

Olli Alakotila

CNC-SORVAUKSEN AUTOMATISOINNIN SUUNNITTELU

**Opinnäytetyö
CENTRIA AMMATTIKORKEAKOULU
Tuotantotalous
Lokakuu 2013**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Ylivieska	Aika Lokakuu 2013	Tekijä Olli Alakotila
Koulutusohjelma Tuotantotalous		
Työn nimi CNC-SORVAUKSEN AUTOMATISOINNIN SUUNNITTELU		
Työn ohjaajat Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Sivumäärä 85 + 12 liitettä
Työelämäohjaaja Jukka Hannula		
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin nivalalaiselle Pro Estore Oy:lle, jonka toimialana on työstöpalvelut. Työn tavoitteena oli esittää toteuttamiskelpoinen suunnitelma CNC-sorvin panostuksen automatisoinnista sisältäen tarraimen, paletin ja turvallisuusnäkökohdat. Työssä piti huomioida myös käsin panostus ja tangonsyöttölaitteen käyttömahdollisuus.</p> <p>Teoriaosuus käsittelee manipulaattorien mekaniikkaa ja teollisuusrobotteja sekä niiden toimilaitteiden ohjaamiseen käytettävää sähköistä servotekniikkaa sisältäen aseman ja siirtymiskulman mittauksen anturityypit. Teoriaosuus sisältää myös manipulaattoreissa ja teollisuusroboiteissa käytettävien tarraimien tyypit ja mekanismit ja tarraimien suunnittelun. Teoriaosuuden lopussa käsitellään robottijärjestelmän suunnittelua sisältäen turvallisuusnäkökohdat.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla automatisoinnin kohteena olevaan sorviin. Seuraavaksi selvitettiin käytettävissä oleva tila ja suunniteltiin siihen sopivia manipulaattori- ja robottivaihtoehtoja. Prosessista saaduilla vaatimuksilla suunniteltiin palettilevy ja tarrain sisältäen passiivisen joustoelementin. Turvallisuuden vaikutukset etenkin tilankäyttöön selvitettiin.</p> <p>Työn tuloksena saatiin liikuteltava robottilava. Robotille valittiin sopiva tarrain ja passiivisten joustoelementtien yhdistelmä sekä suunniteltiin tarraimen sormet ja palettilevy. Turva-aidoille ja valoverhoille saatiin korkeudet ja etäisyydet vaarankohteesta sekä määriteltiin turvallisuuden vaadittava suoritustaso PL_d. Työn liitteenä on myös riskin arviointi suunnitellulle koneryhmälle.</p> <p>Työn toteuttamisessa käytettiin ABB:n Robot Studio -etäohjelmointiohjelmaa alkusuunnittelun simuloinneissa. Teoriaa sovellettiin ratkaisujen suunnitteluun ja valintaan. Simuloinneissa käytetyt rakenteet suunniteltiin Autodesk'in Inventor Pro 2012 -ohjelmalla. Työn tulos simuloitiin lopuksi Visual Components'in 3DCreate -ohjelmistolla, josta saatiin 3D-PDF suunnitelman esittämiseen.</p>		

Asiasanat

koneturvallisuus, manipulaattori, robottijärjestelmä, servotekniikka, teollisuusrobotti

ABSTRACT

Unit Ylivieska	Date October 2013	Author Olli Alakotila
Degree programme Industrial Management		
Name of thesis PLANNING THE AUTOMATIZATION OF A CNC-LATHE		
Instructor Jari Kaarela, Sakari Pieskä		Pages 85 + 12 appendices
Supervisor Jukka Hannula		
<p>This thesis was made for Pro Estore Oy, whose factory is located in Nivala, Finland. Pro Estore's field of business is machining services. The goal of this thesis was to present a feasible plan of automatization of the tending of a CNC-lathe, including the gripper, the pallet and safety considerations. The automatization plan had to include a possibility for manual machine tending and the use of bar feeding device.</p> <p>The theory section of this thesis focuses on manipulator mechanics, industrial robots and electrical servo technology, which are used to control manipulator and robot actuators. The theory also covers gripper types and mechanisms as well as planning of a gripper. The end part of the theory discusses the planning of a robot system and safety considerations.</p> <p>The work started with familiarizing with the CNC-lathe. The next step was to determine the available space and to plan manipulator and robot implementations that would fit in the required space. A pallet and a gripper with alignment device were designed on the basis of the demands gathered from the process. Safety requirements that would affect especially to the layout were determined.</p> <p>The result was a movable robot platform. A suitable gripper and the combination of alignment devices were selected. In addition, the gripper fingers and pallet were designed. The height and the horizontal distance to protective structures, that is safety fences and light curtains, were defined. The required performance level was specified as PL_d. In addition, a risk assessment for the installation was carried out and it was enclosed to this thesis.</p> <p>In carrying out the process ABB Robot Studio software was used to simulate the early plans. The theory was applied in planning and selecting the right components. 3D structures used in the simulations were designed using Autodesk Inventor Pro 2012. Finally, the outcome of this job was simulated using Visual Component 3DCreate which resulted in a 3D-PDF document to present the plan.</p>		

<p>Key words industrial robot, manipulator, robot systems, safety of machinery, servo technology</p>

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

CNC	Computerized Numerical Control.
DOF	Degree Of Freedom. Perusliikkeen tai nivelen vapausaste.
Kaskadikytkentä	Kaskadikytkentä (kaskadisäätö, cascade control) sisältää kaksi säätöpiiriä, jotka ovat sisäkkäin. Kaskadikytkennässä prosessin yhtä lähtömuuttujaa säädetään kahdella keskenään sarjassa olevalla säätimellä.
NC	Numerical Control.
P -säätö	P -sädössä (P -osa, Proportional Control) säätimen lähtö riippuu eroosuureesta painotettuna vahvistavalla termillä. P -säätö on yksinkertainen ja usein lähtömuuttujan ja tavoitetilan välille jää pysyvä virhe (offset -virhe).
PI -säätö	PI -säätö (integraiva säätö, Proportional + Integral control) sisältää integraivan osan, joka kasvaa, jos erosuure > 0 ja vähenee, jos erosuure < 0 . PI -säätö on tarkka ja poistaa offset-virheen.
PD -säätö	PD -sädön (derivoiva säätö, Proportional + Derivate control) derivoiva osa kuvaa erosuureen muutosnopeutta tietyllä ajan hetkellä.
PID -säätö	PID -säätö (Proportional + Integral + Derivate control).
PLC	Programmable Logic Controller. Ohjelmoitava logiikka.
TCP (TKP)	Tool Center Point (Työkalupiste). Työkalulle ohjelmoitu piste, jota voidaan käyttää ohjelmassa liikeratojen ohjelmointiin.

RCC

Remote Center Compliance. Passiivinen tarrainen tai työkalun joustoelementti, joka joustaa yleensä x-y -tasossa ja sallien pienet kulmajoustot.

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 PRO ESTORE OY	3
3 SORVAAMINEN	5
4 MANIPULAATTORIT JA NIIDEN MEKANIikka	8
5 SERVOTEKNIikka	11
5.1 Sähköiset servojärjestelmät	12
5.1.1 Siirtymän ja kiertymiskulman mittaus	13
5.1.2 Servovahvistin	16
5.1.3 Servomoottori	16
6 TEOLLISUUSROBOTTI	22
6.1 Robottijärjestelmän komponentit	23
6.2 Robottien rakenteet	23
6.3 Robottikinematiikka	27
6.4 Robottiohjelmointi	30
6.4.1 Johdattamalla ohjelmointi	31
6.4.2 Taluttamalla ohjelmointi	31
6.4.3 Opettamalla ohjelmointi	32
6.4.4 Mallipohjainen (graafinen) etäohjelmointi	33
7 TARRAIMET	35
7.1 Mekaaniset tarraimet	36
7.2 Imu- ja tyhjiötarraimet	37
7.3 Magneettitarrain	38
7.4 Tarraimen suunnittelu	38
7.4.1 Passiivinen joustoelementti	39
8 ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU	41
8.1 Robotisoinnin alkusuunnittelu	41
8.2 Oheislaitteiden sijoittelu ja valinta	42
8.3 Järjestelmän mallintaminen	43
8.4 Simulointitekniikat	44
8.5 Robottijärjestelmän hankinta	44
8.6 Turvallisuus	45
9 TYÖN TOTEUTUS	51
9.1 Manipulaattorivaihtoehtojen selvitys	52
9.2 Robottivaihtoehtojen selvitys	55
9.3 Liikuteltavan robottilavan suunnittelu	59
9.4 Paletin suunnittelu	60
9.5 Tarttujan suunnittelu	63

9.6 Joustoelementin valinta	66
9.7 Kohdistin- ja mittatelineiden suunnittelu	68
9.8 Turvallisuusnäkökohtien vaikutus suunnittelussa	70
9.9 Kannattavuuden selvitys	71
10 TYÖN TULOKSET	73
11 YHTEENVETO JA POHDINNAT	78
LÄHTEET	81
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Pro Estore Oy:n toimitilat Nivalan teollisuuskylässä	3
KUVIO 2. Kärkisorvin rakenne	5
KUVIO 3. CNC-monitoimisorvin akselit	6
KUVIO 4. EMCOTURN 345-II kara ja revolveri	7
KUVIO 5. EMCOTURN 345-II, layout ja ohjausyksikkö sorvin oikealla puolella	7
KUVIO 6. Manipulaattorimekanismien kuusi mahdollista pariliitostapaa	8
KUVIO 7. Feston DHSR-10 kolmiakselinen manipulaattori	9
KUVIO 8. Servojärjestelmän periaatteellinen rakenne	12
KUVIO 9. Resolverin toimintaperiaate ja asentokulman ilmaiseminen pulssilla	14
KUVIO 10. Inkrementtisen pulssianturin rakenne	15
KUVIO 11. Absoluuttianturin toimintaperiaate ja binäärikoodattu pulssiekikko	15
KUVIO 12. Tasavirtaservomoottorin rakenne	17
KUVIO 13. Harjallisen (vas.) ja harjattoman tasavirtaservomoottorin rakenne	18
KUVIO 14. AC-synkroniservomoottorin rakenne	19
KUVIO 15. Muuttuvan reluktanssin askelmoottorin toimintaperiaate	21
KUVIO 16. Portaalirobotti ja työalue	24
KUVIO 17. SCARA-robotti ja työalue	25
KUVIO 18. Kiertyväniwelinen 6- ja 7-akselinen robotti ja työalue	26
KUVIO 19. Sylinterirobotin rakenne ja työalue	26
KUVIO 20. Kaksi rinnakkaisrakenteista robottia, kevyt vasemmalla puolen, raskas oikealla puolen	27
KUVIO 21. Oikeankäden sääntö	27
KUVIO 22. Robotin koordinaatistoja	28
KUVIO 23. 6-akselisen nivelvarsirobotin kinemaattinen ketju	29
KUVIO 24. Paikoitus kahdella eri konfiguraatiolla, ns. kaksoismerkitysongelma	30
KUVIO 25. Mallipohjaisen etäohjelmoinnin tekniikka	33
KUVIO 26. Mekaanisia tarraimia	37
KUVIO 27. Paikka- ja orientaatiovirhettä korjaava joustoelementti	40
KUVIO 28. Riskigraafi vaadittavan suoritustason PL_r määrittämiseksi turvatoiminnolle	50
KUVIO 29. Ensimmäinen suunniteltu servotoiminen manipulaattorivaihtoehto	53
KUVIO 30. Jatkokehitykset manipulaattorivaihtoehdot z-akselin nivelellä	54
KUVIO 31. Motoman HP-6 työalue	55
KUVIO 32. Ensimmäisiä robotisuunnitelmia haku- ja purkuradalla ja kaksiosaisen tarttujan liikkeiden simulointi	56
KUVIO 33. Erikokoisten palettien vaikutus työalueeseen. Vasemmalla 5x8 paletti ja oikealla 9x9 paletti	57
KUVIO 34. Robotin kattoasennusvaihtoehto	57

KUVIO 35. Robotin seinäasennusvaihtoehto	58
KUVIO 36. Robottilavan rakenne	60
KUVIO 37. Lavan paikoituskartiot	60
KUVIO 38. Valmiin palettilevyn kokoonpano	62
KUVIO 39. SMC:n ohje tartuntavoimien laskentaan	63
KUVIO 40. Tartuntapisteen etäisyyden ja tartuntapaineen vaikutus tuotettavaan tartuntavoimaan	64
KUVIO 41. Tarraimen, sormien ja osan 3D-mallit sormien suunnittelussa	66
KUVIO 42. IPR Compliance Wrist FM-100 -mallin toimintaperiaate	67
KUVIO 43. IPR Z-axis Compliance Device ZN-100 -mallin toimintaperiaate	67
KUVIO 44. Kohdistinteline	68
KUVIO 45. Mittateline	69
KUVIO 46. Robotin tartunta hakupaletin ensimmäisestä osasta	73
KUVIO 47. Robotin vientiliike ensimmäiselle (vas.) ja viimeiselle (oik.) purkuriville	74
KUVIO 48. Robotin lineaariliikkeen ääriasento hakupaletin päällä	74
KUVIO 49. Robotin lineaariliikkeen ääriasento purkupaletin päällä	74
KUVIO 50. Robotin sijoitus peruskoordinaatiston ja sorvin istukan linjalle (vasemmalla) sekä robotin liikkeen äärialue sorvin sisällä (oikealla)	75
KUVIO 51. Tarttujan sormien tila viereisiin osiin kiinni -tilaisena	75
KUVIO 52. Liikeratojen varmistus mitta- ja kohdistintelineelle	76
KUVIO 53. Lineaariliikkeen rajoittuneisuus mitta- ja kohdistintelineiden alapuolella viallisten osien laatikon sijoitusta suunniteltaessa	76

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Feston DHR-10 manipulaattorin tekniset tiedot	9
TAULUKKO 2. Robotin ohjelmointitapoja	31
TAULUKKO 3. Simulointitekniikat	44
TAULUKKO 4. Robotisoinnin kannattavuus vapautuvan työajan hyötynä	72

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana oli nivalalainen Pro Estore Oy, jolla oli tarve selvittää CNC-sorvin automatisoitua panostusta joko manipulaattorilla tai robotilla. Työn haastavuutta lisäsi se, että kyseistä sorvia olisi pystyttävä panostamaan myös käsin, myös tangonsyöttölaitteen kautta. Rakenteen oli siksi oltava liikuteltava tai mahdollisimman vähän käsin tehtävää panostusta haittaava silloin, kun solu ei olisi automaattiajolla. Lisäksi piti huomioida tarve mitata valmistunut kappale. Työn tavoitteeksi muodostuikin toteuttamiskelpoinen esitys CNC-sorvin panostuksen automatisoinnista sisältäen tarraintyökalun ja paletin sekä turvallisuusnäkökohdat.

Työstä rajattiin pois käytännön toteutus ja ohjelmointi, sorvatun kappaleen laaduntarkistusmittauksen suunnittelun tekninen toteutus ja teoria sekä tarkemmat kustannuslaskelmat. Lisäksi työ rajattiin koskemaan vain yhden, sorvin istukan ja vastakaran väliin tulevan kappaleen käsittelyä. Erilaisten kappaleiden ja siten erilaisten tartuntatapojen suunnittelu olisi jatkokehitystä, mutta työssä koetettiin huomioida jatkokehityksen mahdollisuudet. Keskittyminen yhteen tuotteeseen oli selvää, koska se oli selvästi volyymituote, muiden tuotteiden ollessa lähinnä piensarjatuotantoa.

Työ alkoi tutustumalla automatisoinnin kohteena olevaan sorviin, EMCOTURN 345-II:een sekä sen käyttäjiin ja sorvilla tehtäviin tuotteisiin. Automaattiratkaisulle käytettävissä olevaa tilaa selvitettiin. Lisäksi käsiteltiin automatisoinnin kohteena olevan tuotteen työkiertoa tehtaassa, jolloin saatiin reunaehdot kappaleen käsittelylle ja paletille. Sorvin automatisoitu panostus ei ollut entuudestaan tuttua, vaikka robottien käytöstä olikin jonkin verran kokemusta, joten seuraavaksi tutkittiin perusteellisesti valmiita automaatiotoimittajien ratkaisuja sekä robottivalmistajien videoita koettaen löytää parhaita yritykselle sopivia ratkaisuja. Yrityksellä oli aiemmin tuotantokäytössä ollut Motoman HP-6 robotti vapaana, joten se ohjasi robottiratkaisun toimintamalleja. Yleisesti voi kuitenkin todeta, että liikuteltavuus ei ole robottisoluissa yleistä, joten valmiita ratkaisuja ei ollut paljon. Manipulaattoriratkaisuja oli enemmän, eivätkä ne haittaisi käsin panostusta. Työn edetessä tarjouskyselyihin asti kävi selväksi, että halutulla kustannustasolla olemassa olevan robotin hyödyntäminen olisi halvin, käyttöönnotossa tuotantoa vähiten haittaava ja riskittömin vaihtoehto.

Tämä opinnäytetyö keskittyy liikuteltavan robottisolun suunnitteluun ja sitä ohjaaviin turvallisuusnäkökohtiin. Työn alussa käydään kuitenkin läpi CNC-sorvien teoriaa sekä manipulaattorien suunnittelua, koska työssä vertailtiin manipulaattorin tai robotin käyttöä CNC-sorvin panostamisessa. Tarttujan suunnittelun peruseriaatteet pätevät sekä manipulaattori-että robottivaihtoehdoissa. Teoriaosa painottuu kuitenkin siis robotteihin. Suunnittelua ohjasi myös turvallisuusnäkökohdat, josta tärkeimpänä SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Lisäksi suunnittelussa käytettiin apuna monia muita SFS standardeja, mutta koneyhdistelmän tai koneryhmän CE -merkintä rajattiin pois, koska katsottiin, että se olisi jo oma opinnäytetyönsä.

2 PRO ESTORE OY

Pro Estore Oy, joka sijaitsee Nivalan teollisuuskylässä, on omassa asiakaskunnassaan tunnettu työstöpalveluiden moniosaajana. Yritys on perustettu vuonna 2000, ja sen omistavat managing director Tommi Löytynoja ja production designer Vesa Konttila. Yrityksen liikevaihto on 4,2 miljoonaa euroa, ja se työllistää yhteensä 26 henkilöä, yhtenä heistä työni ohjaajan financial manager & designer Jukka Hannulan.



KUVIO 1. Pro Estore Oy:n toimitilat Nivalan teollisuuskylässä

Pro Estoren (2013) ydinosaamista on erikoistuminen sorvattujen ja jysyttävien tuotteiden valmistukseen. Tämän lisäksi yrityksen toimintaan kuuluu erilaisten mekaanisten laitteiden suunnittelu, valmistus ja kokoonpano. Asiakkaat, jotka arvostavat korkeaa laatua ja täsmällisiä toimituksia, ovat mekaanisten ja elektronisten laitteiden valmistajia muun muassa seuraavilta toimialoilta:

- metalliteollisuus
- konepajateollisuus
- elektroniikkateollisuus
- ilmailuteknologia
- optoelektronikka

- aseteollisuus
- medikaalituotteiden valmistus.

Pro Estoren (2013) konekanta CNC-työstöön on seuraava:

- 7 kpl pystykaraisia työstökeskuksia
- 2 kpl vaakakaraisia työstökeskuksia
- 12-paikkainen paletinvaihtojärjestelmä.

Pro Estoren (2013) konekanta CNC-sorvaukseen on seuraava:

- 11 kpl erittäin monipuolisesti varusteltuja sorveja, joista
- 3 kpl 10-akselisia ns. pitkäsorvausautomaatteja.

Yrityksen toimintajärjestelmä koostuu sertifioiduista SFS-ISO 9001 laatu järjestelmästä ja SFS-ISO 14001 ympäristöjärjestelmästä. Pro Estore Oy:n arvoja ovat:

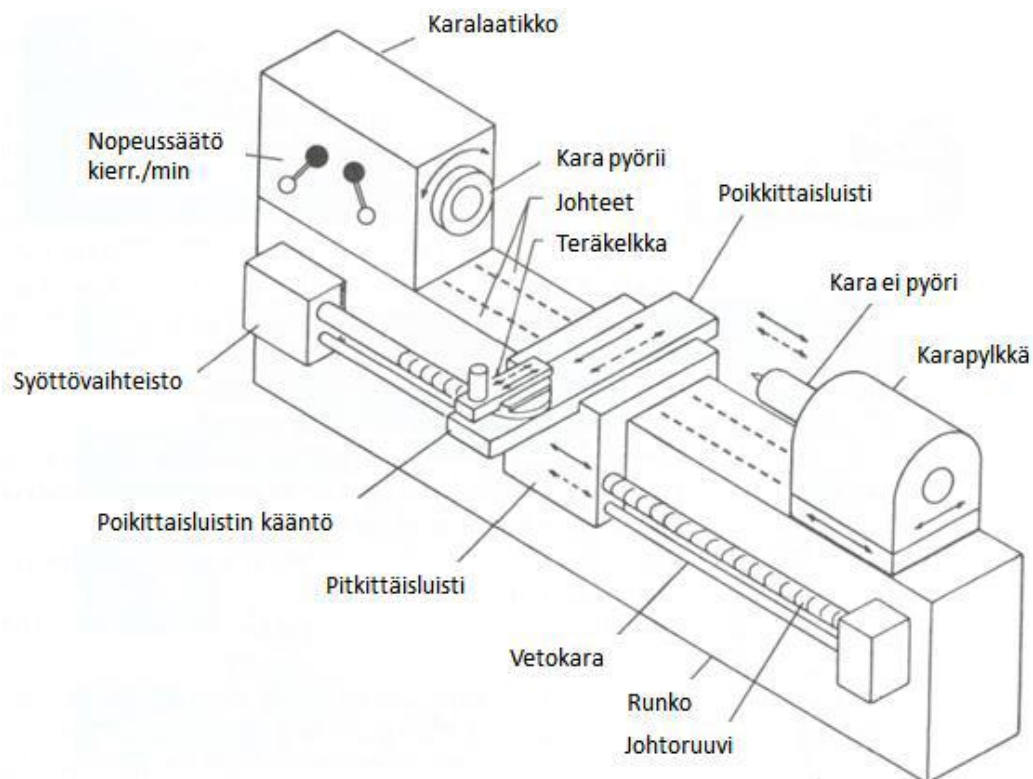
- vahva ammattitaito kaikilla toimintansa osa-alueilla
- joustava toimintatapa
- asiakaslähtöinen toiminnan kehittäminen
- teknologian vahva hyödyntäminen. (Pro Estore Oy 2013.)

Keskittyminen ydinosamiseen ja laatuun on selvästi kannattanut, sillä yrityksen henkilöstömäärä on pysynyt vakaana, hieman jopa kasvaen. Ensimmäisestä tutustumiskäynnistä lähtien yrityksen työntekijöistä huokui hyväntuulisuus, ja työn edetessä huomasi, että työntekijät ovat ammattitaitoisia ja erittäin avuliaita.

3 SORVAAMINEN

Sorvaaminen on eräs lastuavan työstön tärkeimmistä menetelmistä. Siinä työkappale on kiinnitettynä koneen pääkaralle, yleensä istukkaan. Työkappale pyörii akselinsa ympäri, ja lastuaminen tapahtuu syöttämällä terää kappaleen halkaisijan- ja akselin pituussuunnassa. Sorvatut kappaleet ovat yleensä ns. pyörähdyskappaleita, kuten akselit, ruuvit, kartiot ja holkit. Sorvaamalla voidaan koneistaa ulko- ja sisäpuolisia muotoja, otsapintaa sekä pistämällä uria ja olakkeita. Sorvauksen työstöarvoja ovat lastuamis- eli kehänopeus (v , m/min tai m/s), syöttö (s , mm/r) ja lastuamissyvyys (a , mm). (Keinänen & Kärkkäinen 1998, 106, 126; Jalli 2013, 13–15.)

Sorvityypit ovat Keinäsen ja Kärkkäisen (1998, 126) mukaan kärkisorvi, resolverisorvit, tasoisorvit, karusellisorvit, automaatti- ja puoliautomaattisorvit, NC-sorvit ja erikoissorvit. Käsini ohjatussa sorvauksessa yleisimmin käytetyn sorvityypin, kärkisorvin, rakennetta on esitelty kuviossa 2.



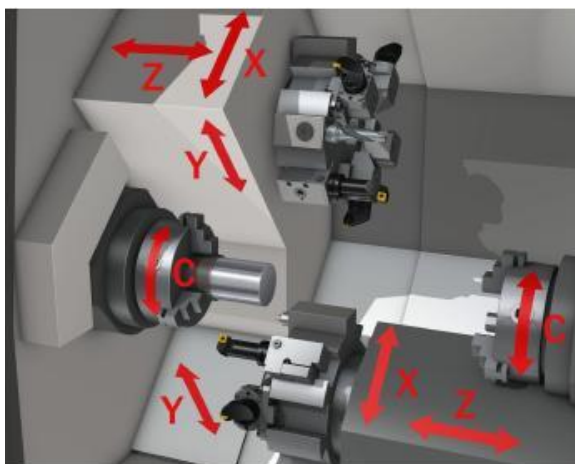
KUVIO 2. Kärkisorvin rakenne (Jalli 2013, 15)

CNC-sorvaus ei lastuamistekniikan osalta eroa käsin ohjatuista sorveista. Erot ovat ohjauksessa. CNC-sorvien tavallisin tyyppi on vaakakarainen, vinojohteinen numeerisesti ohjattu sorvi, jossa kara on vaakasuorassa ja sen nopeus on portaattomasti säädettävissä, jolloin vakiolastuamisnopeuden käyttö on mahdollista. Vinojohteiden johdosta lastujen poisto on helppoa, ja johteet ja johtoruuvit ovat hyvin suojattuja. Luistien käyttömootorit ovat portaattomasti säädettäviä. Työkalut, joita on yleensä 8–12 kappaletta, kiinnitetään käännettävään revolveriin. (Keinänen & Kärkkäinen 1998, 114–115.)

CNC-sorvien ohjelmoitavia toimintoja ovat Keinäsen ja Kärkkäisen (1998, 115) mukaan:

- kaksi ohjelmoitavaa akselia, poikittaissuunta X ja pituussuunta Z
- karan pyörimisnopeuden ja -suunnan valinta
- karan käynnistys ja pysäytys
- työkalun vaihto
- portaaton syöttönopeuden valinta
- ohjelmoitava kärkipylkkä.

CNC-monitoimisorveissa on myös pyörivät terät, ohjelmoitava vastakara kaksipuoliseen koneistukseen yhdistettynä usein toisella revolverilla ja Y-akseli epäsymmetriseen avarrukseen ja jyrsintään. CNC-monitoimisorvien rakennetta ja akseleita on kuvattu kuviossa 3.



KUVIO 3. CNC-monitoimisorvin akselit (Sandvik Coromant 2013)

Tämän työn automatisoinnin kohteena olevassa EMCOTURN 345-II:ssa on ohjelmoitava karan C-akseli sekä ohjelmoitavat X- ja Z-akselit ja työkalun vaihtoon revolveri. EMCOTURN 345-II:sen kara sekä revolveri, jolla saadaan X- ja Y-liikkeet on kuvattu kuviossa 4.



KUVIO 4. EMCOTURN 345-II kara ja revolveri

Kuviossa 5 on esitelty EMCOTURN 345-II:sen työaluetta ja tangonsyöttölaitteen viemää tilaa sekä ohjausyksikköä sorvin oikealla puolen. Automaattilaitteiden turvalaitteet eivät saisi estää tangonsyöttölaitteen vetolaitteen kautta tapahtuvaa käsin panostusta, ja ohjausyksikön toivottiin jäävän turvalaitteiden ulkopuolelle asetusten helppoa tarkistamista varten.



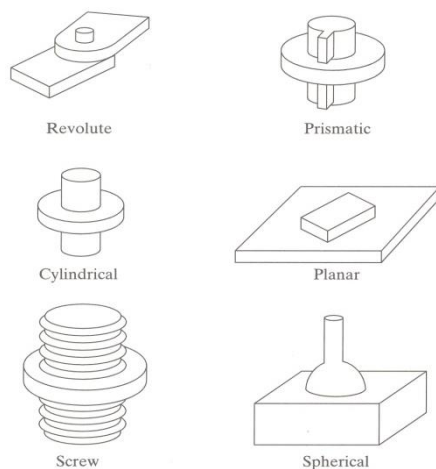
KUVIO 5. EMCOTURN 345-II, layout ja ohjausyksikkö sorvin oven oikealla puolella

4 MANIPULAATTORIT JA NIIDEN MEKANIikka

Manipulaattorille ei ole ihan täysin selkeää määritelmää. Suomalainen automaatiovalmistaja Orfer (2013b) määrittelee manipulaattorin seuraavasti:

- laite, joka liikuttaa kappaleita, osia tai erikoislaitteita pystyen vain yksinkertaisiin tehtäviin
- tiettyä tehtävää varten suunniteltu mekaaninen laite
- voidaan ohjelmoida tai käyttäjä voi reaaliaikaisesti ohjata
- ohjelmointi logiikkaohjauksella.

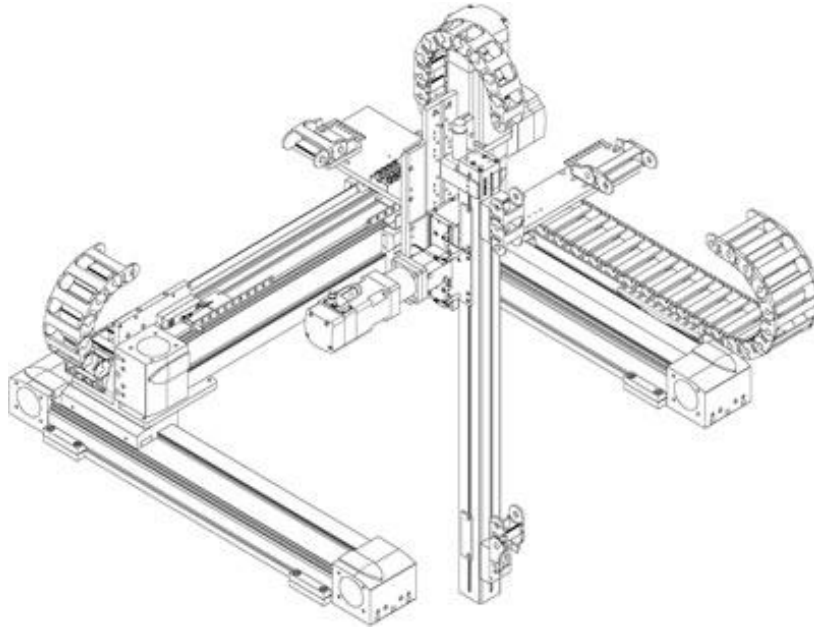
Yleisesti voidaan todeta, että mekanismiopillisesti manipulaattorimekanismit koostuvat jäsenistä ja pareista (Airila 1999, 3:27). Kuviossa 6 kuvataan kuusi erilaista tapaa pariliitoksille. Useimmissa manipulaattoreissa liitokset ovat joko nivelmekanismeja (revolute joints) tai lineaariliike -tyyppisiä (prismatic joints) (Craig 2005, 63).



KUVIO 6. Manipulaattorimekanismien kuusi mahdollista pariliitostapaa (Craig 2005, 63)

Perinteisesti koneautomaatiossa käytettävät lineaariliikkeet on toteutettu muuttamalla pyöriivällä liikkeellä lineaariseksi mm. kuularuuvi-, hammastanko- tai hammashihnakäyttöjen avulla (Hirvonen 2001, 7). Lineaariliike saadaan aikaiseksi myös lineaaritoimilaitteella, esim. pneumatiikkasyylinterillä, mutta pneumatiikkasyylintereillä on vain kaksi tarkkaa asemaa: kummatkin päädyt (Moilanen 2007, 2). Yleisimmät manipulaattorirakenteet ovat joko vaaka- tai pystymanipulaattoreita (Liski 2011, 8). Tämän työn aikana tutkittiin

hammashihnakäyttöisiä manipulaattoreita. Kuvion 7 mukaisesta Feston gantry -tyyppisestä manipulaattorista pyydettiin tarjous, ja myös yksi automaatiotoimittaja, jolta pyydettiin tarjousta, käyttää Feston manipulaattorirunkoja tuotteissaan. Feston manipulaattori toimii servo- ja askelmoottoreilla ja hammashihnakäytöllä. Tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1.



KUVIO 7. Feston DHSR-10 kolmiakselinen manipulaattori (Festo 2013)

TAULUKKO 1. Feston DHSR-10 manipulaattorin tekniset tiedot (Festo 2013)

Data sheet

Feature	values
Assembly	Three-dimensional gantry 10
Effective load	0 ... 10 kg
Drive unit, Z axis	DGEA-25
Drive system, Z axis	Electrical toothed belt drive
Intermediate position, Z axis	Any
Stroke, Z axis	0 ... 400 mm
Repetition accuracy in the end position, Z axis	± 0,05 mm
Drive unit, Y axis	EGC-120-TB
Drive system, Y axis	Electrical Toothed belt drive with ball bearing guide
Intermediate position, Y axis	Any
Stroke, Y axis	0 ... 2.000 mm
Repetition accuracy in the end position, Y axis	± 0,08 mm
Repetition accuracy in the intermediate position, Y axis	± 0,08 mm
Drive unit, X axis	EGC-120-TB
Drive system, X axis	Electrical Toothed belt drive with ball bearing guide
Intermediate position, X axis	Any
Stroke, X axis	0 ... 8.500 mm
Repetition accuracy in the end position, X axis	± 0,08 mm
Repetition accuracy in the intermediate position, X axis	± 0,08 mm

Hihnavetoisen vaakamanipulaattorin perustoimintaperiaatteena on kelkkarakenne, jossa manipulaattorijohteen kylkiin on kiinnitetty pyöröakselit, jotka toimivat laakerin liukupintana. Manipulaattorin toiseen päähän asennetaan servomootorilla ja vaihteella toimiva vetohammaspyörästö, ja toiseen päähän asennetaan niin sanottu taittopyörä, jonka kautta hammashihna kulkee. Hammashihna kulkee sekä johdepalkin sisällä että johteen ulkopinnassa olevassa C-kirjaimen muotoisessa urassa, ja sen molemmat päät ovat kiinnitettyinä johteella liukuvaan kelkkaan. Hihnan kiristämistä varten kelkan keskellä on kierretanko ja hammastetut vastinkappaleet, joiden väliin hihna puristetaan. (Liski 2011, 8–9.)

