

# **Robotiikan turvallisuus**

## **Yhteistyörobottisolun turvallisuus oppimisympäristönä**

Janne Viitaniemi

Opinnäytetyö

Toukokuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Viitaniemi, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 57	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Robotiikan turvallisuus</b> Yhteistyörobottisolun turvallisuus oppimisympäristönä		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Työn ohjaaja(t) Ari Kuisma, Juho Riekkinen		
Toimeksiantaja(t) Jyväskylän ammattikorkeakoulu		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Robotiikan turvallisuus on ottanut isoja harppauksia uuteen suuntaan viime vuosikymmenen aikana. Teollisuudessa robotit eivät välttämättä ole enää omissa häikeissään vaan saattavat liikkua ihmisten seassa tai tehdä töitä yhdessä ihmisten kanssa. Tämä luo suuria haasteita turvallisuuden kehitykselle, jotta työskentely robottien kanssa pysyy turvallisena nyt ja jatkossa. Tämä koskee myös opetusta.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteeseen yltämiseksi määriteltiin neljä tutkimuskysymystä. Niihin haettiin vastausta kirjallisuudesta sekä laadullisen tutkimuksen kautta. Tutkimuksessa kerättiin aineistoa kyselylomakkeella. Kyselylomake lähetettiin suomalaisiin korkeakouluihin, joilla oli jonkinlaista toimintaa robotiikan kanssa.</p> <p>Kerätystä aineistosta selvisi, että robotiikan turvallisuuden taso on Suomessa oppilaitoksissa hyvällä tasolla. Vakavia tapaturmia ei ole viimeisen viiden vuoden aikana sattunut vastaajien oppilaitoksissa. Lieviä vammoja ja materiaalivahinkoja syntyy vuositasolla hieman, mutta nämä eivät vaadi toimenpiteitä turvallisuuden kehittämiseksi. Tuloksista kävi myös ilmi, että jonkinlaista yhtenäistä linjaa tai ohjeistusta kaivattaisiin robotiikan turvallisuuden kehitykseen Suomessa.</p> <p>Tutkimuksen tuloksina saatiin henkilökunnalle pidettyä turvallisuudesta koulutusta ja lisättyä yleistä tietämystä turvallisuuden moniulotteisesta maailmasta. Tämän lisäksi tehtiin konkreettisia muutoksia robotin käyttäjätasoihin ja pieniä muutostöitä itse robottisolun sekä kerättiin esille tulleista kehitysideoista listaus. Opinnäytetyön avulla toimeksiantaja voi kehittää opetuksen turvallisuutta ja varmistaa ettei turhia onnettomuuksia satu. Tutkimuksessa kerättyä tietoa voidaan hyödyntää myös toimeksiantajan muihin robottisoluihin.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Robotiikka, turvallisuus, riski, koulutus, oppilaitos		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Viitaniemi, Janne	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2021 Language of publication: Finnish
	Number of pages 57	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Safety of robotics</b> Collaborative robotic cell as a safe learning environment		
Degree programme Bachelor of Engineering, Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Ari Kuisma, Juho Riekkinen		
Assigned by Jyväskylä University of Applied Sciences		
Abstract  <p>The safety of robotics has taken big leaps in a new direction over the last decade. In industry, robots may no longer be in their own cages but may move among humans or work together with humans. This creates major challenges for the development of robotic safety so that working with robots remains safe now and in the future. This also applies to teaching.</p> <p>In order to reach the goal of the thesis, four research questions were defined. They were answered in the literature and through qualitative research. The study collected data with a survey. The survey was sent to Finnish universities that had any activity with robotics.</p> <p>The collected data showed that the safety of robotics in educational institutions in Finland is at a good level. There have been no serious accidents at the respondents' educational institutions in the last five years. Minor injuries and material damage occur slightly on an annual basis, but these do not require new measures to improve safety. The results also showed that some general guidelines are wanted for the development of robotics safety in Finland.</p> <p>As a result of the study, staff received training on safety and the thesis increased general knowledge about the multidimensional world of safety in educational environment. In addition to this, concrete changes were made to the robot's user levels and minor modifications were made to the robot cell itself, and a list of emerging development ideas was collected. With the help of the thesis, the client can develop the safety of teaching and ensure that unnecessary accidents do not occur. The information collected in the study can also be utilized in other robotic cells of the client.</p>		
Keywords/tags (subjects) Robotics, safety, risk, education, learning instution		
Miscellaneous (Confidential information)		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Robotiikan turvallisuus .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Opinnäytetyön tavoite.....</b>	<b>8</b>
2.1	Tutkimusprosessi.....	8
2.2	Jyväskylän ammattikorkeakoulu .....	9
2.2.1	Robots on Road .....	9
<b>3</b>	<b>Robotiikka .....</b>	<b>10</b>
3.1	Robotit.....	10
3.1.1	Teollisuusrobotit.....	12
3.1.2	Yhteistyörobotit.....	14
3.1.3	Mobiilirobotit.....	16
3.1.4	Palvelurobotit .....	16
3.2	Robotiikan tulevaisuus .....	17
<b>4</b>	<b>Tapaturmat robotiikassa.....</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Lainsäädäntö ja standardit.....</b>	<b>19</b>
5.1	Lainsäädäntö .....	19
5.2	Direktiivi.....	20
5.3	Standardit .....	20
5.4	CE-merkintä .....	21
<b>6</b>	<b>Turvalaitteet.....</b>	<b>22</b>
6.1	Turva-aidat .....	22
6.2	Valosähköiset teknologiat .....	23
6.3	Turvalogiikat .....	24
6.4	Muita yleisiä teknologioita .....	25
<b>7</b>	<b>Kyselytutkimus .....</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Yhteistyörobottisolun turvallisuuden arvionti .....</b>	<b>27</b>
8.1	Robottisolun kokoonpano .....	27

	5
8.1.1 ABB IRB 4600 .....	29
8.1.2 Mobiilirobotti.....	31
8.1.3 3D-konenäköskanneri.....	33
8.1.4 Turvaskannerit.....	34
8.1.5 Turvalogiikka.....	37
8.1.6 Muut osat .....	39
8.2 Riskien arviointi .....	41
8.3 Robottisolun muutokset.....	42
8.4 Koulutus henkilöstölle .....	45
8.5 Kehitysideat.....	46
<b>9 Pohdinta.....</b>	<b>49</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>51</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>56</b>
<b>Kuviot</b>	
Kuvio 1. Yhteistoiminnan muodot (IFR 2016).....	15
Kuvio 2. RobotWorx-hitsaussolu (Safety Options for Robotic Systems N.d.) .....	23
Kuvio 3. SICK:n turvaskannereita.....	24
Kuvio 4. JAMK:n yhteistyörobottisolu .....	28
Kuvio 5. Solu RobotStudiassa .....	29
Kuvio 6. RSP työkalunvaihtaja .....	30
Kuvio 7. Robotin tarttijat .....	30
Kuvio 8. Robotize GoPal 400.....	31
Kuvio 9. Robotize telakka latausasemalla.....	32
Kuvio 10. Photoneo PhoXi L.....	34
Kuvio 11. Lattian turva-alueet .....	35
Kuvio 12. Pöytäskannerin alue .....	36
Kuvio 13. Seinäskannerin alueet.....	37

Kuvio 14. Punainen hätäseis-painike ja valkoinen alueiden kuittauspainike .....	38
Kuvio 15. SafeMove-alueet.....	39
Kuvio 16. Robottisolun työpöytä .....	40
Kuvio 17. Törmäyssuoja .....	40
Kuvio 18. Robotin jarrujen vapautuskytkimet .....	43
Kuvio 19. Kotelolla suojatut kytkimet.....	44
Kuvio 20. FlexPendatin aloitusnäkyä .....	45
Kuvio 21. Valotorneja (OEM Finland) .....	48

## **Taulukot**

Taulukko 1. Esimerkkejä vaaratilanteista .....	42
--	----

# 1 Robotiikan turvallisuus

Turvallisuus on noussut monessa asiassa avainasemaan viime vuosikymmenien aikana, eritoten teollisuudessa. Tämä koskee myös robotiikkaa. Aikaisemmin robotit olivat hyvin pitkälle yhteen tehtävään suunniteltuja ja ohjelmoituja kokonaisuuksia, joten turvallisuus oli helppo saada tarpeeksi hyvälle tasolle häkeillä ja muilla esteillä (Malm 2014). Görnemann ja Platbrood (2018) katsovat, että tänä päivänä teollisuus haluaa ja tarvitsee useammin helposti muokattavia ja joustavia ratkaisuja, kuten esimerkiksi yhteistyörobotteja, joiden kanssa ihminen voi tehdä yhdessä töitä tai samalla työalueella. Myös Fryman ja Matthias (2012) ovat samaa mieltä ja kertovat, että tämä luo valtavan tarpeen turvallisuuden kehittämiseksi, jotta vältetään onnettomuuksilta. Robotit eivät välitä ihmisistä eikä heidän turvallisuudestaan, jos kyseisiä robotteja ei ole siihen erikseen ohjelmoitu.

Oman haasteensa turvallisuuden kehitykselle ja suunnittelulle tuo koneoppiminen, jota koitetaan hyödyntää monessa kohdassa. Koneoppiminen luo roboteista älykkäitä ja ympäristöön reagoivia, mutta saattaa myös aiheuttaa arvaamattomia liikkeitä ja muita toimintoja. Ympäristöön mukautuvat robotit ja ohjelmistot ovat haluttua tavaraa teollisuuden eri osa-alueilla. Arvioiden mukaan noin 50 % työtehtävistä maailmanlaajuisesti voitaisiin automatisoida nykyteknologialla. Robotiikalla ja sen kehityksellä on tässä huomattava osuus, koska osa automatisoitavasta työstä vaatii jonkinlaista kompleksista liikettä. Yleensä ajatellaan, että robotit voivat korvata vain matlaasti koulutettua työvoimaa, mutta esimerkiksi kirurgiassa hyödynnettävät leikkausrobotit voivat lähitulevaisuudessa korvata lääketieteen henkilöstöä (Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation 2017.)

On hyvä myös huomioida, ettei työntekijöiden hyvinvointi ole aina pääsyy turvallisuuden kehitykselle, vaan taustalla voi olla myös kyse taloudellisista asioista, kuten vakuutuskustannuksista, menetetyistä tuotannosta tai yrityksen maineesta.

## 2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella yleisesti robotiikan turvallisuutta sekä kartoittaa mahdollisia puutteita Jyväskylän Ammattikorkeakoululle (jäljempänä JAMK) hankitun yhteistyörobottisolun turvallisuudessa, etenkin opiskelijoiden näkökulmasta, joilla ei välttämättä ole minkäänlaista aikaisempaa kosketuspintaa robotiikkaan. Tulosten perusteella voidaan parantaa opiskelijoiden ja henkilöstön turvallisuutta robottisolulla työskennellessä sekä kehittää opetusta ja tehtäviä turvallisuuden kehyksestä. Tavoitteiden saavuttamiseksi määriteltiin seuraavat kysymykset:

1. Miten robotiikan turvallisuus on kehittynyt viimevuosikymmeninä?
2. Millä keinoin voidaan varmistua, että opiskelija ymmärtää robotiikan riskit?
3. Onko opiskelijoiden turvallista käyttää JAMK:in robottisolua?
4. Miten turvallisuutta voitaisiin kehittää?

Ennen kuin opinnäytetyössä lähdettiin selvittämään robottisolun turvallisuutta, perehdyttiin ensin erilaisiin turvalaitteisiin ja miten niitä nykypäivänä hyödynnetään. Näin saatiin vastaus ensimmäiseen kysymykseen. Toisessa kysymyksessä oli tavoitteena pohtia erilaisia tapoja, joilla voidaan opettaa robotiikan turvallisuutta ja varmistua, että oppi on mennyt perille. Vasta kun kahteen ensimmäiseen kysymykseen oli saatu vastaus, oli järkevää siirtyä miettimään ratkaisuja itse robottisolun kehitykseen ja tätä kautta vastata kahteen jälkimmäiseen kysymykseen.

### 2.1 Tutkimusprosessi

Aluksi määritettiin tavoitteet opinnäytetyötä varten. Tavoitteista määriteltiin tutkimuskysymykset, joista johdettiin aiheet kirjallisuuskatsaukseen. Aineistoa kerättiin myös suomalaisista korkeakouluista kyselytutkimuksella. Kyselyllä kartoitettiin, millaisia robotteja oppilaitoksilla on käytössä ja onko tapaturmia sattunut viimeisen viiden vuoden aikana niiden käytön takia. Kyselyyn toivottiin myös kommentteja robotiturvallisuuden parantamiseen. Kyselyn tuloksista lisää pääluvussa 7. Kirjallisuuskatsauksen ja robottisoluun tehtyjen toimenpiteiden pohjalta koottiin johtopäätökset JAMK:in yhteistyörobottisolun turvallisuudesta pääluvussa 9.



Kirjallisuuskatsauksessa tarkasteltiin, minkälainen robotiikan turvallisuuden tulevaisuus on ja mitä keinoja ja laitteita turvallisuuden parantamiselle on. Näitä asioita selvitettiin perehtymällä turvalaitteisiin sekä direktiiveihin, standardeihin, lainsäädäntöön ja valmistajien omiin ohjeisiin. Hyvän kokonaisuuden saamiseksi, oli myös tärkeää kertoa ajankohtaisista robottiteknologioista ja niiden sovelluksista. Luvussa tapaturmat robotiikassa, selvitettiin millaisia tapaturmia robottien kanssa on tapahtunut sekä syitä näillä onnettomuuksille.

Alla kirjallisuuskatsauksen neljä päälukua järjestyksessä:

1. Robotiikka
2. Tapaturmat robotiikassa
3. Lainsäädäntö ja standardit
4. Turvalaitteet

## 2.2 Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli JAMK. JAMK tarjoaa monipuolista ammatillista korkeakoulutusta, ja onkin yksi suosituimmista suomalaisista ammattikorkeakouluista. Opiskelijoita JAMK:ssa on noin 8500 ja henkilöstöä noin 700. Opetuksen lisäksi JAMK tarjoaa erilaisia asiantuntija-, testaus- ja tuotekehitystoimintaa yrityksille ja organisaatiolle. Automaatio ja robotiikka ovat JAMK:ssa vahvuusaloja. Robotiikkaa varten on omat laboratorioympäristöt, joita kehitetään jatkuvasti. Robotiikkaa opetetaan pääsääntöisesti sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelmassa sekä robotiikan JAMK-tutkinnossa. Vuosittain robotteja käyttää noin 60–80 opiskelijaa (Automaatio ja robotiikka N.d.)

### 2.2.1 Robots on Road

Varsinainen opinnäytetyön aihe tuli Robots on Road -hankkeesta. Hankkeen tarkoitus oli parantaa Keski-Suomen Pk-yritysten kannattavuutta ja liiketoimintamahdollisuuksia.

sia tarjoamalla apua erilaisten robotti- ja automatisointiratkaisujen kehityksessä. Rahoittajana hankkeessa toimi Euroopan unioni, Euroopan aluekehitysrahasto, Kestävää kasvua ja työtä 2014–2020 Suomen rakennerahasto-ohjelma. Hanke tarjosi testausapua JAMK:in tiloissa yrityksille heidän tarpeittensa mukaan. (Robots on Road N.d.)

