

Aleksi Liukkonen

# Yhteistyörobottisolun riskienarviointi

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Kevät 2019



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Liukkonen Aleksi

**Työn nimi:** Yhteistyörobottisolun riskienarviointi

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), konetekniikka

**Asiasanat:** yhteistyörobotiikka, riskienarviointi

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä Kainuun ammattiopistolla kone- ja metallialan opetustiloissa sijaitsevalle Universal Robotsin UR10-yhteistyörobottisolulle riskien arvio ja perehtyä itse riskien arviointiprosessiin ja sen vaiheisiin. Työn tavoitteena oli määritellä robottisolussa käytön aikana läsnä olevat riskit ja määritellä riskien suuruus ja keinoja minimoida ne.

Työssä perehdyttiin lisäksi yhteistyörobotiikan turvallisuutta käsitteleviin ohjeistuksiin ja tutkittiin yhteistyörobotiikan erilaisia toimintamenetelmiä ja yhteistyörobottien turvallisuustoimintoja. Työssä hyödynnettiin ISO TS 15066 teknistä spesifikaatiota koskien yhteistyörobotiikkaa, standardeja ISO 12100 ja ISO 10218- 2, riskienarvioinnin ohjeistuksena.

Riskien arviointiprosessin aikana esitettiin myös mahdollisia kehitysideoita robottisoluun turvallisuuden näkökulmista ja ehdotuksia robotin myöhemmin tehtävään malliohjelmaan, jonka avulla oppilaat myöhemmin harjoittelevat robotin ohjelmointia.

Riskien arvioinnissa esiin yksittäisenä suurimpana riskinä nousivat puristumis- ja törmäysriskit robottisolussa robotin automaattiajon aikana. Riskin pienentämiseen määriteltiin mahdollisia keinoja ja kaikki riskit saadaan ehdotettujen toimenpiteiden ja muutosten avulla vähintään siedettävälle tasolle. Varsinainen muutostyö robottisoluun jätettiin pois opinnäytetyön laajuuden ja aikarajojen vuoksi.

## **Abstract**

**Author(s):** Liukkonen Aleksi

**Title of the Publication:** Risk assessment of collaborative robot cell

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

**Keywords:** collaborative robotics, risk assessment

The subject of the thesis is to make a risk assessment of a collaborative robot cell including a Universal Robots UR10- collaborative robot. The risk assessment is made following the guidelines presented in the ISO TS 10566 technical specification, which includes guidelines for collaborative operations between a human operator and a robot. The ISO 10218:2 and ISO 12100 standards are used as a guideline for the risk assessment process.

The collaborative robot cell is located in the Kajaani vocational school where it is used by students of metalwork and machinery. Students are learning to program the robot to insert a workpiece into a CNC-lathe and after machining the workpiece, the robot removes it from the lathe. The fact that the main use of the robot cell is educational, has also effects on the risk assessment. Because of the educational nature of the operation, production efficiency is not a driving factor.

The goal of the thesis was to evaluate the risks present in the robot cell during the operation and depending on the level of the risk, to offer solutions to reduce the risk. Other goals were building up wider knowledge of collaborative robots, safety regulations of robotics, different uses of collaborative robotic systems and variations of collaborative operations including safety measures.

The risk assessment showed that dangers most likely to occur while operating the robot cell were dangers of compression hazards and dynamic impact hazards during the automatic execution of the robot program. Possible actions to reduce those risks to a sustainable level were offered to the staff of Kajaani vocational school. Due to time limits of the thesis, implementing the measures suggested in the risk assessment was left out of the scope of the thesis.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Yhteistyörobotteja koskevia ohjeistuksia .....	2
2.1	ISO 10218-2 .....	2
2.2	ISO TS 15066 .....	2
2.3	ISO 12100 .....	2
3	Yhteistyörobotit .....	3
3.1	Esimerkkejä yhteistyöroboteista .....	3
3.1.1	ABB IRB 14000 YuMi .....	3
3.1.2	Fanuc CR-35iA .....	4
3.2	Yhteistyörobottisolu .....	5
3.2.1	Universal Robots UR10 .....	5
3.2.2	Ohjausyksikkö .....	6
3.2.3	Robotin käsivarsi .....	7
3.2.4	PolyScope Programming Interface .....	8
3.2.5	CNC-työstökone .....	9
3.2.6	Solun toiminta .....	10
3.3	Yhteistyörobotit ja turvallisuus .....	10
3.3.1	Turvaskannerit .....	11
3.3.2	Turvamatot .....	12
3.3.3	Valoverhot .....	13
3.4	Yhteistoiminnan lajit .....	14
3.4.1	Yhteistoiminta turvaluokitellun valvotun pysäytyksen aikana .....	15
3.4.2	Yhteistoiminta käsinohjaustilanteessa .....	15
3.4.3	Yhteistoiminta nopeuden ja välitäisyyden valvonnalla .....	16
3.4.4	Yhteistoiminta teho- ja voimarajoitettujen robottien kanssa .....	16
3.5	Robotti opetusympäristössä .....	17
4	Riskien arviointi .....	18
4.1	Raja-arvojen määrittäminen .....	18
4.1.1	Käyttörajat .....	18
4.1.2	Tilarajat .....	18

4.1.3	Aikarajat .....	19
4.1.4	Muut raja-arvot .....	19
4.2	Vaarojen tunnistaminen .....	19
4.3	Vaaratilanteen vakavuuden ja todennäköisyyden arviointi .....	19
4.3.1	Vaaran todennäköinen vakavuus .....	20
4.3.2	Vaaratilanteen todennäköisyys .....	20
4.3.3	Muita riskien arviointityökaluja .....	21
4.4	Riskin merkityksen arviointi .....	24
4.5	Riskin pienentäminen .....	25
5	Riskinarvioinnin tekeminen .....	26
5.1	Perehtyminen aiheeseen .....	26
5.2	Raja-arvojen määrittäminen .....	27
5.3	Vaarojen tunnistaminen ja todettujen riskien arvioiminen .....	27
5.4	Kehitysideoita robottisoluun .....	29
5.5	Työssä ilmenneitä haasteita .....	31
5.6	Työn tulokset .....	32
6	Yhteenveto .....	33
	Lähteet .....	34
	Liitteet	

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä Kainuun ammattiopistolle kone- ja metallialan koulutustiloissa sijaitsevalle opetuskäytössä olevalle Universal Robotsin UR10-yhteistyörobottisolulle riskienarviointi ja samalla pohtia mahdollisia parannuksia ja muutoksia robottisoluun, jotta mahdolliset riskit saataisiin minimoitua. Riskien arvioinnissa käytetään hyväksi standardin ISO 10218-2:2011 ja yhteistyöroboteille kehitetyn teknisen spesifikaation ISO TS 15066:2016 mukaisia ohjeita.

Muita tavoitteita työlle on perehtyä robotiikan turvallisuusohjeistuksiin ja yhteistyörobotiikassa esiintyviin turvallisuustekijöihin. Työssä sivutaan myös erilaisia menetelmiä ihmisen ja robotin yhteistyöhön ja vuorovaikutukseen.

Yhteistyörobottisolu koostuu UR10-robotista ja CNC-työstökeskuksesta. Kainuun ammattiopiston oppilaat harjoittelevat robotin ohjelmointia. Ohjelmointiharjoituksessa oppilaat ohjelmoivat robotin asettamaan aihion sorviin ja poistamaan aihion sorvista sorvaustyön jälkeen tai vaihtoehtoisesti harjoittelevat ohjelmoimaan ”pick and place”-tyylisen ohjelman robotille. Pääpaino on kuitenkin robotin ja työstökoneen välisessä harjoituksessa.

Oppilaat ovat jatkuvasti robotin toimintaetäisyydellä tai sen välittömässä läheisyydessä ohjelmoidessaan robottia ja tarkastellessaan aikaan saatua ohjelmaa, eikä suurimmalla osalla heistä ole aiempaa kokemusta kyseisen robotin ohjelmoinnista.

## 2 Yhteistyörobotteja koskevia ohjeistuksia

Yhteistyörobotteja koskevia ohjeistuksia on monia. Niitä koskevat ohjeistukset perustuvat suurelta osin normaaleille tuotantoroboteille suunniteltuihin ohjeistuksiin (ISO 10218-1 ja -2) sekä EU-konedirektiiviin 2006/42/EC, joka Suomessa on kirjattu lainsäädäntöön koneasetuksena 400/2008. Lisäksi yhteistyörobotteja varten on kehitetty tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066: 2016. [1.]

### 2.1 ISO 10218-2

Kansainvälisen standardisoimisjärjestön (ISO) laatima standardi, joka käsittelee robottijärjestelmien suunnittelua, asennusta, huoltoa ja niiden turvalaitteita. Standardi tarjoaa ohjeita robottisolun turvalliseen suunnitteluun ja robotin integroimiseksi osaksi tuotantoa. [2.]

### 2.2 ISO TS 15066

Kansainvälisen standardisoimisjärjestön (ISO) laatima tekninen spesifikaatio yhteistyöroboteille, jossa ohjeistetaan yhteistyörobottien turvatoimia ja asetetaan standardin vaatimukset yhteistyöroboteille, työtilalle, robotin toiminnoille ja ohjausjärjestelmille [3].

Tekninen spesifikaatio esittelee eri menetelmiä ihmisen ja robotin väliseen vuorovaikutukseen ja keinoihin, joilla voidaan parantaa turvallisuutta ja pienentää yhteistyötilassa robotin liikkeitä ja toiminnasta ihmiselle aiheutuvia riskejä [3].

### 2.3 ISO 12100

Kansainvälisen standardisoimisjärjestön (ISO) kehittämä standardi, joka ohjeistaa yleiset koneen suunnitteluperiaatteet ja tarjoaa ohjeistusta riskin arviointiprosessissa ja riskien pienentämisessä. Standardissa käsitellään ohjeistuksia koskien koneiden suojaus ja turvalaitteita ja niiden toimintaa. [4.]

### 3 Yhteistyörobotit

Robotit ovat yleistyneet teollisuudessa, ja nykyään yhä useammin robotti tekee raskaan tai toistavan työn ihmisen puolesta. Robotiikka ja tekoäly kehittyvät jatkuvasti ja leviävät yhä uusille aloille ja työelämän osa-alueille. Yhteistyörobotiikka on nykypäivää ja tulee yleistymään teollisuuden tuotannossa.

Yhteistyörobotit ovat robotteja, jotka on suunniteltu työskentelemään turvallisesti ihmisen kanssa yhteisessä työtilassa suorittaen yhteistä tai erillistä työvaihetta. Yhteistyörobotit voivat työskennellä teollisuudessa muun muassa kokoonpanolinjastoilla tai varastoissa, joissa työ on toistuvaa tai epäergonomista. Ihmiselle tehtäväksi tällaisissa työtehtävissä voi jäädä esimerkiksi laaduntarkastus. Yhteistyörobotteja on käytössä laajasti esimerkiksi autoteollisuuden työtehtävissä, jossa ne helpottavat esimerkiksi kokoonpanijoitten arkea.

#### 3.1 Esimerkkejä yhteistyöroboteista

Yhteistyörobotteja on monenlaisia ja eri käyttökohteisiin ja tarkoituksiin suunniteltuja. Suurempikokoiset robotit voivat olla osa autoteollisuuden tuotantoa, kun taas pienemmät toistotarkkuudeltaan hyvin tarkat robotit voivat olla esimerkiksi osa elektroniikan tuotantolinjaa.

##### 3.1.1 ABB IRB 14000 YuMi

ABB:n kehittämä IRB 14000 YuMi on kaksikäsinen yhteistyörobotti, jonka maksimikuorma on 0,5 kg kättä kohden. Robotin oma massa on 38 kg ja tarkkuus 0,02 mm. YuMi on käytössä esimerkiksi kokoonpanotehtävissä ihmisen rinnalla, johon se soveltuu erinomaisesti tarkkuutensa ja kahden kätensä ansiosta. Kuvassa 1 on esitetty YuMi-robotti ja vakiotarttumat. Robotin kädet voidaan ohjelmoida toimimaan erikseen tai synkronoidusti yhdessä. [5.]





Kuva 1. ABB YuMi. [5]

### 3.1.2 Fanuc CR-35iA

Fanuc CR-35iA on kuusiakselinen yhteistyörobotti, jonka maksimikuorma on 35 kg. Robotin omassa massassa on 990 kg ja toistotarkkuus 0,03 mm. Robotissa on huomioitu yhteistyökäyttö muun muassa robotin pehmeällä kuorella, joka eliminoi terävät reunat robotista ja suojaa ihmistä, mikäli kontakti ihmisen kanssa tapahtuu. Robotin voi tarvittaessa myös tönäistä kauemmas, koska sen kaksi pääakselia antavat periksi robottia työntäessä. Lisäksi robotissa on suojapysäytystoiminto esteeseen osuessaan, jossa oletusasetuksena törmäyksen maksimivoima on 150 N, ennen kuin robotin turvapysäytys aktivoituu. Kuvassa 2 Fanuc CR-35iA. [6]



Kuva 2. Fanuc CR-35iA.[6]

### 3.2 Yhteistyörobottisolu

Yhteistyörobottisolu, jota tässä opinnäytetyössä käsitellään, koostuu Universal Robots UR10-yhteistyörobotista ohjauslaitteineen ja numeerisesti ohjatusta työstökoneesta. Robotin työkaluina ovat kaksi erilaista tarttujaa, joilla robotti tarttuu työkappaleisiin, jotka se asettaa työstökeskukseen. Robotissa on käytössä kahdenlaisia tarttuvia; alipainetarttuvia ja paineilmalla toimiva mekaaninen tarttuja. Kuvassa 3 robotissa käytettävä alipainetarttuja.

