

ROBOTTISOLUN ESISUUNNITELMA

Vaahtomuovin leikkaaminen nivelvarsirobotilla

Tiivistelmä

| | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tekijä(t) Viitamäki, Vesa | Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK | Valmistumisaika Kevät 2019 |
| | Sivumäärä 15 | |
| Työn nimi Robottisolun esisuunnitelma Vaahtomuovin leikkaaminen nivelvarsirobotilla | | |
| Tutkinto Kone- ja tuotantotekniikan insinööri | | |
| Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä suunniteltiin vaahtomuovin käsittelyyn tarkoitetun tuotantolinjan robottisolu, missä leikataan vaahtomuovikappaleita. Työ toteutettiin Isku Interior Oy:lle. Robottisolulle on tarve, koska sen avulla voidaan automatisoida monimutkaistenkin kappaleiden leikkausprosessi.</p> <p>Työssä vertailtiin erilaisia tuotantomenetelmiä, tehtiin käytännön testejä, suunniteltiin työkalun kiinnitys- ja toimintatapa, valittiin tuotantosoluun sopivia laitteita, mallinnettiin robottisolu ja simuloitiin solun toimintaa.</p> <p>Työn alussa esitellään tuotantolinja kokonaisuudessaan, jonka osaksi robottisolu suunniteltiin.</p> <p>Työn tuloksena muodostui lista soluun tarvittavista komponenteista, alustava pohjapiirros solulle, 3D-kuvat omavalmisteisille komponenteille ja suunnitelma solun tuotantokäytölle.</p> | | |
| Asiasanat tuotanto, robotiikka, vaahtomuovi | | |

Abstract

| | | |
|---|--|--------------------------|
| Author(s) Viitamäki, Vesa | Type of publication Bachelor's thesis | Published Spring 2019 |
| | Number of pages 15 | |
| Title of publication Robot cell pre-plan Cutting open cell foam with articulated robot | | |
| Name of Degree Bachelor of Engineering, Mechatronics | | |
| Abstract <p>The subject of the bachelor's thesis was to design a robot cell for a foam processing production line. The work was commissioned by Isku Interior Ltd. A robot cell is needed because it allows automation of the cutting process of complex open cell foam pieces.</p> <p>In the work, different production methods were compared, practical tests were carried out, tool fixing, and operating methods were designed, equipment suitable for the production cell was selected, the robot cell was modeled, and the function of the cell was simulated. At the beginning of the work, the whole production line containing the robot cell is presented.</p> <p>As a result of this thesis project, a list of necessary components for the cell, a preliminary layout plan for the cell, 3D images for the necessary components, and a plan for cell production was created.</p> | | |
| Keywords production, robotics, foam | | |

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 1 |
| 2 | TUOTANTO | 2 |
| 2.1 | Yleiskatsaus tuotantolinjaan | 2 |
| 2.2 | Tuotantolinjan alkupään koneet | 3 |
| 2.3 | Tuotantoprosessin teoriaa | 3 |
| 2.4 | Robottien käyttö lastuavassa työstössä | 4 |
| 3 | ROBOTTISOLU | 5 |
| 3.1 | Solun suunnittelun lähtökohdat | 5 |
| 3.2 | Robottisolun suunnitelma..... | 6 |
| 3.2.1 | Robotti | 7 |
| 3.2.2 | Työkalu..... | 8 |
| 3.2.3 | Työstöpöytä | 9 |
| 3.2.4 | Alipainekehitin | 10 |
| 3.2.5 | Turvalaitteet..... | 11 |
| 3.2.6 | Solun tuotantokäyttö | 11 |
| 4 | SOLUN SIMULOINTI..... | 12 |
| 5 | YHTEENVETO | 14 |
| | LÄHTEET | 15 |

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

| | |
|----------------|--|
| CNC | Tietokoneistettu numeerinen ohjaus. |
| Jigi | Apukehikko tai -teline. |
| Nestaus | Prosessi, jossa optimoidaan levymäisen materiaalin käyttö, raaka-ainejätteen minimoimiseksi. |
| Origo | Suorakulmaisen koordinaatiston nollapiste. |
| TCP | Tool center point, työkalupiste. |
| Toistotarkkuus | Tarkkuus, jolla robotti palaa takaisin opetettuun pisteeseen. |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunniteltiin robottisolu, jossa työstetään vaahтомуovikappaleita. Työ toteutetaan Isku Interior Oy:lle ja solu tulee olemaan osana isompaa tuotantolinjakokonaisuutta. Vaahтомуovista valmistettujen tuotteiden leikkaus tulee siirtymään uusiin tiloihin, ja tulevaisuudessa tullaan käyttämään nykyaikaisia tuotantotapoja ja -laitteita.

Opinnäytetyön aihe on rajattu robottisoluun, jonka tarkoitus tuotantolinjassa on tehdä kappaleisiin sellaiset työstöt, joita linjan muilla koneilla ei pystytä toteuttamaan. Solun tarkoitus on antaa myös suunnittelijoille enemmän mahdollisuuksia uusien tuotteiden muotojen suhteen.

Robottisolu toisi joustavuutta tuotantoon. Tähän mennessä tietyt osat on tilattu ulkopuoliselta toimittajalta, mutta solu mahdollistaisi niiden leikkaamisen omissa tiloissa, mikä vähentäisi varastoinnin tarvetta ja osien odottelua.

Suunnittelun aikana vertailtiin erilaisia tuotantomenetelmiä, tutustuttiin laitteiden valmistajien tuotteisiin ja hahmoteltiin solua 3D-mallinnusohjelmaa apuna käyttäen.

Robottisolua lukuun ottamatta tuotantolinjan muut laitteet tulee mitä todennäköisemmin olemaan ulkopuolisen toimittajan valmis ratkaisu ja ne on rajattu työn ulkopuolelle. Työn alussa tutustutaan kuitenkin pintapuolisesti myös näihin laitteisiin.

