

Timo Uitto

Robottisolun käyttöönotto

Opinnäytetyö
Kevät 2013
Tekniikan yksikkö
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Timo Uitto

Työn nimi: Robotti-sorvaussolun käyttöönotto

Ohjaaja: Juho Yli-Suomu

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä:4

Opinnäytetyössä tehtiin robottisorvaussolu Koulutuskeskus Sedun Törnävän toimipisteen koneistushalliin Seinäjoelle, jossa tulevaisuudessa metallipuolen opiskelijat pystyisivät näkemään ja opettelemaan automatisoidun robottisorvaussolun toimintaa.

Automatisoidut sorvaussolut ovat kilpaileva valtti yritysmaailmassa. Automatisointi tulee yleensä esille pitkien ja toistuvien sarjojen valmistuksen yhteydessä. Yhä enemmän yritykset pyrkivät automatisoimaan tuotantoa, joten mahdollisuus oppia robotin toimintaa sorvaussolussa on opiskelijoille jo ammattikouluvaiheessa hyvin tärkeää tulevaisuutta ajatellen. Opiskelijoiden saama tieto ja käytännön oppi robottisolusta auttavat tulevia työharjoittelujaksoja sekä työpaikkoja silmällä pitäen.

Työn pääasiat olivat robottisorvaussolun layoutsuunnittelu, asiaan kuuluvat turvallisuusstandardit ja automatisointi robotin ja sorvin välille. Layout suunniteltiin niin, että robotilla on mahdollista latausaseman kautta jatkuvaan työstöön. Koneturvallisuuden standardi SFS-EN ISO13857 oli työssä tärkeä solun turva-alueen määrittämisessä. Robotin ja työstökoneen välinen kommunikaatio, joka voi olla haastavaa ja sen takia jouduttiin muuttamaan alkuperäistä suunnitelmaa.

Avainsanat: opiskelijat, robottisorvaussolu, turvallisuusstandardit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation line: Mechanical and Production Engineering

Author: Timo Uitto

Title of thesis: Introduction of the automatic robot-turning cell

Supervisor: Juho Yli-Suomu

Year: 2013

Number of pages: 46

Number of appendices: 4

As my thesis I made a robot-turning cell to Vocational Education Centre Sedu. The robot cells are placed in the machinery hall. In the future the students will be practicing their use and then see how the automatic robot-turning cell works in the manufacturing.

The automatic robot-turning cells are very competitive advantages in metal business world. The companies use the automatic cells normally when the terms are long and often receptive. The companies will make more and more automatic manufacturing and the robot-turning cell are excellent opportunities to learn how to use the automatic cell. The student will gain much and maybe that helps to find more practical jobs on the companies.

This thesis includes three main points. The main points are the robot-turning cell layout planning, safety standards and automation between the robot and lathe. The layout was planned in order to facilitate continuous work of the robots. The safety of the machinery standard of SFS-EN ISO 13857 is important to determine in the cell safety area. The automation between the robot and lathe is the most important and demanding point of the thesis and this point turned out to be most challenging to me, too. That is the reason why the results of the thesis turned out to be something else than planned.

Keywords: students, automatic machining cell, safety standards, automation between robot and lathe

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Toimeksiantajan esittely.....	8
1.2 Työn tausta ja tavoitteet	8
2 ROBOTTISOLU	9
2.1 Yleistä teollisuusroboteista.....	9
2.2 Teollisuusrobotti tyypit.....	10
2.3 Robottisovellukset	12
2.4 Robotin ohjelmointi.....	13
2.5 Robottijärjestelmän turvallisuus	15
2.5.1 Yleistä	15
2.5.2 Koneturvallisuuden standardi.....	16
2.6 Layoutin suunnittelu	20
3 OPPIMISYMPÄRISTÖ	22
3.1 Määritelmä	22
3.2 Käytännön työ oppimisympäristönä	22
4 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEET.....	24
4.1 Fanuc Robot S-700.....	24
4.2 Mori Seiki AI-2.....	27
5 TYÖN KULKU	29
5.1 Solulayoutin suunnittelu ja rakentaminen.....	29
5.2 Robotti oppimisympäristössä	34
5.3 Robottiin perehtyminen	34
5.3.1 Tarttujan toiminta	34
5.3.2 Akselien rajojen määrittäminen	35

5.4 Tarttujan ja latausaseman suunnittelu.....	37
5.4.1 Tarttujan suunnittelu ja valmistus.....	37
5.4.2 Latausaseman suunnittelu ja valmistus.....	39
5.5 Robotin ja sorvin yhteistyö	39
5.6 Robotin ohjelmointi.....	43
6 YHTEEVETO	44
LÄHTEET.....	45
LIITTEET.....	46

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. 6-akselinen nivelrobotti. (Fanuc. Robot-manuaali, 1–7.).....	10
Kuvio 2. Ylöspäin ulottumista koskeva turvaetäisyys. (SFS-EN ISO, 2008, 14.) ..	17
Kuvio 3. Suojarakenteen yli ulottumista koskevat turvaetäisyydet. (SFS-EN ISO 13857, 2008, 14.).....	18
Kuvio 4. Fanuc Robot s-700 lineaariradalla.	24
Kuvio 5. Robotin ohjain ja ohjausyksikkö.	26
Kuvio 6. Mori Seiki AI-2 nc-sorvi.	27
Kuvio 7. Turvarakenne pystytettynä.....	31
Kuvio 8. Liukuovi kiskolla ja kotelolla.	32
Kuvio 9. Turvakehikko valmiina.....	33
Kuvio 10. Valmistettava peräkoukun nuppi.	37
Kuvio 11. Tarttujanrunko ja tartuntapala.	38
Kuvio 12. Tarttuja muutosten jälkeen.....	38
Kuvio 13. Latausasema.	39
Kuvio 14. Sorvin oven ohjaussylinteri.	40
Kuvio 15. Sorvin robottiliitäntä.....	40
Kuvio 16. Liitäntäkaavio.	41
Kuvio 17. Process I/O kortti ja robotin liitäntäpaikat.	42
Taulukko 1. Ulottuminen suojarakenteiden yli - pieni riski. .(SFS-EN ISO 13857).	18
Taulukko 2. Ulottuminen suojarakenteiden yli - suuri riski. .(SFS-EN ISO 13857).	19
Taulukko 3. . Ulottuminen säännöllisten muotoisten aukkojen läpi - vähintään 14-vuotiaat. (SFS-EN ISO 13857).....	20
Taulukko 4. Fanuc- robot s-700 mallin tekniset tiedot (RobotWorx).....	25
Taulukko 5. Fanuc- robot s-700 mallin liikenopeudet (RobotWorx).....	25
Taulukko 6. Fanuc- robot s-700 mallin liikeradat (RobotWorx).	26
Taulukko 7. Mori Seiki AI-2 teknisiä tietoja (Patelmachinery 2009).....	28
Taulukko 8. Robotin liikeradat ohjelmallisten rajoitusten jälkeen.	36

Käytetyt termit ja lyhenteet

Nc	Numerical control, numeerisesti ohjattu
Joint	Nivel tyyppinen liike
Linear	Lineaarinen liike
Circular	Kaaren mukainen liike
Layout	Tuotantojärjestelmä fyysisten osien sijoittelua tehtaassa
Kättely	Robotin ja sorvin välinen kommunikointi
RI/RO	Robotin ja ohjaimen väliset tulo- ja lähtösignaalit

1 JOHDANTO

1.1 Toimeksiantajan esittely

Toimeksiantajana opinnäytetyössä oli Koulutuskeskus Sedu, Seinäjoen Törnävän toimipisteen metalliala. Työ sijoittui metallipuolen koneistushallin tiloihin. Koulutuskeskus Sedu toimii Seinäjoella, Ähtärissä, Lapualla, Ilmajoella, Kurikassa, Kauhaajoella, Lappajärvellä ja Jurvassa. Seduun kuuluu 14 opetuspiستettä kahdeksassa eri kaupungissa. Koko Sedussa on noin 4400 opiskelupaikkaa ammattikoululaisille.

1.2 Työn tausta ja tavoitteet

Koulutuskeskus Sedun, Seinäjoen toimipisteen kone- ja metalliosasto halusi monipuolistaa opetusvälineitä. Seinäjoen ammattikorkeakoululta hankittiin puulaboratorioista ylimääräisiksi jääneet robotit. Kahdesta robotista toinen sijoitettiin koneistuspuolen tiloihin jossa, opiskelijoiden on mahdollista opetella ja nähdä automatisoitua solun toiminta.

Työn tavoite oli valmistaa toimiva robottisorvaus-solu Törnävän toimipisteen koneistushalliin. Tavoitteita olivat suunnitella toimiva solulayout turvallisuusstandardeja noudattaen, robotin ja sorvin kommunikaatio toimintatavan selvitys ja robotin ohjelmointi valmistamaan määriteltyä kappaletta automatisoidusti.

2 ROBOTTISOLU

2.1 Yleistä teollisuusroboteista

Teollisuusrobotin määrittäminen järkevästi ja yksinkertaisesti on haastavaa. Teollisuusrobotilla on monta erilaista määritelmää, voidaan määrittää toimilaitteiden, ohjelmointitavan, nivelrakenteen tai käyttötarkoituksen perusteella. (Aaltonen & Torvinen 1997, 141.)

Standardin SFS-EN 775 mukaan teollisuusrobotti määritellään seuraavasti:

Automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitava ja monikäyttöinen käsittelylaite, jolla on useita vapausasteita ja joka voi olla joko kiinteästi paikalleen tai liikkuvaksi asennettuna käytettäväksi teollisuuden automaatiojärjestelmissä. (Aaltonen & Torvinen 1997, 141.)

Toinen määritelmä teollisuusrobotista on:

Teollisuusrobotti on ohjelmoitava monitoimilaite, joka on suunniteltu sekä käsittelemään että kuljettamaan osia tai työkaluja ja tarkoitettu muunneltavine, ohjelmoitavine ratoineen erilaisiin tuotantotehtäviin. (Aaltonen & Torvinen 1997, 141.)

