



Karelia-ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutus

Lukitustuotteiden testauksen automatisointi

Otto Nyholm

Opinnäytetyö, Lokakuu 2021

www.karelia.fi



OPINNÄYTETYÖ
Lokakuu 2021
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Otto Nyholm

Nimeke
Lukitustuotteiden testauksen automatisointi

Toimeksiantaja
Abloy Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää lukitustuotteiden testauksen automatisointimahdollisuuksia sekä mahdollisen yhteistyörobotin soveltuvuutta testaukseen Abloy Oy:lle. Työtä lähdettiin toteuttamaan tutustumalla jo olemassa olevaan testikalustoon. Opinnäytetyössä käsitellään myös erilaisten automaatiomahdollisuuksien ominaisuuksia sekä rakennetta.

Työn aikana keskusteltiin Abloy Oy:n yhteyshenkilöiden kanssa, ja näin saatiin kerättyä tietoa heidän tarpeistaan. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin tarpeiden toteutumismahdollisuuksia. Niitä lähdettiin toteuttamaan tekemällä erilaisia testejä perustuen testaustietoihin toiveisiin.

Opinnäytetyötä tehdessä selvitettiin myös testidatan keräys sekä raportointimahdollisuuksia. Kaikkeen edellä mainittuun saatiin tietoa erinäisistä robotiikan/ automaatiotekniikan julkaisuista. Myös Universal Robots -yrityksen opetusmateriaali auttoi työn etenemisessä.

Kieli
suomi

Sivuja 27
Liitteet 0
Liitesivumäärä 0

Asiasanat
Robotit, Automaatio, Yhteistyörobotiikka



THESIS
October 2021
Degree Programme in Machine engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author (s)
Otto Nyholm

Title
Automation of testing of locking products

Commissioned by
Abloy Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to find out the possibilities of automating the testing of locking products, as well as the suitability of a possible collaboration robot for testing for Abloy Oy. The work was started by getting acquainted with the already existing test equipment. The thesis also deals with the properties of different automation possibilities, as well as the structure.

During the work, discussions were held with Abloy Oy's contact persons, and in this way, information was gathered about their needs. In this thesis, the possibilities of realizing the needs were investigated. They were started by conducting various tests based on the wishes of the test team.

During the thesis, the collection of test data and reporting possibilities were also investigated. For all of the above, information was obtained from various publications on robotics / automation technology. The material provided by Universal Robots also helped the work progress.

Language
finnish

Pages 27
Appendices 0
Pages of Appendices 0

Keywords
Robots, Automation, Collaborative robotics

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Abloy Oy	1
2.1	Yleistä tietoa	1
2.2	Historia	2
3	Automatisointi	3
3.1	Teollisuusrobotti.....	5
3.2	Yhteistyörobotti	7
3.3	Manipulaattori	9
4	Automaatio lukitustuotteiden testauksessa	10
4.1.1	Erilaiset mahdollisuudet.....	10
4.1.2	Hyödyt	11
4.1.3	Vaihtoehtojen vertailu	11
4.1.4	Takaisinmaksuajan laskeminen	13
5	UR5e -yhteistyörobotti	14
5.1	Ominaisuudet.....	15
5.2	Työkalut	16
6	Yhteistyörobotin käyttö lukitustuotteiden testauksessa	17
6.1	Testisuunnitelmat.....	17
6.2	Robotin ohjelmointi	18
6.3	Testidatan tiedonkeruu ja raportointi.....	21
7	Tulokset	22
8	Pohdinta ja mahdolliset parannukset	26
	Lähteet.....	27
	Kuvalähteet.....	28

Lyhenteet:

TÜV Technischer Überwachungsverein, tekninen tarkastus yhdistys.

5S Japanilainen menetelmä työpaikkojen organisointiin ja menetelmien standardointiin.

SI Kansainvälinen yksikköjärjestelmä.

CAD Computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, miten uutta yhteistyörobottia voidaan käyttää lukitustuotteiden testauksessa. Abloy Oy:n testaustiimillä oli tarve päivittää jo vanhenevaa robottikalustoa, lisätä testauskapasiteettia ja selvittää, mihin kaikkeen nykyaikainen yhteistyörobotti pystyy. Yhteistyörobotin monipuoliset käyttömahdollisuudet antavat paljon tutkittavia ominaisuuksia opinnäytetyöhön. Tehtaalle saatu UR5e -robotti on olennaisena osana kyseisessä opinnäytetyössä ja käytännön testejä tullaan toteuttamaan opinnäytetyön edetessä. Myös robotin rakenteelliset ominaisuudet ovat tarkasteltavana tässä opinnäytetyössä.

2 Abloy Oy

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Abloy Oy. Opinnäytetyön aihe löydettiin, kun Abloy Oy:n testaustiimillä oli tarve kehittää sekä lisätä tuotteiden testausmenetelmiä robotiikan ja automaation avulla. Tuotekehityksellä oli myös kiinnostusta monipuolistaa tuotteiden testausta uudentlaisilla testiskenaarioilla, joita ei aikaisemmin ole voitu toteuttaa testilaitteiston ominaisuuksien vuoksi. Aiheen valintaan vaikutti se, että opinnäytetyön tekijä työskenteli Abloy Oy:n testaustiimissä.

2.1 Yleistä tietoa

Abloy Oy on Assa Abloy -konserniin kuuluva lukitustuotteiden valmistaja. Joensuun tehdas on yrityksen toiminnan kannalta erittäin keskeinen paikka. Abloyn valmistamat lukitustuotteet ovat tunnettuja turvallisuudestaan ympäri maailmaa, sekä sitkeä ja innovatiivinen tuotekehitys on tuottanut huomattavaa tulosta vuosien varrella. Abloy Oy on lanseerannut vuosien varrella monenlaisia tuotteita. Niistä tunnetuimpia ovat erilaiset mekaaniset lukitusratkaisut. Myös elektromeekaaniset tuotteet ovat tulleet pikkuhiljaa maailmalle tutuksi. Joensuun tehdas valmistaa myös esimerkiksi ovensulkimia. Abloy Oy on myös yksi Pohjois-Karjalan suurimpia työnantajia Joensuun tehtaan pitkäikäisen toiminnan ansiosta. (Abloy Oy 2021)

2.2 Historia

Abloy Oy on perustettu vuonna 1918 Emil Henrikssonin keksimän lukon tuotantoa varten. Emil Henriksson keksi kiertyvillä haittalevyillä toimivan lukon vuonna 1907 ja vapaussodan loppumelskeissä idea patentoinnista heräsi toden teolla. Vuonna 1918 perustettiin Aktibolaget Låsfabrik - Lukkotehdas Oy Henrikssonin turvalukon valmistusta varten, sillä hänen omat resurssinsa eivät yksinkertaisesti riittäneet lukkojen valmistukseen. Ensimmäiset tehtaalla tuotetut lukot saatiin myyntiin joulukuussa 1918. Lukkotehtaan nimi muutettiin myöhemmin muotoon Ab Abloy Oy. Vuonna 1921 talouskriisi järjestytti Abloyn taloutta, emoyhtiö Kone ja Silta auttoivat kuitenkin sitä nousemaan takaisin jaloilleen. Tämän jälkeen Abloyn lukot alkoivat niittämään mainetta ympäri maailmaa. (Juvonen 2007)

Vuonna 1935 Kone ja Sillan tarina kuitenkin alkoi hiipumaan, kun osake-enemmistö myytiin Robert Mattsonin perikunnan toimesta Oy Wärtsilä Ab:lle. Wärtsilän tarina alkoi Pohjois-Karjalan Tohmajärveltä vuonna 1834. Aluksi yhtiö toimi sahana ja rautatehtaana. Kyseinen rautatehdas sai malminsa paikallisesti. Myöhemmässä vaiheessa Wärtsilästä tuli suuri suomalainen konepajayritys, jonka johtoasema mahdollisti laajentumisen monialaiseksi. Tämä tapahtui ennen toista maailmansotaa, jonka takia Wärtsilä menetti yhtiön synnyinpaikan Neuvostoliitolle. Maailmansodan pölyjen laskeuduttua Wärtsilä teki kaupat Nuutajärven lasitehtaasta, sekä suomalaisille tutusta Arabian keramiikkatehtaasta. Vuodet sodan jälkeen olivat epävakaita ja pula-aika aiheutti varkauksien yleistymisen. Tämän takia lukitustuotteiden kysyntä lähti nousuun ja niiden tuottamisesta tuli todella kannattavaa. (Juvonen 2007)

