



Alexi Huhtakangas

Kokoonpanosolun kehittäminen yhteistyörobottien avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

16.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Aleksi Huhtakangas
Otsikko: Kokoonpanosolun kehittäminen yhteistyörobottien avulla
Sivumäärä: 16 sivua
Aika: 16.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Koneautomaatio
Ohjaajat: lehtori Heikki Paavilainen

Tämän insinööri työn aihe perustuu Hioma-aine Oy:lle tehtyyn projektiin Digi-Salama-hankkeessa. Projektin tarkoituksena oli kehittää asiakasyrityksen kokoonpanosolun tuotantoa luomalla kokoonpano-osien työkierto 3D-mallinnuksella ja simuloinnilla. Tavoitteena oli luoda kokoonpanosolusta yhteistyörobottien avulla lähes automatisoitu simulaatio, niin että työntekijän rooli kokoonpanovaiheessa vähenee ja tuotannon nopeus kasvaa.

Projekti tehtiin käyttämällä Siemens NX 3D-suunnitteluohjelmistoa. Työssä luotiin työpisteelle, kokoonpanon osille ja osalle olemassa olevista toimilaitteista 3D-mallit käyttämällä ohjelmiston mallinnusmoduulia. Automatisointia varten simulaatioon päädyttiin valitsemaan Universal Robots -yrityksen UR10- ja UR16e-yhteistyörobotit. Työtilan ahtauden vuoksi robotit toimivat ylhäältä alaspäin työpisteen runkoon kiinnitettynä.

Simulaatio toteutettiin Siemens NX -ohjelmiston simulointimoduulissa. Olemassa olevien toimilaitteiden ja uusien toimilaitteiden 3D-malleille luotiin tarkoituksenmukaiset liikeradat kokoonpanon osien kasausta ja liikuttamista varten. Työntekijän osuus simulaatiossa luotiin yksinkertaisella 3D-mallilla ja liikeradalla.

Osa simulaatiossa käytettävistä liikeradoista epäonnistui tilan ahtauden ja monimutkaisen työkierron takia. Simulaatio hidastui liikkuvien osien suuresta määrästä johtuen ja lopulta se ei vastannutkaan todellista kuvaa. Lopulta saatiin kuitenkin selville todellinen yhden työkierron kesto aika laskemalla yksittäisten liikkeiden kestoajat erikseen.

Avainsanat: cobotit, simulointi

Abstract

Author: Aleksi Huhtakangas
Title: Utilizing Simulation in Automated Assembly Cell
Number of Pages: 16 pages
Date: 16 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Heikki Paavilainen, Senior Lecturer

This Bachelor's thesis is based on a project carried out for Hioma-aine Oy in a larger Digi-Salama project. The purpose of the project was to design an improvement in production of the company using collaborative robots in an assembly cell. The intention was to create a work cycle for the assembly of the parts using 3D-modeling and simulation. This would show how many finished parts could be manufactured in a pre-determined time.

The assembly cell design was meant to be nearly fully automatic, so that the workers' role in the assembly reduces and the production speed increases. Universal Robots' UR10- and UR16e-collaborative robots or 'cobots' were chosen for the automation in the design. The cobots were designed to work upside down to maximize the limited workspace.

The project was carried out by using Siemens NX- CAD/CAM/CAE software. The work station, assembly parts and some of the actuators were created using the Modeling-module. The 3D-models of the cobots, grippers and some of the actuators were obtained from the companies' webpages. The whole design and locations of the objects were created using accurate measurements of the real workstation. The simulation was conducted using the Simulation-module of the Siemens NX. Functional trajectories for the actuators were created and the cobots' movements were designed using inverse kinematics for stacking up the parts and for moving them in the environment. The worker's part was created using a simple 3D-design and trajectory.

Some of the trajectories for the whole design failed due to the complex work cycles and the limited working area. The production speed of the design was slow due to the substantial number of moving objects and the time scale of the production did not correspond to real time. Eventually a real time for one full work cycle was determined using the durations of the single movements of the actuators and cobots.

Keywords: cobots, simulation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Cobotiikka ja simulointi	2
2.1	Universal Robots	4
2.2	Tarttumat ja työkalut	5
2.3	Simulointi	5
3	Prosessin kuvaus ja parantaminen	6
3.1	Muotin kokoonpano	7
3.2	3D-mallinnus ja simulointi	8
4	Simulaation testaus	12
5	Tulokset	14
6	Yhteenveto	15
	Lähteet	16

Lyhenteet

MCD: *Mechatronics Concept Designer*. Siemens NX-ohjelmiston moduuli, jonka avulla voidaan luoda simulaatioita roboteille ja tuotantosoluille.

CAD: *Computer-aided Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu, jota hyödynnetään suunnittelutyössä.

PLC: *Programmable Logic Controller*. Pieni tietokone, jota käytetään automaatioprosessien luomisessa.

