

Suvi Nikula

JOHDATUS YHTEISTYÖROBOTIIKKAAN

Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma
2018

JOHDATUS YHTEISTYÖROBOTIIKKAAN

Nikula, Suvi
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma
Joulukuu 2018
Sivumäärä: 64
Liitteitä: 0

Asiasanat: yhteistyö, robotiikka, teollinen vallankumous

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kirjallisuustutkimus yhteistyöroboteista elintarviketeollisuuden pienten ja keskisuurten yritysten tarpeisiin. Tavoitteena oli selvittää, mitä yhteistyörobotiikka tarkoittaa, sekä sen edut ja käyttökohteet. Opinnäytetyön tarkoitus oli tuottaa elintarvikealan toimijoiden tarpeisiin vastaava tietopaketti.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tutustumalla eri valmistajien yhteistyörobotteihin. Niistä ilmenevien tietojen perusteella valittiin asiat, jotka opinnäytetyössä olisi syytä tuoda esille yhteistyörobotteihin liittyen. Aineistona käytettiin eri robottivalmistajien ja muiden alan toimijoiden nettisivuja sekä internetistä löytyviä alan artikkeleita, jotta käytetty tieto olisi mahdollisimman tuoretta.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi tietopaketti, josta löytyy perustietoa yhteistyörobotteihin liittyen. Tarkemmat tekniset määrittelyt jätettiin pois tästä työstä sen yleistiedollisen luonteen vuoksi. Työssä havaittiin yhteistyörobotiikan valtavat kehitysmahdollisuudet tulevaisuudessa.

INTRODUCTION TO COLLABORATIVE ROBOTICS

Nikula, Suvi

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Business Information Systems

December 2018

Number of pages: 64

Appendices: 0

Keywords: collaboration, robotics, industrial revolution

The purpose of this thesis was to make a literature research of collaborative robots. The need of this research emerged during a project where local small and medium-size enterprises were involved. The aim of the thesis was to find out the definition of collaborative robots, advantages they have to offer and applicable use. Target was to create a document that introduces collaborative robotics to local food industry businesses.

The thesis began with familiarizing with collaborative robots of different manufacturers. The structure and content of the thesis were based in these findings. Information was collected from web pages of different manufacturers and other operators within robotics. Also, articles that were published in internet was used as a material. These origins were selected to obtain the newest information possible.

As a result of this thesis was created a document where one can find basic information about collaborative robots. More advanced technical information was left out to achieve commonly understandable content. During this thesis a great future potential of collaborative robotics was detected.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	MITÄ ON YHTEISTYÖROBOTIIKKA.....	8
2.1	Mitä tarkoittaa yhteistyörobotti?.....	8
2.2	Yhteistoiminnan määrittely	9
3	STANDARDIT	11
3.1	Teollisuusrobotit, EN ISO 10218-1	11
3.2	Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät, EN ISO 10218-2	12
3.3	Yhteistyörobotit, ISO/TS 15066	14
3.4	Standardien soveltaminen käytäntöön	15
4	YHTEISTYÖROBOTTIEN HYÖDYT	17
4.1	Yhteistyörobottien ja perinteisten teollisuusrobottien eroavaisuudet	17
4.2	Yhteistyörobottien tuomat hyödyt	18
4.2.1	Yhteistyörobotit ovat edullisempia.....	19
4.2.2	Yhteistyörobotti tarvitsee vähemmän tilaa.....	19
4.2.3	Yhteistyörobotti työskentelee harmoniassa ihmisten kanssa	20
4.2.4	Yhteistyörobotin käyttöönotto on nopeaa ja helppoa.....	20
4.2.5	Yhteistyörobotti on helppo ohjelmoida	21
4.2.6	Yhteistyörobotin voi siirtää tehtävästä toiseen.....	21
4.3	Käyttökohteita, joihin yhteistyörobotit soveltuvat.....	22
4.3.1	Poimintasovellukset.....	22
4.3.2	Pakkaamisovellukset.....	23
4.3.3	Palletointi, eli pakkausten latominen kuormalavoille	23
4.3.4	Työstökoneiden syöttö.....	24
4.3.5	Kokoonpanon tehtävät.....	24
4.3.6	Laadunvalvonnan avustaminen	25
4.4	Robottisovelluksen riskinarviointi	25
4.5	Yhteistyörobotit erityisolosuhteissa.....	26
4.5.1	Kapasitiivinen ”iho”	26
4.5.2	Paineen havaitseva suojakuori.....	27
4.5.3	Suojapuvut roboteille.....	27
4.5.4	Suojapuvut elintarviketeollisuuden tarpeisiin	28
4.5.5	Työskentely kylmissä tiloissa.....	29
4.5.6	Yhteistyörobotit puhdastiloissa	29
5	ERI VALMISTAJIEN YHTEISTYÖROBOTTEJA	30
5.1	Fanuc – CR-35 <i>iA</i>	30
5.1.1	Käyttötarkoitukset, joihin CR35 <i>iA</i> on suunniteltu.....	31
5.1.2	CR-35 <i>iA</i> :n yhteistyöominaisuudet	31

5.1.3	Fanucin määritelmät yhteistyöstä	32
5.1.4	Miten asiakas hyötyy CR-35iA -yhteistyörobotista	33
5.2	Universal Robots – UR5e	33
5.2.1	Millaisiin tehtäviin UR5e on suunniteltu	34
5.2.2	UR5e -robotin yhteistyöominaisuudet.....	34
5.2.3	Ihmisen ja robotin yhteistyö Universal Robotsin näkökulmasta	35
5.2.4	UR5e -robotin hyödyt asiakkaalle	35
5.3	Omron – OMRON TM14 Collaborative Robot.....	36
5.3.1	TM14 -robotille soveltuvat käyttötarkoitukset.....	37
5.3.2	TM14 -robotin yhteistyöominaisuudet	37
5.3.3	Techman Robotin ja Omronin määritelmä yhteistyöstä.....	38
5.3.4	Mitä hyötyjä TM14 robotti tarjoaa asiakkaalle	38
5.4	Rethink robotics – Sawyer	38
5.4.1	Tehtävät, joita varten Sawyer on luotu.....	39
5.4.2	Mikä tekee Sawyerista yhteistyörobotin	40
5.4.3	Rethink roboticsin yhteistyörobotin määritelmä	40
5.4.4	Sawyerin asiakkaalle tuomat hyödyt.....	40
5.5	Kuka – LBR iiwa	41
5.5.1	Tehtävät, joihin LBR iiwa on suunniteltu	41
5.5.2	LBR iiwan yhteistyöominaisuudet	42
5.5.3	Kukan näkemys ihmisen ja robotin yhteistyöstä	42
5.5.4	LBR iiwan hyödyt asiakkaalle.....	43
5.6	Kassow Robots – KR1805	43
5.6.1	Mihin tarkoitukseen KR1805 on suunniteltu	44
5.6.2	Mitkä ominaisuudet tekevät KR1805 robotista yhteistyörobotin.....	45
5.6.3	Ihmisen ja robotin yhteistyö Kassow robotsin näkökulmasta	45
5.6.4	Hyödyt, jotka KR1805 tarjoaa asiakkaalle	45
5.7	ABB – YuMi.....	46
5.7.1	YuMin suunniteltu käyttötarkoitus.....	47
5.7.2	YuMin tarjoamat yhteistyöominaisuudet	47
5.7.3	ABB:n määritelmät ihmisen ja robotin yhteistyöstä	47
5.7.4	Mitä hyötyjä ABB:n YuMi tarjoaa asiakkaalle	48
5.8	Precise automation – PF3400 ja PP100	48
5.8.1	Scara-robotti PF3400.....	48
5.8.2	Kartesinen robotti PP100.....	49
5.8.3	PF3400 ja PP100 -robottien suunniteltu käyttötarkoitus.....	50
5.8.4	Precice automationin tarjoamat yhteistyöominaisuudet.....	50
5.8.5	Miten Precise Automation näkee yhteistyörobotit	51

5.8.6 Mitä hyötyjä Precise automation tarjoaa asiakkailleen	51
6 ESIMERKKEJÄ YHTEISTYÖROBOTTIEN KÄYTÖSTÄ.....	53
6.1 Flippy - hampurilaisrobotti	53
6.2 Kanamunia pakkaava robotti	54
6.3 Gourmet-robotit	55
7 YHTEENVETO	57
LÄHTEET.....	59

1 JOHDANTO

Satakunnan ammattikorkeakoulun ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun yhteishankkeeseen, Viisi vaikuttavaa teknologia-askelta elintarvikealan pk-yrityksissä, liittyen havaittiin Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan alueilla toimivilla elintarvikealan pk-yrityksillä tarve automatisoida tuotantoaan. Kaikki tarpeisiin sopivat automatisoinnin ratkaisut eivät kuitenkaan ole yrityksille tuttuja edes perustasolla. Yksi moneen kohteeseen sopivista ratkaisuista löytyy yhteistyörobotiikasta, mutta innostus investoida täysin tuntemattomaan teknologiaan ei ole kovin suurta. Syntyi siis tarve tehdä tutkimusta yhteistyörobotiikasta ja tuottaa dokumentti, joka olisi ymmärrettävä yritysten näkökulmasta kehittämistoimia suunniteltaessa.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esitellä yhteistyörobotiikkaa ja siihen liittyviä peruskäsitteitä. Tarkoituksena on luoda dokumentti, jonka lukemalla saa selkeän käsityksen siitä, mitä ovat yhteistyörobotit ja miten niitä voidaan hyödyntää. Dokumentissa käydään läpi eri valmistajien yhteistyörobottien piirteitä ja miten kukin valmistaja yhteistyörobotiikan ymmärtää ja määrittää. Lisäksi tutkiskellaan yhteistyörobotiikkaan liittyviä standardeja, jotka määrittävät yhteistyöroboteille asetetut vaatimukset. Yhteistyörobottien käyttöön liittyen esitellään todellisia sovelluksia, jolloin lukija saa hyvän käsityksen siitä, miten yhteistyörobotteja voidaan hyödyntää ja millaisia tehtäviä niille voidaan antaa. Esimerkkisovellukset keskittyvät pienissä ja keskisuurissa elintarviketeollisuuden yrityksissä hyödynnettävissä oleviin sovelluksiin.

2 MITÄ ON YHTEISTYÖROBOTIIKKA

Yhteistyörobotiikasta (Kuva 1) puhutaan, kun automaattisesti toimivat robottijärjestelmät jakavat saman työpisteen ihmisten kanssa. Tällöin kyseessä on ennemminkin sovellus, kuin yksittäinen tai tietyn merkkinen robotti. Sovelluksessa siis otetaan huomioon myös robotin käsivarren päässä oleva työkalu, joka on robottisovelluksen kanssa yhtäläisesti vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. (Lazarte 2016.)



Kuva 1. Eri valmistajien yhteistyöroboteja. (CobotsGuide.com 2016)

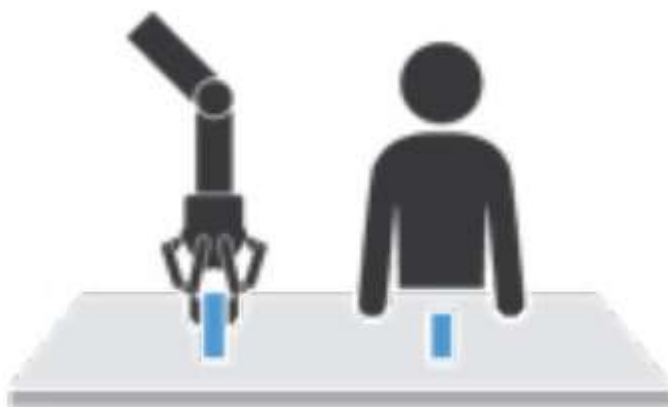
2.1 Mitä tarkoittaa yhteistyörobotti?

Yhteistyörobottien englanninkielisen nimen ensimmäinen osa, collaborative, tarkoittaa kirjaimellisesti toimintaa, jossa työskennellään yhdessä jonkun kanssa tarkoituksena valmistaa tai luoda jotakin. Yleisesti yhteistyöroboteista puhuttaessa käsitellään vain robottien käyttötapoja eri kohteissa, mutta lähtökohta yhteistyörobotin määrittämiselle on se, millä tavalla robotti toimii. Ilman turva-aitoja ihmisten keskuudessa työskentely ei tee robotista yhteistyörobottia. On olemassa erityyppisiä yhteistyöroboteja, mutta ainoastaan yhtä tyyppiä voidaan aidosti käyttää ihmisten keskuudessa ilman mitään robotin ulkopuolisia turvajärjestelyjä. Standardissa ISO 10218 käsitelläänkin neljää erilaista tekniikkaa, joita käytetään yhteistoiminnan toteuttamiseksi. (Bélanger-Barrette 2015b; Lazarte 2016.)

2.2 Yhteistoiminnan määrittäminen

Uudet teknologian edistysaskeleet mahdollistavat robottien ja ihmisten yhteistyön (Kuva 2) tiivistämisen. Standardien mukaan yhteistoiminnaksi katsotaan seuraavilla tekniikoilla toteutetut robottisovellukset:

- 1) Turvaluokiteltu valvottu pysäytys.
- 2) Käsien ohjaaminen.
- 3) Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta.
- 4) Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella. (Lazarte 2016; SFS-EN ISO 10218-1, 36.)



Kuva 2. Ihminen ja robotti yhteistyössä. (Robotiq n.d.a, 2.)

Perinteisiin teollisuusrobotteihin voidaan soveltaa kolmea ensimmäistä tekniikkaa. Tällöin ne saadaan toimimaan tietyissä tilanteissa turvallisesti yhteistyössä ihmisten kanssa. Näiden kolmen tekniikan avulla robotista ei kuitenkaan tule yhteistyörobottia, vaan se on pelkästään yhteistoiminnassa ihmisen kanssa ulkopuolisten turvajärjestelyjen avulla. (Bélanger-Barrette 2015b.)

Yhteistoiminnan neljännessä muodossa, tehon ja voiman rajoittamisessa, on turvallisuutta ja yhteistoimintaa lähdetty tavoittelemaan jo robotin suunnitteluvaiheessa. Tällä tavoin toteutettuja robotteja kutsutaan yhteistyöroboteiksi. Robottijärjestelmään ei vaadita ulkopuolisia turvajärjestelyjä, kuten kolmessa muussa tapauksessa, koska robotin ei ole tarpeen tunnistaa ihmisten läsnäoloa konenäön tai anturien avulla. Sen sijaan robotti tunnistaa siihen kohdistuvat voimat ja pysähtyy havaitessaan voimia, jotka

ylittävät turvarajat. Kun robotin nopeutta ja voimaa on rajoitettu ja mahdollinen törmäys aiheuttaa robotin välittömän pysähtymisen, ei törmäyksen mahdollisuutta tällöin ole tarpeen rajoittaa, vaan ihmiset ja robotti voivat työskennellä samalla työpisteellä keskeytyksettä. (Bélanger-Barrette 2015b; Lazarte 2016; SFS-EN ISO 10218-1, 36.)

3 STANDARDIT

Robottien yhteistoimintaominaisuuksiin liittyvät vaatimukset määritellään standardeissa EN ISO 10218-1 ja EN ISO 10218-2 sekä teknisessä määrittelyssä ISO/TS 15066. ISO/TS 15066 on maailman ensimmäinen yhteistyörobottijärjestelmien turvallisuusvaatimuksia koskeva tekninen määrittely. Se on suunniteltu täydentämään aiempien, EN ISO 10218-1 ja EN ISO 10218-2, standardien vaatimuksia ja ohjeita. Tässä kappaleessa esitellään standardeista erityisesti yhteistyörobotteihin liittyviä osioita. (Lazarte 2016; Robotiq n.d.b, 4.)

3.1 Teollisuusrobotit, EN ISO 10218-1

”SFS-EN ISO 10218-1:2011, Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit” -standardi koskee nimenomaan robottia ja siinä käsitellään turvallisuuden varmistamista robotin suunnittelussa ja rakenteessa. Standardissa määritetään myös siinä käytettyjä termejä, joista seuraavat liittyvät erityisesti yhteistyörobotteihin:

- 1) Yhteistoiminta: Toimintatila, jossa ihminen ja yhteistoimintaan suunnitellut robotit työskentelevät välittömästi yhteistyössä määritetyssä työtilassa.
- 2) Yhteinen työtila: Työtila, joka on suojuksilla ja turvalaitteilla erotetun tilan sisällä ja jossa ihminen ja robotti voivat tuotannon aikana suorittaa työtehtäviä samanaikaisesti. (SFS-EN ISO 10218-1, 8, 12; SFS-EN ISO 10218-2, 5-6.)