60-luvulla Tekniikan Maailma antoi ihmisille tarkemman kuvauksen Abloyn lukosta. Tiedot tiirikointiyriytysten epäonnistumisista vakiinnuttivat Abloy lukon turvallista mainetta. Myöhemmin vuonna 1968 Wärtsilän rakennuttama Joensuun lukkotehdas valmistui Pohjois-Karjalaan. 60-luvun alkupuolella Wärtsilä oli perustanut Joensuuhun myös teknillisen oppilaitoksen ja tämä oppilaitos oli isossa roolissa Abloyn tehtaan henkilöstön koulutuksessa. Oppilaitos houkutteli myös enemmän asukkaita Joensuuhun. (Juvonen 2007)

Kun 1970-luku alkoi, oli Joensuun tehdas vastuussa koko Wärtsilän lukkotuotannosta. Tämän takia uutta tehdasta jouduttiin heti laajentamaan. Tämä tarjosi monelle pohjoiskarjalaiselle hyvin töitä, etenkin teknillisen oppilaitoksen opiskelijoille. Vuonna 1994 Abloy Oy yhdistyi ruotsalaisen Assa:n kanssa, näin loppui Wärtsilän aikakausi ja syntyi Assa Abloy. (Juvonen 2007)

Nykyään Assa Abloy konserni on isossa roolissa maailman lukkomarkkinoilla, tuotteet tunnetaan monessa maassa hyvästä laadustaan. Myös moni kilpailija on saatu mukaan konserniin, hyvänä esimerkkinä tunnettu Yale. (Juvonen 2007)

3 Automatisointi

Tuotannon automatisointi on nykypäivänä todella yleistä alasta riippumatta. Tavoitteena on parantaa tuotannon tehokkuutta ja toimintavarmuutta erinäisiä laitteita ja sovelluksia käyttämällä. Myös työntekijän fyysisen kuormituksen vähentäminen on yleensä tavoitteena. Kun automaation käyttöönottoa aloitetaan miettimään, on tavoitteet määriteltävä tarkasti. Halutun lopputuloksen saamiseksi on hyvä kuunnella myös työntekijää. Näin saadaan luotua hyvä pohja automaatioprojektille.

Automaatiolla tarkoitetaan yleensä laitetta, joka toteuttaa sille suunniteltua tehtävää käyttäjältä saadun tiedon perusteella. Teollisuudessa automaation yleistyminen on herättänyt monella tuotannon työntekijällä huolia mahdollisesta työpaikan menetyksestä. Yleensä huomioon ei ole otettu tarvittavan käyttäjän roolia automaatiossa. Automaation toimiminen riippuu melkein täysin käyttäjän osaamisesta sekä myös esimerkiksi kunnossapidon toimivuudesta. Kun automaatiota otetaan käyttöön, se mahdollistaa muun muassa uusien työpaikkojen avautumisen niiden kunnossapitoon. Jos automaatiota tarkastellaan työntekijän näkökulmasta, se voi olla asiana uusi, monimutkainen ja jopa pelottava. Siitä opettamalla voidaan kuitenkin lieventää mahdollista vastahakoisuutta automaatioprojektin kannalta. (Lepistö 2012, 1)

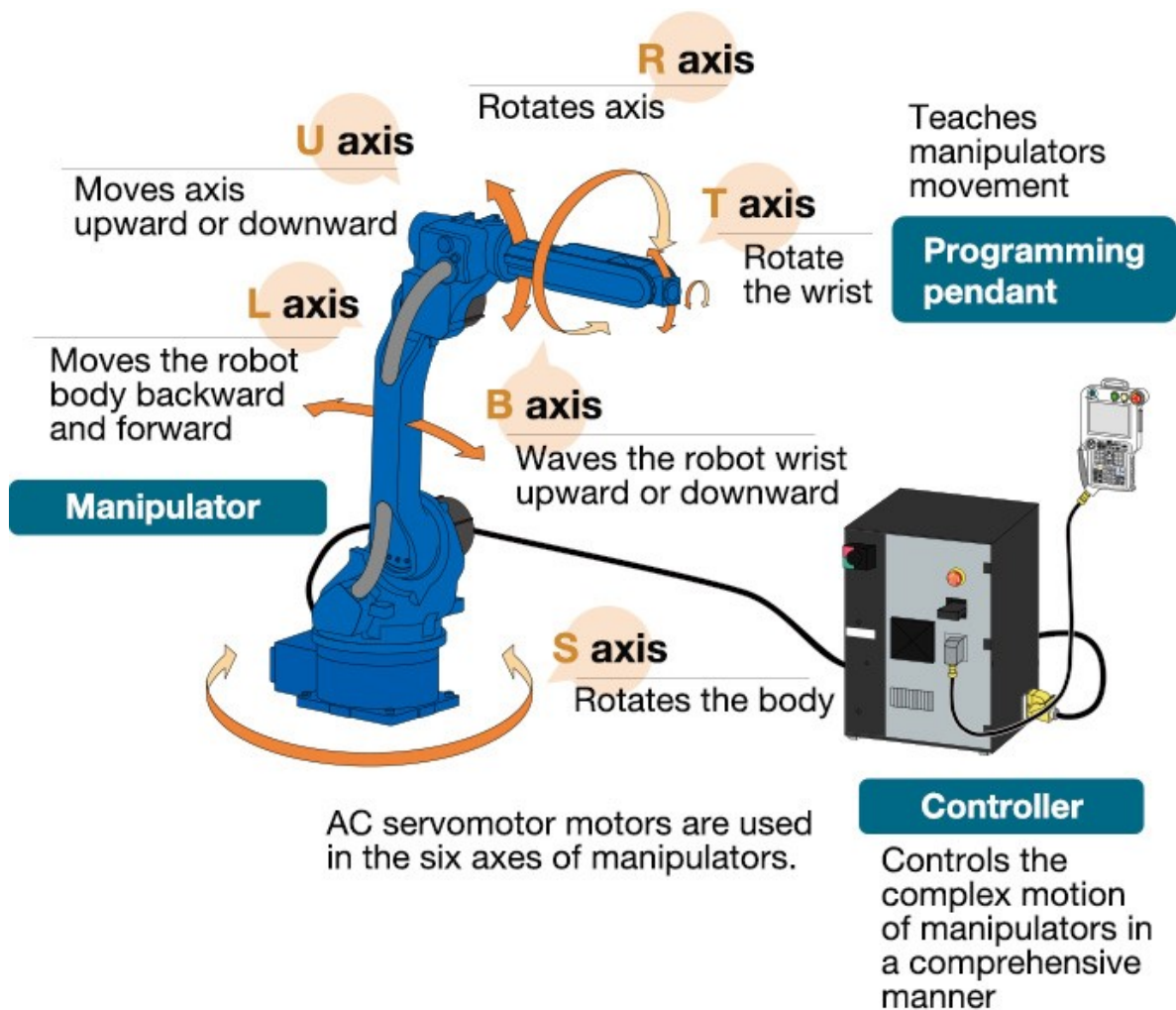
Automaatioon liittyy vahvasti jatkuva tiedonkeruu sekä komponenttien välinen yhteistoiminta. Niiden varmaan toimintaan tarvitaan hyvä tietopohja siitä, mitä

kaikkea laitteella tapahtuu. Kun automaatiota aloitetaan toteuttamaan, on tärkeää, että automatisoitava prosessi tunnetaan läpikohtaisesti. Jos tähän ei ole perehdytty tarpeeksi, voi automaation käyttöönotto hidastua, tai pahimmassa tapauksessa epäonnistua aiheuttaen taloudellista tappiota. Taloudellista puolta mietittäessä on tärkeää tunnistaa oikea tarve, eikä välttämättä ylimitoittaa laitteistoa liikaa. Uutta laitteistoa rakennettaessa pieni ylimitoitus on kuitenkin hyvästä. Mahdollisten lisäysten tekeminen järjestelmään on näin helpompaa. Myös kaikki mahdollinen mitä vanhasta prosessista voidaan hyödyntää olisi hyvä uusiokäyttää automaatiota toteutettaessa.

