



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Veli-Matti Kilponen

MUOVIPROFIILIN AUKOTUSROBOTIN KEHITYS

Primo Finland

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Veli-Matti Kilponen
Opinnäytetyön nimi	Muoviprofiilin aukotusrobotin kehitys
Vuosi	2020
Kieli	Suomi
Sivumäärä	27 + 1 liitettä
Ohjaaja	Mika Billing

Opinnäytetyö tehtiin Primo Finlandille Vaasaan. Työn aiheena oli muoviprofiilin aukotusrobotin kehitys valmiina olevaan robottisoluun. Työn haasteena oli aukotusrobotin kehitys erilaisten muoviprofiilien koneistukseen, joissa kuviot voivat olla erilaisia. Robottisoluun täytyi myös kehittää vaihdettava työstötuki, jotta erilaisten muoviprofiilien tukeminen onnistuu myös tulevaisuudessa helpommin. Työssä piti ottaa huomioon myös se, ettei tuotanto hidastu ja koneistetuista profiileista tule vaatimusten mukainen.

Tuotekehityksessä on usein ongelmana se, ettei valmiita ratkaisuja ole vielä olemassa. Oli suunniteltava ja valmistettava uusi työstötuki muoviprofiilia varten ja robotti täytyi ohjelmoida tekemään aukotuksia. Täytyi myös tutustua muoviteollisuuden sekä muoveihin enemmän ja testata erilaisia koneistusteriä.

Työn tuloksena syntyi vakaa työstötuki muoviprofiilille, joka yksinkertaisuudessaan ei hidasta muoviprofiilin valmistusta, ja robotti ehtii tekemään aukotukset muoviprofiiliin, vaikka profiili etenisi 2 metriä minuutissa. Havaitut ongelmat ovat tiedossa ja kaikkia tietoja voidaan hyödyntää erilaisten muoviprofiilien koneistuksessa, koska monessa tapauksessa muoviprofiili on tuotettu erilaisella raaka-aineseoksella. Koneistuksen jälki on hyvä ja robotti toimii ilman ongelmia.

ABSTRACT

Author	Veli-Matti Kilponen
Title	Further Development of the Plastic Profiles Machining Robot
Year	2020
Language	Finnish
Pages	27 + 1 Appendices
Name of Supervisor	Mika Billing

The thesis was done for Primo Finland in Vaasa. The subject of this thesis was further development of the plastic profiles machining robot, where the machining is done on a moving plastic profile. The robot cell was already made for earlier purposes, but now a more powerful and flexible solution was sought for different kind of plastic profiles.

A problem in a product development is often that the ready-made solutions do not exist, so a new support for the plastic profile had to be designed, the robot programmed to do the machining. It was also necessary to study the plastic industry more, and to test different kinds of milling tools.

The result of the thesis is a steady machining support for the plastic profile, which in its simplicity does not slow down the extrusion process of the plastic profile, and the robot has time to make the machining on the plastic profile. The problems are known and all the data can be utilized on the machining of different plastic profiles, because in many cases the plastic profile is produced with a different material mixture and so every product needs a different approach to the machining. The machining quality is good and the robot is working well.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
2	TEOLLISUUSROBOTIIKKA.....	9
3	MUOVITEOLLISUUS & TEKNOLOGIA.....	10
	3.1 Muovit materiaalina.....	10
	3.2 Muovituotteiden valmistusteknologiat.....	10
	3.3 Muoviprofiilin valmistus.....	11
	3.4 Muoviprofiilin lastuava työstö ja terän vaikutus työstöön.....	11
	3.5 Terän valinta.....	12
	3.6 Työstöstä aiheutuva värinä.....	14
4	LIKKUVAN MUOVIPROFIILIN KONEISTUS.....	15
	4.1 Profiilin paikotus mittapyörällä.....	15
	4.2 Robotin optio, Conveyor Tracking.....	15
	4.3 Suunnittelu.....	17
	4.4 Robotin ohjelmointi.....	19
	4.5 Työstösuunnan vaikutus jälkeen.....	20
	4.6 Työstöjätteenpoisto.....	21
	4.7 Ongelmat.....	23
5	YHTEENVETO & LOPPUPÄÄTELMÄT.....	25
	LÄHTEET.....	27

LIITTEET

KUVALUETTELO

Kuva 1. Terän spiraali leikkaa muoviprofiilia.....	12
Kuva 2. Tasapäinen terä venyttää muoviprofiilin pintaa.....	13
Kuva 3. Teräväkärkinen terä menee muoviprofiilista läpi helpommin.....	13
Kuva 4. Mittapyörän välittämä nopeus liikuttaa koordinaatistoa, joka sijaitsee muoviprofiilin sahauksen kohdalla.	16
Kuva 5. Mallinnettu työstötuki ja robottisolu.	17
Kuva 6. Työstötuen rullasto.	18
Kuva 7. Työstötuki, jonka läpi muoviprofiili kulkee.	19
Kuva 8. Robotti tekee aukotuksia simulaatiossa.	20
Kuva 9. Koneistetun aukon keskelle jää kappale, joka on työstöjätettä.....	22
Kuva 10. Työstöjäte sähköistyy ja leviää ympäriinsä.	23
Kuva 11. Terä katkesi vaativan aukotuksen aikana.....	24
Kuva 12. Muoviprofiili saapuu sahaukseen.	26

SELITTEET JA KÄYTETYT LYHENTEET

Ekstruusio	Työstömenetelmä, jossa sula muovimassa puristetaan tarkkaan muotoillun suuttimen läpi
Robottisolu	Alue/häkki, jossa robotti sijaitsee
Kara	Terän kiinnityspaikka
Työstötuki	Muoviprofiilin aukotusvaiheen tuki
Mittapyörä	Pulssianturissa kiinni oleva mittalaite
RobotStudio	ABB:n robotin ohjelmointiin käytetty ohjelmisto

LIITELUETTELO

LIITE 1. Robotin aukotusohjelma, RAPID-koodi

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää muoviprofiilin aukotusrobottia paremmaksi, monipuolisemmaksi sekä tehokkaammaksi muoviprofiilien aukotukseen. Aikaisemmin aukotusrobotille oli tehty liukujen päällä kulkeva työstökiinnitin, joka kulki työvaiheen ja työstön ajan muoviprofiilin mukana, mutta se oli hitaampi ja pienille tehtäville suunniteltu. Kehitystyössä täytyi ottaa huomioon mahdollisimman tehokas robotin työskentely, muoviprofiilin valmistusprosessi ja muoviprofiilin valmistus tuotteeksi.

Ongelmana oli se, että robottia ei ole tehty monelle erilaiselle muoviprofiilin työstölle. Tarkoitus oli lähteä kehittämään joustavampaa aukotusrobottia useille erilaisille muoviprofiileille vaihdettavan työstötuen ansiosta. Ongelmana oli myös se, että muoviprofiilin valmistus ei saisi hidastua merkittävästi nopeatempoisen aukotuksen takia, ja muoviprofiilin koneistus täytyisi onnistua hyvin sekä tehokkaasti vaikka muoviprofiilin valmistusvirta olisi nopea. Valmiin muoviprofiilin täytyy olla myös vaatimusten mukainen, koska tuotannossa valmistetaan tuotteita asiakkaiden tarpeisiin.

