

Harri Ruostemaa

# YHTEISTYÖROBOTTI YRITYS- JA OPPIMISYMPÄRISTÖSSÄ

Opinnäytetyö  
Energiatekniikka

2020

<b>Tekijä/Tekijät</b>	<b>Tutkintonimike</b>	<b>Aika</b>
Harri Ruostemaa	Insinööri (AMK)	Marraskuu 2020
<b>Opinnäytetyön nimi</b>		
Yhteistyörobotti yritys- ja oppimisympäristössä		44 sivua 4 liitesivua
<b>Toimeksiantaja</b>		
Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu		
<b>Ohjaaja</b>		
Vesa Kankkunen		
<b>Tiivistelmä</b>		
<p>Tämä opinnäytetyö avaa yhteistyörobotin konseptia yleisellä tasolla. Yhteistyörobotit ovat nousemassa teollisuusrobottien rinnalla osaksi työelämää ja tuotantoa. Työssä käsitellään teollisuusrobottien ja yhteistyörobottien eroja käytännön esimerkkien avulla käyttöönoton helppouden, ohjelmoinnin ammattitaitovaatimusten, robottisolujen tilantarpeen ja robottien kustannusten ja takaisinmaksuajan välillä. Työssä tuodaan esille yhteistyörobottien käytännöllisyyttä ja helppokäyttöisyyttä kuitenkin unohtamatta niiden fyysisiä rajoitteita. Esimerkkitapauksissa käytännön sovelluksista keskitytään pääasiassa Universal Robotsin ja Techmanin robotteihin ja niissä käytettäviin lisälaitteisiin.</p> <p>Yhteistyörobotteja koskevia turvallisuusvaatimuksia ja toiminnan edellytyksiä avataan teollisuusrobotistandardin ISO 10218-2:2011 ja yhteistyörobotistandardin ISO TS 15066:2016 kautta. Standardeista käy ilmi riskin arviointiin vaikuttavia tekijöitä ja robottien käytössä huomioon otettavia käyttöasteita. Käyttöasteet jaetaan yhteistyörobottien kohdalla neljään pääryhmään, joiden perusteella määritellään yhteistyön aste operaattorin kanssa.</p> <p>Työn tarkoituksena on toimia ohjenuorana Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (XAMK) yhteistyörobotihankinnan pohjalta perustettavalle oppimisympäristölle, joka ryhtyy viemään yhteistyörobotteja pilotteina Kymenlaakson alueella toimiville yrityksille. Työssä käydään läpi Xamkin yhteistyörobotihankinnan vaiheet tarjouspyynnöstä lopulliseen ostopäätökseen ja siihen vaikuttaneita tekijöitä. Hankinnan lopullisessa ostopäätöksessä esitellään hankintaan sisältyvä robotti ja sen mukaan hankitut tarttajat, liikuteltava mobiilialusta ja pikaliittimet.</p> <p>Oppimisympäristön seuraavan vaiheen helpottamiseksi työssä kartoitetaan Kymenlaakson alueella toimivia yrityksiä, joihin pilottisovelluksen voisi mahdollisesti tehdä. Kartoituksessa keskitytään pääasiassa teollisuustuotantoon, mutta mukana on myös ravintoloita, leipomoita, puutarhoja ja kirjapainoja. Tarkoituksena on saada mahdollisimman laaja kattaus eri käyttösovelluksia vastaamaan yhteistyörobotin laajaa sopeutuvuutta ja potentiaalia.</p>		
<b>Asiasanat</b>		
yhteistyö, robotiikka, yritykset, pilotointi		

Author (authors)	Degree	Time
Harri Ruostemaa	<a href="#">Bachelor of Engineering</a>	November 2020
<b>Thesis title</b>		
Collaborative robot in company and learning environment		44 pages 4 pages of appendices
<b>Commissioned by</b>		
South-Eastern University of Applied Sciences		
<b>Supervisor</b>		
Vesa Kankkunen		
<b>Abstract</b>		
<p>The objective of the thesis was to research the use and possibilities of collaborative robots. It was done to act as a guideline for a new course initiated by South-Eastern University of Applied Sciences. The new course forms a studying environment where usage of collaborative robots and their practical implementation in a workplace environment is taught. The thesis was done to act as a guideline for next students diving into use of collaborative robots.</p>		
<p>Thesis was done as a compiled data research in which the basic concept of a collaborative robots and the ways they differ from other industrial robots used around the globe was explained. Following the steps of commissioner's collaborative robot project, in the thesis it was explained what to take into consideration when planning on purchasing a collaborative robot. This thesis covered introductory information on collaborative robots and charted local companies that could be interested in using collaborative robot pilots which are designed by students. To match the objective, a preliminary process in which students studying collaborative robot courses could proceed to offer robot pilots to local companies was planned.</p>		
<p>In the thesis a basic understanding of what collaborative robots are was formed and their usages around the globe was reviewed. By charting local Kymenlaakso area companies, through the thesis a base was created on which the next student can more easily focus on programming collaborative robots and with the following experience begin planning a pilot for a local company. Through the introduced research next students can save time and focus on piloting.</p>		
<b>Keywords</b>		
Collaborative, robotics, company, piloting		

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	YHTEISTYÖROBOTTI .....	8
2.1	Yhteistyörobotin määritelmä .....	8
2.2	Yhteistyörobotin käyttö .....	9
2.3	Yhteistyörobottien yleistymisen .....	9
3	EROT TEOLLISUUS- JA YHTEISTYÖROBOTTIEN VÄLILLÄ.....	11
3.1	Käyttöönotto .....	11
3.2	Ohjelmointi.....	11
3.3	Tilan tarve.....	12
3.3.1	Esimerkki teollisuusrobottisolun tilan tarpeesta .....	13
3.3.2	Esimerkki yhteistyörobotin tilan tarpeesta.....	15
3.4	Hinta ja takaisinmaksuaika .....	16
4	ESIMERKKEJÄ YHTEISTYÖROBOTTIEN KÄYTTÖKOHTEISTA.....	16
4.1	Universal Robotsin yhteistyörobottien käyttökohteita.....	16
4.1.1	Kokoonpano - Betacom Ltd. UR-10 .....	17
4.1.2	Pakkaamo - RNB Cosméticos UR10 .....	18
4.1.3	Poiminta ja asettelu - Rosborg Food Holding UR3 .....	19
4.2	Techmanin TM yhteistyörobottien käyttökohteita.....	20
4.2.1	Ravintolan tiskien pesettäminen – V1A041 TM Robot.....	20
4.2.2	CNC metallijyrsimen automatisointi – V2A006 TM Robot.....	21
4.2.3	Automatisoitu palletointi pakkaamossa – V2A016 TM Robot.....	22
4.2.4	Monivaiheinen ruoanlaitto – V2A024 TM Robot.....	23
5	YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTÖN YLEISET VAATIMUKSET .....	26
5.1	Järjestelmän riskin arviointi.....	26
5.2	Yhteistyörobotin työtilan suunnittelu .....	26
5.3	Yhteistyöoperaatiot.....	27
5.3.1	Hätäpysäytystoiminto.....	27

5.3.2	Käsiohjaus .....	28
5.3.3	Nopeuden ja etäisyyden tarkkailu .....	29
5.3.4	Tehon ja voiman rajoitus .....	30
5.3.5	Staattisten ja ohimenevien kontaktien rajoitteet.....	31
6	YHTEISTYÖROBOTIN HANKINNAN VAIHEET .....	33
6.1	Yhteistyörobotin työnkuvan määrittely .....	33
6.2	Päätös hankkeesta .....	34
6.3	Tarjouspyyntö .....	34
6.4	Tarjousten kilpailutus .....	35
6.5	Lopullinen päätös.....	35
6.6	Yhteistyörobotihankintaan liittyvät lisätyökalut.....	36
6.6.1	OnRobot-pikavaihdin ja vaihdin kahdelle työkalulle .....	36
6.6.2	OnRobot RG2 .....	37
6.6.3	OnRobot VGC10.....	37
7	PILOTTIEN VIEMINEN YRITYKSILLE .....	38
7.1	Kymenlaakson alueen pilottiyritysten kartoitus .....	39
7.2	Yritystoimintaan tutustuminen.....	39
7.3	Pilotin suunnittelu.....	41
7.4	Demonstraation esittely .....	41
7.5	Pilotin vieminen yritykseen .....	41
7.6	Yrityksen päätös .....	41
8	POHDINTA JA YHTEENVETO.....	42
	LÄHTEET.....	44

## KUVALUETTELO

## LIITTEET

Liite 1. Laki julkisista hankinnoista ja käyttöoikeussopimuksista, Tarjouspyynnön vähimmäissisältö 68§

Liite 2. ISO 15066:2016, 5.3.5 mainitseman kehonosaerittelyn osakohtainen nimeäminen.

Liite 3. ISO 15066:2016, 5.3.5 mainitseman kehonosaerittelyn osakohtainen vaurioton sietokyky

Liite 4. Mahdollisia yrityksiä pilottitoiminnan aloittamiselle

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun (XAMK) yhteistyörobotti-investoinnin seurauksena. Hankinta kilpailutettiin kolmen eri yrityksen tarjouksen välillä ja lopulta päätös tehtiin Techman TM5-900 -yhteistyörobotin hankinnasta. Ammattikorkeakoulun Kotkan kampuksen toimintaan tullaan lisäämään yhteistyöroboteihin perehdyttävä kurssi, jonka materiaaliksi tämä opinnäytetyö voidaan ottaa käyttöön.

Opinnäytetyössä käsitellään paljon esimerkkejä eri yritysten käytännön soveluksista integroida yhteistyörobotti osaksi omaa tuotantoaan. Materiaalissa tarkastellaan yhteistyörobotteja suurelta osin ISO-standardien asettamien vaatimusten ja yritysten käytännön kokemusten kautta. Esimerkkeinä käytettävissä yhteistyöroboteissa keskitytään pääosin Techmanin ja Universal Robotsin tarjoamiin laitteisiin ja niiden käyttömahdollisuuksiin ja -rajoituksiin.

Opinnäytetyön tavoitteena on toimia ohjenuorana ja alustavana pohjamateriaalina uudelle opiskelijalle, kun mahdollinen, tämän työn pohjalta jatkava, opinnäytetyö johtaa yhteistyörobottien pilottitarjontaan paikallisille yrityksille. Mahdollisissa pilottisovelluksissa keskitytään tarkastelemaan pääosin Kymenlaakson alueella olevia yrityksiä, jotta pilottien vieminen yrityksille voisi keskittyä enemmän käytännön sovelluksen suunnitteluun. Oletuksena on, ettei yrityksessä ole ohjelmointiosaamista, joten tämä opinnäytetyö tarjoaa yleiskatsauksen aihetta opiskelevalle opiskelijalle.

## 2 YHTEISTYÖROBOTTI

### 2.1 Yhteistyörobotin määritelmä

Cobotti on puhekielinen termi yhteistyörobotista (*eng. collaborative robot*). Englanninkielisestä nimestään johdettuna yhteistyörobotin määrittäminen tulee sen mahdollisista käyttösovelluksista yhteistyössä ihmisen kanssa. International Federation of Robotics (IFR) mukaan yhteistyörobotit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään. Ensimmäinen ryhmä täyttää ISO 10218-1 -standardin mukaiset vaatimukset yhteistyökäytössä oleville roboteille. Toinen ryhmä kattaa ne robotit, jotka eivät täytä standardin vaatimuksia, mutta voivat silti olla turvallisia käyttää. (International Federation of Robotics Frankfurt, Germany 2018, 2.)

Merkittävimmät erot yhteistyörobottien välillä muodostuvat käyttötarkoituksesta ja siitä millä tavalla ihminen ja robotti ovat kontaktissa keskenään. Yhdessä ääripäässä on tavalliset teollisuuskäytössä olevat robotit, joilla on omat työtilansa, joihin työntekijä voi mennä pysäyttämättä konetta. Toisessa ääripäässä teollisuusrobotit on suunniteltu erityisesti toimimaan ihmisen kanssa jaetussa työtilassa ja juuri näitä robotteja kutsutaan puhekielessä coboteiksi. (International Federation of Robotics Frankfurt, Germany 2018, 2.)

Yhteistyörobotin erottavat tavallisista teollisuudessa käytettävistä roboteista optisilla antureilla muodostetut suoja-aidat, jotka muodostavat yhteistyötilan. Yhteistyötila on työtila, jossa yhteistyörobotti voi toteuttaa omaa tuotantoaan ihmisen kanssa yhtäaikaaisesti. (ISO/TS 15066: 2016, 2.) Suoja-aitojen rajoittaman työtilan avulla voidaan rajoittaa robotin nopeutta tilanteissa, joissa anturit tarkkailevat työtilassa robotista riippumattomasti liikettä. Yhteistyötilassa anturit pitävät huolen riittävästä turvaetäisyydestä ihmisen ja robotin välillä, jolloin välttyään vaaratilanteilta ja suoralta kontaktilta. Kaikilla yhteistyöroboteilla suoja-aitoja ei tarvita, vaan robotin omat sensorit huomioivat liikerataa estävän ja rajoittavan liikkeen. (Malm & Salmi 2019, 13.)