Yhteistoimintaa koskevissa vaatimuksissa määritetään, että yhteistoimintaa varten suunnitelluissa roboteissa on oltava näkyvä osoitus yhteistoiminnassa olemisesta. Lisäksi on noudatettava yhtä tai useampaa seuraavista vaatimuksista, jotka esitetään tässä lyhennettyinä ja yksinkertaistettuina:

- 1) Turvaluokiteltu valvottu pysäytys: Robotin on pysähdyttävä tai vaihtoehtoisesti hidastettava nopeutta, kun ihminen on yhteisessä työtilassa. Robotti voi jatkaa automaattista toimintaa, kun ihminen poistuu yhteisestä työtilasta.
- 2) Käsin ohjaaminen: Käsin ohjauksen laitteisto on sijoitettava lähelle robotin työkalua ja siihen on sisällyttävä hätäpysäytin sekä kolmiasentoinen

sallintalaite, jolla robotin liikkeet voidaan sallia tai pysäyttää. Robotin nopeuden pitää olla rajoitettu ja valvottu.

- 3) Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta: Robotin tulee noudattaa määritettyä nopeutta ja pitäytyä vähimmäisetäisyydellä käyttäjästä. Nopeuden häiriön tai vähimmäisetäisyyden alituksen sattuessa on robotin pysähdyttävä. Soveltuva nopeus ja riittävä vähimmäisetäisyys on syytä arvioida kunkin robotinsovelluksen kohdalla yksilöllisesti.
- 4) Tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella: Robotin teho ja nopeus on rajoitettu turvalliselle tasolle, jolloin mahdollisesta kohtaamisesta ei aiheudu ihmiselle vaaraa. Mikäli jokin rajoituksista ylittyy, on robotin pysähdyttävä. (SFS-EN ISO 10218-1, 36.)

3.2 Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät, EN ISO 10218-2

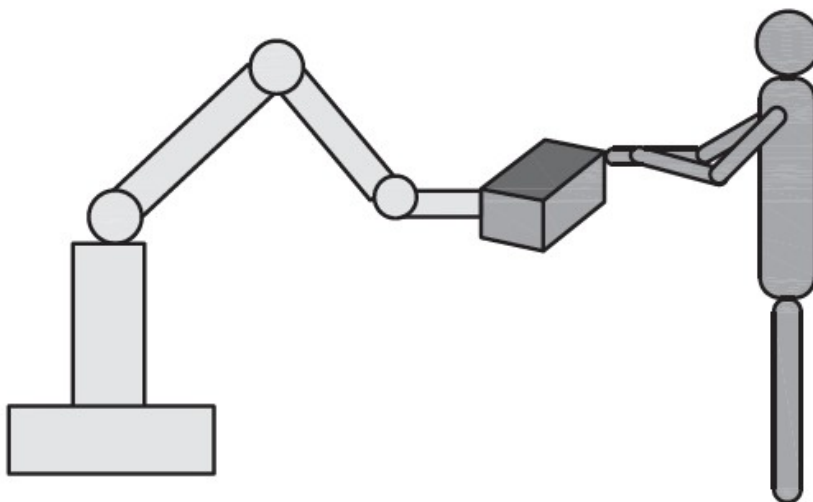
”SFS-EN ISO 10218-2:2011 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät” -standardi kattaa robottijärjestelmän ja robottiyksikön. Siinä määritellään ohjeita henkilöiden turvallisuuden varmistamiseksi robottijärjestelmien asennuksen, käytön, kunnossapidon ja näihin liittyvien toimenpiteiden aikana. Lisäksi myös tässä standardin osassa määritetään käytettyjä termejä, joista seuraavat liittyvät erityisesti yhteistyörobotiikkaan:

- 1) Yhteistoimintarobotti: Ihmisen kanssa suoraan vuorovaikutukseen suunniteltu robotti.
- 2) Yhteistyötila: Työtila, joka on turvalaitteella suojatussa tilassa, jossa robotti ja ihminen voivat suorittaa tehtäviä samanaikaisesti tuotantotehtävien aikana. (SFS-EN ISO 10218-1, 8; SFS-EN ISO 10218-2, 5-6, 8.)

Standardissa määritetään lisäksi yhteistoimintarobotteihin liittyen turvallisuusvaatimukset ja suojaustoimenpiteet. Tavoite yhteistyörobottien suhteen on erityinen ihmisen ja robotin välinen toiminta, jossa jaetaan yhteinen työtila. Yhteistoiminta on mahdollista vain roboteille, joiden ominaisuudet on suunniteltu standardin 10218-1 mukaan, kun vaadittavat turvallisuustoimenpiteet ovat aktiivisena ja tehtävä on etukäteen määritetty yhteistoiminnalliseksi. (SFS-EN ISO 10218-2, 38.)

Yleisesti vaaditaan, että yhteisessä työtilassa robotin kanssa työskentelevien turvallisuus on varmistettava jatkuvasti toimivilla turvallisuustoimenpiteillä. Toimintaa suunniteltaessa on suoritettava kattava riskinarviointi, jossa tarkastellaan kaikki yhteistoimintatehtävät ja -tilat. Robottien, turvalaitteiden ja muiden mahdollisten järjestelmään liitettyjen koneiden ja laitteiden on oltava vaatimustenmukaiset. Vaatimukset esitellään tarkemmin standardissa. (SFS-EN ISO 10218-2, 38-39.)

Yhteistoimintatilan (Kuva 3) osalta vaaditaan, että se on määritettävä selkeästi, esimerkiksi lattiamerkinnöin. Käyttäjät on suojattava turvalaittein ja soveltuvalla ohjausjärjestelmällä, sekä suoritusominaisuudet on rajoitettava sallituiksi. Kaikkien tehtävien suorittamisen pitää onnistua käyttäjältä helposti ja laitteiden ja rakenteiden väliin ei saisi jäädä puristuskohtia tai niihin on asetettava suojaustoimenpiteet. Erityistä huomiota tulee kiinnittää vaihtopisteisiin autonomisen ja yhteistoimintatilan välillä. (SFS-EN ISO 10218-2, 39-40.)



Kuva 3. Suositus yhteistoimintaa esittävän kilven muotoilusta. (SFS-EN ISO 10218-2, 39.)

Yhteistoimintatilassa tapahtuvasta toiminnasta määritetään, että sen toimintatapaa suunniteltaessa on valittava yksi tai useampi turvallisuuden varmistava turvallisuusominaisuus ja näiden vikaantumisten on saatava aikaan turvapysäytys. Turvallisuusominaisuuksia ovat:

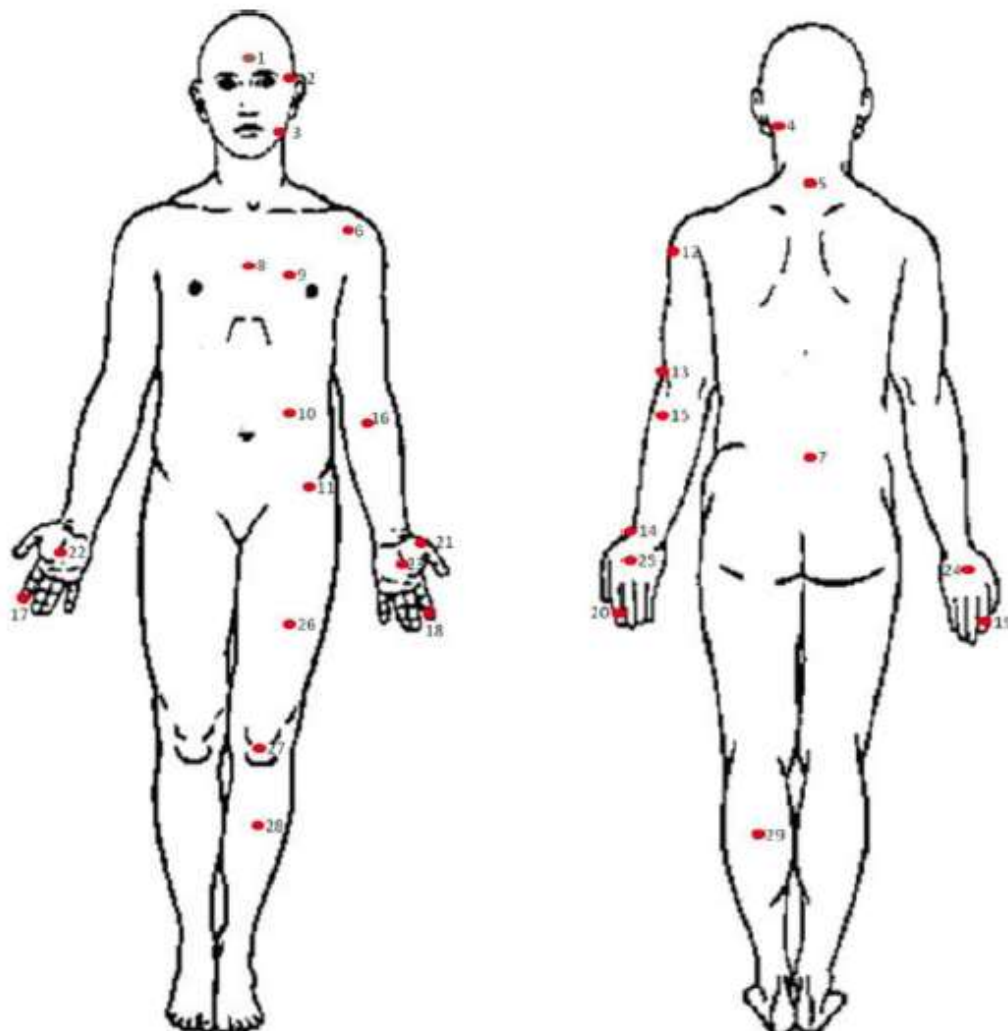
- 1) Turvallisuuteen liittyvä valvottu pysäytys: Kun yhteistoimintatilassa havaitaan ihminen, robotin liikkeen on pysähdyttävä, jotta mahdollistetaan ihmisen ja robotin välitön vuorovaikutus.
- 2) Käsiöohjaus: Käsiöohjaus on sallittava edellyttäen seuraavien vaatimusten täyttyminen: Käyttäjällä on oltava soveltuva ohjauslaite ja hyvä näkyvyys koko yhteistoimintatilaan sekä toimintatilaa vaihdettaessa tulee turvallisuuteen liittyvä valvottu pysäytys.
- 3) Nopeuden ja välietäisyyden valvonta: Järjestelmässä, joka on suunniteltu säilyttämään turvallinen etäisyys käyttäjään, on käytettävä soveltuvia robotteja. Robotin nopeus ja turvallinen etäisyys on määritettävä riskinarvioinnin avulla.
- 4) Tehon ja voiman rajoitus suunnittelun tai valvonnan avulla: Järjestelmässä, joka on suunniteltu valvomaan vaaroja tehon tai voiman rajoittamisella, on käytettävä soveltuvia robotteja. Tehon ja voiman rajoitukset on määritettävä riskinarvioinnin avulla. (SFS-EN ISO 10218-2, 40-41.)

3.3 Yhteistyörobotit, ISO/TS 15066

Tekninen määrittely ”ISO/TS 15066: Robots and robotic devices -- Collaborative robots” on suunniteltu täydentämään ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 standardien ohjeistusta yhteistyörobottien toimintaan liittyen. Se on oleellinen ainoastaan niiden yhteistyöroboteille asetettujen turvallisuusvaatimusten yhteydessä, jotka on kuvailtu mainituissa standardeissa. Se sisältää kattavan ohjeistuksen nimenomaan henkilöille, jotka suorittavat riskinarviointia yhteistyörobottisovelluksille. On odotettavissa, että tähän tekniseen määrittelyyn tulee lisäyksiä ja muutoksia tulevaisuudessa. Tekninen määrittely tarjoaa teollisuudelle ohjeistusta, jota testata ja saadun kokemuksen perusteella ohjeistuksesta tehdään lopullinen standardi. (ISO/TS 15066, iv, Robotiq n.d.b, 4, 10.)

ISO/TS 15066 teknisessä määrittelyssä opastusta tarjotaan muun muassa teollisen yhteistyörobottisovelluksen suunnitteluun nimenomaan samassa työtilassa työskentelevän ihmisen ja robotin työskentelyn aikaisen mahdollisen fyysisen kontaktin näkökulmasta. Lisäksi tehdään tarkennuksia vaatimukseen, jotka yhteistyörobottisovelluksen tulee täyttää ja jotka on määritetty ISO 10218-1 ja 10218-2 -standardeissa. ISO/TS 15066 tarjoaa myös listan ihmisen kipukynnyksen ylittävistä voiman ja paineen

tasoista 29 eri kehonosaan liittyen (Kuva 4). Lisäksi ensimmäistä kertaa vedetään suuntaviivat voiman ja nopeuden maksimiarvoille sovelluksissa, jotka perustuvat voiman ja nopeuden rajoittamiseen. (ISO/TS 15066, iii, 2; Robotiq n.d.b, 4-5.)



Kuva 4. Kuva vartalomallista kipupistekohtineen. (ISO/TS 15066, 22.)

3.4 Standardien soveltaminen käytäntöön

Tässä esiteltyjen standardien määritykset tukeutuvat ja viittaavat paljolti toisiinsa sekä muihin standardeihin. Pelkästään tässä dokumentissa yksinkertaistetusti esitettyjen kohtien täyttymisen perusteella robotti tai robottijärjestelmä ei ole standardinmukainen. Näiden kohtien perusteella on kuitenkin ymmärrettävissä, minkälaisia vaatimuksia nämä turvallisuuteen liittyvät standardit ja määrittelyt sisältävät. Kun robotti tai

robottijärjestelmä on näiden standardien ja voimassa olevien konedirektiivien mukainen, on sen turvallisuustoiminnot toteutettu tarkasti ja monitahoisesti.

4 YHTEISTYÖROBOTTIEN HYÖDYT

Yhteistyörobottien käyttökohteet ja hyödyt eroavat osittain perinteisistä teollisuusroboteista. Juuri näiden eroavaisuuksien perusteella on valittava täsmälleen kyseessä olevaan sovellukseen sopiva robotti. Ei ole kuitenkaan itsestään selvää, missä tapauksissa yhteistyörobotti kannattaa valita perinteisen teollisuusrobotin sijaan. Onkin siis tarpeen eritellä yhteistyörobottien hyötyjä ja niille soveltuvia käyttökohteita.

4.1 Yhteistyörobottien ja perinteisten teollisuusrobottien eroavaisuudet

Teollisuusrobotit ovat isoja, vahvoja ja jykeviä laitteita, jotka pystyvät käsittelemään painavia ja suuria kappaleita. Ne työskentelevät määrätyissä tehtävissä, jotka on suunniteltu juuri niille sopiviksi. Teollisuusroboteilla on tarkoitus automatisoida valmistusprosessi lähes kokonaan, eli suorittaa se ilman ihmisapua. Ihmiset vapautetaan kokonaan kyseessä olevista, mahdollisesti terveydelle haitallisista tehtävistä. Teollisuusrobotit on ympäröity erilaisilla suojalaitteilla tai suljettu häkkeihin (Kuva 5). Niistä on tehty kirkkaan värisiä, jotta ne värillään varoittavat ympärillä työskenteleviä työntekijöitä edustamastaan vaarasta. Perinteisiä teollisuusrobotteja voidaan myös käyttää yhteistyöhön, jolloin ne yleensä täytyy varustaa täydentävillä ulkopuolisilla valvontalaitteilla, ollakseen riittävän turvallisia ihmisten läheisyydessä. Näiden robottien käyttöönotto vaatii edistyneitä ohjelmointitaitoja ja jos ohjelmaan pitää tehdä joitakin muutoksia, tarvitaan asiantuntija ne tekemään. (Robotiq n.d.a; Roel 2017.)



Kuva 5. Teollisuusrobotti turva-aidattuna. (Motion Controls Robotics 2018.)

Yhteistyörobotit on suunniteltu nimenomaan työskentelemään ihmisten kanssa, eikä korvaamaan heidän työpanostaan. Niitä ei ole suunniteltu raskaisiin teollisuuden valmistustehtäviin, vaan niiden on tarkoitus avustaa ihmisiä tehtävissä, jotka ovat liian vaarallisia, raskaita tai väsyttäviä ihmiselle yksin tehtäviksi. Yhteistyörobotit on varustettu integroiduin anturein, jotka havaitsevat ulkoisia voimia ja voimien ollessa liian suuria, ohjaavat robotit pysähtymään. Koska ulkoisia turvajärjestelyjä ei tarvita, on yhteistyörobottien käyttöönotto huomattavasti nopeampaa ja samasta syystä niiden paikkaa voidaan siirrellä tarpeen mukaan työpisteeltä toiselle. Yhteistyörobotit voidaan helposti ohjelmoida uusiin tehtäviin käsin johdattamalla, ilman erityistä tietämystä ohjelmoinnista ja muutosten tekeminen ohjelmiin sujuu yhtä helposti. (Robotiq n.d.a; Roel 2017.)

