

Fanni Polojärvi

YHTEISTYÖROBOTTISOLUN SUUNNITTELU ROBOTIN JA KÄYTTÄJÄN KANNALTA

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Asko Ellman
12.2024

TIIVISTELMÄ

Fanni Polojärvi: Yhteistyörobottisolun suunnittelu robotin ja käyttäjän kannalta
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
12.2024

Nykypäivän valmistavassa teollisuudessa on yhä korkeampi kysyntä tehokkaammalle tuottavuudelle, laadulle ja tarkkuudelle. Robotit ovat onnistuneet nostattamaan teollisuudessa tuotantokykyä automatisoinnilla ja tekemään vaarallisia tai yksitoikkoisia tehtäviä ihmisten sijasta. Neljän teollisen vallankumouksen etenemisen myötä kysyntä halvemmille ja monipuolisemmille robottijärjestelmille on ollut nousussa. Tällaisia robottijärjestelmiä ovat yhteistyörobotit, jotka yhdistävät robottien ja ihmisten parhaat ominaisuudet tehokkaasti ja joustavasti. Yhteistyörobotit ovat kehittyneet nopeasti viime vuosina vastaamaan tuotantoteollisuuden laajaan kysyntään ja lisäämään automatisoitavien tehtävien monipuolisuutta.

Tässä kandidaatintyössä käsitellään yhteistyörobotiikkaa, määritellään mitä yhteistyörobotiikka on, miten ihminen ja robotti työskentelevät yhdessä ja kuinka yhteistyöskentely voidaan optimoida mahdollisimman tehokkaaksi. Työssä tutkitaan robottisolun suunnittelun lähtökohtia, miten parempia tuotantomääriä ja turvallisuusnäkökulmia voidaan suunnitella saavuttaa. Työssä on käytetty lähteinä tieteellisiä kirjoituksia, alan standardeja ja alan toimijoiden artikkeleita.

Avainsanat: Yhteistyörobotit, robottisolu, yhteistyö, ihminen, työntekijä

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

TEKOÄLYN KÄYTTÖ OPINNÄYTTEESSÄ

Opinnäytteessäni on käytetty tekoälysovelluksia:

- Ei
- Kyllä

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. YHTEISTYÖROBOTTIikka.....	2
3. IHMISEN JA ROBOTIN YHTEISTYÖSKENTELY	4
3.1 Yhteistyön määrittely	4
3.2 Yhteistyöskentelyn vaatimukset ja turvallisuus.....	5
3.3 Yhteistyön tehtävät ja käyttökohteet	8
4. YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTTÄJÄ.....	10
4.1 Ihmisen ja robotin liikekenttä ja ergonomia	10
4.2 Työntekijöiden psykologia ja asenteet	11
5. YHTEISTYÖROBOTTISOLUN SUUNNITTELU	13
5.1 Yhteistoimintatilan määrittäminen	13
5.2 Yhteistyörobotiikan riskiarviointi.....	14
6. YHTEENVETO.....	16
LÄHTEET.....	17

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ISO	International Organization for Standardization
SFS	Suomen Standardisoimisliitto SFS ry
TF	Tekninen spesifikaatio

1. JOHDANTO

Yhteistyörobotiikassa robotit ja ihmiset työskentelevät välittömästi yhteistyössä työtilassa turvallisesti. Tämä robotin ja ihmisen yhteistyö mahdollistaa uusien tuotantoprosessien suunnittelun ja tehtävien jakamisen sujuvamman vuorovaikutuksen vuoksi. Yhteistyöprosessin toteuttamisessa on tärkeää toteuttaa tehokkuuden, innovaation ja ergonomian näkökulmat. (SFS-EN ISO 10218-2 2011; Baumgartner et al. 2022)

Tämän kandidaattityön päätavoitteena on selvittää, mitä yhteistyörobottisolun suunnitteluun kuuluu ja kuinka ihminen huomioidaan parhaiten tässä prosessissa. Aluksi työssä esitellään yhteistyörobotiikkaa ja tutustutaan sen ominaispiirteisiin. Lisäksi tarkastellaan yhteistyörobotiikan hyötyjä ja tavoitteita. Päätavoite tutkitaan kolmen tutkimuskysymyksen näkökulmasta:

T1. Miten ihminen ja yhteistyörobotti työskentelevät yhdessä?

T2. Mitkä ovat yhteistyörobotiikan käyttöönoton hyödyt ja haasteet?

T3. Kuinka yhteistyörobottisolun suunnitellaan?

Työ on toteutettu kirjallisuuskatselmuksena osana kandidaatintutkintoa, jossa on käytetty lähteinä alan standardeja, teknisiä spesifikaatioita, tieteellisiä kirjoituksia ja vertaisarvioituja artikkeleita.

Työ alkaa toisessa luvussa esittelemällä yhteistyörobotiikkaa pääpiirteittäin ja kerrotaan alaan liittyvistä standardeista ja teknisistä spesifikaatioista. Tämän jälkeen kolmannessa luvussa perehdytään syvemmin ihmisen ja yhteistyörobotin yhteistyöskentelyyn ja sen piirteisiin. Neljännessä luvussa tutustutaan tarkemmin yhteistyörobotiikkaan ihmisen kannalta. Tämän jälkeen viidennessä luvussa esitellään mitä yhteistyörobottisolun suunnittelussa huomioidaan. Työn lopussa olevassa yhteenvedossa tehdään työn pääpiirteistä lyhyt tiivistelmä.

Riskiarviointia tarkastellaan pääpiirteittäin ja lisäksi, miten yhteistyörobotti työskentelee turvallisesti ihmisen kanssa yhdessä. Tässä työssä ei käsitellä yhteistyörobotin mekaanisia ominaisuuksia, robotin työkalujen suunnittelua tai ohjelmointia.