Kun alustava suunnitelma on saatu valmiiksi, on aika päättää mitä kaikkea automaation kannalta toteutetaan. Tämän jälkeen alkaa itse toteutusvaihe. Vaiheena se on yleensä työläin ja vaativin. Ongelmilla on tapana ilmaantua tässä vaiheessa. Laitteiston perinpohjaisella testauksella voidaan ehkäistä tulevia ongelmatapauksia. Pahimmassa tapauksessa huonosti testattu laite voi jopa hajottaa jotain. Laitteen osan hajoaminen on yleensä hintavaa, joten huolellinen testaus kannatta tehdä aina ennen uuden automaation käyttöönottoa. Kun testaus on hoidettu alta pois ja laite on todettu käyttökelpoiseksi sekä turvalliseksi, voidaan laitteen käyttöönottoon suunnitella perehdytysohjelma. Huolellisella perehdytyksellä automaatio tulee tutuksi mahdolliselle asiakkaalle sekä myöskin itse laitteella toimiville työntekijöille.

3.1 Teollisuusrobotti

Teollisuusrobotit (kuva 1) ovat yleistyneet paljon viime vuosikymmenien aikana. Niiden avulla on saatu tehostettua tuotantoa huomattavasti esimerkiksi metalliteollisuudessa. Teollisuusrobotit ovat laitteita, jotka toteuttavat niille ohjelmoitua tehtävää tarkasti ja varmasti. Ne eivät kuitenkaan ole aina sataprosenttisesti varmoja. Huolellinen suunnittelu sekä laadukkaat osat ovat tärkeässä roolissa, kun mietitään robotin rakennetta. Teollisuusrobotit ovat parhaimmillaan niille rakennetuissa robottisolussa (kuva 2), solujen avulla robotti pääsee tekemään sille tarkoitettua työtä turvallisessa ja tehokkaassa ympäristössä.



Kuva 1. Teollisuusrobotin osat (Kuva: Coolgraphics 2021).

Teollisuusrobottien käyttöönotto on yleensä kallista, pelkkä robotti on yleensä jo hintava. Ne vaativat myös kattavan turvajärjestelmän robotin välittömään läheisyyteen, näin mahdollistetaan turvallinen työskentely. Solun turvallisuus toteutetaan yleensä erilaisilla rajakytkimillä ja valoverhoilla.



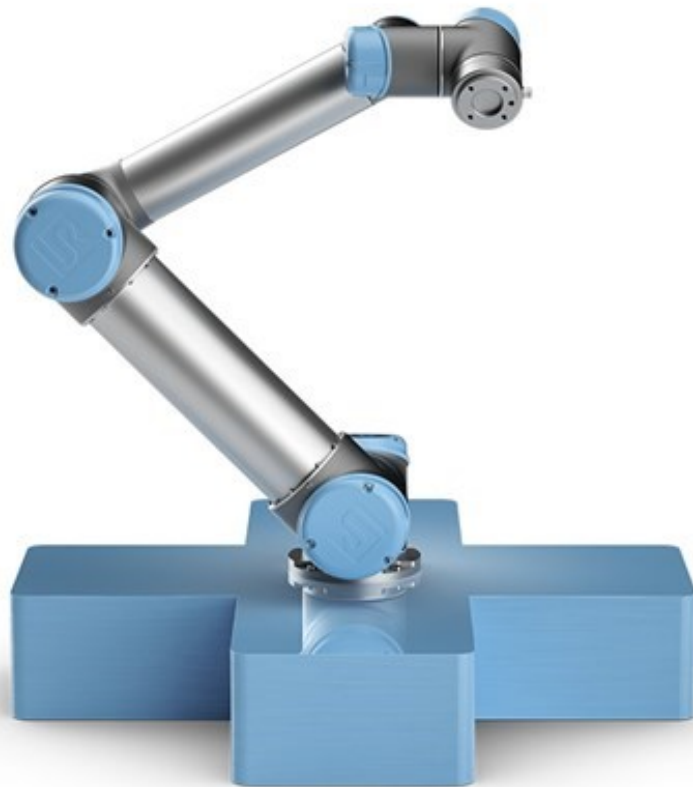
Kuva 2. Robottisolu (Kuva: Anttila 2019).

Teollisuusrobottia ohjataan opettamalla. Se toteuttaa ohjelmoidun liikeradan käyttäjän haluamalla tavalla. Robotille opetetaan liikkeen mukaiset koordinaattipisteet halutun koordinaatiston mukaan. Se voidaan ohjelmoida esimerkiksi siirtämään tarvittava kappale paikasta A paikkaan B ja palaamaan paikkaan A uutta kappaletta varten. Nykyään robottisoluissa hyödynnetään myös esimerkiksi konenäköä. Näin perinteiseen kappaleiden siirtoon voidaan myös lisätä esimerkiksi viallisten kappaleiden tunnistusta ja asemointia.

Teollisuusrobotit voidaan varustaa monenlaisilla työkaluilla. Esimerkiksi tarttujilla tai vaikkapa hitsausvälineellä. Tarttujia on monenlaisia, ne voivat olla perinteisiä leuallisia tarttujia, vakuumitarttujia, magneetteja tai jopa imukuppeja. Kun robotille valitaan työkalua, on pohjatyö tehtävä huolellisesti. Tehtävä, johon kyseinen robotti on hankittu, määrittää pitkälti työkalun tarvittavat ominaisuudet. Tarttujan sekä myös toisenlaisen työkalun valintaan vaikuttaa aina robotin ennalta määritetty tehtävä.

3.2 Yhteistyörobotti

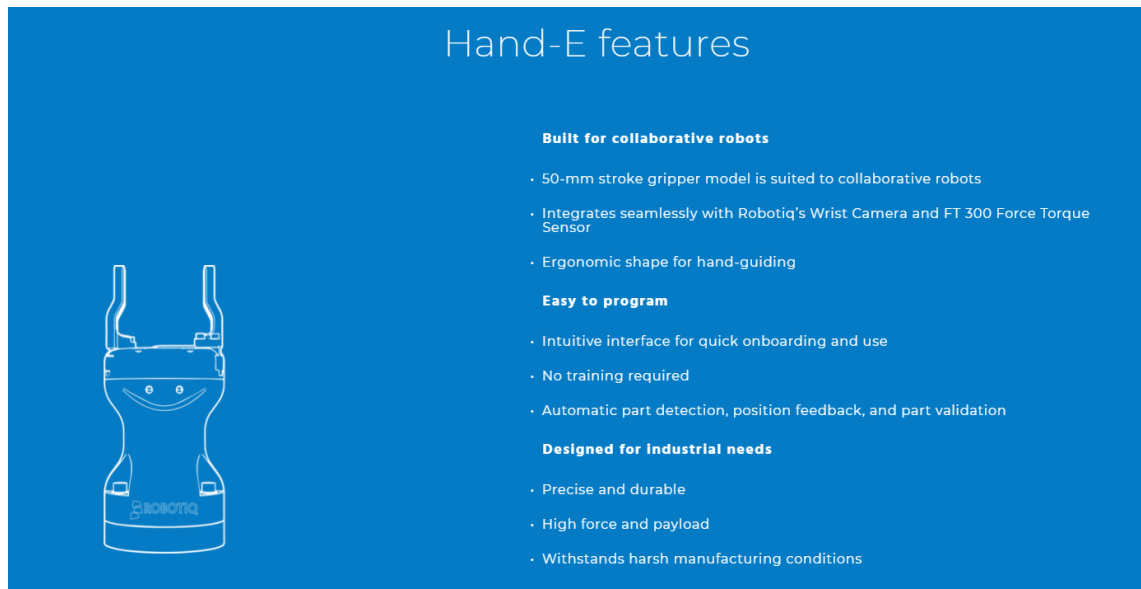
Yhteistyörobotit (kuva 3) ovat robotteja, jotka kykenevät toimimaan turvallisesti ihmisten kanssa. Ne eivät tarvitse samanlaisia turvajärjestelyjä kuin yleiset tehdasrobotit, tämä säästää paljon tilaa robotin asennuspaikalla. Yhteistyörobotit joutuvat kuitenkin toimimaan pienemmillä voimilla turvallisuuden saavuttamiseksi.



Kuva 3. UR5e -yhteistyörobotti (Kuva: Universal Robots 2021).