Hihnavetoisessa pystymanipulaattorissa johteen päissä ei ole taittopyöräyksikköä, vaan hammashihna on kiinni johteessa molemmista päistään. Toiseen päähän asennetaan kiristin. Pystyliikkeessä johde liikkuu ollessaan kiinnitettynä laakereilla kelkassa. Pystyliikkeen johteen ja sen päähän kiinnitetyn toimilaitteen massan vuoksi on syytä valita jarrullinen moottori, jotta asema saadaan säilytettyä hätäseis-tilanteissa. (Liski 2011, 9–10.)

Seuraavassa luvussa keskitytään tämän työn kannalta oleelliseen servotekniikkaan, erityisesti sähköisiin servojärjestelmiin ja esitelty teoria koskee sekä manipulaattoreiden että myös luvun 6 teollisuusrobottien manipulaattorirakenteiden (käsivarsien) ohjaamista.

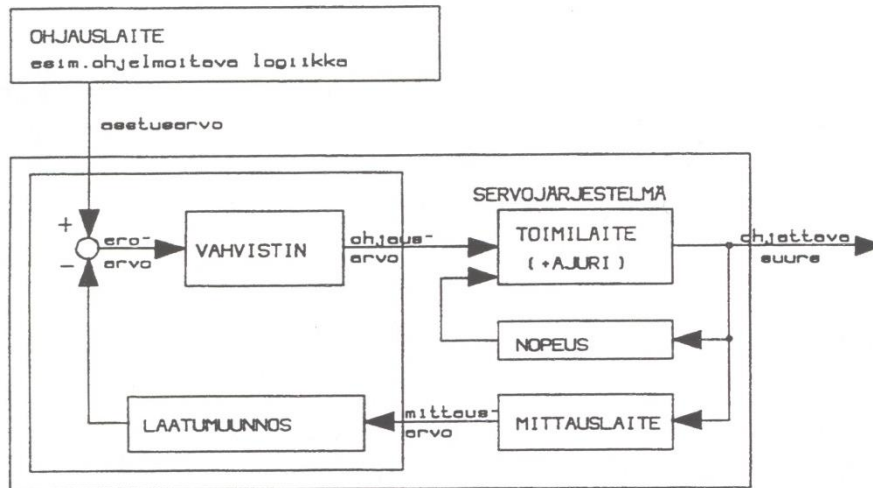
5 SERVOTEKNIikka

Servotekniikka on perusteiltaan prosessinohjausta, jossa yhtä tai useampaa suuretta pyritään hallitsemaan säädöillä. Säädettävän suureen mukaan puhutaan

- asemaservosta
- nopeusservosta
- voimaservosta tai
- momenttiservosta.

Ympäristöstä rajatut signaalit, jotka vaikuttavat prosessiin tai signaalit, joilla prosessi vaikuttaa ympäristöön, jaetaan ohjaus-, häiriö- ja lähtösignaaleihin. Häiriösignaaleista huolimatta lähtösignaali pyritään pitämään vakiona tai muuttamaan sitä tietyn ohjeen mukaan joko ohjaamalla tai säätämällä. Ohjauksessa ohjaussignaali saadaan ohjauslaitteen generoimana suoraan käskysignaalista, jolloin lähtösignaali seuraa käskysignaalin antamaa ohjearvoa. Häiriöiden johdosta käskysignaali voi erota lähtösignaalista. (Fonselius, Rinkinen & Vilenius 1998, 7–11.)

Säädössä mittasignaaliin saatua arvoa verrataan käskysignaaliin (eroarvo) ja ohjaussignaalia muutetaan tarpeen mukaan, jotta haluttu arvo saavutettaisiin. Tällöin eroarvo on nolla. Tätä kutsutaan takaisinkytkennäksi, ja se on oleellinen toiminto servotekniikassa. Takaisinkytkennän takia servojärjestelmillä on taipumusta värähtelyyn. Mitä tarkempi säätö halutaan, sitä enemmän erosignaalia täytyy vahvistaa, mutta liian suuri vahvistus johtaa värähtelyyn. Hitaiden järjestelmien säätöön riittää P -säätö, nopeissa järjestelmissä käytetään PI- tai PID -säätöä ja useita takaisinkytkentöjä. (Fonselius ym. 1998, 7–11; Kippo & Tikka 2008, 130–136.)



KUVIO 8. Servojärjestelmän periaatteellinen rakenne (Fonselius ym. 1998, 8)

Koneautomaatiossa käytetään yleensä sähköisiä tai sähköhydraulisia servojärjestelmiä, ja toimilaitteina voivat olla erilaiset moottorit tai sylinterit. Sähköpneumaattisten servojärjestelmien käyttö on hankalampaa, koska ilman kokoonpuristuvuus tekee säätämisestä hankalaa. Teollisuudessa servojärjestelmiä käytetään prosessiteollisuuden venttiileissä, konepajojen kopiotyöstökoneissa, sahaus- ja hitsausautomaateissa ja CNC-työstökoneissa sekä tämän työn aihealueena olevissa CNC-sorveissa, kappaleenkäsittelyautomaation siirto- ja kuljetuslaitteissa sekä teollisuusroboteissa. (Fonselius ym. 1998, 7.)

5.1 Sähköiset servojärjestelmät

Sähköiset servojärjestelmät koostuvat pelkästään sähköisistä komponenteista, joita ovat ohjaimet, anturit, vahvistimet ja toimilaitteet. Toimilaitteina ovat tyypillisesti DC- tai AC-moottorit, mutta myös oikosulku- ja askelmoottoreita voidaan käyttää. Tyypillisimpiä sähköisiä servojärjestelmiä ovat nopeusservot, joissa tärkein takaisinkytkentä on nopeustakaisinkytkentä, joka saadaan yleensä suoraan servomoottorin yhteyteen liitetystä takogeneraattorista. Myös asemaservot ovat tyypillisiä sähköisiä servojärjestelmiä, joissa tärkein takaisinkytkentä on asematakaisinkytkentä, joka yleensä saadaan pulssianturilta, tällöin myös saadaan usein nopeustieto. (Fonselius ym. 1998, 123, 155–156.)

5.1.1 Siirtymän ja kiertymiskulman mittaus

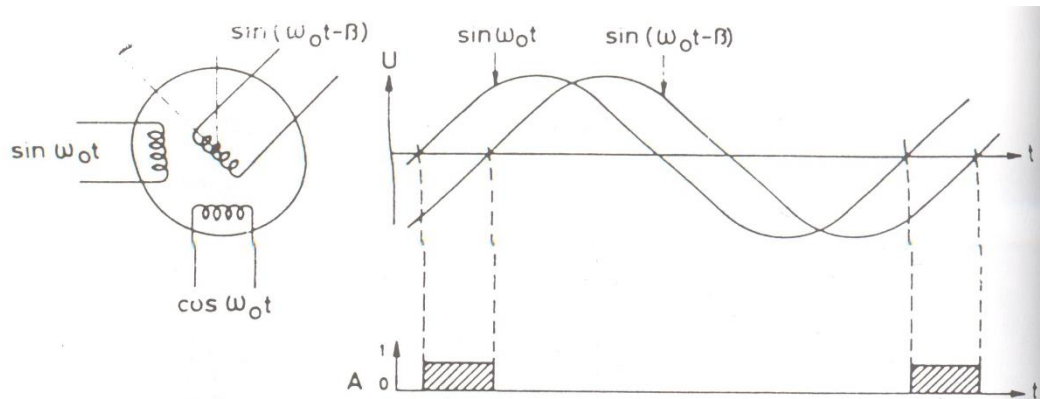
Teollisuusrobotit, työstökoneet ja asemointiyksiköt tarvitsevat jatkuvaa mittausta asemastaan, eikä kaksitilainen anturi tällöin riitä. Lineaarisen liikkeen mittatieto saadaan joko lineaarisesti liikkuvilla antureilla tai pyörivällä anturilla, jonka liike muutetaan suoraviivaiseksi. Kiertymiskulman mittauksessa käytetään yleisesti pyöriviä antureita. Anturit voivat olla analogisia tai digitaalisia. Analogisen anturin lähtöjännite, esim. ± 10 V, on suoraan verrannollinen siirtymään. Digitaaliset anturit ovat joko pulssiantureita tai koodiantureita. (Fonselius ym. 1998, 123.)

Yleisimpiä analogisia asemanmittausantureita ovat potentiometrit, ja niitä valmistetaan sekä lineaarisen liikkeen että pyörivän liikkeen mittaamiseen. Koneautomaatiossa vastuspinta ja liukukosketin voidaan liittää liikkuviin osiin, mutta käyttöä rajoittaa mekaaninen kuluvuus sekä likaantuminen, joka lisää kohinaa. Potentiometrien toteutus on kuitenkin edullista. (Fonselius ym. 1998, 123–124.)

5.1.1.1 Resolveri

Resolveri on analoginen, induktiivinen liikeanturi, jota on käytetty myös robotiikassa kiertymiskulman mittaukseen, mutta nykyään digitaaliset optiset kiertymänmittausanturit ovat syrjäyttäneet sen käytön. (Airila 1999, 4:16–17; Keinänen, Kärkkäinen, Lähetkangas & Sumujärvi 2007, 202.)

Resolverissa on staattorissa kaksi erillistä käämiä, jotka ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden ja roottorissa on yksi käämi. Roottorin käämille syötetään vaihtojännitettä (10–20 V, noin 400 Hz), joka indusoi staattorin käämeille jännitteet. Roottorin tulojännitteen ja staattorin lähtöjännitteen välisestä vaihe-erosta voidaan laskea roottorin kiertymiskulma (KUVIO 9). Vaihe-ero saadaan joko pulssitietona tai muunninyksikön avulla binäärilukuna. Resolverin halkaisija on noin 20 – 30 mm ja sen erottelukyky vastaa potentiometriä, normaalitarkkuuden ollessa 0,3 astetta. Käyttölämpötila vaihtelee -55 C° – $+125$ C°, joten resolveria voidaan käyttää vaikeissa ympäristöolosuhteissa. (Airila 1999, 4:16–17; Keinänen ym. 2007, 202.)

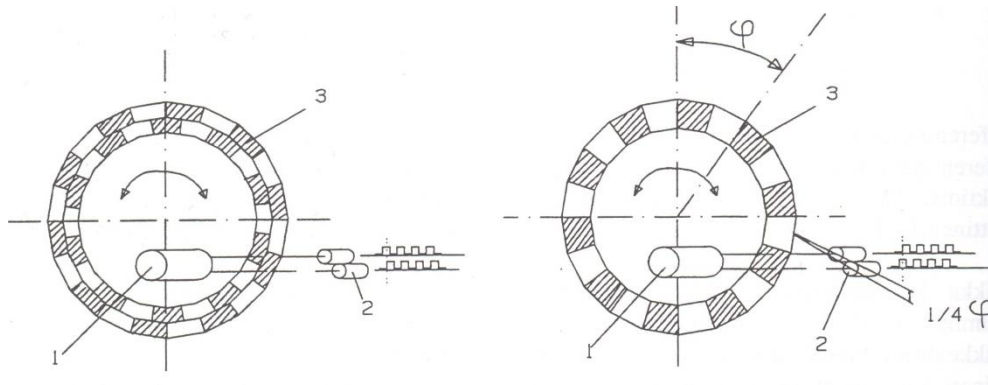


KUVIO 9. Resolverin toimintaperiaate ja asentokulman ilmaiseminen pulssilla (Airila 1999, 4:18)

5.1.1.2 Optinen kiertymänmittausanturi

Digitaalisilla optisilla kiertymänmittausantureilla saadaan mitattua myös asema. Tällainen anturi on yleinen robottiteknikassa. Antureita voi olla sekä inkrementaalisia (pulssianturi) että absoluuttisia (koodianturi, enkooderi, encoder). (Fonselius ym. 1998, 123.)

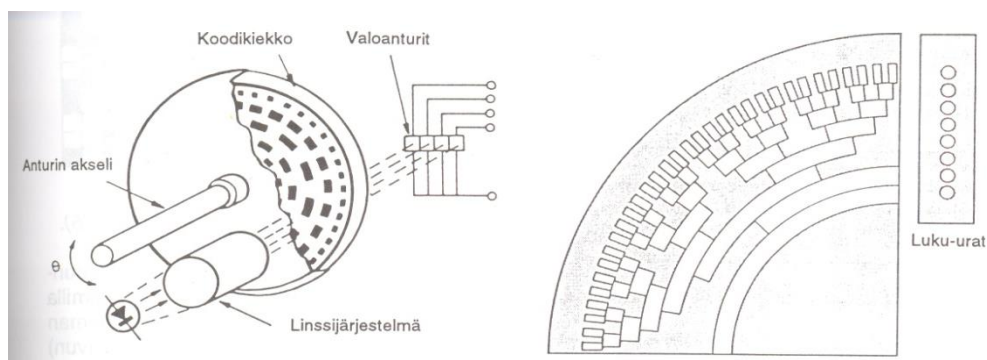
Optinen pulssianturi (KUVIO 10) muodostuu valolähteestä, valokennosta ja hilakiekosta. Hilakiekko, jossa on määrävlein valoa läpäiseviä ja valoa läpäisemättömiä sektoreita, sijoitetaan valolähteen ja valokennon väliin. Signaalin muutoksesta saadaan pulssit. Valonlähteenä käytetään usein infrapunaLED:jä. Tyypillinen erottelukyky on 100 – 2500 pulssia/kierros, tarkimpien ollessa jopa 36000 pulssia/kierros. Jos valokennoja on kaksi peräkkäin tai kaksi hilakiekkoa ja valokennoa, saadaan selville myös pyörimissuunta. Ulostuloimpulssit ovat 90°:n vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Mittaustarkkuuteen vaikuttaa se, miten pulssien laskenta käsitellään, ts. lasketaanko vain nousevat vai nousevat ja laskevat pulssit yhdeltä tai kahdelta hilakiekolta. Nousevien ja laskevien pulssien laskenta molemmilta kiekoilta nostaa käytännössä tarkkuuden nelinkertaiseksi. Usein käytetään lisäksi kolmatta valokennoa, ns. nollapulssia, jolla saadaan selvitettyä pulssilaskennan nollakohta. Optisen pulssianturin pulssitaajuus on verrannollinen pyörimisnopeuteen, joten sitä voidaan käyttää myös nopeuden mittaamiseen. (Fonselius ym. 1998, 126–127; Servojärjestelmän viritys 2008, 10.)



KUVIO 10. Inkrementtisen pulssianturin rakenne. 1) valolähde, 2) valokennot, 3) hila-kiekkö (Fonselius ym. 1998, 126)

Absoluuttisten antureiden etu inkrementaalisiin nähden on se, että asematieto on heti tiedossa järjestelmää käynnistettäessä, eli tällaisille järjestelmille ei tarvitse tehdä ns. koti-asemaan ajoa. Lisäksi, jos pulssiantureilla jää jokin pulssi laskematta, järjestelmään tulee systemaattinen virhe, kunnes nollosaikka tarkistetaan. (Fonselius ym. 1998, 127.)

Absoluuttianturin toimintaperiaate (KUVIO 11) perustuu myös valoa läpäiseviin ja valoa läpäisemättömiin kohtiin, koodisarakkeisiin. Anturin erottelutarkkuus riippuu kanavien lukumäärästä, joita on 6 – 20, ja jokaiselle kanavalle on oma valokenno. Anturin tarkkuus saadaan 2^n , jossa n on kanavien lukumäärä. Koodisarakkeiden tyyppiä ovat luonnollinen binäärikoodi, BCD (Binary Coded Decimal, binäärikoodattu desimaaliluku) ja Gray-koodi. Gray-koodin etuna on luotettava anturin lukeminen, koska tilanmuutoksessa vain yksi bitti muuttuu kerrallaan. (Fonselius ym. 1998, 127–128; Airila 1999, 4:15–16.)



KUVIO 11. Absoluuttianturin toimintaperiaate ja binäärikoodattu pulssikiekkö (Airila 1999, 4:15)

5.1.2 Servovahvistin

Servovahvistimen (servo drive) tehtävänä on syöttää servomootorille sen tarvitsema virta. Servo-ohjain, joka on usein integroitu vahvistimeen, laskee ohjausarvon ja mittatiedon eroarvoa, jota vahvistetaan. Jokaiselle servomootorityypille on omantyyppisensä servovahvistin, joiden tehot ovat tyypillisesti 0,1 – 20 kW. Vahvistimen syöttöjännite voi olla AC tai DC. Servovahvistimet voidaan toteuttaa analogia- tai digitaalitekniikalla, nykyään käytetään yleisemmin digitaalisia. Analogisissa servovahvistimissa ohjausjännite on yleensä ± 10 VDC, ja niissä on yleensä takaisinkytkentä takogeneraattorille, jolloin se voi toimia nopeusservona. Digitaalisten servojärjestelmien tarkkuus on parempi kuin analogisten, ja ne mahdollistavat paremman säädettävyyden, myös itsestään säätävät. Asetukset voidaan ladata myös tietokoneelta. (Fonselius ym. 1998, 131–132, 175–176.)

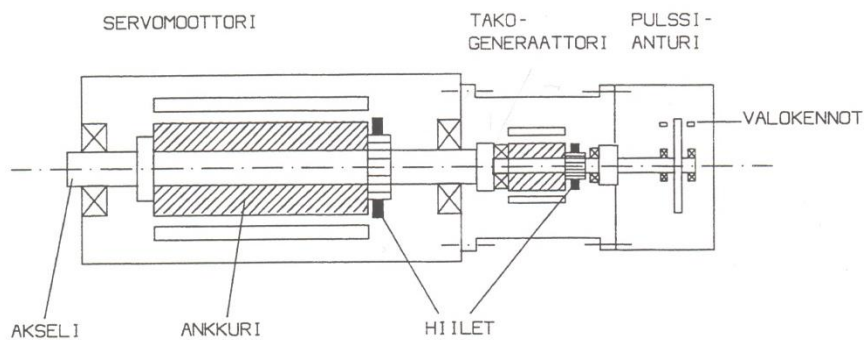
Servovahvistimessa syöttöjännite tasasuunnataan tasajännitteen välipiiriin, josta hakkuriperiaatteella muodostetaan moottorille sopiva virta ja jännite. Periaatteessa servovahvistimet eroavat toisistaan vain pääteasteen perusteella, mutta yleensä kaikkien pääteasteiden toiminta perustuu pulssinleveysmodulaatioon (PWM, Pulse Width Modulation). Moniakselisia servojärjestelmiä voidaan hallita yhteisellä välijännitepiirillä, johon kytketään useampia pääteasteita, joilla servomootoreita ohjataan. (Fonselius ym. 1998, 133–134.)

5.1.3 Servomoottori

Sähköisen servojärjestelmän toimilaitteeksi sopii mikä tahansa sähkömoottori, kunhan siinä on tarvittavat takaisinkytkennät. Tavallisesti käytetään kuitenkin servomootoreita, jotka ovat erikoisrakenteisia tasa- tai vaihtovirtamootoreita. Servomoottorin erona tavallisiin sähkömootoreihin on sen pieni hitausmomentti, mikä mahdollistaa suuret kiihtyvyydet ja hidastuvuudet ja siten nopean toiminnan. Teollisuusroboteissa käytetään yleisesti AC - servomootoreita. Työstökoneissa, CNC-sorveissa ja paikoituslaitteissa, kuten manipulaattorit, käytetään DC-servomootoreita tai askelmoottoreita. AC- servomoottorien hintojen laskiessa, ne ovat nykyään yleisimmin käytettyjä servomootoreita. (Fonselius ym. 1998, 10; Halme & Parikka 2005, 5; Keinänen ym. 2007, 151–152.)

5.1.3.1 Tasavirtaservomootorit

Harjallisen tasavirtaservomoottorin (KUVIO 12) staattorissa eli rungossa on ns. kenttäkäämit ja roottorissa (ankkurissa) on työkäämit (ankkurikäämit). Kenttäkäämiin tuotu tasavirta synnyttää roottorin pyörittämiseen tarvittavan magneettikentän. Roottoriin momentin synnyttämiseen tarvittava tasavirta (ankkurivirta) johdetaan kommutaattorin kautta. Kommutaattorissa on staattorin puolella hiiliharjat ja roottorin puolella kuparisegmentit. Roottorin pyöriessä ankkurikäämin napaisuus pidetään kommutaattorin avulla oikeana. Syöttöjännitettä muuttamalla voidaan muuttaa ankkurivirtaa. DC-moottorin vääntömomentti on suoraan verrannollinen ankkurivirtaan. Magnetointipiirin kytkennän mukaan tasavirtaservomootorit voidaan jakaa sivuvirta- ja sarjamoottoreihin ja näiden yhdistelmään eli ns. compoundimoottoreihin. (Fonselius ym. 1998, 140; Servojärjestelmän viritys 2008, 4; Keinänen ym. 2007, 150.)



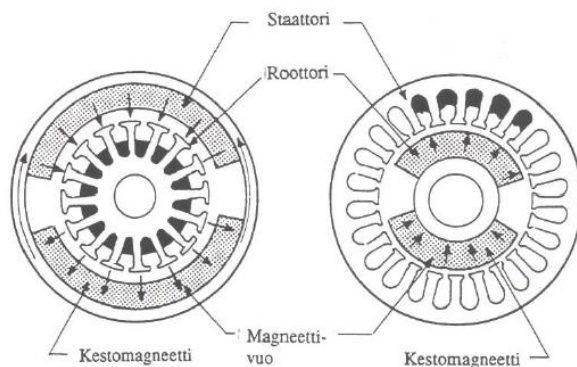
KUVIO 12. Tasavirtaservomoottorin rakenne (Fonselius ym. 1998, 10)

Hyötysuhteen parantamiseksi pienissä ja keskisuurissa tasavirtaservomoottoreissa magneettikenttä muodostetaan usein kestmagneetilla. Tällöin myös moottorin koko pienenee. Kestomagneettimoottorin säätöominaisuudet ovat erinomaiset lineaarisen ominaiskäyrän johdosta. (Fonselius ym. 1998, 142.)

Harjattomassa tasavirtaservomoottorissa työkäämit on staattorissa ja kestmagneetit roottorissa. Staattorikäämit on kolmivaiheinen, 120 asteen vaihekulmassa toisiinsa nähden. Kommutointi tapahtuu elektronisesti, joten harjallinen kommutaattori on voitu jättää pois. Täten harjaton moottori ei vaadi niin paljoa huoltoa kuin harjallinen. Roottorin asemasta tarvitaan tarkka tieto, jotta virran ohjaaminen staattorikäämeihin osataan ajoittaa

oikein. Tämän vuoksi roottorissa on esim. Hall-anturi, optinen anturi tai synkro, ja siksi ohjauselektroniikan vuoksi harjattomat moottorit ovat kalliimpia kuin harjalliset. Harjattoman servomoottorin hitausmomentti on tyypillisesti vain viidesosa harjallisen servomoottorin hitausmomentista, jonka vuoksi ne soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa tarvitaan hyvää kiihtyvyyttä ja hidastuvuutta. (Fonselius ym. 1998, 143–145; Servojärjestelmän viritys 2008, 5.)

Kuviossa 13 on vertailtu harjallisen ja harjattoman servomoottorin rakenteita.



KUVIO 13. Harjallisen (vas.) ja harjattoman tasavirtaservomoottorin rakenne (Servojärjestelmän viritys 2008, 6)

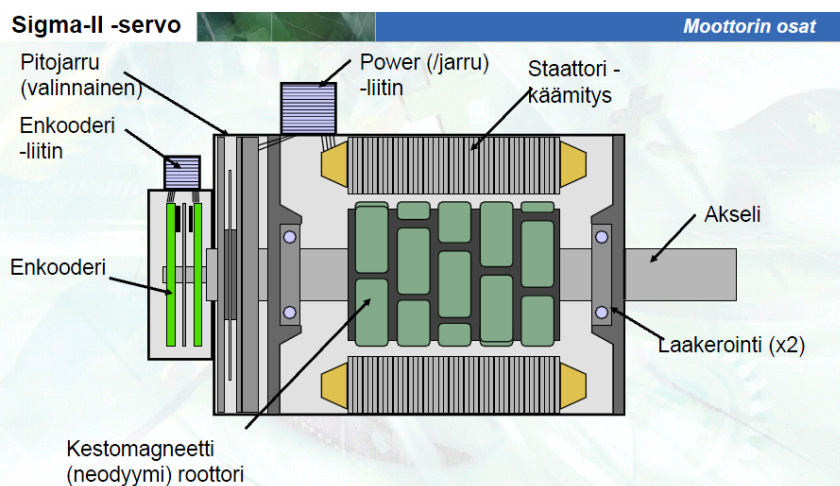
5.1.3.2 Vaihtovirtaservomoottorit

Vanhemmat servomoottorit olivat yleisimmin DC-moottoreita niiden virransäätöominaisuuksien vuoksi. Nykyään transistoreiden kehityttyä suurien ja korkeataajuisempien virtojen säätöön soveltuvaksi, ovat AC -servomoottorit yleistyneet. Vaihtovirtaservomoottori, joka tyypillisesti koostuu kolmivaihemoottorista, tarkasta takaisinkytkentäanturista, taajuusmuuttajasta sekä itse ohjaus- ja säätöyksiköstä, voi perustua joko tahti- tai epätahtimoottorikäyttöön. (Halme & Parikka 2005, 6–7.)

Epätahti- eli asynkronimoottori toimii oikosulkumoottoriperiaatteella. Rungon staattorissa on ns. häkkikäänitys, joka muodostaa roottorille suljettuja virtapiirejä. Vaihtosähkön taajuudella staattorin navoille syntyy magneetikenttä, jota roottorin magneettiset navat pyrki-

vät seuraamaan. Magneettikentän pyörimisnopeutta kutsutaan moottorin tahtiluvuksi, ja se on riippuvainen moottorin napaluvusta. Magneettikentän ja roottorin pyörimisen välillä on aina jättämä ja tästä tulee epätahtinimitys. Roottorin kulma-asennon mittaus pitää tehdä tarkasti. (Keinänen ym. 2007, 147–149; Servojärjestelmien viritys 2008, 6; Halme & Parikka 2005, 6–7.)

Tahti- eli synkronimoottoreissa roottorin magneettikenttä synnytetään kestmagneettien avulla, ja moottori muistuttaa rakenteeltaan harjatonta DC-moottoria. Tahtimoottorin staattorikäähmeihin syötetään sinimuotoista kolmivaihejännitettä. Nopeus säädetään taajuusmuuttajalla syöttöjännitteen taajuutta muuttamalla. Roottorin kulma-asennon mittaus pitää tehdä tarkasti. (Servojärjestelmien viritys 2008, 6; Halme & Parikka 2005, 6–7.)



KUVIO 14. AC-synkroniservomoottorin rakenne (Pesu 2010, 36)

Servokäyttöiset AC-moottorit (KUVIO 14) ovat rakenteeltaan hyvin lähellä normaaleja AC -moottoreita. Servomoottorit toimivat ylikuumenematta laajalla nopeusalueella ja ylläpitävät riittävän suurta momenttia nollosopeudella kuorman paikallaan pitämiseksi. Lisäksi niissä on takaisinkytkentäanturit, joita voivat olla mm. pulssianturit (inkrementaalinen tai absoluuttinen), resolveri tai takometri (AC tai DC). Kommutointi on toteutettu elektronisesti. Yleisemmin käytetään synkronisia servomoottoreita niiden paremman säädettävyyden (ovat lineaarisempia kuin asynkroniset) ja hyötysuhteen vuoksi. Synkronisten moottoreiden jäähdytysominaisuudet ovat myös paremmat, koska roottorissa ei kulje virtaa. (Servojärjestelmien viritys 2008, 6; Halme & Parikka 2005, 6–7.)

5.1.3.3 Askelmoottori

Askelmoottorin roottori pyörii vakiomittaisen liikkeen, askeleen, verran. Liikettä ohjataan elektronisesti pulssi kerrallaan. Roottorin asema voidaan laskea ohjauspulsseista ilman takaisinkytkentää. Ylikuormitustilanteissa moottori voi hukata askeleita ja servokäytössä käytetäänkin lisäksi takaisinkytkentää, jolloin voidaan varmistua asema- ja nopeustiedosta. (Airila 1999, 5:28; Fonselius ym. 1998, 148; Keinänen ym. 2007, 151.)

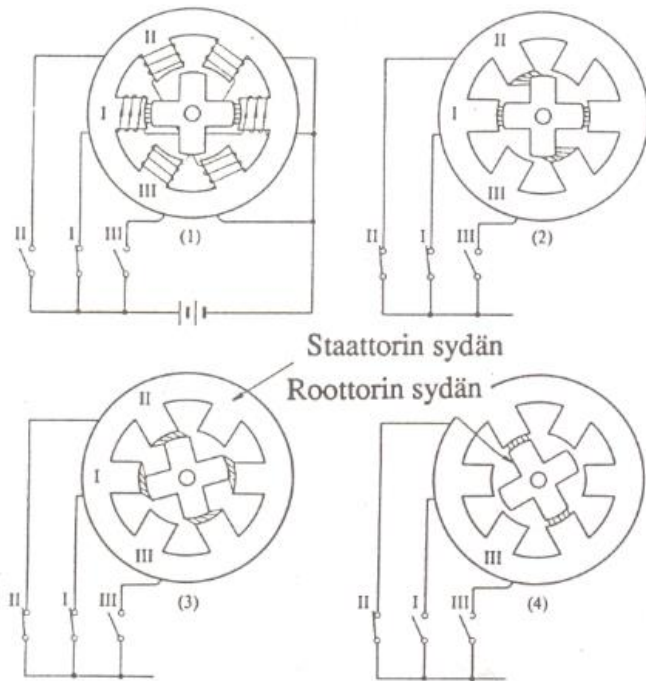
Askelmoottorien perustyyppi on muuttuvan reluktanssin moottori (VR-moottori, Variable Reluctance), jonka roottori on magnetoimaton ja staattori on ulkonaparakenteinen. Kuviossa 15 on kuvattu kolmivaiheisen muuttuvan reluktanssin moottorin toimintaperiaatetta. Siinä on kuusi staattorin napaa, joista kahteen vastakkaiseen muodostetaan magneetikenttä (yksi vaihe) ja nelihampainen roottori, joka asettuu aina sellaiseen asentoon, että magneettiipiirin reluktanssi on pienimmillään. Staattorin ja roottorin hampaiden lukumäärää lisäämällä saadaan askeleet pienemmäksi. Yleisesti reluktanssimoottoreiden askelkulma saadaan laskettua kaavasta (1):

$360^\circ / (z * n)$, jossa

z on roottorin hampaiden lukumäärä

n on vaiheiden määrä.

Tyypillisesti askelkulma on $0,78^\circ$, $1,8^\circ$, 2° , $2,5^\circ$, 5° , $7,5^\circ$, 15° , $22,5^\circ$ jne. ja asemointivirhe $0,1^\circ$. Koneautomaation askelkulma on yleisesti $1,8^\circ$, siis 200 askelta kierrosta kohti. (Airila 1999, 5:28–29; Fonselius ym. 1998, 148–150; Keinänen ym. 2007, 151–152.)



KUVIO 15. Muuttuvan reluktanssin askelmoottorin toimintaperiaate (Airila 1999, 5:29)

Muita askelmoottorityyppejä ovat kestmagneetoitu askelmoottori ja hybridimoottori. Pelitikuoriset kestmagneettiaskelmoottorit ovat edullisia, ja niillä moottori saadaan pysymään tasapainotilassa myös virrattomana, mutta askelkulma jää suureksi. Hybridimoottorissa on myös kestmagneetit ja se on ominaisuuksiltaan yhdistelmä muuttuvan reluktanssin ja kestmagneetoituista moottoreista. (Airila 1999, 5:28; Fonselius ym. 1998, 150.)

6 TEOLLISUUSROBOTTI

Robotit voidaan jakaa perustehtävänsä mukaisesti palvelurobotteihin ja teollisuusrobotteihin. Palvelurobotiikkaan luetaan kaikki ne robotiikan alueet, joissa robotti ja ihminen ovat vuorovaikutuksessa keskenään samalla työalueella. Tyypilliset palvelurobotit ovat pyörillä liikkuvia, oman voimanlähteen omaavia laitteita, joissa on kehittynyt käyttöliittymä ja enemmän autonomiaa kuin teollisuusroboteissa. Palvelurobotit ovat kuitenkin usein teleoperoituja. (Billing 2012, 6; Kuivanen 1999, 140–141.)

Standardin SFS-EN ISO 10218-1 mukaan teollisuusrobotti on teollisuuden automaatio-sovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa, ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. (SFS-EN ISO 10218-1, 2; Billing 2012, 6.)