2. YHTEISTYÖROBOTIIKKA

Yhteistyörobotiikka tarkoittaa ihmisen ja robotin välistä yhteistoimintaa, jossa nämä jakavat yhteisen työtilan. Yhteistoiminta on käytettävissä vain etukäteen määritetyissä tehtävissä, kun kaikki vaadittavat turvallisuustoimenpiteet ovat aktiivisena. Lisäksi yhteistoiminta ihmisen kanssa on mahdollista ainoastaan roboteille, joiden ominaisuudet on erityisesti suunniteltu yhteistoimintaan standardin ISO 10218-1 mukaisesti. (SFS-EN ISO 10218-2 2011)

Kaikilla yhteistyön tasoilla, kun ihmisen ja robotin työpisteet läpäisevät toisensa, teollisuuden menetelmä täytyy suunnitella niihin liittyvien standardien mukaisesti (Scimmi et al. 2021). Yhteistyörobotiikan toimenpiteitä, joissa robottijärjestelmä ja ihminen työskentelevät samanaikaisesti yhteisessä työtilassa ohjeistaa tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 vuodelta 2016. Yhteistyörobotiikkaa määrittelevät myös standardit SFS-EN ISO 10218-1 ja SFS-EN ISO 10218-2 vuodelta 2011, mitkä määrittävät teollisuusrobottien ja robottisovellusten turvallisuusvaatimuksia.

Monipuolinen riskiarvio vaaditaan tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 (2016) mukaan sekä itse robottijärjestelmältä että ympäristöltä, jossa robotti on eli sen työtilasta. Standardi SFS-EN ISO 10218-2 (2011) mukaan suunnittelussa on erityisesti huomioitava mahdollisesti tahalliset tai kohtuullisen ennalta nähtävät tahattomat kontaktitilanteet käyttäjän ja robottijärjestelmän välillä. Tässä on syytä tarkastella lisäksi käyttäjän esteettömyys olemaan vuorovaikutuksessa yhteistyöalueelle. (SFS-EN ISO 10218-2 2011) Luvussa 3.2. Yhteistyöskentelyn vaatimukset ja turvallisuus käsitellään lisää tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 (2016) määritteleviä turvallisuuden teknisiä vaatimuksia.

Perinteisesti robottisovellukset teknisen spesifikaatio ISO/TS 15066 (2016) mukaan saavuttavat turvallisuuden kieltämällä käyttäjän pääsyn toiminta-alueelle silloin kun robotti on käynnissä ja näin monet toimenpiteitä, jotka vaatisivat ihmisen väliintuloa ei usein voida automatisoida roboteille. Standardi SFS-EN ISO 10218 (2011) määrittelee turvallisuusvaatimukset vuorovaikutukselle teollisuusroboteille ja robottijärjestelmille, kuin myös yhteistyörobottijärjestelmille. Yhteistyörobottijärjestelmän toiminnalliset ominaisuudet eroavat merkittävästi perinteisistä teollisuusrobottijärjestelmistä ja muista koneista ja laitteista. Yhteistyöhön perustuvassa robottitoiminnassa operaattorit voivat työskennellä lähellä robottijärjestelmää, kun robotin toimilaitteiden virta on käytettävissä, ja fyysinen kosketus operaattori ja robottijärjestelmä voivat tapahtua yhteistyössä toimivassa työtilassa.

Yhteistyörobotiikan päämäärä on teknisen spesifikaation ISO/TS 15066 (2016) mukaan yhdistää robottien toistuva suorituskyky ja ihmisten yksilölliset taidot ja kyvyt. Yhteistyöllä voidaan hyödyntää ihmisten erinomaisia kykyjä ratkaista epätasomaisia toimintoja ja robottien tarkkuutta, voimaa ja kestävyyttä. Kun toteutetaan menetelmiä, jossa ihmiset ja robottijärjestelmät tekevät yhteistyötä, ergonomiset edut voivat myös saada aikaan esimerkiksi kehitystä työntekijän ryhdissä. (ISO/TS 15066 2016). Baumgartner et al. (2022) myös korostavat ergonomian parantuessa riskin tuki- ja liikuntaelimistölle pienenevän ja lisäävän työn houkuttelevaisuutta työntekijän silmissä.

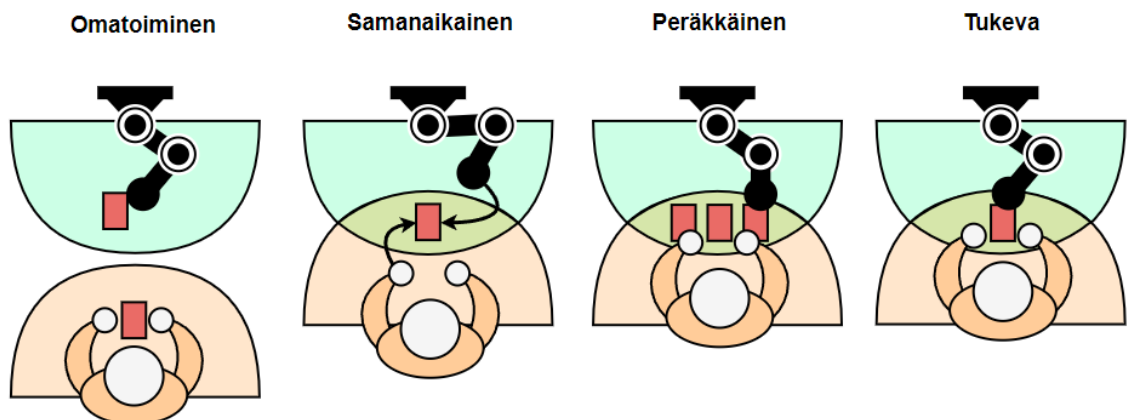
Robotit on luotu suorittamaan työ aiempaa taloudellisemmin. Ihmisten siirtäminen epämiellyttävistä ja vaarallisista työtehtävistä muihin työkuviin on myös koettu tärkeänä perusteluna, mutta sen edellytyksenä, että se joko lisää tai ei ainakaan laske tuotannon voittoa. (Galini & Meshcheryakov 2020) Tarkastellessa yhteistyörobotiikan hyötyjä yritysten ja työntekijöiden näkökulmasta Baumgartner et al. (2022) mukaan työn tehokkuuden noustessa yhteistyörobottien avun on monesti nähty helpottavan työntekijöitä, jotka kärsivät raskaasta työkuormituksesta esimerkiksi yllättävien suurten tilausmäärien takia. Lisäksi investoinnit nykyaikaiseen tuotantoteknologiaan on koettu edistävän yrityksen päätöstä pitää tuotanto paikallisena eikä siirtyä ulkomaalaisiin sijainteihin. Myös työntekijöiden tehdessä yhteistyötä yhteistyörobottien kanssa on havaittu edistävän innostusta uuden teknologian suhteen ja tuottavan vähemmän negatiivisia asenteita työntekijöissä automaatiota kohtaan. (Baumgartner et al. 2022)