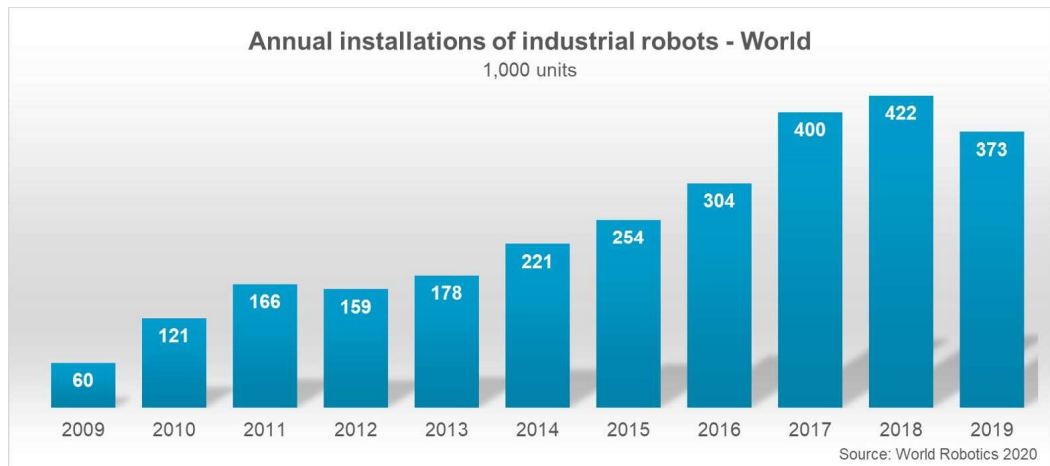
## 2.2 Yhteistyörobotin käyttö

Yhteistyörobotin käyttö on toimintaa, jossa robotti jakaa yhteisen työtilan ihmisen kanssa. Yhteistoimintaa voidaan hyödyntää vain etukäteen määritetyissä tehtävissä, koska yhteistyörobotit on ohjelmoitava suorittamaan tiettyjä liikesarjoja työn tekemiseksi. Liikesarjojen ohjelmoinnista on pyritty tekemään suoraviivaisempaa ja käytännöllisempää. Tätä työtapaa voidaan käyttää vain roboteilla, joiden ominaisuudet on suunniteltu yhteistoimintaan standardin ISO 10218-1 mukaisesti.

Universal Robotsin asiakastietokannan mukaan heidän toimittamiaan yhteistyörobotteja hyödynnetään mm. laaduntarkastuksessa, CNC-koneen käytössä, koneentäytössä, pakkauksessa ja palletoinnissa, puutarhanhoidossa, liimauksessa ja hitsauksessa, laboratorioanalysoinnissa ja -testauksessa, kokoonpanossa ja pinnankäsittelyssä. Samaisen asiakastietokannan mukaan takaisinmaksuaika vaihtelee 4–14 kuukauden välillä, mutta keskimääräisesti yhteistyörobotti maksaa itsensä takaisin 10,5 kuukaudessa. (Machine Tools 2019, 5.)

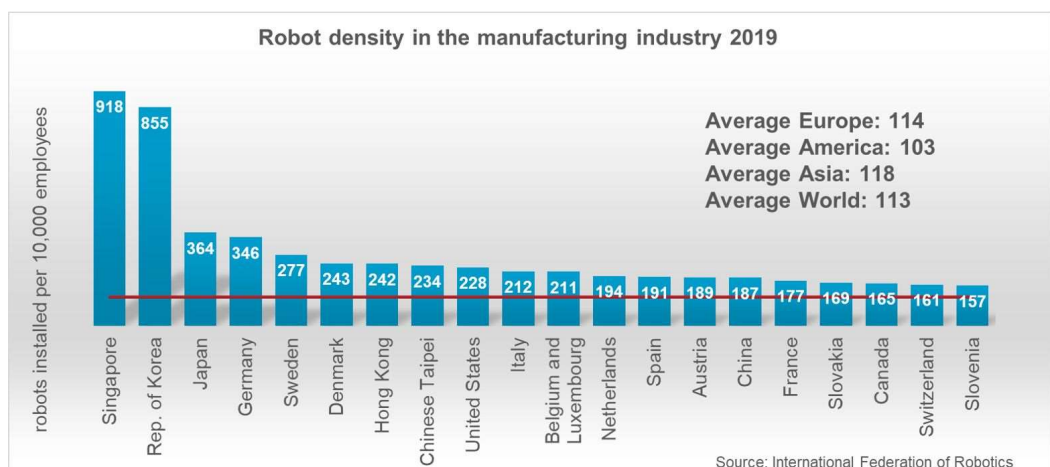
## 2.3 Yhteistyörobottien yleistyminen

Yhteistyörobottien määrä maailmalla on kasvanut tasaisesti kuluneen kymmenen vuoden aikana. IFR:n World Robotics 2020 -raportin mukaan vuosien 2009 ja 2019 välillä teollisuudessa käytettävien robottien osuus on lähes kolminkertaistunut. Saman arvion mukaan maailmalla oli vuonna 2019 n. 2,7 miljoonaa teollisuuskäytössä olevaa robottia. Näistä roboteista kuitenkin vain noin 5 % on yhteistyörobotteja ja loput 95 % perinteisiä teollisuusrobotteja. Vuositasolla uusia teollisuuskäytössä olevia robotteja hankittiin välillä 2009–2019 kuvan 1 mukaisesti. Vuosien 2017–2019 välillä yhteistyörobottien osuus on kuitenkin alkanut hitaasti kasvaa suhteessa teollisuusroboteihin noin prosentin vuosittaisella kasvutahdilla. (International Federation of Robotics Frankfurt 2020.)



Kuva 1. Teollisuuskäytössä olevien robottien määrän kasvu (IFR 2020)

Vuoden 2019 arvion mukaan tuotantoteollisuudessa Euroopassa on noin 114, Pohjois- ja Etelä-Amerikassa 103, Aasiassa 118 ja maailmalla yleisesti 113 asennettua käytössä olevaa robottia 10 000 työntekijää kohden. Merkittävän kärki tilastoissa on Singaporella ja Etelä-Korealla, joissa Singaporella on käytössään 918 ja Etelä-Korealla 855 asennettua käytössä olevaa robottia 10 000 työntekijää kohden, Etelä-Korean jälkeen eniten on Japanissa 364 ja Saksassa 346 asennettua käytössä olevaa robottia 10 000 työntekijää kohden. (Kuva 2.) Kuitenkin Kiina on alkanut panostaa robottien käyttöön tuotantoteollisuudessaan ja vuonna 2019 asensi yli 140 000 uutta robottia. (International Federation of Robotics Frankfurt 2020.)



Kuva 2. Tuotantoteollisuudessa käytettävien robottien määrä työntekijöiden määrään suhteutettuna (IFR 2020)

### **3 EROT TEOLLISUUS- JA YHTEISTYÖROBOTTIEN VÄLILLÄ**

Erot teollisuus- ja yhteistyörobottien välillä tulevat esiin verrattaessa käyttöön-oton helppoutta, ohjelmoinnin monimutkaisuutta, tilantarvetta ja toimintakapasiteettia. Käytännössä teollisuusrobotit on suunniteltu tekemään raskaampaa työtä ja siirtämään suurempia ja painavampia kappaleita. Teollisuusrobotit on yksilöity suorittamaan tiettyä tehtävää ja tavoitteellisesti pyrkivät toimimaan täysin itsenäisesti. Yhteistyörobotit sen sijaan on tarkoitettu auttamaan ihmistä toistuvissa, vaarallisissa ja epämukavissa tehtävissä luoden turvallisemman ja tehokkaamman tuotantotilan.

#### **3.1 Käyttöönotto**

Sekä yhteistyörobottien että teollisuusrobottien työtilat on yksilöitävä. Se tapahtuu ns. robottisolun muodostamisella. Robottisolun muodostamisessa kaa-voitetaan robotin työasemien, välineiden ja liikkuvien osien sijainti robottiin nähden. Teollisuusroboteilla solun luominen on lopullisempaa. Koska teollisuusroboteilla pyritään tuotantoon ilman ihmisen toimintaa, solu voidaan rakentaa huomattavasti tiiviimmäksi. Tiiviistä robottisolusta huolimatta teollisuusrobottisolun vaatima tila on merkittävästi suurempi yhteistyörobottisolun verrattuna teollisuusrobotin koon ja kapasiteetin takia. Samalla saadaan käytännön käsitys solun vaatimasta tilasta. Yhteistyörobotilla voi olla samassa solussa useampi eri työtehtävä, jolloin robottia siirretään työasemien välillä riippuen työn vaiheesta.

#### **3.2 Ohjelmointi**

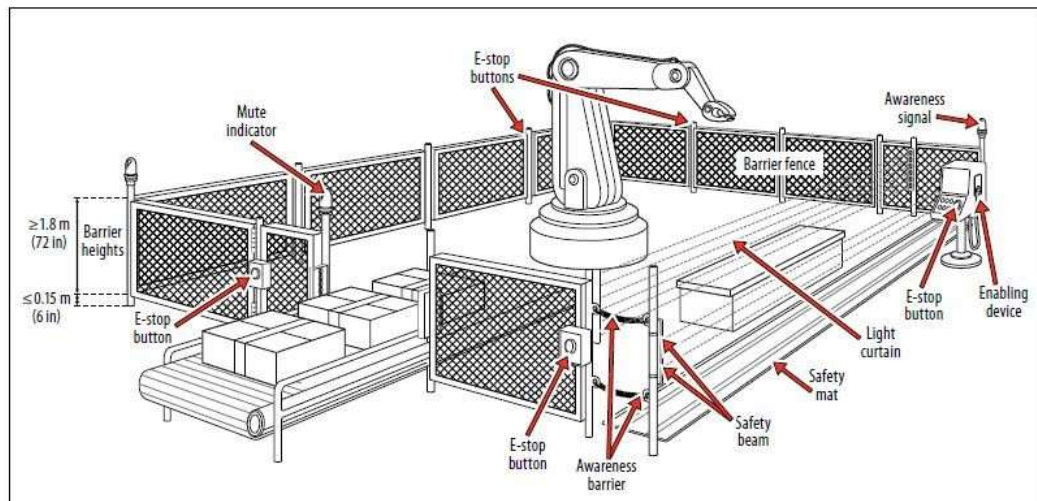
Ohjelmoinnilla tarkoitetaan sitä, että roboteille opetetaan niiden työtehtävät ja määritetään eri liikeradat ja toiminnot. Ohjelmointi voidaan toteuttaa ohjelmointikielellä, liikeradat opettamalla tai simulointiohjelmalla. Pohjimmiltaan ohjelmoinnissa opetetaan robotti tekemään halutut työtehtävät eri pisteiden välillä ja suorittamaan kussakin pisteessä ennalta määritetyt toiminnot, kuten esimerkiksi avata tai sulkea tarttuja. Näitä pisteitä voidaan ohjelmoida rajaton määrä.

Yleisesti teollisuusroboteilla on valmistajakohtaisesti omat ohjelmointikielensä, jotka on joko luotu itse tai johdettu C-kielistä. Ohjelmoitaessa opetusmetodilla robotin liikkeitä ohjataan erillisellä hallintaohjaimella haluttuun paikkaan ja asentoon. Simulointiohjelmalla robottisolun simuloidaan 3D-mallinnuksella.

Yhteistyö- ja teollisuusroboteilla on käytännössä samat ohjelmointitavat, mutta yhteistyöroboteilla on yleisesti etuna ohjelmoinnin yksinkertaisuus ja sen seurauksena uuden työtehtävän opettaminen ilman ammattilaista. (Tuunanen 2014, 34–35)

### 3.3 Tilan tarve

Teollisuus- ja yhteistyöroboteilla on luonnollisesti merkittäviä eroja. Suurempien ja raskaampien kappaleiden liikuttaminen vaatii suuremman robotin ja sen seurauksena robottisolun vaatima tila kasvaa. Teollisuusrobotin työttila yleensä rajataan aidoin (kuva 3) niin, että prosessin aikana kyetään eliminoimaan robotin ja ihmisen välisen kontaktin mahdollisuus.



Kuva 3. Teollisuusrobotin turvallisuusjärjestelmä. (Kishan 2016)

Yhteistyörobotin kohdalla tarkastellaan standardin SFS-EN ISO 10218-1: 2011 mukaisesti robotin liike-energiaa, nopeutta ja massaa tilan tarpeen ja mahdollisen törmäyksen riskinarviointiin. Mikäli yhteistyörobotti käsittelee vaaraa aiheuttavaa työkalua tai kappaletta, tarvitaan samaisia teollisuusrobottien käytöstä tuttuja turvallisuuden takaamiskeinoja riskien pienentämiseksi. (Malm & Salmi 2019, 13.)

### 3.3.1 Esimerkki teollisuusrobottisolun tilan tarpeesta

Esimerkkitapauksena teollisuusrobotin vaatimasta tilasta voidaan käyttää itävaltalaisen ZIMM-yhtiön käytössä olevaa KUKA KR QUANTEC -teollisuusrobottia. Teollisuusrobotille tyypilliseen tapaan robottisolun kokonaisuus, johon ihminen voi vaikuttaa solun ulkopuolelta tietokoneen välityksellä, mutta solu toimii käytännössä täysin itsenäisesti. (Kuva 4.)

Tapauksessa käytettävä KR QUANTEC -sarjan robottikäsiarret kykenevät käsittelemään 120–150 kg:n kappaleita ja sen maksimiulottuvuus on 2701–3100 mm. Robotti on jalustettu suoraan lattiaan, joten koko prosessin on oltava sen ulottuvuuden sisäpuolella. (KUKA – Robots & Automation 2020.)



Kuva 4. Teollisuuskäytössä oleva robottisolun (Kuka – Robots & Automation s.a.)

