

Tommi Elonen

Levytyökeskuksen palveleminen robotilla

Teollisuusrobotin tarttujan suunnittelu

Opinnäytetyö

Tammikuu 2012

Tekniikan yksikkö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Automaatiotekniikka

Tekijä: Tommi Elonen

Työn nimi: Levytyökeskuksen palveleminen robotilla - Teollisuusrobotin tarttujan suunnittelu

Ohjaaja: Martti Lehtonen

Vuosi: 2012

Sivumäärä: 100

Liitteiden lukumäärä: 5

Työssä suunniteltiin teollisuusrobotille yleistarttuja, joka kykenee palvelemaan levytyökeskusta. Tarttuja vie keskukselle raaka-ainelevyjä, joiden maksimimita on 1500 x 3000 mm, ja poistaa keskukselta valmiit kappaleet, jotka ovat minimissään 150 x 150 mm.

Tarttujan tulee voida noutaa valmis kappale levytyökeskukselta, vaikka levytyökeskuksen X-Y-pöydän ja revolverin suojakotelon välissä olisi vain 200 x 290 mm:n rako. Tätä varten tarttujalle suunniteltiin kolme lineaarisesti kurottuvaa tarttujaa, jotka työntyvät metrin verran eteenpäin. Nämä tarttujat mahtuvat levytyökeskukselle poimimaan kappaleen, vaikka koko tarttuja ei sinne mahdukaan.

Työssä laskettiin tarttujaan vaikuttavat voimat, jotta saatiin valittua oikeat komponentit.

Tartuntamenetelmäksi valittiin alipaine ja imukupit. Tarvittava imukuppien pinta-ala laskettiin eri alipainetasoilla. Imukuppien yhteyteen kiinnitetään imuvastaventtiilit, koska valmiissa kappaleissa todennäköisesti on reikiä.

Työssä selvitettiin kaksoislevyn ongelmaa, ja ratkaisuksi esitetään erotusmagneetteja ja poimitun levyn paksuuden mittaamista. Työssä esitellään eri mittausmenetelmiä.

Tarttuja mallinnettiin Solid Edge ST2:lla, ja lopuksi tarttujan 3D-malli vietiin ABB Robostudion simulaatioon, jossa tarkastettiin tarttujan toimivuus kiinnittämällä se robottiin ja ohjaamalla se levytyökeskukselle.

Avainsanat: teollisuusrobotti, levytyökeskus, levytyökeskuksen lataus, tarttuja, robotin tarttuja, kaksoislevy

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School Of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Author: Tommi Elonen

Title of the thesis: Serving the punch press with industrial robot – Design of the robot gripper

Supervisor: Martti Lehtonen

Year: 2012

Number of pages: 100 Number of appendices: 5

The aim of this thesis was to design and model a universal gripper for an industrial robot, suitable of servicing punch press. The gripper will deliver large sheets of raw material to the punch press, and remove the small finished products from the punch press. Because there could be only a small gap between the revolver and the press X-Y-table, the gripper was equipped with multiple moving beams, capable of fitting the small gap and picking up the finished product.

All the forces affecting the gripper were calculated in this thesis, so that correct components could be selected.

Suction and vacuum cups were selected for the method of gripping and the required suction cup area was calculated for different vacuum levels. The suction cups were fitted with vacuum saving valves, because the finished product was most likely to contain holes.

The double sheet problem, where two or more sheets are picked up instead of only one, was also adressed. A solution consisting of separator magnets and thickness measurement was offered and different methods to measure the sheet thickness were provided.

The gripper was modeled with Solid Edge ST2, and then imported to ABB Robostudio. There the functionality of the gripper was tested by attaching it to a robot, and simulating it in conjunction with a punch press.

Keywords: industrial robot, punch press, loading of punch press, gripper, robot gripper, double sheet

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	7
1 Johdanto.....	11
1.1 Työn tausta.....	11
1.2 Työn rajaus ja tavoite.....	11
1.3 Työn rakenne.....	11
1.4 Yritysesittely.....	12
2 Teoriaa työhön liittyvistä laitteista.....	14
2.1 Levytyökeskus.....	14
2.1.1 Kappaleen irrotus.....	16
2.2 Teollisuusrobotti.....	16
2.2.1 Teollisuusrobotin rakenne.....	17
2.2.2 Robotin hankinta.....	20
3 Lähtötiedot.....	21
3.1 Vaatimukset ja mitat.....	21
3.2 Ongelmana kaksoislevy.....	22
3.2.1 Testatut menetelmät kaksoislevyn estoon.....	23
3.2.2 Ratkaisu kaksoislevyn poimintaan.....	25
4 Vaihtoehtoja teollisuusrobotille ja tarraimelle.....	27
4.1 Trumpf Sheetmaster.....	27
4.2 Finn-Power Express tai LST6.....	28
5 Robotin tarttuja.....	30
5.1 Robottitarraimen suunnittelun perusteet.....	30
5.2 Tarttujan periaate/vaatimukset.....	30
5.3 Vaikuttavat voimat.....	31
5.4 Tartuntatapa.....	32
5.5 Robotin tarttujan profiilin laskenta.....	32
5.5.1 Alustava laskenta.....	33

5.5.2	Tarttujan muodonmuutokset	33
5.5.3	Profiilin kestävyys	34
5.5.4	Liikkuvan osan rasitukset	35
5.6	Lineaariliikkeen komponentit	39
5.6.1	Lineaarikelkka, vaihtoehto NSK Oy	39
5.6.2	Lineaarikelkka, vaihtoehto Movetec Oy	39
5.6.3	Lineaarikelkan valinta	40
5.7	Lineaarikelkan kiinnityksen ongelma	40
5.8	Lineaariliikkeen aikaansaaminen	42
5.8.1	Lineaariliikkeen pituus	42
5.8.2	Sylinterin valinta	43
5.9	Alipaine ja imukupit	44
5.9.1	Imualueet	44
5.9.2	Alustava alipaineen lähde	46
5.9.3	Tarvittava alipaine	47
5.9.4	Imukuppien alustava koko ja määrä	49
5.9.5	Ongelmana valmiissa kappaleissa olevat reiät	51
5.9.6	Imukuppien määrä ja sijoittelu	52
5.9.7	70 %:n vai 50 %:n alipaine	54
5.9.8	Alipaineen lähteen valinta	55
5.9.9	Imukuppien valmistaja, tyyppi ja materiaali	55
5.9.10	Vaihtoehtoinen tarttuja	57
5.10	Tarttujan anturointi	59
5.11	Energiansiirtoketju	60
5.11.1	Huomioon otettavat komponentit	61
5.11.2	Energiansiirtoketjun valinta	62
6	Levyn sijainti tarttujassa	63
6.1	Paikoituksen peruste	63
6.2	Levyn paikan mittaus tarttujassa	63
6.3	Levyn fyysinen paikoitus	64
7	Levyn paksuuden mittaus	66
7.1	Levyn paksuuden mittauksen vaihtoehtoja	66
7.1.1	Mittapää ja kiinteä taso	66

7.1.2	Kaksi anturia levyn molemmin puolin	67
7.1.3	Mittaus orientaatiopöydällä	69
7.1.4	Mittaus yhdellä anturilla.....	70
8	Mallinnus.....	72
8.1	Solid Edge ST2	72
8.2	Tarttujan mallinnus.....	72
8.2.1	Kapeiden kappaleiden noston parantaminen	73
8.2.2	Tarttujan madaltaminen	74
8.3	Solid Edge -animaatio	77
8.4	Robotin simulaatio.....	77
8.4.1	ABB robostudio 5.13	77
8.4.2	Simulaatio	78
9	Tarttujan toteutus	81
9.1	Turvallisuus.....	81
9.2	Robotin ohjelmointi.....	81
9.3	Levyn paikoituksen mittaustavan valinta	82
9.4	Levyn paksuuden mittaustavan valinta	82
9.5	Alipaineen lähde.....	82
9.6	Imukuppien lopullinen sijainti	83
9.7	3D-mallista puuttuvat komponentit	83
9.7.1	Paineilmatarvikkeet.....	84
9.7.2	Ejektorit ja niiden venttiilit.....	84
9.7.3	Tarttujalle robotin läpi tulevat kaapelit ja letkut.....	85
9.8	Tarttujan painon optimointi.....	86
9.8.1	Lineaarijohteen lyhentäminen	86
9.8.2	Lineaariliikkeen lyhentäminen	86
9.8.3	Imukuppien pitimien materiaali.....	87
9.8.4	Imukuppien vaihtaminen suuremmiksi	88
9.8.5	Profiilien poistaminen	88
9.9	Törmäyksen tunnistus	89
9.10	Raaka-ainelevyn poistaminen	90
9.11	Kolmannen lineaarilaakerin lisääminen.....	91
10	Yhteenveto.....	92

10.1	Työn kuvaus.....	92
10.2	Työn onnistuminen.....	93
LÄHTEET		94
LIITTEET.....		100

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. C-runkoinen levytyökeskus, Amada Aries 245 (Koneluettelo [Viitattu 22.11.2011].).....	14
Kuvio 2. O-runkoinen levytyökeskus, Finn-Power TP300 (Finn-Power TP300 [Viitattu 22.11.2011].).....	15
Kuvio 3. Kiertyvänivelisen robotin periaatekuva ja Kuka KR 270-2. (KR 270-2 (Serie 2000) 2011; Packaging Automation Trends 2009, 4.)	18
Kuvio 4. Portaalirobotti (Linear Robots [Viitattu 23.11.2011].)	19
Kuvio 5. Erotusmagneetit kohottavat päällimmäisen levyn (Magnetic sheet separators [Viitattu 1.12.2011].).....	25
Kuvio 6. Trumpf Sheetmaster (Sheetmaster 2011).....	27
Kuvio 7. Finn-Power Express (E-series Punch Presses [Viitattu 21.11.2011])	28
Kuvio 8. Finn-Power LST6 (E-series Punch Presses [Viitattu 21.11.2011]).....	28
Kuvio 9. Alustava malli tarttujasta.	33
Kuvio 10. Alustava lineaarijohde. Liikkuva osa on perusasennossaan	36
Kuvio 11. Alustava lineaarijohde. Liikkuva osa on työntyneenä eteen.	36
Kuvio 12. Lineaarijohteen tukipisteet laskuissa.....	37
Kuvio 13. Poimintatilanteen tasainen kuorma	38
Kuvio 14. Profiili, jossa reiät laakerikelkkoja varten.....	41

Kuvio 15. Laakerikelkkojen muodot (Linear Guideways RG Series [Viitattu 10.10.2011]).....	41
Kuvio 16. Vaihtoehtoinen ratkaisu laipallisen laakerikelkan kiinnitykselle	42
Kuvio 17. Lineaariliikkeen aikaansaava paineilmasylinteri paikoillaan.....	43
Kuvio 18. Imualueet 15 cm:n jaolla	44
Kuvio 19. Imualueet 15 cm:n kerrannaisilla	45
Kuvio 20. Imualueet havainnollisesti	46
Kuvio 21. Tarttuja kurottuneena levyn päälle, levyllä piirretty imualueet.	46
Kuvio 22. Tarvittavien imukuppien lukumäärä	50
Kuvio 23. ZP2V-imuvastaventtiilin periaate (Vacuum Saving Valve [Viitattu 23.10.2011].).....	51
Kuvio 24. ZP2V-imuvastaventtiili toiminnassa (Vacuum Saving Valve [Viitattu 23.10.2011].).....	51
Kuvio 25. Matala & palkeellinen imukuppi (Nitrile-PVC & chloroprene 2011)	56
Kuvio 26. 30 mm:n imukuppi kiinnikkeessään.	57
Kuvio 27. Joulin yleistarttuja (Presentation [Viitattu 29.11.2011].)	58
Kuvio 28. Joulin yleistarttuja nostaa reikäisiä kappeleita. (Presentation [Viitattu 29.11.2011].).....	58
Kuvio 29. Induktiivinen anturi ja jousipalautteinen tunnustelija	60