3. IHMISEN JA ROBOTIN YHTEISTYÖSKENTELEY

Yhteistoimintaa varten suunnitelluissa roboteissa täytyy olla näkyvä osoitus robotin olemisesta yhteistoiminnassa ja robotin on noudatettava yhtä tai useampaa teknistä vaatimusta, standardisarjoissa ISO 10218 ja ISO 12100. Lisäksi robotti on komponentti lopullisessa robottijärjestelmän yhteistoiminnassa ja se ei ole itsestään riittävä turvalliseen yhteistoimintaan. Yhteistoimintasovellukset ovat dynaamisia ja ne täytyy määrittellä käyttäen riskien arviointia järjestelmän suunnittelun aikana. (SFS-EN ISO 10218-2 2011)

3.1 Yhteistyön määrittely

Teollisuuden markkinoilla eri roolit, joilla yhteistyörobotit voivat toimia, erotetaan eri tasoilla tuotantokapasiteetin kasvattamiseksi. Näiden roolien lähestymistavat on luokiteltu seuraavasti: omatoiminen, samanaikainen, peräkkäinen ja tukeva. (Bisen & Payal 2021) Termeistä käytetään myös rinnakkaiselo, vuorottainen yhteistyö, yhteistoiminta ja reagoiva yhteistyö nimityksiä. Lähestymistavat ovat visuaalisesti esitelty kuvassa 1.



Kuva 1. Yhteistyörobotiikan lähestymistavat ihmisen kanssa työskennellessä (muokailen lähdettä Bauer et al. 2016).

Ihminen ja robotti voivat työskennellä rinnakkain omatoimisesti, jos näin halutaan. Molemmat hallitsevat tällöin erilaista valmistusprosessia. Interaktiivinen näkökulma tulee yhteistoimintatilan jakamisesta, jossa ei ole suoja-aitoja, jotka erottaisivat ihmisen robotin työtilasta. Turvallisuuden tässä tarjoaa robotin suunniteltu luontainen turvallisuus tai robottiin sisällytetyt laitteisto- tai ohjelmistoelementit, jotka lisäävät tai laajentavat robotin turvallisuutta. (Bisen & Payal 2021)

Työntekijä voi työskennellä samanaikaisesti työkappaleen kanssa, mutta samalla ihminen ja yhteistyörobotti tekevät yhteistyötä eri tehtävissä. Tässä robotin täytyy olla tietoinen ihmisen sijainnista suhteessa robottiin, kuinka kaukana ihminen on ja mitkä ovat sen vaatimukset. Samanaikaisen työkappaleen käsittely voi parantaa merkittävästi yhteistyörobotin tuottavuutta ja tehokkuutta samalla minimoiden ihmisen ja robotin välistä läheysaikaa. (Bisen & Payal 2021)

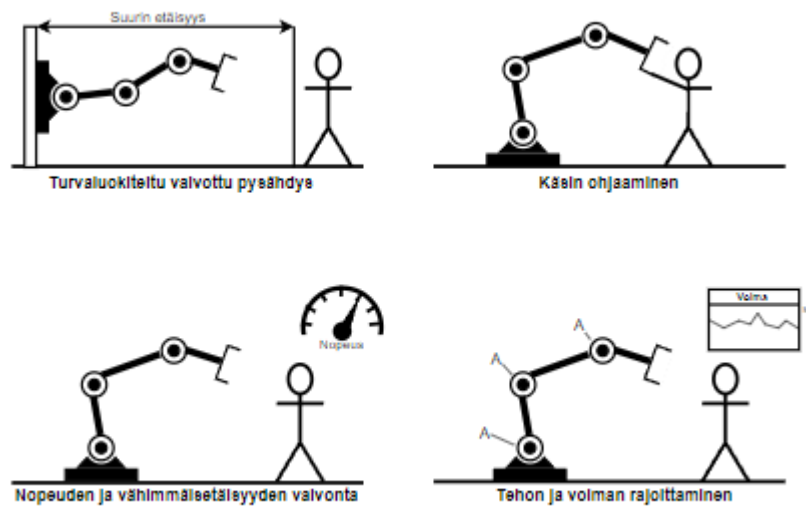
Sen sijaan, että ihminen suorittaisi peräkkäisiä valmistusprosesseja, ihminen ja robotti työskentelevät saman työtehtävän parissa peräkkäisessä järjestyksessä. Näillä prosesseilla on erilaiset aikarajoitukset, jotka luovat ajallisia riippuvuuksia robotin ja yhteistyötoiminnan välille. Usein yhteistyörobotit tekevät suurimman osan työstä prosesseissa, jotka ovat ihmisten mielestä pitkäväteisiä. (Bisen & Payal 2021)

Tukiessa toisiaan ihminen ja robotti harjoittavat samaa toimintaa samanaikaisesti toistensa kanssa. Tässä on tärkeää, että yhteistoiminnassa työskennellään yhdessä joukkueena tuloksen saavuttamiseksi. Tukevassa toiminnassa lopputulosta ei voida saavuttaa, jos toinen osapuoli puuttuu. On tärkeää tietää ihmisen tavoitteet ja edellytykset työtehtävän parissa kattavasti, jotta voidaan optimoida yhteistyörobotin tarjoama apu. Eriytisesti yhteistyörobotin tehtävänä tukevana roolina on parantaa fyysisesti ihmisen tekemän työn ergonomiaa. (Bisen & Payal 2021)

3.2 Yhteistyöskentelyn vaatimukset ja turvallisuus

Yhteistyörobotiikalle on määritelty turvallisuus- ja hallintatekniikoita, jotta saavutettaisiin vaaditut turvallisuuden tasot ilman, että työprosessin tehokkuus vähenisi (Galín et al. 2021). Nämä tekniikat yhteistyörobotin yhteistyölle tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 (2016) teknisten vaatimusten mukaan ovat seuraavat: turvaluokiteltu valvottu pysähdys, käsin ohjaaminen, nopeuden ja voiman vähimmäisetäisyyden valvonta sekä tehon ja

voiman rajoittaminen. Kuvassa 2 havainnollistetaan näitä teknisiä vaatimuksia ja kuvassa 3 on hahmotelmaa, kuinka yhteistyölle tarpeelliset tekniset vaatimukset ovat yhteyksissä työtilan ja työtehtävän jakamiseen. (Bi et al. 2021)



