

Pyry Välimäki

YHTEISTYÖROBOTIIKKA- HARJOITUKSEN OPPIMIS- TAVOITTEET

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Tammikuu 2020

TIIVISTELMÄ

Pyry Välimäki: Yhteistyörobotiikkaharjoituksen oppimistavoitteet
Tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma
Tampereen yliopisto
Konetekniikka
Tammikuu 2020

Yhteistyörobotiikan keskeinen ero perinteiseen teollisuusrobotiikkaan on ihmisen ja robotin jonkinasteinen yhteistoiminta. Yhteistyörobotiikassa ihminen ja robotti suorittavat yhteistä työtehtävää standardien ja konedirektiivin mahdollistamilla tavoilla. Työssä kehitetyssä harjoituksessa keskitytään teollisuusrobotiikan ja yhteistyörobotiikan keskeisiin piirteisiin toiminnassa, turvallisuusvaatimuksissa ja toimintaympäristön työskentelyta-voissa.

Tässä kandidaatin työssä on tarkoituksena käsitellä teollisuusrobotiikan keskeisiä piirteitä ja vertailla perinteistä teollisuusrobotiikkaa yhteistyörobotiikkaan. Työn teoriaosuudessa olevassa kirjallisuuskatsauksessa perehdytään teollisuusrobotiikkaan yleisesti ja syvennytään yhteistyörobotiikkaan erilaisten turvallisuusmääräysten ja standardien kautta. Varsinaisessa kokeellisessa osuudessa kehitetään robotiikkalajien vertailun tuloksena yhteistyörobotiikkaan liittyvä harjoitus. Harjoituksen suoritusvaatimuksia kuvataan oppimistavoitteina, jotka suoritettuaan opiskelijat ymmärtävät yhteistyörobotiikan keskeiset erot ja yhtäläisyydet perinteiseen teollisuusrobotiikkaan nähden.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEOLLISUUSROBOTIIKKA.....	3
2.1 Teollisuuden robotit.....	3
2.2 Yhteistyörobotit	6
2.2.1 Käyttö ja sovellukset	8
3. TURVALLISUUSNÄKÖKULMAT	10
3.1 Konedirektiivi ja standardit	10
3.2 Turvallisuustoiminnot	11
3.2.1 Törmäystunnistus.....	11
3.2.2 Pysäytystoiminnot	11
3.3 Standardien mahdollistamat yhteistyötavat	12
3.3.1 Turvaluokiteltu valvottu pysäytys.....	12
3.3.2 Käsin ohjaaminen	13
3.3.3 Nopeuden ja etäisyyden valvonta	14
3.3.4 Tehon ja voiman rajoitus	15
4. HARJOITUSTYÖ	17
4.1 Oppimistavoitteiden määrittäminen	17
4.2 Teoriaosuus	17
4.3 Käytännön harjoitus	17
5. YHTEENVETO.....	19
LÄHTEET	20
LIITE A:	22

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABB = ruotsalais-sveitsiläinen teollisuuskonserni

GM = General motors

RIA = Robotics industries association

UR = Universal Robots

1. JOHDANTO

Perinteiset teollisuusrobotit ovat olleet osa valmistavaa teollisuutta jo vuosikymmenet (Hazarika & Dixit 2018). Teollisuusrobotit ovat pääasiassa olleet käytössä suojaetuissa tiloissa, ilman valmiuksia yhteistyöskentelyyn ihmisten kanssa (ISO/TS 15066:2016 2016). Robotiikan nopean kehityksen johdosta ja standardien uudistuttua on tavanomaisten teollisuusrobottien rinnalle yleistynyt yhteistyöskentelyyn soveltuvia yhteistyörobotteja, joita pidetäänkin joustavina tuotantoratkaisuina teollisuuskäytössä (Ajoudani et al. 2018).

Tiivistetysti yhteistyörobotit ovat robotteja, jotka kykenevät yhteistyöskentelyyn ihmisen kanssa samassa toimintaympäristössä (SFS-EN ISO 10218-2 2011). Toimintaympäristöllä voidaan esimerkiksi tarkoittaa valmistavan teollisuuden tuotantosolua, jossa ihminen ja robotti työskentelevät yhdessä. Yhteistyön tarkoituksena on saavuttaa joustavia tuotantoratkaisuja, jotka edistävät ihmisen ja robotin vahvuuksia. Esimerkiksi tuottavuutta voidaan parantaa yhdistämällä ihmisen tarkkuus ja mukautuvuus yhteistyörobotin tehoon ja toistettavuuteen.

Yhteistyörobotiikan käytön pääkohtana teollisuudessa ovat tuottavuuden, turvallisuuden ja laadun kehittäminen (Cherubini et al. 2016). Esimerkiksi BMW:n tehtaalla tavanomaisesta teollisuusympäristöstä yhteistyörobotiikkaan siirryttäessä, huomattiin tuottavuudessa jopa 85% nousu (David 2016). Tuottavuuden nousun ohella tavanomaisesti ihmisen suorittamat toistuvat työtehtävät myös vähenevät ja työntekijöiden terveys kohenee kuormittavan rasituksen vähentyessä.

Ihmisen ja robotin yhteistyöskentelyn mahdollistavina tekijöinä ovat erilaiset standardit, joiden turvallisuusvaatimusten myötä yhteistyö on turvallista. Standardeissa määritellyissä yhteistyötavoissa on erilaisia vaatimuksia eritasoisille ihmisen ja robotin yhteistyöasteille. (ISO/TS 15066:2016 2016)

Tämän kandidaatin työn tarkoituksena on selvittää teollisuudessa käytettävien yhteistyörobottien ominaisuuksia, turvallisuusvaatimuksia ja keskeisiä eroja tavanomaiseen teollisuusrobotiikkaan nähden. Työn toisessa luvussa esitellään tavanomaisen teollisuusrobotin ominaisuuksia ja käyttökohteita verraten näitä yhteistyörobotteihin. Kolmannessa luvussa käsitellään standardien ja direktiivien kautta

yhteistyörobotiikan turvallisuusnäkökulmia. Edellisten lukujen pohjalta, työn neljännessä luvussa kehitetään robotiikkalajien vertailun tuloksena yhteistyörobotiikkaan liittyvä harjoitus, jonka suoritettuaan opiskelijat ymmärtävät yhteistyörobotiikan keskeiset erot ja yhtäläisyydet perinteiseen teollisuusrobotiikkaan nähden.

