myös jatkossa lisääntyneen tilan muodossa. Tällä suunnitelmalla vältettäisiin hallin keskiosan täyteen ahtaaminen, jotta tilaa muulle työskentelylle jäisi enemmän. Näistä ongelmista johtuen päädyimme valitsemaan ensimmäisen layoutmallin toteutukseen.

### 3 ROBOTTI

Määritelmä siitä, mikä on robotti, vaihtelee eri lähteissä. Esimerkiksi ISO 8373:2012 -standardin mukaan teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattavissa oleva, uudelleen ohjelmoitava, monikäyttöinen laite, jota voidaan ohjelmoida toimimaan vähintään kolmella vapausasteella teollisessa käytössä. (ISO 8373:2012). Yleisesti voidaan kuitenkin todeta robotilla viitattavan mekaaniseen laitteeseen, joka ohjelmoimalla kykenee konkreettisiin fyysisiin suoritteisiin ja on tämän lisäksi monikäyttöinen sekä uudelleen ohjelmoitavissa jotakin muuta tehtävää varten. Jotta laitetta voidaan sanoa robotiksi, tulee sillä myös olla vähintään kolme niveltä, joiden varassa sen liikkeet toteutuvat. Laitetta, joka suorittaa yhtä ja samaa liikettä toistuvasti eikä ole uudelleenohjelmoitavissa, kutsutaan manipulaattoriksi. Arkikielessä monia manipulaattoreita voidaan virheellisesti kutsua roboteiksi, vaikka ne eivät robotin määritelmää täysin vastaisikaan. Sana "robotti" tulee alun perin tšekinkielen sanasta "robota", jolla on viitattu maanomistajalle tehtyyn, verot kuittaavaan työhön.

Robotin liikkuminen ja työskentely tapahtuvat useimmissa tapauksissa siten, että robotti ohjelmoidaan ennalta kulkemaan liikeratoja sekä tekemään suoritteita. Toinen tapa robotin liikkeen määrittämiselle on sen ympäristöön perustuvat havainnot, jolloin se kykenee ikään kuin aistimaan ympärillään tapahtuvaa maailmaa ja näiden parametrien avulla tekemään päätöksiä työskentelynsä suhteen. Apuna ympäristön havainnoinnissa robotit voivat hyödyntää muun muassa antureita, jolloin ne toimivat ikään kuin robotin aistieliiminä. Konkreettisesti robotin liikkuminen tapahtuu vähintään edellä mainittujen kolmen nivelen varassa jotka liikuttavat robottia ja sen työkalua mihin tahansa haluttuun suuntaan ja asentoon aina robotin suurimman ulottuvuuden rajoissa. Nivelten liikkuminen perustuu servomoottoritekniikan, jonka myötä roboteilla voidaan päästä äärimmäisen pieniin tarkkuuksiin, kun otetaan huomioon robottien suuri koko ja massa. Kokoonpanoroboteilla on monissa tapauksissa päästävä kymmenesosa millien työskentelytarkkuuteen.

Kun robotit teollisuudessa alkoivat 1970-luvulla yleistyä, pyrkivät robotinvalmistajat suunnittelemaan sellaisia robotteja, jotka kykenisivät suoriutumaan kaikista teollisuuden työtehtävistä ja olisivat näin soveltuneet mille tahansa yritykselle, mihin tahansa käyttöön. Ajan myötä havaittiin, ettei suuntaus ollut paras mahdollinen ja tästä syystä alettiin valmistaa robotteja, jotka olivat erikoistuneet tiettyyn teollisuuden osa-alueeseen kuten

kokoonpanoon, työstöön tai lastaamiseen. Tämä mahdollisti niiden suorituskyvyn paronemisen, kun suunnittelussa voitiin keskittyä esimerkiksi tarkkuuteen, ulottuvuuden sijaan. Robottityyppien lukumäärää on nostanut robotteja valmistavien ja toimittavien yritysten tarve toimittaa esimerkiksi yhdelle tehtaalle robotit kaikkiin eri työtehtäviin.

### 3.1 Yleistä robotiikasta

Maapallon väkiluvun kasvaessa, teollisuuden vaatimusten noustessa sekä teknologian kehittyessä on yritysten vastattava yhä enemmän kasvavaan kulutustuotteiden kysyntään tehostamalla valmistusmenetelmiään ja lisäämällä tuotteidensa tuotantomääriä. Edellä mainittujen asioiden saavuttamiseen vaaditaan nyt ja tulevaisuudessa automaatioteknologiaa, johon myös robotiikka lukeutuu. Hyödyntämällä robotiikkaa teollisuudessa kyetään parantamaan maailmanlaajuisesti ihmisten elintasoja parantamalla palveluja sekä luomalla uusia työpaikkoja.

Vaikka robotiikka mielletään helposti ihmisten työpaikkoja tuhoavaksi automaatioalan haaraksi, voidaan näin todeta tapahtuvan kuitenkin ainoastaan hyvin lyhyellä aikavälillä. Robotin korvattaessa ihmisen tekemää työtä ohjaa se samaan aikaan muita ihmisiä kyseiselle alalle luoden näin uusia työpaikkoja robotiikan piiriin. Myös robottien huoltoon, valmistukseen ja operointiin vaaditaan kasvavissa määrin uusia työntekijöitä. Huomioon on myös otettava sellaiset työtehtävät, jotka eivät vaatimuksiensa tai puutteellisen turvallisuutensa vuoksi sovellu ihmiselle. Kyseisissä tilanteissa robotti on korvaamaton apuväline. Käytännössä ihmisten aiemmin suorittamien yksinkertaisempien töiden siirtäminen robotille vapauttaa ihmiset keskittymään niihin tehtäviin, joissa ihminen suoriutuu konetta paremmin.

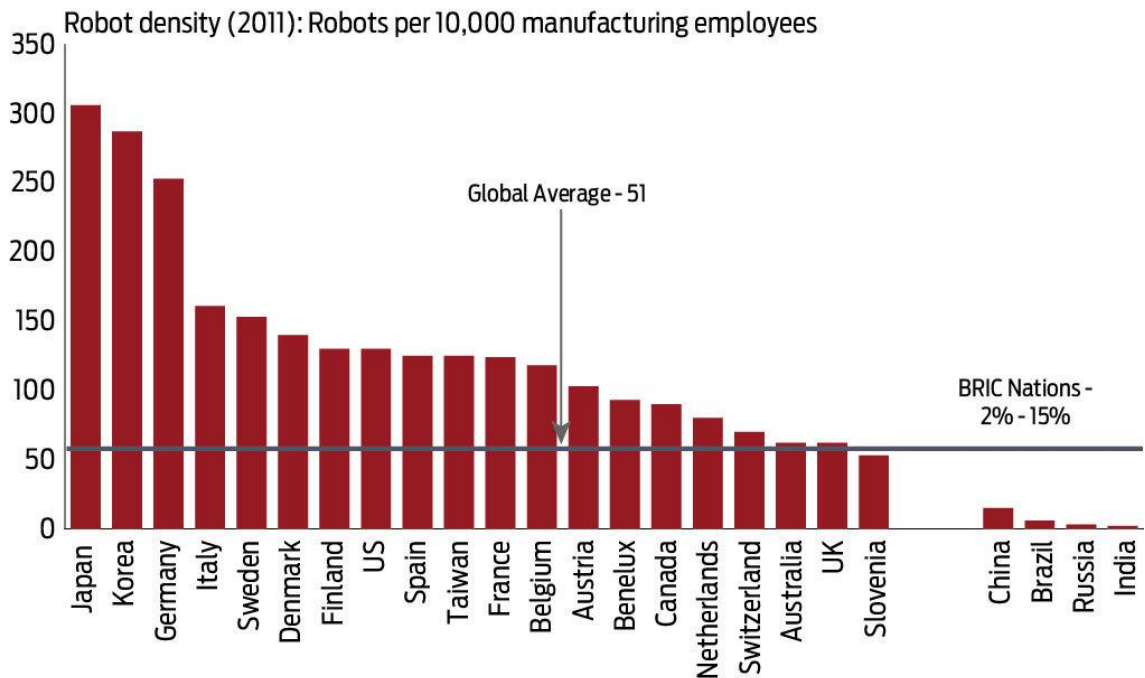
On myös asioita, joissa tarvitaan luovuutta tavalla, johon ihminen, ainakin vielä, tietokonetta paremmin kykenee. Robotit kykenevät jo nyt aistimaan ja tulkitsemaan ympärillään tapahtuvia asioita. Tulevaisuudessa ennustetaan tämän johtavan siihen, että robotteja ei enää tarvitsisi lainkaan ihmisen toimesta ohjelmoida tekemään työtä, vaan ne kykenisivät tekemään itse omat ratkaisunsa sekä voisivat tekemisen kautta oppia uutta. Robottien itsenäistä oppimisprosessia nopeuttaisin entisestään niille kaavailtu verkosto, jossa robotit olisivat jatkuvassa yhteydessä toinen toisiinsa, missä päin maailmaa ikinä sijaitsivatkaan. Kun robotit kykenevät kommunikoimaan keskenään, robottien kyky suoriutua erittäin haastavistakin tehtävistä olisi entistä todennäköisempää (KIDE 2014). Tässä