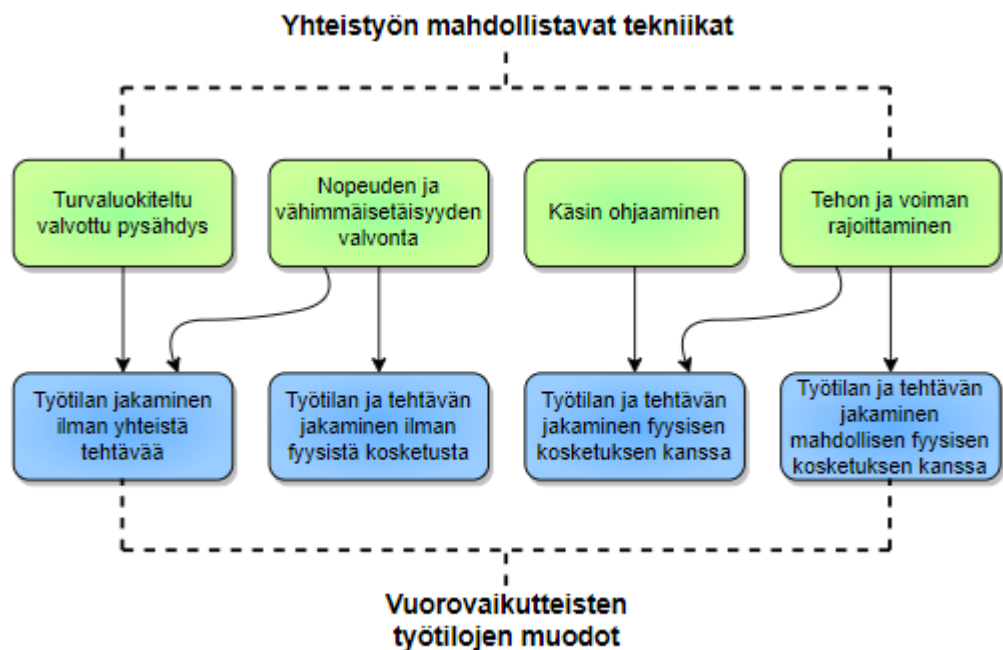
Kuva 2. Ihmisen ja robotin yhteistyö neljän teknisen vaatimuksen mukaan (Mukailen lähdettä Galin & Meshcheryakov 2020).

Turvaluokitellussa valvotussa pysähdyksessä robotin liike pysäytetään yhteistyötilassa ennen kuin ihminen tulee tilaan olemaan vuorovaikutuksessa robottijärjestelmän kanssa ja suorittamaan tehtävän. Kun robottijärjestelmä on yhteistyötilassa ja turvaluokiteltu valvottu pysähdys on aktiivisena, robotin liike on pysähtynyt ja ihmisellä on lupa saapua yhteistyötilaan. Jos ihminen ei ole yhteistyötilassa, robotti voi toimia itsenäisesti ilman yhteistyöskentelyä. Ihmisen poistuttua yhteistoimintatilasta turvaluokiteltu valvottu pysähdysten toiminta voidaan kytkeä pois päältä ja robottijärjestelmän toiminta voi jatkua automaattisesti. (ISO/TS 15066 2016)

Käsin ohjaamisessa ihminen määrittää robotin liikekomennot käsikäyttöisellä laitteella. Ennen kuin ihmisellä on lupa saapua yhteistoimintatilaan ja suorittaa käsin ohjaamista vaativa tehtävä, on robotin suoritettava turvaluokiteltu valvottu pysähdys. Tehtävä suoritetaan manuaalisesti ohjaten ohjainlaitteella, joka on sijoitettu robotin työkaluun tai sen lähetyville. Kun ihminen on ottanut haltuun robottijärjestelmän ohjainlaitteella, turvaluokiteltu valvottu pysähdys lopetetaan ja ihminen suorittaa käsin ohjaamisen tehtävän. (ISO/TS 15066 2016)

Nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonnassa robottijärjestelmä ja ihminen voivat liikkua samanaikaisesti yhteistoimintatilassa. Riskien hallinta suoritetaan pitämällä vähintään turvallinen vähimmäisetäisyys robotin ja ihmisen välillä jokaisena hetkenä. Robotin liikkussa ihminen ei pääse vähimmäisetäisyyttä lähemmäs robottijärjestelmää tai muuten järjestelmä pysähtyy. Kun ihminen siirtyy kauemmaksi robottijärjestelmästä, robottijärjestelmä voi jatkaa toimintaa automaattisesti sillä ehdolla, että vähimmäisetäisyys edelleen toteutuu. Robottisysteemin vähentäessä nopeutta vähimmäisetäisyyden suuruus pienenee vastaavasti. (ISO/TS 15066 2016)

Tehon ja voiman rajoittaminen mahdollistaa fyysisen kosketuksen robottijärjestelmän ja ihmisen välillä. Tämä voi tapahtua tarkoituksella tai tahattomasti. Teho- ja voimarajoitetut yhteistyötoiminnot vaativat robottijärjestelmän, joka on erityisesti suunniteltu tätä kyseistä toimintaa varten. Riskien hallinta saavutetaan joko robotin ominaisten turvallisuuden tavoin tai turvallisuuden valvontajärjestelmän avulla pitämällä robottijärjestelmään liittyvät vaarat alle riskiarvioinnissa määriteltujen kynnyksarvojen alapuolella. (ISO/TS 15066 2016)



Kuva 3. Yhteistyön muodot ja niiden vuorovaikutteiset työtilat (Mukaiillen lähde Bi et al. 2021).