Opinnäytetyö tehtiin Primo Finlandille, joka on osa kansainvälisesti toimivaa maailmanlaajuisesta yhtiötä, ja Primolla on toimipisteitä Kiinassa, Tanskassa, Saksassa, Norjassa, Alankomaissa, Puolassa, Venäjällä, Ruotsissa, sekä meillä Suomessa.

Primo on erikoistunut muoviprofiileiden valmistukseen ekstruusio -menetelmällä, ja se valmistaa myös muita muovituotteita monenlaisiin käyttötarkoituksiin. Tuotteita valmistetaan mm. rakennustekniikkaan, valaistukseen, voimalaitoksiin, lääketieteeseen, logistiikkaan ja elektroniikkaan.

2 TEOLLISUUSROBOTIIKKA

Teollisuuden automatisoituessa robotiikka ja automaatio ovat avainasemassa, ja robottiala tarvitsee uusia osaajia ja uusia innovaatioita tuotannon kehittyessä. Teollisuusrobotiikkaan kuuluu myös älykäs insinöörityö, jota ilman Suomi ei olisi teollistunut niin nopeasti.

Robotteja tarvitaan hyvin paljon metalliteollisuudessa, konepajoilla ja erilaisissa kokoonpanotehtävissä. Kuitenkin Suomessa roboteista yli 10 % on yhteistyörobotteja. Vaikka Suomen asema robotiikassa on laskenut koko 2000-luvun, niin silti Suomessa kehitetään uusia innovaatioita ja uusia käyttötarkoituksia robotteihin liittyen, kuten tässäkin opinnäytetyössä innovaatiotyö on hyvin esillä (Metallitekniikka 25.10.2019, 24).

Yleensä teollisuudessa tarvitaan nopeita, tehokkaita, väsymättömiä ja tarkkoja robotteja, jotka tekevät ihmisille raskaat työt paljon tehokkaammin samalla, kun ihmiset voivat tehdä muita töitä siinä ohella. Robotit eivät kuitenkaan ole huoltovapaita, eli niidenkin käyttö, ohjelmointi ja huolto tarvitsee työntekijöitä sekä ammattilaisia teollisuuden alalle.

Tuotannossa voidaan käyttää erilaisia robotteja moniin työtehtäviin. Robotit valitaan käyttötarkoituksen, sekä työn vaativuuden mukaan. Robotit voivat tehdä monta työtehtävää vaihdettavien työkalujen ansiosta, ja siten toista robottia ei välttämättä tarvita hoitamaan eri työvaihetta. Robotit eivät myöskään väsy, joten tämä on yksi syy, miksi robotiikka on kasvava ala teollisuudessa ja tuotannossa, jolla säästetään myös ihmisiä rasittavilta töiltä.

Robotteja voidaan laittaa mm. kokoonpanotehtäviin, hitsaamaan, maalaamaan, pitämään kappaleita paikoillaan, hoitamaan ihmisille raskaita työtehtäviä sekä nopeutta ja tarkkuutta vaativiin tehtäviin.

3 MUOVITEOLLISUUS & TEKNOLOGIA

Muoviteollisuus on kasvanut vahvasti yhdessä muovien kehittämisen ja 1900-luvun teollistumisen aikana (Muovitekniikan perusteet 2008, 26).

3.1 Muovit materiaalina

Muoveja ja muoviin rinnastettavia materiaaleja on maailmassa hyvin paljon erilaisia ja uusia muovilaatuja kehitetään koko ajan. Erilaisia materiaaleja kehitetään eri käyttötarkoituksiin, ja muoveista voidaan räätälöidä ominaisuuksiltaan erilaisia yhdistelmiä sekoittamalla eri muoviraaka-aineita keskenään. On hyvin tavallista, että joka päivä me käsittelemme ja käytämme muovista valmistettuja tuotteita ilman, että ajattelemme, kuinka ne on valmistettu. Oleellisin osa muovista on polymeeri, joka on yleisimmin öljyn jalostusprosessissa eroteltu molekyylillä.

Muoveja jaotellaan eri luokkiin ja erilaisien ominaisuuksien perusteella omiin kategorioihin. Nykyään pyritään myös lisäämään biomuovien käyttöä ympäristön kuormittamisen hillitsemiseksi, mutta hyvin tärkeä osa ympäristön säästämistä on muovien kierrättäminenkin.

Ominaisuuksiltaan muoveissa on paljon eroja. Kertamuoveja ei voi sulattaa ja muovata uudelleen ilman polymeerin hajoamista, ja kestopuovut taas kestävät sulatusta ja muovausta uudelleen ja uudelleen. Joitakin muoveja kutsutaan valta-
muoveiksi, näitä ovat mm. PE, PP ja PVC. Tekniset muovit mm. ABS, polyamidit ja PET löytyvät monista kodin tuotteista. Hyvin yleinen tekninen muovi on PET, ja tämän kirjainyhdistelmän voi löytää esimerkiksi muovipullon kyljestä (Muovitekniikan perusteet 2008).

3.2 Muovituotteiden valmistusteknologiat

Muovituotteita valmistetaan monella eri tavalla, ja jokaisella valmistusmenetelmällä saadaan valmistettua erilaisia tuotteita. Seitsemän päämenetelmää ovat:

Ekstruusio, puhalluskalvoekstruusio, kalanterointi, puhallusmuovaus, ruiskuvalu, lämpömuovaus ja rotaatiovalu (Muovitekniikan perusteet 2008, 73-129).

3.3 Muoviprofiilin valmistus

Muoviprofiili valmistetaan ekstruusio-menetelmällä sulattamalla muovirakeet lämmitetyssä kammiossa, jossa ruuvi kuljettaa sekä puristaa sulan muovimassan tarkkaan valmistetun suuttimen kautta ulos. Tämän jälkeen muoviprofiili menee jäähdytyskanavaa kohti, jossa työkalut pitävät muoviprofiilin oikeassa muodossa samalla, kun vesi jäähdyttää muoviprofiilin kovaksi muoviksi (Muovitekniikan perusteet 2008, 100-103).

Valmistuksessa voidaan käyttää erilaisia raaka-aineseoksia muovin ominaisuuksien muuttamista varten, ja muoviprofiilin valmistuksessa voidaan käyttää eri värisiä muovirakeita eri värisen lopputuotteen saamiseksi. Muoviprofiilin valmistuksessa voidaan myös käyttää kahta ekstruusiotta, jos halutaan esimerkiksi osa muoviprofiilin pinnasta värjätä eri väriseksi.