opinnäytetyössä Piikkio Worksin tarve luoda suunnitelma oman tuotantonsa edistämiseksi perustuu juuri edellä mainittuihin asioihin.

### 3.2 Robotiikka Suomessa

Suomi sijoittuu kansainvälisesti katsottuna robotiikan kärkimaihin, kun suhteutetaan teollisuudessa käytössä olevien robottien lukumäärä kaikkiin teollisuuden työntekijöihin, kuten kuvasta 3 käy ilmi. Roboteilta vaadittavien ominaisuuksien, kuten väsymättömyyden, tarkkuuden ja toistojen samankaltaisuuden vuoksi robotiikan avulla on mahdollistettu monien teollisuudenalojen pysyminen Suomessa. Tämä ei Suomen korkeiden työvoimakustannuksien vuoksi olisi muussa tapauksessa ollut mahdollista. Suomessa robotiikan kannattavuutta lisää edelleen myös se, että maasta jo tuotantonsa pois muuttaneet yritykset saattavat robotiikan aiheuttamien matalampien työvoimakustannuksien vuoksi palata Suomeen takaisin. (Robotiikka lisää työpaikkoja ja inhimillisyyttä. 2015). Suomessa on 2000-luvun alun nosteen jälkeen oltu viime vuodet varovaisempia ja pelokkaampia tulevaisuuden suhteen ja tästä syystä robottikanta Suomessa onkin alkanut laskea muutaman prosenttiyksikön vuosivauhtia. (Kide 2014). Tilastoissa tulee ottaa huomioon, että kaikki robotiikan investointien vähenemiset Suomessa eivät kuitenkaan johdu robotiikasta itsestään, vaan myös heikko kansallinen taloustilanne sekä vuoden

2008 maailmanlaajuinen talouskriisi ovat omalta osaltaan vaikuttaneet heikkoihin lukuihin.



Sources: CSFB, IFR World Robotics 2011, J.P. Morgan Asset Management

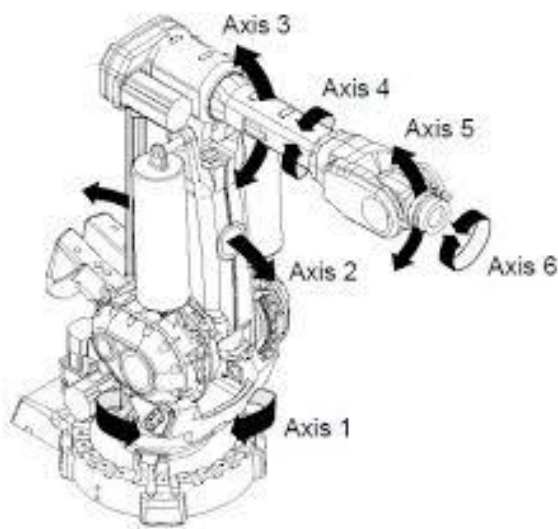
Kuva 3: Robottien lukumäärä teollisuudessa 10 000 teollisuuden työntekijää kohden vuonna 2011 ([www.sharesmagazine.co.uk](http://www.sharesmagazine.co.uk))

### 3.3 Robottityypit

Robotit jaetaan niiden nivelten lukumäärän ja robotin käyttötarkoituksen mukaan useampaan eri tyyppiin. Yleisimpiä käytössä olevia teollisuusrobottityyppejä ovat kiertyväniveliset-, nivelvarsi-, napakoordinaatisto-, rinnakkaisrakenteiset-, sylinteri-, suorakulmaiset-, sekä SCARA-robotit.

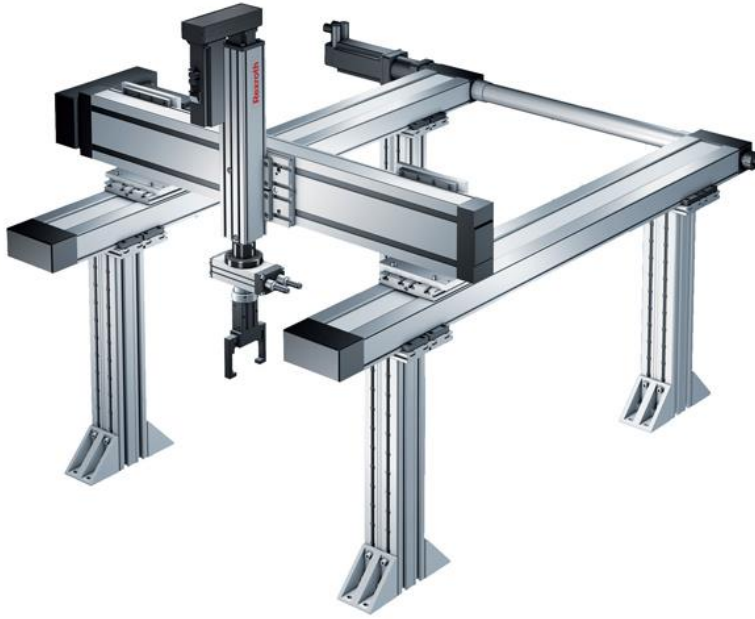
### 3.3.1 Kiertyvänivelinen robotti

Teollisuudessa yleisin käytetty robottityyppi on kiertyvänivelinen robotti, mikä johtuu sen soveltuvuudesta moneen eri tehtävään erittäin laajan työskentelyalueensa ja ulottuvuutensa vuoksi. Mitä useampia niveliä robotissa on, sitä enemmän vapausasteita on myös käytettävissä, mikä lisää robotin soveltuvuutta eri tehtäviin. On otettava kuitenkin huomioon, että robotilla tulee olla vähintään kuusi vapausastetta eli kuusi pyörivää niveltä, jotta se kykenee käyttämään työkaluaan jokaisessa mahdollisessa asennossa sekä lähestymään sille luotua työkalupistettä jokaisesta suunnasta ilman rajoitteita. Lisäämällä vielä useampia niveliä voidaan parantaa robotin kurkotuskykyä entistäkin ahtaampiin paikkoihin, ilman että työskentely kärsii. Kiertyvänivelisten robottien kuormankantokyky on niiden kokoon nähden heikko, mikä johtuu tukivarsien sijoittelusta peräkkäin. Vastapainoksi voidaan todeta robotin rakenteesta olevan hyötyä juuri ulottuvuudessa.



