

Jani Hyvärilä

YHTEISTYÖROBOTTIEN HYÖDYNTÄMINEN RUUVAUSTA KÄYTTÄVÄSSÄ KOKOONPANOSSA

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Joulukuu 2019**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Joulukuu 2019	Tekijä/tekijät Jani Hyvärilä
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi Yhteistyörobottien hyödyntäminen ruuvausta käyttävässä kokoonpanossa		
Työn ohjaaja Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Sivumäärä 26
Työelämäohjaaja Janne Huhtala		
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda luotettava robottiratkaisu automaattiseen ruuvaukseen tuotannossa ja tehdä testejä UR3-robotilla oppilaitoksen laboratoriotiloissa erilaisia ruuvausjärjestelmiä käyttäen.</p> <p>Työssä tutustuttiin myös robotiikan eri aihealueisiin, eri kiinnikeliitoksiin sekä Universal Robotin yhteistyörobotteihin, keskittyen kuitenkin ensisijaisesti UR3-robottiin, joka Centrialta löytyy ja jolla testejä toteutettiin.</p> <p>Opinnäytetyön jälkeen jatkokehitystoimenpiteenä tehdään testejä Centrian henkilöstön toimesta ja testeissä tutkitaan, kuinka UR10-robotti toimii opinnäytetyön kaltaisissa testeissä.</p>		

Asiasanat robotiikka, robotti, yhteistyörobotti

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date December 2019	Author Jani Hyvärilä
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis Utilizing collaborative robots in a configuration that uses screwing		
Instructor Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Pages 26
Supervisor Janne Huhtala		
<p>The aim of this thesis was to create a reliable robotic solution for automatic screwing in production and to perform tests with a UR3 robot in a school laboratory using different screw systems.</p> <p>The work also explored different topics in robotics, various joints and collaborative robots of Universal Robots, but focused primarily on the UR3 robot which found at Centria.</p> <p>After the thesis, further development is done tests by Centria staff. As a follow-up, the performance of the UR10 robot is investigated in similar tests.</p>		

Key words robotics, robot, collaborative robot
--

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

UR = Universal Robots (robottivalmistaja)

COBOT = Collaborative Robot

IAD = Intelligent Assist Device

IoT = Internet of Things

MIG = Metal inert gas

MAG = Metal active gas

TIG = Tungsten inert gas

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 SCANFIL Oyj.....	2
3 ROBOTIIKKA	3
3.1 Yhteistyörobotit	4
3.2 Teollisuusrobotit	5
4 KIINNIKELIITOS	7
4.1 Ruuvaus.....	7
4.2 Niittaus.....	7
4.3 Liimaus.....	8
4.4 Hitsaus	9
5 LAITTEET	10
5.1 UNIVERSAL ROBOTS	11
5.1.1 UR3.....	11
5.1.2 UR10e	13
5.2 Omron turvavaloverho	14
5.3 Centrian ruuvausjärjestelmä	14
5.4 Deprag.....	15
5.5 Muita automaattisia ruuvausjärjestelmiä.....	17
6 TESTIT	19
6.1 Yhteenvedo ja jatkokehitystoimenpiteet.....	23
LÄHTEET	24
KUVAT	
KUVA 1. Teollisuuden vallankumoukset	4
KUVA 2. Universal Robotsin yhteistyörobotteja	5
KUVA 3. Teollisuusrobottien ”isoisä” Unimate	6
KUVA 4. Hyväksytty ruuvaus	10
KUVA 5. Virheellinen ruuvaus.....	11
KUVA 6. UR3-robotti, johon on kiinnitetty Centrian ruuvausjärjestelmä	12
KUVA 7. Centrian ruuvausjärjestelmä	15
KUVA 8. Deprag-tärysyöttökulho	16
KUVA 9. Atlas Copco -ruuviväännin	17
KUVA 10. Desoutter	18
KUVA 11. Ensimmäinen testi.....	19
KUVA 12. Toinen testi.....	20
KUVA 13. Kolmas testi.....	21
KUVA 14. Neljännessä testissä käytössä oli turvaverho.....	22
KUVA 15. Turvaverhon käyttö todettiin toimivaksi	22

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii sieviläinen elektroniikkateollisuuden yritys Scanfil Oyj. Opinnäytetyössä tutkitaan yhteistyörobotin käyttöä ruuvausta käyttävässä kokoonpanossa. Työn alkuun esitellään yleistä teoriaa robotiikasta ja tarkemmin yhteistyö- ja teollisuusrobo- teista. Lisäksi käydään läpi erilaisia kiinnikeliitoksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä testejä robotisoidulla automaatoruuvauksella erilaisissa työtehtävissä. Testeissä käytettiin UR3-robottia sekä eri ruuvausjärjestelmiä. Testeissä testat- tiin myös konenäköä, jonka avulla laatua voi tarkkailla. Kolme testiä tehtiin ilman turvaverhoa ja neljännessä testissä sen toimivuutta yhteistyössä robotin kanssa tutkittiin käytännössä.

Lopuksi yhteenvedossa todetaan tehtyjen testien onnistuminen sekä mahdolliset jatkotoimen- piteet tilaajalle.

2 SCANFIL Oyj

Scanfil Oyj on Sievissä vuonna 1976 perustettu elektroniikkateollisuuden kansainvälinen sopimusvalmistaja ja järjestelmätoimittaja. Se tarjoaa asiakkaille laajan palvelukokonaisuuden tuotesuunnitteluun, tuotteen valmistukseen, materiaalien hallintaan ja logistisiin ratkaisuihin. Scanfilin tyypillisiä tuotteita ovat esimerkiksi automaatiojärjestelmien moduulit, mobiili- ja tietoliikenneverkkolaitteet sekä hissien ohjausjärjestelmät. (Scanfil Oyj 2019a.)

Scanfil on pörssilistattu ja alansa markkinajohtaja Pohjoismaissa sekä vahva tekijä myös Euroopassa ja myös globaaleilla markkinoilla. Yrityksellä on laaja 11 tuotantoyksikön tehdasverkosto Euroopassa, Aasiassa ja Pohjois-Amerikassa. Työntekijöitä on maailmanlaajuisesti noin 3700. (Scanfil Oyj 2019a.)

Yrityksen missiona on tarjota asiakkaille menestymismahdollisuuksia tehokkailla ja innovatiivisilla ratkaisulla tuotteen koko elinkaaren aikana. (Scanfil Oyj 2019b.)

3 ROBOTIIKKA

Robotiikka on tekniikan ja tieteen ala, jossa yhdistyy monien eri alojen tieto ja taito. Robotiikan päätarkoitus on erilaisten robottien suunnittelu ja valmistaminen. (ISO 8373 2012 2.16) Robotiikassa mekaniikan, säätö- ja konetekniikan sekä ohjelmoinnin osaamiset ovat tärkeitä taitoja. Nykypäivänä robotiikka ja sen kehitys ovat hyvin paljon esillä käytännössä kaikilla aloilla ja roboteista onkin tullut arkipäivää monissa tuotannoissa. Robotiikan mahdollistama automatisointi ylläpitää monien yritysten kilpailukykyä. Tärkein tekijä robotiikan hyödyntämisessä on ihminen. Ihmiset suunnittelevat ja kokoavat järjestelmät sekä ohjelmoivat ja ylläpitävät robotteja. (Salminen 2016.)