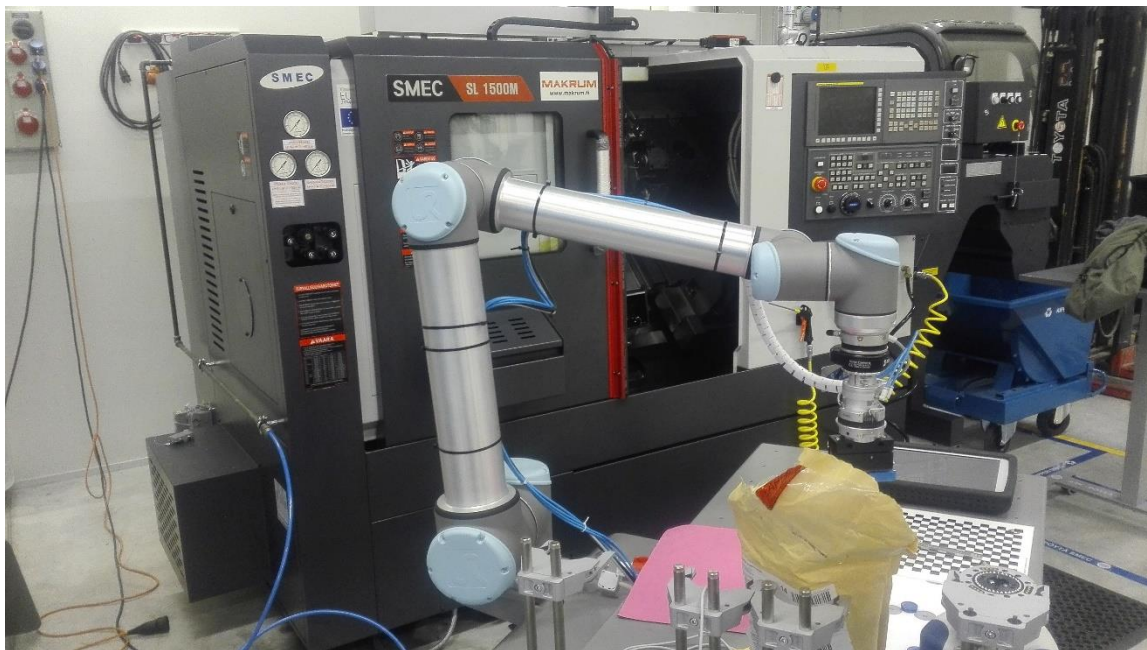


Kuva 3. Robotin alipainetarttuja

#### 3.2.1 Universal Robots UR10

Universal Robotsin valmistama UR10-yhteistyörobotti on kuusiakselinen robotti, jonka toimintasäde on 1300 mm ja maksimikuorma, jonka saa kiinnittää työkalupisteeseen, on 10 kg. Robotin omamassa on n. 29 kg. Robottikokonaisuus koostuu ohjauslaitteesta, jolla robottia voi ohjelmoida

ja liikutella akseleita käsiohjauksella, robotin sähköisestä ohjausyksiköstä sekä itse robotin käsivarresta. Robotin käsivarsi esitetty kuvassa 4. UR10-robottia voidaan soveltaa useisiin erilaisiin työtehtäviin, joita voivat olla esimerkiksi kokoonpano tai pakkaaminen. [7.]

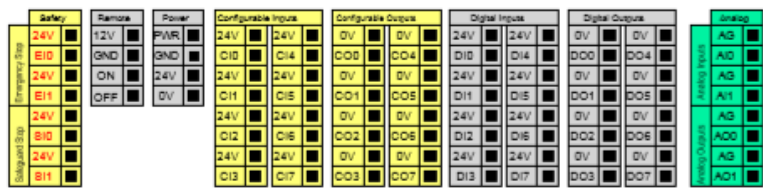


Kuva 4. UR10-yhteistyörobotti ja Smec-työstökeksus.

### 3.2.2 Ohjausyksikkö

Robotin ohjausyksikössä on 16 digitaalista tuloa ja lähtöä sekä 2 analogista tuloa ja lähtöä, jonka avulla robotti ohjailee toimintojaan ja antaa informaatiota koskien työvaihetta. I/O paneeliin voidaan kytkeä erilaisia laitteita, muun muassa releitä ja antureita, joilla voidaan ohjata pneumaattisia sylintereitä ja tunnistaa kappaleen läsnäolo. Ohjausyksikkö mahdollistaa työstökeskuksen ja robotin kommunikoinnin keskenään. Ohjausyksikön liitäntäpaneeli esitetty kuvassa 5. [7.]

The illustration below shows the layout of electrical interface inside the control box.



The meaning of the different colors must be observed, see below.

Yellow with red text	Dedicated safety signals
Yellow with black text	Configurable for safety
Gray with black text	General purpose digital I/O
Green with black text	General purpose analog I/O

Kuva 5. Ohjausyksikön I/O-paneeli [7]

3.2.3 Robotin käsivarsi

Robotin käsivarsi koostuu kuudesta nivelestä, ja niiden kaikkien asento voidaan määrittellä tarvittaessa. Jokaisen nivelen asennon määrittämisellä mahdollistetaan robottikäden tarkan asennon määrittäminen työvaiheiden vaatimalla tavalla. Kuvassa 6 näkyvät robotin kuusi niveltä.

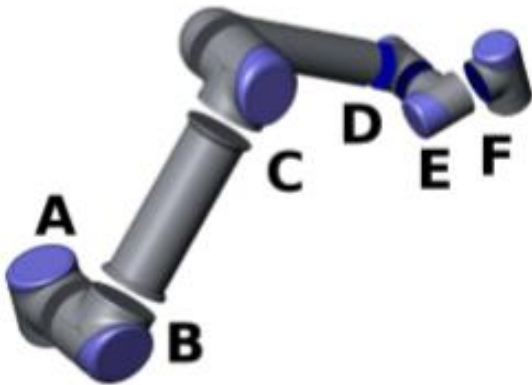


Figure 10.1: Joints of the robot. A: Base, B: Shoulder, C: Elbow and D, E, F: Wrist 1, 2, 3

Kuva 6. UR10-käsivarren nivelet [7]

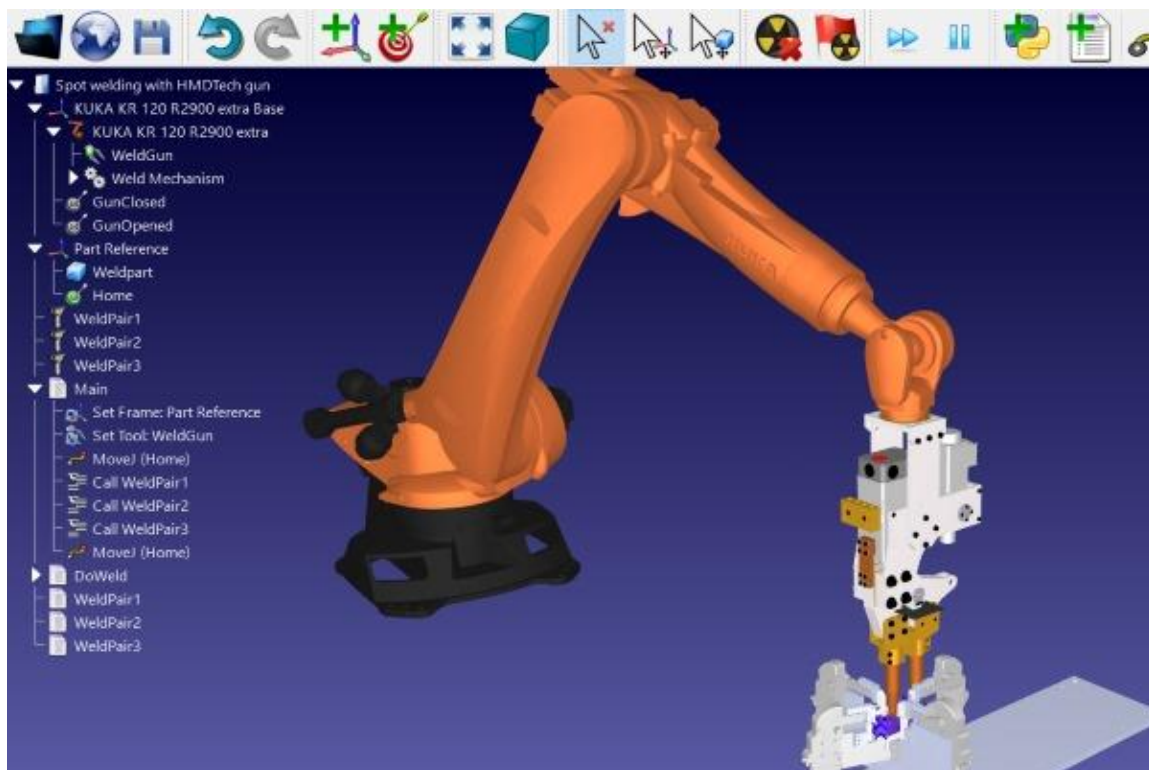
### 3.2.4 PolyScope Programming Interface

Robotin ohjelmointi tapahtuu ohjaustabletilla tai vaihtoehtoisesti RoboDK-simulaatio- ja offline-ohjelmointisovelluksella. RoboDK sovelluksen käyttöliittymä esitetty kuvassa 8. Ohjaustabletilla voidaan määrittää robotille halutut asetukset ja liikenopeudet sekä myös tavat, miten robotti kulkee pisteestä toiseen. Kuvassa 7 ohjaustabletti, jota käytetään kosketusnäytön avulla. Halutessa robotin liikeratoja voidaan tarkkailla ohjauslaitteen simulaatiotoiminnolla, ennen ohjelman varsinaista suorittamista. Simulaatiotoiminnolla ei voida tarkkailla robotin liikkeitä työympäristössä, mutta sen avulla saadaan pääpiirteinen käsitys liikeradasta. Käsiohjauslaitteen kautta voidaan myös konfiguroida toimilaitteita, esimerkiksi robottiin asennettua kameraa, ja monitoroida input- ja outputsignaaleja. Robotin eri nivelien kuormitukset voidaan nähdä reaaliajassa, kun robotti suorittaa ohjelmaa. Myös robotin asetukset ovat muokattavissa ohjauslaitteen kautta. [7.]



Kuva 7. Polyscope-tabletti näkyy robotin työtasolla. Työtason alla oleva laatikko on robotin ohjausyksikkö, joka sisältää muun muassa I/O-paneelin.





Kuva 8. RoboDK-ohjelmointisovellus [8]

### 3.2.5 CNC-työstökone

Osana robottisolua on myös SMEC SL-1500M-työstökeskus. Työstökeskus esitetty kuvassa 9.

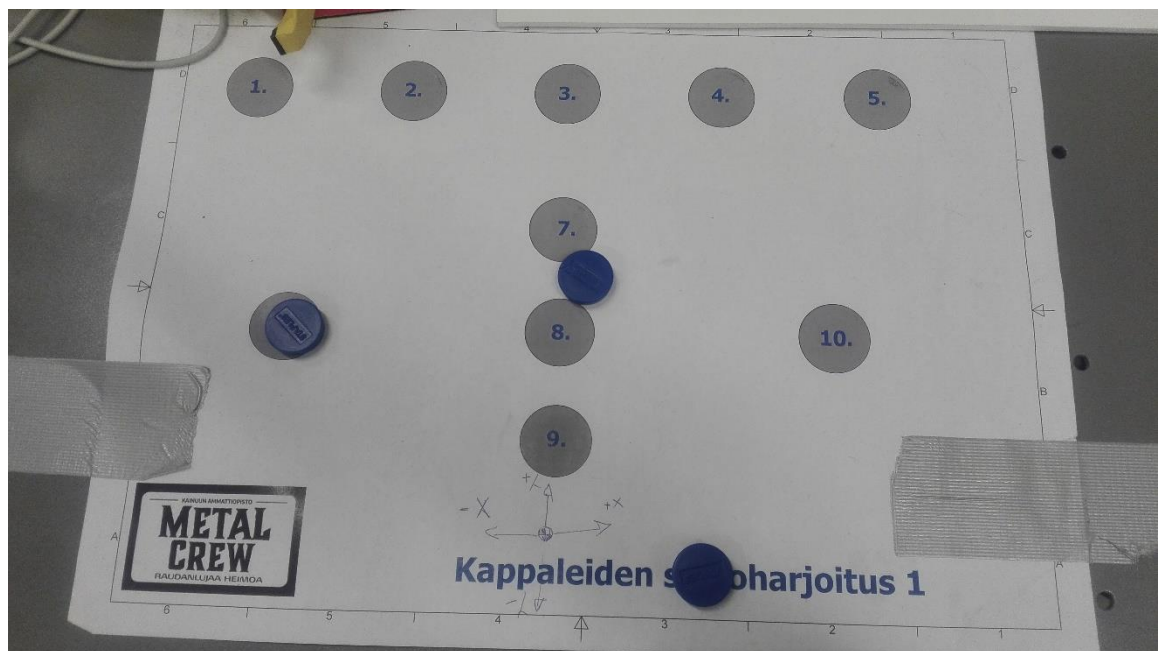


Kuva 9. SMEC-työstökeskus

### 3.2.6 Solun toiminta

Robottisolun tarkoitus on, että robotti asettaa työstettävän kappaleen työstökeskukseen. Tämän jälkeen työstökeskus sulkee oven, kun robotti on kuitannut oman työvaiheensa. Seuraavassa työvaiheessa työstökone suorittaa sille määritellyn ohjelman ja työstää kappaleen, jonka jälkeen se aukaisee oven ja robotti saa työstökeskukselta kuittauksen, että ovi on auki ja tämän tiedon avulla robotti jatkaa omaa työsykliään poimimalla työstetyn kappaleen ja asettamalla sen tilalle uuden työkappaleen työstöä varten.