### 3.3.2 Suorakulmainen robotti

Suorakulmaisia robotteja kutsutaan myös nimellä portaalirobotti, johtuen niiden kolmen ensimmäisen liikeakselin tekemästä lineaarisesta liikeradasta. Robotti on tuettu jalustaansa, jonka päällä se suorittaa sille määrätyt liikkeet. Suorakulmaisen robotin etuina voidaan pitää sen yksinkertaista rakennetta ja toimintaperiaatetta.



### 3.3.3 SCARA-robotti

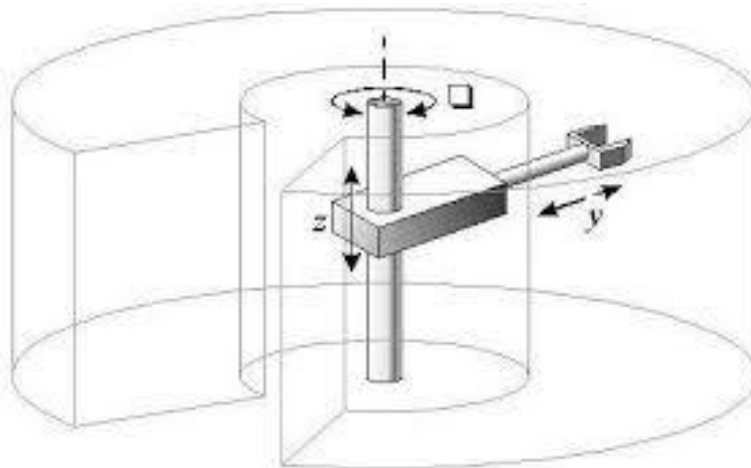
SCARA-robotti on kokoonpanotyöskentelyssä käytettävä robottikäsi, joka liikkuu kolmen nivelen toteuttamaa liikerataa. Se suorittaa myös työskentelytasoon nähden kohtisuoraa lineaariliikettä, joka toimii robotin korkeuden säätönä. Robotin akselit ovat suunniteltu rinnakkain siten, että ne joustavat ja antavat myöden. Ominaisuutta voidaan hyödyntää nimenomaan kokoonpanoon liittyvissä työtehtävissä.



Kuva 3 Mitsubishiin kokoonpanotyöskentelyyn suunnittelema SCARA-robotti

### 3.3.4 Sylinterirobotti

Sylinterirobotti muistuttaa liikeradaltaan suorakulmaista robottia, mutta eroaa siitä siten, että sen ensimmäinen nivel on kiertyvä. Tämän lisäksi siinä on työkalua liikuttamassa kaksi lineaarisesti liikkuvaa niveltä. Robotin työskentelysäde ensimmäisen nivelen ansiosta on lähes 360 astetta.





### 3.3.5 Rinnakkaisrakenteinen robotti

Rinnakkaisrakenteisia robotteja käytetään, kun on tarve siirtää suuren massan omaavia kappaleita. Aiemmin mainituissa robottityypeissä robotin varret, joita nivelet liikuttivat, oli suunniteltu toinen toisensa perään, mikä rajoitti niiden kykyä kannatella painavia kappaleita. Rinnakkaisrakenteisessa robotissa ongelma on ratkaistu rakentamalla robotin kannattelevat tukivarret nimensä mukaisesti rinnakkain.



## 4 SOLUN RAKENNE

Roboteilta vaaditaan nykyään yhden tietyn tehtävän suorittamisen sijaan useampia toimintoja sekä kykyä toimia osana isompaa kokonaisuutta. Näitä kokonaisuuksia kutsutaan robottisoluiksi. Antureilla varustetut ympäristöään aistivat robotit vaativat ympärilleen monia oheislaitteita.

### 4.1 Robotti osana solua

Robottisolun keskeisin laite on itse robotti. Robotista puhuttaessa tulee kuitenkin huomioida, että näkyvimmän osan ja konkreettisen työn suorittavan käsivarren lisäksi, ehkä vieläkin keskeisempi osa robottia on sen ohjausjärjestelmä.

### 4.2 Lähtökohta robotin valinnalle

Alkuperäisessä suunnitelmassa olimme ajatelleet toteuttaa solun kahdella erillisellä robotilla. Tällöin ensimmäinen robotti olisi nostanut paneelin uunista poistumisen jälkeen rullahihnalta työstötasolle, jonka jälkeen toinen robotti olisi siihen kiinnitetyn sorvityökalan avulla tehnyt kappaleeseen halutut reiät ja leikkaukset. Lopuksi ensimmäinen robotti olisi vielä nostanut valmiin paneelin työstötasolta edelleen lastauspukille, josta se olisi kuljetettu eteenpäin varastoitavaksi. Investointi kahteen robottiin olisi kuitenkin tullut huomattavan kalliiksi, sillä lisärobotin hinta olisi kasvattanut koko projektin kustannusarviota, koska robotti muodostaa suurimman osan koko toteutuksen hinnasta. Tästä syystä päätimme jalostaa ideaa edelleen.

Muutaman Piikkiössä vietetyn palaverin jälkeen päädyimme lopulta ratkaisuun, jossa yksi ja sama robotti hoitaisi kaikki edellä mainitut työvaiheet. Tämä tapahtuisi sijoittamalla soluun työkaluteline, josta robotti pystyisi vaihtamaan käyttöönsä aina kullekin vaiheelle tarkoitetun työkalun. Näin robotti kykenisi tarttujatyökalan avulla nostamaan paneelit rullahihnalta työstötasolle ja tämän jälkeen, vaihtamalla työkalun jyrtimeen vielä työstämään paneelin. Kyseisen suunnitelman haasteena oli tuotantolinjan tahtiaika. Robotin tulisi soveltua sekä lastaukseen että työstöön ja sen lisäksi sen täytyisi kyetä suoriutumaan näistä tehtävistä 30 sekunnissa jokaisen paneelin kohdalla.

### 4.3 Robotin valintakriteerit

Oikean robotin valitsemisessa on kartoitettava mahdollisimman tarkkaan kaikki valintaan ja robotin toimintaan liittyvät yksityiskohdat. Piikkio Worksin kohdalla aloimme ensin miettiä tuotantoon valittavaa robottityyppiä. Päädyimme kiertyväniveliseen robottiin, sillä se olisi ainut robottityyppi, joka kykenisi suoriutumaan kaikista robotilta vaadittavista tehtävistä niiden vaatimalla tasolla. Kuusinivelinen robotti kykenee työstämään paneeleita ilman minkäänlaisia rajoitteita ja samalla suoriutumaan työstä tahtiajan puitteissa. Tehtävään valittavan robotin tulee myös pystyä kannattelemaan painavimman paneelin paino, joka on nykytuotannossa noin 58 kg. Hyötykuorman riittävyyden pohdinnassa tulee myös huomioida mahdolliset tuotannon muutokset tulevaisuudessa, jolloin paneelien maksimipaino saattaa nousta.

Soluun sijoitettavan robotin tarkkuuden ja täsmällisyyden täytyy myös olla erinomainen, sillä lastauksen lisäksi robottia tullaan käyttämään työstöön. Rei'ittäessään ja leikatesaan paneeleita, on robotin suoriuduttava useista tarkoista työstöistä millien kymmenesosien tarkkuudella kerta toisensa jälkeen. Robotin on toisin sanoen kyettävä konkreettisesti työstämään sille opetettu piste mahdollisimman tarkasti. Robotin koko ei Piikkio Worksin tiloissa tuota uudistetun layout-suunnitelman jälkeen kovin suurta ongelmaa, joten valinnassa voidaan keskittyä robotin työskentelyulottuvuuden riittävyyteen.