Yksinkertaistettuna teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka siirtää työkalun kiinnityslaippaa halutulla tavalla. Liikerata voi olla kokonaan etukäteen määritetty, toimintaympäristön tapahtumien perusteella valittava tai antureiden perusteella liikkeiden aikana luotu. Robotin jalustan ja työkalun välissä on tukivarsia, joita nivelet liittävät toisiinsa. Niveleitä liikuttavat takaisinkytketyt ohjattavat servotoimilaitteet. (Kuivanen 1999, 13.)

Yleisesti voidaan todeta, että uudelleenohjelmoitava, ohjelmoitavan työkalun sisältävä ja vähintään kolme vapausastetta (DOF, Degree Of Freedom) sisältävä manipulaattorirakenne on robotti.

Ensimmäinen teollisuusrobotti, jonka valmistajana oli Unimation, otettiin käyttöön General Motors:illa vuonna 1962. Tähän mennessä teollisuusrobotteja on valmistanut ainakin viisisataa yritystä, eri malleja on ollut useita tuhansia. Nykyään suurimpia valmistajia ovat: Motoman, ABB, Fanuc, Kuka ja Kawasaki. Yhteistä ohjelmointikieltä ei ole ollut, mutta nyt suurien valmistajien ohjelmointikielien ja käyttöliittymät alkavat muistuttaa toisiaan. (Niku 2011, 5; Kuivanen 1999, 12, 34.)

6.1 Robottijärjestelmän komponentit

Robottijärjestelmä koostuu seuraavista osista:

- manipulaattori tai käsivarsi, joista robotin perusrakenne koostuu.
- työkalu tai tarttuja, hankitaan yleensä erikseen. Ohjataan joko robotin ohjauksella tai työkalun omalla logiikalla (PLC, Programmable Logic Controller).
- toimilaitteet, ovat yleensä servo-ohjattuja sähkömoottoreita, mutta myös pneumaattisia tai hydraulisia voidaan käyttää.
- prosessianturit tai -aistimet, jotka seuraavat sekä robotin sisäistä toimintaa että vastaanottavat signaaleja ympäristöstä ja ohjaavat ympäristöä.
- ohjausjärjestelmä, joka toimii yleensä tietokoneessa, jossa on robotin oma käyttöjärjestelmä.
- ohjelmistot, joita on kolmea tyyppiä. Ensimmäinen on robotin oma käyttöjärjestelmä. Toinen on ohjausjärjestelmän ohjelmisto, joka laskee nivelkulmat sekä nopeudet ja ohjaa antureiden toimintaa. Kolmas ryhmä ovat aliohjelmat ja rutiinit, jotka suorittavat robotin tai robottiin kytkettyjen toimilaitteiden erityisiä ohjelmia, kuten kokoonpano, konepalvelu tai konenäkösovellukset.
- liitännät robotin toimintaa ohjaaviin ulkoisiin tietokoneisiin. (Kuivanen 1999, 15; Niku 2011, 6–8.)

Ohjausjärjestelmä ohjelmistoinen on robotin kallein ja teknisesti vaikeimmin toteutettava osa, vaikkakin huomio kiinnittyy monesti liikkeitä toteuttavaan käsivarteen. Käsivarren mukana tai läpi täytyy viedä kaapeloinnit servomoottoreille ja antureille sekä yleensä myös tarvittavat pneumatiikka- tai hydraulikkaletkut. Onkin sanottu, että paras robottikäsivarsi on se, jossa on parhaat kaapelit. (Kuivanen 1999, 15.)

6.2 Robottien rakenteet

Teollisuusrobotti koostuu siis manipulaattorirakenteista, joilla on vähintään kolme vapausastetta (perusliikettä). Yleensä vapausasteita on neljä tai kuusi. Robotin manipulaattorirakenteet perustuvat yleensä joko lineaari- tai nivelliikkeisiin, kuten sivulla kahdeksan kuviossa 6 kuvataan. Liikkeet toteutetaan yleensä sähköisillä servomoottoreilla. Jokaiselle

vapausasteelle on oma servomoottorinsa. Robotti voidaan asentaa myös liikkuvalla alustalle, esim. lineaarinen servorata tai sillä voi olla servo-ohjattuja työkaluja, jolloin vapausasteita voi olla kaksinkertaisesti. (Craig 2005, 63; Kuivanen 1999, 15–16; Billing 2012, 7–8.)

Liikuteltavia robottirakenteita ei sen sijaan yleisesti käytetä, ja tästä johtuen tämä opinnäytetyö oli erityisen haastava. Yksi selvästi samankaltainen toteutus on Orferin Machinery Man (Orfer, 2013a).

Avoimen kinemaattisen rakenteen omaavissa roboteissa tukivarsi (manipulaattorirakenne) on kytketty seuraavan perään. Jos tukivarsia kytketään rinnakkain, on kyseessä suljetun kinemaattisen rakenteen robotti. Tällaisella rakenteella päästään kevyempiin rakenteisiin, mutta työalue jää usein pieneksi. (Kuivanen 1999, 16.)

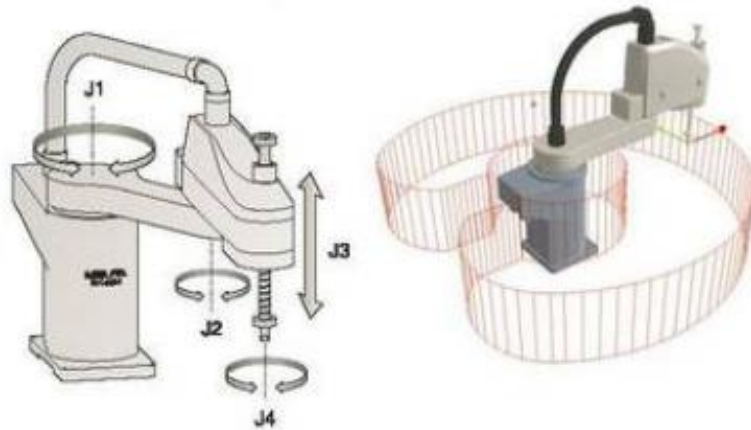
Yleisiä robottirakenteita ovat suorakulmainen, SCARA, kiertyväniveliset, sylinteri ja rinnakkaisrakenteiset. Suorakulmaisten robottien kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Tällaista rakennetta kutsutaan myös portaalirobotiksi (gantry-robot) (KUVIO 16). Rakenne on yleensä tuettu työalueen nurkista palkeilla tai se on kiinnitetty palveltavan koneen runkoon. Portaalirobotteja käytetään nosto- ja siirtotehtävissä. (Kuivanen 1999, 16; Billing 2012, 8–9.)



KUVIO 16. Portaalirobotti ja työalue (Billing 2012, 8)

Scara-robotti (Selective Compliance Assembly Robot Arm) (KUVIO 17) on neljän vapausasteen robotti. Siinä on kolme kiertyvää niveltä, joilla työkalu saadaan tasolla oikeaan kohtaan ja kiertymäkulmaan. Neljäs lineaarinen vapausaste on työtason normaalin

mukainen pystyliike. Scara-robotit ovat yleensä joustavia työtason (x-y-tason) suuntaisesti ja hyvin jäykkiä lineaarisen liikkeen (z) suuntaisesti ja soveltuvat siten erinomaisesti kokoonpanotehtäviin esim. elektroniikkateollisuudessa. (Kuivanen 1999, 16; Billing 2012, 8; Niku 2011, 12.)



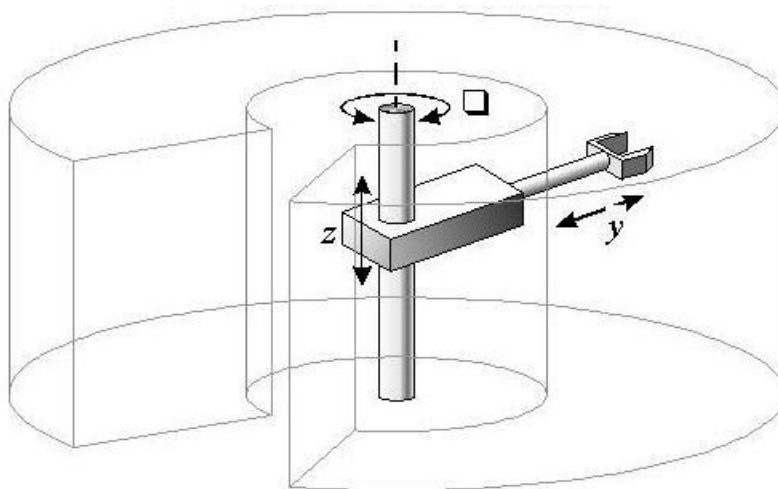
KUVIO 17. SCARA-robotti ja työalue (Billing 2012, 8)

Kiertyvänivelisessä robotissa (KUVIO 18) kaikki vapausasteet ovat kiertyviä, ja teollisuusrobotit ovat yleisimmin tämänkaltaisia. Yleisimmin vapausasteita on kuusi, jolloin työkalu saadaan mihin asentoon tahansa työalueella. Viittä vapausastetta voidaan käyttää hitsaussovelluksissa, koska hitsauslangan kiertymällä ei ole väliä. Seitsemää vapausastetta voidaan käyttää, kun halutaan työkalun toimivan aukoista, kuten esim. tehtävät auton ikkuna-aukosta. Seitsemäs vapausaste tuo lisähaasteita ohjaukseen. (Kuivanen 1999, 16; Billing 2012, 9; Niku 2011, 12.)



KUVIO 18. Kiertyvänivelinen 6- ja 7-akselinen robotti ja työalue (Billing 2012, 9)

Sylinterirobotin (KUVIO 19) nimitys on peräisin sylinterikoordinaatistosta. Sylinterirobotilla on kaksi lineaarista niveltä ja yksi kiertyvä nivel osan paikoittamiseen. Lisäksi voi olla yksi kiertyvä nivel osan orientaatioon. (Kuivanen 1999, 17; Niku 2011, 12; Takaneva 2010, 13.)



KUVIO 19. Sylinterirobotin rakenne ja työalue (Takaneva 2010, 13)

Rinnakkaisrakenteisissa roboteissa (KUVIO 20) tukivoimat jaetaan suljetun kinemaattisen rakenteen mukaan, jolloin niistä tulee rakenteellisesti kestävämpiä kuin nivelvarsirobotit. Toisaalta rinnakkaisrakenteisista roboteista voidaan tehdä kevyitä, jolloin ne ovat nopeita ja tarkkoja ja soveltuvat siten hyvin poimintatehtäviin. Raskaita ja tukevia rinnakkaisrobotteja voidaan käyttää esim. karaa liikuttavina rakenteina, siis korvaamaan jopa työstökoneita. (Kuivanen 1999, 16; Billing 2012, 9.)

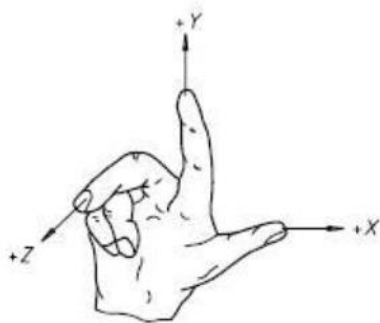


KUVIO 20. Kaksi rinnakkaisrakenteista robottia, kevyt vasemmalla puolen, raskas oikealla puolen (Billing 2012, 9)

6.3 Robottikinematiikka

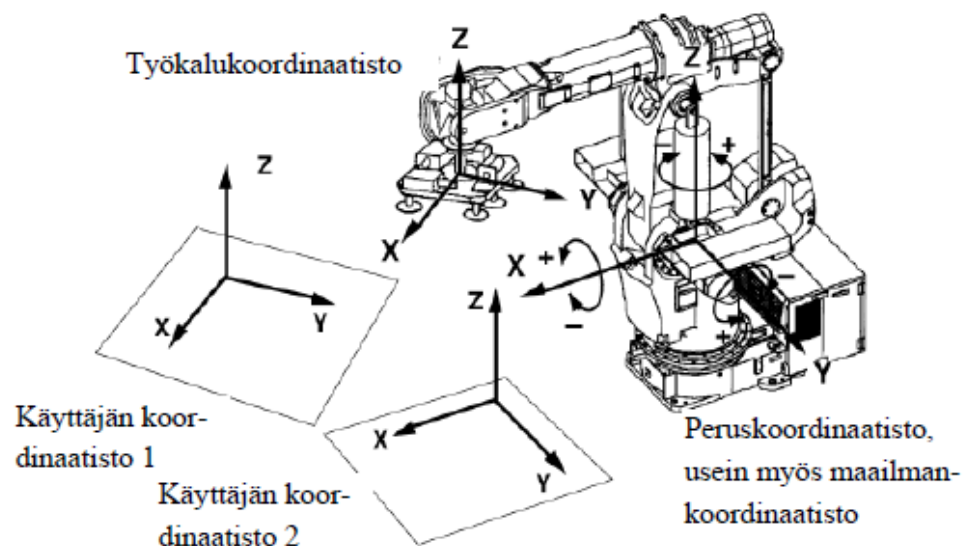
Robotin tarkoitus on hallita työkalunsa asemaa ja liikettä operaattorin haluamalla tavalla (Kuivanen 1999, 20). Robottikinematiikassa tarkastellaan mekanismin nivelpisteiden asemaa, nopeuksia ja kiihtyvyyksiä (Billing 2012, 11). Standardin SFS-EN ISO 9787, 1 mukaan teollisuusrobotilla on kolme suorakulmaista oikeakätisesti (KUVIO 21) ortonormeerattua koordinaatistoa, jotka ovat:

- maailmankoordinaatisto
- peruskoordinaatisto
- työkalukoordinaatisto.



KUVIO 21. Oikeankäden sääntö (SFS-EN ISO 9787, 2)

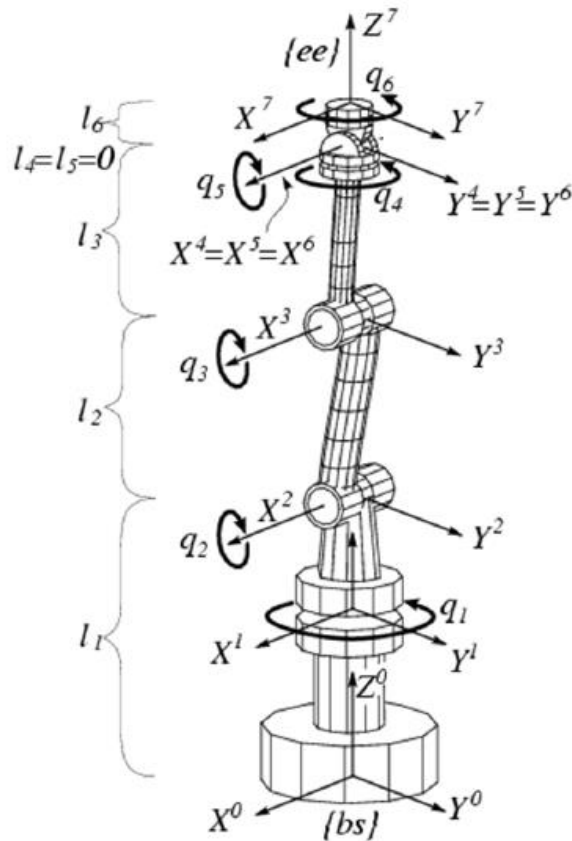
Maailmankoordinaatisto on robotin työskentely-ympäristöön sidottu robotin ulkopuolinen koordinaatisto, joka on usein sidottu rakennukseen tai kuljettimeen tai robotin jalustaan, jolloin maailmankoordinaatisto ja peruskoordinaatisto voivat olla yhtenevät, nollapiste ei välttämättä ole sama. Peruskoordinaatisto on robotin jalustaan sidottu koordinaatisto. Peruskoordinaatistossa XY-taso yhtyy lattiaan ja Z-akseli yhtyy ensimmäisen vapausasteen niveleen. Työkalukoordinaatisto on sidottu kiinni työkalumäärityksellä haluttuun kohtaan työkalua (TKP - työkalupiste, TCP - Tool Center Point), lähtien työkalulaippaan sidotusta koordinaatistosta. Lisäksi käyttäjä voi määrittellä omia työkohdekoordinaatistoja, sopii käytettäväksi erityisesti silloin, kun robottia on tarve liikutella eri suuntaan kuin peruskoordinaatistojen akselit ovat. (Kuivanen 1999, 20–21; Pekkanen 2010, 14.)



KUVIO 22. Robotin koordinaatistoja (Billing 2012, 20)

Robotin absoluuttisella tarkkuudella tarkoitetaan sitä, millä tarkkuudella robotti saadaan peruskoordinaatistoon sidottuun pisteeseen. Toistotarkkuudella tarkoitetaan tilastollista tarkkuutta millä robotin työkalupiste saadaan aikaisemmin opetettuun pisteeseen. Toistotarkkuus on käytännössä paljon merkitsevämpi, ja se onkin yleisesti 10 tai 100 kertaa absoluuttista tarkkuutta tarkempi. (Kuivanen 1999, 14; Niku 2011; 13.)

Tyypillinen teollisuusrobotti koostuu avoimen kinemaattisen ketjun rakenteesta. Jokaisella nivelellä on oma koordinaatistonsa, alkaen robotin peruskoordinaatista ja päättyen työkalupisteen koordinaatistoon. Kuviossa 23 on 6-akselisen nivelvarsirobotin kinemaattinen ketju. (Billing 2012, 11.)



KUVIO 23. 6-akselisen nivelvarsirobotin kinemaattinen ketju (Billing 2012, 11)

Kinemaattisia tehtäviä ovat:

- Suora kinemaattinen tehtävä
- Käänteinen kinemaattinen tehtävä
- Nivelkulman ja toimilaitteen aseman välinen yhteys
- Robotin konfiguraation hallinta (Kuivanen 1999, 20).

Suora kinemaattinen tehtävä ratkaisee työkalun aseman (työkalupisteen) vapausasteiden aseman ja kinemaattisen ketjun tunnettujen arvojen perusteella geometrisesti. (Kuivanen 1999, 20; Billing 2012, 17.)

Käänteinen kinemaattinen tehtävä ratkaisee halutun työkalupisteen asennon, ts. halutut vapausasteiden asennot ja konfiguraation. Tuloksena saadaan usein useampi nivelkulmayhdistelmä eli konfiguraatio, joista ohjelmoijan on valittava sopivin. Usein valitaan konfiguraatio, joka on lähimpänä edellisen työkalupisteen konfiguraatiota. Kuviossa 24 on esitetty sama paikoitus kahdella eri konfiguraatiolla. Käänteinen kinemaattinen tehtävä

voidaan ratkaista siirrosmatriisien yhtälöryhmän vaiheittaisella eliminoinnilla, geometrisesti tai iteratiivisesti. (Kuivanen 1999, 20, 27; Billing 2012, 17.)



KUVIO 24. Paikoitus kahdella eri konfiguraatiolla, ns. kaksoismerkitysongelma (Billing 2012, 18)

Konfiguraation lisäksi on huomioitava ns. singulariteettiongelma, joka esiintyy lineaariliikkeillä, kun kaksi akselia tulevat yhdensuuntaisiksi, jolloin robotin kyky siirtää työkalupistettä valitussa asennossa katoaa. Tämä ongelma voidaan usein ehkäistä luomalla välipisteitä nivelliikkeinä, muuttamalla asentoa alku- tai loppuasemassa, siirtämällä robottia tai työkohdetta tai kiertämällä työkalua 90° työkalulaiipan suhteen. Singulariteettiongelma ei liity suoraan kinemaattisiin tehtäviin, vaan enemmänkin liikkeisiin ja laskentatarkkuuteen. (Kuivanen 1999, 28, 37–38; Billing 2012, 18.)

6.4 Robottiohjelmointi

Robottiohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät:

- laaditaan toimintajärjestys ja logiikka robottikäsi- ja käsivarren liikkeille sovelluksessa tarvittavien työkalun liikkeiden toteuttamiseksi
- tahdistetaan käsivarren liikkeet ympäristön signaaleihin (muut laitteet) tai välitetään muihin laitteisiin tarvittavia tietoja
- määritellään robotin toiminta virhetilanteissa (Kuivanen 1999, 78).

Robottien ohjelmointi voidaan jakaa online- ohjelmointiin ja etäohjelmointiin eli offline-ohjelmointiin. Yleisin ohjelmointitapa on nykyään opettamalla ohjelmointi käsiohjaimen avulla, tällöin robotti on poissa tuotantokäytöstä. Taulukossa 2 on lueteltu robotin ohjelmointitapoja. (Kuivanen 1999, 78–82; Billing 2012, 42; Keinänen ym. 2007, 262; Latokartano 2011, 5.)

TAULUKKO 2. Robotin ohjelmointitapoja

Online	Offline
- Johdattamalla ohjelmointi	- Tekstipohjainen etäohjelmointi
- Taluttamalla ohjelmointi	- Oliopohjainen ohjelmointi
- Opettamalla ohjelmointi	- Etäohjaimella ohjelmointi
- Oliopohjainen ohjelmointi	- Mallipohjainen (graafinen) etäohjelmointi
- Tekstipohjainen ohjelmointi.	

6.4.1 Johdattamalla ohjelmointi

Johdattamalla ohjelmoinnissa robotin käsivarren toimilaitteet vapautettiin ja ihminen liikkui lihasvoimin työkalua halutun liikeradan mukaisesti. Nivelten paikka-antureiden lukemat tallennettiin liikkeiden aikana instrumenttinauhuriin. Liikkeiden toistaminen suoritettiin toistamalla nauhoitetut liikkeet nauhurilta käyttäen niitä säätöpiirien ohjearvona. (Kuivanen 1999, 78.)

Johdattamalla ohjelmointia käytettiin etenkin maalausroboteissa, koska liikeratojen epätarkkuus ei haittaa maalauksessa. Ohjelman muuttaminen oli hankalaa, koska koko liikerata täytyi suorittaa uudestaan. Magneettinauhujen käyttö oli hankalaa, mutta nykytekniikalla johdattamalla ohjelmointi olisi teknisesti helpompaa. Muut ohjelmointitavat ovat kuitenkin syrjäyttäneet tämän ohjelmointitavan. (Kuivanen 1999, 78.)

6.4.2 Taluttamalla ohjelmointi

Taluttamalla ohjelmointi on yhdistelmä opettamalla ohjelmoinnista ja johdattamalla ohjelmoinnista. Siinä robotin työkalua tai käsivarsia liikutetaan käsin servomootoreiden avustamana. Liikeradan pisteet voidaan tallentaa samalla tavalla kuin opettamalla ohjelmoin-

nissa tai robottiin voidaan integroida napit, joita painamalla pisteet tallentuvat. Esim. Kukan versio tästä ohjelmoinnista tapahtuu kahdella yhdessä toimivalla ohjelmistolla. Pisteiden tallentamiseen on In Teach -ohjelmisto ja taluttamiseen, siis servomoottoreiden ohjaukseen, on Force Ctrl -ohjelmisto. (Pekkanen 2010, 22.)

6.4.3 Opettamalla ohjelmointi

Opettamalla ohjelmoinnissa robotin työkalu ohjataan haluttuun paikkaan ja asentoon (orientaatioon) käsiohjaimen (Teaching Pendant) avulla ja kyseinen paikka tallennetaan ohjelman muistiin käsiohjaimen avulla. Ohjelmaan kerrotaan millaisella liikkeellä ja millä nopeudella robotti siirtyy tallennettuun pisteeseen, lineaari- tai nivelliikkeellä ja nopeus joko mm/s tai prosenttitietona. Kaariliike opetetaan näyttämällä yksi piste kaarelta ja toinen loppupisteestä. Aloituspiste tulee siihen paikkaan, jossa robotti on ollut aloitettaessa kaariliikkeen opetusta. (Kuivanen 1999, 79; Keinänen ym. 2007, 262.) Opettamalla ohjelmoitaessa voidaan käsiohjaimesta valita myös ulkoinen laite, esim. servorata tai pyörivä servopöytä ns. grillipöytä, jota käytetään mm. robottihitsauksessa, ja ajaa se haluttuun asentoon ja tallentaa piste.

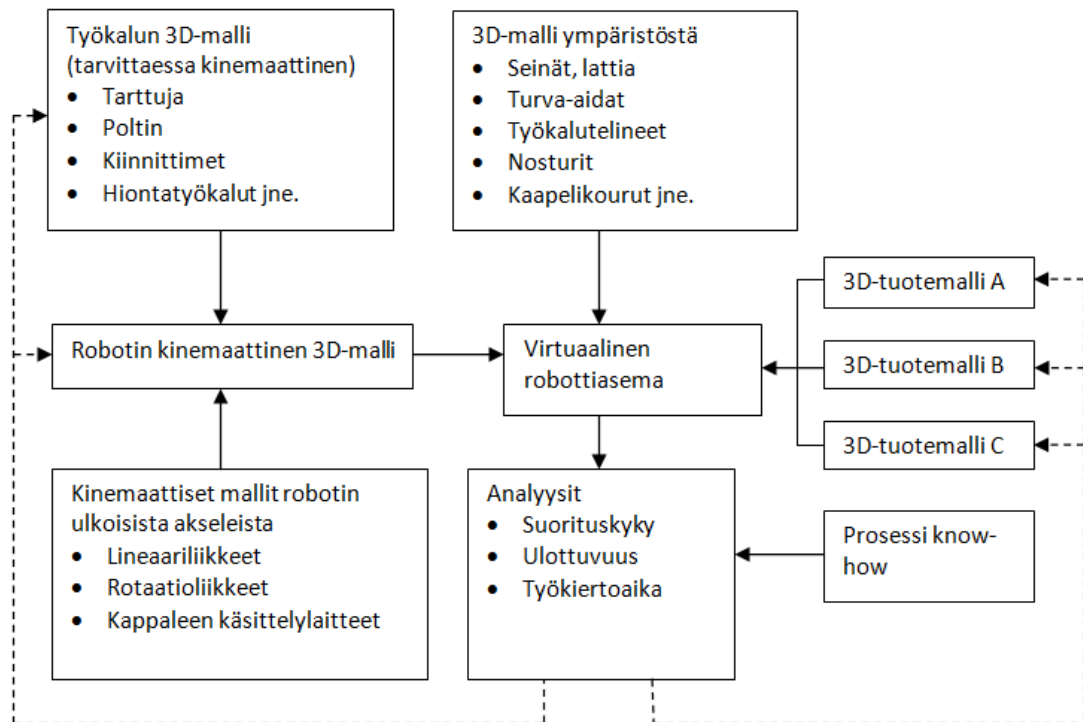
Käsiohjain sisältää robottiohjelmiston käskykannan, joten koko ohjelma voidaan tehdä käsiohjaimella. Voidaan siis muun muassa valita aliohjelmakutsut, hyppy, ehtolauseet, I/O -ohjaukset, kontrollikäskyt tai koordinaatiston siirtokäskyt. Ohjelmaa tehtäessä voidaan valita, mitä koordinaatistoa käytetään, mitä työkalua ja mahdollisesti mitä sen työkalupistettä käytetään.

Ohjelman muokkaus on helppoa, sillä pisteitä voidaan poistaa ja lisätä tai jo ohjelmoitua pistettä voidaan muokata ajamalla robotti haluttuun pisteeseen halutulla työkalun orientaatiolla ja tallentaa piste vanhan päälle.

Opettamalla ohjelmointia käytettiin myös tässä työssä, kun robotin ulottumaa, liikkeitä ja työaluetta simuloitiin sen nykyisellä paikalla tehden laatikoista sorvin ja palettialustan mallit

6.4.4 Mallipohjainen (graafinen) etäohjelmointi

Robottien mallipohjainen ohjelmointi tarkoittaa robotin ohjelmointia ilman tuotantorobotia, tuotannon ulkopuolisessa tietokoneessa käyttäen 3D graafista käyttöliittymää ja robotin ja sen oheislaitteiden simulointimalleja sekä hyödyntäen tuotteen suunnittelun 3D-muototietoa (Kuivanen 1999, 81).



KUVIO 25. Mallipohjaisen etäohjelmoinnin tekniikka (Mukaiillen Latokartano 2011)

Mallipohjaisen etäohjelmoinnin vaiheet ovat: mallintaminen, kalibrointi, ohjelmointi, simulointi, alaslataus ja testaus (Latokartano & Vihinen 2009, 4).

Mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa mallinnetaan tarvittavat työstökoneet, työkappaleet, kiinnittimet ja työkalut ja tehdään niistä ohjelmointiohjelmiston hyväksymät tiedostomuodot ja sijoitetaan ne kuten oikeassa tuotantoympäristössä. Ohjelmakirjastosta tuodaan käytettävän robotin systeemi. Lisäksi voidaan käyttää servoratoja tai grillipöytiä kirjasto-osina tai mallintaa ne, ja tehdä niistä mekanismeja. Olemassa olevalla systeemillä voidaan kalibroida järjestelmä mittaamalla robotilla esim. kosketukseen perustuvalla tarttujalla. Ohjelmoidaan ohjelma, siis liikutetaan robotti ohjelmistossa haluttuihin pisteisiin ja opetetaan ne

sekä määrittellään orientaatio ja varmistetaan konfiguraatiot. Lisätään tarvittavat liike-, I/O- ja kontrollikäskyt joko valikoista tai kirjoittamalla koodia ohjelmiston editorissa. Simuloidaan tehty ohjelma ja nähdään työkalupisteen liikeradat ja nopeus sekä nivelten nopeudet, kiihtyvyydet ja ulottumat sekä mahdolliset konfiguraatio- tai singulariteettiongelmat. Mahdollisten korjausten jälkeen alasladataan robotille levykkeellä, muistitikulla tai ethernet -verkon kautta. Lopuksi testataan tehty ohjelma robotilla.

Mallipohjaisen etäohjelmoinnin etuna on se, että robotti voi olla tuotantokäytössä ohjelmoinnin ajan. Se on myös monella tapaa hyödyllinen, sillä ohjelman teko voidaan aloittaa, kun tarvittavat osat on mallinnettu, niiden ei tarvitse olla valmiina. Lisäksi voidaan varmistaa kiinnitinsuunnittelun tai jigin toimivuus ilman, että tarvitsee tehdä montaa oikeaa mallikappaletta virheiden huomaamiseksi. Myös koko solun suunnittelu onnistuu, joten voidaan varmistaa tilan tarve, turvalaitteiden sijoittelua ja simuloida jo tahtiaikoja.

Mallipohjaisella etäohjelmoinnilla saavutetaan suuri ajansäästö, jos pisteitä on paljon. Ohjelmistolla voidaan osoittaa särmät, kaaret tai kehät joihin voidaan käskää tehtävän pisteitä halutun tarkkuuden mukaan, esim. laserleikkaus vaativaan muotoon saadaan yhdellä käskyllä. Lisäksi orientaatio voidaan säilyttää tai kopioida tietty orientaatio haluttuihin pisteisiin.

7 TARRAIMET

Robotin ja manipulaattorin työkalut voidaan jakaa kahteen ryhmään: Tarraimeen ja prosessiin osallistuviin työkaluihin, joita ovat esimerkiksi hitsauspistooli, maalausruisku, liimasuutin, hiontalaitteet tai ruuvaustyökalut. Robottisovelluksessa tarraimen suunnittelu on yksi olennainen osa kokonaisuutta. (Kuivanen 1999, 60.)

Tarraimen suunnittelussa ja valinnassa on tunnettava mahdolliset tarraintyypit ja tartuntatavat. Kuivasen (1999, 60) mukaan tarraimet voidaan ryhmitellä seuraavanlaisesti:

- avautuvat ja sulkeutuvat tarraimet tarttuvan liikkeen mukaan; usein tartutaan eri kappaleisiin ulko- tai sisäpuolisella otteella
- kiertyväsoormiset ja rinnakkain suoraviivaisesti liikkuvilla sormilla varustetut tarraimet
- pneumaattiset, hydrauliset tai sähköiset tarraimet toimilaitteen mukaan
- liikkuvien sormien lukumäärän mukaan, kaksi-, kolmi- ja useampisormiset tarraimet
- jäykät ja joustavat tarraimet
- kappalekohtaiset tai yleistarraimet
- keskittävät tarraimet
- magneettiset tarraimet
- alipainetarraimet
- sisäisesti laajenevat tarraimet
- yksittäinen, kaksois- tai revolveritarrain
- älykkäät anturoidut tarraimet, esim. yksittäisiä sormia voidaan ohjata omalla servo-toimilaitteella
- erikoistarraimet.