UR10-robotilla tehdään lisäksi harjoitusta, jossa ohjelmoidaan robotti poimimaan kappale pöydältä ja asettamaan se sille varatulle paikalle. Kuvassa 10 siirtoharjoituksessa käytettävä alusta, johon kappaleet asetetaan.



Kuva 10. Kappaleiden siirtoharjoitus

### 3.3 Yhteistyörobotit ja turvallisuus

Robottijärjestelmien turvallisuutta säädellään useiden koneturvallisuutta ja robotiikan turvallisuutta koskevien määräyksien, standardien ja säädösten avulla. Robotiikan eri ratkaisuja ja erilaisia robottijärjestelmiä on kuitenkin niin monenlaisia, että ohjeistukset ja niiden esimerkkien konkretisoituminen jäävät monesti yksityiskohtiin. Tämän vuoksi jokaista robotiikan sovellusta

suunnitellessa ja integroidessa on tärkeää tarkastella aina robottijärjestelmää kokonaisuutena. [9.]

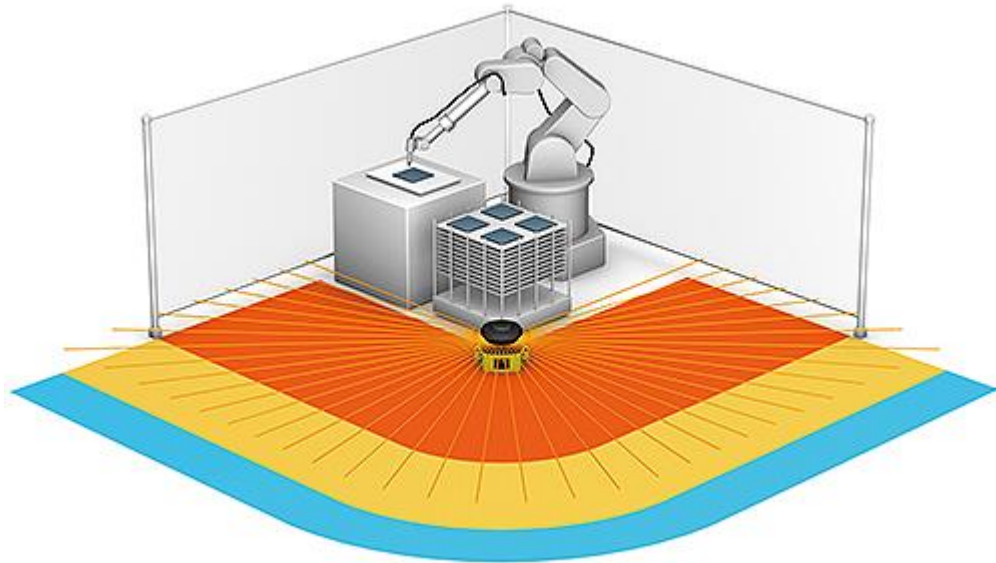
Yhteistyörobotit toimivat ihmisen kanssa samassa työympäristössä, jolloin robotti ja ihminen ovat keskenään vuorovaikutuksessa. Tämä tietysti asettaa yhteistyöroboteille turvallisuusvaatimuksia ja vaatii erilaisia turvallisuutta lisääviä toimintoja robotille, koska robotti ei ole enää suojarakenteiden sisällä ihmisen ulottumattomissa. Robotteihin voidaan asentaa erilaisia tunnistusmenetelmiä, joiden avulla se aistii ihmisen läsnäolon ja esimerkiksi laskee liikkeidensä nopeuksia huomattavasti, jotta välttää robotin törmäyksiltä ihmiseen. Myös robotin työkalut tuovat erilaisia riskejä tilanteissa, joissa robotin työkalu on esimerkiksi terävä, pyörivä tai aiheuttaa muuta huomattavaa vahinkoa osuessaan ihmiseen.

Universal Robots UR10-yhteistyörobotissa on useanlaisia sisäänrakennettuja turvallisuustoimintoja, jotka lisäävät robotin läheisyydessä työskentelyn turvallisuutta. Tällaisia ominaisuuksia ovat muun muassa ominaisuus määrittää ”safeplane”-turva-alueita, eli kun robotti ylittää sille määritetyn rajapisteen, se hidastaa liikenopeutta tai vaihtoehtoisesti pysähtyy, jonka jälkeen nivelten jarrut on avattava käsiohjaimen kautta. Turvarajoilla voidaan asettaa erilaisia nopeusrajoituksia eri osille työympäristöä, jolloin työskentelyn turvallisuus nousee. Robotin ohjausjärjestelmässä on myös integroitu nopeuden, tehon ja momentin valvonta, jonka avulla robotti pitää huolen, että työkalukeskipisteeseen kohdistuva momentti ja voima eivät nouse liian korkeiksi. [7.]

### 3.3.1 Turvaskannerit

Turvaskannerit skannaavat niille määritettyä turva-aluetta, ja robotti voidaan esimerkiksi määrittää muuttamaan liikeratojen nopeuksia turvaskannerin signaalin avulla. Turvaskannereille voidaan määrittää useampi alue, joista esimerkiksi toinen hidastaa robotin liikettä ja toinen alue pysäyttää sen kokonaan. Turvaskannerin toimintaperiaate ja sille asetetut vyöhykkeet esitetty kuvassa 11.

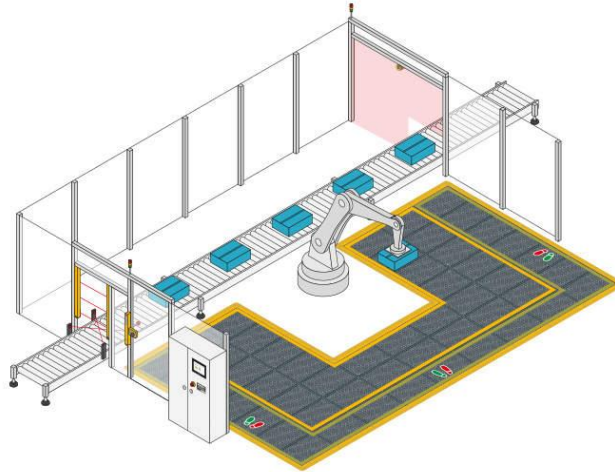




Kuva 11. Turvaskanneri [10]

### 3.3.2 Turvamatot

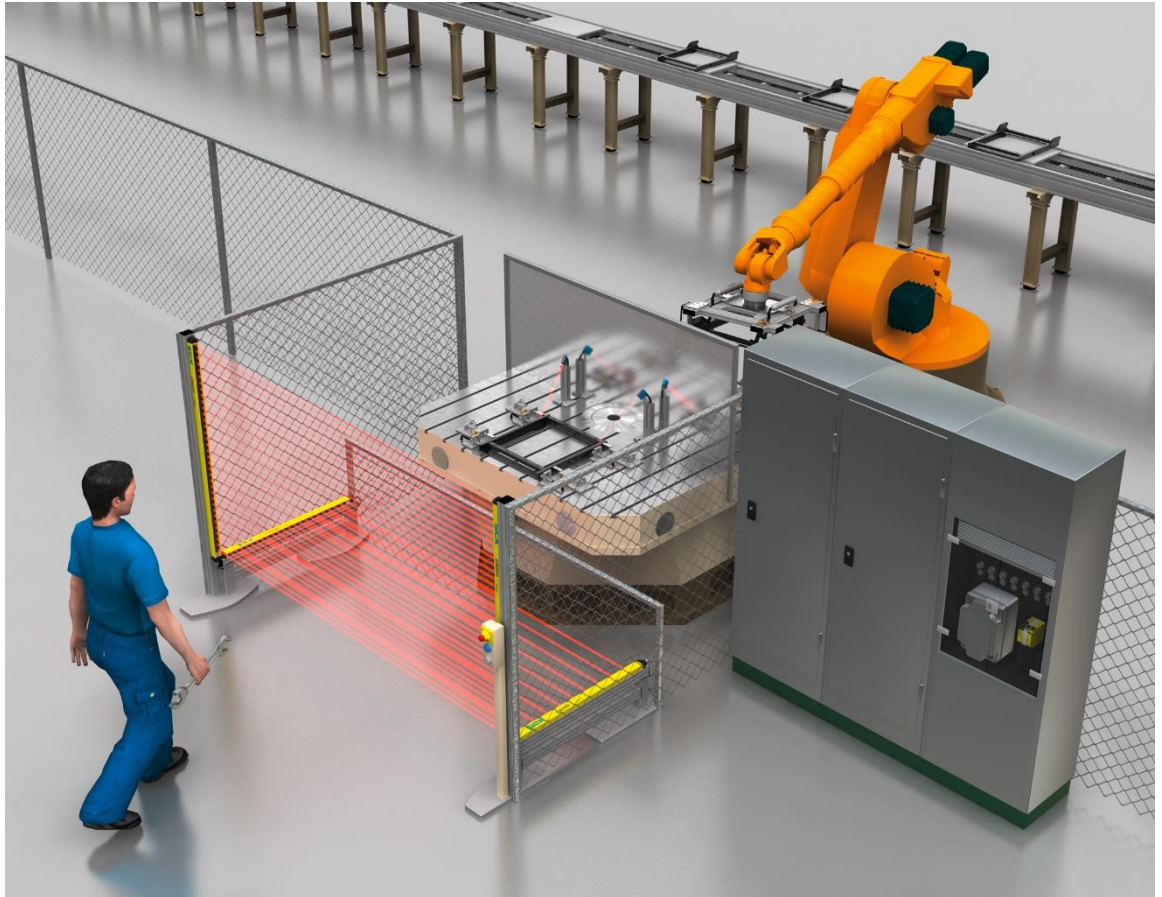
Turvamatolla voidaan parantaa työturvallisuutta robottisoluissa. Turvamatto reagoi, kun ihminen astuu turva-alueelle ja pysäyttää laitteen. Turvamattoja voidaan käyttää ympäristöissä, joissa esimerkiksi valoverhot tai skannerit eivät voi toimia. Turvamatoilla voidaan kattaa haluttu osa tuotantotilasta tai robottisolusta, jossa on esimerkiksi esteitä. Turvamatot voidaan sijoittaa esteiden lomaan halutulla tavalla, joka tekee turvamatosta joustavan ratkaisun. Turvamatolla toteutettu robottisolu esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Turvamatolla toteutettu valvontaratkaisu robottisolussa. [11]

### 3.3.3 Valoverhot

Muita turvalaitteita robotiikan sovelluksissa ovat esimerkiksi valoverhot, joita voidaan käyttää, kun halutaan rajata ihmisen pääsy robotin läheisyyteen. Valoverho eroaa vaikkapa turvaskannerista myös siten, että yksittäisellä valoverholla ei voida tunnistaa useita eri vyöhykkeitä, vaan valoverhon tila on joko päällä tai katkaistu, kun taas skannerilla vyöhykkeitä voi olla useampi. Myös käyttöolosuhteet vaikuttavat luonnollisesti turvalaitteitten valintaan, jonka vuoksi esimerkiksi lika tai pöly voi olla rajoittava tekijä turvalaitteita valittaessa. Valoverhon toiminta esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Valoverho robottisolussa [12]

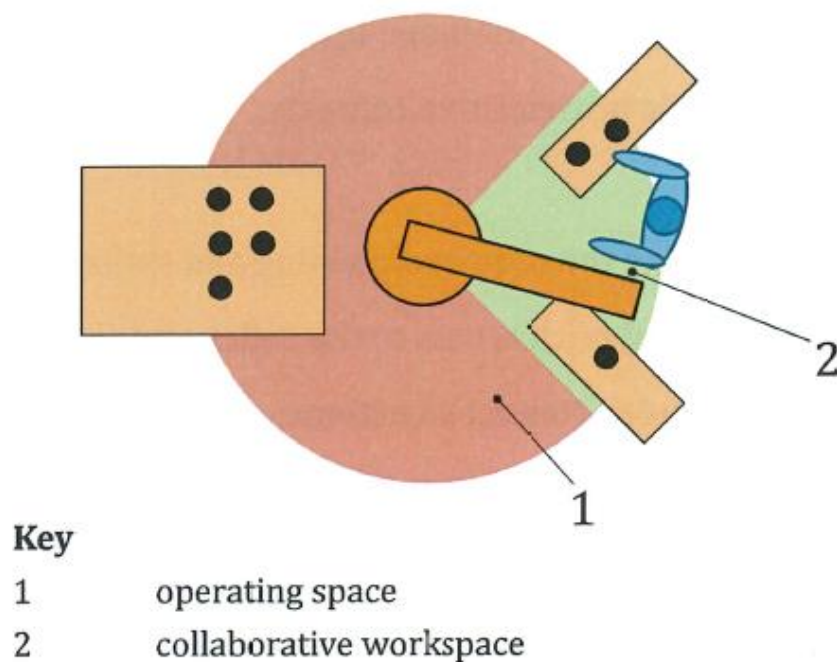
### 3.4 Yhteistoiminnan lajit

Yhteistyörobotti voi toimia ihmisen kanssa yhteistyössä usealla eri menetelmällä. Menetelmän valitseminen kuhunkin käyttötarkoitukseen määräytyy robotin ominaisuuksien ja työssä esiintyvien tarpeiden mukaisesti.