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on kokoonpanon kehittäminen yhteistyörobottien avulla. Työn lähtökohtana oli Digi-Salama-hankkeessa jatkettu projekti, jossa pyrittiin kehittämään asiakasyrityksen kokoonpanoa automatisoinnin avulla. Tavoitteina oli nopeuttaa kokoonpanon tuotantoa ja kasvattaa valmistuneiden tuotteiden määrää. Tavoitteena oli myös vähentää työntekijän fyysistä työntekoa osana kokoonpanoa, jolloin työntekijän rooli keskittyy enemmän kokoonpanotahtuman laadun valvontaan. Tuotannon automatisointia tarkastellaan erityisesti yhteistyörobottien kannalta.

Työssä käydään lisäksi läpi Hioma-aine Oy:lle tehdyn projektin tavoitteita ja kulkua sekä yhteistyörobottien teknologiaa

Projekti, johon insinööriyö perustuu, oli jatkoa syksyllä 2020 aloitetulle eri opiskelijoiden toteuttamalle innovaatioprojektille. Jatkotyön lähtökohtana oli käyttää eri suunnitteluohjelmistoa kuin millä projekti oli aloitettu.

Projektin tavoitteina oli luoda 3D-mallit, sekä olemassa oleville laitteille ja työpisteelle, että uusille automatisoinnin mahdollistaville roboteille ja toimilaitteille. Näille malleille tuli suunnitella ja luoda liikeradat, joilla kokoonpanon osien malleja kasataan ja liikutetaan työpisteellä. Toimilaitteiden ja robottien liikkeillä tuli luoda simulaatio, jossa on kolme kokoonpanomuottia liikkeessä ja tavoitteena on saada yksi muotti valmiiksi 30 sekunnissa. Projektin tavoitteisiin kuului lisäksi turvallisuuden huomiointi työntekijän ja robottien yhtenäisessä työskentelyssä. Simulaation avulla oli tarkoituksena myös laskea kokoonpanon läpimenoaika ja tuotantokapasiteetti. Mahdollisiin tavoitteisiin kuului lisäksi simulaation ohjaaminen PLC-järjestelmällä (Programmable Logic Controller) ja oikean PLC:n valitseminen.

2 Cobotiikka ja simulointi

Yhteistyörobotit eli cobotit (eng. *collaborative robots*) on kehitetty helpottamaan yritysten automaatiota. Yhteistä eri yritysten coboteille on niiden nopea käyttöönotto, joka kestää viikoista päiviin, helppo ohjelmointi, joka ei vaadi yleensä paljoakaan kokemusta ohjelmoinnista ja työntekijöiden turvallinen työskentely samassa tilassa niiden kanssa. Suurempien teollisuusrobottien tavoin, myös cobotit on kehitetty keskittymään toistuvien töiden tekemiseen joko yksinään tai muiden robottien kanssa, jolloin työntekijöitä pystytään siirtämään muihin töihin. Toistuvista ja raskaista työvaiheista pois siirretyt työntekijät vähentävät yritysten mahdollisia työtapaturmia ja sairauslomapäiviä. Cobotteja käytetään erityisesti tuotteiden tarkastukseen ja siirtelyyn hallitulla nopeudella. Lisäksi ne on suunniteltu pysähtymään osuessaan syystä tai toisesta työntekijöihin. (1.)

Cobotit ovat suunniteltu monenlaisten työvaiheiden tekemiseen erilaisten tarttujien ja työkalujen avulla. Tarttujia vaihtamalla cobotteja voidaan siirtää toisiin työvaiheisiin vaivattomasti. Osa coboteista on tehty liikuteltaviksi, jotta niiden siirtely olisi mahdollisimman tehokasta. Verratessa teollisuusroboteihin, joiden siirtämisessä vaaditaan usein suuria muutoksia laitteistossa ja ohjelmistoissa, cobotit ovat huomattavasti vaivattomampia muutoksien suhteen. (1.)

Taulukko 1. Eri cobottivalmistajien cobotteja ja niiden ominaisuuksia (2).

Malli	Kuormankantokyky	Ulottuvuus	Toistotarkkuus	Lisätietoa

Doosan Robotics M1509	15 kg	900 mm	+ - 0,03 mm	n. 43 000 €, IP54
Doosan Robotics M1013	10 kg	1300 mm	+ - 0,05 mm	n. 40 000 €, IP54
Fanuc CR14iA/L	14 kg	911 mm	+ - 0,01 mm	n. 40 000 €, IP67
Fanuc CR15iA	15 kg	1441 mm	+ - 0,02 mm	n. 40 000 €, IP54
Omron Techman TM12	12 kg	1300 mm	0,1 mm	n. 33 000 €, IP54
Omron Techman TM14	14 kg	1100 mm	0,1 mm	n. 35 000 €, IP54
Universal Robots UR10	10 kg	1300 mm	0,03 mm	n. 35 000 €, IP54
Universal Robots UR16e	16 kg	900 mm	0,05 mm	n. 40 000 €, IP54