Kuvio 30. Paineilmaletkut (1-6) ja sähköjohto (7) energiansiirtoketjussa. Kolme välilijakajaa (111). (Pesso 2011b).....	62
Kuvio 31. Energiansiirtoketju kiinnikkeineen.	62
Kuvio 32. Levyn aseman mittaus tarttujassa kolmella anturilla	64
Kuvio 33 Motoman orientaatiopöytä. (Robotised press-brake operation, [viitattu 14.9.2011]).....	65
Kuvio 34. Trumf Sheetmasterin levyn paksuuden mitta-anturi (Sheetmaster 2011.)	67
Kuvio 35. Omron ZX -laseranturit toiminnassa (ZX-LASERANTURIT tarkkaan mittaukseen, [Viitattu 15.9.2011]).....	68
Kuvio 36. Ronald Electronic C100 paksuuden mittausanturi orientaatiopöydällä (Capacitive Double Sheet Control C100, 2010.)	69
Kuvio 37. Roland Electronic UDK20 toiminnassa (Destacker, [Viitattu 16.9.2011])	70
Kuvio 38. Roland Electronic UDK20, yksiosainen levyn paksuuden mitta-anturi (UDK20, [Viitattu 15.9.2011])	71
Kuvio 39. A100. (A100, [Viitattu 21.11.2011])	71
Kuvio 40. Melkein valmis tarttuja.....	73
Kuvio 41. Tarttuja muutoksen jälkeen	74
Kuvio 42. Tarttujan korkeus	74
Kuvio 43. Tukipalkki, joka voidaan poistaa tai muokata, jotta tarttujasta saadaan matalampi	75

Kuvio 44. Tarttuja, jossa päätypalkki korvattu suorakaideprofiililla.....	76
Kuvio 45. ABB IRB 7600-325 robotti levytyökeskuksen rinnalla ABB Robostudiossa. Levytyökeskus on Finn-Power E6x. (Koskenniemi 2011).....	79
Kuvio 46. Lähikuva robotista paikoittamassa levyä levytyökeskuksen kynsiin.	79
Kuvio 47. Robotti levytyökeskuksella kuvattuna ylhäältäpäin. Robotin vieressä on raaka-ainevarasto.	80
Kuvio 48. Vasemmalla normaali imukupin pidin, oikealla muokattu imukupin pidin, jota voidaan soveltaa törmäyksen anturointiin.	90
Taulukko 1. Kuula- ja rullalaakerien vertailu.(Linear Guideways RG Series [Viitattu 7.10.2011]; Linear Guideways RG Series [Viitattu 7.10.2011]; NSK Linear Guides. 2003.).....	40
Taulukko 2. Imukuppien määrä suhteessa kokoon.....	50
Taulukko 3. Vaihtoehdot eri alipaineille.....	55
Taulukko 4. Käytettäviä Piab-imukuppeja. (B30-2 2011) (B50 2011).....	57
Taulukko 5. Imukuppien pitimien paino.....	87

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

FMS-Service Oy on havainnut, että levytyökeskusten omistajilla on tarvetta lisätä levytyökeskustensa automaation tasoa, jotta levytyökeskuksilla voitaisiin ajaa pitempiä ajanjaksoja ilman operaattorin apua, tai jotta sama operaattori voisi käyttää useaa konetta kerralla. FMS-Service Oy halusi selvittää, voidaanko teollisuusrobotilla palvella levytyökeskusta ja millaisen tarttujan robotti vaatii. FMS-Service Oy halusi suunnitelman ja 3D-mallin teollisuusrobotin tarttujalle, jotta he voisivat tarjota asiakkailleen levytyökeskuksen lisäautomatisointipalveluja.

1.2 Työn rajaus ja tavoite

Tässä työssä suunnitellaan ja 3D-mallinnetaan teollisuusrobotille tarttuja, joka kykenee palvelemaan levytyökeskusta. Työn tuloksena on valmis 3D-malli tarttujasta, osaluettelo tarttujassa tarvittavista osista, sekä 3D-mallit yksittäisistä osista, joita tarttujaa varten pitää valmistaa. Tämän työn perusteella voidaan suunniteltu tarttuja rakentaa fyysisesti ja kiinnittää sopivaan teollisuusrobottiin. Tarttuja on pyritty suunnittelemaan mahdollisimman edulliseksi valmistaa.

1.3 Työn rakenne

Luvussa kaksi valotetaan työn taustaa, kuvaillaan työhön liittyviä laitteita, esitellään levytyökeskus ja teollisuusrobotti. Luvussa kolme esitetään työlle asetetut vaatimukset. Luvussa myös kuvataan kaksoislevyn ongelmaa ja esitetään siihen ratkaisu.

Luvussa neljä kerrotaan lyhyesti vaihtoehtoja tässä työssä esitettyyn rakentamiseen. Kun tämä työ käsittelee teollisuusrobottiin kiinnitettävää tarttujaa, vaihtoehtoina esitetään levytyökeskuksen valmistajan sekä kolmannen osapuolen erillistä lastaus- ja purkulaitetta.

Luvussa viisi käydään läpi robotin tarttujan suunnittelua. Luvussa käsitellään suunnittelun perusteita, sekä lasketaan tarttujaan vaikuttavat voimat. Luvussa valitaan sopiva poimintatapa ja määritetään tarttujan rakenne.

Luvussa kuusi tuodaan esille tarttujan toiminnan kannalta kriittinen työvaihe, joka pitää ratkaista. Luvussa seitsemän esitetään eri vaihtoehtoja levyn paksuuden mittaukseseen, liittyen kappaleessa kaksi mainittuun kaksoislevyn ongelmaan.

Luvussa kahdeksan käsitellään itse tarttujan mallinnusta ja toteutetaan kaksi parannusta melkein valmiille tarttujalle. Luvussa myös esitellään robottisimulaatio, jolla voidaan tarkistaa tarttujan soveltuminen työhönsä.

Luvussa yhdeksän esitellään näkökulmia ja parannuksia, joita tarttujan valmistajan tulee harkita tarttujaa valmistaessaan. Lopuksi Luvussa kymmenen on lyhyt yhteenveto työstä.

1.4 Yritysesittely

FMS-Service on perustettu vuonna 2003 palvelemaan ohutlevyalan asiakkaita. Syyskuusta 2008 alkaen FMS-Service oy on ollut kolmen osakkaan yhdessä omistama yritys. Omistajilla on kaikilla vankka kokemus Finn-Powerin levytyökeskuksista. FMS-Service Oy on levytyötekniikan monipuolisia palveluja tarjoava yritys, kuten toimitusjohtaja Vesa Kivekäs esittää firman toiminta-ajatuksen. (Kivekäs 2011b.)

FMS-Service Oy on levytyökeskusten ja muiden ohutlevyteollisuuden laitteiden koko elinkaareen erikoistunut yritys. Se maahantuo Boschertin uusia levytyökeskuksia ja levyleikkureita. Lisäksi yrityksellä on myynnissä useita käytettyjä levytyökeskuksia, enimmäkseen Finn-Powerilta. Yritys myy keskuksia avaimet käteen -periaatteella, jolloin FMS-Service hoitaa myös keskuksien kuljetuksen ja asennuksen asiakkaan tiloihin. FMS-Service Oy myös suorittaa asiakkaille layoutmuutoksia ja muuttoja uusiin tiloihin, siirtäen asiakkaan painavia työkoneita. (Kivekäs 2011b.)

FMS-Service Oy on tullut tunnetuksi hyvästä osaamisestaan levytyökeskusten huolloissa ja vikatilanteissa. He tarjoavat asiakkailleen erilaisia huoltosopimuksia ja vuosihuoltoja, yksittäisten vikatilanteiden korjaamisen lisäksi. Tämän lisäksi FMS-Service Oy toteuttaa myös muita asiakkaiden projekteja, kuten vanhojen koneiden modernisointia. Tämä nyt suunniteltava robotin tarttuja laajentaa FMS-Service Oy:n palvelujen valikoimaa. (Kivekäs 2011b.)

FMS-Service Oy:llä on Boschertin lisäksi useiden muiden valmistajien edustus, esimerkiksi Kuka-robottien. Heidän kautta voi tilata muitakin käytettyjä robotteja.

FMS-Service Oy:n löytää netistä osoitteesta <http://www.fms-service.fi/>

2 Teoriaa työhön liittyvistä laitteista

2.1 Levytyökeskus

Levytyökeskukset ovat koneita, jotka numeerisesti ohjattuna muokkaavat niille tuotuja levyjä. Yleisimmin levytyökeskuksen toiminta perustuu hydrauliseen sylinteriin, joka käyttää hyvin erimuotoisia työkaluja. Työkalut voivat olla eräänlaisella revolverilla, jota pyörittämällä oikea työkalu tuodaan hydraulisynterinin alle. Hydraulinen sylinteri puristaa työkalun levyn lävitse, jolloin levyyn saadaan muovattua joko kertaiskulla tai useilla peräkkäisillä iskuilla haluttuja muotoja. Vaikka hydraulinen sylinteri onkin yleisin muovausliikkeen aikaansaaja, myös muunlaisia ratkaisuja on olemassa. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997a, 39.)

Raaka-ainelevy tuodaan levytyökeskuksella oleville tarttujille, joita nimitetään kynsiksi. Levy paikoitetaan kynsiä ja levytyökeskuksen keskellä olevaa nousevaa paikoitustappia vasten. (Kivekäs 2011a.) Tämän jälkeen kynsiä liikutetaan X- ja Y-akselien suunnassa, jolloin oikea kohta levystä saadaan tuotua työkalun alle lävistystä varten.



Kuvio 1. C-runkoinen levytyökeskus, Amada Aries 245 (Koneluettelo [Viitattu 22.11.2011].)

Levytyökeskusten kirjo on laaja ja niillä on useita eri valmistajia. Yleisimmät levytyökeskukset, joiden parissa FMS-Service työskentelee, ovat Finn-Power, Amada sekä Boschert. Eri valmistajien levytyökeskukset eroavat jonkin verran toisistaan, mutta ne voidaan runkorakenteensa mukaan jakaa karkeasti kuvan 1 mukaisiin avoimiin C-runkoisiin, sekä kuvan 2 mukaisiin täyskehäisiin O-runkoisiin levytyökeskuksiin. Erona on rungon tukirakenne, tekeekö se täyden kehän pöydän päälle vai jättääkö se pöydän yläpuolisen tilan vapaaksi. (Aaltonen ym. 1997a, 39.) C-runkoisen koneen automatisointi on helpompaa, koska teollisuusrobotin tarttuja pääsee vapaasti kulkemaan levytyökeskuksen pöydän päällä. O-runkoisessa koneessa levytyökeskuksen runko asettaa rajoituksia tarttujalle. Kun teollisuusrobotin tarttuja suunnitellaan siten, että se toimii O-runkoisen levytyökeskuksen kanssa, voidaan olettaa että se toimii myös C-runkoisen koneen kanssa.



Kuvio 2. O-runkoinen levytyökeskus, Finn-Power TP300 (Finn-Power TP300 [Viitattu 22.11.2011].)

2.1.1 Kappaleen irrotus

Kun levytyökeskuksella tehdään kappaleita, on valmiin kappaleen automaattiseen käsittelyyn pari vaihtoehtoa. Kappale voidaan irrottaa kokonaan raaka-ainelevystä, ja pudottaa levytyökeskuksen keskellä olevasta luukusta alapuolella olevalle kuljettimelle, josta se ohjataan valmiiden kappaleiden pinoon. Tätä ominaisuutta ei kuitenkaan kaikissa levytyökeskuksissa ole, ja menetelmä soveltuu vain pienehköille kappaleille. (Kivekäs 2011a.)

Toinen vaihtoehto on tehdä kappaleet valmiiksi, mutta jättää ne pienillä kannattimilla kiinni aihiolevyyn. Kun koko raaka-ainelevy on muokattu haluttuun muotoon, valmiit kappaleet irrotetaan levystä käsin. (Kivekäs 2011a.)