4.2 Yhteistyörobottien tuomat hyödyt

Yhteistyörobotit avaavat uusia mahdollisuuksia toiminnan automatisointiin. Teollisuudenaloilla, joilla aiemmin ei ole osoitettu kiinnostusta robotiikkaan, on yhtäkkiä huomattu, että yhteistyötä toteuttavien tekniikoiden avulla myös heidän on mahdollista päästä käsiksi automatisoinnin tuomiin hyötyihin. Yhteistyörobottien ei ole tarkoitus

korvata perinteisiä teollisuusrobotteja, vaan tuoda robotit käyttöön uusiin kohteisiin, joissa ne voivat helpottaa ja tehostaa prosesseja. (Greene 2018; Westmoreland 2018.)

4.2.1 Yhteistyörobotit ovat edullisempia

Yhteistyörobottien hankintahinta on usein perinteistä teollisuusrobottia edullisempi. Tämä johtuu muun muassa kevyemmistä rakenteista ja siitä, että niitä liikuttamaan riittävät pienemmät, pienitehoisemmat ja siis myös edullisemmat moottorit. Yhteistyörobotti ei myöskään vaadi ympärilleen suoja-aitoja ja vie näin ollen myös vähemmän tilaa tehtaalla. Näistä molemmista seikoista muodostuu säästöä. Lisäksi yhteistyörobottien ohjelmointi on helpompaa, eikä sitä varten tarvita kalliita asiantuntijoita. (Bélanger-Barrette 2015c; Davids 2017a; Greene 2018.)

4.2.2 Yhteistyörobotti tarvitsee vähemmän tilaa

Suurin osa perinteisistä teollisuusroboteista (Kuva 6) vaatii korkean tason turvajärjestelyt, kuten aidat tai valoverhot. Niiden työssään käsittelemät kappaleet tuodaan robotisoluun useimmiten muiden automaattisten järjestelmien avulla. Robotin lisäksi nämä turvarakenteet, joiden on oltava riittävän loitolla jättääkseen robotille tilaa työskentelelyyn, sekä muut automaatiolaitteet vievät runsaasti lattiatilaa. (Bélanger-Barrette 2015c; Busch 2018; Greene 2018.)

Yhteistyörobotit (Kuva 6) ovat nimensä mukaisesti kykeneviä yhteistyöhön. Ne pystyvät työskentelemään rinta rinnan ihmisten kanssa ilman tarvetta ulkoisiin turvajärjestelyihin. Koska tilaa vieviä aidattuja turva-alueita ei tarvita, robottisovelluksia voidaan viedä paikkoihin, joissa ne eivät ole ennen olleet toteuttamiskelpoisia. (Greene 2018; Westmoreland 2018.)



Kuva 6. Perinteinen teollisuusrobotti sekä yhteistyörobotti. (Greene 2018.)

4.2.3 Yhteistyörobotti työskentelee harmoniassa ihmisten kanssa

Yhteistyörobotti ottaa aina huomioon samassa työtilassa liikkuvat ihmiset. Millä tavalla ihmiset huomioidaan ja miten heihin reagoidaan, riippuu kunkin robottisovelluksen toteutustavasta. Näin vältetään onnettomuudet ja lisäksi sallitaan ihmisen ja robotin työskentely samassa tilassa. Parhaimmillaan yhteistyörobotti avustaa ihmistä tämän työssä ja päinvastoin. Tämä mahdollistaa toimintojen korkeamman tuottavuuden saavuttamisen. (Busch 2018; Greene 2018.)

4.2.4 Yhteistyörobotin käyttöönotto on nopeaa ja helppoa

Yhteistyörobottien pieni koko mahdollistaa nopean ja helpon asennuksen. Ne voidaan asentaa pöydälle, työasemiin tai mobiileille alustoille ja ne mahtuvat myös ahtaisiin paikkoihin, joten ne on helppo integroida tuotannon olemassa oleviin rakenteisiin. Ohjelmointi on helppoa, joten robotti saadaan nopeasti käyttöön. Uuden ohjelman voi luoda jopa tunnissa. Robotin lisäksi ei tarvitse asentaa ulkoisia turvajärjestelmiä, joten aikaa säästyy siinäkin. Lisäksi robottiin liitettävä työkalu, jonka avulla tehtävät suoritetaan tai kappaleita käsitellään, on helposti vaihdettavissa. (Busch 2018; Greene 2018.)

4.2.5 Yhteistyörobotti on helppo ohjelmoida

Monien yhteistyörobottien mukana tulee helppokäyttöinen opetuspaneeli robotin ohjelmointia varten. Opetuspaneelin avulla kuka tahansa pystyy helposti ja nopeasti opettamaan robotille uuden tehtävän. Uusi tehtävä voidaan opettaa robotille esimerkiksi johdattamalla se käsin toivottuihin työpisteisiin. Kun tuotantoon tulee uusi kappale tai ohjelmaan tarvitaan korjaus, voidaan muutokset tehdä heti, eikä paikalle tarvita erityisasiantuntijoita. Uuden ohjelman voi saattaa toimintaan jopa tunnissa. Yksinkertaisen ohjelmoinnin lisäksi yhteistyörobotit tarjoavat mahdollisuuden myös monimutkaisempien ohjelmien ja tehtävien tekoon. (Busch 2018; Greene 2018.)

4.2.6 Yhteistyörobotin voi siirtää tehtävästä toiseen

Sekä asennuksen että ohjelmoinnin nopeus ja helppous mahdollistavat yhteistyörobo-
teille ennennäkemättömän joustavuuden. Yhteistyörobotti voidaan periaatteessa siirtää mihin tahansa, missä sitä tarvitaan (Kuva 7). Siirtäminen on yksinkertaista, koska mitään muita järjestelmiä ei tarvitse siirtää robotin mukana. Usein robotti onkin asennettu pyörillä kulkevalle alustalle. Kun robotille annetaan uusi tehtävä, on uusi ohjelma helppo tehdä. Jos robotti siirretään takaisin aiempien työtehtävien pariin, voidaan vanha ohjelma ottaa uudelleen käyttöön. (Busch 2018; Greene 2018.)



Kuva 7. Yhteistyörobotteja erilaisissa tehtävissä. (Greene 2018.)

4.3 Käyttökohteita, joihin yhteistyörobotit soveltuvat

Sopisiko yhteistyörobotti juuri sinun tarpeisiisi? Mikäli työtehtävä toistetaan samalla tavalla uudelleen ja uudelleen, jos robotin tauoton työpanos lisää tuottavuutta verrattuna ihmisen työpanokseen, tai työtehtävä on likainen, pitkäväteinen tai vaarallinen, voi automatisoinnista olla hyötyä. Yhteistyörobotti soveltuu lukuisiin tällaisiin tehtäviin. (Westmoreland 2018.)

4.3.1 Poimintasovellukset

Tuotteiden poiminta ja niiden asettelu, esimerkiksi tarjottimelta liukuhihnalle (Kuva 8), on yksi toistuvimmista töistä, joita ihmiset tekevät. Työtehtävän toistuvuus saattaa johtaa rasitusvammoihin. Yhteistyörobotille tämä tehtävä sopii mainiosti toistettavuutensa ja käsiteltävien melko kevyiden tuotteiden ansiosta. Lisäarvoa saadaan käyttämällä konenäköä tuotteiden, niiden asennon tai muodon tunnistamiseksi, jolloin tuotteiden lajittelu onnistuu tai niiden poimiminen on joustavampaa. (Gonzalez 2018.)



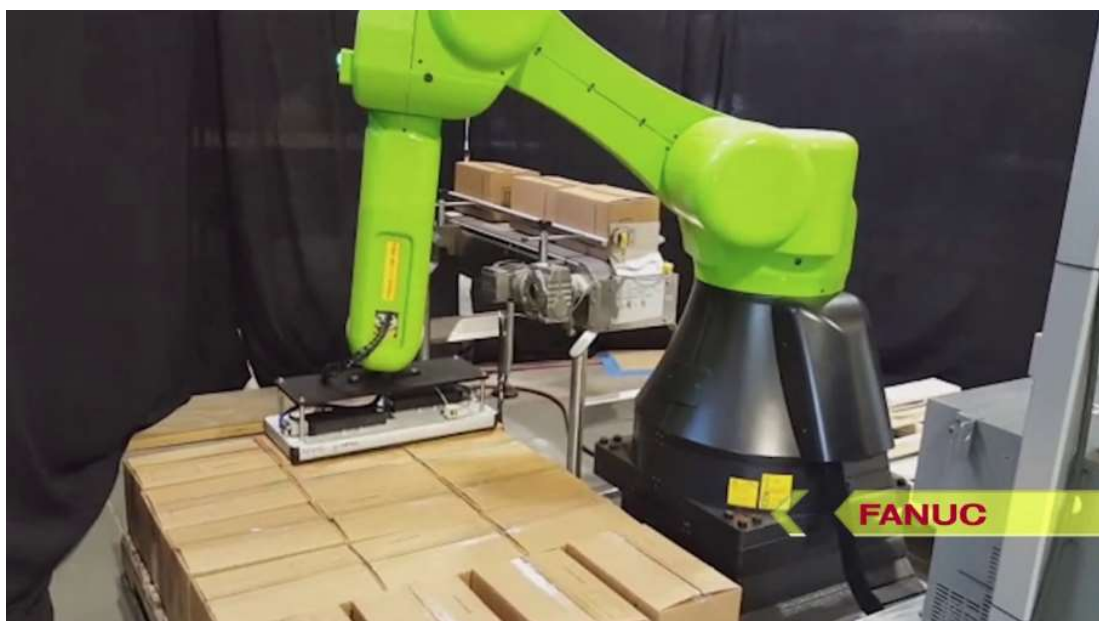
Kuva 8. Rethink Roboticsin Baxter suorittamassa poimintaa. (Generation Robots 2018.)

4.3.2 Pakkaamisovellukset

Poimintasovelluksiin liittyvät myös pakkaamisovellukset. Nämäkin tehtävät ovat toistavia ja niissä käsitellään melko kevyitä tuotteita, joten tehtävinä ne ovat ihanteellisia yhteistyörobotille. Pakkaamisovelluksiin voidaan lukea kuuluvaksi tuotteiden pakkauksiin asettelun lisäksi pakkauslaatikoiden kokoaminen tai tuotteiden sulkeminen kutistekalvoon. Hauraiden tuotteiden käsittelyssä yhteistyörobotin voimia tunnistavat ominaisuudet pääsevät oikeuksiinsa ja niiden avulla robotti voi myös avustaa ihmistä pakkaamisessa. Tässäkin tehtävässä konenäön avulla saadaan lisäarvoa, kun tuotteet voidaan poimia esimerkiksi liikkuvulta liukuhihnalta pakattaviksi. (Bélanger-Barrette 2015a; Davids 2017b; Gonzalez 2018.)

4.3.3 Palletointi, eli pakkausten latominen kuormalavoille

Edelleen poimintasovelluksiin liittyen yhteistyörobotti on omiaan myös pakkausten latomisessa kuormalavoille kuljetusta varten (Kuva 9). Tehtävä on toistava ja kuormien ollessa melko kevyitä, suoriutuu yhteistyörobotti siitä helposti. Konenäön avulla robotti voi itsenäisesti sovittaa eri muotoiset tai kokoiset pakkaukset lavalle. (Gonzalez 2018.)



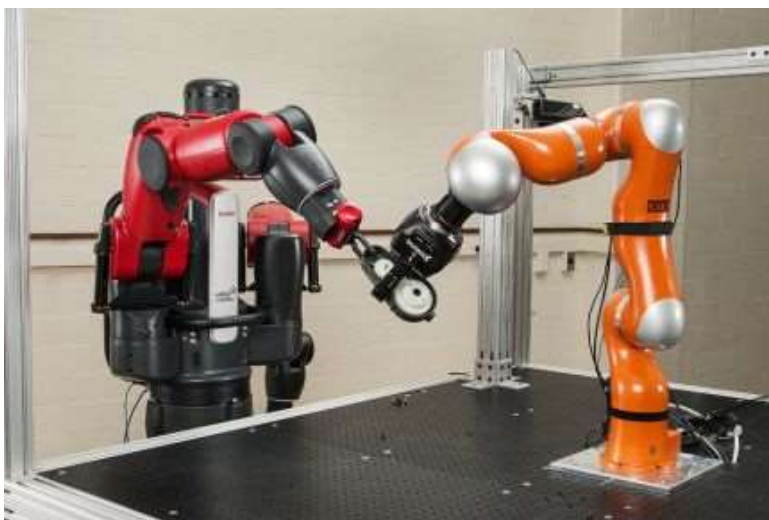
Kuva 9. Fanuc CR-35iA palletoimassa laatikoita. (Youtube 2017.)

4.3.4 Työstökoneiden syöttö

Työstökoneille raaka-aineita syöttäessä tai työstöön tarvittavaa työkalua vaihtaessa työajasta kuluu iso osa odottaessa koneen tehdessä työtään. Työtehtävänä odottelu ei ole mielekästä, joten yhteistyörobotti soveltuu hyvin tähän toimeen, vapauttaen ihmisen muihin tehtäviin. Erityisesti sellaisissa pk-yrityksissä, joissa tuotteita on laaja valikoima, mutta tuotantoerät varsin pieniä, on joustava yhteistyörobotti helppo siirtää yhdestä syöttötehtävästä toiseen. Yhteistyörobotti pystyy huolehtimaan samanaikaisesti useammankin työstökoneen palvelusta. Työstökoneisiin lukeutuvat CNC (Computer Numerical Control, numeerisesti ohjattu kone) -koneiden lisäksi ruiskuvalukoneet, pienelektronikan testauslaitteet, 3D (Three Dimensional, kolmiulotteinen) -tulostimet, etiketöintilaitteet sekä monet muut. (Bélanger-Barrette 2015a; Gonzalez 2018; Robotiq 2018.)

4.3.5 Kokoonpanon tehtävät

Yhteistyörobotti kykenee yhdistämään osia jatkuvasti samalla tavalla ja väsymättä. Konenäön avulla osat voidaan poimia liukuhihnalta, tunnistaa ja tarvittaessa kääntää, sekä sovittaa yhteen joustavasti (Kuva 10). Yhteistyörobotti kykenee hallitsemaan voimaa, joka tarvitaan kappaleiden yhteen painamiseen. Kokoonpano voidaan tehdä myös yhteistyössä ihmisen kanssa, jolloin molemmat tuovat oman osaamisensa mukaan työhön ja työstä saadaan tehokkaampaa. (Davids 2017b; Robotiq 2018.)



Kuva 10. Yhteistyörobotit kokoonpanotehtävissä. (NIST 2018.)

4.3.6 Laadunvalvonnan avustaminen

Valmiiden osien tai tuotteiden laadun tarkkailu voidaan suorittaa tehokkaammin yhteistyörobotin avulla. Robotti pystyy tarjoamaan konenäkökameralle tarpeellisen määrän kuvakulmia tarkan laadunvalvonnan suorittamiseksi. Robottiin yhdistettynä konenäkö siis saavuttaa nopeasti riittävän määrän tietoa määrittääkseen onko kappale oikeanlainen. Konenäön avulla voidaan esimerkiksi verrata valmista tuotetta CAD (Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu) -malliin ja selvittää, ovatko kappaleen kaikki piirteet olemassa ja oikeanlaisia. Kiinnittämällä useamman konenäkökameran yhteistyörobottiin, voidaan tehtävä suorittaa entistä tehokkaammin. (Gonzalez 2018.)

4.4 Robottisovelluksen riskinarviointi

Robotti on ainoastaan yksi osa lopullista robottijärjestelmää. Vaikka se olisi suunniteltu ja rakennettu yhteistyöhön sopivaksi, se ei pelkästään riitä tekemään sovelluksesta turvallista. Kokonaisvaltainen riskinarviointi on tarpeellinen sekä robotille itselleen, siihen liitetulle työkalulle, että ympäristölle, jossa se työskentelee. Riskinarvioinnin avulla saadaan selville, mihin toimenpiteisiin on ryhdyttävä turvallisuuden saavuttamiseksi. Yhteistyörobottisovelluksessa (Kuva 11) saatetaan tarvita robotin ominaisuuksien lisäksi ulkopuolisia turvalaitteita, joka saattaa nostaa lopullisen sovelluksen hintaa merkittävästi. (ISO/TS 15066, v; Lazarte 2016; SFS-EN ISO 10218-1, 36; Smith 2018.)



Kuva 11. Yhteistyörobottisovellus. (Twitter 2018.)

4.5 Yhteistyörobotit erityisolosuhteissa

Pienhiukkaset, ilmankosteus tai lämpötila voivat saattaa robotin epäkuntoon lyhyessäkin ajassa. Suojaamalla robotti puvulla voidaan lisätä sen käyttökohteita ja käyttöikä. Suojapukujen lisäksi robotin voi varustaa paineen havaitsevalla suojakuorella tai kapasitiivisella ”iholla”. (Blue Danube Robotics 2018c; Bosch 2018; Roboworld 2018a; Universal Robots 2018d.)