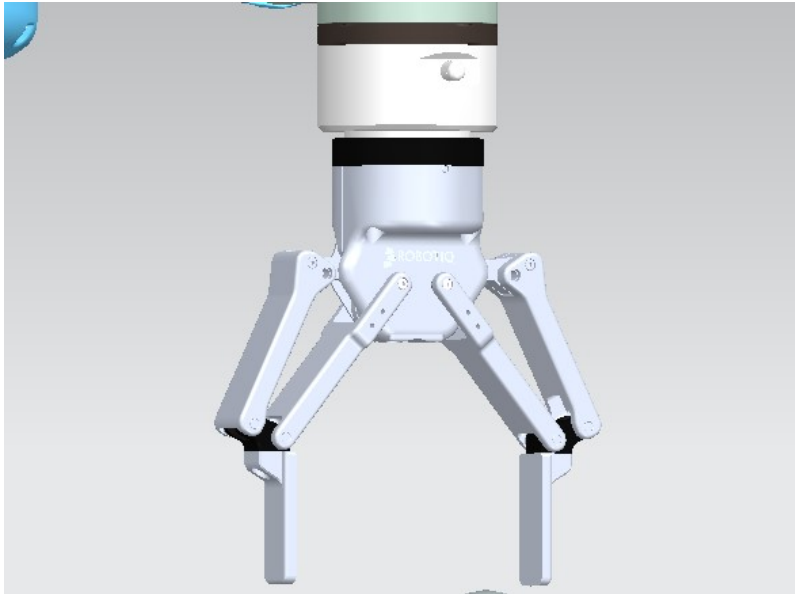
Yleisiä cobotteja tarjoavia yrityksiä ovat mm. Universal Robots, ABB, Denso, KUKA, Omron, Doosan Robotics ja Fanuc. Projektiin valittiin cobotit niiden kuorman kantokyvyn, ulottuvuuden ja hinnan mukaan ja taulukosta 1 selviää miten eri yritysten cobotit vastaavat näitä ominaisuuksia. Cobotit ovat hinta-arvioiltaan hyvin samaa luokkaa keskenään ja ne ovat myös IP54-luokan mukaisesti suojaattuja pölyltä, joka voisi häiritä niiden normaalia toimintaa. Työpisteessä kertyy pölyä mm. siitä, kun kokoonpanon kappaleita pyritään putsamaan harjan avulla kokoonpanojen välissä. Universal Robots -yrityksen UR16e ja UR10 pysyvät yhdessä toimiessaan vastaamaan tuotantoon tarvittavia ominaisuuksia. Ne ovat kevyempiä kuin vastaavan kokoiset muiden yritysten cobotit, mutta pysyvät siitä huolimatta nostamaan yhtä raskaita tai jopa raskaampia kuormia kuin muut. Lisäksi UR16e ja UR10 olivat määritelty jo aikaisemmin projektissa käytettäväksi coboteiksi.

2.1 Universal Robots

Universal Robots tarjoaa yhteistyörobotteja eri kuormitustarpeiden mukaan moniin erilaisiin tarpeisiin. Yrityksen cobotit ovat suunniteltu kaiken laajuisille yrityksille, sillä ne ovat kustannustehokkaita, niiden käyttöönotto on helppoa ja työntekijät pystyvät työskentelemään niiden kanssa samassa tilassa. (3.) Universal Robots -yrityksen coboteista kaksi eri mallia osoittautuivat erityisen hyväksi vaihtoehtoiksi. Projektin alussa päädyttiinkin valitsemaan UR10 ja UR16e simulaatiossa käytettäväksi coboteiksi. Cobottien ohjaamiseen ja ohjelmointiin käytetään mukana tulevaa 12 tuuman kosketusnäytöllistä ohjainta. UR10 cobotilla on käytössä 15 erilaista turvaominaisuutta yhteistyöhön työntekijöiden kanssa ja UR16e:llä taas vastaavasti 17 ominaisuutta, jotka tekevät niiden käytöstä projektissa turvallisen vaihtoehdon.

2.2 Tarttujat ja työkalut

Cobottien tarttujiksi valittiin projektin alussa kaksisormiset Robotiq-yrityksen 2F-140-tarttujat.



Kuva 1. 2F-140-tarttuja UR16e-cobotin käytössä

Näihin päädyttiin sen perusteella, että ne pystyvät tarttumaan jopa 140 mm leveisiin kappaleisiin, sekä niiden asentaminen Universal Robots -cobotteihin on hyvin dokumentoitu ja prosessi on yksinkertainen. Niissä on lisäksi nivelenomaiset keskiosat sormissa, jolloin pyöreisiin osiin tarttuminen helpottuu ja varmentuu. Nämä ovat nähtävillä kuvassa 1 mustina osina tarttujan sormien keskellä. Niiden toimintanopeus on 30–250 mm/s, joten kappaleisiin tarttuminen onnistuu hyvin nopeassa ajassa. Ne pystyvät tarttumaan kappaleisiin joko ns. pinsettiotteella tai ympäröiden kappaleen käsimmäisesti. 2F-140-tarttuja voidaan yhdistää UR-cobotteihin Plug&Play -periaatteella.

2.3 Simulointi

3D-malleja voidaan hyödyntää lukuisilla tavoilla. Digitaalisten prototyyppien avulla pyritään saamaan tuote monipuolisesti testattua ja siten varmistettua,

että se täyttää sille asetetut vaatimukset. Näin voidaan vähentää fyysisten prototyyppien tarvetta ja mahdollistaa tuotteen saanti nopeasti markkinoille.

