

Eetu Juutilainen

RUUVAUKSEN AUTOMATISOINTI YHTEISTYÖROBOTILLA

RUUVIAUKSEN AUTOMATISOINTI YHTEISTYÖROBOTILLA

Eetu Juutilainen
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

Tekijä: Eetu Juutilainen

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Ruuvauksen automatisointi yhteistyörobotilla
Opinnäytetyön nimi englanniksi: Screwdriving Automation with Collaborative Robot

Työn ohjaaja: Esa Kontio

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2021

Sivumäärä: 65 + 1 liite

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli automatisoida ruuvaustapahtuma. Työ tehtiin Bittium Oyj:lle ja siinä kehitettiin ruuvauksen automatisointia ruostumattomille teräsruuveille. Työssä tutkittiin erilaisia ruuvaustyökaluja ja Sensopart-konenäkökameraa UR10e-yhteistyörobotille. Työssä harkittiin myös valmiiden ruuvauskomponenttien käyttöä kokoonpanosolussa. Työn tavoitteena oli automatisoitu ruuvaustapahtuma, johon kuuluivat myös kierrelukitteen laittaminen, purkutoiminnot ja laadunvarmistus. Tavoitteena oli työntekijän vapauttaminen vaativimpiin työtehtäviin.

Työ tehtiin systemaattisen tuotesuunnittelun vaiheiden mukaan. Ruuvivääntimen jigi ja muut komponentit suunniteltiin Solidworksilla. Osat valmistettiin Oulun ammattikorkeakoulun konepajalla tai tulostettiin PLA-muovista 3D-tulostimella. Jigissä käytettiin helposti saatavilla olevia standardiosia. Ruuvausta ja muita toimintoja testattiin laboratoriossa ennen käyttöönottoa toimeksiantajan toimitiloissa.

Työn tuloksena syntyi automatisoitu ruuvaava kokoonpanosolu yhteistyörobotilla. Yhteistyörobotille suunniteltiin helposti muokattavissa oleva universaali kiinnitys-jigi ruuvivääntimille. Jigin käyttö voisi olla mahdollista myös muissa automatisointiprojekteissa. Konenäkökameran käyttäminen peilin kautta todettiin olevan mahdollista laboriotesteissä. Yhteistyörobotti kykeni lähes itsenäiseen työskentelyyn käyttöönottovaiheessa toimeksiantajan toimitiloissa. Haasteet ruuvien poiminnassa, ruuvivääntimen ohjauksessa ja konenäkökameran toiminnassa vaativat vielä jatkokehitystä laadun parantamiseksi.

Asiasanat: rst, yhteistyörobotti, automaatio, ruuvaus, kierrelukite, konenäkö

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Mechanical Engineering, Machine Automation

Author: Eetu Juutilainen

Title of thesis: Screwdriving Automation with Collaborative Robot

Supervisor: Esa Kontio

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Pages: 65 + 1 appendice

The purpose of this thesis was to automate a screwing process. The thesis was commissioned by Bittium Oyj, and the automation of screwing for stainless steel screws was developed in the work. Various screwing tools and a Sensopart machine vision camera for the UR10e-robot were studied. The work also considered the use of ready-made screwing components in the assembly cell. The aim of the work was an automated screwing event, which also included the installation of a threadlocker, disassembly operations and quality assurance. The goal was to free the employee for the most demanding jobs.

The work carried out according to the stages of systematic product design. The screwdriver and other components were designed by SolidWorks. The parts were manufactured at Oamk's workshop or printed PLA-plastic with a 3D-printer. Easily accessible standard parts were used in the screwdriver jig. Screwing and other functions were tested in the laboratory before commissioning at the client's premises.

The work resulted in an automated screwing assembly cell with a collaboration robot. An easily customizable universal mounting jig for screwdrivers was designed for the robot. The use of a jig could also be possible in other automation projects. Using a machine vision camera through a mirror was found to be possible in laboratory tests. The collaborative robot was able to work almost independently during the commissioning phase at the client's premises. Challenges in screw picking, screwdriver control, and machine vision camera operation require further development to improve quality.

Keywords: stainless steel, collaborative robot, automation, screwing, threadlocker, machine vision

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava prosessi, josta saatiin paljon tärkeää tietoa ruuvauksen automatisoinnista yhteistyörobotilla. Tärkeää omasta mielestä oli, että kokoonpanosolua testattiin Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) konelaboratoriossa ja sitä myös päästiin koeajamaan oikeassa ympäristössä, eikä koronarajoitukset estäneet projektin toteutusta. Parasta tässä projektissa oli itse suunniteltujen osien valmistus ja kokoonpanon rakentaminen sekä tuotteen näkeminen toiminnassa oikeassa ympäristössä.

Kiitokset Bittium Oyj:n asiantuntijoille Marko Anttilalle ja Mika Alatalolle haastavasta projektista. Kiitokset myös projektin asiantuntevalle ohjaavalle opettajalle Esa Kontiolle. Lisäksi erityisesti haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulun projekti-insinöörejä, varsinkin Jyri-Jussi Torvista ja Toni Autiota yhteistyörobotin ohjelmointiin liittyvistä suunnitteluavuuista ja muutenkin kun jaksoivat tukea työlästä projektia. Kiitän myös Pneumacon Oy:n asiantuntijaa Juha Lindroosia avusta ruuvauksen suunnittelussa sekä Oulun Lasipalvelua konenäkökameralle tarkoitettun peilin lahjoittamisesta projektiin.

Oulussa 2.5.2021

Eetu Juutilainen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 RUUVAUSAUTOMAATIO	11
2.1 Yhteistyörobotit kokoonpanon ruuvauksessa	11
2.2 Ruuvauslaite yhteistyörobotille	12
3 PROJEKTIN SUUNNITTELU JA TAVOITTEET	13
3.1 Systemaattinen tuotekehitys	13
3.1.1 Projektin suunnittelu	13
3.1.2 Vaatimuslista kokoonpanosolulle	13
3.2 Ruuvit kokoonpanossa	14
4 ESISUUNNITTELU	16
4.1 Täysautomaattinen ruuvausasema ja valmiit ruuvauskomponentit	18
4.2 OnRobot-ruuviväännin kokoonpanon ruuvauksessa	19
4.3 Alipainetarttujan käyttö ruuvipoiminnassa	20
4.4 Konenäkökamera kierrelukitteen varmistuksessa	22
4.5 Väri- ja kontrastianturit kierrelukitteen varmistuksessa	27
4.6 Kokoonpanosolu	27
5 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU	29
5.1 Pneumatiikkakaavio ruuvivääntimelle	29
5.2 Sähkökaavio yhteistyörobotisolulle	30
5.3 Jigi ruuvivääntimelle	31
5.3.1 Kokoonpanon lujuusanalyysi elementtimenetelmällä	36
5.3.2 Kokoonpanon valmistus	37
5.4 Puristusvoima ruuville kiristyksessä	42
5.5 Ruuvien poiminta tarjottimelta	43
5.6 Kierrelukitteen kuvaus konenäkökameralla	45
6 TESTAUS JA KÄYTTÖÖNOTTO	48

6.1 Ruuvin kiristys ja momentin tarkistus	48
6.2 Konenäkökameran haasteet ruuvin poiminnassa	49
6.3 Kokoonpanon paikoitus	51
6.4 Muutokset ruuvivääntimen jigiin testausvaiheessa	53
6.5 Kastaminen kierrelukitteessa ja varmistus konenäkökameralla	56
6.6 Riskienarviointi yhteistyörobotille kokoonpanosolussa	58
7 YHTEISTYÖROBOTIN OHJELMA KOKOONPANOSOLULLE	60
7.1 Pääohjelma	61
7.2 Ruuvin nouto tarjottimelta ja konenäkökameralla kuvaus	61
7.3 Ruuvaus, tarkistus ja purkutoiminto	61
8 TYÖN TULOKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET	62
8.1 Rst-ruuvien poiminta	63
8.2 Ruuvivääntimen ohjaus	64
8.3 Kokoonpanon automatisointi	64
9 YHTEENVETO	65
LÄHTEET	66
LIITTEET	
Liite 1 Opinnäytetyön aikataulu	

SANASTO

ESD = Electrostatic discharge, sähköstaattinen purkaus, sähköä johtava tai johtamaton materiaali

proof of concept = tietyn idean toteuttavuuden osoittaminen tai periaatteellinen esittely, jos jollain tuotteella on potentiaalia

RGB = Red Green Blue, väritila, jossa eri värejä muodostetaan sekoittamalla keskenään punaisen, vihreän ja sinisen väristä valoa

rust = ruostumaton teräs

torx = tähtipäinen ruuviväännin tai ruuvikanta

UR = Universal Robots, tanskalainen robottivalmistaja

UR10e = yhteistyörobottimalli, jossa on 10 kg:n nostovoima

yhteistyörobotti = cobotti eli kollaboratiivinen robotti, joka täyttää ISO/TS 15066:n mukaiset ohjeet yhteistyörobotiikasta

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii oululainen radioteknologian yritys Bittium Oyj. Bittium Oyj on erikoistunut viestintä- ja liitettävyyssratkaisujen kehittämiseen käyttäen uusimpia teknologioita ja 30 vuoden aikana kertynyttä radioteknologian osaamistaan. Bittium Oyj:n vuoden 2019 liikevaihto oli 75,2 miljoonaa euroa ja liikevoitto 6,3 miljoonaa euroa. Bittium Oyj on listattu NASDAQ Helsingissä. (Bittium Oyj 2020, 5)

Asiakkaalleen Bittium Oyj tarjoaa tuotteita ja palveluita, tuotealustoihinsa perustuvia ratkaisuja ja tuotekehityspalveluita sekä korkealaatuisia tietoturvaratkaisuja mobiililaitteisiin ja kannettaviin tietokoneisiin. Bittium Oyj tarjoaa asiakkailleen myös terveydenhuollon teknologian tuotteita ja palveluita biosignaalien mittaamiseen kardiologian, neurologian, kuntoutuksen, työterveyden ja urheilulääketieteen osa-alueilla. (Bittium Oyj 2020, 5)

Opinnäytetyössä tutkitaan ja kehitetään automatisoitua ruuvausjärjestelmää kokoonpanon ruuvaukseen. Työssä esitellään yleistä teoriaa yhteistyöroboteista ja ruuvausasemista. Opinnäytetyön päätavoitteeksi asetettiin kokoonpanon ruuvaustapahtuman automatisointi rst-ruuveilla. Järjestelmän tarkoitus on lisätä kierrelukite ruuveihin ja kiristää ruuvit tietyssä järjestyksessä momenttiin sekä tarkistaa ruuvien momentti. Tavoitteena on saada tuotanto tältä osin käyttöön.

Kokoonpanon osien kiinnityksessä käytetään erikokoisia ja -pituisia ruuveja. Kokoonpano voidaan jakaa viiteen eri osaan. Ruuvaustyö on aikaa vievää ja tarkkaa työtä, koska ruuvit pitää kiristää tietyssä järjestyksessä ja tiettyyn momenttiin. Tätä prosessia piti automatisoida yhteistyörobotilla. Tavoitteena on käyttäjän vauttaminen vaativimpiin työtehtäviin.

Ruuvaustapahtuman piti myös toimia purkamiseen eli ruuvien irrotukseen kokoonpanosta huoltoa varten. Ruuvaustyö ja kierrelukitteen laittaminen tehdään tällä hetkellä käsin. Ruuvien materiaalina on ruostumaton teräs. Yhteistyörobotti tuli olla siirrettävissä muihin tehtäviin tarvittaessa. Toissijaisena tavoitteena on saada laite toimimaan myös muilla tuotteilla.

Esisuunnittelun testeissä käytettiin UR10e -yhteistyörobottia ja OnRobot -ruuviväännintä omalla syöttölaitteella. Lopullisessa kokoonpanosolussa käytettiin Sensopart -kone näkökameraa ja Atlas Copco -ruuvivääntimiä UR10e -yhteistyörobotille rakennetuilla jigeillä.

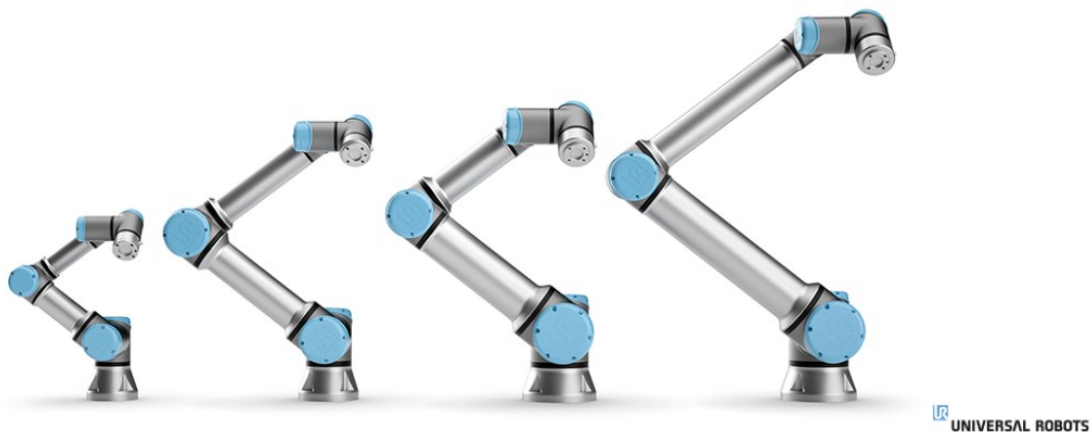
2 RUUVAUSAUTOMAATIO

Ruuvausautomaatio tässä projektissa tarkoittaa ruuvien hakemista tai syöttämistä ruuvivääntimen kärkeen ja ruuvaustapahtumaa. Ruuvaustapahtumaan voi myös laskea kierrelukitteen laittamisen ruuvien kärkeen ja momentin tarkistuksen. Myös purkutoiminnot kuuluvat automatisointiprosessiin.

Ruuvausautomaation avulla ruuvien kiristysjärjestys ja kiristysmomentit pysyvät aina tasaisena ja laadukkaina eikä käyttäjän tekemiä virheitä synny. Käyttöjärjestelmästä löytyy yleensä tieto, mihin momenttiin ruuvit on kiristetty, joten laadunvalvonta helpottuu automatisointiprosessin seurauksena. Työntekijälle saadaan lisää työaikaa vaativimpiin tehtäviin. Kone tekee kuitenkin virheettömämpää jälkeä kuin kaikkein huolellisimmatkin työntekijät.

2.1 Yhteistyörobotit kokoonpanon ruuvauksessa

Yhteistyörobotit soveltuvat monipuolisesti erilaisiin käyttökohteisiin lähes kaikille toimialoille. Yhteistyörobotteihin on saatavana laaja valikoima yhteensopivia työkaluja ja tarttujia. Ne tarjoavat yrityksille kustannustehokkaan, joustavan ja turvallisen ratkaisun erilaisten kokoonpanojen automatisointiin ja muihin työtehtäviin (kuva 1). (Machine Tool. 2020)



KUVA 1. Universal Robots on tanskalainen yhteistyörobottien valmistaja (Machine Tool. 2020)

2.2 Ruuvauslaite yhteistyörobotille

Valmiita ruuvivääntimiä löytyy markkinoilta paljon. Tässä projektissa tutkittiin näitä ruuvivääntimiä ja selvitettiin, onko mahdollista käyttää valmista työkalua projektissa vai kannattaako tehdä oma halvempi proof of concept normaalista ruuvivääntimestä, jossa ei ole sisäänrakennettua älyä tai omaa koneistoa. Ruuvivääntimen soveltuvuus yhteistyörobotille piti myös selvittää. Projektin esisuunnitteluvaiheessa päästiin testaamaan kuvassa 2 näkyvää OnRobotin ruuvivääntintä ja syöttölaitetta. OnRobot tarjoaa täyden valikoiman plug-and-produce-työkaluja yhteiskäyttöön (OnRobot 2020).



KUVA 2. OnRobot -ruuvivääntin ja ruuvinsyöttölaite (OnRobot 2020)

3 PROJEKTIN SUUNNITTELU JA TAVOITTEET

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa automaattisesti toimiva ruuvauslaite kokoonpanon ruuvaukseen. Ruuvaustapahtuman tuli olla helposti varmistettavissa ja tarkka, eikä nopeudella ollut niin suurta merkitystä. Tuotantovauhti oli hiljainen ja tavoitteena oli saada työntekijä vaativimpiin työtehtäviin. Kokoonpanon kaikkien osien ruuvaus ja purkutoiminnot piti toimia automaattisesti. Työntekijä laittaa vain uuden osan kokoonpanoon ja ruuvaustapahtuman piti olla automatisoitu.