Hanketta varten tehtiin myös laitehankintoja, mm. logistiikkalaboratorioon ABB:n suunnittelema yhteistyörobottisolun, johon tämä opinnäytetyö tehtiin. Olin mukana kyseisen solun käyttöönotossa sekä käyttökoulutuksessa, josta idea robotiikan turvallisuuden tutkimukseen heräsi.

## 3 Robotiikka

### 3.1 Robotit

Roboteista puhuttaessa, tulee ihmisillä yleensä mieleen elokuvista ja muusta viihteestä peräisin olevia ihmisen kaltaisia koneita, jotka ovat erittäin monikäyttöisiä, älykkäitä ja auttavat ihmisiä päivittäisissä askareissa. Toisille taas tulee mieleen kauhukuvia tulevaisuudesta, jossa tekoäly ja sen kehittämät monimutkaiset ja abstraktit koneet ovat orjuuttaneet ihmiskunnan tai vaihtoehtoisesti ihmiskunnasta on tullut niin riippuvainen roboteista, etteivät ihmiset enää tee mitään kehittäväää ja ihmiskunta rapistuu toimettomuuden keskellä (Robotics: A Brief History N.d.)

Kuten sana ”robotiikka”, myös ”robotti” tulee kirjallisuudesta. Sanaa käytettiin ensimmäisen kerran tšekkiläisen kirjailijan Karel Čapekin näytelmässä R.U.R. (Rossum's Universal Robots) vuonna 1920 (Robots: In the beginning N.d.). Sana tarkoittaa tšekiksi orjaa (Origin of the Word ‘Robot’ 2016.). Näytelmä kertoo ihmisen kaltaisista luoduista olioista, jotka ovat korvanneet ihmiset työnteossa ja lisääntymisessä. Ihmiskunta on sukupuuton partaalla, ja ainoaksi ratkaisuksi löydetään robottien vähentäminen. Tästä syystä robotit nousevat kapinaan ja

tuhoavat ihmiskunnan, jättäen vain tarpeellisen arkkitehdin henkiin, jotta hän voisi rakentaa lisää robotteja (Hilka-Keinänen 2018.)

Nykyään ”robotti” sanalle löytyy hyvin paljon erilaisia määritelmiä. Kapila (N.d) kertoo, että Robot Institute of America määrittelee sen vastaavasti:

*A reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through various programmed motions for the performance of a variety of task.*

Lexico.com (N.d.), joka on Oxfordin yliopiston ylläpitämä sanakirja, määrittelee robotin seuraavasti:

*A machine resembling a human being and able to replicate certain human movements and functions automatically.*

*A machine capable of carrying out a complex series of actions automatically, especially one programmable by a computer.*

Ylläolevista ensimmäinen onkin hyvin vastaava kuvaus, joka monille tulee mieleen tieteisfiktioista. Toinen kuvaa nykyaikaisia robotteja laaja-alaisesti paljon paremmin.

Yleisesti teollisuudessa kaikki robotit jaotellaan teollisuus- tai palvelurobotteihin. Jaottelu perustuu ISO -standardeihin. Vuodesta 1995 eteenpäin Yhdistyneiden kansakuntien Euroopan talouskomissio eli UNECE on ajanut palvelurobottien käsitettä eteenpäin, ja vuonna 2012 palvelurobotit tuli osaksi ISO 8373 standardia. (WR Industrial Robots. 2020, 42.)

### 3.1.1 Teollisuusrobotit

Kuten jo nimestäkin voidaan päätellä, teollisuusrobotit ovat yleisnimitys roboteille, joita käytetään pääsääntöisesti teollisuudessa. Teollisuudessa käytettävät robotit eivät ole varsinaisesti mikään uusi asia, vaan jo 1960-luvulla alettiin käyttämään robotteja teollisuudessa. Varsinkin autoteollisuuden hitsauslaitoksissa robotit yleistyivät nopeasti, ja tämä ajoi robotiikan ensimmäistä aaltoa vahvasti eteenpäin. Toinen iso teollisuusrobottien aalto alkoi 2010-luvulla, ja sitä ajaa erityisesti tekniikan monimuotoisuuden kehitys, mutta myös työvoimakustannusten jatkuva nousu ja kasvava kilpailu (Industrial robotics 2019). ISO 8373:2012 standardi määrittelee teollisuusrobotit sellaisiksi laitteiksi, jotka ovat monikäyttöisiä, automaattisesti ohjattavissa, uudelleen ohjelmoitavissa ja joita voidaan ohjata vähintään kolmella vapausasteella. Ne voivat olla paikalleen kiinnitettäviä tai liikkuvia ja niitä käytetään teollisuuden erilaisissa automaatiosovelluksissa (ISO 8373:2012).

Standardi määrittelee monikäyttöisyyden sillä, että teollisuusrobotin käyttökohdetta voidaan vaihtaa tekemättä itse robottiin fyysisiä muutoksia. Samoin uudelleen ohjattavuus tarkoittaa, että robotin liikkeitä tai avustavat toimet voidaan uudelleenohjelmoida muuttamatta fyysistä rakennetta (Mt.).

Teollisuusrobotteja on montaa eri tyyppiä, jos tarkastellaan perusrakenteita. Aikaisemmin suosittiin paikallaan olevia yksinkertaisia lineaarisia robotteja, mutta jatkuva kehitys sekä teollisuuden monimuotoisuus on alkanut suosimaan käsivarsirobotteja niiden monikäyttöisyyden takia. International Federation of Robotics (Industrial Robots N.d.) jaottelee teollisuusrobotit niiden rakenteen mukaan vastaavasti:

1. Karteesinen robotti
2. Scara-robotti
3. Kiertyvänivelinen robotti
4. Delta-robotti
5. Sylinterirobotti

## **Karteesinen robotti**

Karteesisella robotilla tarkoitetaan robottia, jolla on kaksi tai kolme akselia, jotka ovat 90-asteen kulmassa toisiinsa nähden. Akselit eivät pyöri, vaan liikkuvat lineaarisesti. Tämä tekee robottien ohjaamisesta erittäin yksinkertaista. Näitä robotteja kutsutaan myös nimillä suorakulmainen robotti tai portaalirobotti. Yleisimmät käyttökohteet tämänkaltaisille roboteille ovat erilaiset materiaalin liikuttamiset kuten liukuhihnalta purku tai osien kokoonpano (Industrial robotics 2019).

## **SCARA-robotti**

SCARA-robotin nimi tulee sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm eli vapaasti käännettynä tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobotti. Tämän tyyppisellä robotilla on usein kolme vaakatasossa liikkuvaa kiertoniveltä ja yksi pystysuunnassa liikkuva lineaarinivel. Tämä neljän vapausasteen rakenne on jo lähempänä ihmisen olkapään, kyynärpään ja ranteen liikettä. SCARA-robotteja käytetään pääsääntöisesti nopeisiin ja tarkkoihin liikkeisiin, jotka toistavat itseään. Tällaisia tehtäviä on muun muassa kokoonpano ja koneen syöttö (Mt.).

## **Kiertyväniveliset robotit**

Kiertyväniveliset robotit ovat tällä hetkellä eniten käytetty teollisuusrobotityyppi. Vuonna 2017, 65 % uusista robottitoimituksista oli kiertyvänivelisiä. Näissä roboteissa on kiertyvät nivelet ja yleensä kolmesta kuuteen vapausastetta. Nämä takaavat robotille hyvin laajat liikeradat ja sen myötä monipuoleiset työtehtävät. Koska liikeraatojen lasku on monimutkaista, robotin liikkeet voivat olla arvaamattomia. Tämän, ja laajan liikeratojen takia, nivelvarsirobotit suljetaan usein omiin hakeihinsä tai muihin eristettyihin toimitiloihin. Hyvin soveltuvia tehtäviä nivelvarsiroboteille ovat erilaiset maalaus- ja hitsaustehtävät sekä kokoonpano. Varsinkin nykyaikana, nivelvarsirobotteihin on alettu lisäämään älyä erilaisten sensorien ja varsinkin kameroiden kautta. Esimerkiksi kameran ja voimasensorin avulla voidaan kerätä ja asetella erilai-

sia kappaleita hyvinkin tarkasti, vaikka niiden sijainti muuttuisi keräys- tai purkupisteellä. Nämä asiat tekevät nivelvarsiroboteista erityisen haluttuja teollisuuden jatkuvasti muuttuviin tarpeisiin (Mt.).

### **Delta-robotit**

Delta-robotti, joskus myös rinnakkaisrobotiksi kutsuttu, on teollisuusrobotityyppi, jolla on kolme liikkuvaa akselia. Nämä akselit on yhdistetty yhteiseen pohjaan rinnakkain. Tämä eroaa aiemmin mainituista robotityypeistä siten, että akselien rinnakkainasettelulla saadaan vähennettyä jokaiseen niveleen kohdistuvaa voimaa. Tämä takaa robotille enemmän kykyä liikuttaa massaa kapeamman liikeradan kustannuksella. Delta-robotit soveltuvat mainiosti keräilyyn nopeutensa ja tarkkuutensa vuoksi (Mt.).

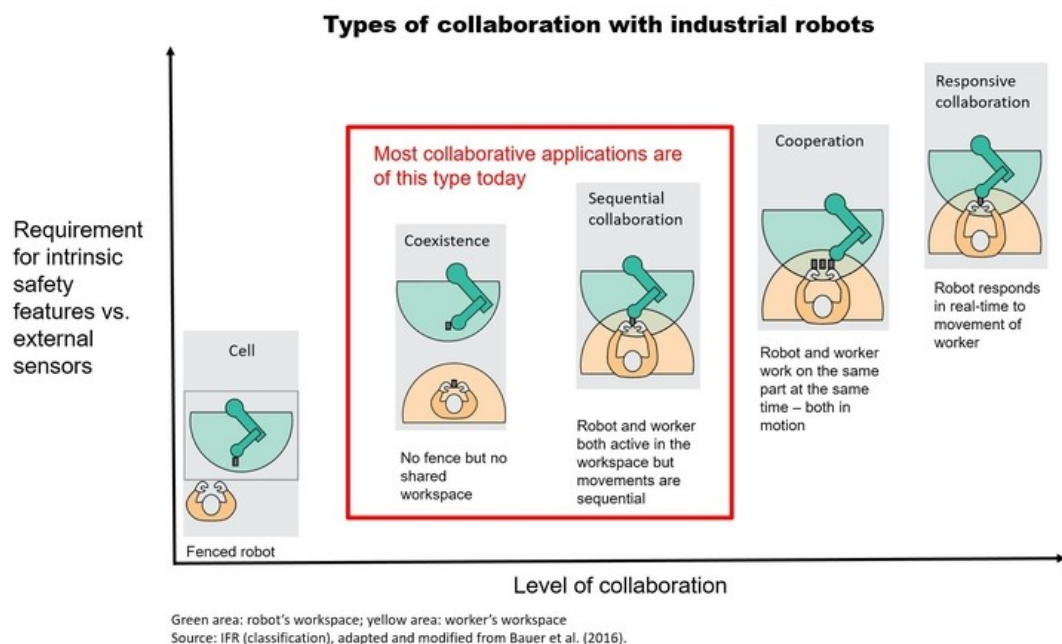
### **Sylinterirobotit**

Sylinterirobotit ovat yleensä hyvin yksinkertaisia robotteja, jotka muistuttavat liikeraltaan portaali- tai SCARA-robotia. Sylinterirobotissa pääsääntöisesti ensimmäinen nivel on kiertyvä. Lisäksi robotissa käytetään pysty- ja vaakasuunnassa lineaarisesti liikkuvia niveliä, jotta saadaan kasvatettua työaluetta. Työalueesta tulee lähes 360-astetta kattava sylinteri, jonka koko riippuu nivelten pituudesta. Sylinterirobotteja käytetään yleensä kokoonpanotehtävissä ja pistehitsauksissa (Mt.).

#### **3.1.2 Yhteistyörobotit**

Yhteistyörobotit (collaborative robots, cobots) on nimensä mukaisesti suunniteltu tekemään työtä yhdessä ihmisen kanssa samassa tilassa vuorovaikutteisesti. Jotta yhteistyö robotin ja ihmisen kanssa olisi sujuvaa ja turvallista ilman aitoja ja muita esteitä, on robotin sisäiset ja ulkoiset turvalaitteet oltava tarpeeksi herkkiä havaitsemaan ihmisen läsnäolo tai kosketus. Myös robotin liikenopeudet ovat oltava tarpeeksi matalat, jotta robotin tuottama iskuvoima törmäyksen sattuessa jää pieneksi. Suurin osa yhteistyöroboteista on, joko ulkoisilla antureilla varustettuja soluja, jotka

pysähtyvät, kun ihminen saapuu työalueelle, tai pieniä robotteja, joissa on sisäänrakennetut anturit, joilla havaitaan törmäykset. Jälkimmäisiä käytetään yleensä jatkuvassa yhteistyötoiminnassa, esimerkiksi avustamassa tavaroiden paketointia lähetystä varten tai nostoapuna kokoonpanossa. Kuviossa 1 on kuvattu tyypillisiä yhteistyön tasoja robotin ja ihmisen välillä. Mitä vähemmän robotissa on omia turvatoimintoja, sitä vähemmän voi robotti ja ihminen tehdä yhteistyötä samanaikaisesti samalla alueella.



Kuvio 1. Yhteistoiminnan muodot (IFR 2016)

Yhteistyörobotit ovat lisääntyneet huomattavasti viime vuosina. Tämä trendi johtuu yhteistyörobottien joustavuudesta ja paremmasta tilankäytöstä. Myös turvatekniikoiden kehitys ja uudet standardit ovat mahdollistaneet entistä jouhevamman yhteistyörobotiikan hyödyntämisen. Vaikka yhteistyöroboteille ei ole omaa standardiaan, niille on oma spesifikaatio, ISO/TS 15066:2016, johon viitataan standardissa EN

ISO 10219-1:2011, kun puhutaan yhteistyörobotiikasta. Spesifikaatiossa esitetään rajaehdot, jolloin ihminen ja robotti voi työskennellä samassa tilassa (Malm & Salmi 2019).

### 3.1.3 Mobiilirobotit

Mobiilirobotiikka on nopeasti yleistynyt robotiikan laji. Mobiilirobotti on kone, joka liikkuu ja pystyy tekemään havaintoja ympäristöstään. Osa mobiiliroboteista kulkee ennalta määrättyjä reittejä pitkin, mutta osaan on liitetty tekoälyä auttamaan ympäristön havainnoinnissa. Havainnointi toteutetaan yleensä konenäön ja erilaisten luotausten yhdistelmänä, joilla robotti rakentaa itselleen kartan ympäristöstään. Yleensä mobiilirobotit lajitellaan niiden käyttöympäristön mukaan. Esimerkkinä autonomisesti lentävät lennokit (UAV) eli dronet, jotka menevät ilmassa tai veden alla autonomisesti liikkuvat robotit (AUV). Teollisuusympäristössä on myös yleistynyt tavaransiihtoon suunniteltuja itseksään liikkuvia vaunuja. Mobiilirobotiikkaa käytetään aivan päivittäisten asioiden siirtoon, mutta myös hyvin vaarallisissa paikoissa kuten syvällä kaivoksissa, ydinvoimaloissa korkeassa säteilyssä ja jopa sotatantereella tarvikkeiden siirtoon tai vihollisten pommitukseen (Brush N.d).