Kolmas vaihtoehto, jota tämä työ käsittelee, on irrottaa valmiit kappaleet raaka-ainelevystä heti niiden valmistuttua levytyökeskuksella, ja poimia irrotetut kappaleet suoraan levytyökeskuksesta ulkoisella tarttujalla. (Kivekäs 2011a.)

2.2 Teollisuusrobotti

Standardissa SFS-EN ISO 10218-1 määritellään teollisuusrobotti seuraavanlaisesti:

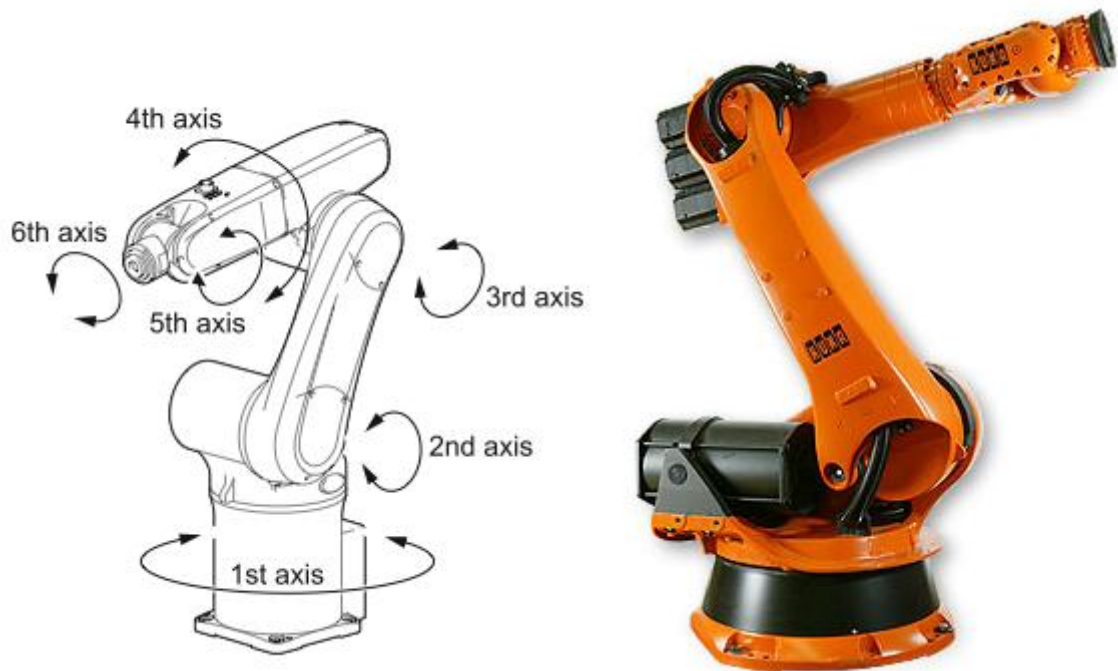
Teollisuuden automaatio-sovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva. (SFS-EN ISO 10218-1 2009, 16.)

Vaikka tämä vuonna 2009 ilmestynyt standardi on jo kumottu ja korvattu uudemmalla englanninkielisellä, on tämä viimeisin standardi, joka määrittelee teollisuusrobotin suomeksi. Tärkeä huomio yllä olevassa kuvauksessa on se, että teollisuusrobotti on monipuolinen ja uudelleen ohjelmoitavissa. Vaikka teollisuusrobotti alun perin ostettaisiin osana tiettyä kokonaisuutta, voidaan robotti siirtää uusiin tehtäviin kun robotin alkuperäinen kokoonpano lakkautetaan.

2.2.1 Teollisuusrobotin rakenne

Teollisuusrobotin määritelmä on hyvin vapaa siinä mielessä, että se ei juuri aseta rajoitteita robotin rakenteelle. Eri työkohteet vaativat erilaisia rakenteita ja liikeratoja, niinpä myös teollisuusrobotteja on useaa eri tyyppiä. Teollisuusrobotit jaetaan eri tyyppeihin niiden rakenteen perusteella, mutta tässä työssä keskitytään vain kiertyvänivelisiin robotteihin. Lisäksi maininnan arvoinen on portaalirobotti, joka rakenteensa puolesta voisi myös sopia tarttujaa liikuttamaan. Lisää tietoa eri robotityypeistä voi lukea kirjasta Robotiikka, kirjoittajina Aalto ym. (1999.)

Kiertyvänivelinen robotti. Kuvassa 3 on kiertyvänivelisen robotin periaatekuva ja esimerkkinä Kuka KR 270-2 -robotti. Robotilla on kuusi niveltä, jotka kiertyvät kuvan mukaisesti mahdollistaen laajan toiminta-alan ja monipuoliset liikkeet. Yksittäistä niveltä voidaan kutsua myös vapausasteeksi. Vaikka kiertyvänivelisen teollisuusrobotin yksittäisen vapausasteen liike onkin kiertyvää, voi teollisuusrobotin vapausasteen liike olla myös lineaarista, kuten portaalirobotissa. Kiertyvänivelisen robotin jokaista niveltä liikuttaa oma servomoottori, jolla on oma servo-ohjain. Kaikki servo-ohjaimet, sekä muu robotin ohjausjärjestelmä, on robotin läheisyydessä olevassa sähkökaapissa. Yleensä kun puhutaan teollisuusrobotista, tarkoitetaan juuri kuvan 3 mukaista kiertyvänivelistä robottia. (Aalto ym. 1999, 13–16.)

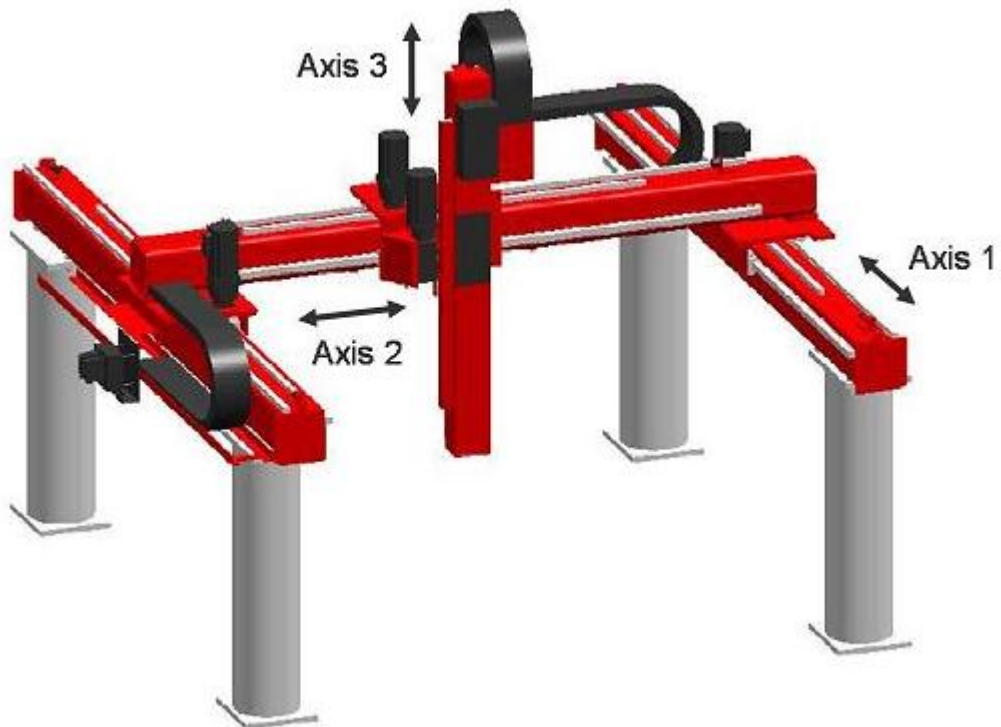


Kuvio 3. Kiertyvänivelisen robotin periaatekuva ja Kuka KR 270-2. (KR 270-2 (Serie 2000) 2011; Packaging Automation Trends 2009, 4.)

FMS-Service Oy haluaa tämänlaisen robotin palvelemaan levytyökeskusta juuri sen monipuolisuuden, suuren toiminta-alan ja pienen lattiapinta-alan vuoksi. (Kivessä 2011c.)

Suorakulmainen eli portaalirobotti. Kuvassa 4 on tyypillinen portaalirobotti. Vaikka kuvan portaalirobotissa onkin vain kolme lineaarista vapausastetta, voidaan niitä helposti lisätä lineaarisina tai kiertyvinä. Tarvittaessa portaalirobotin rakenteesta saadaan kiertyvänivelistä robottia tukevampi, jolloin portaalirobotilla voidaan käsitellä raskaampia kuormia. Vastaavasti portaalirobotin liikealue on erilainen kuin kiertyvänivelisen robotin. (Aaltonen & Torvinen 1997b), 155

Portaalirobotin etuna verrattuna kiertyväniveliseen robottiin on sen rakenteen yksinkertaisuus ja siten edullisuus. Tässä tulee kuitenkin muistaa, että teollisuusrobotin ohjausjärjestelmä on yleensä kalliimpi kuin itse robotti, joten vaikka robotin mekaniikan hintaa saadaankin pudotettua, eivät kokonaiskustannukset putoa samaa tahtia. (Aalto ym. 1999, 15.) Toisaalta portaalirobotti ei käyttökohteesta riippuen tarvitse yhtä monta vapausastetta kuin kiertyvänivelinen robotti.



Kuvio 4. Portaalirobotti (Linear Robots [Viitattu 23.11.2011].)

Levytyökeskusta palvelevalla robotilla ei vaadita monimutkaisia kallistuksia, päinvastoin. On vain hyvä asia, mikäli käsiteltävä levy pysyy vaakasuorassa. Tämän perusteella levytyökeskusta palvelevalle robotille riittäisi kolme vapausastetta, jotka voitaisiin toteuttaa portaalirobotilla. FMS-Service Oy:n Vesa Kivekkään (2011c) mukaan portaalirobotin ongelmaksi koituu sen vaatima lattiapinta-ala, sekä se että siltä puuttuu kiertyvänivelisen robotin monipuolisuus tulevaisuutta ajatellen. Portaalirobotin asennus levytyökeskuksen rinnalle ja ylle voi myös olla hankalaa, kun otetaan huomioon, että robotti ei saa tulla levytyökeskuksen normaalin käytön tielle. Tapauskohtaisesti voidaan kuitenkin harkita, sopisiko levytyökeskusta palvelemaan paremmin kiertyvänivelinen vai portaalirobotti.

Kun portaaliroboteista puhutaan, on hyvä huomata että myöhemmin luvussa 4.1 mainittu Trumpf Sheetmaster ei standardin SFS-EN ISO 10218-1 mukaan ole aito teollisuusrobotti, vaikka se portaalirobottia muistuttaakin. Tämä siksi, että Sheetmasterilla on vain kaksi ohjelmoitavaa akselia, sivu- ja pystysuunta.

2.2.2 Robotin hankinta

Robotin hankinta on suuri investointi, joka vaatii pääoman kiinnittämistä useaksi vuodeksi. Robotin hankintaa harkitsevat voivat lukea investoinnin kannattavuudesta kirjasta Konepaja-automaatio, tekijöinä Kalevi Aaltonen ja Seppo Torvinen (1997b) tai syvällisemmin laskelmien kanssa kirjasta Industrial Robotics: How to Implement the Right System for Your Plant, tekijänä Andrew Glaser (2009). Robotin pitkällä käyttöiällä voidaan osaltaan perustella robotin kallista hankintahintaa.

Robotti voidaan ostaa käytettynä, jolloin hankintahinta pysyy matalampana. Tällöin tulee kuitenkin ottaa huomioon, että vanhemmat robotit ovat epätarkempia kuin uudet, johtuen niiden nivelten ja toimilaitteiden kulumisesta, eivätkä ne sovelu kaikkein tarkimpiin töihin. (Aaltonen & Torvinen 1997b, 175.) Levytyökeskuksen palveluun ne soveltuvat hyvin, johtuen matalista tarkkuusvaatimuksista.