Solulle syötetään sen ulkopuolelta käsiteltäviä raakakappaleita, joita robotti poimii yhden neljästä työstettävillä kappaleilla ladatuista alustoista (kuva 5). Syöttöalustan toisella puolella robottikäsivarsi asettaa kappaleet porausalustaan, joka automaattisesti tekee kappaleisiin tarvittavat muokkaukset. Kun muokkaukset on tehty, robotti lataa käsitellyt kappaleet takaisin syöttöalustalle, joka lähetetään solun ulkopuolelle. (KUKA – Robots & Automation 2020.)



Kuva 5. Teollisuusrobotin syöttö- ja purkualusta (Kuka – Robots & Automation s.a.)

### 3.3.2 Esimerkki yhteistyörobotin tilan tarpeesta

Yhteistyörobotin valmistajasta riippumatta robotit ovat yleisesti suunniteltu käsittelemään alle 10 kg:n painoisia kappaleita. Tästä syystä yhteistyörobotit voidaan joissain tapauksissa liittää suoraan pöytään tai omaan siirrettävään mobiilialustaan.

Esimerkiksi hollantilaisessa Deonet-yhtiössä hyödynnetään ABB:n YuMi-yhteistyörobotia tuotannon kokoonpanovaiheessa. Pienen kokonsa ansiosta YuMi toimii samassa tilassa muiden työntekijöiden kanssa. Robotti työskentelee itsenäisesti tai yhteistyössä ihmisen kanssa. (ABB Robotics 2016.)

Deonetilla YuMi hyödyntää laserohjattua liimaustoimintoa USB-muistitikkujen kokoamisessa. Liimausvaihe edellyttää tarkkuutta laadun takaamiseksi. (Kuva 6.)



Kuva 6. YuMi-yhteistyörobotti luottokorttien sirujen asentamisessa (ABB Robotics s.a.)

### **3.4 Hinta ja takaisinmaksuaika**

Yleisesti ottaen yhteistyörobottien etuna ovat olleet pienemmän kokonsa ja vähempien turvalaitteiden vaatimusten ansiosta matalammat kustannukset. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Kotkan kampuksen yhteistyörobottihankinnassa kilpailutettujen tarjousten hinnat olivat alle 35 000 euroa. Todellisuudessa yhteistyörobotti tarvitsee kuitenkin tarttuvia, mobiilialustoja ja muita lisälaitteita, jotka nostavat hintaa. Esimerkkinä Wisematic Oyn tarjoama On-Robot RG2:n lähtöhinta on 3530 euroa, mutta käytännössä hinta saattaa tarjouspyynnössä olla annettua hintaa matalampi. Luonnollisesti takaisinmaksuaika riippuu suoritettavan työtehtävän tuottavuudesta ja työnkuvan suunnittelun onnistumisesta. (Holmén 2020.)

## **4 ESIMERKKEJÄ YHTEISTYÖROBOTTIEN KÄYTTÖKOhteista**

Yhteistyörobottien tuottajia on merkittävä määrä. Vuoden 2020 Roboticsbizin vertailussa nimettiin kymmenen parhaiten nousevaa yhteistyörobottituottajaa. Vapaassa järjestyksessä listattuna tuottajia on mm. ABB Inc., Epson Robots, Fanuc, Festo, Locus Robotics, Omron, Robotiq, Universal Robots ja Vecna. Käyttökohde-esimerkeissä tuodaan esille Xamkin hankkeen saamien tarjousten robotteja, jotka olivat maailman johtavien Techmanin ja Universal Robotsin valmistamia yhteistyörobotteja. (Top collaborative... 2020)

### **4.1 Universal Robotsin yhteistyörobottien käyttökohteita**

Universal Robotsin yhteistyörobotit ovat maailman yleisimpiä käytössä olevia robotteja. Kuten muidenkin valmistajien robotteja, myös Universal Robotsin yhteistyörobotteja pystytään yksilöimään tarkasti erilaisin työkaluin. Valmistajan omien esimerkkisovellusten perusteella heidän robottejaan voidaan hyödyntää mm. kokoonpanossa, konehallinnassa, materiaalin käsittelyssä, hitsauksessa ja laadunvalvonnassa. (Applications s.a.)



#### 4.1.1 Kokoonpano - Betacom Ltd. UR-10

Betacom Ltd. hyödyntää valaisimensa kokoonpanossa UR10-cobottia, joka on varustettu työtehtävään räätälöidyllä tarttujalla. Yhteistyörobotti hyödyntää monikätkistä vakuumitarttujaa poimiakseen piirilevyn telineestä ja asettaa sen alumiinirunkoon. Tämän jälkeen robotti poimii kuusi LED-linssiä ja asettaa ne piirilevylle omille paikoilleen. Linssien asettamisen jälkeen robotti poimii automaattisesti käyttöönsä paineilmakäyttöisen porakoneen ja kiristää asettamansa osat alumiinirunkoon.

Työ on usein toistuvaa ja edellyttää tarkkuutta LED-linssien asettelussa valon tasaisen leviämisen maksimoimiseksi. Tällä toiminnalla tuotannon laatu ja nopeus kasvoivat, koska ihmisen toiminnasta aiheutuvaa kontaminaatoriskiä ei tarvitse huomioida ja työn toistuvuus ei vaikuta laatuun heikkenevästi. (Betacom s.a.)



Kuva 7. Betacom Ltd. UR10 valaisimien kokoonpanossa (Universal Robots s.a.)

#### 4.1.2 Pakkaamo - RNB Cosméticos UR10

RNB Cosméticos on integroinut kuusi UR10-robottikäsiä tuotteidensa pakkaamiseen kuormalavoille. Yhteistyörobotit toimivat työntekijöiden kanssa samassa tilassa ja tekevät toistuvaa ja ihmiselle epäergonomista liikettä, joka aiheutuu 7 kg painavien laatikoiden kantamisesta ja siirtämisestä. Robotit toistavat noin 6 sykliä minuutissa ja muistavat yli 350 erilaisen paketin muotojen aiheuttamat huomioitavat asiat. Käytännössä robotit toimivat tuotantolinjan viimeisenä osana ja nostavat paketoitua tuotetta tuotantolinjalta kuormalavalle helposti siirrettäväksi. (RNB Cosméticos s.a.)



Kuva 8. RNB Cosméticos UR10 kuormalavan täytössä (Universal Robots s.a)

#### 4.1.3 Poiminta ja asettelu - Rosborg Food Holding UR3

Rosborg Food Holding käyttää UR3-cobottia OnRobot RG6-tarttujalla tehtaakseen yrttipuutarhojensa tuotantoa. Käytettävällä tarttujalla on kaksi ”sormeä”, joiden avulla tarttuja poimii ja asettaa yrttikasveja imitoiden ihmisen luontaista voimankäyttöä esineitä siirrettäessä. Tarttujan malli kykenee tarttumaan tukevasti eri kokoiisiin ja muotoisiin kappaleisiin. Yrttien liikuttamisen lisäksi yhteistyörobotti on ohjelmoitu taittelemaan pahvilaatikoita ja asettelemaan leikatut yrtit laatikoihin. Käytössä olevan RG6-tarttujan nostokapasiteetti riittää aina kuuteen kiloon asti. (Packaging Delicate... 2013.)



Kuva 9. OnRobot RG6-tarttuja (OnRobot s.a.)

## 4.2 Techmanin TM yhteistyörobottien käyttökohteita

Kuten muutkin yhteistyörobottien valmistajat, Techman tarjoaa useita eri laitekokonaisuuksia vastatakseen mahdollisimman tarkasti ja yksilöidysti asiakkaan suunnitellun työnkuvan tarpeisiin. Techmanin yhteistyörobotteihin sisältyy robotin ranteeseen asennettu kamera, jota robotti hyödyntää havaitakseen tarkastelualueella olevia kappaleita ja tunnistaa niiden muotoja. Useiden töypisteiden välillä toimiessa TM robotit hyödyntävät n. 5 cm x 5 cm kokoisia TM Landmark -tarroja, joiden avulla robotti tunnistaa oman asemansa aiempaan kalibrointiin verrattuna ja osaa tehdä tarvittavia muutoksia suorittaakseen työtehtävänsä alkuperäisen ohjelmoinnin pohjalta. Perusvarusteisiin sisältyvän kameran lisäksi TM yhteistyörobotteja voi halutessaan ohjelmoida myös perusvarusteisiin sisältyvän älypuhelinsovelluksen kautta. (TM-Robot Built-in Vision System s.a.)

### 4.2.1 Ravintolan tiskien pesettäminen – V1A041 TM Robot

Japanilaisessa ravintolassa suuri osa astioista on kulhoja ja laseja, joten näiden tiskaamisen järjestämiseksi voidaan hyödyntää kahta yhteistyörobottia. Robotit on kiinnitetty linjaston seinään tilan säästämiseksi. Linjaston alussa toimiva robotti tarttuu imukupitarttujalla kulhoon ja esipesee sen lavuaarin pohjaan asennetun harjan ja vesipisteen avulla. Esipesun jälkeen, robotti asettaa astian telineelle ja telineen täytyttyä riittävästi, siirtää täyden telineen tiskikoneeseen. Astioiden koon ja telineen täyttymisen tahdin tunnistamiseksi robotti käyttää TM robotteihin rakennettua 3D-muotoja tunnistavaa kameraa, joka tunnistaa astiat mm. värin ja muodon perusteella kuvakulmasta riippumatta (kuva 10). (Techman Robot 2020a.)



Kuva 10. Yhteistyörobotin käyttö tiskien muodon tunnistamisessa ja esipesussa (Techman Robot s.a.)

Tiskikoneen suoritettua tehtävänsä, toinen robotti ottaa telineen pois koneesta ja pinoaa puhtaat astiat odottamaan henkilökuntaa ottamaan ne takaisin käyttöön. (Techman Robot 2020a)

#### 4.2.2 CNC metallijyrsimen automatisointi – V2A006 TM Robot

Esimerkkitapaukseen TM robotti on ohjelmoitu toimimaan itsenäisesti CNC metallijyrsimen operaattorina. Toimenpiteen aikana robotti käy läpi 7 vaihetta. Ensimmäisessä se ottaa käsiteltävän metallivarren tarjottimelta. Toisessa vaiheessa robotti asettaa metallivarren jyrsimeen. Asetettuaan metalli varren jyrsimeen robotti sulkee kolmannessa vaiheessa jyrsimen luukun ja neljännessä vaiheessa käynnistää jyrsimen. Jyrsimen sekvenssin jälkeen viidennessä vaiheessa robotti jälleen avaa jyrsimen luukun ja kuudennessa vaiheessa robotti ottaa käsitellyn metallivarren ja asettaa sen seitsemännessä vaiheessa muiden käsiteltyjen kappaleiden joukkoon. (Techman Robot 2018.)



Kuva 11. CNC-metallijyrsimen työvaiheet (Techman Robot s.a.)



### 4.2.3 Automatisoitu palletointi pakkaamossa – V2A016 TM Robot

Kuten luvun 4.1.2 UR-10 palletointiyksikköä, Techmanin yhteistyörobottia voi hyödyntää pakkaamon linjastossa. Robotti poimii linjastolta saapuvat laatikot ja kasaa ne ympärilleen asetetuille kuormalavoille. Yhteistyörobotin etuna tällaisessa työtehtävässä on liikkeen toistuvuus, jonka suorittaminen saattaa aiheuttaa ihmiselle turhaa rasitetta. Robotilla on tässä esimerkissä selkeästi määritellyt työalustat, joita operaattori käsittelee kuormalavan täytyessä. Tällöin operaattorille jää aikaa tehdä muita tehtäviään samalla, kun robotti täyttää lavoja. (Techman Robot 2020b.)



Kuva 12. TM-robotti kuormalavan täytössä (Techman Robot s.a.)

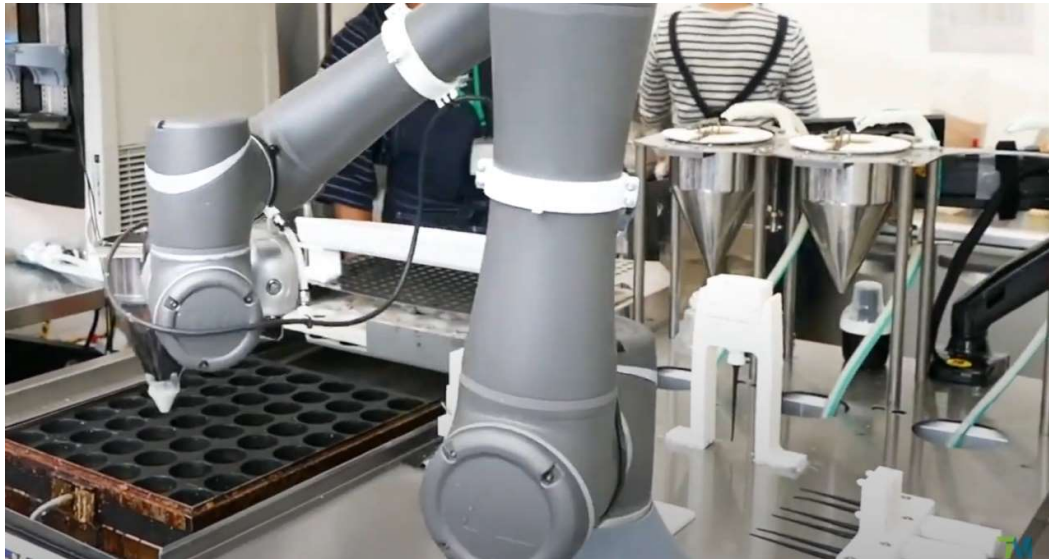
Palletointiyksikössä on nostettavan kappaleen muotoon sopeutuva tarttuja. Molemmiin puolin yksikköä on tunnistussensorit, jotka ilmoittavat yksikön päässä olevan valon avulla, kun kuormalavat ovat paikallaan ja valmiina täytettäväksi. Robotin kasattua ohjelmointinsa mukaisen määrän kerroksia lavalle, huomiovalon väri vaihtuu merkinä operaattorille lavan valmistumisesta.