3.1 Systemaattinen tuotekehitys

Projekti eteni systemaattisen tuotekehityksen vaiheiden mukaan. Systemaattisen tuotekehityksen vaiheet ovat seuraavat (Kontio 2020):

- projektin suunnittelu
- esisuunnittelu
- yksityiskohtainen suunnittelu
- testaus ja viimeistely
- käyttöönotto.

3.1.1 Projektin suunnittelu

Projekti aloitettiin tekemällä vaatimuslista ja projektisuunnitelma. Projektin aikataulu on liitteessä 1. Esisuunnitteluvaihe kesti syyslukukauden ja yksityiskohtainen suunnittelu kevätlukukauden alun. Testaus ja viimeistely tehtiin Oamkin laboratoriossa ennen käyttöönottoa yrityksen toimitiloissa. Vaatimuslistalla tuotteen toiminnot jaettiin vähimmäis- ja kiinteisiin vaatimuksiin sekä toivomuksiin. Projektisuunnitelman pohjalta aloitettiin varsinainen tuotekehitystyö.

3.1.2 Vaatimuslista kokoonpanosolulle

Taulukossa 1 näkyvä vaatimuslista käytiin läpi ja täydennettiin projektin aloituspalaverissa. Aloituspalaverissa keskusteltiin yhteistyöroboteista ja suunniteltiin niiden käyttöä tähän projektiin.

TAULUKKO 1. Vaatimuslista

KV VV T	VAATIMUS KV=kiinteä vaatimus, VV=vähimmäisvaatimus, T=toivomus
VV T KV	1. Geometria 25x40cm ruuvausalusta 50x50cm ruuvausalusta Robotti tulee olla siirrettävissä
KV KV VV	2. Voimat Kansi 5Nm Muut ruuvit 1Nm Robotin pitää nostaa ruuvauspään paino vähintään
KV KV	3. Energia Paineilmalinjasto 8bar 230V
KV VV	4. Aine/Materiaalit ESD-materiaalit Maadoitus samaan paikkaan
KV KV	5. Turvallisuus Työntekijä työpisteellä Ruuvilukitteen leviämisen estäminen
KV KV	6. Ergonomia Robotti työpöydän korkeudelle Säädettävä korkeus
KV KV KV	7. Valmistus ja asennus Valmistus OAMK tiloissa Osalista komponenteista Asennetaan tuotantotilaan
KV KV KV	8. Käyttö Käyttöohje/ opastus robotin käyttöliittymällä Koulutetut käyttäjät Tavoite käyttäjän vapauttaminen vaativimpiin työtehtäviin
KV KV KV	9. Kunnossapito Standardin mukaiset komponentit Kaupalliset komponentit Kunnossapito suunnitelma

3.2 Ruuvit kokoonpanossa

Kokoonpanon osissa 1, 3 ja 4 sekä kannessa käytettävät rst-ruuvit ovat torx-kupukantaisia. Ruuvien pituudet vaihtelevat osan mukaan. Kokoonpanon kannessa käytetään M5-ruuveja ja sisällä M3-ruuveja. Kuusiokoloruuvien (taulukko

2, osa 2) ruuvaus jätettiin pois projektista esisuunnitteluvaiheen katselmoinnissa. Kuusiokolokanta vaatisi ylimääräisen ruuvivääntimen suunnittelemisen tai työkaluvaihtajan lisäämisen projektiin. Ruuvien pituus todennäköisesti aiheuttaisi epätarkan ruuvaustapahtuman.

TAULUKKO 2. Kokoonpanon osat ja ruuvimäärät sekä kiristysmomentit

KOKOONPANON OSA	RUUVIT	KPL	KIRISTYSMOMENTTI
Kansi	M5 x 16 mm	18	5 Nm
Osa 1	M3 x 12 mm M3 x 16 mm	36 1	1 Nm
Osa 2	M5 x 70 mm, kuusiokolo DIN912	11	5 Nm
Osa 3	M3 x 12 mm M3 x 35 mm	8 14	1 Nm
Osa 4	M3 x 20 mm	17	1 Nm

4 ESISUUNNITTELU

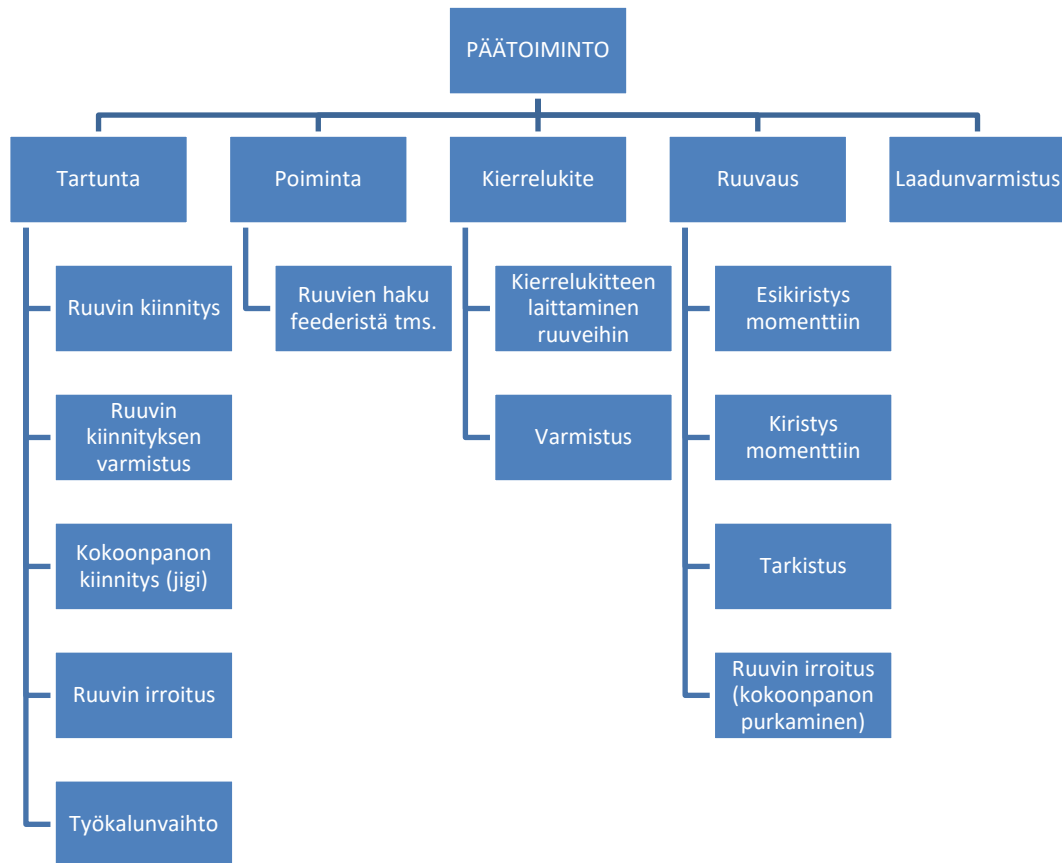
Systemaattisen tuotekehityksen esisuunnitteluvaiheessa tehtiin ruuvausjärjestelmästä kokonaistoimintokaavio, joka on esitelty kuvassa 3. Ruuvivääntimen ja yhteistyörobotin oli tarkoitus toimia sähköllä ja paineilmalla. Työkalun ja osien vaihdon suorittaa käyttäjä.



KUVA 3. Järjestelmän kokonaistoimintokaavio

Kuvassa 4 järjestelmä on jaettu osatoimintoihin. Tartunta sisältää ruuvien kiinnityksen vääntimen kärkeen ja työkalunvaihdon. Kokoonpanon kiinnitetään pöytään, ettei se liiku ruuvauksen aikana ja että paikoitus saadaan yhteistyörobotille tarkaksi. Poiminta sisältää ruuvien poiminnan tarjottimelta tai tärykuljettimelta.

Kierrelukite laitetaan ruuveihin ja varmistetaan ennen ruuvausta, onko kierrelukitettä tarpeeksi ruuvissa. Ruuvaustapahtuma sisältää ruuvien esikiristyksen, kiristyksen ja momentin tarkistuksen. Purkutoiminto kuuluu myös ruuvaukseen. Laadunvarmistus on ruuvien kiinnityksen varmistamista varten.



KUVA 4. Järjestelmän osatoiminnot

Jäsentelykaaviossa (kuva 5) osatoiminnoille esitetään ratkaisuja. Ratkaisuihin laadittiin kolme erilaista toteutusvaihtoehtoa. Kuvassa 5 punainen viiva esittää valmiin ruuvaus aseman tilaamista. Ruuvien syöttö oli tarkoitus toteuttaa automaattisella syöttölaitteella ja kaikki muut toiminnot hoituvat ruuvausasemalla. Kuvassa 5 violetti viiva esittää yhteistyörobotilla toteutettavaa ratkaisua, jossa käytettäisiin konenäköä apuna kierrelukitteen tarkistuksessa ja laadunvarmistuksessa. Yhteistyörobotin ranteessa käytettäisiin OnRobotin automaattista ruuvausväännintä. Kuvassa 5 sininen viiva esittää kustannustehokkaimman version, jossa konenäkö on korvattu antureilla ja laadunvarmistuksen suorittaa käyttäjä. Ruuvivääntimelle rakennettaisiin jigi, joka kiinnittyy yhteistyörobotin ranteeseen ja ruuvit poimittaisiin tarjottimilta.

1	Kokoonpanon kiinnitys	JIGI	RUUVAUSASEMA						
2	Ruuvien poiminta	FEEDER	TÄRYKULJETIN	TARJOTIN	AUTOMAATTISYÖT	TÄRYTARJOTIN	SEGMENT FEEDER		
3	Ruuvien kiinnitys	MEKAANINEN	ALIPAINE	MAGNEETTI	AUTOMAATTISYÖTÖ				
	Kiinnityksen varmistus	2D KONENÄKÖ	VALOKENNOANTURI	KAPASITIIVINEN INDUKTIIVINEN ANTURI	RUUVAUSASEMA				
4	Työkäluvaihto	KÄYTTÄJÄ	URIOE	RUUVAUSASEMA					
5	Kierrelukitteen laittaminen	DIPPAUS	PAINELMATOIMINEN RUISKU	ALLASITARJOTIN	SÄHKÖPAINO				
6	Lukitteen varmistus	2D KONENÄKÖ	VARIANTURI	VALOKENNOANTURI					
7	Kiertis momenttiin	ONROBOT	RUUVARI, URIOE, JIGI	RUUVAUSASEMA					
8	Tarkistus	ONROBOT	KÄYTTÄJÄ	RUUVARI, URIOE, JIGI	RUUVAUSASEMA				
9	Laadun varmistus	2D KONENÄKÖ	KÄYTTÄJÄ	RUUVAUSASEMA	ONROBOT	RUUVARI, URIOE, JIGI			

KUVA 5. Jäsentelykaavio eli morfologinen taulukko, jossa kolme erilaista projektin toteutusvaihtoehtoa näkyvät erivärisinä viivoina

4.1 Täysautomaattinen ruuvausasema ja valmiit ruuvauskomponentit

Projektin esisuunnitteluvaiheessa pohdittiin mahdollisuutta täysin automaattisen ruuvauslaitteen hankintaan. Täysautomaattista kokoonpanosolua varten hinnaksi arvioitiin 200 000 €. Tähän hintaan otettiin huomioon vain projektin alkutiedot. Tarkempaa haarukointia ja budjettihintaa varten tarvittaisiin selkeä indikaatio konseptista. € (Lindroos 2020)

Ruuvivääntimen valintaan vaikuttaa monta asiaa. Pitää ottaa huomioon kaikkien ruuvien koko, materiaali, pituus, momentti ja ruuvattava kohde. Mikäli kaikissa

ruuveissa sama momentti, helpoin ratkaisu olisi kaikille samankokoisille ruuvikärjille hankittaisiin paineilmakäyttöinen perusväännin: M3-ruuveille yksi ja M5-ruuveille toinen. Ruuvinvääntimen hinta arvoitiin olevan vakuumpoimintakärjellä noin 1600 - 1800 €. (Lindroos 2020)

Jos ruuveissa kiristysmomentti vaihtuu pituuden mukaan, olisi kannattavaa laittaa sähköinen ohjelmoitava väännin, jolloin esimerkiksi joka ruuville saadaan oma ruuvausohjelma. Tällöin hinnaksi arvioitiin 4000 - 8000 € haluttujen ominaisuuksien mukaan. (Lindroos 2020)

Yleensä ruuvivääntimen liikutteluun ylös-alas suunnassa käytetään ruuvausyksikköä. Väännin ajetaan sylinterillä ruuvausasentoon, jolloin väännin jää kellumaan jousen varaan eikä paina ruuvia koko sylinterin voimalla. Näin ruuvien painuessa kierteellä sisään ei tarvitse vääntimen syöttöliikettä miettiä vaan voidaan pitää yhteistyörobotti yhdessä asennossa. Ruuvausyksikön hinnaksi arvoitiin noin 3000 - 5000 €, riippuen halutuista ominaisuuksista. Poimintapisteellä varustetun tärymaljan hinnaksi arvoitiin noin 7500 - 9000 €. (Lindroos 2020)

4.2 OnRobot-ruuviväännin kokoonpanon ruuvauksessa

UR-yhteistyörobotille yhteensopivan OnRobotin valmistaman ruuvivääntimen sisäänrakennettu äly ja akselin liikkeenhallinta tekee ohjelmoinnista helppoa ja toiminnasta laadukasta. (OnRobot 2020)

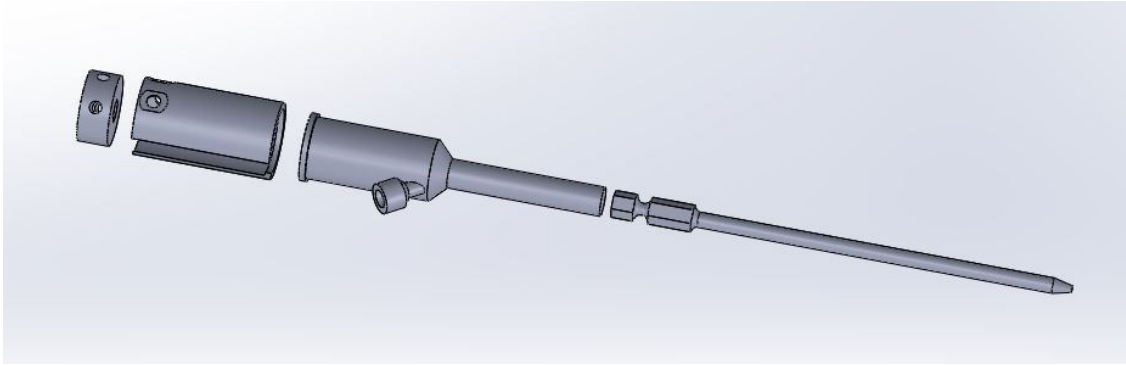
Laboratoriotesteissä huomattiin, että ruuvivääntimen koko oli liian iso tähän projektiin (kuva 6). Kokoonpanossa on syvennyksiä, joihin ruuviväännin ei ylettynyt. Esisuunnitteluvaiheen testien perusteella OnRobot -ruuviväännintä ei voinut käyttää tässä kokoonpanossa.



KUVA 6. OnRobot -ruuviväännin testissä Oamkin konelaboratoriossa

4.3 Alipainetarttujan käyttö ruuvipoisinnassa

Ruuvien poimintaan suunniteltiin prototyyppi, jossa ruuvivääntimen kärki on putken sisällä. Ejektori tuottaa alipaineen putkeen erillisen paineilmalleputkelle suunnitellun reiän avulla. Ruuvi voidaan poimia putkenpään kartion avulla, kun kupukantainen ruuvi painetaan kartiota vasten. Poimintatyökalua testattiin akkuporakoneen avulla esisuunnitteluvaiheessa. Testit osoittivat poiminnan alipaineella tapahtuvan onnistuneesti ruuvaus tapahtumassa ja purkutoiminnassa. Kuvassa 7 näkyy poimintatyökalun CAD-mallin osat.



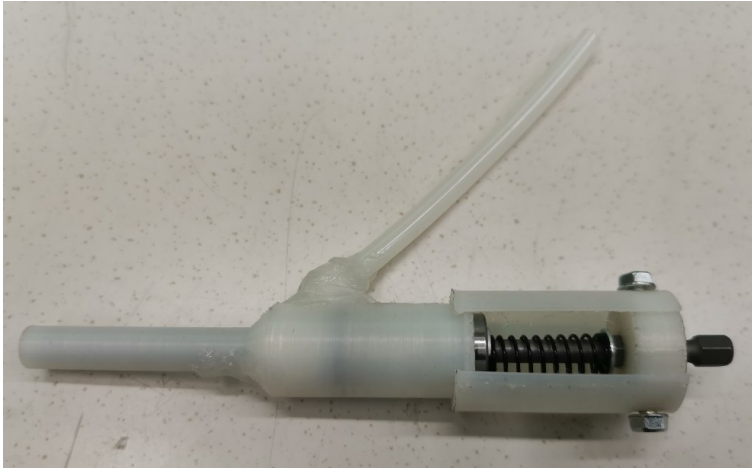
KUVA 7. Ruuvien poimintatyökalu CAD-malli

Kuvassa 8 on levitettyinä 3D-tulostetut prototyyppin osat. Ruuvauskärki liikkuu ruuvien poiminta-asennosta ruuvausasentoon jousen avulla. Ruuvauskärki on keskitetty poimintatyökaluun laakereiden avulla.