Käytettyjä robotteja voi esimerkiksi tiedustella FMS-Service Oy:ltä.

3 Lähtötiedot

3.1 Vaatimukset ja mitat

Lähtötiedot tarttujalle antoi FMS-Service Oy:n Vesa Kivekäs, joka on toiminut levytyökeskusten huollon parissa yli 15 vuoden ajan. Levytyökeskukseen menevän levyn maksimikoko on 1500 * 3000 mm, eli siis 1,5 * 3 metriä. Usein levy on tätä pienempikin. Suurempiakin keskuksia toki on olemassa ja suurempia levykokoja voidaan käyttää niissä, mutta tässä työssä keskitytään ensin mainittuun kokoluokkaan. Levytyökeskuksen painorajoitus on 200 kg, eli sen painavampia levyjä ei tulla robotilla käsittelemään. (Kivekäs 2011b.)

Kun tiedetään levyn pinta-ala sekä maksimipaino, voidaan teräslevyn maksimipaksuudeksi määrittää 5,5 mm alla olevalla kaavalla 1.

$$1500 \text{ mm} * 3000 \text{ mm} * h * \rho = 200 \text{ kg} \quad (1)$$

$$h = 5,67 \text{ mm}$$

h on levyn paksuus, 1500 ja 3000 mm ovat levyn pituus ja leveys.

ρ on teräksen tiheys, 7830 kg/m³. (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2005, 177.)

Levy voi olla mitä tahansa materiaalia, esimerkiksi terästä, ruostumatonta terästä tai alumiinia, mutta 90 % tapauksista se on kylmävalssattua teräslevyä. Tässä mainittu 90 % saattaa olla vanhentunutta tietoa, sillä vaikka kirja, jossa tämä on mainittu, onkin julkaistu vuonna 2003, niin kirjan ensimmäinen painos on julkaistu jo vuonna 1985. Tätä arvoa voidaan kuitenkin pitää suuntaa antavana. Vaikka 5,5 mm on levyn maksimipaksuus, yleisin levynpaksuus, jota levytyökeskuksissa ajetaan, on 1-3 mm. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 2003, 258.)

Robotin tarttujan tulee voida viedä raaka-ainelevy levytyökeskukselle ja paikoittaa se keskuksen kynsiin. Kun levy on paikoitettu, levytyökeskuksen kynnet ottavat levystä kiinni ja robotti voi irrottaa otteensa. Tämän jälkeen robotti väistyy tieltä pois, ja antaa levytyökeskuksen tehdä työnsä. Kun levytyökeskus saa levystä

kappaleen valmiiksi, robotin tulee noutaa tuo valmistunut kappale ja viedä se valmiiden kappaleiden pinnoon. Levytyökeskuksen valmistamat kappaleet saattavat olla minkä kokoisia tahansa ja ne voivat olla täynnä reikiä. Levytyökeskus jättää valmiin kappaleen aina samaan paikkaan, niin että kappale irrotetaan levyaihiosta aina siten että se on mahdollisimman edullisessa asemassa poimintaa varten. Levytyökeskukselta saadaan myös tieto robotille irrotettavan kappaleen ulkomitoista. Lähtötiedoiksi päätetään, että pienin noudettava kappale on 15 cm leveä. Kappaleen minimikoon määrittää loppujen lopuksi se, että tarttuja mahtuu levytyökeskuksen kynsien ja revolverin suojuksen väliin, sekä se miten suuri etäisyys revolverin suojuksesta on kappaleen irrotuskohtaan.

Tarraimen tulee mahtua levytyökeskuksen O-rungon sisälle raosta, jonka korkeus on 290 mm. Lisäksi levytyökeskuksen X-Y-pöydän kynsien etäisyys revolverin suojusta, kun noudetaan aivan kynsien vierestä 15 cm leveää kappaletta, määrittää kapeimman raon johon tarttujan tulee mahtua. Arviolta tämä rako tulee olemaan noin 20 cm, kun noudetaan 15 cm levyistä valmista kappaletta. Kappale on osittain revolverin alla.

3.2 Ongelmana kaksoislevy

FMS-Service Oy on ollut aiemmin osallisena projektissa, joka toi ilmi erään ongelman levyn noutamisessa levypinosta. Tässä projektissa oli robotti, joka nosti metallilevyjä levypinosta. Ongelmaksi muodostui se, että levyjen välissä oleva rasva liimasi levyt toisiinsa kiinni. Kun robotilla nostettiin imukupeilla päällimmäinen levy, hyvin usein levyjä nousi todellisuudessa kahdesta neljään kappaletta. Vaikka nämä levyt yleensä putosivatkin takaisin levypinon noston aikana, ne saattoivat mennä vinoon tai muuten epäedulliseen asentoon, jolloin robotti ei niitä seuraavalla työkierrolla saanut nostettua. Mikäli levyt eivät irronneet toisistaan missään vaiheessa, tapahtui kaksoissyöttö, eli varsinaiseen levyn muovausprosessiin meni kaksi levyä päällekkäin. Tätä tilannetta ei koskaan saisi tapahtua, vaarana on työkoneen tai työkalujen rikkoontuminen.

3.2.1 Testatut menetelmät kaksoislevyn estoon

On siis varmistuttava, että robotilla on vain yksi levy kerrallaan tarttujassa. Näitä menetelmiä kokeiltiin FMS-Service Oy:n aiemmassa projektissa:

- 1) Paineilmasuihku levypinon reunaa vasten.
 - Tätä menetelmää testattiin kiinnittämällä paineilmapistoolin levyjen vierelle siten, että pistooli puhalsi jatkuvasti ilmaa ylimpien levyjen väliin. Menetelmä yksin ei tuottanut tulosta, sillä vaikka välillä levyt irtaantuivat toisistaan, välillä ne painautuivat entistä tiiviimmin toisiaan vasten.
- 2) Mekaaninen harja levyn reunalla.
 - Rautaharja kiinnitettiin levypinon reunalle siten, että kun robotti nosti päällimmäistä levyä, se vietiin harjan harjasten läpi niin että levyä raavittiin alaspäin. Menetelmä ei toiminut, alempi levy ei irronnut harjasten avulla.
- 3) Kulman nosto.
 - Robotin tarttujan kulmaan asetettiin erillisen imukupin, joka otti kiinni levystä ennen varsinaista nostoa ja koetti raottaa levypinoa nostamalla päällimmäistä levyä kulmasta ylöspäin. Menetelmä ei tuottanut tulosta, sillä mikäli levyjä oli kaksi kiinni toisissaan, alempi levy seurasi ylempää raotuksen ajan.
- 4) Levyn kallistus nostettaessa.
 - Robotti ohjelmoitiin siten, että sen sijaan että levyä olisi nostettu suoraan ylöspäin, robotti nosti levyä kallistaen sitä jonkin reunan suhteen. Menetelmä toimi osittain, mutta ei tarpeeksi varmasti. Usein alempi levy tippui kyydistä kallistuksen aikana, mutta ei aina. Kallistus myös hidastaa liikettä.
- 5) Ulkoinen imukuppi, joka tarttuu alimpaan levyyn.

- Levypinon yhteyteen asennettiin ylimääräinen ylöspäin osoittava imukuppi. Kun robotti oli nostanut levyn pinosta, levy vietiin imukupille, joka tarttui levyn alapintaan. Mikäli robotti oli nostanut kaksi päällekkäistä levyä, alempi levy tarttui imukuppiin ja putosi kyydistä kun robotti nosti tarttijaansa ylemmäs. Ongelmana oli se, että mikäli levyjä oli liimautunut kolme päällekkäin, vain alimmainen levy jäi tähän irrotusimukuppiin kiinni ja työstökoneelle meni taas kaksi päällekkäistä levyä. Lisäksi irrotusimukuppiin kiinni jäänyt levy putosi hallitsemattomasti levypinon päälle jääden huonoon asentoon. Mikäli taas levyjä oli tarttujassa vain yksi, joutui robotin tarttuja turhaan rasitetuksi kun sitä nostettiin ylöspäin, mutta vastavasti pidettiin kiinni alhaalta. Jatkokehittämällä tätä ideaa ja yhdistämällä se levyn paksuuden mittaukseen tästä voisi tulla toimiva ratkaisu.

6) Tarttujan taivutus U-muotoiseksi

- Kun tarttujaa muokattiin siten, että tarttuja oli keskeltä pari senttimetriä korkeammalla tai matalammalla kuin ulkoreunat, vaikeutui levyn poiminta. Korkeammalla olevat imukupit eivät enää ylettyneet levyyn kun matalimmalla tasolla olevat imukupit olivat levyllä. Teoriassa, mikäli tarttujaa saataisiin enemmän taivutettua U:n muotoon, toisiinsa tarttuneet levyt voisivat irrota. Tämä kuitenkin vaatisi suuremman taivutuksen kuin mitä staattisella rakenteella saataisiin aikaan, tarttujaan jouduttaisiin lisäämään sylintereitä jotka liikkeellään aikaansaisivat suuren muodonmuutoksen tarttujassa. Pienellä taivutuksella ei ollut lainkaan vaikutusta levyjen irtoamiseen.

7) Irrotusmagneetti.

- Tämä ratkaisu toimi loistavasti. Kun irrotusmagneetti tuodaan aivan levypinon kiinni, johonkin sen kulmaan, nousee päällimmäinen levy ilmaan noin senttimetrin verran. Kun levyt ovat kulmastaan irti toisistaan, pääsee levyjen väliin ilmaa nostovaiheessa ja alempi levy irtoaa päällimmäisestä nostettaessa. Haittapuolena on se, että irrotusmagneetti toimii vain ferro-

magneettisille materiaaleille, eikä esimerkiksi useimmille ruostumattomille teräksille tai alumiinille.

8) Levyn paksuuden mittaus

- Mikäli halutaan olla ehdottoman varma siitä, että kahta levyä ei pääse työstökoneelle päällekkäin, tulee poimitun levyn paksuus mitata ja verrata saatua mitta-arvoa levyn oletettuun paksuuteen.

3.2.2 Ratkaisu kaksoislevyn poimintaan

Jotta vältetään kaksoislevyltä, tulee tehdä kaksi toimenpidettä.

Raaka-ainelevypinolle tulee asentaa erotusmagneetit, jotta kaksoislevyn syötön mahdollisuus pienenee. Erotusmagneetit estävät suurimman osat kaksoislevyistä, mutta eivät aivan kaikkea.

Kuvassa 5 on esimerkki erotusmagneetin tehosta



Kuvio 5. Erotusmagneetit kohottavat päällimmäisen levyn (Magnetic sheet separators [Viitattu 1.12.2011].)

Jotta voidaan olla varmoja siitä, että työstökoneelle ei tule kaksoislevyä, tulee robotin tarraimen nostaman levyn paksuus mitata. Mittauksella voidaan tarkistaa onko levy oikean paksuinen, vai onko tarttujalle tullut kaksoislevy. Eri ratkaisuja kaksoislevyn mittaukseen käsitellään luvussa 7.

Vaikka erotusmagneetit toimivatkin vain ferriittistä materiaalia käsiteltäessä, levyn paksuuden mittaaminen toimii kaikille materiaalityypeille.