Eri kokoisten kuormalavojen käyttö ja käsiteltävien kappaleiden pinoamismuodot voidaan ottaa huomioon ohjelmointivaiheessa. Lavojen päälle pinottavien ”tornien” kasvaessa, robotti nousee yksikköön rakennetun nostimen avulla automaattisesti, jotta se yltää turvallisesti asettelemaan laatikot uuteen kerrokseen. (Techman Robot 2020b.)

#### 4.2.4 Monivaiheinen ruoanlaitto – V2A024 TM Robot

Yhteistyörobottia voi hyödyntää myös ruoanlaitossa, kun sovelluksen eri vaiheet on eritelty riittävän selkeästi. Esimerkkinä japanilaisen ravintolan sovellus käyttää Techmanin robottia takoyakin valmistuksessa. Ruoanlaitto on jaettu viiteen eri osioon. Vuoaan voiteluun, päällisen lisäykseen, täytteen lisäykseen, päällisen täyttöön ja lopulta valmiiden takoyakien nostamiseen pois vuoasta tarjoiluastiaan. Vuoka on suoraan paistoalustana, joka tietyissä vaiheissa on tehty täriseämään lisättyjen ainesten tasoittamiseksi ja levittämiseksi.

Vuoan voiteluun sisältyy 3 vaihetta, joista ensimmäisessä robotti ottaa annosteluastian telineestä, toisessa levittää voiteluun käytettävän ainesosan vuoan jokaiseen kohtaan ja lopulta asettaa annosteluastian takaisin telineeseen.



Kuva 13. Yhteistyörobotin työasema monivaiheisessa ruoanlaitossa (Techman Robot s.a.)

Päällisen lisäämiseksi robotti ottaa keskimmäisen annosteluastian ja levittää päällisen vuolan pohjalle ja asettaa vuolan käsiteltynään astian takaisin telineeseen. Käytännössä tämä osio on myös kolmivaiheinen, kuten vuolan voitelu. Täytteiden lisäämiseksi vuokaan robotti vetää valmiiksi annostellun täyteastian vuolan päälle ja ravistaa täytteet vuokaan täyteastian kyljessä olevan metallilevyn avulla. (Techman Robot 2020c.)



Kuva 14. Robotti vetää täyteastian vuolan päälle metallilevyn avulla (Techman Robot s.a.)

Täytteiden lisäämisen jälkeen robotti annostelee vuokaan lisää päällistä ja vaihtaa sille sovellettuun lastaan, jolla se kaapii annosten pinnasta ylimääräisen päällisaineksen pois vuosta. Tässä vaiheessa annokset alkavat olla jo kiinteytyneitä, joten robotti vaihtaa lastan ohueen ja pitkulaiseen muovipuikoon, jonka avulla robotti pääsee takoyakin ja vuolan väliin irrottaen annokset vuosta. Vuolan tärinää hyödynnetään, kun robotti pyörittää takoyakeja tasaisen paistumisen saavuttamiseksi. (Techman Robot 2020c.)



Kun annokset ovat valmiita, robotti vaihtaa viimeiseen työkaluunsa, joka sisältää kolme vierekkäistä irrotustyökaluna käytettyä puikkoa, joilla robotti nostaa annokset pois vuoasta ja asettaa ne vieressä olevalle tarjoiluastialle.

Yhteistyörobotin ansiosta annosten tuotantotahti kasvaa, ja epämiellyttävien, kuumien ja hiostavien vaiheiden tekeminen voidaan suorittaa robotilla lisäten työskentelyn mukavuutta. (Techman Robot 2020c)



Kuva 15. Robotti irrottaa annokset vuoasta erillisellä työkalulla (Techman Robot s.a.)

## **5 YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTÖN YLEISET VAATIMUKSET**

Yhteistyörobotin turvallisen yhteistoiminnan takaamiseksi täytettävä myös teollisuusroboteilta edellytetyt seuraavat vaatimukset: järjestelmän on suoritettava riskin arviointi, yhteistoimintatilaan yhdistettyjen robottien on täytettävä standardin ISO 102018-1 vaatimukset ja henkilöiden havaitsemiseen käytettävien turva- ja lisälaitteiden on täytettävä ISO 102018-2 kohdan 5.2.2 suorituskykyvaatimukset. Turvalaitteet on suunniteltava estämään tai havaitsemaan yhteistoimintatilan ulkopuolelta saapuvat henkilöt ja tilassa toimivien muiden robottijärjestelmään liitettyjen tai yhdistettyjen laitteiden tulee olla ISO 102018-2 kohdan 5.2.2 vaatimusten mukaisia. ISO 102018-2 kohdan 5.2.2 vaatimukset käsittelevät mm. turvatoimintojen ylläpitoa ja vian ilmenemiseen vaikuttavien tekijöiden esiintuomista. (ISO/TS 10218-2: 2011, 16.)

### **5.1 Järjestelmän riskin arviointi**

Robottijärjestelmä on aina yhdistetty tietynlaiseksi sovellukseksi, joten on suoritettava riskinarviointi sovellusyhdistelmässä esiintyvien riskien pienentämiseksi. Riskinarvioinnin tavoitteena on mahdollistaa järjestelmän kohtaamien riskien analysointi ja ennaltaehkäisy sen koko käyttöiän ajalta sisältäen kaiken käyttöönotosta käytöstä poistoon.

Riskinarviointiin kuuluu robottijärjestelmän rajojen, kuten robotin kuorman, nopeuden, voiman ja tehon määrittäminen. Lisäksi arviointi sisältää mahdollisten vaarojen tunnistamisen ja riskin suuruuden ja merkityksen arvioinnin. (ISO/TS 10218-2: 2011, 12–13.)

### **5.2 Yhteistyörobotin työtilan suunnittelu**

Jokaisen yhteistyörobotin järjestelmään kuuluu suojarajoituksia, joiden avulla pyritään estämään ja vähentämään riskejä tuotannon aikana. Suojarajoitukset muodostetaan määrittämällä kolmiulotteinen robottisolun, solun käytettävyyden ja esteettömyyden, ergonomian ja ihmisen vaikutuksen laitteistoon, käyttörajoitukset ja aikarajoitukset muunnoksiin yhteistyön ja itsenäisen työn välillä.

Työtilaa suunniteltaessa solun käytettävyys ja esteettömyys tulee ottaa huomioon määrittämällä toimintatiloja tukirakenteiden ja muiden esteiden mukaan. Tilassa on erinäisiä liikenneväyliä, kuten esimerkiksi jalkakäytäviä ohjausjärjestelmän luokse ja materiaali liikenneväyliä tuotannon mahdollistamiseksi. Näiden lisäksi työtilaan on oltava turvallinen pääsytie ja kulkutie palvelu-, puhdistus-, vianetsintä- ja kunnossapitotarkoituksiin.

Yhteistoimintatehtäviä ja -tilaa tarkastettaessa tulee varmistaa, että yhteistyörobotti on ergonomisesti muotoiltu eikä sisällä teräviä ulokkeita tai reunoja. Työtilassa työskennellessä käyttäjän sijainti ei saa olla liian lähellä robotin vartta tai sisältää työskentelyä robotin alapuolella. (ISO/TS 15066: 2016, 3–4.)

### **5.3 Yhteistyöoperaatiot**

Yhteistyörobotin kanssa suoritettavat operaatiot jaetaan neljään eri käyttöasteeseen, joiden tarkoituksena on varmistaa robotin käyttöturvallisuus ihmisen ollessa muuttujana yhteistyörobotisolussa. Nämä käyttöasteet tarkkailevat operaattorin läheisyyttä ja osallistumista yhteistyörobotin toimintaan. (ISO/TS 15066: 2016, 7.)

#### **5.3.1 Hätäpysäytystoiminto**

Tällä käyttöasteella toimiessaan yhteistyörobotti ja operaattori eivät työskentele samassa tilassa samanaikaisesti, vaan robotin liike pysähtyy operaattorin tullessa työtilaan esimerkiksi valmistellakseen seuraavaa työvaihetta, kuten asettamaan uuden käsiteltävän kappaleen. Operaattorin poistuessa robotti jatkaa toimintaansa ilman erillistä jatkotoimenpidettä. Kun operaattori ei ole yhteistyötilassa, robotti voi toimia itsenäisesti. Kuvan 16 mukaisesti robotti suorittaa hätäpysäytyksen, mikäli robotti liikkuu ja operaattori on yhteistyötilan sisällä.

Robot motion or stop function		Operator's proximity to collaborative workspace	
		Outside	Inside
Robot's proximity to collaborative workspace	Outside	Continue	Continue
	Inside and moving	Continue	Protective stop
	Inside, at Safety - Rated Monitored Stop	Continue	Continue

Kuva 16. Turvallisuusteittaisen pysäytyksen mukaan toimivan operaation totuustaulu (ISO/TS 15066: 2016, 8)

Robottijärjestelmän hätäpysäytystoiminnon käytön edellytyksenä on, että järjestelmä on varustettu asianmukaisilla turvallisuuslaitteilla, kuten esimerkiksi suoja-aidoilla. Tämän käyttöasteen tarkoituksena on varmistaa, että robotti jarruttaa ja pysähtyy operaattorin suorittaessa esimerkiksi käsiteltävien kappaleiden täyttöä tai tyhjennystä, mikäli ne sisältyvät prosessiin. (ISO/TS 15066: 2016, 8–9.)

### 5.3.2 Käsiohjaus

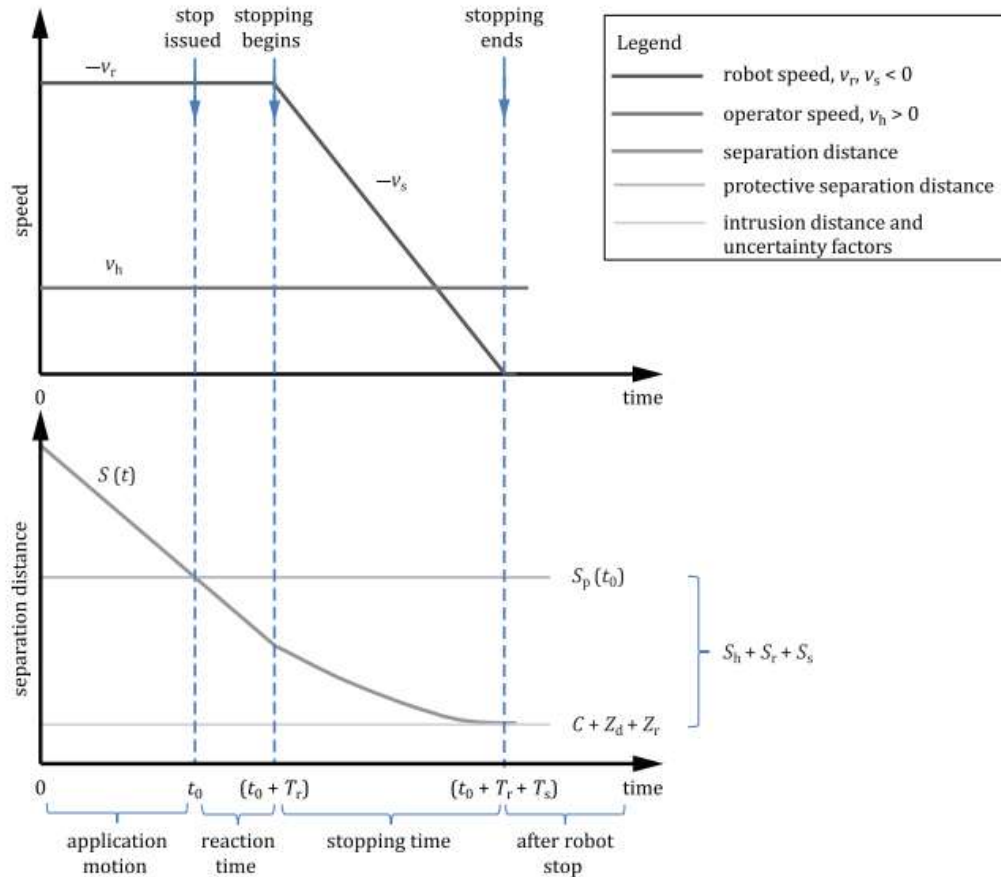
Tällä käyttöasteella operaattori hallitsee robottijärjestelmän liikkeitä erillisellä käsiohjauksella. Kuitenkin ennen yhteistyötilaan menemistä robotin on suoritettava kohdan 5.3.1 mukainen hätäpysäytys, joten tässäkin operointitavassa robottisolun on rajattava esim. suoja-aidoilla. Pysähtymisen jälkeen operaattori ottaa robotin hallintaansa manuaalisesti.

Käsiohjauksessa robottijärjestelmään vaikuttavat operaattorin etäisyys ja paikka robottiin nähden. Jos robotin ulottuvuus ja kääntösäde voivat aiheuttaa riskin operaattorille, robotti käyttää rajoitettua kääntösädettä ja siten pyrkii pienentämään vaaratilanteen riskiä. Kun operaattori on suorittanut käsiohjauksella haluamansa, robotti pysähtyy käsiohjauksen loppuessa ja jatkaa itsestä toimintaansa operaattorin poistuttua yhteistyötilasta. (ISO/TS 15066: 2016, 9–10.)