4.5.1 Kapasitiivinen ”iho”

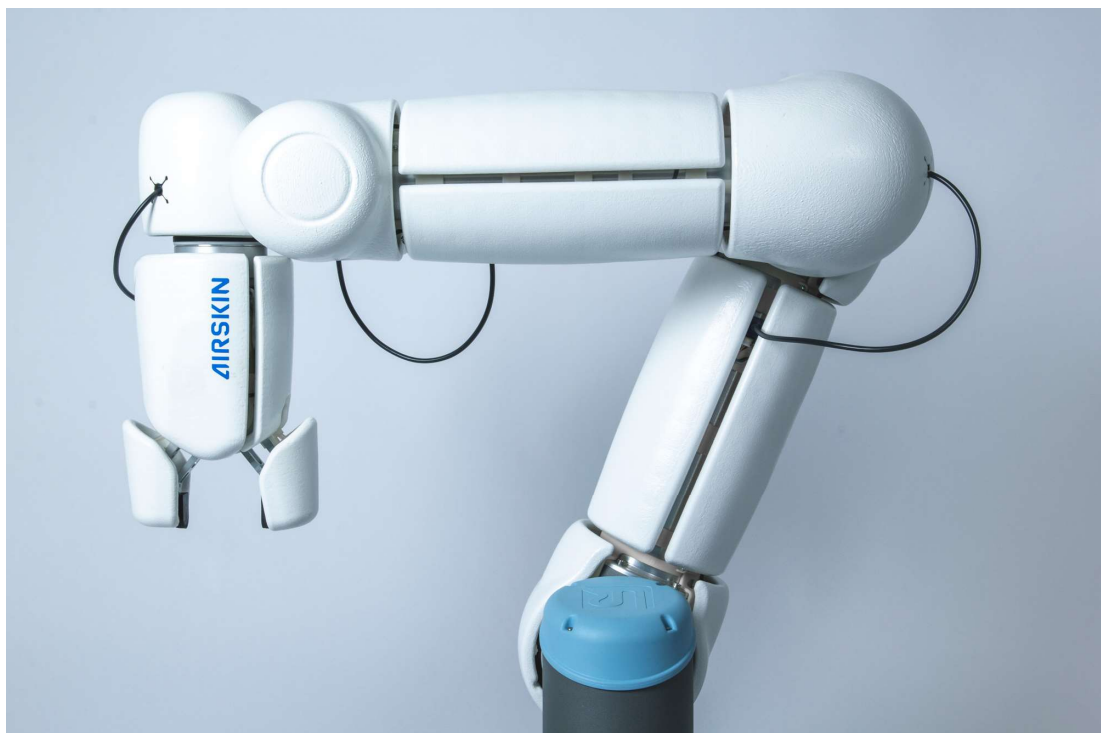
Boschin APAS assistant inline (Kuva 12) on ihmisen ja robotin yhteistyöhön suunniteltu robotti. Yhteistyön mahdollistaa perinteisen teollisuusrobotin ympärillä oleva yli 120 anturia sisältävä kapasitiivinen iho. Tämä iho havaitsee ihmisen noin 50 mm päästä ja pysähtyy automaattisesti, ilman fyysistä kosketusta. Kun ihminen on poistunut robotin välittömästä läheisyydestä, se jatkaa työtehtäviään automaattisesti siitä, mihin se pysähtyessään jäi. Tällä hetkellä tuote on saatavilla kahteen eri valmistajan perinteiseen teollisuusrobottiin liitettynä. (Bosch 2018.)



Kuva 12. Bosch APAS assistant inline. (Bosch 2018.)

4.5.2 Paineen havaitseva suojakuori

Blue Danube Roboticsin AIRSKIN (Kuva 13) on törmäyksen havaitseva anturi. Sen pehmeät tyynyt peittävät sekä robotin että tarttujan, mukaan lukien puristus- ja leikkautumiskohdat ja mahdollistaa yhteistyösovellukset. Törmäyksen sattuessa anturi laukaisee hätäpysäytyksen. Lisäksi tyynyjen pehmeys vaimentaa törmäystä. Tuote on helppo asentaa ja se yhdistetään robottiin kuten perinteinen turvaportti. Tuote on suoraan saatavilla muutamien valmistajien robotteihin, sisältäen sekä yhteistyö- että perinteisiä teollisuusrobotteja. (Blue Danube Robotics 2018b.)



Kuva 13. Universal Robotsin UR5 ja Airskin. (Blue Danube Robotics 2018a.)

4.5.3 Suojapuvut roboteille

Suojapukuja on saatavilla laaja valikoima. Erilaisia pukuja löytyy moniin tarkoituksiin, esimerkiksi korkean lämpötilan sovelluksiin, maalaukseen (Kuva 14), materiaalinkäsittelyyn, tuotteiden viimeistelyyn sekä työstökoneiden syöttöön. Eri valmistajia on lukuisia ja tuotteita löytyy myös yhteistyöroboteille. Tuotteita valmistetaan myös yksilöllisiin tarpeisiin. (Robo-Gear n.d.; Roboworld 2018b.)



Kuva 14. Kertakäyttöinen puku maalausrobotille. (Robo-Gear n.d.)

4.5.4 Suojapuvut elintarviketeollisuuden tarpeisiin

Robotteja voidaan suojata puvuilla myös elintarviketeollisuudessa (Kuva 15). Puvulla suojattuja robotteja voidaan käyttää ruuan tuotannossa, prosessoinnissa ja pakkaamisessa. Nämä puvut on tehty materiaaleista, jotka ovat elintarviketurvallisia sekä helppo pestä. Jotkin pukuihin käytetyistä materiaaleista ovat antibakteerisia, hylkivät rasvoja, öljyjä, suoloja, happoja ja emäksiä, kestävät lämpötiloja välillä -30 °C ja $+70\text{ °C}$ sekä voidaan desinfioida höyryllä tai desinfiointiaineella. Puvut suojaavat robotteja sekä niiden johdotuksia ja työkaluja. (ASP 2010; Evotec 2018.)



Kuva 15. Elintarviketeollisuuteen sopiva robotin suojapuku. (ASP 2010.)

4.5.5 Työskentely kylmissä tiloissa

Monet yhteistyörobotit kykenevät työskentelemään matalissakin lämpötiloissa. Yleisesti ottaen alle 0 °C lämpötiloihin yhteistyörobotit eivät sovellu, mutta useat kykenevät työskentelemään 0 – 40 °C lämpötiloissa. Osaa suositellaan käytettäväksi vasta 5 °C lähtien, kun taas osa soveltuu jo 50 °C asti. (Crowther 2015; Fanuc n.d.c; Kassow n.d.b; Kuka 2018b; Rethink robotics 2018j; Techman Robot Inc. n.d.; (Universal Robots n.d.b.)

4.5.6 Yhteistyörobotit puhdastiloissa

Jotkin tuotteet vaativat puhdastilaan suunnitellun robotin automaatiosovelluksiin. Puhdastila on ympäristö, jonka ilmassa leijuvien hiukkasten, pölyn, höyryjen ja kosteuden tasoja kontrolloidaan. Robotit, jotka on suunniteltu erityisesti puhdastiloissa työskentelyä varten, toimivat yleensä autonomisesti. Tästä syystä niissä ei välttämättä ole yhteistyöominaisuuksia. Kuitenkin Universal Robotsin UR5e yhteistyörobotille on myönnetty puhdastilakäyttöön luokitus ISO 6. Myös robotin ohjaimelle on myönnetty sama luokitus. Ne sopivat käytettäväksi puhdastiloissa muun muassa elintarviketeollisuudessa, mikrosirujen ja puolijohteiden tuotannossa sekä sähkö- ja optoelektronikkateollisuudessa. (Cleanroom Technology 2016; CobotsGuide.com 2017; RobotWorx 2018; Universal Robots n.d.b.)

5 ERI VALMISTAJIEN YHTEISTYÖROBOTTEJA

Tässä kappaleessa esitellään erilaisia yhteistyörobotteja eri valmistajilta. Esiteltyjen robottien on tarkoitus olla hieman toisistaan eroavia. Tiedot robottien ominaisuuksista on saatu valmistajien omilta sivuilta. Muitakin yhteistyörobottien valmistajia löytyy ja näiltäkin valmistajilta saattaa löytyä tässä mainitsemattomia yhteistyörobotteja.

5.1 Fanuc – CR-35*iA*

Fanuc CR-35*iA* on kuusiakselinen käsivarsirobotti, jonka kyky nostaa jopa 35 kg tekee siitä yhden markkinoiden voimakkaimmista yhteistyöroboteista. Lisäksi robotin koko mahdollistaa sille jopa 1,8 m ulottuvuuden. Lattiapinta-alaa robotin jalustalle tarvitaan vain 650 x 650 mm. Robotti ohjelmoidaan Fanucin olemassa olevilla ratkaisuilla, joita on päivitetty erityisesti yhteistyörobottien käytön helpottamiseksi. Robotti soveltuu käytettäväksi 0 – 45 °C lämpötiloihin. (Fanuc 2018a; Fanuc n.d.a; Fanuc n.d.c; Louhisola 2018.)

CR35*iA* (Kuva 16) on Fanucin suurin yhteistyörobotti, sen lisäksi sarjasta löytyvät myös 4 kg:n kantokyvyn omaava CR-4*iA* sekä 7 kg:n kantokyvyn omaava CR-7*iA*. Uutuutena sarjaan tullut CR-15*iA* täyttää aiempien mallien väliin jääneen kuilun. Robotin kantokyky on 15 kiloa. Kaikki sarjan robotit ovat kuusiakselisia kiertyvänivelisiä käsivarsirobotteja. Sarjan pienemmät edustajat ovat selvästi pienempiä joka suhteessa. CR-4*iA* ja CR-7*iA* painavat 48-55 kg, kun taas CR35-*iA* painaa 990 kg. Välimallin CR-15*iA* painaa 255 kg ja sen ulottuvuus on 1441 mm. Pienempien robottien ulottuvuus on 550-717 mm tai 911 mm (CR-7*iA*/L), kun CR35-*iA* ylittää 1813 mm päähän. Robottien maksiminopeus on 1000 mm/s, mutta sitä käytettäessä turvallisuutta valvomaan täytyy kuitenkin asentaa erillinen anturointi. (Fanuc 2018a; Fanuc 2018b; Fanuc n.d.a; Fanuc n.d.b; Louhisola 2018.)



Kuva 16. Fanuc CR-35iA. (Robotiq n.d.a.)

5.1.1 Käyttötarkoitukset, joihin CR35iA on suunniteltu

CR-35iA -robotin on tarkoitus työskennellä ihmisen rinnalla raskaissa ja toistavissa töissä, kuten pakkaamisessa, jakelussa tai kokoonpanossa. Sen on tarkoitus nostaa raskaat kuormat, jotka se pystyy voiman hallintansa ansiosta myös asettamaan paikoilleen tarkemmin kuin ihminen. Lisäksi CR-35iA suorittaa paljon toistoja vaativat tehtävät ja näin vähentää työntekijöiden riskiä erilaisiin rasitusvammoihin. Robottia voi käyttää myös maalaukseen tai muiden kemikaalien käsittelyyn. (Fanuc 2018a; Fanuc n.d.a.)

5.1.2 CR-35iA:n yhteistyöominaisuudet

CR-35iA ei tarvitse turva-aitoja, vaan se pysähtyy varoen ja vetäytyy takaisinpäin törmäyksen tapahtuessa. Robotilla on myös pehmeä kuminen pinta, joka eliminoi terävät reunat ja puristuskohdat, sekä kosketuksen sattuessa pehmentää sitä ja laajentaa aluetta, jolle kosketuksen paine kohdistuu. Robotti pysähtyy havaitessaan 150 N tai sitä suuremman voiman ja tarvittaessa tätä pysähtymiskynnystä voidaan madaltaa. Kaikki CR-sarjan robotit saadaan käynnistettyä helposti ja nopeasti turvapysäytyksen jälkeen. (Fanuc 2018a; Fanuc n.d.a.)

Fanucin CR-sarjan robotit on suunniteltu niin, ettei niiden varsien väliin voi puristua. Robottien nivelten kiertymistä on rajoitettu niin, että varsien väliin jää riittävästi tilaa niin, ettei ihminen voi vahingossa jättää käsivarsiaan tai sormiaan niiden väliin. Jos robotti sattuu liian lähelle ihmistä, hän voi työntää sen pois tieltään vaikuttaen kahteen suurimpaan niveleen. Sarjan kaikki robotit täyttävät EN ISO 10218 -standardin sekä saavuttavat ISO/TS 15066 -määrityksen vaatimukset. (Fanuc 2018a; Fanuc n.d.a.)

CR-35iA on myös helposti ohjattavissa sekä ohjelmoitavissa käsin johdattamalla. Tämä mahdollistaa helpon ja nopean ohjelmoinnin, sekä robotin vaivattoman kohdistamisen oikeisiin pisteisiin. Nopeampi ohjelmointi vähentää myös siitä aiheutuvia kustannuksia. Robottia voi käyttää myös manuaalisena nostolaitteena, jolloin käsivarsi ohjataan oikeaan paikkaan, siirrettävä kappale poimitaan sillä ja viedään haluttuun paikkaan robottia käsin johdattamalla. Näin ihminen pystyy tekemään asennustyön tarkasti robotin hoitaessa raskaan kannattelutyön. (Fanuc n.d.a.)

5.1.3 Fanucin määritelmät yhteistyöstä

Kun prosessit ovat toistuvia, eikä ihmisen osallistuminen tuota niille lisäarvoa, useimmiten paras ratkaisu on automatisoida ne käyttäen perinteisiä teollisuusrobotteja. Tätä Fanuc kutsuu automaatioksi. (Fanuc n.d.a.)

Kun ihmisten pitää työskennellessään olla robotin työskentelyalueella ilman tuotannon pysäyttämistä, voidaan teollisuusrobotit varustaa älykkäillä turvallisuustoiminnoilla, jotka pitävät ihmiset turvassa mutta poistavat turva-aitojen tarpeen. Tätä Fanuc kutsuu turvalaitteisiin perustuvaksi yhteistoiminnaksi. (Fanuc n.d.a.)

Kun halutaan yhdistää robotin voima, tarkkuus ja toistokyky ihmisten tietotaitoon ja näppäryyteen, yhteistyörobotit voivat toimia ihmisen kanssa käsi kädessä tuottaakseen lisäarvoa. Lisäksi huolehtimalla raskaista nostotehtävistä, robotti säästää ihmiset liialta kuormitukselta ja toistojen aiheuttamilta rasitusvammoilta. Tätä Fanuc kutsuu aidoksi ihmisen ja robotin väliseksi yhteistyöksi. (Fanuc n.d.a.)

5.1.4 Miten asiakas hyötyy CR-35iA -yhteistyörobotista

Valitessaan Fanucin CR-35iA -yhteistyörobotin, asiakas saavuttaa ainakin seuraavat edut:

- 1) Saadaan rajallinen tila tehokkaaseen käyttöön, robotti vie vähän tilaa, eikä erilisille turvajärjestelmille tarvita tilaa
- 2) Parannetaan työtilan ergonomiaa, robotti vähentää ihmisten tarvetta työskennellä epämukavissa asennoissa
- 3) Estetään loukkaantumiset, robotin ansiosta ihmisten ei tarvitse käsitellä vaarallisia osia tai aineita tai nostaa raskaita esineitä
- 4) Lisätään joustavuutta pientuotantoon ja resursseja räätälöintiin, robotti suorittaa toistavat tehtävät ja ihmiset voivat keskittyä taitoa vaativiin tehtäviin
- 5) LEAN-laadunvalvonta, robotit auttavat laadunvalvonnassa, eikä tuotantoa tarvitse hidastaa tai pysäyttää (Fanuc n.d.a.)

5.2 Universal Robots – UR5e

Universal Robotsin uuteen e-sarjaan kuuluu kolme robottia, UR3e, UR5e ja UR10e. Jokaisella on eri ulottuvuus ja kantokyky, mutta kaikki ovat yhtä tarkkoja, virheettömiä ja käyttövarmoja. Nämä ominaisuudet tekevät niistä arvokkaan lisän mihin tahansa tuotantoon. Robotit ovat kevyitä, säästävät tilaa ja ne on helppo sijoittaa aina uusiin tehtäviin. Kaikki sarjan robotit ovat kuusiakselisia ja kiertyvänivelisiä käsivarsirobotteja. Robotin ohjain ei ole integroitu sen rakenteeseen. Robotteja ohjataan opeutuspaneelin avulla. (Universal Robots 2018d; Universal Robots n.d.b.)

UR5e (Kuva 17) on e-sarjan keskikokoinen robotti, joka painaa 20,6 kg. Nimensä mukaan sen kantokyky on 5 kg ja ulottuvuus 850 mm. Robotin jalustan halkaisija on 149 mm ja se voidaan asentaa mihin tahansa asentoon. Se soveltuu käytettäväksi 0 – 50 °C lämpötiloihin. Pienin, UR3e, ulottuu 500mm etäisyydelle ja kantaa 3 kg:n taakkoja. UR10e, sarjan suurin robotti, kantaa 10kg ja ulottuu 1300 mm etäisyydelle. UR3e:n jalustan halkaisija on 128 mm ja paino 11,2 kg. UR10e painaa 33,5kg ja sen jalusta on 190 mm halkaisijaltaan. (Universal Robots 2018d; Universal Robots n.d.a; Universal Robots n.d.b.)