Yhteistyörobotti ei tarvitse turvalliseen toimintaan valoverhoja tai vastaavia turvajärjestelyjä. Yhteistyörobottien suunnittelussa se on otettu huomioon vähäisemmällä voimilla sekä monenlaisilla voima-antureilla. Näin saadaan ehkäistyä esimerkiksi puristuksesta johtuvia tapaturmia. Yhteistyörobotit ovat niin sanottuasti luontaisesti turvallisia robottijärjestelmiä. (Malm 2008)

Tavalliset teollisuusrobotit ovat turvallisuudeltaan huonompia vaihtoehtoja, jos niiden turvalliseen käyttöön ei ole tarpeeksi resursseja. Puutteelliset varoitukset ja turvajärjestelyt aiheuttavat suurimman osan tapaturmista (Malm 2008)



Kuva 4. ROBOTIQ Hand-E tarttuja (Kuva: RobotiQ 2021).

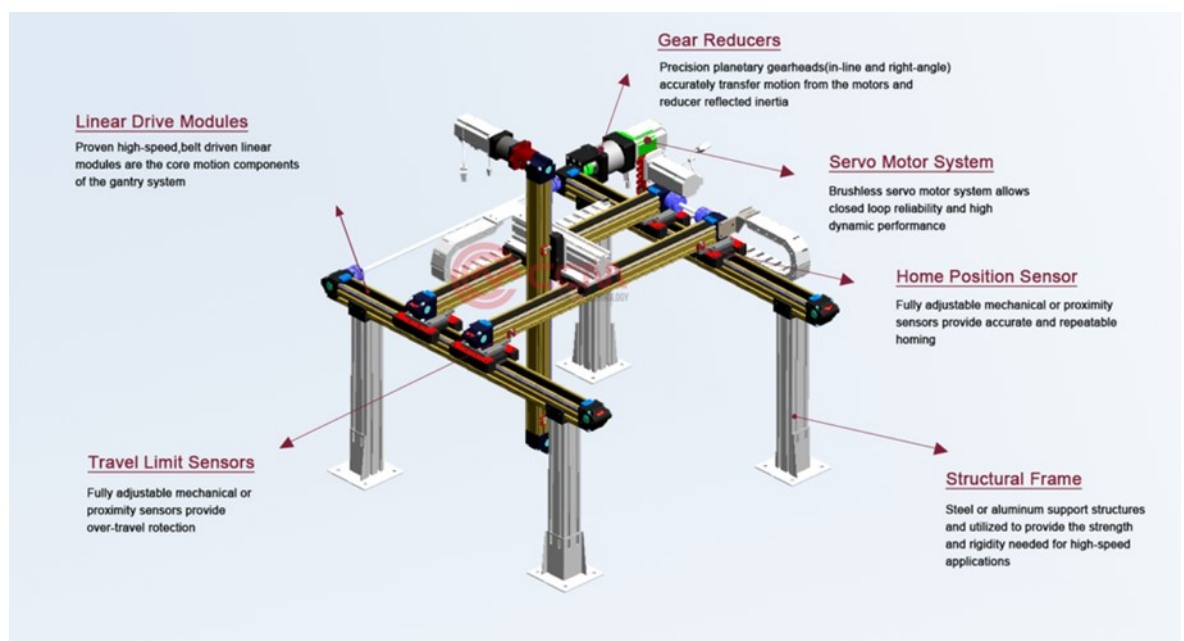
Yhteistyöroboteissa on etuna myös tarttujien ja työkalujen helppo vaihtaminen. Esimerkiksi UR5e -robotille valmistettavat ROBOTIQ -tarttumat ovat vaihdettavissa silmänräpäyksessä. Myös tarttujien muokkaaminen käyttötarkoitusta varten on tehty helpoksi vaihdettavilla tarttupalloilla, hyvänä esimerkkinä Hand-E adaptiivinen tarttuja (kuva 4). Tarttupaloihin löytyy valmiita CAD-mallitiedostoja, jotka helpottavat omien palojen valmistusta. Esimerkiksi juuri testauksen kannalta modulaarisuus on erittäin tärkeä ominaisuus. Tarvittaessa yhteistyörobotille voidaan hankkia useampia eri työkaluja, niiden vaihtaminen ja käyttöönotto ei ole yhtä haastavaa kuin esimerkiksi teollisuusrobotille.

3.3 Manipulaattori

Manipulaattori (kuva 5) on laite, joka käsittelee esimerkiksi kappaleita yksinkertaisilla liikeradoilla. Manipulaattorit ovat yhdistettävissä erilaisiin automaatioihin sekä vaikkapa kauko-ohjaukseen. Teollisuudessa nämä ovat suosittuja ratkaisuja yksinkertaisen toimintansa takia. Hyvä esimerkki manipulaattorin suorittamasta tehtävästä on kappaleen työntäminen pois liukuhihnalta. Teollisuusrobotin määritelmä sisältää myös manipulaattorit, yleensä ne kuitenkin tuovat arkipäiväisessä keskustelussa mieleen vain nivelrobotit.



Kuva 5. Manipulaattori, Weiss HP70 (Kuva: Movetec 2021).



Kuva 6. Manipulaattorin rakenne (Kuva: CCM 2019)

Manipulaattorit rakennetaan yleensä kiinteään paikkaan, ne eivät ole yhtä helposti siirrettävissä kuin esimerkiksi yhteistyörobotit. Erityisesti edullisuus on manipulaattorin vahvoja puolia, niiden huoltoa helpottaa myös modulaarisuus ja yksinkertainen rakenne (kuva 6). Suurin rajoittava tekijä ajatellen manipulaattorin käyttöä esimerkiksi juuri monipuoliseen testaukseen, on ohjauksen monimutkaisuus, sekä myös liikeratojen yksinkertaisuus.

4 Automaatio lukitustuotteiden testauksessa

Lukitustuotteiden testauksessa on aikaisemmin käytetty paineilmalla sekä servomooottoreilla toimivia testereitä. Joitakin testejä on pystytty toteuttamaan myös Motoman XRC -teollisuusrobotilla. Testauksessa olisi hyvä päivittää testauskapasiteettia testimäärien noustessa. Opinnäytetyössä pohditaan erilaisia automaatiovaihtoehtoja, niiden tuomia hyötyjä sekä vertaillaan yhteistyörobottia perinteiseen teollisuusrobottiin. Myös datan kerääminen ja testiraportteihin liittäminen on selvitettävä pääpiirteisesti. Oikein toteutettuna lukitustuotteiden testauksen automaatiopäivitys mahdollistaa esimerkiksi testityyppien lisäämisen.

4.1.1 Erilaiset mahdollisuudet

Automaation päivityksen avulla voidaan toteuttaa tarkempia testiohjelmia. Testisyklit pysyvät suhteellisen tarkkoina ja samanlaisina verrattuna esimerkiksi käsin tehtävään testaukseen. Tämänhetkinen testauskalusto kykenee standardien mukaiseen testaukseen, mutta monipuolinen testaus tulisi tarpeeseen. Testilaitteiden päivittäminen tuo mahdollisuuksia esimerkiksi testityyppien lisäämisen suhteen. Kevyt yhteistyörobotti voidaan liikuttaa testioven tai vastaavan laitteen luokse. Modulaarisella alustalla voidaan teoriassa toteuttaa monta erilaista skenaariota, myös monessa eri paikassa. Mahdollisuuksia tulee myös löytymään ajan kuluessa. Uudet tuotteet tuovat mukanaan erilaisia testitarpeita.

4.1.2 Hyödyt

Automaatio vähentää oikein toteutettuna testaajien työkuormaa. Työn mielekkyys ja tehokkuus parantuu jo pienillä muutoksilla. Testaustulokset voivat muuttua monipuolisempaan suuntaan valitusta vaihtoehdosta riippuen. Testausmenetelmien monipuolisuutta saadaan parannettua ideoimalla uudenlaisia testejä. Esimerkiksi yhteistyörobotti liikkuvalla jalustalla voidaan siirtää kauemmaksi tietynlaiselle testiovelle tai vaihtoehtoisesti laittaa sivuun äkillisen tilantarpeen ilmaantuessa. Testilaitte ei ole kyseisessä tapauksessa sidottu vain ainoastaan yhteen paikkaan. Myös nykyaikaiset ratkaisut esimerkiksi nopean työkalun vaihdon suhteen ovat tarkasteltavina hyötyinä mielenkiintoisia. Jos testilaitte saadaan toteutettua ominaisuuksiltaan toimivaksi, se vaikuttaa tehokkuuteen. Vaikutus näkyy esimerkiksi testitilausten nopeampana suorituksena, ja se helpottaa kiirettä.