Kolmas määritelmä standardin SFS-EN ISO 8373 mukaan:

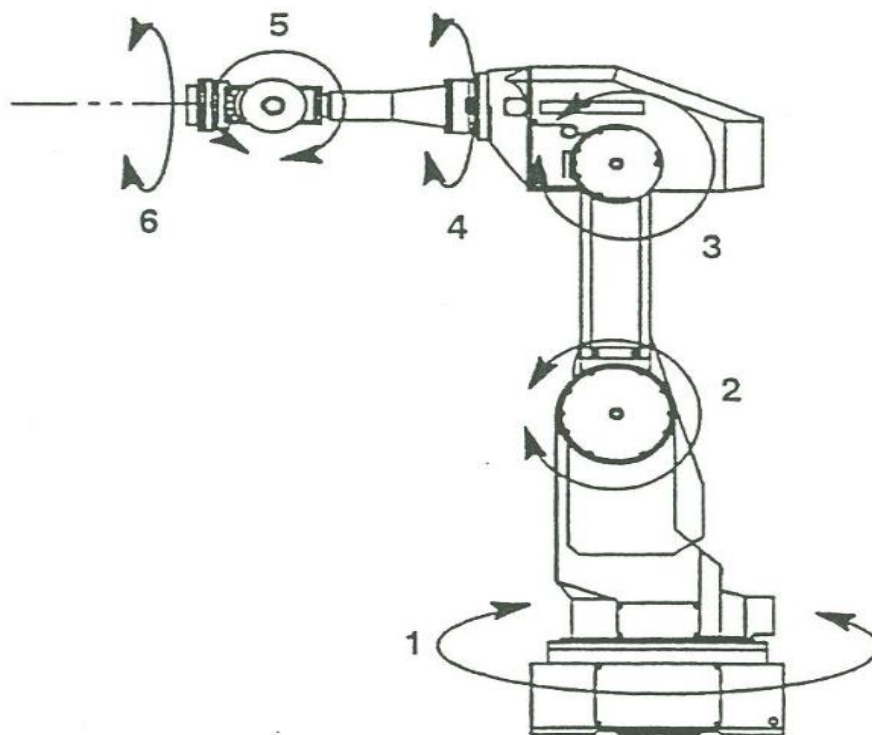
Teollisuusrobotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen, vähintään kolminivelinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavineen liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi teollisuuden sovelluksissa. Uudelleen ohjelmoitavuus on siis olennainen piirre. (Heinonkoski, Asp & Hyppönen 2008, 110.)

Neljäs määrittäminen standardin SFS-EN ISO 10218-1 mukaan:

Teollisuuden automaatiosovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. (Malm & Viitaniemi 2008, 2.)

2.2 Teollisuusrobotti tyypit

Teollisuusrobotteja valmistetaan erityyppisiä, jotta robotisointi olisi yksinkertaisempaa ja löydettäisiin tarpeellinen robotti kyseiseen tehtävään. Robottimalleja ja valmistajia on paljon, tunnetuimpia Suomessa ovat Fanuc, Motoman ja ABB. Robotit ryhmitellään yleensä luokkiin mekaanisen rakenteen ja liikekoordinaatiston perusteella. Robottien luokitteluun käytetään termejä suorakulmainen, sylinteri, rinnakkaisrakenteinen, napakoordinaatisto ja kiertyvänivelinen sekä SCARA. Yleisin teollisuusrobottityyppi on kiertyvänivelinen robotti. (Heinonkoski, Asp & Hyppönen 2008, 111.)



Kuvio 1. 6-akselinen nivelrobotti. (Fanuc. Robot-manuaali, 1–7.)

Kiertyväniveliset robotit seisovat yleensä omalla kiertyvällä jalustallaan, käytön monipuolisuuden lisäämiseksi on mahdollisuus asentaa robotti lineaariradalle. Lineaarirata tuo robotille yhden lisäakselin liikkumiseen, ja joten yhdellä robotilla voidaan palvella useita etäällä olevia työpisteitä lineaariradan avulla. (Aaltonen & Torvinen 1997, 147.) Kiertyvänivelisissä roboteissa kaikki vapausasteet ovat kiertäviä. Yhtä robotin perusliikettä eli niveltä kutsutaan vapausasteeksi. Kuuden vapausasteen roboteilla, joista vähintään kolme on kiertyviä, työkalu pystytään saamaan mihin tahansa asentoon ja paikkaan työalueella. Kiertyvät vapausasteet ovat yleensä ranteessa. Asemien saavuttamista rajoittavat mekaaniset liikeradat ja sallittava työskentelyalue. (Aalto & Heilala 1999, 15–18.)

2.3 Robottisovellukset

Robotteja käytetään konepajateollisuudessa monissa erilaisissa tuotannon tehtävissä. Tehtäväsovelluksista riippuen roboteilta vaaditaan eri määrä liikkeiden vapausasteita ja erilaista rakennetta. Yksinkertaiset kappaleiden siirrot on mahdollista suorittaa suorakulmaisella käsivarsirakenteella. Kappalenostimet ovat hyvä esimerkki tällaisesta sovelluksesta. Monimutkaisemmat jatkuvan radan liikkeet esimerkiksi kaarihitsauksessa vaativat robotilta nivelkäsivarren ja vähintään kuusi liikeakselia. Yleisimpiä tehtäväalueita roboteilla konepajoissa ovat hitsaustyöt, kappaleiden siirrot, koneiden panostus, kappaleiden viimeistely, tarkastus, koonpano, lastaus ja hionta/maalaustyöt. (Aaltonen & Torvinen 1997, 154–155.)

Työstökoneiden panostustehtäviin on kehitetty erilaisia teollisuusrobottisovelluksia ja konekohtaisia erikoisrobotteja, jotka ovat nimenomaan kehittyneet tietyille koneelle ominaisuuksien vaatimusten mukaan. Panostuksessa ja työkalujen vaihdossa käytetään yleisesti teollisuusrobotteja. Erillisen teollisuusrobotin liittäminen työstökoneeseen lisää joustavuutta laitevalintojen suhteen, robotti ja työstökone voivat olla eri toimittajan kautta. Panostusrobotit sijoitetaan yleensä koneen etupuolelle, tai toinen mahdollisuus on sijoittaa robotti sorvin karan yläpuolelle. Panostusrobottiin yleensä liittyy myös erillinen latausasema, josta robotti hakee aihion työstöä varten ja johon robotti tuo valmiin kappaleen työstön päätyttyä. Portaalirobotit ovat yleistyneet työstökoneiden yhteydessä. Portaalikäsittelijällä voidaan panostaa koneen työkappaleet sekä tarttujan vaihdon jälkeen ladata koneen työkalurevolveriin vara- ja vaihtotyökalut. (Aaltonen & Torvinen 1997, 156–158.)

2.4 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmointi alkoi sähkömekaanisista kytkennöistä ja niiden avulla saatiin nivelet ajamaan päin haluttuja rajakatkaisimia. Suurin osa nykyisistä sovelluksista on opetettu robotille liikuttamalla käsivartta useihin aseisiin, mutta luomalla toiminnan logiikka ja useita liikeratojen asemia tietokoneohjelmoinnilla. Kun robottisovelluksesta on kolmiulotteinen malli, voidaan ohjelmointia tehdä erillisessä tietokoneessa. Robottien liikuttaminen etäältä on käyttöliittymän avulla uusi mahdollisuus. (Aalto & Heilala 1999,78.)

Ohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät:

- Laaditaan toimintajärjestys ja logiikka robottikäsivarren liikkeille sovelluksessa tarvittavien työkalun liikkeiden toteuttamiseksi.
- Tahdistetaan käsivarren liikkeet ympäristön signaaleihin (muut laitteet) tai välitetään muihin laitteisiin tarvittavaa tietoa. (Aalto & Heilala 1999,78.)

Eri ohjelmointitapoja:

- Käyttämällä robotin ohjainta ja tallentamalla liikeratojen ääri- ja tärkeät käännepisteet robotin liikeradoiksi. Liiketapoja on kolmea tyyppiä, joint-, linear- ja circular- liike.
- Käyttämällä toimittajien kehittämiä robottikohtaisia ohjelmointikieliä.
- Ohjelmoimalla parametrisesti, joka helpottaa samankaltaisten kappaleiden ohjelmien määrittämistä.
- Hyödyntämällä CAD/CAM-ohjelmoinnissa suunnittelun luomaa mallia robotiohjelmoinnissa.
- Mallintamalla simulointijärjestelmän avulla koko robottijärjestelmä ja ohjelmoida etäohjelmoinnilla. (Aaltonen & Torvinen 1997, 147–148.)

Erilaisten koordinaatistojen määrittäminen on osa robotin ohjelmointia. Työkalukoordinaatisto on koordinaatisto, jonka origo on työkalupisteessä. Työkalupiste on työkalun kohta, jossa työ tapahtuu. Käyttäjäkoordinaatisto on referenssikoordinaatisto kaikille opetukselle paikoille. Käyttäjäkoordinaatisto voidaan asettaa mihin tahansa paikkaan työskentelyalueella. Maailmakoordinaatisto on robotin oletuskoordinaatisto jota ei voida muuttaa, origo sijaitsee ennalta määritetyssä paikassa. (Fanuc. Robot-manuaali, 2-52–54.)

2.5 Robottijärjestelmän turvallisuus

2.5.1 Yleistä

Robotin turvallisen käytön suunnittelu on olennainen osa robotin investointia. Standardissa SFS-EN 755, Teollisuusrobotit, turvallisuus on kattavat ohjeet robottijärjestelmän turvallisuusanalyysistä sekä turvalaitteista ja toimista, joilla varmistetaan robotin riskitön käyttö. Turvallisuusanalyysissä määritetään käyttösovellusten työtehtävät ja arvioidaan tarpeet päästä robotin läheisyyteen ohjelmoinnin, käytön, kunnossapidon ja huollon aikana. Analyysissä tunnistetaan robotinsolun vaaralähteet, erilaiset häiriöt ja viat. Riskit arvioidaan ja määritellään, minkä jälkeen suunnitellaan turvallisuusstrategiat ja valitaan toimenpiteet, joilla tarvittavat turvallisuusalue saavutetaan. (Aaltonen & Torvinen 1997, 168.)

Robottijärjestelmän turvallisuussuunnittelussa on kaksi pääaluetta tapaturmariskien vähentämiseksi:

- Poistetaan läsnäoloa vaativat tehtävät vaaravyöhykkeeltä.
- Poistetaan tai vähennetään vaara-alueelta työskentelyn vaaroja turvalaitteiden avulla. (Aalto, Heilala, Hirvelä, ym. 1999, 166.)