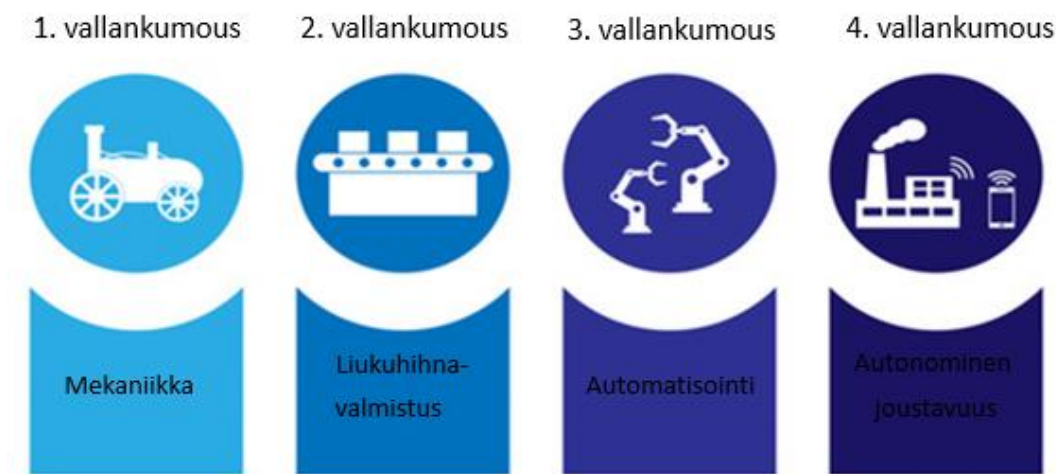
Kappaleenkäsittely automatisoiduissa sovelluksissa oli ennen robotiikkaa hyvin heikkotasoinen. Koneet ja laitteet olivat sovelluskohtaisia ja pienikin muutos saattoi tarkoittaa mahdollisesti koko koneen tai laitteiston täydellistä uusimista. Koneet oli tarkoitettu tuottamaan lähinnä hyvin suuria erinä pitkälle vakioituja tuotteita. Ajan myötä tuotannon vaatimukset muuttuivat joustavuuteen, asiakaslähtöisyyteen ja piensarjatuotantoon. Tarve ohjelmallisesti muunneltaville koneille ja laitteille kasvoi. 1980- ja 1990-luvuilla kehitetyt robotit olivat joustavuudeltaan kuin vanhemmat mekaaniset toimilaitteautomaatioinnit. Robotteja oli hyvin hankalaa ja työlästä ohjelmoida, joten ne eivät soveltuneet piensarjatuotantoon. (Wallén 2008, 11-12.)

Nykyrobotit ovat luotettavuudeltaan, turvallisuudeltaan ja käyttövarmuudeltaan korkealaatuisia. Ohjelmointi on kehittynyt viime vuosikymmeninä korkeatasoisten ohjelmointikielien ansiosta. Laaja ohjelmointikielivalikoima nopeuttaa ohjelmakoodien tekoa ja se luo tuotantoon uudenlaista joustoa. Joustavuus on nykyrobottien arkipäivää, koska niiden täytyy osata muodostaa erilaisia liikeratoja suunnittelun ja ympäristömallin tiedoista. Roboteissa käytetään erilaisia antureita, joilla mahdollistetaan robottien kyky reagoida ympäristöönsä älykkäästi. Anturien avulla robotiikka soveltuu yhä laajemmin erilaisiin ja vaativampiin töihin. Nykyään robotteja voidaan käyttää osana laajoja tuotantojärjestelmiä. (Salminen 2016.)

Tuotantojärjestelmillä päästään täysin uusiin ulottuvuuksiin anturien avulla. Modernit anturit mahdollistavat esineiden Internetin (engl. Internet of Things, IOT). Esineiden Internet tarkoittaa sitä, että laitteita, esineitä tai järjestelmiä kytketään toisiinsa antureiden tai RFID- ja WLAN -sirujen avulla. Tällöin laitteet voivat olla vuorovaikutuksessa ja niitä voidaan ohjata. (Manninen

2018.) Esineiden Internetin tekniikoiden avulla laitteita voidaan kytkeä verkkoon, jonka myötä laitteistoja voidaan ohjata Internetin yli. (Logistiikan maailma 2019.)

Esineiden Internet luo teollisuuden neljännen vallankumouksen, eli Teollisuus 4.0:n (engl. Industry 4.0) (kuva 1). Tällä teollisuuden uudella aikakaudella keskeisiä asioita ovat esimerkiksi virtuaalimaailman hyödyntäminen, eri laitteiden ja järjestelmien integraatio sekä dataan perustuvat palvelut ja liiketoimintamallit. Tuotantoprosessit pystyvät optimoimaan itse itseään ja valmistuvat tuotteet kommunikoivat tuotantoprosessin kanssa. (Raunio 2014.)



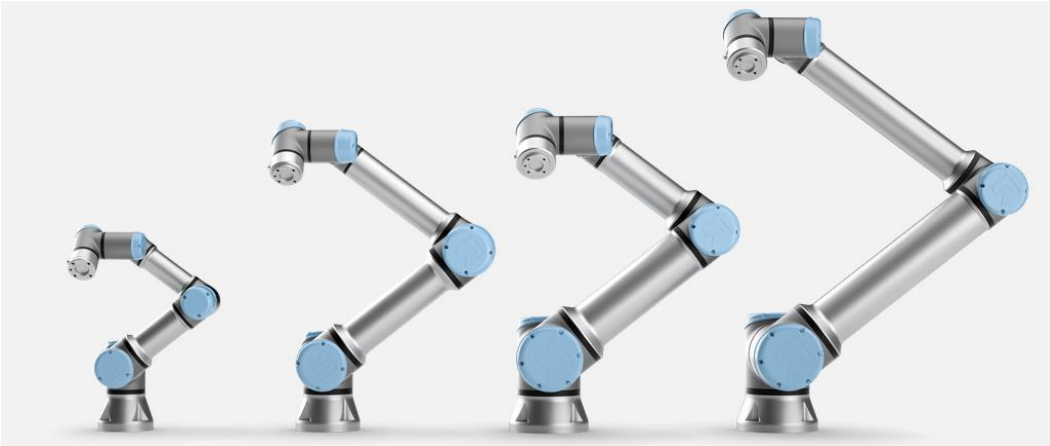
Kuva 1. Teollisuuden vallankumoukset (mukaillen Industrial eCart 2018)

Teollisen Internetin järjestelmissä anturit voivat kerätä tietoa yksittäisistä roboteista. Esimerkkinä teollisen internetin mahdollisuudesta on teollisuuden kunnossapito ja nimenomaan ennakoivassa kunnossapidossa. Ennakoiva kunnossapito perustuu sensoridataan, joka mahdollistaa koneiden seurannan reaaliajassa sekä potentiaalisten vikojen ennustamisen. Reaaliaikaisen datan avulla tuotantolinjan häiriöt voidaan havaita ensi merkeistä, jotka voisivat jäädä huomaamatta ilman ennakoivaa kunnossapitoa. Näin häiriötilanteet voidaan ehkäistä ennen kalliita tuotantoseisokkeja. (Härkönen 2017.)

3.1 Yhteistyörobotit

Yhteistyörobotiikan tarkoitus on mahdollistaa ihmisen ja robotin turvallinen ja saumaton yhtäaikainen työskentely samassa työpisteessä. Ennen yhteistyörobottien olemassaoloa robotit

työskentelivät turva-aidan sisällä erillään ihmisistä. Roboteista, jotka pystyvät yhteistyöhön ihmisen kanssa, käytetään myös termiä cobot (collaborative robot) (kuva 2). Yhteistyörobotiikalla pyritään lisäämään työskentelyn joustavuutta hankalissa kokoonpanotehtävissä sekä nopea-tempoisissa piensarjatuotannoissa. Robotiikalla pyritään keventämään työn ergonomista kuormittavuutta ja samalla lisäämään työn tuottavuutta. (Sick Oy 2019.)



Kuva 2. Universal Robotsin yhteistyörobotteja (Universal Robots 2019a)

Ihmisen ja robotin yhteistyöllä saavutetaan perinteisiä robottisoluja monipuolisempia ja joustavampia työskentelytekniikoita. Ihmisen kyvyt yhdistettynä robotin tarjoamiin mahdollisuuksiin luo uudenlaisia toimintamalleja teollisuuteen. Kun käytetään yhteistyörobottia, täytyy sen aina täyttää turvallisuusvaatimukset ja sen lisäksi riskien arviointi ja -kartoitus täytyy valmistella tapauskohtaisesti. (Sick Oy 2019.)