### 5.3.3 Nopeuden ja etäisyyden tarkkailu

Tällä käyttöasteella robottijärjestelmän ei tarvitse pysähtyä välittömästi operaattorin tullessa työtilaan. Riskin hallintaan vaikutetaan ylläpitämällä tietty turvaetäisyys operaattorin ja robotin välillä. Jos robotin liike johtaa tilanteeseen, jossa robotti on liian lähellä operaattoria, järjestelmä pysäyttää robotin liikkeen. Kun operaattori liikkuu kauemmaksi robotista, turvaetäisyyden ehdot täyttyvät ja robotti voi jatkaa toimintaansa automaattisesti. Järjestelmän nopeus vaikuttaa turvaetäisyyden suuruuteen, joten matalampi nopeus mahdollistaa tiiviimmän työskentelyn lyhyemmän turvaetäisyyden seurauksena. Robotin suurin sallittu toimintanopeus tulee määrittää riskin arvioinnissa ennen operointia. Kuvan 17 mukaisesti operaattorin ja robotin välinen turvaväli on jaettu turvaetäisyyteen ja kontaktietäisyyteen, johon vaikuttavat epävarmuusmittauksessa. Näiden tekijöiden takia robotti alkaa jarruttaa toimintaansa reaktioajan jälkeen.

Nopeuden ja etäisyyden tarkkailu edellyttää järjestelmältä kohtien 5.3.1 ja 5.3.2 mukaisia turvalaitteita, joiden käyttöön sisällytetään tarkemmat parametrit työtilan jakamisen mahdollistamiseksi. Järjestelmällä voi olla rajoitteita, jotka sallivat useamman operaattorin liikkeen tarkkailun samanaikaisesti. Näissä tapauksissa työtilan jakavien henkilöiden sallittu määrä on ilmoitettu robotin järjestelmän tiedoissa. (ISO/TS 15066: 2016, 10–15.)



Kuva 17. Operaattorin ja robotin välisten nopeuksien ja etäisyyksien riippuvuussuhde (ISO/TS 15066: 2016, 15)

### 5.3.4 Tehon ja voiman rajoitus

Tällä käyttöasteella määritetään fyysinen kontakti robottijärjestelmän ja operaattorin välillä, tapahtui se sitten vahingossa tai tarkoituksella. Tämä käyttöaste edellyttää kuitenkin, että järjestelmä on suunniteltu ottamaan tällainen kontakti huomioon ja siten soveltuu operaatioon. Yhteistyön aikana järjestelmä tarkkailee käyttämänsä tehoa ja voimaa. (ISO/TS 15066: 2016, 15.)

Operaation aikana tapahtuvat kontaktit robotin ja operaattorin ruumiinosien välillä jaetaan kolmeen eri kategoriaan, joita ovat: tarkoituksenmukaiset tilanteet, jotka kuuluvat sekvenssiin, satunnaiset kontaktitilanteet, joka aiheutuvat, kun työvaiheita ei seurata, mutta teknisiä virheitä ei tule ja lopulta vikatilat, jotka johtavat kontaktitilanteeseen. (ISO/TS 15066: 2016, 15–16.)

Kontaktien tyypit jaetaan ns. staattisiin kontakteihin ja ohimeneviin kontakteihin. Staattisissa kontakteissa henkilön ruumiinosa jää puristuksiin robotin ja jonkin muun kappaleen väliin. Ohimenevällä kontaktilla tarkoitetaan ns. dynaamista osumaa eli tilannetta, jossa henkilön kontaktissa oleva ruumiinosa ei jää jumiin, vaan voi vetäytyä robotista jäämättä jumiin. Ohimenevän kontaktin vakavuus riippuu robotin ja kontaktia ottavan ruumiinosan inerttioiden välisestä suhteesta. (ISO/TS 15066: 2016, 16.)

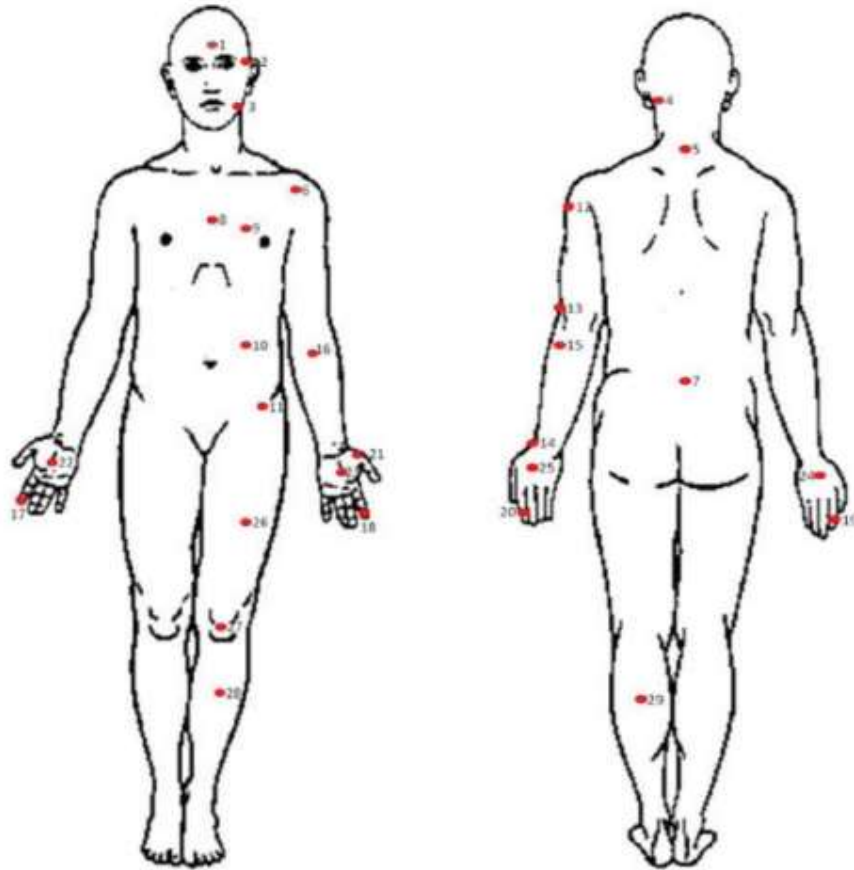
Tehoa ja voimaa rajoittamalla riskinarvioinnissa voidaan suorittaa passiivisia ja aktiivisia turvametodeja kontaktitilanteiden vaarojen pienentämiseksi.

Passiivisiin turvameteodeihin sisältyy mm. kontaktipinnan laajentaminen, iskuenergian vaimentaminen, iskuvoiman vähentäminen ja liikkuvien massojen rajoittaminen. Kontaktipinnan laajentamisella tarkoitetaan robotin ergonomiaa, kuten pyöristettyjä kulmia ja myötäileviä sileitä pintoja, jolloin osa iskussa olevasta liike-energiasta ohjaisi voimaa pois ruumiinosasta. Iskuvoiman vaimentamisella ja vähentämisellä tarkoitetaan esim. osien pehmustamista ja joustavia niveliä tai linkkejä, jolloin iskun voimakkuutta vähennetään ja mahdollistetaan robotin joustavuus. (ISO/TS 15066: 2016, 16.)

Aktiiviset turvamenotit käsittävät pääasiassa rajoitteita, jotka rajoittavat robotin tehoa ja vääntöä, liikkuvien osien kiihtyvyyttä, liike-energiaa massojen ja kiihtyvyyden funktiona, kääntösädettä ja ulottuvuutta. Robotin suureiden rajoittamisen lisäksi käytetään myös kohdan 5.3.1 mukaista hätäpysäytystoimintoa ja kohdassa 5.3.3 käytettyä turvaetäisyyttä tilanteiden ennaltaehkäisemiseksi. (ISO/TS 15066: 2016, 16.)

### **5.3.5 Staattisten ja ohimenevien kontaktien rajoitteet**

Kontaktitilanteiden ehkäiseminen ei ole aina mahdollista, joten prosessin riskinarvioinnissa on otettava huomioon mihin osaan operaattorin kehoa isku saattaa osua. Kehonosat kestävät eri suuruisia voimia ilman vahingon aiheutumista, joten tämän kartoittamiseksi on luotu kehomalli, jossa eritellään 29 kehonosaa (kuva 18) ja niiden kestävä kuormaa (liitteet 2 ja 3).



Kuva 18. Kontaktien riskin arvioinnissa huomioon otettavat eriteltyt kehonosat edestä ja takaa (ISO/TS 15066: 2016, 22)

Näille määritellyille kehonosille on arvioitu Mainzin yliopiston (University of Mainz) toimesta staattiselle ja ohimenevälle kontaktille suurimmat sallitut paineet ja voimat. Riskinarvioinnin mukaan ei saa aiheutua sellaista tilannetta, jossa jokin kehonosa voi jäädä vauriota aiheuttavaan kontaktiin. Riskinarvioinnissa lasketaan käsiteltävien kappaleiden ja robotin liike-energian ja massan perusteella nopeussuositus, jolla robotin tulee toimia yhteistyötilanteessa. (ISO/TS 15066: 2016, 22–26)



## 6 YHTEISTYÖROBOTIN HANKINNAN VAIHEET

### 6.1 Yhteistyörobotin työnkuvan määrittely

Yhteistyörobotin hankinnassa kannattaa pyrkiä määrittelemään suunniteltava tehtävä realistisesti. Yhteistyörobottien kantokyky voi vaihdella 3–16 kg:n välillä ja toimintasäde voi vaihdella 500–1300 mm välillä. Esimerkiksi Universal Robotsin UR3e ja UR16e (3 kg:n ja 16 kg:n kantokyvyn) yhteistyörobottien toimintasäteet ovat 500 mm ja 900 mm painon kasvaessa 11,2 kilogrammasta 33,1 kilogrammaan. Vaaditun toimintasäteen kasvaessa kasvaa myös robotin koko, paino, yhteistyötilan vaatimukset ja alustan vaatima tila tasapainon ylläpitämiseksi toimintasäteen ääriasennossa. (UR3e s.a.) (UR16e s.a.)

Yhteistyörobotti kykenee muistamaan useita eri työpisteitä ja niihin tarkoitettuja sovelluksia. Yhteistyörobottia voidaan mobiilialustoilla siirtää työpisteiden välillä. Mobiilialustan vaatima kulkuväylä kasvaa yhteistyörobotin kasvaessa, joten tilan esteettömyys tulee ottaa huomioon työtilojen välillä, mikäli yhteistyörobottia aiotaan käyttää useammassa työtilassa. TM Robot Inc. Valmistajan tuottamat TM Robot Stand -jalustat ovat 630x750 mm ja 729x700 mm pohjapinta-aloiltaan ja painavat yhdistelminä omien TM5-sarjan yhteistyörobottiensa kanssa alle 160 kg. (TM-Robot Stand s.a.)

Yhteistyörobotin hyöty suurin saavutetaan tehtävissä, jotka edellyttävät tarkkuutta ja tasalaatuisuutta. Käsivarret kykenevät tekemään valmistajastaan riippuen  $\pm 0,03$ – $0,05$  mm tarkkuudella saman liikeradan. Esimerkiksi TM5-sarjan yhteistyörobottien pakettiin sisältyy kalibrointialusta, jota robotin kamera opetetaan tarkkailemaan. Tähän alustaan kalibroimalla kamera saadaan tunnistamaan uusien alueella esiintyvien kappaleiden muodot ja näin robotti kykenee esimerkiksi lajittelemaan tietyn malliset kappaleet opetetun liikeradan mukaisesti. (Robot Vision... s.a.)

## 6.2 Päätös hankkeesta

Kun yhteistyörobotin työnkuva on alustavasti tiedossa, voidaan ryhtyä tutki-  
maan eri valmistajien tarjoamia vaihtoehtoja. Käytännössä valmistajat kykene-  
vät kukin tarjoamaan kattavasti erilaisia lisälaitteita ja palveluita, joten päätök-  
sen tekeminen tietyn robotin ja lisälaitteiden hankinnasta saattaa aiheuttaa  
haasteita.

Tarkastellaan esimerkkitapauksena Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu  
Oy:n Pienjätelogiikka sairaalaympäristössä -hankkeen etenemistä. Hank-  
keen tavoitteena oli luoda robottitestausympäristö, jossa voitaisiin edistää sai-  
raalahenkilöstön sitoutumista kokeilukulttuuriin ja päivittää sairaalahenkilöstön  
teknologiaosaamisen tasoa pienjätehuollon, automaation ja robotiikan mah-  
dollisuuksista. Robottitestaus- ja oppimisympäristön varaan perustetaan myös  
lisäys koulutussuunnitelmaan, jossa korkeakoulu tavoittelee jakavansa uuden-  
laista tietoa ja käytännön osaamista yhteistyöroboteista. (Holmén 2019.)

## 6.3 Tarjouspyyntö

Julkisten hankintojen menettely- ja hankintalain §:n 68 mukaan tarjouspyyn-  
nössä on esitettävä liitteen 1 sisältämät seikat. Tarjouspyynnöstä olisi hyvä  
käydä ilmi yhteistyörobotin työnkuvaus, josta selviää mm. laitteiston vähim-  
mäisvaatimukset, hintahaarukka, määräaika tarjousten tekemiselle ja tarjous-  
ten voimassaoloaika.

XAMK:n hankkeen tarjouspyyntö tehtiin yhden yhteistyörobotin muodosta-  
masta järjestelmästä, jonka ensisijaiset sovellusalat olivat sosiaali- ja terveys-  
alan sisälogistiikan ja materiaalinkäsittelyn turvallinen järjestäminen.

Pyynnössä määritetään järjestelmän vähimmäisvaatimukset, jotka olivat yh-  
teistyörobotti varusteineen, jalusta, tarttuja, käyttöliittymä ja -koulutus.  
(Holmén 2019.)