2 TUOTANTO

2.1 Yleiskatsaus tuotantolinjaan

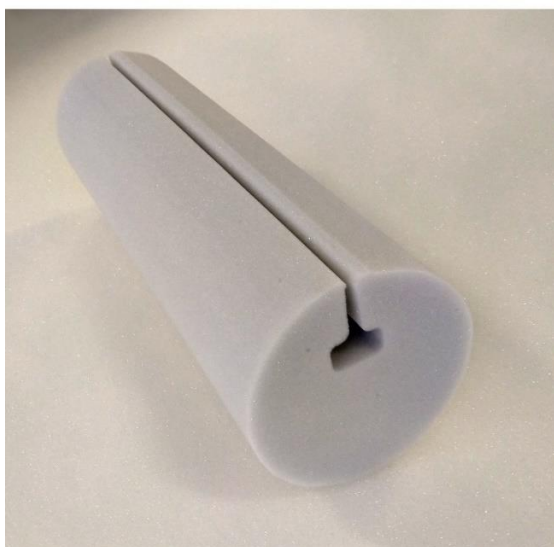
Vaahtomuovit toimitetaan tehtaalte isoina (2000 x 1600 x 1200mm) kappaleina. Tuotantolinjan ensimmäinen kone on horisontaalinen leikkuri, joka leikkaa kappaleesta halutun paksuisia siivuja.

Oikean paksuinen siivu siirtyy kuljetushihnaa pitkin seuraavalla koneelle, joka on CNC-ohjattu vertikaalileikkuri. Kyseisen leikkuri mahdollistaa vaativienkin 2-ulotteisen muotojen leikkauksen ja sillä voidaan leikata useita erilaisia kappaleita samasta ahiosta. Leikkurille tuleva data on peräisin nestausohjelmistosta. Nestauksen ansiosta vaahtomuovisiivu saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti, minimoiden hukkaan menevän osuuden.

Edellä mainituilla tavoilla pystytään tuottamaan suurin osa tarvittavista tuotteista. Kuitenkin joidenkin osien valmistus ei onnistu näillä laitteilla, vaan ne tarvitsevat toisentyypistä valmistustapaa.

Ensimmäinen esimerkki tällaisesta tuotteesta on pitkänmallinen kappale, jonka profiili ei ole suorakulmainen (kuva 1). Tällaista kappaletta varten tarvitaan horisontaalinen CNC-leikkuri, joka on linjan seuraava vaihe. Kyseiselle koneelle menevät tuotteet kulkevat usein vertikaalileikkurin läpi ilman toimenpiteitä.

Joissain kappaleissa on muotoja, joita ei voi toteuttaa millään edellä mainitulla koneella. Tähän ongelmaan etsitään ratkaisua opinnäytetyössä, joka keskittyy linjan viimeisenä yksikkönä toimivaan robottisoluun, jossa vaahtomuovia pystytään leikkaamaan haastaviin muotoihin.



Kuva 1. Vaahtomuovikappale

2.2 Tuotantolinjan alkupään koneet

Horisontaalileikkurin tehtävänä on tuottaa oikean paksuista materiaalia linjan seuraaville koneille. Leikkaaminen tapahtuu joko vannesahalla tai veitsellä. Kone on varustettu hissillä, joka nostaa leikatun siivun jatkokäsittelyä varten.

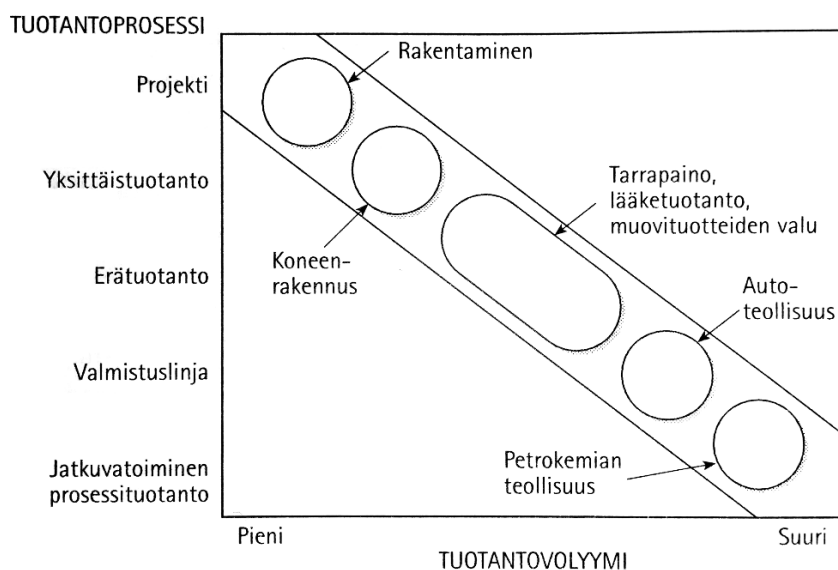
Vertikaalisessa CNC-leikkurissa on 360 astetta kääntyvä, ylhäältä alhaalle kiertävä vannesaha. Leikkurilla voidaan leikata monimutkaisia muotoja ja samasta kappaleesta voidaan valmistaa usean eri tuotteen osia.

Osat pyritään leikkaamaan isosta vaahtomuovikappaleesta mahdollisimman tehokkaasti. Tämän vuoksi jokainen leikkaus suunnitellaan tietokoneohjelmalla, jota mallintaa nestäuk- sen.

Horisontaalisella CNC-leikkurilla tuotetaan kappaleita, jotka ei ole muodoltaan suorakul- maisia särmiöitä ja niiden leikkaaminen ei onnistu vertikaalileikkurilla, esimerkiksi liian suuren korkeuden vuoksi. Tässäkin koneessa on kääntyvä vannesaha, jolla pystytään leikkaamaan missä tahansa kulmassa.