2. TEOLLISUUSROBOTIIKKA

2.1 Teollisuuden robotit

Perinteisen valmistavan teollisuuden kehittäminen oli nopeaa 1950-luvun jälkeen. Nopea kehitys ajoi yritykset investoimaan tuotantoon, mahdollistaen ensimmäisten teollisuusrobottien synnyn. Ensimmäinen teollisuusrobotti Unimate tuli käyttöön General Motorsin autotehtaaseen vuonna 1961, jossa robottia käytettiin ensin materiaalin käsittelyyn ja myöhemmin vuonna 1969 hitsaukseen (Hazarika & Dixit 2018).



Kuva 1. Teollisuusrobotti Unimate (IEEE)

Teollisuusrobottien tehtävät olivat alkuajoina melko yksinkertaisia johtuen robottien vähäisestä tarkkuudesta. Robotit suorittavat pääasiassa pick-and-place- tehtäviä materiaalin käsittelyssä ja avustivat ihmistä painavien kappaleiden nostamisessa. Tarkkuuden parannuttua 1970-luvulla teollisuusrobottien tehtävät laajenivat materiaalin muokkaukseen sekä kappaleiden kokoonpanoon. (Siciliano & Khatib 2016)

Teollisuusrobottien käyttökohteiden lisääntyessä robottien yksikkömäärätkin kasvoivat ja yhä useammassa valmistavan teollisuuden tehtaassa oli käytössä teollisuusrobotti. Teollisuusroboteilla saavutettiin laadun paranemista ja merkittävää tuotantomäärien nousua. Esimerkiksi yhdysvaltalainen autovalmistaja GM pystyi teollisuusrobottien avulla tuottamaan autoja kaksi kertaa tavallista tehdasta nopeammin (Robotic Industries Association 2019).

Teollisuusrobottien käytön lisääminen näkyi myös tehtaiden työntekijöiden terveyden kohenemisena. Entiset toistuvat ja fyysisesti rasittavat työtehtävät siirtyivät ihmisiltä roboteille, jolloin ihmiset pystyivät siirtymään soveltuvimpiin tehtäviin. Esimerkiksi valmistavassa teollisuudessa ihmisen työtehtävät liittyivät yhä useammin robotin valvomiseen ja ohjaamiseen, kuin itse fyysiseen työhön. Seuraavassa kuvassa on ABB:n IRB-6 teollisuusrobotti.



Kuva 2. IRB-6 (ABB)

Teollisuusrobottien kehittyä robottien nivelien määrä ja ulottuvuudet kasvoivat merkittävästi. 1970-luvulla valmistetut moniniveliset robotit muistuttavatkin merkittävästi 2000-luvulla käytettäviä teollisuusrobotteja. Esimerkiksi kuvassa 2 esitellystä vuonna 1974 valmistetusta IRB-6:sta löytyy paljon samoja piirteitä, 2013 valmistetusta IRB-6700 mallista. Seuraavassa kuvassa on ABB:n IRB-6700 teollisuusrobotti.



Kuva 3. IRB-6700 (ABB)

Vaikkakin teollisuusrobottien käyttökohteet teollisuudessa ovat pysyneet melko samoina vuosien ajan, ovat robottien tehokkuus ja tarkkuus ottaneet suuren kehitysaskelen vuosien varrella lisäten mahdollisten käyttökohteiden määrää. Nykyisin tavanomaiset teollisuusrobotit soveltuvat usealle teollisuuden alalle materiaalinkäsittelystä kappaleiden viimeistelyyn, jossa vaaditaan erityistä tarkkuutta. Seuraavassa luettelossa havainnollistetaan teollisuusrobottien nykyisiä käyttökohteita.

1. Materiaalin käsittely
 - Kappaleiden siirto
 - Pakkaaminen
2. Hitsaus
 - Kaarihitsaus
 - Pistehitsaus
3. Materiaalin työstö
 - Leikkaus
 - Hionta
4. Maalaus
5. Kokoonpano
6. Pintojen tiivistys ja liimaus

Luettelossa esitellyt käyttökohteet ovat teollisuusrobottien yleisimpiä käytössä olevia kohteita. Lueteltujen käyttökohteiden lisäksi teollisuusrobotteja käytetään muissakin teollisuuden sovelluksissa, kuten esimerkiksi laadun tarkkailussa. (ABB 2019)

Teollisuusrobottien käyttö tehdasympäristössä on kuitenkin melko joustamatonta johtuen erilaisten turvallisuusmääräysten ja direktiivien aiheuttamasta kankeudesta. Esimerkiksi tavanomaisen robotin käyttö tuotantosolussa ei salli ihmisen läsnäoloa robotin läheisyydessä robotin automaattisen toiminnan aikana (SFS-EN ISO 10218-1 2011; SFS-EN ISO 10218-2 2011). Robotin turvallisuusvaatimukset ovat kuitenkin välttämättömiä turvallisen työskentelyn mahdollistamiseksi. Tavanomaisten teollisuusrobottien rinnalle on kuitenkin yleistynyt yhteistyökäyttöön soveltuvia yhteistyörobotteja, jotka mahdollistavat joustavat tuotantoratkaisut yhdessä ihmisen kanssa.

2.2 Yhteistyörobotit

Ensimmäisten yhteistyökykyisten laitteiden kehittäminen alkoi 1980-luvulla yhdysvaltalaisien autovalmistajien toimesta, jotka hakivat ratkaisua työntekijöidensä terveysongelmiin. Terveysongelmat johtuivat ergonomian puutteesta autojen tuotannossa, jossa työntekijät joutuivat nostamaan raskaita taakkoja huonoissa asennoissa. Apua ongelman ratkaisemiseen haettiin yhdysvaltalaisilta yliopistoilta, joiden tutkijoiden avustuksella kehitettiin ensimmäisiä yhteistyökykyisiä laitteita. Näitä laitteita aloitettiin lopulta kutsumaan yhteistyöroboteiksi. (Robotic Industries Association 2019) Seuraavasta kuvasta havainnollistetaan ensimmäisten yhteistyökäyttöisten laitteiden toimintaa.