Kuva 17. Universal Robots UR5e. (Universal Robots n.d.b.)

5.2.1 Millaisiin tehtäviin UR5e on suunniteltu

Lukuisten käyttökohteisen joukossa ovat muun muassa tuotteiden pakkaaminen ja palletointi sekä erilaiset poimintasovellukset. Se selviytyy myös teollisuuden kokoonpanotehtävistä sekä työstökoneiden kappaleensyötön ja -poiston huolehtimisesta. UR5e soveltuu myös puhdastilakäyttöön luokituksella ISO 6 ja sitä voidaanakin käyttää laboratorion sekä terveysteollisuuden hygieenisyyttä vaativissa tehtävissä. Erilaiset laaduntarkkailun ja materiaalinkäsittelyn tehtävät sekä liimaus ja hitsaus sopivat myös UR5e -robotille. Näiden ja monien muiden tehtävien lisäksi Universal Robotsin roboteille löytyy sopiva tehtävä mistä tahansa tuotantolaitoksesta. (Universal Robots n.d.a; Universal Robots n.d.b.)

5.2.2 UR5e -robotin yhteistyöominaisuudet

UR5e on helppo ottaa käyttöön, viikkojen sijasta aikaa kuluu vain tunteja ja sen patentoitu ja intuitiivinen 3D-käyttöliittymä sallii kenen hyvänsä ohjelmoida robotti jopa

ilman aiempaa kokemusta. Työpisteeltä toiselle siirtyminen sujuu saumattomasti olemassa olevia rakenteita muokkaamatta ja aiemmin tehtyjä ohjelmia on helppo hyödyntää uusissa tehtävissä. Robotin joustavuuden ansiosta pientenkin tuotantoerien valmistaminen voidaan automatisoida kannattavasti. (Universal Robots 2018d.)

UR5e -robotin yhteistyöominaisuuksien ansiosta ulkoisiin turvajärjestelmiin ei tarvitse investoida. Robotin sisäänrakennettuja turvallisuusominaisuuksia, joita löytyy jopa 17, voidaan sopeuttaa tarpeen vaatiessa. UR5e -robotin avulla vaaralliset ja toistavat työtehtävät voidaan automatisoida. (Universal Robots 2018d.)

Universal Robotsin e-sarja on ISO 10218-1 -standardin vaatimusten mukainen ja turvallisuustoiminnot täyttävät EN ISO 13849 -standardin (Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat) määrittämän vaaditun suoritustason d. (Universal Robots n.d.a)

5.2.3 Ihmisen ja robotin yhteistyö Universal Robotsin näkökulmasta

Yhteistyö merkitsee ihmisen ja robotin läheistä työskentelyä. Se tarkoittaa yhteistyörobottien saumatonta integrointia olemassa oleviin tuotantolinjoihin, sekä monin tavoin asiakkaan tarpeeseen räätälöityjä ratkaisuja. (Universal Robots n.d.a.)

Universal Robots on omistautunut tuomaan markkinoille, kaiken kokoisille yrityksille, joka puolelle maailmaa, yhteistyörobotteja, jotka ovat turvallisia, joustavia sekä helpokäyttöisiä. Robotit automatisoivat ja tehostavat työtehtävät, jotka ovat toistavia ja yksitoikkoisia. Näin saadaan ihmisten työpanos suunnattua mielekkäämpiin työtehtäviin, jotka tuottavat yrityksille lisäarvoa. (Universal Robots 2018c.)

5.2.4 UR5e -robotin hyödyt asiakkaalle

Viisi tärkeintä etua, jotka Universal Robotsin e-sarja tuottaa asiakkaille:

- 1) Joustava sijoittelu: Rajoittamattomasti sovelluksia yhdellä yhteistyörobotilla.
- 2) Helppo ohjelmointi: Kalliita asiantuntijoita ei tarvita, kuka tahansa voi ohjelmoida robotin.

- 3) Nopea käyttöönotto: Kestää vain tunnin purkaa robotti, asentaa se paikoilleen ja ohjelmoida ensimmäinen tehtävä.
- 4) Lyhyt takaisinmaksuaika: Perinteisiä teollisuusrobotteja halvempi ratkaisu on myös pienimpien yritysten saatavilla.
- 5) Turvallisuus ja yhteistyö: Vaaralliset ja toistuvat työtehtävät voidaan automatisoida. (Universal Robots 2018d.)

5.3 Omron – OMRON TM14 Collaborative Robot

OMRON TM14 Collaborative Robot (Kuva 18) on kuusiakselinen kiertyvänivelinen käsivarsirobotti. Se painaa 32,6 kg ja sen kantokyky on 14 kg. Se on sarjan painavin ja voimakkain robotti. Se soveltuu käytettäväksi 0 – 50 °C lämpötiloihin. Muut sarjan robotit ovat myös kuusiakselisia käsivarsirobotteja. Niiden paino vaihtelee 22,1 kg:sta 33,3 kg:n ja niiden kantokyky on 4-12 kg. OMRON TM14 Collaborative Robotin ulottuvuus on 1100 mm, sarjan kantokyvyltään toiseksi suurin robotti, OMRON TM12 Collaborative Robotilla on kuitenkin hieman parempi ulottuvuus, 1300 mm. Muissa malleissa ulottuvuus on 700-900 mm. (Omron 2018b; Techman Robot Inc. n.d.)



Kuva 18. OMRON TM14 Collaborative Robot. (Omron 2018b.)

Omron ja Techman Robot ovat solmineet yhteistyösopimuksen yhteistyörobotteihin liittyen. Omron markkinoi ja myy Techmanin TM-yhteistyörobotteja maailmanlaajuisen jakeluverkostonsa kautta. Lisäksi nämä kaksi yritystä tulevat yhteistyössä

kehittämään seuraavaa yhteistyörobottien sukupolvea, joka on helpommin integroitavissa Omronin olemassa oleviin automaatiotarkaisuihin. (Omron 2018a.)

5.3.1 TM14 -robotille soveltuvat käyttötarkoitukset

OMRON TM14 Collaborative Robot on monikäyttöinen ja sopii monelle teollisuudenalalle, kuten auto-, elektroniikka-, elintarvike- tai kosmetiikkateollisuuteen. Sen voi laittaa melkein mihin tehtäviin tahansa, esimerkiksi tuotteiden pakkaaminen sekä erilaiset poimintasovellukset sujuvat siltä. Lisäksi erilaiset kokoonpanon tehtävät ja materiaalien käsittely sekä valmistettujen tai koneistettujen kappaleiden viimeistely tai kiillotus ovat tälle robotille soveltuvia tehtäviä. Integroidun konenäön avulla OMRON TM14 Collaborative Robot pystyy myös laadunvalvontaan, kappaleiden mittaamiseen ja lajitteluun. (Omron 2018b; Techman Robot Inc. n.d.)

5.3.2 TM14 -robotin yhteistyöominaisuudet

OMRON TM14 Collaborative Robot on suunniteltu toimimaan yhteistyössä sekä ihmisten, että koneiden kanssa. Se on helposti liikuteltavissa, tätä varten siihen on myös saatavissa lisävarusteena Mobile Workstation. Lisäksi tulevaisuudessa on saatavissa automaattinen alusta, jonka avulla robotti siirtyy itsenäisesti ilman ihmisen avustusta. (Omron 2018b.)

TM14-robotin turvallisuusasetuksia voi muuttaa ympäristöstä riippuen ja robotti pysähtyy automaattisesti havaitessaan törmäyksen, jonka voima on minimissään 150 N. Robotit noudattavat ISO 10218 -standardin sekä ISO/TS 15066 teknisen määrittelyn yhteistyöroboteille asetettuja edellytyksiä. Robotteja suunniteltaessa turvallisuus on ollut tärkein osa-alue. (Quanta Storage Inc. n.d.b; Quanta Storage Inc. n.d.c; Techman Robot Inc. n.d.)

Robotin käyttöönotto on nopeaa ja sen intuitiivinen ohjelmisto on yhtä helppokäyttöinen kuin älypuhelimet. Ohjelmointi on helppoa, konenäköä käyttävän poimintasovelluksen voi luoda viidessä minuutissa. Lisäksi robotin voi johdattaa käsin haluamiinsa sijainteihin. OMRON TM14 Collaborative Robotissa on sisäänrakennettu konenäkö,

jonka avulla vaihto tehtävästä toiseen on helppoa. Se pystyy tunnistamaan tarkistus-pisteen ja kykenee aloittamaan tehtävänsä ilman erillistä asetustyötä. Robottiin on myös saatavilla monenlaisia työkaluja, jotka on helppo ja nopea vaihtaa sovelluksen vaihtuessa. (Omron 2018b; Quanta Storage Inc. n.d.b; Quanta Storage Inc. n.d.c.)

5.3.3 Techman Robotin ja Omronin määritelmä yhteistyöstä

OMRON TM14 Collaborative Robottia kehitettäessä visiona oli soveltaa teknologiaa rikastuttamaan ihmisten elämää. Tällä viitataan yhteistyörobottien määritelmään, jonka mukaan ihmiset työskentelevät koneiden kanssa yhteistyössä, täydellisessä harmoniassa, tuotantolinjoilla, poissa perinteisistä likaisista, vaarallisista ja rasittavista työympäristöistä. Yhteistyörobottien on tarkoitus olla oiva työkalu kehittyvän teollisuuden tarpeisiin ja luoda maailmalle loputtomasti uusia mahdollisuuksia. (Omron 2018b; Quanta Storage Inc. n.d.a.)

5.3.4 Mitä hyötyjä TM14 robotti tarjoaa asiakkaalle

OMRON TM14 Collaborative Robot tuo mukanaan muun muassa seuraavat ratkaisevat hyödyt:

- 1) Monikäyttöisyys: Maksimoi resurssit ja kasvattaa tuottavuutta.
- 2) Nopeat tehtävävaihdot: Lyhyet katkokset tuotannossa.
- 3) Sisäänrakennettu konenäkö: Luotettavimmat sovellukset ilman lisäkustannuksia.
- 4) Turvallisuus: Ohjelmistossa mukana riskienarviointi.
- 5) Siirrettävyys: Robotti on helppo siirtää työpisteeltä toiselle. (Omron 2018b.)

5.4 Rethink robotics – Sawyer

Sawyer on seitsemänakselinen käsivarsirobotti, jonka ulottuvuus on 1260 mm ja joka pystyy toimimaan ahtaissakin tiloissa sekä ihmisille sopiviksi suunnitelluilla työpisteillä. Se painaa 19 kg ja sen kantokyky on 4 kg. Sawyer soveltuu käytettäväksi 0 – 40 °C lämpötiloihin. Robotteihin on tarjolla myös ClickSmart -systeemi, jonka avulla

robotin työkalun saa vaihdettua nopeasti ja helposti. (Rethink robotics 2018a; Rethink robotics 2018i; Rethink robotics 2018j.)

Sawyer (Kuva 19) on teollisuuden nopeimmin käyttöön otettava yhteistyörobotti, jolla on korkea suorituskyky sekä sopeutumiskyky. Näiden ominaisuuksien ansiosta Sawyer pystyy suoriutumaan sellaisista tehtävistä, joiden automatisointi on ollut epäkäytännöllistä perinteisiä teollisuusrobotteja käyttäen. Samalla se on joustava ja turvallinen. (Rethink robotics 2018i; Rethink robotics 2018j.)



Kuva 19. Rethink Robotics Sawyer. (Robotiq n.d.a.)

5.4.1 Tehtävät, joita varten Sawyer on luotu

Sawyer sopii monenlaisiin tehtäviin. Se voi esimerkiksi hoitaa likaiset ja mahdollisesti vaaralliset tehtävät, kuten syöttää sekä poistaa kappaleita erilaisista työstökoneista. Lisäksi se hallitsee materiaalinkäsittelyn sekä valmiiden tuotteiden testauksen ja laadun-tarkkailun. Valmiit tuotteet Sawyer pakkaa helposti sekä lavaa ne kuljetusta varten. Sawyer toimii myös erilaisissa poimintasovelluksissa ja jopa herkkien ja pienten elektroniikkatuotteiden käsittelyssä. Se sopii myös hyvin pienten erien tuotantoon. (Rethink robotics 2018b; Rethink robotics 2018c; Rethink robotics 2018e; Rethink robotics 2018f; Rethink robotics 2018g; Rethink robotics 2018h; Rethink robotics 2018k.)

5.4.2 Mikä tekee Sawyerista yhteistyörobotin

Sawyerin kaikissa nivelissä on herkät momenttianturit, jotka mahdollistavat sen käyttämän voiman hallinnan esimerkiksi sovitusta vaativien kappaleiden paikoilleen asettamisessa. Sawyer tarkkailee jatkuvasti nivelten momenttia ja asentoa. Näin tekemällä se kontrolloi voimia, joita se kohdistaa ympäristöönsä, samalla tavoin kuin ihminen töitä tehdessään. Tämän ominaisuuden ansiosta ei tarvita ulkopuolisia antureita. Robottien ominaisuudet täyttävät ISO 10218-1 -standardin vaatimukset. (Rethink robotics 2018i; Rethink robotics 2018j.)

Rethink roboticsin käyttöliittymä, Intera, on graafinen ja nopeuttaa robottien käyttöönottoa ja sijoitusta uusiin tehtäviin ilman vaivalloista kustomointia. Ohjelmaa on helppo käyttää vaikkei olisikaan alan asiantuntija. Robotit on helppo ohjelmoida Intera-ohjelmiston avulla ja liikkeet voidaan opettaa robotille käsin johdattamalla. Robotissa on myös sulautettu konenäkö, jonka avulla se pystyy tarkistamaan oman itsensä tai tuotteiden sijainnin. (Rethink robotics 2018i.)

5.4.3 Rethink roboticsin yhteistyörobotin määritelmä

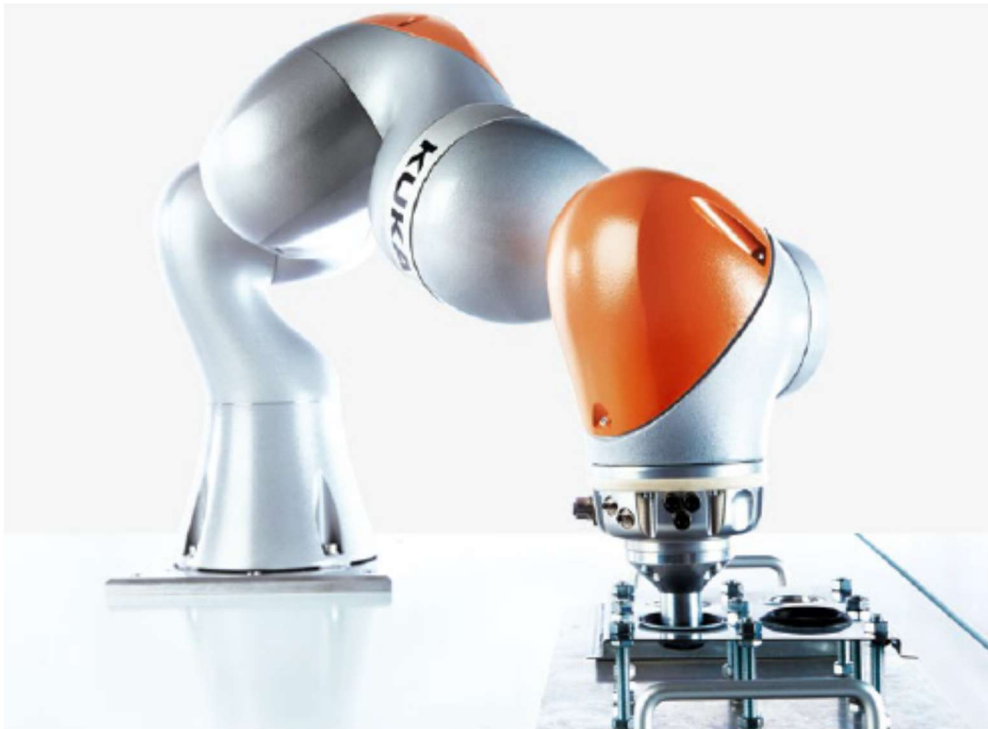
Rethink roboticsin määritelmän mukaan yhteistyörobottien läheisyydessä on turvallista, niiden tilantarve on paljon perinteisiä teollisuusrobotteja pienempi ja ne ovat riittävän edullisia, jotta takaisinmaksuaika on kohtuullinen. Rethink roboticsin robottien teho ja voima ovat rajoitettuja ja lisäksi nivelissä olevat joustavat toimilaitteet minimoivat törmäyksen voiman. (Rethink robotics 2018d.)