2.3 Tuotantoprosessin teoriaa

Uuden tuotantolinjan tarkoitus on valmistaa vaahtomuovikappaleita mahdollisimman te- hokkaasti ja alhaisin kustannuksin. Tuotanto linjassa on vapaatahtista ja tuotantoprosessi on tyypiltään erätuotantoa, jossa tuotettavat kappaleet vaihtuvat toistuvasti. Kyseinen tuo- tantomuoto asettaa toimivan tuotannonohjauksen tärkeään rooliin. Tuotantoprosessin va- linnan määrää yleensä tuotantovolyymi (kuva 2).



Kuva 2. Tuotantoprosessien valinta tuotantovolyymien funktiona (Lehtonen 2004, 63)

Opinnäytetyön robottisolun tuotannon toivotaan olevan niin nopeaa, ettei se muutu milloinkaan tuotantolinjan pullonkaulaksi.

Vaikka robotti leikkaakin vaahtomuoviosat automaattisesti, tarvitaan aihion asettamiseen ja valmiin osan poistamiseen työntekijää. Ei voida siis puhua täysin automatisoidusta tuotannosta.

2.4 Robottien käyttö lastuavassa työstössä

Suomessa teollisuusrobotteja käytetään useimmiten kappaleenkäsittelytehtävissä ja hitsauksessa. Lastuavan työstön tehtäviin vuosien 2011-2014 välillä, Suomessa asennettiin vain 19 robottia, joka vastaa 1,49% kaikista samalla aikavälillä asennetuista teollisuusroboteista (Suomen robotiikkayhdistys ry 2016).

Lastuavan työstön tehtävissä käytetään yleensä siihen tarkoitukseen valmistettuja CNC-jyrsimiä. Teollisuusrobotin käytöllä saattaa kuitenkin tässäkin sovelluksessa olla joitain etuja jyrsimiin verrattuna.

Nivelvarsiroboteissa on usein hintaansa nähden suuri työstöalue. Tämä pätee varsinkin silloin kun työstetään pehmeitä materiaaleja, tällöin työstökoneen mekaanisella jäykkyydellä on vähemmän merkitystä, ja valittu robotti saa olla rakenteeltaan kevyempi.

Robotin suurimpia etuja on sen käytön joustavuus. Työstöaluetta on mahdollista edelleen laajentaa asentamalla robotti lineaariradan päälle. Robotille voidaan esimerkiksi rakentaa jälkikäteen toinen työstöpiste tai työkalunvaihtojärjestelmä.

3 ROBOTTISOLU

3.1 Solun suunnittelun lähtökohdat

Viimeisenä koneena tuotantolinjassa on robottisolu, mihin tämä opinnäytetyö pääosin keskittyy. Robottisolussa tehdään ne työstöt, jotka ei onnistu millään muulla linjan koneella. Robottisolussa on pöytä, johon kappaleet kiinnitetään työstön ajaksi alipaineen avulla. Työstettävät kappaleet leikataan robottiin kiinnitetyn sahan avulla.

Vanhassa tuotantomenetelmässä monimutkaiset kappaleet sahataan käsin, käyttäen apuna vanerista valmistettuja jigejä, joita on yli 20 erilaista. Robottisolussa tapahtuvan työn on tarkoitus korvata käsin sahaaminen ja lopettaa tarve jigien käytölle, joka johtaa tehokkaampaan tuotantoon.

Robotin täytyy leikata kappaleet riittävällä mittatarkkuudella, jäljen täytyy olla siistiä ja työstön täytyy olla riittävän nopeaa teolliseen valmistamiseen.

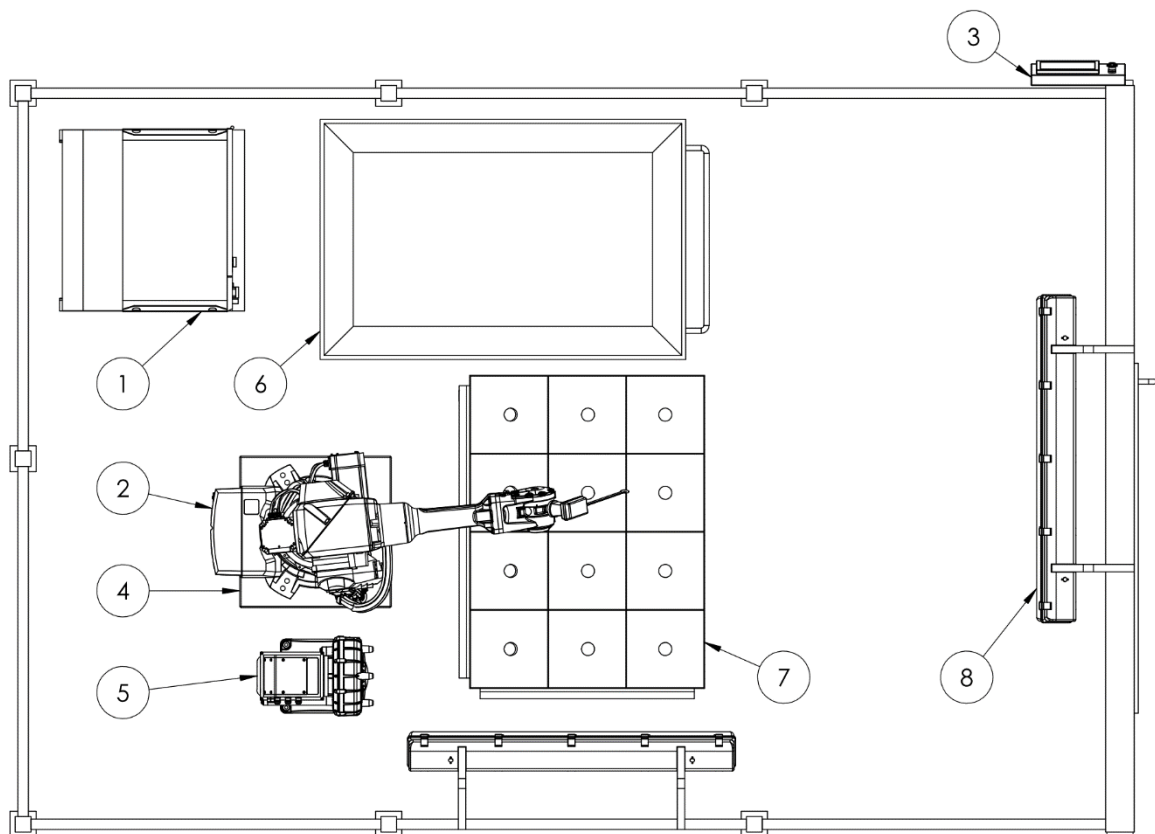
Solun tarkoitus ei ole vain helpottaa nykyisten tuotteiden valmistusta, vaan se tulee myös antamaan suunnittelijoille enemmän mahdollisuuksia tulevien tuotteiden muotojen suhteen.