Opinnäytetyössä käsiteltävän robottisolun toimintatavaksi soveltuu parhaiten turvaskannerilla ohjattu turvapysäytys, työtehtävän luonteen takia. UR10-robotissa on integroidut voiman, momentin ja nopeuden seurantajärjestelmät, jotka toimivat ikään kuin tuplavarmistuksena skannerin lisäksi.

### 3.4.1 Yhteistoiminta turvaluokitellun valvotun pysäytyksen aikana

Yhteistoiminta turvaluokitellun valvotun pysäytyksen aikana on yhteistyötoimintapa, jossa robotti havaitsee ihmisen ennen yhteiseen työtilaan astumista esimerkiksi turvaskannerin avulla ja pysäyttää työskentelynsä yhteistyöalueella. Ihmisen ja robotin yhteinen työalue kuvassa 14. Kun ihminen on suorittanut oman työnsä yhteistyösolun sisällä ja poistunut työalueelta, voi robotti jatkaa omaa työtehtäväänsä automaattisesti ilman ihmisen toimenpiteitä yhteisellä työalueella. [3.]



Kuva 14. Operaattorin ja robotin yhteinen työalue. [3]

### 3.4.2 Yhteistoiminta käsinohjaustilanteessa

Yhteistoiminta käsinohjaustilanteessa on yhteistyömenetelmä, jossa operaattori ohjailee robottia käsiohjaimella. Kun robotti on valmiina käsiohjattua työvaihetta varten, robotti pysähtyy yhteistyöalueelle, jonka jälkeen operaattori voi suorittaa oman työtehtävänsä manuaalisesti ohjailleen robottia. [3]

Työsekvenssi:

- Robotti on valmiina käsiohjaustyövaiheeseen ja ajaa itsensä yhteistyöalueelle, jota seuraa turvapysäytys.
- Operaattori ottaa robotin haltuunsa käsiohjaimella, jolloin turvapysäytys nollautuu.
- Operaattori suorittaa työnsä, jonka jälkeen robotti suorittaa turvapysäytyksen.
- Operaattorin poistuessa yhteistyötilasta robotti voi jatkaa työskentelyään yhteisessä työtilassa automaattisesti.

### 3.4.3 Yhteistoiminta nopeuden ja välietäisyyden valvonnalla

Yhteistoiminta nopeuden ja välietäisyyden valvonnan aikana on yhteistyömenetelmä, jossa yhteistyörobotin nopeutta säädellään ja etäisyys operaattoriin pidetään riittävänä. Robotti ja operaattori voivat liikkua yhteisessä työtilassa samanaikaisesti. Robotin liikkeiden aikana robotti seuraa jatkuvasti etäisyyttään operaattoriin. Robotin joutuessa liian lähelle ihmistä, esimerkiksi ihmisen liikkuesssa robottia kohti, tapahtuu turvapysäytys, ja kun etäisyys on riittävä, robotti jatkaa työskentelyään. Robotti voi myös mukauttaa vähimmäisetäisyyttä ihmiseen liikkeiden nopeuden perusteella. Esimerkiksi jos liikenopeudet laskevat, voi robotti laskea uuden minimietäisyyden ihmiseen. [3.]

Jos työtilassa on useampia työntekijöitä, täytyy robotin ottaa jokainen ihminen yhteistyötilassa huomioon etäisyyden valvonnassa. Robotin turvaetäisyyden rikkomisen välttämiseksi robotti voi uudelleen laskea nopeutensa turvavälin säilyttämiseksi tai etsiä vaihtoehtoisen reitin, jossa turvaetäisyydet täyttyvät. [3.]

### 3.4.4 Yhteistoiminta teho- ja voimarajoitettujen robottien kanssa

Yhteistoiminnan malli, jossa työskentelyn aikana kontakti ihmisen ja robotin välillä voi tapahtua. Robotilta edellytetään tässä toimintamallissa, että siinä on tällaiseen käyttöön suunniteltu voima- ja tehonmittausjärjestelmä. Tehon- ja voimarajoitusmenetelmällä toteutetulla yhteistyörobottisolulla työskennellessä kontaktit robotin ja ihmisen välillä yhteisessä työtilassa voivat aiheutua

suunnitelluista työvaiheista tai kontakti voi olla tarkoittamaton. Kontakti voi olla kahdenlaista, joko painetta tai dynaaminen isku. [3.]

UR10-robotissa teho- ja voimanrajoitusasetukset ovat uudelleen konfiguroitavissa työtehtävän tarpeiden mukaan. Voimarajoituksissa on otettava huomioon myös työvaiheessa liikuteltavien taakkojen massa ja työvaiheissa robottiin välittyvät voimat.

### 3.5 Robotti opetusympäristössä

Robotit opetusympäristössä tuovat omat haasteensa myös turvallisuuteen liittyen. Kun opetellaan ohjelmoimaan robottia ensimmäisiä kertoja, on realistista olettaa, että ohjelmointivirheitä ja ennalta odottamattomia tilanteita tulee vastaan normaalia enemmän, jos verrataan vaikkapa koulutettujen ammattilaisten työskentelyyn yhteistyörobottien kanssa.

Opetusympäristössä on myös ympärillä paljon muita oppilaita, jotka eivät työskentele yhteistyörobotilla vaan esimerkiksi robotin läheisyydessä olevilla työpisteillä. Kulku robotin välittömässä läheisyydessä aiheuttaa omat vaaransa ja on otettava huomioon riskejä arvioitaessa.

Robotin ohjelmointiharjoituksissa ohjeiden on oltava huolellisesti tehtyjä ja selkeitä. Lisäksi ennen kuin ohjelmaa ajetaan automaattiajolla, opettajan tulisi tarkistaa ohjelma ja ajaa ohjelman koeajo madalletuilla liikenopeuksilla, jotta voidaan varmistua liikeratojen ja muiden toimintojen toimivuudesta. Opettajan rooli robotiikan harjoituksissa on merkittävä, ja opettaja voi omalla toiminnallaan ehkäistä turhia riskejä.

## 4 Riskien arviointi

Riskien arviointi on olennainen osa robottisolujen suunnittelua ja jo käytössä olevien sovellusten käyttöturvallisuutta. Riskien arviointi on tarpeen muun muassa uutta robottisolua suunniteltaessa tai jo käytössä olevaa solua ja sen toimintaa muuttaessa. Se ei kuitenkaan tarkoita, että riskien arviointi olisi aiheellista vain edellä mainituissa tapauksissa, vaan riskienarvioinnista on hyötyä aika ajoin myös muista syistä, kuten esimerkiksi teknologian kehittyessä ja turvallisuutta koskevan tietotaidon kehittyessä. [1.]

### 4.1 Raja-arvojen määrittäminen

Riskienarviointi aloitetaan määrittelemällä robottisolulle raja-arvot, joissa määritellään koneen käyttöraajat, tilarajat, aikarajat ja muut mahdolliset raja-arvot [4].

#### 4.1.1 Käyttöraajat

Käyttörajoissa määritellään robottisolun käyttötarkoitus, käyttäjät ja heidän kokemuksensa ja tietaitonsa kyseisestä robotista ja sen toiminnasta. Käyttörajoissa määritellään myös käytön luonne, esimerkiksi se, että käytetäänkö konetta teollisuusympäristössä ja millaiset ihmiset robottia käyttävät, esimerkiksi käyttäjien koulutus. [4.]

Tässä tapauksessa robotti on opetusympäristössä, joka sisältää teollisuudessa käytettäviä erilaisia metallin työstökoneita. Robotin käyttäjistä suuri osa on opiskelijoita, joilla ei todennäköisesti ole aiempaa kokemusta kyseisen robotin ohjelmoinnista, jonka vuoksi se on syytä ottaa huomioon riskejä arvioitaessa.

#### 4.1.2 Tilarajat

Tilarajoilla tarkoitetaan robotin ja sitä operoivien käyttäjien tarvitsema ja niille varattu tila. Tilarajat määräytyvät tässä tapauksessa robotin toimintasäteen ja operoivien ihmisten mukaan. [4.]

#### 4.1.3 Aikarajat

Aikarajat määritellään robottisolun oletetun eliniän ja robottisolussa olevien komponenttien huoltotarpeiden mukaan [4].

#### 4.1.4 Muut raja-arvot

Muilla raja-arvoilla tarkoitetaan toiminnan rajausta muuten kuin käytön, aikarajojen tai tilarajojen perusteella. Tällaisia raja-arvoja voivat olla esimerkiksi työstettävän materiaalin määrittäminen, käyttöympäristöön liittyvät ominaisuudet kuten lämpötilat, joissa konetta voidaan käyttää. [4.]

### 4.2 Vaarojen tunnistaminen

Vaarojen tunnistaminen on olennainen osa onnistunutta riskienarviointia. Vaarojen tunnistuksessa on tärkeää ajatella mahdollisia riskejä laajakatseisesti ja robotin eri käyttötilanteissa. Erilaisia riskejä muodostuu myös eri käyttäjien mukaan. Esimerkiksi kokeneella robotin käyttäjällä ja ensi kertaa robottia ohjelmoivalla nuorella henkilöllä ohjelmointivirheen ja inhimillisen virheen riskin todennäköisyys on eriävä, luonnollisesti monessa tapauksessa kokemattomalla suurempi. Vaaroja arvioitaessa on otettava huomioon ennakoitavissa oleva mahdollinen väärinkäyttö. [1]

#### 4.3 Vaaratilanteen vakavuuden ja todennäköisyyden arviointi

Vaarojen tunnistamisen jälkeen tunnistettujen vaarojen vakavuutta ja kyseisen vaaratilanteen sattumisen todennäköisyyttä arvioidaan. Maailmalla on käytössä monenlaisia tapoja luokitella riskit. [1.]



#### 4.3.1 Vaaran todennäköinen vakavuus

Koneiden riskien arviointia koskevassa standardissa SFS-EN ISO 14212-1 seurauksien vakavuudet on luokiteltu kolmeen vakavuusluokkaan:

- erittäin vakava (kuolema)
- vakava (tavallisesti paulautumaton vamma)
- lievä (palautuva vamma) [1].

Lisäksi vahinkojen laajuutta arvioidessa on syytä huomioida se, että aiheutuuko tapaturmasta vahinkoa yhdelle vai usealle henkilölle. Riskien arvioita tehdessä on tarkoituksena arvioida todennäköinen riskin vakavuus, eli tapahtuman todennäköisimmät seuraukset. [1.] [4.]

#### 4.3.2 Vaaratilanteen todennäköisyys

Myös todennäköisyysluokitus on jaettu kolmeen eri kategoriaan:

- todennäköinen
- epätodennäköinen
- hyvin epätodennäköinen.

Vaaratilanteen vakavuutta ja sen realisoitumisen todennäköisyyttä arvioimalla saadaan määritettyä riski kyseiselle tapaturmalle. Taulukossa 1 esitetty kolmen vakavuus- ja todennäköisyysluokan avulla toteutettu riskimatriisi. Riskien todennäköisyyttä arvioidessa on syytä ottaa huomioon ennakoitavissa olevat ihmisen tekemät virheet, joita voivat olla esimerkiksi:

- turvallisten ja ohjeistettujen toimintatapojen unohtaminen
- hätäntyminen yllättävässä tilanteessa
- turvalaitteiden ohittaminen
- normaalikäytöstä poikkeavat tilanteet

- pyrkimys päästä helpommalla työssä, jolloin turvallisuutta koskevat toimenpiteet saatetaan jättää tekemättä. [1.]