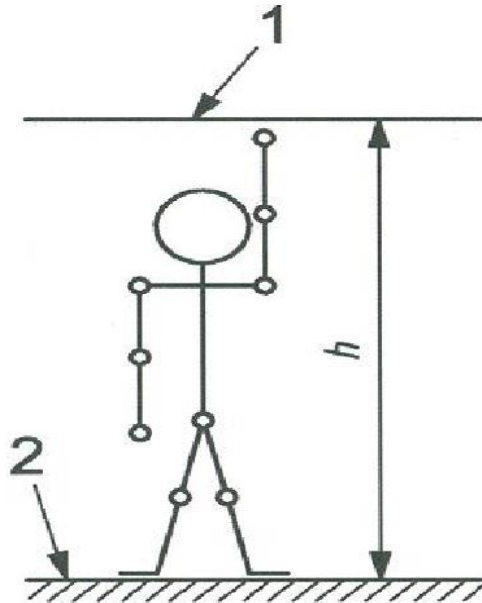
Toimenpiteitä tapaturmien vähentämiseksi voivat liittyä vaikka tuotannon, layoutin, työn tai tuotteensuunnitteluun. Hyvä tekninen ratkaisu ottaa myös muut suunnittelunäkökohdat huomioon. Yleisesti tapana on ollut rajata automaation toiminta-alue mekaanisesti rajattuna robotin maksimitoiminta-alueesta. Robottien alueiden raja-uksessa tulee huomioida robotin maksimitoiminta-alue, rajattu toiminta-alue ja turvalaitteiden valvoma alue. Alueiden rajat saattavat muuttua erilaisten tarttujien ja työkappaleiden käsittelyssä. (Aalto & Heilala 1999, 166.)

Teollisuudessa sattui vuonna 2003 ja 2004 yhteensä 67 robotteihin liittyvää tapaturmaa, robottitapaturmien osuus kaikista teollisuuden tapaturmista oli noin 0,12 % (Malm & Viitaniemi 2008, 5).

2.5.2 Koneturvallisuuden standardi

Koneturvallisuuden standardi, joka käsittelee turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Standardi on otettu käyttöön 23.6.2008 ja kyseinen standardi korvaa vanhat SFS-EN 294 (v.1993) ja SFS-EN 811 (v.1997). (Suomen standardisoimisliitto SFS, SFS-EN ISO 13857, 2008,1.) Standardissa esitetään turvaetäisyydet teollisuusympäristössä olevien koneiden vaaravyöhykkeille ulottumisen estämiseksi. Turvaetäisyydet ovat ominaisia suojarakenteille. Turvataso määritellään vertailutasosta, jossa ihminen työskentelee. Standardissa käsitellään turvaetäisyyksien määrittämiseen erityyppisiä tilanteita, joissa raajat ovat mahdollista tunkea vaaravyöhykkeille suojarakenteesta huolimatta. Yläraajojen ulottumisen estävät turvaetäisyydet määritetään useammalla toimintaperiaatteella, alla mainittuna kolme esimerkkitapausta. (Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 13857, 2008,10.)

Tapaus 1. Ulottuminen ylöspäin, jos vaaravyöhykkeeseen liittyvä riski on pieni, korkeuden h on oltava vähintään 2500 mm. Mikäli riski on suuri, korkeuden h on vähintään oltava 2700 mm. (SFS-EN ISO 13857, 2008,12–14.)

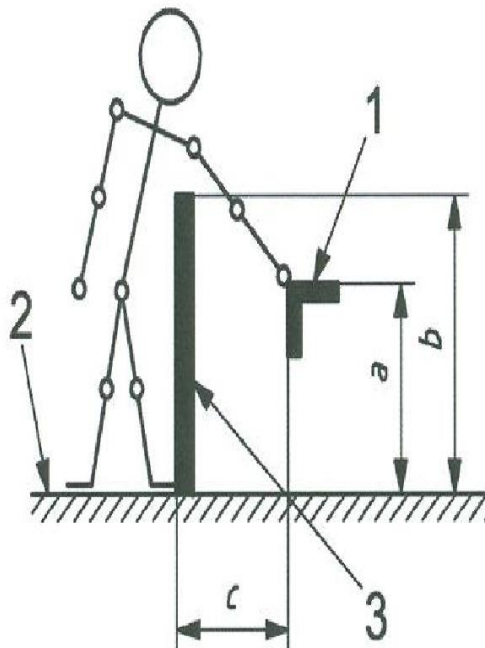


Merkintöjen selvitys.

1. Vaaravyöhykkeen korkeus
2. Vertailu/työskentelytaso
- h. Vaaravyöhykkeen korkeus

Kuvio 2. Ylöspäin ulottumista koskeva turvaetäisyys. (SFS-EN ISO, 2008, 14.)

Tapaus 2: Ulottuminen suojarakenteen yli. (SFS-EN ISO 13857, 2008,14.)



Merkintöjen selvitys.

1. Vaaravyöhyke (lähin kohta)
2. Vertailu/työskentelytaso
3. Suojarakenne
 - a. Vaaravyöhykkeen korkeus
 - b. Suojarakenteen korkeus
 - c. Vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen

Kuvio 3. Suojarakenteen yli ulottumista koskevat turvaetäisyydet. (SFS-EN ISO 13857, 2008, 14.)

Taulukon 1. esitettäviä arvoja tulee käyttää, jos vaaravyöhykkeeseen liittyvä riski on pieni, arvot on luettava vähimmäisarvoina. (SFS-EN ISO 13857, 2008,16.)

Taulukko 1. Ulottuminen suojarakenteiden yli – pieni riski. (SFS-EN ISO 13857.)

Vaaravyöhykkeen korkeus ^b a	Suojarakenteen korkeus ^a b								
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500
	Vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, c								
2 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 400	100	100	100	100	100	100	100	100	0
2 200	600	600	500	500	400	350	250	0	0
2 000	1 100	900	700	600	500	350	0	0	0
1 800	1 100	1 000	900	900	600	0	0	0	0
1 600	1 300	1 000	900	900	500	0	0	0	0
1 400	1 300	1 000	900	800	100	0	0	0	0
1 200	1 400	1 000	900	500	0	0	0	0	0
1 000	1 400	1 000	900	300	0	0	0	0	0
800	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 200	500	0	0	0	0	0	0	0
400	1 200	300	0	0	0	0	0	0	0
200	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	200	0	0	0	0	0	0	0

^a Korkeudeltaan alle 1 000 mm suojarakenteita ei ole otettu mukaan, koska ne eivät rajoita kehon liikettä riittävästi.
^b Yli 2 500 mm korkeudella olevien vaaravyöhykkeiden osalta ks. kohta 4.2.1.

Taulukon 2. arvoja tulee käyttää silloin, kun vaaravyöhykkeeseen liittyvä riski on suuri, arvot on luettava vähimmäisarvoina. (SFS-EN ISO 13857, 2008,16.)

Taulukko 2. Ulottuminen suojarakenteiden yli – suuri riski. (SFS-EN ISO 13857.)

Mitat millimetreissä

Vaaravyöhykkeen korkeus ^c a	Suojarakenteen korkeus ^{a, b} b									
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	Vaakasuoja turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, c									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

^a Korkeudeltaan alle 1 000 mm suojarakenteita ei ole otettu mukaan, koska ne eivät rajoita kehon liikettä riittävästi.
^b Korkeudeltaan alle 1 400 mm suojarakenteita ei suositella käytettäväksi ilman täydentäviä suojaustoimenpiteitä.
^c Yli 2 700 mm korkeudella olevien vaaravyöhykkeiden osalta ks. kohta 4.2.1.

Tapaus 3. Ulottuminen aukkojen läpi. (SFS-EN ISO 13857, 2008,22.)

Taulukosta 3. selviää ulottuminen säännöllisten muotoisten aukkojen läpi, tarkastelussa vähintään 14-vuotiaat henkilöt. Aukkojen ulottumisista on myös taulukko, joka koskee vähintään 3-vuotiaita henkilöitä. (SFS-EN ISO 13857, 2008,22.)

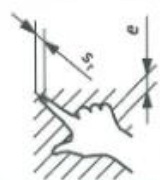

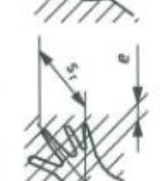
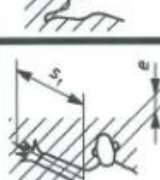
Merkintöjen selvitys.

s_r , säteittäinen turvaetäisyys vähintään 14-vuotiaille.

e, aukon kapeimman kohdan mitta.

Taulukko 3. Ulottuminen säännöllisten muotoisten aukkojen läpi – vähintään 14-vuotiaat. (SFS-EN ISO 13857.)

Mitat millimetreissä

Kehon osa	Kuva	Aukko	Turvaetäisyys, s_r		
			Pitkänomainen	Neliö	Pyöreä
Sormenpää		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Sormi rystyseen asti		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
Käsi		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^a$	≥ 120	≥ 120
		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
Käsivarsi olkapäähän saakka		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850

Taulukon leveät viivat osoittava sen kehon osan, jota aukon koko rajoittaa.

^a Jos pitkänomaisen aukon pituus on ≤ 65 mm, peukalo toimii rajoittimena ja turvaetäisyyttä voidaan lyhentää 200 mm asti.

Esimerkkejä turvaetäisyyksien määrittämisestä standardin SFS-EN ISO 13857 mukaan, katso Liite 1. SFS-EN ISO 13857 standardi.

2.6 Layoutin suunnittelu

Layoutilla tarkoitetaan tuotantojärjestelmän fyysisten osien, kuten koneiden, laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua tehtaassa. Työnkulun ja tuotantolaitteiden sijoittelun perusteella layoutit voidaan jakaa kolmeen ryhmään, tuotantolinjalayoutiin, funktionaaliseen layoutiin ja solulayoutiin. (Uusi-Rauva, Haverila, Kouri & Miettinen 2003, 407.) Tehtaiden layoutsuunnittelussa tarkoitetaan koneiden, kulkureittien ja varastojen sijoittelua käytettävissä oleviin tiloihin. Layoutsuun-

nittelua esiintyy pienessä ja suuressa mittakaavassa. Pienimmillään se on pelkkää sijoittelua ja suuremmillaan se sisältää sijoittelun perustana olevan järjestelmän suunnittelun. (Lapinleimu, Kauppinen & Torvinen 1997, 309.)

Solulayout muodostaa itsenäisen, eri koneista ja työtehtävistä koostuvan ryhmän, joka on erikoistunut tietyn tuotteen valmistukseen tai työvaiheen suorittamiseen. Solulayout on välimuoto tuotantolinja- ja funktionaaliseen layoutiin verrattuna. Vä-livarastoja ei ole, jolloin materiaalivirta on selkeä. Solujen läpimenoajat ovat lyhyempiä verrattuna funktionaaliseen layoutiin. Solussa pystytään valmistamaan joustavasti soluun suunniteltuja tuotteita. Asetusajat pysyvät alhaalla tuotteiden vaihtuessa, koska solu on suunniteltu tietyn tyyppiseen tehtävään. Solu on joustavampi kuin tuotantolinja ja tehokkaampi kuin funktionaalinen järjestelmä omien tuoteryhmiensä kanssa työskennellessään. Tuotteiden tuotantomäärät voivat vaihdella paljonkin pienistä sarjoista yksittäisiin kappaleisiin. Solu muodostaa yhden kuormituspisteen, jolloin tuotannonohjaus on helppoa. (Uusi-Rauva, Haverila, Kouri & Miettinen 2003, 409–410.)