KUVA 8. Ruuvien poimintatyökalun osat

Laboratoriotesteissä M5-kierteellä olevan torx-kantaisen 16 mm:n pituisen ruuvien poiminta onnistui ejektorilla tuotetulla -10 kPa:n paineella. Kuvassa 8 näkyy poimintatyökalu kasattuna. Yläpuolelle kiinnitettyyn putkeen muodostetaan alipaine ejektorilla.



KUVA 9. Ruuvien poimintatyökalu

4.4 Konenäkökamera kierrelukitteen varmistuksessa

Kierrelukitteen varmistukseen suunniteltiin käyttöön konenäkökameraa. Testeissä käytettiin kuvassa 10 näkyvää Sensopart V20C-P -konekäkökameraa värintunnistusominaisuudella. Värikamera voisi toimia paremmin kuin mustavalkokamera sekä värikameran käyttö muissa toimeksiantajan projekteissa oli mahdollinen.



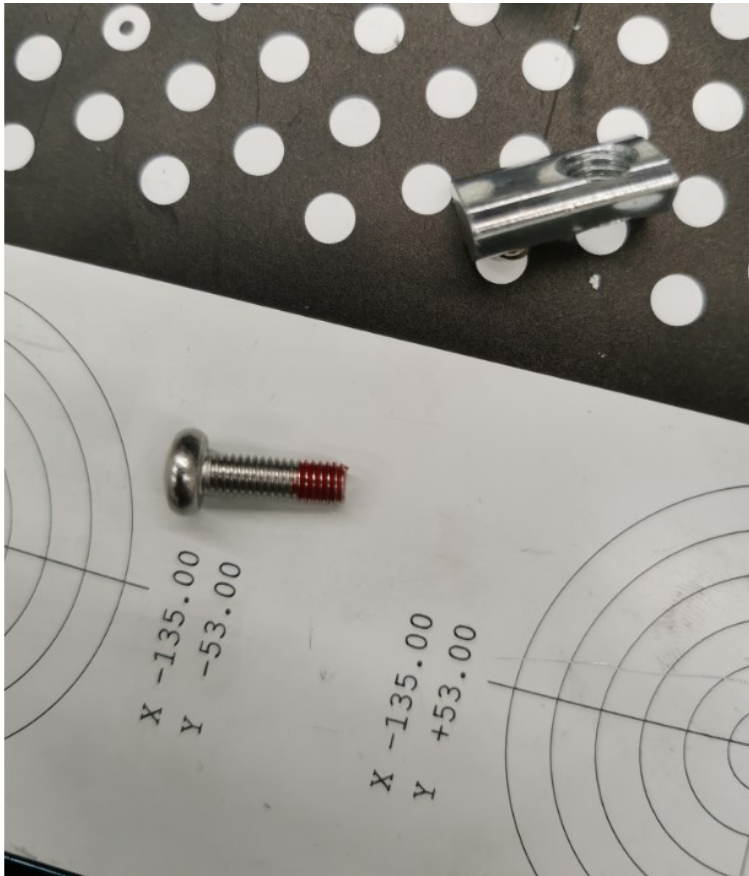
KUVA 10. Sensopart-konenäkökamera

Kamera on suorakulmion mallinen, helposti kiinnitettävissä oleva ja pienikokoinen. Koko on 45 mm x 45 mm x 70 mm, joten sijoitus yhteistyörobotin ranteeseen oli mahdollinen. Kuvassa 11 näkyvällä jalustalla kameraa testattiin yhteistyörobotin ranteessa.



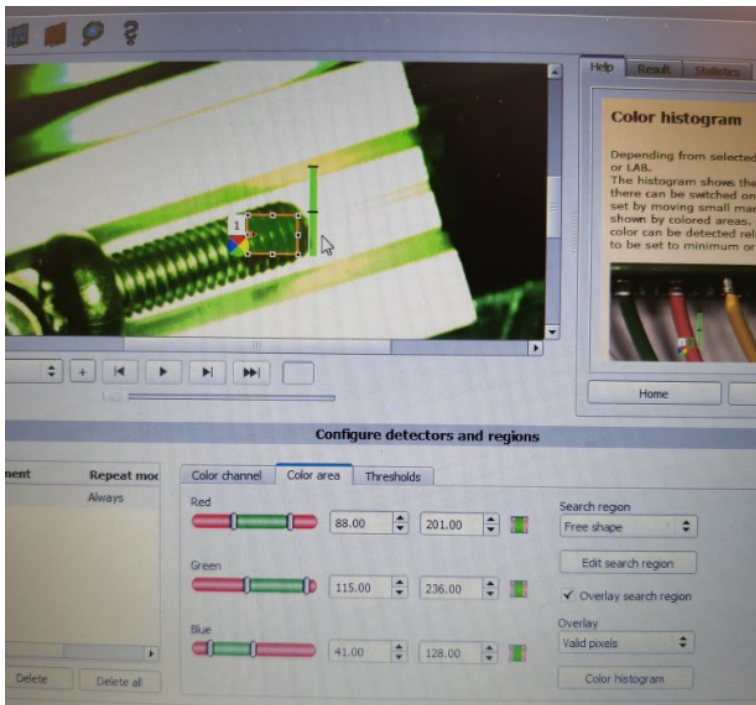
KUVA 11 Konenäkökameran jalusta

Kuvassa 12 näkyvä M5-ruuvi väritettiin punaisella tussilla. Laboratoriotesteissä kokeiltiin konenäkökameralla tunnistaa punainen väri pultin kärjestä ja erottaa värintunnistuksella kirkas pultti.



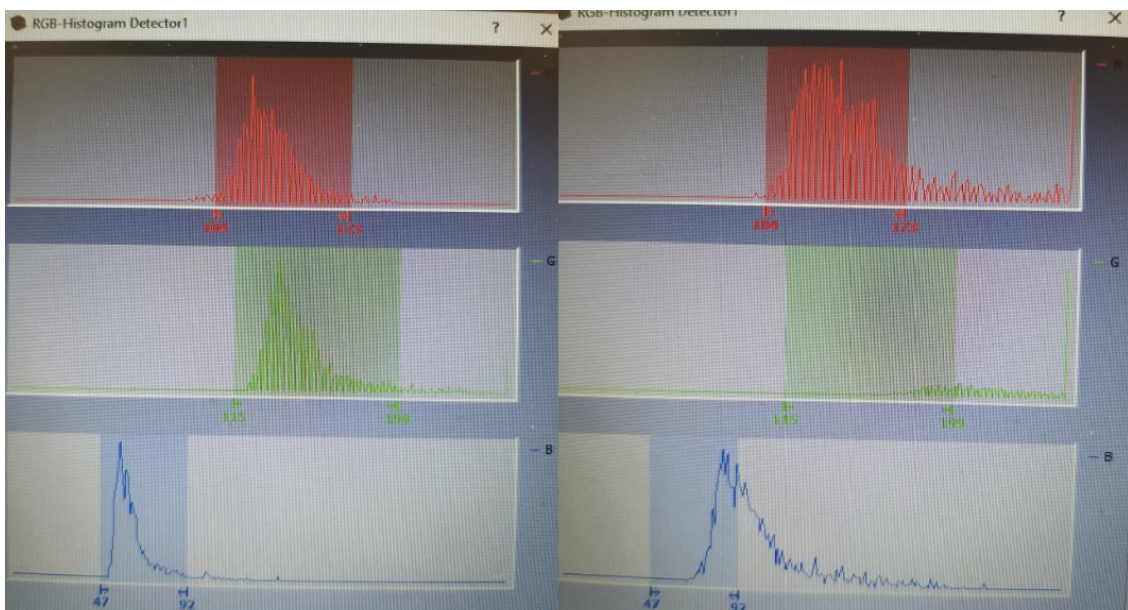
KUVA 12. M5-kierteellä oleva torx-kantainen ruuvi

Värihistogrammi ja värin tunnistusalue asetettiin tiettyihin arvoihin Vision Sensor -ohjelmassa. (kuva 13)



KUVA 13. Arvojen säätö Vision Sensor -ohjelmassa

Kuvassa 14 vasemmalla ruuvi väritettynä ja oikealla ruuvi ilman väriä. RGB-värin tunnistus toimi hyvin testeissä ja oli säädettävissä tiettyihin arvoihin. Yhteistyörobotilla seurataan score-arvoa 0 - 100 %, joka saadaan Visor Terminal -toiminnolla UR-käyttöliittymästä. Värihistogrammin tuloksista huomataan värin tunnistuksen olevan mahdollista.



KUVA 14. RGB-histogrammi Vision Sensor -ohjelmassa

4.5 Väri- ja kontrastianturit kierrelukitteen varmistuksessa

Väri- ja kontrastianturit voisivat olla mahdollisia tässä projektissa kierrelukitteen varmistuksessa. Anturilla pitäisi määritellä, onko kierrelukitettä ruuvissa riittävästi. Antureiden valinnassa ja toiminnassa valopisteen koko on huomioitava siten, että se riittää kokonaisvaltaiseen tarkistukseen. Valopiste ei välttämättä kata koko kierrelukitteen aluetta. Näiden antureiden käyttömahdollisuuden sovelluksessa vaikuttaa myös ruuvien koko ja se, onko kohde tarkastuksessa staattinen vai voidaanko ruuvia tai anturia liikuttaa. (Sarviaho 2020)

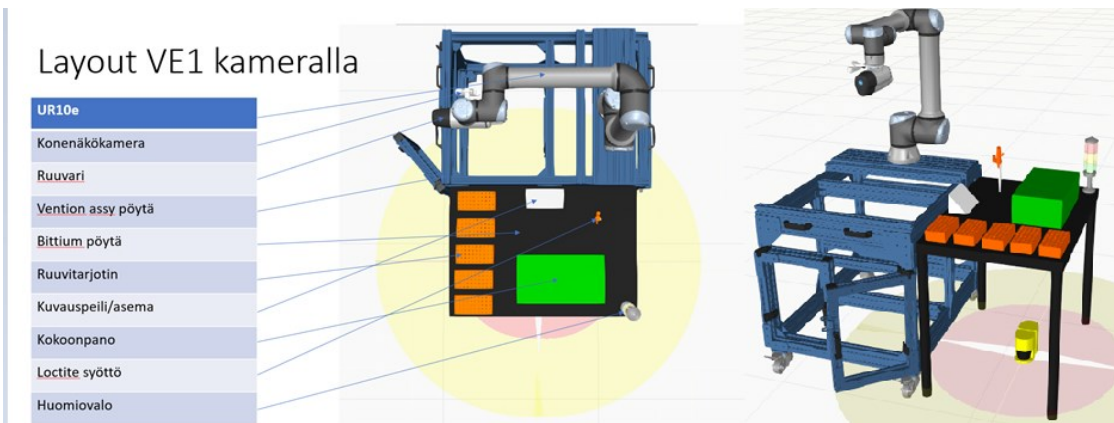
Valon takaisinheijastuksessa ja kiiltoasteessa on eroa, riippuen käytettävästä ruuvista ja kierrelukitteesta. Kierrelukitteen varmistus voitaisiin mahdollisesti toteuttaa käyttämällä kohdeheijasteista valokuituanturia ja kuituvalovahvistinta. Kuituvahvistimen kytkentäpiste asetetaan kierrelukitteesta saatuun takaisinheijastusarvoon. (Sarviaho 2020)

Kontrastianturin testaus laboratorioissa

Kontrastianturia testattiin erilaisissa valaistusolosuhteissa laboratorioissa. Anturi ei antanut tarpeeksi luotettavaa tulosta, koska valaistus ja ruuvien epätasainen kiiltävä pinta vaikuttivat anturin kytkeytymiseen. Anturi vaatisi tietynlaisen ympäristön tai valaistuksen suunnittelun varmistuspisteelle.

4.6 Kokoonpanosolu

Kuvassa 15 esitelty kokoonpano suunniteltiin koottavan erilliselle pöydälle. Yhteistyörobotin siirto muihin tehtäviin olisi helppoa, kun paikoitus on sama kaikissa yhteistyörobotisoluissa. Tarjottimet ja kokoonpano paikoitettaisiin pöydälle yhteistyörobotia varten. Kierrelukitteen syöttö tapahtuisi sähköisellä tai paineilmatoimisella annostelijalla. Ruuvaus tapahtuisi yhteistyörobotin ranteeseen kiinnitettyllä työkalulla.



KUVA 15. Kokoonpanosolun layout-suunnitelma esisuunnitteluvaiheessa Visual Components -ohjelmalla

5 YKSITYISKOHTAINEN SUUNNITTELU

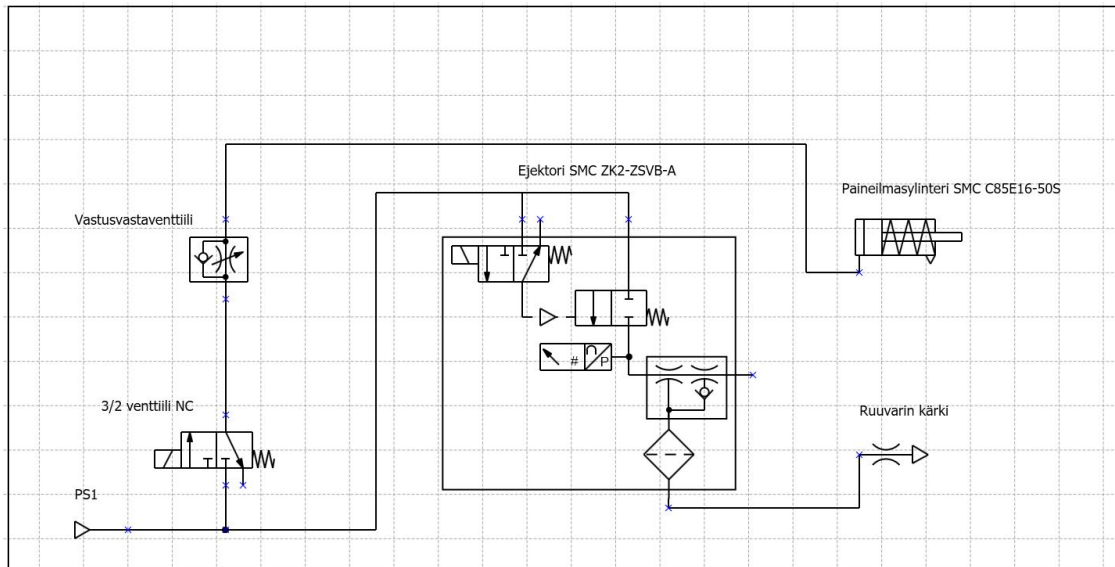
Suunnitelmana oli rakentaa Bittium Oyj:llä käytössä oleviin ruuvivääntimiin jigit yhteistyörobotin ranteeseen. Ruuvaus tapahtuu liikuttamalla paineilmasyylinteriä. Paineilmasyylinteriksi valittiin SMC:n C85E16-50S jousipalautteinen 16 mm:n männällä ja 50 mm:n männäniskulla oleva sylinteri. Tämä riittää kaikkien tämän projektin ruuvipituuksien kiristämiseen. Ruuvivääntimen liikkuu johdetankojen suunnasta kuulaholkkien avulla.

Sylinterin ohjaamiseen käytetään SMC:n SYJ712-5L0U-01F-Q- sähköohjattua paineilmaventtiiliä. SMC:n ZK2 ZS WB-A- ejektorilla tuotetaan alipaine putkeen. Putken päähän sorvatulla kartiolla poimitaan ruuvi tarjottimelta ja pidetään kiinni ruuvaustapahtumaan saakka.

Yhteistyörobotin ranteeseen kiinnitetyllä konenäkökameralla kuvataan ruuvitarjottimia ja poimitaan ruuvi kameran avulla. Ruuveihin laitetaan pieni määrä kierrelukitetta kastamalla ruuvia kupissa. Konenäkökameralla tunnistetaan kierrelukite ruuvien päästä. Kuva otetaan 45 asteen kulmassa olevan peilin kautta, kun ruuvi on ruuvivääntimen kärjessä kiinni.