3.2 Teollisuusrobotit

Nykyaikaisten teollisuusrobottien aikakauden katsotaan alkaneen vuonna 1954, kun amerikkalainen George C. Devol haki ohjelmoitavalle manipulaattorille patenttia. Ensimmäinen vastaava robotti myytiin teollisuuteen viisi vuotta myöhemmin. Teollisuusrobottien vallankumous alkoi vuonna 1961, kun Unimate-robotti (kuva 3) toimitettiin General Motorsin tehtaalle valukoneen avuksi. Japani hankki lisenssin Unimaten valmistukseen, jonka avulla se ohitti Amerikan nopeasti robottien kehittämisessä ja käyttöönotossa. 1960- ja 1970-luvuilla robottien yleistymistä hidasti niiden korkea hinta verrattuna työvoimakustannuksiin. Robottien ohjauksen digitalisoitumisen jälkeen robotiikan seuraava iso askel oli ohjauksen muuttuminen PC-pohjaiseksi. Tämän teknologian toi markkinoille ensimmäisenä saksalainen teollisuusrobottien ja

tehdasautomaatoratkaisujen tuottaja KUKA. (Malm 2008.) Sama yritys toi markkinoille ensimmäisen nykypäiväisiä yhteistyörobotteja muistuttavan LBR 3:n vuonna 2004.



Kuva 3. Teollisuusrobottien "isoisä" Unimate (IEEE 2019)

Robotin määritelmä on varsin moniselitteinen eikä sille ole yleisesti hyväksyttyä kuvausta, sillä muun muassa maanosien välillä määritelmässä on eroa. Esimerkiksi Japanissa manipulaattorit lasketaan roboteiksi. Standardissa SFS-EN 775 vuodelta 1993 robotti määritellään automaattisesti ohjatuksi, uudelleen ohjelmoitavaksi ja monikäyttöiseksi käsittelylaitteeksi, jolla on monia vapausasteita. Se voi olla kiinteä tai liikkuva ja sitä käytetään teollisuuden automaatiojärjestelmissä. Standardissa ISO 8373:1994 Kansainvälinen Robottiyhdistys määrittelee robotin automaattisesti ohjattavaksi uudelleenohjelmoitavaksi monikäyttöiseksi manipulaattoriksi, jossa on vähintään kolme ohjelmoitavaa akselia. (Malm 2008.)

4 KIINNIKELIITOS

Kiinnikeliitos tarkoittaa mekaanista liitostapaa, jossa vähintään kaksi kappaletta kiinnitetään toisiinsa esimerkiksi ruuvaamalla tai hitsaamalla. Kun liitännämenetelmänä käytetään vaikkapa ruuvausta, vaaditaan yleensä reiän työstäminen liitettäviin kappaleisiin. Kiinnikeliitosten hyvänä puolena muihin verrattuna on liitostavan monipuolisuus sekä erilaisten materiaalien liittämismahdollisuus. Osa kiinnikeliitoksista on myös hyviä, koska ne ovat avattavissa. Robottiikkaa hyödyntävät liitoskoneet parantavat sarjavalmistuksessa tuotannon taloudellisuutta. (Lehtonen 1999, 29.)

4.1 Ruuvaus

Ruuvauksella tarkoitetaan vähintään kahden eri kappaleen kiinnittämistä toisiinsa tarkoitukseen sopivalla ruuvilla. Ruuveja on monia erilaisia, kuten kuusio-, levy-, pora- ja kateruuvi. Ruuveja käytettäessä erilaisten muiden osien, kuten mutterien tai aluslaatan käyttö voi olla tarpeen. Jotkin ruuvit vaativat myös esityöt ennen itse ruuvausta, kuten kuusioruuvia ja -mutteria käytettäessä vaaditaan esityönä reikä, jonka läpi kuusioruuvi asennetaan.

Robottiikan avulla ruuvauksesta saadaan tehokkaampaa. Tuotteiden valmistaminen käy huomattavasti nopeammin ja sen myötä tuotantovolyymi kasvaa entistä suuremmaksi. Automaation avulla saadaan parannettua toimitusvarmuutta, työturvallisuutta sekä kannattavuutta. (Pneumacon 2018a.)

Ruuvausautomaatiota käytettäessä lopputulos on aina laadukkaampaa kuin käsin tehtynä. Väjäntömomentti ja toleranssi on asetettavissa stabiiliksi, jonka ansiosta kiristyksen tarkkuus on aina halutunlainen. (Pneumacon 2018b.)

4.2 Niittaus

Niittaus on yleisesti käytetty liitännätapa alumiinirakenteissa ruuvi- ja hitsiliitosten ohella. Niitit sopivat myös muiden ohutlevyjen liittämiseen. Niittiliitokset ovat toiminnallisesti niin sanottuja ei-irrotettavia liitoksia, toisin kuin esimerkiksi ruuviliitokset. Niittiliitoksia on sekä kylmä- että

kuumaniittauksia, joista kuumaniittausta ei käytetä ohutlevyjen liittämiseen. Niittiliitokseen käytetään itsemuovautuvia sekä erilaisilla työkaluilla muovattavia niittejä. (Lehtonen 1999, 32.)

Niittiliitosta käytetään tilanteissa, joissa materiaalin lämmönkestävyys ei kestä hitsausta tai kun aineet ovat huonosti hitsattavissa. Myös metallien ja epämetallien liittämässä niittiliitos on hyvä liitöntätapa, varsinkin, jos puristus- tai liimaliitoksia ei syystä tai toisesta voi käyttää. Niittauksen paras käyttökohde on leikkauskuormitetut liitokset. Niittiliitosten lujuus määräytyy niittien leikkauslujuuden sekä niittien määrän mukaan. (Lehtonen 1999, 32.)

4.3 Liimaus

Liimaus on mekaaninen kiinnitystapa, jolla on monia etuja perinteisiin kiinnitystapoihin verrattuna:

1. Liimatessa ei tarvitse porata tai tehdä reikiä. Poraaminen vie aikaa ja reiät voivat heikentää rakennetta.
2. Liimatessa rasitus liitoksessa jakaantuu laajemmalle alueelle, kuin esimerkiksi niittauksessa.
3. Liimaa käytettäessä voidaan myös käyttää ohuita ja kevyitä materiaaleja. Materiaalin ei tarvitse kestää kovaa rasitusta yhdellä pienellä alueella. Tällöin ohutkin materiaali voi olla riittävä.
4. Liimattaessa liitos tiivistyy samanaikaisesti. (Suomen 3M Oy 2020.)

Valittaessa järkevintä tapaa liittää metallikappaleita yhteen, tulee ottaa huomioon monia eri asioita, kuten liitosten jäykkyys tai joustavuus, korroosio, lämpötiloille altistuminen ja rasituksen kohdistuminen kappaleissa/liitoksessa. Jäykkä liima välittää ja joustava liima hajauttaa energiaa. Lisäksi eri materiaalit voivat elää lämpötilan muutoksen takia. Joustava liimaliitos voi ehkäistä materiaalien elämisestä aiheutuvia vaurioita. (Suomen 3M Oy 2020.)

Robottiikkaa käytetään liimojen ja massojen annostelussa eri tuotantotehtävissä. Robotin käyttö liimaustehtävissä on nopeampaa, kuin ihmisen työskentely. Robotit soveltuvat myös myrkyllisten ja haitallisten aineiden käsittelyyn, johon ihminen ei välttämättä kykene. (Nipema Oy 2020.)

4.4 Hitsaus

Hitsaus tarkoittaa kappaleiden yhteen liittämistä käyttämällä lämpöä ja/tai puristusta. Hitsauksen yhteydessä voidaan myös hyödyntää lisäaineita, joiden sulamispiste on yleensä sama kuin perusaineen sulamispiste. Yleisimpiä hitsausmenetelmiä ovat MIG/MAG-, TIG-, puikko- ja plasmahitsaus. (Esab Oy 2019.)