3.3 Yhteistyön tehtävät ja käyttökohteet

Teknisen spesifikaation ISO/TS 15066 (2016) vaatii, että ihmiselle on tunnistettava ja dokumentoitava tehtävät robottisolussa. Kaikki kohtuudella ennakoitavissa olevat tehtävät ja vaarojen yhdistelmät on määriteltävä. Yhteistyötehtäviä määrittäessä on hyvä luonnehtia seuraavia asioita:

- a) operaattorin läsnäolon taajuus ja kesto yhteistyötilassa liikkuvan robottijärjestelmän kanssa (esim. yhteistyökokoonpano ulkoisten kalusteiden kanssa);
- b) käyttäjän ja robottijärjestelmän välisen kosketuksen taajuus ja kesto käyttötehoon tai sovellukseen liittyviin energialähteisiin (esim. käsiohjaaminen, fyysinen vuorovaikutus työkalun tai työkappaleen kanssa);
- c) siirtyminen yhteistyöhön kuulumattoman toiminnan ja yhteistyötoiminnan välillä;
- d) robottijärjestelmän liikkeen automaattinen tai manuaalinen uudelleenkäynnistys, kun yhteistyö on suoritettu;
- e) tehtävät, joihin osallistuu useampi kuin yksi toimija;
- f) mahdolliset lisätehtävät yhteistyötilassa

Bi, Z. M. et al. (2021-02) mukaan vaikka yhteistyörobottien tutkimus ja kehittäminen on suhteellisen uusi robotiikka ala, on yhteistyörobotiikalle jo lukuisia sovelluksia. Javaid, M. et al. (2022) mukaan Yhteistyörobotit ovat tuoneet merkittäviä edistysaskeleita automaatioon monilla eri toimialoilla, erityisesti pienissä ja keskisuurissa yrityksissä. Yhteistyörobotit erottuvat pienemmällä koollaan, kustannustehokkuudellaan ja joustavuudellaan, mikä tekee niistä ihanteellisia toimialoille, jotka eivät ole aiemmin hyödyntäneet perinteisiä teollisuusrobotteja. Niiden pienempi koko ja erikoistuneet, intuitiiviset ominaisuudet mahdollistavat helpon integroinnin ympäristöihin, kuten tuotantolinjoille ja varastoihin, sekä tehtäviin, jotka vaativat tiivistä ihmisen ja robotin välistä yhteistyötä. Erilaisia yhteistyörobotin sovelluksia eri toimialoille on esimerkiksi:

- 1) Valmistusprosessit: Yhteistyörobotteja hyödynnetään valmistuksessa esimerkiksi tiivisteiden levittämiseen, hitsaamiseen ja turvallisuuden parantamiseen teollisissa ympäristöissä. Ne yhdistävät ihmisen ohjauksen ja robottien tarkkuuden, mikä tehostaa tuotantolinjojen toimintaa ja vähentää työturvallisuusriskejä.

2) Kokoonpanoprosessit: Kokoonpanolinjoilla yhteistyörobotit avustavat esimerkiksi kojelautojen, takajousitusten esiasennuksessa. Ne voivat hyödyntää eleentunnistusta ja kontekstin havainnointia parantaakseen ihmisen ja robotin välistä yhteistyötä monimutkaisissa kokoonpanojärjestelmissä.

3) Materiaalinkäsittely: Yhteistyörobotit tukevat materiaalinkäsittelyä kriittisissä tehtävissä, kuten esineiden havainnoinnissa, manipuloinnissa ja kuljettamisessa. Tämä on erityisen hyödyllistä logistiikassa, jossa ne voivat automatisoida manuaalisia prosesseja, kuten varastojen siirtoja ja päätöksenteon tukemista.

4) Henkilökohtainen avustaminen: Yhteistyörobotit avustavat ihmisiä fyysisesti vaativissa tehtävissä, kuten raskaiden esineiden nostamisessa tai monimutkaisten tuotteiden kokoamisessa.

5) Laaduntarkastus: Yhteistyörobotit mittaavat ja analysoivat koneenosia, ja ne voivat toimia vuorovaikutuksessa ihmisten kanssa esimerkiksi eleentunnistuksen avulla, mikä takaa tarkkuuden mittauksissa.

6) Lääketieteen prosessit: Yhteistyörobotteja käytetään lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten leikkauksissa ja tutkimuksissa, joissa ne toimivat ihmisten ohjauksessa. Niiden tarkkuus ja mukautumiskyky tekevät niistä erittäin hyödyllisiä terveydenhuollossa.

7) Maatalouden prosessit: Maataloudessa yhteistyörobotit voivat parantaa tuottavuutta tehtävissä, kuten sadonkorjuussa.

8) Muut sovellukset: Yhteistyörobotteja hyödynnetään myös rakentamisessa, viihdeteollisuudessa, sotilaallisissa ympäristöissä, terveydenhuollossa ja koulutuksessa esimerkiksi materiaalinkäsittelyssä sekä monimutkaisessa kokoonpanossa.

Yllä esitetyt esimerkit osoittavat, kuinka yhteistyörobotit yhdistävät automaation ja ihmisen asiantuntemuksen, muuttaen toimialoja, jotka hyötyvät niiden kustannustehokkaista ja intuitiivisista ominaisuuksista. (Javaid, M. et al. 2022)

4. YHTEISTYÖROBOTIN KÄYTTÄJÄ

Tässä kappaleessa tullaan käsittelemään yhteistyörobotiikan suunnittelun haasteita ja mahdollisuuksia ihmisen näkökulmasta. Yhteistyörobottisolun suunnittelussa ihmistä voidaan simuloida ihmisen liikekenttien ja ergonomian avulla. Ihmisen liikkeiden mallintaminen on monivaiheinen prosessi, jossa haasteena on ihmisen käyttäytymisen arvaamattomuus. Stressi, väsymys ja keskittymisvaikeudet voivat vaikuttaa työntekijöiden suorituskykyyn, ja näiden tekijöiden huomioiminen on olennainen osa turvallista työympäristöä. Samalla käsitellään työntekijöiden asenteiden merkitystä robotiikan käyttöönotossa, erityisesti silloin, kun kyse on uusista teknologioista kuten yhteistyöroboteista, joiden hyväksyntä voi kohdata ennakkoluuloja ja pelkoja.