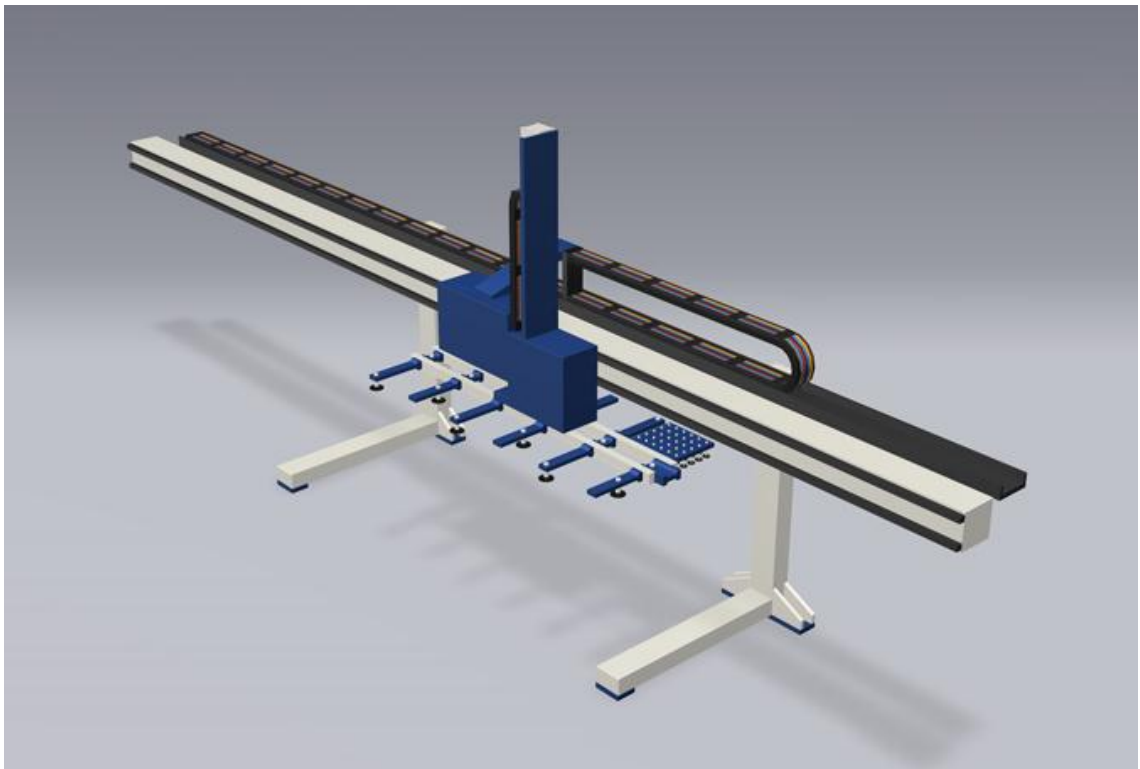
Kun kaksoislevy on tunnistettu, voidaan suorittaa yksi seuraavista vaihtoehtoista:

- Levy voidaan laskea takaisin raaka-ainepinolle, ja toivota että tällä kerralla erotusmagneetit irrottavat kaksoislevyn.
- Kaksoislevy voidaan siirtää syrjään ja jatkaa toimintaa seuraavalla levyllä.
- Robotti voidaan pysäyttää ja operaattori kutsua paikalle irrottamaan levyt toisistaan.

4 Vaihtoehtoja teollisuusrobotille ja tarraimelle

4.1 Trumpf Sheetmaster

Teollisuusrobottiin kiinnitettävä tarttuja ei ole ainoa vaihtoehto, kun levytyökeskusta halutaan palvella automaattisesti. Trumpfilla on kuvan 6 mukainen Sheetmaster, joka on myös suunniteltu levytyökeskuksen lastausta ja purkua varten. (Karakh 2010; SheetMaster 2011). Sheetmasterin etuna on sen tukeva rakenne, tarttujasta voidaan tehdä raskaampi ja silti sillä voidaan poimia painavampia levyä kuin teollisuusrobotilla. Sheetmasterin haittapuolena on sen vaatima tila, se vaatii pitkän kaistaleen lattiaa levytyökeskuksen viereltä.



Kuvio 6. Trumpf Sheetmaster (Sheetmaster 2011)

4.2 Finn-Power Express tai LST6

Finn-Power, eli nykyinen Prima Power tarjoaa levytyökeskuksiensa yhteyteen kuvan 7 mukaista Finn-Power Expressiä tai kuvan 8 mukaista LST6-purkulaitetta, riippuen levytyökeskuksesta.



Kuvio 7. Finn-Power Express (E-series Punch Presses [Viitattu 21.11.2011])



Kuvio 8. Finn-Power LST6 (E-series Punch Presses [Viitattu 21.11.2011])

Näiden lastaus- ja purkulaitteiden rakenne on sama kuin Sheetmasterilla, joten niiden tukevan rakenteen ansiosta niiden tarttuja voi olla raskaampi kuin teollisuusrobotin tarttuja. Finn-Power Express ei sovellu pienten kappaleiden purkuun, johtuen sen imukuppien sijainneista. Finn-Power LST6 on huomattavasti kehittyneempi, ja sopii paremmin erikokoisten kappaleiden purkuun. LST6:n yhteydessä olevat kiskoilla toistensa alle liikkuvat pöydät on hyvä keksintö, joka pienentää lastaus- ja purkulaitteen vaatimaa lattiapinta-alaa.

5 Robotin tarttuja

5.1 Robottitarraimen suunnittelun perusteet

Robotin tarrain on robotin tärkein lisävaruste. Ilman tarrainta robotin käyttö on hyvin rajallista, robottia voidaan korkeintaan käyttää työntämään kappaleita tieltään. Tarrain on robotin rajapinta työhönsä, karkeasti ajatellen robotin koko tehtävä on liikuttaa tarrainta haluttuihin paikkoihin, antaa tarraimelle liikkuvuus. Mikäli tarrain on vääränlainen tai ei ole tarpeeksi luotettava, projekti kärsii. Hyvin suunnitellun tarraimen tulisi täyttää seuraavat ehdot:

- Sen tulisi olla tarpeeksi kevyt, jotta robotti jaksaa käsitellä sitä.
- Sen rungon tulisi olla tarpeeksi luja, jotta muodonmuutoksia ei pääse helpolla tapahtumaan.
- Sen tulisi kestää pienet muodonmuutokset, joita kuitenkin tapahtuu.
- Sen tulisi kyetä toimimaan koko työalueella.
- Sen tulisi kyetä poimimaan kaikki lähtötiedoissa määritetyt kappaleet.
- Mikäli tarvetta ilmenee, sitä pitäisi pystyä muokkaamaan helposti.
- Sen tartuntavoiman tulee olla tarpeeksi suuri, jotta kappale ei vahingossa pääse putoamaan.
- Tartunnan voimanlähteen tulisi olla kohteeseen soveltuva.
- Sen tulee kestää olosuhteet joissa sitä tullaan käyttämään.
- Sen tulee olla mahdollisimman yksinkertainen ja varmatoiminen.
- Siinä tulee olla tarpeellinen anturointi.

(Aaltonen ym. 1997a, 248; Aaltonen ym. 1991, 253.)

5.2 Tarttujan periaate/vaatimukset

Tarttujalla pitää kyetä nostamaan kahden tyyppisiä kuormia. Kappaleen 3.1 mukaisesti tarttujan tulee kyetä nostamaan maksimissaan 1,5 m x 3 m raaka-ainelevy levytyökeskukselle. Toiseksi tarttujan tulee kyetä poimimaan valmis kappale raosta, joka on 29 cm korkea ja 20 cm leveä. Valmiin kappaleen ulkomitat voivat olla

mitkä tahansa, mutta minimissään ne ovat 15 cm leveitä. Lisäksi valmiissa kappaleessa on todennäköisesti reikiä.

Koska samalla tarttujalla pitää toisaalta nostaa hyvin suuria levyjä ja toisaalta hyvin pieniä kappaleita ahtaasta tilasta, tarttujan tulee olla tarkkaan suunniteltu. Poimintaan on kaksi vaihtoehtoa:

- 1) Tarttuja voi olla täysin kiinteä, niin että tarttujan toisella sivulla on kapea uloke, jolla nostetaan pienet kappaleet ja toisella sivulla nostetaan suuret kappaleet.
- 2) Tarttujassa on liikkuva osa, joka tarvittaessa työntyy esiin tarttujasta ja joka mahtuu nostamaan pienet kappaleet.

Koska valmiit kappaleet voivat olla niin suuria, että yksittäinen uloke ei välttämättä saa tukevaa kiinnitystä kappaleesta, on kaksi tai useampi liikkuvaa uloketta yleispätevämpi. Mikäli valmis kappale on kapea, se nostetaan yhdellä ulokkeella. Mikäli valmis kappale on huomattavasti leveämpi kuin 15 cm, mutta silti niin kapeassa kolossa että koko tarttuja ei mahdu sitä noutamaan, se nostetaan kahdella ulokkeella. Liikkuvien ulokkeiden lukumäärä määrää valmiin kappaleen maksimikoon.

5.3 Vaikuttavat voimat

Ensiksi selvitetään robotin tarraimen vaikuttavat voimat. Suurin paino, joka tarraimella voidaan tulla nostamaan, on 200 kg. Otetaan Kuka robotti KR 270-2 referenssirobotiksi, kun tarkastellaan robotin kiihtyvyyttä. Kyseinen robotti jaksaa nostaa 270 kg. Kun levy painaa maksimissaan 200 kg, tarttujaa varten jää vielä 70 kg käyttämättä robotin kapasiteetista. Robotti on Kukan aktiivisessa tuotevalikoimassa. (KR 270-2 (Serie 2000) 2011.) Robotin työkalun maksimikihtyvyys on Hanken (2011) mukaan liikekäskyllä 10 m/s². Kun lisäksi otetaan huomioon maapallon vetovoimaa vastaan tehtävä työ, voidaan laskea maksimivoima, jonka tarraimen tulee kestää ilman että kappale irtoaa siitä.

$$F = m * (a + g) * n \quad (2)$$

jossa F on voima

m on liikutettavan kappaleen massa 200 kg

a on kappaleen kokema robotista aiheutuva kiihtyvyys 10 m/s^2 .

g on gravitaatiovakio $9,80665 \text{ m/s}^2$.

n on turvakerroin, arvoltaan kaksi.

$$F = 200 \text{ kg} * \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 9,80665 \text{ m/s}^2\right) * 2$$

Näin saadaan maksimivoimaksi 7 900 Newtonia, eli noin 8 kN. Maksimivoima toteutuu kun tehdään työtä sekä painovoimaa että robotin kiihtyvyyttä vastaan, eli levyä kiihdytetään ylös tai jarrutetaan alas tultaessa.

5.4 Tartuntatapa

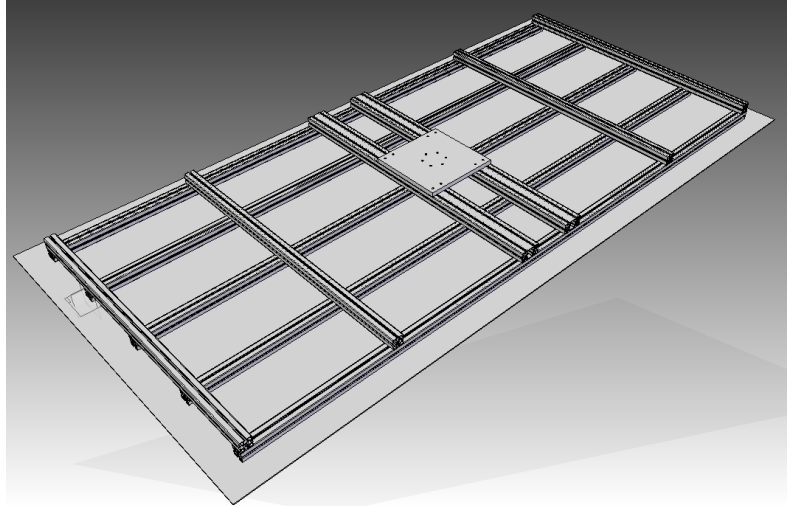
Levyn tartuntaan olisi periaatteessa kolme vaihtoehtoa. Mekaaninen tarttuja, magneettinen tarttuja tai alipaineella toimivat imukupit. Mekaaninen tarttuja ei ole kovin käyttökelpoinen tässä tapauksessa, johtuen levyn suuresta koosta. Mekaaninen tarttuja olisi myös kaikkein monimutkaisin vaihtoehto, eikä välttämättä edes mahdollinen toteuttaa. Valmiin kappaleen poimiminen levyaihiosta voi hyvinkin olla mahdotonta pelkällä mekaanisella tarttujalla. Toinen vaihtoehto olisi magneettinen tarttuja. Koska levyt kuitenkin voivat olla muitakin kuin ferriittisiä materiaaleja, esimerkiksi alumiinia, ei magneettitarttuja välttämättä toimi aina. Magneettitarttujan magneetit tulisivat myös painamaan huomattavasti. Kaikkein yksinkertaisin ja kevin vaihtoehto on alipaineen ja imukuppien yhdistelmä. Imukupit sopivat hyvin robotin tarttujaan niiden keveyden vuoksi.