4.1.3 Vaihtoehtojen vertailu

Erinäisten automaatiovaihtoehtojen välillä on huomattavissa paljon eroja. Nykyaikaiset yhteistyörobotit ovat nostaneet suosiotaan teollisuudessa ominaisuuksiensa takia. Ne sopeutuvat paremmin tiettyihin teollisuuden tehtäviin sekä työympäristöihin kuin edeltäjänsä.

	Teollisuusrobotti	Manipulaattori	Yhteistyörobotti
Liikuteltavuus	- huono, yleensä kiinteästi asennettuna soluun.	- keskinkertainen, mahdollinen kiinteä asennuspaikka. Toki järjestelmän koko vaikuttaa liikuteltavuuteen.	- hyvä, mahdollisuus asentaa esimerkiksi pyörillä olevalle alustalle. Yleensä kevyt.
Turvallisuus	- hyvä, vaatii kuitenkin paljon turvakytkimiä itse robotin lisäksi.	- hyvä, vaatii kuitenkin erillisiä turvakytkimiä.	- hyvä, robotin omien turvarajojen pitää olla säädettyinä oikeisiin voimiin.
Käyttöystävällisyys	- keskinkertainen, vaatii käyttäjältä osaamista sekä ymmärrystä robotin ohjelmoinnista.	- huono, vaatii todella paljon osaamista automaatiosta, etenkin jos pyritään käyttämään usealla eri tavalla.	- hyvä, työkalujen sekä itse robotin käyttö suunniteltu mahdollisimman yksinkertaiseksi.
Käytön oppimisen vaativuus	- huono, vaatii työntekijälle kattavan koulutuksen.	- huono, vaatii työntekijälle kattavan koulutuksen.	- hyvä, työntekijä saadaan helposti ymmärtämään yksinkertaisella koulutuspaketilla.
Taloudellisuus	- keskinkertainen, itse robotti sekä solu on kallis kertasijoitus. Onnistuessaan maksaa itsensä takaisin moninkertaisesti.	- keskinkertainen, yksinkertaisuutensa vuoksi hinta on myös halvempi.	- hyvä, sijoituksena halpa verrattuna teollisuusrobottiin. Moninkertaiset mahdollisuudet suhteutettuna hintaan, jos verrataan manipulaattoriin.
Tilan tarve	- keskinkertainen, mahdollisuus rakentaa myös kompakti solu riippuen robotin koosta.	- keskinkertainen, mahdollisuus rakentaa kompaktiksi.	- hyvä, robotti laitteineen ei vie isoa tilaa, ja se on mahdollista siirtää sivuun tarvittaessa.

Taulukko 1. Teollisuusrobotin, yhteistyörobotin sekä manipulaattorin vertailu.

Vertailu paljasti yhteistyörobotin ominaisuuksien sopivan parhaiten haluttuihin tarpeisiin. Halutut tarpeet ovat yleisiä huomioita, jotka ovat nousseet esille automaatiota kehittäessä. Arviointiasteikkona käytettiin arvoja huono, keskinkertainen, hyvä.

4.1.4 Takaisinmaksuajan laskeminen

Automaatiota tarkastellessa laitteen takaisinmaksuaika on merkittävässä roolissa. Sen avulla määritetään, kuinka nopeasti laite maksaa itsensä takaisin yritykselle, tai yksityishenkilölle. Laitteen nopea takaisinmaksuaika kertoo hankinnan edullisuudesta. Pitkä takaisinmaksuaika taas kertoo päinvastaista, investointina se tulee olemaan kalliimpi. (Hänninen 2021)

$$n^* = \frac{H}{S}$$

Kaava 1. Takaisinmaksuaika.

Takaisinmaksuaikaa laskiessa voidaan halutessaan ottaa huomioon korko. Kuitenkaan se ei ole aina välttämätöntä. Takaisinmaksuaika (n^*) lasketaan yksinkertaisimmillaan jakamalla investoinnin hinta (H) nettotuotolla (S). Nettotuotto on yleensä muodossa summa/ vuosi. Laskenta onnistuu myös vaikkapa viikkoina. (Hänninen 2021)

5 UR5e -yhteistyörobotti

UR5e -yhteistyörobotti (kuva 7) saatiin Joensuun tehtaalle käyttöön opinnäytetyön aikana. Samalla hankittiin myös ROBOTIQ Hand-E adaptiivinen tarttuja (kuva 8). Näihin laitteisiin perehtyminen on olennainen osa testauksen automaatiomahdollisuuksien kartoituksessa.



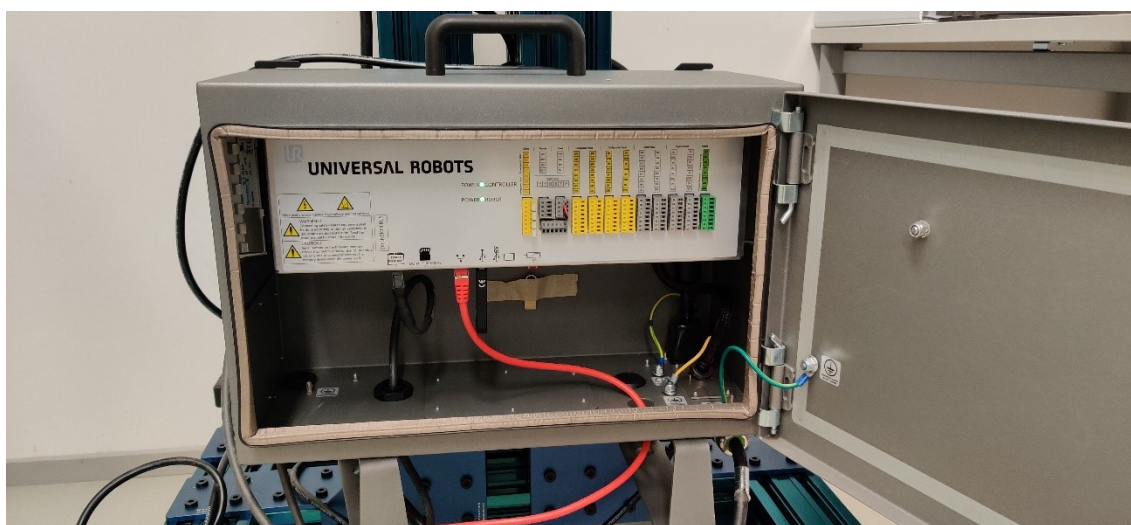
Kuva 7. UR5e robotti liikutettavalla jalustalla (Kuva: Otto Nyholm).



Kuva 8. ROBOTIQ Hand-E tarttuja (Kuva: Otto Nyholm).

5.1 Ominaisuudet

UR5e -yhteistyörobotti on Universal Robots -yhtiön valmistama viiden kilon nostovoimalla varustettu robotti. Tämän robotin ominaisuuksiin kuuluu 850 mm ulottuvuus, kevyt 20,6 kg paino, sekä pieni 149 mm halkaisijan tilantarve. Kääntyviä niveliä on yhteensä kuusi kappaletta, tarkkuus robotilla on $\pm 0,1$ millimetriä. UR5e -robotin ohjausyksikkö (kuva 9) on myös pienikokoinen, ja virta saadaan siihen suoraan verkkovirrasta. Ohjausyksikköön on mahdollista liittää internetyhteys ja se sisältää digitaalisia, sekä analogisia I/O -portteja. Kokonaisuutena (robotti, ohjausyksikkö ja ohjain) se on erittäin pienikokoinen normaaliin teollisuusrobottiin verrattuna. Tilantarpeeseen vaikuttaa myös robotin sisäinen turvajärjestelmä, joka ei vaadi ylimääräisiä rajakytkimiä tai valoverhoja turvalliseen toimintaan. UR5e -robotin turvajärjestelmä on TÜV -sertifioitu, sekä hyväksytty. Kyseinen robotti on myös tunnettu nopeasta käyttöönotosta, sen käyttökuntoon laittaminen on mahdollista suorittaa alle tunnissa siitä, kun se on saapunut asiakkaalle. Tämä suoritus ei vaadi käyttäjältä aikaisempaa kokemusta yhteistyöroboteista. (Universal Robots 2021)



Kuva 9. UR5e robotin ohjausyksikkö (Kuva: Otto Nyholm).