5.1 Pneumatiikkakaavio ruuvivääntimelle

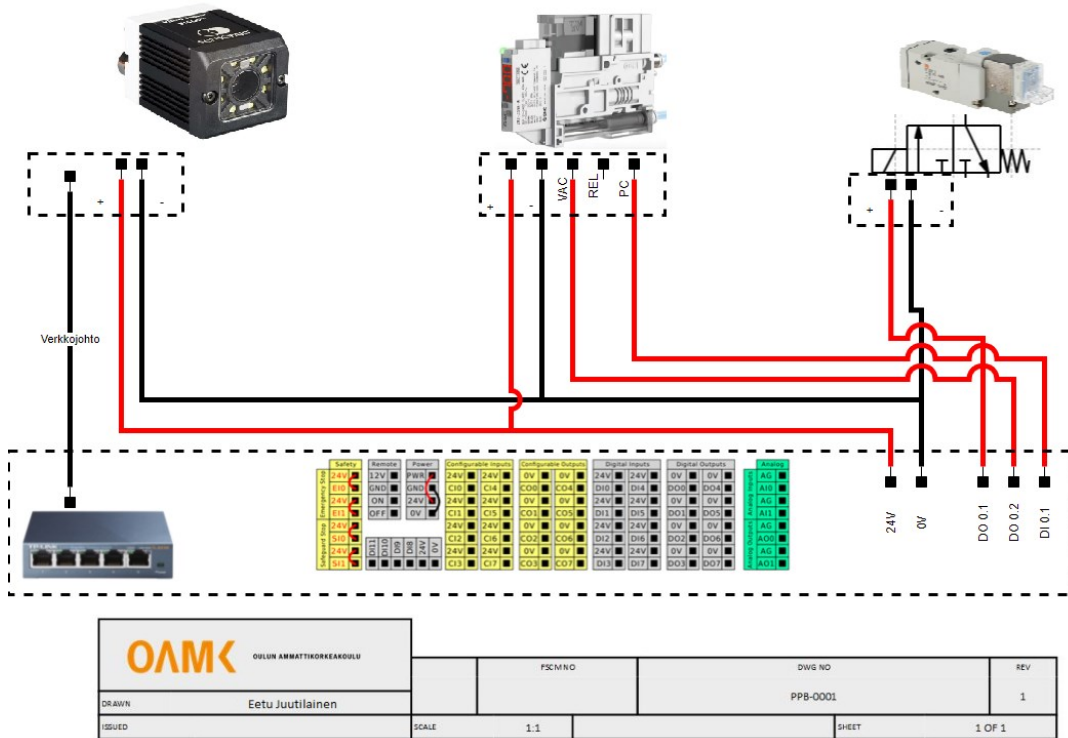
Kuvassa 16 on esitelty ruuvivääntimelle suunniteltu paineilmakaavio. Sähkökäyttöinen suuntaventtiili ohjaa jousipalautteista paineilmasyylinteriä. Vastusvastaventtiilillä hidastetaan männän paluuliikettä. Ejektorilla tuotetaan alipaine ruuvivääntimen kärkeen.



KUVA 16. Pneumatiikkakaavio

5.2 Sähkökaavio yhteistyörobotille

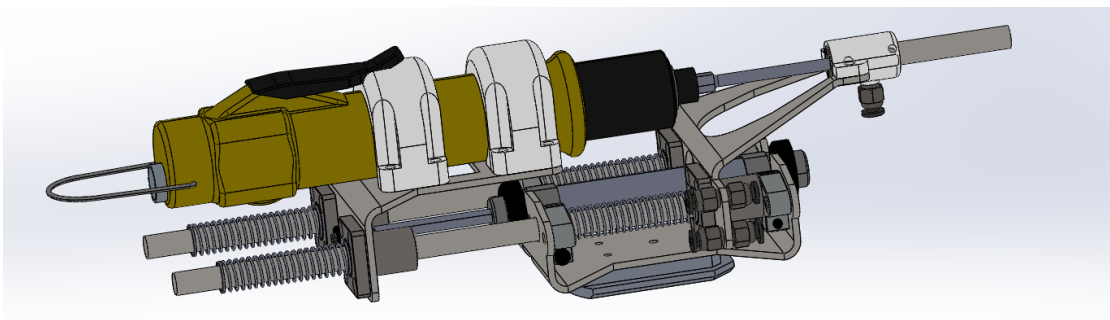
Kuvassa 17 näkyy yhteistyörobotin sähkökytkennät. Konenäkökamera kytketään yhteistyörobotin 24 voltin järjestelmään. Kameran ohjelmoinnissa ja kalibroinnissa käytetään teollisuusmallin verkkokytkintä ja kannettavaa tietokonetta. Ejektoria ohjataan digitaalisella ulostulolla. Ejektorista oli tarkoitus ottaa vakuumitieto, joka kytketään digitaaliseen sisäänmenoon. Sähköistä suuntaventtiiliä ohjataan digitaalisella ulostulolla.



KUVA 17. Sähkökaavio

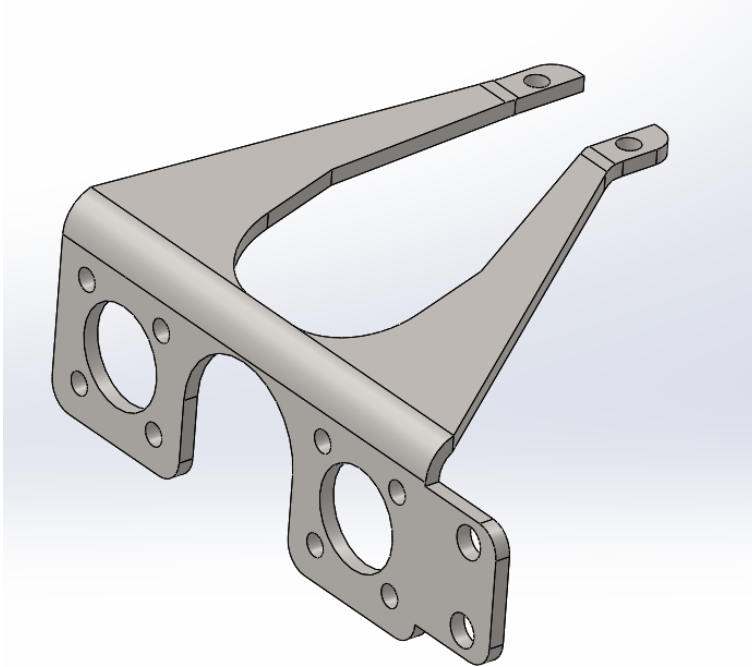
5.3 Jigi ruuvivääntimelle

Ruuvauksessa käytettiin Atlas Copco EBL20- ja EBL55-ruuvivääntimiä. Ruuvivääntimen jigin (kuva 18) runko suunniteltiin 3 mm paksuisesta teräslevystä ja runko koostuu kolmesta eri osasta: kärkilevy, sylinterilevy ja ruuvivääntimen levy. Ainevahvuus valittiin aikaisempien projektien ja kokemuksen perusteella. Levyt suunniteltiin leikattavan vesileikkurilla ja taivutettavan CNC-särmäyskoneella.



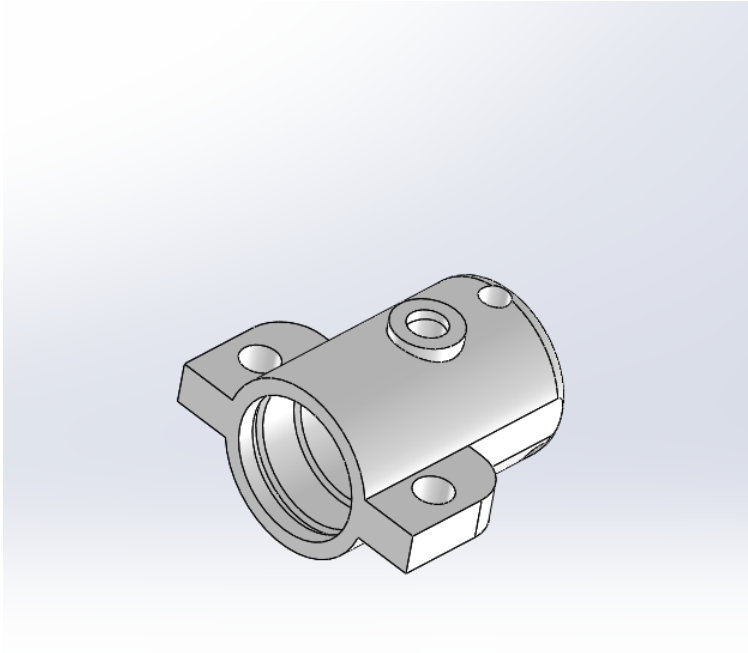
KUVA 18. Atlas Copco -ruuvivääntimen ja jigin kokoonpanon CAD-malli

Kärkilevyn (kuva 19) tarkoitus on pitää holkki linjassa ruuvivääntimen kanssa, sekä joustaa ruuvipoiminnassa johdetankoihin sijoitettujen jousien avulla. Kuulaholkit ovat kiinnitetty levyyn ja levy liikkuu johdetankojen suuntaisesti. Kuulaholkeille ja paineilmaletkujen läpivientiin on leikattu kiinnitysreiät.



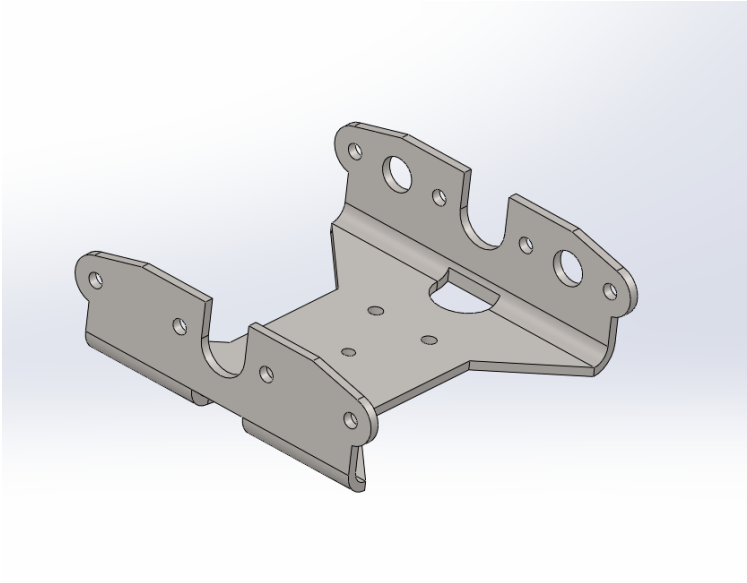
KUVA 19. Kärkilevy

Kuvassa 20 näkyvä holkki ruuvikärjelle kiinnitetään kärkilevyn kahden lavan väliin pulteilla. Holkki 3D-tulostettiin PLA-muovista. Holkin sisälle tulee akselitiiviste ja laakeri ruuvikärjelle. Holkin päällä on reikä paineilmaliihtintä varten.



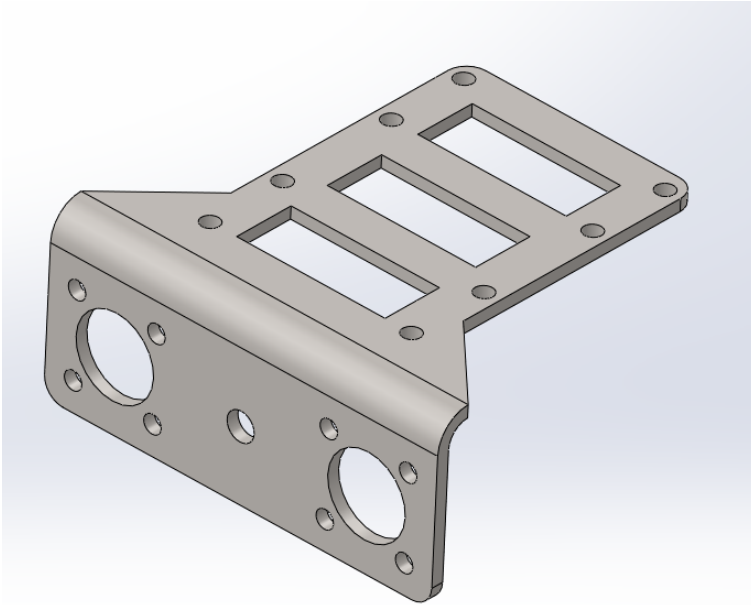
KUVA 20. Holkki

Paineilmasyylinterin levy (kuva 21) pitää paineilmasyylinterin ja päätykiinnikkeet paikoillaan. 10 mm vahvuiset johdetangot puristetaan kiinni päätykiinnikkeillä. Levyssä on kiinnitysreiät päätykiinnikkeille, johdetangolle ja millibar-pikakiinnikkeelle. Paineilmasyylinteri asettuu kahden u-muotoisien leikkausten väliin. Paineilmasyylinteri kiinnitetään muttereilla molemmista päistä.



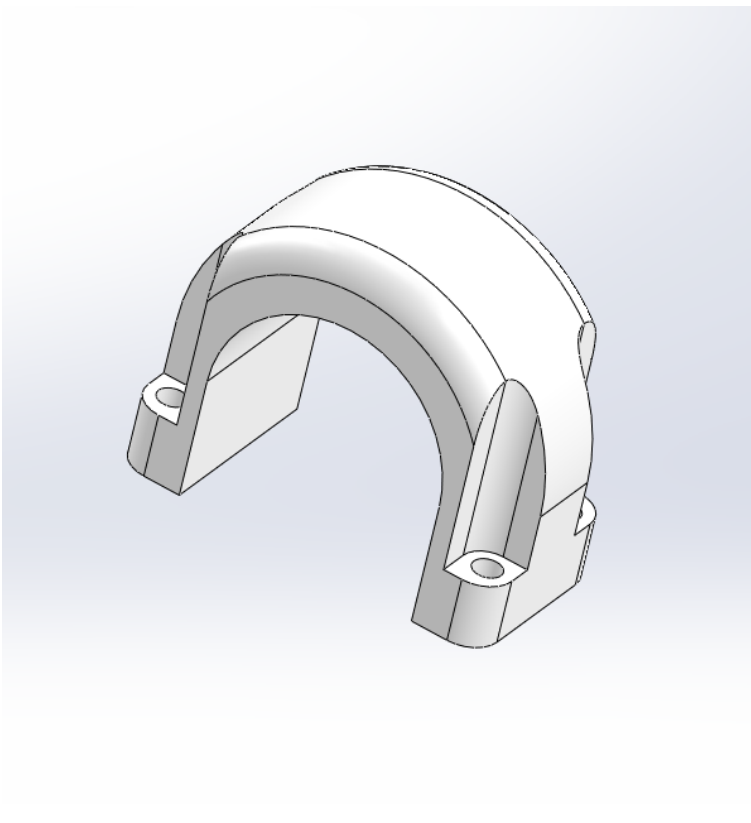
KUVA 21. Levy paineilmasynterille

Ruuvivääntimen levyyn (kuva 22) kiinnitetään 3D-tulostetut u-muotoiset kiinnikkeet. Kiinnikkeet pitävät ruuvivääntimen paikoillaan ruuvauksen aikana. Kuulaholkeille on leikattu reiät vesileikkurilla. Kuulaholkien läpi tulee johdetanko. Ruuvivääntimen liikkuu ylös-alas suunnassa johdetankojen ja paineilmasynterinin avulla. Apujouset tankojen päissä avustavat jousipalautteista paineilmasynteriniä painamaan ruuvikärjellä ruuvia. Kuulaholkeille, u-muotoisille kiinnikkeille ja paineilmasynterinin männänvarrelle on leikattu kiinnitysreiät.



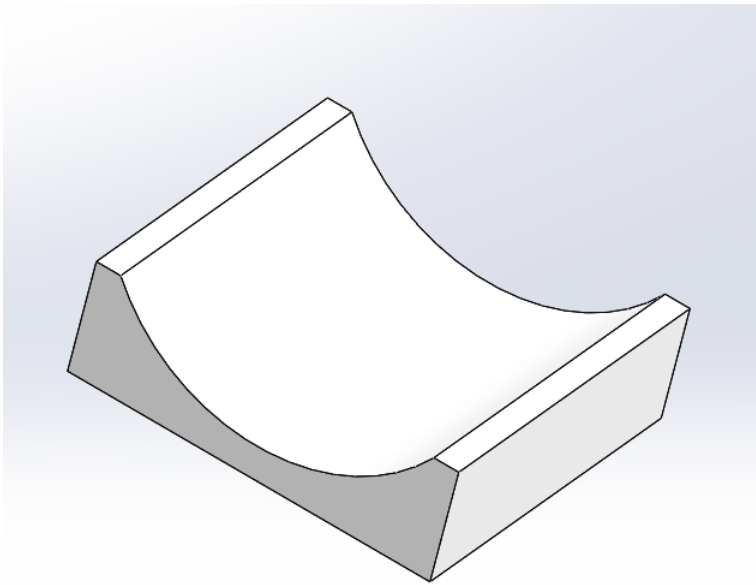
KUVA 22. Levy ruuvivääntimelle.