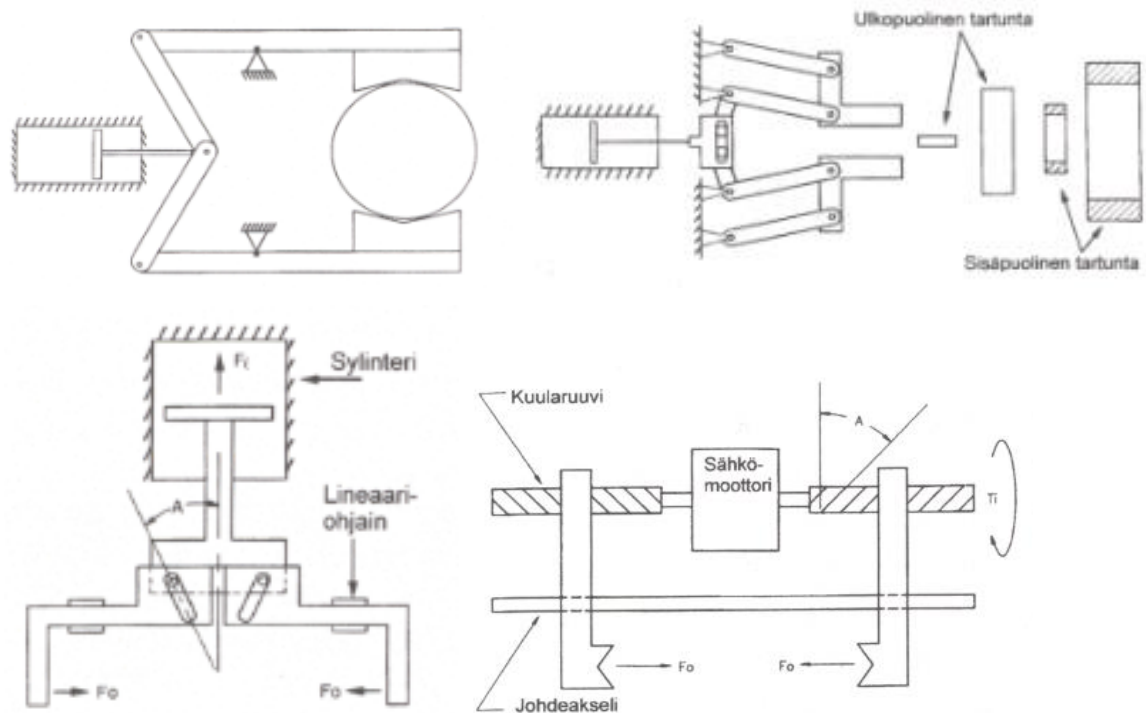
7.1 Mekaaniset tarraimet

Mekaaninen tarrain rakentuu toimilaitteesta, mekanismista, sormista ja kynsistä. Mekanismin valinta vaikuttaa liikkeeseen, ts. siihen, onko liike lineaarista. Mekaanisten tarraimien kinemaattiset rakenteet voivat olla:

- nivelmekanismi
- hammaspyörä ja hammastanko
- epäkesko
- ruuvi
- vaijeriväkipyörä
- sekalaiset.

Toimilaitteen ja mekaniismin valinta vaikuttaa tarraimen liikealueeseen. Monissa mekaanisissa tarraimissa puristusvoima riippuu nivelkulmista ja joissakin kuolokohdat rajoittavat liikealuetta. (Kuivanen 1999, 60–63.)

Kuviossa 26 on kuvattu neljää erilaista tarrainmekanismia. Ylhäällä vasemmalla on vipumekanismi, josta saadaan keskittävä, kun sormien tartuntapinnat muotoillaan V-prismaattiseksi. Ylhäällä oikealla on yhdensuuntainen nelinivelmekanismi, jolla tartunta voidaan toteuttaa sekä sisä- että ulkopuolisella otteella. Vaihtamalla mekaniismin mäntä hammasrattaisiin ja servomoottoriin, saadaan tarkasti ohjattava tarrain. Alhaalla vasemmalla on kartioliukujohde, joka on yleinen kaupallisissa tarraimissa. Tällaisen tarraimen liike on lineaarista, mutta liikealue on rajoitettu. Alhaalla oikealla on kuvattu kuularuuvikäyttöinen tarrain, jolla saadaan laaja lineaarinen liike. Mekanismi on itsepidättyvä, riippuen kuularuuvien nousukulmista. (Kuivanen 1999, 60–63.)



KUVIO 26. Mekaanisia tarraimia (Kuivanen 1999, 60–63)

7.2 Imu- ja tyhjiötarraimet

Alipaineeseen perustuvia tartuntaelimiä käytetään sovelluksissa, joissa mekaanisen tarraimen käyttö on hankalaa. Kumisilla tai muovisilla imukupeilla tehtävä imutartunta tehdään yleensä yhdeltä pinnalta. Imukupit eivät naarmuta tartuntapintaa, mutta pinnan pitää olla puhdas ja tasainen ja riittävän tiivis. Tartunta kannattaa toteuttaa keskeisesti, kappaleen painopisteen kohdalta. Tarrainta vasten kohtisuoria sivuttaisvoimia ei saa olla paljoa, sillä voimaa vastustaa vain imukuppien ja tartuntapinnan kitka. Tartuntavoiman lisäys onnistuu lisäämällä imukuppeja. Alipaine voidaan muodostaa joko venturilla/ejectorilla, jos on käytettävissä valmis paineilma-verkosto tai erillisellä alipainepumpulla. (Kuivanen 1999, 63.)

Imutartunnan etuina ovat yksinkertaisuus ja tartunnan toimiminen joustoelementtinä. Haittana ja myös turvallisuusriskinä on työkappaleen irtoaminen alipaineen hävitessä yhdenkin imukupin irrotessa ja imutartunta ei keskitä kappaletta tartunnassa. (Kuivanen 1999, 64.)

7.3 Magneettitarrain

Magneettitarraimia voidaan käyttää vain magneettisille aineille, joten ne eivät sovellu esim. alumiini tai muovikappaleille, eivätkä yleisesti ottaen ruostumattomalle teräkselle. Magneetin nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta, ilmaraosta ja magneetin lämpötilasta. Ilmaraon kasvu heikentää magneettikenttää, joten tartuntapinnan pitää olla riittävän suuri ja tasainen. Magneettinen tartunta on nopea. Kes- tomagneetilla kappaleen irrotus tarvitsee irrotuslaitteen, kun sähkömagneetilla magneetti- kenttä voidaan kääntää, jolloin irrotus on nopeampaa. Sähkömagneetti lämpenee käytössä, joten työkierto on suunniteltava siten, että lämpötila ei nouse liikaa. (Kuivanen 1999, 64.)

7.4 Tarraimen suunnittelu

Automatisoinnissa tarraimen tai työkalun suunnittelu on yksi tärkeä osa prosessia, jossa on mietittävä kokonaisuutta. Olennaisia kohtia suunnittelussa ovat yksinkertainen rakenne, pieni koko ja paino, luotettava tartunta, tartuttavien kappaleiden keskitys ja perustilassa kiinni oleva tarrain. Ihmisen toimintoja ei ole järkevää matkia. Luotettavan ja turvallisen toiminnan kannalta tärkeimmät kohdat suunnittelussa ovat robotin hyötykuorma, tartunta- menetelmä, toleranssianalyysi, tarraimen luoksepäästävyys ja kunnossapito. Painava tar- rain, adapterit, tarraimenvaihtojärjestelmät ja joustoelementit vähentävät kaikki robotin hyötykuormaa. (Kuivanen 1999, 64–65.)

Suunnittelu alkaa tehtävän määrittelyllä, joka sisältää prosessi- ja kappaleanalyysin. Näissä tutkitaan layout ja tahtiaikavaatimukset, lisälaitteet, kiinnittimet, kuljettimet ja paletit. Analyysien tuloksena suunnittelukohtat voidaan jakaa työkappaleeseen, prosessiin, tar- raimeen ja taloudellisiin kohtiin. Työkappaleesta on huomioitava erityisesti koko, muoto, massan vaihtelut ja materiaali. Prosessin vaikutukset voidaan jakaa tarraimen tai ympä- ristöön liittyviin kohtiin, jolloin oheislaitesuunnittelun merkitys tulee esille. Tarraimen suunnittelun tärkeimmät kohdat ovat toiminnallisuuteen ja rakenteeseen liittyviä. Toimin- nallisesti tarkastellaan esimerkiksi, tarvitaanko kappaleen keskitystä, mittausta, laajaa kä- sittelykykyä, tarkkuutta ja joustoa. Rakenteellisesti tarkastellaan valmistettavuutta, anturei- den tarvetta ts. miten älykäs tarrain tarvitaan ja mekaanista liitettävyyttä työkalulaippaan

tai työkalunvaihtajaan. Taloudelliset näkökohdat kuten hinta ja laatu sekä asennus- ja käyttöönottokustannukset on huomioitava myös. (Kuivanen 1999, 65–67.)

Esisuunnittelun aikana saadaan rajoitukset ja vaatimukset, joita voivat olla tartuntamekanismi ja toimintaperiaate, tartuntapinnat sekä tarraimen kyky käsitellä useampia kappaleita. Lisäksi tehdään toleranssianalyysi, jolla selvitetään robotin, oheislaitteiden ja prosessin toleranssien ja epätarkkuuksien yhteisvaikutus. Kappaleiden tartunta- ja muut prosessipinnat on toleroitava. Tartuntatapa päätetään joko muotosulkeiseksi, jolloin tartutaan kappaleessa oleviin muotoihin tai kitkasulkeiseksi, jolloin tartunta perustuu puristusvoimaan. (Kuivanen 1999, 66–70.)

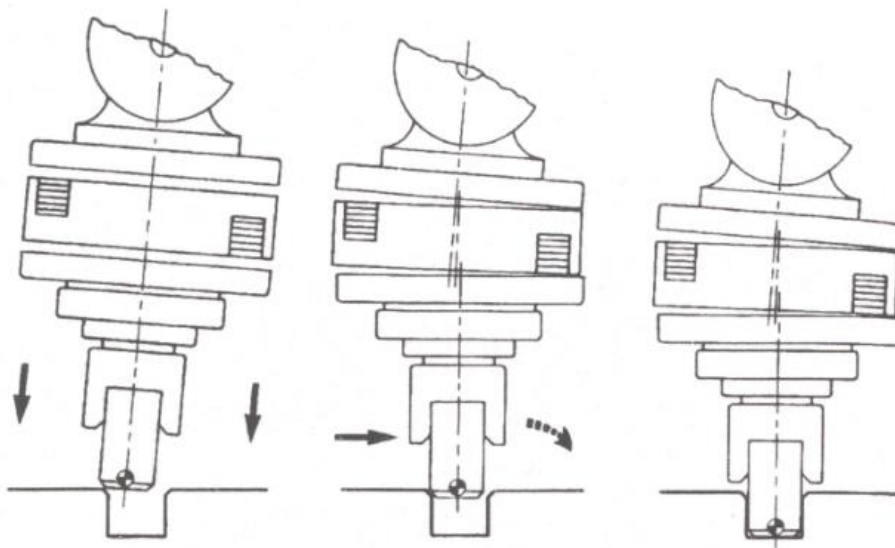
Suunnittelu voidaan jakaa kehittelyyn ja viimeistelyyn. Esisuunnittelussa rajatuista mekanismeista ja toimintaperiaatteista valitaan paras ja kehitetään valittua ratkaisua sekä selvitetään kaupallisten tarrainten käyttömahdollisuutta. Valitun rakenteen ja prosessianalyysin perusteella voidaan suunnitella turvallisesti vikaantuva tarrain, jolloin kappale pysyy tarraimessa myös energiakatkoksen aikana ja hätä-seis -tilanteessa tai ohjaussignaalin katkessa tarrain säilyttää tartunta- tai avautumatilansa. Viimeistelyssä varmistetaan, että koko ja paino täyttävät vaatimukset. Lisäksi tarkistetaan, että toleranssivaatimukset tulevat täytettyä, sillä robotin toistotarkkuudesta ei ole hyötyä, jos tarttujassa on välystä tai se ei keskitä kappaletta kunnolla, niin tarvittaessa. Myös antureiden ja johtojen suojaus sekä huollettavuus varmistetaan. Lopuksi tarkistetaan valmistettavuus ja kustannukset. (Kuivanen 1999, 70–72.)

7.4.1 Passiivinen joustoelementti

Etenkin kokoonpanotehtäviä ja konepalvelukäyttöä suunniteltaessa on otettava huomioon osien toleranssit, paikoitusvirheet, tartuntavirheet ja kulumisesta johtuvat paikka- ja orientaatiovirheet, jotka voivat johtaa epäonnistuneeseen kokoonpanoon tai syöttöön. Tällainen ongelma voidaan ratkaista joko antureilla (voima-, momentti- tai näköjärjestelmä) jotka korjaavat paikoitusta ja orientaatiota ohjelmassa tai passiivisilla joustoelementeillä (RCC, Remote Center Compliance). Passiivisissa joustoelementeissä ei ole tuloja tai lähtöjä, joten ne on helppo käyttöönottaa. (Kuivanen 1999, 75; Niku 2011, 344–345.) Passiiviset joustoelementit ovat yleensä rajattuja tietyille massoille, joten suunnittelussa on laskettava

tarkkaan kappaleen, tarttujan ja siihen kytkettyjen antureiden, adapterien, sormien ja mahdollisesti toisen joustoelementin massa ja siten valittava käyttöön parhaiten soveltuva. Tämä rajoittaa elementin käyttöä massaltaan erilaisten kappaleiden käsittelyssä.

Passiiviset joustoelementit ovat yleensä joustavia tiettyyn suuntaan ja muuten jäykkiä. Yleisimmin on kahden tyyppisiä joustoelementtejä, toiset ovat joustavia lateraalisesti (x-y - tason suuntaisesti) sekä tällaisissa on yleensä myös kulmajoustavuutta, mutta ovat aksiaalisesti (z-akseli) jäykkiä, toinen ryhmä on vain aksiaalisesti joustavat. Kuviossa 27 on kuvattu joustoelementin toimintaperiaatetta.



KUVIO 27. Paikka- ja orientaatiovirhettä korjaava joustoelementti (Kuivanen 1999, 76)

8 ROBOTTIJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU

Robottijärjestelmän hankinta jakautuu tyypillisesti neljään osaan. Esisuunnitteluvaihe, jossa kartoitetaan tarve ja selvitetään järjestelmän yleiset vaatimukset ja toimintatavat. Hankintavaihe, jossa suunnitellaan järjestelmän toiminnot ja yksityiskohdat ja tehdään tarvittavat valmistuspiirustukset. Asennus- ja käyttöönottovaihe, jossa järjestelmä ja tarvittavat energiansyöttölaitteet asennetaan sekä ohjelmoidaan robotti. Viimeisenä käyttöönottovaihe, jonka tavoitteena on järjestelmän hyödyntäminen. Robottijärjestelmän suunnittelu painottuu esisuunnittelu- ja hankintavaiheisiin. Robotisoinnin suunnittelun ja toteutuksen on aina perustuttava todelliseen tuotannon rationalisointitarpeeseen. (Kuivanen 1999, 92–93.)

Suunnittelun edetessä on myös järkevää selvittää manipulaattoreiden tai automaattisten toimilaitteiden käyttöä robotin sijasta. Esimerkiksi CNC-sorveja toimitetaan valmiilla manipulaattoriratkaisuilla. Esisuunnitteluvaiheen tarve- ja vaatimusmäärittely sekä layout ja kustannukset ohjaavat sitten suunnittelun etenemistä.

8.1 Robotisoinnin alkusuunnittelu

Robotisoinnin ensimmäinen vaihe on manuaalisen- tai koneellisen tuotantovaiheen lähtötilanteen tarkka analysointi. Lähtötilanteesta analysoidaan muun muassa seuraavia asioita:

- kappaleiden tila
- kappaleiden siirrot
- oheislaitteiden sijoittelu
- työvaiheiden looginen eteneminen
- liittymät muuhun tuotantoympäristöön
- miehitys
- ympäristöolosuhteet. (Kuivanen 1999, 92; Aaltonen & Torvinen 1997, 164.)

Lähtötilanteen analysoinnin jälkeen tehdään alkusuunnittelu, jossa tarkennetaan robotin ja oheislaitteiden tietoja, kuten:

- toiminnallinen layout
- sopivien käsittely- ja syöttölaitteiden suunnittelu (tarraimet (ks. luku 7.4), kiinnittimet, paletit, kuljetusalustat ym.)
- joustava ja varma kiinnitintekniikka
- tuotanto- ja oheislaitteiden suunnittelu (työstöyksiköt ja kuljetinradat)
- turvajärjestelmä
- kunnossapito ja huolto
- laitteiden yhteensopivuus
- virta- / jännitevaihtelujen eliminointi
- lämpötilan vaihtelujen välttäminen (paikoitusvirheet). (Kuivanen 1999, 92; Aaltonen & Torvinen 1997, 164.)

Järjestelmän valintaan vaikuttavat joustavuus, etenkin sopimusvalmistajilla, tuotteiden ominaisuudet, haluttu kapasiteetti, soveltuvuus tuotantoon sekä oma ja toimittajan kokemus vaihtoehtoisista järjestelmistä. Paremmuusjärjestys saadaan kustannuslaskennalla. (Kuivanen 1999, 93; Aaltonen & Torvinen 1997, 165.)

8.2 Oheislaitteiden sijoittelu ja valinta

Robottiin kiinnitettävissä laitteissa, kuten tarrain, työkalu tai joustinelementti, on huolehdittava, että massan ja sijoituksen aiheuttama momentti on sallituissa rajoissa ja massan pitää olla tietysti pienempi kuin robotin hyötykuorma. Erityisesti kappaleenkäsittelysoveluksissa pitää huomioida kiinnitettävien laitteiden massa, jotta työkappalekin mahtuu hyötykuorman rajoihin. Työkalun sijoittelulla pitää varmistaa riittävä ulottuvuus, lisäämättä kuitenkaan tarpeetonta momenttia. Robotin työalueella olevien oheislaitteiden sijoittelulla on merkitystä liikematkoihin ja -aikoihin ja tärkeimpänä ulottuvuuden varmistaminen. Oheislaitteiden sijoittelulla on myös vaikutus valittaviin turvalaitteisiin ja niiden sijoitteluun ja siten vaikutus layoutiin. Myös huolto ja puhdistus pitää huomioida. (Kuivanen 1999, 93–94.)

Valintaan vaikuttavat käyttövarmuus, suorituskyky, sallittu massa ja dimensiot. Yleisen teollisuuskäytännön mukaisesti voimanlähteenä kannattaa ensisijaisesti suosia paineilmaa, seuraavaksi sähköä ja viimeisenä hydraulikka. Vain raskaissa käytöissä hyvän teho-painosuhteen kannalta hydraulikka on hyvä vaihtoehto, lisäksi kuitenkin huoltokustannuksia. Ehdoton valintakriteeri on laitteen liitettävyyden robottijärjestelmään. Robottijärjestelmän käyttöikä voi olla pari vuosikymmentä, joten varaosien saatavuus pitää varmistaa. Etenkin joustavuutta haettaessa käyttömukavuus vaikuttaa valintaan, sillä huono käytettävyyden voi johtaa ohjelmoinnin vaikeutumiseen. Myös turvallisuustoiminnot vaikuttavat valintaan. (Kuivanen 1999, 93–95.)

8.3 Järjestelmän mallintaminen

Robottijärjestelmän graafinen simulointi helpottaa ja nopeuttaa suunnittelua. Simuloimalla voidaan kokeilla erilaisia layout-vaihtoehtoja, määrittää robotin työsekvenssit, arvioida työaika ja suorittaa törmäystarkastelu. Tarraimet, työkalut ja oheislaitteet voidaan myös suunnitella ja pitkälti testata simuloimalla, jolloin niiden virheet voidaan välttää ja siten ei tule kustannuksia eri versioiden valmistamisesta. Myös koko automatisoitavan prosessin työkierrat voidaan tarkastella ja suunnitella työaluetta, ulottuvuutta, kuormitusta, näkyvyyttä ja ergonomiaa. Vaihtoehtoisia malleja voidaan tarkastella ja laskea niiden kannattavuutta tunnuslukujen pohjalta. (Kuivanen 1999, 96.)

Simuloiminen edellyttää 3D-mallintamista ja tuotteiden 3D-malleja. Usein simulointi suoritetaan samalla ohjelmistolla, jolla tehdään graafinen etäohjelmointi (ks. luku 6.4.4). Simulointi ja myös graafinen etäohjelmointi edellyttävät tarkkaa tuotemallia, ts. tuotemalli on tuotteen digitaalinen valmistusmäärittelmä. Kaikki tuotteeseen tehtävät muutokset on myös päivitettävä tuotemalliin. Tuotemallissa voi olla simulointia tai ohjelmointia helpottavaa prosessitietoa kuten käyräviiva kaarihitsaukselle, pistehitsin paikat pisteinä tai vektoreina tai työstöä ja hiontaa varten pinnat on kuvattu matemaattisesti. Yleensä tuotemalli siirretään STL-, SAT-, IGES- tai STEP -muodossa. (Kuivanen 1999, 97.)

8.4 Simulointitekniikat

Robottisimuloinnit voidaan jakaa kolmeen ryhmään: ulottuvuussimulointeihin, prosessisimulointeihin ja dynaamisiin simulointeihin (TAULUKKO 3) (Kuivanen 1999, 99).

TAULUKKO 3. Simulointitekniikat (mukaiillen Kuivanen 1999, 99)

Tyyppi	Vaatimukset	Tulokset
Ulottuvuussimulointi	- Robotin kinemaattinen malli - Törmäystarkastelu, joka perustuu tuotteen ja solun geometriaan	- Geometrinen ulottuvuustarkastelu - Tuotteen ja robotin visualisointi - Kiinnittimen soveltuvuuden testaaminen
Prosessisimulointi	Edellisten lisäksi - Robotin ohjaimen malli - Tarkka liikesimulointi	- Ohjelman toimivuuden testaus - Etäohjelmointi - Karkea tahtiaika-analyysi - Valmistettavuuden varmistaminen
Dynaaminen simulointi	Edellisten lisäksi - Robotin ohjaimen tarkka malli - Kaikkien osien dynaamisten ominaisuuksien mallinnus	- Tarkkojen liikeratojen määrittäminen - Tarkka tahtiaika-analyysi - Erittäin nopeita prosessiliikkeitä sisältävän ohjelman etäohjelmointi

8.5 Robottijärjestelmän hankinta

Hankintavaiheessa päätetään lopullinen layout, suunnitellaan järjestelmän toiminnot ja yksityiskohdat sekä valitaan tarttujan malli tai työkalu, ja suunnitellaan myös tarvittavat oheislaitteet ja tehdään kaikista osista valmistuspiirustukset. Lopuksi tehdään ostopäätökset järjestelmästä ja tarvittavista oheislaitteista ja tarttujasta tai työkalusta. (Kuivanen 1999, 102.)

Robottijärjestelmän hankinta ja vastuut voidaan jakaa kolmella eri tavalla:

- kokonaistoimitus avaimet käteen -periaatteella
- laitteiden hankinta ja niiden asennuttaminen toimittajalla
- laitteiden osto ja niiden asennus itse. (Kuivanen 1999, 101.)

Kokonaistoimitus on varmin ja vastuunjaon kannalta selkein tapa hankkia järjestelmä. Käyttöönotto on nopeinta ja tekniset ehdot voidaan sopia tarkasti. Tällöin kuitenkin toimittajan puutteellinen tietämys prosessista voi johtaa huonosti toimiviin työkaluihin tai tarttujaan ja oheislaitteisiin. Suurimpana riskinä on, että yritys ei saa tarvittavaa tietotaitoa järjestelmän täydelliseen hyödyntämiseen ja sitä ei osata käyttää joustavasti tuotteiden vaihtuessa. Koulutus on syytä budjetoida realistisesti ja varata sille riittävästi aikaa. Myös toimittajan kokemus järjestelmätoimituksista pitää varmistaa, ettei tule yllättäviä aikataulun viivästyksiä. Yrityksellä on syytä olla jonkin verran osaamista automaatiosta ja robotiikasta, jotta voidaan varmistua toimitetun laitteiston toimivuudesta ja huollettavuudesta koko elinkaaren ajan. (Kuivanen 1999, 101.)

Järjestelmän hankinta itse, etenkin käytettyjen robottien, voi olla taloudellisesti hyvä vaihtoehto. Tällöin yrityksellä pitää olla osaamista robotiikasta, jotta tulee varmasti valittua käyttöön soveltuva robotti oheislaitteineen. Näin toimittaessa tietotaidon osalta pätee sama kuin kokonaistoimituksessa. Sopimusehdoissa täytyy noudattaa erityistä tarkkuutta ja varmistua laitteiden liitettävyydestä järjestelmään. (Kuivanen 1999, 101.)

Järjestelmän laitteiden osto ja asennus itse vaatii yritykseltä osaamista ja on riskeiltään suurin. Sopivuus ja muokattavuus tuotantoon on kuitenkin todennäköisesti suurin vaihtoehtoista. Tällainen hankinta- ja käyttöönottopa kasvattaa yrityksen osaamista ja tietotaitoa automatisoinnista. Aikataulu pitää laatia realistisesti ja varata aikaa henkilöstön osaamisen kehittymiselle. Myös kustannuslaskenta pitää tehdä tarkasti, jos oma henkilöstö on asentamassa ja käyttöönottamassa järjestelmää ja siten pois tuottavasta työstä. Automatisoitavan kohteen tuottava koneaika vähenee myös eniten itse asennettaessa. (Kuivanen 1999, 101.)

8.6 Turvallisuus

Robottijärjestelmän suunnittelua ja toteuttamista turvallisuuden osalta ohjaavat ensisijaisesti Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400, ns. koneasetus, joka perustuu EY:n konedirektiiviin 2006/42/EY sekä Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisuudesta käytöstä ja tarkastamisesta 12.6.2008/403. Konedirektiivin käyttöä auttaa Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas.

Lisäksi käytännön tasolla suunnittelua ohjaavat seuraavat standardit:

- SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen
- SFS-EN ISO 10218-1 Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 1. Robots (ISO 10218-1:2011)
- SFS-EN ISO 10218-2 Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration (ISO 10218-2:2011)
- SFS-EN ISO 13855 Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet
- SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet
- SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet
- SFS-EN ISO 13857 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeelle.

Asetus 12.6.2008/400 (ns. koneasetus) määrää, että valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on ennen koneen markkinoille saattamista tai käyttöönottoa:

- 1) varmistettava, että kone täyttää liitteessä I (Koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset) esitetyt sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset;
- 2) varmistettava, että liitteen VII (Koneiden tekninen tiedosto) osassa A tarkoitettu tekninen tiedosto on käytettävissä;
- 3) varustettava kone tarvittavilla tiedoilla, kuten ohjeilla;
- 4) huolehdittava asianmukaisesta vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelystä 7 §:n mukaisesti;
- 5) laadittava liitteen II (Vakuutukset) kohdan A mukainen EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus ja varmistettava, että se on koneen mukana; sekä
- 6) kiinnitettävä koneeseen CE-merkintä 9 §:n mukaisesti.

Koska CE-merkintä rajattiin tästä opinnäytetyöstä pois, kaikkia lakien ja standardien mukaisia kohtia ei ole täytetty suunnittelussa. Seuraavaksi käydään läpi tämän opinnäytetyön tekemisessä käytettyjä lakien ja standardien avainkohtia suunnittelun näkökulmasta.

Asetuksen 12.6.2008/400 ja standardin SFS-EN ISO 12100 mukaisesti on tehtävä riskin arviointi, jossa käydään läpi seuraavat lain määräämät seikat:

- määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö;
- tunnistettava koneen mahdollisesti aiheuttamat vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet;
- arvioitava riskin suuruus ottaen huomioon mahdollisen vamman tai terveyshaitan vakavuus ja todennäköisyys;
- arvioitava riskin merkitys sen määrittämiseksi, onko riskiä tämän direktiivin tavoitteen mukaisesti pienennettävä; ja
- poistettava vaarat tai pienennettävä näihin vaaroihin liittyviä riskejä soveltamalla suojaustoimenpiteitä 2008/400 liitteen I 1.1.2. kohdan b alakohdassa määrättyssä ensisijaisuusjärjestyksessä. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.)

Yllä olevan listan mukaisesti on tehty riskin arviointi standardin SFS-EN ISO 12100 kohtien 5.2 - 5.5 ja 6 mukaisesti ja se on liitteenä 5. Riskin arvioinnin apuna on käytetty myös standardin SFS-EN ISO 10218-2(2011) erityisesti robottijärjestelmiin liittyvää riskilistaa, joka on standardin liitteessä A.

Turvallisen järjestelmän suunnittelussa riskin arvioinnin iteratiivista prosessia kuvaa parhaiten standardin SFS-EN ISO 12100 riskin arvioinnin vuokaavio (LIITE 1) ja suunnittelussa riskien muistilistana on hyvä käyttää standardien SFS-EN ISO 12100 ja 10218-2 liitteiden esimerkkejä riskeistä.

Oleellinen osa robottijärjestelmän suunnittelua on turvalaitteiden, kuten valoverhot ja aidat, vaikutus turvaetäisyyksiin sekä vaaka- että pystysuunnassa. Turvalaitteiden valinnalla on ratkaiseva merkitys lopullisen layoutin muodostumiseen.

Standardi SFS-EN ISO 13855 määrittelee koskettamatta tunnistavien suojauslaitteiden sijoituksen huomioiden kehon osien lähestymisnopeudet. Yleisesti turvalaitteen vähimmäisetäisyys lasketaan yhtälöstä (2):

$$S = (K \cdot T) + C, \text{ jossa}$$

S on vähimmäisetäisyys millimetreinä (mm)

K on muuttuja millimetreinä sekunnissa (mm/s), joka saadaan kehon tai kehonosien liikenopeudesta (1600 normaali liike, 2000 nopeat ja isot liikkeet)

T on järjestelmän kokonaispysähtymisaika sekunneissa (s),

$$T = t_1 + t_2, \text{ jossa}$$

t_1 on pisin aika suojausteknisen laitteen vaikuttumisen tapahtumisen ja lähtösignaalin POIS -tilan saavuttamisen välillä

t_2 on pisin aika vaarallisten toimintojen pysähtymiseen POIS -tilan saavuttamisen jälkeen

C on lähestymisetäisyys millimetreissä (mm). (SFS-EN ISO 13855, 22, 24.)

Tässä työssä käytetään standardin kaavaa 4 sivulta 28, koska S :n arvo on suurempi kuin 500 mm. Tällöin vähimmäisetäisyys lasketaan yhtälöstä (3):

$$S = (K \cdot T) + C, \text{ jossa}$$

C on $8(d-14)$, kuitenkin vähintään 0

d on laitteen tunnistimen havaitsemiskyky millimetreinä.

Lisäksi on huomioitava valoverhon alin korkeus alta ryömimisen estämiseksi, jonka pitää olla ≤ 300 mm (SFS-EN ISO 13855, 26). Näistä tiedoista sekä liitteen 2 tiedoista saadaan vähimmäisetäisyys sekä tarvittava valoverhon korkeus.

Standardi SFS-EN ISO 13857 määrittelee turvaetäisyydet ylä- ja alaraajojen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Robottijärjestelmän käytössä voidaan katsoa olevan suuria riskejä, joten käytetään standardin sivulla 18 olevaa taulukkoa (LIITE 3) turva-aitojen käyttämiseen. Olennaista on määrittellä vaaravyöhykkeen korkeus sekä haluttava vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen.

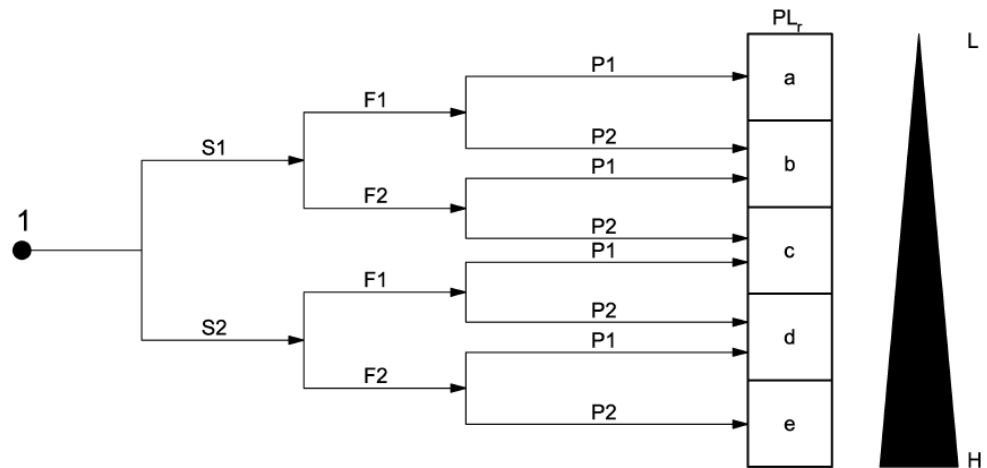
Turva-aitaa valittaessa on myös huomioitava standardin SFS-EN ISO 13857 määräykset ulottumiselle säännöllisten muotoisten aukkojen läpi. Pitää siis määrittellä haluttu turvaetäisyys, aukon koko sekä miten ulottumista halutaan rajata (sormenpää, sormi rystyseen asti, käsi tai käsivarsi olkapäähän asti). Näiden määritysten vaikutusta on kuvattu liitteessä 4.

Standardissa SFS-EN ISO 13849-1 määritellään turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien vaadittava suoritustaso PL_r (required Performance Level). Suoritustaso voidaan jakaa viiteen ryhmään $PL_a - PL_e$, jotka määritellään vaarallisen vian todennäköisyydellä tuntia kohden. (SFS-EN ISO 13849-1, 10, 23.)

Suoritustason määrittäminen vaikuttaa valittaviin turvalaitteisiin, joten se on syytä tehdä, jos järjestelmän osat aiotaan hankkia ja asentaa itse tai hankkia ja antaa asentaminen ulkoiselle taholle.

Suoritustasojen lisäksi on myös suoritusluokat, jotka määritellään järjestelmän käyttäytymisen, turvallisuuden saavuttamiseksi käytettävän periaatteen, kunkin kanavan vaarallisen keskimääräisen vikaantumisaajan $MTTF_d$ (Mean Time To dangerous Failure), keskimääräisen diagnostiikan kattavuuden DC_{avg} (Diagnostic Coverage) ja yhteisvikaantumisen CCF (Common Cause Failure) perusteella. (SFS-EN ISO 13849-1, 88.) Näiden laskemiseen on omat ohjelmistonsa eikä niitä perussuunnittelussa vielä tarvita. CE -merkintään riskin arviointiin ne on kuitenkin tehtävä.

Suunnittelun apuna voi käyttää standardin SFS-EN ISO 13849-1 liitteen A kaaviota (KUVIO 28), jolloin saadaan arvio riskin suuruudesta.