Eri valmistusvaiheiden suorittaminen peräkkäin samalla alueella helpottaa laadunvalvontaa sekä virheiden löytäminen ja korjaaminen on helppoa. Soluissa koneiden kuormitukset voivat vaihdella huomattavasti. Soluvalmistusta on perusteltu hyväksi työntekijöiden motivaatiolla ja tuottavuuden kasvulla. Ryhmä joka työskentelee solussa, vastaa tehtäviensä suunnittelusta ja toteutuksesta itsenäisesti. Työntekijät itse voivat vaikuttaa työnjakoon ja työtehtäviin. (Uusi-Rauva, Haverila, Kouri & Miettinen 2003, 409–410.)

3 OPPIMISYMPÄRISTÖ

3.1 Määritelmä

Oppimisympäristö voidaan määritellä seuraavasti:

Oppimisympäristö on paikka, tila, yhteisö tai toimintakäytäntö, jonka tarkoitus on edistää oppimista. (Manninen, Burman & Koivunen 2007, 15.)

Oppimisympäristö on paikka tai yhteisö, jossa ihmisillä on käytössään erilaisia resursseja, joiden avulla he voivat oppia ymmärtämään erilaisia asioita ja kehittämään mielekkäitä ratkaisuja erilaisiin ongelmiin. (Manninen, Burman & Koivunen, 2007, 16.)

Oppimisympäristöllä tarkoitetaan oppimiseen liittyvää fyysisen ympäristön, psyykkisten tekijöiden ja sosiaalisten suhteiden kokonaisuutta, jossa opiskelu ja oppiminen tapahtuvat. (Manninen, Burman & Koivunen, 2007, 17.)

Nyky päivänä myös usein esiintyvä ”uusi” oppimisympäristö tarkoittaa yleensä koulutuskäytäntöjä, jotka toteutetaan joko kokonaan tai osittain jollakin muulla tavalla kuin perinteisellä luokahuoneopetuksella. (Manninen, Burman & Koivunen, 2007, 17.)

3.2 Käytännön työ oppimisympäristönä

Työn ja työharjoittelun merkitys on korostunut ammatillisessa opiskelussa entisestään. Ammatillisessa koulutuksessa panostetaan enemmän työssäoppimisjaksoihin ja arvioinnissa erilaisiin näyttötöihin. Oppimista arvioidaan työtehtävien hallintaa vaativilla työtehtävillä. Ammattikouluissa oppilaat käyvät työssäoppimisjaksoja opiskelujensa aikana jossa, opiskelijat saavat kokemusta ja näköä alan töistä. Tämän vuoksi ammatillisessa koulutuksessa on tärkeää että, koulusta löytyy hyvät

oppimisympäristötilat, jotka ovat ajan tasalla verrattuna alan työpaikkojen toimintaan. (Manninen, Burman & Koivunen, 2007, 104–105.)

Oppimisympäristöjen kehittämisen kautta myös opettajien, kouluttajien sekä oppilaiden työ tulee mielekkäämmäksi, vaihtelevammaksi ja haastavammaksi. Oppimisympäristöt voidaan nähdä koulutuksen suunnittelun mallina ja ajattelutapana, jossa etsitään uudenlaisia ja nykyaikaisempia tapoja oppia ja opettaa. Siirrytään perinteisistä luokkahuonekeskeisistä opetuksista käytännön läheisempään opetukseen. (Manninen, Burman & Koivunen, 2007, 7.)

4 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT LAITTEET

4.1 Fanuc Robot S-700

Työssä käytettävänä teollisuusrobottina toimi Fanuc s-700. Robotti on 6-akselinen, kolmella kiertyvällä nivellä varustettu. Robotti on tämän lisäksi asennettu maassa kulkevalle lineaariselle radalle, jossa robotti pystyy kulkemaan x-akselin suunnassa. Robotti on suunniteltu materiaalin käsittely ja hitsaus menetelmiin. Suuri jäykkyys ja erinomainen luotettavuus tekevät s-700-mallista käyttökelpoisen monissa sovelluksissa. Robotissa on suorakytkentärakenne, ei hihnoja tai keskeisiä ohjauslementtejä sekä kaapelit kulkevat robotin sisällä. Moottorit ovat sijoitettu viisaasti, siten että ne eivät tule robotin kyljistä ulos. Taulukoissa 4., 5. ja 6. on esitettyä s-700 mallin teknisiä tietoja. (RobotWorx, [Viitattu 15.4.2013].)



Kuvio 4. Fanuc Robot s-700 lineaariradalla.

Taulukko 4. Fanuc- robot s-700 mallin tekniset tiedot (RobotWorx.)

<u>Robotin teknisiä tietoja</u>	
Robotin massa	500kg
Akseleita 6+1	J1,J2,J3,J4,J5,J6 ja X
Käsittelykuorma	Max. 30kg
Toistotarkkuus	±0.2mm
Ohjaus	RJ
Säkäkorkeus	1616mm

Taulukko 5. Fanuc- robot s-700 mallin liikenopeudet (RobotWorx.)

<u>Liikenopeudet</u>	
<u>Akseli</u>	<u>Liikenopeus (astetta/sekunti)</u>
J1	120
J2	105
J3	105
J4	180
J5	180
J6	240

Taulukko 6. Fanuc- robot s-700 mallin liikeradat (RobotWorx.)

<u>Liikeradat</u>	
<u>Akseli</u>	<u>Liikeradat (astetta)</u>
J1	± 300
J2	±180
J3	±260
J4	±380
J5	±240
J6	±540
X	2600mm



Kuvio 5. Robotin ohjain ja ohjausyksikkö.

4.2 Mori Seiki AL-2

Työstökoneena on Mori Seiki AL-2, joka on tunnetun japanilaisen työstökonevalmistajan tuottama nc-sorvi 80-luvulta. Kone on yksinkertainen nc-sorvi, jossa ohjelmitavia akseleita ovat z- ja x-akselit, joten koneessa ei ole pyöriä työkaluja. Työstökone on tarkoitettu metallinkoneistamiseen, työstö tapahtuu yleensä ohjelmien tekojen myötä. Ohjelmia pystyy tekemään joko käsin näppäilemällä ohjauspaneelista tai etätyönä tietokoneella, johon vaaditaan jokin CAM-ohjelmisto. Taulukossa 7. on esitetty Mori Seiki AL-2 nc-sorvin teknisiä ominaisuuksia.



Kuvio 6. Mori Seiki AL-2 nc-sorvi.

Taulukko 7. Mori Seiki AI-2 teknisiä tietoja (Patelmachinery 2009.)

Ohjaus	Fanuc 10T
Suurin sorvaus halkaisija	250 mm
Suurin sorvaus pituus	530 mm
Suurin karan pyörimisnopeus	4500 rpm
Työkalumakasiini	8-paikkainen
Paino	4 t

5 TYÖN KULKU

5.1 Solulayoutin suunnittelu ja rakentaminen

Työ alkoi robottisolun suunnittelulla. Robottisolun layoutin suunnittelussa tuli ottaa huomioon mahdollisuus joustavaan työn tekemiseen sekä robotin laajat liikeradat. Robotin nopeat ja laajat liikkeet määrittävät soluun omat vaatimukset, jotka piti selvittää SFS-EN ISO 13857 Koneturvallisuus-standardista, joka kattaa turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Tämä on tärkeää, koska robotin liikkeet aiheuttavat tuotannossa lukuisia loukkaantumisia.

Suunnittelussa tehtävänä oli latauspisteen sijainnin määrittäminen sekä turva-aitojen etäisyyksien selvitys. Solun paikka oli määritetty valmiiksi ennen työn alkua, koska robotti oli asennettuna valmiiksi lattialle lineaariradan päälle. Suunta määriteltiin rajoitetuksi heti työn alkaessa. Robotti ei saa kääntyä hallin sisäänpäin, jossa sijaitsee muut opetustilat. Robotti siis pyöri jalustan ympärillensä vain 180 astetta sorvin suuntaa. Turvaverkkoaitaa oli valmiiksi tilattuna, korkeus aidassa oli 1950 mm, leveys 1200 mm ja reiät olivat säännöllisen kokoiset 36 mm*36 mm.

Verkkoaidan etäisyyksiä määrittäessä saatiin tietoa SFS-EN ISO 13857 standardista joka perehtyy kyseiseen asiaan, standardeja tulee noudattaa robottisolua suunniteltaessa muuten tapaturmien määrä saattaa kasvaa. Standardissa esitetään erilaisten ulottumien etäisyyksiä vaaravyöhykkeelle, tässä työssä vaaravyöhyke on käytettävä robotti. Turvarakenteen määrittämisessä pitää huomioida suojarakenteen korkeus, vaaravyöhykkeen korkeus ja vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen. Vaakasuora turvaetäisyys piti selvittää. Vaaravyöhykkeen korkeus määräytyi robotin rakenteen mukaan säkäkorkeudesta robotin nivelten ylöspäin suoristamiseen 2400–2600 mm ja turvarakenne oli 1950 + rakenteen jalat 80 mm.

Luvussa 2.5.2 Standardin SFS-EN ISO 13857 Taulukkoa 2. **Ulottuminen suojarakenteen yli – suuri riski** lukemalla saatiin vaakasuoraksi turvaetäisyydeksi 500–600 mm. Käytettävä turvaverkko oli noin 2000 mm korkea, tämän perusteella

turvaetäisyys määräytyi. Turvaverkossa olevien aukkojen takia turvaetäisyyden määrittämiseen tuli huomioida se, että aukkojen läpi on mahdollista tunkea sormet, mikä toi turvaetäisyyteen lisää etäisyyttä. Tämä tapaus on selvitty standardissa erikseen Taulukossa 3. **Ulottuminen säännöllisten muotoisten aukkojen läpi**, josta saatiin arvo 200 mm. Näin ollen turvaverkkoaita tuli olla vähintään 800 mm päässä vaakasuoriin suuntiin vaaravyöhykkeestä.

Robotin kääntymisen rajoituksen takia turvaverkon etäisyys leveys mitattiin lineaariradasta, koska robotti ei päässyt kääntymään radan toiselle puolelle ollenkaan. Pitkittäissuunta määritettiin robotin maksimiulottumisen kohdasta. Turvaverkko tuli asettaa tästä 800 mm kauemmas. Solun mitoiksi suunnittelin 6000*4800*2030 mm käyttämällä valmiita turvakehikko aihioita, joilla turvallisuusohjeet ja standardit täytyivät.