### 3.1.4 Palvelurobotit

Palvelurobotteja on hyvin montaa eri lajia. ISO 8373 määrittelee palvelurobotin sellaiseksi laitteeksi, joka tekee ihmiselle hyödyllisiä toimintoja, jotka ei kuitenkaan ole teollisuuden automaatiota. Palvelurobotteja käytetään monella eri alalla, on siivousrobotteja, vastaanottorobotteja, tarjoilijarobotteja, vartijarobotteja, leikkausrobotteja, chattibotteja ja eksoskeletoneja. Osa roboteista on täysin autonomisia ja tekoälyllä oppivia, kun taas osa vaatii ihmisen ohjausta. Palvelurobotit ovat lisääntyneet ihmisten mukavuuden halusta ja tarpeesta parantaa ihmisten elämänlaatua. Pikkuhiljaa palvelurobotiikka on alkanut korvaamaan ihmisiä siivouksessa, logistiikassa, erilaisissa vastaanottopalveluissa ja jopa maanrakennuksessa. Palvelurobotiikka on varmasti laajinten kehittyvä robotiikan ala, koska uusia innovaatioita tulee jatkuvasti, ja mitä enemmän robotit kehittyvät, sitä enemmän ne voivat korvata ihmisen tekemää toistavaa työtä (Calderone N.d).



## 3.2 Robottiikan tulevaisuus

Robottiikan nopeaa kehitystä ei voi estää. Suunta, jonne kehitys tällä hetkellä vie, näyttää suosivan robottien ja ihmisten lisääntyvää yhteistyötä. Koneen ja koneoppimisen kehitys on tuonut paljon uusia mahdollisuuksia yhteistyörobotiikkaan. On alettu jo kehittää robotteja, jotka ovat tietoisia ympäristöstään ja pystyvät sopeutumaan ympäristön muutoksiin, toisin kuin perinteiset staattiset teollisuusrobotit. Tämä murros tuo omat haasteensa turvallisuuteen. Voiko ihminen luottaa, että robotti ”välittää” hänestä, eikä esimerkiksi aja hänen ylitseen (Thomas 2020).

Toinen kysymys luottamukseen tulee, kun mietitään robottien lisääntyvää autonomiaa. Kun robotin käsketään tehdä jatkuvasti monimuotoisempia tehtäviä ilman valvontaa, voidaanko luottaa, että robotti suoriutuu tehtävistään? Jos robottia täytyy vaihtaa koko ajan, miksi laittaa robotti tekemään kyseistä tehtävää ihmisen sijasta? Vastaus tähän ei tietenkään ole yksiselitteinen. Esimerkkinä robotti voi toimia ympäristössä, jossa ihminen ei. Tähän esimerkkinä, vaikka tila, jossa on korkea säteilypitoisuus. Tästä syystä kehityksen edetessä, pitäisi löytää jonkunlainen kultainen keskitie robottien autonomiselle työskentelylle. Lisätään pikkuhiljaa robotteihin aisteja erilaisilla sensoreilla, ja sitä kautta lisätään tehtävien monimuotoisuutta ja robotin vastuuta työstään (Mt.).

Jos lyhyesti mietitään robotiikan tulevaisuutta, nähdään robotteja enemmän hakiensa ulkopuolella ihmisten seassa sekä uudenlaisissa ympäristöissä, kuten öljynporauslautoilla ja energialaitoksissa. Vaikka tässä opinnäytetyössä ei käsitellä ohjelmistorobotiikkaa (RPA, Robotic Process Automation), on hyvä ymmärtää, että suurin osa robotiikasta, joka korvaa ihmisten nykyisin tekemää työtä, on juuri ohjelmistorobotiikka eli erilaisten ohjelmistojen automatisointia (Mt.).

## 4 Tapaturmat robotiikassa

Robotiikassa tapahtuvia tapaturmia tilastoidaan erittäin huonosti, johtuen pääsääntöisesti näiden tapaturmien vähyydestä. Euroopan Unioni (Eurostat) ei tilastoi erikseen roboteista aiheutuvia onnettomuuksia vaan listaa ne tapahtumapaikan mukaan teollisuusonnettomuuksiksi. Suomessa käytetään samaa menetelmää. Yhdysvallat tilastoi robottien kanssa sattuneet onnettomuudet omana kategorianaan osavaltioiden tasolla ja kerää tästä sitten onnettomuusraportit yhteen paikkaan (Occupational Safety and Health Administration, osha.gov). Tässä pitää vielä huomioida, että ainoastaan vakuutuskesittelyyn asti menevät tapaukset tilastoidaan, joten hyvin lieviä henkilövahinkoja ei kirjata.

Koska lieviä henkilövahinkoja ei kirjata, ne tilastoinnit mitä robotiikan tapaturmista löytyy, ovat synkkiä. Suurin osa on aiheuttanut vakavia vammoja tai kuolonuhreja. Yhdysvalloissa kuolee keskimäärin yksi ihminen vuosittain roboteista aiheutuviin vammoihin. Nämä onnettomuudet eivät yleensä tapahdu normaaliajossa, vaan poikkeavissa tilanteissa, kuten huolto-, rakennus- tai ohjelmointitöissä, jolloin robottien turvalaitteet saattavat olla osittain tai kokonaan poissa käytöstä. Tästä voi päätellä, että normaalitilanteissa ja oikein käytettynä robotit ovat todella turvallisia käyttää (Smith 2018).

Yleisimmät vammamekanismit ovat pieniä kolhuja ja naarmuja, jotka aiheutuvat robotin osista, kun robottia rakennetaan tai ohjelmoidaan. Käytön aikana puristuminen robotin ja tason väliin on isoin riski ja suurin osa vakavista onnettomuuksista on nimelomaan puristumisia. Yleisiä pieniä vahinkoja on myös kappaleiden tippuminen robotin tarttujasta ihmisen päälle. Yleensä nämä kappaleet ovat pieniä eivätkä aiheuta suurta vahinkoa (Mt.).

Myös erilaiset robottien työkalut voivat aiheuttaa vaaraa. Yleisimpänä lienee hitsaus-työkalut, joiden pelkkä valokaari, ja siitä lentävät kipinät saattavat aiheuttaa palovammoja tai vaaraa silmille. Roboteissa voi olla paineistettuja työkaluja tai letkuja,

jotka hajotessaan voivat aiheuttaa vakavaakin vaaraa. On myös tärkeää laittaa näkyvillä olevat johdot ja kaapelit kouruihin, jotta vältetään kompastumisvaara sekä laitehäiriön vaara (Mt.).

Fraunhoferin instituutti Saksassa tutkii robottien aiheuttamia vammoja ja niihin tarvittavien voimien raja-arvoja. He testaavat heilurin avulla millaisista iskuista ihmisille aiheutuu vammoja. Heilurilla, johon on kiinnitetty erilaisia antureita, isketään vapaaehtoista ihmistä erilaisilla nopeuksilla ja massoilla. Antureista saadusta datasta sekä ihmisten kokemuksista kehitetään ehdotus sopiville raja-arvoille, kun robotti ja ihminen työskentelee samassa tilassa (Schenk N.d).

Robottien, kuten kaikkien koneiden kanssa täytyy olla huolellinen ja noudattaa käyttöohjeita. Kun tehdään huoltotöitä, täytyy varmistaa, ettei robotti voi käynnistyä vahingossa. Testauksen aikana on pidettävä huoli, ettei työalueella ole ketään ylimääräisiä henkilöitä ja mielellään testaaja itse on lähimpänä robottia.

## **5 Lainsäädäntö ja standardit**

Robottiikkaa ohjaa monenlaiset säännökset. Osa niistä on vapaaehtoisia ja osa pakollisia. Toiset ovat voimassa vain tietyillä alueilla, toiset ovat kansainvälisiä. Tämän takia on tärkeää aina tutustua laitteiden mukana tulevaan dokumentaatioon ja oltava tietoinen minkä säännösten mukaan laitteisto on suunniteltu.

### **5.1 Lainsäädäntö**

Suomessa teollisuutta, ja sen kautta robotiikkaa ohjaa työturvallisuuslaki 23.8.2002/738. Lain 41 § määrää tiettyjä asioita koneiden, työvälineiden ja muiden laitteiden käyttöön. Laki määrää muun muassa, että laitteita on huollettava ja puhdistettava asianmukaisesti. Pääsyä koneiden vaara-alueelle on rajoitettava eri toimintojen avulla sekä huolto- ja poikkeustilanteisiin on varauduttava niin, ettei niistä ole

vaaraa työntekijöiden terveydelle tai turvallisuudelle. Valtioneuvosto voi asetuksella antaa tarkempia säännöksiä koneiden hankintaan, huoltoon ja turvalliseen käyttöön (Työturvallisuuslaki 2002).

## 5.2 Direktiivi

Robotit luokitellaan koneiksi, joten ne ovat Euroopassa konedirektiivin alaisia. Konedirektiivi 2006/42/EY määrittelee koneiden valmistajille velvollisuuksia, koneiden suunnitteluun ja rakennukseen liittyviä terveys- ja turvallisuusvaatimuksia sekä menetelmät koneen vaatimustenmukaisuuden osoittamiselle ja markkinoille tuomiselle.

Konedirektiivi vaatii koneilta vähimmäisvaatimukset. Näitä vaatimuksia ovat mm. koneen turvallinen suunnittelu ja rakentaminen, koneessa olevat merkinnät, kuten CE-merkki ja valmistajan tiedot sekä koneen yksilöintimerkinnät. Tämän lisäksi koneen mukana täytyy toimittaa asianmukaiset käyttö- ja huolto-ohjeet sekä EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus. Suomessa nämä dokumentit täytyy toimittaa suomen- ja ruotsinkielisinä (Konedirektiivi 2006).

## 5.3 Standardit

Standardeja on moneen lähtöön. Standardi sanana tarkoittaa jotain normaalia tai vakiotyyppiä. Yleensä teollisuuden standardien kuvataan olevan kirjallisia julkaisuja, joissa määritellään tuotteiden ominaisuuksia ja vaatimuksia sekä järjestelmien toimintaa. Standardit voivat on kansallisia, eurooppalaisia tai kansainvälisiä. Jokaisella standardilla on oma tunnuksensa, josta selviää sen tunnus, numero ja vahvistusvuosi. Suomessa vahvistetut standardit tunnistaa SFS-tunnuksesta, kun taas eurooppalaiset EN-tunnuksesta ja kansainväliset ISO-tunnuksesta. Standardeista ei päätä kukaan eikä mikään yksin. Standardeja kehitetään markkinatarpeeseen. Standardointiprosessiin voi osallistua kaikki halunsa ja kiinnostuksen mukaan. Yleisesti standardin laatiminen menee seuraavissa vaiheissa:

1. Standardialoite tehdään
2. Standardialoite hyväksytään
3. Ehdotus standardista ja sen sisällöstä tehdään
4. Sisältöä kommentoidaan
5. Standardi vahvistetaan
6. Standardin ajantasaisuutta arvioidaan säännöllisesti

Standardien käyttäminen on täysin vapaaehtoista, jotkut viranomaiset näkevät standardit kuitenkin erittäin hyödyllisiksi ja täten suosittelevat niiden käyttöä. Yleensä standardien käyttöä perustellaan niiden hyödyillä. Kun kaikki on tehty standardien mukaisesti, yllätyksiä tulee vähemmän ja tämä parantaa yhteensopivuutta ja turvallisuutta. Esimerkkinä teollisuusrobotiikan standardit määrittelevät turvalaitteiden ominaisuuksia. Kun teollisuusrobotti on varustettu standardin mukaisilla turvavarusteilla, tiedetään jo ennen käyttöönottoa millaisia turvaominaisuuksia robotissa on (SFS N.d).

#### 5.4 CE-merkintä

CE-merkintä on tuotteen valmistajan tai sen edustajan vakuutus sille, että tuote täyttää sille määrätyt EU-direktiivien ja asetusten vaatimukset. Jos tuote on merkitty CE-merkillä, se saa vapaasti liikkua EU:n alueella. Merkintää ei myönnä mikään viranomainen, vaan sen kiinnittää itse valmistaja tai sen edustaja. Merkintä tulee laittaa vain tuotteisiin, joihin lainsäädäntö sen vaatii. CE-merkki ei ole tae tuotteen turvallisuudesta, laadusta tai mistään muusta paremmuudesta. Sen ainoa tehtävä on kertoa, että tuote täyttää valmistajan mukaan tuotteelle määritetyt säädökset. Esimerkkinä koneiden CE-merkintä vaatii tuotteelta konedirektiivin mukaiset määrittäykset. Jos tuote ei täytä CE-merkintää tai se puuttuu kokonaan, tuote voidaan määrätä poistettavaksi markkinoilta (Tukes N.d).

## 6 Turvalaitteet

Laitteisiin, joiden käyttöturvallisuutta ei voida taata pelkästään suunnittelussa luoduilla ratkaisuilla, voidaan lisätä erilaisia olemassa olevia turvateknologioita. Näin turvallisuus saadaan hyvälle tasolle. Tätä ennen täytyy laatia suunnitelma laitekokoisuuden turvallisuudelle koko sen elinkaarelle. Elinkaari alkaa suunnittelusta, jatkuu käyttöönottoon ja huoltoon, ja lopulta päättyy laitteen käytöstä poistoon. Vaarojen tunnistaminen ja riskien arviointi on mahdollisesti tärkein yksittäinen osa robottien laitesuunnittelua. Riskiarvio on tärkeä työkalu suunnitteluvaiheessa ja sen myötä valitaan sopivimmat turvalaitteet. (Malm 2014; Eastwood, Kessel & Nelson N.d.) Riskiarviota, ja sen luontia ja käyttöä tarkastellaan tarkemmin luvussa 8.2.

Konedirektiivi (2006/42/EY), työturvallisuuslaki (738/2002) ja ISO (ISO 10218-1:2011, ISO 10218-2:2011) standardit määrittelevät erilaisia hyväksytyjä turvalaitteita, jotka helpottavat turvallisten kokonaisuuksien suunnittelua.

### 6.1 Turva-aidat

Turva-aidat ovat robottisolujen turvallisuuden ilmeisin osa. Aidat estävät pääsyn robotin työalueelle sekä muille kielletyille alueille. Aitoja, esteitä ja häkkejä on moneen eri käyttökohteeseen. Yleisimmät ja halvimmat vaihtoehdot ovat perinteisiä verkkoaitoja, joiden tarkoitus on vain eristää robotti muusta maailmasta, mutta tarjolla on myös erilaisia tarkemmin suunniteltuja aitoja tiettyihin käyttötarkoituksiin. Esimerkkinä hitsaussolun kilpi, joka on suunniteltu estämään hitsauksesta tulevan valon sokeava vaikutus solun ulkopuolelle. (Aguilar 2004; Safety Options for Robotic Systems N.d.) Kuviossa 2 on esimerkki RobotWorxin hitsaussolun turvakilvestä.

Turva-aidat on mitoitettava siten, että henkilö ei pääse soluun helposti sen ympäriltä, läpi eikä yli. Tämä vaatii sen, että aidat ovat kunnolla kiinni eikä helposti poistettavissa. (Eastwood, Kessel & Nelson N.d.) Konedirektiivi määrää, että kiinteät esteet

voidaan poistaa vain työkaluilla. Jos esteet ovat väliaikaisia, niiden irrotustyökalut pitää olla solun välittömässä läheisyydessä (2006/42/EY).