Kun kaikki asiat on otettu huomioon työhön sopivaa robottia kartoittaessa, tulee lopuksi laskea sen kannattavuus takaisinmaksuaikana. Kannattavuuslaskut on esitetty tämän työn luvussa 6.

### 4.4 Soluun valittu robotti

Neuvottelimme robottitoimittaja Yaskawan kanssa Motomanin erilaisista roboteista. Esiitimme heille kriteerit robotin ja ohjeislaitteiden valintaa varten ja vertailimme eri vaihtoehtoja. Yhteistyö Yaskawan kanssa sujui alusta alkaen hyvin, ja he pystyivät tekemään kilpailukykyisen tarjouksen, jonka vuoksi emme käyttäneet projektiin varattua rajallista aikaa enää yhteydenottoihin muiden laitetoimittajien kanssa. Yaskawan kanssa päädyimme lopulta valitsemaan soluun MH180-robotin sekä siihen sopivat ohjeislaitteet.



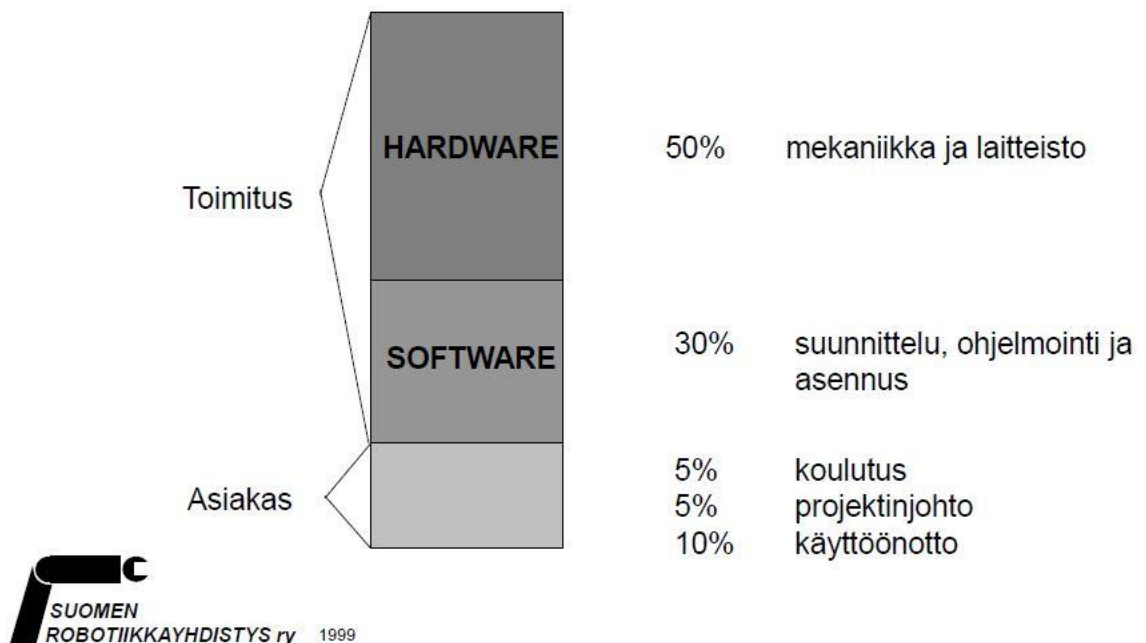
Kuva 4: Soluun valittu Motomanin MH180-robotti

MH180 on kuusiakselinen Motomanin valmistama robotti. Sillä on käsittelykykyä 180 kg verran ja sen työalue ulottuu 2702 mm saakka. (Liite 1 ja 2). Robotti on siis näiltä ominaisuuksiltaan riittävän sille suunniteltuun työhön. Se soveltuu erityisesti kappaleenkäsittelyyn sekä työstökoneiden ja särmäyspuristimien palveluun. Tuotantoprosessissa tapahtuva jyrinä vaatii robotilta enemmän, kuin jos robotti olisi pelkästään kappaleenkäsittelyyn suunniteltu. Tästä syystä robotin käsittelykyky on huomattavasti kappaleiden painoa suurempi.

#### 4.5 Robottisolun hinta

Robottisolun hinta koostuu itse robotista, robottiohjaimesta, asennuksesta, tarttujista ja muista työkaluista. Tämän lisäksi investointiin pitää laskea mukaan käyttöönotto ja koulutus. Jos robotille tarvitaan lisää liikkuvuutta, voidaan asentaa myös kiskot robotin alle. Mahdollisia lisäkustannuksia tulee myös huolloista ja korjaustöistä.

Pelkän MH180 robotin hinta on 46 500 euroa. Kokonaisuudessaan lisätarvikkeineen ilman kiskoja solun hinnaksi tulee noin 100 000 euroa. Jos tähän otetaan mukaan vielä kuusi metriä kiskoa, muodostuu kokonaishinnaksi noin 130 000 euroa.



## 4.6 Robottisolun työkalut ja työkalun vaihto

Työkalun valintaa pohdittaessa on tärkeää tietää tarkkaan, minkälaista työtä robotti suunnitellaan tekemään. Työkalua hankittaessa tulee huomioida se, että myös työkalu lasketaan osaksi robotille asetettua korkeinta hyötykuormaa ja tämän lisäksi on otettava huomioon, että siirrettävän kuorman painopiste ei saa olla liian etäällä työkalulaipasta, jolloin se aiheuttaa liiallista rasitusta robotin nivelille.

Alkaessamme kartoittamaan robotille valittavia työkaluja, olimme yhteydessä Schmalz-, Machinetool-, ja Erikkala-nimisiin alipainetarttuvia myyviin yrityksiin. Saimme kyseisiltä yrityksiltä tarjouksia paneeleiden nostoon ja siirtämiseen soveltuvista tarttujista. Päädyimme lopulta valitsemaan Motomanin MH180-robotin mukana toimitettavaksi Yaskawan suositteleman alipainetarttujan- sekä jyrätyökalun.

### 4.6.1 Alipainetarttuja

Tarraintyökalut voidaan jakaa kahteen eri tyyppiin, alipaineella toimiviin imukuppityökaluihin sekä mekaanisella periaatteella toimiviin tarraintyökaluihin. Molemmilla työkalutyypeillä on etunsa. Imukuppityökalujen toiminta perustuu ohjausjärjestelmästä lähtevään käskyyn, jossa työkalu tarttuu haluttuun kappaleeseen työkaluun liitetyn ilmanpaineletkun välityksellä muodostetulla alipaineella. Etuna tässä työkalutyyppissä on siirrettävien kappaleiden suuri koko suhteessa työkalun omaan kokoon. Kyseisen työkalun heikkoutena voidaan pitää sen hankaluutta tarttua epätasaisille- sekä pehmeille pinnoille.

Mekaaniset tarraimet ovat usein yksilöllisemmin jokaista työtehtävää kohtaan valittuja, sillä niiden koon, tartuntapinnan muodon sekä -materiaalin tulee vastata juuri kyseistä työtä. Monesti mekaaniset tarraimet ovatkin täysin uniikkeja työkaluja, jotka on valmistettu vastaamaan yhtä tiettyä työtehtävää. Mekaanisten tarraintyökalujen heikkous on niiden pieni koko, jonka johdosta ne kykenevät liikuttelemaan imukuppityökaluun verrattuna suhteellisen pieniä kappaleita. Tämän johdosta voidaan kuitenkin todeta tartunnan olevan suhteellisen vankka, jolloin tartuttua kappaletta on huomattavasti helpompi esimerkiksi työstää toisella robotilla.