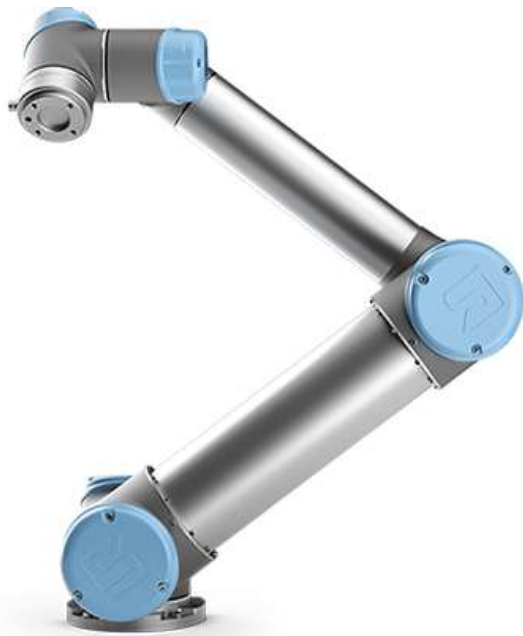
Kuva 4. Yhteistyökäyttöinen Z-nostin (Pittman)

Yhteistyökäyttöön suunnitellut laitteet ratkaisivat tuotannon ongelmat ja mahdollistivat samalla teollisen tuotannon kehittymisen joustavaan suuntaan. Valmistavan teollisuuden yhteistyörobottien käyttö alkoi yleistyä vakiinnuttaen myöhemmin asemansa myös muilla teollisuuden aloilla.

Teollisuudessa käytettävien yhteistyörobottien käytön pääkohtana onkin tehdä tuotannosta joustavaa sekä tehokasta. Tällaiset tuotantojärjestelmät syntyvätkin useimmiten yhdistämällä ihmisen ja robotin vahvuudet, kuten yhteistyörobottien kanssa tehtiin jo ensimmäisten yhteistyörobottien kehitysvaiheessa (Pittman 2016). Myöhemmin

yhteistyöominaisuuksia alettiin soveltamaan myös tavanomaisten teollisuusrobottien tyylisiin robottikäsiin.

Ensimmäisten teollisuusrobotin tyyppiset yhteistyörobotit tulivat markkinoille tanskalaisen Universal Robotsin toimesta vuonna 2008. Ensimmäisen UR-5 yhteistyörobotin julkaisua edelsi kuitenkin 3-vuoden kehitystyö vuosina 2005-2008, jonka aikana ratkaistiin merkittävimmät yhteistyörobottien haasteet liittyen robotin käyttäjien turvallisuuteen. UR-5 yhteistyörobotin suunnittelun pääkohtina olivat keveys, joustavuus, yhteistyökykyisyys sekä käyttäjäystävällisyys. (Pittmann 2016) Yhteistyörobottivalmistajista Universal robotsin jälkeen markkinoille tulivat myös monet muut valmistajat, joista mainittakoon ABB ja Fanuc. Seuraavassa kuvassa on UR-5 yhteistyörobotti.



Kuva 5. UR-5 yhteistyörobotti (Universal Robots)

Yhteistyörobottien yksi vahvimmista ominaisuuksista verrattuna tavanomaiseen teollisuusrobottiin on sen alhainen hankintahinta. Pienet hankintakustannukset mahdollistavat pienempienkin yritysten robottihankinnat ilman suuria investointiongelmia. Esimerkiksi edellisessä olevan UR-5 yhteistyörobotin saa hankittua itselleen noin 50000:lla eurolla riippuen robottiin hankittavasta varustuksesta. Jos samankokoisen teollisuusrobotin hankintahintaa verrataan yhteistyörobotin hintaan, voi hinta olla jopa kolminkertainen johtuen teollisuusrobottiin pakollisena hankittavien turvallisuusvarustusten määrästä. (Robotiq 2019)

2.2.1 Käyttö ja sovellukset

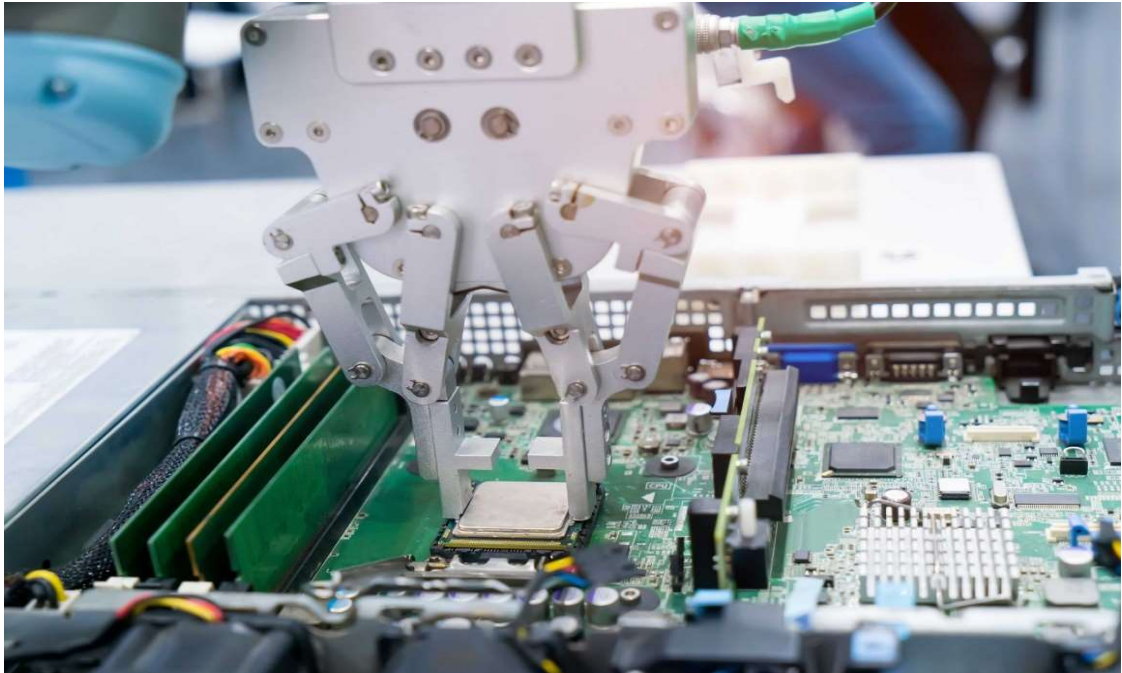
Yhteistyörobottien kehittyä tavanomaisten teollisuusrobottien mallisiksi alkoivat yhteistyörobottien määrät lisääntymään teollisuudessa ja yhä useammin teollisuushallin lattialta löytyy yhteistyörobotti tavanomaisen teollisuusrobotin sijaan. Yhteistyörobottien määrien lisääntyminen mahdollistaa robottien käyttökohteiden sekä sovellusten monipuolistumisen. Tämä on nähtävissä esimerkiksi valmistavassa teollisuudessa, jossa yhteistyörobotti voi työskennellä ihmisen kanssa samassa tuotantosolussa, jolloin kappaleen valmistamisesta tulee joustavampaa ja tehokkaampaa. Yhteistyörobotit siis pyrkivät mahdollistamaan tuotantoratkaisut, joissa pystytään yhdistämään robotin sekä ihmisen vahvuudet ja karsimaan mahdolliset heikkoudet.