Merkintöjen selitys

1 aloituskohta turvatoiminnon osuuden arvioimiseksi riskin pienentämisessä

L osuus riskin pienentämisessä pieni

H osuus riskin pienentämisessä suuri

PL_r vaadittava suoritustaso

Riskiin liittyvät muuttujat

S vamman vakavuus

S1 lievä (tavallisesti palautuva vamma)

S2 vakava (tavallisesti palautumaton vamma tai kuolema)

F vaaralle altistumisen taajuus ja/tai kesto

F1 harvoin...toisinaan ja/tai lyhyt altistumisaika

F2 toistuvasti...jatkuvasti ja/tai pitkä altistumisaika

P mahdollisuus välttää vaaraa tai rajoittaa vahinkoa

P1 mahdollista tietyissä olosuhteissa

P2 tuskin mahdollista

KUVIO 28. Riskigraafi vaadittavan suoritustason PL_r määrittämiseksi turvatoiminnolle (SFS-EN ISO 13849-1, 100)

9 TYÖN TOTEUTUS

Työn toteuttaminen alkoi tehdaskierroksella, jossa tutustuttiin automatisoitavan osan työkiertoon. Tehdaskierroksella tutustuttiin myös yrityksen käyttämään Motoman HP-6 robottiin, joka oli ollut käyttämättömänä pitemmän aikaa. Yritys oli tehnyt itse pienehköjä manipulaattoreita erilaisiin tehtäviin, joten manipulaattoreista ja niiden suunnittelusta oli kokemusta. Automatisoinnin kohteena oleva tuote oli selvästi volyymituote, ja yrityksellä oli tarve saada sen tuotanto vakioitua ja vähentää sen henkilötyövaltaisuutta CNC-sorvauksen osalta. Näin muodostuivat esisuunnittelun tarpeet, joita olivat manipulaattorin tai robotin käyttö CNC-sorvauksen automatisointiin ja laaduntarkistusmittauksen automatisointi työvaiheen osana.

Seuraavaksi selvitettiin toiminnallista layoutia tutustumalla automatisoinnin kohteena olevaan sorviin EMCOTURN 345-II:seen ja sen käyttäjiin sekä sorvilla tehtäviin tuotteisiin. Näin selvisi, että tuotteita syötetään monella tapaa, käsin istukkaan, käsin istukan ja vastakaran väliin sekä myös tangonsyöttölaitteen kautta. Tästä tuli tärkeä suunnittelun vaatimus, että manipulaattori tai robotti ei saisi haitata muiden osien syöttämistä silloin, kun solu ei olisi automaattijolla. Sorvista selvitettiin mitat, ja solulle käytettävissä olevaa tilaa selvitettiin rajaamalla sen aluetta suhteessa ympäröiviin koneisiin. Myös Motoman HP-6 robotin tekniset tiedot (LIITE 6) selvitettiin, tärkeimpinä ulottuvuus ja hyötykuorma. Robotin ulottuvuus todettiin alustavasti riittäväksi ja hyötykuormakin soveltuvaksi, joten robotisoidun vaihtoehdon suunnittelussa oli selvää, että uuden robotin hankinta olisi hyvin epätodennäköistä.

Tässä vaiheessa tutkin perusteellisesti valmistajien sivuja ja videoita, päättöitä, yritysten sovellusvideoita ja Internetistä löytyviä projektidokumentteja, koettaen selvittää yrityksen käyttöön parhaiten soveltuvaa ratkaisua. Tutkin myös kiinnitinratkaisuja ja mittaukseen liittyviä esitteitä ja projekteja, kuten Turun ammattikorkeakoulun Panoste-projekti, miettien esiteltyjen ratkaisujen soveltamista ja soveltuvuutta manipulaattorille tai liikuteltavalle robotille.

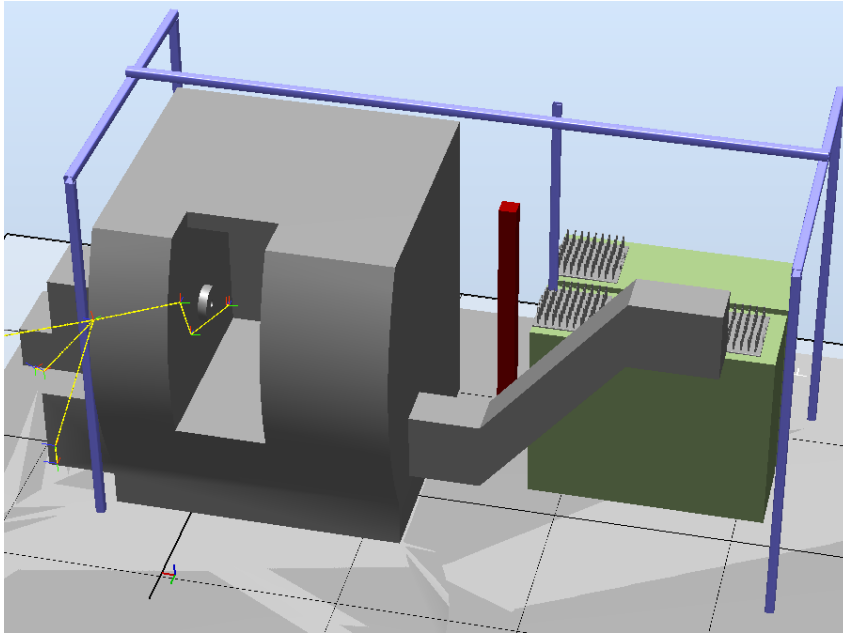
Näillä tiedoilla päätin mallintaa sorvin ja simuloida robotin työaluetta ja ulottuvuuksia ABB:n Robot Studion demoversiolla, koska olin käyttänyt kyseistä etäohjelmointiohjelmaa

ja koin, että siitä on apua vaihtoehtojen tutkimisessa. Robot Studion robottikirjastossa on vain ABB:n robotteja, joten niistä piti valita työalueeltaan Motoman HP-6:sta vastaava. Robot Studiolla mallinsin myös manipulaattorivaihtoehtojen layoutia, josta sai kuvat alustavien tarjouspyyntöjen tekoon.

9.1 Manipulaattorivaihtoehtojen selvitys

Yrityksen aiemmin tekemät pienet manipulaattorit olivat paineilmatoimisia, joten oli luontevaa miettiä ensin perinteisen alku- ja loppuasentoon paikoittavan paineilmatoimisen manipulaattorin käyttöä. Tällainen ratkaisu olisi vaatinut useamman erillisen manipulaattorin sovittamista yhdeksi automaatiolaitteeksi ja olisi vaatinut paljon oheislaitteita. Haasteelliseksi koettiin mitat ja layout-vaatimus syöttö- ja purkuratojen tai -kuljettimien osalta. Syöttö ja purku olisi vaatinut paikoittavaa ja askeltavaa mekaniikkaa, joten se olisi vaatinut monia manipulaattoreita ja omaa erillistä logiikkaa. Tällaisten ratkaisujen liikuteltavuus käsin tehtävän panostuksen aikana koettiin haasteelliseksi, vaikkakin layoutiin olisi saatu myös kiinteitä ratkaisuja, jotka eivät häittäisi käsin panostusta. Toisaalta yrityksen kokemus servomoottoreista oli myönteinen ja samankaltaisuuksia haettiin CNC-sorvien revolverin ja valmiin tuotteen poistolaitteen ratkaisuista ja siten manipulaattori päätettiin suunnitella sähköisellä servomoottorilla.

Sorvin katossa valmiina olevaa varausta manipulaattorin käyttöön mietittiin, mutta todettiin, että panostaminen oviaukosta olisi sijoittelun ja joustavuuden kannalta parempi vaihtoehto. Näin muodostui ensimmäinen suunnitelma servoilla toimivasta manipulaattorista, jossa olisi suorakulmaiset x-y-z -liikkeet sekä tarttujassa yksi 90 astetta kääntävä toimilaitte. Kääntävä toimilaitte tarvittiin, koska suunnittelun edetessä mukaan tuli paletin käyttö, ja osan sijoitus palettiin tuli pystyyn, ja sorviin se piti saada istukan ja vastakaran väliin vaakaan. Tällainen ratkaisu vaatii jo manipulaattorille omaa logiikkaa, jos osat haetaan ja viedään paleteille matriisimaisesti. Näin ratkaisun voisi ehkä määrittellä portaalirobotiksi. Tässä työssä nämä luettiin kuitenkin manipulaattorivaihtoehtoiksi. Ensimmäisen ratkaisun layoutia kuvaa kuvio 29.

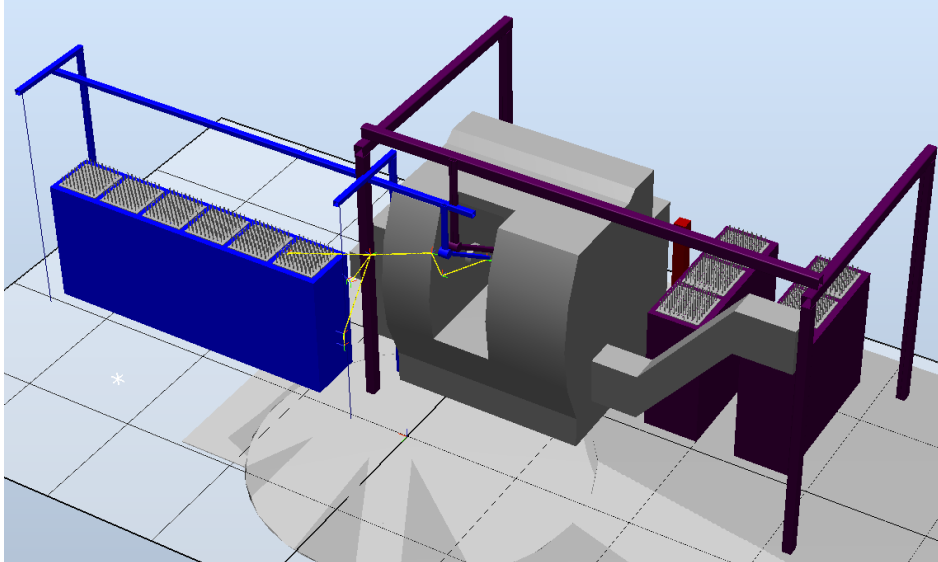


KUVIO 29. Ensimmäinen suunniteltu servotoiminen manipulaattorivaihtoehto

Sorvin mallintamisessa tärkeimpinä mittoina olivat ulkomitat, oviaukon sijainti ja karan tarkka paikka. Lisäksi lastunpoistolaitteisto mallinnettiin sorviin karkeasti layout-ratkaisuja varten, ja sorvin vasemmassa reunassa näkyy tangonsyöttölaitteen olennaiset osat. Tangonsyöttölaite itse jatkuu useita metrejä sorvista vasemmalle mallinnettujen osien ulkomittaisina. Mittauslaite voitiin sijoittaa manipulaattorin työalueelle, sitä kuvaa pitkä tolppa sorvin ja palettien välissä. Koska manipulaattorin haku ja vienti voitaisiin paikoittaa tarkasti rakenteen pystytolppien välisellä työalueella, paletit ajateltiin syötettävän ja poistettavan manuaalisesti ainakin ensimmäisissä versioissa, koska työalueelle saataisiin kerralla tarpeeksi paljon paletteja, eikä niiden automaattiseen syöttämiseen olisi tarvetta.

Manipulaattorivaihtoehtoa kehitettiin siten, että z-akseliin tulisi lukittuva nivelvarsi, joka mahdollistaisi syötön paremmin. Lisäksi mietittiin toista layout-ratkaisua, joka tulisi sorvin oviaukon vasemmalle puolelle ja olisi tilankäytöltään osin parempi (KUVIO 30, sininen runko vasemmalla). Palettitasen ja sorvin väliin pitäisi kuitenkin jättää kulkumahdollisuus. Turvalaitteiden osalta tämä ratkaisu olisi haastavampi, tosin koko palettitasen etusivun voisi suojata valoverhoilla. Alustavan layout-suunnitelman mukainen jatkokehitetty ratkaisu (KUVIO 30, violetti runko oikealla) olisi helpompi suojata palettitasojen työalueelta aidalla ja sorvin oviaukon eteen saisi joko valoverhon tai oviaukollisen aidan, jonka voisi siirtää pois manuaalisesti toimittaessa. Molemmat ratkaisut ovat kuitenkin teknisiltä ratkai-

suiltaan samoja sisältäen x-y-z -portaalinrunon, z-akselissa lukittuva nivel ja 90 astetta kääntyvä toimilaitte tarttujassa. Myös ohjaus toimisi samoilla periaatteilla. Ratkaisut on kuvattu kuviossa 30.

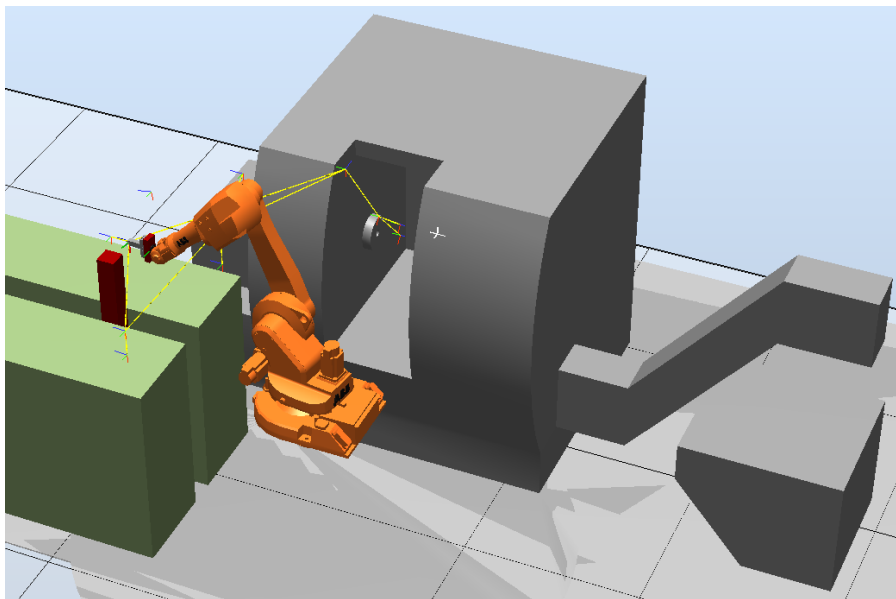


KUVIO 30. Jatkokehitellyt manipulaattorivaihtoehdot z-akselin nivelellä

Näistä kahdesta manipulaattorivaihtoehdosta pyydettiin alustavat tarjoukset. Toimittajat haluttiin rajata lähialueella toimiviin. Molemmat tarjotut vaihtoehdot olivat alumiinirunkoisia, kuulajohteilla toimivia hihnäkäyttöisiä servomoottoriratkaisuja. Toinen toimittajista käyttää ratkaisun pohjana Feston gantry:ä, joka on kuvattu sivulla 9 kuviossa 7 ja taulukossa 1. Molemmat tarjoukset olivat sitä suuruusluokkaa, että olemassa olevan robotin hyödyntäminen tuntui järkevältä vaihtoehdolta.

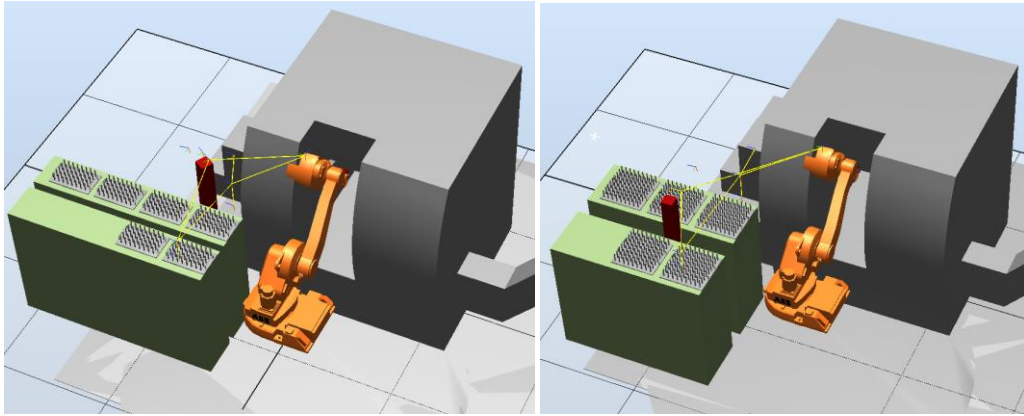
Toisen toimittajan kanssa käytiin puhelinkeskustelu ratkaisun yksinkertaistamisen vaihtoehdoista ja päädyttiin vielä miettimään ratkaisua, jossa olisi vain x- ja z-akseli. Z-akseli olisi ilman niveltä, ja portaalirunko olisi asennettuna vinoon niin, että z-akseli voisi syöttää suoraan sorvia. Myöskään tarttujassa ei olisi vapausastetta, vaan osan haku ja vienti tapahtuisi vakiopaikasta. Tämä vaatisi oheislaitteita ja niille automaatiota, myös mittaukselle pitäisi tehdä oma manipulaattorisovellus. Tämäkin ratkaisu todettiin kuitenkin pitkien servokäyttöjen ja rungon takia liian kalliiksi.

Suunnitelmat alkoivat ajatuksella, että olisi erilliset haku- ja purkuradat sekä palettia voisi siirtää tapista robotin tarttujalla purkuradalle paletin tyhjennyttyä. Tämä olisi vaatinut jonkinlaista automaatiota kuljettimelle, esim. lamelli- tai ketjukuljettimina. Lisäksi alkuvaiheessa simuloitiin kaksiosaisen tarttujan vaikutusta tahtiaikaan. Tällöin robotti olisi voinut ottaa valmiin osan tarttujan tyhjiin sormiin ja asettaa uuden toisista sormista, joissa on työstettävä osa. Näin robotin sorvin sisään meneviä liikkeitä olisi saatu vähennettyä ja mittaus olisi voitu suorittaa toista osaa työstettäessä. Simulointi osoitti, että tällä ei saada merkittävää etua ja yrityksen ajatuksena oli aloittaa automatisointi yksinkertaisilla ratkaisuilla, joten päätettiin käyttää yksiosaista tarttujaa. Ensimmäisten suunnitelmien ratkaisua haku- ja purkuradalla sekä kaksiosaisen tarttujan käyttöä on kuvattu kuviossa 32. Kaksiosaisen tarttujan liikeradat näkyvät kahtena liikeratana sorvin sisällä, kuten kuviossa 32 näkyy.



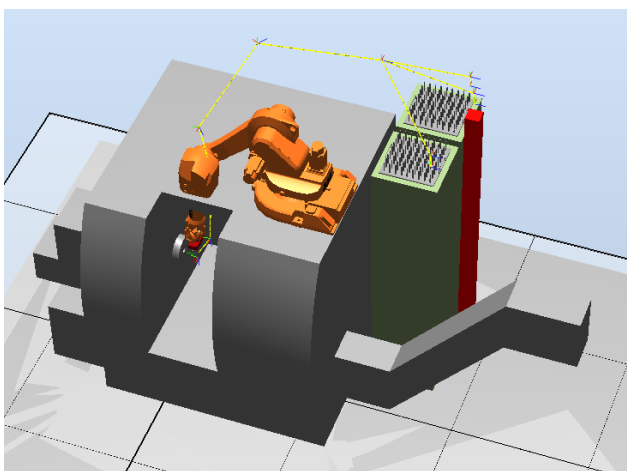
KUVIO 32. Ensimmäisiä robottisuunnitelmia haku- ja purkuradalla ja kaksiosaisen tarttujan liikkeiden simulointi

Erikokoisten palettien vaikutusta ja toimivuutta robotin työalueella selvitettiin kuvion 33 osoittamalla tavalla. Tällöin oli vielä ajatuksena käyttää haku- ja purkuratoja kuljetintoinnolla.



KUVIO 33. Erikokoisten palettien vaikutus työalueeseen. Vasemmalla 5x8 paletti ja oikealla 9x9 paletti

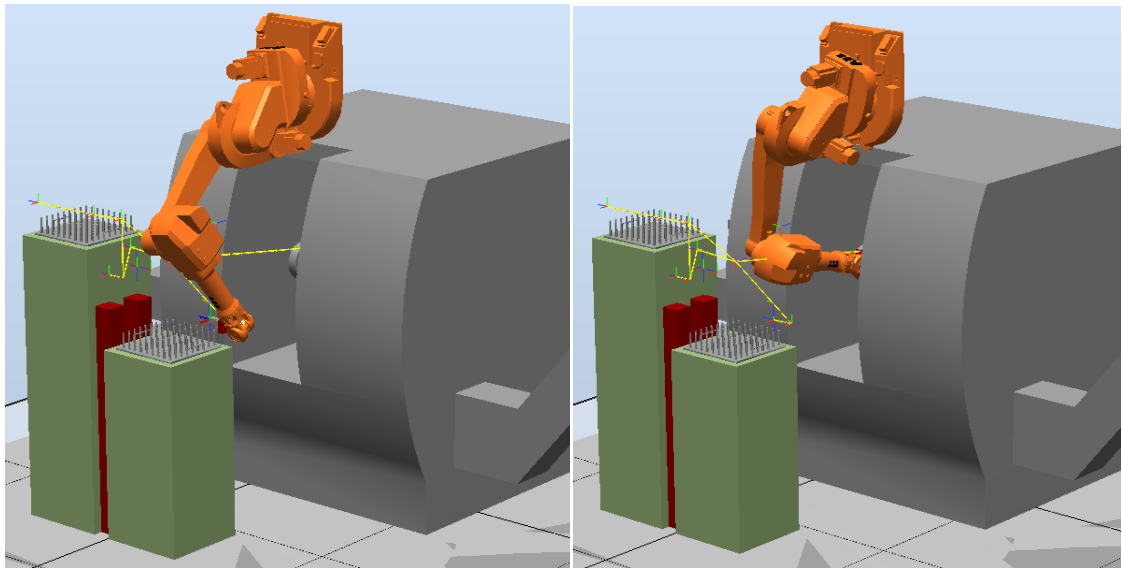
Robotin sijoittamista sorvin katollekin mietittiin, kuten kuvioista 34 selviää. Työalue ei kuitenkaan mahdollistanut syöttöä ovesta, vaan sorvin kattoon olisi pitänyt tehdä aukko tai laajentaa manipulaattorikäyttöön varattua aukkoa. Robotin asentaminen katolle olisi vaatinut tukevat rakenteet, ja tämä seikka oli suurin syy miksi kattoasennuksesta luovuttiin. Robotin asentaminen katolle olisi kuitenkin ollut turvalaitteiden kannalta ehdottomasti paras vaihtoehto. Turvalaitteet olisivat voineet olla kiinteät haittaamatta käsin panostusta. Haku- ja purkupalettien sijoitus täytyi tehdä katon korkeudelle työalueesta johtuen. Tämä olisi vaatinut jonkinlaista hissitoimintoa, siis sähköistä tai pneumaattista manipulaattoria. Mittauspaikka ja -laite olisi pitänyt myös asentaa katolle. Yritys halusi, että mittaustapah- tumaa pystyi silmämääräisesti varmentamaan ja tarvittaessa myös säätämään. Nämä seikat olivat myös syitä miksi kattoasennuksesta luovuttiin.



KUVIO 34. Robotin kattoasennusvaihtoehto

Robotin kattoasennuksen ohjelman simuloinnissa tuli singulariteettivirheitä, joten ohjelmanteon kannalta kattoasennus olisi voinut olla vaikea etenkin, kun HP-6:sen ulottuvuus on 7 cm lyhyempi kuin simuloinnissa käytetyn IRB 1600. Toimittaessa robotin ulottuvuuden rajoilla myös kaksitoimisen tarttujan käyttö olisi voinut osoittautua toimimattomaksi.

Seinäasennuksessa robotin työalue jäi pieneksi. Haku- ja purkupaikat piti suunnitella kahden tasoon, jotta päästiin liikkumaan lineaariliikkeillä palettien päällä. Kuviossa 35 kuvattu kappaleen haku osoittaa, että työalue pienenee paljon tarttujan saamiseksi vaakasuuntaiseksi. Seinäasennus olisi vaatinut tukevat rakenteet samoin kuin kattoasennuksessa, ja samasta syystä seinäasennus hylättiin. Seinäasennuksessa turvalaitteet olisi saanut asennettua robotin ympärille kiinteästi ja käsivarsi olisi voitu ajaa vaaka-asentoon silloin, kun ei toimittaisi automaattijolla. Käsivarren vaaka-asento aiheuttaa kuitenkin tarpeetonta momenttia, joten se olisi pitänyt ajaa hallitusti käyttäen sopivia nivelkulmia, koettaen saada painopiste mahdollisimman lähelle ensimmäistä (S) akselia (Karvonen 2013a). Seinäasennusta on kuvattu kuviossa 35. Tässä vaiheessa haku- ja purkuradoista oltiin jo luovuttu, koska oltiin todettu yhden paletin työajan olevan riittävä automaatiolle.



KUVIO 35. Robotin seinäasennusvaihtoehto

Koska aiottiin käyttää vain yhtä haku- ja purkupalettia ja lattia-asennus tuntui käyttöönoton kannalta selvimmältä vaihtoehdolta, suunnittelun kohteeksi valittiin lavarakenne, jossa olisi kaksi palettipaikkaa. Robotin ohjauskaappi pidettäisiin lavan kyydissä ja se sijoitettaisiin

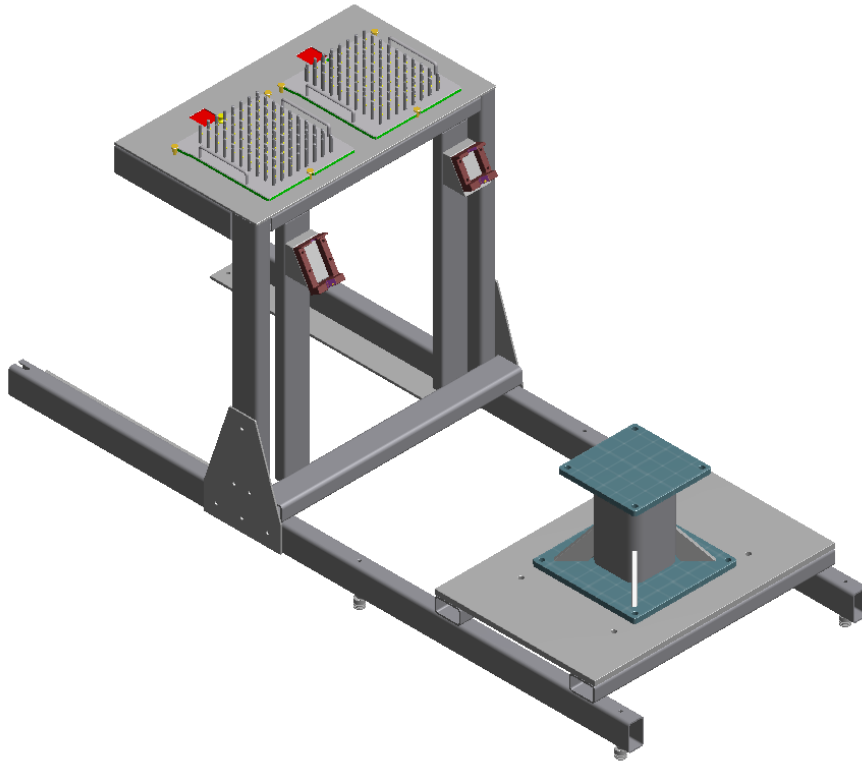
siin palettien alle. Lavan ympärille tulisivat valoverhot tai ovelliset aidat. Tällainen rakenne olisi paikoittamisen kannalta hyvä, koska kaikki liikeratoihin vaikuttavat kohteet, sorvia lukuun ottamatta, olisivat kiinteästi asennettuina toisiinsa nähden.

Näin oli saatu päätettyä suunniteltava rakenne, ja se mallinnettiin Autodesk'in Inventor Pro 2012 -ohjelmalla. Yrityksellä on käytössä kyseinen suunnitteluohjelma, jolloin kaikki työpiirustukset ovat yrityksen käytettävissä toteuttamista ja jatkokehittelyä varten.

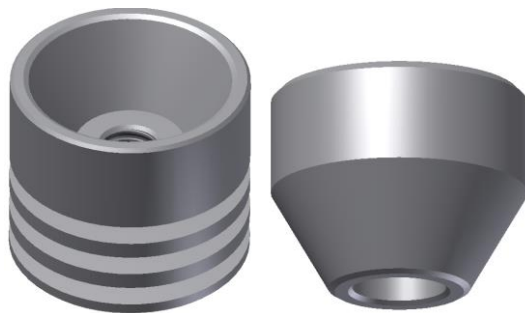
9.3 Liikuteltavan robottilavan suunnittelu

Robottilavan suunnittelu aloitettiin käyttämällä Robot Studiosta saatuja mittatietoja sekä simuloimalla suunniteltuja liikeratoja robotin nykyisellä paikalla, tehden lavoista ja pahvilaatikoista palettitaso ja sorvin karan paikkatieto. Näin varmistuttiin myös työalueen ulotumasta ohjelmassa tehtyjen simulaatioiden lisäksi ja saatiin varmistusta simuloituille tah-tiajoille. Palettitason korkeuteen vaikutti myös mittatiedot robotin ohjausyksiköstä, jonka piti sopia palettitason alle.

Lavan rakenteesta (KUVIO 36) oltiin yhtä mieltä, ja se päätettiin tehdä profiiliputkesta yksinkertaisena rakenteena. Ensimmäisessä versiossa paikoitus lattiaan oli tarkoitus tehdä profiilin sisään hitsattavilla L-jaloilla, joissa olisi erilliset kartiot sekä reikä kiinnitystä varten. Myöhemmin todettiin, että hitsaamista halutaan välttää lämpövääntymien vuoksi. Paikoitus päätettiin tehdä kartiolla (KUVIO 37), joka tulee pitkällä pultilla kiinni runkoon ja kartion läpi tulee kiinnitys lattiassa olevaan vastakartioon. Kartioiden lattiaosat (KUVIO 37) oli tarkoitus laittaa porattuun reikään ja kiinnittää sementtiliimalla. Tässä vaiheessa voitaisiin tehdä alustan vaaitus. Ohjauskaapin puoleiseen päätyyn tehtiin kaapin kannatin-tasoon reiät, johon laitettaisiin säätöjalat sekä profiilirunkoon U-urat. Näihin uriin voisi laittaa irrotettavat tukijalat säilytyspaikkaa varten. Lisäksi vaakarungon ja palettitason pystypalkkien hitsaamista haluttiin rajoittaa, joten tehtiin tukilevyt, joilla osat voisi kiin-nittää pulteilla. Tarkan paikoittamisen kannalta osia olisi hyvä hitsata jonkin verran.



KUVIO 36. Robottilavan rakenne



KUVIO 37. Lavan paikoituskartiot (lattiaosa vasemmalla, runko-osa oikealla)

9.4 Paletin suunnittelu

Järjestelmän suunnittelun alkuvaiheessa ajatuksena oli käyttää vakiopaikkaa hakuun ja purkuun. Työn edetessä tuli kuitenkin ajatukseksi käyttää palettia, josta voisi olla apua prosessin muissa vaiheissa. Näin saatiin myös yksinkertaistettua toimintamallia ja oheislaitteita voitiin karsia pois. Paletin mitat piti sovitella siten, että niitä mahtuisi hyvin

eurolavalle. Yhteen palettiin laitettavien osien määrää ohjasi tilauskoko, joka oli jaollinen 80:lla. Toisena vaihtoehtona oli käyttää 40 osaa paletilla, mikä olisi keventänyt palettien käsittelyä. Paletit oli tarkoitus tehdä alumiinista, joten paletin massasta tehtiin karkea arvio alumiinilevyjen massan mukaan ja todettiin, että 80 osan käyttö ei tee paletista vielä liian raskasta käsitellä. Koska syöttö- ja purkuratojen automaatiosta luovuttiin, ei ollut tarvetta myöskään siirtää tyhjentynyttä palettia robotilla. Näin palettikooksi valittiin 8*10 malli. Yhden osan tahtiajaksi saatiin simuloinneilla noin minuutti, joten 80 minuutin automaattiajo katsottiin riittäväksi.

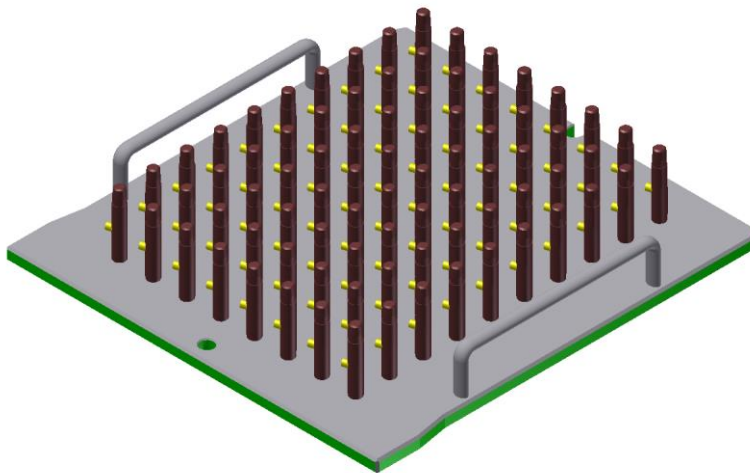
Paletin alkusuunnittelussa mietittiin joustavia tappeja, mikä olisi auttanut paikoitusvirheistä johtuvia tilanteita. Tapit suunniteltiin tehtävän osin puolipallon muotoiseen uraan levyille, levyn alapinnasta jousivoimalla säätövinä. Myös sorvauksen jälkeiseen pesuun mietittiin uritettuja tappeja, jolloin robotin latomat valmiit osat olisi voinut siirtää pesuun palettien kanssa. Pesun ja sorvauksen välissä on kuitenkin rummutus, joten osat pitäisi kuitenkin poistaa paletilta ja laittaa takaisin pesua varten. Tästä syystä tappien urituksesta luovuttiin. Jousivoimaisista tapeista luovuttiin myös, koska sorvin syöttöön tarvittiin joustavuutta ja siten todettiin, että joustavuus voidaan hoitaa joustoelementeillä. Näin päädyttiin tässäkin suunnittelussa yksinkertaiseen ja kiinteään rakenteeseen.