<b>Todennäköinen</b>	Kohtalainen riski	Merkittävä riski	Sietämätön riski
<b>Epätodennäköinen</b>	Siedettävä riski	Kohtalainen riski	Merkittävä riski
<b>Hyvin epätodennäköinen</b>	Vähäinen riski	Siedettävä riski	Kohtalainen riski
	<b>Lievä</b>	<b>Vakava</b>	<b>Erittäin vakava</b>

Taulukko 1. Matriisi riskien määrittämiseen. [1]

#### 4.3.3 Muita riskien arviointityökaluja

Tapio Siirilä esittää kirjassaan riskien vakavuuteen ja todennäköisyyteen tiheämmin porrastetun seuraus- ja todennäköisyysarviointitavan, jossa riskin todennäköisyys on määritelty välillä 0,1...1. Riskin potentiaalinen vakavuus on arvioitu välille 1...100. Tällä arviointimenetelmässä saadaan tarkemmin määritettyä riskin suuruus esimerkiksi tilanteessa, jossa seuraukset ovat erittäin vakavat, mutta tapaturman todennäköisyys on lähes olematon. 3-portainen vakavuusasteikko määrittelee tällaisen riskin aina kohtalaiseksi, kun taas tiheämmällä arvioinnin porrastuksella voidaan määritellä jokainen riski yksilöllisemmin. [1.]

Todennäköisyydenluokittelu:

- |            |   |
|------------|---|
| <b>1,0</b> | Tapahtuminen on varma.                                    |
| <b>0,9</b> | Tapahtuu lähes varmasti.                                  |
| <b>0,8</b> | Hyvin todennäköinen.                                      |
| <b>0,7</b> | Todennäköinen.  |
| <b>0,6</b> | Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköisiä. |
| <b>0,5</b> | Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköisiä. |
| <b>0,4</b> | Mahdollinen, mutta epätodennäköinen.                      |
| <b>0,3</b> | Epätodennäköinen.   |
| <b>0,2</b> | Hyvin epätodennäköinen.                                   |
| <b>0,1</b> | Lähes mahdoton, äärimmäisen epätodennäköinen.             |

Vakavuuden luokittelu:

<b>100</b>	Hyvin vakavia vammoja, kuolema.
<b>90</b>	Kahden raajan menetys, sokeutuminen, halvaantuminen tai muita vastaavia pysyviä vammoja.
<b>80</b>	
<b>70</b>	Raajan, silmän tai kuulon pysyviä vammoja.
<b>60</b>	
<b>50</b>	Suuren luun murtuma tai vaikea sairaus (parantuva), lieviä pysyviä vammoja (pala pois sormesta tms.).
<b>40</b>	
<b>30</b>	Pieni luunmurtuma tai lievä sairaus (parantuva).
<b>20</b>	Haava, hankauma, huonoa oloa.
<b>10</b>	Naarmuja tai mustelmia.
<b>1</b>	Ei seurauksia.

Riskin todennäköisyydeksi arvioitu arvo 0,1...1 kerrotaan todennäköisen vakavuuden arvolla 1...100, jonka jälkeen saatu arvo 0,1...100 sijoitetaan riskimatriisiin ja saadaan määritettyä riskin suuruus. Taulukoissa 2 ja 3 esitetään tiheimmin porrastettu riskienarviointimenetelmä. [1]

Todennäköisyys	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	0,9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
	0,8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	0,7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
	0,6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	0,4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	0,3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	0,2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Seurausten vakavuus										

Taulukko 2. Riskimatriisi [1]

Vähäinen riski	0,1 ...5
Siedettävä riski	6...15
Kohtalainen riski	16...28
Merkittävä riski	29...48
Sietämätön riski	49...100

Taulukko 3. Riskien vakavuusluokitukset [1]

#### 4.4 Riskin merkityksen arviointi

Kun riskin suuruus on saatu arvioitua, voidaan päättää, onko riskiä tarpeen pienentää. Riskit tulisi saada mahdollisimman pieniksi, mutta käytännössä riskien pienentäminen on mahdollista vain tiettyyn pisteeseen asti. Se, kuinka pieneksi riski on mahdollista ja tarpeellista saada, vaihtelee riskin ja sen luonteen mukaan. Riskejä voidaan pienentää vaikuttamalla mahdollisen vaaratilanteen vakavuuteen, tapahtuman todennäköisyyteen tai molempiin. [1.]

#### 4.5 Riskin pienentäminen

Riskejä pienentäessä voidaan soveltaa niin sanottua kolmen askelman menetelmää:

- Askel 1
  - Luontaiset suunnittelutoimenpiteet
    - Itse koneen, tässä tapauksessa robottisolun ja sen suunnitteluvaiheessa tehtyjen ratkaisujen avulla voidaan eliminoida riskejä, jolloin välttyään myöhemmiltä suojaustoimenpiteiltä kyseistä riskiä koskien.
- Askel 2
  - Suojaustekniset toimenpiteet
    - Toimenpiteitä riskien pienentämiseksi; tällaisia ovat muun muassa mekaaniset suojat ja robottien turvalaitteet ja ominaisuudet, esimerkiksi valoverhot, turvaskannerit ja niille asetettavat nopeus- ja voimaratat.
- Askel 3
  - Käyttöä koskevat tiedot
    - Koneen käyttöön liittyvät toimintamenettelyt, ohjeet, työmenetelmät, henkilösuojaimet ja yksityiskohdat niiden tarpeesta. [4.]

## 5 Riskinarvioinnin tekeminen

Riskienarvioinnin toteutuksessa työ eteni vaiheittain noudattaen standardissa ISO 12100 määritettyjä vaiheita. Riskienarviointiprosessi koostui seuraavista vaiheista:

- Perehtyminen aiheeseen
- Raja-arvojen määrittäminen
- Vaarojen tunnistaminen
- Vaarojen todennäköisyyden ja todennäköisten seurausten arviointi
- Keinojen määrittäminen riskin alentamiseksi tarvittaessa
- Jäännösriskin määrittely.

Riskienarvion ja riskienarviossa määritettävien toimenpiteiden jälkeen kaikki riskit tulisi saada madallettua vähintään siedettävälle tasolle.

### 5.1 Perehtyminen aiheeseen

Opinnäytetyön alkuvaihe meni pitkälti tiedonhakuun ja perehtymiseen koskien riskien arviointiprosessia, työssä sovellettuja standardeja ja niiden ohjeistuksia. Riskien arvioinnista ei ennen työn aloittamista ollut kokemusta, jonka vuoksi alkuun prosessi oli melko hämärän peitossa ja vaati perehtymistä.

Robottiikasta ja yhteistyöroboteista minulla oli robotiikan kurssien kautta kokemusta jo ennen opinnäytetyön aloittamista. Kokemus kyseisen robotin ohjelmoinnista ja toiminnoista helpotti työn tekoa, koska kyseinen UR10-yhteistyörobotti ja sen käyttö ja ohjelmointi oli jo ennestään tuttua.

Koska itse UR10-robotti on CE-merkitty ja merkintä edellyttää riskien ja koneen vaarojen arviointia, robottisolun riskien arvioinnissa keskityttiin pääasiassa robottisoluun kokonaisuutena ja siihen, miten ihminen on vuorovaikutuksessa robotin ja työstökoneen välillä.

## 5.2 Raja-arvojen määrittäminen

Raja-arvojen määrittämisessä hyödynnettiin Universal Robotsin UR10-robotin käyttö- ja huolto ohjeita. Raja-arvot määriteltiin soveltaen standardin ISO 12100 määrittelemiä ohjeita raja-arvoihin liittyen. Käyttöarvoissa määriteltiin robottisolun tarkoitettu käyttö, käyttäjät, käytön luonne ja käyttäjien oletettu tieto- ja taitotaso koskien UR10-robottia, sen ohjelmointia ja toimintoja.

Raja- arvoja määriteltäessä asetettiin olettamukseksi, että robottia käytetään opetustarkoitukseen ja se ei tämän vuoksi ole jatkuvassa käytössä vaan käyttö on satunnaista. Käyttäjäkunnaksi määriteltiin ammattipiston konepuolen henkilökunta ja oppilaat. Oletettu taitotaso oppilaiden keskuudessa koskien UR10-robottia on matala ja aiempaa kokemusta ei todennäköisesti ole. Ammattipiston henkilökunnan, joka ohjeistaa robotiikan harjoituksia, oletetaan omaavan vähintään perusteet UR10-robotin ohjelmoinnista ja toiminnoista.

## 5.3 Vaarojen tunnistaminen ja todettujen riskien arvioiminen

Vaarojen tunnistusvaiheessa hyödynnettiin standardin ISO 10218-2 määrittelemiä robottisolussa mahdollisten läsnä olevien riskien taulukkoa siinä määrin, kun se oli robottisolua koskien relevanttia, koska kaikkia listattuja mahdollisia riskejä ei esiinny robottisolussa riskienarviointitihedellä. Lisäksi vaaratilanteita tunnistettiin omilla havainnoilla ja päätelmillä.

Yksittäisiä suurimpia esiin nousseita riskejä robottiin liittyen olivat törmäykset ja puristusvaarat robotin liikkeitten seurauksena. Robotti itsessään on melko kevyt verrattuna isompiin teollisuusrobotteihin, eivätkä voimat ole yhtä suuria kuin esimerkiksi autoteollisuuden käyttämissä robo-teissa ja työkalut ovat turvallisesti muotoiltuja, eli niissä ei ole teräviä reunoja. Alla olevassa taulukossa 4 on esimerkki, jossa on arvioitu robotin ja ihmisen törmäämisen riskiä ohjelmoidessa robotin liikeratoja. Riskiä arvioidessa puntaroidaan tekijät, jotka lisäävät riskin todennäköisyyttä ja vakavuutta tai vaikuttavat niihin myönteisesti eli laskevat niitä. Riskin todennäköisyyden ja todennäköisten seurausten vakavuuden perusteella saadaan arvioitua riskin suuruus ja voidaan miettiä ehkäiseviä toimenpiteitä. Esimerkissä arvioitaessa törmäysriskiä ohjelmoinnin aikana saadaan riskin suuruudeksi siedettävä ( $0,5 \cdot 20 = 10$ ), kun sijoitetaan riskin arvo riskimatriisiin (taulukko 2).



Robotin törmäys ihmiseen ohjelmoinnin aikana (vapaassa tilassa)	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköistä 0,5  Vakavuus 25	<p>Robotin mahdollinen törmäys ihmiseen ohjelmoinnin aikana voi aiheutua ohjelmointivirheestä tai operaattorin huomaamattomuudesta.</p> <p>Ohjelmointivirheet ovat todennäköisiä, jonka vuoksi liikkeet tulee testata alennetuilla liikenopeuksilla. Ohjeistus alennetuista liikenopeuksista voidaan kuitenkin unohtaa tai laiminlyödä.</p> <p>Käsiäjossa robotin liikenopeudet ovat suhteellisen pieniä. Liikenopeuksien matala nopeus laskee riskin vakavuutta.</p> <p>Riskiä voidaan pienentää määrittelemällä robotille turvarajat, joilla saadaan rajattua robotin liikkeet toiselle puolelle robottisolua, jolloin myös pääsy työstökoneen hätäseispainikkeelle ei vaaranna robotin liikkeen aikana. Turva-alueen määrittämisellä voidaan ehkäistä myös mahdollista väärinkäyttöä. Pääsyn rajaaminen sivulta työalueelle ehkäisee ulkopuolisille aiheutuvaa riskiä (kuva 15).</p> <p>Käsiäjon aikana työkalun nopeus &lt; 250 mm/s</p>

Taulukko 4. Törmäysriskin perusteluja.

Toimiva vaihtoehto törmäysten ja puristumisvaarojen minimoimiseksi automaattiajon aikana on tässä tapauksessa turvaskanneri, joka reagoi robottisolun yhteistyöalueella liikkeeseen ja ihmisen läsnäoloon työalueella. Yhdistettynä robotin turvallisuustoimintoon, jossa robotille määritellään turva-alueet, saadaan vastaavaa riskiä pienennettyä tehokkaasti myös ohjelmoinnin aikana. Robotin liikkeiden, voimien ja momenttien turvallisuusrajojen monitorointi laskee riskien vakavuutta. Voimanrajoitustoiminto on oltava käytössä jatkuvasti.

Robotilla työskentelyn harjoitteluluontoisuuden takia ohjelmointivirheestä ja huomaamattomuudesta aiheutuvien ennakoimattomien liikkeiden todennäköisyys on suurempi kuin esimerkiksi teollisuuskäytössä olevalla robottisolulla, jota ei ohjelmoida uudelleen jatkuvasti.

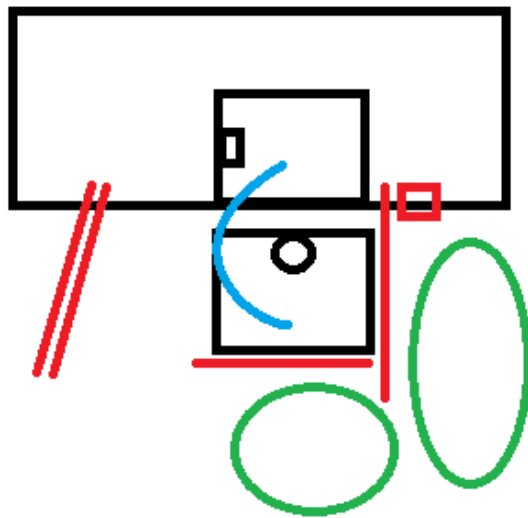
Myös robottisolun työympäristö täytyy ottaa huomioon vaaroja tunnistessa ja riskejä arvioi-  
 dessa. Robotin työpisteen ympäristö voi olla meluinen tai ympäristössä voi olla esteitä, jotka voi-  
 vat aiheuttaa kompastumisen. Taulukossa 4 esitetty ympäristöstä aiheutuvien riskien arviointipe-  
 rusteita.