U-muotoisia kiinnikkeitä ruuvivääntimelle 3D-tulostettiin PLA-muovista kaksi kappaletta. Kiinnikkeillä puristetaan Atlas Copco -ruuvivääntimen levyyn kiinni.



KUVA 23. Kiinnike ruuvivääntimelle

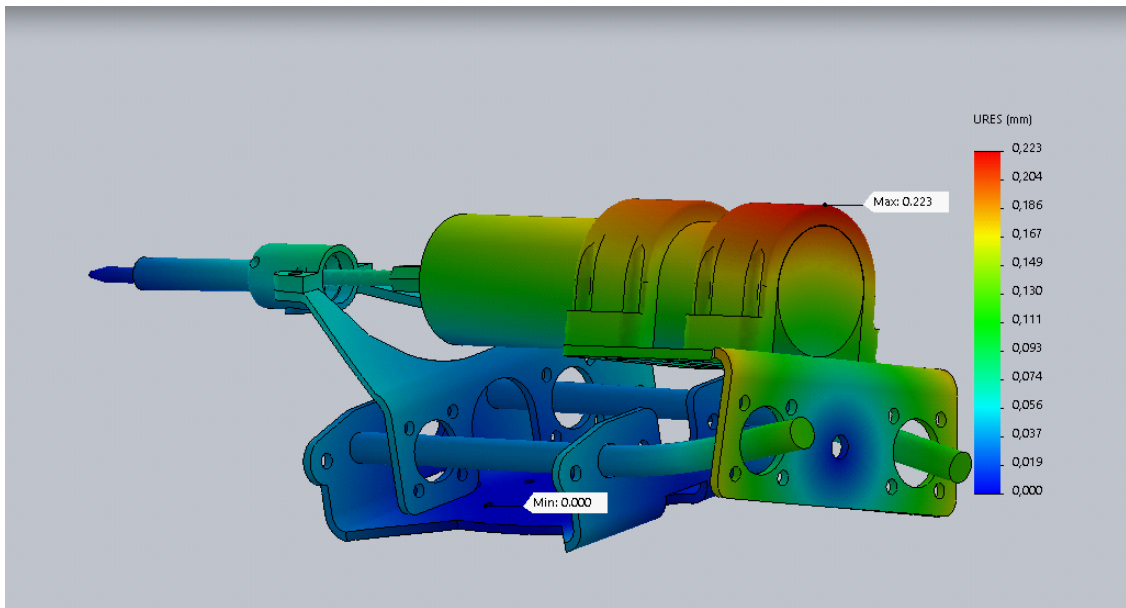
Ruuvivääntimelle 3D-tulostettiin pienet alatuet puristusvoiman lisäämiseksi. Alatuet (kuva 24) tulevat u-muotoisten kiinnikkeiden väliin.



KUVA 24. Alatuki

5.3.1 Kokoonpanon lujuusanalyysi elementtimenetelmällä

Ruuvivääntimen rungon teräslevyt suunniteltiin olevan S235-terästä ja johdetangot S355-terästä. Tälle kokoonpanolle tehtiin FEM-analyysi (Finite Element Method) Solidworks-ohjelmalla. Ruuvivääntimen kärki ja millibar-pikakiinnikkeen reiät on asetettu ohjelmassa kiinteiksi pisteiksi. Ruuviväännintä kuormittaa 5 Nm vääntömomentti. Kuvassa 25 näkyy, että resultantin maksimisiirtymäksi saatiin 0,223 mm tällä vääntömomentilla u-muotoisen taaemman kiinnikkeen päähän. Siirtymää saataisiin pienennettyä kasvattamalla johdetankojen paksuutta. Siirtymä on suhteellisen pieni, joten runko todettiin olevan tarpeeksi vahva ruuvaukseen.



KUVA 25. Solidworks-ohjelmalla tehty FEM-analyysi M5-ruuville suunnitellulle ruuvivääntimelle

5.3.2 Kokoonpanon valmistus

Kuvassa 26 näkyvät ruuvivääntimen rungon osat leikattiin vesileikkurilla. Rungon osat leikattiin molemmille Atlas Copco -ruuvivääntimille 3 mm:n teräslevystä (kuva 26).



KUVA 26. Ruuvivääntimen rungon osat ja 10 mm:n johdetanko

Projektissa käytettiin helposti saatavilla olevia standardiosia (kuva 27). Kuulaholkkien ja päätykiinnikkeiden läpi menee 10 mm:n johdetanko.



KUVA 27. Vasemmallä SHF10-päätükinnike ja oikealla LMK10UU-kuulaholkki

Ruuvikärjen holkkiin lukittiin laakeri ja akselitiiviste paikoilleen lukkorenkaalla. Akselitiiviste on kuvassa 28 laakerin alla. Holkki 3D-tulostettiin PLA-muovista. Holkkiin lukitaan 60 mm:n pituinen teräsputki kolmella M4 pidätinruuvilla.



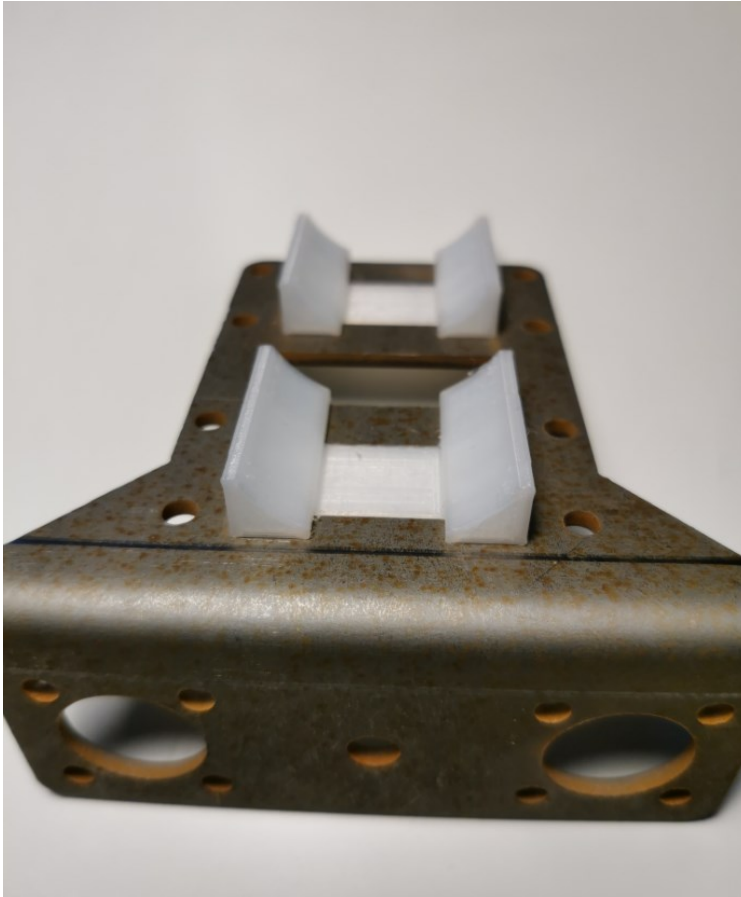
KUVA 28. Ruuvikärjen holkin kokoonpano

Kuvassa 29 oikeanpuoleinen 3D-tuloste on ensimmäisiä tuotoksia ja 5 mm:n vahvuista. Vasemmalla oleva 3D-tuloste on 10 mm:n tuplasti vahvempi versio. Ruuvivääntimen kiinnikkeet päätettiin vahvistaa puristusvoiman lisäämiseksi.



KUVA 29. Ruuvivääntimen kiinnikkeet

Kuvassa 30 näkyy ruuvivääntimen teräslevy ja 3D-tulostetut alatuet ruuvivääntimelle. Ruuvivääntimen asetetaan alatukien päälle ja u-muotoiset kiinnikkeet kiristetään levyyn pulteilla.



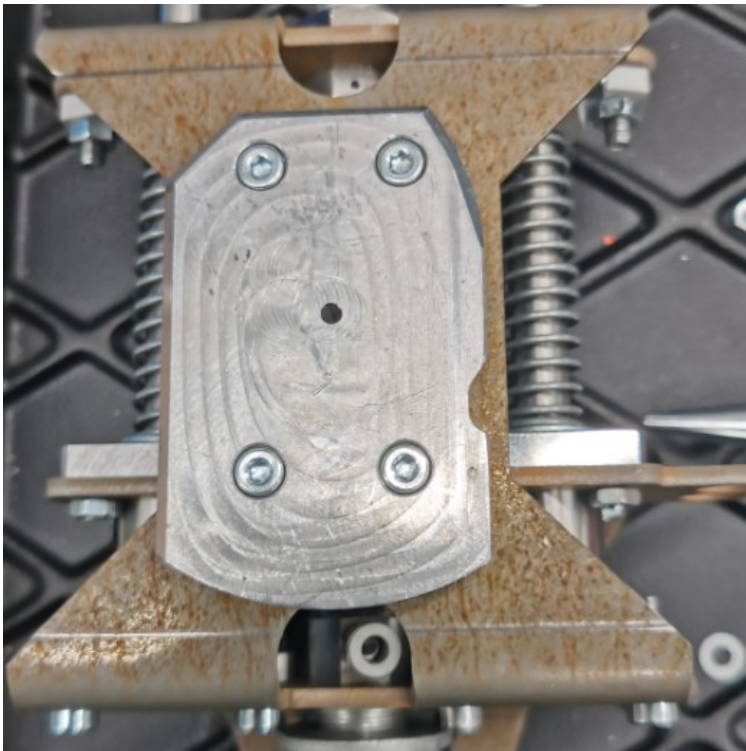
KUVA 30. Ruuvivääntimen teräslevy ja 3D-tulostetut alatuet

Kuvassa 31 Atlas Copco EBL55 -ruuvivääntimen kiinnitettynä teräslevyyn. Materiaali ruuvivääntimen kahvassa on joustavaa, joten 3D-tulosteista saadaan tarvittava puristusvoima, ettei ruuvivääntimen pyörähdä ruuvatessa.



KUVA 31. Atlas Copco EBL55 -ruuviväännin kiinnitettynä teräslevyyn.

Millibar-pikakiinnike kiinnitettiin pulteilla paineilmasylinterin levyyn. Pikakiinnike kiinnittyy yhteistyörobotin ranteeseen ja ruuviväännin on vaihdettavissa nopeasti (kuva 32).



KUVA 32. Millibar-pikakiinnike

Kuvassa 33 näkyy 45 asteen kartio sorvattu 60 mm:n pituinen, 6 mm:n paksun ja 1 mm:n seinävahvuudella olevan putken päähän. Putken sisämittaa suurennettiin 5 mm:n poranterällä, että T10 torx-kärki mahtuu putken läpi. Ejektori tuottaa alipaineen putkeen, kun ruuvin kanta painetaan kartiota vasten.



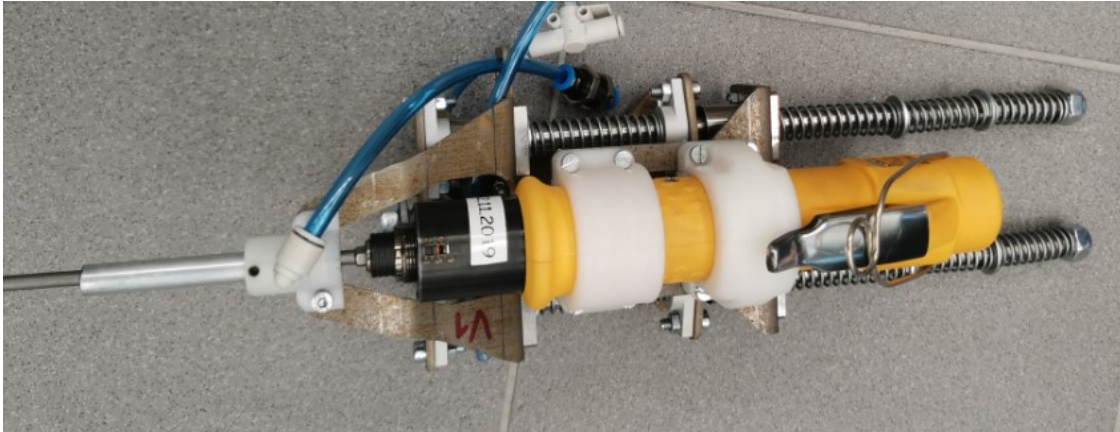
KUVA 33. Teräspankki, torx-kantainen ruuvi ja kärki

5.4 Puristusvoima ruuville kiristyksessä

Torx-kannat periaatteessa eivät vaadi juuri ollenkaan voimaa, kunhan kohdistus on tehty huolella ja kärki on suorassa ruuviin nähden. Pneumacon Oy:n tarjoamissa ruuvausyksiköissä väännintä painettaessa se jää kellumaan jousen päälle. Jousen voima on yleensä noin 80 - 200 N riippuen ruuvikoosta (Lindroos 2020).

Ennen ruuvauksen testaamista arvoitiin tarvittavan jousivoiman määrän olevan noin 100 N. Ruuvia on tarkoitus painaa jousen avulla, ettei kärki hypi yli torx-kannassa. Jousivoima SMC:n C85E16-50S paineilmasylinterissä on 13,2 N männänvarsi ulkona ja 7,5 N männänvarsi sisällä. Jousivoimaan lisätään ruuvivääntimen painosta aiheutuva voima, joka oli noin 10 N. Yhteensä ruuvin puristusvoima ilman apujousia oli männänvarsi sisällä 17,5 N ja männänvarsi ulkona 23,2 N. Ruuvaus tapahtuisi näiden voimien välillä. Kokoonpanoon lisättiin apujousia.

Kuvassa 34 näkyviä apujousia oli ensimmäisissä koeajoissa yhdellä johdeakselilla 3 kappaletta peräkkäin ruuvin painamista varten. Jousien koot olivat 12 x 70 mm ja 2 kpl 12 x 50 mm. Jousien langan vahvuus oli 1,5 mm. Jouset valittiin jousilajitelmasta, joten jousivoima ollut tiedossa. Sylinterin paluuliikettä jouduttiin hidastamaan reilusti vastusvastaventtiilillä liiallisesta voimasta johtuen.

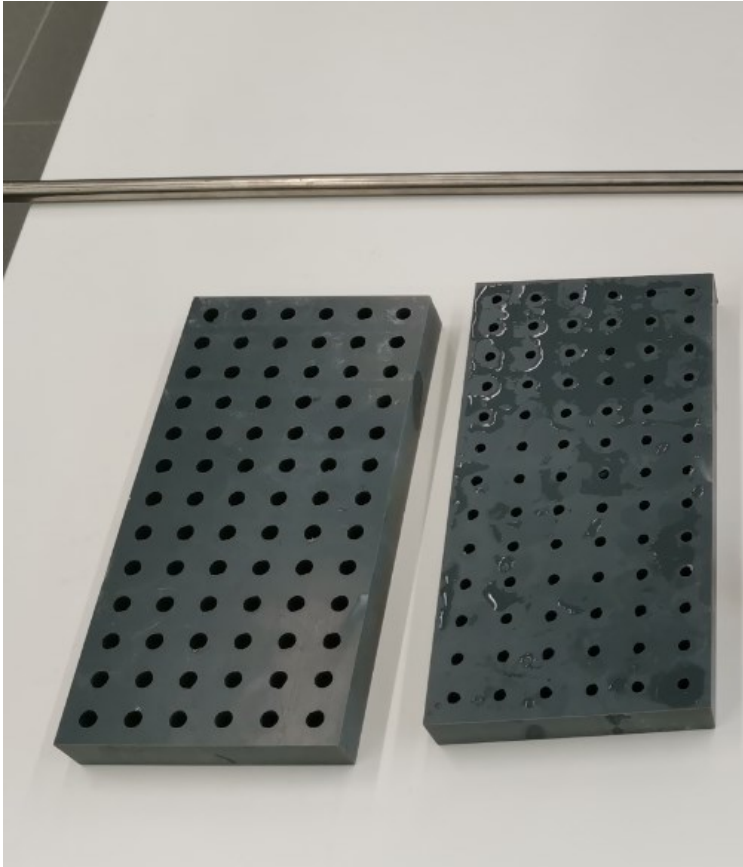


KUVA 34. Jouset peräkkäin johdeakseleiden päässä

5.5 Ruuvin poiminta tarjottimelta

Tarjottimia suunniteltiin aluksi valmistettavan viisi kappaletta 50 mm:n vahvuisesta MDF-levystä jokaiselle ruuvi koolle. Tarjottimia valmistettiin lopulta kaksi kappaletta 20 mm:n vahvuisesta muovilevystä. Tarjottimeen leikattiin reiät ruuveille vesileikkurilla. M5-ruuville tehtiin 6 mm reikä ja M3-ruuville 4 mm reikä. Pintaan mietittiin myös pieniä upotuksia ruuveille. Upotukset tehtäisiin pylväspora-koneella tai CNC-jyrsimellä. Upotukset kuitenkin jätettiin tekemättä, koska arvioitiin konenäkökameran olevan käytössä ruuvin poiminnassa eikä ruuvin paikoituksen tarvitse olla niin tarkka.