Standardien perusteella saatua solun kokoa ei pystytty toteuttamaan. Solulle määrättiin kokorajoituksia tilan puutteen takia. Turvarakenne asenettiin aivan lineaariradan viereen ja pitkittäissuuntaankin rajattiin. Pitempi sivu rajattiin niin, että siihen asennetaan neljä aidan palaa ja lyhyemmälle sivulle tuli sitten kolme aidan palaa. Ensimmäisessä suunnitteluversiossa olisi ollut viisi aitaa pidemmällä sivulla ja neljä aitaa lyhyemmällä sivulla, joten solu pieneni kummastakin suunnasta 1200 millimetrillä. Solulayoutin mitaksi tuli loppujen lopuksi 4800*3600*2030 mm. Näin ollen standardin vaatimat vaakasuorat turvaetäisyydet eivät täytyneet tilan rajauksen takia.



Kuvio 7. Turvarakenne pystytettynä.

Solu pystytettiin käyttämällä ruuviliitoksia, jotka helpottavat tulevaisuudessa mahdollista purkua. Turvaverkon päälle tehtiin putkikehikko jäykistämään rakennetta, koska lattiaan lattiakiinnitysten varassa kehikko heilui eikä rakenne ollut tukeva. Soluun piti asentaa liukuovi. Liukuoveen tehtiin kisko ja nailonrullat, joiden avulla liukuovi rullaa kiskoa pitkin. Kiskon ja rullien päälle taivutettiin kotelomainen suoja, jolla estetään oven nostaminen kiskolta.



Kuvio 8. Liukuovi kiskolla ja kotelolla.

Liukuovessa piti olla turvarajakytkin, joka on kytkettynä niin, että oven ollessa auki robotin automaattiajoa ei voi suorittaa. Ainoastaan rajan ollessa aktiivisena automaatioajo on mahdollista toteuttaa. Turvalukon kytkentä tapahtuu robotin logiikkaan, josta robotti saa tiedon turvalukon ollessa aktiivinen. Tämä on turvallisuuden kannalta tärkeä asia, robotin automaattiajon aikana ei kenenkään saa olla solun sisäpuolella.

Turvalukko asennettiin liukuoven yläkulmaan, jotta turvalukon kieli ei ole vaarallisella korkeudella eikä aiheuta silmiin kohdistuvia vaaratilanteita. Turvalukko kiinnitettiin erillisellä metallilapulla turvakehikkoon. Asennettaessa tuli ilmi, että lukon kiinnityslappu piti laittaa turvakehikon ulkopuolelle, jolloin liukuoven aukkoon ei jäänyt iso aukkoja kun ovi on suljettuna. Mikäli kiinnityslappu olisi asennettu turvakehikon sisäpuolelle, liukuoven ja solun kehikon väliin olisi jäänyt 100 millimetrin kokoinen aukko.

Ennen solun käyttöönottoa Koulutuskeskus Sedun oli tarkoituksena asennuttaa solun sisälle hätäseis-painike, joka katkaisee hallin kaikista koneista virran. Opetajan opettaessa solun sisällä robotin käyttöä ja kuullessaan muilta hallin koneilta kuuluvan pauketta tai havaittuaan vaaratilanteen muualla on mahdollisuus päästä nopeasti hätä seis -kytkimelle, kun se on solun sisäpuolelle asennettuna.



Kuvio 9. Turvakehikko valmiina.

Tulevaisuudessa soluun kannattaisi rakentaa vielä tarttujan vaihtoteline, jossa olisi mahdollisesti muita tarttuja vaihtoehtoja ja joista voitaisiin käydä vaihtamassa tarvittava tarttuja. Tarttujateline olisi hyvä rakentaa niin, että robotti vaihtaisi tarttujan telineen alakautta ja jättäisi tarttujan ylösalaisen telineeseen. Tarttujan ollessa ylösalaisin pöly ei pääse tarttujan ja robotin kiinnityskohdan väliin ja pysyy näin ollen hyvässä kunnossa. Lineaarirataa hyväksi käyttämällä solua voisi laajentaa ja asentaa soluun lisää koneita. Robotti pystyy liikkumaan radallaan noin 2,5 metriä ja näin ollen liikkumisalueesta saadaan hyvin laaja halutessaan.

5.2 Robotti oppimisympäristössä

Robotilla saadaan isoja vahinkoja aikaan, mikäli siihen ei perehdytä kunnolla ennen käyttöä, varsinkin ammattikoulutiloissa, joissa on innokkaita oppilaita. Oppilaat ovat innokkaita kokeilemaan ja testailemaan uutta laitetta ja robotin nopeat liikkeet sekä voima voivat saada vahinkoja aikaiseksi. Robottisolussa on turvalukot, jotka estävät suurten tapaturmien sattumisen, kun niitä käytetään oikein. Opettajan tulee olla tarkkana oppilaitten kanssa, etteivät oppilaat pääse tekemään vaaratilanteita robotilla.

Robottisolu antaa loistavan mahdollisuuden nähdä ja oppia, kuinka robotti työskentelee. Nykypäivänä metallialalla on paljon automatisoituja laitteita, joissa robotti on tekemisissä erilaisten koneitten kanssa. Robottisolun ansiosta ammattikoululaisilla on hyvä mahdollisuus opetella nykyaikaista robottisolun ohjelmointia.

5.3 Robottiin perehtyminen

Robottiin perehtyminen aloitettiin ihan perustoiminnoista, liikuteltiin akseleita, jotta opittiin tuntemaan robotin liikkeet hyvin. Tämän jälkeen tutustuttiin robotin ohjekirjaan, josta löytyi paljon tietoa robotin käyttöön liittyen. Robotissa oli myös vanha ohjemanuaali, joka kävi läpi ohjelmoinnin rungon ja vaadittavat perusasiat ohjelmoinnin suorittamiseksi, manuaali oli edellisten käyttäjien laatima. Manuaali oli selkeä ja sitä läpikäymällä ohjelmointiin saatiin hyvä perustuntuma.

5.3.1 Tarttujan toiminta

Tarttuja ja robotti keskustelevat keskenään robotin tulo- ja lähtösignaaleilla ohjaimen ja robotin välillä. Robotin tulo- ja lähtösignaalien määrät riippuvat robotin mekaniikasta. Robotin tulo- ja lähtösignaaleja kutsutaan lyhenteillä RI ja RO. (Fanuc-robot manuaali, 2-25.)

Robotin RO signaaleja kokeilemalla löytyi tarttujaa koskevat käskyt.

RO[1], tarttuja auki

RO[2], tarttuja kiinni

RO[5], tarttujan irrotus / kiinnitys.

5.3.2 Akselien rajojen määrittäminen

Akselien rajat määrittelevät robotin liikealueiden rajat, alueita voidaan rajoittaa koska:

- työaluetta täytyy rajoittaa
- työkalujen ja kiinteiden rakenteiden törmäyksiä voidaan estää
- johtojen ja kaapeleiden pituuden vuoksi

Robotin kulkua yli tarvittavan alueen voidaan estää kolmella eri tavalla:

- akselien rajojen määrittäminen ohjelmallisesti
- akselien rajakytkimillä
- akselien liikkeen estäminen fyysisesti

Ohjelmalliset radat muuttavat robotin liikealuetta. Ohjelmalliset rajat ovat ylös- ja alas-liikkeen asteiden rajoituksia, rajat voidaan asettaa jokaiselle robotin akselille. Mikäli robottia ei ole kalibroitu, yliliikkeen rajat kytkeytyvät kahdesta kolmeen asteeseen ohjelmoidun rajan jälkeen. Yliliikkeen rajoja käytetään vain pääakseleilla J1, J2 ja J3. Ohjelmalliset radat määritetään Axis Limits -taulukkoon, johon tulee syöttää ylemmät ja alemmat rajat. Ohjelmallisten rajojen määrittäminen tapahtuu ohjaimesta. Menu-> System-> F1-> Axis Limits. Rajojen asetukset tulevat voimaan, kun käynnistää ohjaimen uudelleen.

Taulukko 8. Robotin liikeradat ohjelmallisten rajoitusten jälkeen.

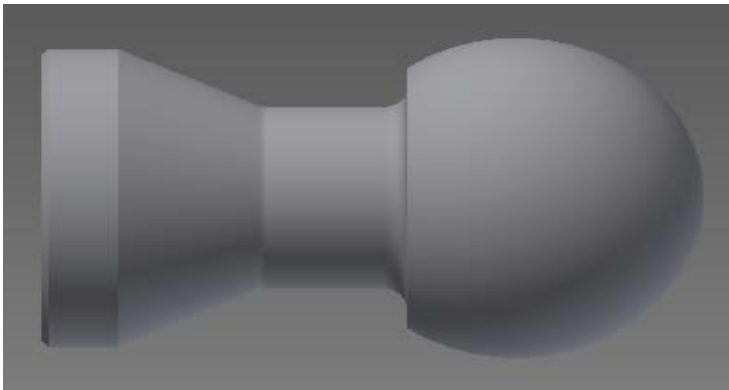
<u>Robotin liikeradat rajoitusten jälkeen (astetta)</u>		
<u>Akseli</u>	<u>Ala-raja</u>	<u>Ylä-raja</u>
J1	17.5	197.5
J2	- 10	150
J3	- 130	40
J4	- 190	190
J5	- 150	18
J6	- 270	270
X	- 1300 mm	235 mm

Rajakytkimet ovat akselien yliliikkeen katkaisijoita, jotka lauetessaan katkaisevat servomootorit pois päältä. Näitäkin käytetään ainoastaan pääakseleilla. Fyysiset rajakytkimet estävät robotin liikkeen totaalisesti, robotti ei saa päästä fyysisten rajojen yli missään tilanteessa. Akselien ohjelmallista rajoitusta ei tule käyttää yksinään liikkeen rajaamiseksi. Kun liikealuetta muutetaan ohjelmallisesti, tulee myös fyysiset rajat muuttaa muutoksia vastaaviksi vahinkojen välttämiseksi. (Fanuc. Robot-manuaali, 2-88–89.)