## 6.4 Tarjousten kilpailutus

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun yhteistyörobotihanke valitsi kilpailutettavaksi kolme saamaansa tarjousta. Kone ja Asennus Ikävalko Oy tarjosi Omronin jälleenmyyjänä TM5-sarjan yhteistyörobotia, Posicraft Oy tarjosi UR5e, UR10e ja UR16e yhteistyörobottejaan ja Wisematic Oy tarjosi Techmanin TM5/12/14-sarjojen yhteistyörobotia.

Kokonaistaloudellisuuden vertailussa käytettiin 100 pisteen järjestelmää, jossa hintahaarukkaan sopivuus määritti 60 pistettä ja tarjouksen laatu 40 pistettä. Yhteistyörobotijärjestelmän yksikköhintaan ja siltä osin maksimissaan 60 pisteen saavuttamiseen vaikuttivat tarjouksissa ilmenevät vähimmäisvaatimukset, joita olivat yhteistyöroboti varusteineen, jalusta, tarttuja, käyttöliittymä/ohjelmisto, käyttökoulutus ja toimitus.

Maksimissaan 40 laatupisteen saavuttamiseen vaikuttivat tuen tarjonta, järjestelmän takuu ja järjestelmän soveltuvuus käyttöympäristöön, joka määriteltiin helppokäyttöisyyden, liikuteltavuuden, monipuolisuuden, opetuskäyttöön soveltuvuuden ja TKI hyödynnettävyyden perusteella. Lisäksi tarjouksiin pyydettiin erittelemään oppilaitosyhteistyömahdollisuudet ja mahdolliset referenssit muille yrityksille tarjotuista sovelluksista. (Holmén 2020.)

## 6.5 Lopullinen päätös

Pisteytyksen perusteella suoritettiin lopullinen ostopäätös Wisematic Oy:n tarjoamasta TM5-900 yhteistyörobotista. Lopulta oleellisimmat päätökseen vaikuttavat tekijät olivat referenssien monipuolisuus ja hinta, joista Wisematic Oy:n lähettämä tarjous sai täydet pisteet pientä hintahaarukan ylitystä huomioiden. (Holmén 2020.)

## 6.6 Yhteistyörobottihankintaan liittyvät lisätyökalut

Pelkkä yhteistyörobotti ei yksinään riitä työtehtävien toteuttamiseen, vaan toimiakseen robotti tarvitsee lisätyökaluja kuten tarttuvia ja jalustan, jotta sen käyttö onnistuisi ja olisi sulavaa. XAMK:n hankkeen lopullinen tilaus sisälsi TM5-900 yhteistyörobotin lisäksi sille sopivan Techman Robot Stand -liikuteltavan jalustan, OnRobot – Techman robottien sovitussarjan, ja OnRobot-pikavaihtimen, pikavaihtimen kahdelle työkalulle ja tarttujat: OnRobot RG2, OnRobot VGC10. Yhteistyörobotin ja tarttujan välille tarvitaan sovitussarja, koska robottivalmistajien käsivarsissa on eroja. Liikuteltava jalusta mahdollistaa robotin helpon liikuttamisen eri työpisteiden välillä. (Holmén 2020.)



Kuva 19. OnRobot RG2, VGC10, pikavaihdin ja pikavaihdin kahdelle työkalulle (OnRobot s.a.)

### 6.6.1 OnRobot-pikavaihdin ja vaihdin kahdelle työkalulle

Pikavaihtimen (kuva 19) edut tulevat parhaiten esiin tilanteissa, joissa tarvitsee ajoittain vaihtaa tarttujaa. Ilman pikavaihdinta toimiessa eri tarttujat tulee ruuvata irti ja uudelleen paikalleen ja tämä saattaa joissain tapauksissa viedä aikaa. Pikavaihtimen kanssa tarttujan vaihtaminen onnistuu yhdellä napinpainalluksella. Yksinkertaisuudestaan huolimatta pikavaihtimen kantokyky riittää 20 kg:aan asti. Pikavaihdin on pienikokoinen ja painaa vain 200 g. Pikavaihtimen lisäksi tilattiin myös Y-haarainen pikavaihdin kahdelle työkalulle (kuva 19), jotta kahden tarttujan käyttäminen onnistuu ilman vaihdoksia. (Wisematic, OnRobot-tarttujat)

### 6.6.2 OnRobot RG2

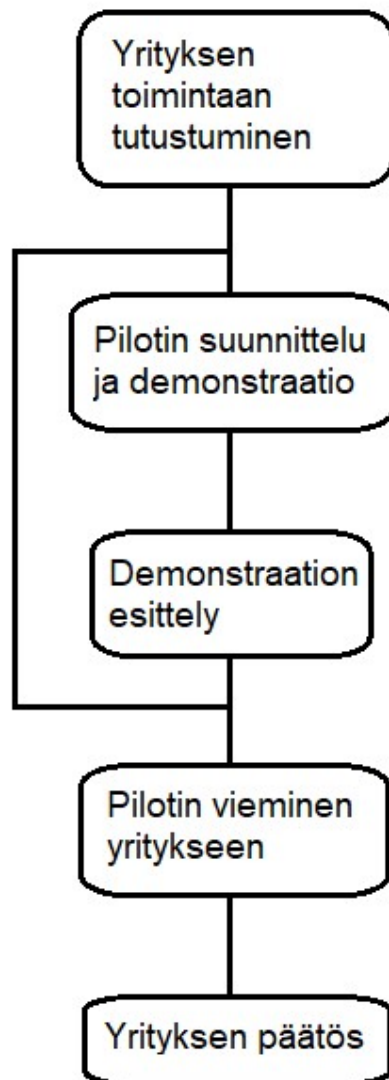
RG2 on monikäyttöinen kahden sormen tarttuja. Tarttujalla ei ole ulkoisia kaapeleita, vaan tarttujan sähköt ja signaalit kulkevat kiinnittimeen sisäänrakennettujen väylien kautta. Tarttujan sormet voivat tarttua maksimissaan 110 mm:n kappaleeseen ja käsitellä maksimissaan 2 kg:n kuormaa. Sormenpäitä voidaan tarvittaessa muokata sopimaan työtehtävään paremmin. Tarttuessaan kappaleeseen tarttuja voidaan asettaa tarkkailemaan liikesarjassaan otteen jatkuvuutta ja mittaamaan kappaleen kokoa. Tämän lisäksi tarttuja voidaan ohjelmoida tunnistamaan, kun se saa otteen kappaleesta ja otteen menettämisen. (kuva 19.) RG2 hyödyntää tarttuessaan myös robotin syvyysnäköä, sillä tarttuessaan sen sormet etenevät hieman lähemmäksi kohtisuorassa olevaan pintaan verrattuna, joten tämän estämiseksi tarttujan voi ohjelmoida ottamaan tämän etenemän huomioon. (RG2-gripper. OnRobot s.a.)

### 6.6.3 OnRobot VGC10

VGC10 on sähköinen alipainetarttuja. Tarttuja toimii sisäänrakennetulla alipainejärjestelmällä, joten erillistä paineistusta ei tarvita kappaleisiin tarttumiseksi. Sen imukuppien vaihtaminen on yksinkertaista ja imukuppien muodoissa on paljon vaihtoehtoja. Alipainetarttuja on parhaimmillaan pienten ja epäsäännöllisten kappaleiden nostamiseen. Pienestä koostaan huolimatta tarttujan maksimikuorma imukuppeilla on 15 kg. (Kuva 19.) Tarttujaa voi käsitellä kahden eri kappaleen kanssa samanaikaisesti jaettavan painejärjestelmän ansiosta. Jaettavan painejärjestelmän etuna voisi olla esimerkiksi liukuhihnatyöskentely, jossa robotin tulisi havaita erimuotoisia kappaleita ja lajitella ne erikseen muodon mukaan. Tällaisessa tapauksessa tulisi kuitenkin ottaa huomioon VGC10:n kompakti koko, joten käsiteltävät kappaleet eivät voi olla kovin suuria tarttujan suuresta kantokyvystä huolimatta. (VGC10-vacuum gripper. OnRobot s.a.)

## 7 PILOTTIEN VIEMINEN YRITYKSILLE

Xamkin hankkeen ansiosta Kotkan kampuksella voidaan järjestää koulutusta yhteistyörobotin ohjelmoinnista ja sovellusten tekemisestä. Suunnitelman jatkotoimenpiteenä ryhdytään tutkimaan mahdollisuuksia yhteistyörobottien hyödyntämisestä käytännössä lähialueen yritysten mahdollisuuksien ja tarpeiden mukaan. Alustavan suunnitelman mukaisesti pilotin vieminen yritykselle on viisiosainen prosessi (kuva 20).



Kuva 20. Vuokaavio yhteistyörobottipilotin viemisestä yritykselle (Ruostemaa, H. 2020)

## 7.1 Kymenlaakson alueen pilottiyritysten kartoitus

Luvun 4 perusteella voidaan todeta yhteistyörobottien olevan hyvin laajasti sovellettavissa erikoistyökalujen ja vaiheistetun ohjelmoinnin avulla. Paikallisten yritysten kartoittamiseksi hyödynnettiin fi.kompass.com:n tietokantaa. Tietokannasta näkyi alueella toimivien yritysten lista, josta kävi ilmi mm. yritysten yleinen toiminta-alue, perustamisvuosi, henkilöstömäärä, käyttöomaisuus ja Y-tunnus. Käytännössä näistä tiedoista oleellimmat olivat yrityksen nimi ja Y-tunnus, joiden perusteella pystyi selvittämään yritysten toiminnan todellisen toiminta-asteen ja yritysten omien sivujen kautta arvioimaan yhteistyörobotin hyödyntämisen mahdollisuuksia.

Kymenlaakson alueella on paljon teollisuutta, jossa yhteistyörobotteja voitaisiin hyödyntää esim. koneistamisessa, laadunvalvonnassa tai yleisessä logistiikassa. Rajoittavina tekijöinä ovat kuitenkin käsiteltävien kappaleiden massat ja työtehtävän vaatimukset. Teollisuuskäytön lisäksi yhteistyörobotteja voisi tarjota esimerkiksi puutarhoille ja kukkatarhoille laadunvalvontaan. Ravintolalalla yhteistyörobottia voisi käyttää esimerkiksi keittiössä ruoan valmistuksessa tai tiskauksessa. Anniskeluravintoloissa yhteistyörobotteja on käytetty juomien annosteluissa, jolloin työntekijöiden yleinen palvelunopeus kiireisenä ajankohtana kasvaa.

## 7.2 Yritystoimintaan tutustuminen

Yhteistyörobotin viemiseksi yritykselle pitää selvittää yrityksen toiminnassa aiheutuvat mahdolliset vaiheet, joissa robottia voisi hyödyntää. Tavoitteellisesti robotti soveltuu mihin vain työnkuvaan, jossa robotti voisi toimia mahdollisimman tehokkaasti suurimman osan ajastaan. Manuaaliset, toistuvat ja kuitenkin tarkkuutta vaativat työt ovat omiaan yhteistyörobotille. Toiminnassa kannattaa pitää mielessä robotin fyysiset rajoitteet ja ominaisuudet (taulukko 1). Kun yhteistyörobotille soveltuvia työnkuvia on saatu selvitettyä, voidaan yritykseltä pyytää esimerkkitapauksia yleisimmistä käsiteltävistä kappaleista suunnittelu- ja demonstraatiovaiheen helpottamiseksi.

Taulukko 1. TM5-900 tekniset tiedot (Techman Ver.18/17 EN)

Malli	TM5-900
Paino	22,6 kg
Kantokyky	4 kg
Ulottuvuus	900 mm
Tyypillinen nopeus	1,4 m/s
Nivelten kääntösäde	
J1, J6	+/- 270°
J2, J4, J5	+/- 180°
J3	+/- 155°
Nivelten kääntönopeus	
J1-J3	180 °/s
J4-J6	225 °/s
Toistotarkkuus	+/- 0,05 mm
Liikkuvien nivelten määrä	6
I/O portit	
DI	16
DO	16
AI	2
AO	1
I/O virtalähde	24V 1,5A
Eristystaso	IP54 (käsivarsi)
Tehontarve	220 W
Työskentelylämpötila	0-50 °C
Voimansyöttö	100-240 VAC, 50-60 Hz
I/O käyttöliittymä	3x COM, 1xHDMI, 3xLAN, 4xUSB2.0, 2xUSB3.0
Sertifikaatit	CE, SEMI S2
Robottinäkö	1,2M/5M pikselin värikamera



### **7.3 Pilotin suunnittelu**

Pilotin suunnittelu ja demonstraation toteutus ovat vaiheita, joiden kohdalla suunnitellaan työnkuvan eri vaiheet, kuten esimerkiksi kappaleeseen tarttuminen, sen siirtäminen esim. työstävään koneistettavaan laitteeseen, sieltä poimimiseen ja niin edelleen. Suunnitteluun sisältyy erilaisten iteraatioiden toteuttaminen ja toiminnan suunnittelu poikkeustilanteissa.

### **7.4 Demonstraation esittely**

Demonstraation esittelyssä yrityksen edustaja tai edustajat kutsutaan paikalle arvioimaan pilotin suunnittelun edistymistä ja tavoitteiden täyttymistä. Tässä vaiheessa olisi hyvä saada lisää palautetta mahdollisista lisähuomioista tai puutteista, mikäli niitä esiintyy. Tästä vaiheesta palataan suunnitteluun niin monesti, kunnes esitelty versio hyväksytään yrityksen edustajan toimesta ja pilotti voidaan viedä yritykseen käytännön koestamiseen.