Ympäristöstä aiheutuvat riskit	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
<p>Melu</p> <p>Todennäköinen 0,7</p> <p>Vakavuus 20- 50</p>	<p>Koneistussalissa on vaihtelevasti melua. Robottisolulla on käytettävä kuulonsuojausta tilanteen vaatiessa. Pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa kuulonalenemia. Robottisolussa pätevät koneistussalissa määritellyt ohjeistukset henkilösuojaimista. Kuulonsuojauksella riski saadaan eliminoitua.</p>
<p>Liukastuminen/ kompastuminen objektiin</p> <p>Mahdollinen, mutta epätavallinen 0,4</p> <p>Vakavuus 30</p>	<p>Kompastuminen tai liukastuminen on mahdollista, syy voi olla robotin kaapelit, likainen lattia tai irtotavara lattialla.</p> <p>Riskiä alentaa koneistussalissa käytössä oleva 5S-järjestelmä. Lattioiden puhtaudesta huolehtiminen alentaa myös riskiä.</p> <p>Kompastumisen seurauksena voi esimerkiksi ranne taittua tai tulla pieni murtuma.</p>

Taulukko 4. Ympäristöstä aiheutuvat riskit.

#### 5.4 Kehitysideoita robottisoluun

Robottisolussa osoittautui, että olisi turvallisuuden kannalta eduksi määritellä erillinen työalue, josta robottia ohjelmoidaan, koska muuten työstökoneen ohjaustaulu ja hätäseis-nappi voivat jäädä käyttäjän ulottumattomiin robotin liikkeiden aikana. Järjestely myös selkeyttäisi robottisolulla työskentelyä ja lisäisi työturvallisuutta. Työalue voidaan vaihtoehtoisesti määritellä myös turvaskannerilla, jolloin työalueet määritetään yhteiseksi työalueeksi robotille ja ihmiselle, jonka vuoksi ihmisen ollessa määritetyllä työalueella liikenopeudet laskevat huomattavasti tai vaihtoehtoisesti robotti suorittaa turvapysäytyksen. Kuvassa 17 esitetty havainnollistava kuva robotin työalueesta.



Kuva 15. Robotin työtilan hahmotelma

Havainnollistava kuva tilanteesta (kuva 15), jossa robotille on määrätty turva-alueet robotin safeplane-turva-alue toiminnolla, jonka yli robotti ei pääse menemään tai hidastaa liikenopeuttaan huomattavasti. Ohjelmoinnin aikaisia törmäys- ja puristumisriskejä saadaan pienennettyä kuvan ratkaisulla.

- Vihreät alueet kuvastavat ihmisen työskentelyaluetta, punaiset viivat turva-alueita ja punainen kaksoisvinoviiva sermiä tai muuta havainnollistavaa estettä, jotta solun ulkopuolelta ei päästä kävelemään robotin työalueelle muiden työskennellessä robotilla.
- Punainen nelikulmio kuvastaa työstökoneen hätäseispainiketta.
- Sininen kaari puolestaan havainnollistaa robotin liikeratoja, jotka ohjataan yhdeltä puolelta robotiikkaharjoituksen ohjelmassa, jolloin pääsy hätäseispainikkeelle ei vaaranna missään vaiheessa robotin liikkuessaan.

On erityisen tärkeää, että robotin ohjelmointiharjoituksiin tehdään selkeät ohjeet, joissa on otettu huomioon käyttäjien kokemattomuus. Ennen valmiin ohjelman ajoa ohjelma täytyy ajaa manuaalisesti läpi vaihe vaiheelta, jotta voidaan havaita mahdolliset virheet liikeradoissa ja tarvittaessa korjata ne ja näin voidaan varmistaa, että käyttäjän kokemattomuus ei aiheuta vaaratilanteita ohjelmointivirheen kautta.

## 5.5 Työssä ilmenneitä haasteita

Koska osa robottisolulla työskentelyn aikana läsnä olevista riskeistä aiheutuu suurelta osin käyttäjän toiminnasta, oli joidenkin riskien realisoitumisen todennäköisyyksiä haastavaa arvioida, kun tapahtuman todennäköisyydet vaihtelevat paljon eri käyttäjien välillä riippuen muun muassa käyttäjän keskittymisen tasosta ja huolellisuudesta.

Esimerkiksi robotin törmäyksen todennäköisyys ihmiseen vaihtelee esimerkiksi sen mukaan, kuinka paljon muita ihmisiä on lähistöllä, käyttäjän kokemuksen, tarkkaavaisuuden tason ja työhön asennoitumisen mukaan. Ammattiopistossa robotti on muiden koneistussalin koneiden kanssa samassa tilassa ja tilaa ei ole rajattu pääsylvä. Täten on mahdotonta sanoa varmaksi, ettei robotin ympärillä ole yleistä hälinää, jonka vuoksi ympäristön liikkeitä aistiva turvaskanneri olisi todella hyvä keino pienentää törmäyksen todennäköisyyttä.

Muita epävarmuuksia riskien arvioon toi se, että robottisolulle ei ollut vielä riskien arviointivaiheessa tehty malliohjelmia, jonka mukaan oppilaat ohjelmoivat robottia. Malliohjelmassa määritettyjen nopeusarvojen tulee olla harkittuja ja liikkeiden tyylin mielellään lineaarisia, jos vain mahdollista. Valmis malliohjelma on tärkeää kokeilla huolellisesti läpi ennen kuin oppilaat alkavat ohjelmoimaan robottia malliohjelman avulla.

Omat haasteensa työn suorittamiseen toi se, että työ oli pitkälti teoreettista tutkintaa robotiikan turvallisuuteen vaikuttavista asioista ja ohjeistuksien tulkintaa. Ohjeistukset ja teoreettiset tiedot yhteistyörobotiikan ja robotiikan turvallisuusohjeistuksista kuitenkin ovat sellaisia, että niiden soveltaminen käytännössä onnistuu robottisolun toiminnan tyylin mukaan aina tapauskohtaisesti. Yhtä ainoaa vaihtoehtoa turvallisuusratkaisuissa ei monesti ole vaan turvallinen yhteistyörobotisolu voidaan saavuttaa usealla eri tavalla. Turvalaitteet ja varotoiminnot on aina valittava käyttötarkoitukseen sopiviksi, ja niiden ei tulisi häiritä robottisolussa tapahtuvaa työskentelyä eikä robotin käytettävyyttä, jonka takia turvallisuuden takaamiseen on olemassa monia keinoja, joista pitää yrittää löytää paras ja tehokkain vaihtoehto kyseiselle robotiikan sovellutukselle.

Työssä käsiteltävässä robottisolussa ei kuitenkaan robotin tehokkuudella ole suurta merkitystä vaan turvallisuus ja oppiminen on määräävä asia, koska harjoitellaan ohjelmointia. Jos robotti olisi

teollisuudessa osana tuotantoa, olisi robotin tehokkuudella enemmän merkitystä verrattuna työssä käsiteltävään robottiin ja tilanne olisi tietysti erilainen tehokkuuden tarpeiden osalta.

Työtä tehdessä haluttiin perehtyä yhteistyörobotiikkaan ja robotin ja ihmisen väliseen vuorovaikutukseen myös teollisuudessa esiintyvien yhteistyörobotiikan ratkaisujen kautta, koska pääasiassa robotit löytyvät juurikin teollisuuden tuotantolinjoilta.

## 5.6 Työn tulokset

Riskien arvioissa saatiin määriteltyä mahdolliset vaaratilanteet ja arvioitua niiden todennäköiset seuraukset. Kaikkien havaittujen riskien suuruus saadaan laskettua riskienarviossa määritetyillä keinoilla vähintään siedettäväksi, joten työn tavoitteeseen päästiin.

Kajaanin ammattiopistolle tarjottiin vaihtoehtoja, joilla robotiikan harjoituksessa käytettävää yhteistyösolua voisi kehittää. Riskien arviossa esitettiin huomioon otettavia seikkoja malliohjelmaa ja sen testausta koskien. Työn aikana perehdyttiin yhteistyörobotiikan turvallisuusohjeistuksiin ja erilaisiin yhteistyötoiminnan malleihin ihmisen ja robotin välillä, jonka seurauksena ymmärrys ja tietotaito yhteistyörobotiikasta laajentui.

## 6 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli laatia riskienarvio yhteistyörobottisolulle, määritellä tarvittavat keinot mahdollisten riskien alentamiseksi ja pohtia mahdollisia parannuskeinoja robottisoluun turvallisuuden näkökulmasta.

Työssä paneuduttiin robotiikan ja yhteistyörobotiikan turvallisuutta ja työmenetelmiä koskeviin ohjeistuksiin ja säädöksiin. Lisäksi työssä tutustuttiin erilaisiin turvallisuutta lisääviin laitteisiin ja toimintoihin roboteissa ja niiden työskentely-ympäristössä, sekä eri tapoihin hyödyntää niitä erilaisissa robotiikan työtehtävissä.

Riskien arvioissa yksittäisenä suurimpana riskinä nousivat esiin törmäys- ja puristumisriskit, robotin eri käyttötilanteissa. Suurimmaksi riski arvioitiin automaattiajon aikana. Törmäys- ja puristumisriskien madaltamiseksi esitettiin robottisoluun asennettavaksi turvaskanneri, joka aistii ihmisen, hidastaa robotin liikenopeuksia ja aktivoi robotin turvapysäytyksen, kun ihminen on astumassa yhteistyöalueelle automaattiajon aikana. Riskienarvio kokonaisuudessaan liitteessä 1.

Robotin käytölle asetettiin riskien arvion aikana esiin tulleiden mahdollisten vaaratilanteiden todennäköisyyksien ja vakavuuden perusteella ohjeistuksia, koskien liikenopeuksia, työstöratioja ja oppilaiden määrää robottisolulla.

Riskienarvioinnissa esitetyillä keinoilla kaikki havaitut riskit saadaan madallettua siedettävälle tasolle. Suuri osa havaituista riskeistä arvioitiin olevan siedettävällä tasolla jo riskienarviointivaiheessa, mutta niitä on mahdollisuus pienentää entisestään ilman lisäkustannuksia ja yksinkertaisin toimenpitein, joten keinoja tarjottiin myös näiden riskien pienentämiseen.

Toimenpiteitten suorittaminen ja mahdollisen turvaskannerin asennus riskin pienentämiseksi jäävät opinnäytetyön ulkopuolelle opinnäytetyön laajuuden ja rajallisen ajan vuoksi.