Testejä varten tarjottimia tehtiin yksi kappale kummallekin ruuvi koolle. Alkuperäisessä suunnitelmassa oli neljä tarjotinta pienemmälle ruuville. Jokaiselle ruuvin eri mitalle oli tarkoitus laittaa oma tarjotin. Kuvassa 35 vasemmalla M5-ruuvi-tarjotin 6 mm rei'illä ja oikealla M3-ruuvi-tarjotin 4 mm rei'illä. Ruuvit aseteltiin reikiin poimintaa varten. Kuvassa 35 näkee, että reiät ovat hieman epämuodostuneita vesileikkauksesta johtuen.



KUVA 35. Ruuvitarjottimet

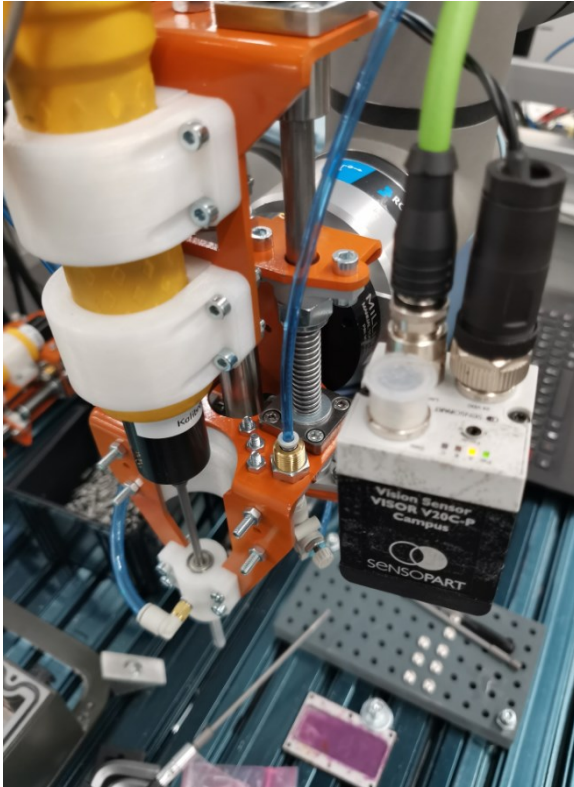
Tarjottimen paikoitukseen suunniteltiin kulmapalat, jotka tulee pulteilla kiinni pöytään. Tarjotin asetetaan kulmien keskelle. Tarjottimen voi tarvittaessa nostaa pois paikoiltaan ja täydentää yhteistyörobotin toimiessa (kuva 36).



KUVA 36. Kulmapalat

5.6 Kierrelukitteen kuvaus konenäkökameralla

Kierrelukitteen kuvausta varten konenäkökameran paikkaa suunniteltiin pöydälle tai yhteistyörobotin ranteeseen. Kamera kiinnitettiin yhteistyörobotin ranteeseen ruuvipöimintää varten (kuva 37). Kierrelukite oli tarkoitus kuvata ruuvivääntimen kärjessä olevasta ruuvista. Yhteistyörobotti vie ruuvivääntimen kuvauspaikkaan, jossa on peili 45 asteen kulmassa kameran linssiin nähden. Kamera on kohdistettu poimitun ruuvipöimintän kärkeen.



KUVA 37. Sensopart-konenäkökamera ja ruuviväännin kiinnitettynä yhteistyörobotin ranteeseen

Peilin jalusta 3D-tulostettiin PLA-muovista. Jalusta kiinnitettiin kokoonpanosolun pöytään pulteilla ja 88 x 88 mm:n kokoinen kirkas peili liimattiin jalustaan kiinni (kuva 38).



KUVA 38. Peilin jalusta

6 TESTAUS JA KÄYTTÖÖNOTTO

Ruuvauksen testaus aloitettiin Oamkin laboratoriossa ja kokeiltiin ruuvin poimintaa konenäkökameran avulla. Ruuvauksen aloitus tapahtui ruuvivääntimen kärkeä painamalla. Yhteistyörobotti vei ruuvivääntimen reiän päälle. Sähkökäyttöisellä suuntaventtiilillä ohjattiin paineilmasylinteriä. Jousipalautteisen sylinterin ja apujousien avulla painettiin ruuvivääntimen kärjellä ruuvia. Ruuvivääntimen kärkeen kohdistuvan voima sai ruuvivääntimen kytkeytymään päälle. Ruuvaus jatkui niin kauan kuin kärkeä painettiin tai säädetty kiristysmomentti saavutettiin.

6.1 Ruuvin kiristys ja momentin tarkistus

Atlas Copco -ruuvivääntimiä ohjattiin omilla kuvassa 39 näkyvillä ohjausyksiköillä. Ohjausyksiköistä löytyy nopeudensäätö hi ja low. Laboratoriotesteissä käytettiin low-nopeutta. Käyttöönottovaiheessa low-nopeudella ei saavutettu tarvittavaa momenttia M5-ruuville ja nopeus vaihdettiin M5-ruuville.



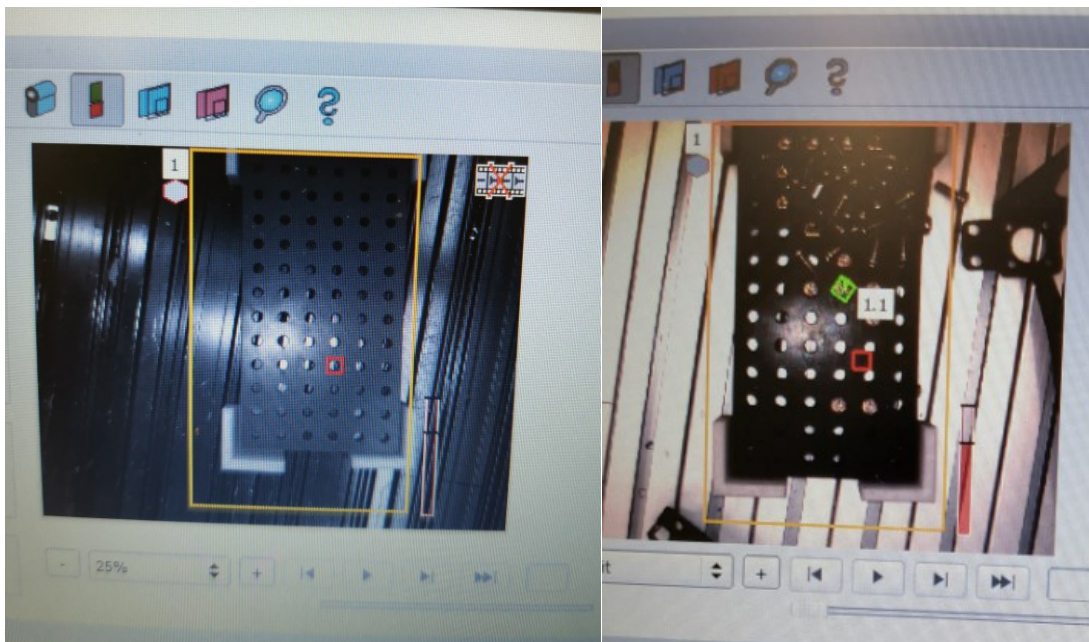
KUVA 39. Atlas Copco -ruuvivääntimen ohjausyksikkö

Atlas Copco -ruuvivääntimet säädettiin niin, että ne lopettavat ruuvauksen, kun ruuvi on kiristetty momenttiin. Ruuvien kiristys toimi aikaperusteisella paineilmasylinterin ohjauksella. Ensimmäisissä testeissä sähköisellä suuntaventtiilillä paineilmasylinteriä ohjattiin 2 sekunnin ajan. M5-kierteellä olevan 16 mm:n pituisen ruuvin ehti ruuvata siinä ajassa momenttiin. Kiristysmomentin tarkistuksessa käytettiin lyhyempää 0,7 sekunnin aikaa.

Hi-nopeudella momentin tarkistus ja purkutoiminto ei ollut kovin luotettavaa. Torx-kannasta muodostui helposti pyöreän muotoinen eli kärki pyöri tyhjää ruuvin kanssa. Low-nopeudella taas momentin saavuttaminen ja purkutoiminto ei ollut mahdollista M5-ruuville. Atlas Copco EBL55 -ruuvivääntimessä ei ollut tarpeeksi voimaa 5 Nm:n kiristysmomentin saavuttamiseksi. EBL20-ruuvivääntimen M3-ruuville pystyi toimimaan myös low-nopeudella ruuvaustoiminnoissa.

6.2 Konenäkökameran haasteet ruuvien poiminnassa

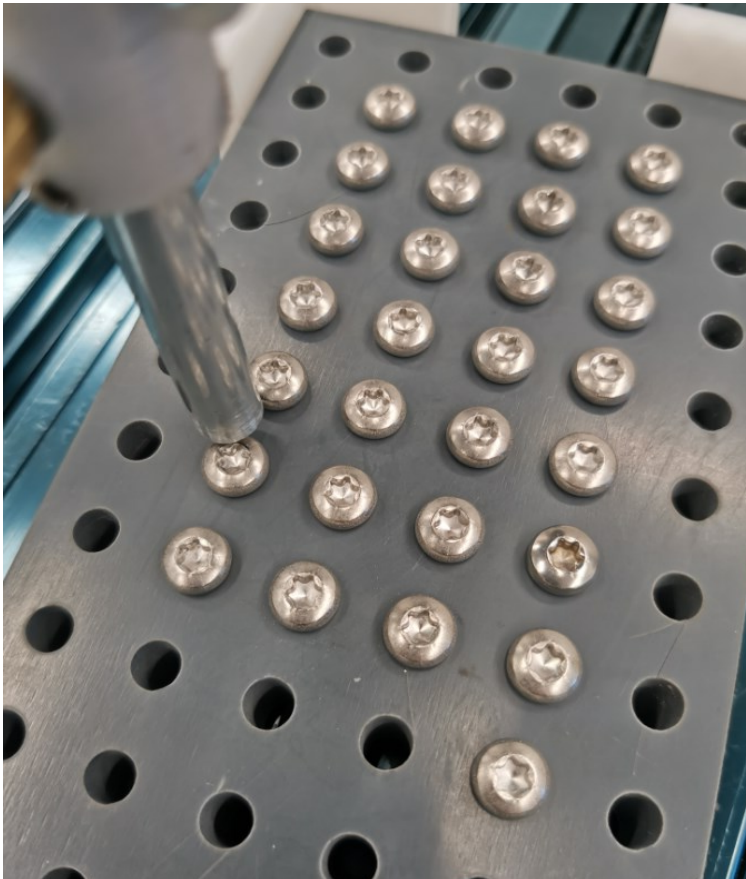
Konenäkökameralla kuvattiin tarjotinta ja poimittiin ruuvi tarjottimelta. Sensopartin kameralle ladattiin URCap-sovellus UR-käyttöliittymään. Kuvassa 40 vasemmalla ruuvitarjotin tyhjänä ja oikealla löytynyt ruuvi neliöity vihreällä värillä. Valaistus ja ruuvien heijastava pinta olivat haasteena konenäkökameralla poiminnassa.



KUVA 40. Ruuvitarjottimen kuvaus konenäkökameralla

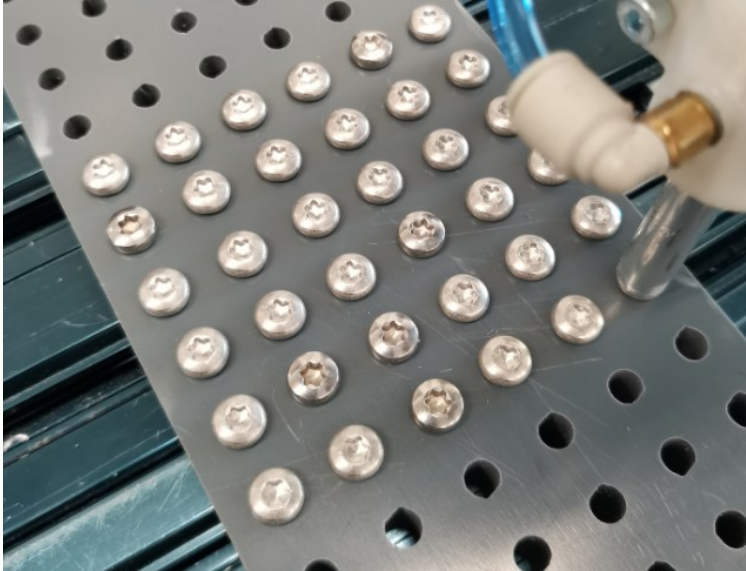
Ensin kokeiltiin Visor Pick Up -toimintoa, mutta päädyttiin käyttämään Visor Terminal -komennolla saatavia kuvatus ruuvien koordinaatteja yhteistyörobotin ohjelmassa. Visor Pick Up -toiminto pyöritti yhteistyörobotin ranteita ei-haluttuihin asentoihin poiminnassa ruuvien kulma-asennon tunnistuksesta johtuen. Visor Terminal:sta saatavilla koordinaateilla kameran tarkkuus ruuvien poimintaan ei kalibroinneista huolimatta ollut kovin tarkkaa ja luotettavaa. Osa poiminnoista eivät kohdistuneet lainkaan ruuvien päälle. Lopulta päädyttiin käyttämään UR-käyttöliittymästä löytyvää Pallet-toimintoa, johon paikoitettiin tarjottimelle 6 x 6 määrä ruuveja.

Kuvassa 41 näkyy poiminnan epätarkkuus konenäkökameralla, kun poimintatyökalu ei ole sattunut ruuvien kohdalle lainkaan. Epätarkkuus oli satunnaista ja johtui todennäköisesti valaistuksesta ja ruuvien kiiltävästä materiaalista. Putken pitäisi lähestyä täsmälleen ruuvien yläpuolella, että alipainetarttujalla poiminta onnistuu.



KUVA 41. Ruuvien poiminta konenäkökameralla

Kuvassa 42 näkyy UR-yhteistyörobotin Pallet-toiminto ja 6 x 6 ruuvi järjestely. Putken päähän sorvatun kartion tarkoitus oli keskittää putki ruuvien päälle poiminnassa. Pallet-toiminto sopi ruuvien poimintaan, vaikka M5-ruuvit eivät olleet tarkasti paikoitettuja 6 mm:n reiästä johtuen.



KUVA 42. Ruuvien poiminta Pallet-toiminnolla

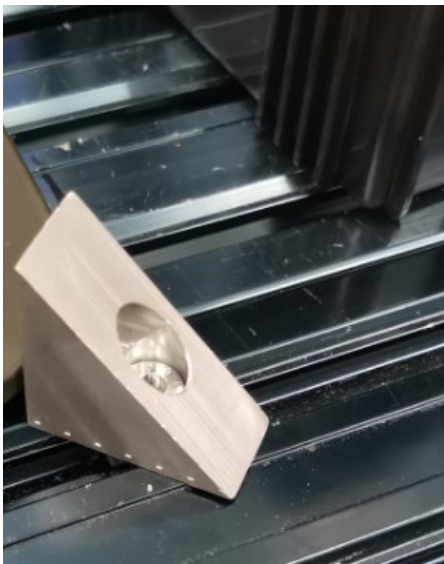
6.3 Kokoonpanon paikoitus

Kokoonpano paikoitettiin alumiiniprofileilla yhteistyörobotin pöytään. Profiiliputkista muodostettiin 90-asteen kulma (kuva 43). Paikoituksessa testattiin myös yhteistyörobotin omalla voima-anturilla ruuvien reiän tunnistusta ja paikan tallennusta yhteistyörobotin ohjelmaan. Reiän tunnistus oli kuitenkin tarpeeton hyvästä paikoituksesta johtuen.