Piikkio Worksiin suunniteltavaan robottisoluuun valitsimme robottiin kiinnitettäväksi tarttujatyökaluksi alipainetarttujan. Syynä tähän oli käsiteltävien kappaleiden koko, joka suurimpien paneelien kohdalla on 1500 mm x 3000 mm. Paksuutta paneeleilla on kuitenkin

vain 35 mm, joka todennäköisesti altistaisi paneelit vääntymiselle tartuttaessa niiden reunasta mekaanisella tarttujalla. Toinen tartuntapinta paneelilla on kaiken lisäksi lasivil-laa, joka entisestään hankaloittaa mekaanisen tarraimen käyttöä. Tästä johtuen alipai-netarttujan valinta työhön oli selkeä. Valitussa robotissa tulee olemaan työkalunvaihto-laippa, jolloin alipainetarttuja on helppo vaihtaa jyrtimeen, paneelin noston jälkeen.

#### 4.6.2 Jyrin ja työstötaso

Jyrsinnällä tarkoitetaan lastuavaa työstömenetelmää, jossa työstettävän kappa-leen muotoa muutetaan sen pintaa poraamalla. Jyrsinnällä voidaan muodostaa halut-tuun kappaleeseen uria tai lävitse ulottuvia reikiä. Jyrsintä voidaan suorittaa työkalua liikuttamalla, työstökappaleen ollessa kiinnitettynä työstöalustaan tai päinvastoin jyrsi-men terän ollessa paikallaan ja kappaletta samaan aikaan työstöalustan mukana liikut-taen.

Piikkio Worksiin suunnittelimme kiinteää työstöalustaa, johon paneelit uunista ulos tu-lon ja kääntöpöydällä kääntämisen jälkeen tulisivat. Paneelien tunnistus tapahtuu ennen työstötasoa sijoitettavilla antureilla, jotka antavat robotille käskyn toimia tarkalleen oike-aan aikaan. Yaskawalta tilattavan MH180-robotin mukana tulevalla jyrinyökalulla ro-botti työstäisi työstöalustalla olevan paneelin sille logiikalta tulevien parametrien avulla. Robotti työstää paneelit tarkasti suunnittelijoiden piirtämien piirustuksien mukaisesti leik-kaamalla paneeleita ja tekemällä reiän metalliin sekä alapuolella olevaan lasivillaan.

#### 4.6.3 Työkaluteline

Robotin työkalun vaihtamista varten tulee soluun sijoittaa kiinteä työkaluteline alipaine-tarttujaa ja sorvia varten. Jotta robotti kykenee käyttämään molempia työkaluja vaivatta, on robotissa oltava työkalun vaihtamiseen soveltuva laippa. Tällöin laipassa ollaan huomioitu kaapelit, joita työkalut tarvitsevat toimiakseen. Niitä ovat esimerkiksi alipainetart-tujan ilmanpaineletkut sekä sähköjohdot. Ohjelmoitaessa käskyä työkalun vaihdolle tu-lee huomioida, että työkalu on telineessä aina samoin päin, huolimatta siitä, miten pa-neelia on viimeksi työstetty tai siirretty.

#### 4.6.4 Kääntöpöytä

Paneeleiden tullessa ulos uunista kulkevat ne rullahihnalla lasivillapuoli ylöspäin. Paneeleiden työstäminen ei kuitenkaan ole tällöin mahdollista, joten ennen saapumista työstötasolle ne tulee kääntää toisinpäin. Tätä tehtävää varten sijoitetaan linjastolle samanlainen kääntöpöytä, joka löytyy jo aikaisemmasta vaiheesta Piikkio Worksin paneelinvalmistuslinjastoa. Pneumaattinen kääntöpöytä puristaa ilmanpaineen avulla paneelin paikalleen, jonka jälkeen koko pöytä pyörähtää pituussuunnassa oman akselinsa ympäri, samalla kääntäen paneelin ylösalaisin. Kyseinen menetelmä on tilaa säästävää, sekä helppo ja edullinen toteuttaa.

#### 4.6.5 Lastauspukit

Työstämisen jälkeen robotti vaihtaa käyttöönsä alipainetarttujan ja siirtää valmiit työstetyt paneelit niille varatuille pukeille. Pukit on sijoitettu aivan linjaston loppupäähän ja niille tehdään hallin lattiaan kiinnitettävät kiinnityskappaleet, jolloin ne ovat aina samassa kohdassa ja robotti osaa lastata pukit oikein. Tämän jälkeen tuotannossa työskentelevän työntekijän on trukilla tai pumppukärryllä siirrettävä täydet pukit tasaisin väliajoin eteenpäin varastoitavaksi ja sijoitettava tilalle uusi tyhjä pukki. Työntekijän on siirrettävä pukit valoverhon läpi, mikä tekee työskentelystä solun lähellä turvallista. Työssä sovelletaan yrityksessä nyt jo olevia pukkeja, sillä ne palvelevat tarkoitustaan hyvin ja niitä voidaan hyödyntää helposti osana robottisolua.

#### 4.6.6 Vesileikkaus

Vaihtoehtoisena työstömenetelmänä jyrinnälle, voidaan käyttää vesileikkausta. Vesileikkauksen etuja on monia ja yksi näistä onkin sen soveltuvuus lähes jokaiselle materiaalille. Muun muassa hyttipaneeleissa käytettävän metallin leikkaaminen vesileikkauksella onnistuu helposti. Se ei suuresta työstötehosta huolimatta kuumenna kappaletta lainkaan, sillä vesi toimii leikkaavan terän lisäksi jäähdytysnesteinä työstön aikana. Vedellä leikatessa saadaan myös erittäin siisti leikkausjälki metallia vaurioittamatta, joka on yksi tärkeimmistä kriteereistä työstömenetelmää valittaessa. Leikattavien kappaleiden paksuus nykytekniikalla on noin 200 mm, joka ei näin hyttien kohdalla ole minkäänlainen



ongelma. Vesileikkuri voidaan logiikan avulla liittää soluun siten, että se pystyy lukemaan paneeleiden piirustuksia ja työstämään kappaleita tämän pohjalta.

Itse leikkaaminen tapahtuu erittäin ohuella ja korkealla paineella toimivalla vesisuihkulla. Vesi tulee suuttimesta ulos noin 1000m/s nopeudella ja tämän luomisessa käytetään jopa 4000 baarin paineella toimivaa pumppua. Vesisuihkun sekaan voidaan lisäksi lisätä tehostekuulia tai pienen pieniä hiekanjyviä, joilla saadaan leikkaustehoa kasvatettua. Tätä hienojakoista ainetta kutsutaan abrasiiviksi.

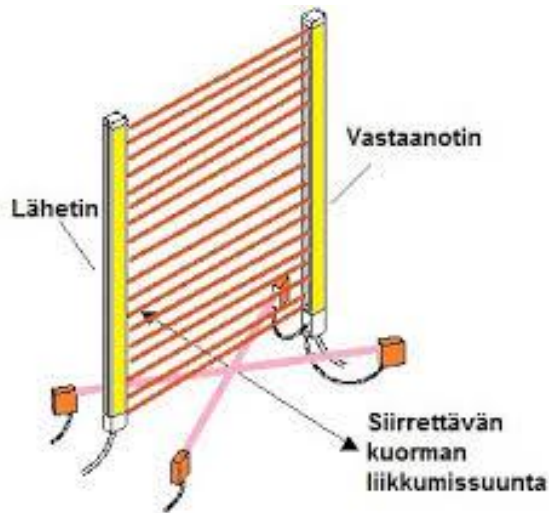
## 5 ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS

Robottisolua suunniteltaessa on ennen kaikkea lähdettävä siitä, ettei robotti missään tilanteessa aiheuta ihmiselle vaaraa. Nopeilla ja voimakkailla liikkeillään robotit voivat aiheuttaa vaaratilanteita, joiden karsiminen ja valvominen on yhtä tärkeää kuin mikä tahansa muu tuotannon tehostamiseen liittyvä osa-alue solun kokonaisuutta pohdittaessa. Kun Robotit tulevaisuudessa ovat yhä suurempi osa ihmisten arkea myös teollisuuden ulkopuolella, esimerkiksi hoito-alalla, turvallisuuden merkitys korostuu entisestään.