3.4 Muoviprofiilin lastuava työstö ja terän vaikutus työstöön

Muoviprofiilin lastuava työstö on samanlaista kuin perinteinen metallien koneistuskin, mutta muovi on materiaalina pehmeämpää ja siinä on sulamisriski. Lastuamisessa on otettava huomioon työstönopeudet sekä terän ominaisuudet, koska nämä yhdessä vaikuttavat työstöjälkeen ja syntyviin värinöihin (Muovitekniikan perusteet 2008, 129-133).

Muovia koneistaessa terällä on suuri vaikutus työstöjälkeen ja muovin käyttäytymiseen työstön aikana. On otettava myös huomioon terän ominaisuudet, koska pehmeää muovia työstäessä terässä täytyy olla vähemmän leikkuita tukkeutumisen ehkäisemiseksi, jos muovi on paljon kovempaa, niin silloin voidaan käyttää monileikkuisia teriä ilman tukkeutumista tai muovin sulamista (Valmistustekniikka 2003, 140-149).

3.5 Terän valinta

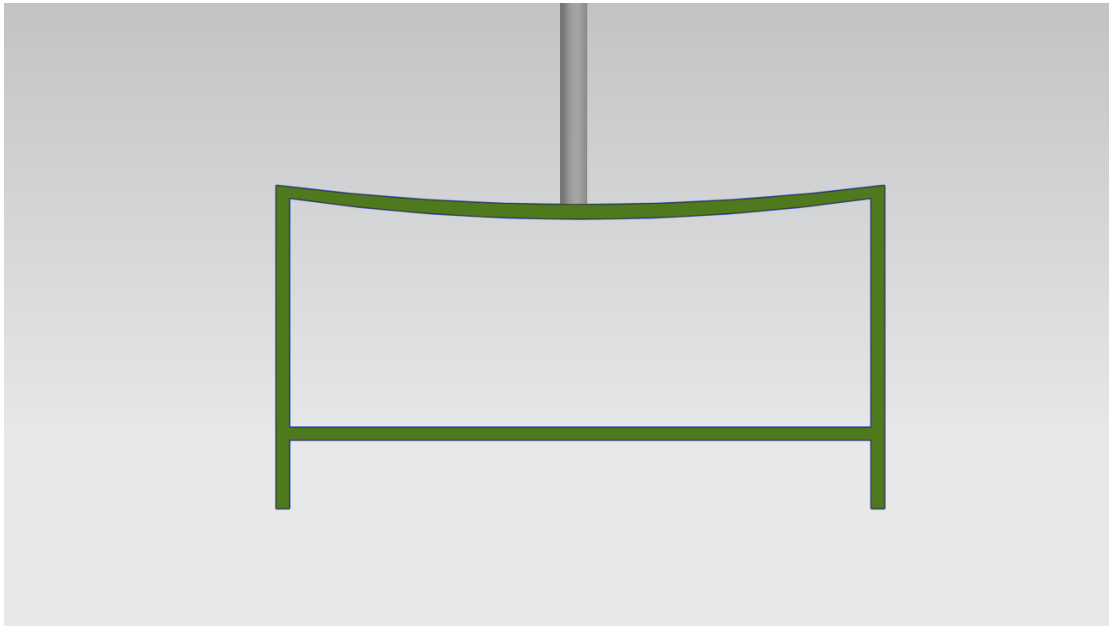
Terää valittaessa täytyy ottaa huomioon muovin laatu, muoviprofiilin muodot, työstettävä kuvio ja työstönopeus, koska kaikki nämä yhdessä vaikuttavat työstöjälkeen, ja kuinka hyvin koneistus onnistuu.

Lähtökohtaisesti sama terä ei toimi jokaisen muovilaadun ja aukotuksen kohdalla, koska terillä on erilaisia ominaisuuksia ja muotoja, jotka vaikuttavat koneistuksen etenemiseen. Esimerkiksi terän spiraali voi nostaa muovia, jolloin muovi alkaa värisemään liikkumalla ylös ja alas hyvin nopeasti. Tässä tapauksessa jyrkemmällä spiraalilla oleva terä on parempi vaihtoehto, koska muovi ei kerkeä nousemaan koneistuksen aikana ja terä leikkaa siististi muoviprofiilin reunaa (Kuva 1.).

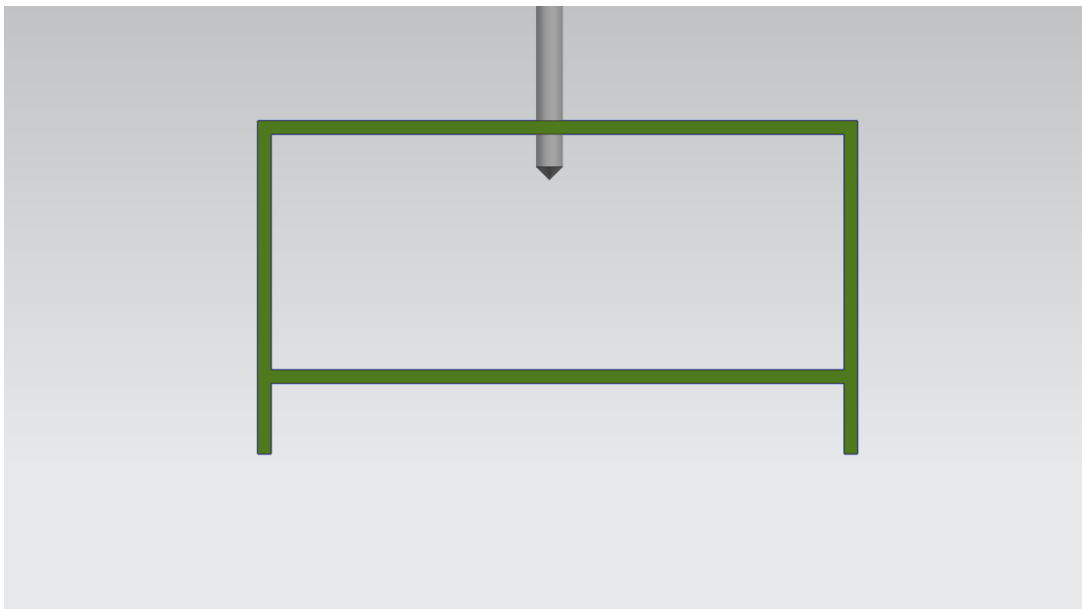


Kuva 1. Terän spiraali leikkaa muoviprofiilia.

On huomioitava myös muoviprofiilin pinta, josta terän on mentävä läpi, jotta aukotus voi alkaa (Kuva 2-3.). Koneistus tapahtuu, kun terä kulkee sivuttain profiilin reunaa myöten ja spiraalin terävä reuna leikkaa siivuja muovista pois.



Kuva 2. Tasapäinen terä venyttää muoviprofiilin pintaa.



Kuva 3. Teräväkärkinen terä menee muoviprofiilista läpi helpommin.

3.6 Työstöstä aiheutuva värinä

Työstettäessä mitä tahansa materiaalia koneistamalla, siitä syntyy värinää, joka johtuu terän kautta työstökoneeseen, sekä työstettävään materiaaliin. Värinä on aaltomaista liikettä, joka tulee takaisin muovin joustavien ominaisuuksien vuoksi.