Robotisoidulla hitsauksella pyritään vaikuttamaan tuottavuuden nousuun. Monimutkaisen ohjelmoinnin takia robotisoitua hitsausta on hyödynnetty vain suurempien sarjakokojen valmistuksessa. Teknologian ja ohjelmointien parantuneen kehityksen ansiosta robottihitsaus on huomattu kannattavaksi myös pienempien tuotannon sarjakokojen hitsauksessa. Robotisoidulla hitsauksella saadaan myös suuri myönteinen vaikutus työn laatuun. Laadun parantumisen ansiosta saadaan vähennettyä epäonnistuneiden hitsausten korjaustarve, jonka ansiosta kulut saadaan pienemmäksi ja prosessin nopeus paremmaksi. (Meuronen 2011.)

5 LAITTEET

Työssä käytettiin yhteistyörobotteja, ruuvausjärjestelmiä ja konenäköä. Yhteistyöroboteista on kerrottu yleisesti kappaleessa yhteistyörobotit. Työssä käytettyjä ruuvausjärjestelmiä oli kaksi, joista kerrotaan lisää tarkemmin myöhemmissä kappaleissa. Ruuvausjärjestelmät voivat olla joko automatisoituja tai käsin ohjattuja. Työssä perehdyttiin enemmän automatisoituihin ruuvausjärjestelmäratkaisuihin robotiikan yhteydessä. Vaihtoehtoja automatisoituihin ruuvausjärjestelmiin on markkinoilla montaa eri merkkiä ja erilaisia malleja on tarjolla monia. Automatisoidut ruuvausjärjestelmät toimivat yleensä sähköllä ja tarpeen vaatiessa niihin on tarjolla erilaisia lisäominaisuuksia, kuten esimerkiksi momenttianturi, joka mittaa ruuvattavan kohteen momentin tarkalleen halutun momentin mukaan.

Työssä käytettiin myös hyväksi konenäköä. Konenäköä voi hyödyntää monella eri tavalla automatisoitujen tuotantojärjestelmien yhteydessä. Tässä tapauksessa käytettiin konenäkökameraa, joka tunnisti ruuvatun kohteen hyväksytyksi (kuva 4). Jos kohteessa oli virhe, niin kamera havaitsi sen ja ilmoitti siitä monitorilla, jossa virhe näkyi (kuva 5).



Kuva 4. Hyväksytty ruuvaus



Kuva 5. Virheellinen ruuvaus

5.1 UNIVERSAL ROBOTS

Universal Robots on kolmen yliopisto-opiskelijan Tanskassa vuonna 2005 perustama yritys, joka toimittaa yhteistyörobotteja. Amerikkalainen Teradyne hankki Universal Robotsin vuonna 2015. Universal Robotsilla on 50 prosentin markkinaosuus yhteistyöroboteista ja 65 patenttia. Työntekijöitä on vajaa 700 ja yritys toimii 20 maassa. (Universal Robots 2019a.)

Universal Robotsin tuotevalikoimaan kuuluvat UR3-, UR5-, UR10 sekä UR16-robotit. Robotit on nimetty niiden hyötykuorman mukaan. UR:n tuotteita käyttävät kaiken kokoiset yritykset ja organisaatiot. UR:n yhteistyörobottiratkaisut tarjoavat joustavuutta ja taloudellista tuottoa, jotka ovat tärkeitä ominaisuuksia markkinaolosuhteissa. (Universal Robots 2019a.)

5.1.1 UR3

UR3 (kuva 6) on Universal Robotsin pienin yhteistyörobotti, joka soveltuu parhaiten pienempiin kokoonpano- ja automaatioalustatehtäviin. Robotin paino on 11 kilogrammaa, sen suurin työkuorma on kolme kilogrammaa ja toimintasäde puoli metriä. Sen kaikki nivelet pyörivät 360 astetta ja sen yläpään viimeisen nivelen on mahdollista pyöriä akselinsa ympäri äärettömästi.

UR3:n etuja ovat sen joustavuus, keveys sekä yhteistyökyky. UR3:n soveltuu erityisesti sellaisiin sovelluksiin, jossa robotin koko, turvallisuustaso ja hinta rajoittavat robotin valinnassa. Roboteilla on TÜV-sertifikaatti. (Universal Robots 2019b.)



Kuva 6. UR3-robotti, johon on kiinnitetty Centrian ruuvausjärjestelmä

UR3:n sisältämää patentoitua intuitiivista 3D-visualisointiohjelmaa voidaan käyttää liikuttelussa robotin käsivarsia tai koskettamalla tietokoneohjaimen näyttöä. Universal Robotsin myymistä yhteistyöroboteista suurin osa työskentelee ihmisten kanssa ilman turvaloverhoja. Robottia voidaan käyttää myös tiloissa, joissa ihmiset eivät voi normaalisti työskennellä, kuten vaarallisten tai myrkyllisten materiaalien yhteydessä. UR3 on kokonsa puolesta helppo siirtää ja se on myös nopeasti käyttöön otettavissa. Robotin asennus ja yksinkertaisen ohjelman luonti on nopeaa. Varsinainen käyttöönotto voi tapahtua noin puolessa työpäivässä. (Universal Robots 2019c.)

UR3:n suunnittelussa on pyritty mukailemaan ihmisen käden toimintaliikkeitä. UR-robottien etu on se, että niitä on mahdollista ohjelmoida itse, jonka myötä kalliit kolmannen osapuolen toimijat ovat tarpeettomia. Robotit ovat perusohjelmineen kokemattomienkin ohjelmoijien helposti ymmärrettävissä. Robotin reittipisteitä voidaan asettaa liikuttelemalla sitä tarvittavaan asemaan. Tehtäviä, joita esimerkiksi on tarpeellista toistaa, voidaan tallentaa robotin muistiin. (Universal Robots 2019c.) Haastavammat ohjelmoinnit puolestaan on hyvä hoitaa kokeneen ohjelmoijan toimesta.

UR3-robotti sisältää 15 erilaista säädettävissä olevaa turva-asetusta. Yhtenä esimerkkinä robotista löytyy voiman säätely mahdollisuus, jolla voidaan säädellä robotin törmäysvoimaa ihmiseen. Perusasetus robotissa on niin, että se pysäyttää kaiken liikkeen kohdatessaan 150 newtonin voiman, mutta se on myös ohjelmoitavissa niin, että liikkeet pysähtyvät jo 50 newtonin voimassa. (Universal Robots 2019e.) Muita turva-asetuksia ovat esimerkiksi nivelten asentojen-, nopeuden- ja vääntömomentin rajoitus sekä vauhdin ja voiman rajoitus (Universal Robots 2018).

UR3-robotilla voidaan nostaa, siirtää, kiristää tai löysätä ruuveja. Myös esimerkiksi liimaamiseen UR3-robotti on erittäin kätevä, sillä se pystyy annostelevaan ja levittämään liimaa tarkan määrän. UR3 käyttää 0,1 millimetrin toistettavuustoleranssia. Sama toleranssi on käytössä myös muissa UR-roboteissa. UR3 kykenee seuraamaan tarkasti pintoja, jotka ovat eri tasolla. (Universal Robots 2019e.)

Tässä työssä käytettävässä UR3-robotissa sen käsivarteen on asennettuna Centrialla valmistettu ruuvausjärjestelmä.

5.1.2 UR10e

UR10 on tällä hetkellä Universal Robotsin toiseksi suurin teollisuuden yhteistyörobottikäsi. UR10 -robotti on suunniteltu suurempiin tuotannon tehtäviin, kuin UR:n pienemmät edeltäjänsä UR3 ja UR5. UR10 on hyvä vaihtoehto työhön, jossa vaaditaan tarkkuutta ja luotettavuutta. UR10-yhteistyörobottikäden 10 kilogramman hyötykuorman, 1300 millimetrin ulottuvuuden ja $\pm 0,05$ mm toistotarkkuuden ansiosta automatisoidut prosessit ja tehtävät onnistuvat entistäkin helpommin ja tarkemmin. (Universal Robots 2019f.)