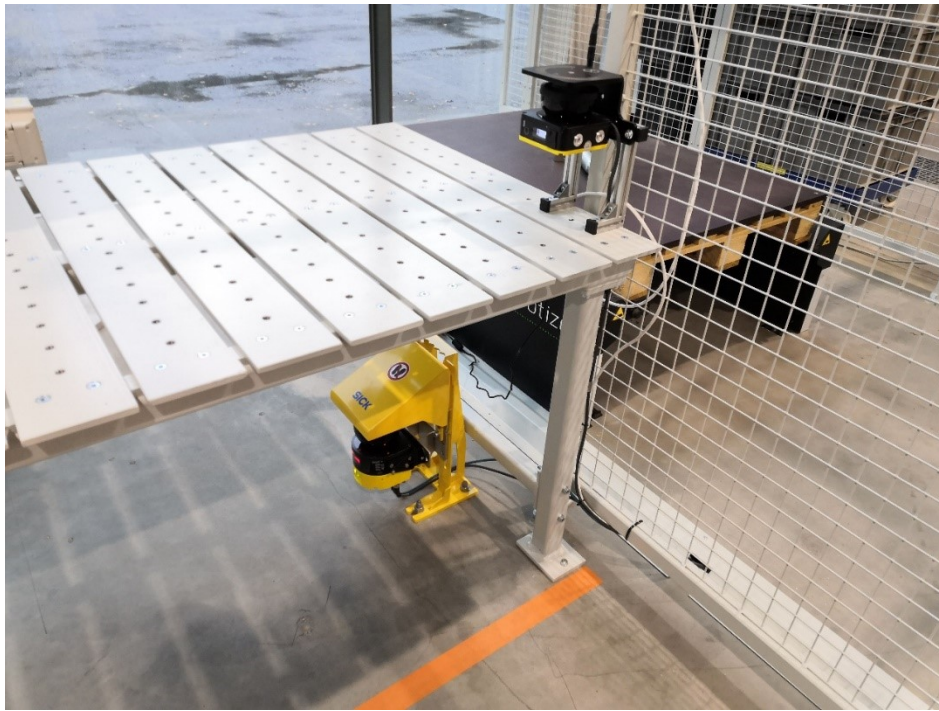


Kuvio 2. RobotWorx-hitsaussolu (Safety Options for Robotic Systems N.d.)

## 6.2 Valosähköiset teknologiat

Valosähköiset laitteet kattavat kaikki optiset turvalaitteet. Näitä on esimerkiksi laserskannerit sekä valoverhot. Näiden turvalaitteiden hyötynä on, että ne eivät välttämättä tarvitse mitään toimenpiteitä laitteen operaattorilta, eivätkä ne vaadi juurikaan tilaa. Ne on ensisijaisesti suunniteltu aukkojen ja alueiden turvaluokiteltuun valvontaan. Toimintaperiaate on usein hyvin simppelellä, laitteesta luodaan valonsäteitä turva-alueelle. Jos valonsäteet katkeavat, laite pysähtyy. Nykyisin on saatavilla paljon lisäominaisuuksia, kuten esimerkiksi vaimennustoiminto, jolla saadaan tietty osa valon alueesta inaktiiviseksi, jolloin vaikka liukuhihnalla vain tietyn korkeiset kappaleet pääsevät läpi (Light beam safety devices N.d.).

Kuviossa 3 on kaksi erilaista laserskanneria, joilla valvotaan liikettä lattialla ja pöydällä.



Kuvio 3. SICK:n turvaskannereita

### 6.3 Turvalogiikat

Turvalogiikat toimivat usein hyvin samanlailla kuin perinteiset ohjelmoitavat logiikat. Suurin ero näiden kahden välillä on, että turvalogiikat on suunniteltu ainoastaan varmistamaan kokonaisuuden turvallisuutta. Tämä tekee kytkennöistä yksinkertaisia, sillä ylimääräisiä turvareleitä ei tarvita. Hyvin monesti turvalogiikoissa on erillinen diagnostiikkayksikkö, joka valvoo jatkuvasti tulevia ja meneviä signaaleita. Jos signaaleissa havaitaan poikkeama, laitteet pysäytetään turvallisesti. Jotta logiikkaa voidaan pitää turvalogiikkana, sen täytyy yltää kansainvälisen IEC 61508 – Toiminnallinen turvallisuus standardisarjan mukaisiin vaatimuksiin. Monet turvalogiikat yltyvät tänä päivänä vähintään SIL (Safety Integrity Level) 3-tasoon. Koska turvalogiikat toteuttavat yleensä useampia turvatoimintoja, SIL-taso täytyy määrittää vaativimman turvatoiminnon mukaan. (Vikaantumislaskenta 2017).

Suurin hyöty turvalogiikoissa verrattuna perinteisiin turvareleisiin on joustavuus. Jos kokoonpanoon tulee muutoksia, turvareleisiin ei tarvitse vetää uusia johtimia, vaan



riittää ohjelman muutos. Tämä totta kai vaatii osaavaa henkilöstöä, eikä turvalogiikka kannata käyttää hyvin yksinkertaisiin kokoonpanoihin kustannusten takia (Mt.).

## 6.4 Muita yleisiä teknologioita

Ennen kuin laserskannerit yleistyivät, käytettiin turvamattoja, jotka havaitsivat paineen muutoksen, eli kun ihminen astui matolle, turvaominaisuudet laukesivat. Näitä käytetään edelleen, mutta laserskannereiden monipuolisuus on syrjäyttänyt turvamattojen käyttöä huomattavasti.

Hätäseis-napit ovat myös erittäin yleinen osa turvalaitteita. Monesti hätäseis on kytketty omaan turvareleeseen, mutta tähänkin on tullut hieman muutosta nykyisten turvalogiikoiden myötä. Turvalogiikkaan kytkettynä hätäseis ei ole oma turvalaitteensa, vaan osa turvalogiikan ominaisuuksia, ja turvareleen sijasta se laukaisee vain yhden ohjelman logiikasta.

Perinteiset varoituskyltit ovat matalimmalla kynnyksellä, kun mietitään turvahankintoja. Yksi simppele varoituskyltti voi olla yhtä tehokas kuin hienot turvalogiikat, jos se on aseteltu hyvälle paikalle ja sen viesti on selkeä.

## 7 Kyselytutkimus

Yksi työn tärkeimpiä osia oli kyselytutkimus ja sen vastaukset. Tämä eritoten siitä syystä, että robotiikasta johtuvista onnettomuuksista ja niiden syistä on todella vähän julkista tietoa saatavilla. Itse kyselykään ei tarjonnut kovin kattavasti vastauksia, koska se kohdistui vain Suomeen. Kyselyssä kartoitettiin robotiikan turvallisuutta suomalaisissa oppilaitoksissa kahdeksalla kysymyksellä. Kaikilla kyselyyn vastanneilla oppilaitoksilla oli käytössään robotteja, ja useampaa erilaista robottityyppiä. Liitteessä 1. on kyselylomake.

Kysely kohdistettiin viiteentoista eri oppilaitokseen. Oppilaitokset valikoituivat robotiikan opetuksen mukaan, jokainen valikoitu laitos kertoi opettavansa robotiikkaa jossain muodossa. Kysely lähetettiin sähköpostilla, ja siihen pystyi vastaamaan sähköisen linkin kautta sekä suoraan takaisin sähköpostilla. Osa vastaajista jakoi kyselyn myös eteenpäin kollegoilleen. Vastauksia tuli yhteensä 12, yhdeksästä eri oppilaitoksesta.

Kyselyssä 33,3 % vastasi, että robottien kanssa on sattunut viimeisen viiden vuoden sisällä jonkinlainen turma, joka on aiheuttanut materiaalivahinkoja, henkilövahinkoja tai molempia. Jatkokysymyksellä tarkentaessa kävi ilmi, että puolet näistä vahingoista oli hyvin lieviä henkilövahinkoja, jotka oli tapahtunut robottisolujen muutostöiden tai muun valmistelun aikana. Toinen puoli oli taas huolimattomuudesta johtuvia materiaalivahinkoja, kuten robotin työkalun pudotus työkalunvaihtajasta tai tarttujan törmäys, koska valittuna oli ollut väärä tarttuja.

Edelleen jatkokysymyksessä tiedusteltiin, onko näiden onnettomuuksien takia tehty muutoksia itse robotteihin tai opetukseen robottien ympärillä. Henkilövahinkojen kohdalla vastattiin, että muutoksia ei ollut tehty. Tämä syystä, että tapaturmat eivät olleet aiheutuneet opetuksen aikana. Materiaalivahinkojen puolella taas kerrottiin, että laboratorio-opetukseen oli tullut turvallisuuskoulutus sekä verkkopalvelussa tehtävä tentti ennen robottien kanssa toimimista.

Kyselyssä tiedusteltiin lopuksi keinoja parantaa robotiikan opetuksen turvallisuutta, jos se vain vastaajien mielestä olisi mahdollista heidän kohdallaan. 16,7 % vastaajista kertoi, että turvallisuus on nyt jo tarpeeksi hyvällä tasolla. Loput 83,3 % vastaajista ehdotti erilaisia menetelmiä turvallisuuden parantamiseksi. Hyvä ohjeistus ja jonkinlainen ennakkotehtävä opiskelijoille aiheeseen liittyen oli selvästi eniten esillä. Muita keinoja nousi esille, kuten tilojen rajaaminen vain robottien käyttöön ja tilojen siistinä pitäminen. Tärkeänä pidettiin rauhallista työtettä, kun robotteja käytetään. Myös henkilöstön käyttö- ja turvallisuuskoulutukset nousivat esille.

Lopuksi kyselyssä pyydettiin vielä omia kommentteja vastaajilta robotiikan turvallisuudesta opetuksessa. Riskiarvion tekemistä eri sovelluskohteisiin pidettiin tärkeänä. Vastaajat kertoivat, että yhteistyörobotit helpottavat huomattavasti turvallisuuden kanssa, koska ne ovat suunniteltu turvalliseksi käyttää yhdessä ihmisten kanssa, mutta eivät poista tapaturman riskejä kokonaan. Käsi- tai manuaaliohjausta suositeltiin käytettäväksi aina opetuskäytössä ja testauksessa. Osa vastaajista toivoisi myös, että aiheesta olisi saatavilla jonkinlainen tietopaketti koko Suomen laajuisesti.

## **8 Yhteistyörobottisolun turvallisuuden arviointi**

Opinnäytetyön varsinainen kohde oli JAMK:in uusin yhteistyörobottisolun. Solu on monipuolinen harjoitusympäristö, jossa voidaan opetella ja harjoitella käyttämään erilaisia teknologioita yhdessä. Monipuolisuuden myötä tulee myös kysymys turvallisuudesta. Oletuksena solun turvallisuus oli hyvällä tasolla, mutta tämä koski vain sovellusta, jolla sitä testattiin. Testisovellus oli kokoonpanoa varten suunniteltu yhdessä ABB:n ja JAMK:in henkilökunnan kanssa. Sovelluksessa mobiilirobotti toi kappaleen solun ulkopuolelta kuormalavalla soluun kuvattavaksi, jonka jälkeen teollisuusrobotti nosti kameralla tunnistetun kappaleen työpöydälle. Sovellusta testattiin kahdella robottisolun mukana tulleella tarttujalla.

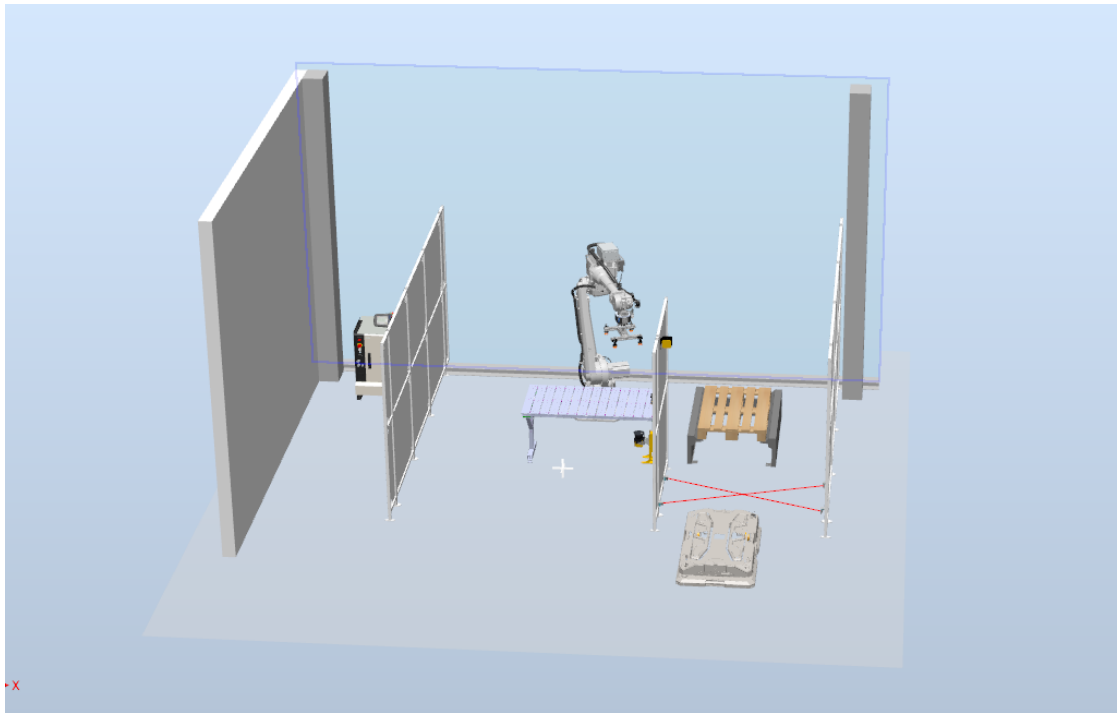
### **8.1 Robottisolun kokoonpano**

Solu koostuu teollisuusrobotista, mobiilirobotista, 3D-konenäkökamerasta, turvalaitteista, työpöydästä sekä mobiilirobotin telakasta. Vaikka robottisolun on rakennettu teollisuusrobotin ympärille eikä niinkään yhteistyörobotin, solusta on saatu yhteistyösolu rajoittamalla teollisuusrobotin liikenoitetta ja voimaa. Tästä syystä robotin ei tarvitse olla suljetussa tilassa. Robottisolun on avoin kahdesta kohtaa, pöydän edestä ja mobiilirobotin telakan edestä. Molempia kohtia valvoo turvaskannerit,

jotka hidastavat tai pysäyttävät teollisuusrobotin liikkeen riippuen skannerin havaitsemasta rikkeestä. Kuviossa 4 on solu reaali maailmassa ja kuviossa 5 virtuaali maailmassa.