3.2 Robottisolun suunnitelma

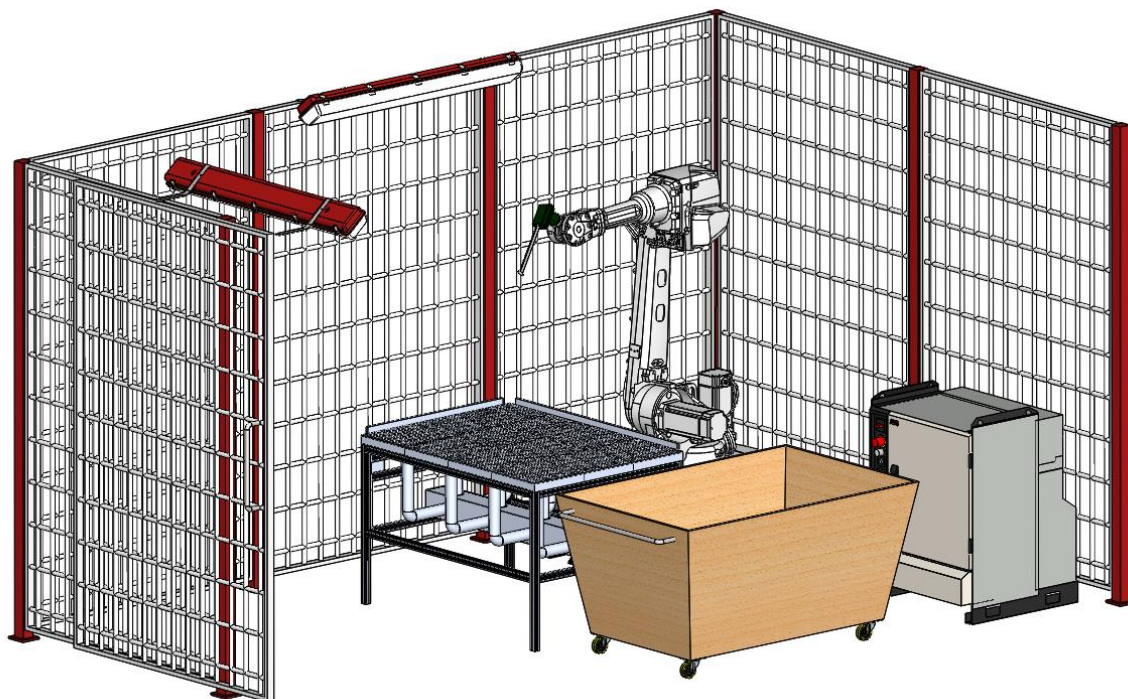
Robottisoluun tulee yksi 6-akselinen nivelvarsirobotti ja sen eteen pöytä, jonka päällä kapaleet työstetään. Pöytä on jaettu useisiin imualueeseen, jotka voidaan aktivoida erikseen robotin ohjelmasta. Työkaluna toimii vaahtomuovin leikkaamiseen tarkoitettu sahaava käsityökalu, joka on muokattu, niin että sen saa kiinnitettyä robottiin.

Robottisolun keskeiset osat (kuvat 3 ja 4):

- 1) ABB IRC5 -ohjausyksikkö
- 2) ABB IRB 2600-12/1.85 -robotti
- 3) ABB FlexPendant -käsiohjain
- 4) robotin jalusta
- 5) Schmalz SGBL-FU 180-400-4 -alipainepuhallin
- 6) jätekärry
- 7) työstöpöytä
- 8) valaisin.