5.2 Työkalut

Yhteistyörobotilla on mahdollisuus käyttää monenlaisia työkaluja (kuva 10). Valmiita työkaluja valmistetaan paljon, ja ne ovat helposti asennettavissa. Myös työkalujen muokkaaminen on tehty helpoksi. UR5e -yhteistyörobotin työkaluja miettiessä, ROBOTIQ on todella suosittu vaihtoehto. ROBOTIQ tarjoaa ohjelmien, kameroiden ja lisäsensorien lisäksi myös laajan valikoiman erilaisia työkaluja. Valikoimaan kuuluu muun muassa vakuumitarttuvia (EPick, AirPick), adaptiivisia tarttuvia (Hand-E ja kolmisorminen tarttuja), teollisuustarttuvia (2F-85 ja 2F-140) sekä adaptoreita esimerkiksi Mirkan hiontalaitteille. (RobotiQ 2021)



Kuva 10. Yhteistyörobotin työkaluja (Kuva: RobotiQ 2021)

Työkalujen omavalmistus on myös teoriatasolla mahdollista, työntekijöiden joukosta löytyy osaamista niiden tekoon. Tärkein huomio kuitenkin omavalmistusten suhteen tulee ajankäytössä, joskus on huomattavan paljon nopeampaa tilata valmis työkalu tai muokata jo olemassa olevaa työkalua testiin soveltuvaksi.

6 Yhteistyörobotin käyttö lukitustuotteiden testauksessa

Yhteistyörobotin hankintaa on mietitty jo pidempään testaustiimissä. Nyt tehtävässä opinnäytetyössä tutkitaan pintapuolin yhteistyörobotin mahdollisuuksia sekä käyttöönottoa. Vanhemmat testerit ovat ominaisuuksiensa puolesta vanhentuneita, jos mietitään tarvetta uudensuorituskykyisiin testeihin. Aikaisemmin testauksessa on hyödynnetty myös Motoman XRC -teollisuusrobotia. Suurin ongelma nykyisen robotin kanssa on haastava käyttöliittymä sekä rajalliset mahdollisuudet voiman tunnistuksen suhteen. Jotta operaattori voi käyttää robotia sujuvasti, tulee hänellä olla hyvä tietopohja robotin ohjelmoinnista.

6.1 Testisuunnitelmat

Testisuunnitelmat sekä tilaukset määrittävät tarvittavan testaustyyppin testauksessa. Yhteistyörobotia voidaan, testistä riippuen, mukauttaa toimimaan halutulla tavalla. Testisuunnitelman avulla voidaan luoda vakituinen testiohjelma tuotteelle. Tämä mahdollistaa samojen testien helpon uusimisen sekä siirtämisen toiselle samanlaiselle laitteelle. Yleensä testisuunnitelmissa nojaututaan esimerkiksi standardeihin, jotka määrittävät tarkasteltavat arvot. Lukitustuotteille on asetettu monenlaisia vaatimuksia esimerkiksi kulutuskestävyyden, turvallisuuden ja olosuhdekestävyyden suhteen. Joskus standardien testausmenetelmät eivät kuitenkaan vastaa oikeassa elämässä tapahtuvia tilanteita, vaikkapa kulumisen suhteen. Tämänkaltaiseen soveltavaan testaukseen yhteistyörobotin ominaisuudet soveltuvat hyvin.

6.2 Robotin ohjelmointi

Yhteistyörobotin ohjelmoinnin aloitus sisältää yleensä ennakkoon luotuja testiohjelmia sekä mahdollisuuden luoda uudenlaisia ohjelmia testipaikasta, tuotteesta, tai tarpeesta riippuen. UR5e -robotin selvä ja yksinkertainen käyttöliittymä parantaa mahdollisuuksia ohjelmien luomisessa. Operaattorin vähäinen käyttökokemus ei tässä tapauksessa ole niin suuri este.

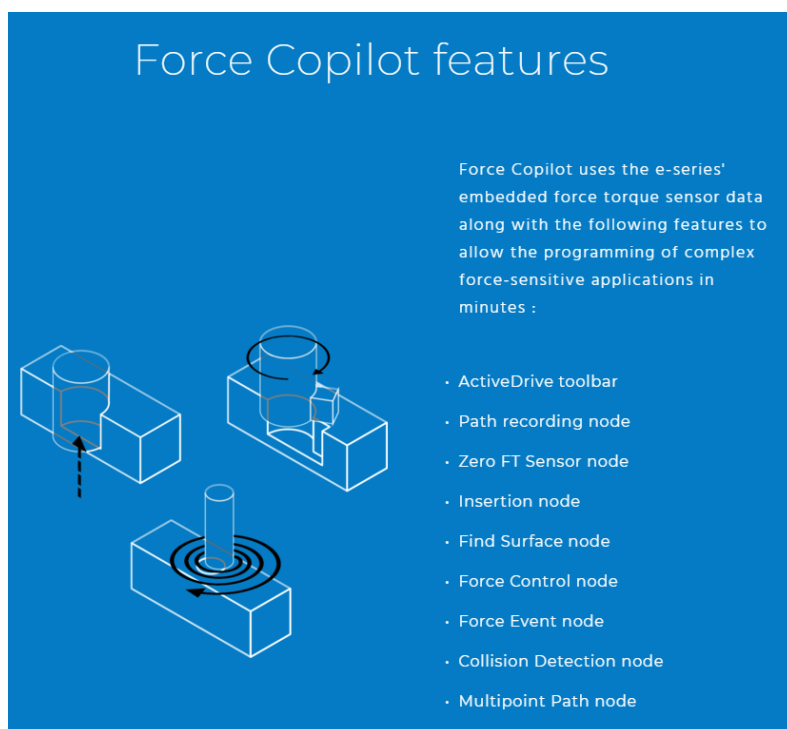
Valmiit ohjelmat voidaan tallentaa UR5e -robotin sisäiseen tallennustilaan tai esimerkiksi ulkoiselle kovalevyille. Näin voidaan helposti pitää yllä ja päivittää tuotekohtaisia ohjelmia. Testauksen tarpeiden kannalta robotin helppo ohjelmointi on todella tärkeää, näin robottia päästään käyttämään laajemmin ja tehokkaammin. Yksittäisellä työntekijällä on paremmat mahdollisuudet tarttua ohjaimiin käyttöliittymän ollessa yksinkertainen.

UR5e -robotin ohjain (kuva 11) on kosketusnäyttöinen tabletti, se on graafisesti erittäin helposti ymmärrettävä ja käytännöllinen. Lisävarusteena sille hankittiin kuminen suojakotelo, näin saadaan vähennettyä mahdollista vahingoittumisriskiä putoamisen sattuessa.



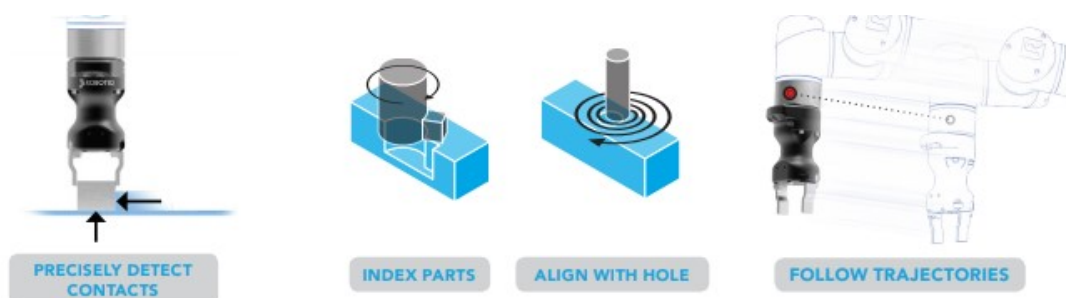
Kuva 11. UR5e -robotin ohjaustabletti (Kuva: Otto Nyholm).

UR5e -robotin mukana hankittiin ROBOTIQ Force Copilot -ohjelmisto (kuva 12), jolla saadaan monipuolisia ominaisuuksia testaamiseen (kuva 13).



Kuva 12. ROBOTIQ Force Copilot -ohjelman ominaisuuksia (Kuva: RobotiQ 2021).