5.4 Tarttujan ja latausaseman suunnittelu

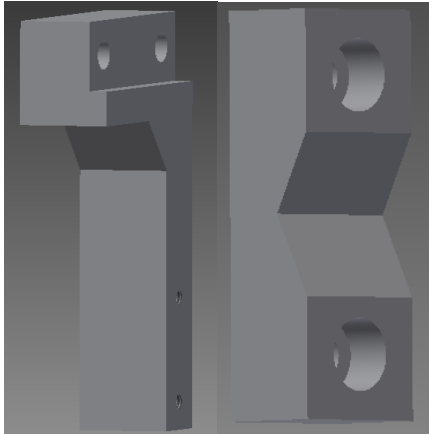
5.4.1 Tarttujan suunnittelu ja valmistus

Tarkoituksena robotilla on panostaa sorvia, jossa työstettäisiin peräkoukun nuppeja automatisoidusti. Kappaleen käsittelemiseksi piti suunnitella uusi tarttuja, jolla panostus sorviin onnistuisi. Peräkoukun valmistus tapahtuu kahdesta suunnasta, joten tarttujan pitää pystyä kääntämään kappale ensimmäisen vaiheen jälkeen.



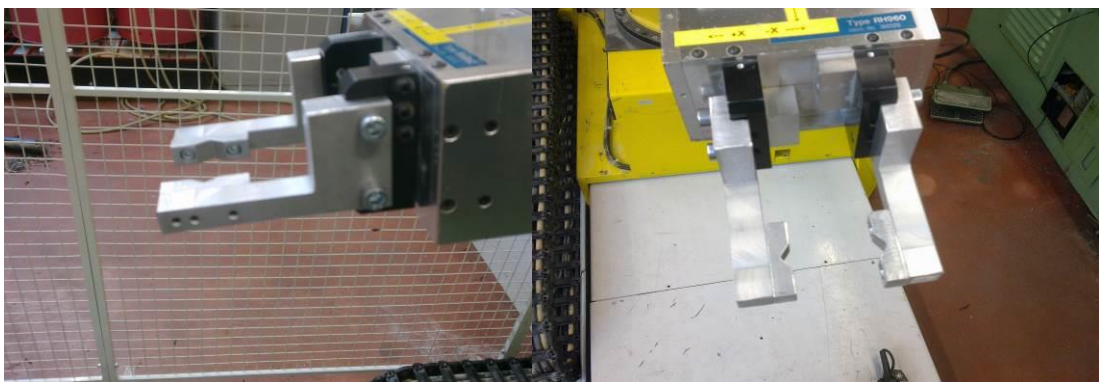
Kuvio 10. Valmistettava peräkoukun nuppi.

Ensimmäisessä vaiheessa sorvataan Kuvio 10. mukaisen peräkoukun vasen puolisko puoleen väliin pallon muotoa asti, ja toisessa vaiheessa pallon oikeapuolisko. Koukku valmistetaan 50 mm:n terästangosta, josta on sahattu oikean pituisia aihioita. Tarttujan piti ensimmäisen työstövaiheen jälkeen ottaa koukun ohuesta kohdasta kiinni ja pyöryttää kappale toisen vaiheen ajoa varten, joten tästä johtuen tarttujan tuli olla kapea, jotta tarttuminen kohdasta on mahdollista. Suunniteltu tarttuja koostui kahdesta runkopalasta, joihin kiinnitettiin erilliset tartuntapalat joilla tarttuminen pyöreästä pinnasta onnistui. Materiaalina tarttujan osissa käytettiin alumiinia. Tartuntapalat kiinnitettiin pulteilla runko-osaan, ruuviliitos mahdollistaa käyttämisen muissakin tilanteissa vaihtamalla tartuntapalat.



Kuvio 11. Tarttujanrunko ja tartuntapala.

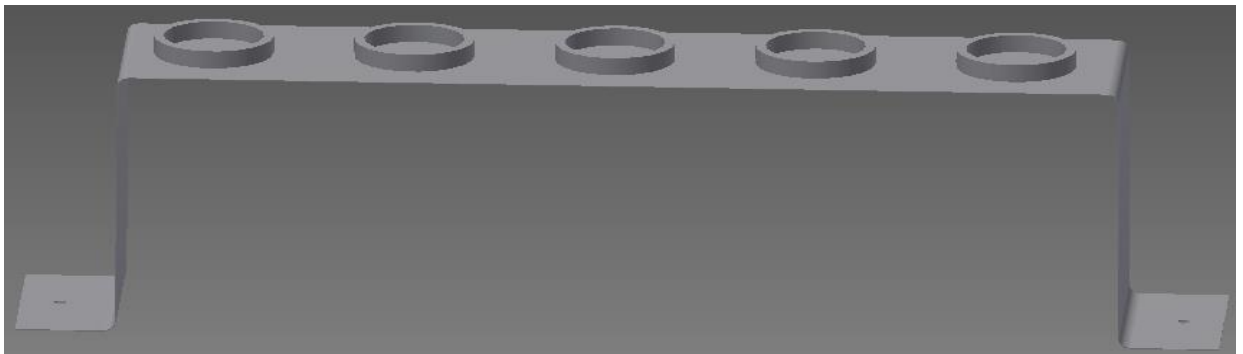
Tarttujan alustavasta valmistuksesta vastasi Koulutuskeskus Sedun koneistuspuolen toisen vuoden opiskelijat, jotka harjoittelevat nc-koneiden käyttöä. He saavat näin ollen kokemusta valmistuksesta. Tarttuja hieman muuttui matkan varrella ja siihen jouduttiin tekemään tarvittavat muutokset työstökeskuksella, että tarttuja toimi oikealla tavalla ja kappaleen käsittely oli mahdollista. Ensimmäisessä versiossa oli ongelmana se, että kappaleen käsittely ei onnistunut, koska liikeala tarttujassa ei ollut tarpeeksi laaja, eikä pystytty ottamaan kiinni alkuperäisestä ahiosta ja valmiiksi sorvatusta ahiosta, tartunta halkaisija pieneni 50 millimetristä 28 millimetriin.



Kuvio 12. Tarttuja muutosten jälkeen.

5.4.2 Latausaseman suunnittelu ja valmistus

Työssä tuli olla latausasema, josta robotti hakee peräkoukun aihiot ja kuljettaa ne sorville. Latausaseman pöytänä käytettiin ammattikoululla valmiiksi valmistettua pöytää, johon suunniteltiin lisäosa. Lisäosa on yksinkertainen levystä tehty teline, jossa on viidelle aihiolle paikat. Kiinnitys latausaseman pöytään tapahtui myös ruuviliitoksella. Aihiot sijoitetaan niille tarkoitetuille paikoille, jotka ovat yksinkertaiset putkiaihion palat.



Kuvio 13. Latausasema.

5.5 Robotin ja sorvin yhteistyö

Robotilla ohjataan myös sorvin ovea pneumatiikkasyylinterillä, joka on kiinnitetty sorvin kylkeen. Sylinteri jouduttiin tilaamaan, koska sylinterin iskun pituus piti olla 600 mm, Koulutuskeskus Sedun metallipuolelta löytynyt niin pitkällä iskulla olevaa sylinteriä. Sylinterin toimivuuden kannalta jouduttiin lisäämään paineilma liitäntöjä robottiin. Robotissa käskyt RO[3] ja RO[4] olivat liitettynä käskyihin RO[1] ja RO[2]. Käskyjen erillistä käyttöä ei ilman liittimien asentamista pystytty toteuttamaan.

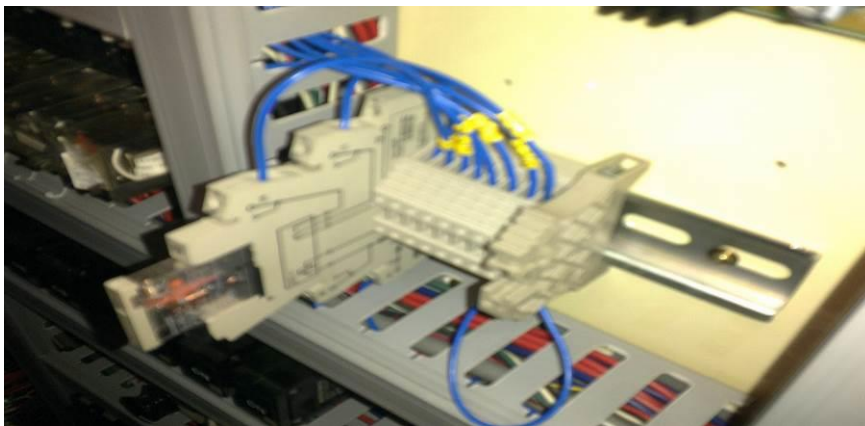
Ovea ohjataan robotin RO signaaleilla, riippuen kuinka paineilmaletkut kytketään:

- RO[3], ovi kiinni
- RO[4], ovi auki



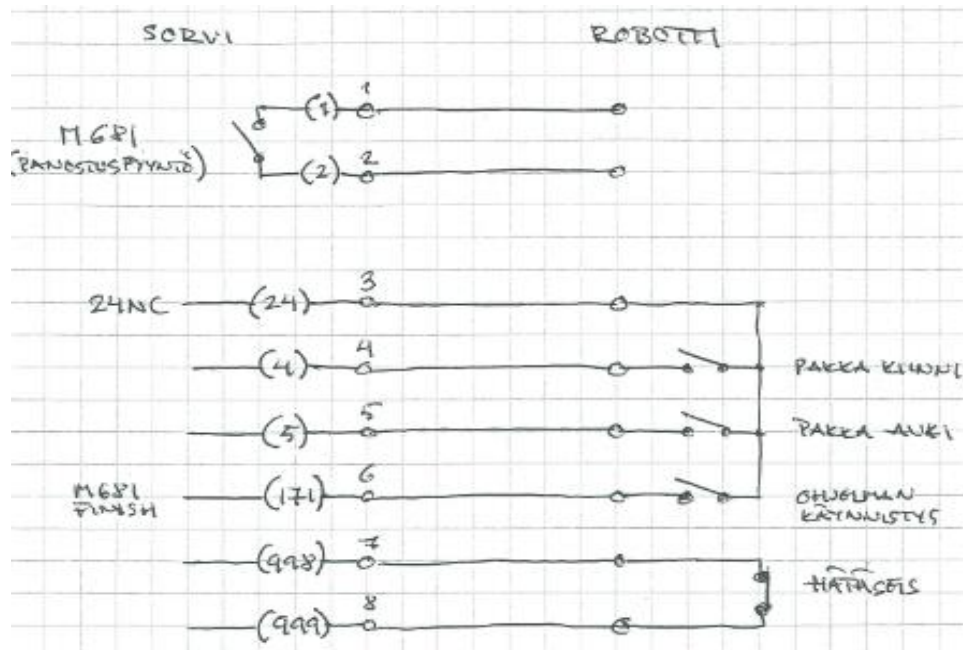
Kuvio 14. Sorvin oven ohjaussylinteri.