KUVA 43. Alumiiniprofiilit

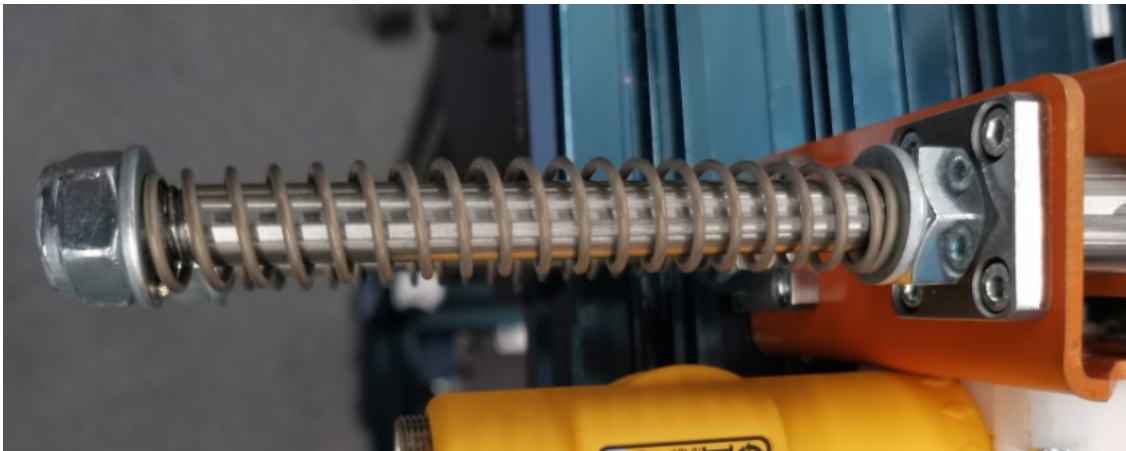
Alumiiniprofiileista muodostettuun 90 asteen kulmaan painettiin kokoonpanoa kulmapalalla vastakkaisesta päädyistä (kuva 44). Kokoonpano oli tukevasti kiinni yhteistyörobotin pöydässä.



KUVA 44. Kulmapalalla

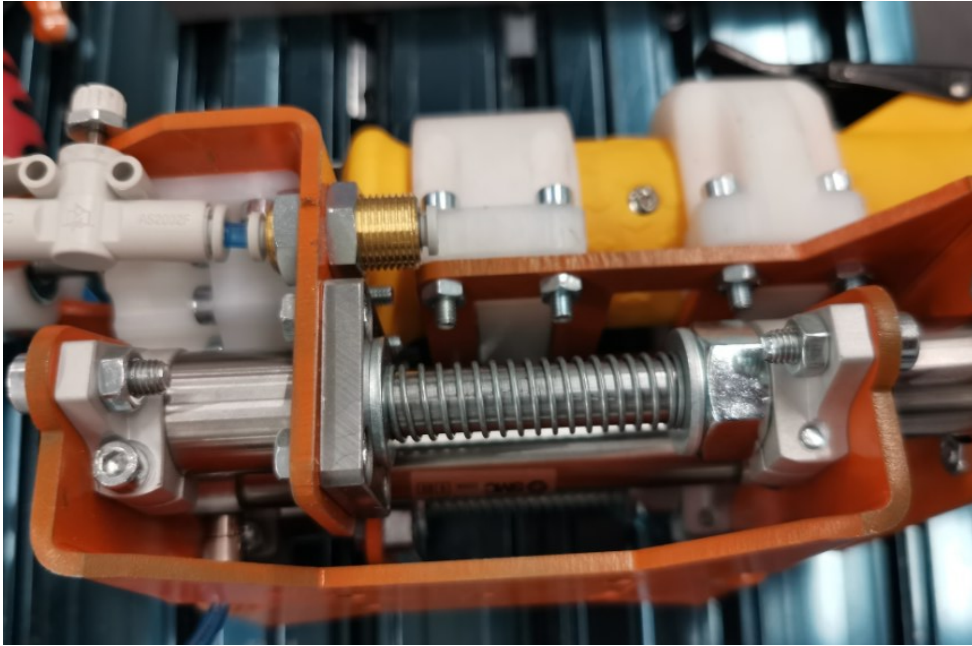
6.4 Muutokset ruuvivääntimen jigiin testausvaiheessa

Ruuvien puristusvoimaan tehtiin testausvaiheessa muutos. Kolmen jousen tilalle laitettiin yksi 100 x 15 x 1,5 mm:n rst-puristusjousi (kuva 45). Jousen kierros-
määrä oli 20 ja jousivoimaksi oli ilmoitettu 1,1 kg / cm. Tällöin ruuvien kokonaispu-
ristusvoimaksi tulee 50 mm:n paineilmasylinterin männän iskulla ja kahdella jou-
sella enimmillään noin 130 N. Jousiin laitettiin pieni esipuristus johdetankoon si-
joitetulla mutterilla. Paineilmasylinterin paluuliikettä jouduttiin silti rajoittamaan lii-
allisen voiman takia vastusvastaventtiilillä.



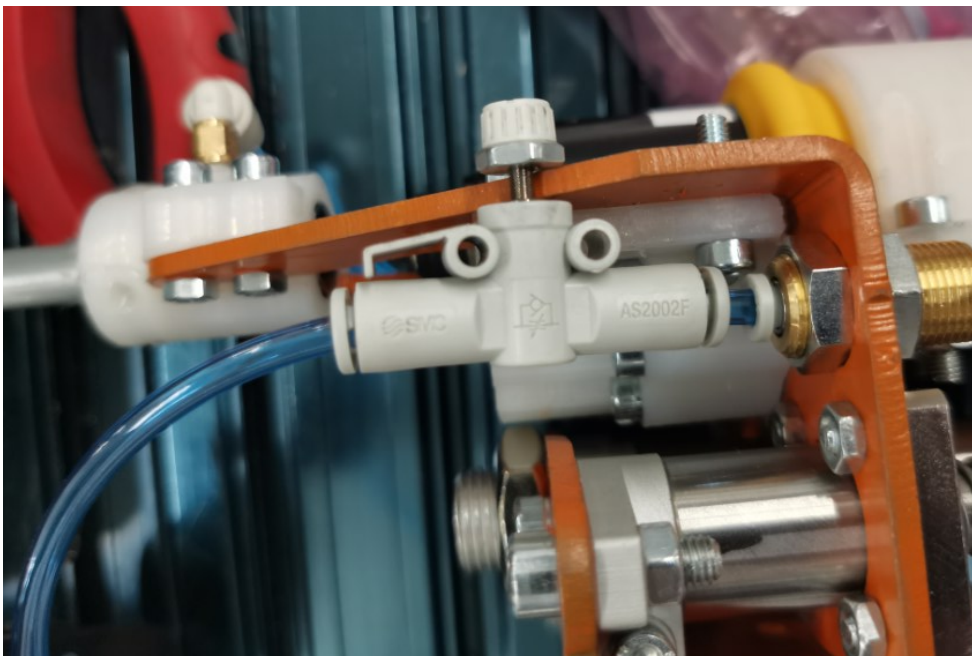
KUVA 45. Puristusjousi

Ruuvien poimintaa helpottavat jouset vaihdettiin löysempiin. Kuvassa 46 näkyviin kuulaholkin ja päätykiinnikkeen väliin laitettiin 60 x 10 x 1 mm:n puristusjouset. Jousiin laitettiin pieni esipuristus johdetankoihin sijoitetuilla muttereilla.



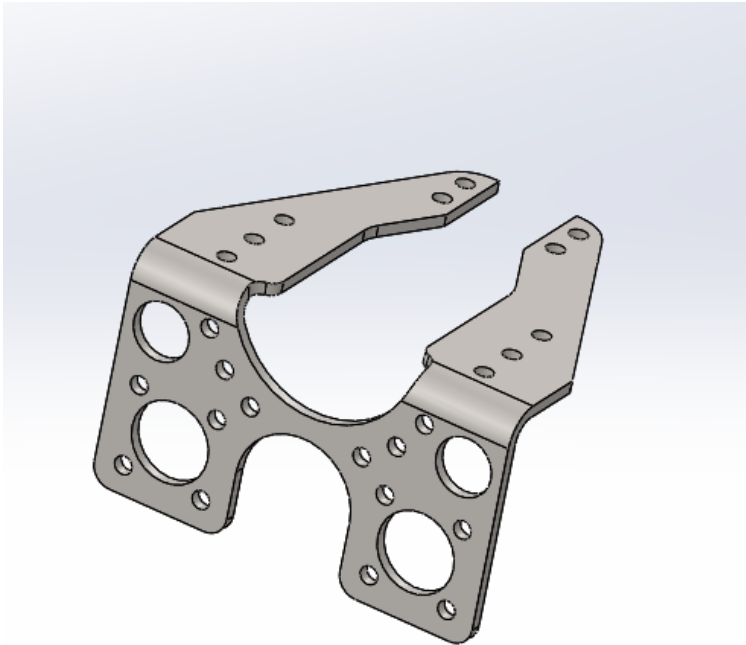
KUVA 46. Puristusjousi

Säädettävä vastusvastaventtiili paineilmaputken välissä rajoittaa ruuvauksen tarkoitetun syöttöliikkeen nopeutta eli rajoittaa paineilmasylinterin männän paluuliikettä (kuva 47)



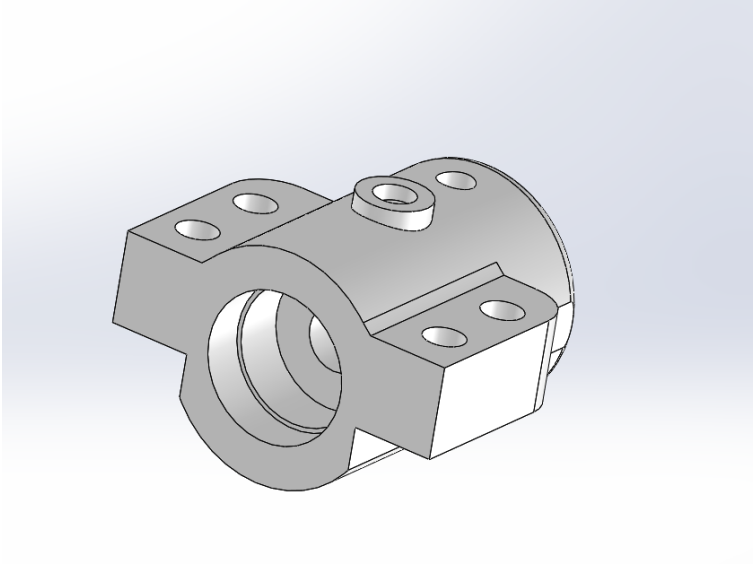
KUVA 47. Säädettävä vastusvastaventtiili

Kärkilevyn taivutuskulmia muutettiin paremmaksi. Kaksi kulmaa vaihdettiin yhdeksi 90 asteen kulmaksi ja lapoja levennettiin vahvuuden lisäämiseksi (kuva 48). Kahden kulman särmääminen osoittautui haastavaksi tiukoista geometrisistä toleransseista johtuen. Kärkilevy tehtiin 3 mm:n teräslevystä yhdellä 90 asteen kulmalla. Kuulaholkeille, tukipalalle, holkille ja paineilman läpivientiliittimille suunniteltiin sopivat reiät levyyn.



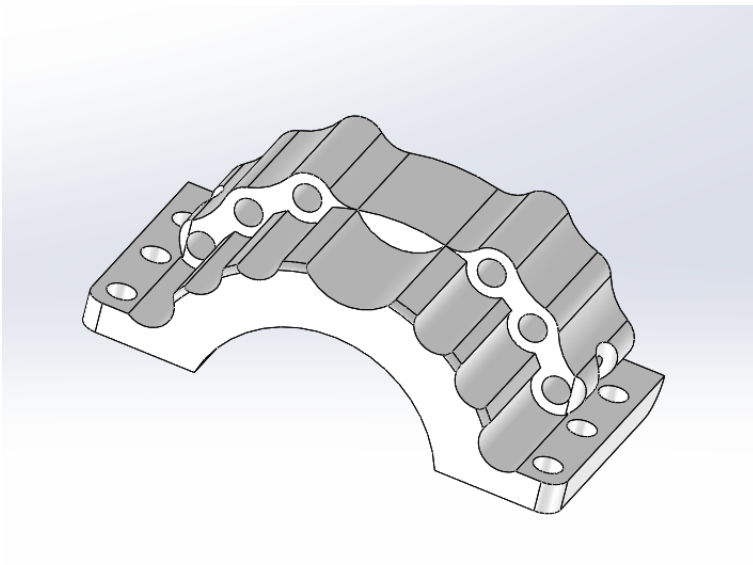
KUVA 48. Uusi kärkilevy

Kuvassa 49 näkyvään holkkiin lisättiin materiaalia ja kiinnitysreikiä kärkilevylle. Holkki 3D-tulostettiin PLA-muovista.



KUVA 49. Uusi holkki

Tukipala uudelle kärkilevyllä 3D-tulostettiin PLA-muovista. Tukipalassa on reiät kuusiokoloruuvikiinnitykselle kärkilevyyn. Tukipala kiinnitettiin levyn alle tukemaan ruuvaustapahtumaa ja vahvistamaan ruuvivääntimen jigia (kuva 50).

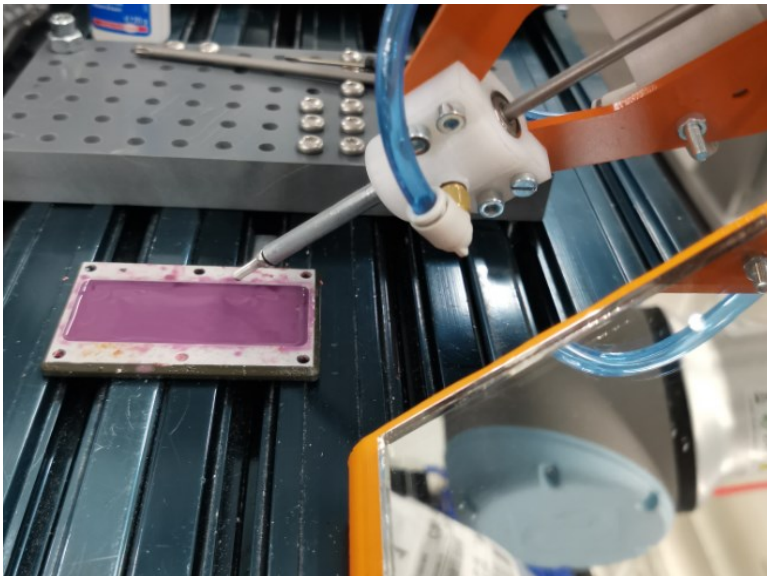


KUVA 50. Tukipala

6.5 Kastaminen kierrelukitteessa ja varmistus konenäkökameralla

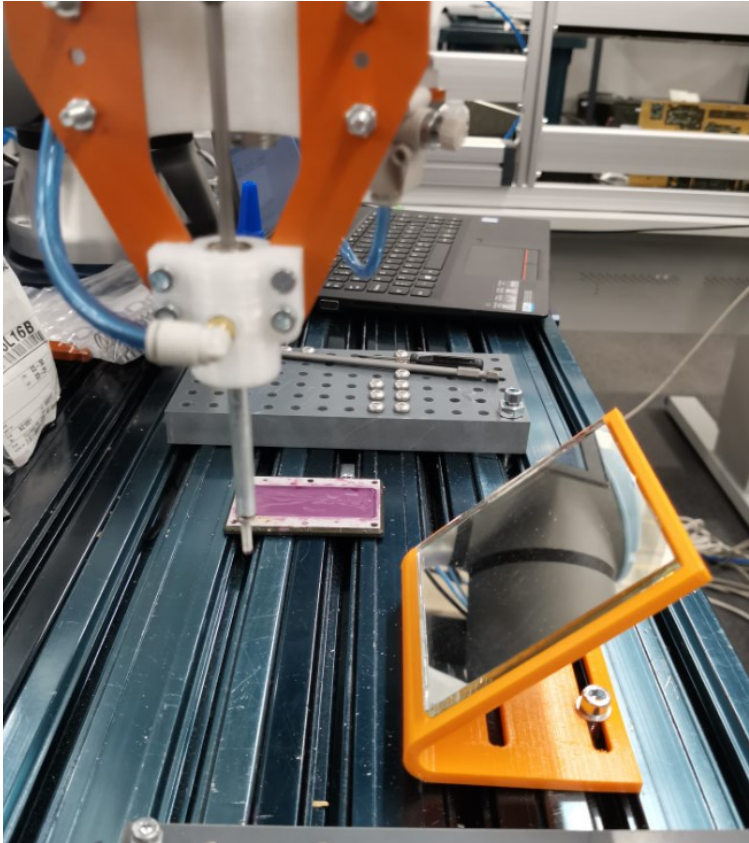
Käyttönottovaiheessa kierrelukitetta kastettiin pienessä kupissa aluksi vain yhdeltä puolelta (kuva 51). Myöhemmin käyttönottovaiheessa kastamiseen lisättiin pieni pyöritys liike, että kierrelukitteen määrää saatiin lisättyä ruuvipäähän.

Ruuviväännin käännettiin sopivaan kulmaan niin saatiin kierrelukite varmasti kierteeseen. Kokoonpanossa käytettiin Loctite 222 -kierrelukitetta.