Värinää on vaikea hallita tai poistaa kokonaan, mutta muoviprofiili on hyvin tuetuna työstötuen kohdalla, joten se auttaa aukotusvaiheessa värinöiden ehkäisemisessä.

Värinää ei johdu pelkästään työstötukeen tai muoviprofiiliin, vaan teräkin voi alkaa värisemään, ja mitä pidempi sekä ohuempi terä, niin sitä suurempi riski terän värinälle on. Käytettäessä pitkiä teriä vaativimmissa muoviprofiilien aukotuksissa on todettu, että terä alkaa värisemään sitä enemmän, mitä kauempana terä karasta on. Terän värinä aiheuttaa myös työstöjäljen huononemista, ja värinä aiheuttaa myös muovin lohkeilua sekä repeilyä koneistetussa kohdassa.

4 LIKKUVAN MUOVIPROFIILIN KONEISTUS

Liikkuvan muoviprofiilin koneistus tapahtuu tuotannossa muoviprofiilin valmistuslinjalla, jossa on koko prosessi alusta loppuun, muoviprofiilin ekstruusiosta loppukäsittelyyn. Tämän valmistuslinjan puolivälissä sijaitsee aukotusrobotti, jolla koneistetaan liikkuvan muoviprofiilin aukot. Aukotuksessa on otettava huomioon muoviprofiilin valmistusnopeus ja kuinka paljon prosessin aikana muoviprofiilin nopeus voi muuttua.

Aukotusrobotin jälkeen muoviprofiili katkaistaan oikeaan mittaansa, ja tästä robotti saa signaalin, jonka robotti määrittelee liikkuvaksi koordinaatistoksi aukotuksia varten.

4.1 Profiilin paikotus mittapyörällä

Robotin ominaisuuksiin kuuluu signaalien vastaanottaminen sekä lähettäminen. Robotille saadaan tieto muoviprofiilin nopeudesta mittapyörään kytketystä pulssianturista, joka sijaitsee muoviprofiilin päällä. Signaali lähtee mittapyörästä, menee robotin ohjausyksikköön ja se käsitellään dataksi, joka siirtää työkoordinaatistoa muoviprofiilin liikkeen mukaan ja siten robotti pystyy tekemään koneistukset juuri oikealle kohdalle liikkuvaan koordinaatistoon.

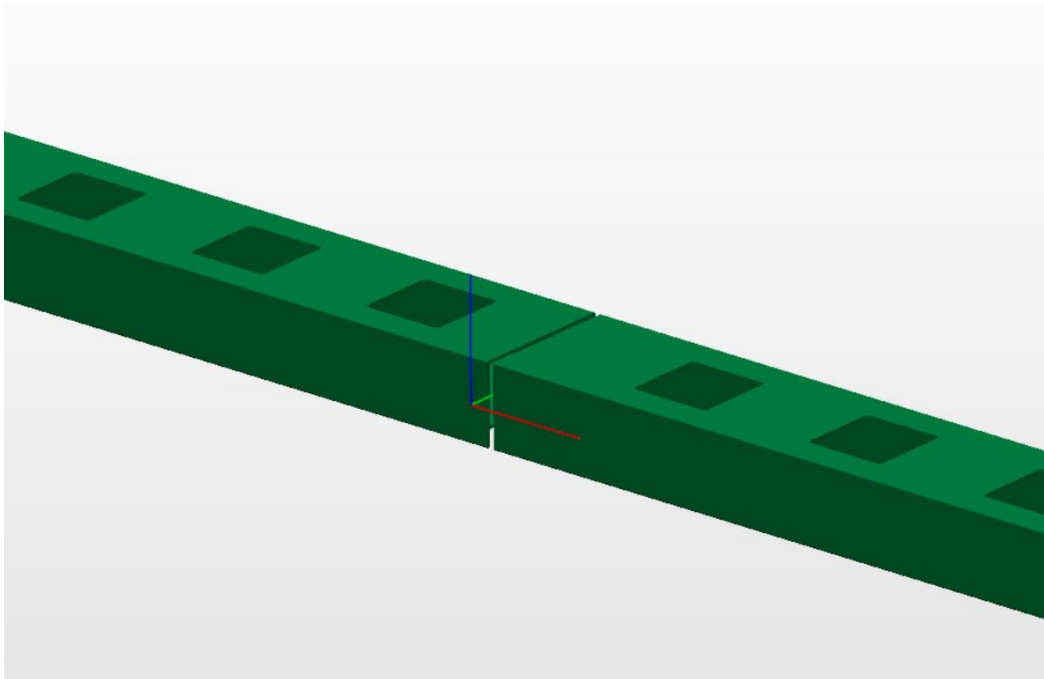
On tärkeää paikoittaa muoviprofiilin liike oikein, koska muoviprofiilin sahaus antaa tiedon robotille missä nolapiste sijaitsee. Muoviprofiili sahataan liikkeessä, eli saha ottaa kiinni profiilista, liikkuu mukana ja leikkaa ohjelmoituun mittaan.

4.2 Robotin optio, Conveyor Tracking

Robotteihin on saatavilla erilaisia lisäosia ja ominaisuuksia. Tässä työssä tarvittiin Conveyor Tracking -ominaisuutta, joka on tarkemmin sanottuna kuljetin-ominaisuus, jonka avulla voidaan simuloida, mallintaa ja seurata liikkuvia kappaleita niin, että robotti tietää, miten sen täytyy toimia liikkuvan kappaleen kohdalla. Yleisesti tämä ominaisuus on käytössä kuljettimien yhteydessä toimivissa robo-

teissa, joissa poimitaan kappaleita liikkuvilta kuljettimelta. Mutta tässä työssä ei ole kuljetinta vaan liikkuva muoviprofiili, joka tulee yhtenä kappaleena niin kauan, kun muoviprofiilin valmistus on käynnissä.