Esimerkiksi avaimen paikoitus avainkanavaan helpottuu, koska ohjelmassa tulee mukana mahdollisuudet tarkempaan voimantunnistukseen. Sisäänrakennetut voima-anturit tunnistavat erisuuntaisia voimia ja niitä on mahdollista asettaa haluamiinsa rajoihin.



Kuva 13. RobotiQ Force Copilot toimintaa Hand-E tarttujan kanssa (Kuva: RobotiQ 2021).

Voimien ohjaus ja seuranta on todella tärkeää testin onnistumisen kannalta. Näin voidaan varmistaa testattavien voimien pysyminen halutuissa rajoissa. (RobotiQ 2021)

Ohjaimen näytön vasemmasta yläreunasta löytyy kuusi erilaista valikkoa: Run, Program, Installation, Move, I/O ja Log. Run -valikko mahdollistaa jo tallennettujen ohjelmien nopean lataamisen ja käynnistämisen. Program -valikko on testien kannalta tärkein, sitä kautta tapahtuu itse ohjelmien teko. Kun program -valikko avataan, ilmestyy näytölle ohjelmapuu. Vasempaan reunaan tulee valikot erilaisille komennoille, joita voi halutessaan lisätä ja määrittää. Installation -valikosta löytyy robotin koordinaatistoon sekä asennuspaikkaan liittyviä asetuksia. Move -välilehti tuo esiin manuaalijon ohjausnapit. Niiden avulla robottia voidaan ajaa yksi nivel kerrallaan tai esimerkiksi ajaa robotti jo ennalta määritettyyn kotiasemaan. I/O -valikko taas määrittää ohjausten tilan. Niiden avulla voidaan ajaa vaikkapa ulkopuolella sijaitsevaa laskuria. Se sisältää myös suuren määrän tietoa I/O -signaaleista. Viimeinen valikko Log sisältää robotin lokitietoja, täällä näkyvät esimerkiksi myös lämpötilat eri nivelissä. Tämä tekee virheiden ja muidenkin tapahtumien seurannasta todella helppoa. (Universal Robots 2021)

Kun komentoja käytiin läpi yhdessä, sen avulla saatiin selvyyttä robotin yleiseen toimintaan. Ohjelmoinnin ajankohdat oli jaettu kahdelle eri päivälle (tiistai ja perjantai), niiden väliin jätettiin muutama päivä ns. itseopiskeluaikaa. Perjantaina luotiin opettelu pohjalta ensimmäinen toimiva testiohjelma. Kyseinen ohjelma sisälsi laskurin sykleille (läpi menneet sekä virheelliset), voimantunnistuksen, komennot jumiutumisen tilanteille, ja eri tilanteissa näytölle ilmestyvät viestit (pop up -ikkunat). Nämä viestit ovat testaajien työlle tärkeitä, niiden avulla tiedetään, mitä on tapahtunut robotin pysähtyessä.

6.3 Testidatan tiedonkeruu ja raportointi

Lukitustuotteiden testauksessa on tärkeää saada talteen vertailtavaa tietoa koko testin ajalta. Erilaiset voimat ja esimerkiksi häiriöt tulee saada tallennettua myöhempää analysointia varten. Datan keruussa olisi hyvä olla käyttäjäystävällinen ohjelmisto. Kun tiedonkeruuta aloitetaan pohtimaan, aluksi pitää määrittää tietolähteet. Tässä tapauksessa tietolähteenä toimii UR5e -robotti ja esimerkiksi sen voimantunnistus. Jokainen testi toteutetaan aina yksilöidysti. Niiden välillä voi olla muuttujia koskien voimia ja nopeuksia. Tämän tiedonkeruun tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista käyttäjäystävällisyyden vuoksi.

Yhteistyörobotille aloitettiin suunnittelemaan teorian kautta yksinkertaista tiedonkeruuohjelmaa, jonka parametreja käyttäjä ohjaa. Tärkeintä tälle ohjelmalle on tiedon luotettava tallennus testikohtaisesti. Kun tieto saadaan tallentumaan, voidaan tämän jälkeen kehittää menetelmä, jolla tallennettu tieto saadaan siirrettyä raporttiin. Tämän ohjelman kautta pitäisi olla myös mahdollista päättää mitä tietoa viedään lopulliseen raporttiin. Raportointia koskevien aivoriihien pohjalta päädyttiin yksinkertaiseen komentojono-ohjelmaan. (Turunen & Roivas 2021)

7 Tulokset

UR5e yhteistyörobottia vertailtiin testauksen vanhaan Motoman XRC -teollisuusrobottiin (kuva 14). Motoman XRC -robotti on ollut testikäytössä aina tarpeen tullen. Kyseisellä robotilla ei kuitenkaan ole ollut montaa käyttäjää. Motoman XRC -teollisuusrobotti on hankittu aikanaan Abloy Oy:n testiryhmän tarpeeseen, kun tarkoituksena on ollut ihmiskäden simulointi. Sen ohjelmointimahdollisuudet sekä kuusiakselisuus ovat olleet korkean luokan tekniikkaa. Hankintaan on myös vaikuttanut joustavan tarttujan käyttömahdollisuus. Tämä robotti on ollut mielenkiintoinen testausväline testaajille, käyttöliittymä ei ole kuitenkaan ollut kaikille hirveän helppokäyttöinen.



Kuva 14. Motoman XRC -robotti. (Kuva: Otto Nyholm).

Kun UR5e -yhteistyörobotin ja Motoman XRC -teollisuusrobotin eroavaisuuksia pohditaan, on tärkeää ottaa huomioon niiden ikä. Ominaisuudet ovat kehittyneet huomattavan paljon robottien hankinta-aikavälillä.

	UR5e	Motoman XRC
Hinta	30 000€	40 000€
Tilantarve	0,6536m ²	3,5m ²
Ohjelmoinnin haastavuus	Onnistuu pienellä opetuksen määrällä. Helpot komennot ja käyttöliittymä.	Vaatii ohjelmointikielen koulutuksen. Vaikea käyttöliittymä.
Ohjelmointiaika (esimerkkinä kiertoliike)	Noin minuutti.	Minimissään viisi minuuttia.
Voimantunnistus	Herkkä ja jatkuvasti seurattavista ohjaimesta.	Suppeampi tunnistus, erillisellä laitteella toteutettavissa.
Yksiköiden-tunnistus	Tunnistaa suoraan SI-yksiköitä.	SI-yksiköitä seurattava ulkoiselta mitarilta.

Taulukko 2. Robotin tärkeiden ominaisuuksien vertailua.

Ensimmäinen huomattava ero syntyy voimantunnistuksen tasosta, Motoman XRC -robotin voimantunnistusskaala on ollut aivan liian suppea asetusten kannalta. Asetuksia tehdessä on onnistuttu rikkomaan testikappaleita. Tästä syystä tuotteen testaus tulee kalliiksi ja vaikeuttaa testausaikataulussa pysymistä pidemmällä aikavälillä. Yksittäisen testikappaleen hinta voi vaihdella sadasta eurosta 1500 euroon, joskus se on jopa enemmän. Hinta riippuu kappaleen kehitystasosta ja siihen kohdistuneesta työmäärästä. UR5e -yhteistyörobotin voimantunnistuksella voidaan tehokkaasti estää kyseistä hajoamista, pelkästään sen avulla tapahtuu huomattavaa säästöä. Tähän vaikuttaa myös työntekijän kokemus. Kokemattoman työntekijän on vaikea saada hajotettua testattavaa tuotetta UR5e turvarajojen ollessa kunnossa. Motoman XRC -robotilla tuotteen hajottaminen onnistuu myös kokeneemmalta laitteen käyttäjältä. Suurin riski testattavan tuotteen hajoamiseen tapahtuu kiertoliikettä ohjelmoidessa, hyvä esimerkki tästä on avainpesän kulutustestissä tapahtuva kiertoliike. Kierron as-temäärä on vaikea määrittää tarkasti Motomanin ohjauksella.