Kuvio 4. JAMK:n yhteistyörobottisolu



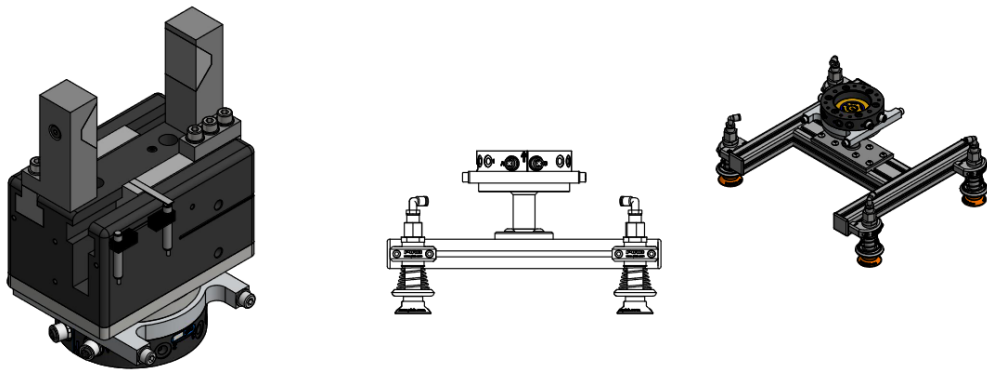
Kuvio 5. Solu RobotStudiassa

### 8.1.1 ABB IRB 4600

JAMK:lle hankittu IRB 4600-40/2.55 on omaan kokoluokkaansa ja nostokykyyn nähden hyvin kompakti teollisuusrobotti. JAMK:illa se on isoin robotti, ja jaksaa nostaa 40 kg kuorman. Solua varten sen nopeus on työalueella rajoitettu 1500 mm/s. Tämä mahdollistaa käytön yhteistyörobottina. Robotissa oli käyttöönottohetkellä RSP:n kiertyvä työkalunvaihtaja (kuvio 6) sekä kaksi tarttujaa (kuvio 7). Tarttujina oli perinteinen mekaaninen kaksisormitarttuja ja neli-imukuppinen alipainetarttuja. Robottiin kuuluu myös robotinohjain IRC5 sekä siihen liitetty FlexPendant keyless-toiminnolla. Keyless mahdollistaa manual- ja auto-tilan vaihdon suoraan FlexPendantista ilman fyysistä avainta.



Kuvio 6. RSP työkalunvaihtaja



Kuvio 7. Robotin tarttajat

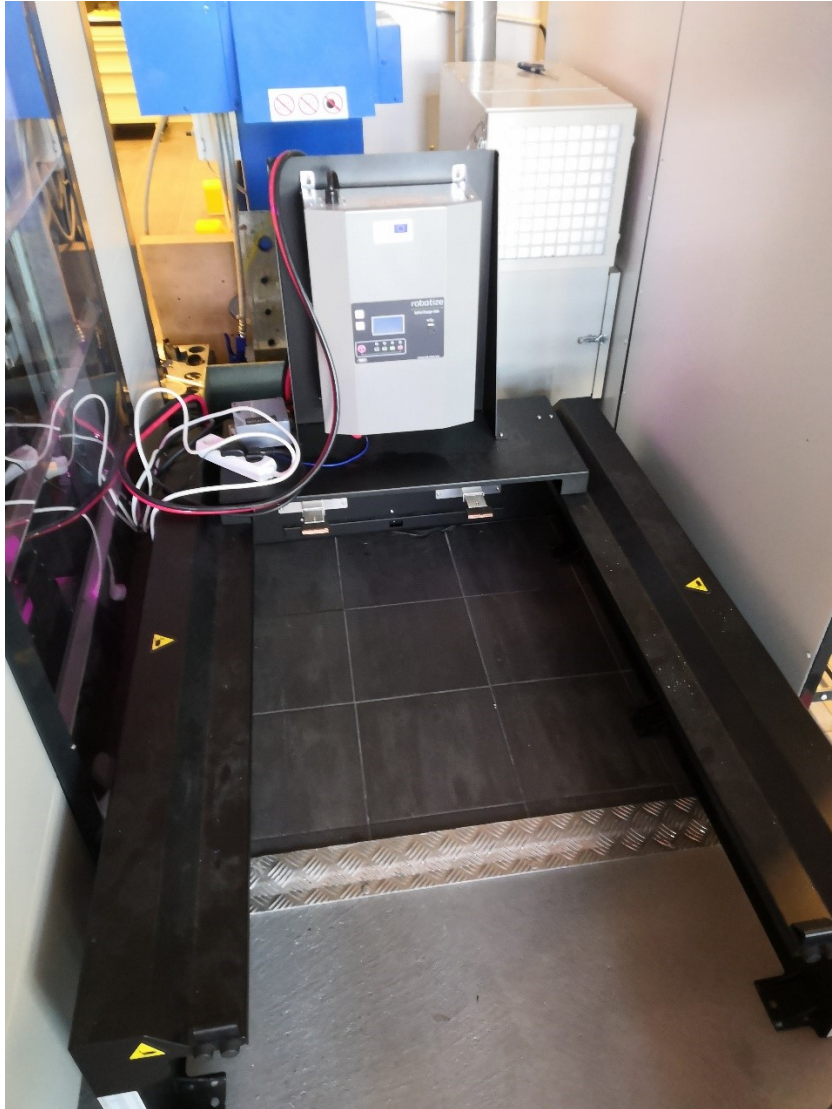
### 8.1.2 Mobiilirobotti

Solussa toimii tavaran kuljetukseen kahden telakan välillä Robotizen GoPal 400 (kuvio 8). Se on suunniteltu nostamaan ja kuljettamaan standardikokoisia EUR kuormalavoja. Robottia ohjataan 802.11ac WiFi-yhteyden yli. Robotti kartoittaa tilaa automaattisesti liikkeessaan siellä ja se on varustettu 360 astetta kattavalla laserskannerilla, joka pysäyttää robotin, kun sen lähelle tulee este. Robotti voidaan pysäyttää myös sen kulmista löytyvistä hätäseis-painikkeista Tämän lisäksi siinä on kolme 3D-kameraa, jotka kartoittavat ja etsivät reittiä robotille. Robotti jaksaa kuljettaa 425 kg kuorman ja sen maksiminopeus on 2,4 m/s.



Kuvio 8. Robotize GoPal 400

GoPal 400 mukana tulee kaksi telakkaa (kuvio 9), josta robotti voi nostaa kuormalavan tai laskea sille. Telakkaan voidaan kiinnittää latauspiste, josta robotti lataa itsensä automaattisesti. Robottia kutsutaan erillisellä ohjauskytkimellä. JAMK:in robotisolussa ohjauskytkin on yhdistetty suoraan teollisuusrobotin I/O-porttiin, joten sitä voidaan kutsua myös ABB:n robotin ohjelmasta.



Kuvio 9. Robotize telakka latausasemalla



### 8.1.3 3D-konenäköskanneri

Jotta kappaleiden keräys onnistuu ABB:n robotilla ilman ennalta määrättyjä pisteitä, tarvitaan silmät. Silminä solussa toimii Photoneon PhoXi 3D Scanner L (kuvio 10). Tämä 3D-skanneri on sijoitettu solussa olevan telakan ylle, ja sen tarkoitus on skannata soluun tulevat kappaleet. 3D-kuvaus eroaa perinteisestä 2D kuvauksesta sillä että, tasaisen pikselikuvan sijaan luodaan kolmiulotteinen pistepilviavaruus. Pistepilviavaruus saadaan luotua skannaamalla kappale ja sen ympäristö moneen kertaan eri kulmista. Skanneri tekee tämän automaattisesti. Skanneri pystyy havaitsemaan kappaleet valmistajan mukaan hyvin 2150 mm etäisyyteen asti, mutta tarkimmillaan se on 1239 mm etäisyydellä kohteesta.

JAMK:in solussa skanneri on kiinnitetty turva-aidasta lähtevään palkkiin ja on noin 2100 mm etäisyydellä maasta. Kappaleet tulevat kuvattavaksi Robotize telakan päälle, jonka korkeus on 375 mm, kuormalavalla, jonka korkeus on 144 mm, joten kuvausetäisyys on noin 1581 mm. Testeissä tämä osoittautui hyväksi etäisyydeksi, kappaleista saatiin luotua selkeät pistepilvet.

Yleensä kappaleiden kuvantamisessa isona ongelmana on valaistus. 3D-skannaus ei ole lähellekään yhtä herkkä valaistuksen muutokselle. Tämä on tärkeää, koska robotisolun takana on isot ikkunat, ja varsinkin päiväsaikaan valaistus voi muuttua rajustikin auringon vaikutuksesta. Testeissä isoimmaksi ongelmaksi osoittautuivat odotetusti heijastavat pinnat. Ne ovat aina kuvantamisen haastavimpia kohteita. Yhtenä testikappaleena oli sylinterinmuotoinen metallinen kappale, jonka pinta oli osittain heijastava. Tästäkin skanneri selviytyi, mutta pistepilvessä esiintyi häiriöitä.

Photoneon skanneri välittää myös paikkatiedon Photoneon Bin Picking Studio järjestelmään. Tämä on omalla työasemalla käynnissä oleva ohjelma, josta määritetään parametrit kerättäville kappaleille, otetaan skannaustieto vastaan, lasketaan robotille liikeradat ja syötetään ne robotin ohjaimelle. Kerättävistä kappaleista luodaan 3D-malli, jonka mukaan skanneri etsii kappaleita. Löydettyään kappaleen se laskee hel-

poimman liikeradan kappaleen luokse ja ohjaa robotin suorittamaan tuon radan. Testiohjelmassa skanneri ottaa uuden skannauksen heti kun robotti on poistunut työalueelta, joten robotti noutaa uuden kappaleen heti, kun edellinen on laskettu pois kydistä.

Photoneolla oli valmis käyttöliittymä ABB:n robotin kanssa, joten integraatio oli erittäin helppo ja Bin Picking Studio ottaa myös ABB:n robotille asetetut työalueen rajoitteet huomioon liikerataa laskiessa.



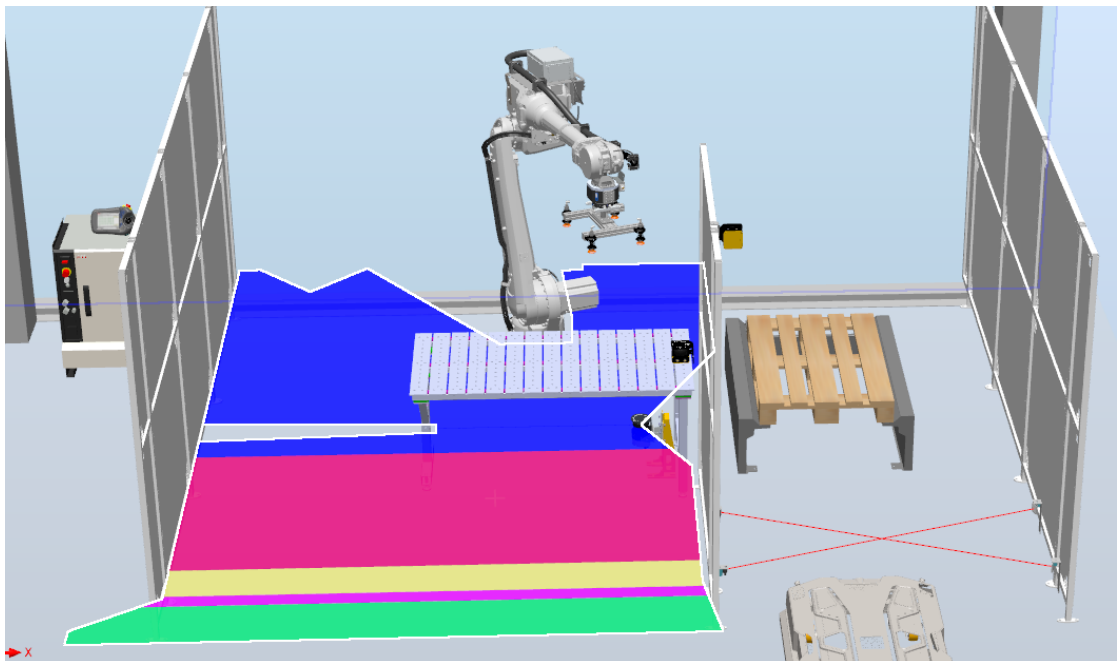
Kuvio 10. Photoneo PhoXi L

#### 8.1.4 Turvaskannerit

Robottisolun turvallisuutta on parannettu rakentamalla sille erilaisia turva-alueita. Nämä alueet on luotu SICK:n turvalaserskannereilla. Skannereita on kahta eri tyyppiä.

Lattian turva-alue on muodostettu SICK microScan3-laserskannerilla. Skanneri luo robotin työalueelle ja työpöydän edessä olevalle alueelle viisi eri valvonta-alueita, jotka ovat aina aktiivisia (kuvio 11).

1. Sininen alue pysäyttää robotin, ja on kuitattava aina solussa olevasta napista.
2. Punainen alue aktivoi StandStill-valvonnan, joka keskeyttää robotin ohjelman ja jää odottamaan, että alueelta poistutaan. Robotin moottorit eikä taustaprosessit siis sammuu ja robotti pysyy aktiivisena, mutta ei liiku.
3. Keltainen alue aktivoi robotin nopeusvalvonnan, jolloin maksiminopeus 500 mm/s
4. Pieni violetti alue pysäyttää robotin hetkellisesti
5. Vihreä alue hidastaa robotin kaikkia liikkeitä

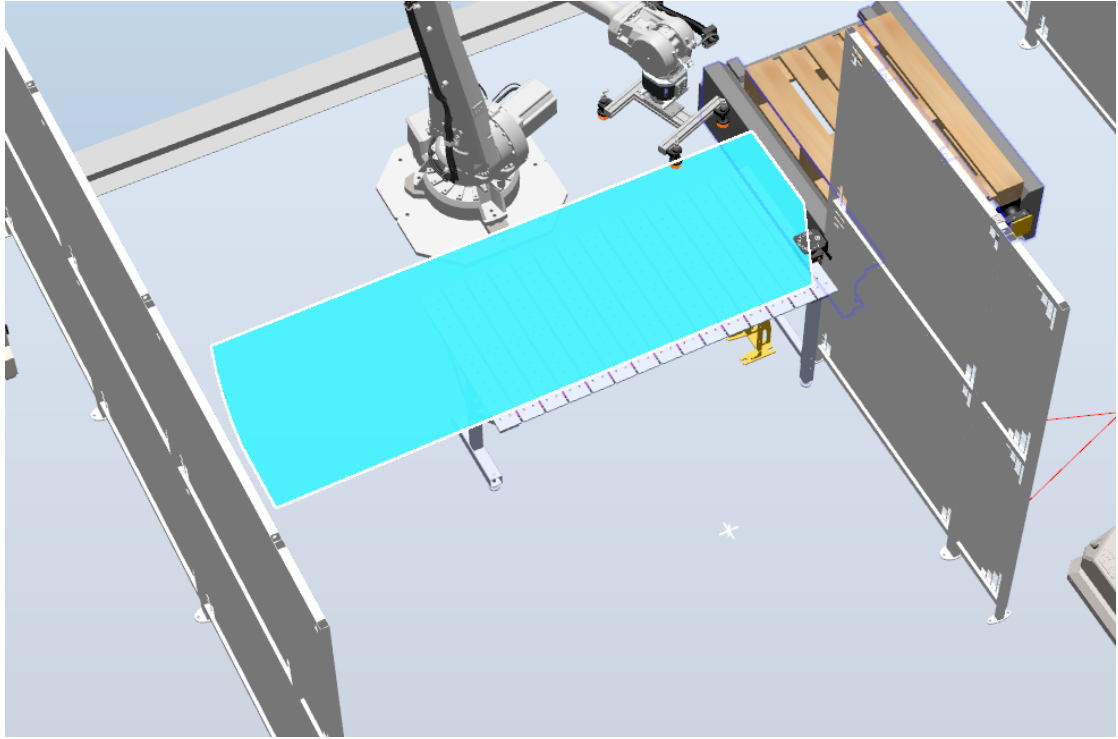


Kuvio 11. Lattian turva-alueet

Jos sinistä aluetta ei ole rikottu, robotti jatkaa liikettään, kun punaiselta alueelta poistutaan. Määritettyyn normaalinopeuteen se palaa, kun vihreältä alueelta poistutaan. Tämä mahdollistaa robotin kanssa työskentelyn työpöydän läheisyydessä turvallisesti.