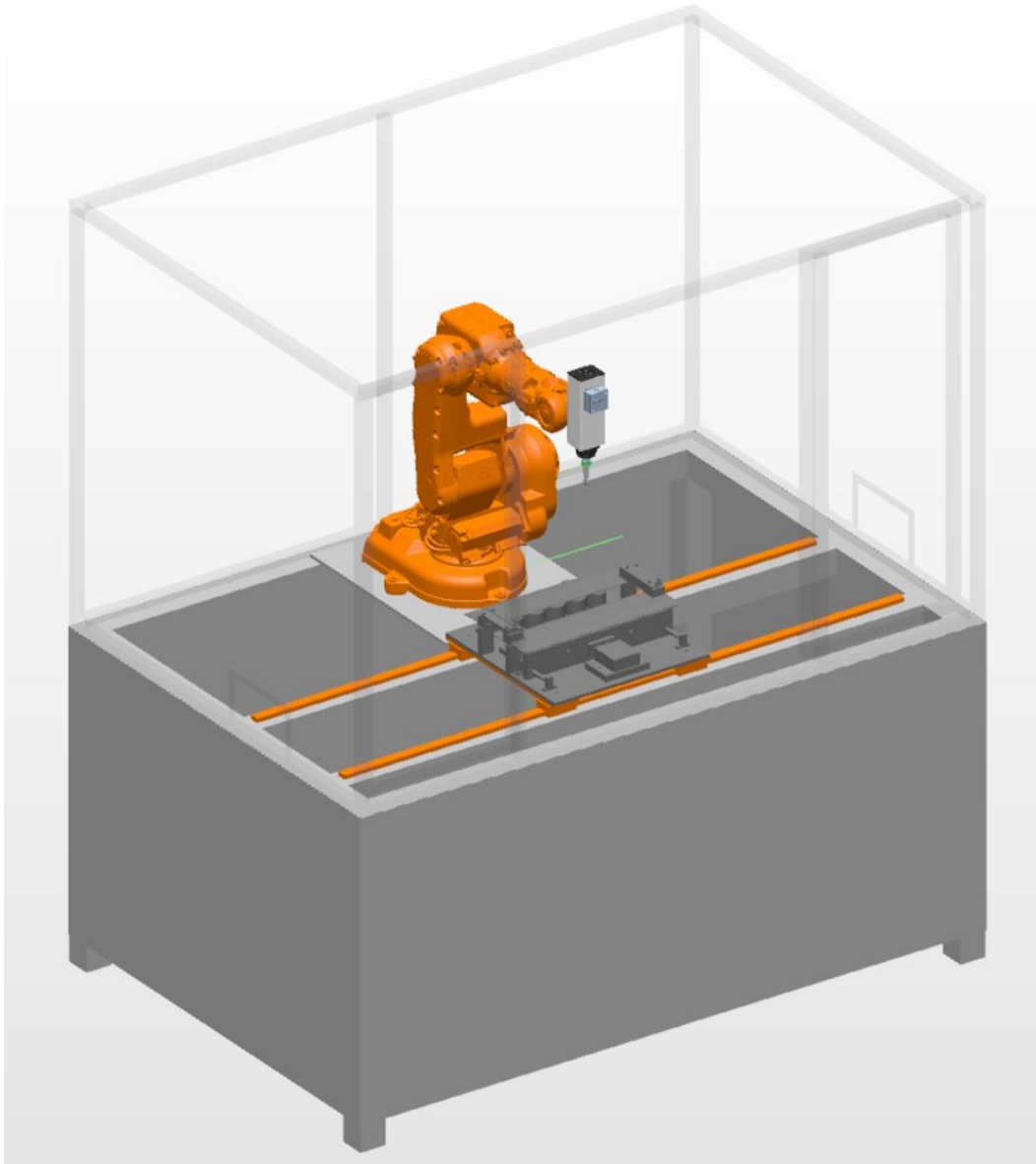
Robotti tarvitsee tietoa muoviprofiilin liikkeestä ja siitä täytyy tulla millin tarkkaa tietoa, milloin koneistus pitäisi aloittaa ja kauanko koneistusta jatketaan. Robotin ohjelmoinnin yhteydessä määritellään myös profiilin pituudet sekä työstönopeudet, jotka yhdessä Conveyor Tracking -ominaisuuden kanssa mahdollistavat koneistuksen oikealla kohdalla, vaikka muoviprofiili liikkuu koko ajan eteenpäin (Kuva 4.).



Kuva 4. Mittapyörän välittämä nopeus liikuttaa koordinaatistoa, joka sijaitsee muoviprofiilin sahauksen kohdalla.

4.3 Suunnittelu

Työn aikana täytyi mallintaa työstötuki osineen sekä robottisolu ja tehdä kokonaisuudesta selkeä havainnollistava malli RobotStudio-ohjelmistoon, jossa voidaan ohjelmoida, sekä simuloida robotin toimintaa ja työskentelyä (Kuva 5.).



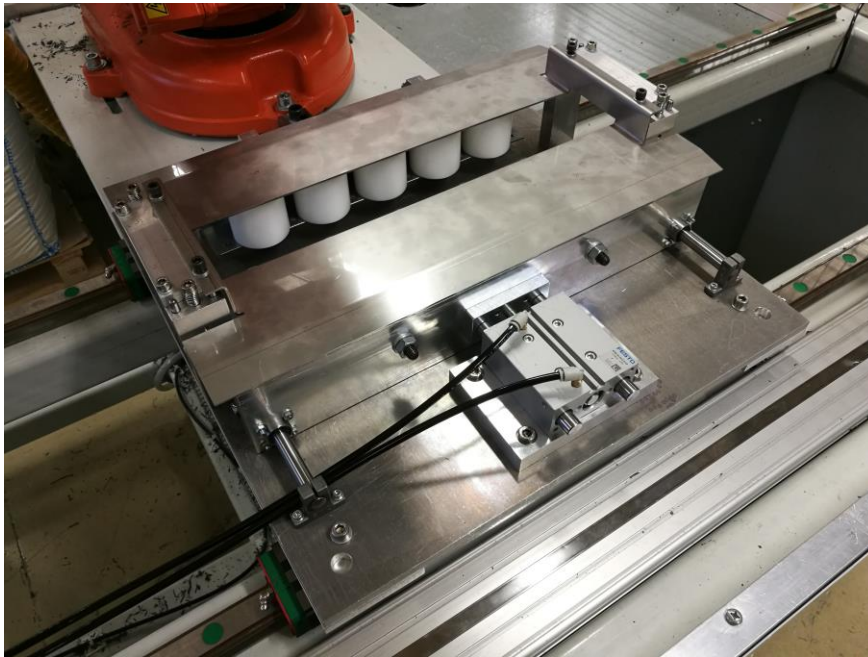
Kuva 5. Mallinnettu työstötuki ja robottisolu.

Projektissa oli otettava huomioon muoviprofiilin liike, joka voi olla monta metriä minuutissa ja robotti tekee koneistuksen työstötuen kohdalla liikkuvaan kappaleeseen. Otimme työssä huomioon nopeuden ja prosessin sujuvuuden yksinkertaisella toteutuksella. Työstötuen suunnittelu alkoi ajatuksella, että siinä täytyi olla mahdollisimman vähän liikkuvia osia, ja siksi työstötukeen tuli rullaohjaus, jonka läpi muoviprofiili kulkee ja pysyy täysin vakaana koneistuksen ajan. Tämä osoitautui hyvin toimivaksi ja välyksiä ei tullut itse rullien ja kiinnityspisteiden väliin, koska muoviprofiili puristetaan johdesylinterin voimasta omalle linjalleen, jossa se kulkee (Kuva 6.)



Kuva 6. Työstötuen rullasto.

Työstötuen päällä on irrotettava suoja, jonka alle suunniteltiin rullat painamaan muoviprofiilia myös alaspäin kuularullia vasten. Tässä muoviprofiili ei enää pääse liikkumaan muualle kuin eteenpäin, koska se on tuettuna joka puolelta (Kuva 7.)