4.1 Ihmisen ja robotin liikekenttä ja ergonomia

Ihmisen liikettä mallinnettaessa syntyy vaikeuksia ihmisen käyttäytymisen kuvaamisessa. Tämä johtuu ihmisten käytöksen arvaamattomuudesta ja siitä, kuinka monet rationaaliset ja irrationaaliset tekijät vaikuttavat niihin. Ihmisen työaluetta voidaan määrittellä liikekentän tavoitettavan alueen mukaan, ottaen huomioon myös hänen työkappaleidensa pituudet. (Galín et al. 2021)

Suoritettaessa usein toistuvia toimintoja näiden tulisi olla seuraavissa helposti tavoitettavissa alueissa ja optimaalisissa liikekenttävyöhykkeissä. Vyöhykkeet voidaan esittää kolmessa liikekentän alueessa: optimaalinen ja hyvin usein käytetty liikekenttäalue, helposti tavoitettava ja usein käytetty liikekenttäalue tai tavoitettava ja harvoin käytetty liikekenttäalue. (Galín et al. 2021)

Ihmisen liikkeiden analysoiminen, tietojen hankkiminen ja käsittely yhteistyörobottijärjestelmässä on ongelma, mihin on syytä kiinnittää huomiota. Ihmisen liikkeiden mallin määrittämisellä voi olla hyödyllisiä vaikutuksia yhteistyörobottijärjestelmän päätöksenteossa. Tällaisia päätöksiä voivat esimerkiksi olla: nopeuden rajoittaminen, yhteistyörobotin työelinten liikeradan muuttaminen ja ihmisen psykofysiologisen tilan arvioiminen. (Galín et al. 2021)

Yhteistyöjärjestelmän solun layoutin suunnittelussa ihmisen ergonomia ja yhteys laitteisiin on hyvä huomioida. Näihin liittyvät jälleen ihmisen mahdolliset tahalliset tai tahattomat väärinkäyttö- ja virhe tilanteet. On hyvä määrittellä vaadittava koulutustaso ja taidot

ihmiselle, joka työskentelee yhteistyötilassa yhdessä robotin kanssa. Suunnitellulle käytölle ja kohtuudella ennakoitavissa olevaan väärinkäytölle biomekaaniset raja-arvot on otettava huomioon työympäristössä. (ISO/TS 15066 2016)

Ergonomiaa tarkastellessa täytyy huomioida myös, miten stressi, väsymys ja keskittymisen puute, mitä ihminen voi kokea työskentelyn aikana, vaikuttavat. Ergonomian tarkasteluun kuuluu lisäksi yksittäisten tai toistuvien kontaktien mahdolliset seuraukset. Lisäksi ihmisen refleksikäyttäytyminen robottijärjestelmään ja siihen liittyvien laitteiden suhteen on syytä ottaa huomioon. (ISO/TS 15066 2016)

4.2 Työntekijöiden psykologia ja asenteet

Ihmisten käsitys automaatioteknologian ominaisuuksista ja heidän asenteeseensa ja ensivaikutelmaan vaikuttavaa vahvasti aikaisemmat kokemukset. Yhteistyörobottien markkinaosuuden ollessa edelleen rajallinen suurin osa teollisuuden työntekijöistä on vain tuntenut perinteiset autonomiset robotit, joita ei alun perin suunniteltu vuorovaikutukseen ihmisten kanssa. Yhteistyöroboteihin verrattuna perinteiset teollisuusrobotit liikkuvat tyyppillisesti paljon nopeammin, niillä on suurempi voima ja terävät reunat ja ne ovat fyysisesti erillään ihmisistä sisäänrakennettujen turvamekanismien puutteen vuoksi.

Lisäksi työntekijöiden mielikuvaan yhteistyöroboteista voi merkittävästi vaikuttaa se, kuinka ne ovat esillä sosiaalisessa mediassa, elokuvissa, kirjallisuudessa tai ihmisten puheissa. Tällöin turvallisuushuoliin liittyvät tekijät, kuten itse yhteistyörobotti, sen käsiteltävät komponentit ja loppupääteosat, muodostavat keskeisiä esteitä yhteistyörobottien hyväksymiselle teollisessa ympäristössä. Näin ollen on tärkeää, että yhteistyörobotin suunnittelu on turvallinen, jotta työntekijöiden loukkaantumiset voidaan välttää, mutta yhtä lailla on huolehdittava siitä, että työntekijät tuntevat työnsä turvalliseksi. On kuitenkin hyvä muistaa, että koettu turvallisuuden tunne ei aina vastaa todellista turvallisuutta. Jo muutamat positiiviset kokemukset voivat vähentää negatiivisia ennakkoluuloja ja pelkoja, selkeyttää kuvaa yhteistyöroboteista ja johtaa myönteisempiin asenteisiin sekä lisääntyneeseen haluun työskennellä niiden kanssa. (Baumgartner et al. 2022)

Huoli siitä, että robotit veisivät ihmisten työt, koetaan olevan suuri este robottien hyväksymiselle työpaikalla, varsinkin jos työntekijät ovat itse kokeneet irtisanomisia aiemmin automaatioteknologian käyttöönoton seurauksena. Siksi se on tärkeää tehdä ero tavanomaisten robottien ja yhteistyörobottien käyttöönoton välillä, sillä yhteistyörobotit ovat tarkoitettu mahdollistamaan ihmisen ja robotin välinen yhteistyö, eli täydentämään toimijaa yhteistyöskenaarioissa sen sijaan, että se korvaa hänet. Työntekijöiden tietoisuuden kasvattaminen tästä erosta saattaa lisätä hyväksyntää ja useimmat yritykset pyrkivätkin

parantamaan joko työn houkuttelevuutta, joustavuutta tai tuottavuutta tehdessään päätöstä yhteistyörobottien hankinnasta. (Baumgartner et al. 2022)

Teknologian hyväksyntä on tärkeä organisatorinen haaste, joka monimutkaistuu modernin teknologian, kuten yhteistyörobottien, lisääntyneiden vuorovaikutusmahdollisuuksien myötä. Nämä mahdollisuudet herättävät usein ristiriitaisia asenteita robotteja kohtaan, joita voidaan pitää joko toivottuina laitteina, jotka vapauttavat työntekijät ei-toivotuista töistä, tai potentiaalisesti korvaavana teknologiana, joka uhkaa työntekijöiden työpaikkoja. Yrityksen edustajat ovat yleensä tietoisia hyväksynnän merkityksestä teknologian käyttöönoton onnistumisen kannalta. Heiltä kuitenkin usein puuttuu tietoa hyväksyntään vaikuttavista tekijöistä, minkä vuoksi he eivät onnistu toteuttamaan johdonmukaisia ja huolellisesti suunniteltuja organisatorisia lähestymistapoja, jotka edistäisivät hyväksyntää. (Baumgartner et al. 2022)