Yhteistyörobottien käyttökohteet ovat pysyneet melko samoina kuin tavanomaisten teollisuusrobottien, vaikkakin robottien yhteistyökykyisyyden myötä on roboteille tullut teollisuudessa uusiakin käyttökohteita. Lähtökohtaisesti yhteistyörobotteja kuitenkin pyritään käyttämään nimensä mukaisesti yhdessä ihmisen kanssa, vaikka ne pystyvätkin toimimaan itsenäisesti tavanomaisten teollisuusrobottien tavoin. Yhteistyörobotit pystyvät toimimaan esimerkiksi tehtävissä cnc-työkoneiden hoitajana, materiaalityöstösolussa, piirilevyteollisuudessa ja tuotteiden laatutestauksessa. (Hull 2019) Seuraavassa kuvassa yhteistyörobotti poistaa työstettyä kappaletta cnc-työkoneelta.



Kuva 6 Yhteistyörobotti cnc-solussa (Hull)

Yhteistyön parhaat puolet pääsevät esille esimerkiksi elektroniikkakomponenttien valmistuksessa. Elektroniikkakomponentit sijoitetaan piirilevylle robotin toimesta, jolloin komponenttien siirrossa ei tule virheitä ja valmistuksen laatu paranee. Siirron jälkeen robotin kanssa samassa solussa työskentelevä ihminen kiinnittää komponentit piirille. Yhteistyön avulla valmistuksesta saadaan tehokasta, kun pystytään yhdistämään robottien toistettavuus ihmisen joustavuuteen. Seuraavassa kuvassa yhteistyörobotti sijoittaa komponentteja piirilevylle.



Kuva 7 UR-5 yhteistyörobotti elektroniikkateollisuudessa (RIA)

Vaikka ihmisen ja robotin työskentelyssä samassa tuotantosolussa liittyy usein turvallisuuteen liittyviä riskejä, on riskit yritetty minimoida erilaisten turvallisuusmääräysten ja asetusten avulla. Yhteistyörobotteja koskevia turvallisuusasioita käsitellään seuraavassa luvussa 3.

3. TURVALLISUUSNÄKÖKULMAT

Robottiikan teollisuuskäytön lisääntyessä voimakkaasti, tulee robotiikan turvallisuusvaatimukset huomioida yhä tarkemmin. Turvallisuuteen liittyvät direktiivit, standardit sekä robotiikan turvallisuustoiminnot, joita käsitellään seuraavissa kappaleissa. Turvallisuuden vaatimuksiin on luotu direktiivien pohjalta standardeja, joiden tarkoituksena on minimoida robotiikan sovelluksissa esiintyvät riskit. Standardit taas määrittelevät käytettävät turvallisuustoiminnot sekä perinteiselle teollisuusrobotiikalle, että yhteistyökäyttöön soveltuville yhteistyöroboteille.

3.1 Konedirektiivi ja standardit

Robottien suunnittelussa ja käytössä tulee ottaa huomioon EU:n konedirektiivin 2006/42/EY mukaiset vaatimukset. Konedirektiivi otettiin Suomessa käyttöön vuonna 2008 mahdollistaen yhdenmukaiset käytännöt robottien valmistajille koko EU:n alueella. Käytännöt kohdistuvat suunnitteluun, valmistamiseen sekä terveys- ja turvallisuusvaatimuksiin. (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto 2019) Vaatimukset pätevät perinteisille teollisuusroboteille sekä yhteistyökäyttöön suunnitelluille yhteistyöroboteille. Konedirektiivin pohjalta tehdyt robotiikan standardit noudattavatkin direktiivissä 2006/42/EY asetettuja vaatimuksia ja määräyksiä.

Standardit ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 julkaistiin vuonna 2011 edistämään teollisuusrobotiikan ja teollisuusrobotijärjestelmien turvallisuutta. Turvallisuuden ohella standardeista löytyy tietoa suunnittelusta, toimintatavoista sekä teollisuusrobotiikan riskeistä ja niiden poistamisesta. Perinteisen teollisuusrobotiikan lisäksi standardit ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 sisältävät perustietoa yhteistyörobotiikasta. (SFS-EN ISO 10218-1 2011; SFS-EN ISO 10218-2 2011)

Yhteistyörobotiikan erityisvaatimusten tarkentamiseen kehitettiin vuonna 2016 standardi ISO/TS 15066. Standardissa perehdytään tarkemmin yhteistyörobotin yhteistyötilan vaatimuksiin sekä yhteistyörobotiikan mahdollisiin yhteistyötapoihin, joita käsitellään tarkemmin luvussa 3.3. Kaikkien yhteistyötapojen mahdollistamiseksi standardi pyrkii laajemman riskiarvion kautta takaamaan ihmiselle turvallisemmat työskentelyolosuhteet yhteistyöalueella (David 2016).

3.2 Turvallisuustoiminnot

Standardeissa ISO 10218-1, ISO 10218-2 ja ISO/TS 15066 määritellään vaatimuksia yhteistyörobotiikan turvallisuustoiminnoille. Toiminnot mahdollistavat robotin pysäytyksen sekä liikkeen havaitsemisen riippumatta käytössä olevasta yhteistyötavasta.

3.2.1 Törmäystunnistus

Robotin törmäystunnistus voidaan toteuttaa monilla eri tavoilla. Törmäystunnistuksen päätehtävänä on kuitenkin havainnoinnin avulla ennaltaehkäistä mahdollisia vaaratilanteita sekä pienentää yhteistyöalueen riskiä. Törmäystunnistus toteutetaan yleisesti hyödyntämällä robotin toimilaitteiden anturointia sekä havaitsemalla ihmisen liikkeitä.