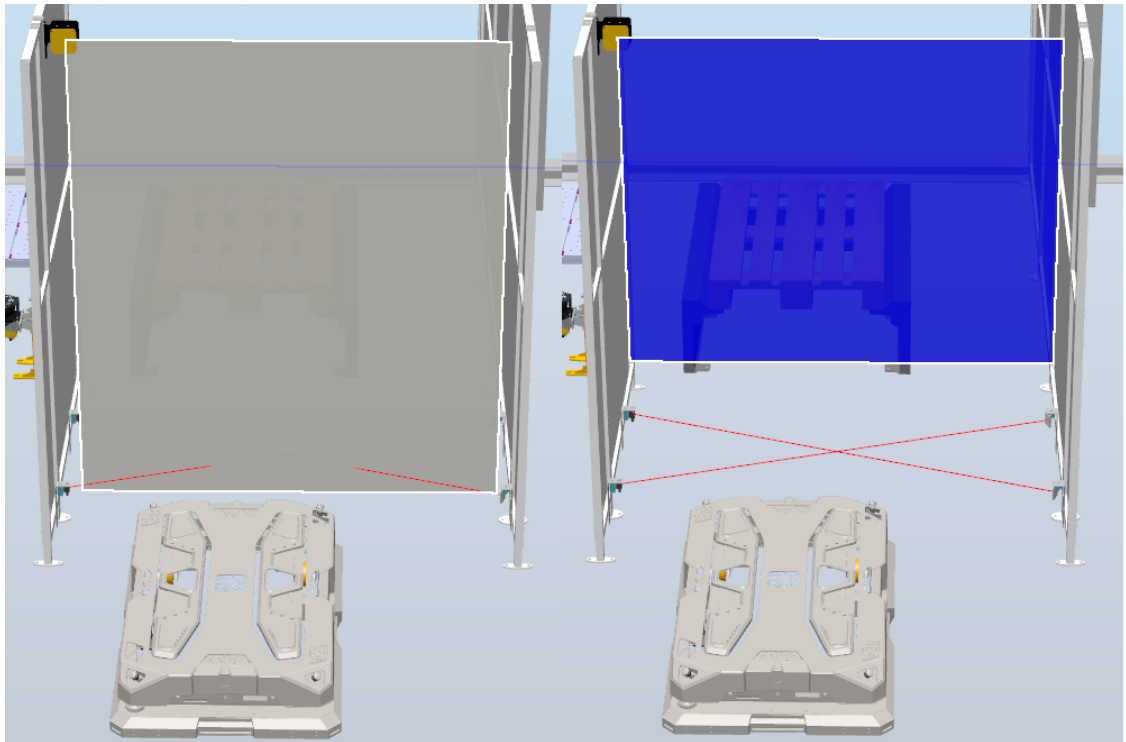
Toisella skannerilla, SICK nanoScan3, luodaan turva-alue pöydän ylle. Se vahtii, ettei työpöydällä ole korkeita esineitä silloin kun solusta poistutaan. Tällä varmistetaan se,

ettei jotain isoa estettä ole jätetty pöydän päälle tai esimerkiksi joku opiskelija jäänyt istumaan tai seisomaan pöydän päälle, kun robotin lattian turva-alueet kuitataan ja robotti jatkaa liikkeitään. Kuviossa 12 on esillä pöytäskannerin alue.



Kuvio 12. Pöytäskannerin alue

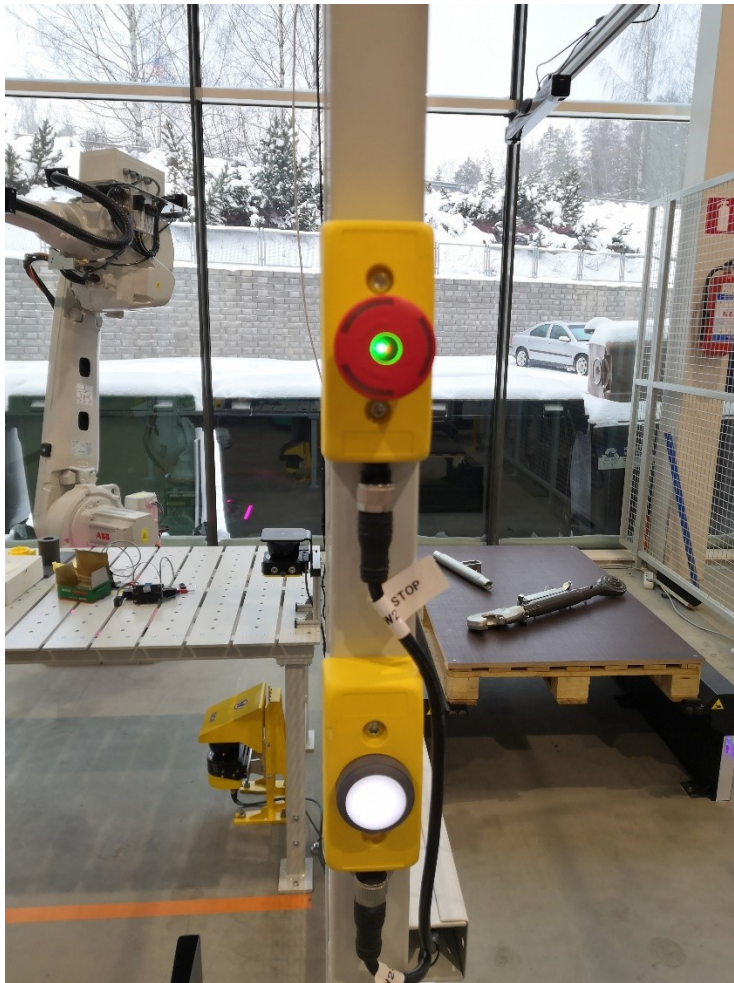
Solussa on vielä kolmas skanneri, myös SICK nanoScan3. Se valvoo Robotize telakalle vievää avointa tilaa. Se luo pystysuuntaisen seinän aitojen väliin, joka rikkoutuessaan pysäyttää robotin. Skanneriin on liitetty kaksi mykistysanturia, jotka mahdollistavat mobiilirobotin pääsyn robotin työalueelle. Kun mobiilirobotin keula rikkoo molempiin mykistysantureihin tulevan valon lähes yhtäaikaisesti, skannerin alue muuttuu niin, että matala mobiilirobotti kuormineen pääsee alueen ali. Kuviossa 13 on harmaalla mykistetty alue ja sinisellä alue, kun mykistysanturit eivät saa signaalia.



Kuvio 13. Seinäskannerin alueet

### 8.1.5 Turvalogiikka

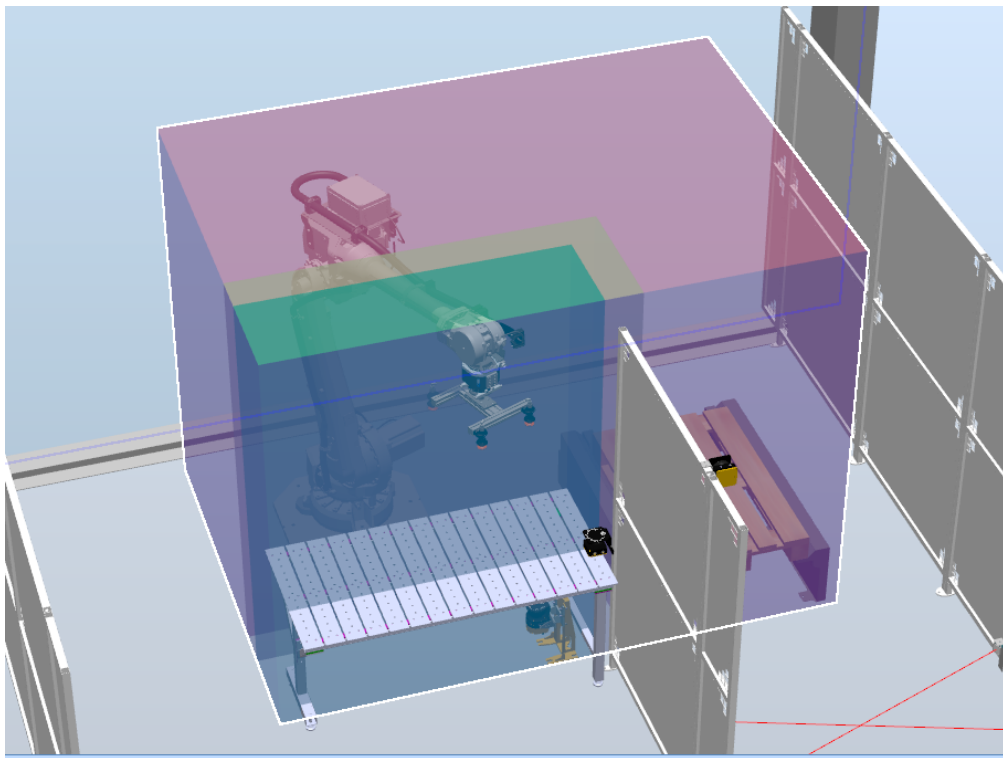
ABB:n IRC 5 robotinohjaimessa on erillinen turvalogiikka, joka valvoo kaikkia turva-I/O:ta. Se on täysin erillään ohjaimen varsinaisesta tietokoneesta, ja esimerkiksi robotin ohjelmassa esiintyvässä vikatilanteessa se pystyy valvomaan ja ohjaamaan robotin jarruja ja nivelten sijaintia. Turvalogiikka valvoo myös solussa olevien skanneereiden toimintaa PROFINET-kenttäväylän kautta. Turvalogiikan piiriin kuuluu myös hätäseis-painikkeet ja solussa oleva turva-alueitten kuittaus painike (kuvio 14).



Kuvio 14. Punainen hätäseis-painike ja valkoinen alueiden kuittauspainike

Myös SafeMove, jolla on luotu virtuaalinen häkki robotin ympärille, on osa turvalogiikkaa. SafeMove-toiminto seuraa jatkuvasti robotin sijaintia, työkalujen sijaintia, nopeutta sekä testaa jarrujen toimintaa syklisesti. Sen ominaisuuksiin kuuluu myös robotin StandStill-valvonta, joka mahdollistaa robotin työalueella liikkumisen ilman robotin moottorien sammutusta. SafeMove on kytketty suoraan turvalogiikkaan, jos jotain sen määritystä rikotaan, turvalogiikka pysäyttää robotin liikkeitä välittömästi. Kuviossa 15 on JAMK:in solun SafeMove-alueet.

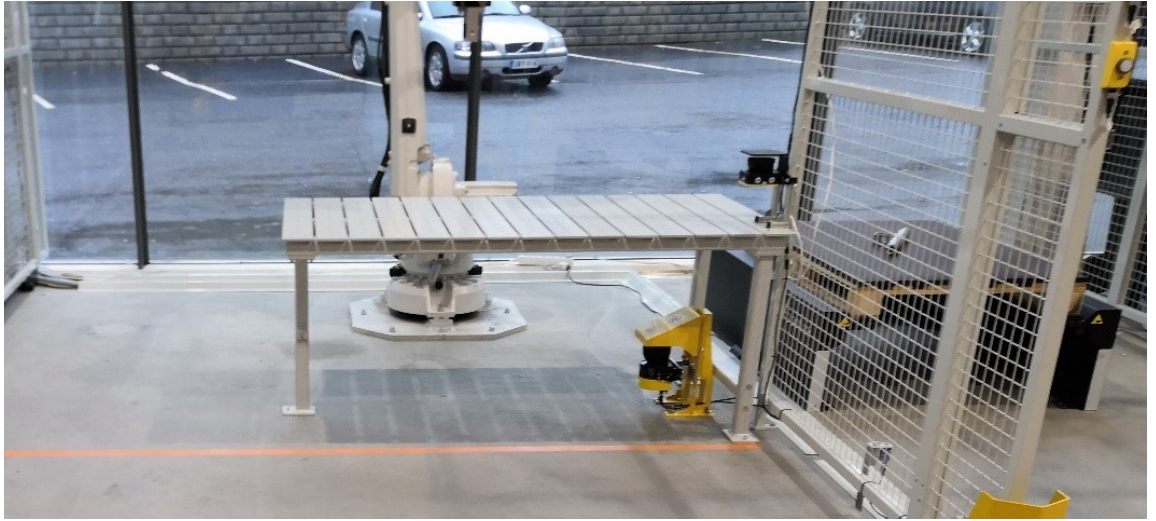
1. Punainen alue rajoittaa robotin liikealuetta. Myös nopeus on rajoitettu yhteistyötilaan sopivaksi 1500 mm/s. Robotti, eikä myöskään sen työkalu, voi poistua alueelta. Robotin moottorit pysähtyvät, jos alueen läpi koitetaan ohjata väkisin. Manuaalijolla voidaan käynnistää moottorit uudestaan ja jatkaa alueen ulkopuolella. Tämä ei ole suositeltavaa.
2. Keltaisella ja vihreällä alueella valvotaan vain nopeutta. Nopeus on rajoitettu 500 mm/s



Kuvio 15. SafeMove-alueet

### 8.1.6 Muut osat

JAMK:in yhteistyörobottisolussa on yllä mainittujen laitteiden lisäksi vielä siihen tilattu työpöytä (kuvio 16) sekä aidoissa olevat törmäyssuojat (kuvio 17) trukkia varten. Pöytä on huomioitu turvaskannereiden alueissa ja törmäyssuojat eivät niihin vaikuta.



Kuvio 16. Robottisolun työpöytä



Kuvio 17. Törmäyssuoja



## 8.2 Riskien arviointi

Robottisoluun oli aiemmin tehty jo riskiarvio ABB:n toimesta. Se ei kuitenkaan ollut opinnäytetyötä varten saatavilla. Tästä syystä robottisoluun tehtiin suppea lisäarvio kartoittamaan mahdollisia riskipaikkoja. Yleisesti solun turvallisuus oli todella hyvällä tasolla. Riskiarviossa sovellettiin EN ISO 12100 standardia.