5.5 Robotin tarttujan profiilin laskenta

Alumiiniprofiilista valmistettu tarttuja toteuttaa monet kappaleessa 5.1 esitetyt vaatimukset. Se on kevyttä ja sitä on helppo muokata. Pitää kuitenkin laskemalla tarkistaa, soveltuuko profiili kestävyytensä puolesta tarttujan materiaaliksi.

5.5.1 Alustava laskenta

Alustavassa mallinnuksessa robotin tarttuja on kuvan 9 mukainen. Levy on 1500 x 3000 mm ja käytetyt Minitec-alumiiniprofiilit ovat leveyssuunnassa 1300 mm ja pitkittäissuunnassa 2800 mm pitkiä. Vaikka profiili todellisuudessa tulee olemaan imukuppien varassa ja täten siitä aiheutuu useita pistekuormia, voidaan laskuissa ajatella levyn painon jakautuvan tasaisesti koko tarttujan alueelle.



Kuvio 9. Alustava malli tarttujasta.

5.5.2 Tarttujan muodonmuutokset

Tarkastetaan soveltuuko valittu profiili käytettäväksi työssä. Liitteessä 1 ja 2 on Minitec-profiilien tekniset tiedot, joista selviää profiilin kimmokerroin $E = 70\,000\text{ N/mm}^2$ eli $E = 70\,000\text{ MPa}$. Koska profiili on symmetrinen, sen jäyhyysmomentti eli neliömomentti on sama kumpaankin suuntaan. $I = 14,172\text{ cm}^4$. Tarttuja on robotissa kiinni kehikon keskellä olevasta laipasta, joten laipasta lähtevät kaksi 90 mm leveää profiilia ovat ainoat kiinteät tuet. Lasketaan ensin paljonko tarttuja tulee taipumaan alaspäin. Laskuissa voidaan käyttää Tekniikan Kaavaston (Mäkelä ym. 2005, 147) tilannetta ulokekannatin, tasainen kuormitus.

$$y_{max} = \frac{F \cdot l^3}{8 \cdot E \cdot I} \quad (3)$$

jossa y_{max} on maksimimitta, jonka tarttuja taipuu alaspäin. Tämä toteutuu aivan tarttujan uloimmassa päädyssä.

F on voima, joka painaa tarttujaa alaspäin. Kokonaisvoima on 8 kN, mutta koska pitkittäispalkkeja on viisi, ja tarkastellaan vain toista puolta tarttujasta, niin yhteen pitkittäissuuntaisen profiilin puolikkaaseen vaikuttaa vain 0,8 kN:n voima. Lisäksi

tulee ottaa huomioon profiilin omasta painosta aiheutuva tasainen kuormitus. Liitteen 2 mukaan 45 x 45 F-profiili painaa 2,005 kg/m ja puolikkaan profiilin pituus on 1,4 m. Kaavalla $F = m \cdot a$, (jossa $a = g + 10 \text{ m/s}^2$) saadaan profiilista aiheutuvaksi lisäkuormitukseksi 77,8 N. Näin ollen kokonaiskuormitus on 0,8 kN + 77,8 N, joka on noin 878 N.

l on tarttujan pituus keskilaipan tuesta, eli karkeasti arvioiden puolet profiilin pituudesta, eli 1400 mm.

E on profiilin kimmokerroin eli 70 000 N / mm². (Liite 1.)

I on profiilin jäyhyysmomentti, joka on 14,172 cm⁴. (Liite 2.)

$$\text{Näin ollen } y_{max} = \frac{878 \text{ N} \cdot (1400 \text{ mm})^3}{8 \cdot 70000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 14,172 \text{ cm}^4}$$

Tästä saadaan $y_{max} = 3,04 \text{ cm}$. Eli profiili tulee olemaan päädyistään noin 3 cm alempana kuin keskeltä kiinnityslaipan kohdalta. Yllä olevat laskelmat eivät täysin pidä paikkaansa, johtuen siitä että kuormitus ei todellisuudessa jakaudu aivan täysin tasan profiilien kesken. Uloimmilla profiileilla on todellisuudessa hieman kevyempi kuormitus kuin laskussa, ja vastaavasti keskellä olevilla profiileilla on hieman raskaampi kuormitus kuin laskussa. Toisaalta laskussa on profiilien pituutena laskettu puolet profiilin kokopituudesta, kun todellisuudessa tästä pituudesta voitaisiin vähentää robotin kiinnityslaipan leveyden verran. Laskusta saatu taipuma on voimassa ainoastaan robotin maksimikiihtyvyydessä liikkeen aikana, robotin ollessa paikoillaan tuo taipuma on pienempi. Lisäksi kuormituksessa on mukana varmuuskerroin kaksi.

Nyt on kun saatu selville profiilin alustava maksimitaipuma, päätetään että 3 cm on hyväksyttävä arvo.

5.5.3 Profiilin kestävyys

Seuraavaksi varmistetaan, että itse profiilin materiaali kestää kuormituksen. Liitteestä 1 nähdään että profiilin min. R_p 0,2 on 200 N / mm². Eli profiilia voidaan kuormittaa 200 N / mm² ennen kuin se kokee pysyvän muodonmuutoksen 0,2 %

pituudestaan. Tekniikan Kaavastosta (Mäkelä ym. 2005, 140) saadaan leikkausjännityksen kaava

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

jossa τ on leikkausjännitys

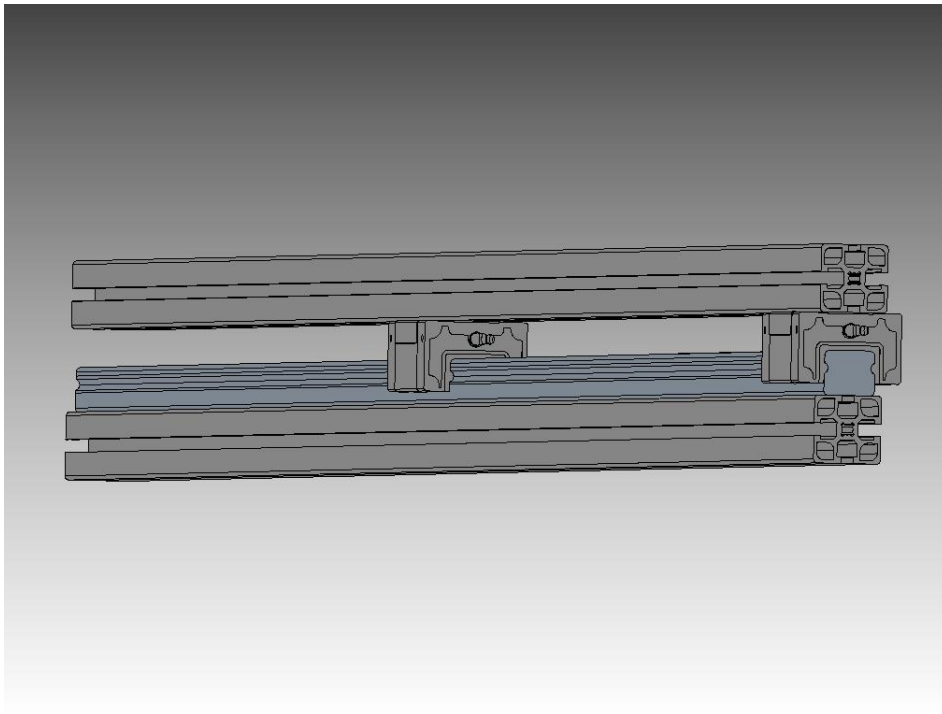
Q on leikkausvoima, joka Tekniikan Kaavaston mukaan (Mäkelä ym. 2005, 147) on maksimissaan sama kuin F , eli 878 N.

A on profiilin pinta-ala, joka on 742,63 mm². (Liite 2.)

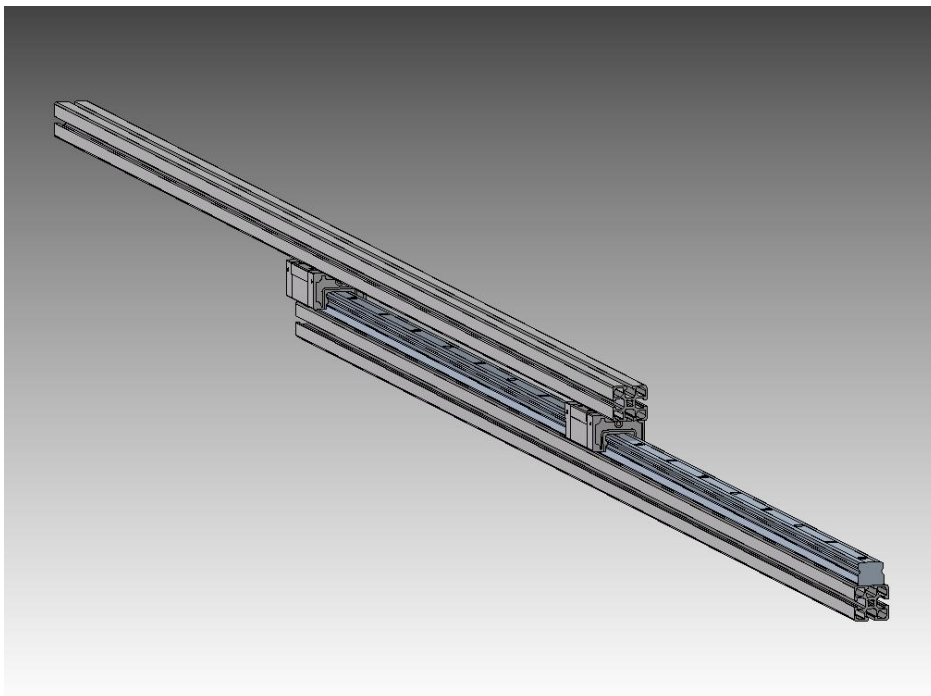
Tästä saadaan leikkausjännitykseksi 1,18 N/mm², eli vain noin 0,5 % profiilin maksimikuormituksesta. Profiili siis kestää alustavat kuormitukset hyvin.

5.5.4 Liikkuvan osan rasiutukset

Koska tarttujan tulee voida poimia valmiit kappaleet ahtaasta raosta, tulee osan tarttujasta olla liikkuva. Kahden tai kolmen pitkän profiilin alle tulee lineaarijohde, jonka varassa profiilia voidaan työntää ulospäin tarttujasta. Vaikka koko tarttuja ei kapeaan ragoon mahdukaan, niin ulospäin kurottuva pieni osa mahtuu sinne. Jotta voidaan valita oikea lineaarijohde, tulee laskea millaisia rasiutuksia johde tulee kohtaamaan. Kuvassa 10 on lineaarijohteen alustava rakenne tilanteessa, jossa profiili on oletusasennossaan, ja kuvassa 11 on kuva tilanteesta, jossa profiili on työnnetty tarttujasta ulos. Imukupit tulevat alapuoliseen profiiliin kiinni.