Paletin suunnittelussa aikaa vievin osa oli palettitappi, johon piti suunnitella kohdistintappi osan vakioasentoon kohdistamista varten. Sorvattavassa osassa on pohjassa ura, jota päätettiin käyttää kohdistamiseen. Paikoitustapin suunnittelussa piti saada geometriat osasta, mikä oli haastavaa, sillä ura ei ole osan putkimuotoisen pohjan symmetria-akseleilla. Tässä piti käyttää Inventorin aputasoja ja laskea niiden tarkka paikka, jotta paikoitustappi saatiin oikealle kohdalle. Tämä varmistui valmiin paletin ja osan oikean tuotemallin kokoonpanolla, jossa osat saatiin liitettyä toisiinsa tangenti- ja pintaliitoksilla. Tämän jälkeen päätettiin tolerointia ajatellen pienentää paikoitustapin halkaisijaa yhdellä millillä kuudesta viiteen.

Paletin paikoittamiseen robotin haku- ja purkutasolle käytettiin kolmea tappia, jotka kohdistaisivat paletin. Päädyn puoleinen tappi tehtiin palettilevyn uraan ja sivujen kohdistus tehtiin paletin sivuilta takaosasta. Paletin muoto tehtiin etuosasta kapeammaksi lisäten vielä viisteitä, jotta sen syöttäminen paikalleen olisi käyttäjälle helppoa. Paletin alaosaan laitetaan kupukantaiset ruuvit liukupinnaksi, jotka samalla mahdollistavat hienosäädön

paletin korkeussuuntaisesti paikoitustappien lieriöiden alapintaa vasten. Lukitusta varten tehtiin reikä paletin takaosaan ja lukitusta varten tappi. Palettitasolle voitaisiin jyrsiä myös isommat suorakaiteen muotoiset kolot, ja voitaisiin käyttää isompaa lukitusosaa, jolla paikoitus tapahtuisi koloista isompaa vastinpintaa vasten ja lukitusosassa olisi vielä tappi. Näin lukitusosalle saataisiin enemmän massaa ja sen käyttö olisi helpompaa.

Kuviossa 38 on kuvattu valmis palettilevy kokoonpanona. Palettilevyn valmistuspiirustus on liitteenä 8. Sorvattava osa on pohjastaan putkimainen ja paikoitustapeissa on 0,1 – 0,2 mm tolerointi seuraten pitkälti osan sisäpinnan muotoja. Kahvat on mallinnettu osto-osina käytettävistä kahvoista. Paletin massa saatiin Inventorista laittamalla paletin materiaaliksi alumiini ja tappien teräs sekä osan massa tiedetään tarkkaan. Näin saatiin täyden, käyttäjän palettitasolle syöttämän, palettilevyn massaksi noin 23 kg. Palettitaso on noin 1,1 metrin korkeudella. Todettiin, että massa ja nostokorkeus ovat työsuojelun näkökohdasta vielä hyväksyttävissä, koska palettia tullaan vaihtamaan noin 80 minuutin välein, ja siten ei aiheuta liian suurta rasitusta robotin käyttäjälle.



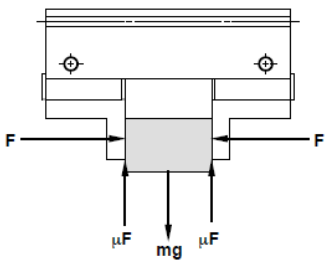
KUVIO 38. Valmiin palettilevyn kokoonpano

9.5 Tarttujan suunnittelu

Tarttujan mekanismin ja toimintaperiaatteen valinta oli helppo, sillä osa on putkimainen ja tulee sorvissa istukan ja vastakaran väliin. Tällöin oli selvää, että tartunnan pitää tapahtua kitkasulkeisesti kaksisormisella keskittävällä tarttujalla. Toimintaperiaatteeksi tuli pneumaattinen, koska robotissa oli jo aiemmasta sovelluksesta valmiit pneumatiikkaletkut ja paineilma on automaatioissa kustannustehokkain tapa. Yrityksellä oli aiemmista manipulaattorisovelluksista hyviä kokemuksia SMC:n tarraimista, joten myös tässä sovelluksessa päätettiin käyttää SMC:n tarraimia. Mahdollinen hintaero muihin toimittajiin ei ole merkitsevä siinä tapauksessa, kun toimittajasta on hyvät kokemukset.

Tarttujan valinnan vaikein osuus oli selvittää tarvittavat voimat. Tässä käytettiin apuna SMC:n tarttujen mitoitusohjetta (KUVIO 39). Osa haetaan ja viedään paletille pystysuorassa ja sorville vaakasuorassa, joten liikeradat suunniteltiin tehtäväksi siten, että kun osa on pystysuorassa, liikerata on vaakasuoraan. Tällöin ei tarvitse välittää robotin kiihtyvyyksistä aiheutuvista voimista, jolloin laskennassa voitiin pääsääntöisesti käyttää tartuntavoiman määrittelyssä painovoimaa ja tarvittavia varmuuskertoimia.

Model selection illustration



When gripping a work piece as in the figure to the left and with the following definitions,

F : Gripping force (N)
 μ : Coefficient of friction between attachments and work piece
 m : Work piece mass (kg)
 g : Gravitational acceleration ($= 9.8\text{m/s}^2$)
 mg : Work piece weight (N)

the conditions under which the work piece will not drop are

$$2\mu F > mg$$

Number of fingers

and therefore,

$$F > \frac{mg}{2 \times \mu}$$

With "a" as the safety margin, F is determined as follows:

$$F = \frac{mg}{2 \times \mu} \times a$$

Gripping force at least 10 to 20 times the work piece weight
 The "10 to 20 times or more of the work piece weight" recommended by SMC is calculated with the safety margin of $a = 4$, which allows for impacts that occur during normal transportation, etc.

When $\mu = 0.2$	When $\mu = 0.1$
$F = \frac{mg}{2 \times 0.2} \times 4$ $= 10 \times mg$	$F = \frac{mg}{2 \times 0.1} \times 4$ $= 20 \times mg$

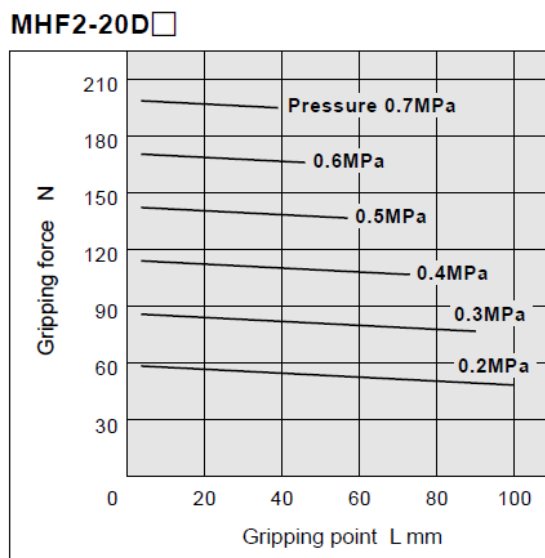
10 x work piece weight 20 x work piece weight

(Note) - Even in cases where the coefficient of friction is greater than $\mu = 0.2$, for safety reasons, SMC recommends selecting a gripping force which is at least 10 to 20 times the work piece weight.
 - If is necessary to allow a greater safety margin for high accelerations and strong impacts, etc.

KUVIO 39. SMC:n ohje tartuntavoimien laskentaan (SMC 2013, 1)

Tartuntavoiman määrittelyssä lepokitka, kun koskettavat pinnat ovat kuivaa terästä, on 0,6 (Kuivanen 1999, 68). Kuvion 39 kaavasta saadaan siten tarvittavaksi tartuntavoimaksi $F = 10 * mg$, tässä tapauksessa $F = 10 * 0,2 \text{ kg (noin)} * 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$. Tarttujan valinnassa vaikutti myös ajatus käyttää sitä mahdollisesti muidenkin kappaleiden käsittelyssä. Laskettiin, että osalle hyötykuormaa jäisi ainakin 1,5 kg, jos käytettäisiin joustoelementtejä, jotka soveltuisivat tuolle massalle. Käyttäen edelleen kuivan teräksen lepokitkakerrointa 0,6, saadaan tarvittavaksi tartuntavoimaksi $F = 10 * 1,5 \text{ kg} * 10 \text{ m/s}^2 = 150 \text{ N}$.

Kappaleen tartuntaetäisyys, ts. tarttujan sormien pituus, vaikuttaa tarttujan tuottamaan voimaan, kuten kuviosta 40 voidaan todeta.



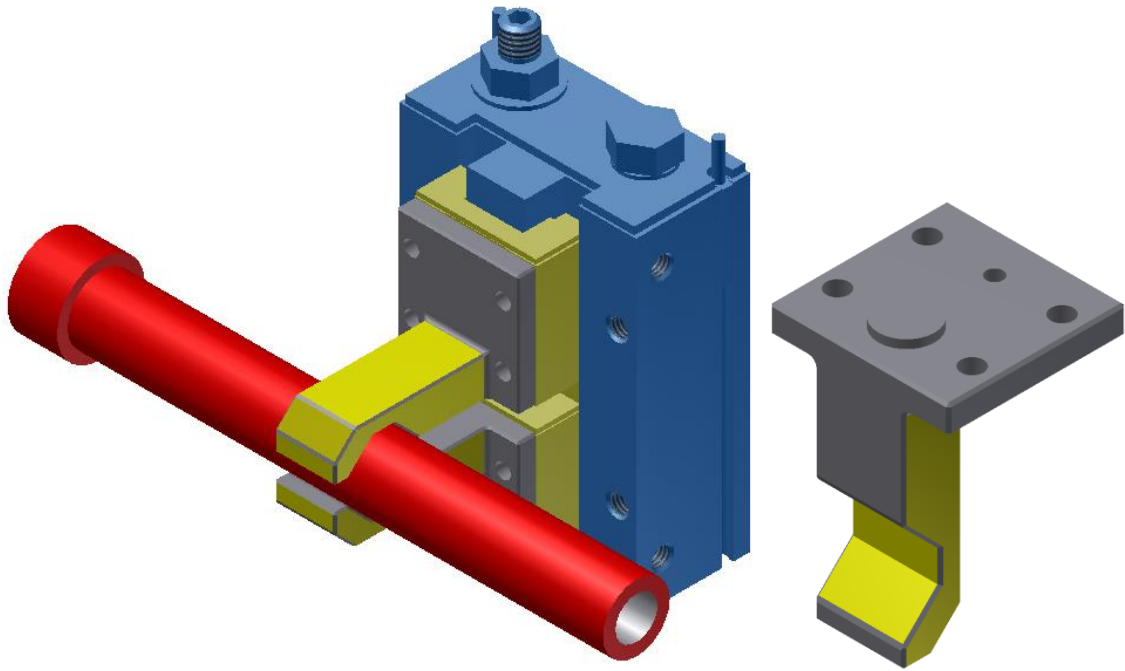
KUVIO 40. Tartuntapisteen etäisyyden ja tartuntapaineen vaikutus tuotettavaan tartuntavoimaan (SMC 2013, 2)

Suunniteltavan osan kohdalla tartuntapiste on noin 50 mm ja paineilmaverkoston paine on 7 bar (= 0,7 MPa). Kuviosta 40 voidaan todeta, että SMC:n MHF2-20D tarttuja tuottaa noin 190 N voiman 50 mm etäisyydellä 7 bar paineella, joten tarttujaa voidaan käyttää turvallisesti muihinkin sovelluksiin joustoelementtien kanssa.

Tarttujan valintaan vaikutti myös se, että putkimainen osa piti saada paikoitettua palettitappeihin ja tyhjiä tappien päällä piti liikkua vaakasuoraan tartunnan aikaansaamiseksi. Tämä asetti vaatimuksia tarttujan koolle, joka ei saisi olla robotin käsivarren ulkomittoja

suurempi. SMC:n MHF2 on 'Low Profile Air Gripper' -malli, eli se on perustarttuvia selvästi pienempi. Robottikäsivarren leveys on 130 mm (LIITE 6) ja työkalulaiipan kohdalla korkeus on noin 100 mm, tämä tieto mitattiin. Näin palettien päällä esteettömän liikkumisen ehdoiksi saatiin, että tarttujan ja joustoelementtien ulkomitat eivät saa ylittää 120 mm. Tämän MHF2-20D täyttää, sillä sen leveys on 62 mm ja pituus 86 mm. Tässä mallissa suurin avautuma on 20 ± 1 mm, joten se myös täyttää noin 17 mm halkaisijaltaan olevan osan tartuntavaatimukset. Tarttujan tyyppiä valittiin kaksitoiminen ja lisäksi optiona anturi tartuntatilaa ilmaisuun.

Tarttujan tyyppiä ja tarvittavan voiman lisäksi piti suunnitella sormet. Tartuntatavaksi valittiin kitkasulkeinen ja ulkopuolelta puristava. Tällaiseen tartuntaan päätettiin tehdä sormet joissa on V-mallin urat 90 asteen kulmassa tartuntapintoina. Sormien kiinnitys mitoitettiin niin, että ne eivät kiinni -tilassa kosketaisi toisiaan. Osan halkaisija noin 17 mm ja avautuman suurin mitta 20 ± 1 mm aiheutti sen, että V-uran mitoitusta piti suunnitella tarkkaan, jotta sormien leveys saatiin sopivaksi V-uraa varten ja toisaalta, että auki -tilaisen tarttujan sormien kokonaisleveys ei kasvaisi kovin suureksi, jotta palettitappien välinen etäisyys saatiin pidettyä pienenä. Auki -tilaiselle tarttujalle piti jättää tarpeeksi etäisyyttä osan pintoihin, jotta osaan ei törmättäisi paikoitusepätkäarkkuuksien vuoksi. Tarttujan sormien ja palettitappien ja niissä olevien osien mittoja luonnosteltiin paperille ja lopuksi sormista tehtiin 3D-mallit, jotka liitettiin tarttujasta saatuun 3D-malliin. Osasta tehtiin uusi 3D-malli, jota käytettiin tarttujan kokoonpanossa varmistamaan tartuntatilojen toimivuutta. Luonnosteltu osa tuotteesta tehtiin, jotta se voidaan esittää tässä opinnäytetyössä salaamatta suunnittelun kohtia. Tarttujan, sormien ja osan toimivuutta ja mitoitusta kuvataan kuviossa 41. Sormen 3D-malli on esitetty kuviossa 41. Sormien materiaaliksi valittiin teräs, jotta rakenne saatiin pidettyä pienenä ja kuitenkin kestäväenä.



KUVIO 41. Tarraimen, sormien ja osan 3D-mallit sormien suunnittelussa

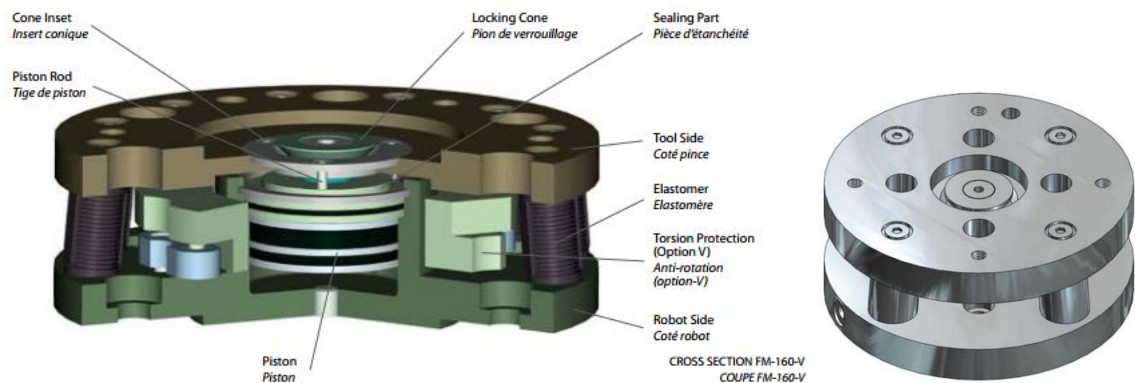
9.6 Joustoelementin valinta

Koska paletin rakenne oli suunniteltu kiinteäksi ja palettitapin ja osan paikoituksen toleranssi oli pieni ja sorvin panostus vaati ehdotonta tarkkuutta, todettiin, että tarttujassa tai robotissa pitää olla joustavuutta. Joustavuutta pitäisi olla horisontaalisesti (x - y -taso) osan hakuun ja vientiin paletille sekä myös kulmajoustavuutta paikoitusepätkäyksistä johtuen. Sorvin panostaminen tapahtuisi viemällä osa robotilla ja puristamalla kiinni istukan ja vastakaran väliin, ja vasta tämän jälkeen robotti voisi avata sormet. Tämä vaatii joustavuutta x - y - z -suunnissa ja myös kulmajoustavuutta.

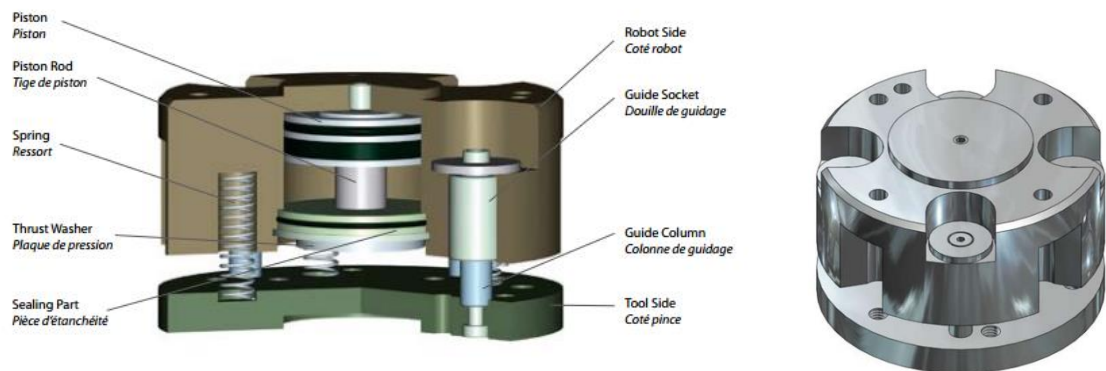
Ratkaisuna olisi ostaa Motomaniin Servo Float -optio, jonka Yaskawa Finland kävisi asentamassa tai käyttää passiivista joustoelementtiä. Servokellunta todettiin käyttöönotto-kuluiltaan liian kalliiksi, joten päädyttiin valitsemaan joustoelementti. Yaskawa Finlandin suositusten perusteella päädyttiin IPR:n (Intelligente Peripherien für Roboter) mallistoon. Myös Schunkin malleja tutkittiin Yaskawa Finlandin suositusten perusteella, mutta niistä ei saatu toimittajalta sopivia mallivaihtoehtoja projektin päättämiseen mennessä.

IPR:llä (2013a) on kolmenlaisia joustoelementtejä. Compliance Wrist (mallimerkintä FM-), joka toimii perinteisen RCC elementin tavoin joustamalla x-y -tasossa sekä tarjoaa kulmajoustavuutta. Lateral Alignment Device (KA-), joka joustaa vain x-y -tasossa. Ja Z-axis Compliance Device (ZN-), joka joustaa vain z-akselin suunnassa. Näistä tähän sovellukseen valittiin Compliance Wrist:in ja Z-axis Compliance Device:n yhdistelmä.

Laitteiden teknisiä tietoja ja robotin kiihtyvyyksiä tutkimalla ei osattu valita oikeaa yhdistelmää, joten pyydettiin apua IPR:ltä valintaan (Jaeschke, 2013). Näin saatiin suositukset käyttää FM-80 ja ZN-80 yhdistelmää. Haluttaessa laajennusvaraa, kuten ajatuksena oli, kannattaisi valita FM-100 ja ZN-100 yhdistelmä (Jaeschke 2013). Suunnitelmassa päädyttiin siten valitsemaan FM-/ZN-100 mallit, mutta niiden tarkemmat mallit, jotka vaikuttavat voimiin, pitäisi päättää tilausta tehdessä. FM-100 mallin toimintaperiaatetta on kuvattu kuviossa 42. ZN-100 mallin toimintaperiaatetta on kuvattu kuviossa 43.



KUVIO 42. IPR Compliance Wrist FM-100 -mallin toimintaperiaate (IPR 2013b)

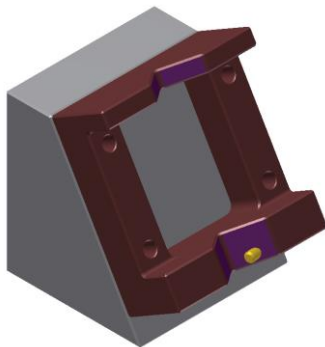


KUVIO 43. IPR Z-axis Compliance Device ZN-100 -mallin toimintaperiaate (IPR 2013c)

FM-100 -mallin halkaisija on 100 mm, massa 0,7 kg sekä hyötykuorma on rajoitettu 3,5 kilogrammaan. ZN-100 -mallin halkaisija on 99 mm, massa 0,99 kg sekä hyötykuorma on rajoitettu 3 kilogrammaan. Näin ollen niiden käyttö ei ulkomitoiltaan rajoita palettitappien päällä liikkumista. Ne mahdollistavat myös käsiteltävää osaa, 0,2 kilogrammaa, raskaampien osien käytön. Joustoelementin hyötykuormaa laskettaessa pitää muistaa lisätä tarttujan massa 645 g, toisen joustoelementin massa sekä osan massa, sillä ne kaikki ovat toisen joustoelementin hyötykuormaa. Elementtien, osan ja tarttujan massat laskien saadaan robotin hyötykuormasta käytettäväksi maksimissaan 2,1 kilogrammaa, joten suunniteltu 1,5 kg:n osan massa toteutuu joustoelementin hyötykuorman ja tarttujan puristusvoiman osalta. On myös huomioitava, että IPR suosittelee pneumaattisesti lukittuvaa mallia, jotta elementtien toiminta ja kesto voidaan taata robotin liikkeiden aikana, koska liikkeistä valtaosa tapahtuu horisontaalisesti.

9.7 Kohdistin- ja mittatelineiden suunnittelu

Vaikka palettitaso ja robotti suunniteltiin samaan kiinteään kokoonpanoon ja palettitapin ja osan paikoitustoleranssi mitoitettiin 0,2 mm:iin ja robotin toistotarkkuus on $\pm 0,08$ mm sekä auki olevan sormen etäisyys tapista on 1,8 mm, haluttiin silti varmistaa paikoitustarkkuus osan hakuun ja viemiselle sorville. Tämä tehtiin käyttämällä kohdistintelineä (KUVIO 44), johon paletista haettu osa viedään ja jossa se kohdistuu aina vakiopaikkaan. Kohdistintelineen avulla voitiin myös vaihtaa sormien otetta keskemälle osan putki- maista runkoa ja näin varmistua, että sorvin syöttämisessä robottikäsi ei olisi tiellä, koska paletilta haettaessa joudutaan mitoista johtuen tarttumaan osan yläkohtaan, jotta palettitapit eivät ole tiellä.

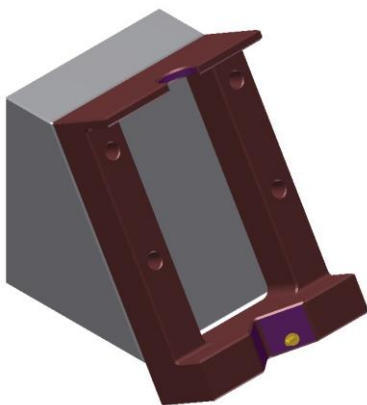


KUVIO 44. Kohdistinteline

Kohdistintelineessä paikoitukseen käytettiin 90 asteen kulmassa olevaa V-uraa. Kiertymäkulma ja paikoituksen korkeus vakioitiin käyttämällä osan alareunassa olevaa uraa ja samoja geometrioita kuin palettitapin suunnittelussa. Kohdistintelineen paikoitustapista tehtiin halkaisijaltaan pienempi, jotta osa voidaan pudottaa robotin sormista hieman ennen tappa ja näin varmistua, että osa kohdistuu oikein. Telineen sisäosa tehtiin avonaiseksi, jotta tarttujan sormet mahtuvat telineeseen. Osan valmistamista ajatellen piti tehdä pyöristyksiä särmien leikkauskohtiin.

Laaduntarkistusmittausta varten tehtiin teline (KUVIO 45) samoja apugeometrioita käyttäen kuin kohdistintelineessä. Mittauksessa mitataan olakkeen ala- ja yläpinnan välinen mitta. Tämän vuoksi korkeussuuntainen paikoitus tapahtuu osan olakkeen alapinnasta telineen yläpintaa vasten. Yläosaan tehtiin puoliympyrän muotoinen lovi V-uran sijasta, jotta kohdistuspintaa saatiin enemmän. Kiertymäkulman ajateltiin säilyvän vakiona sorvilta haettaessa, mittatelineeseen viettäessä ja lopulta purkupaletille viettäessä. Siten kuviossa 45 näkyvää paikoitustappia ei käytettäisi, se kuitenkin mitoitettiin, jotta tapin paikka voidaan valmistaa telineettä tehtäessä, jos kiertymäkulmaa haluttaisiin varmistaa myöhemmin.

Mittauksen tekninen suunnittelu ja mittalaitteen valinta ei kuulunut tähän työhön, mutta ajatuksena oli käyttää sähköisesti nousevaa mittapäätä, joka kiinnitettäisiin telineeseen. Tällöin osan viennissä telineeseen liikkeen ei tarvitsisi olla niin hitaita ja äärettömän tarkkoja, kuin jos robotilla viettäessä pitäisi osan avulla nostaa mittapäätä, samaan tapaan kuin käsin mitatessa.



KUVIO 45. Mittateline

9.8 Turvallisuusnäkökohtien vaikutus suunnittelussa

Suunnittelun alkuperäisenä ajatuksena oli käyttää valoverhoja koko robottisolun turvalaitteina, joten valoverhojen vaikutus layoutiin selvitettiin ensimmäiseksi. Koskettamatta tunnistavien suojauslaitteiden mitoitus on kuvattu standardissa SFS-EN ISO 13855. Tätä varten piti selvittää robotin pysähtymisaika stop -tilan saavuttamisen jälkeen sekä valoverhojen vaikuttumisen aika ja lisäksi määrittellä minkälaista valoverhoa haluttaisiin käyttää. Robotin pysähtymisajaksi saatiin 0,4 s varmistamalla asia Yaskawa Finlandilta (Karvonen 2013b). Valoverhoina oli ajatus käyttää 30 mm resoluutiolla olevia, koska 30mm ja 14mm resoluutioiden ero turvaetäisyyteen ei ole suuri, vain 128 mm (Karvonen 2013b; Andersson 2013). Suunnittelun lähtökohdaksi otettiin SICK:n valoverhot, joille 30 mm resoluutiolla pysähtymisajaksi käytettiin arvoa 13ms (Andersson 2013). Ihmisten liikkeen voitiin katsoa olevan normaaleja robotin lähiympäristössä, joten kehonosien liikenopeutena käytettiin arvoa 1600 mm/s. Nämä arvot sijoittamalla yhtälöön (3) sivulta 48, saadaan:

$$S = (1600 \text{ mm/s} * (0,4 \text{ s} + 0,013 \text{ s})) + 8 * (30 \text{ mm} - 14 \text{ mm}) = 789 \text{ mm}.$$

Yaskawa Finlandin ohje turvaetäisyyksiin valoverhojen käytössä robotilla on 1490 mm kolmisäteisellä, 770 mm 30 mm:n resoluutiolla ja 640 mm 14 mm:n resoluutiolla (Karvonen 2013b). Näin voitiin todeta, että laskenta oli oikein ja layoutin suunnittelussa likiarvona voitiin käyttää 800 mm, tämän todettiin olevan liian paljon käytettävissä olevaan tilaan. Valoverhosuojauksen etäisyysvaatimukset verrattuna puristin- ja jyrsinsoluihin yllätti ja muutti suunnitelmia.

Valoverhosuojauksen pitkät turvaetäisyydet pakottivat selvittämään aidan käyttämistä suojana, tätä kuvataan standardissa SFS-EN ISO 13857. Aidan käyttöön on olennaista selvittää vaarankorkeus, joka saatiin simuloimalla robottia nykyisellä paikallaan sekä tehden simulointi käyttäen suunniteltujen rakenteiden 3D-malleja ja Motoman HP-6 robotin mallia Visual Components'in 3DCreate -simulointiohjelmistolla. Simuloinneista vaarankorkeudeksi saatiin alle 1800 mm. Koska aidoille ei haluttu lisäetäisyyttä robotin työalueesta, aidan korkeudeksi saatiin 2200 mm:ä (LIITE 3). Neliömallista aukkoa käyttäen ja pitäen turvaetäisyys kohtuullisena, saadaan aukon kooksi $10 \text{ mm} \leq e \leq 20 \text{ mm}$, ja näin turvaetäisyys tulee olla $\geq 120 \text{ mm}$ (LIITE 4).

Valoverhoa ajateltiin kuitenkin käytettävän palettitason puoleisessa päädyssä, jolloin palettien vaihto olisi helpompaa. Valoverhon valintaan vaikuttaa myös turvallisuuteen vaikuttavien ohjausjärjestelmien vaadittava suojaustaso PL_r , joka määriteltiin kuvion 28 mukaisesti PL_d :ksi. Tähän vaikuttivat vamman vakavuus S2, vaaralle altistumisen toistuvuus F2 ja vaaran välttämisen mahdollisuus P1 (KUVIO 28).

Valoverhon valintaan vaikuttaa myös vaarankorkeus 1800 mm, näin liitteestä 2 valoverhon korkeudeksi saadaan 2000 mm, kun ei haluta lisäetäisyyttä vaaranvyöhykkeeseen. Valoverhon korkeudesta voi vähentää aliryömimisen estämisen korkeuden ≤ 300 mm, joten valoverho voisi olla 1700 mm, SICK:n lähin vastine tuohon korkeuteen on 1800 mm korkea valoverho. Yleisesti suunnittelussa on hyvä huomata, että SICK:n korkein peili, jolla sädettä jatketaan 90 asteen kulmissa, on 1800 mm (Andersson 2013). Alkuperäisenä ajatuksena oli käyttää yhtä lähetin/vastaanotinparia lavan nurkissa ja käyttää peilejä kahdessa muussa nurkassa.

Suojaustason PL_d toteuttaminen käytännössä vaatii turvalaitteiden kahdentamista ja ennakoivaa diagnostiikkaa. Turva-aitojen anturit ja hätä-seis -releet olisi siten tehtävä kaksinkertaisina, tämä seikka on hyvä huomata osien valinnassa ja kustannuslaskennassa.

Kun toteutettavaksi malliksi oli valittu liikuteltava robottilava, sen osalta turvallisuutta suunniteltiin ensisijaisesti standardin SFS-EN ISO 12100 mukaan ja standardin mukainen riskin arviointi tehtiin osana suunnittelua (LIITE 5).

9.9 Kannattavuuden selvitys

Kannattavuutta selvitettiin automaattioratkaisulla vapautuvan työajan hyödyntämisestä muilla koneilla. Tarkemmat kustannuslaskelmat rajattiin pois tästä työstä. Manuaalisesti osaa panostaen yhteen osaan kuluu 30 sekuntia. Laaduntarkistusmittaus voidaan tehdä edelliselle osalle koneen työstöä odotellessa. Manuaalinen panostus sitoo käyttäjän sorville siten, ettei hän voi hoitaa muita koneita samanaikaisesti. Työntekijän tuntipalkkana sivukuluneen voidaan käyttää likiarvoa 26 €/h.

Robotisoidun ratkaisun tahtiajaksi saatiin 60 sekuntia, joka pitää sisällään tartuntaviiveet ja laaduntarkistusmittauksen. Aika on simuloinneista saatuna pyöristetty hieman ylöspäin. Täyden ja tyhjän paletin syöttämiseen automaattiajaja varten arvioitiin kuluvan 10 minuuttia. Muiden sorvien, joita käyttäjä voi automaattiajon aikana hoitaa, tuntihintana käytetään likiarvoa 60 €/h. 16 000 kappaleen erän kustannuksia on vertailtu taulukossa 4. Robotisoidun panostuksen tahtiaika on 60 sekuntia ja käsin panostuksen aika 30 sekuntia.