## Lähteet

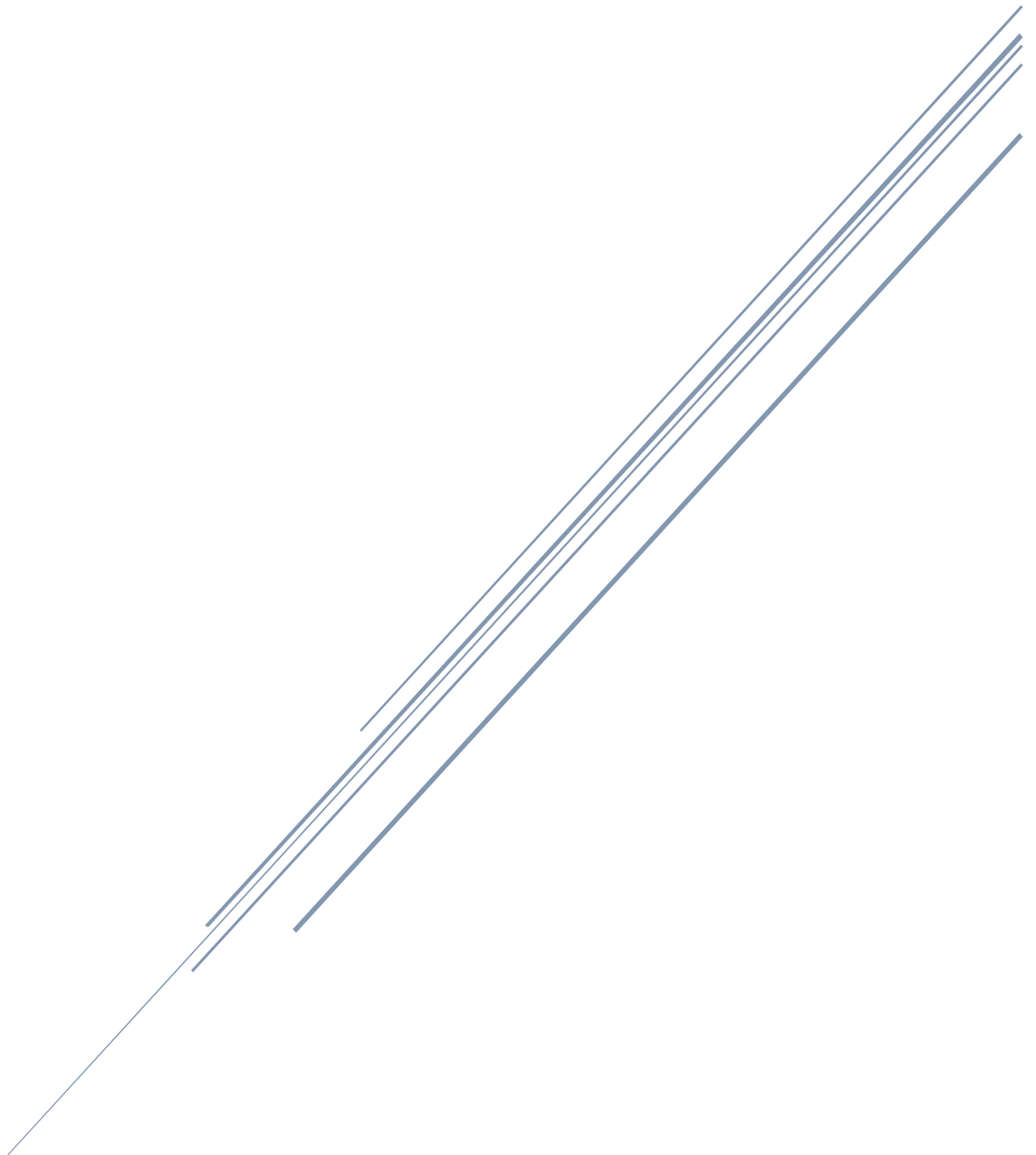
- (1) Tapio Siirilä. Koneturvallisuus 2: EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. Espoo: Inspecta; 2008.
- (2) International Organization for Standardization. ISO 10218-2:2011 Robots and robotic devices --Safety requirements for industrial robots --Part 2: Robot systems and integration; 2011. Haettu 1.3.2019 osoitteesta: <https://online.sfs.fi>
- (3) International Organization for Standardization. ISO/TS 15066:2016 Robots and robotic devices --Collaborative robots; 2016. Haettu 1.3.2019 osoitteesta: <https://online.sfs.fi>
- (4) International Organization for Standardization. SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentämien; 2013. Haettu 1.3.2019 osoitteesta: <https://online.sfs.fi>
- (5) ABB IRB 14000 esittelysivusto. Saatavilla 1.4.2019 osoitteesta: <https://new.abb.com/products/robotics/fi/teollisuusrobotit/irb-14000>
- (6) Fanucin kotisivut. Saatavilla 1.4.2019 osoitteesta: <https://www.fanuc.eu/be/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr35ia>
- (7) UR10-robotin käyttöohje. Saatavilla 11.2.2019 osoitteesta: [http://fab.cba.mit.edu/content/tools/universal\\_robot\\_arms/ur10\\_user\\_manual\\_en\\_global.pdf](http://fab.cba.mit.edu/content/tools/universal_robot_arms/ur10_user_manual_en_global.pdf).
- (8) RoboDK kotisivut. Saatavilla 1.4.2019 osoitteesta: <https://robodk.com>
- (9) Timo Malm, Tapio Heikkilä, Jari M Ahola. Ihminen – robotti järjestelmän turvallisuuden arviointiprosessi. Saatavilla 20.2.2019 osoitteesta: <https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1550/f2048.pdf>
- (10) Design World. World's Most Compact Safety Laser Scanner. Saatavilla 8.4.2019 osoitteesta: <https://www.designworldonline.com/worlds-most-compact-safety-laser-scanner/>
- (11) Pilz kotisivut. Saatavilla 8.4.2019 osoitteesta: <https://www.pilz.com/en-IE/es-hop/00106002247124/PSENmat-Safety-mat>

- (12) The Engineer. A guide to safety light curtains. Saatavilla 8.4.2019 osoitteesta:  
<https://www.theengineer.co.uk/supplier-network/product/a-guide-to-safety-light-curtains/>



Liitteet

Yhteistyörobottisolun riskienarviointi



Kajaanin AMK

## Sisällys

<u>1.</u>	<u>Johdanto</u> .....	3
<u>2.</u>	<u>Raja- arvot</u> .....	4
<u>2.1</u>	<u>Käyttörajat</u> .....	4
<u>2.2</u>	<u>Tilarajat</u> .....	4
<u>2.3</u>	<u>Aikarajat</u> .....	4
<u>3</u>	<u>Riskien arviointi</u> .....	5
<u>4.</u>	<u>Yhteenveto</u> .....	13

# 1. Johdanto

Riskienarvioinnissa tavoitteena on tunnistaa Kainuun ammattiopiston tiloissa olevan robottisolussa läsnä olevat ja käytön aiheuttamat vaaratilanteet ja arvioida niiden realistiset vakavuudet sekä tunnistettujen vaarojen realisoitumisen todennäköisyys ja ratkaista keinot riskien alentamiseksi siedettävälle tasolle.

Riskien arvioinnissa sovelletut standardit:

- **ISO /TS 15066.** Technical specification- Robots and robotic devices, collaborative robots.
- **ISO 10218-2.** Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration
- **ISO 12100.** Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen

Dokumentissa esitetään ehdotuksia, joilla robottisolun turvallisuutta voitaisiin parantaa ja riskejä pienentää.

Riskin arvioinnissa on tiettyjä epävarmuuksia, jotka on syytä ottaa huomioon riskien arviota tarkastellessa. Tällaisia epävarmuuksia ovat esimerkiksi se, että robotille ei ole vielä määritelty malliohjelmaa, jonka mukaan oppilaat harjoittelevat robotin ohjelmointia.

Riskien arviossa UR10-yhteistyörobottisolulle on otettu huomioon se, että itse UR10-robotti on CE-merkitty, eli sille on suoritettu jo CE-merkintävaiheessa riskienarvio ja jäännösriskit ovat arvioitu. Riskienarviossa arvioidaan robottisolua kokonaisuudessaan ja robottisolun käytön aiheuttamia riskejä ohjelmointitilanteessa ja automaattiajon aikana. Huomioon on otettu myös ennakoitavissa oleva mahdollinen väärinkäyttö.

## 2. Raja- arvot

### 2.1 Käyttörajat

Robottisolun käyttäjiä ovat Kainuun ammattiopiston, kone- ja metallialan opettajat ja oppilaat. Robottisolulla työskentelevillä oppilailla ei todennäköisesti ole aiempaa kokemusta UR10-yhteistyörobotista, eikä sen ohjelmoinnista. Opettajilla, jotka ohjeistavat oppilaat robotiikkaharjoituksiin oletetaan olevan perustiedot ja- taidot UR10-robotin ohjelmoimisesta ja sen toiminnoista.

Robottia käytetään ohjelmointiharjoituksiin, joten robotti ei ole käytössä jatkuvasti, vaan käyttö on satunnaista. Ohjelmointiharjoituksen aikana robotilla oletetut käyttäjät ovat opettaja ja oppilas. Robottisolun läheisyydessä on normaalitilanteessa kulkua, koska sen lähellä sijaitsee työstökoneita, joilla oppilaat työskentelevät. Tämän vuoksi myös muut henkilöt, kuin robotilla operoivat henkilöt altistuvat robotin liikkuaessa törmäysvaaralle.

Riskien arvioissa oletetaan, että robotin turva-asetukset ovat käytössä ja robottiin kohdistuva maksimivoima on säädetty malliohjelman teon jälkeen mahdollisimman matalaksi.

### 2.2 Tilarajat

Robotin liikkeen laajuus on maksimissaan 1300mm säteellä robotin jalustasta, jonka lisäksi tulisi olla 500 mm turva-alue liikeradan ympärillä, kun robottia ajetaan. Robottisolujen käyttäjien vaatima tila voi vaihdella hieman käyttäjien mukaan.

Robotin huoltotilanteessa robotti siirretään sivuun alueelle, jossa on paremmin tilaa ja erotetaan tarvittaessa paineilma ja sähkönsyöttö verkostosta.

Robottisolu sijaitsee koneistussalissa, jolloin koneistussalissa vaadittavat henkilösuojaimet ovat tarpeelliset myös robottisolulla (kuulonsuojaus, suojalasit).

### 2.3 Aikarajat

Tietoa robotin suositelluista huoltotoimenpiteistä löytyy Universal Robotsin verkkosivuilta saatavasta huolto-ohjekirjasta, pdf- tiedostosta (<http://support.universal-robots.com>).

UR10-robotin huolto-oppaassa kehoitetaan suorittamaan ennakkoivaa kunnossapittoa huolto- oppaan ohjeistuksen mukaan. Riskienarvioissa oletetaan, että kyseisiä ennakkoivia kunnossapitotoimia ja tarkastuksia suoritetaan ohjekirjan mukaisesti. Korjaustoimenpiteitä vaatiessa otetaan yhteyttä valtuutettuun järjestelmätoimittajaan.

### 3. Riskien arviointi

Riskejä arvioidessa mahdolliset vaaratilanteet ja niiden todennäköisyys realisoitua on sijoitettu taulukkoon, jonka avulla saadaan käsitys riskistä kokonaisuutena. Riskien vakavuus on arvioitu todennäköisen seurauksen vakavuuden ja tapahtuman todennäköisyyden perusteella.

Todennäköisyys	1	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	0,9	0,9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90
	0,8	0,8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
	0,7	0,7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
	0,6	0,6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
	0,5	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	0,4	0,4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
	0,3	0,3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	0,2	0,2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	0,1	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Seurausten vakavuus											

Vähäinen riski	0,1 ...5
Siedettävä riski	6...15
Kohtalainen riski	16...28
Merkittävä riski	29...48
Sietämätön riski	49...100

Riskien arvioinnissa valittiin riskin määrittämiseen 5-asteinen, riskin arvon 0,1...100 asteikolle asettava riskinarviointimenetelmä sen vuoksi, että sen avulla saadaan määritettyä yksittäiset riskit tarkasti ja riskien vakavuuden arviointi asteikolla:

- lievä
- vaikea
- kuolema,

ei olisi tässä tapauksessa järkevää, koska kaikkien riskien todennäköiset seuraukset jäävät robottisolun kohdalla lieviksi, johtuen muun muassa robotin ja liikuteltavien taakkojen pienestä massasta ja oletettavista maltillisista liikenopeuksista.

Vaaratilanteita tunnistaessa hyödynnettiin standardissa ISO 10218-2 määriteltyä listaa vaaratilanteista, joita on robottisolussa otettava huomioon ja listan vaaratilanteet on käsitelty siltä osin, kun ne ovat relevantteja robottisolua ajatellen. Vähäiset riskit, jotka todettiin hyvin epätodennäköisiksi tai mahdottomiksi ja joiden vakavuus oli lievä, jätettiin dokumentoinnista pois sen selkeyttämisen ja relevanttien riskien esilletuomisen takia.

Todennäköisyys luokittelu:

1,0	Tapahtuminen on varma
0,9	Tapahtuu lähes varmasti
0,8	Hyvin todennäköinen
0,7	Todennäköinen
0,6	Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköisiä
0,5	Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköisiä
0,4	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen
0,3	Epätodennäköinen
0,2	Hyvin epätodennäköinen
0,1	Lähes mahdoton, äärimmäisen epätodennäköinen

Vakavuuden luokittelu:

100	Hyvin vakavia vammoja, kuolema
90	Kahden raajan menetys, sokeutuminen, halvaantuminen tai muita vastaavia pysyviä vammoja
80	
70	Raajan, silmän tai kuulon pysyviä vammoja
60	
50	Suuren luun murtuma tai vaikea sairaus (parantuva), lieviä pysyviä vammoja (pala pois sormesta tms.)
40	
30	Pieni luunmurtuma tai lievä sairaus (parantuva)
20	Haava, hankauma, huonoa oloa
10	Naarmuja tai mustelmia
1	Ei seurauksia

Puristuminen ohjelmoinnin/käsiäjon aikana	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
<p>Mahdollinen, mutta epätavallinen 0,4</p> <p>Vakavuus 20</p>	<p>Ohjelmoinnin aikana robottia liikutellaan käsiohjaimen kautta tai käsiohjauksella fyysisesti robotin vartta liikuttaen. Käsiohjauksessa robotin jarrut aukeavat, jotta vartta saadaan liikuteltua käsin. Tämän vuoksi robotti voi valua alaspäin, jos robotin vartta ei tueta, jolloin on vaara, että toinen käsi voi jäädä kevyesti puristuksiin robotin valuessa alaspäin.</p> <p>Kun robotilla työskentelee vain yksi oppilas, joka ohjelmoi robottia oppilaan kädet ovat robottia ohjatessa käsiohjaintabletilla, jossa myös hätä-seispainike sijaitsee ja ohjelmointi tapahtuu robotin sivulta tai edestä, jonka vuoksi puristuminen on epätodennäköistä.</p> <p>Robotin liikeratojen testaus alennetuilla nopeuksilla pienentävät riskiä.</p> <p>Riskiä voidaan pienentää määrittelemällä robotille turvarajat, joilla saadaan rajattua robotin liikkeit toiselle puolelle robottisolua, jolloin myös pääsy työstökoneen hätä- seis painikkeelle ei vaaranna robotin liikkeen aikana. (kuva 1)</p> <p>Robotin vikatilanteessa puristuminen on epätodennäköistä, koska jos robotti rikkoo sille asetettua ehtoa (maksimivoima, turva-alue, vääntö tms.) robotti katkaisee virran ja vaatii robotti jarrujen manuaalisen vapautuksen ohjelmointitabletin kautta. Robottia voi tarvittaessa työntää taaksepäin, jarrut aukeavat, kun niihin kohdistuu 500N voima.</p> <p><b>Käsiäjon aikana työkalun nopeus &lt; 250 mm/s</b></p>