Toimilaitteiden anturoinnin avulla kyetään havaitsemaan ihmisen ja robotin mahdollinen kontakti sekä rajoittamaan robotin toimintoja törmäyksen tapahtuessa. Törmäyksen tunnistusta käytetäänkin tehon ja voiman rajoituksen yhteistyötavassa, jossa on tarkoituksena havaita törmäykset sekä tehdä niistä turvallisia (ISO/TS 15066:2016 2016).

Liikkeen havainnoinnissa on tarkoituksena mitata ihmisen ja robotin välistä etäisyyttä, jonka avulla robotin liikettä voidaan säätää automaattisesti erilaisten ohjausalgoritmien avulla (Mauro et al. 2018). Esimerkiksi ihmisen tullessa liian lähelle robottia, robotti kykenee hidastamaan liikkeensä turvalliseksi ennen mahdollista kontaktia. Liikkeen tunnistusta käytetään nopeuden ja etäisyyden yhteistyötavassa, jossa etäisyyden tunnistaminen on välttämätöntä.

3.2.2 Pysäytystoiminnot

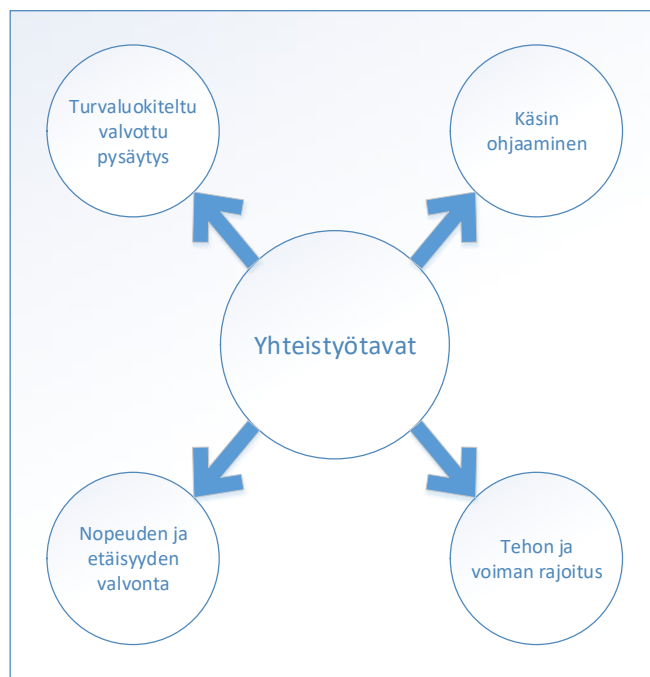
Yhteistyörobotiikan sovelluksissa tärkeänä osana ovat robotin pysäytystoiminnot. Pysäytystoiminnot mahdollistavat yhteistyörobottien käyttötilanteet, joissa vaaditaan robotin pysähtymiseen erilaisia menetelmiä. Pysäytystoimintoihin liittyy ohjelmallisen toteutuksen lisäksi fyysisiä turvallisuuden keinoja kuten hätäpysäytyspainikkeet, joilla ihminen voi pysäyttää robotin liikkeen vaaratilanteen aiheutuessa.

Yhteistyöroboteista tulee löytyä yhteistyötilanteisiin sopiva suojauspysäytys sekä itsenäisesti toimiva hätäpysäytys vaaratilanteiden varalle (SFS-EN ISO 10218-1 2011). Suojauspysäytyksen tarkoituksena on pysäyttää robotin liike suojatakseen samassa

tilassa työskentelevää ihmistä aiheutuville vaaroille, mutta välttää yhteistyötehtävän merkittävä keskeytyminen.

3.3 Standardien mahdollistamat yhteistyötavat

Standardeissa ISO 10218-1 ja ISO/TS 15066 määritellään robottien mahdolliset yhteistyötavat. Yhteistyötavat eroavatkin toisistaan erilaisten turvallisuusvaatimusten kautta. Mahdolliset yhteistyötavat ovat turvaluokiteltu valvottu pysäytys, käsin ohjaaminen, nopeuden ja etäisyyden valvonta sekä tehon ja voiman rajoitus. Standardien mukaan vähintään yhtä neljästä yhteistyötavasta on käytettävä, jotta ihminen ja robotti kykenevät työskentelemään turvallisesti erilaisissa yhteistyörobotiikan sovelluksissa. (SFS-EN ISO 10218-1 2011; ISO/TS 15066:2016 2016) Seuraavassa kuvassa havainnollistetaan yhteistyörobotiikan yhteistyötapoja.



Kuva 8. Yhteistyörobotiikan yhteistyötavat

3.3.1 Turvaluokiteltu valvottu pysäytys

Turvaluokitellussa valvotussa pysäytyksessä turvallisuus varmistetaan estämällä robotin liike yhteistyöalueella, ennen kuin ihminen ehtii alueelle. Yhteistyöalueen ollessa tyhjä

robotin sallitaan toimivan automaattisesti ilman standardista ISO/TS 15066 löytyviä yhteistyötapojen vaatimia turvallisuusvaatimuksia. (ISO/TS 15066:2016 2016)

Robottien yhteistyötilasta tulee löytyä turvaluokitellut laitteet, joilla ihmisen kulku yhteistyöalueelle voidaan havaita tai estää. Ihmisen liikettä voidaan havainnoida käyttämällä esimerkiksi turvavaloverhoja, jotka liikkeen havaitessaan pysäyttävät robotin liikkeen yhteistyöalueella. Vaihtoehtoisesti robotin yhteistyöalue voidaan rajata käyttämällä fyysisiä esteitä, kuten turvahäkkeitä, turvaseiniä ja avauksen tunnistavia ovia. Ihmisen poistuessa yhteistyötilasta robotti kykenee jatkamaan toimintaansa automaattisesti. (ISO/TS 15066:2016 2016)

Turvaluokiteltua valvottua pysäytystä käytetäänkin robotiikan sovelluksissa, joissa robotin yhteistyöalueelle tulee päästä nopeasti suorittamaan jokin toiminto ilman että robotin työskentely keskeytyisi merkittävästi. Tällainen tilanne syntyykin useasti robotin työkalun vaihdossa tai robotin käsittelemän kappaleen vaihdossa, jossa yhteistyöalueella liikkuminen on pakollista. Seuraavassa kuvassa havainnollistetaan turvaluokitellun valvotun pysäytyksen yhteistyötappaa.