Nykyiset 3D-mallinnusohjelmat mahdollistavat erilaisten simulaatioiden hyödyntämisen tuotteiden testaamisessa.

Etuja

- Simulaation avulla pystytään ennakoimaan eteen tulevia mahdollisia ongelmia ja eri tilanteita ilman käytännön toteutusta.
- Sen avulla pystytään tunnistamaan materiaalin, tuotannon ja informaation aiheuttamia 'pullonkauloja'.
- Sitä voidaan käyttää tunnistamaan järjestelmän tärkeimmät suorituskykyyn vaikuttavat osatekijät. (4.)

Haittoja

- Simulaatioanalyysin laatu riippuu paljon simulaatiomallista
- Analyysin laatuun vaikuttaa paljon mallia työstävän tekijän taidot
- Se on aikaa vievä ja kallis prosessi, joten kannattaa käyttää muita analyyttisiä tapoja, jos niillä saa aikaan nopeammin tuloksia. (4.)

Tässä työssä simulaation avulla testattiin kokoonpanon toteutumista ja siihen kuluvaa aikaa.

3 Prosessin kuvaus ja parantaminen

Projektin tavoitteena oli löytää sopiva ratkaisu työpisteen kokoamisen nopeuttamiseen. Tämä on jatkoa projektin aikaisempaan työhön ja suunnitelmaan.

Tässä pyritään laatimaan parannettu ja pidemmälle viety suunnitelma sekä toteuttamaan sen simulaatio. Työhön valituille coboteille tuli löytää sopivat sijainnit, jotka ovat työntekijälle turvallisia ja käytännön kannalta toimivia. Cobottien liikeratojen suunnittelu ja muiden toimilaitteiden keskenään toimiminen tuli toteuttaa mahdollisimman tehokkaasti, jotta kokoonpantavan muotin työkiertoaika olisi mahdollisimman lyhyt.

3.1 Muotin kokoonpano

Muotin kokoonpano muodostuu erityyppisistä vaiheista. Muotin sisältö koostuu viidestä eri osasta, jotka ovat pohja, terässelkä, klunssi, tappi ja kansi. Sen lisäksi itse hiomarulla muodostetaan massasta, jonka työntekijä lisää muottiin.

- muotin uuden sisällön kokoaminen
- massan lisääminen muottiin
- kannen asettaminen muotin päälle
- hiomarullan muotoon puristus
- kannen, klunssin ja tapin poistaminen
- muodostetun hiomarullan siirto kärryyn
- pohjan poistaminen

Muotti siirtyy eri vaiheisiin kokoonpanopisteessä neljän eri lineaaritoimilaitteen avulla. Kokoonpanopisteessä käytetään Feston pneumaattisia lineaaritoimilaitteita. Lineaaritoimilaitteisiin on kiinnitetty metalliset tarttujat, joilla muotin siirtäminen helpottuu. Työntekijän rooli on aiemmin ollut purkaa vanha muotti, siirtää puristettu hiomarulla niille varattuun kärryyn, kasata uusi muotin sisältö, lisätä massa ja asettaa kansi paikoilleen sekä muottien osittainen siirtäminen.

Työntekijän osallistumista muotin kierrossa lähdettiin vähentämään cobottien avulla. Niiden sijoittelussakin oli haasteita, sillä työskentelytila oli tarkkaan rajattu. Aiemmin tehdyissä simulaatiomalleissa cobotit olivat sijoitettu työskentelemään molemmin puolin samassa tasossa työntekijän kanssa, mutta tämä ei toteudu käytännössä tilan puutteen vuoksi.

Cobotit päätettiin lopulta sijoittaa toimimaan ylhäältä alaspäin. Ne voitaisiin asentaa pöydässä sijaitsevan hydraulisen puristimen runkoon kiinni. Universal Robots -yrityksen UR16e ja UR10 pystyvät toimimaan tällä tavoin. Niiden koodinaattiakselit täytyy vain kalibroida ensin toimiakseen halutulla tavalla.