Riskiarviossa käytiin yleisesti tilanteita läpi, joita voisi opetuksessa tapahtua, ei niinkään minkään tietyn sovelluksen riskejä, koska lopullinen sovellus ei ollut tiedossa. Tilanteet pisteytettiin todennäköisyyden sekä vakavuuden mukaan 0–30. Vakavuudessa mietittiin vielä erikseen henkilö- ja materiaalivahinkoja. Näistä saatiin arvio riskeille kaavalla  $R = T \times (H+M)$ , jossa R on riskin suuruus, T on todennäköisyys, H on henkilövahingot ja M on materiaalivahingot. Todennäköisyys pisteytettiin 0...5, jossa 0 tarkoittaa mahdotonta, ja 5 hyvin todennäköistä eli useammin kuin kerran vuodessa. Henkilövahingot pisteytettiin 0...3, jossa 0 pistettä tarkoittaa tilannetta, jossa ei synny henkilövahinkoja ollenkaan, ja 3 pistettä tarkoittaa yhden tai useamman henkilön kuolemaa tai useita pysyviä vammoja. Materiaalivahingot pisteytettiin 0...3, jossa 0 vastaa tilannetta, jossa ei synny materiaalivahinkoja, ja 3 vastaa yli 5000 euron vahinkoja. Pisteytyksen mukaan riskit jaettiin kolmeen eri luokkaan:

1.  $R < 10$  pistettä, toimenpiteitä ei tarvita
2.  $R \geq 10$  pistettä, hallittu riski, joitain toimenpiteitä vaaditaan
3.  $R \geq 20$  pistettä, sietämätön riski, käyttö lopetettava, kunnes vaara korjattu

Sietämättömiä riskejä arviossa havaittiin yksi. Iso osa havaituista riskeistä johtuivat yleisestä huolimattomuudesta tai vikatilanteista. Joitain muutoksia ehdotettiin tehtäväksi mahdollisten materiaalivahinkojen estämiseksi. Taulukossa 1. on otteita riskiarviosta.

Taulukko 1. Esimerkkejä vaaratilanteista

Vaaratilanteet	Tunnistettu riski			
	T	H	M	R
<b>1. Valmistelu</b>				
1.1. Tarttuja tippuu käsistä kesken vaihdon	3	1	2	9
1.2. Nivelten vapautuskytkimiä painetaan turhaan	4	3	3	24
<b>2. Manuaaliajo</b>				
2.2. Robotti jogataan opiskelijaan	2	1	0	2
2.2. Robotti jogataan 3D-skanneriin	4	1	3	16
2.3. Työkalu irrotetaan vahingossa	1	1	2	3
2.4. Kappale päästetään vahingossa irti tarttujasta	4	1	1	8
2.5. Kompastuminen FlexPendantin johtoon	4	1	1	8
<b>3. Automaattiajo</b>				
3.1. Tarttujan ote lipeää kappaleesta	5	0	1	5
3.3. Solu käynnistetään, kun joku seisoo mobiilirobotin telakalla	2	2	1	6
3.3. Solun turva-aidan yli kiivetään soluun, sen ollessa käynnissä	1	2	1	3
3.4. Mobiilirobottiin kompastutaan	3	1	0	3

Vaikka robottisolun turvallisuus on hyvällä tasolla, ei pidä unohtaa hyviä toimintatapoja, kuten tilojen siistinä pitoa ja turhan romun poistamista työalueen läheisyydestä. Varsinkin opetustilanteissa, jossa ihmisiä on enemmän solun ympärillä, ja mahdollisesti sen sisällä, on erityisen tärkeää, että se, joka ohjaa robottia on lähimpänä sitä. Tällöin pienennetään robotin käsiajossa tapahtuvien tapaturmien riskiä huomattavasti.

### 8.3 Robottisolun muutokset

Koska solun turvallisuudessa ei havaittu suuria puutteita, muutostyöt jäivät erittäin pieniksi. Isoimpana ja ainoana sietämättömänä riskinä pidettiin solun takaosassa olevia kytkimiä (kuvio 18), joilla saadaan robotin moottorien jarrut vapautettua. Monesti opiskelijoita kannustetaan tutkimaan robotteja ja niiden laitteistoja. Uteliaisuus saattaa johtaa kytkinten aktivoimiseen. Koska robotti painaa kokonaisuudessaan yli 400 kg, nivelten 2. tai 3. vapauttaminen vahingossa voi aiheuttaa isoja materiaaliva-

hinkoja ja jopa vakavia puristumistilanteita, jos robotin varren alla on ihminen. Kytkimet ovat numeroitu nivelten mukaan, ja painamalla kytkintä moottorin jarru vapautuu. Tätä käytetään yleisesti ainoastaan vikatilanteissa, jossa robotti on jumiutunut eikä sitä voida siirtää ohjelmallisesti.



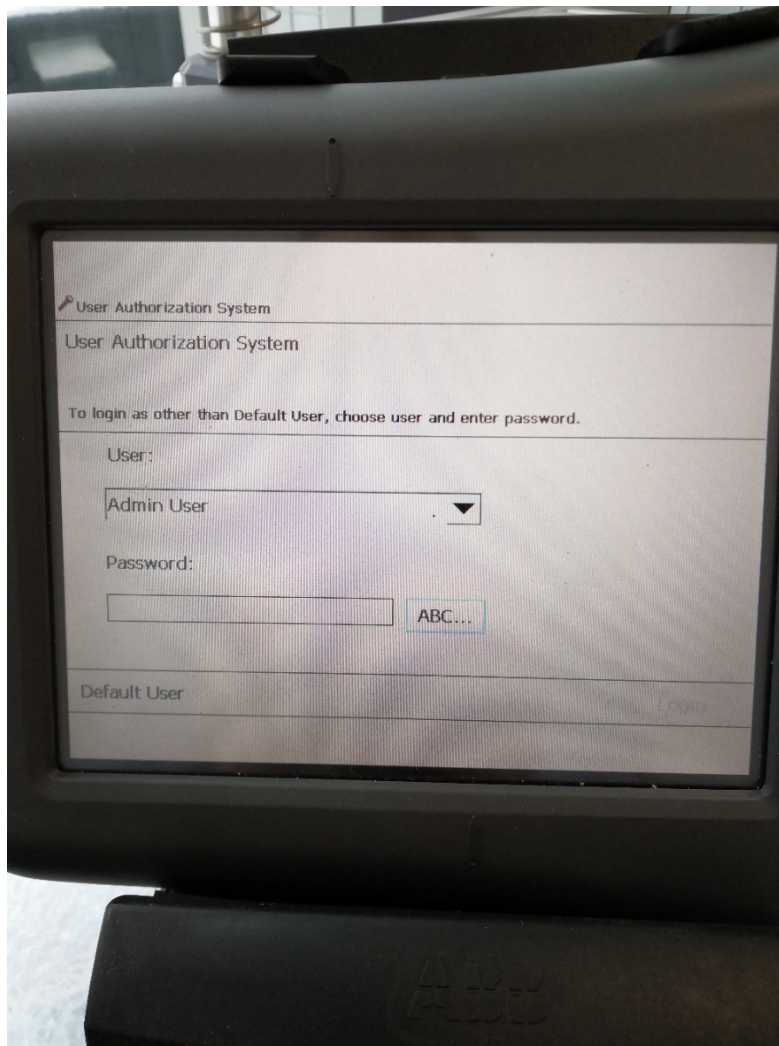
Kuvio 18. Robotin jarrujen vapautuskytkimet

Riski korjattiin peittämällä kytkimet muovisella, tulostetulla suojakotelolla (kuvio 19). Kotelo suunniteltiin SolidWorks:lla ja tulostettiin JAMK:in Prusa i3 MK3 tulostimella. Koska kytkimet voivat myös pelastaa hätätilanteessa puristuksissa olevan henkilön, suojakotelo ei ole kiinteästi kiinni, vaan mitoitettu juuri pysymään napakasti kiinni kytkimissä olevassa kumissa. Hätätilanteessa kotelon saa siis käsin vedettyä pois. Henkilökuntaa on ohjeistettu kytkinten käytöstä käyttöönottokoulutuksessa.



Kuvio 19. Kotelolla suojatut kytkimet

Loput muutoksista olivat ohjelmallisia. Isoimpana riskinä pidettiin tietoturvaa ja väärinkäytön mahdollisuutta FlexPendatin tai suoran Ethernet-yhteyden kautta. Oletuksena ABB:n robottisolussa Default-käyttäjätasolla on hyvin laajat käyttöoikeudet eikä siihen saa asetettua salasanaa. Tähän tehtiin muutos tekemällä kokonaan uusi käyttäjä rakenne. Eri käyttäjille annettiin erilaiset oikeudet ja Default-käyttäjällä pystyi ainoastaan enää ajamaan jo ohjaimella olevia ohjelmia. Muut käyttäjätasot on suojattu salasanoilla. Opiskelijoille tehtiin oma käyttäjätaso rajatuilla oikeuksilla, jonka käyttöä suositeltiin opetustilanteissa. Henkilöstölle annettiin kaikki oikeudet. Henkilökuntaa suositeltiin kirjautumaan ulos käyttäjiltä, kun robotti on vauilla käytössä. Tällöin vain Default-käyttäjää voi käyttää ilman salasanaa (kuvio 20).



Kuvio 20. FlexPendatin aloitusnäky

Yllä olevien lisäksi havaittiin alkusammutusvälineistön puute. Robottisolulle tilattiin kaksi CO<sub>2</sub>-sammutinta robotin turvallisuusohjeen mukaisesti.

#### 8.4 Koulutus henkilöstölle

JAMK:in automaation ja robotiikan henkilöstölle pidettiin robottisolun turvallisuudesta tammikuussa 2021 koulutus JAMK:in tiloissa. Koulutuksen pääteemoina oli robottien yleinen turvallisuus, onnettomuuksien syyt, robottisolun turvalaitteet sekä opiskelijaturvallisuuden parantaminen. Koulutustilaisuus pyrittiin pitämään hyvin

avoimena keskustelun suhteen. Aihe oli selkeästi mielenkiintoinen ja herätti paljon keskustelua, kysymyksiä sekä kehitysideoita.

Eniten keskustelua herätti erilaiset riskit robottien kanssa toimimisessa ja näiden riskien lieventämisestä. Riskien ja vaarojen täydellinen eliminoiminen lienee mahdollista, koska myös laitteet, jotka valvovat turvallisuutta voivat vikaantua. Tästä syystä laitteiston säännöllinen testaus on tärkeää. Tärkeimpinä kehitysideoina nousi kuinka saataisiin turvallisuuskoulutus opiskelijoille jäämään mieleen, olisiko koulutus jonkinlainen tehtäväpaketti tai tentti vai ihan perinteinen luento, jonka lisäksi tutustuttaisiin yhdessä laitteistoihin, ja minkälaisissa ryhmissä robottisolun kanssa toimittaisiin. Tapaturmariski kasvaa aina mitä enemmän ihmisiä on robottisolun ympärillä, mutta aika ei riitä jokaisen yksilöopetukseenkaan.

Koulutus eteni vauhdikkaasti ja aikaa olisi voinut olla enemmänkin, koska aihe herätti odotettua enemmän keskustelua.

## 8.5 Kehitysideat

Vaikka JAMK:in yhteistyörobottisolu onkin valmis paketti, sen käyttöä, turvallisuutta ja varsinkin käyttökoulutusta voidaan kehittää nyt ja tulevaisuudessa. Kyselytutkimuksen, koulutuksen ja omien havaintojen perusteella jonkinlainen tehtäväpaketti ja lyhyt tentti on helpoin ja varmin tie varmistaa, että opiskelijoilla on perusymmärrys laitteista ja turvallisuudesta. Alkuperäinen idea oli, että allekirjoittanut olisi koonnut tehtäväpaketin ja tentin JAMK:lle heidän verkkopalveluunsa, Moodleen, mutta aika tuli tässä vastaan.

Yhtenä riskinä pidettiin robotin työkalun tippumista sen vaihdon aikana. Tämä tuli esiin myös kyselytutkimuksessa. Koska robotin työkalut ovat painavia, niiden siirtoon liittyy aina riski. Kirjoitushetkellä työkalunvaihdossa käytetään sekvenssiä, jossa robotti ohjaa itsensä asentoon, jossa työkalu on suunnattu ylöspäin, jolloin painovoima ei vaikuta siihen hetkellä, jolloin työkalu vapautetaan. Tämä on ihan toimiva ratkaisu, mutta ei poista riskiä, kun työkalu nostetaan robotista pois ja vaihdetaan uusi tilalle.

Edelleen se voi livetä käyttäjän käsistä. Tätä varten olisi hyvä suunnitella työkaluille teline. JAMK:lla on erään toisen robotin ylimääräinen teline, jonka voisi muokata sopivaksi myös tähän soluun. Toki helpoimmalla, muttei halvimmalla, varmasti pääsee, kun suunnittelee täysin soluun sopivan telineen alusta asti. Telineessä työkalut olisivat valmiina siten, että robotti voi tuoda edellisen työkalun telineeseen, vapauttaa sen, ja poimia uuden telineestä täysin automaattisesti. Näin ainoaksi riskiksi jää varmistaa, että työkalussa ei ole mitään ylimääräistä kiinni vaihtohetkellä.

Toisena asiana mikä nousi esiin kyselytutkimuksessa, koulutuksessa ja omissa mietteissä oli riskiarvion tekeminen robottisolun sovellukseen, jota käytetään opetuksessa. Kirjoitushetkellä ei ollut vielä vakiintunutta sovellusta opetukseen. Suosittelen kuitenkin sellaisen suunnittelua. Sovelluksessa voisi olla hyvin selkeät tehtävät, jotka opiskelijoiden pitäisi toteuttaa robotilla. Tällöin riskiarvion pystyisi tekemään mahdollisimman kattavasti. Sen tekeminen kannattaa aloittaa henkilöstön kesken, mutta sen voisi lisätä esimerkiksi yhdeksi suppeaksi tehtäväksi kurssilla. Näin opiskelijoiltakin voisi tulla ideoita siihen ja riskiarvio täydentyisi ja kehittyisi ajan myötä. Totta kai pelkkä arvio ei riitä, vaan havaituille riskeille pitää tehdä tarvittavat toimenpiteet.

Turvatoimintojen visuaalisuutta voisi myös lisätä. Tähän pohdittiin eriväristen valojen heijastamista lattiaan kuvaamaan solun eri turva-alueita. Tämä todettiin kumminkin hieman hankalaksi toteuttaa ja ylläpitää, joten toinen vaihtoehto on lisätä solun turva-aidan päälle valotorni (kuvio 21). Näitä saa yhdisteltyä ja liitettyä suoraan robotin I/O:hon, jolloin valo syttyisi riippuen alueesta, jolla ollaan.



Kuvio 21. Valotorneja (OEM Finland)

Solun visuaalista ilmettä markkinointia varten muokattiin asentamalla turva-aitaan valkoinen levy näköesteeksi sekä lisäämällä valonauhoja robotin pohjaan. Tällaisia toiminnallisuuden kannalta turhia lisäyksiä en suosittelen lisäämään soluun, sillä niiden tuoma lisäarvo on hyvin vähäistä ja voi pahimmassa tapauksessa sotkea esimerkiksi turvaskannereiden toimintaa.

Suosittelen myös pyytämään ABB:tä muokkaamaan robotin SafeMove-aluetta siten, että Photoneon 3D-skanneriin ei pysty törmäämään. Käytännössä robotin virtuaalihakkiä eli työaluetta täytyy hieman pienentää. Tällä hetkellä skanneriin voi ajaa robotin hyvinkin helposti. Se tuo täysin turhia kustannuksia tapahtuessaan.