Kuva 3. Robottisolun pohjapiirustus

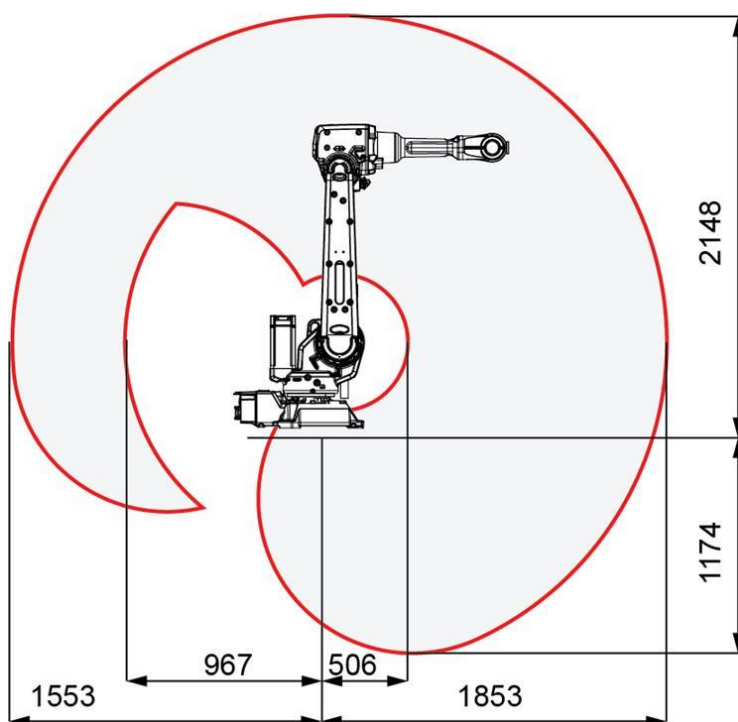


Kuva 4. Robottisolun malli

3.2.1 Robotti

Tärkein kriteeri robotin valinnassa oli sen ulottuvuus. Robotin täytyy yltää sahaamaan isoimmatkin vaahtomuovikappaleet. Muut vaaditut ominaisuudet, kuten toistotarkkuus tai käsittelykapasiteetti, täytyivät jokaiselta robotilta, joiden ulottuvuus oli käyttökohteeseen sopiva. Sopivan robotin valintaan käytettiin apuna ABB:n Robotstudio-ohjelmaa. Valittu robotti on ABB:n valmistama IRB 2600-12/1.85, joka on 6-akselinen nivelvarsirobotti, 1,85m ulottuvuudella ja 12kg käsittelykapasiteetilla. Robotti voisi hyvin olla toisenkin valmistajan tuote, jos siinä olisi vastaavat ominaisuudet.

Solun robotti asennetaan valetun korokkeen päälle, jotta sille saataisiin paras mahdollinen ulottuvuus työstöalueelle. Tämä saavutetaan silloin, kun robotin toisen akselin nivel on työstöpöydän yläosan kanssa samassa tasossa (kuva 5). Työstöpöytää ei voida asentaa alemmaksi, koska operaattorin täytyy pystyä asettamaan vaahtomuovikappaleet työstettäväksi ergonomisesta asennosta.



Kuva 5. IRB 2600-12/1.85 -robotin työalue (ABB 2019)

3.2.2 Työkalu

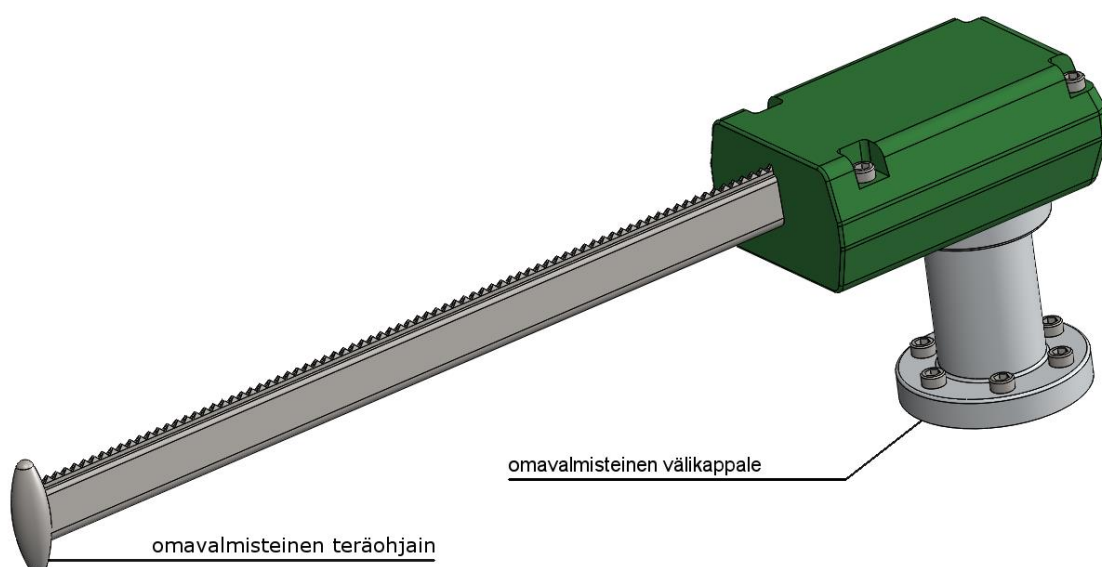
Robotin työkaluna toimii Boschin valmistama, alun perin käsin käytettäväksi tarkoitettu paineilmatoiminen vaahtomuovisaha (Bosch 2019).

Työkalua on muokattu, niin että sitä voidaan käyttää robotissa. Alkuperäisen käsityökalun kahvaosa poistetaan ja sen tilalle tulee alumiinista valmistettu välikappale, joka mahdollistaa työkalun kiinnityksen robotin laippaan. Alkuperäinen teräohjain vaihdetaan omavalmistaiseen ohjaimeen, joka mahdollistaa kappaleiden työstämisen kulmassa (kuva 6). Työkalun paineilmaa ohjataan magneettiventtiilin avulla ja sen käynnistyskäsky tulee robotin ohjelmasta.

Sarjatuotetun työkalun hyödyntämiseen päädyttiin, koska vastaavanlaisen omavalmistetyn työkalun valmistaminen olisi vienyt hyötyyn nähden kohtuuttomasti resursseja.

Valittu väline on ammattilaiskäyttöön suunniteltu ja todettu tuotannossa kestäväksi. Lisäksi vikaantumistilanteessa sarjatuotetun työkalun voi vaihtaa kohtuullisin kustannuksin varalla olevaan työkaluun.