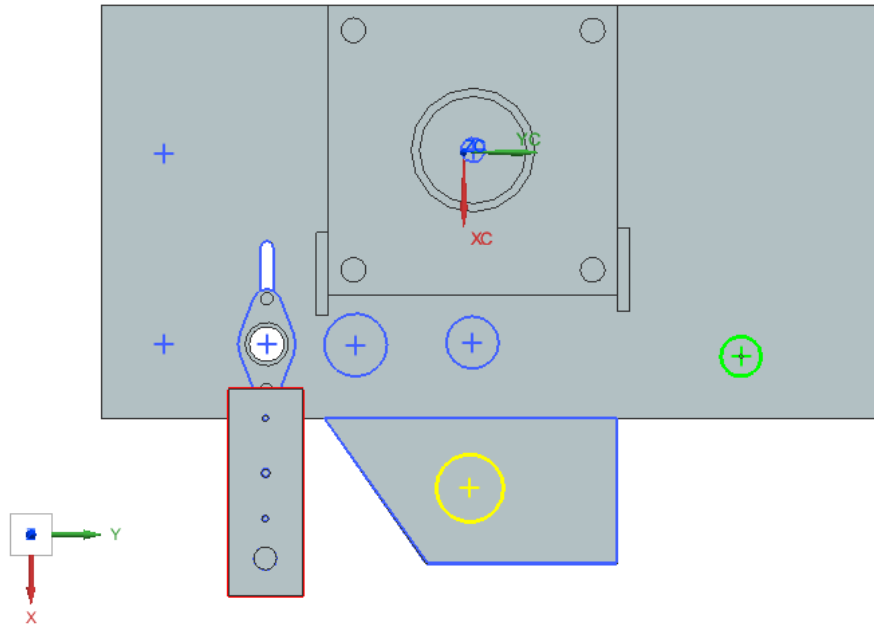
Työntekijän roolia muottien siirtämisessä vähennettiin lisäämällä simulaatioon kaksi uutta lineaaritoimilaitetta. Niiden lisäksi aiempien lineaaritoimilaitteiden sijainteja tuli muuttaa hiukan, jotta kaikki laitteet mahtuivat paikoilleen. Ne aseteltiin simulaatiossa niin, että samaan tilaan mahtuu toimimaan ristikkäin useampi toimilaitte. Kokoamispöydän takaosaan valittiin lineaaritoimilaitte, jonka tehtävänä on vetää muotti hydraulisen puristimen alle. Ensimmäinen sylinteri siirtää muotin kannen laitto -pisteeseen, josta magneettitarttuja siirtää sen seuraavaan pisteeseen. Magneettitarttujaksi valittiin SMC MHM 25D -magneettitarttuja, joka on soveltuva myös UR-roboteille. Toinen uusista toimilaitteista toimii viimeisenä muotin siirtäjänä, kun muotti työnnetään työntekijän eteen. Näin ollen työntekijä vapautuu muottien siirtelystä muihin tehtäviin.

Simulaation luomisessa käytettiin Siemens NX -ohjelmistokokonaisuutta.

3.2 3D-mallinnus ja simulointi

Siemens NX osoittautui hyväksi vaihtoehdoksi simulaation toteuttamiseksi, koska sen sisältämä MCD (Mechatronics Concept Designer) -ohjelmisto mahdollisti 3D-mallinnuksen ja simulaation tekemisen samassa ohjelmassa. Työpisteessä valmiiksi sijaitsevat työpöytä, hydraulinen puristin ja lineaariset toimilaitteet joko mallinnettiin saatavilla olevien mittojen perusteella tai tuotiin internettistä saatavina valmiina malleina. Työpöydän pintaa oli jo aiemmin projektissa muokattu uudenlaiseksi, joten sen mukaan luotiin myös uusi malli. Kuvan 2 sinisistä ympyröistä ja risteistä näkee missä kohdin muottiin tehdään muutoksia tai

missä se pysähtyy liikkeidensä välillä. Pöydän keskellä ylhäällä sijaitsee hydraulisen puristimen runko neliön muotoisena alueena, jonka kulmissa on ympyröillä merkitty sen jalat.



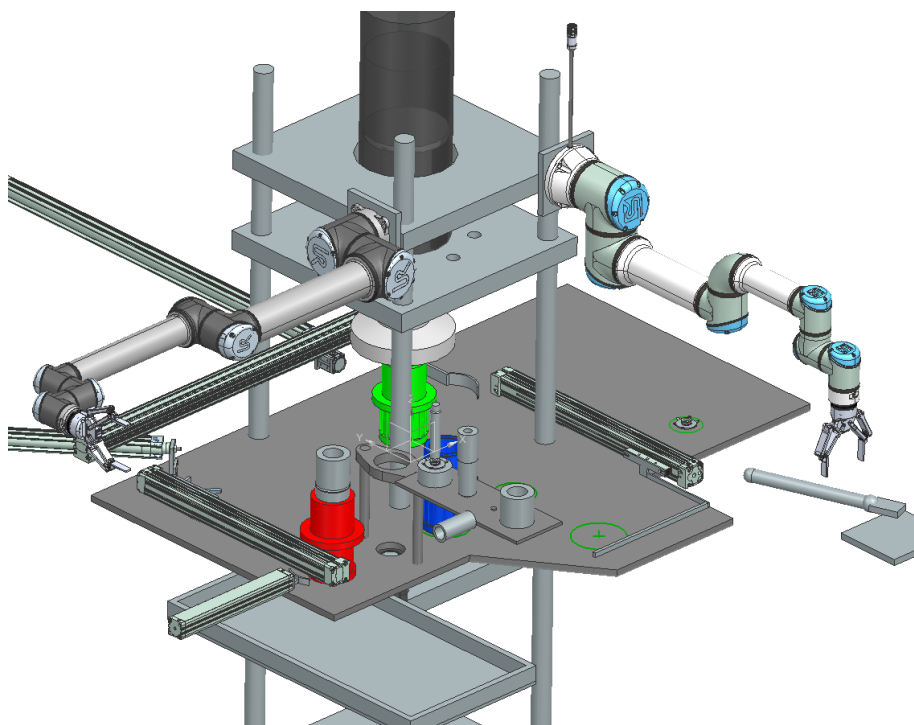
Kuva 2. Uusi simulaatiomalli pöydästä yläpuolelta kuvattuna

Pöytään tarvittiin lisäksi paikka, jonne muotin osia tuodaan väliaikaisesti vanhasta muotista ja siirretään lopuksi uuteen. Kuvasta 2 näkee tämän suorakulmaisen alueen punaisella värillä rajattuna.