Kuva 9. Turvaluokiteltu valvottu pysäytys (Schunk)

3.3.2 Käsien ohjaaminen

Käsien ohjaamisen yhteistyötavassa liikkeen ohjaus tapahtuu käsin opastamalla, jossa robotin liike määräytyy robotille opastettujen liikeratojen mukaisesti (ISO/TS 15066:2016

2016). Käsin ohjaamista käytetään useimmiten painavien ja isojen kappaleiden siirtämiseen, jolloin kappaleen koordinointi ihmisen avustamana on helpompaa.

Ennen käsin ohjaamista tulee robotti ja sen yhteistyötila riskiarvioida ihmisen turvallisuuden takaamiseksi. Riskiarviossa robotille määritetään turvallinen liikenopeus, liikerajat ja rajoitetaan liikkeentunnistuksella ihmisen pääsy yhteistyöalueelle. Liikenopeuden rajoittamisella pyritään robotin aiheuttaman liike-energian pienentämiseen ja robotin liikkeen rajoittamisella estetään ihmisen mahdollinen puristuminen yhteistyöalueella. (SFS-EN ISO 10218-1 2011)

Käsin ohjaamisen mahdollistamiseksi tulee robotin ensin suorittaa turvaluokiteltu valvottu pysäytys, jonka jälkeen ihminen voi siirtyä opastamaan robottia yhteistyöalueelle. Robottia ohjatessa käyttäjällä tulee olla hallussaan samanaikaisesti myös robotin käsiohjain, jolla varmistetaan käyttäjän turvallisuus yhteistyöalueella. Jos ote irrotetaan ohjainlaitteen 3-asentoisesta sallintakytkimestä robotin liikuttamisen aikana, tulee robotin suorittaa turvaluokiteltu valvottu pysäytys. Ihmisen poistuttua yhteistyöalueelta robotti voi jatkaa toimintaansa automaattisesti. (ISO/TS 15066:2016 2016)

3.3.3 Nopeuden ja etäisyyden valvonta

Nopeuden ja etäisyyden valvonnan yhteistyötavassa robotin liike määräytyy sille asetetun ohjelman perusteella. Ohjelma mukautuu käyttäjän liikkeen perusteella yhteistyöalueella, varmistaen käyttäjän turvallisuuden.

Robotti pyrkii pitämään asetettujen parametrien mukaiset nopeuden ja etäisyyden arvot. Asetetut arvot voivat olla vakioita tai muuttua toistensa suhteen, jolloin asetusarvoilla pystytään vaikuttamaan robotin nopeuteen eri etäisyyden arvoilla. Ihmisen ollessa kaukana robotista, robotti kykenee nopeisiin liikkeisiin, mutta ihmisen lähestyessä robottia sen nopeus hidastuu ja täten ihmisen on turvallista olla lähellä robottia alennetulla nopeudella. Näin saavutetaan nopea ja turvallinen työskentely yhteistyöalueella. (ISO/TS 15066:2016 2016)

Robotin suhteellisen nopeuden ja etäisyyden asetusarvot tulee määrittää riskiarvioinnissa, jolla varmistetaan robotin käyttäjän turvallisuus yhteistyötilassa. Jos mitatut arvot poikkeavat asetusarvoista, robotti suorittaa turvaluokitellun valvotun pysäytyksen. (SFS-EN ISO 10218-1 2011). Seuraavassa kuvassa on havaintoesimerkki nopeuden ja etäisyyden valvonnan yhteistyötavasta.



Kuva 10. Nopeuden ja etäisyyden valvonta (Schunk)

3.3.4 Tehon ja voiman rajoitus

Tehon ja voiman rajoituksen yhteistyötavassa ihminen työskentelee robotin kanssa yhteistyöalueella ilman etäisyysrajoitteita. Etäisyysrajoitteiden puuttuessa ihmisen turvallisuus yhteistyöalueella tulee varmistaa muilla keinoilla. Käyttäjän turvallisuus varmistetaan riskiarviossa, jossa kartoitetaan robotin aiheuttamat riskit yhteistyöalueella. Riskiarviossa määritettyjen parametrien avulla yhteistyörobotin aiheuttamat riskit minimoidaan aktiivisesti käyttäen robotin ohjelmallista ohjausta tai passiivisesti robotin fyysistä ulkomuotoa mukauttamalla. (ISO/TS 15066:2016 2016)

Aktiivisen turvallisuuden mahdollistamiseksi robottiin on asennettu antureita, joista saadun datan avulla robotin tehoa ja voimaa voidaan rajoittaa. Tehon ja voiman rajoituksella toimivat yhteistyörobotit suunnitellaankin kontaktiin jo suunnittelun riskiarviossa, jossa teholle ja voimalle määritetään maksimiarvot erilaisiin kontaktitilanteisiin. Mahdollisia vaaraa aiheuttavia kontaktitilanteita ovat törmäykset ja puristumiset, jotka robotin ohjauksen tulee huomioida. Maksimiarvojen alapuolella

työskenneltäessä erilaiset kontaktitilanteet ovat kuitenkin turvallisia, eikä ihmiselle aiheudu välitöntä vaaraa. (ISO/TS 15066:2016 2016)

Passiivisilla keinolla pyritään estämään ihmisen vahingoittuminen kontaktitilanteessa, huomioimalla robotin ulkopintojen vaikutus turvallisuuteen. Yhteistyörobotin passiivinen turvallisuus huomioidaan jo robotin suunnitteluvaiheessa, jossa robotin ulkomuotoa mukauttamalla voidaan estää ihmisen mahdolliset loukkaantumiset puristumis- ja törmäystilanteissa. Robotin passiivista turvallisuutta voidaan parantaa esimerkiksi käyttämällä materiaaleja, jotka absorboivat robotin liike-energiaa törmäyksessä ja ovat kimmoisia puristumistilanteissa. Turvallisuutta parantavat myös terävien pintojen minimoiminen, sekä robotin liikkuvan massan optimointi. (ISO/TS 15066:2016 2016)

4. HARJOITUSTYÖ

4.1 Oppimistavoitteiden määrittäminen

Työn harjoitustyöosuudessa määritetään yhteistyörobotiikan harjoituksen oppimistavoitteet edellisissä kappaleissa käsiteltyjen asioiden pohjalta. Oppimistavoitteiden määrittämisessä keskitytään yhteistyörobotiikan perusteiden ymmärtämiseen ja käsitellään yhteistyörobotiikan turvallisuusvaatimuksia. Seuraavassa luettelossa on työssä kehitetyt yhteistyörobotiikan oppimistavoitteet.