Robotin törmäys ihmiseen ohjelmoinnin aikana (vapaassa tilassa)	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköistä 0,5  Vakavuus 25	<p>Robotin mahdollinen törmäys ihmiseen ohjelmoinnin aikana voi aiheutua ohjelmointivirheestä tai käyttäjän huomaamattomuudesta.</p> <p>Ohjelmointivirheet ovat todennäköisiä, jonka vuoksi liikkeet tulee testata aina alennetuilla liikenopeuksilla. Ohjeistus alennetuista liikenopeuksista voidaan kuitenkin unohtaa tai laiminlyödä.</p> <p>Käsiäjossa robotin liikenopeudet ovat suhteellisen pieniä, joka laskee riskin vakavuutta ja todennäköisyyttä.</p> <p>Riskiä voidaan pienentää määrittelemällä robotille turvarajat, joilla saadaan rajattua robotin liikkeet toiselle puolelle robottisolua, jolloin myös pääsy työstökoneen hätä-seispainikkeelle ei vaarannu robotin liikkeen aikana.</p> <p>Turva-alueen määrittämisellä voidaan ehkäistä myös mahdollista väärinkäyttöä. Pääsyn rajaaminen sivulta työalueelle ehkäisee ulkopuolisille aiheutuvaa riskiä. (kuva 1). <b>Käsiäjon aikana työkalun nopeus &lt; 250 mm/s</b></p>



Puristuminen automaattiajon aikana	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
<p>Mahdollinen, mutta epätavallinen 0,4</p> <p>Vakavuus 30</p>	<p>Puristumisen todennäköisyyttä automaattiajon aikana voidaan pienentää asentamalla robottiin turvaskanneri, jolloin riskin todennäköisyyttä voitaisiin alentaa epätodennäköisemmäksi (0,2). Robotti voidaan ohjelmoida hidastamaan tai pysäyttämään liikkeensä. Tällöin puristumisen mahdollisuus edellyttäisi turvaskannerin vikatilaa tapahtuakseen.</p> <p>Turvaskannerin ja turvarajojen määrittelyn yhteisvaikutuksella puristumisriskiä saadaan laskettua tehokkaasti.</p> <p>Robotissa on ohjelmistolla toteutettu voiman ja momentin valvonta, joka puristumisen tapahtuessa rajoittaa voiman ja momentin robotin turva-asetuksissa määritettyyn arvoon, joka pienentää puristumisriskin vakavuutta, mutta se ei pienennä itse puristumisriskiä. Puristumistapauksessa tai muussa normaalista poikkeavassa tilanteessa robottia työnnettäessä 500 N voimalla, robotin jarrut antavat periksi.</p>

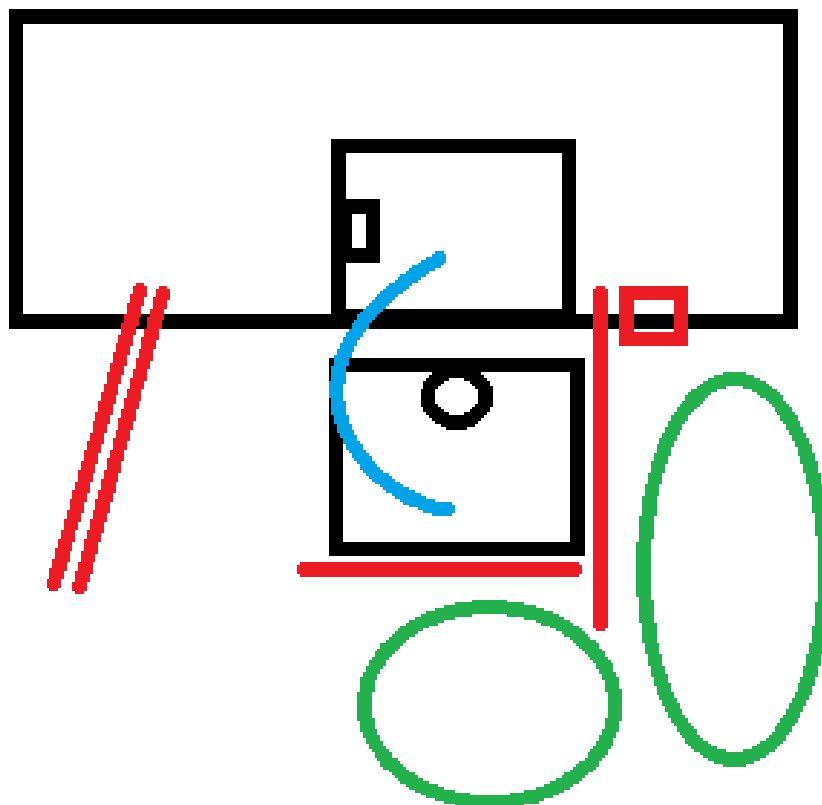
Robotin törmäys ihmiseen automaattiajon aikana (vapaassa tilassa)	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
<p>Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen yhtä todennäköistä 0,6</p> <p>Vakavuus 30</p>	<p>Robotin läheisyydessä on kulkua ja on oletettavaa, että robotin läheisyydessä on ajoittain myös sellaisia henkilöitä, jotka eivät robotilla työskentele. Robotissa itsessään ei ole tekniikkaa, jonka avulla se aistisi ympäristössä liikkuvat ihmiset.</p> <p>Turvaskannerilla ja sille määritetyillä liikeratojen hidastamisen ja robotin pysäyttämisen aiheuttaville vyöhykkeillä törmäyksen riskin todennäköisyyttä voidaan laskea (0,2) ja säilyttää käytettävyyks vaihtelevan liikkeen aikana robottisolun läheisyydessä.</p> <p>Turvaskannerin ja turvarajojen määrittelyn yhteisvaikutuksella törmäysriskiä saadaan laskettua tehokkaasti.</p>

Takertuminen robotin vaatekappaleeseen automaattiajon aikana	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
Mahdollinen, mutta epätavallinen 0,4  Vakavuus 20	Robotin työkaluun takertuminen vaatteisiin esim. hihaan on mahdollista. Johtuen robotin nivelten kuormituksen, voiman ja momentin monitoroinnista riskin vakavuus on melko pieni. Turvaskanneri ja turva-alue pienentävät riskiä merkittävästi. (kuva 1)

Robottisolussa osoittautui, että olisi turvallisuuden kannalta eduksi määritellä erillinen työalue, josta robottia ohjelmoidaan. Muussa tapauksessa työstökoneen ohjaustaulu ja hätäseis-nappi voivat jäädä käyttäjän ulottumattomiin robotin liikkeiden aikana. Järjestely myös selkeyttäisi robottisolulla työskentelyä ja lisäisi työturvallisuutta.

Työalue voidaan vaihtoehtoisesti määritellä myös turvaskannerilla, jolloin työalueet määritetään yhteiseksi työalueeksi robotille ja ihmiselle, jonka vuoksi ihmisen ollessa määritellyllä työalueen läheisyydessä liikenopeudet laskevat tai vaihtoehtoisesti automaattiajon aikana yhteistyöalueelle astuessa robotti suorittaa turvapysäytyksen.

Robotin ohjelmaa ajaessa, pääsy robotin ja työstökoneen väliin on estettävä. Turvaskannerin asennuksessa on otettava huomioon skannerin sijoittaminen robottisoluun siten, että pääsylvä rajattavat alueet automaattiajon aikana ovat skannerin ulottuvissa, eikä edessä ole esteitä.



Kuva 1. Havainnollistava kuva turvarajoista

Havainnollistava kuva tilanteesta, jossa robotille on määrätty turva-alueet robotin safeplane-turva-alue toiminnolla. Robotti ei pääse menemään turvarajojen yli tai vaihtoehtoisesti hidastaa liikenopeuttaan huomattavasti. Turvaskanneria kuvassa ei ole.

- Vihreät alueet kuvastavat ihmisen työskentelyaluetta, punaiset viivat turvarajoja ja punainen kaksoisvinoviiva sermiä tai muuta havainnollistavaa estettä, jotta solun ulkopuolelta ei päästä kävelemään robotin työalueelle muiden työskennellessä robotilla.
- Punainen nelikulmio kuvastaa työstökoneen hätäseispainiketta.
- Sininen kaari puolestaan havainnollistaa robotin liikeratoja, jotka ohjataan yhdeltä puolen robotiikkaharjoituksen ohjelmassa, jolloin pääsy hätäseis painikkeelle ei vaarannu missään vaiheessa robotin liikkeessään.

Ohjelmoinnin aikaisia törmäys ja puristumisriskejä saadaan pienennettyä kuvan ratkaisulla. Tehokkaimmin riskin todennäköisyyttä saadaan laskettua turvaskannerin ja turvarajojen yhteiskäytöllä. Turvaskanneri turvaa pääasiassa automaattiajoa ja turva-alueitten asetus manuaaliajoa ja ohjelmointia.

Turvaskannerin ollessa aktiivinen ihmisen lähestyessä yhteistyöaluetta, robotin tulisi hidastaa liikkeet nopeudeltaan alle 250mm/s ja yhteistyöalueelle astuessa tulisi tapahtua turvapysäytys (jos turvarajat määritetty liikkeiden hidastus riittää, koska robotti ei pääse turvarajojen yli). Robotin turva-asetuksissa tulee olla voiman, momentin ja nopeuden monitorointi käytössä. Arvojen tulisi olla mahdollisimman pienet, jotta robotti reagoi ei-haluttuihin kontakteihin mahdollisimman hyvin.

Robottia ohjelmoidessa kaikki liikkeet olisi hyvä toteuttaa lähtökohtaisesti "MoveL"-käskyllä, eli lineaariliikkeellä, koska tarvetta suurille liikenopeuksille ei ole. Tällöin robotin liikkeet ovat rauhallisempia ja turvallisempia.

Ympäristöstä aiheutuvat riskit	Perusteluja todennäköisyydelle / vakavuudelle
Melu	
Todennäköinen 0,7	Koneistussalissa on vaihtelevasti melua. Robottisolulla on käytävä kuulonsuojausta tilanteen vaatiessa. Pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa kuulonalenemia. Robottisolussa pätevät koneistussalissa määritellyt ohjeistukset henkilösuojaimista. Kuulonsuojauksella riski saadaan eliminoitu.
Vakavuus 20- 50	
Liukastuminen/ kompastuminen objektiin	Kompastuminen tai liukastuminen on mahdollista, syy voi olla robotin kaapelit, likainen lattia tai irtotavara lattialla.
	Riskiä alentaa koneistussalissa käytössä oleva 5S- järjestelmä. Lattioiden puhtaudesta huolehtiminen alentaa myös riskiä.
Mahdollinen, mutta epätavallinen 0,4	Kompastumisen seurauksena voi esimerkiksi ranne taittua tai tulla pieni murtuma.
Vakavuus 30	

## 4. Yhteenveto

Havaitut riskit / niiden suuruus:

Puristuminen ohjelmoinnin/ käsiajon aikana	Siedettävä
Puristuminen automaattiajon aikana	Siedettävä
Törmäys ihmiseen käsiajoin aikana	Siedettävä
Törmäys ihmiseen automaattiajon aikana	Kohtalainen
Robotin takertuminen ihmiseen	Siedettävä
Melu	Siedettävä
Kompastuminen tai liukastuminen, joutu- en objektista tai liasta	Siedettävä

Mahdollisia vaihtoehtoja riskien pienentämiseen

- Turvaskanneri (automaattiajon aikana)
  - o Kaksi vyöhykettä
    - Liikkeiden hidastus alle 250 mm/s nopeuteen, ihmisen ollessa läheisyydessä.
    - Robotin turvapysäytys, kun ihminen on astumassa yhteistyöalueelle.
- Turva-alueiden määrittäminen, alueen rajaaminen ulkopuolisilta (kuva 1).
  - o Jos turvaskanneri ei ole käytössä tulisi liikkeiden olla nopeudeltaan alle 250 mm/s.

Huomioitavaa:

- Kontaktissa robottiin kohdistuvan sallitun maksimivoiman määrittäminen mahdollisimman alhaalla, jonka seurauksena robotti tekee turvapysäytyksen herkemmin. Koska robotin työssä liikuteltava taakka on pieni robottiin ei työvaiheessa kohdistu suuria voimia, joka puolestaan mahdollistaa pienen arvon käytön sallitussa robottiin

kontaktissa kohdistuvassa maksimivoimassa. Tarkka arvo on kuitenkin määrittävä malliohjelman teon yhteydessä, jotta vältetään käyttöä häiritseviltä ”ylimääräisiltä” turvapysäytyksiltä, johtuen liian pienestä arvosta verrattuna työvaiheessa esiintyviin rasituksiin.

- Koska robottia ohjelmoidessa on pääasiallisena tarkoituksena oppia ohjelmointia, ei liikenopeuksien automaattiajollakaan ole tarpeellista olla korkeita, koska robotin tuotannollisella tehokkuudella ei ole merkitystä.