Euroopan unioni on laatinut myös robotiikkaa koskevan konedirektiivin, Konedirektiivi (2006/42/EY), jonka ensisijaisena tarkoituksena on pitää huolta siitä, että turvallisuusmääräyksiä noudatetaan Unionin alueella koneteollisuuden parissa. Siihen miten robotisolun turvallisuudesta pidetään huolta, on useita ratkaisuja. Perinteisten kulkua estävien fyysisten aitojen lisäksi turvallisuus ratkaisussa voidaan hyödyntää teknologiaa.

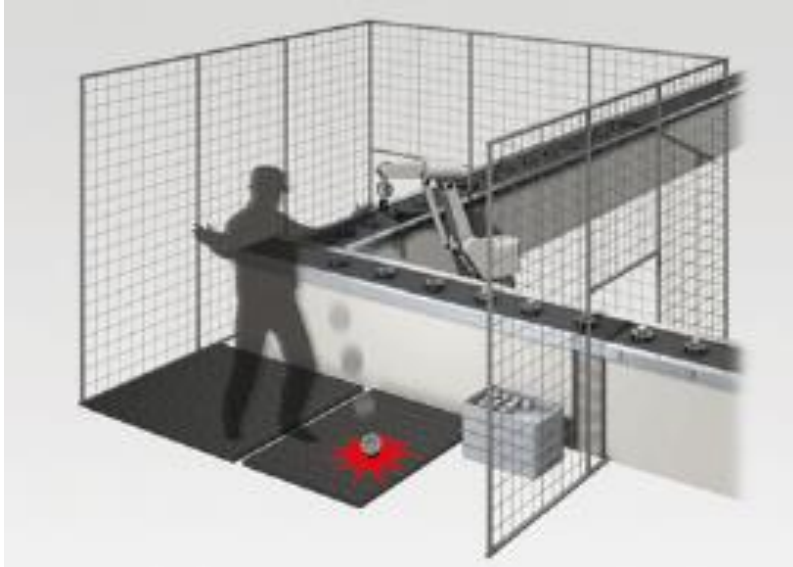
### 5.1 Valoverho

Valoverhoilla tarkoitetaan optisia laserlähettämiä ja –vastaanottimia, jotka toimivat turvakatkaisijan tavoin. Kun esimerkiksi jokin esine tai ihmisen raaja katkaisee valoverhon infrapunasäteen, robotin työskentely pysähtyy. Näin varmistetaan, ettei onnettomuuksia pääse tapahtumaan robottisolun alueella. On myös mahdollista ohjelmoida robotti ainoastaan hidastamaan vauhtiaan sekä tuotantoprosessia hetkellisesti, niissä tapauksissa joissa työntekijän tiedetään tarkoituksenmukaisesti kulkevan robotin työskentelyalueella säännöllisesti. Valoverhon etuna muihin turvalaitteisiin voidaan pitää sen kykyä havaita hyvinkin pieniä vaara-alueelle meneviä asioita, kuten esimerkiksi ihmisen sormia, ihmisen vartalosta irrallaan olevia vaatekappaleita tai koruja. Lisäksi säteen lähettämien ja vastaanottimien välillä voi olla useiden kymmenien metrien etäisyys, joten turvattavaa aluetta voidaan pitää varsin laajana. Valoverhoja voidaankin todeta käytettävän pääasiassa kulunvalvontaan sekä primäärivalvontaan ja usein valonverho voidaan yhdistää robottisolun logiikkaan, jolloin sen avulla voidaan varmistaa valoverhon toimivuus sekä mahdollinen virheellinen viive.



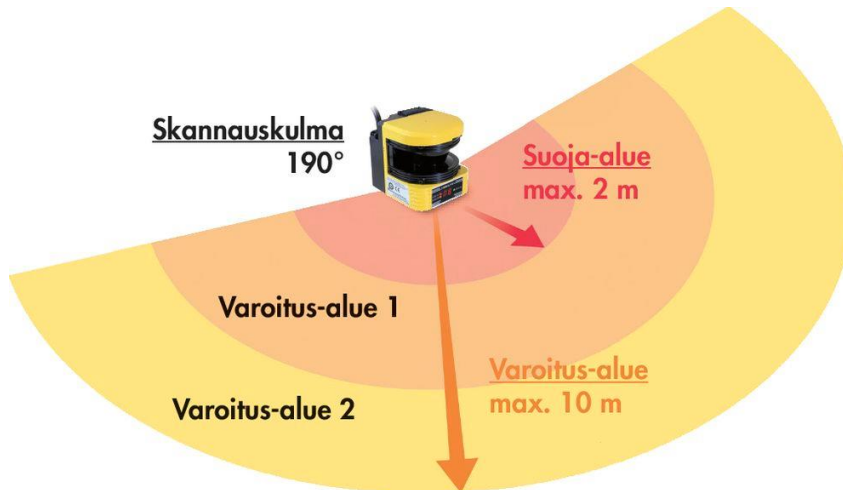
## 5.2 Turvamatot ja –puskurit

Turvamatoilla tarkoitetaan hallin lattialle asennettavia maton kaltaisia alustoja, joiden yli kävellessä ne ihmisen painosta lähettävät käskyn robotin ohjauskeskukselle ja pysäyttävät robottisolun toiminnan. Turvamattoja asennettaessa on huomioitava, että ne ulottuvat tarpeeksi etäälle robotista, jottei robotin käsivarsi ilmassa törmää suoja-alueen reunalla olevaan ihmiseen. Yleisimmän turvamatto-typin toiminta perustuu sulkeutuvaan sähköpiiriin, jossa turvamaton alle on sijoitettu toisistaan erillään olevat metalliset levyt. Ihmisen astuessa turvamatonalle, metallilevyjen välissä olevat eristemateriaalit painautuvat kasaan. Tämän johdosta sähköinen piiri sulkeutuu ja robottisolun toiminta lakkaa. (Malm 2008). Vastaavasti turvapuskureilla tarkoitetaan johonkin yleensä pystysuoraan tasoon sijoitettavia auton puskurin kaltaisia suoja, joilla on sama toimintaperiaate kuin turvamatoilla. Puskurien painautuessa pohjaan ne lähettävät käskyn lopettaa robotin toiminta, esimerkiksi sellaisissa tilanteissa joissa ihminen nojaa työtasoa vasten liian lähelle robottia ja näin altistaa itsensä vaaralle.



### 5.3 Turvalaserskanneri

Turvalaserskanneri on valoverhon tavoin optinen anturi, joka kuitenkin poikkeaa valoverhosta huomattavasti tätä laajemmalla turva-alueen pinta-alalla. Laite skannaa ympäristöään viuhkamaisesti infrapunalasertsäteen avulla ja mittaa säteisiin osuneiden kohteiden etäisyydet ja paikan. Yhdistämällä skanneri soluun, voidaan luoda erilaisia vyöhykkeitä sen mukaan miten lähellä turva-laite esimerkiksi ihmisen havaitsee. Ensimmäiselle vyöhykkeelle astuttaessa robotti voi hidastaa liikkeidensä nopeutta. Tämän jälkeen edelleen lähestyttäessä vaarallisempaa vyöhykettä on mahdollista pysäyttää robotti kokonaan. Näin saadaan luotua tasapaino tuotannon tehokkuuden ja vaadittavan turvallisuuden välillä. Edistyksellisimmillä turvalaserskannereilla on mahdollista skannata jopa 270 asteen suuruinen lattia-alue ja skannattava etäisyys on laitteista riippuen useita kymmeniä metrejä.