1. Opiskelijan tulee harjoituksen suoritettuaan ymmärtää tavanomaisen teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin keskeisen erot ja yhtäläisyydet.
2. Opiskelijan tulee kyetä tunnistamaan teollisuuskäytössä olevan yhteistyörobotin merkittävimmät vahvuudet.
3. Opiskelijan tulee tunnistaa keskeiset yhteistyörobotiikan standardien mahdollistamat yhteistyötavat.
4. Opiskelijan tulee kyetä tunnistamaan yhteistyörobotille asetettujen turvallisuusvaatimusten asettamat rajoitteet.

Edellä mainittujen oppimistavoitteiden pohjalta on kehitetty oppimistavoitteita mittaava harjoitus, jonka sisältöä selvennetään seuraavissa luvuissa 4.2 ja 4.3. Harjoitustyöohje löytyy liitteestä A.

4.2 Teoriaosuus

Harjoituksen teoriaosuudessa mitataan yhteistyörobotiikan perusteiden osaamista kirjallisen tehtävän avulla, johon valittujen kysymysten avulla saadaan selkeä kuva harjoituksen suorittajan osaamisen tasosta. Kysymyksissä on kiinnitetty huomioita harjoituksen suorittajan osaamistasoon, sillä harjoitus on suunnattu yhteistyörobotiikan peruskursseille.

4.3 Käytännön harjoitus

Harjoituksen käytännön osuuden tarkoituksena on tutustuttaa opiskelijat yhteistyörobotin käyttöön ja ohjelmointiin yksinkertaisen tehtävän avulla. Tehtävässä opiskelijat poimivat ja siirtävät valitseman kappaleen paikasta toiseen käyttäen yhteistyörobotia. Tätä siirtoharjoitusta kutsutaankin yleisemmin pick-and-place -harjoitukseksi. Robotin

liikeradat ja toiminnot ohjelmoidaan käyttämällä käsin ohjausta ja yhteistyörobotin ohjainlaitetta. Käsin ohjaamisen yhteistyötapa soveltuukin hyvin peruskurssin harjoitukseen yksinkertaisuutensa vuoksi.

5. YHTEENVETO

Teollisuusrobotit otettiin ensimmäisenä käyttöön amerikkalaisten autovalmistajien toimesta. Robotit suorittivat aluksi vain yksinkertaisia tehtäviä kuten kappaleiden siirtoa. Robottien kehittyä pystyttiin niillä suorittamaan yhä haastavampia tehtäviä, kuten kappaleiden maalausta ja hitsausta. Tavanomaiset teollisuusrobotit ovat kuitenkin melko joustamattomia käyttöympäristössään johtuen turvamääräysten ja direktiivien aiheuttamasta kankeudesta. Joustavamman robotiikan käytön mahdollistavat yhteistyörobotit.

Yhteistyörobotiikka on antanut edistysaskeleen erityisesti valmistavalle teollisuudelle, jossa ihmisen ja robotin yhteistyön avulla tuotanto on tehostunut ja muuttunut joustavammaksi. Tuotantolinjojen automatisoinnin kynnyks on pienentynyt yhteistyörobottien alhaisten hankintakustannusten ansiosta. Tuotannon automatisointi ei välttämättä vaadi koko tuotantolinjojen uudelleensijoittelua, kun tavanomaiselle teollisuusrobotille asennettavia turvahäkkejä ja seiniä ei enää tarvita.

Yhteistyörobottien turvallisen käytön mahdollistaa roboteille asetettujen direktiivien pohjalta luodut standardit. Robotiikan standardit käsittelevät pääasiassa robottien käyttöä ja turvallisuutta erilaisissa käyttötilanteissa. Yhteistyörobotteja voidaan käyttää neljällä erilaisella yhteistyötavalla riippuen yhteistyörobottien ominaisuuksista ja liikkeentunnistustavoista. Yhteistyötavat vaihtelevat usein robotin käyttötarkoituksen mukaan.

Yhteistyörobotiikan harjoitukseen liittyvät oppimistavoitteet määräytyvät yhteistyörobotiikan keskeisten pääkohtien mukaan. Oppimistavoitteissa vertailtiin yhteistyörobotiikkaa tavanomaiseen teollisuusrobotiikkaan ja selvitettiin yhteistyörobotiikan vahvuuksia sekä standardien mahdollistamia yhteistyötapoja. Harjoitustyön teoriaosuudessa olevan tehtävän tarkoituksena on selvittää yhteistyörobotiikan perusteiden osaamista ja soveltaa teoriaosuuden jälkeen tätä osaamista käytännön vaiheeseen. Harjoituksen käytännön vaiheessa suoritetaan pick-and-place -tyyppinen tehtävä käyttäen käsin ohjauksen yhteistyötappaa UR-5 robotilla.

LÄHTEET

ABB (2019), products, robotics, Available (accessed 30.05.2019):
<https://new.abb.com/products/robotics>

Ajoudani, A., Zanchettin, A.M., Ivaldi, S., Albu-Schäffer, A., Kosuge, K. & Khatib, O. 2018, "Progress and prospects of the human–robot collaboration", *Autonomous Robots*, vol. 42, no. 5, pp. 957-975.

Cherubini, A., Passama, R., Crosnier, A., Lasnier, A. & Fraisse, P. 2016, "Collaborative manufacturing with physical human–robot interaction", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 40, pp. 1-13..

David, P. 2016, "New Safety Certifications To Standardise Collaborative Robots", *Auto Tech Review*, vol. 5, no. 4, pp. 14-15.

Hazarika, S.M. & Dixit, U.S. 2018, "Robotics: History, Trends, and Future Directions" in *Introduction to Mechanical Engineering*, ed. J.P. Davim, Springer International Publishing, Cham, pp. 213-239.

Hull, T. 2019, "Collaborative robot applications", *Control Engineering*, vol. 66, no. 8, pp. 29.

IEEE (2019), Robots, Unimate, Available (accessed 17.04.2019):
<https://robots.ieee.org/robots/unimate/>

ISO/TS 15066:2016 (2016). Robots and robotic devices — Collaborative robots, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Mauro, S., Scimmi, L.S. & Pastorelli, S. 2018, "Collision Avoidance System for Collaborative Robotics", *Advances in Service and Industrial Robotics*, eds. C. Ferraresi & G. Quaglia, Springer International Publishing, Cham, pp. 344.