KUVA 51. M3-ruuvin pää kastettuna kierrelukitteessa

Kuvassa 52 näkyy kun kastamisen jälkeen yhteistyörobotti vie ruuvin kuvattavaksi peilin eteen. Kierrelukitteen kuvauspaikka oli 45 asteen kulmassa olevan peilin päällä. Konenäkökamera oli kiinnitetty ruuvivääntimen viereen yhteistyörobotin ranteeseen. Kierrelukitteen kuvauksesta saatiin score-arvo Visor terminal -toiminnolla UR-käyttöliittymästä. Ohjelmaan lisättiin loop-silmukka, joka tarkkaili tätä arvoa. Arvot aseteltiin valaistuksen mukaan sopivaksi. Jos säädettyihin arvoihin ei päästy niin ruuvin kastaminen kierrelukitteessa tapahtui uudelleen.



KUVA 52. Kierrelukitteen kuvauspaikka

6.6 Riskienarviointi yhteistyörobotille kokoonpanosolussa

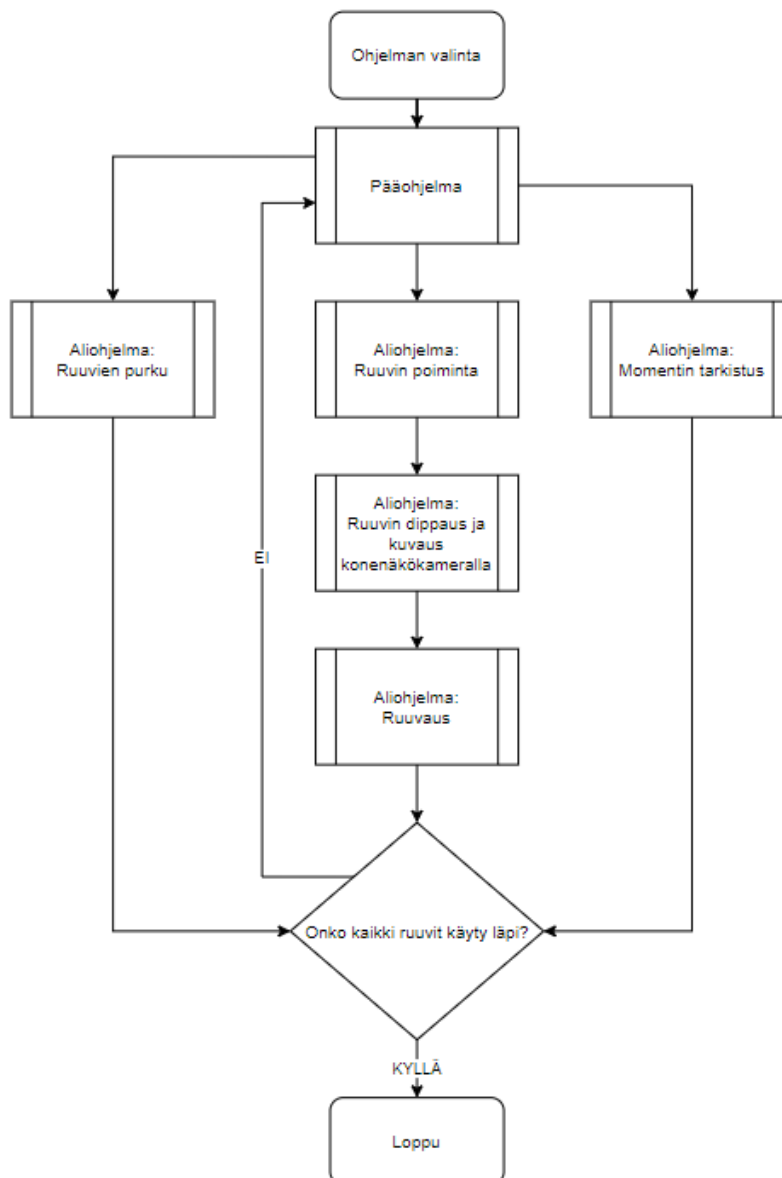
Riskienarviointi kokoonpanosolulle suoritettiin testausvaiheen päätteeksi. Riskienarvioinnissa käytettiin Excel-taulukkoa, joka perustuu Raimo Vähän tekemään opinnäytetyöhön yhteistyörobottien turvallisuudesta. Taulukosta 3 huomataan riskit ja niiden suuruudet. Suurimmaksi riskiksi arvoitiin Atlas Copco -ruuviväänin, jota ei ohjata yhteistyörobotin omalla järjestelmällä (taulukko 3, riski 3).

TAULUKKO 3. Riskienarviointi

	NIMI	PVM	RISKIN SUURUUS
RISKI 1	Yhteistyörobotin liikeradalle joutuminen	18 / 03 / 2021	Mer- kityksetön
RISKI 2	Paineilmaletkun rikkoutuminen	18 / 03 / 2021	Pieni
RISKI 3	Haava käteen ruuvarista	18 / 03 / 2021	Pieni
RISKI 4	Sähköisku	18 / 03 / 2021	Mer- kityksetön
RISKI 5	Paineen purkautuminen asen- nusvaiheessa	18 / 03 / 2021	Pieni
RISKI 6	Pöydän kaatuminen	18 / 03 / 2021	Pieni

7 YHTEISTYÖROBOTIN OHJELMA KOKOONPANOSOLULLE

Ohjelma suunniteltiin koostuvan kuudesta osiosta: pääohjelma, ruuvaus, tarkistus, purku, ruuvien poiminta ja kierrelukitteen varmistus. Pääohjelma kutsuu aliohjelmaa yhteistyörobotille ohjelmoidussa järjestyksessä. Ennen pääohjelmaa alustetaan tarvittavat laitteet ja muuttujat.



KUVA 53. Ohjelmarakenteen lohko-kaavio

7.1 Pääohjelma

Ruuvipaikat alustetaan ennen ohjelmaa Array-listana x-, y- ja z-koordinaatteina ruuvien kiristysjärjestykseen. Nollapiste kalibroidaan tiettyyn ruuvipaikkaan kokoonpanossa. Kiristysjärjestystä varten alustetaan muuttuja, jota seurataan ohjelmassa ja lisätään +1 muuttujan arvoon jokaisen ruuvien kiristyksen jälkeen. Ejektorille ja paineilmasuuntaventtiilille asetetaan lähdöt päälle tai pois päältä. Alustuksien jälkeen yhteistyörobotti siirtyy aloituspisteeseen, josta on turvallista aloittaa ruuvausohjelma, eikä voi törmätä kokoonpanosolun rakenteisiin. UR-käyttöliittymästä valitaan haluttu ohjelma syöttämällä numeroa vastaava ohjelma. Yhteistyörobotti aloittaa halutun ohjelman ja kutsuu aliohjelmia oikeassa järjestyksessä.

7.2 Ruuvien nouto tarjottimelta ja konenäkökameralla kuvaus

Ruuvien noutaminen tapahtuu Pallet-toiminnolla. Ruuvit on paikoitettu 6 x 6 asetelmaan tarjottimelle ja poiminta tapahtuu järjestyksessä. Jos tulee katkos ohjelmaan, niin yhteistyörobotti muistaa mistä on viimeksi poiminut ruuvien. Ruuvivännin rakennetussa jigissä olevalla putkella lähestytään ruuvia ylhäältä päin ja poimitaan ruuvi. Ohjelma asettaa ejektorin päälle ja odottaa kunnes alipaine on muodostunut putkeen. Ruuvi kastetaan kierrelukitteessa ja siirrytään kuvaus paikalle. Konenäkökamera ottaa kuvan. Visor Terminal -toiminnolla saadaan kuvasta tiedot yhteistyörobotille. Yhteistyörobotti seuraa score-arvoa, joka on asetettu valaistuksen mukaan kierrelukitteen tunnistukseen. Jos arvo ei ole kohdallaan niin ruuvien kastaminen kierrelukitteessa tapahtuu uudelleen.

7.3 Ruuvaus, tarkistus ja purkutoiminto

Ruuvaus tapahtumaan siirrytään reiän yläpuolelta lineaariliikkeellä. Ohjelma asettaa paineilmasylinterin lähdön päälle ja ruuvaus tai tarkistus tapahtuu. Tietyn ajan jälkeen sylinterin lähtö laitetaan pois päältä ja ruuvivännin siirtyy lineaariliikkeellä ylöspäin turvalliselle alueelle. Purkutoiminnossa ennen ylöspäin siirtymistä ejektorin laitetaan päälle ja alipainetartunnalla poimitaan ruuvi, jonka jälkeen ruuvi pudotetaan kierrätyslaatikkoon.

8 TYÖN TULOKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin kokoonpanosolun rst-ruuvien ruuvaustapah-tuma purkutoimintoinen yhteistyörobotilla. Lopputuloksena syntyi lähes itsenäisesti ruuvaava yhteistyörobotti. Kokoonpanosolu vaatii kuitenkin ihmisen tarkis-tamaan ruuvien kiinnityksen sekä ruuvien kiristyksessä, tarkistuksessa ja purku-toiminnassa tapahtuvia virheitä. Joissakin virhetilanteissa kuitenkin pystyisi käyt-tämään konenäkökameraa apuna. Tässä projektissa ei ollut muuta laadunvar-mistusta kuin kierrelukitteen kuvaus ja ruuvien poiminnassa käytetty vakuumitieto ejektorilta. Muut tarkistukset suoritti operaattori.

Kuvassa 54 näkyvistä ruuvivääntimien rungoista suunniteltiin universaaleja eli niitä voisi käyttää myös muun merkkisillä vääntimillä ja erilaisissa automatisointi sovelluksissa. Ruuvivääntimen rungon osat ovat helposti muunneltavissa eri so-velluksiin. Ruuvivääntimen runko kestää ainakin 5 Nm:n vääntömomentin ja useita törmäyksiä kokoonpanosolun rakenteisiin UR10e-yhteistyörobotilla. Vah-vuutta on helppo lisätä esimerkiksi suurentamalla johdetankoja ja vaihtamalla kuulaholkit.



KUVA 54. Atlas Copcon -ruuvivääntimet ja jigit yhteistyörobotille

Konenäkökameran käyttöä ruuvien poiminnassa kokeiltiin, mutta valaistus ja ruuvien heijastava pinta olivat haasteena. Värintunnistus saatiin toimimaan kohtuullisen hyvin ja ruuvien kastaminen kierrelukitteessa saatiin varmistettua. Värintunnistuksessa valaistuksen suunnittelu ja oikeanlainen ympäristö toisi varmuutta tunnistukseen.

8.1 Rst-ruuvien poiminta

Poimintatyökalun kehittäminen eteenpäin toisi varmuutta ruuvien poimintaan. Oikeanlaisen pehmeän materiaalin käyttö alipainetarttujan kärjessä parantaisi pitoa ruuvien kannassa ja todennäköisesti vakuumitieto saataisiin ejektorilta paremmin. O-rengasta kokeiltiin ruvipoimintatyökalun kärjessä, mutta o-renkaan kestoikä ei ollut riittävä. Kartion muotoilu putken päähän CNC-työstökoneella saattaisi myös parantaa poimintaa.

Ruuvien poiminnassa voisi käyttää tarjottimen tilalla tärykuljetinta. Kun ruuvi poimitaan vain yhdestä paikasta, niin tarkkuus paranee huomattavasti. Ruuvien

syöttö paineilmaputkea pitkin ruuvivääntimen kärkeen poistaisi kokonaan epävarmuuden poiminnan tarkkuudesta ja alipainetarttujan toiminnasta. Ruuvien koko pitää huomioida paineilmatoimista ruuvinsyöttöä suunnitellessa.

Ruuvien poiminta kokoonpanosta purkuvaiheessa osoittautui haasteelliseksi. Kierrelukite pitää ruuvia tiukasti kiinni reiässä, vaikka ruuvi oli jo irronnut kierteiltä, eikä alipainetarttujalla poiminta onnistunut. Ruuvien poiminta on haasteellista myös mekaanisesti, pitkistä ja ahtaista syvennyksistä johtuen. Ainoa keino oli nostaa osat pois kokoonpanosta ruuveineen käsin, kun ruuvit on löysätty ja kaataa ruuvit pois osasta.

8.2 Ruuvivääntimen ohjaus

Tämän projektin ruuvivääntimiä ei kytketty ollenkaan yhteistyörobotin ohjausjärjestelmään. Ruuvivääntimen ohjaus automatisoidussa ruuvauksessa on melkein pakollista itsenäisesti toimivassa yhteistyörobottisolussa, ellei ruuvivääntimelle rakenneta erillistä anturointia. Ilman ohjausta suurilla pyörintänopeuksilla ruuvivääntimen poraa helposti ruuvien kannan pyöreäksi. Laadunvarmistus helpotuisi ohjauksen avulla. Ruuvivääntimeltä saataisiin tärkeää tietoa ruuvaus tapahtumasta ja aikaperusteisesta ohjauksesta voitaisiin luopua.

8.3 Kokoonpanon automatisointi

Kokoonpanoa suunnitellessa voisi miettiä ruuvauksen automatisointia. Pienet tilat ja pitkät syvennykset ruuveille ovat haasteellisia yhteistyörobotin työkaluille. Työkalu ei välttämättä yllä pohjaan saakka tai ruuvien kannasta ei voi ottaa mekaanista otetta. Kartion muotoiset upotukset auttavat ruuvia menemään kierteille. Magneettisen ruuvien käyttäminen kokoonpanossa lisäisi yhteistyörobotilla käytettävien valmiiden työkalujen määrää.

Kokoonpanon ruuvien poimintaa alipainetarttujalla voisi helpottaa erilaisilla ruuvikannoilla. Ruuvit eivät kuitenkaan ole aina samankokoisia johtuen valmistajien toleransseista ja valmistustavasta. Laipallisen ruuvien poiminta alipainetarttujalla tai mekaanisella tarttujalla voisi olla helpompaa isommasta pito pinta-alasta johtuen. Upotuksen koko voisi olla tällöin ruuvien laipan kokoinen ja ruuvien sijoittaminen koloon olisi helpompaa.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Bittium Oyj. Tarkoituksena oli kehittää tietylle kokoonpanolle ruuvauksen automatisointi ja tutkia, millä keinoilla se olisi mahdollista tehdä. Tässä projektissa suunniteltiin kokoonpanosolu systemaattisen tuotekehityksen vaiheiden mukaan. Käyttöönottovaiheessa ruuvausta testattiin toimeksiantajan toimitiloissa. Yhteistyörobotti kykeni lähes itsenäiseen työskentelyyn. Varsinkin pienemmän M3-ruuvien ruuvaus onnistui hyvin. Yhteistyörobotin toimintaa piti kuitenkin koko ajan valvoa, eikä kaikkiin tavoitteisiin päästy. Automatisoinnin tavoitteena oli työntekijän vapauttaminen vaativimpiin työtehtäviin.

Konenäkökameran haasteet tässä työssä pidensivät hieman projektin aikataulua. Laboratoriossa selvitettiin kameran kalibrointia ja soveltuvuutta ruuvien poimintaan. Valaistus ja kiiltävät pinnat aiheuttivat ongelmia kameran kalibrointiin ja kohteen tunnistukseen. Värintunnistus peilin kautta konenäkökameralla oli mahdollinen ja toimiva kierrelukitteen tunnistus saatiin ohjelmoitua.

Työn katsottiin olevan proof of conceptina onnistunut. Kehitystyö rst-ruuvien ruuvauksen automatisointiin haasteellisessa kokoonpanossa todennäköisesti jatkuu tämän projektin jälkeen. Ruuvauksen ohjauksen rakentaminen yhteistyörobotille tai ohjelmoitavan ruuvivääntimen hankinta voisi olla seuraavia kehityskohteita. Se parantaisi myös yhteistyörobotin turvallisuutta huomattavasti.

LÄHTEET

Bittium Oyj liiketoimintakatsaus tammi-syyskuu 2020. Bittium Oyj Hallitus. Saatavissa: <https://www.bittium.com/download/2021/bittium-oyj-liiketoimintakatsaus-tammi-syyskuu-2020/pdf> Hakupäivä 27.11.2020.

Kontio, Esa 2020. TK00BP67-3002 Tuotekehitystoiminta, systemaattinen tuotekehitys, 5 op. Opintojakson luennot keväällä 2020. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.

Lindroos, Juha 2020. VS: Ruuvinsyöttöautomaatti. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Eetu Juutilainen. 14.12.2020.

Monikäyttöinen robottimeisseli ruuvien syöttölaitteella. OnRobot A/S. Saatavissa: <https://onrobot.com/fi/toutteet/onrobot-screwdriver> Hakupäivä 29.12.2020.

Sarviaho, Ville 2020. FW: ruuvilukitteen tunnistaminen. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Toni Autio. 4.12.2020.

Tehosta yrityksesi tuottavuutta yhteistyöroboteilla. Machine Tool 2020. Saatavissa: <https://www.machinetool.fi/robotiikka> Hakupäivä 20.12.2020.