Toivon myös, että JAMK:in logistiikkalaboratorioon, jossa robottisolun sijaitsee, tulisi selvyys, tarvitseeko siellä käyttää turvakenkiä. Tämä on ollut epäselvää jo pidemmän aikaa. Jos jotain sattuu, ja käy ilmi, että siellä on määrä käyttää turvakenkiä eikä niin ole ohjeistettu, saattaa seuraukset olla ikäviä. Ainakin robottisolun luona nostellaan painavia tavaroita ja ajetaan trukilla, joten turvakengistä ei ainakaan haittaa ole.



## 9 Pohdinta

Tutkimuksen ideana oli lisätä tietoisuutta toimeksiantajalle robotiikan turvallisuudesta ja sen kehityksestä oppilaitosympäristöön sopivammaksi. Tutkimusongelmana oli kuinka turvallisuutta voitaisiin kehittää etenkin oppilaiden näkökulmasta, joilla ei välttämättä ole aiempaa kokemusta vastaavista ympäristöistä. Tutkimuskysymyksiä oli neljä kappaletta. Tutkimusongelmaan ja -kysymyksiin saatiin vastaus työn edetessä.

Varsinaisena tutkimusmenetelmänä käytettiin kehittämistutkimusta. Se oli sopivin ratkaisu, kun tarkasteltiin tutkimuksen lähtökohtia, ongelmaa ja kysymyksiä. Kehittämistutkimuksessa on ominaista käyttää määrällistä ja laadullista tutkimusmenetelmää hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Kehittämistutkimus on myös oiva tapa lähestyä projektiluontoista ongelmaa, jossa tutkimustyö ei ole jatkuva. Tässä tapauksessa kehitystyötä voidaan kuitenkin myös jatkaa aiemmin mainittujen kehitysideoiden pohjalta. (Vehkalahti 2014, 13.)

Kehitysideoita voidaan myös peilata tutkimuskysymyksiin. Koska pääteemana kysymyksissä oli turvallisuuden kehittäminen, on hyvä huomata, että tutkimuksen ja työn edetessä näihin kaikkiin on saatu vastaus, joko muutostöiden, koulutuksen tai kehitysideoiden kautta. Jatkuva koulutuksen kehittäminen on ensisijaisen tärkeää, jotta opetus ja turvallisuus pysyvät hyvällä tasolla käsikädessä. Toimeksiantajalla automaatio ja robotiikka ovat vahvuusaloja, joten resursseja kannattaa käyttää laaja-alaisesti toiminnan kehittämiseen, eikä esimerkiksi pelkästään laitehankintoihin. Toivon, että joitain kehitysideoita otetaan käyttöön, jotta opiskelijoiden olisi nyt ja tulevaisuudessa täysin turvallista käyttää robottisolua oppimisympäristönä.

Tutkimuksen luotettavuutta pystytään mittaamaan esimerkiksi vertaamalla kyselytutkimuksessa saatuja tietoja kirjallisuuteen, koulutuksessa tulleeisiin asioihin sekä omiin kokemuksiin. Edellä mainituissa kaikissa nousi samoja teemoja ja asioita esille, joten voidaan arvioida tutkimuksen olevan siltä osin luotettavaa. Myös tutkimuksessa käytetty kirjallisuus on suhteellisen tuoretta, joten sitä voi pitää luotettavana, vaikka ala

kehittyy hurjaa vauhtia eteenpäin. Alan kehitys täytyy kuitenkin pitää jatkuvasti mielessä, koska jotkut asiat, joita tässäkin tutkimuksessa on käyty läpi, eivät välttämättä päde enää lähitulevaisuudessa.

Robottiikan turvallisuus on aiheena erittäin laaja ja monipuolinen aihe, jossa ei määrrä vain ihmisten turvallisuus vaan myös esimerkiksi tuotannon tehokkuus. Tämä teki opinnäytetyöstä haastavan projektin tiedonhaun osalta. Suurin osa turvallisuuteen liittyvästä suunnittelu-, projekti- ja tilastotiedosta ei ole julkisesti saatavilla. Tämä johti väistämättä hitaaseen etenemiseen ja jopa motivaation katoamiseen, vaikka aluksi otin aiheen innokkaasti vastaan. Jälkiviisaana voin suositella tämänkaltaisia turvallisuuteen liittyviä projekteja ainoastaan yhteistyössä esimerkiksi laitetoimittajan kanssa, jolloin kaikki dokumentaatio on saatavilla. Jos aloittaisin vastaavan projektin uudestaan, aikatauluttaisin sen itselleni paremmin ja tekisin itselleni tiukat rajat ajankäytön suhteen. Tässä projektissa epäonnistuttiin ajankäytössä, kun sitä ei sovitettu muuhun arkielämään sopivaksi.

Lopputuotteena saatiin paranneltua hieman robottisolun turvallisuutta sekä lisättyä tietoisuutta turvallisuudesta. Vaikka tehtäväpaketin rakentaminen opiskelijoille ei onnistunutkaan, näen että, tutkimustyön alussa asetettuihin tavoitteisiin on ylletty. Uskon vahvasti, että työstä on hyötyä tietopakettina sekä omaa työuraa varten hyvänä kokemuksena. Vaikka en päätyisi robottien kanssa toimimaan, turvallisuuden peruseriaatteet ovat kaikkien laitteiden kanssa samat. Automaatio ja robotiikka on jatkuvasti kehittyvä, ja jopa kiihtyvä ala, jossa turvallisuuden on pystyttävä kehittymään mukana. Ajattelen, että kaikki alan turvallisuuden lisäävä tieto on hyvästä ja työssäni oppimaani osaamista arvostetaan myös tulevaisuuden tehtävissäni.

## Lähteet

Malm, T. 2014. Guidelines to make safe industrial robot systems. VTT:n tutkimusraportti teollisuusrobottien turvallisuudesta. Tampere: VTT. Viitattu 10.1.2021.  
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2017/VTT-R-01109-17.pdf>

Görnemann, O. & Platbrood, F. 2018 SAFE ROBOTICS – SAFETY IN COLLABORATIVE ROBOT SYSTEMS. Sick:n julkaisu robottien turvallisuudesta. Viitattu 10.1.2021.  
[https://cdn.sick.com/media/docs/6/96/996/Whitepaper\\_Safe\\_Robotics\\_en\\_IM0072996.PDF](https://cdn.sick.com/media/docs/6/96/996/Whitepaper_Safe_Robotics_en_IM0072996.PDF)

Fryman, J. & Matthias, B. 2012. Safety of Industrial Robots: From Conventional to Collaborative Applications. Konferenssipaperi vuoden 2012 Montréalin teollisuusautomaation turvallisuuskonferenssiin. Viitattu 19.2.2021  
[https://www.researchgate.net/publication/269411126\\_Safety\\_of\\_Industrial\\_Robots\\_From\\_Conventional\\_to\\_Collaborative\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/269411126_Safety_of_Industrial_Robots_From_Conventional_to_Collaborative_Applications)

Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R. & Sanghvi, S. 2017. Jobs lost, jobs gained: Workforce transitions in a time of automation. Mckinsey Global instituutin raportti tulevaisuuden työmarkkinoista automaation murroksen aikana. Viitattu 18.3.2021  
[https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/public%20and%20social%20sector/our%20insights/what%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/mgi%20jobs%20lost-jobs%20gained\\_report\\_december%202017.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/public%20and%20social%20sector/our%20insights/what%20the%20future%20of%20work%20will%20mean%20for%20jobs%20skills%20and%20wages/mgi%20jobs%20lost-jobs%20gained_report_december%202017.pdf)

Automaatio ja robotiikka. N.d. JAMK:in vahvuusalan esittelysivu. Viitattu 29.3.2021  
<https://www.jamk.fi/fi/Tutkimus-ja-kehitys/vahvuusalat/automaatio-ja-robotiikka/>

Robots on Road. N.d. Hankkeen esittelysivu. Viitattu 29.3.2021  
<https://www.jamk.fi/fi/Tutkimus-ja-kehitys/projektit/robots-on-road/etusivu/>

Origins of "robot" and "robotics". N.d. Robottiikan lyhyt historia. Viitattu 10.12.2020.  
<https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/soco/projects/1998-99/robotics/history.html>

Robots: In the beginning. N.d. Illinoisin yliopiston opetusmateriaalia. Viitattu 21.12.2020.  
[http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/medical\\_robotics/robots\\_in\\_beginning.php](http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/medical_robotics/robots_in_beginning.php)

Origin of the Word 'Robot'. 2016. Artikkelit robottien alkuperästä. Viitattu 21.12.2020  
[https://www.roboticsbusinessreview.com/rbr/origin\\_of\\_the\\_word\\_robot/](https://www.roboticsbusinessreview.com/rbr/origin_of_the_word_robot/)

Hilksa-Keinänen, K. 2018. Ylen artikkeli robotti-sanankuperästä. Viitattu 21.12.2020  
<https://yle.fi/aihe/artikkeli/2018/08/07/robotti-termi-syntyitsekilaisten-maatorjien-raadannasta?ref=ohj-articles>

Kapila, V. Introduction to Robotics. N.d. New Yorkin yliopiston opetusmateriaali robottiikan perusteista. Viitattu 12.12.2020.  
[http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/Archive/intro\\_to\\_robot/Intro2Robotics.pdf](http://engineering.nyu.edu/mechatronics/smart/Archive/intro_to_robot/Intro2Robotics.pdf)

Meaning of robot in English. N.d. Robotti-sanankertoimus. Viitattu 21.12.2020  
<https://www.lexico.com/definition/robot>

ISO 8373:2012. Aihealue: Robottiikka. Viitattu 21.12.2020.  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>

World Robotics Industrial Robots and Service Robots. 2020. Kansainvälisen robottiikkakayhdistyksen vuosikertomus robottiikasta. Viitattu 21.12.2020.  
[https://ifr.org/img/worldrobotics/WR\\_Industrial\\_Robots\\_2020\\_Chapter\\_1.pdf](https://ifr.org/img/worldrobotics/WR_Industrial_Robots_2020_Chapter_1.pdf)

Eastwood, T., Kessel, J. & Nelson, R. N.d. Practical Application of Robot Safety. Esitysmateriaalia 25. Kansallisen robottiturvallisuuden konferenssista. Viitattu 30.1.2021.  
[https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/VanKessel\\_Practical\\_Safety.pdf](https://www.robotics.org/userAssets/riaUploads/file/VanKessel_Practical_Safety.pdf)

L 23.8.2002/738. Työturvallisuuslaki. Viitattu 10.1.2021.  
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>

Konedirektiivi 2006/42/EY. Viitattu 10.1.2021.  
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32006L0042>

ISO 10218-1:2012. Turvallisuusvaatimukset teollisuusroboteille – Osa 1: Robotit. Aihealue: Robotiikka. Viitattu 10.1.2021.  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10218:-1:ed-2:v1:en>

ISO 10218-2:2012. Turvallisuusvaatimukset teollisuusroboteille – Osa 2: Robottisysteemit ja integraatio. Aihealue: Robotiikka. Viitattu 10.1.2021.  
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10218:-2:ed-2:v1:en>

Malm, T & Salmi, T. 2019. Yhteistyörobotit tulevat - oletko valmis? Viitattu 20.4.2021  
[http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/12/Automaatiovayla\\_6\\_2019.pdf](http://www.automaatiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/12/Automaatiovayla_6_2019.pdf)

Brush, K. N.d. Definition of mobile robot. Viitattu 11.4.2021  
<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/mobile-robot-mobile-robotics>

Calderone, L. N.d. What are Service Robots? Viitattu 12.4.2021  
<https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/02/what-are-service-robots/13161>

Thomas, M. 2020. THE FUTURE OF ROBOTS AND ROBOTICS. Viitattu 29.4.2021  
<https://builtin.com/robotics/future-robots-robotics>

Smith, E. 2018. Breaking Down Industrial Robot Accidents. Viitattu 29.4.2021

<https://machineaccident.com/breaking-down-industrial-robot-accidents/>

Schenk, M. N.d. COLLISION ANALYSES FOR HUMAN-ROBOT INTERACTION. Viitattu 29.4.2021

<https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/en/documents/publications/collision-analyses-for-human-robot-interaction-fraunhofer-iff.pdf>

Suomen Standardisoimisliitto. N.d. Viitattu 25.4.2021.

<https://sfs.fi/>

CE-merkintä. N.d. Viitattu 25.4.2021.

<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/ce-merkinta>

Aguilar, S. 2004. Playing it safe with robotic welding. Artikkelit hitsausrobottien turvallisuudesta. Viitattu 20.1.2021.

<https://www.thefabricator.com/thewelder/article/automationrobotics/playing-it-safe-with-robotic-welding>

Safety Options for Robotic Systems. N.d. RobotWorx:n artikkeli robottien turvalaitteista. Viitattu 16.2.2021.

<https://www.robots.com/articles/safety-options-for-robotic-systems>

Kristina Urquhart. N.d. Light beam safety devices. Viitattu 25.4.2021

<https://www.automationmag.com/547-light-beam-safety-devices/>

Vikaantumislaskenta. 2017. Viitattu 25.4.2021

<https://wiki.metropolia.fi/display/alykas/Vikaantumislaskenta>

Valomastot. N.d. OEM tuotekatalogi. Viitattu 22.3.2021

[https://www.oem.fi/tuotteet/keskus/merkinantolaitteet/valomastot-\\_427128](https://www.oem.fi/tuotteet/keskus/merkinantolaitteet/valomastot-_427128)

Vehkalahti, K. 2014. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. 13. Helsinki: Finn Lectura

## Liitteet

### Liite 1. Kyselylomake

#### Robottiikan turvallisuus oppilaitosympäristössä

Hei.

Tämä lyhyt kyselytutkimus on opinnäytetyötäni varten. Opinnäytetyöni käsittelee robotiikan turvallisuutta, erityisesti oppilaitoksissa. Työn tavoitteena on lisätä tietoisuutta robotiikan riskeistä sekä pohtia tapoja joilla opetuksessa voidaan pienentää kyseisiä riskejä. Kyselyllä on tarkoitus kartoittaa robotiikan turvallisuuden tilannetta oppilaitoksissa Suomessa vuonna 2021.

1. Onko oppilaitoksella opetuskäytössä teollisuusrobotteja, yhteistyörobotteja tai mobiilirobotteja?

- On  
 Ei

2. Millaisia robotteja oppilaitoksella on?


3. Onko oppilaitoksella tapahtunut onnettomuuksia robottien kanssa viimeisen viiden vuoden aikana? Onnettomuudeksi voidaan luokitella turma, jossa on tullut joitain henkilövahinkoja, kohtuullisia materiaalivahinkoja tai molempia.

- Ei  
 Kyllä

4. Kuinka usein onnettomuuksia on tapahtunut?

- Kerran viidessä vuodessa



- Kerran 2-4 vuodessa
- Kerran vuodessa
- Useammin kuin kerran vuodessa

5. Kuvaile millaisia onnettomuuksia on sattunut.


6. Onko onnettomuuksien takia tehty robotteihin tai opetukseen muutoksia?  
Jos kyllä, millaisia?


7. Jos mahdollista, miten parantaisit robotiikan turvallisuutta opetuksessa?


8. Muita mietteitä robotiikan turvallisuudesta opetuksessa?