Tämä sijoitettiin lähelle pistettä, jossa muotin purkaminen tapahtuu, jolloin cobottien liikkeet tapahtuvat mahdollisimman nopeasti. Pöytään tultaisiin myös sijoittamaan myös harja, jota cobotit käyttävät muotin osien puhdistamisessa purkamisen jälkeen.

Uudet terässelät haetaan uuteen muottipakkaan työpöydän oikeasta laidasta niille varatulta paikalta, joka kuvassa 2 näkyy vihreänä ympyränä. Työntekijä laittaa massan muottiin, jonka aikana muotti pyörii pyöröpöydän päällä levittäen massan tasaisesti muottiin. Pyörivän pöytäosan paikkaa merkitään kuvassa 2 pöydän etuosassa olevan keltaisen ympyrän avulla.

Cobotit ja niiden tarttujien mallit tuotiin valmistajien tarjoamilta verkkosivuilta. Cobottien toiminta simulaatiossa perustuu käänteiseen kinematiikkaan, jossa cobottien nivelien kääntyminen lasketaan sillä perusteella, minne haluttu työkalupiste sijoitetaan kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Nivelien kääntyminen niiden päissä kohtisuoraan sijaitsevien akseleiden suhteen vastaa oikean cobotin nivelissä sijaitsevien moottoreiden pyörimistä. Mallissa haasteena oli cobottien sijoitus niin, että ne eivät aiheuta osumia työpisteen kanssa niiden ollessa sijoitettuna lähelle työskentelypistettä.

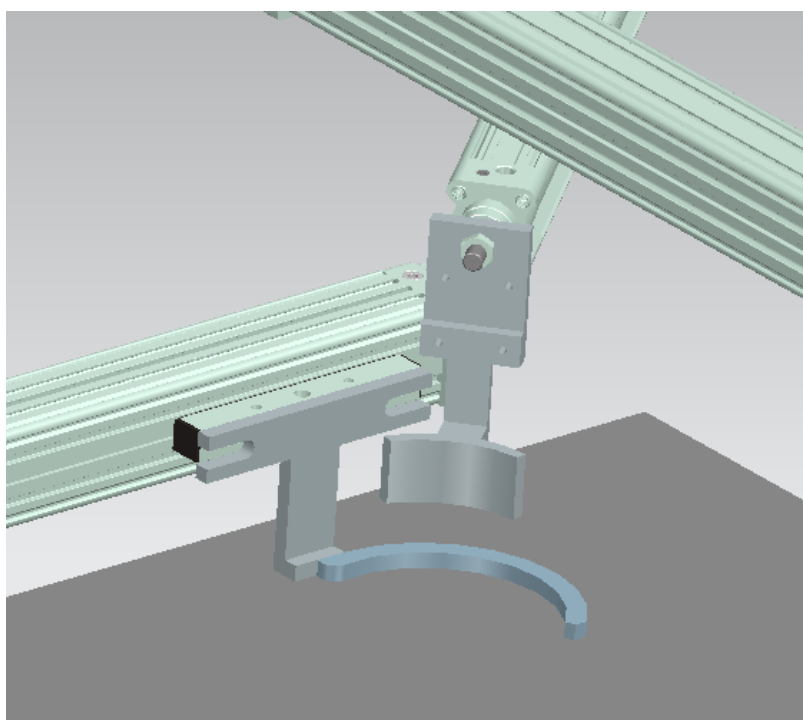


Kuva 3. Työpisteen 3D-malli vasemmasta etuyläkulmasta katsottuna

Kuvasta 3 näkee miten cobotit sijoittuvat toimiessaan ylhäältä alaspäin ja ollessa sijoitettuna kiinni hydraulipuristimen runkoon. Cobottien pohjan ja rungon väliin voitaisiin hitsata alustat, jotta ne saataisiin tukevasti kiinni. 3D-mallin cobotit vaikuttavat täydessä mitassaan kookkailta, mutta työskennellessään ne toimivat pienemmällä alueella lähellä työpisteen pintaa. Näin ollen työntekijä

voidaan myös sijoittaa lähelle työpöytää, jotta massan kaataminen muottiin onnistuu.