Pittman (2016) , K. A History of Collaborative Robots: From Intelligent Lift Assists to Cobots, Available (accessed 30.05.2019):

<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13540/A-History-of-Collaborative-Robots-From-Intelligent-Lift-Assists-to-Cobots.aspx>.

Pittman (2016) , K. INFOGRAPHIC: A Brief History of Collaborative Robots, Engineering.com, Available (accessed 30.05.2019):

<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/12169/INFOGRAPHIC-A-Brief-History-of-Collaborative-Robots.aspx>.

Robotic Industries Association (2019), joseph-engelberger, unimate, Available (accessed 19.04.2019): <https://www.robotics.org/joseph-engelberger/unimate.cfm>

Robotic Industries Association (2019), blog-article.cfm, A-Brief-History-of-Collaborative-Robots, Available (accessed 28.05.2019): <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/A-Brief-History-of-Collaborative-Robots/142>

Robotic Industries Association (2019), blog-article.cfm, The-Rise-of-Industrial-and-Collaborative-Robots-in-the-Electronics-Industry , Available (accessed 20.12.2019): <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/The-Rise-of-Industrial-and-Collaborative-Robots-in-the-Electronics-Industry/157>

Robotiq (2019), what-is-the-price-of-collaborative-robots, Available (accessed 20.12.2019): <https://blog.robotiq.com/what-is-the-price-of-collaborative-robots>

Schunk (2019), Co-act, Co-act meets cobots, Available (accessed 04.04.2019): https://schunk.com/de_en/co-act/.

SFS-EN ISO 10218-1 (2011). Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 1: Robots, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 10218-2 (2011). Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Siciliano, B. & Khatib, O. 2016, *Springer Handbook of Robotics*, Second; 2nd edn, Springer Verlag, Cham, pp. 1385-1422.

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (2019), Tuotteet ja palvelut, Koneet, Saatavissa (viitattu 17.03.2019): <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet>.

Universal Robots (2019), products, robot-ur5, Available (accessed 30.05.2019): <https://www.universal-robots.com/fr/produits/robot-ur5>

LIITE A:

Yhteistyörobotiikkaharjoituksen työohje

Harjoituksen sisältö

Harjoitustyön tarkoituksena on tutustua yhteistyöroboteihin suorittamalla harjoituksen kaksi osaa, jotka mittaavat yhteistyörobotiikan perusteiden osaamista. Työn ensimmäisessä osassa yhteistyörobotiikan perusteita tarkastellaan teoreettisten kysymysten muodossa. Työn toisessa osassa on tarkoituksena tehdä yksinkertainen käytännön harjoite käyttäen saatavilla olevaa yhteistyörobottia. Käytännön osassa yhteistyörobottia ohjelmoidaan käsin ohjaamalla ja tarkoituksena on poimia harjoitukseen valittu kappale paikasta A ja siirtää se paikkaan B käyttäen yhteistyörobottia. Seuraavassa kuvassa Universal robotsin yhteistyörobotti.



Kuva 1. Universal Robotsin UR-5 yhteistyörobotti

Osa 1. Yhteistyörobotiikan perusteet

Valitse alla olevan kysymysten mukaan tilanteeseen sopiva robottityyppi. Vastattuasi kysymyksiin, perustele valintasi lyhyesti taulukon alla olevaan tilaan. Miksi juuri kyseinen robottityyppi sopii paremmin kuvailtuun tilanteeseen? Mieti vastatessasi robotiikan keskeisiä standardeja (ISO 10218-1, ISO 10218-2, ISO/TS 15066), turvallisuutta ja robottityyppien vahvuuksia sekä heikkouksia.

	Yhteistyö- robotti	Teollisuus- robotti
1. Tehtävä, jossa käyttäjän tulee päästä robotin toiminta-alueelle useasti keskeyttäen robotin toiminta.		
2. Tehtävä, jossa robotin käytön tulee olla joustavaa.		
3. Tehtävä, jossa robotti suorittaa pick-and-place -tehtävää vakioliikertaa pitkin.		
4. Tehtävä, jossa robotin tulee mukautua toimintaympäristöön helposti.		
5. Tehtävä, jossa vaaditaan robotilta suurta nopeutta ja tehoa suljetussa ympäristössä.		

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Osa 2. Kappaleen poiminta ja siirto yhteistyörobotilla

Tämän osan tarkoituksena on saada siirrettyä harjoitukseen valittu kappale pisteestä A pisteeseen B käyttämällä Universal Robotsin UR-5 yhteistyörobotilla. Yhteistyörobotti ohjelmoidaan käyttämällä käsin ohjelmointia sekä yksinkertaista käyttöliittymää komentojen asettamiseen.

1. Varmista robotin ympäristön turvallisuus ja varmistu siitä, että robotti ei pääse osumaan esimerkiksi seinään tai toiseen objektiin käytön aikana.
2. Kytke virrat robottiin ohjauslaitteen virtanapista.
3. Konfiguroi robotti painamalla ohjauslaitteen kohdasta Go to initialization screen.
4. Valitse ON → Start → Valitse OK ruudun oikeasta alakulmasta.
5. Mahdollista robotin käsin ohjaaminen painamalla ohjauslaitteen takana olevaa 3-asentoista kytkintä. Robotti liikkuu vain kytkimen ollessa keskiasennossa.
6. Liikuta robotti haluttuun aloituspisteeseen käsin ohjaamalla.
7. Aloitetaan robotin varsinainen ohjelmointi → Mene valikkoon Program robot.
8. Valitse Empty program, koska haluamme tehdä täysin uuden ohjelman.
9. Valitse Structure → Waypoint → Command → Set Waypoint.
10. Valitse Structure → Wait → Command → Aseta robotille sopiva odotusaika, esimerkiksi 1 sekunti.
11. Valitse Structure → Lisää RG2 → Command → Aseta tarttujalle sopivat parametrit Width ja Force siirrettävän kappaleen mukaan.
12. Liikuta robotti haluttuun pisteeseen käsin ohjaamalla.
13. Saata suunnittelemasi ohjelma loppuun soveltamalla uudelleen kohtia 9-12.
14. Suorita ohjelma painamalla Play → Aja robotti haluttuun alkupisteeseen painamalla pohjassa ruudulle ilmestyvää Auto-näppäintä → Robotti suorittaa ohjelmoidun ohjelman.

Huomioitavaa:

1. Noudata varovaisuutta ajaessasi robottia ensimmäistä kertaa!
2. Robotin liike pysähtyy Stop-napista tai hätäpysäytyspainikkeesta.