5.2 Omron turvavaloverho

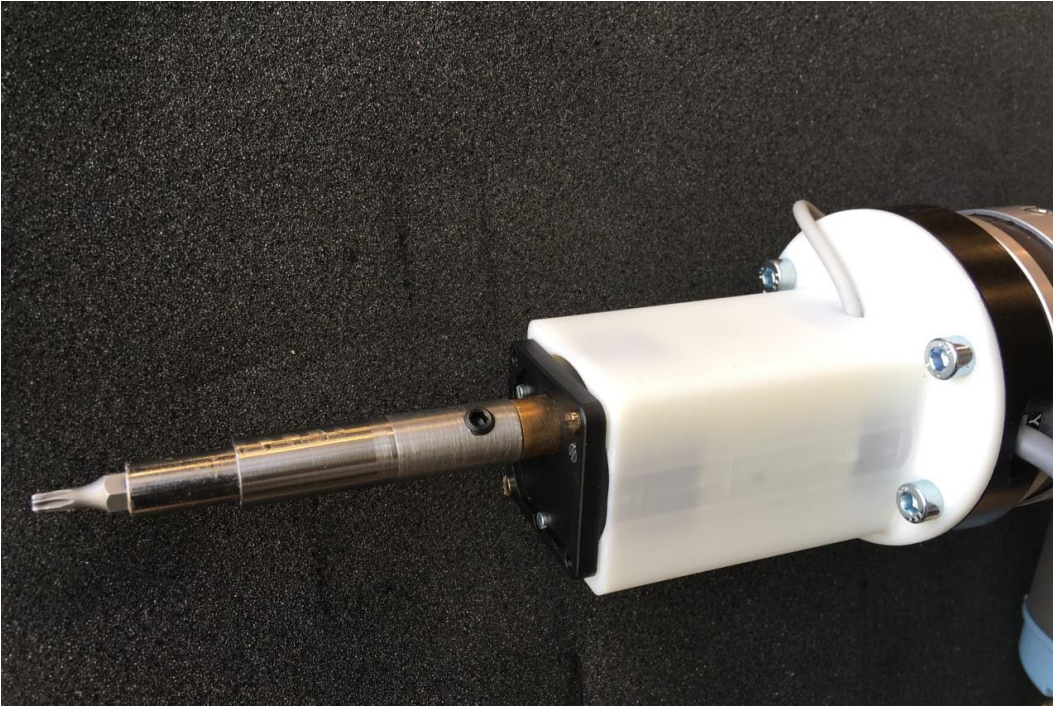
Turvavaloverhoja voidaan käyttää kaikkialla, missä on vaarallista työskennellä ja missä pitää valvoa vaaravyöhykkeitä tarkasti ja luotettavasti. Turvavaloverhon ominaisuuksista riippuen on niihin valittavissa integroituna monia erilaisia konetoimintoja tai toimintoja, jotka ovat mahdollista valita turvallisten ohjausratkaisujen kautta. (Sick Oy 2020.)

Taulukko 1. MS4800S-EA-014-0400-turvavaloverhon ominaisuuksia (Omron Electronics Oy 2020)

Resoluutio: 14mm
Valvontakorkeus: 400mm
Toimintaetäisyys: 0.3m- 0.7m
Turvaluokka: 4
Säteiden välimatka: 10mm
Suojauskorkeus: 280-1800mm

5.3 Centrian ruuvausjärjestelmä

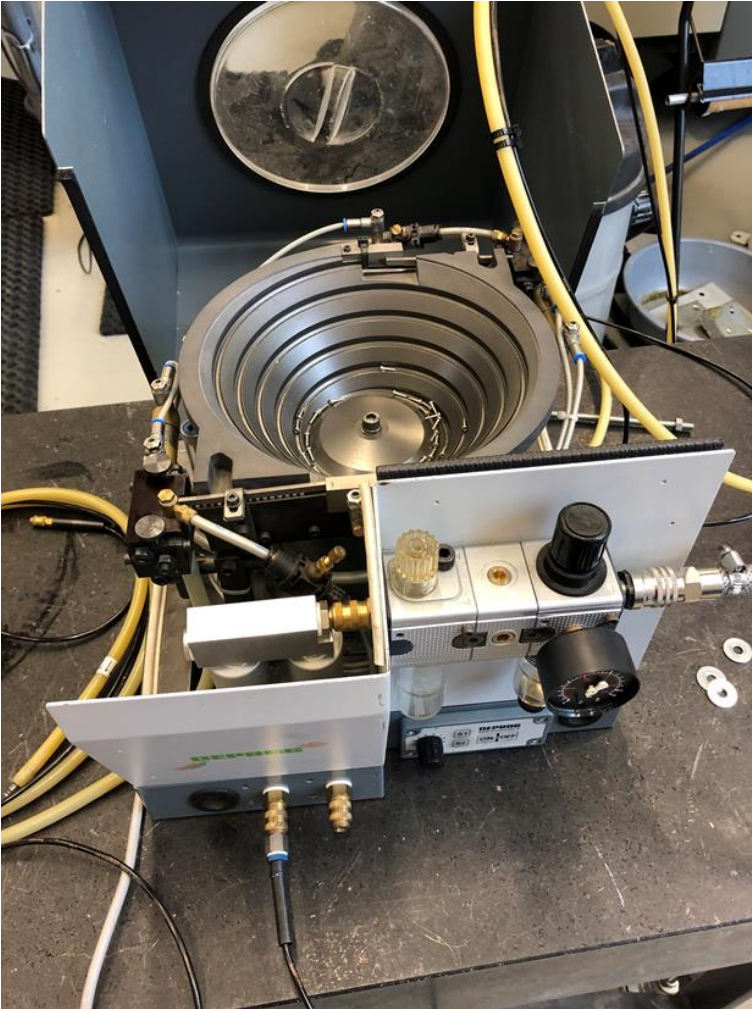
Centrian tuotantotekniikan laboratoriossa kehiteltiin ja valmistettiin oma ruuvausjärjestelmä, joka kytkettiin UR3-robottiin (kuva 7). Ruuvausjärjestelmä kehiteltiin KDH-moduulin ruuvausten testejä varten. Centrian ruuvausjärjestelmä sisälsi kaksi pääkomponenttia, 3D-tulostettu ruuvausjärjestelmän pidike, joka mahdollisti toiminnan UR3-robotin kanssa sekä itse ruuviväänin. Ruuvausjärjestelmän pidike tulostettiin Centrian laboratoriossa.



Kuva 7. Centrian ruuvausjärjestelmä

5.4 Deprag

Koulun laboratorioon testejä varten lainattiin opinnäytetyön tilaajalta Deprag-tärysyöttölaite (kuva 8) ja siihen kuuluva paineilmakäyttöinen ruuviväännin. Tarkoituksena oli tehdä testejä siitä, miten Depragin paineilmakäyttöinen ruuviväännin toimi yhteistyössä UR3-robotin kanssa. Deprag-ruuviväänninjärjestelmän pääkomponentit olivat syöttökulho, ruuvin erotin, ilmaliitäntä ja ilmanhuoltoyksikkö. (Scemosystems 2019.)