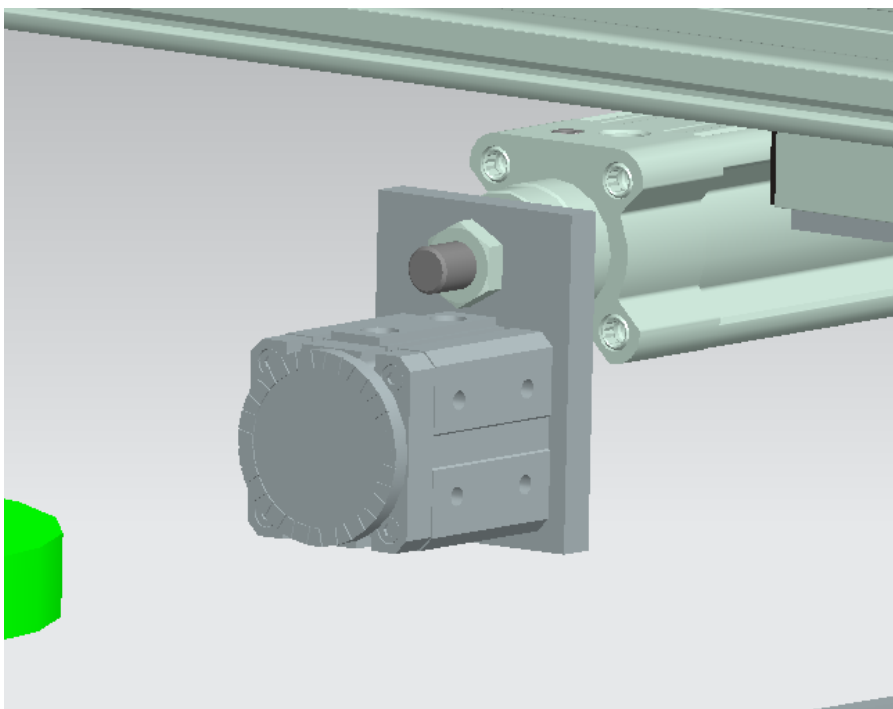
Toiseksi haasteeksi muodostui myös toimilaitteiden ristikkäin toimiminen ja niiden liikkeiden ajoitukset. Kuvasta 4 näkee työpöydän edestä katsoessa vasemmassa takakulmassa kolme toimilaitetta, jotka toimivat jossain työkierron vaiheessa toistensa kanssa samassa linjassa. Näiden yhteen törmäämisen estäminen ja ajoittaminen olivat huomattavan tärkeässä merkityksessä työkiertoajan minimoinnissa. Jotta saatiin mahdollisimman toimiva simulaatoratkaisu aikaan, oli hyvä kokeilla toimilaitteiden eri sijainteja ja korkeuksia. Näiden uusien toimilaitteiden päihin asetettavat tarttumat/työntäjät mallinnettiin simulaatioon sopiviksi ja niiden todennukainen malli saattaisi poiketa hyvinkin mallinnetusta vastineesta.



Kuva 4. Kolme samassa kohtaa toimivaa toimilaitetta

Ensimmäinen sylinteri ei pysty siirtämään muottia massan laittopisteeltä hydraulisen puristimen alle, joten tarvittiin toinen laite samalle linjalle. Ne eivät kui-

tenkaan molemmat pysty toimimaan samalla tavalla koska niiden tarttumat törmäävät tällä tavoin muotteihin. Niinpä toinen uusista toimilaitteista päätettiin sijoittaa simulaatiossa työpöydän takaosaan, josta se vetää muotin kansipaikalta hydraulisen puristimen alle. Kuvasta 5 näkee tämän kyseisen projektiin valitun SMC MHM 25D -magneettitarttujan.



Kuva 5. Mallin magneettitarttuja työpisteen takaosassa

Magneettitarttujan kiinnitystapa on luotu malliin sopivaksi ja käytännön toteutus saattaa ulkomuodollisesti erota hyvinkin mallin kaltaisesta.

4 Simulaation testaus

Simulaatio on monen liikkuvan kappaleen vuoksi hidas, joka estää sen todennukaisen nopeuden havaitsemisen. Cobottien ja lineaaritoimilaitteiden liikeajat saadaan kuitenkin laskettua mallista, jolloin yhden muotin työkiertoaika oli mahdollista selvittää.

Läpimenoajan laskemiseksi alla olevassa taulukossa 2 on määritelty cobottien, toimilaitteiden ja työntekijän tekemät työvaiheet ja niiden kestoajat.

Taulukko 2. Työkierron vaiheet ja niiden kestoajat

Vaihe	Aika (s)
Kannen siirto pois	2,2
Klunssin siirto pois	1,0
Tapin siirto pois	1,1
Klunssi tapin päälle	0,7
Hiomarullan siirto pois	0,8
Uusi sisältö muottiin	0,7
Sylinteri 6 eteen	2,8
Työntekijä laittaa mas- san	8,0
Sylinteri 1 eteen	1,2
Kannen laitto	1,0
Sylinteri 5 eteen	0,4
Hydraulipuristin	3,7
Sylinteri 2 eteen	3,0
Sylinteri 3 eteen	1,2
Sylinteri 4 eteen	1,2
Purkusylinteri ylös	1,5
Tarttujien liikkeet yht.	1,6
Yhteensä	32,1

Taulukossa on mainittu vaiheista vain sellaiset, jotka liittyvät yhden muotin käsittelyyn kerrallaan. Tosiasiassa osa liikkeistä tapahtuu ennakoivasti samanaikaisesti kuin taulukossa mainitut liikkeet, mutta ne ei eivät ole oleellisia yhden muotin kiertoaikaan.