TAULUKKO 4. Robotisoinnin kannattavuus vapautuvan työajan hyötynä

		aika, robotisoitu panostus (60/60 min /osa)	aika, manuaalinen panostus (30/60 min /osa)
kpl	16000	16000 min	8000 min
palettia	200	266,7 h	133,3 h
		vapautuva aika (palettien panostus 10min)	tautot jokaista 8h kohti 1h 150,0 h
		14000 min	nopeusetu robotisointiin
		233,3 h	116,7 h
osien hinta työaikana			
	26 €/h	867 €	3900 €
vapautuvasta ajasta saavutettu hyöty muiden koneiden käytöllä			
konetuntihinta			
	60 €	14000 €	7000 €
työajan hinta		867 €	3900 €
erotus		13133 €	3100 €
saavutettu hyöty		10033 €	

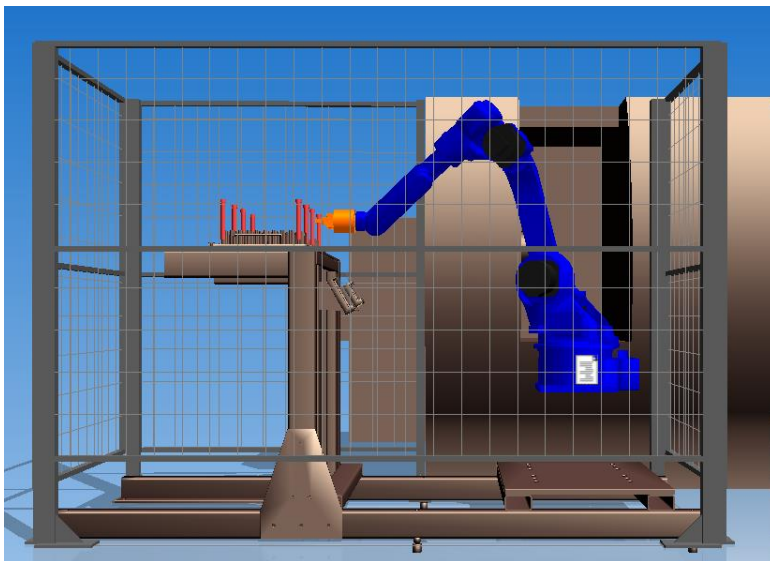
Toimittajien alustavista tarjouksista päätellen robotin ympärille tehtävä aitaus turvalaitteineen ja palettitason päädyn valoverho maksaisivat noin 5000 €. Robottitarttuja maksaisi noin 400 €, ja siihen passiiviset joustoelementit maksaisivat noin 1600 €. Osien hinta olisi siis yhteensä noin 7000 €. Automatisoinnilla saavutettava hyöty on taulukon 4 mukaan 10033 €. Arvioiden, että lavan materiaalit ja asennustyöt olisivat noin 3000 €, investointikustannukset tulisivat takaisinmaksetuiksi 16000 kappaleen erällä. Oikeaa eräkoko ei yrityksen toiveiden mukaan kerrota tässä työssä. Taulukon 4 mukaisesti 16000 kappaleen eräkoolla olettaen, että robotin tahtiaika olisi 55 sekuntia ja käsin panostus 33 sekuntia, saavutettu hyöty olisi 11323 €. Robotin hieman nopeampi tahtiaika ja käsin panostuksen hieman hitaampi aika voisivat hyvin kuvata pidemmän aikavälin toteutumaa.

10 TYÖN TULOKSET

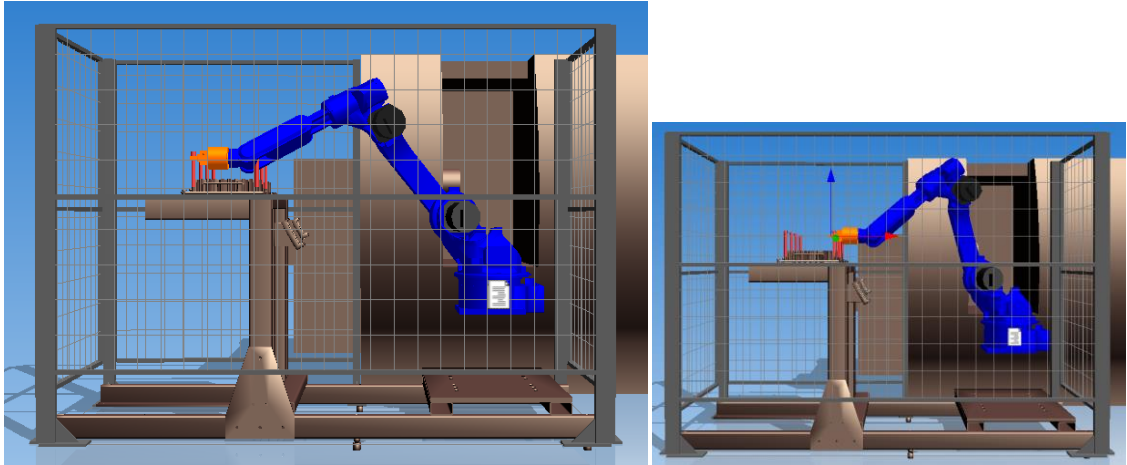
Suunniteltu järjestelmä simuloitiin Visual Components:in 3DCreate -ohjelmistolla käyttäen suunniteltuja 3D -malleja robottisolun osista ja sorvista sekä käyttäen oikean robotin mallia. Näin voitiin varmistua työalueesta, tarttujan sormien tilasta paletilla, liikeradoista etenkin sorvin sisällä sekä kohdistin- ja mittatelineen osalta. Lisäksi simuloinnilla voitiin varmistua vaarankorkeudesta, joka haluttiin pitää alle 1800 mm:n. Näin voitaisiin valita valoverho, joka ei toisi lisäetäisyyttä ja toteuttaa myös peiliratkaisu.

Visual Components:in 3DCreate -ohjelmisto, jota oli käytetty oppilaitoksella robottiohjelmointijaksolla, on simulointiohjelmisto, jolla ei voi suorittaa etäohjelmointia ilman erillistä robottimerkkikohtaista postscript -laajennusta. 3D -mallit vietiin ohjelmistoon STL -muodossa. Tämän jälkeen ne asemoitiin suunnitelluille paikoilleen. Aidat tehtiin 3DCreaten ohjelmakirjaston osista, tärkein mitta oli korkeus, muuten niiden aukkokoko tai tarkka sijainti ei ollut simuloinnin tärkeimpiä tutkittavia asioita.

Kuvioissa 46 ja 47 on kuvattu robotin työaluetta ja nivelkulmia osaa haettaessa ja vietäessä paletille. Niistä selviää myös, että robotin käsivarsi, joustoelementti tai tarttuja eivät estä lineaariliikkeitä paletin päällä liikuttaessa.

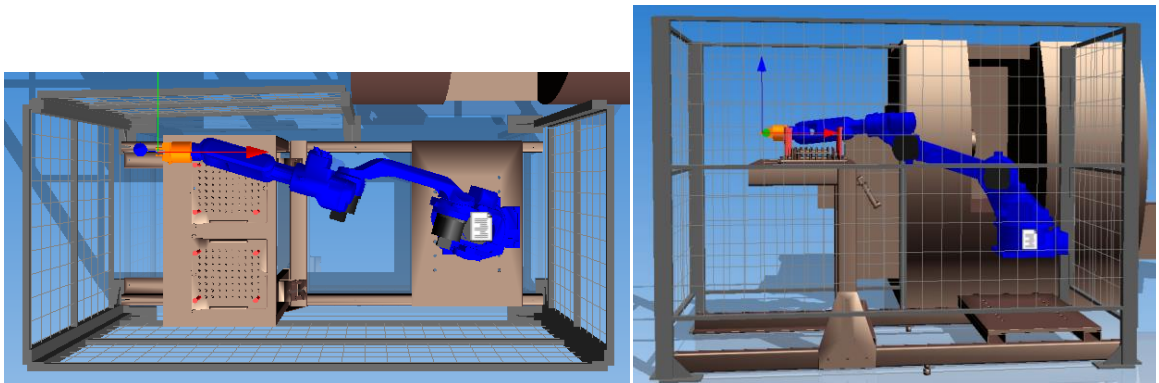


KUVIO 46. Robotin tartunta hakupaletin ensimmäisestä osasta

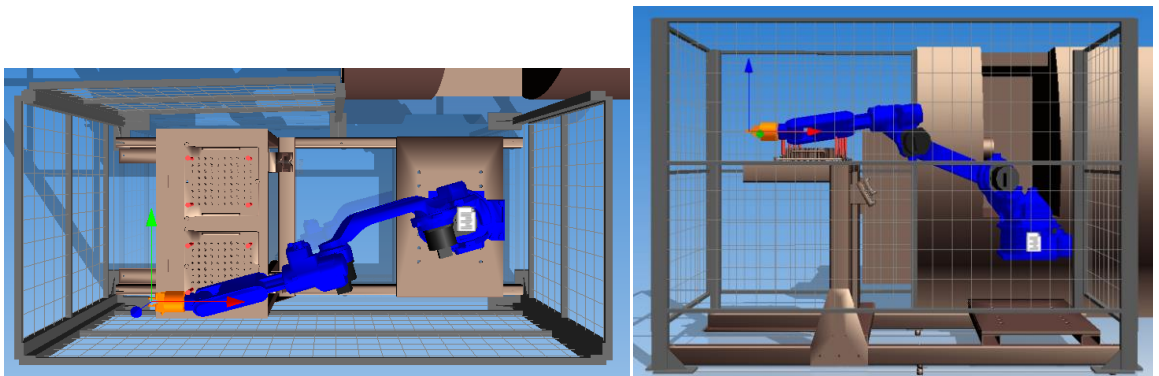


KUVIO 47. Robotin vientiliike ensimmäiselle (vas.) ja viimeiselle (oik.) purkuriville

Simuloinnilla voitiin varmistaa, että lineaariliikkeet palettitasojen päällä eivät tapahdu työalueen äärikohdissa, mikä on hyvä liikenopeuksia, momentinhallintaa ja robotin kulumaa ajatellen. Tätä on kuvattu kuvioissa 48 ja 49.

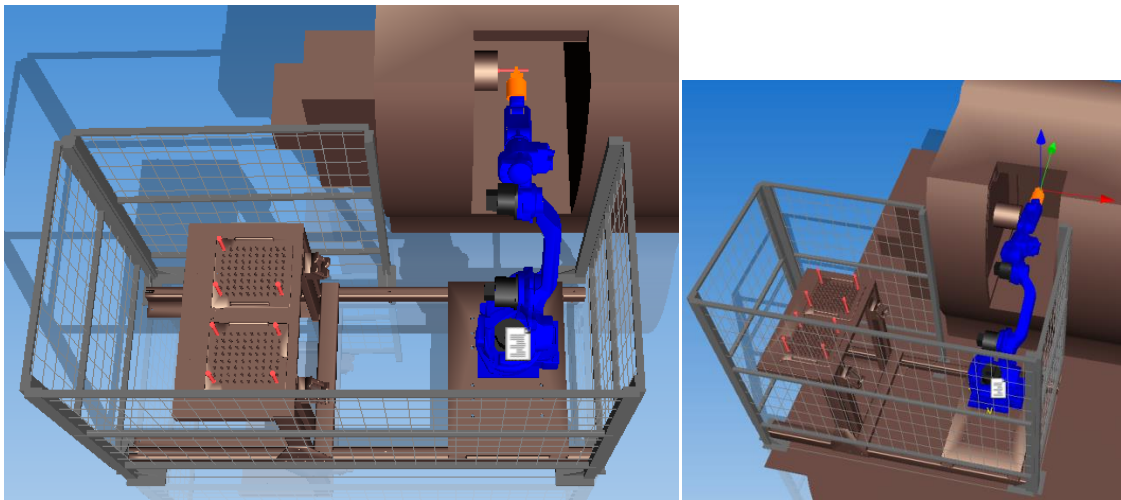


KUVIO 48. Robotin lineaariliikkeen ääriasetto hakupaletin päällä



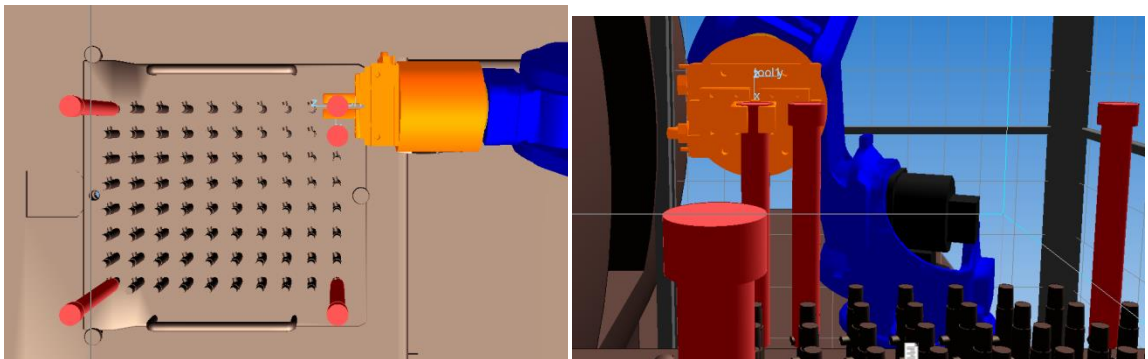
KUVIO 49. Robotin lineaariliikkeen ääriasetto purkupaletin päällä

Kuviosta 50 nähdään, että robotti kannattaa sijoittaa siten, että sen 1. akselin keskipisteessä oleva peruskoordinaatisto on sorvin sisään menevän liikeradan kanssa samalla linjalla. Tällöin käsivarren nivelkulmia ei tarvitse muuttaa niin paljoa. Kuviosta 50 voi todeta myös, että kohdistintelineen käyttö, jossa tartuntaa vaihdetaan keskenmälle osaa, on tarpeen. Kuten kuviosta 46 nähdään, alkuperäinen tartunta tapahtuu ihan olakkeen alapinnan kohdalta ja siten robottikäsivarsi voisi osua sorvin istukkaan, jos otetta ei vaihdettaisi. Kuviosta 50 nähdään myös, että sorvin panostaminen ei tapahdu robotin liikeradan äärialueella.



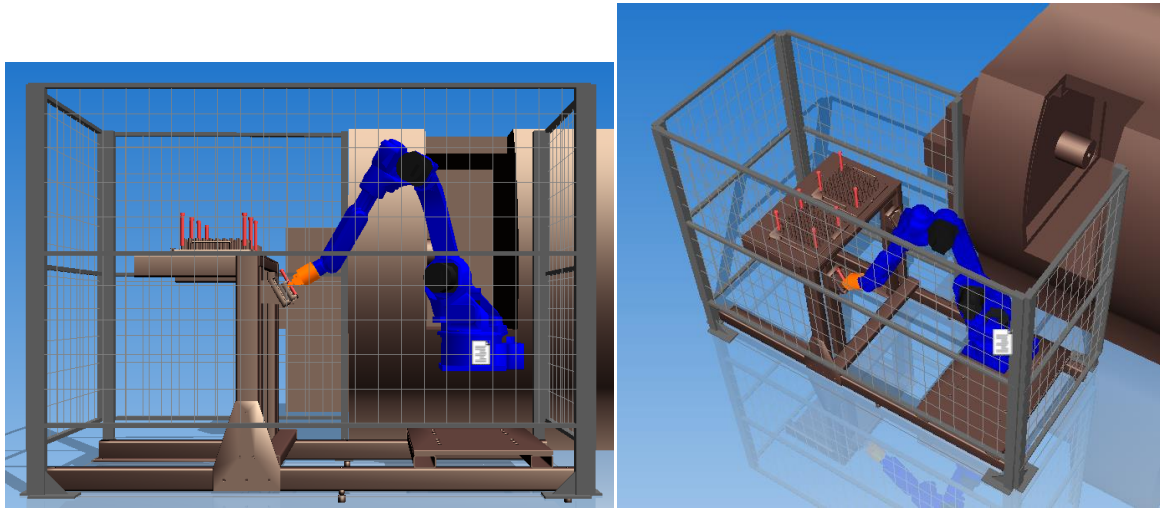
KUVIO 50. Robotin sijoitus peruskoordinaatiston ja sorvin istukan linjalle (vasemmalla) sekä robotin liikkeen äärialue sorvin sisällä (oikealla)

Simuloinnilla voitiin myös varmistua, että tarttujan sormien suunnittelu oli tehty oikein ja, että tarttujan ollessa kiinni ja noustaessa ylös, kiinni olevilla sormilla on tilaa viereisiin osiin nähden. Tätä on kuvattu kuviossa 51.



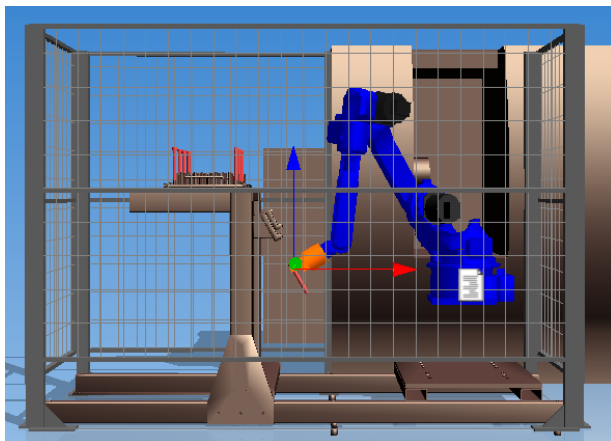
KUVIO 51. Tarttujan sormien tila viereisiin osiin kiinni -tilaisena

Myös kohdistus- ja mittatelineen sijainti sekä liikeratojen toimivuus voitiin varmistaa simuloinnilla. Tätä on kuvattu kuviossa 52.



KUVIO 52. Liikeratojen varmistus mitta- ja kohdistintelineelle

Viallisten osien paikkaa ja sen laatikkoa ei suunniteltu tarkemmin, mutta sijainti saatiin selville simuloimalla liikeratoja. Kuvioista 53 voi todeta, että lineaariliikkeet mitta- ja kohdistintelineen alapuolella ovat rajoitettuja. Laatikon saaminen käytön kannalta hyvään paikkaan lähelle aitaa vaatisi käytännön kokeiluja rakennetussa kokoonpanossa.



KUVIO 53. Lineaariliikkeen rajoittuneisuus mitta- ja kohdistintelineiden alapuolella viallisten osien laatikon sijoitusta suunniteltaessa

Kuvioiden aidat ovat 1800 mm:n korkeudella ja niistä voidaan todeta, että liikkeiden korkeimmat kohdat eivät ylitä aitoja. Vaarankorkeudelle saatiin vahvistus, kun simuloituista liikeradoista saatiin liikkuva 3D-malli PDF -tiedostona 3DCreate -ohjelmistosta. Ohjelma-kiertoa voitiin tutkia aitojen korkeudelta ja todeta, että liikkeet pysyvät aitojen alapuolella.

Kuvioista puuttuvan robottikorokkeen korkeus saatiin mittaamalla robottitason ja robotin alapinnan välinen etäisyys. Näin voitiin todeta, että olemassa olevaa robottikoroketta pitäisi lyhentää. Robottikorokkeesta tehtiin vielä 3D -malli ja valmistuspiirustukset.

11 YHTEENVETO JA POHDINNAT

Työn tavoitteena oli saada aikaan toteuttamiskelpoinen esitys CNC-sorvin panostuksen automatisoinnista manipulaattorilla tai robotilla sisältäen tarraintyökalun ja paletin sekä turvallisuusnäkökohdat. Työn haastavuutta lisäsi se, että automaattoratkaisu ei saisi estää käsin panostusta. Työssä selvitettiin manipulaattoriratkaisujen toteuttamista lähinnä sähköisillä servojärjestelmillä. Näistä saatiin kaksi toteuttamiskelpoista esitystä (KUVIO 30), mutta ne todettiin liian kalliiksi tämän automaatioprojektin yhteydessä. Robottivaihtoehtoisissa selvitettiin lattia-, seinä- ja kattoasennuksia. Näistä seinä- ja kattoasennukset olisivat olleet toteuttamiskelpoisia tähän työhön, mutta niiden tukirakenteet todettiin liian kalliiksi tämän työn puitteissa. Toteuttamiskelpoiseksi esitykseksi valikoitui siten liikuteltavan robottilavan käyttö. Liikuteltavia robotteja ei teollisuudessa käytetä yleisesti, joten valmiita esimerkkejä ratkaisuista ei ollut saatavilla.

Työn tuloksena saatiin liikuteltava robottilava työpiirustuksineen. Myös tarraimen mekaniikka ja toimintaperiaate valittiin, ja tarraimena esitetään käytettävän SMC:n MHF2-20D -tarrainta. Tarraimen lisäksi valittiin passiivisten joustoelementtien yhdistelmä, jolla saavutetaan paikoituksen tarvitsemat x-y-z -joustot sekä tarvittava kulmajousto. Joustoelementteinä esitetään käytettävän IPR:n Compliance Wrist FM-100 -mallia sekä Z-axis Compliance Device ZN-100 mallia. Valittu tarrain ja joustoelementit mahdollistavat automatisoinnin kohteena olevan osan 0,2 kg:n massan lisäksi jatkokehitysmahdollisuudet muiden osien automatisointiin aina 1,5 kilogrammaan asti. Työn kohteena olevalle osalle suunniteltiin myös tarraimen sormet työpiirustuksineen.

Automaation tarvitsemat syöttö- ja purkupaletit suunniteltiin työpiirustuksineen. Syöttö- ja purkuratoja ei suunniteltu, koska yritys halusi toteuttaa automatisoinnin yksinkertaisesti. Niitä kuitenkin selvittiin alkusuunnitteluvaiheessa. Sorvin panostuksen tarkkuus oli vaatimuksena, ja tästä syystä suunniteltiin myös kohdistinteline, jolla panostettava osa saadaan aina vakiopaikkaan ennen sorviin vientiä. Kohdistintelineen avulla voidaan myös vaihtaa tarraimen otekohtaa osasta ja näin varmistua, että robotin käsivarsi ei osu sorvin istukkaan panostuksen aikana.

Laaduntarkistusmittaus on olennainen osa prosessissa ja vaikka sen tekninen suunnittelu oli rajattu pois tästä työstä, sen tarve huomioitiin robotin työaluetta ja ohjelmaa ajatellen. Mittausta varten suunniteltiin mittausteline, johon osa voitaisiin vakioidusti viedä. Mittaustelineestä tehtiin työpiirustukset.

Työssä piti huomioida myös turvallisuusnäkökohdat, vaikka koneryhmän CE-merkintä oli rajattu pois. Työssä esitetään valoverhojen turvaetäisyydet ja korkeus tässä sovelluksessa sekä turva-aitojen korkeus, turvaetäisyys ja aukkokoko. Layout -vaatimusten vuoksi työssä esitetään käytettävän turva-aitoja robottilavan ympärillä, ainoastaan palettien syöttö- ja purkupäässä esitetään käytettävän valoverhoja solun paremman käytettävyyden vuoksi. Koneryhmän turvallisuuden vaadittavaksi suoritustasoksi saatiin PL_d , minkä vuoksi turvajärjestelmiin liittyvät ohjausjärjestelmät on kahdennettava ja niillä on oltava ennakoiva vikadiagnostiikka.

Toteuttamisvaiheessa mietittäviksi kohdiksi jäi turva-aitojen ovien mekaniikka sekä aitojen ja valoverhojen kiinnikkeiden suunnittelu. Alustan liikuttamista varten pitäisi hankkia pidempi pumppukärry. Toteuttamisvaiheessa pitäisi asentaa myös paineilmaletkut ja virransyöttö.

Robotisoinnin kannattavuutta laskettiin karkeasti taulukon 4 mukaisesti, ja voidaan todeta, että robotisointi olisi kannattava vaihtoehto. Alustavista tarjouksista, pyörityksistä ja likimääräisyyksistä johtuen tarkkaa lukua ei saatu tässä työssä, mutta kannattavuus on kuitenkin selkeästi todettavissa. Investointipäätöstä on helpottamassa jo hankittu, mutta käyttämättömänä oleva robotti. Olettaen, että robotin tahtiaikaa saataisiin lyhennettyä oikeassa sovelluksessa, ja käsin panostus veisi keskimääräisesti hieman enemmän aikaa pidemmän aikavälin tarkastelussa, robotisoinnin kannattavuus kasvaisi entisestään.

Tämä työ opetti tekijälleen paljon robottisolun suunnittelusta. Työssä joutui käyttämään useita oppilaitoksessa opiskeltuja ammattiaineita ja -aiheita, kuten robotiikka, mekaniikka, lujuusoppi, servotekniikka, koneturvallisuus, simulointi ja 3D -mallinnus. Erityisesti turvallisuusnäkökohdat suunnittelussa olivat haastavia ja opettavaisia ja standardien tuntemus kasvoi merkittävästi koneturvallisuuden ja robottien osalta.

Työssä huomasi myös kuinka paljon oheislaitteet vaikuttavat manipulaattori- tai robotisolun suunnittelussa. Esisuunnittelun selvitykset kuljetinradoista olivat opettavia, vaikka tämän työn toteuttamisesityksessä niitä ei käytetäkään.

Vaikka liikuteltavia robotteja ei yleisesti käytetä teollisuudessa, oli se mielenkiintoinen ja haastava lähestymistapa. Liikuteltavuuden hyvänä puolena tuli esille, että robotille voisi järjestää opetuspaikan, jossa yrityksen työntekijät voisivat harjoitella robotin käyttöä pelkäämättä tuotantokoneille aiheutuvia vahinkoja. Myös ohjelmia muille osille voisi suunnitella opetuspaikalla, koska robotti ja palettitaso on kiinteästi paikoitettu kokonaisuus. Ainoastaan työstökoneen opetetut pisteet pitäisi korjata oikealla paikalla.

Esitetty suunnitelma on jatkokehitystä ajatellen muokattavissa, vaikkakaan ei helposti, käytettäväksi automaattisilla syöttö- ja purkuradoilla, jos miehittämätöntä tuotantoa halutaan lisätä. Myös palettikoko on valittu sellaiseksi, että siihen mahtuu myös sorvilla tehtäviä muita tuotteita. Paletin paikoitustapit tai -urat pitää tietysti suunnitella tuotekohtaisesti. Paletteja voi käyttää myös tuotantoprosessien muissa vaiheissa, ainakin kuljetuksessa ja osin haun paikoituksessa, koska koko on suunniteltu niin, että paletit sopivat hyvin eurolavalle. Jatkokehittelyä ajatellen muut sorvattavat osat ovat yleisemmin kiekkomaisia, joten tarttujaksi pitäisi valita todennäköisesti pneumaattinen keskittävä kolmisorminen tarttuja, joustoelementtejä voisi kuitenkin käyttää. Tämä tosin rajoittaa käytettävien kiekkomaisten kappaleiden massaa.

Esitetty suunnitelma nähtiin yrityksessä toteuttamiskelpoisena ja erityisesti turvallisuusnäkökohdat lisäsivät myös yrityksen osaamista ja helpottavat siten muiden automaatiokohteiden suunnittelua.

LÄHTEET

Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY.

Airila, M. 1999. Mekatroniikka. Viides korjattu painos. Helsinki: Hakapaino.

Andersson, M. 2013. Sähköpostikeskustelu turva-asiantuntijan kanssa valoverhoista ja PL -tasoista. Toukokuu 2013. SICK Oy. Vantaa.

Billing, M. 2012. Oppimisympäristö robotiikan ja etäohjelmoinnin opetukseen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampere.

Craig, J.J. 2005. Introduction to robotics. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.

Festo. 2013. DHSR-10 Three-dimensional gantry. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.festo.com/cat/de_de/DKI3PortSearch.asp?qry=DHSR-10-EGC120TB-EGC120TB-DGEA25. Luettu 20.7.2013.

Fonselius, J., Rinkinen, J. & Vilenius, M. 1998. Koneautomaatio, servotekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab.

Fraser, I. 2010. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. Toinen painos. Euroopan komissio, yritys- ja teollisuustoiminta. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/machinery/guide-appl-2006-42-ec-2nd-201006_fi.pdf. Luettu 13.8.2013.

Halme, J. & Parikka, R. 2005. AC-servomoottori - rakenne, vikaantuminen ja havainnointimenetelmät. Tutkimusraportti. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/servomoottori_rakenne_vikaantumine_n&havainnointi.pdf. Luettu 25.7.2013.

Hirvonen, M. 2001. Sähköisen lineaariservomoottorijärjestelmän dynamiikan simulointi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Lappeenranta.

IPR (Intelligente Peripherien für Roboter GmbH). 2013a. Alignment Devices. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.iprworldwide.com/en/start/standard-components/adjustment-systems.html>. Luettu 21.8.2013.

IPR. 2013b. Compliance Wrist FM-100. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://www.iprworldwide.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/en_Compliance%20Wrist%20Pneumatic%20FM-100-P_15100049.pdf. Luettu 21.8.2013.

IPR. 2013c. Z-Axis Compliance Device ZN-100. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://www.iprworldwide.com/uploads/tx_ttproducts/datasheet/en_Z-Axis%20Compliance%20Device_ZN-100_15120025.pdf. Luettu 21.8.2013.

Jalli, T. 2013. Jyrsinkoneiden vakiotyökalut sekä koneistustöiden esivalmistelun haasteet. Opinnäytetyö. Hämeen ammattikorkeakoulu. Tuotekehityksen koulutusohjelma. Riihimäki.

Jaeschke, P. Sähköpostikeskustelut Sales Manager:in kanssa joustoelementtien valinnasta. Touko-kesäkuu 2013. IPR - Intelligente Peripherien für Roboter GmbH. Saksa.

Karvonen, H. 2013a. Puhelinkeskustelu asiakastuen päällikön kanssa Motoman HP-6 robotin katto- ja seinäasennuksista. Maaliskuu 2013. Yaskawa Finland Oy. Turku.

Karvonen, H. 2013b. Puhelinkeskustelu asiakastuen päällikön kanssa Motoman HP-6 robotin pysähtymisajasta ja valoverhoista. Toukokuu 2013. Yaskawa Finland Oy. Turku.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 1998. Konetekniikan perusteet. Toinen painos. Porvoo: WSOY.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M. & Sumujärvi, M. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.

Kippo, A.K. & Tikka, A. 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Vantaa: Suomen robotiikkayhdistys ry, Talentum Oyj.

Latokartano, J. 2011. Simulointi ja etäohjelmointi robottihitsauksessa. Tampereen teknillinen yliopisto ja Suomen robotiikkayhdistys ry. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=3&id=1154&sid=1031>. Luettu 1.8.2013.

Latokartano, J & Vihinen, J. 2009. Robottien etäohjelmointi. Suomen robotiikkayhdistys ry. Pdf-tiedosto. Robotiikan opetusmateriaalista Centria ammattikorkeakoulu.

Liski, A. 2011. Lineariservomoottori osana pakkausautomaatiojärjestelmää. Opinnäytetyö. Metropolia ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikka. Helsinki.

Moilanen, V.-P. 2007. Lineaariliikkeen ohjaaminen logiikalla. Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Kajaani.

Niku, S.B. 2011. An introduction to robotics: analysis, control, applications. 2nd edition. Danvers, MA: John Wiley & Sons, Inc.

Orfer. 2013a. Machinery Man. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.orfer.fi/suomeksi/Robostiikka/MachineryMan/tabid/11454/language/fi-FI/Default.aspx>. Luettu 30.7.2013.

Orfer. 2013b. Rowa on apteekkirobotti. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.orfer.fi/suomeksi/Rowa/Robotinm%C3%A4%C3%A4ritelm%C3%A4/tabid/7204/language/fi-FI/Default.aspx>. Luettu 19.7.2013.

Pekkanen, E. 2010. Uuden robottisolun ohjelmointitavan mahdollisuudet pienille ja keskisuurille yrityksille. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Lappeenranta.

Pesu, J. 2010. Putkenkattaisukone, Ohjauksen muutos logiikka- ja servokäytöksi. Opinnäytetyö. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Seinäjoki.

Pro Estore Oy. 2013. Pro Estore Oy:n www-sivut sisältäen tiedot osaamisalueista, asiakaskunnasta, konekannasta, laadusta ja arvoista. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.proestore.com/?sivu=etusivu>. Luettu 17.7.2013.

Sandvik Coromant Finland. 2013. Sorvauskeskukset. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/tool_holding_machines/application_overview/machines_tooling_systems/turning_centres/Pages/default.aspx. Luettu 27.8.2013.

Servojärjestelmän viritys. 2008. Teknillinen korkeakoulu, Automaatio- ja systeemitekniikan laboratoriotyöt. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/Labratyo4_2008.pdf. Luettu 24.7.2013.