5.4.4 Sawyerin asiakkaalle tuomat hyödyt

Rethink roboticsin älykkäät yhteistyörobotit tarjoavat erilaisen lähestymistavan robotiikkaan uniikin käyttöliittymänsä avulla ja ovat helposti opetettavissa. Ne vievät vähemmän tilaa ja ovat turvallisia ihmisille. Robotit tunnistavat itseensä kohdistuvat voimat ja pystyvät säätämään omaa voimankäyttöään. Niissä on integroitu konenäkö ohjelmiseen ja tuotannon tunnuslukuja pystyy seuraamaan suoraan robotilta. Rethink robotics tarjoaa asiakkailleen tukea oston jälkeenkin. (Rethink robotics 2018d.)

5.5 Kuka – LBR iiwa

LBR iiwa (Kuva 20) oli maailman ensimmäinen ihmisen ja robotin väliseen yhteistyöhön hyväksytty robotti, sekä maailman ensimmäinen sarjatuotettu yhteistyörobotti. Se on seitsemänakselinen käsivarsirobotti, jota on saatavilla sekä seitsemän että neljän toista kilon kantokyvyllä. Robottien ulottuvuus on 800-820 mm ja kiinnityspiste on vain 136 mm halkaisijaltaan. Robotit ovat melko kevyitä, 22,3-29,5 kg ja soveltuvat käytettäväksi 5 – 45 °C lämpötiloihin. Seitsemän akselinsa avulla robotti saavuttaa saman työkalun asennon käsivarren eri asennoissa. Robotin ohjain ei ole integroitu robotin rakenteeseen. (Kuka 2018a; Kuka 2018b.)



Kuva 20. KUKA LBR iiwa. (KUKA 2017.)

5.5.1 Tehtävät, joihin LBR iiwa on suunniteltu

LBR iiwa on tarkoitettu käytettäväksi muun muassa kappaleiden työstöön tai syöttöön muille koneille. Se voi myös poimia tuotteita sekä pakata tai lavata niitä. LBR iiwa sopii hyvin myös erilaisten liimojen ja tiiviste- tai pintakäsittelyaineiden levitykseen. Lisäksi robotti soveltuu erityistä tarkkuutta vaativaan kokoonpanoon ja kiinnitykseen.

Sisäänrakennettujen momenttiantureiden ansiosta se pystyy myös sovitusta vaativaan kokoamiseen. (Kuka 2018b.)

5.5.2 LBR iiwan yhteistyöominaisuudet

LBR iiwa ei tarvitse turva-aitoja. Se on varustettu älykkäällä teknologialla ja tehokkailta antureilla. Akseleissa sijaitsevien nivelten momenttianturien avulla LBR iiwa pystyy havaitsemaan pienimmänkin siihen vaikuttavan ulkoisen voiman. LBR iiwa reagoi kosketukseen heti ja vähentää käyttämäänsä voimaa ja nopeutta välittömästi. Näin liike-energia alenee tasolle, joka tekee vammojen syntymisen mahdottomaksi. Käytössä olevat sijainnin tunnistus ja sisäinen valvonta mahdollistavat varovaisen osien käsittelyn ilman rumentamisen vaaraa. Turvallisuustoiminnot täyttävät EN ISO 13849 -standardin (Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat) määrittämän vaaditun suoritustason d. (Kuka 2017; Kuka 2018b.)

LBR iiwa mahdollistaa helpoimman tavan ohjelmoida robotti. Sen voi käsin johdattaa haluttuihin asentoihin, joiden koordinaatit tallennetaan robotin ohjelmaksi. Tämä helpottaa kustannusten hallintaa ja robotin uudelleenohjelmointia erityisesti pienten tuotantoerien ollessa kyseessä. Robotit on tarkoituksella tehty joustaviksi, jotta ne on helppo sijoittaa mille työpisteelle tahansa, niihin työtehtäviin, joihin niitä juuri sillä hetkellä tarvitaan. Robotin momenttianturit mahdollistavat sen ohjaamisen kosketuksen avulla myös ohjelman suorituksen aikana. (Kuka 2017; Kuka 2018b.)

LBR iiwan kotelointi on tehty kokonaan alumiinista, joka vähentää robotin painoa ja lisää turvallisuutta. Kotelointi on suunniteltu virtaviivaiseksi, joten siinä ei ole teräviä reunoja eikä puristumisen tai leikkautumisen vaaraa ole. (Kuka 2017)

5.5.3 Kukan näkemys ihmisen ja robotin yhteistyöstä

Ihmisen ja robotin yhteistyössä robotti työskentelee kosketusetäisyydellä ihmisten kanssa. Ihminen hallinnoi ja valvoo tuotantoa ja robotti suorittaa raskaan työn. Molemmat tuovat omat parhaat ominaisuutensa työhön. Robotin on tarkoitus täydentää

ihmisen ominaisuuksia sekä vapauttaa hänet työläistä tehtävistä, ei korvata ihmistä. (Kuka 2018a.)

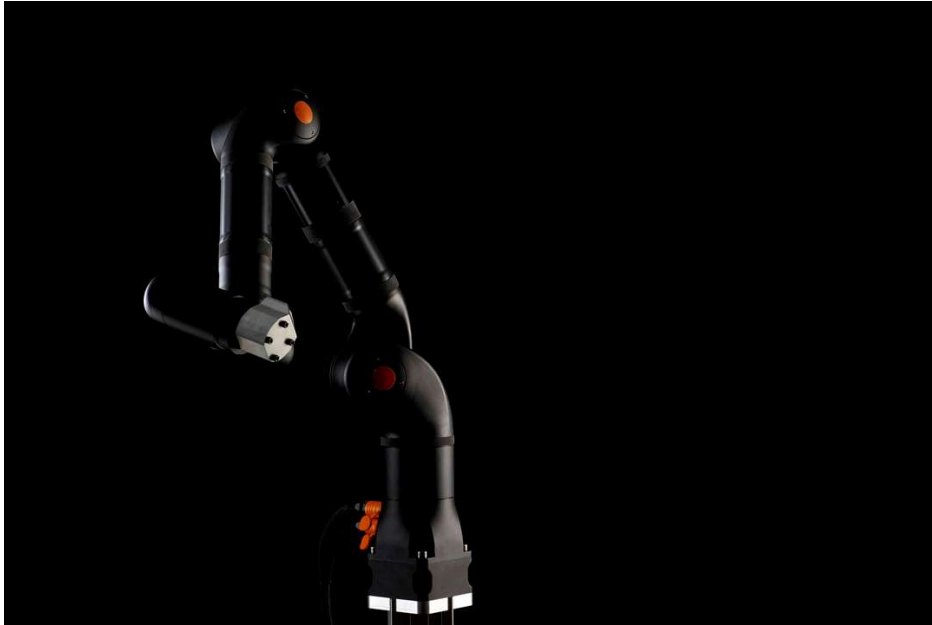
5.5.4 LBR iivan hyödyt asiakkaalle

Valitsemalla LBR iivan, saavuttaa seuraavat edut:

- 1) Maksimaalinen tuotannon joustavuus
- 2) Työntekijöiden työtaakan helpottaminen, epäergonomisten työtehtävien siirtyminen roboteille
- 3) Onnettomuuksien ja vammojen riskin pienentyminen
- 4) Korkealuokkainen suorituskyky toistuvissa valmistusprosesseissa ilman erillisiä investointeja
- 5) Tuottavuuden kasvu ja monimutkaisen järjestelmän parempi toimivuus (Kuka 2018a.)

5.6 Kassow Robots – KR1805

Kassow Robotsin valmistama KR1805 (Kuva 21) on seitsemänakselinen kiertyvänivelinen käsivarsirobotti. Se on sarjan suurimmalla ulottuvuudella, 1800 mm, varustettu robotti, jonka katokyky on 5 kg. Tämä robotti tarvitsee vain 155 x 155 mm lattiapintaa ja sen paino on 45 kg. Se soveltuu käytettäväksi 0 – 50 °C lämpötiloihin. Kassow Robotsin robotit ovat voimakkaita, nopeita ja yksinkertaisia. (Kassow n.d.b; Kassow n.d.d; Kassow n.d.e.)



Kuva 21. Kassow KR1805. (Kassow n.d.d.)

Kassow Robotsin muut yhteistyörobotit ovat KR810 sekä KR1205. Kaikki mallit ovat kiertyvänivelisiä seitsenakselisia käsivarsirobotteja. KR810 ulottuvuus on 850 mm ja kantokyky sarjan suurin, 10 kg. KR1205 kantaa viiden kg:n taakan ja ulottuu 1200 mm etäisyydelle. Sekä pienempi KR810 että KR1205 vievät lattiapinta-alaa 130 x 130 mm. Kassowin yhteistyöroboteissa ohjainta ei ole integroitu robotin rakenteeseen. (Kassow n.d.a; Kassow n.d.c; Kassow n.d.d.)

5.6.1 Mihin tarkoitukseen KR1805 on suunniteltu

Jo robotteja suunnitellessa Kassow Robots tähtäsi tuotteeseen, joka on markkinoiden tehokkain. Modernit yhteistyörobotit pystyvät suoriutumaan monenlaisista tehtävistä mutta tehokkuutta ja laadun tasoa voi kuitenkin parantaa entisestään. Kassowin robotit sopivat erilaisiin poimintasovelluksiin sekä tuotteiden pakkaamiseen ja palletointiin. Lisäksi niitä voidaan käyttää laaduntarkkailussa, maalauksessa sekä syöttämään kappaleita tai materiaaleja työstökoneisiin ja poistamaan kappaleita ja valmiita tuotteita näistä koneista. (Kassow n.d.f.)

5.6.2 Mitkä ominaisuudet tekevät KR1805 robotista yhteistyörobotin

Kassowin robotit poikkeavat muista markkinoilla olevista juuri seitsemän akselinsa ansiosta. Tämä mahdollistaa robotin työskentelyyn ihmisen käsivarsien toimintaa jäljittelevän joustavuuden. Robotit pystyvät siis suoran liikeradan lisäksi kulkemaan kaarevaa rataa halutulla nopeudella, tämä on eduksi erityisesti tehtävissä, joissa yksityiskohtainen navigointi on tarpeellista. Kassowin robotit on varustettu sisäänrakennetuilla momenttiantureilla, jotka havaitsevat törmäykset ja normaalista poikkeavat voimat. Lisäksi robotit ovat nopeita, eikä kuorman kasvaminen edes suurimmaksi mahdolliseksi vaikuta niiden nopeuteen. (Kassow n.d.d; Kassow n.d.e.)

Kassowin intuitiivinen, tablettitietokonetta muistuttava graafinen käyttöliittymä helpottaa ohjelmointia ja käyttö on helppoa alusta asti. Lyhyen perehdytyksen jälkeen kuka tahansa henkilökunnan jäsenistä pystyy käyttämään robottia. (Kassow n.d.d.)

5.6.3 Ihmisen ja robotin yhteistyö Kassow robotsin näkökulmasta

Kassow robots uskoo ihmisten ja robottien väliseen yhteistyöhön. Heidän filosofiansa mukaan kenen tahansa tulee voida itse ratkaista automaatioon liittyvät tehtävänsä. Ratkaisun tulee olla kustannustehokas siitä huolimatta, että tehtävät voivat olla monimutkaisia ja tilaa käytettävissä vain vähän tai käsiteltävät kappaleet olisivat painavia ja työskentelynopeuden tulisi olla korkea. Kassow robots pyrkii tarjoamaan tehokkaat ja käytettävyydeltään yksinkertaiset robotit tähän tarkoitukseen. (Kassow n.d.g.)

5.6.4 Hyödyt, jotka KR1805 tarjoaa asiakkaalle

Kassow robotsin mukaan asiakas saavuttaa seuraavat hyödyt valitessaan käyttöönsä KR1805 yhteistyörobotin:

- 1) Nopeus: Nopeammat robotit lisäävät tuotantoa
- 2) Hyötykuorma: Suurempi kantokyky laajentaa käsiteltävissä olevien esineiden määrää
- 3) Käyttöliittymä: Kuka tahansa oppii robotin käytön helposti
- 4) Turvallisuus ja yhteistyö: Robotille löytyy useampia käyttökohteita

- 5) Tilan säästäminen: Säästää lattiapinta-alaa ja ujuttautuu pieniinkin väleihin
- 6) Kestävyys: Vahvemmat rakennusmateriaalit pidentävät käyttöikää
- 7) Liikuteltavuus: Robotti on helppo siirtää tehtävästä toiseen
- 8) Sovellettavuus erityistehtäviin: Robotin tarkkuus mahdollistaa myös hienovaraiset tehtävät. (Kassow n.d.e.)

5.7 ABB – YuMi

YuMi, eli IRB14000 (Kuva 22), on vuosien tutkimustyön ja tuotekehityksen tulos. Se on kaksikäsiartinen yhteistyörobotti, jonka tarkoituksena on mahdollistaa pienten osien automaattinen kokoonpano. Rakenteeltaan YuMi muistuttaa ihmisen yläruumista ja on suunnilleen saman kokoinen. Molemmissa käsivarsissa on seitsemän akselia, joiden avulla se pystyy jäljittelemään ihmiskäsien liikkeitä. (ABB 2018c; ABB 2018d.)



Kuva 22. ABB IRB 1400+ - YuMi. (ABB 2018c.)

Painoa YuMilla on 38 kiloa ja sen pohjan pinta-ala on 399 x 497 mm. YuMin ulottuvuus on 559 mm ja kantokyky on 500 g käsivartta kohti. Se soveltuu käytettäväksi 5 – 40 °C lämpötiloihin. Robotin ohjain on integroitu itse robotin rakenteeseen ja johdotus sekä paineilma kulkevat käsivarsien sisällä. Lisäksi YuMiin on saatavilla integroidut ”kädet”, joissa on servotarttijat ja joihin saa halutessaan integroidun kameran sekä vakuunitarttijat. (ABB 2018d; Crowther 2015.)

Kesäkuussa 2018 julkaistiin uutuus, yksikäsiartinen YuMi. Tämä robotti on huomattavasti kaksikäsiartista pienempi ja painaa vain 9,5 kg. Sen voi asentaa mihin asentoon tahansa ja näin ollen se on helppo sovittaa olemassa oleviin tuotantolinjoihin. Robotin kantokyky on 500 g ja ulottuvuus 559 mm, kiinnityspisteen koko on 160 x 160 mm. (ABB 2018a; ABB 2018b.)

5.7.1 YuMin suunniteltu käyttötarkoitus

YuMin tarkoituksena on mahdollistaa pienten osien automaattinen kokoonpano, kohteena ovat erityisesti tieto- ja viestintätekniikan tuotteet sekä kuluttajaelektroniikka, lelut ja rannekellot. Lisäksi robottia voi käyttää esimerkiksi poimintasovelluksissa ja tuotteiden pakkaamisessa. Robotin pitää pystyä suorittamaan sama työ kuin taitava työntekijä. YuMi ei kuitenkaan monikäyttöisyydestään huolimatta sovi esimerkiksi maalaukseen tai elintarvikkeiden suoraan käsittelyyn. (Crowther 2015.)

5.7.2 YuMin tarjoamat yhteistyöominaisuudet

YuMin käsivarsien ydin on valmistettu kevyestä magnesiumista, joka on koteloitu muovilla ja lopulta pehmustettu. Rakenne vaimentaa mahdollisia törmäyksiä tehokkaasti. Käsivarsia suunniteltaessa puristumisen mahdollisuudet on joko poistettu tai minimoitu hyväksyttävälle tasolle. Törmäyksen havaitessaan YuMi pysähtyy millisekunnissa. Lisäksi se havaitsee tehokkaasti muutoksia ympäristössään ja pysähtyy heti tilanteen vaatiessa. Pysähdyksen jälkeen ohjelman suoritusta voidaan jatkaa vain käynnistyspainiketta painamalla. Robotin ohjelmointi on helppoa johdattamalla robottia käsin. Robottiin kuuluvan ohjaimen lisäksi ohjelmointi onnistuu langattomasti tabletilla tai älypuhelimella. (ABB 2018d.)

5.7.3 ABB:n määritelmät ihmisen ja robotin yhteistyöstä

YuMin suunnitteluun on lähdetty siitä, että ratkaisun tulee olla joustava. Robotin pitää olla helposti liikuteltavissa ja asetettavissa uusiin tehtäviin, esimerkiksi pienten tuotantoerien vaihtuessa toisiin. Robotti pitää pystyä ottamaan käyttöön myös jo olemassa olveilla työpisteillä, jotka on alun perin suunniteltu ihmisten käyttöön. Robotin käyttöönoton ja ohjelmoinnin on oltava helppoa, jottei henkilökuntaa varten tarvitse järjestää erikoiskoulutusta. Robotin on motorisilta kyvyiltään vastattava ihmistä niin hyvin kuin mahdollista, jotta se pystyy suorittamaan samoja tehtäviä. Lisäksi robotin on oltava riittävän turvallinen työskentelemään yhdessä ihmisen kanssa ilman suojaaitoja. (ABB 2016.)

5.7.4 Mitä hyötyjä ABB:n YuMi tarjoaa asiakkaalle

Miksi sitten kannattaa valita juuri ABB:n YuMi?