Kuvio 10. Alustava lineaarijohde. Liikkuva osa on perusasennossaan

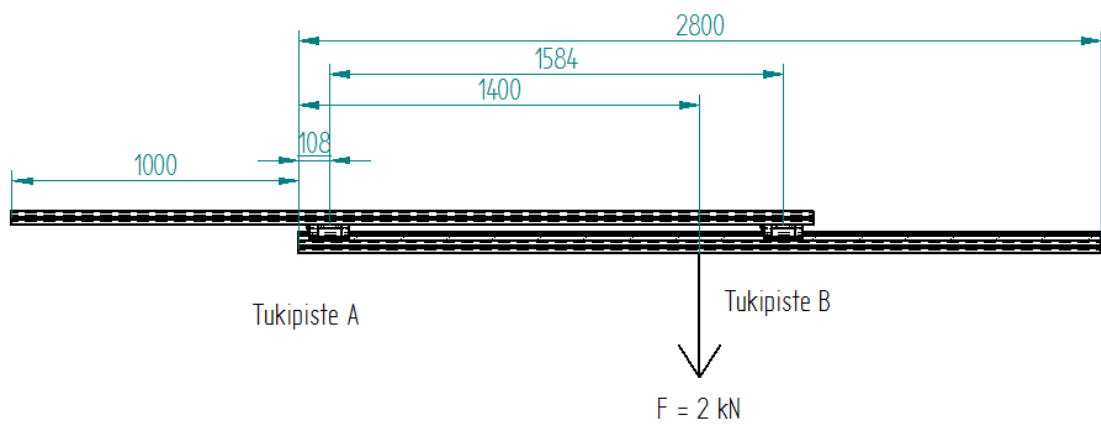


Kuvio 11. Alustava lineaarijohde. Liikkuva osa on työntyneenä eteen.

Maksimirasitus, joka profiilille tulee, on viidesosa koko levyn kuormituksesta, eli viidesosa 8 kN:sta. Tästä tulee 1,6 kN. Koska liikkuviin profiileihin tulee kaksi profiilia päällekkäin sekä lisäksi lineaarijohde, on selvää että painoa tulee normaalia enemmän. Vaikka siis laskennallinen kuorma ilman näitä lisärasitteita olisi 1,6 kN,

pyöristetään kuorma 2,0 kN. Tällöin valittu lineaarijohde varmasti kestää kuormitukset. Laskuissa ajatellaan, että kuormitus jakautuu tasaisena kuormana koko profiilin alueelle. Kun profiilin pituus on alustavasti 2,8 metriä, tulee kuormitukseksi 714 N/m.

Mikäli lineaarijohteeseen tulee kuvan 11 mukaisesti kaksi johdepakkaa, tulee lineaarijohteelle kaksi tukipistettä kuvan 12 mukaan. Profiili työntyy maksimissaan metrin verran ulospäin. Kuvassa näkyvät mitat ovat vasta alustavia, mutta niiden mukaan voidaan laskea tukipisteisiin eli laakerikelkkoihin vaikuttavat voimat.



Kuvio 12. Lineaarijohteen tukipisteet laskuissa

Jotta tukipisteisiin kohdistuvat voimat voidaan laskea, tulee ensin tunnistaa vaikuttavat voimat. Tässä tapauksessa ainoa vaikuttava voima on alemmassa palkissa oleva tasainen kuorma kuvan 12 F, jonka suuruus on 714 N/m, yhteensä 2 kN. Alapalkin painopiste on palkin puolessa välissä, eli 1400 mm palkin päästä.

Tukipisteiden kuormitukset saadaan laskettua alla olevilla yhtälöpareilla (Aarnio 2011, 29).

$$\sum F_x = F_{Ax} = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_y = F_{Ay} + F_{By} - 2 \text{ kN} = 0 \quad (6)$$

$$\sum M_A = -2 \text{ kN} * \frac{2800 \text{ mm}}{2} + F_{By} * 1584 \text{ mm} = 0 \quad (7)$$

$$F_{Ay} = 0,232 \text{ kN}$$

$$F_{By} = 1,768 \text{ kN}$$

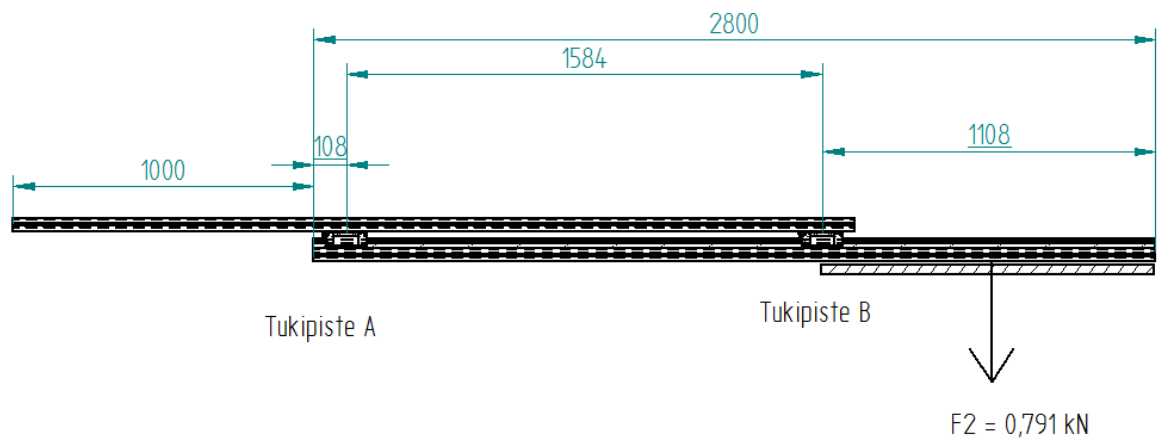
Yllä olevissa laskuissa F_{Ax} on tukipisteeseen A vaikuttava vaakasuora voima.

F_{Ay} on tukipisteeseen A vaikuttava pystysuora voima.

F_{By} on tukipisteeseen B vaikuttava pystysuora voima.

M_A on tukipisteen A momentti.

Vaikka momentti onkin määritetty nollassa laskuissa, tukipisteisiin kohdistuu silti jonkin verran momenttia, johtuen profiilin taipumisesta. Lasketaan tukipisteeseen B mahdollisesti kohdistuva momentti pahimmassa mahdollisessa tilanteessa, eli tilanteessa jossa tarttuja nostaa kappaletta siten, että kappaleesta aiheutuu tasainen kuormitus tukipisteen B oikealle puolelle, kuvan 13 mukaan.



Kuvio 13. Poimintatilanteen tasainen kuorma

Tasainen kuormitus on yllä määritetty 714 N/m, jolloin kokonaiskuormitukseksi tulee 0,791 kN ja massan keskipiste on 554 mm tukipisteen B oikealla puolella.

$$MB = 0,791 \text{ kN} * \frac{1108 \text{ mm}}{2} \quad (8)$$

$$MB = 438,2 \text{ Nm}$$

(Aarnio 2011, 39.)

Laakerikelkka tulee siis kohtaamaan noin 1,8 kN staattista kuormaa ja noin 450 Nm vääntöä, tämä tulee ottaa huomioon laakeria valittaessa.

5.6 Lineaariliikkeen komponentit

Kun laakereille vaikuttavat voimat tiedetään, voidaan valita lineaariliikkeen mahdollistava kisko ja laakerikelkat. FMS-Service Oy pyrkii käyttämään NSK:n tuotteita, joten katsotaan onko NSK:lla sopivia komponentteja valikoimissaan. Tämän jälkeen katsotaan vaihtoehtoiset komponentit Movetecilta ja valitaan näistä sopivat lineaariliikkeen komponentit.

5.6.1 Lineaarikelkka, vaihtoehto NSK Oy

Alustavan tutkimuksen mukaan NSK:n LY- tai LA-tuoteperheestä löytyisi sopivia kuulalaakerijohotteita jotka soveltuisivat kattoasennukseen, mutta NSK:n maahantuojan S&N Osakeyhtiön edustajan Kim Linervan mukaan kyseisten mallien saatavuus on yleisesti ottaen huono. (Linerva, 2011a.) Hän suosittelee kuulalaakerijohotteiden sijasta RA-tuoteperheen rullalaakerijohdetta, josta löytyy samaa kokoluokkaa olevia tuotteita joiden saatavuus on parempi. RA-tuoteperheestä sopivan kokoinen rullalaakerijohde lasketuille kuormille olisi RA20AN tai RA20BN (NSK Linear Guides, 2003.) Valitettavasti koko 25 on pienin rullajohde jota S&N voi toimittaa (Linerva, 2011b), joten valitaan tarkasteluun RA25AN ja RA25BN.

5.6.2 Lineaarikelkka, vaihtoehto Movetec Oy

Toisena vaihtoehtona selvitetään Movetec Oy:n valikoimaa. Movetec edustaa HI-WIN lineaarikomponentteja ja heidän valikoimissaan on sekä kuula-, että rullalaakereita. (Lineaarijohotteet 2008.) Kuula- ja rullalaakereita vertaillen käy selvästi ilmi, että rullalaakerit kestävät enemmän rasituksia kuin kuulalaakerit, varsinkin momentinkestävyys on aivan eri luokkaa. Taulukossa 1 verrataan laakerityyppien voimien kestävyyttä, kun lineaarikiskon leveys pidetään lähellä 25 mm.. Taulukossa on vain muutama poiminta kyseisten valmistajien valikoimista, eivätkä laakerit ole kaikilta mitoiltaan samoja. Täten taulukko on tarkoitettu vain suuntaa antavaksi. Kuulalaakeri erottuu taulukosta selvästi huonommilla ominaisuuksillaan.

Taulukko 1. Kuula- ja rullalaakerien vertailu.(Linear Guideways RG Series [Viitattu 7.10.2011]; Linear Guideways RG Series [Viitattu 7.10.2011]; NSK Linear Guides. 2003.)

Nimitys	Staattisen kuorman kestävyys	Momentin kestävyys Mp
Tarttujassa esiintyvät voimat	1,8 kN	450 Nm
NSK Rullalaakeri RA25AN	73 kN	760 Nm
NSK Rullalaakeri RA25BN	92,9 kN	1240 Nm
Movetec Kuulalaakeri EGH25CA	16,27 kN	320 Nm
Movetec Rullalaakeri RGH25CA	57.1 kN	605 Nm
Movetec Rullalaakeri RGH25HA	73.4 kN	991 Nm

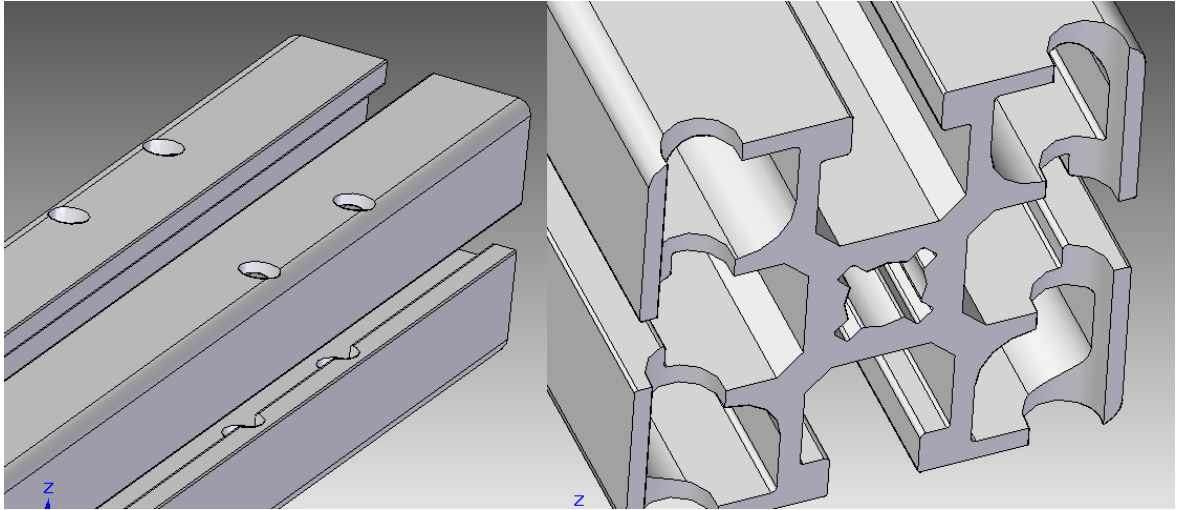
Mikä tahansa taulukon 1 rullalaakeri kestäää edellä lasketut rasitukset.