Kuva 8. Deprag-tärysyöttökulho

Taulukko 2. Deprag 1511-ES/0.15 tärykulhosyöttimen tekniset tiedot (Scemosystems 2019)

Liitettävien väntimien lukumäärä: 2
Syöttönopeus: 2x45 osaa/min
Täyttötilavuus: 0.15 l
Maksimi kannan halkaisija: 4 mm
Maksimi varren pituus: 8 mm
Varren halkaisijan alue: 1...2,5 mm
Käyttöjännite: 230 VAC
Tehonkulutus: 30 W
Ilmanpainevaatimus: 0.63 MPa (6,3 Bar)
Ilmaliitäntä: 10 mm
Syöttöletkun vakiopituus: 2 m
Syöttöletkun maksimi pituus: 5 m

Taulukko 3. Pneumaattisen ruuvinvääntimen tekniset tiedot (Scemosystems 2019)

Ruuvinvääntimen malli: Micromat-Z 345Z-708 part no 338053 G
Moottorin koko: 0
Vääntö:
Minimi: 2 Ncm
Pehmeä nosto: 70 Ncm
Kova nosto: 70 Ncm
Tyhjäkäyntinopeus: 600 rpm
Ilmankulutus: 0.1 m³
Päärungon halkaisija: 17 mm
Pituus: 130 mm
Paino: 160 g
Melutaso: 65 dB(A)
Ilmaletkun halkaisija: 3 mm
Kärjen kuusiokolo naaras DIN ISO 1173: 3 mm
Pikaistukka asennettuna: kyllä
Ruuvien syöttöön maksimi ruuvikannan halkaisija: 6 mm

5.5 Muita automaattisia ruuvausjärjestelmiä

Muista automaattisista ruuvausjärjestelmistä mainittakoon ensimmäisenä esimerkkinä Atlas Copco. Atlas Copcolla on sähköinen ruuviväännin (kuva 9), jossa on myös sisäänrakennettu momenttianturi. QMC-mallin ruuviväännin on kestävä ja kevytrakenteinen, helppo asentaa mo-
niin robottisoluihin ja sitä on helppo ohjaila eri työtehtäviin sen helpon tiedonvälityksen ansi-
osta.



Kuva 9. Atlas Copco -ruuviväännin (Atlas Copco 2019)



Kuva 10. Desoutter SLBN050-L1000-S4Q ruuviväännin (Desoutter 2019)

Alla muutamia speksejä Atlas Copcon ruuvivääntimestä sekä toisena esimerkkinä Desoutterin ruuviväännin.

Taulukko 4. Atlas Copcon ruuvivääntimen malli: QMC 21-05-HM4 (Atlas Copco 2019)

vääntö: 1,2–5 Nm
pituus: 124 mm
kokonaisleveys: 57 mm
paino: 0,3 kg
kärkipidike: HM4

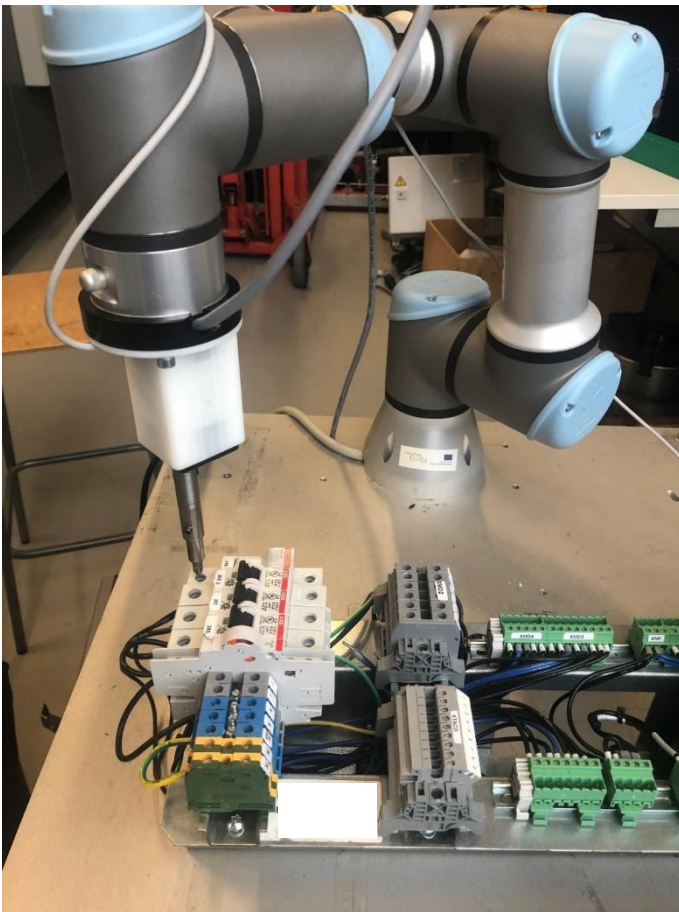
Taulukko 5. Desoutterin ruuvivääntimen malli: SLBN050-L1000-S4Q (Desoutter Industrial Tools 2019)

vääntö: 2,00–4,90 Nm
melutaso: <70 dB
pituus: 283 mm
paino: 0,8 kg
jännite: 40 V
tyhjäkäynti (nopea): 1000 rpm
tyhjäkäynti (hidas): 750 rpm
kärkipidike: 1/4" hex

6 TESTIT

KDH-moduulin ruuvaus itsevalmistetulla ruuvivääntimellä

Ensimmäisessä testissä KDH-moduulin ruuvit olivat paikallaan ja robotti ruuvasi ruuvit kiinni (kuva 11). Tässä testissä tarkoituksena oli myös testata robotin paikoitustarkkuutta ja sen todettiin olevan tarpeeksi tarkka kyseiseen työhön.

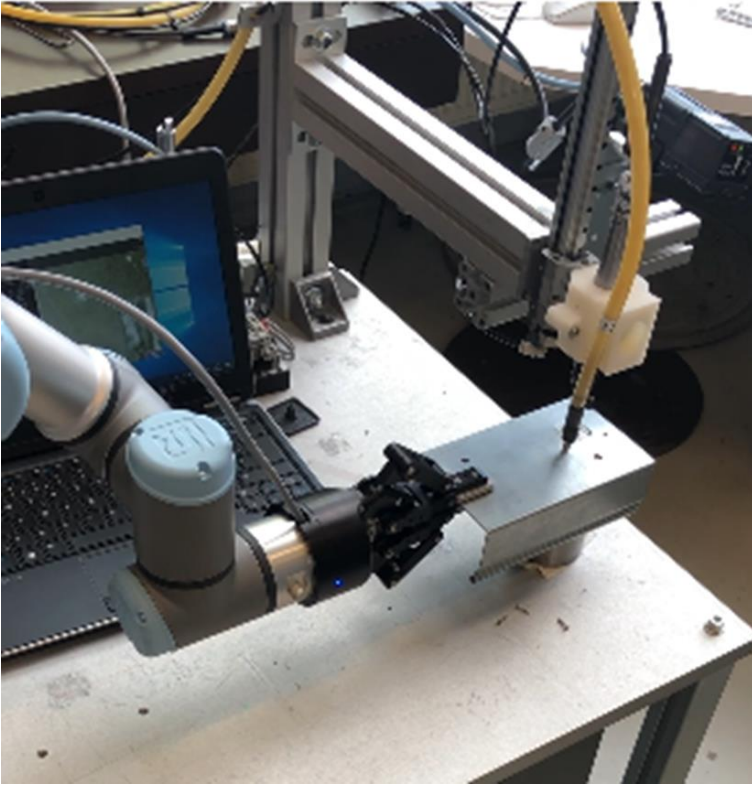


Kuva 11. Ensimmäinen testi

Deprag-ruuvausjärjestelmä yhteistyössä UR3-robotin kanssa

Toisessa testissä UR3-robotti piti peltistä kappaletta kiinni ja telineeseen kiinnitetty Deprag-ruuvausjärjestelmä ruuvasi ruuvit paikoilleen, kun UR3-robotti oli asetellut levyn tarkasti oikeaan paikkaan (kuva 12). Myös tässä testissä todettiin robotin paikoitustarkkuuden olevan riittävä. Lisänä toisessa testissä oli konenäkökamera. Kameraan asetettiin ruuvin ristipääkannan ”kolo” ja kun ruuvi oli asennettu, otti tarkastuskamera siitä kuvan. Jos kuvassa näkyi itse ruuvi