#### 5.4 Robottisoluun valitut turvalaitteet

Piikkio Worksille suunnittelema solu tullaan kokonaisuudessaan rajaamaan turva-ai-  
doilla, jottei robotin vaara-alueelle ole ihmisen mahdollista mennä. Poikkeuksen tähän  
tekee kuitenkin lastauspukkien puoleinen pääty, joka tullaan jättämään avonaiseksi.  
Tästä aukosta on työntekijän tarkoitus kuljettaa valmiit pukit varastoitavaksi. Alueelle si-  
joitetaan valoverho, jolloin työntekijän astuessa vaara-alueelle, robotin nopeus hidastuu  
ja pukit saadaan alueelta pois turvallisesti.

## 6 TAKAISINMAKSUARVIO

Oleellisena osana hankinnan kannattavuutta tulee laskea arvio siitä, minkä ajan kuluessa investointi on maksanut itsensä takaisin. Ennen tämän ajan täyttymistä ei hankintaa voida vielä pitää kannattavana. Piikkio Worksilla automatisoitava osa tuotannosta työllistää nykyisin yhden työntekijän, josta tämän hetkiset työnantajalle aiheutuvat kulut voidaan laskea yrityksen nettotuotoksi investoinnin jälkeen. Työntekijän vuotuiset kustannukset yhteenlaskettuna ovat noin 60 000 euroa vuodessa ja robottisolun hankintahinta oheislaitteineen ilman kiskoa on 150 000 euroa ja kiskon kanssa 180 000 euroa. Piikkio Worksin kaltaisen yrityksen kohdalla huomattavan suuri osuus kaikista sen tuotantokustannuksista muodostuukin nimenomaan edellä mainituista henkilöstökustannuksista, joihin lukeutuvat esimerkiksi työntekijöiden palkat, lomat, sairastumiset ja muut maksut.

Takaisinmaksuaika robottisolun investoinnille voidaan laskea alaolevalla kaavalla silloin, kun palkkakustannuksien oletetaan pysyvän muuttumattomina eikä laskentakorkoa oteta takaisinmaksuarvioinnissa huomioon.

- $n = \frac{H}{s}$

$n$  = laskettu takaisinmaksuaika koko hankinnalle

$H$  = investointihinta

$s$  = investoinnin nettotuotto

Nettotuottoa voidaan tarkentaa ottamalla huomioon niin sanotut käyttökustannukset joihin lukeutuvat palkkojen lisäksi robotin ja koko solun ylläpitäminen huomioiden robotin energian ja huoltotöiden tarve sekä mahdollinen koulutus, jolla yritys ja työpisteestä vastaavat henkilöt perehdytetään solun toimintaan ja mahdollisiin ongelmatilanteisiin. Epäsuoria ja vaikeammin arvioitavia säästöjä voidaan myös katsoa syntyvän asiakkaiden suhtautumisesta ja kiinnostuksen lisääntymisestä automaatioon ja tuotannon tehostamiseen keskittyntä yritystä kohtaan.

Tässä menetelmällä lasketaan automatisoinnin avulla vapautuvan työvoiman kustannukset nettotuotona. Arvioitu yhden työntekijän kustannus työnantajalle on 30 euroa tunnilta. Automatisoinnin investointien hinta jaetaan tämän jälkeen vuosittaisella työntekijöistä saadulla nettotuotolla. Jäljelle jäävä jakojäännös on takaisinmaksuaika vuosina. Robotin oletetaan korvaavan tässä laskentatavassa yhden työntekijän.

Investoinnit:

\* Robotti 50 000

\* Robottiohjain 30 000

\* Muut 30 000

\* Kiskot 30 000

\* Layout 20 000

\* Muut 20 000

Ilman kiskoja yht. 150 000 euroa

Kiskojen kanssa yht. 180 000 euroa

Vuodessa kertyvät työtuntien kustannukset 1-3-vuorotyössä. Työntekijän kustannukseksi tunnilta on arvioitu 30 euroa ja vuosittainen työpäivien määrä on 253.

1-vuorotyö:  $8\text{h} \times 30\text{ euroa} \times 253\text{d} = 60\ 720\text{ euroa}$

2-vuorotyö:  $16 \times 30\text{ euroa} \times 253\text{d} = 121\ 440\text{ euroa}$

3-vuorotyö:  $24 \times 30\text{ euroa} \times 253\text{d} = 182\ 160\text{ euroa}$

Investoinnin takaisinmaksuaika laskettuna vapautuneista työntekijöistä saadun nettotuoton mukaan.

$$\text{Takaisinmaksuaika}(v) = \text{Hankintahinta}(\text{euroa}) / \text{Nettotuotto}(\text{euroa}/v)$$

$$150\,000 \text{ euroa} / 60\,720 \text{ euroa} = 2,47 \text{ vuotta}$$

$$150\,000 \text{ euroa} / 121\,440 \text{ euroa} = 1,24 \text{ vuotta}$$

$$150\,000 \text{ euroa} / 182\,160 \text{ euroa} = 0,82 \text{ vuotta}$$

$$180\,000 \text{ euroa} / 60\,720 \text{ euroa} = 2,96 \text{ vuotta}$$

$$180\,000 \text{ euroa} / 121\,440 \text{ euroa} = 1,48 \text{ vuotta}$$

$$180\,000 \text{ euroa} / 182\,160 \text{ euroa} = 0,99 \text{ vuotta}$$

Laskuista voidaan todeta, että mitä enemmän solu on vuorokaudessa käytössä, sitä nopeammin se maksaa itsensä takaisin. Enimmillään takaisinmaksuun menee aikaa noin kolme vuotta, solun ollessa käytössä vain 8 tuntia päivässä. Tämä aika on laskettu kalteimmalla hinnalla eli kiskojen kanssa asennetulla robotilla. Nopeimmin robottisolu maksaa itsensä takaisin, kun sitä käytetään 3-vuorotyössä eikä kiskoja asenneta. Tällöin takaisinmaksuun menee noin 0,82 vuotta.

Alla on laskentamenetelmä, jossa lasketaan automatisoinnin tuoma lisääntynyt tuotanto ja sen tuoma rahallinen etu verrattuna saman tuotannon saavuttamiseen alihankkijan avulla. Solun oletetaan olevan 3-vuorokäytössä, jolloin vuorokautinen kappaleiden käsittelymäärä on 500 kpl ja yhden kappaleen läpimenoaika nopeimmillaan 2 minuuttia.

Sarjan läpimenoaika voidaan laskea kaavalla, jossa sarjan määrä kerrotaan kappaleen läpimenoajalla ja elpymiskertoimella.

$$1,2 * 500 * 2 / 60 = 20 \text{ tuntia (kerroin } 1,2 = \text{ elpyminen ja muut apuajat)}$$



Asetuksiin ja säätöihin arvioidaan menevän aikaa 3 tuntia päivässä. Tällöin vuorokautiset käyttötunnit voidaan laskea kaavalla, jossa vähennetään vuorokauden tuntimäärästä asetuksiin ja säätöihin menevä aika, sekä elpymiseen menevä aika.

$$24 - 3 - 0,2 * 500 * 2 / 60 = n. 17 \text{ h } 40 \text{ min } (0,2 = \text{elpyminen ja muut apuajat})$$

#### Säästöt

Robotilla suoritetun työn läpimenoaika laskettuna ilman työntekijöiden elpymisaikoja.

$$500 * 2 / 60 = 16 \text{ h } 40 \text{ min (ei elpymistaukoja)}$$

Robotin asetuksiin oletetaan kuluvan yksi tunti päivässä. Tällöin vuorokautiset käyttötunnit ovat:

$$24 - 1 = 23 \text{ h}$$

Lisääntynyt vuorokautinen kapasiteetti:

$$23 \text{ h} - 17 \text{ h } 40 \text{ min} = 5 \text{ h } 20 \text{ min / vrk}$$

Em. tuotantokapasiteetin korvaus alihankkijalta ostettuna tulisi maksamaan 70 euroa / h.