- 1) Pehmustetut käsivarret, joiden sisällä kulkee johdotus sekä paineilma: Pehmusteet vaimentavat törmäystä ja integroidut johdotukset helpottavat käyttöä
- 2) Integroitu ohjain: Erillinen ohjainkotelo ei vie tilaa
- 3) Kevyt rakenne: Robotti on helppo siirtää
- 4) Käytön helppous: Ohjelmointi käsin johdattaen
- 5) Umpinainen rakenne: Vähentää huollon tarvetta
- 6) Laaja liitettävyyys: Robotti on helppo liittää sovellukseen kuin sovellukseen
- 7) Pystyy yhteistyöhön korkeassa nopeudessa: Turvallisuus ja tehokkuus säilyvät
- 8) Kaksi käsivartta: Mahdollistaa moniajon
- 9) Integroitu konenäkö: Ei tarvitse asentaa ulkopuolisia järjestelmiä
- 10) Staattisen sähkön hallinta: Robotti sopii elektroniikan käsittelyyn
- 11) Turvallisuuksertifioitu: Dokumentoitu turvallisuus
- 12) Integroidut kädet: Ei tarvita erillisiä tarttuvia (Crowther 2015.)

5.8 Precise automation – PF3400 ja PP100

Precise automation tarjoaa eri tyyppisiä yhteistyörobotteja. Käsivarsirobotin lisäksi saatavilla ovat scara- ja karteeminen yhteistyörobotti. Precise Automation on ainoa karteemisten yhteistyörobottien valmistaja. (Precise automation n.d.e.)

5.8.1 Scara-robotti PF3400

PF3400 on maailman ensimmäinen neliakselinen scara-yhteistyörobotti. Sen luonnostaan turvallinen rakenne sallii sen saavuttaa sallitut nopeudet ja kiihtyvyydet muita yhteistyörobotteja nopeammin ja silti sen voimat on rajoitettu yhteistyörobotteja koskevien standardien mukaisiksi. PreciseFlex yhteistyörobotteja on yli tuhat yksikköä ympäri maailman erilaisissa teollisuuden työpisteissä. (Precise automation n.d.a; Precise automation n.d.b.)



Kuva 23. Precise Automation PF3400 lineaarijohteella. (Precise Automation n.d.a.)

Robotista on saatavilla erilaisia versioita, jotka eroavat toisistaan pysty akselin korkeudessa. Vaihtoehdot ovat 400 mm, 750 mm ja 1160 mm, korkein robotin versio yltää jopa 1,2 m korkeudelle. Robotin kantokyky on 3 kg ja ulottuvuus on 584 mm. Robotin kiinnityspiste on kooltaan vain 200 x 235 mm ja pienin robotin versio painaa vain 20 kg. Robottiin on saatavilla eri pituisia yhteensopivia lineaarikiskoja, joihin on integroitu tarvittava kaapelointi. (Precise automation n.d.a; Precise automation n.d.b.)

5.8.2 Karteesinen robotti PP100

PP100 on maailman ainoa karteesinen yhteistyörobotti. Tämä kevytrakenteinen robotti on saatavilla kaksi- (XZ) tai kolmiakselisena (XYZ). Lisäksi robottiin saa theta-akselin, joka kiertyy ± 270 astetta. Y-akselin liikkuma-alue on 350 mm, mutta X- ja Z-akselien alueet ovat ratkaisusta riippuen 500-1270 mm X-akselille ja 229-260 mm Z-akselille. Robotin kantokyky on 3 kg ja robotin paino 20 ja 32 kg:n välillä. (Precise automation n.d.c; Precise automation n.d.d.)



Kuva 24. Precise Automation PP00. (Precise Automation n.d.d.)

PP100:n uniikki yhdistelmä nopeutta ja turvallisuutta sallii sen työskennellä täydellä teholla ja saavuttaa teollisuusrobottien veroinen työtehokkuus ja samalla pitää työympäristö turvallisena ihmisille. Kevyt ja pienikokoinen robotti voidaan helposti asentaa olemassa olevien järjestelmien yhteyteen, esimerkiksi kuljettimien yläpuolelle, ilman suuria muutostöitä. Verrattuna kuusiakselisiin käsivarsirobotteihin, joiden takapuolelle jää usein kuollutta tilaa, tämä robotti käyttää viemänsä tilan tehokkaasti hyödykseen. (Precise automation n.d.c.)

5.8.3 PF3400 ja PP100 -robottien suunniteltu käyttötarkoitus

Molempien robottien rakenne on optimoitu niin, että ne voidaan helposti asentaa esimerkiksi pöydälle. Robotteja voidaan käyttää erilasiin poimintasovelluksiin esimerkiksi laboratorioissa, pienten osien käsittelyssä ja kokoonpanossa sekä kuluttajaelektronikan testauksessa. (Precise automation n.d.b; Precise automation n.d.c.)

5.8.4 Precise automationin tarjoamat yhteistyöominaisuudet

Ainutlaatuisen rakenteensa ansiosta PF3400 -robotilla on uniikkeja ominaisuuksia, joita ei ole muilla roboteilla. PF3400:n voi asettaa ”Compliant place” -tilaan, jolloin se voi esimerkiksi asettaa kappaleen paikoilleen seuraten ja myötäillen viistottuja reunoja. (Precise automation n.d.a; Precise automation n.d.b.)

Kaikkien Precise Automationin yhteistyörobottien käyttämät voimat on rajoitettu niin, että ne täyttävät ISO/TS 15066 -määrityksen vaatimukset. Jopa suurimmilla nopeuksilla joustavaan tai väistyvään kappaleeseen törmätessä alle 100 N voima pysäyttää robotin ja joustamattomaan esineeseen törmätessä pysäyttävä voima on alle 150 N suuruinen. (Precise automation n.d.a; Precise automation n.d.d.)

Precise Automationin yhteistyörobotit tarjoavat käyttäjilleen helppokäyttöisen web-pohjaisen käyttöliittymän ja sen lisäksi edistyneemmän ohjelmointiympäristön, jonka ominaisuudet ovat verrattavissa teollisuusrobottien ohjelmointiympäristöihin. Lisäksi robotti on helposti ohjelmoitavissa johdattamalla. Erityisesti karteesisen robotin ohjelmointi onnistuu vasta-alkajiltakin sen suoraviivaisen geometrian ansiosta. (Precise automation n.d.b; Precise automation n.d.d.)

5.8.5 Miten Precise Automation näkee yhteistyörobotit

Verrattuna perinteisiin teollisuusrobotteihin kyseessä on uusi robottisukupolvi, joita suunniteltaessa ja valmistettaessa on keskitytty sisäänrakennettuihin turvallisuusratkaisuihin ja käytön sekä käyttöönoton helpouteen. Nämä ominaisuudet ovat antaneet mahdollisuuden prosessien automatisointiin myös muille, kuin perinteisiä teollisuusrobotteja käyttäville yrityksille. Näiden robottien avulla on myös mahdollista automatisoida prosesseja, joihin ei ollut aikaisemmin tarjolla sopivia automatisointiratkaisuja. Yhteistyörobotit ovat turvallisia käyttää ilman suoja-aitoja, joten ne on helppo ottaa käyttöön niissäkin kohteissa, joissa ihmisen on työskenneltävä samassa tilassa robotin kanssa. Yhteistyörobotin asennus ja käyttö ovat helppoja myös uusille käyttäjille. (Precise automation n.d.b; Precise automation n.d.c; Precise automation n.d.e.)

5.8.6 Mitä hyötyjä Precise automation tarjoaa asiakkailleen

Nämä kevyet robotit ovat yhden ihmisen kannettavissa ja ne voidaan kiinnittää esimerkiksi pöytään. Vain yhdistämällä virtajohdon ja verkkokaapelin voi robotin ottaa käyttöön. Robotin ohjausyksikkö, virtalähde ja johtosarja on sulautettu robotin rakenteeseen, joka yksinkertaistaa robotin käyttöönottoa ja käyttöä. Lisäksi robotit ovat

edullisempia kuin useat kilpailevat yhteistyörobotit. (Precise automation n.d.b; Precise automation n.d.c.)

Turvallisuusvaatimusten täyttämisen myötä sovelluksista tulee usein hitaampia ja muitakin ominaisuuksia menetetään. PF3400 on vain hieman hitaampi kuin monet teollisuusrobotit ja pystyy keskeytyksettä ja jopa hidastamatta jatkamaan tehtäviään samalla kun työntekijät voivat työskennellä vapaasti robotin välittömässä läheisyydessä. PP100 saavuttaa työskennellessään teollisuusrobotteihin verrattavan tehon säilyttäen kuitenkin yhteistyöominaisuutensa. (Precise automation n.d.b; Precise automation n.d.c.)

6 ESIMERKKEJÄ YHTEISTYÖROBOTTIEN KÄYTÖSTÄ

Yhteistyörobotteja voi hyödyntää monissa sovelluksissa. Tässä esitellään toteutuksia, jotka ovat käytössä elintarviketeollisuudessa.

6.1 Flippy - hampurilaisrobotti

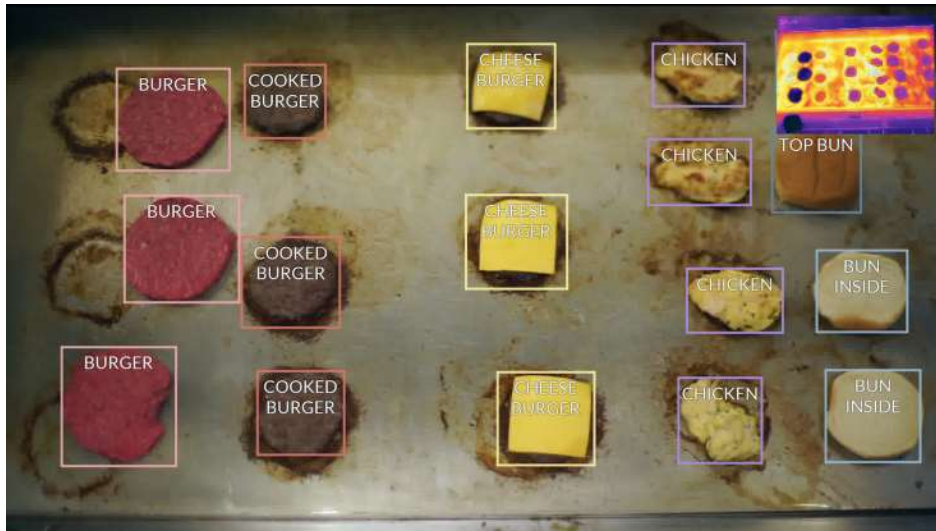
Miso Robotics ja CaliBurger kehittivät yhteistyössä hampurilaisia paistavan robotin, Flippyn (Kuva 25). Päämääränä on auttaa ravintoloita parantamaan ruuan laatua ja työntekijöiden turvallisuutta ilman suuria muutoksia keittiössä. (Kolodny 2016.)



Kuva 25. Flippy työssään. (Kolodny 2016.)

Flippy on melko pieni, renkailla varustettu vaunu, johon on asennettu kuusiakselinen robotti ja ”anturikisko”. Se voidaan sijoittaa minkä tahansa perusgrillin eteen. Flippy kerää tietoa lämpö- ja 3D-anturien sekä eri kameroiden avulla hahmottaakseen ympäristönsä. Tilaukset lähetetään digitaalisina kassalta. (Kolodny 2016.)

Muiden tehtävien ohella Flippy asettaa pihvit grilliin, tarkkailee niiden paistoaikaa ja lämpötilaa (Kuva 26), sekä ilmoittaa ihmisille, kun juustoa tai muita päällyksiä on lisättävä. Flippy myös asettaa hampurilaiset lautasille, muttei kääri niitä, eikä lisää kasviksia tai mausteita. (Kolodny 2016.)



Kuva 26. Flippyn näkymä grillistä. (Kolodny 2016.)

Miso Roboticsin tekoälyohjelma ohjaa Flippyä. Itseoppivan tekoälyn avulla Flippy pystyy oppimaan uusien ruokien valmistuksen sekä mukautumaan kausittaiseen vaihteluun. Tekoälyn ja itse vaihtamiensa työkalujen avulla Flippy kykenee ajan kuluessa valmistamaan muitakin hampurilaisravintolassa usein tarjottavia ruokia. (Kolodny 2016.)

6.2 Kanamunia pakkaava robotti

Cascina Italia käsittelee miljoonia kanamunia päivittäin. Yhteistyörobotti vapauttaa työntekijät kömpelöiden pakkausten rasittavasta käsittelystä ja lisää tuotannon joustavuutta. (Universal Robots 2018b.)

Tuoreiden elintarvikkeiden markkinat ovat ankarasti kilpailtuja ja markkinoiden vaatimuksiin pitää pystyä vastaamaan nopeasti. Sisäiset prosessit vaativat muutoksia, jotta työvoiman hyöty saatiin maksimoitua. Lisäksi tehtaalla oli hyvin vähän tilaa uusille laitteille. (Universal Robots 2018b.)

Cascina Italialle valmistettiin yhteistyössä Alumotionin kanssa yhteistyörobottisovellus, joka pakkaa laatikot pakkauslinjastolla. Robotti pakkaa kymmenen munan kennot kolme kerrallaan isoon laatikkoon jakelua varten (Kuva 27). (Universal Robots 2018b.)



Kuva 27. Munia pakkaava robotti. (Universal Robots 2018b.)

6.3 Gourmet-robotit

Atria Scandinavia valmistaa ja pakkaa kasvis- ja gourmet-tuotteita toimittaakseen niitä Pohjois-Eurooppaan. Päivittäin tuotteista etiketöidään, pakataan ja palletoidaan jakelua varten. Pakkausprosessia haluttiin virtaviivaistaa ja monien vaihtoehtojen pohdinnan jälkeen linjastolle hankittiin kolme Universal Robotsin UR10-yhteistyörobottia (Kuva 28). (Packaging World 2017; Universal Robots 2018a.)



Kuva 28. Kolme Universal Roboticsin robottia työssään. (Packaging World 2017.)

Robotit on koettu helppokäyttöisiksi ja niiden käyttöönotto saatiin tehtyä kahdessa kuukaudessa ilman koulutusta. Tähän sisältyi koko robottisovelluksen rakentaminen. Hankinta oli onnistunut, koska robotit suoriutuvat työstään ilman turva-aitoja ja työntekijät voivat säätää robotteja, kun pakattava tuote vaihtuu. Aiemmin tuotteen vaihtuessa pakkauslinjalla aikaa muutoksiin kului kuusi tuntia, nyt vaihdos tapahtuu 20:ssä minuutissa. Myös jätteiden määrää on saatu vähennettyä. (Packaging World 2017; Universal Robots 2018a.)

Atria Scandinavialla on päätetty luopua kokonaan perinteisestä teollisuusrobotista sekä tilaa vievästä pakkauslinjastosta ja siirtyä yhteistyörobotteihin. He uskovat seuraavan käyttöönoton tapahtuvan noin kahdessa viikossa. (Packaging World 2017; Universal Robots 2018a.)

7 YHTEENVETO

Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa pääsin syventämään tietojani yhteistyöroboteista. Syntyi ymmärrys yhteistyörobottien perimmäisestä luonteesta ja käyttötarkoituksesta. Yhteistyöroboteissa on valtava potentiaali. Tämä potentiaali ollaan vähitellen löytämässä ja ottamassa käyttöön. Kuitenkin löytyy vielä paljon toimijoita, joita yhteistyörobotiikka voisi hyödyttää, mutta joilla ei ole riittävästi tietoa asiasta.

Yhteistyörobottien tarkoitus ei ole korvata perinteisiä teollisuusrobotteja eikä toimia samoissa tehtävissä kuin ne. Paljolti toki nämä robotit sopivat samoihin sovelluksiin, mutta se, millaisia kappaleita niissä käsitellään ja miten kyseisiä kappaleita on tarpeen käsitellä, vaikuttaa siihen, minkälainen robotti on paras ratkaisu. Yhteistyöroboteille pitääkin löytää oikeat ja sopivat käyttökohteet, jotta niiden hyödyt saadaan aidosti käyttöön.

Yhteistyörobottien ei ole myöskään tarkoitus korvata työntekijöitä. Vaikka ne suoriutuvatkin monista tehtävistä itsenäisesti, niiden ominaisuudet ovat parhaimmillaan juuri nimensä mukaisesti yhteistyössä. Niiden on tarkoitus auttaa raskaissa työtehtävissä sekä ottaa vastuulleen tylsät ja epämieluisat tehtävät. Niiden on tarkoitus hoitaa toistavat, rasitusvammoille altistavat tehtävät. Näin työntekijät voivat tuoda työhönsä parhaat ominaisuutensa, joita roboteilla ei ole.