Tuotantokapasiteetti näin ollen tulisi olemaan yksi kappale noin 32 sekunnissa. Suunniteltuun yhden kappaleen työkierron 30 sekunnin kiertoaikaan ei siis aivan päästy simulaation avulla. Mahdollisuutena nopeampaan työskentelyyn voisi olla vielä työkierron parantaminen niin, että useampi toimilaitte pystyisi palautumaan takaisin muiden liikkuesssa. Tämä edellyttäisi lisää kokeilua toimilaitteiden eri sijainneille ja mahdollisesti myös uusien toimilaitteiden tuomista mukaan malliin. Lisäksi työkiertoaikaa voitaisiin mahdollisesti lyhentää muuttamalla välipöydän paikkaa, jossa kokoonpanon kappaleita säilytetään tilapäisesti.

5 Tulokset

Simulaation mallinnus osoittautui haasteelliseksi johtuen suuresta määrästä riskikkäin liikkuvista osista ja muutenkin monista simulaatiossa vaikuttavasta dynaamisista tekijöistä, jotka hidastivat simulaatiota. Cobottien liikeratojen luominen suunnitteluohjelmistossa oli niin ikään haasteellista, kun niiden kääntymisen lähellä työpöytää johtivat usein simulaatiossa kokoonpanopisteeseen törmäämiseen. Lisäksi muotin sisällön simuloinnissa ilmeni haasteita sen koossa pitämisessä simulaation aikana, koska sen koonti- ja purkuvaiheessa osat eivät pysyneet halutuissa paikoissa vaan joko tarttuivat toisiinsa tai kaatuilivat. Simulaatiosta saatiin kuitenkin cobottien ja toimilaitteiden tarpeelliset liikkeet ja niiden kestot, jotta pystyttiin laskemaan haluttu kiertoaika.

Muotin purkaminen ja kokoaminen mallinnettiin ja simuloitiin luultavasti liian pienillä toleransseilla, jolloin simulaatio ei toiminut halutulla tavalla. Projektissa toimivien cobottien toimintatarkkuus on kuitenkin millimetrin kymmenesosa, joka riittäisi todella hyvin todellisia liikkeitä varten. Simulaatiolla pystytään kuitenkin

vain tietynlaisen todellisen kuvan luomiseen ja usein siinä voi olla asioita mitkä muuttavatkin käytännön toteutumista. Haasteina käytännön toteutuksessa voivat olla simulaatiosta puuttuvat tekijät, kuten pöly ja rasva. Muotin kappaleita on tarkoitus pyyhkiä aina ennen niiden siirtoa uusiin muotteihin. Hiomarullissa käytettävä massa aiheuttaa näin pölyä. Työpöydän pintaa myös rasvataan aika ajoin kappaleiden liikkeiden helpottamiseksi ja on tärkeää, että cobotin tarttujan ja kappaleen pinta pysyy puhtaana, koska tämä voi aiheuttaa kappaleiden liukumista tarttujan otteesta.

6 Yhteenveto

Joistakin hankaluuksista huolimatta simulaation avulla saatiin osoitettua, että kokoonpanolle asetettuihin tavoitteisiin voidaan pienellä lisäsuunnittelulla päästä. Simulaation avulla voitiin myös visualisoida kokoonpanotapahtuma. Visualisoinnin pohjalta on helppo havaita kokoonpanon ongelmat ja jatkaa kehitystä.

Luvussa 5 mainitut tekijät kuten pöly, lika sekä valmistuksen mahdolliset epätarkkuudet, ovat tekijöitä, joita simulaatiossa on vaikea huomioida. Kokemus tämänkaltaisesta kokoonpanosta auttaa arvioimaan näiden tekijöiden vaikutusta kokoonpanoon.

Jatkokehitysmahdollisuuksina on cobottien simulaation liikkeiden vienti SIMIT-ohjelmalle, jotta cobottien liikkeet saataisiin toimimaan myös Siemens TIA Portalin avulla. Näin pystyttäisiin valitsemaan käyttöön digitaalinen PLC, jonka perusteella oikeanlaisen PLC:n valitseminen onnistuisi. Kaiken tämän toiminnan varmistuksen myötä seuraavana vuorossa voisi olla cobottien ja muiden laitteiden hankinta.

Lähteet

- 1 TM Robot. Collaborative Robots: Their Many Functions and Applications. Verkkoaineisto. <<https://www.tm-robot.com/en/blog/collaborative-robots-functions-applications/>>. Luettu 15.12.2021
- 2 Universal Robots. 2021. Cobots Offer Game Changing Benefits. Verkkosivu. <<https://www.universal-robots.com/products/collaborative-robots-cobots-benefits/>>. Luettu 9.8.2021
- 3 Crowe, Steve. 2019. Collaborative Robots Comparison Tool. Verkkoaineisto. <<https://www.cobottrends.com/cobot-comparison-tool/>>. Luettu 20.2.2022
- 4 Future Learn. Advantages and Disadvantages of Simulation. Verkkoaineisto. <<https://www.futurelearn.com/info/courses/simulation-for-logistics-an-introduction/0/steps/66020>>. Luettu 10.5.2022