Säästö vuositasolla voidaan laskea kertomalla lisääntynyt vuorokautinen kapasiteetti vuosittaisilla työpäivillä ja alihankkijan hinnalla:

$$253(\text{työpäivää vuodessa}) * 5,33(5\text{h } 20\text{min}) * 70 \text{ euroa} = 94\,394 \text{ euroa (Jos lisääntynyt tuotanto ostettaisiin alihankkijalta)}$$

Työntekijä vapautuu muihin tehtäviin 24 h / päivä (3-vuoro)

Säästö vuositasolla:

$$253 * 24 * 30 \text{ euroa} = 182\ 160 \text{ euroa}$$

Investoinnista koituva vuosisäästö yhteensä:

$$94\ 394 \text{ euroa} + 182\ 160 \text{ euroa} = 276\ 554 \text{ euroa}$$

Takaisinmaksuaika:

$$150\ 000 \text{ euroa} / 276\ 554 \text{ euroa} = 0,54 \text{ vuotta}$$

## 7 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella hyttipaneelien tuotantolinjan automatisointi. Tämä haluttiin toteuttaa siirtämällä tuotantolinjan loppupään manuaalinen ja raskas työ roboteille. Automatisoinnin avulla tuotantoa voitaisiin nopeuttaa ja työstämistä vaativat paneelit käsitellä heti linjaston yhteydessä. Suunnittelun tuli sisältää uuden tuotantolinjan mahdollistava layout, soveltuvan robotin kartoitus, pohdintaa työstötavasta ja investointilaskelma.

Mielestämme opinnäytetyömme onnistui hyvin, muutamista ongelmista sekä työn laajuudesta huolimatta. Hankaluuksia tuotti etenkin projektin alussa yhteistyö ja kommunikointi Piikkio Worksin yhteyshenkilöiden kanssa, näiden työkiireistä johtuen. Liian paljon aikaa käytettiin myös alun suunnitteluun, siitäkin huolimatta, miten tärkeää sen tiedettiin lopputuloksen kannalta olevan. Toinen työn tekoa hidastanut tekijä oli molempien tätä opinnäytetyötä tehneiden opiskelijoiden työllistyminen vakituisiin työsuhteisiin opinnäytetyötä tehdessä, mutta loppujen lopuksi työ saatiin kuitenkin tehtyä valmiiksi aikataulussa.

Aikaisempi osaamisemme roboteista rajoittui koulussa opittuihin asioihin, jonka vuoksi tämän opinnäytetyön tekeminen vaati paljon tiedon hakua ja itseopiskelua. Projektin laajuus oli alussa tiedossa, mutta siitä huolimatta työn ja huomioon otettavien asioiden määrä oli odotettua suurempi. Tässä työssä suunnittelussa pyrittiin pysymään enemmän kokonaisuutta käsittelevissä asioissa, vaikka yksityiskohtiin olisi ollut helppo paneutua lisää.

Tämän opinnäytetyön lopputuloksena saatua suunnitelmaan voidaan soveltaa osin tai kokonaan Piikkio Worksin hyttipaneeleita valmistavalle kokoonpanolinjalle, mikäli yritys sellaisen päättää toteuttaa. Viimeisimpien tietojen mukaan yritys olisi siirtämässä paneelien valmistustaan muualle Eurooppaan, mikä tarkoittaisi tämän työn jäämistä tois- taiseksi suunnittelutasolle.

## LÄHTEET

Aalto-yliopisto kurssimateriaali [Online] <http://docplayer.fi/720846-16-9-rfid-tekniikka-kari-hanninen-finn-id-oy-konenako-harri-ahlroth-oy-delta-entepriise-ltd.html> Viitattu 26.11.2016

ABB, 10 Reasons to invest in robotics [Online] <https://library.e.abb.com/public/e7e79f2802132eb1c1257af00057b48e/ABB%20eBook%2010%20good%20reasons%20to%20invest%20in%20robots.pdf> Viitattu 26.11.2016

Automaatioinvestoinnin kannattavuuden arviointi, Heikki Hallila, Fastems [Online] <http://new.teknologiateollisuus.fi/file/7127/Fastems.pdf.html> Viitattu 26.11.2016

Automation Primer Advantages and Disadvantages of Automation [Online] <http://automationprimer.com/2014/02/16/advantages-and-disadvantages-of-automation/> Viitattu 26.11.2016

ISO 8373:2012 Robots and robotic devices

KIDE 2014. Robotiikka. [http://kide.metropolia.fi/?page\\_id=85#sivu1](http://kide.metropolia.fi/?page_id=85#sivu1)

Konedirektiivi 2006/42/EY, Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi, 17.5.2006

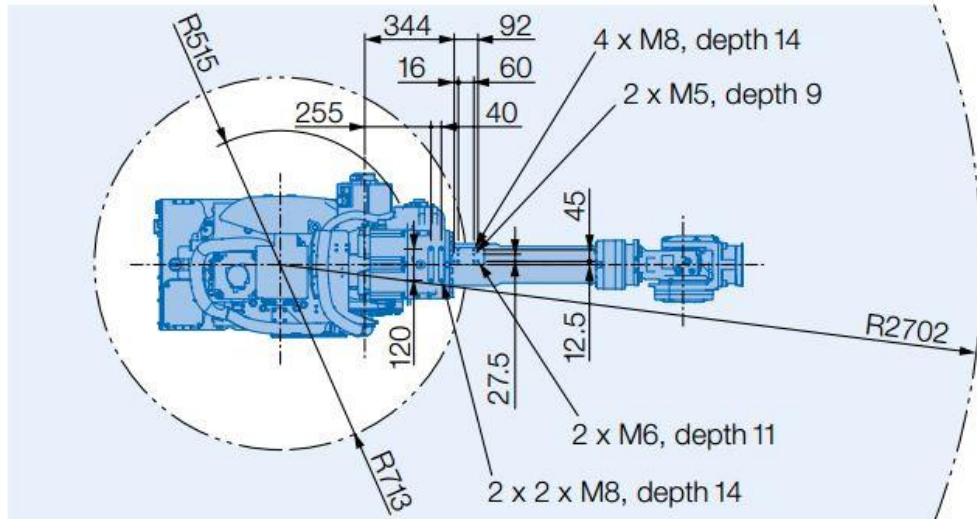
Meyer Turku OY, 2016. Piikkio Works OY:n www-sivut. [http://www.meyer-turku.fi/en/meyerturku.com/partner\\_companies/piikko\\_works/marginalspalte\\_ohne\\_navigation\\_5.jsp](http://www.meyer-turku.fi/en/meyerturku.com/partner_companies/piikko_works/marginalspalte_ohne_navigation_5.jsp)

Production and Operations Management, Aswathappa, K. Bhat, K. Shridhara. 2010

Robotiikka lisää työpaikkoja ja inhimillisyyttä. 2015. Uutinen EK:n www-sivuilla 24.11.2015. Viitattu 20.11.2016. <https://ek.fi/ajankohtaista/uutiset/2015/11/24/robotiikka-lisaa-tyopaikkoja-ja-inhimillisyytta/>

Vista Industrial Products, Advantages and Disadvantages of Automation in Manufacturing [Online]  
<http://www.vista-industrial.com/blog/advantages-and-disadvantages-of-automation-in-manufacturing/> Viitattu 26.11.2016

## Robotin toimintaan liittyvät mitat



## Allowable wrist load