Pitkälle vietyjen ja yhteistyön mahdollistavien turvallisuusominaisuuksiensa vuoksi yhteistyörobotti ei välttämättä ole sovelluksissa yhtä tehokas kuin perinteinen teollisuusrobotti. Aina ei kuitenkaan ole kyse sellaisesta tehokkuudesta, jota perinteiset teollisuusrobotit tarjoavat. Tehokkuutta on esimerkiksi se, että robotti suorittaa yksinkertaisemmat kokoonpanotehtävät ihmisen apuna ja ihminen avustaa robottia tehtävissä, jotka eivät siltä onnistu luonnostaan helposti. Tehokkuutta on myös se, että robotisovellusta tai koko tuotantoa ei tarvitse pysäyttää ylläpitotehtävien ajaksi, vaan robotin työskentelyalueelle voi astua joutumatta vaaraan.

Pitää kuitenkin muistaa, että monipuolisuudestaan huolimatta yhteistyörobottia ei ole syytä laittaa mihin tahansa tehtävään. Ensisijaisesti on pohdittava, sopiiko tehtävä

robotisoitavaksi ja sen jälkeen on syytä perehtyä siihen, onko yhteistyörobotin mahdollista onnistua kyseisessä tehtävässä riittävän hyvin. Tämän lisäksi on huomioitava sovelluksesta riippuvat erityiset ominaisuudet ja se, tarvitaanko niihin liittyen ulkopuolisia turvajärjestelyjä. Erilaisia yhteistyörobotteja löytyy myös paljon. Kunkin yhteistyörobotin yksilölliset ominaisuudet huomioon ottaen tulisi valita juuri kyseiseen sovellukseen parhaiten sopiva robotti. Vai onko yhden robotin tarkoitus suorittaa useampiakin tehtäviä samassa tuotantolaitoksessa?

Yhteistyörobotiikan turvallisuusmäärittäminen on kiinnitetty paljon huomiota ja ne tulevat tarkentumaan tulevaisuudessa. Robottivalmistajat pyrkivät jatkuvasti parantamaan robottejaan ja löytämään uusia keinoja tarjota lisäarvoa asiakkailleen. Robottivalmistajien lisäksi alalta löytyy toimijoita, jotka valmistavat kaikenlaisia sovelluksiin liittyviä oheislaitteita. Tarjonta on joka suhteessa laaja, melkein kaikkiin tarpeisiin löytyy jo vastaus ja silti ala on vasta kehittymässä.

Yhteistyörobotiikka tulee kehittymään edelleen ja siirtymään alueille, joita emme vielä osaa kuvitellakaan. Sen käyttö helpottuu entisestään, uusia käyttökohteita keksitään ja robotiikka tulee arkipäiväistymään. Myös tekoäly tulee vaikuttamaan robotiikkaan valtavasti. Tulevaisuus näyttää erittäin mielenkiintoiselta.

LÄHTEET

- ABB. 2016. The future of robotics and automation depends on humans and robots working together. Viitattu 19.10.2018. <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106354A3278&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. 2018a. IRB 14050 Single-arm YuMi. Viitattu 22.10.2018. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14050-single-arm-yumi>
- ABB. 2018b. Single-arm Yumi. Viitattu 22.10.2018. <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A3807&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB. 2018c. YuMi – IRB 14000. Viitattu 18.10.2018. <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/yumi>
- ABB. 2018d. YuMi creating an automated future together. Viitattu 18.10.2018. <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106354A3254&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ASP. 2010. Robot protective covers. Viitattu 11.12.2018. <http://www.asp-protection.eu/page56-food-industry.html>
- Bélanger-Barrette, M. 2015a. 3 Best Collaborative Robot Applications. Viitattu 9.12.2018. <https://blog.robotiq.com/3-best-collaborative-robots-applications>
- Bélanger-Barrette, M. 2015b. What Does Collaborative Robot Mean? Viitattu 17.9.2018. <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>
- Bélanger-Barrette, M. 2015c. Why Are Collaborative Robots So Cheap? Viitattu 9.12.2018. <https://blog.robotiq.com/why-collaborative-robots-are-so-cheap>
- Blue Danube Robotics. 2018a. AIRSKIN® for Universal Robots UR5. Viitattu 12.12.2018. <https://www.bluedanuberobotics.com/product/airskinfor-universal-robots-ur5/>
- Blue Danube Robotics. 2018a. Products. Viitattu 11.12.2018. <https://www.bluedanuberobotics.com/product/>
- Blue Danube Robotics. 2018b. Technology. Viitattu 11.12.2018. <https://www.bluedanuberobotics.com/airskin/>
- Bosch. 2018. APAS assistant inline. Viitattu 11.12.2018. <https://www.bosch-apas.com/en/products-and-services/apas-assistant-inline/>
- Busch, N. 2018. Collaborative Robots Part 2: Benefits and Expanding Capabilities. Viitattu 8.12.2018. <https://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2017/11/16/part-two-collaborative-robot-benefits-and-capabilities/>

- Cleanroom Technology. 2016. Robot arms from Universal Robots now certified for cleanroom applications. Viitattu 11.12.2018. https://www.cleanroomtechnology.com/news/article_page/Robot_arms_from_Universal_Robots_now_certified_for_cleanroom_applications/121411
- CobotsGuide.com. 2017. Applications for cobots. Viitattu 11.12.2018. <https://cobotsguide.com/applications/>
- CobotsGuide.com. 2016. What are the best collaborative robots? Viitattu 12.12.2018. <https://cobotsguide.com/2016/06/what-are-the-best-collaborative-robots/>
- Crowther, P. 2015. YuMi – IRB 14000. Viitattu 18.10.2018. <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106354A3256&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Davids, M. 2017a. How Today's Collaborative Robots Are Cheaper Than Fenced Options. Viitattu 9.12.2018. <https://blog.robotiq.com/how-todays-collaborative-robots-are-cheaper-than-fenced-options>
- Davids, M. 2017b. The 3 Most Common Tasks Delegated to Robots in Manufacturing. Viitattu 9.12.2018. <https://blog.robotiq.com/the-3-most-common-tasks-delegated-to-robots-in-manufacturing>
- Evotec. 2018. Food industry. Viitattu 11.12.2018. <https://evotec.com.pl/en/anti-liquid-protection-for-robots/>
- Fanuc. 2018a. Collaborative robot CR-35iA. Viitattu 27.9.2018. <https://www.fanuc.eu/be/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr35ia>
- Fanuc. 2018b. Powerful and collaborative. Viitattu 12.10.2018. <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/flyer/mfl-03284-de-collaborative-cr15ia/mfl-03284-en.pdf?la=en>
- Fanuc. N.d.a. Collaborative robot brochure. Viitattu 27.9.2018. <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/brochures/collaborative-robot-brochure-de/collaborative-robot-brochure-en.pdf?la=en>
- Fanuc. N.d.b. Collaborative robot CR-15iA. Viitattu 12.10.2018. <https://www.fanuc.eu/be/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr15ia>
- Fanuc. N.d.c. Datasheet-CR35iA. Viitattu 27.9.2018. <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/collaborative%20robots/datasheet-cr35ia.pdf?la=en>
- Generation Robots. 2018. Intera v3.2 is available for Baxter robot. Viitattu 12.12.2018. <https://www.generationrobots.com/blog/en/intera-v3-2-is-available-for-baxter-robot/>
- Gonzalez, C. 2018. 7 Common Applications for Cobots. Viitattu 9.12.2018. <https://www.machinedesign.com/motion-control/7-common-applications-cobots>

Greene, M. 2018. Collaborative Robots Part 1: Pros, Cons, and Applications. Viitattu 8.12.2018. <https://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2017/11/14/collaborative-robots-part-1-pros-cons-applications/>

ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices -- Collaborative robots. 2016. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 11.12.2018. <https://www.sfs.fi/>

Kassow. N.d.a. KR1205. Viitattu 29.11.2018. <https://www.kassowrobots.com/products/kr1205/>

Kassow. N.d.b. KR1805. Viitattu 29.11.2018. <https://www.kassowrobots.com/products/kr1805/>

Kassow. N.d.c. KR810. Viitattu 29.11.2018. <https://www.kassowrobots.com/products/kr810/>

Kassow. N.d.d. Longer reach and higher payload – no matter the use. Viitattu 29.11.2018. <https://www.kassowrobots.com/products/>

Kassow. N.d.e. The benefits of a cobot from Kassow Robots. Viitattu 29.11.2018. <https://www.kassowrobots.com/benefits/>

Kassow. N.d.f. The power of robot engineering. Viitattu 2.12.2018. <https://www.kassowrobots.com/applications/>

Kassow. N.d.g. We believe in collaboration. Viitattu 4.12.2018. <https://www.kassowrobots.com/history-philosophy/>

Kolodny, L. 2016. Meet Flippy, a burger-grilling robot from Miso Robotics and Cali-Burger. Viitattu 12.12.2018. <https://techcrunch.com/2017/03/07/meet-flippy-a-burger-grilling-robot-from-miso-robotics-and-caliburger/?guccounter=1>

Kuka. 2018a. Human-robot collaboration (HRC). Viitattu 2.10.2018. <https://www.kuka.com/en-se/technologies/mensch-roboter-kollaboration>

Kuka. 2018b. LBR iiwa. Viitattu 2.10.2018. <https://www.kuka.com/en-se/products/robotics-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>

Kuka. 2017. Kuka Sensitive robotics_LBR iiwa. Viitattu 4.10.2018. https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_lbr_iiwa_brochure_en.pdf

Kuka. N.d. ii feel you. Viitattu 3.10.2018. https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/db_lbr_iiwa_en.pdf

Lazarte, Maria. 2016. Robots and humans can work together with new ISO guidance. Viitattu 19.9.2018 <https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>

Louhisola, P. 2018. Uutuuksia Robotiikassa. Seminaariesitys Satakunnan ammattikorkeakoulun NEXT2018 Robotiikkaseminaarissa 11.10.2018.

Motion Controls Robotics. 2018. Dual Check Safety Makes Fenceless Robots Possible. Viitattu 12.12.2018. <https://motioncontrolsrobotics.com/dual-check-safety-makes-fenceless-robots-possible/>

NIST. 2018. Performance of Collaborative Robot Systems. Viitattu 12.12.2018. <https://www.nist.gov/programs-projects/performance-collaborative-robot-systems>

Omron. 2018a. OMRON Corp. and Taiwan's Collaborative Robot Company Techman Robot Inc. Form Strategic Alliance On Collaborative Robots. Viitattu 7.12.2018. <https://www.omron.com/media/press/2018/05/c0514.html>

Omron. 2018b. OMRON TM Collaborative Robot. Viitattu 4.12.2018. http://www.omron.com.tw/data_pdf/cat/tm_i836-e1_1_1_csm1066064.pdf

Packaging World. 2017. Swedish food producer sold on 'cobots'. Viitattu 12.12.2018. <https://www.packworld.com/article/food/brinedpickledcured-products/swedish-food-producer-sold-cobots>

Precise Automation. N.d.a. PF3400 industrial collaborative scara robot. Viitattu 12.10.2018. http://preciseautomation.com/Brochures_Catalogs/PF3400.pdf

Precise Automation. N.d.b. PF3400 scara robot. Viitattu 12.10.2018. <http://preciseautomation.com/PF3400.html>

Precise Automation. N.d.c. PP100 Cartesian robot. Viitattu 17.10.2018. <http://preciseautomation.com/PP100.html>

Precise Automation. N.d.d. PP100 Industrial collaborative cartesian robot. Viitattu 17.10.2018. http://preciseautomation.com/Brochures_Catalogs/PP100.pdf

Precise Automation. N.d.e. What is a collaborative robot? Viitattu 15.10.2018. <http://preciseautomation.com/Collaborative.html>

Quanta Storage Inc. N.d.a. About us. Viitattu 7.12.2018. <http://tm-robot.com/About.php>

Quanta Storage Inc. N.d.b. Techman Robot. Viitattu 7.12.2018. <http://tm-robot.com/>

Quanta Storage Inc. N.d.c. TM Robot. Viitattu 7.12.2018. <http://tm-robot.com/TM5.php>

Rethink robotics. 2018a. Clicksmart. Viitattu 23.10.2018. <https://www.rethinkrobotics.com/accessories/>

Rethink robotics. 2018b. CNC Machine Tending. Viitattu 23.10.2018. <https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/manufacturing-applications-cnc-machining/>

Rethink robotics. 2018c. Co-Packing & End-of-Line Packaging. Viitattu 23.10.2018. <https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/applications-packaging/>

Rethink robotics. 2018d. Collaborative Robots. Viitattu 23.10.2018.
<https://www.rethinkrobotics.com/smart-collaborative-difference/>

Rethink robotics. 2018e. Metal Stamping & Press Tending. Viitattu 23.10.2018.
<https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/manufacturing-applications-metal-fabrication/>

Rethink robotics. 2018f. PCB Handling & ICT. Viitattu 23.10.2018.
<https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/manufacturing-applications-pcb-handling-ict/>

Rethink robotics. 2018g. Pick & Place. Viitattu 23.10.2018. <https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/applications-loading-unloading/>

Rethink robotics. 2018h. Plastic Injection & Blow Molding. Viitattu 23.10.2018.
<https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/manufacturing-applications-molding-operations/>

Rethink robotics. 2018i. Sawyer. Viitattu 22.10.2018. <https://www.rethinkrobotics.com/sawyer/>

Rethink robotics. 2018j. Sawyer datasheet. Viitattu 22.10.2018.
https://www.rethinkrobotics.com/wp-content/uploads/2018/08/Sawyer_Datasheet-August-18.pdf

Rethink robotics. 2018k. Testing & Quality Inspection. Viitattu 23.10.2018.
<https://www.rethinkrobotics.com/manufacturing-solutions/manufacturing-applications-test-inspection/>

Robo-Gear. N.d. Your one stop for the well-dressed robot! Viitattu 11.12.2018.
<http://robo-gear.com/>

Robotiq. 2018. Part-1 Getting Started with Collaborative Robots. Viitattu 10.12.2018. <https://blog.robotiq.com/hubfs/Getting-Started-Bundle.zip?hsLang=en-ca&t=1543374789968>

Robotiq. N.d.a. Cobots ebook. Viitattu 8.12.2018. <https://blog.robotiq.com/hubfs/COBOT%20EBOOK%20FINAL.pdf>

Robotiq. N.d.b. ISO/TS 15066 Explained. Robotiq blog. N.d. Viitattu 20.9.2018.
<https://blog.robotiq.com/hubfs/eBooks/ebook-ISOTS15066-Explained.pdf?hsLang=en-ca&t=1537408292953>

RobotWorx. 2018. Cleanroom robots. Viitattu 11.12.2018. <https://www.robots.com/applications/cleanroom>

Roboworld. 2018a. Robosuits. Viitattu 11.12.2018. <https://roboworld.com/robosuits/>

Roboworld. 2018b. Robosuit applications. Viitattu 11.12.2018.
<https://roboworld.com/robosuits/applications/>

Roel, C. 2017. Know your machine: Industrial robots vs. cobots. Viitattu 8.12.2018. <https://blog.universal-robots.com/know-your-machine-industrial-robots-vs.-cobots>

SFS-EN ISO 10218-1 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. 2013. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 19.9.2018. <https://www.sfs.fi/>

SFS-EN ISO 10218-2:2011 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. 2017. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS. Viitattu 19.9.2018. <https://www.sfs.fi/>

Smith, N. 2018. Cobots and Industrial Robots: Choose the Right Robot for the Job. Viitattu 11.12.2018. <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/md/features/28809>

Techman Robot Inc. N.d. TM12/TM14. Viitattu 7.12.2018. http://tm-robot.com/downloads/TM_Robot_Spec_EN.rar

Twitter. 2018. KUKA, Viitattu 12.12.2018. https://twitter.com/kuka_roboticsen/status/953355443413413893

Universal Robots. 2018a. Atria Scandinavia. Viitattu 12.12.2018. <https://www.universal-robots.com/case-stories/atria/>

Universal Robots. 2018b. Cascina Italia. Viitattu 12.12.2018. <https://www.universal-robots.com/case-stories/cascina/>

Universal Robots. 2018c. Collaborative robots from Universal Robots. Viitattu 7.12.2018. <https://www.universal-robots.com/products/>

Universal Robots. 2018d. We proudly present the new e-series. Viitattu 7.12.2018. <https://www.universal-robots.com/e-series/>

Universal Robots. N.d.a. e-Series from universal Robots. Viitattu 7.12.2018. <https://www.universal-robots.com/media/1802432/e-series-brochure.pdf>

Universal Robots. N.d.b. UR5e technical details. Viitattu 7.12.2018. https://www.universal-robots.com/media/1802778/ur5e-32528_ur_technical_details_.pdf

Westmoreland, J. 2018. Reasons for collaborative robots in non-traditional industries. Viitattu 8.12.2018. <https://blog.universal-robots.com/reasons-for-collaborative-robots-in-non-traditional-industries>

Youtube. 2017. Collaborative Dual Palletizing Cell with FANUC CR-35iA Collaborative Robot - ESS Technologies. Viitattu 12.12.2018. <https://www.youtube.com/watch?v=FNbuIjYtWSk>