Työkalussa on kaksi terää, jotka liikkuvat vastakkaisiin suuntiin. Tämä ehkäisee vaahtomuovikappaletta liikkumasta terän mukana, kun sitä sahataan. Vaahtomuovin liikkumista ehkäisee myös terien molemmilla puolilla olevat teräsuojat. Terät ovat nopeasti vaihdettavissa ja vaihtoteriä on helposti saatavilla varaosina.



Kuva 6. Muokatun työkalun 3D-malli

3.2.3 Työstöpöytä

Työstettävät kappaleet kiinnitetään työstöpöytänsä alipaineen avulla. Pöydän yläpinta on tiheästi rei'itetty ja se on jaettu kahteentoista imualueeseen, jotka ovat kaikki yksitellen aktivoitavissa. Tarpeettomat imualueet suljetaan ohjelmallisesti, magneettiventtiilien kautta ohjattujen perhosventtiilien avulla. Myös imuteho on säädettävissä, koska vaahtomuovikappaleet saattaisivat menettää muotonsa liian kovassa imussa.

Työstöpöydän takareunassa ja toisessa sivussa on muoviset vasteet, joita käytetään kappaleen kohdistuksessa, kun sitä asetetaan pöydälle työstettäväksi. Molemmat vasteet liikkuvat korkeussuunnassa kahden johdesylinterin avulla. Kohdistusvasteet laskeutuvat automaattisesti työstöohjelman käynnistyessä. Johdesylintereissä on anturointi, joiden avulla varmistetaan, että vasteet ovat varmasti alhaalla, kun ohjelma käynnistyy.

Suurin haaste koko robottisolun suunnittelussa oli se, kuinka kappaleet saa työstettyä irti asti. Terän täytyy läpäistä vaahtomuovikappale pohjasta asti. Jos valmiit kappaleet jäisivät vähänkään kiinni aihioon, joutuisi ne leikkaamaan käsin irti toisistaan. Tämä hidastaisi tuotantoa ja mahdollisesti laskisi kappaleiden laatua. Ratkaisu tähän ongelmaan on laittaa pehmeää materiaalia pöydän päälle, joka antaa työstäessä sopivasti periksi, niin että terä pääsee hieman kappaleen alle.

Materiaalin täytyy myös päästää läpi ilmaa. Materiaaliksi valittiin avosoluinen solumuovi, ja sen päälle asennettavaksi ilmaa läpäisevä kangas, jonka tarkoitus on helpottaa työkalun liukumista materiaalin päällä.

Pöytä on ylimitoitettu tämänhetkisille tuotteille, koska tulevat tuotteet saattavat olla nykyisiä isokokoisempia ja suuremmasta pöydästä ei koidu merkittävää kustannusten nousua tai muuta haittaa.

3.2.4 Alipainekehitin

Alipainekehittimeksi valittiin puhallintyyppinen laite. Alipaine puhaltimet sopivat erityisen hyvin huokoisten materiaalien, kuten vaahtomuovin kiinnitykseen. Opinnäytetyön robottisolun työstöalueella tulee olemaan kappaleiden kiinnitystavasta ja materiaalin tyypistä johtuen runsaasti alipaine vuotoja. Alipaine puhaltimet kompensoivat näitä vuotoja hyvin, koska ne siirtävät suuria määriä ilmaa (IIT Kanpur 2009).

Alipainepumppuihin verrattuna alipainepuhallin kehittää vähemmän paine-eroa, mutta tämä ei ole meidän sovelluksessamme ongelma, koska kappaleiden kiinnitysvoima on omissa testeissämme todettu riittäväksi, vaikka paine-ero on ollut pieni.

Liian suuri paine-ero voisi tulla jopa ongelmaksi, koska pehmeä vaahtomuovi saattaisi painua kasaan, ja siten tehdä halutunlaisen muodon työstämisen mahdottomaksi. Tästä syystä robottisolun valittu Schmalz SGBL-FU 180-400-4 -alipainepuhallin on varustettu taajuussäätimellä, ja puhallusteho on näin ollen hallittavissa (Schmalz 2019).