Robotin ja sorvin yhteistyötä ei pystytty heti selvittämään, koska työssä käytettävä työstökone oli epäkunnossa. Sorvissa tarvittavasta robotinliitännästä ei ollut täyttä varmuutta, tietojen mukaan tällainen liitännäspaikka sorvista löytyisi. Näitä toimenpiteitä varten tarvittiin huoltomiestä, joka kunnostaisi sorvin ja varmistaisi, löytyykö robottiliitännää kyseisestä sorvista. Huoltomies kävi laittamassa sorvin kuntoon, samalla hän teki robotille sorvin puoleisen liitännän valmiiksi. Liitännästä löytyi paikat tarvittaville tulo- ja lähtösignaaleille, robotin ohjaussignaalien löytäminen ja kytkeminen jäi tehtäväksemme.



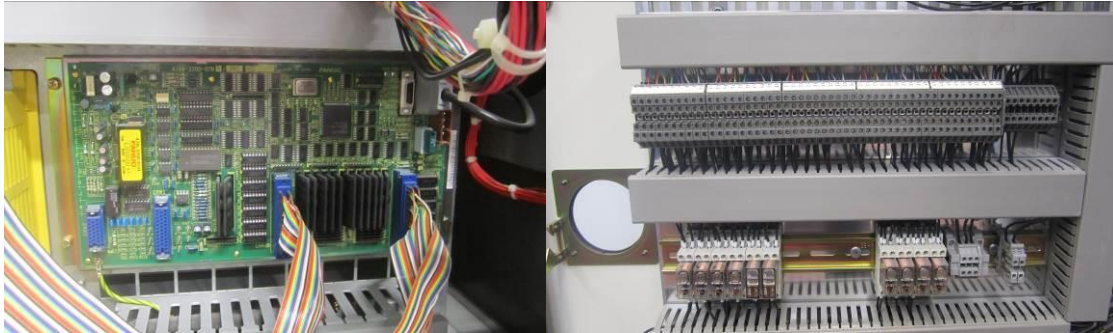
Kuvio 15. Sorvin robottiliitäntä.

Sorvi keskustele robotin kanssa M-koodia käyttämällä, kun sorvinohjelmaan sijoitetaan käsky M681, tällöin sorvi on valmiina ottamaan käskyjä vastaa robotilta. Panostuspyyntö M681-käskyn aikana robotti suorittaa seuraavat käskyt: robotti avaa sorvin oven, paikoittaa tarttujan, avaa pakan, vaihtaa/käntää kappaleen, laittaa pakan kiinni, paikoittaa tarttujan pois, sulkee sorvin oven ja käynnistää ohjelman.



Kuvio 16. Liitäntäkaavio.

Liitäntäkaavion Kuvio 16. tulkitsemisessä oli ongelmia, kuinka homma käytännössä toimisi. Liitännät kulkevat Process I/O kortilta robotin ohjausyksikön sisällä oleviin liitäntäpaikkoihin, joista releitten kautta Kuvio17. sorvin robottiliitännälle. Robotilla on kymmeniä tulo- ja lähtösignaali paikkoja, joiden kautta signaalit voidaan toteuttaa. Näiden selvittämiseksi saimme listan robotin tulo/lähtö liitännöistä, josta ilmeni mikä tulo/lähtö käsky vastaa mitäkin liitäntää.



Kuvio 17. Process I/O kortti ja robotin liitântäpaikat.

Liitântöjä aloimme tehdä saadun Liitântäkaavion 16. mukaisesti, robotin tulo/lähtölistan avulla löysimme tarvittavat liitântäpaikat joita tulimme tarvitsemaan liitântöjen tekemiseksi. Signaaleja tuli ohjata releitten kautta. Teimme liitännät huolellisesti ja turvallisuutta noudattaen. Kun saimme liitännät tehtyä, päätimme testata toimisiko yhteys.

Liitântämme eivät toimineet ensimmäisellä yrityksellä eikä työstökone vastaanottanut ohjelmoimiamme käskyjä, vaikka koneelle oli syötetty M681 panostuspyyntö käsky, jolloin kone on valmiina ottamaan käskyjä robotilta. Muutimme liitântöjä jolloin saatiin jokin käsky robotilta koneelle, koneeseemme tuli koneviasta johtuva konehälytys.

Konehälytyksen takia jouduttiin keskeyttämään kytkennät. Vikaa ei saatu enää korjattua työni aikana, joten emme päässeet yrittämään enää kättely-yhteyden muodostamista.

5.6 Robotin ohjelmointi

Ennen ohjelman tekoa robotille määritettiin User frame -koordinaatistot, sorville ja latausasemalle omansa. User frame -koordinaatiston käyttö mahdollistaa tulevaisuudessa latausaseman ja sorvin siirtämistä, jolloin laitteiden koordinaatiston uudelleen määrittämisellä ohjelma huomioi tämän eikä tarvitse koko ohjelmaa uudelleen tehdä. Mikäli ohjelma olisi tehty kokonaan käyttämällä robotin oletus World frame- koordinaatistoa, ohjelma jouduttaisiin tekemään uudelleen laitteiden siirron myötä. Työkalulle/tarttujalle tuli määrittää myös oma Tool frame -koordinaatisto.

Robotin ohjelmointi jäi vain testausohjelmien tekoon. Ohjelmia tehtiin vain pari joissa robotti haki kappaleen paikasta A ja kuljetti paikkaan B. Ohjelmointia robotin ja sorvin yhteistyön välillä ei päästy toteuttamaan, koska kommunikointia laitteiden välille ei saatu luotua. Mikäli yhteys olisi saatu toimimaan, oltaisiin ohjelmoitu robotti valmistamaan työssä määrättyä kappaletta.

6 YHTEEVETO

Työ koostui kolmesta eri osa-alueesta: solulayoutin suunnittelusta, koneturvallisuuden standardista sekä robotin ja sorvin automatisoinnista. Koneturvallisuusstandardiin SFS-EN ISO 13857 perehtyminen oli pakollista solun mitoituksen takia, koska se käsitti turvarajat vaaravyöhykkeeseen, tässä tapauksessa robottiin. Standardi määritteli turva-aitojen tarvittavat etäisyydet, joiden perusteella solua alettiin rakentaa. Layoutin suunniteluun kuului lähinnä latausaseman sijoitus solun sisälle. Asema tuli sijoittaa paikkaan, josta robotin oli helppo hakea uusi kappale jatkuvaa työstä ajatellen. Solun paikka oli ennalta määrätty, joten isompaa layoutsuunnittelua ei ollut tarve tehdä. Robotin ja sorvin välinen kommunikaatio oli työn toteutuksessa haastavin vaihe.

Turvallisuusstandardiin tutustumisen kautta löytyi tietoa ja vaatimuksia solun rakenteeseen. Turvallisuusstandardista täytyy ottaa monia turvallisuusnäkökohtia huomioon solua rakentaessa turvallisuusstandardia noudattaen. Robottisolu kasvaa suureksi robotin suurten liikealueiden ja ulottumien vuoksi, koska standardi määrittää tietyt turvaetäisyydet vaaravyöhykkeeltä. Tämän vuoksi robottisolua ei voi yrittää sijoittaa ahtaaseen paikkaan. Tämä asia tuli esille tässä työssä kun jouduttiin rajoittamaan robotin liikkeitä.

Robotin ja sorvin välinen kättely-yhteys ei ollutkaan niin helppoa. Kommunikaatioyhteyden rakentamiseen tarvitsee paljon ymmärrystä sähköalasta, sekä kokemusta laitteiden yhteistyöstä. Robotissa ja sorvissa olevien tulo- ja lähtösignaalien paikantaminen ilman ulkopuolista apua olisi ollut mahdotonta. Asiantuntijan avulla saatiin käsitystä siitä miten sen pitäisi tapahtua, sekä miten robotilla ohjattaisiin tuloja/lähtöjä.

Työn tavoitteena ollut demo-ohjelman teko jäi kokonaan tekemättä. Robotin ja sorvin välistä yhteyttä ei saatu toimimaan. Tähän osa syynä oli rahoituksen ja ajan puute. Sorvin kunnostaminen työn alussa vei 5 viikkoa. Projektin määrärahat rajoittivat työtä koska sorvin kunnostushuoltoon meni paljon rahaa, joten muista asioista säästettiin.

LÄHTEET

- Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J., & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Helsinki: Talentum.
- Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY
- Fanuc. Robot-manuaali
- Heinonkoski, R., Asp, R. & Hyppönen, H. 2008. Automaatio- helppoa elämää 1. painos. Helsinki: Opetushallitus: Suomen automaatioseura.
- Lapinleimu, I., Kauppinen, V., & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY
- Malm, T., Viitaniemi, J., Marstio, I., Toivonen, S., Koskinen, J., Venho, O., Salmi, T., Laine, E., & Latokartano, J. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen robotiikkayhdistys.
- Manninen, J., Burman, A., Koivunen, A., Kuittinen, E., Luukannel, S., Passi, S., & Särkkä, H. 2007. Oppimista tukevat ympäristöt. Helsinki: Opetushallitus.
- PATEL MACHINERY . 2009. Patel Machinery: Mori Seiki AL-2. [www.dokumentti]. PATEL MACHINERY. [Viitattu 15.4.2013]. Saatavissa: <http://www.patelmachinery.com/mori-seiki-al-2-pr72-prc1.html>
- RobotWorx. Ei päiväystä. FANUC Robot S-700 RJ,RJ2. [www-dokumentti]. RobotWorx experts in automation. [Viitattu 15.4.2013]. Saatavissa: <http://www.robots.com/fanuc/s-700>
- SFS-EN ISO 13857. 2008: Koneturvallisuus, turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Helsinki: Suomen Standardisoiimisliitto SFS r.y.
- Uusi-Rauva, E., Haverila, M., Kouri, I., & Miettinen, A. 2003. Teollisuustalous. 4. painos. Tampere: Infacs johtamistekniikka.

LIITTEET

LIITE 1. SFS-EN ISO 13857 standardi.

LIITE 1 SFS EN-ISO 13857 standardi

Liitteissä standardissa esitettyjä esimerkkitapauksia taulukoiden käytöstä.

SUOMEN STANDARDISOIMISLIITTO SFS
FINNISH STANDARDS ASSOCIATION SFS

SFS-EN ISO 13857
32

Liite A

(opastava)

Taulukoiden 1 ja 2 käyttö välissä olevilla arvoilla

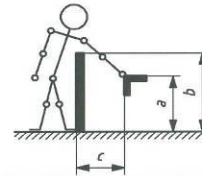
Seuraavissa esimerkeissä selitetään taulukoiden 1 ja 2 käyttöä tapauksissa, joissa käytetään muita kuin itse taulukoissa esitettäviä arvoja. Esimerkeissä käytetään taulukkoa 2.