Toinen varteenotettava ero löytyi robottien yksiköiden tunnistuksesta, Motoman ei tunne yleisesti käytettyjä SI-yksiköitä samalla tavalla kuin UR5e. UR5e -robotin yksiköiden tuntemus tekee ohjelmoinnista sujuvampaa, ja näin ollen nopeuttaa ohjelmointiin käytettyä kokonaisaikaa. Esimerkiksi testiä luodessa on helpompi määrittää voima Newtonina suoraan ohjelman kautta kuin mitata sitä ulkoisen mittarin kautta. Eroavaisuuksia ohjelmointiaikaa koskien löytyi kiertoliikkeen opetuksesta sekä ohjelman viimeistelystä. Motoman XRC -robotilla yksinkertaisen kiertoliikkeen opettamiseen menee testituotteesta ja käyttäjästä riippuen minimissään viisi minuuttia, normaalisti kuitenkin enemmän. Vastaava liike on opetettavissa UR5e -robotille jopa alle minuuttiin, totta kai tässäkin on vaikuttavana tekijänä käyttäjän aikaisempi ohjelmointikokemus. Liikkeen ohjelmointinopeuteen vaikuttaa molemmissa tilanteissa voimantunnistus, sen ollessa herkempi, voidaan robottia ajaa nopeammin ilman riskiä tuotteelle aiheutuvasta vahingosta. Suoraa, esimerkiksi työntävää liikettä tutkiessa ei roboteille syntynyt niin merkittävää eroa. Tähän vaikuttaa myös testattavien tuotteiden parempi työntävän voiman kestävyys.

Vertailun aikana tutkittiin myös Motoman XRC, sekä UR5e -robotin viemää tilaa testauksen tiloissa. Tilat tehtaalla ovat suhteellisen ahtaita, joten yleisen siisteyden ja tilankäytön tehokkuuden suhteen tämä on tärkeää tietoa. Motoman XRC -robotin solu laitteineen vei alueen, jonka koko oli 210 cm x 150 cm. Tilankäyttöä suunnitellessa tällaisen alueen järjestäminen on suhteellisen haastavaa. Muut testaukseen tarvittavat laitteet vievät vielä lisäksi paljon tilaa testitiloissa. UR5e -robotti ohjausyksikköineen saadaan mahdutettua liikkuvalla alustalla 86 cm x 76 cm alueelle. Pelkästään liikuteltavuudella saavutetaan tehokkaampi tilankäyttö, tämä auttaa myös 5S menetelmän käytössä.

Kun Motoman XRC on aikanaan hommattu testaukseen, sen takaisinmaksuajaksi on laskettu noin 60 viikkoa. Yksi 100000 syklin kulutustesti maksaa ulkona toteutettuna 2000 euroa, ja tähän menee aikaa noin kolme viikkoa. Motomanin hinta oli noin 40 000 euroa. Jos samoja arvoja käytetään UR5e -yhteistyörobotin takaisinmaksuajan laskemiseen, maksaa se itsensä takaisin noin 45 viikossa. Nykyaikaisen yhteistyörobotin takaisinmaksuaika on 15 viikkoa lyhyempi kuin Motoman XRC -robotin.

UR5e -robotille luotiin yhteistuumin ensimmäinen testiohjelma. Ohjelmaa luodessa tutustuttiin yhdessä myös robotin toimintaan ja ominaisuuksiin. Näin kaikille robottia tulevaisuudessa käyttäville saatiin alkuun tietopohja, jota voidaan hyödyntää myöhemmissä vaiheissa. Ohjelman tavoitteena oli toimia yksinkertaisena avaimen kulutustestinä. Testiohjelmaa rakennettaessa pohdittiin, sekä tutkittiin erilaisten komentojen toimintaa ohjelmassa. Hyvänä esimerkkinä lf-lauseen toiminta syklien määrittämiseen. Sen avulla robotti saadaan tekemään haluttuja asioita, kun tietty ehto täyttyy. Tästä esimerkiksi käy seuraava: kun syklien määrä on pienempi kuin satatuhatta, se suorittaa alempia komentorivejä ja jatkaa liikettä. Syklien tullessa täyteen ohjelma pysähtyy.

8 Pohdinta ja mahdolliset parannukset

UR5e -yhteistyörobotin hankinta sekä käyttöönotto laajensivat työn sisältöä huomattavasti. Opinnäyteyön toimivuuden kannalta jouduttiin monia osa-alueita supistamaan tai muokkaamaan. Työn aikana ei välttytty vastoinkäymisiltä, esimerkiksi Force Copilot -ohjelman lisensoinnin kanssa oli ongelmia, mikä vaikutti suoraan ohjelmoinnin onnistumiseen. Työn varsinaista otsikointia piti alkuvaiheessa muokata, aikaisempi otsikointi olisi käsitellyt liian kattavaa aluetta. Itse kirjoittajana koin työn suhteellisen haastavaksi.

Tämän työn jälkeen robottiprojekti tulee jatkumaan vielä testimetodien sekä yleisen osaamistason parantamisena. Jotta yhteistyörobotista tullaan saamaan paras mahdollinen hyöty, tulee työpaikalla olla aktiivista toimintaa sen kehittämiseen. Myös niin sanotun UR5e -vastaavan nimeäminen testitiimiin ei olisi pahitteeksi.

Opinnäytetyön aikana tuli opittua paljon yhteistyörobotiikasta, automaatiosta ja sen mahdollisuuksista. Alussa tiedot yhteistyörobotiikasta olivat tulleet vastaan vain satunnaisissa julkaisuissa tai nopeina mainintoina keskusteluissa. Tämän työn ansiosta yleistieto on saanut valtavan suuren lisäyksen. Se tulee olemaan todennäköisesti erittäin hyödyllistä tulevia työtehtäviä ajatellen. Tiedon määrässä ja laadussa on toki aina parannettavaa, joten yhteistyörobotiikka tulee pysymään myös henkilökohtaisena mielenkiinnon kohteena. Jos työtä lähtisi tekemään näin projektin loppupuolella uudelleen, pyrkisin todennäköisesti saamaan itselleni jonkinlaisen koulutuksen yhteistyörobotiikan perusteisiin. Yhteistyörobotiikan maailmaan sukeltaminen melkein puhtaalta pöydältä oli haasteena mielenkiintoinen.

Lähteet

Abloy Oy. 2021. ABLOY yrityksenä. <https://www.abloy.com/fi/yritys/>

Hänninen, T. 2021. Investoinnin takaisinmaksuaika. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <https://docplayer.fi/3558263-Investoinnin-takaisinmaksuaika.html>

Juvonen, J. 2007. Avaimen arvoinen – Abloy 100 vuotta. Helsinki: Gummerus. <https://www.lukkokeskus.fi/fi/ajankohtaista/abloy-lukon-historia>

Lepistö, J. 2012. Puukaasukontin automaatio. Keski-pohjanmaan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205036042>

Malm, T. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry. <https://docplayer.fi/14765996-Vuorovaikutteisen-robotiikan-turvallisuus.html>

RobotiQ. 2021.Products. <https://robotiq.com/products>

Turunen, J & Roivas, A. Abloy Oy. Palaverit.

Universal Robots. 2021. Universal robot UR5e. <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>

Kuvalähteet

Anttila, T. 2019. Käytetyllä teollisuusrobotilla edullista käsittelytehoa pienyrityksille. <https://www.koneviesti.fi/huolto-tyokalut/tilaajille-7.140698?ald=1.496073>

CCM. 2019. What is Gantry Robot? <https://www.ccmrails.com/2019/01/17/what-is-gantry-robot/>

Movetec. 2021. Manipulaattori, Weiss HP. <https://movetec.fi/fi/tuotteet/automaatio/servoakselit/servoakselit-weiss/manipulaattori-weiss-hp>

RobotiQ. 2021. Hand-E Adaptive Gripper. <https://robotiq.com/products/hand-e-adaptive-robot-gripper>

RobotiQ. 2021. Force Copilot. <https://robotiq.com/products/force-copilot>

RobotiQ. 2021. 2F-85 and 2F-140 Grippers. <https://robotiq.com/products/2f85-140-adaptive-robot-gripper>

RobotiQ. 2021. 3-Finger Adaptive Robot Gripper. <https://robotiq.com/products/3-finger-adaptive-robot-gripper>

RobotiQ. 2021. Vacuum Grippers. <https://robotiq.com/products/vacuum-grippers>

Universal Robots 2021. THE UR5e - A FLEXIBLE COLLABORATIVE ROBOT ARM. <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>

Coolgraphics. 2021. Basic robot technology. <http://www.coolgraphics.dk/basic-robot-technology.html>