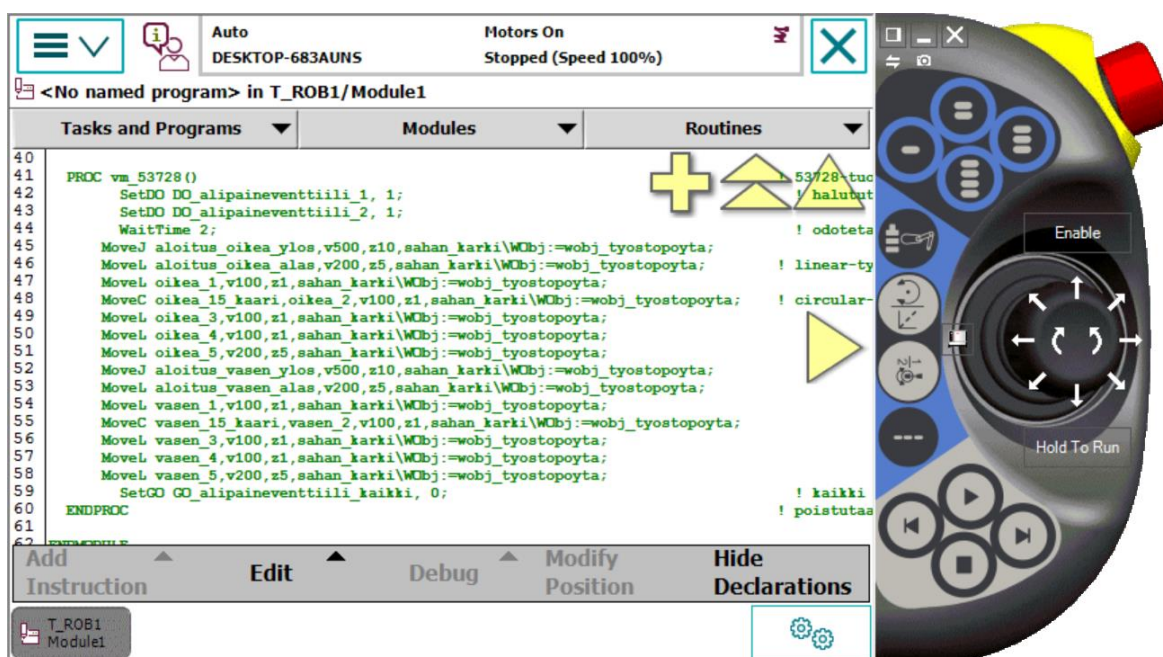
3.2.5 Turvalaitteet

Robottisolua ympäröi turva-aita ja sen sisään kuljetaan etupuolen liukuoven kautta. Ovesa on mekaaninen salpa ja rajakytkin, joka kytketään robotin hätäpysäytyspiiriin. Häätäseis-katkaisija on sijoitettu solun etuosaan, mistä robottia ohjataan. Hätäpysäytys katkaisee myös paineilman työkalusta. Ennen kuin robotin käynnistäminen on mahdollista, on oven vieressä sijaitsevaa kuittauspainiketta painettava. Painikkeen luota on hyvä näkyvyys vaara-alueelle, jota vaaditaan koneturvallisuuden EU-määräyksissä (Siirilä 2008, 138.).

Soluun asennetaan näkyvälle paikalle valo, joka varoittaa käynnissä olevasta automaattijosta. Robotin toiminta-alue on ohjelmallisesti rajattu, eli robotti pysähtyy ja antaa virheilmoituksen, jos sitä yritetään ohjata määritellyn alueen ulkopuolelle.

3.2.6 Solun tuotantokäyttö

Robottia käytetään suoja-aidan ulkopuolelta FlexPendant-käsiohjain kautta (kuva 7). Kosketusnäytön toiminta on mahdollisimman helppokäyttöiseksi suunniteltu. Näytön ensisijainen tarkoitus on valita oikea ohjelma nopeasti. Käyttöliittymä toteutetaan ABB:n omalla ScreenMaker-ohjelmalla.



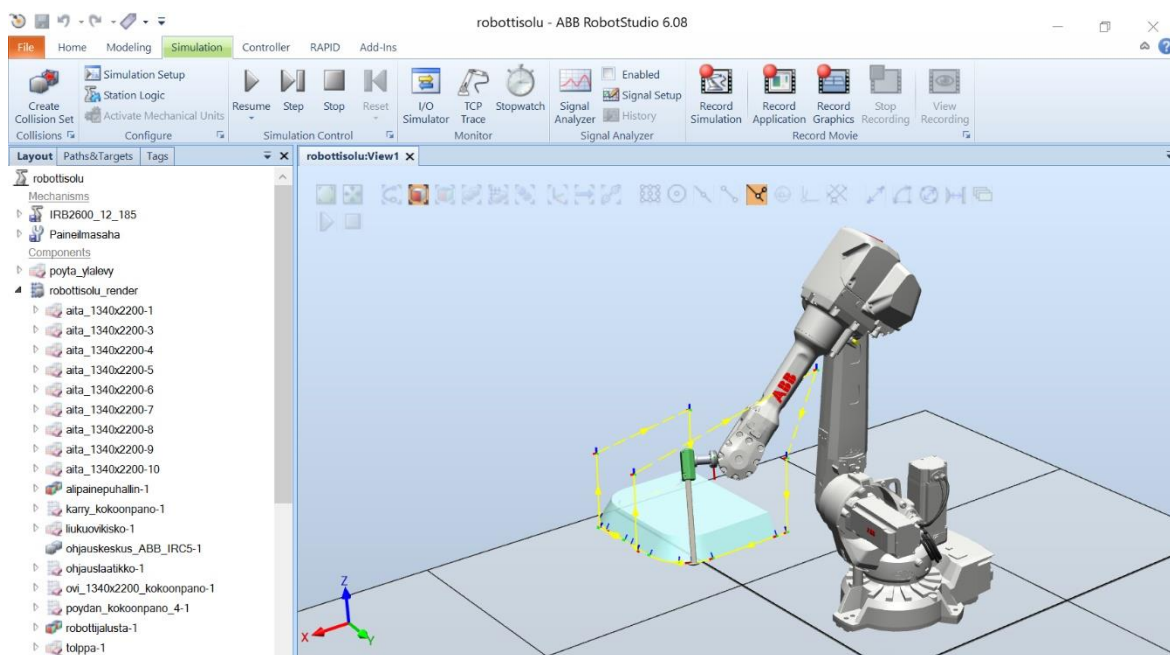
Kuva 7. Virtuaalinen FlexPendant-käsiohjain

4 SOLUN SIMULOINTI

Robottisolun toimintaa simuloitiin RobotStudio-ympäristössä (kuva 8). RobotStudio perustuu tarkkaan kopioon oikeista robotteja ohjaavasta ohjelmistosta. Opinnäytetyössä ohjelmistoa käytettiin sopivan robottimallin valintaan, robotin optimaalisen asennuspaikan etsimiseen ja työstöjen simulointiin.

Simuloinnissa käytettiin hyväksi aiemmin SolidWorks-ohjelmassa tehtyjä 3D-malleja. Painelmasahan mallia hyödynnettiin, kun siitä luotiin robottiin liitettävä työkalu ohjelman kirjastoon. Samaan aikaan määriteltiin työkalun massa, painopiste ja työkalupiste, eli TCP.

Ohjelmisto mahdollistaa työstöohjelmien etukäteen valmistelun, joka on eduksi, kun tuotantosolu halutaan nopeasti käyttöön asennustöiden jälkeen.