5. YHTEISTYÖROBOTTISOLUN SUUNNITTELU

Yhteistyörobottisolun rakenteella ja materiaalin etenemisellä on suuri vaikutus yhteistyörobotti kokonaisuuden toteutukseen. Nämä voivat edistää tehokkuuden lisäämistä vähentäen työtä menettelyvaiheessa ja varastossa. Valmistusmenetelmien täsmällinen suunnittelu ja mallinnus on välttämätön tehokkaan työtilan komponenttien integroimiseen ja kunnon robotin tuotannonjärjestelmän toiminnan ylläpitoon. (Lakshminarayanan et al. 2020)

5.1 Yhteistoimintatilan määrittäminen

Yhteistoimintatila on toteutettava niin, että tilassa työskentelevä henkilö pystyy helposti suorittamaan kaikki tehtävät eikä välineiden ja koneiden sijoittelu lisää vaaratilanteita. (ISO/TS 15066 2016) Standardi SFS-EN ISO 10218-2 (2011) vaatii yhteistoimintatilan selkeää määrittelyä, kun käyttäjä ja robotti ovat suorassa vuorovaikutuksessa toistensa kanssa. Lisäksi standardi SFS-EN ISO 10218-1 (2011) määrää käyttäjän olevan suojattava turvalaitteiden yhdistelmillä ja sallittujen suoritusominaisuuksien yhdenmukaisuudella estääkseen kaikki vaarat, mitkä käytiin läpi kohdassa 3.4. käyttäjä on suojattava ohjausjärjestelmällä.

Tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 (2016) määrittää seuraavat seitsemän kohtaa, jotka on yhteistoimintatilaa suunnitellessa otettava huomioon.

- 1) rajoitetun tilan ja yhteistyötilojen rajaaminen;
- 2) yhteistoimintatilaan liittyvät vaikutukset (esim. materiaalin varastointi, työnkulun vaatimukset, esteet);
- 3) esteiden, kuten kalusteiden, laitteiden ja rakennustukien, ympärillä olevien välysten tarve;
- 4) operaattoreiden saavutettavuus;
- 5) suunniteltu ja kohtuudella ennakoitavissa olevat kontaktit robottijärjestelmän osien ja operaattorin välillä;
- 6) kulkureitit (esim. operaattoreiden käyttämät polut, aineellinen liikkuminen yhteistyöhön työtilaan);
- 7) liukastumisiin, matkoihin ja putoamisiin liittyvät vaarat (esim. kaapelilaukut, kaapelit, epätasaiset pinnat, karryt). (Tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066 2016)

Lisäksi ISO/TS 15066 (2016) mukaan yksi tekijä, mikä pitää ottaa huomioon yhteistyörobottisolun suunnittelussa, on siirtymien määräajat. Tähän pitää määritellä, milloin yhteistyö alkaa ja päättyy. Yhteistyötoiminnan aloitus ja lopetus, sekä siirtyminen yhteistyötoiminnasta muihin toimintoihin, tulee suunnitella huolellisesti.

Robottijärjestelmää asentaessa täytyy varmistaa, että robotin toimintatilalla on vähintään 500 mm vähimmäisväli kaikkiin mahdollisiin väliin jäämis- tai puristuskohtiin. Näitä ovat välit rakennuksiin, rakenteisiin, apujärjestelmiin ja muihin koneisiin ja laitteisiin. Jos tätä vähimmäisväliä ei järjestetä, on robotin liike pysäytettävä suojaustoimenpiteissä, jotta saadaan käyttäjälle 500 mm suojaus etäisyydelle väliin jäämis- tai puristusvaaroista staattisessa ympäristössä. (SFS-EN ISO 10218-2 2011)

5.2 Yhteistyörobotiikan riskiarviointi

Teknisen spesifikaation ISO/TS 15066 (2016) mukaan yhteistyörobotiikka järjestelmän suunnittelu vaatii turvatoimenpiteitä varmistamaan käyttäjän turvallisuuden kaikissa yhteistyörobotti operaation vaiheissa. Riskiarviointi on välttämätöntä tunnistamaan riskit ja arvioimaan niiden yhteyksiä yhteistyörobottijärjestelmän menetelmiin, jotta oikea riskejä vähentävä toimenpide voidaan valita. Keskeinen prosessi yhteistyörobottisolun layout suunnittelussa on eliminoida vaarat ja vähentää riskit. (ISO/TS 15066 2016)

Tunnistetut riskit täytyy poistaa tai vähentää ensisijaisesti muuttamalla suunnitelmia tai vaarallisten ominaisuuksien korvaaminen vaarattomilla. Tämän jälkeen lisätään asianmukaiset suojukset tai turvalaitteet ja muut täydentävät menetelmät. Jos jäännösriskejä esiintyy, on ne vähennettävä esimerkiksi työntekijöiden koulutuksella, varoituksilla tai ohjekilvillä. (SFS-EN ISO 10218-1 2011)

Vaarojen tunnistamisprosessi täytyy vähintään ottaa teknisen spesifikaation ISO/TS 15066 (2016) mukaan robottiin, robottijärjestelmään ja robottisovellukseen liittyvät vaarat. Robottiin liittyviin vaaroihin kuuluvat robotin ominaisuudet, kuten sen kuormitus, nopeus, teho, voima, liikemäärä, vääntömomentti, geometria, pinnan muoto ja materiaali. Vaarojen tunnistamisessa täytyy tietää ihmisen sijainti suhteessa robottiin ja lisäksi tilanteet, joissa jokin osa ihmisen kehosta voi jäädä puristuksiin robotin minkä tahansa osan väliin. Robottijärjestelmän robotin työkaluun ja työkappaleeseen liittyvät vaarat sisältävät ergonomisen suunnittelun puutteen, terävät reunat ja ulkonemat, työkappaleen häviöt sekä työskentely työkaluvaihtajan kanssa. Lisäksi ihmisen sijainti ja liike suhteessa robottijärjestelmän osiin ja ihmisen ja robottijärjestelmän kosketuksen määrittely, onko vuorovaikutus ohimenevää vai syntyykö puristustilanteita ja mihin ihmiskehon osiin kosketus vaikuttaa. Robottijärjestelmän kiinnittimeen liittyvät vaarat, kuten sen suunnittelu,

pidikkeen sijoittaminen ja käyttö. Jos robottijärjestelmä sisältää käsin ohjaamiseen kuuluvan ohjainlaitteen, ohjainlaitteen suunnitteluun ja sijaintiin liittyvät tekijät, kuten saavutettavuus, ergonomia, mahdollinen väärinkäyttö ja mahdolliset virheet ohjaus- ja tilaindikaattoreissa. Robottijärjestelmään liittyy vielä lisäksi sen ympäristön vaikutukset. Robotisovellukseen liittyvät vaarat sisältävät prosessikohtaiset vaarat, henkilökohtaisten suojavarusteiden vaaditun käytön aiheuttamat rajoitukset sekä ergonomisen suunnittelun puutteellisuus tai vajaavaisuus. (ISO/TS 15066 2016)