### **7.5 Pilotin vieminen yritykseen**

Pilotti viedään yritykselle paikan päälle ja sen toiminnan edellytykset, kuten turvatoimenpiteet, työpisteen määrittäminen ja työnkuvan toteutuminen saadaan varmistettua. Tämän lisäksi olisi hyvä valmistella käyttöopastus pilotin kanssa toimimiseen, jotta integrointi työtehtävään olisi mahdollisimman saumatonta. Kun pilotti on saatu toimintaan, se voidaan jättää yritykselle testattavaksi esimerkiksi viikon ajaksi, jotta yrityksen työntekijät saavat käytännön käsityksen yhteistyöstä robotin kanssa. Tämä testivaihe saattaa edellyttää lisäohjelmointia yrityksellä, mutta huolellisen demonstraation suunnittelun avulla tätä pyritään minimoimaan.

### **7.6 Yrityksen päätös**

Robotin testaamisen jälkeen yritys tekee päätöksen yhteistyörobotin työnkuvan saavuttamisesta ja toiminnan täyttymisestä. Testijakson päätteeksi robotti palautetaan ja voidaan aloittaa uuden pilotin suunnittelu. Tämän päätöksen jälkeen yritystä voidaan tarvittaessa ohjeistaa yhteistyörobotihankinnan aloittamisesta.

## 8 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyötä kirjoittaessani pääsin tutustumaan syvemmin yhteistyörobottien potentiaaliin ja yllättävän laajaan käyttöön. Vaikka suhteellinen käyttö teollisuusrobotteihin verrattuna onkin vielä alkutekijöissään, uskon yhteistyörobottien määrän jatkavan World Robotics 2020:n tilastojen osoittamaa kasvua tulevaisuudessa. Kehitystä saattaa kuitenkin hidastaa yleinen tietämättömyys yhteistyöroboteista, mutta uskon tämän ongelman ratkaisevan itse itsensä, kun käyttö yleistyy entisestään ja yhteistyörobotit pääsevät esiintymään edukseen.

Yhteistyöroboteilla ja niitä valmistavilla yhtiöillä on paljon eri sovelluksia erilaisiin tilanteisiin, joten yhteistyörobottia hankkiessa taustatyö on tehtävä huolellisesti. Mitä tarkemmin tavoiteltavaa työtehtävää kyetään kuvailemaan tarjouspyynnössä, sitä todennäköisemmin robottitarjoukset tulevat vastaamaan kysyntään. Robottien valmistajilla on tarjota laaja valikoima erilaisia erikoistyykaluja työtehtävien suorittamiseen ja uskon tämän mahdollistavan yhteistyörobottien käytön paljon laajamittaisemmin kuin tähän mennessä on edes keksitty soveltaa. Erilaisten tarttujien ja työkalujen lisäksi robottien kamerat mahdollistavat erilaisiin tilanteisiin sopeutuvan toiminnan ja sitä kautta käytännön sovelluksien mahdollisuudet avautuvat kiihtyvää vauhtia.

ISO 10218-2:2011 käsitteli erittäin laajasti teollisuusrobotteja ja osittain sen edellyttämät vaatimukset vaikuttavat myös yhteistyörobotteihin. ISO 15066:2016 sen sijaan keskittyi täysin yhteistyörobottien turvallisen käytön toteuttamiseen. Standardit käsittelivät perinpohjaisesti huomioon otettavia asioita varautuen myös tilanteisiin, joissa kontaktilta ei voida välttyä. Tavoitteena on luoda roboteista niin turvallisia, että kontaktia ei pääse tapahtumaan, mutta on hyvä ottaa huomioon myös poikkeustapaukset ja niihin sisältyvät riskit.

Pyrin tuomaan yhteistyörobotteja esiin nimenomaan käytännön esimerkkien kautta monen sovelluksen kekseliäisyyden takia. Pohjimmiltaan yhteistyörobotit kuitenkin suorittavat pääosin poimintatehtäviä, joten työtehtävien suorittamiseksi se tarvitsee usein lisätyökaluja, alustoja, kiinteitä työpisteellä toimivia laitteita. Joissain esimerkeissä kiinteitä laitteita saatettiin korvata jopa toisella robotilla, jossa yksi pitää käsiteltävää kappaletta paikallaan, kun toinen suorittaa toimenpiteitä, kuten kokoonpanoa.

Ryhdyin tekemään opinnäytetyötä Xamkin yhteistyörobotihankkeen soveltamiseksi yrityksille, mutta uskon tässä työssä tehdyn pohjaselvityksen olevan juuri sitä taustatyötä, jota seuraavan vaiheen aloittava opiskelija tarvitsee pilottien suunnitteluun ja edelleen yrityksille vietäväksi. Työn sisältämän karkean yrityskartoituksen perusteella voi lähteä luomaan kontaktia yrityksille ja sitä kautta keskittyä pilotin suunnitteluun. Kymenlaakson alueella on paljon erilaisia yrityksiä, joiden käyttöön voisin kuvitella yhteistyörobotin sopivan. Todennäköisesti pilottien saaminen tulee kuitenkin olevan haastava prosessi joissain tapauksissa ns. toimivan prosessin muokkaamisen kannalta, mutta kellon ympäri toimivan, automaattisen, helppokäyttöisen ja ennen kaikkea pienikustanteisen kokeilun uskon avaavan monia ovia.

## LÄHTEET

ABB Robotics s.a. YuMi – IRB 14000 | Collaborative robot. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi> [viitattu 23.4.2020]

ABB Robotics 2016. Unlocking the collaborative factory of the future at DE-ONET. Youtube. Videoleike. Julkaistu 5.12.2016. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=S\\_BR5c2eaoE&feature=emb\\_title&ab\\_channel=ABBRobotics](https://www.youtube.com/watch?v=S_BR5c2eaoE&feature=emb_title&ab_channel=ABBRobotics) [viitattu 20.10.2020]

Applications s.a. Universal Robots. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/applications/> [viitattu 25.9.2020]

Betacom s.a. Universal Robots. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/case-stories/betacom/> [viitattu 3.4.2020]

Holmén, J. 2020. Projektipäällikkö. Sähköpostikeskustelu 16.12.2019 – 19.10.2020. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu.

International Federation of Robotics Frankfurt. 2020. World Robotics Report. Record 2,7 million robots work in factories around the globe. WWW-dokumentti. Päivitetty 24.9.2020. Saatavissa: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/record-2.7-million-robots-work-in-factories-around-the-globe> [viitattu 20.10.2020]

International Federation of Robotics Frankfurt, Germany. 2018. Demystifying Collaborative Industrial robots. *Positioning Paper*. 2018. Saatavissa: [https://ifr.org/downloads/papers/IFR\\_Demystifying\\_Collaborative\\_Robots.pdf](https://ifr.org/downloads/papers/IFR_Demystifying_Collaborative_Robots.pdf) [viitattu 12.5.2020]

ISO/TS 10218-2. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät.

ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots.

KUKA. 2020. Robot deployed in manufacturing cell to load milling machine automatically. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.kuka.com/en-in/industries/solutions-database/2020/06/automated-manufacturing-cell-at-zimm> [viitattu 1.10.2020]

KUKA – Robots & Automation 2020. Fully automatic from the black to the finished component: machine tool (un)loading and finishing. Youtube. Videoleike. Julkaistu 30.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=jkpzc1XUwtQ&feature=emb\\_title&ab\\_channel=KUKA-Robots%26Automation](https://www.youtube.com/watch?v=jkpzc1XUwtQ&feature=emb_title&ab_channel=KUKA-Robots%26Automation) [viitattu 20.10.2020]

Luvussa 5.3.5 mainitun kehonosaerittelyn osakohtainen nimeäminen. ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. Maximum pressure and force values.

Luvussa 5.3.5 mainitun kehonosaerittelyn osakohtainen vaurioton sietokyky. ISO/TS 15066. 2016 Robots and robotic devices – Collaborative robots. Maximum pressure and force values.

Machine Tools 2019. Tehosta tuotantoa yhteistyöroboteilla. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.machinetool.fi/hubfs/2019/Esitteet/Tehosta%20tuotantoa%20coboteilla\\_Machine%20Tool.pdf?hsCtaTracking=ae6bd492-1221-4e83-86ba-d26b4f914e0a%7C8ef3d45c-6fa0-47f2-84d6-a0509457f2e8](https://www.machinetool.fi/hubfs/2019/Esitteet/Tehosta%20tuotantoa%20coboteilla_Machine%20Tool.pdf?hsCtaTracking=ae6bd492-1221-4e83-86ba-d26b4f914e0a%7C8ef3d45c-6fa0-47f2-84d6-a0509457f2e8) [viitattu 6.1.2020]

Malm, T., Salmi, T. 2019. Yhteistyörobotit tulevat - oletko valmis? *Automaatioväylä* 6/2019 12 – 14. Saatavissa: [http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/12/Automaatiovayla\\_6\\_2019.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/12/Automaatiovayla_6_2019.pdf)

Packaging Delicate Herbs at Rosborg Greenhouse s.a. OnRobot. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://onrobot.com/en/rosborg-greenhouse-packs> [viitattu 14.10.2020]

RG2-gripper s.a. OnRobot. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://onrobot.com/en/products/rg2-gripper> [viitattu 9.10.2020]

RNB Cosméticos s.a. Universal Robots. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/case-stories/rnb-cosmetics/> [viitattu 3.4.2020]

Robot Vision Systems: The Way To Industry 4.0 And Smart Factory Automation s.a. "How does robotic vision work?". Techman. Blogi. Saatavissa: <https://www.tm-robot.com/en/blog/robot-vision-system/> [viitattu 15.9.2020]

Techman Robot 2018. V2A006 TM Robot – CNC Metal Processing. Youtube. Videoleike. Julkaistu 22.11.2018. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=fFP9Jgnj72g&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=fFP9Jgnj72g&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 20.10.2020]

Techman Robot 2020a. V1A041 TM Robot – Food Service & Restaurant Industry Applications (ft. Connected Robotics). Youtube. Videoleike. Julkaistu 22.7.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=uvUnyF68QWA&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=uvUnyF68QWA&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 20.10.2020]

Techman Robot 2020b. V2A016 TM Robot – TM palletizing Operator in Techman Thailand. Youtube. Videoleike. Julkaistu 12.3.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=GIYrKIhxQcM&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=GIYrKIhxQcM&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 20.10.2020]

Techman Robot 2020c. V2A024 TM Robot – Cooking Takoyaki with TM Robot. Youtube. Videoleike. Julkaistu 10.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W\\_PPIE&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W_PPIE&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 20.10.2020]

TM-Robot Stand s.a. Techman. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.tm-robot.com/en/product/robot-stand/> [viitattu 15.9.2020]

TM-Robot Built-in Vision System s.a. Techman, Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.tm-robot.com/en/tm-robot/> [viitattu 15.9.2020]

Top collaborative robots companies to watch out in 2020. 2020. Roboticsbiz. Blogi. Saatavissa: <https://roboticsbiz.com/top-collaborative-robots-companies-to-watch-out-in-2020/> [viitattu 1.9.2020]

Tuunanen, T. 2014. Teollisuusrobotin käyttöönotto ja ohjelmointi. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäyte. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405076268> [viitattu 25.9.2020]

UR3e s.a. Universal Robots. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/> [viitattu 3.4.2020]

UR16e s.a. Universal Robots. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/products/> [viitattu 3.4.2020]

VGC10-vacuum gripper s.a. OnRobot, Tuote-esittely. Saatavissa: <https://onrobot.com/en/products/vgc10> [viitattu 9.10.2020]

Wisematic s.a. Tuote-esittely. Saatavissa: <https://www.wisematic.com/fi/project/onrobot-tarttajat/> [viitattu 15.10.2020]

68 § Tarjouspyynnön sisältö 2016. Finlex. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161397>

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Teollisuuskäytössä olevien robottien määrän kasvu. International Federation of Robotics Frankfurt 2020. Saatavissa: [https://ifr.org/downloads/press2018/Worldwide\\_Installations\\_2009\\_2019\\_WorldRobotics2020\\_graph.jpg](https://ifr.org/downloads/press2018/Worldwide_Installations_2009_2019_WorldRobotics2020_graph.jpg) [viitattu 10.10.2020]

Kuva 2. Tuotantoteollisuudessa käytettävien robottien määrä työntekijöiden määrään suhteutettuna. International Federation of Robotics Frankfurt 2020. Saatavissa: [https://ifr.org/downloads/press2018/Robot\\_Density\\_by\\_country\\_WorldRobotics2020\\_graph.jpg](https://ifr.org/downloads/press2018/Robot_Density_by_country_WorldRobotics2020_graph.jpg) [viitattu 10.10.2020]

Kuva 3. Teollisuusrobotin turvallisuusjärjestelmä. Kishan J. 1.7.2016. Report on standard safety practices for Industrial Robots. Researchgate.net. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/310799255\\_Standard\\_safety\\_practices\\_for\\_Industrial\\_Robots](https://www.researchgate.net/publication/310799255_Standard_safety_practices_for_Industrial_Robots) [viitattu 10.10.2020]

Kuva 4. Teollisuuskäytössä oleva robottisolu. Kuka – Robots & Automation s.a. Fully automatic from the blank to the finished component: machine tool (un)loading and finishing. Youtube. Videoleike. Julkaistu 30.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=jkpzc1XUwtQ&feature=emb\\_title&ab\\_channel=KUKA-Robots%26Automation](https://www.youtube.com/watch?v=jkpzc1XUwtQ&feature=emb_title&ab_channel=KUKA-Robots%26Automation) [viitattu 30.9.2020]