Kuva 8. Työstön simulointia RobotStudio-ohjelmassa

Robotin ohjelmat luodaan Robotstudio-sovelluksessa ABB:n RAPID -ohjelmointikielellä. Työstöohjelmat ovat yksinkertaisia, sisältäen pääasiassa robotin liikekäskyjä ja lähtöjen ohjaukskäskyjä (kuva 9).

Robotille luodaan työkoordekoordinaatisto, joka mukailee pöydän pinnan geometriaa. Työstöradat käyttävät tätä samaa koordinaatistoa.

Origo asetetaan robottiin päin katsottaessa pöydän vasempaan takakulmaan. Samassa kulmassa kohtaavat myös tuotettavien kappaleiden kohdistuksessa käytettävät vasteet. Pöydän muotoa seuraavasta työkohdekoordinaatistosta on hyötyä silloin, jos pöytää tai robottia joutuu jostain syystä siirtämään. Tällöin riittää, että työkohdekoordinaatiston paikatiedot päivitetään, ja vanhat työstöradat toimivat edelleen ilman muutoksia.

```

1  PROC main()                                ! pääohjelma
2  SetDO DO_alipaineohjaus, 1;                ! alipainekehitin käynnistetään
3  SetDO DO_vasteent_taka, 1;                ! kohdistusvasteet alas
4  SetDO DO_vasteent_vasen, 1;
5  WaitDI DI_alipaineanturi, 1;              ! odotetaan että alipainetta on tarpeeksi
6  WaitDI DI_vasteanturi_taka, 1;            ! odotetaan että vasteet on alhaalla
7  WaitDI DI_vasteanturi_vasen, 1;
8  MoveJ kotiasema,v1000,z50,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta; ! joint-tyyppinen liikekäsky kohti kotiasemaa
9  vm_53728;                                  ! 53728-tuotteen aliohjelman kutsu
10 MoveJ kotiasema,v1000,z50,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta; ! robotti palaa kotiasemaan
11 SetDO DO_alipaineohjaus, 0;                ! sammutetaan alipainekehitin ja nostetaan vasteet
12 SetDO DO_vasteent_taka, 0;
13 SetDO DO_vasteent_vasen, 0;
14 ENDPROC
15
16 PROC vm_53728()                             ! 53728-tuotteen aliohjelma
17 SetDO DO_alipaineventtiili_1, 1;          ! halutut alipaineventtiilit aukaistaan
18 SetDO DO_alipaineventtiili_2, 1;
19 WaitTime 2;                                 ! odotetaan 2s perhosventtiilien aukeamista
20 MoveJ aloitus_oikea_ylos,v500,z10,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
21 MoveL aloitus_oikea_alas,v200,z5,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta; ! linear-tyyppinen liikekäsky
22 MoveL oikea_1,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
23 MoveC oikea_15_kaari,oikea_2,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta; ! circular-tyyppinen liikekäsky
24 MoveL oikea_3,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
25 MoveL oikea_4,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
26 MoveL oikea_5,v200,z5,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
27 MoveJ aloitus_vasen_ylos,v500,z10,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
28 MoveL aloitus_vasen_alas,v200,z5,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
29 MoveL vasen_1,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
30 MoveC vasen_15_kaari,vasen_2,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
31 MoveL vasen_3,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
32 MoveL vasen_4,v100,z1,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
33 MoveL vasen_5,v200,z5,sahan_karki\WObj:=wobj_tyostopoyta;
34 SetGO GO_alipaineventtiili_kaikki, 0;    ! kaikki alipaineventtiilit suljetaan
35 ENDPROC                                     ! poistutaan aliohjelmasta
36
37 ENDMODULE

```

Kuva 9. Esimerkiohjelman RAPID-koodia

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella robottisolu, joka tulee olemaan osa uutta tuotantolinjaa. Solun tarkoitus oli täydentää linjan toimintaa, niin että vaahtomuovikappaleisiin voitaisiin leikata erilaisia muotoja mahdollisimman monipuolisesti.

Tuloksena syntyi lista valituista osista, solun pohjapiirros, 3D-mallit, ohjelmakoodia ja suunnitelma solun toiminnasta. Opinnäytetyölle annetut tavoitteet toteutuivat.

Solun toimintaan liittyviä lisätestejä on luvassa lähitulevaisuudessa. Tutkittavana on muun muassa tavat, joilla voitaisiin tehokkaammin leikata kaarevia muotoja robotin avulla.

LÄHTEET

Suomen robotiikkayhdistys ry 2016. Teollisuusrobotiikkatilastot 2016 [viitattu 17.3.2019]. Saatavissa: <http://roboyhd.fi/wp-content/uploads/2018/04/Teollisuusrobottilastot-2016.pdf>

ABB 2019. Working range IRB 2600-12/1.85 [viitattu 17.3.2019]. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600/irb-2600-data>

Bosch 2019. Pneumatic foam rubber cutter Professional. [viitattu 17.3.2019]. Saatavissa: <https://www.bosch-professional.com/gb/en/products/pneumatic-foam-rubber-cutter-0607595100>

IIT Kanpur 2009. Fans and blowers. The National Programme on Technology Enhanced Learning. [viitattu 1.3.2019]. Saatavissa: <https://nptel.ac.in/courses/112104117/39>

Schmalz 2019. SGBL-FU 180-400-4. J. Schmalz GmbH. [viitattu 17.3.2019]. Saatavissa: <https://www.schmalz.com/en/vacuum-technology-for-automation/vacuum-components/vacuum-generators/vacuum-blowers/frequency-regulated-vacuum-blowers-sgbl-fu/10.04.02.00069>

Lehtonen, J.-M. 2004. Tuotantotalous. Vantaa: WSOY.

Siirilä Tapio 2008. Koneturvallisuus. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.