Riskiarvioinnissa tunnistetuille vaaroille on tärkeää kiinnittää huomiota erityisesti seuraavista näkökulmista:

- Robotin käytön tarkoitus, myös robotin ohjelmointi, kunnossapito, asetusten tekeminen ja puhdistus
- Odottamaton käynnistys ja sen seuraukset
- Ihmisen lähestyminen kaikista suunnista
- Robotin väärinkäyttö
- Ohjausjärjestelmän vikaantumisen seuraukset ja vaikutukset
- Tarvittaessa mahdolliset robotisovellukseen liittyvät vaarat

Standardi ISO 12100 (2010) määrittelee peruskäsitteet, periaatteet ja menetelmät koneurvallisuudelle, jonka vaarojen tunnistamisen ja riskin arvioinnin toteuttamisen perusteella standardi SFS-EN ISO 10218-2 (2011) muodosti luettelon merkittävistä vaaroista. Nämä merkittävät vaarat, joita voi esiintyä robottien ja robottijärjestelmien yhteydessä ovat mekaaniset, sähköstä ja lämpötilasta johtuvat, melu, värinä, säteily, ergonomia, materiaalien ja aineiden vaarat, käyttöympäristön vaarat ja näiden vaaratekijöiden yhdistelmät. (SFS-EN ISO 10218-2 2011)

6. YHTEENVETO

Ihmisen ja yhteistyörobotin työskentely perustuu yhteiseen työtilaan, jossa vuorovaikutus tapahtuu ilman perinteisiä suoja-aitoja. Työnjako voi toteutua omatoimisesti, samanaikaisesti, peräkkäin tai tukemalla toistensa tehtäviä. Robotti tuo työskentelyyn tarkkuutta, toistettavuutta ja suorituskykyä, kun taas ihminen tuo joustavuutta ja kykyä ratkaista monimutkaisia tai ennakoimattomia tilanteita. Yhteistyörobotit parantavat tuottavuutta ja ergonomiaa, vähentäen fyysistä kuormitusta ja tuki- ja liikuntaelinsairauksia sekä lisäten työn mielekkyyttä.

Haasteita aiheuttavat turvallisuusriskit, teknologian käyttöönottoon liittyvät ennakkoluulot sekä työntekijöiden huoli työpaikkojen menetyksestä. Turvallisuustekniikat, kuten ISO/TS 15066 -spesifikaatiossa määritellyt turvaluokiteltu valvottu pysähdys, voiman ja nopeuden valvonta sekä tehon rajoittaminen, takaavat turvallisen yhteistyön ilman tehokkuuden heikkenemistä.

Yhteistyörobotisolun suunnittelu edellyttää riskinarviointia, työtehtävien tarkkaa määrittelyä ja tilan suunnittelua. Suunnittelussa huomioidaan saavutettavuus, ergonomia ja turvallisuus riskienhallinnan avulla. Ihmisen liikemallinnuksen avulla voidaan optimoida robotin liikeradat ja nopeus sekä varmistaa työskentelyn tehokkuus ja turvallisuus. Teknologian käyttöönotossa työntekijöiden osallistaminen, koulutus ja selkeä viestintä yhteistyörobottien eduista ovat avainasemassa. Hyvin suunniteltu yhteistyörobotisolu tukee ergonomista, turvallista ja tuottavaa työympäristöä.

LÄHTEET

- Bauer, Wilhelm, et al. (2016) Lightweight Robots in Manual Assembly - Best to Start Simply!: Examining Companies' Initial Experiences with Lightweight Robots
- Baumgartner, M. et al. (2022) Analysing Factory Workers' Acceptance of Collaborative Robots: A Web-Based Tool for Company Representatives. *Electronics (Basel)*. [Online] 11 (1), 145–.
- Bi, Z. M. et al. (2021) Security and safety assurance of collaborative manufacturing in industry 4.0. *Enterprise information systems*. [Online] ahead-of-print (ahead-of-print), 1–24.
- Bi, Z. M. et al. (2021-02) Safety assurance mechanisms of collaborative robotic systems in manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*. [Online] 67102022.
- Bisen, A. S. & Payal, H. (2021) Collaborative robots for industrial tasks: A review. *Materials today : proceedings*. [Online]
- Galín, R. R. & Meshcheryakov, R. V. (2020) 'Human-Robot Interaction Efficiency and Human-Robot Collaboration', in *Robotics: Industry 4.0 Issues & New Intelligent Control Paradigms*. [Online]. Cham: Springer International Publishing. pp. 55–63.
- Galín, R. R. et al. (2021) 'Analysis of Intersection of Working Areas Within the Human-Robot Interaction in a Shared Workspace', in *Software Engineering Application in Informatics*. [Online]. Cham: Springer International Publishing. pp. 749–759.
- ISO/TS 15066. (2016) Robots and robotic devices – Collaborative robots. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- Javaid, M. et al. (2022) Significant applications of Cobots in the field of manufacturing. *Cognitive Robotics*. [Online] 2222–233.
- Lakshminarayanan, N. et al. (2020) 'Design optimization of robotic work cell layout in automotive industries', in *IOP conference series. Materials Science and Engineering*. [Online]. 2020 IOP Publishing. pp. 12036–.
- Scimmi, L. S. et al. (2021) A practical and effective layout for a safe human-robot collaborative assembly task. *Applied sciences*. [Online] 11 (4), 1–14.
- SFS-EN ISO 10218-1 (2011) Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.
- SFS-EN ISO 10218-2 (2011) Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.