Kuva 7. Työstötuki, jonka läpi muoviprofiili kulkee.

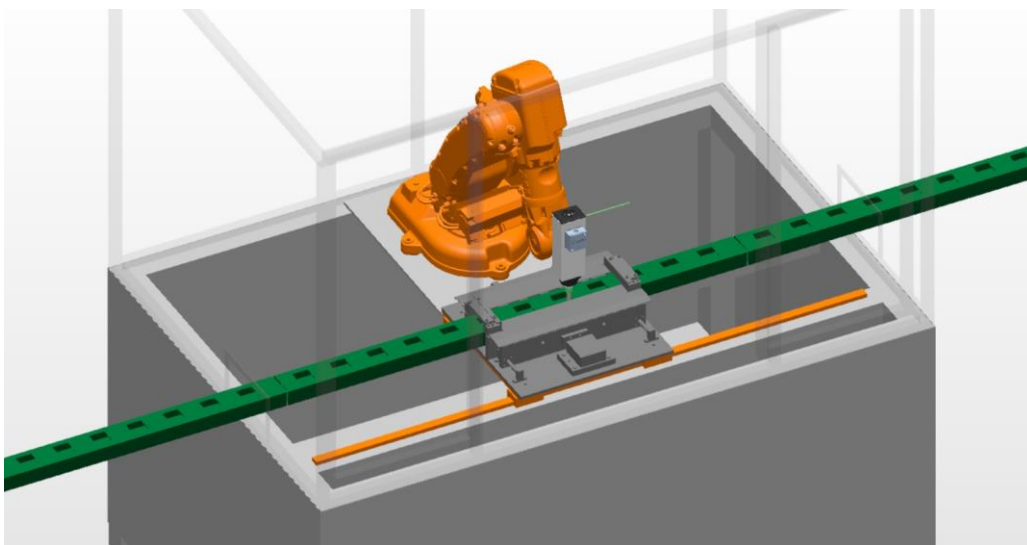
4.4 Robotin ohjelmointi

Tämän työn pääosassa oli robotin ohjelmointi, joka tapahtui RobotStudio-ohjelmiston kautta. Ohjelmoinnissa otetaan huomioon muoviprofiilin paikotus, nopeus sekä työstönopeudet, jotka täytyy sovittaa muoviprofiilin liikkeeseen. Huomasimme myös, että työstönopeus vaikutti kuvion kokoon ja kaikkia korjauksia jouduttiin laittamaan robotin ohjelmaan. Robotti ei kuitenkaan ole kaikkein tarkin tekemään koneistuksia, ja robotin liikkeissäkin on jo virhetoleranssi. Robotin laitteistossa on ohjelmoitavia parametrejä paljon, ja myös mittapyörän välittämät pulssit asetetaan vastaamaan kuljettua matkaa. Kehän pituus täytyy asettaa robotin ymmärtämään muotoon.

Robotti saa tiedon jokaisesta muoviprofiilin sahauksesta, ja tämän tiedon ansiosta robotti tietää nollapisteen, josta aukotus lähtee liikkeelle. Simulaatioon laitettiin valmiiksi mallinnettu muoviprofiili, jonka avulla voitiin tarkastella ja tehdä havaintoja työvaiheista ja aukotuksen etenemisestä. Ensimmäisenä ohjelmoinnin

jälkeen oli tärkeää tarkistaa toimivuus sekä robotin liikeradat ongelmien varalta. Robotin toiminta reaali maailmassa ei kuitenkaan vastaa simulaatiota, joten viimeistely suoritettiin oikean robotin parissa (Kuva 8.).

Robotin ohjelmaan laitettiin myös tarvittavat turvaominaisuudet, että joidenkin vikatilanteiden ja hätäseispainikkeen painamisen jälkeen robotti voi tehdä kotiutusliikkeen määriteltyyn paikkaan. Kaikki ei kuitenkaan toimi automaattisesti ja joskus robotti pysähtyy paikoilleen, jos aiheutuu suurempi ongelma.



Kuva 6. Robotti tekee aukotuksia simulaatiossa.

4.5 Työstösuunnan vaikutus jälkeen

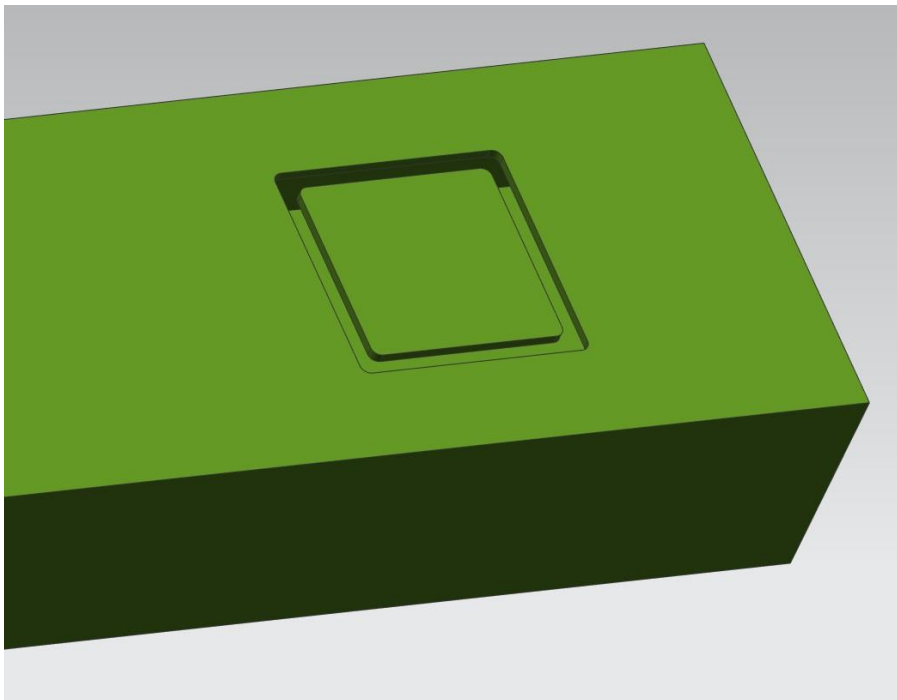
Aukotuksessa on otettava huomioon työstöliikkeet, koska nämä vaikuttavat aukotuksen jälkeen, ja tämä vaikuttaa myös hyvin paljon terän ja muovin väliseen käyttäytymiseen. Terällä on taipumus ohjata itseään siinä suhteessa, mihin leikkaava pinta terästä kohdistuu ja mihin suuntaan terä pyörii.

Muoviprofiilia työstäessä suurilla nopeuksilla työstösuunnan vaikutus työn jälkeksi oli merkittävä, koska tässä tapauksessa aukot olivat eri kokoiset kummallakin työstösuunnalla. Jos työstösuunta on myötäpäivään, niin kuvioista tuli suurempia, ja jos taas työstösuunta on vastapäivään, niin kuvioista tuli pienempiä. Työstönopeudet vaikuttivat aukotuksien kokoon, koska voimat kohdistuu robotin käsivarteeseen, joka joustaa erilaisten kuormien vaikutuksesta (Valmistustekniikka 2003, 164).