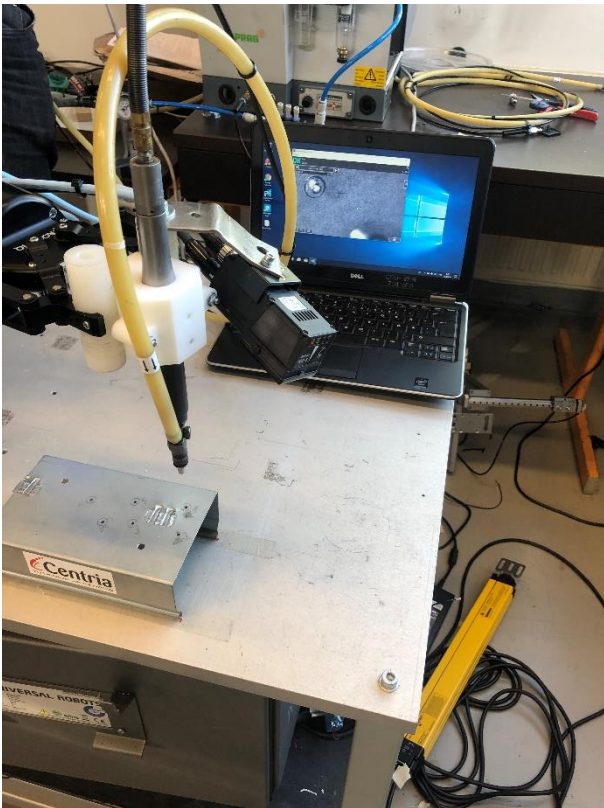
tai ehjä ristipääkanta, antoi se käskyn tietokoneen näytölle, että ruuvaus oli onnistunut. Jos ruuvien kanta on rikkoutunut tai ruuvia ei tullut syötön mukana, antoi kamera ilmoituksen ja tietokoneen näyttöön tuli tieto, että ruuvaus ei ollut onnistunut ja tällöin robotin liikeohjelma pysähtyi.



Kuva 12. Toinen testi

Deprag-ruuviväännin kiinnitettynä UR3-robottiin

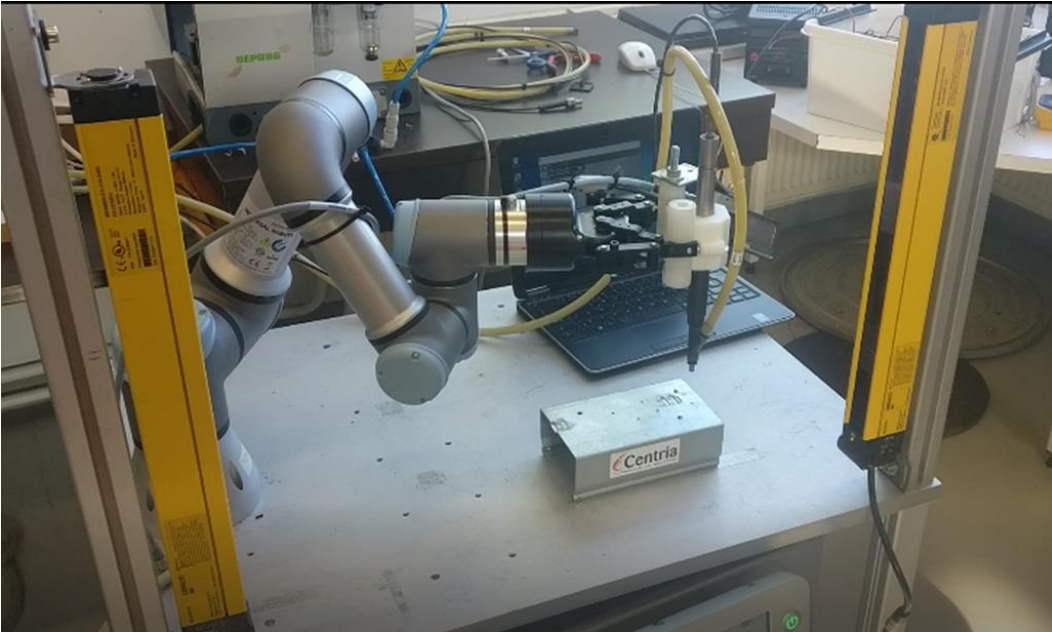
Kolmannessa testissä ruuvattava levy oli kiinnitettynä pöytään (kuva 13). Deprag-ruuvausjärjestelmä kiinnitettiin UR3-robottiin 3D-tulostetulla pidikkeellä. Ruuvattavia kohteita valmistettiin useampi ja todettiin jälleen kerran, että paikoitustarkkuus oli riittävä. Mukana oli myös toisesta testistä tuttu konenäkökamera, joka tarkisti ruuvauksen onnistumisen.



Kuva 13. Kolmas testi

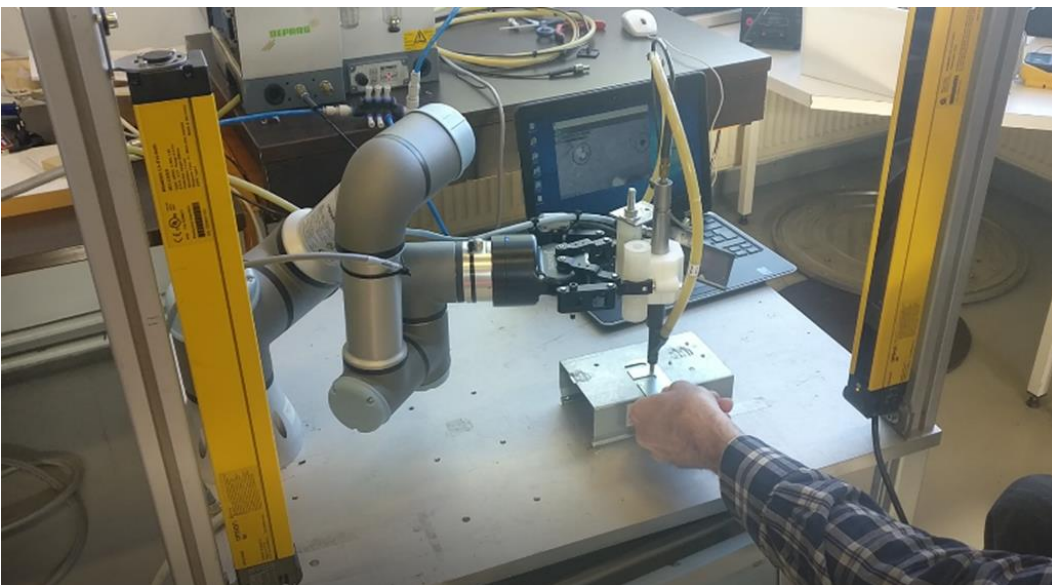
Deprag-ruuviväännin kiinnitettyä UR3-robottiin, lisänä turva-alue

Neljäs testi toteutettiin samalla kaavalla, kuin kolmaskin, mutta mukana oli turvaloverho (kuva 14). Turvaloverhon tarkoituksena on mahdollistaa ihmisen ja robotin turvallinen yhteistyöskentely. Kun turvaloverholla rajatun alueen sisäpuolelle mennään, robotti pudottaa toimintanopeuttaan asetettuun arvoon. Tähän testiin asennettiin myös sallintapainike, jota painamalla robotti ruuvasi ruvin kohteeseen ja liikkui seuraavaan ruuvauspisteeseen odottamaan uutta käskyä. Robotti pysähtyi, jos painike vapautettiin kesken liikkeen.



Kuva 14. Neljännessä testissä käytössä oli turvaverho

Näiden neljän testin perusteella voidaan todeta, että kyseinen robotti/ruuvausjärjestelmä on toimiva järjestelmä kyseisiin tuotannon automaatiotehtäviin. Myös yhteistyö robotin ja ihmisen välillä todettiin toimivaksi (kuva 15). Ainoana miinuksena testeissä todettiin, että UR3-robotin maksimi kantavuus voi jäädä liian pieneksi, jolloin pitkien työkiertojen myötä robotin arvioitu toiminta-aika voi olla huomattavasti lyhempi. Kyseiseen työhön soveltuvampi ratkaisu olisi UR10-robotti, joka on selkeästi UR3-robottia kantavampi robotti.



Kuva 15. Turvaverhon käyttö todettiin toimivaksi

6.1 Yhteenveto ja jatkokehitystoimenpiteet

Alkuperäinen suunnitelma oli, että testejä testattaisiin käytännössä opinnäytetyön tilaajan tuotantotiloissa. Testejä ei kuitenkaan lopulta päästy testaamaan tilaajan tuotantotiloihin, koska UR3-robotista hajosi momenttianturi.