ESIMERKKI 1 Määritetään suojarakenteen korkeus, b , kun mittojen a ja c arvot ovat tunnettuja.

Jos vaaravyöhykkeen korkeus, a , on 1 500 mm ja sen vaakasuora etäisyys, c , suojarakenteesta on 800 mm, voidaan suojarakenteen korkeus, b , määrittää taulukkoa 2 käyttäen seuraavasti. Valitaan arvo $a = 1\ 600$ mm (ks. ①), joka on lähimpänä arvoa 1 500 mm ja jonka rivillä on samalla suuremmat (turvallisemmat) turvaetäisyydet kuin arvolla $a = 1\ 400$ mm. Valitaan arvo $c = 800$ mm (ks. ②). Vastaava arvo suojarakenteen korkeudelle, b , on 1 800 mm (ks. ③).

Mitat millimetreissä

Vaaravyöhykkeen korkeus ^c a	Suojarakenteen korkeus ^{a,b} b									
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800 ③	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	Vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, c									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600 ①	1 500	1 400	1 100	900	800 ②	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0				
800	1 500	1 300	900	600	0	0				
600	1 400	1 300	800	0	0	0				
400	1 400	1 200	400	0	0	0				
200	1 200	900	0	0	0	0				
0	1 100	500	0	0	0	0				



^a Korkeudeltaan alle 1 000 mm suojarakenteita ei ole otettu mukaan, koska ne eivät rajoita kehon liikettä riittävästi.

^b Korkeudeltaan alle 1 400 mm suojarakenteita ei suositella käytettäväksi ilman täydentäviä suojaustoimenpiteitä.

^c Yli 2 700 mm korkeudella olevien vaaravyöhykkeiden osalta ks. kohta 4.2.1.

Kuva A.1 Esimerkki 1 – Taulukko 2

ESIMERKKI 2 Määritetään vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeestä, c , kun mittojen a ja b arvot ovat tunnettuja.

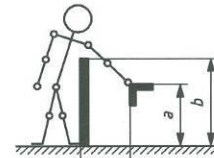
Jos suojarakenteen korkeus, b , on 1 300 mm ja vaaravyöhykkeen korkeus, a , on 2 300 mm, voidaan vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeestä, c , määrittää taulukkoa 2 käyttäen seuraavasti.

Valitaan arvo $b = 1 200$ mm (ks. ①), joka on lähimpänä arvoa 1 300 mm ja jonka sarakkeessa on samalla suuremmat (turvallisemmat) turvaetäisyydet kuin arvolla $b = 1 400$ mm. Valitaan arvo $a = 2 200$ mm (ks. ②), joka on lähimpänä arvoa 2 300 mm ja jolla on samalla suuremmat (turvallisemmat) turvaetäisyydet kuin arvolla $a = 2 400$ mm. Vastaava arvo vaakasuoralle etäisyydelle vaaravyöhykkeestä, c , on 1 200 mm (ks. ③).

Katso alahuomautus b.

Mitat millimetreissä

Vaaravyöhykkeen korkeus ^c a	Suojarakenteen korkeus ^{a,b} b									
	1 000	1 200 ①	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	Vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, c									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200 ②	1 300	1 200 ③	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0				
800	1 500	1 300	900	600	0	0				
600	1 400	1 300	800	0	0	0				
400	1 400	1 200	400	0	0	0				
200	1 200	900	0	0	0	0				
0	1 100	500	0	0	0	0				



^a Korkeudeltaan alle 1 000 mm suojarakenteita ei ole otettu mukaan, koska ne eivät rajoita kehon liikettä riittävästi.

^b Korkeudeltaan alle 1 400 mm suojarakenteita ei suositella käytettäväksi ilman täydentäviä suojaustoimenpiteitä.

^c Yli 2 700 mm korkeudella olevien vaaravyöhykkeiden osalta ks. kohta 4.2.1.

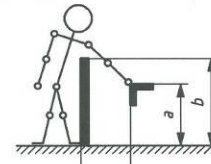
Kuva A.2 Esimerkki 2 – Taulukko 2

ESIMERKKI 3 Määritetään vaaravyöhykkeen korkeus, a , kun mittojen b ja c arvot ovat tunnettuja.

Jos suojarakenteen korkeus, b , on 1 700 mm ja vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeestä, c , on 850 mm, voidaan vaaravyöhykkeen korkeus, a , määrittää taulukkoa 2 käyttäen seuraavasti. Valitaan arvo $b = 1\ 600$ mm (ks. ①), joka on lähimpänä arvoa 1 700 mm ja jonka sarakkeessa on samalla suuremmat (turvallisemmat) turvaetäisyydet kuin arvolla $b = 1\ 800$ mm. Valitaan arvo $c = 900$ mm (ks. ②), joka on lähimpänä arvoa 850 mm (ja on suurempi sitä), ja kuvassa A.3 on korostettuna sitä vastaavat lukuisat sijaintikohdat. Vastaava arvo vaaravyöhykkeen korkeudelle, a , on vähintään 2 400 mm tai enintään 1 000 mm (ks. ③). Suojarakenteen sijoittelulla ei voida suojata vaaravyöhykkeitä, jotka ovat korkeudella $1\ 000\text{ mm} < a < 2\ 400\text{ mm}$.

Mitat millimetreissä

Vaaravyöhykkeen korkeus ^c a	Suojarakenteen korkeus ^{a, b} b									
	1 000	1 200	1 400	1 600 ①	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	Vaakasuoja turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, c									
d { 2 700 ③	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
d { 2 600 ③	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
d { 2 400 ③	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
e {				900 ②	800	600	400	300	0	0
				900 ②	800	600	400	0	0	0
				900 ②	800	600	0	0	0	0
				900 ②	800	500	0	0	0	0
				900 ②	800	0	0	0	0	0
d {	1 000 ③	1 500	1 400	1 000	800	0	0			
	800 ③	1 500	1 300	900	600	0	0			
	600 ③	1 400	1 300	800	0	0	0			
	400 ③	1 400	1 200	400	0	0	0			
	200 ③	1 200	900	0	0	0	0			
	0 ③	1 100	500	0	0	0	0			



- ^a Korkeudeltaan alle 1 000 mm suojarakenteita ei ole otettu mukaan, koska ne eivät rajoita kehon liikettä riittävästi.
^b Korkeudeltaan alle 1 400 mm suojarakenteita ei suositella käytettäväksi ilman täydentäviä suojaustoimenpiteitä.
^c Yli 2 700 mm korkeudella olevien vaaravyöhykkeiden osalta ks. kohta 4.2.1.
^d Mahdollinen.
^e Ei mahdollinen.

Kuva A.3 Esimerkki 3 – Taulukko 2

ESIMERKKI 4 Kyseessä on suuri riski: Jos vaaravyöhykkeen korkeus, a , on 1 800 mm ja jos suojarakenteena on korkeudeltaan $b = 2\ 000$ mm (taulukko 2) oleva verkkoaita, on turvaetäisyys $c = 600$ mm. Verkkoaidan aukot ovat neliskulmaisia (50 mm x 50 mm) ja taulukon 4 mukainen turvaetäisyys on $s_f = 850$ mm. Turvaetäisyyttä olisi siten suurennettava.

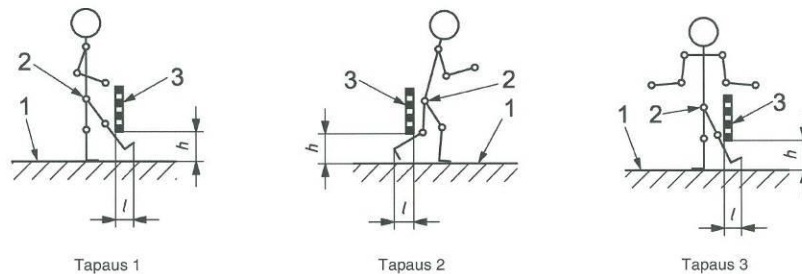
Liite B

(opastava)

Alaraajojen vapaata pääsyä rajoittavat etäisyydet

Alaraajojen vapaata liikettä olemassa olevien suojarakenteiden ali voidaan rajoittaa käyttämällä täydentävää suojarakennetta. Tässä menetelmässä tämän liitteen sisältämät etäisyydet liittyvät suojarakenteen ja maanpinnan tai vertailutason väliseen korkeuteen. Tällä menetelmällä aikaansaadaan rajoittunut suojaus; monissa tapauksissa muut menetelmät ovat sovivampia.

HUOM. Tässä esitettävät etäisyydet eivät ole turvaetäisyyksiä ja täydentäviä varoimenpiteitä saatetaan tarvita pääsyn rajoittamiseksi.

**Merkintöjen selitys**

- | | | | |
|---|--------------|-----|----------------------------------|
| 1 | vertailutaso | h | suojarakenteen alareunan korkeus |
| 2 | lonkkanivel | l | rajoittava etäisyys |
| 3 | suojarakenne | | |

Kuva B.1 Vapaan liikkeen rajoittaminen suojarakenteiden all

Taulukossa B.1 esitetään etäisyyksiä koskevia erityistapauksia, joissa alaraajojen pääsyä rajoitetaan ja joissa henkilö pysyy seisoma-asennossa (ks. kuva B.1) ilman mitään lisätukea.

Jos on olemassa liukastumisen tai vääriinkäytön vaara, voi taulukossa B.1 esitettävien arvojen soveltaminen olla sopimatonta.

Taulukossa esitettävillä arvoilla ei saisi interpoloida. Jos suojarakenteen alareunan korkeus, h , on kahden arvon välissä, olisi tällöin käytettävä suurempaa korkeuden h arvoa vastaavaa etäisyyttä.

Taulukko B.1 Etäisyydet alaraajojen pääsyn ollessa rajoitettua

Mitat millimetreissä

Suojarakenteen alareunan korkeus h	Etäisyys l		
	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
$h \leq 200$	≥ 340	≥ 665	≥ 290
$200 < h \leq 400$	≥ 550	≥ 765	≥ 615
$400 < h \leq 600$	≥ 850	≥ 950	≥ 800
$600 < h \leq 800$	≥ 950	≥ 950	≥ 900
$800 < h \leq 1\ 000$	$\geq 1\ 125$	$\geq 1\ 195$	$\geq 1\ 015$

HUOM. Pitkänomaiset aukot, joilla $e > 180$ mm, ja neljäkaiset tai pyöreät aukot, joilla $e > 240$ mm, tekevät mahdolliseksi koko kehon mahtumisen aukosta.