4.6 Työstöjätteenpoisto

Muoviprofiilin aukotuksessa syntyy todella paljon ylimääräistä työstöjätettä, joka on hienojakoista muovipurua, ja myös kuvioiden keskelle jäänyt muovikappale on työstöjäte, joka tippuu hyvin usein profiilin sisälle tai lentää terän pyörimisvoimasta johonkin suuntaan. Aukotuksesta jäänyt muovikappale voi pahimmassa tapauksessa jäädä terään kiinni, jos se on profiilin päällä aukotuksen alkaessa. Tästä syystä muoviprofiiliin voi tulla halkeama pyörivän muovikappaleen takia tai robotti voi jopa pysähtyä, jos terän mukana pyörivä muovi osuu kiinteään kappaleeseen robotin tehdessä aukotusta (Kuva 9.).

Terän pyörimisnopeus on 18 000 kierrosta minuutissa ja työstöliike on suhteellisen nopea. Tästä syystä työstöpuru lentää hallitsemattomasti ympäriinsä, jos tätä ei rajata millään tavalla. Työstöjätettä pyritään ohjaamaan ilmavirran avulla työstötuen yli kaukaloon, joka on yhteydessä imuriin. Hitaammilla työstöliikkeillä saataisiin työstöpurusta hienojakoisempaa ja kevyempää, jolloin työstöjäte olisi helpompaa hallita ilmavirtauksien avulla, mutta muovipurua myös sähköistyy ja tarttuu helposti pintoihin (Kuva 10.).



Kuva 9. Koneistetun aukon keskelle jää kappale, joka on työstöjätettä.



Kuva 10. Työstöjäte sähköistyy ja leviää ympäriinsä.

4.7 Ongelmat

Tuotekehityksessä tulee hyvin paljon uusia kysymyksiä ja uusia havaintoja, kuinka tuotteesta voisi tehdä paremman. Tässäkin projektissa havaintoja tehtiin paljon, ja tarkastelimme robotin toimintaa, sekä työstötuen toimivuutta erilaisissa tilanteissa. Robotin käsivarren joustavuus vaikuttaa aukotuksen tarkkuuteen, ja sen myötä mittavirheet ovat mahdollisia. Huomasimme myös, kuinka eri työstönopeuksilla on vaikutusta mittavirheisiin. Muoviprofiilin liikkeen vaikutus on myös otettava huomioon, koska robotin käsivarteen vaikuttavat voimat vaihtelevat ja siten aiheuttavat erilaisen työstöjäljen työstettävään muoviprofiiliin. Jos robotiin vaikuttaisivat samat voimat koko ajan, niin koneistuksen laatukin pysyisi samana.

Vaativampien aukotusten aikana tulee eniten ongelmia, ja siinä tarvitaan kokonaisuuden huomioonottamista. Liian suurella työstönopeudella voidaan pilata sekä

työnjälki, että aukotus. Jotkin muoviprofiilit vaativat kahden kerroksen aukotusta kerralla, joten pitkiä teriä käyttäessä se täytyy ottaa huomioon (Kuva 11.).



Kuva 7. Terä katkesi vaativan aukotuksen aikana.

5 YHTEENVETO & LOPPUPÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää muoviprofiilin aukotusrobotia erilaisten muoviprofiilien aukotusta varten, ilman että tuotanto hidastuu ja laatu heikkenee. Täytyi myös selvittää erilaisten terien käyttäytyminen muovin työstämisessä, ja oli myös otettava huomioon, ettei muoviprofiilin valmistusprosessi hidastu aukotusrobotin takia.

Muoviprofiilin aukotus robotilla on suhteellisen tuntematon menetelmä ja sen takia oli erityisen tärkeää selvittää, kuinka yksinkertaiseen sekä tehokkaaseen ratkaisuun aukotusrobotin kehityksellä päästään.

Kehitystyön loppupuolella huomattiin monia asioita, joita olisi myös voinut tehdä toisella tavalla, mutta tässä kehitystyössä saavutettiin kuitenkin määritellyt tavoitteet ja aukotusrobotilla on nyt paremmat mahdollisuudet tehdä erilaisia muoviprofiilien aukotuksia tulevaisuudessakin. Aukotusrobotilla voidaan tehdä koneistuksia nyt tarkemmin ja paremmin. Tuotannossa aukotusroboti teki töitä hyvin tehokkaasti, eikä robotin ohjelmisto antanut vakavia vikailmoituksia. Koneistuksen laatukin on ollut erittäin hyvä ottaen huomioon pienen teollisuusrobotin rajallisuuden sekä uudenlaisen menetelmän pienet ongelmat (Kuva 12.).

Muoviprofiilin koneistukseen ja aukotusrobotin kehittämiseen liittyi hyvin vahvasti alan tunteminen, opittujen asioiden hyödyntäminen ja jatkuva opiskelu työn onnistumisen takaamiseksi. Tämän työn edetessä täytyi opiskella ja ottaa selvää eri asioista, sekä täytyi testata suunniteltuja muutoksia käytännössä ennen kuin aukotusrobotia käytettiin tuotannossa.



Kuva 8. Muoviprofiili saapuu sahaukseen.

LÄHTEET

Metallitekniikka, 201868300. 25.10.2019, s.24. Robotti uudistaa Suomessa – pitkästä aikaa.

Muovitekniikan perusteet. V. Kurri, T. Malèn, R. Sandell, M. Virtanen, P. 2008. Opetushallitus.

Valmistustekniikka. Ihalainen E., Aaltonen K., Aromäki M. & Sihvonen P., P. 2003. Otatieto.

LIITE 1

MODULE MainModule

TASK PERS wobjdata

wobj1:=[FALSE,FALSE,"CNV1",[[0,0,0],[1,0,0,0]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];

TASK PERS tooldata jyr-

sin:=[TRUE,[[201.361,0.446451,37.6048],[0.707106781,0,0.707106781,0]],2,[4
1,0,0],[1,0,0,0],0,0,0];

!Valinnan muuttuja

VAR num nValinta;

!Keskeytysmuuttuja

VAR intnum hairio;

!Aukotuksen keskeytys, Hätäseis

VAR intnum poistu;

!Virhekeskeytys

VAR intnum err_int;

!Keskeytyspiste

CONST robtarget pKeskeytys:=[[0,-500,550],[-
0.000000407,0.707637451,0.706575713,0.000000221],[-
2,0,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,0]];

!Kotipiste

CONST robtarget pKoti:=[[489,0,500],[0,0,1,0],[-1,-
1,0,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,0]];

!Aloituspiste kohti porauspaikkaa

CONST robtarget pAlku:=[[489,0,263],[0,0,1,0],[-1,-
1,0,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,0]];