Erilaisten testien tulosten perusteella voidaan todeta, että yhteistyörobottia voidaan käyttää suunnitellussa yhteistyötehtävässä ihmisen kanssa turvallisesti. Todettakoon, että UR3-robotti soveltuu hyvin pienimuotoisempiin ja kevyempiin työtehtäviin. Jos opinnäytetyön tilaaja toteuttaa yhteistyörobotti-investoinnin, tulee sen suunnitella tarkasti yhteistyörobotin tarve, jotta investoitu robotti on ominaisuuksiltaan optimaalinen tarvittaviin työtehtäviin.

Opinnäytetyön ulkopuolella testaukset Centrialla jatkuvat ja niissä käsitellään myös ruuvausta. Testeihin on varattu isompi yhteistyörobotti, jossa on valmiina voima-/momenttianturi.

LÄHTEET

Atlas Copco. 2019. MicroTorque Tightening. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.atlas-copco.com/content/dam/atlas-copco/industrial-technique/general/documents/brochures-leaflets/electric-assembly-tools-and-systems/MicroTorque%20tightening%20MTF6000.pdf>. Viitattu 30.12.2019.

Desoutter Industrial Tools. 2019. SLBN050-L1000-S4Q. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.desouttertools.com/tools/3/low-voltage-electric-screwdrivers/31/slbn-tools-range/311/slbn-electric-screwdrivers/p/6151659290/slbn050-l1000-s4q>. Viitattu 30.12.2019.

Esab Oy. 2019. Esabin osaamiskeskus. Hitsausmenetelmät. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/hitsausmenetelmat.cfm>. Viitattu 30.12.2019.

Härkönen, T. 2017. Näin teollinen internet voi parantaa tuotantotehokkuutta. Vantaa: Caverion Oyj. Www-dokumentti. Julkaistu 17.10.2017. Saatavissa: <https://www.caverion.fi/blogi/blogi-details/finland-blog/2017/10/17/nain-teollinen-internet-voi-parantaa-tuotantotehokkuutta>. Viitattu 30.12.2019.

IEEE. 2019. Unimate. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://robots.ieee.org/robots/unimate/?gallery=photo1>. Viitattu 30.12.2019.

Industrial eCart. 2018. Industry 4.0 – The Fourth Industrial Revolution. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://industrialecart.com/blog/industry-4-0-the-fourth-industrial-revolution/>. Viitattu 30.12.2019.

Lehtonen, V. 1999. Ohutlevyjen liittäminen. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Logistiikan maailma. 2019. Esineiden internet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/digitalisaatio/esineiden-internet/>. Viitattu 30.12.2019.

Malm, T. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Manninen, O. 2018. Kaupunkipyöräkin on esineiden internetiä. Helsinki: op.media. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://op.media/teemat/teknologia/kaupunkipyorakin-on-esineiden-internetia-91f62b0823294a61900fa732594e083c>. Viitattu 30.12.2019.

Meuronen, I. 2011. Tuottavuuden parantaminen robottihitsauksella – keinoja kilpailukyvyyn kasvattamiseksi. Hitsaustekniikka 3/2011, 11–14. Helsinki: Suomen Hitsausteknillinen Yhdistys ry.

Nipema Oy. 2020. Robotit liimaukseen ja annosteluun. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://nipema.fi/tuotteet/liimaus-ja-annosteluteknikka/robotit-liimaukseen-ja-annosteluun/>. Viitattu 23.1.2020.

Omron Electronics Oy. 2020. Yksinkertaisuutta ominaisuuksista tinkimättä. MS2800- ja MS4800-turvavaloverhot. Esite. Espoo: Omron Electronics Oy.

Pneumacon Oy. 2018a. Miksi ruuvaus kannattaa automatisoida – 5 painavaa syytä. Www-dokumentti. Julkaistu 10.7.2018. Saatavissa: <https://pneumacon.fi/ajankohtaista-2/blogi-2/miksi-ruuvaus-kannattaa-automatisoida-5-painavaa-syyta/>. Viitattu 11.11.2019.

Pneumacon Oy. 2018b. Tehosta tuotantoasi räätälöidyllä ruuvausratkaisulla. Www-dokumentti. Julkaistu 22.8.2018. Saatavissa: <https://pneumacon.fi/ajankohtaista-2/blogi-2/tehosta-tuotantoasi-raataloidylla-ruuvausratkaisulla/>. Viitattu 11.11.2019.

Raunio, H. 2014. Teollisuus 4.0 – ”Suomen oltava kilpailukykyinen vaihtoehto, kun teollisuuden paluumuutto Aasiasta Eurooppaan alkaa”. Helsinki: Tekniikka & talous. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/teollisuus-40-suomen-oltava-kilpailukykyinen-vaihtoehto-kun-teollisuuden-paluumuutto-aasiasta-eurooppaan-alkaa/73193f56-c36f-372c-b61e-40ad27b80144>. Viitattu 30.12.2019.

Salminen, P. 2016. Robottiikka (2016). Www-dokumentti. Saatavissa: <https://docplayer.fi/67729437-Robottiikka-2016-1-johdanto-ja-historiaa.html>. Viitattu 30.12.2019.

Scanfil Oyj. 2019a. Yritys. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.scanfil.fi/yritys.html>. Viitattu 30.12.2019.

Scanfil Oyj. 2019b. Yritys. Missio. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.scanfil.fi/yritys/missio.html>. Viitattu 30.12.2019.

Scemosystems. 2019. Deprag 1522-ES/015-1 tärysyöttölaite pienille ruuveille + 2x Deprag Micromat 345Z-708 paineilmakäyttöisiä ruuvinvääntimiä. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://scemosystems.fi/deprag-1522-es-0-15-1-vibratory-bowl-screwfeeder-for-small-screws-2x-deprag-micromat-345z-708-compressed-air-operated-screw-drivers>. Viitattu 30.12.2019.

Sick Oy. 2019. Toiminnallinen turvallisuus ihmisen ja robotin välisessä yhteistoiminnassa. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/meidaen-koneturvallisuuden-ammattitaito/ihmisen-ja-robotin-vaelinen-yhteistyoe/w/human-robot-collaboration/>. Viitattu: 30.12.2019.

Sick Oy. 2020. Turvavaloverhot. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/valo-saehkoeiset-turvalaitteet/turvavaloverhot/c/g185751>. Viitattu 24.1.2020.

Suomen 3M Oy. 2020. Liittäminen ja kokoonpano. Www-dokumentti. Saatavissa: https://www.3msuomi.fi/3M/fi_FI/bonding-and-assembly-ndc/applications/material-bonding/metal/. Viitattu 23.1.2020.

Universal Robots. 2018. Safety Function. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/media/1801971/ur-g3-safety-functions-20180418.pdf>. Viitattu 23.1.2020.

Universal Robots 2019a. Tuotteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://try.universal-robots.com/fi/mainsite/>. Viitattu 30.12.2019.

Universal Robots. 2019b. About Universal Robots. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/>. Viitattu 30.12.2019.

Universal Robots. 2019c. UNIVERSAL ROBOT UR3e. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/ur3-robot/>. Viitattu 30.12.2019.

Universal Robots. 2019d. The future is collaborative. Www-dokumentti. Saatavissa: https://www.universal-robots.com/media/1801258/eng_199901_ur_main-product_brochure_web_1.pdf. Viitattu 30.12.2019.

Universal Robots. 2019e. UNIVERSAL ROBOTS LAUNCHES UR3. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/universal-robots-launches-ur3/>. Viitattu 30.12.2019.

Universal Robots. 2019f. UNIVERSAL ROBOT UR10e. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>. Viitattu 30.12.2019.

Wallén, J. 2008. The history of the industrial robot, 14–15. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://liu.divaportal.org/smash/get/diva2:316930/FULLTEXT01.pdf>. Viitattu 30.12.2019.