SFS-EN ISO 9787 Manipulating industrial robots. Coordinate systems and motion nomenclatures. 2000. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 10218-2 Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration. 2011. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 2010. 3. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. 2008. 2. Painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 13855 Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 13857 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeelle. 2008. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

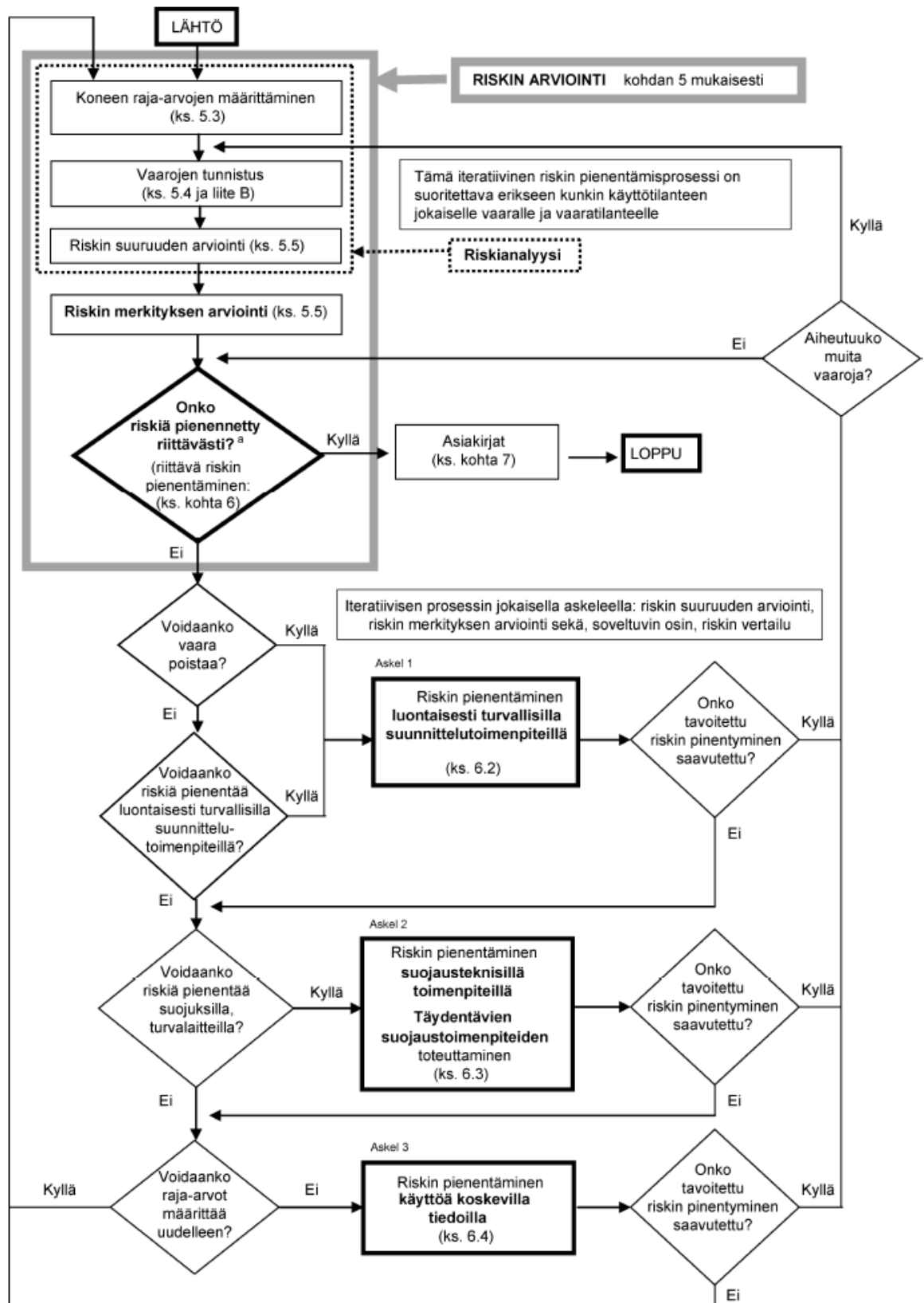
SMC. 2013. MHF2 tarttujan tekniset tiedot ja voimien mitoitus. Pdf-tiedosto. Saatavissa: http://content2.smcetech.com/pdf/MHF2_EU.pdf. Luettu 21.8.2013.

Takaneva, T. 2010. Levyntyöstökoneen robotisoitu palvelu. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Tampere.

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>. Luettu 14.8.2013.

Yaskawa industrial robot. 2013. Motoman-HP series. Pdf-tiedosto. Saatavissa: <http://www.carbines.co.nz/pdf/HP-Series.pdf>. Luettu: 8.9.2013.

Riskin arvioinnin iteratiivinen kolmen askeleen menetelmä (SFS-EN ISO 12100, 30)



LIITE 2

Koskettamatta tunnistavan turvalaitteen pystysuoran havaitsemisvyöhykkeen yli kurottaminen (SFS-EN ISO 13855, 42)

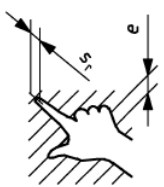
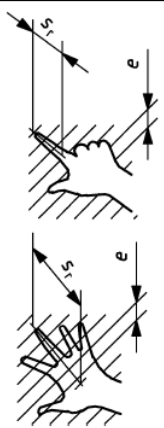
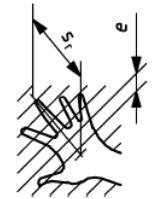
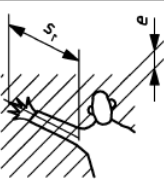
Mitat millimetrejä

Vaaravyöhykkeen korkeus ^a	Koskettamatta tunnistavan turvalaitteen havaitsemisvyöhykkeen yläreunan korkeus ^b											
	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
	Lisäetäisyys vaaravyöhykkeeseen C_{RO}											
2600 ^a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	550	400	250	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	750	450	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kun taulukosta saadaan arvoksi nolla, vähimmäisetäisyyden, S , laskeminen olisi tehtävä kohtien 6.2 ... 6.4 mukaisesti.

Ulottuminen säännöllisen muotoisten aukkojen läpi (SFS-EN ISO 13857, 22)

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
Käsivarsi olkapäähän saakka		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 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.

Riskin arviointi standardin SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus, yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskien pienentäminen kohtien 5.2 - 5.5 ja 6 mukaan.

5.1 Yleistä

Riskin arviointiin kuuluu riskianalyysi, joka sisältää:

- 1) koneen raja-arvojen määrittäminen
- 2) vaaran tunnistaminen sekä
- 3) riskien suuruuden arviointi, ja riskin merkityksen arviointi.

5.2 Riskin arviointia varten tarvittavat tiedot

Koneen hyödyntäjänä on yritys itse ja sen työnantaja. Koneen käyttäjinä ovat yrityksen työntekijät, oppilaat ja harjoittelijat.

Koneyhdistelmä koostuu robotista ja sorvista sekä metallirunkoisesta robottilavasta. Robotti ja sorvi käyttöönotetaan niiden valmistajien ohjeiden mukaan. Robottilava suunnitellaan hyviä suunnitteluperiaatteita noudattaen. Elinkaareen kuuluu käyttöönotto, tarkoitettu käyttö ja kun huoltamalla ei saada laitteita toimimaan suunniteltujen toleranssien rajoissa, sorvi ja robotti poistetaan käytöstä romuttamalla. Robotista ja sorvista on valmistajien rakennepiirustukset, koneyhdistelmästä rakennepiirustukset.

Sorvin energiansyöttö on toteutettu valmistajan ohjeiden mukaan, robotille tuodaan liitettävä sähkövirran ja paineilman syöttö normaalien sähkö- ja paineilma-asennusohjeiden mukaan.

Robotin ja sorvin käytöstä on valmistajien ohjeet.

Suunnittelussa sovelletaan valtioneuvoston asetuksia

- 12.6.2008/400 Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta
- 12.6.2008/403 Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta
sekä standardeja
- SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen
- SFS-EN ISO 10218-1 Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 1: Robots (ISO 10218-1:2011)
- SFS-EN ISO 10218-2 Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration (ISO 10218-2:2011)
- SFS-EN ISO 13855 Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet

- SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet
- SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet
- SFS-EN ISO 13857 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille
- SFS-EN ISO 4414 Pneumaattinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset
- SFS-EN ISO 23125 Metallityöstökoneiden turvallisuus. Sorvit.

5.3.2 Käyttörajat

Robottisolu liikutetaan koneyhdistelmän osaksi manuaalisesti käyttäen joko pumppukärryä tai trukkia. Käyttökuntoon saattamisessa poistetaan ohjauskaappia tukevat jalat ja lisäksi kytketään sähkövirta ja paineilma robotille pikaliittimillä. Vastaavasti, kun robottisolu on siirretty pois käytöstä, ohjauskaappia tukevat jalat asetetaan paikoilleen ja sähkövirta ja paineilma kytketään pois.

Koneyhdistelmän normaali toimintatila on automaattinen, jossa robottisolu ohjaa cnc-sorvia tangonsyöttölaitteen logiikan kautta. Automaattitilassa robotti hakee työstettävän kappaleen hakupaletilta, kohdistaa sen kohdistustelineessä ja vie sorville työstettäväksi. Sorvi toimii oman työstöohjelmansa mukaan, kuten se toimisi ilman robottiakin. Työstetty kappale haetaan sorvista, viedään mittaukselineeseen ja mittauksen jälkeen kappale viedään valmiiden osien paletille. Viallinen osa viedään viallisten osien laatikkoon ja toiminta jatkuu alusta. Kahden perättäisen viallisen työstön jälkeen käyttäjän tulee tarkistaa sorvin asetukset, terän kunto sekä robotin vientiliikkeen paikoitus, tämä tarkistus tapahtuu robotin manuaalijolla. Sorvin asetusten tarkistuksen ajan robotti on häätäpysäytys tilassa estäen robotin liikkeitä.

Robotin liikkeitä opetetaan robotin käsiajotilassa, jolloin robotin liikenopeus on rajoitettu 250mm/s.

Käyttäjä voi joutua korjaamaan palettien sijoittelua tai mittalaitteen toimintaa, jolloin robotti menee häätäpysäytystilaan.

Sorvin toimintahäiriössä robotti laitetaan häätäpysäytystilaan, jolloin käyttäjä voi korjata sorvia. Sorvin korjaamiseen pätee samat ohjeet kuin sen käytössä ilman robottia koneyhdistelmän osana.

Työstettävä osa voi jäädä jumiin palettiin, jolloin käyttäjä laittaa robotin häätäpysäytystilaan ja käy korjaamassa kappaleen sijoittelua palettilevyllä. Paineilma voidaan joutua katkaisemaan järjestelmästä, jotta osa saadaan irti robottitarttujasta.

Koneyhdistelmän käyttö on normaalia teollista robottisolun käyttöä, sorvin osalta pätee se miten sorvia käytetään ilman robottiakin. Käyttäjinä voivat olla yrityksen työntekijät 18 – 65 vuotta, miehiä tai naisia, robotin ja sorvin käyttöpaneelit vaativat normaalia näkökykyä käskyjen antamiseksi. Haettavien kappaleiden täyden paletin asettaminen vaatii lihasvoimaa.

Koneen käyttäjinä ovat yrityksen työntekijät joiden koulutustaso on ammattikoulun koneistaja tai vastaava opistoasteinen koulutus. Osalla käyttäjistä on kokemusta robottisolun käytöstä, valtaosalla ei ole kokemusta robotin käytöstä. Kaikilla käyttäjillä on kokemusta automaattisista sorveista tai jyrsinkoneista. Kaikilla käyttäjillä on kyky tulla toimeen automaattisten työstökoneiden kanssa. Kunnossapitohenkilöstö ja tekniset asiantuntijat ovat pääosin koneen käyttäjiä, teknisillä asiantuntijoilla on kokemusta robottiohjelmoinnista.

Koneen käyttäjinä voivat olla myös oppilaat ja harjoittelijat ammattikoulusta koneistajalinjalta, joten heidän kokeneisuutensa robottien ja sorvien kanssa on vähäistä.

Tehdasympäristö on lukittu tila, joten koneyhdistelmää ei tavallinen yleisö pääse käyttämään. Viereisten koneiden käyttäjistä osalla on kokemusta robottisoluista ja kaikilla on kokemusta sorvien käytöstä. Hallinnollinen henkilöstö on osallistunut koneiden käyttöön, joten he ymmärtävät robottisolun vaarat. Useimmilla vierailijoilla on kokemusta koneistusyrityksistä, joten heillä on perustietämys robottien ja sorvien vaaroista. Vierailijoilla on yrityksen työntekijä mukana, joten heitä voidaan varoittaa koneyhdistelmän vaaroista.

5.3.3 Tilarajat

Robotin haku- ja vientiliikkeet paletille ovat 1400mm, sorviin 1250mm, robotti liikkuu vain palettien ja sorvin välillä noin 100 asteen kulman määrittämällä alueella. Robotin nivelten ja tarttujan liikkeiden korkeus rajoittuu 1800mm alle. Sorvin liikkeisiin pätee sama, mitä käytössä ilman robottia.

Käyttökuntoon saattamisessa ja poistamisessa robottia liikutellaan kymmenen metrin matkalla sekä nostetaan joitakin senttejä ilmaan. Robotin lukitseminen lattiaan vaatii ruuvien kiinnittämistä robottialustaan.

Palettitasot ovat 1060mm korkeudella

Sorvin istukan ja teräpalojen huolto on sorvissa noin 600 mm syvyydellä ja noin 1100 mm korkealla. Huolto vaatii kulkemista robotin ohi.

Robotin ohjausyksikkö ja tehonsyöttö ovat ohjauskaapissa robottialustalla palettitason alla.

5.3.4 Aikarajat

Robotin oletettu käyttöikä on 15–20 vuotta, robotilla on NN käyttövuotta, joten ennakoitava käyttöikä on NN vuotta. Sorvin käyttöikään pätee, mitä sen valmistaja on määritellyt. Uuden robottitarttujan ennakoitava käyttöikä on ainakin kymmenen vuotta. Selkeästi kuluvia osia ovat sorvin teräpalat.

Koneyhdistelmässä ei ole yhteiskulumaa, joten huoltoväleihin pätee se mitä robotin ja sorvin valmistaja ovat määritelleet.

5.3.5 Muut raja-arvot

Käsiteltävä materiaali on terästä ja ennakoitavissa myös alumiini. Robotin käsittelykyvyn rajoissa käsiteltävän osan massa on alle 3,6 kg.

Robotin ja sorvin puhtaanapitoon pätee se, mitä niiden valmistaja on määritellyt. Kappaleiden kohdistumisen ja hyvään lukittumiseen tarttujaan vaaditaan normaalia konepajaympäristön puhtautta.

Ympäristöön pätee mitä sorvin ja robotin valmistajat ovat määritelleet, yleisenä robotin ohjeena voidaan pitää lämpötilaa 0 – 45 astetta Celsiusta, 20 – 80 % ilmankosteutta (RH) ei kondensoivaa ympäristöä. Ei korroosiota edistäviä kaasuja tai nesteitä. Ei liiallista sähköistä häiriötä (plasma).

5.4 Vaarojen tunnistaminen

Koneyhdistelmän sorvi on asennettu ja käyttöön otettu. Robotin liikuttamisessa on huomioitava kaatumisen vaara. Robottialustan kokoonpanossa on normaalit metallintyöstön vaarat, ts. terävät ja leikkaavat reunat, reikien poraaminen ja hitsaaminen eli on huolehdittava asianmukaisesta suojautumisesta viiltohaavoilta, silmävammoilta sekä kuulovaurioilta ja varottava kehonosien litistymistä alustan alle kokoonpanossa ja liikuteltaessa. Asennukseen kuuluu myös reikien teko paikoituskartioille lattiaan eli huolehdittava silmä- ja kuulovaurioilta. Palettilevyjen tekemisessä on noudatettava normaaleja koneistuskeskusten työohjeita. Robotin ja sorvin logiikoiden kytkennässä on vahva- ja heikkovirta kytkentöjä, jotka on tehtävä noudattaen sähköturvallisuusmääräyksiä, vaarana on sähköiskun vaara.

Käyttöön otossa robottialustaa liikutellaan eli on kaatumisvaara.

Robottiohjelmaa tehtäessä on mahdollista, että suojalaitteita joudutaan poistamaan käytöstä, joten on puristumis- ja leikkaantumiskaavat. Robottialustan käytössä kytketään sähkövirta ja paineilma, joten on sähköiskun vaara.

Käytössä on vaarana, että työstettävä kappale irtoaa tarttujasta ja voi iskeytyä käyttäjään, jos käytetään valoverhosuojauksia.

Sorvin asetusten teossa on noudatettava samoja ohjeita kuin käytössä ilman robottia. Testauksessa on vaarana ohjelman alkaminen väärästä kohtaa ja siten robotin liikkeiden ennalta-arvaamattomuus, joista seuraa puristus- ja leikkaantumisvaarat. Ohjelmassa on vaarana paikka- tai virhelaskureiden virheellinen tieto ja siten ohjelman toiminta toisin kuin käyttäjä odottaa.

Tarttujan virheellinen toiminta voi johtaa kappaleen irtoamiseen ja siten isku- tai pistovaaroihin

5.5. Riskin suuruuden arviointi ja 6 riskin pienentäminen

Robottialustan kokoonpanossa ja käytöstä poistamisessa voi olla useampia henkilöitä. Molemmat tapahtuvat vain kerran. Koottavat osat suunnitellaan ja valmistetaan siten, että viiltäviä reunoja ei ole. Kokoonpanossa ja purkamisessa on viiltohaavojen vaara, kuulo- ja näkövammojen vaara sekä puristumisen vaara. Vaarojen vakavuus on lievistä vaikeaan. Kokoonpanossa ja purkamisessa ohjeistetaan käyttämään asiaankuuluvia henkilösuojaimia, kuten turvakengät, viiltosuojahanskat, turvalasit ja kuulonsuojaimet.

Robottialustan siirtämisessä ja poistamisessa käyttöpaikasta on kaatumisen vaara, joka johtaa puristumisen vaaraan. Toimintoa suorittaa yksi tai kaksi henkilöä. Toiminto tapahtuu tarpeen mukaan, kuitenkin kerran viikosta kerran päivään jaksoilla. Vaaran vakavuus on lievistä vaikeaan. Kokoonpannusta alustasta robotin kanssa on massa- ja mittatiedot sekä painopiste. Kuljettamista varten asennetaan kiinteät mekaaniset rajoittimet, joilla painopisteen sijaintia voidaan vakioida, jottei liikuttaminen huonosta asemasta olisi mahdollista. Liikuttaminen tapahtuu alustan sellaisesta osasta, ettei suoraa alle jäämisen vaaraa ole. Lisäksi ohjeistetaan ajamaan robotin käsivarsi painopisteen kannalta suotuisaan asemaan siirtämisen ajaksi.

Robotin toimintakuntoon saattamisessa pitää kytkeä sähkövirta ja paineilma. Toiminto tapahtuu tarpeen mukaan, kuitenkin kerran viikosta kerran päivään jaksoilla. Vaarana ovat vialliset virransyöttökaapelit ja paineilmaletkut, joista voi seurata sähköisku tai paineilmaletkun liittimen sinkoutuminen. Toiminnon suorittaa yksi henkilö. Vaaran vakavuus on lievä tai vaikea, vahvavirtakaapelin sähköisku voi aiheuttaa kuolemanvaaran.

Liittimien sijoitus suunnitellaan siten, että niitä kytkettäessä vikaantuminen on selkeästi havaittavissa.

Robottiohjelman testausta suorittaa yksi henkilö kerrallaan. Testaus voi olla minuutteja kestävä tai uuden ohjelman teko voi kestää päiviä. Vaaroina ovat virheellisistä liikeradoista johtuvat puristumis- ja leikkaantumisvaarat sekä iskunvaarat. Vaarojen vakavuus on lievästä vaikeaan ja voi johtaa kuolemaan. Robotin liikenopeus rajoittuu opetustilassa 250mm/s. Testauksen kaikkia vaaroja ei voi poistaa. Vaaroja voi pienentää riittäväällä koulutuksella, huolehtimalla taukoajoista sekä varmistumalla, että testaustilanteesta tiedotetaan viereisten koneiden käyttäjille, jolloin voidaan varmistua avun nopeasta saamisesta sekä vähentää pitkäkestoisen puristumisen vaaraa. Testaus pitää suunnitella hyvin, jotta vaaran vyöhykkeellä tarvitsee olla mahdollisimman vähän aikaa.

Robotti liikuttelee työstettävää kappaletta noin 30 sekuntia minuutin aikana. Liike toistuu satoja kertoja päivässä. Kappaleen irtoaminen tarttujasta aiheuttaa iskun vaaran. Kohdetta voi valvoa yksi henkilö ja sen ohi kulkee useita henkilöitä useita kertoja päivässä. Vaaran vakavuus on lievästä vaikeaan. Vaaran ehkäisemiseksi käytetään suoja-aitoja ja kappaletta liikutellaan mahdollisimman paljon sellaisessa asennossa, ettei se irrotessaan tarttujasta sinkoutuisi aidan läpi. Työstettävien ja valmiiden kappaleiden palettien syöttämisen ja poistamisen kohdassa voidaan käyttää valoverhoa. Vaaran alueesta ohjeistetaan ja se merkitään asiaankuuluvien varoitusmerkein. Valoverhoa käytettäessä riskiä ei voida poistaa suunnittelun keinoin.

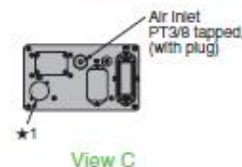
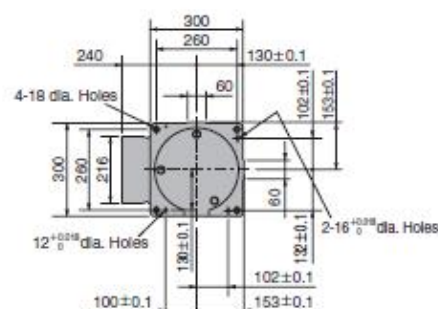
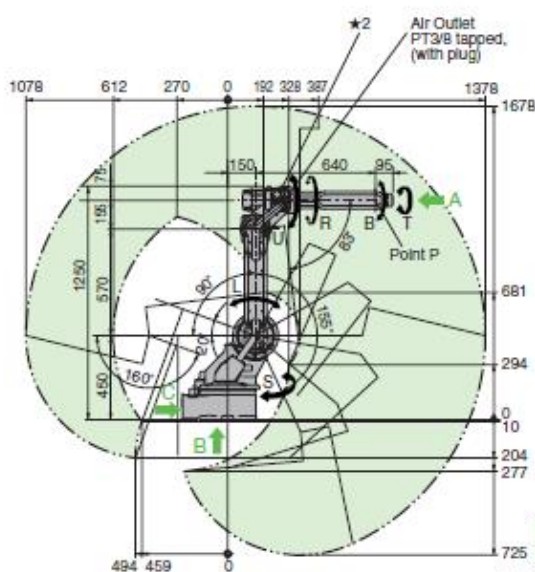
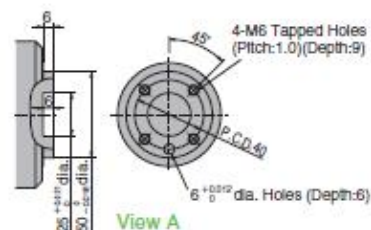
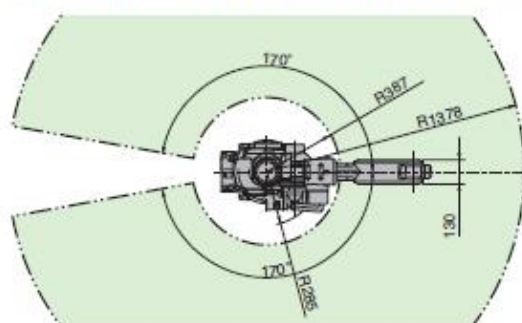
Osan ottamisessa ja laittamisessa palettiin on vaarana virheellinen kohdistuminen, josta voi seurata osan irtoaminen ja sinkoutuminen tai palettilevyn rikkoontuminen ja rikkoontuneen osan lentäminen turva-aitojen ohi. Liike toistuu satoja kertoja päivässä. Palettien ohi kulkee useita henkilöitä useita kertoja päivässä. Vaaran vakavuus on lievä. Vaaran poistamiseksi tarttujassa käytetään joustoelementtiä, joka poistaa jumittumisen tai väärän kohdistumisen vaaraa.

Robotin ja sorvin ohjaamisessa niiden käyttöpaneelista on vaarana, että robotin liikerata on virheellinen, ja rikkoo suojaavan aidan. Vaaroina ovat iskut ja viiltohaavat. Vaarojen vakavuus on lievästä vaikeaan. Käyttäjä voi joutua tarkistamaan sorvin asetuksia useita kertoja päivässä. Ohjelmat ja sorvin asetukset pyritään tekemään siten, että asetusten säätämistä olisi mahdollisimman vähän. Lisäksi näkyvyys kaikille vaaran alueille pidetään hyvänä, jolloin riski on mahdollista huomata.

Sorvin teräpalan vaihto tapahtuu kerrasta kymmeneen kertaan päivässä. Teräpalaa vaihtaa yksi henkilö. Teräpalan vaihtamiseksi joudutaan menemään robotin ohi. Vaaroina ovat hankalat liikeradat ja robotin ja sen tarttujan osien kulmat, joista voi seurata viiltohaavoja. Vaaran vakavuus on lievä. Robotin sijoitus suunnitellaan siten, että pääsy sorville olisi mahdollisimman esteetön. Vaaraa ei voi poistaa kokonaan, joten menetelmät suunnitellaan siten, että vaarat olisivat mahdollisimman pienet.



■ Dimensions Units : mm [] : P-point Maximum Envelope



	Connector Type	Plug Type (Prepared by user)
★1	JL05-2A20-29PC	JL05-6A20-29S
★2	JL05-2A20-29SC	JL05-6A20-29P

■ Manipulator Specifications

Model		MOTOMAN-HP6
Type		YR-HP6-A00
Controlled Axis		6 (Vertically articulated)
Payload		6 kg
Repeatability*1		±0.08 mm
Range of Motion	S-axis (turning)	±170°
	L-axis (lower arm)	+155° to -90°
	U-axis (upper arm)	+250° to -175°
	R-axis (wrist roll)	±180°
	B-axis (wrist pitch/yaw)	+225° to -45°
Maximum Speed	T-axis (wrist twist)	±360°
	S-axis (turning)	2.62 rad/s, 150°/s
	L-axis (lower arm)	2.79 rad/s, 160°/s
	U-axis (upper arm)	2.97 rad/s, 170°/s
	R-axis (wrist roll)	5.93 rad/s, 340°/s
	B-axis (wrist pitch/yaw)	5.93 rad/s, 340°/s
	T-axis (wrist twist)	9.08 rad/s, 520°/s

Allowable Moment	R-axis (wrist roll)	11.8 N · m
	B-axis (wrist pitch/yaw)	9.8 N · m
	T-axis (wrist twist)	5.9 N · m
Allowable Inertia (GD ² /4)	R-axis (wrist roll)	0.24 kg · m ²
	B-axis (wrist pitch/yaw)	0.17 kg · m ²
	T-axis (wrist twist)	0.06 kg · m ²
Mass		130 kg
Ambient Conditions	Temperature	0°C to +45°C
	Humidity	20 to 80%RH (non-condensing)
	Vibration	Less than 4.9m/s ²
	Others	<ul style="list-style-type: none"> Free from corrosive gasses or liquids, or explosive gasses Clean and dry Free from excessive electrical noise (plasma)
Power Requirements*2		1.5 kVA

*1: Conforms to JIS B 8432.
 *2: Varies in accordance with applications and motion patterns.
 Note: SI units are used for specifications.

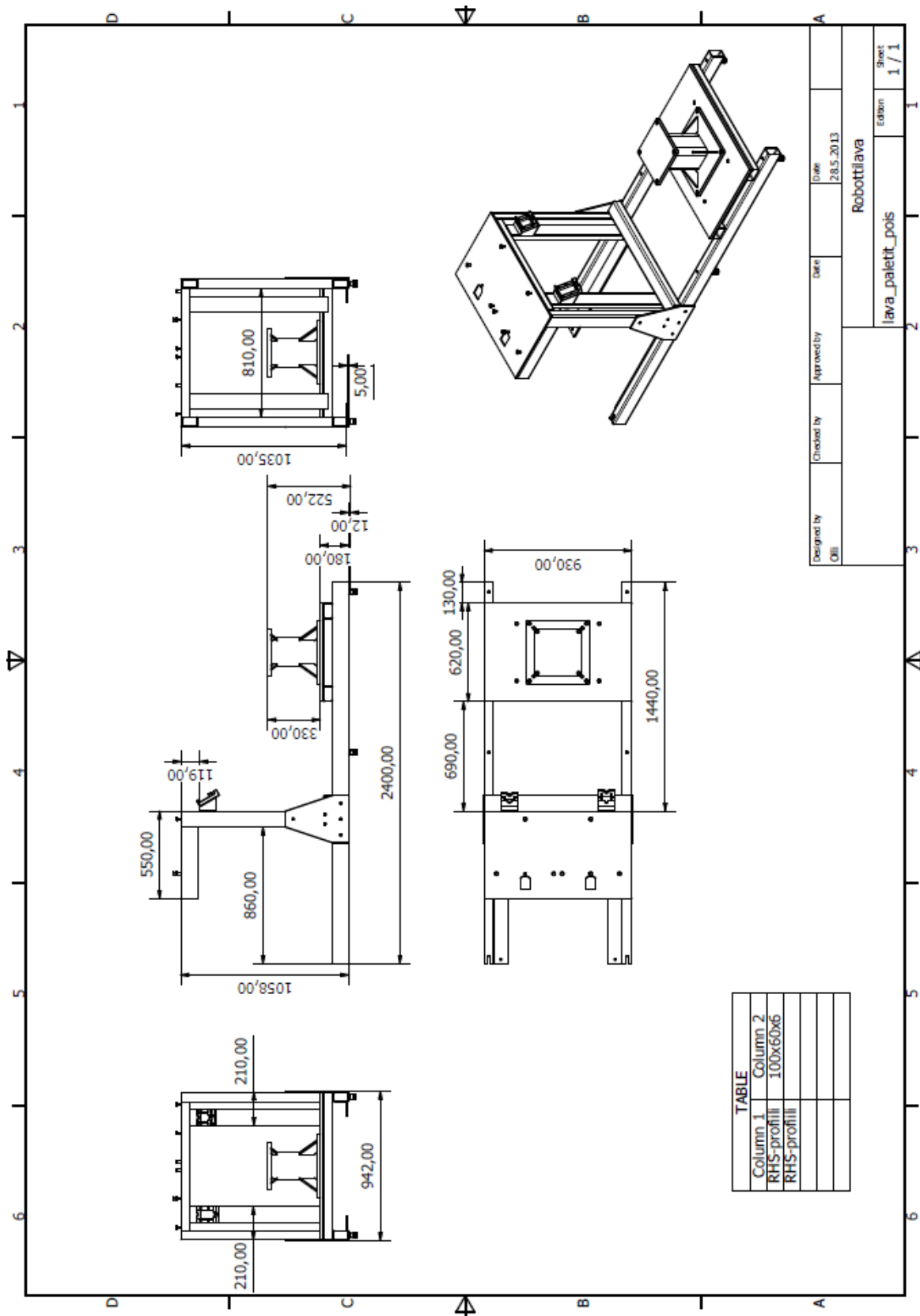
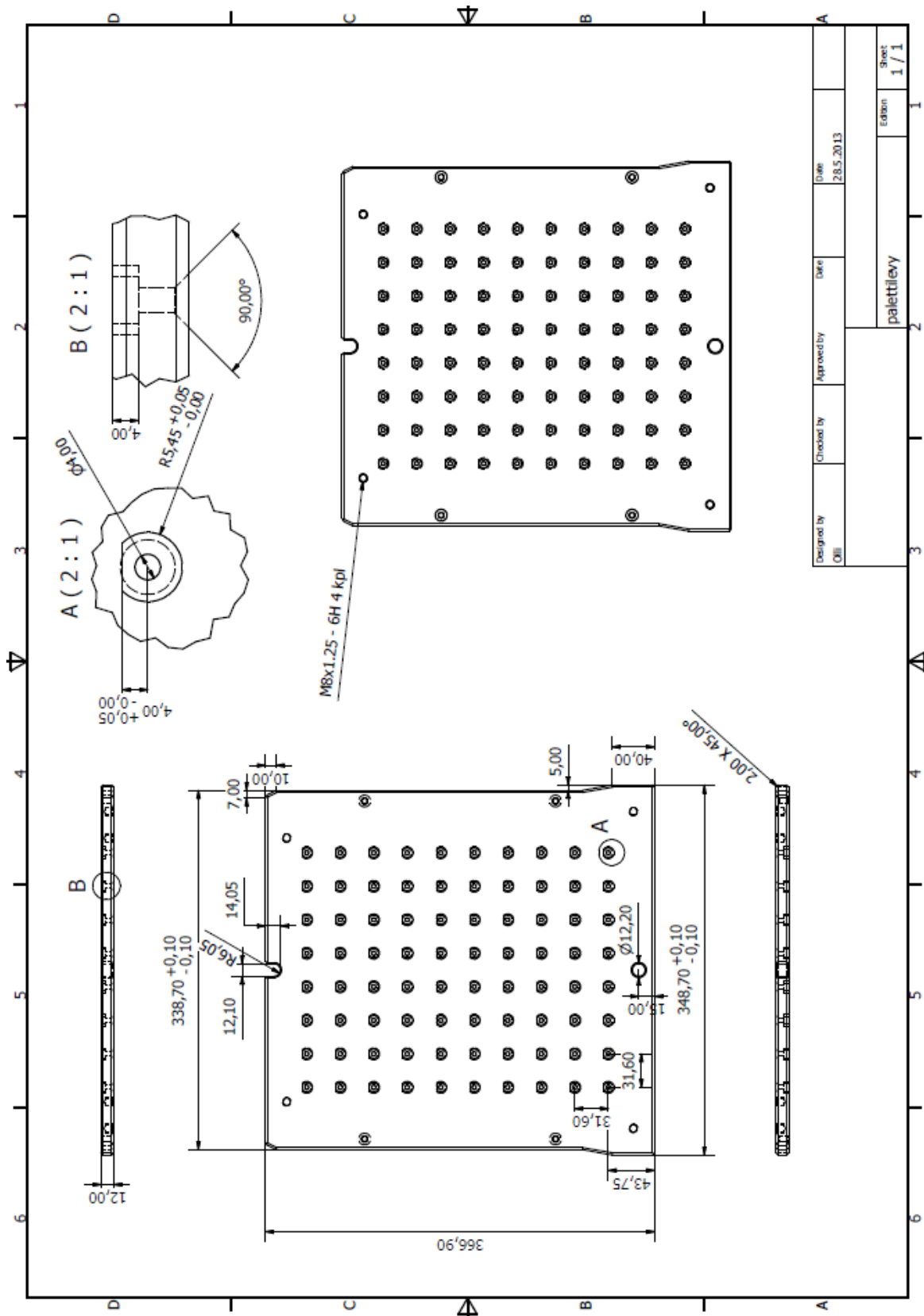


TABLE	
Column 1	Column 2
RHS-profilli	100x60x6
RHS-profilli	

Designed by	Checked by	Approved by	Date	Date	Date	Edam	Sheet
Olli				28.5.2013		Robottilava	1/1
						lava_paletit_pois	



Designed by Olli	Checked by	Approved by	Date 28.5.2013	Sheet 1/1
palettilevy				Edison