!Referenssipisteen paikka (-2mm sahaterän puolikas, x=0 on keskellä terää

CONST robtarget pRefPoint:=[[-2,61,88],[0,-0.707107,0.707107,0],[0,0,-
1,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,0]];

!CONST robtarget pRefPoint:=[[-2,61.1,88],[0,-0.707107,0.707107,0],[0,0,-
1,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,0]];

```
!Työstönopeus
VAR speeddata vMill:=[120,100,50,20];
!Robotin paikkatieto
PERS robtarget pCurrentPos:=[[506.932,6.16025,88.1803],[0.00083181,-
0.00317934,0.999994,-0.000827129],[0,0,-
1,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,2024.02]];
```

```
PROC main()
```

```
!Keskeytystulon määrittelyt / keskeytyspiste
CONNECT hairio WITH keskeytys;
ISignalDI diSpare3,1,hairio;
CONNECT poistu WITH keskeytys;
ISignalDI diHata_Seis_OK,0,poistu;
CONNECT err_int WITH keskeytys;
IError COMMON_ERR, TYPE_ERR, err_int;
```

```
!Kysytään käyttäjältä suoritettava ohjelma
TPReadFK nValinta,"VALITSE TEHTÄ-
VÄ","Varalla","Varalla","Keskeytyspiste","Testaus","Aukotus";
```

```
IF nValinta=3 THEN
Keskeytyspiste;
ELSEIF nValinta=4 THEN
Milltest;
ELSEIF nValinta=5 THEN
!Kuljettimen aktivointi
ActUnit CNV1;
!Jos diSystemOk on päällä suoritetaan rutiini Roboreiitys
WHILE diSystemOk=1 DO
Roboaukotus;
ENDWHILE
```

```
ENDIF
Reset doKaraPaalle;
Reset doKelkanLukitus;
IDelete hairio;
IDelete poistu;
IDelete err_int;
ENDPROC
```

```
PROC Keskeytyspiste()
Reset doKaraPaalle;
Reset doKelkanLukitus;
MoveL pKoti,v500,fine,jyrsin\WObj:=wobj0;
!MoveJ pKeskeytys,v500,z0,jyrsin\WObj:=wobj0;
ENDPROC
```

```
PROC Roboaukutus()
DropWObj wobj1;
WaitTime 0.1;
Set doKelkanLukitus;
Reset doKaraPaalle;
!Valmis triggaukseen
Set doSpare3;
!Odotetaan triggausta sahalta tai painikkeelta
WaitWObj wobj1;
!Estetään uusi triggaussignaali
Reset doSpare3;
!Konfiguraatiovalvonta pois päältä
ConfL\Off;
Set doKaraPaalle;
!Koordinaatiston z-arvon siirto. Kaikki pisteet siirtyvät
wobj1.oframe.trans.z:=0;
MoveL pAlku,v500,z0,jyrsin\WObj:=wobj0;
```

```

!Odotetaan profiilia työalueelle
WaitAI c1Position,\GT,0.60;
!WaitTime 3;
!Kutsutaan aliohjelma käyttäjän valinnan mukaan
TEST nValinta
CASE 1:
!Aliohjelmakutsu
CASE 2:
!Aliohjelmakutsu
CASE 3:
!Aliohjelmakutsu
CASE 4:
Milltest;
CASE 5:
Profile;
DEFAULT:
ENDTEST
!Tracking lopetetaan fine liikekäskyllä peruskoordinaatistossa (esim. wobj0)
MoveL pAlku,v500,fine,jyrsin\WObj:=wobj0;
!Koordinaatiston z-arvon palautus.
!wobj1.oframe.trans.z:=0;
WaitTime 1;
DropWObj wobj1;
ENDPROC

PROC Square(num nXcoord,num nZcoord,num nSize)
MoveL Offs(pRefPoint,nXcoord+nSize/2,0,-75),vMill,z5,jyrsin\WObj:=wobj1;
! MYÖTÄPÄIVÄÄN
! 1. Vasemmalle keskelle
MoveL
Offs(pRefPoint,nXcoord+nSize/2,0,nZcoord),vMill,z10,jyrsin\WObj:=wobj1;
! 2. Vasen yläkulma

```

```

MoveL Offs(pRefPoint,nXcoord+nSize/2,-
nSize/2,nZcoord),vMill,z0,jyrsin\WObj:=wobj1;
! 3. Oikea yläkulma
MoveL Offs(pRefPoint,nXcoord-nSize/2,-
nSize/2,nZcoord),vMill,z0,jyrsin\WObj:=wobj1;
! 4. Oikea alakulma
MoveL Offs(pRefPoint,nXcoord-
nSize/2,nSize/2,nZcoord),vMill,z0,jyrsin\WObj:=wobj1;
! 5. Vasen alakulma
MoveL
Offs(pRefPoint,nXcoord+nSize/2,nSize/2,nZcoord),vMill,z0,jyrsin\WObj:=wobj1
;
! 6. Vasemmalle keskelle.
MoveL
Offs(pRefPoint,nXcoord+nSize/2,0,nZcoord),vMill,z10,jyrsin\WObj:=wobj1;
MoveL Offs(pRefPoint,nXcoord+nSize/2,0,-75),vMill,z5,jyrsin\WObj:=wobj1;

!Otetaan työkalupisteen paikka wobj0:ssa talteen
pCurrentPos:=CRobT(\Tool:=jyrsin,\WObj:=wobj0);
!Jos ollaan yli 100mm y-suunnassa, niin lasketaan nopeutta 10%
IF pCurrentPos.trans.y>50 THEN vMill.v_tcp:=vMill.v_tcp*0.95;
!Jos ollaan alle -100 mm:ssä, niin keskeytetään aukotus.
ELSEIF pCurrentPos.trans.y<-50 THEN StopMove\Quick;
StorePath;
StartMove;
MoveL pKoti,v600,z0,jyrsin\WObj:=wobj0;
Reset doKaraPaalle;
UIMsgBox "Häiriö, profiilin nopeus liian korkea. Aloita ohjelma alusta.";
EXIT;
!Muussa tapauksessa asetetaan sopiva arvo nopeudeksi.
ELSE vMill.v_tcp:=120;
ENDIF

```


ENDPROC

PROC Profile()

!Lähestymispiste

CONST robtarget pApproach:=[[34,50,192.73],[0,-
0.707106781,0.707106781,0],[0,0,-1,1],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,0]];

!Lähestymispisteeseen

MoveL pApproach,v1000,z0,jyrsin\WObj:=wobj1;

!Ensimmäinen kuvio

Square -75,-105,44;

!Loput kuviot

FOR i FROM 120 TO 1320 STEP 120 DO

Square -75-i,-105,44;

ENDFOR

ENDPROC

TRAP keskeytys

StopMove\Quick;

StorePath;

StartMove;

MoveL pKoti,v600,z0,jyrsin\WObj:=wobj0;

Reset doKaraPaalle;

DropWObj wobj1;

UIMsgBox "Häiriö, aloita ohjelma alusta.";

EXIT;

ENDTRAP

ENDMODULE