Kuva 5. Teollisuusrobotin syöttö- ja purkualusta. Kuka – Robots & Automation s.a. Fully automatic from the blank to the finished component: machine tool (un)loading and finishing. Youtube. Videoleike. Julkaistu 30.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=jkpzc1XUwtQ&feature=emb\\_title&ab\\_channel=KUKA-Robots%26Automation](https://www.youtube.com/watch?v=jkpzc1XUwtQ&feature=emb_title&ab_channel=KUKA-Robots%26Automation) [viitattu 30.9.2020]

Kuva 6. YuMi-yhteistyörobotti luottokorttien sirujen asentamisessa. ABB Robotics s.a. Unlocking the collaborative factory of the future at DEONET. Youtube. Videoleike. Julkaistu 5.12.2016. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=S\\_BR5c2eaoE&feature=emb\\_title&ab\\_channel=ABBRobotics](https://www.youtube.com/watch?v=S_BR5c2eaoE&feature=emb_title&ab_channel=ABBRobotics) [viitattu 30.9.2020]

Kuva 7. Betacom Ltd. UR10 valaisimien kokoonpanossa. Universal Robots s.a. Universal Robots helps Betacom Light up New Zealand. Youtube. Videoleike. Julkaistu 1.6.2015. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=dMKqvLWeEol&ab\\_channel=UniversalRobots](https://www.youtube.com/watch?v=dMKqvLWeEol&ab_channel=UniversalRobots) [viitattu 15.4.2020]

Kuva 8. RNB Cosméticos UR10 kuormalavan täytössä. Universal Robots s.a. Collaborative Robots Integrates into RNG Cosméticos workforce. Youtube. Videoleike. Julkaistu 21.6.2015. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=K2ufIjOe8Y&ab\\_channel=UniversalRobots](https://www.youtube.com/watch?v=K2ufIjOe8Y&ab_channel=UniversalRobots) [viitattu 15.4.2020]

Kuva 9. OnRobot RG6-tarttuja. OnRobot s.a. OnRobot collaborative grippers pack delicate herbs at Rosborg Greenhouse. Youtube. Videoleike. Julkaistu 30.4.2018. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=l6ywwYfvgK4&t=65s&ab\\_channel=Datadrivenpro](https://www.youtube.com/watch?v=l6ywwYfvgK4&t=65s&ab_channel=Datadrivenpro) [viitattu 15.4.2020]

Kuva 10. Yhteistyörobotin käyttö tiskien muodon tunnistamisessa ja esipesussa. Techman Robot s.a. V1A041 TM Robot – Food Service & Restaurant Industry Applications. Youtube. Videoleike. Julkaistu 22.7.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=uvUnyF68QWA&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=uvUnyF68QWA&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 10.10.2020]

Kuva 11. CNC-metallijyrsimen työvaiheet. Techman Robot s.a. V2A006 TM Robot – CNC metal Processing. Youtube. Videoleike. Julkaistu 22.11.2018. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=fFP9Jgnj72g&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=fFP9Jgnj72g&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 15.10.2020]

Kuva 12. TM-robotti kuormalavan täytössä. Techman Robot s.a. V2A016 TM Robot – TM Palletizing Operator in Techman Thailand. Youtube. Videoleike. Julkaistu 12.3.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=GIYrKlhx-QcM&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=GIYrKlhx-QcM&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 15.10.2020]

Kuva 13. Yhteistyörobotin työasema monivaiheisessa ruoanlaitossa. Techman Robot s.a. V2A024 TM Robot – Cooking Takoyaki with TM Robot. Youtube. Videoleike. Julkaistu 10.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W\\_PPIE&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W_PPIE&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 15.10.2020]

Kuva 14. Robotti vetää täyteastian vuoan päälle metallilevyn avulla. Techman Robot s.a. V2A024 TM Robot – Cooking Takoyaki with TM Robot. Youtube. Videoleike. Julkaistu 10.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W\\_PPIE&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W_PPIE&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 15.10.2020]

Kuva 15. Robotti irrottaa annokset vuoasta erillisellä työkalulla. Techman Robot s.a. V2A024 TM Robot – Cooking Takoyaki with TM Robot. Youtube. Videoleike. Julkaistu 10.4.2020. Saatavissa: [https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W\\_PPIE&ab\\_channel=TechmanRobot](https://www.youtube.com/watch?v=vPu16W_PPIE&ab_channel=TechmanRobot) [viitattu 15.10.2020]

Kuva 16. Turvallisuusteittaisen pysäytyksen mukaan toimivan operaation to-  
tuustaulu. ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. Robot system requirements. [viitattu 20.8.2020]

Kuva 17. Operaattorin ja robotin välisten nopeuksien ja etäisyyksien riippu-  
vuussuhde. ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. Maintaining sufficient separation distance. [viitattu 20.8.2020]

Kuva 18. Kontaktien riskin arvioinnissa huomioon otettavat eriteltyt kehonosat  
edestä ja takaa. ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. Biomechanical limits. [viitattu 20.8.2020]



Kuva 19. OnRobot RG2, VGC10, pikavaihdin ja pikavaihdin kahdelle työkalulle. OnRobot s.a. Saatavissa: <https://onrobot.com/en/products> [viitattu 10.10.2020]

Kuva 20. Vuokaavio yhteistyörobottipilotin viemisestä yritykselle. Ruostemaa, H. 2020.

## 68 § Tarjouspyynnön sisältö (Finlex 2016)

### 68 §

#### Tarjouspyynnön sisältö

Tarjouspyynnössä, hankintailmoituksessa, ehdokkaille osoitetussa kutsussa tai niiden liitteissä on oltava:

- 1) hankinnan kohteen määrittely tai hankekuvaus sekä hankinnan kohteeseen liittyvät muut laatuvaatimukset;
- 2) viittaus julkaistuun hankintailmoitukseen;
- 3) määräaika tarjosten tekemiselle;
- 4) osoite, johon tarjoukset on toimitettava;
- 5) kieli tai kielet, joilla tarjoukset on laadittava;
- 6) tarjousasiakirjojen esittämistä ja muotoa koskevat muut vaatimukset;
- 7) kilpailullisessa neuvottelumenettelyssä neuvottelujen alkamispäivä sekä neuvotteluissa käytettävä kieli tai kielet;
- 8) ehdokkaiden tai tarjoajien taloudellista ja rahoituksellista tilannetta, teknistä soveltuvuutta ja ammatillista pätevyyttä koskevat ja muut vaatimukset sekä pyyntö täydentää yhteinen eurooppalainen hankinta-asiakirja ja luettelo asiakirjoista, joita ehdokkaan tai tarjoajan sekä tarjouskilpailun voittaneen tarjoajan on soveltuvuuden arviointia varten toimitettava;
- 9) kokonaistaloudellisen edullisuuden perusteet ja niiden suhteellinen painotus, kohtuullinen vaihteluväli tai poikkeuksellisissa tapauksissa vertailuperusteiden tärkeysjärjestys;
- 10) tarjosten voimassaoloaika;
- 11) keskeiset sopimusehdot;
- 12) muut tiedot, joilla on olennaista merkitystä hankintamenettelyssä ja tarjosten tekemisessä.

Luvussa 5.3.5 mainitun kehonosaerittelyn osakohtainen nimeäminen. (ISO/TS 15066: 2016, 29)

Body region		Specific body area	Front/Rear
Skull and forehead	1	Middle of forehead	Front
	2	Temple	Front
Face	3	Masticatory muscle	Front
Neck	4	Neck muscle	Rear
	5	Seventh neck vertebra	Rear
Back and shoulders	6	Shoulder joint	Front
	7	Fifth lumbar vertebra	Rear
Chest	8	Sternum	Front
	9	Pectoral muscle	Front
Abdomen	10	Abdominal muscle	Front
Pelvis	11	Pelvic bone	Front
Upper arms and elbow joints	12	Deltoid muscle	Rear
	13	Humerus	Rear
Lower arms and wrist joints	14	Radial bone	Rear
	15	Forearm muscle	Rear
	16	Arm nerve	Front
Hands and fingers	17	Forefinger pad D <sup>a</sup>	Front
	18	Forefinger pad ND <sup>a</sup>	Front
	19	Forefinger end joint D <sup>a</sup>	Rear
	20	Forefinger end joint ND <sup>a</sup>	Rear
	21	Thenar eminence	Front
	22	Palm D <sup>a</sup>	Front
	23	Palm ND <sup>a</sup>	Front
	24	Back of the hand D <sup>a</sup>	Rear
	25	Back of the hand ND <sup>a</sup>	Rear
Thighs and knees	26	Thigh muscle	Front
	27	Kneecap	Front
Lower legs	28	Middle of shin	Front
	29	Calf muscle	Rear

<sup>a</sup> D = dominant body side; ND = non-dominant body side.

Luvussa 5.3.5 mainitun kehonosaerittelyn osakohtainen vaurioton sietokyky (ISO/TS 15066: 2016, 30)

Body region	Specific body area		Quasi-static contact		Transient contact	
			Maximum permissible pressure <sup>a</sup> $p_s$ N/cm <sup>2</sup>	Maximum permissible force <sup>b</sup> N	Maximum permissible pressure multiplier <sup>c</sup> $P_T$	Maximum permissible force multiplier <sup>c</sup> $F_T$
<i>Skull and forehead<sup>d</sup></i>	1	<i>Middle of forehead</i>	130	130	<i>not applicable</i>	<i>not applicable</i>
	2	<i>Temple</i>	110		<i>not applicable</i>	
<i>Face<sup>d</sup></i>	3	<i>Masticatory muscle</i>	110	65	<i>not applicable</i>	<i>not applicable</i>
Neck	4	Neck muscle	140	150	2	2
	5	Seventh neck muscle	210		2	
Back and shoulders	6	Shoulder joint	160	210	2	2
	7	Fifth lumbar vertebra	210		2	2
Chest	8	Sternum	120	140	2	2
	9	Pectoral muscle	170		2	
Abdomen	10	Abdominal muscle	140	110	2	2
Pelvis	11	Pelvic bone	210	180	2	2
Upper arms and elbow joints	12	Deltoid muscle	190	150	2	2
	13	Humerus	220		2	
Lower arms and wrist joints	14	Radial bone	190	160	2	2
	15	Forearm muscle	180		2	
	16	Arm nerve	180		2	

<sup>a</sup> These biomechanical values are the result of the study conducted by the University of Mainz on pain onset levels. Although this research was performed using state-of-the-art testing techniques, the values shown here are the result of a single study in a subject area that has not been the basis of extensive research. There is anticipation that additional studies will be conducted in the future that could result in modification of these values. Testing was conducted using 100 healthy adult test subjects on 29 specific body areas, and for each of the body areas, pressure and force limits for quasi-static contact were established evaluating onset of pain thresholds. The maximum permissible pressure values shown here represent the 75th percentile of the range of recorded values for a specific body area. They are defined as the physical quantity corresponding to when pressures applied to the specific body area create a sensation corresponding to the onset of pain. Peak pressures are based on averages with a resolution size of 1 mm<sup>2</sup>. The study results are based on a test apparatus using a flat (1,4 × 1,4) cm (metal) test surface with 2 mm radius on all four edges. There is a possibility that another test apparatus could yield different results. For more details of the study, see Reference [5].

<sup>b</sup> The values for maximum permissible force have been derived from a study carried out by an independent organization (see Reference [6]), referring to 188 sources. These values refer only to the body regions, not to the more specific areas. The maximum permissible force is based on the lowest energy transfer criteria that could result in a minor injury, such as a bruise, equivalent to a severity of 1 on the Abbreviated Injury Scale (AIS) established by the Association for the Advancement of Automotive Medicine. Adherence to the limits will prevent the occurrence of skin or soft tissue penetrations that are accompanied by bloody wounds, fractures or other skeletal damage and to be below AIS 1. They will be replaced in future by values from a research more specific for collaborative robots.

<sup>c</sup> The multiplier value for transient contact has been derived based on studies which show that transient limit values can be at least twice as great as quasi-static values for force and pressure. For study details, see References [2], [3], [4] and [7].

<sup>d</sup> Critical zone (*italicized*)

Mahdollisia yrityksiä pilottitoiminnan aloittamiselle

Energiantuotanto

Haminan Energia Oy  
Kotkan Energia Oy

Leipomo

Konditoria Galette Ky  
Reittisen Kotileipä

Metallin- ja lasinkäsittely

Iitin Kymppikoneisto  
Lumon Suomi Oy  
Metallisorvaamo M. Hakala Oy  
Peltolan Metalli Oy

Painotalo

Kirjapaino Kymiprint Oy  
Painokotka Oy

Puun käsittely

Arvolista Oy  
Finnortimber

Puutarha

Korpelan Puutarha Oy  
Lehtosen Puutarha Oy  
Pousin Puutarha Oy  
Taimityllila  
Viherpeukalot Oy

Ravintola

Apridos Oy  
For You Kotka Oy  
Kellomäen Herkkupaja Oy  
Kymijoen Ravintolapalvelut Oy  
Ravintola Keisarinsatama

Ruoan tai makeisten valmistus

Danisco Sweeteners Oy Suomi  
Jalon Mylly Oy  
Kouvolan Lakritsi Oy  
Lantmännen Oy  
Palviliha Oy  
Partion Kala Oy

Tuotantoteollisuus

Ahlström-Munksjö Oyj

Ekovilla Oy

Finex Oy

Jauhetekniikka Oy

Kotkamills

Kovi Oy

Pyroll Group Oy

Recticel Oy

Sharpcell Oy

Sultzer Oy