5.6.3 Lineaarikelkan valinta

NSK:lla ja Movetecilla on kummallakin hyvät valikoimat työhön sopivia laakereita. Vertailujen jälkeen valitaan Movetec-laakerit, johtuen niiden edullisemmasta hinnasta. (Linerva, 2011b; Kivistö, 2011.) Laakeriksi valitaan RGH 25CA, koska sen tarjoama 605 Nm momentinkestävyys on riittävä, ja se on Movetecilla hyllytavarena. RGH25HA olisi ollut muuten parempi vaihtoehto momentinkestävyytensä puolesta, mutta sen toimitusaika on noin kolme viikkoa. (Kivistö, 2011.) Näin pitkä toimitusaika voi muodostua ongelmaksi vikatilanteessa, mikäli varaosaa tarvitaan nopeasti.

5.7 Lineaarikelkan kiinnityksen ongelma

Taulukkoon 1 valituissa rullalaakereissa on kaikissa sama reikäjako. Mikäli laakerikelkat kiinnitetään ruuveilla alumiiniprofiiliin lävitse menevillä rei'illä, osuvat reiät kuvan 14 mukaisesti. Reikien poraus normaalilla poran terällä oikeisiin paikkoihin on profiilin vinojen pintojen takia mahdotonta. Profiilin reikien poraus tulee suorittaa pitkällä tasapäisellä jyrsimen terällä, jotta reiät saadaan porattua paikoilleen. Mikäli käytössä olisi kapeammalla reikäjaolla oleva laakerikelkka, ongelmaa ei olisi.



Kuvio 14. Profiili, jossa reiät laakerikelkkoja varten.

Toinen vaihtoehto on käyttää laipallista laakeria, (flange, kuva 15), jolloin rakenne näyttäisi kuvan 16 mukaiselta.

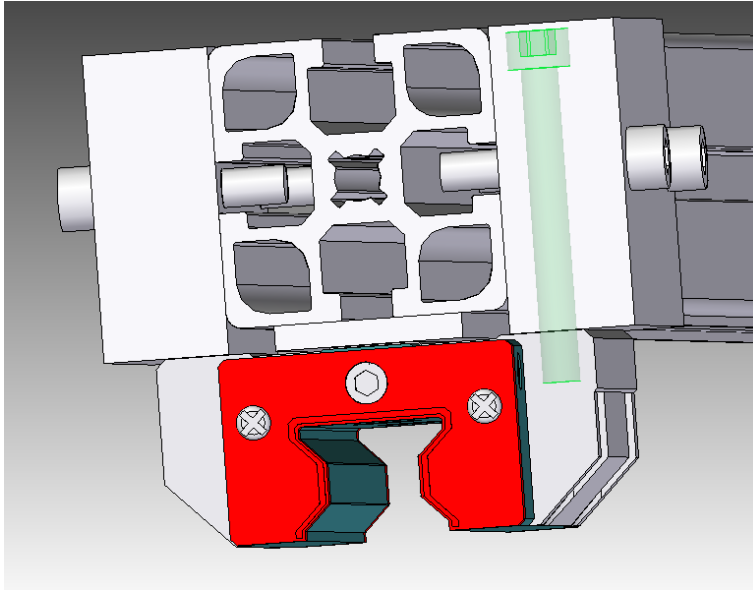
Type	Model	Shape
Square	RGH-CA RGH-HA	
Flange	RGW-CC RGW-HC	

Kuvio 15. Laakerikelkkojen muodot (Linear Guideways RG Series [Viitattu 10.10.2011])

Käytettäessä laipallista laakeria itse profiiliin läpi ei tule ruuveja, vaan profiilin sivulle kiinnitetään ylimääräiset osat joihin laakeri kiinnitetään. Koska laakerien kiinnityksen kuitenkin pitäisi olla mahdollista jyrsimällä profiiliin läpi reiät, käytetään tätä tapaa koska se on yksinkertaisempi ja halvempi. Mikäli kyseinen tapa osoittautuu mahdottomaksi toteuttaa, voidaan käyttää laipallisia

laakereita. Tällöin tulee ottaa huomioon, että laipallinen laakeri on hieman eri paksuinen kuin normaali laakeri, joten laakerikelkan ja profiilin väliin tulee laittaa korotuspala, jotta mitat pysyvät samana kuin normaalia laakeria käytettäessä (square, kuva 15).

Käytettäessä laipallista laakeria, tarttujan muut osiot pitää suunnitella täysin uudelleen, ottamaan huomioon leveämmät laakerit.



Kuvio 16. Vaihtoehtoinen ratkaisu laipallisen laakerikelkan kiinnitykselle

5.8 Lineaariliikkeen aikaansaaminen

Nyt kun lineaariliikkeen mahdollistavat komponentit on valittu, valitaan lineaariliikkeen lähde. Käytännössä lineaariliike voidaan aikaansaada usealla tavalla, helpoiten sähkömoottorilla tai paineilmasylinterillä. Koska paineilmasylinteri on huomattavasti kevyempi ja edullisempi kuin sähkömoottori, valitaan paineilmasylinteri.

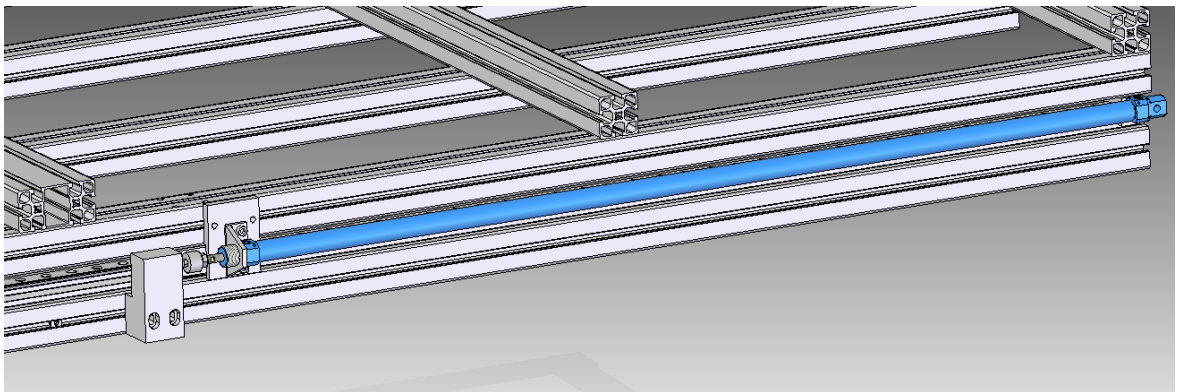
5.8.1 Lineaariliikkeen pituus

Levytyökeskuksen revolverin ja revolverin suojan leveys on levytyökeskuksesta riippuen 580 mm – 1120 mm. Mitat on otettu Finn-Power E6x- ja Finn-Power TP4020 -koneista. Kun poimitaan aivan revolverin vierestä, niin että koko tarttuja ei mahdu kynsien ja revolverin väliin, käytetään lineaariliikkeellisiä kurottuvia tartuntaprofiileja. Revolverin leveys määrittää tarvittavan lineaariliikkeen pituuden. Tärkeää on, että pitkistäkin valmiista kappaleista saadaan pitävä ote, joten kurottuvan liikkeen pitää ylettyä vähintään revolverin puoleen väliin, mielellään revolverin toiselle puolelle, samalla kun muu osa tarttujasta on revolverin suojan edessä.

Päätetään että lineaariliikkeen pituudeksi tulee yksi metri. Riippuen levytyökeskuksesta lyhyempikin liike riittää, mutta metrin lineaariliike riittää koneelle kuin koneelle.

5.8.2 Sylinterin valinta

Paineilmasyylinteri valitaan siten, että sen liikematka on yksi metri. SMC Pneumatics Finland Oy:llä on useita vaihtoehtoja, mutta edullisin vaihtoehto on käyttää C(D)85 kaksitoimista paineilmasyylinteriä. (Peurala 2011.) Sylinterin koko tilauskoodi on CD85N20-1000C-B-X2018 (ISO/VDMA Cylinders 2005, 3-2.) Sylinterin runko kiinnitetään etupäästään yläpuoliseen profiiliin ja mäntä kiinnitetään alapuoliseen profiiliin sovituskappaleen kautta. Koska profiilit tulevat hieman taipumaan, tulee kiinnityksessä olla joustava elementti, jotta sylinteriin ei kohdistu ylimääräisiä momenteja profiilien taipumasta. Tässä tapauksessa käytetään männän päässä SMC:n JA20-komponenttia, joka on tarkoitettu juuri tällaisten ylimääräisten voimien poistamiseen. (Peurala 2011.) Kuvassa 17 on valittu paineilmasyylinteri kiinnitetynä profiiliin, valmiina työntämään alempaa profiilia eteenpäin.



Kuvio 17. Lineaariliikkeen aikaansaava paineilmasyylinteri paikoillaan

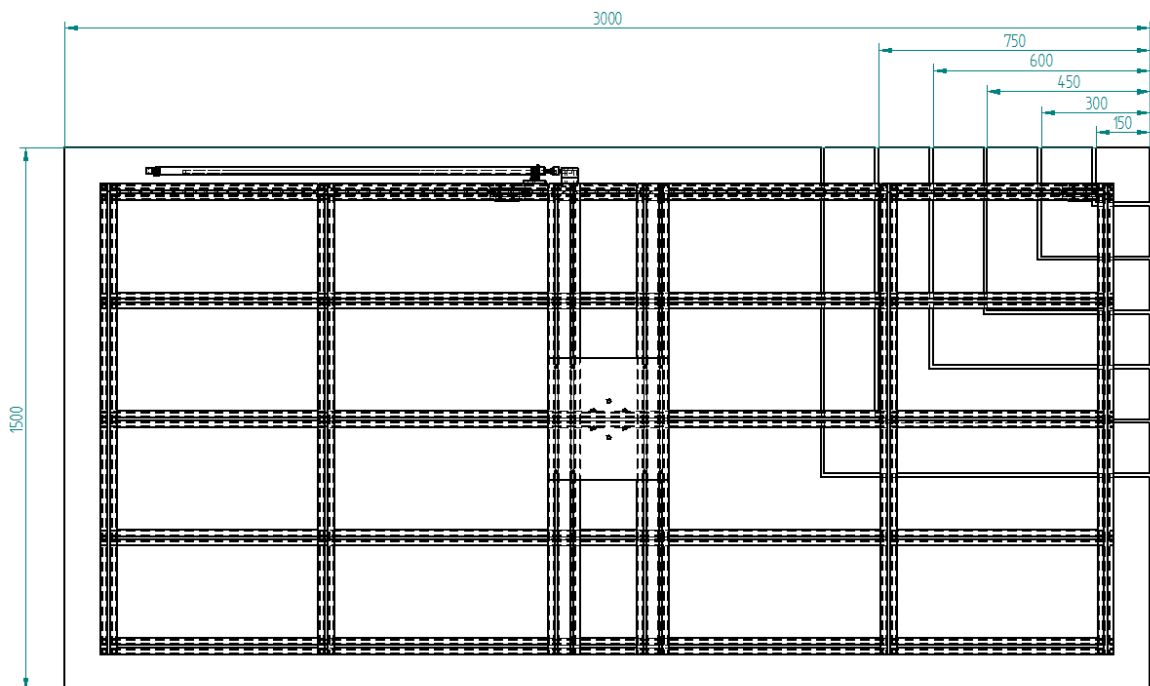
Paineilmasyylinterin ohjaus toteutetaan 5/3-magneettiventtiilillä. Keski-asennossa magneettiventtiilin tulee olla suljettu, jotta kurotussylinteri ei palaa eteen tai taakse, mikäli ohjaussignaali yllättäen katkeaa.

5.9 Alipaine ja imukupit

Kappaleessa 5.4 on päätetty, että tarttuja käyttää alipainetta ja imukuppeja poimiakseen raaka-ainelevyn ja valmiit kappaleet. Seuraavissa kappaleissa lasketaan paljonko alipainetta ja imukuppeja tarvitaan.

5.9.1 Imualueet

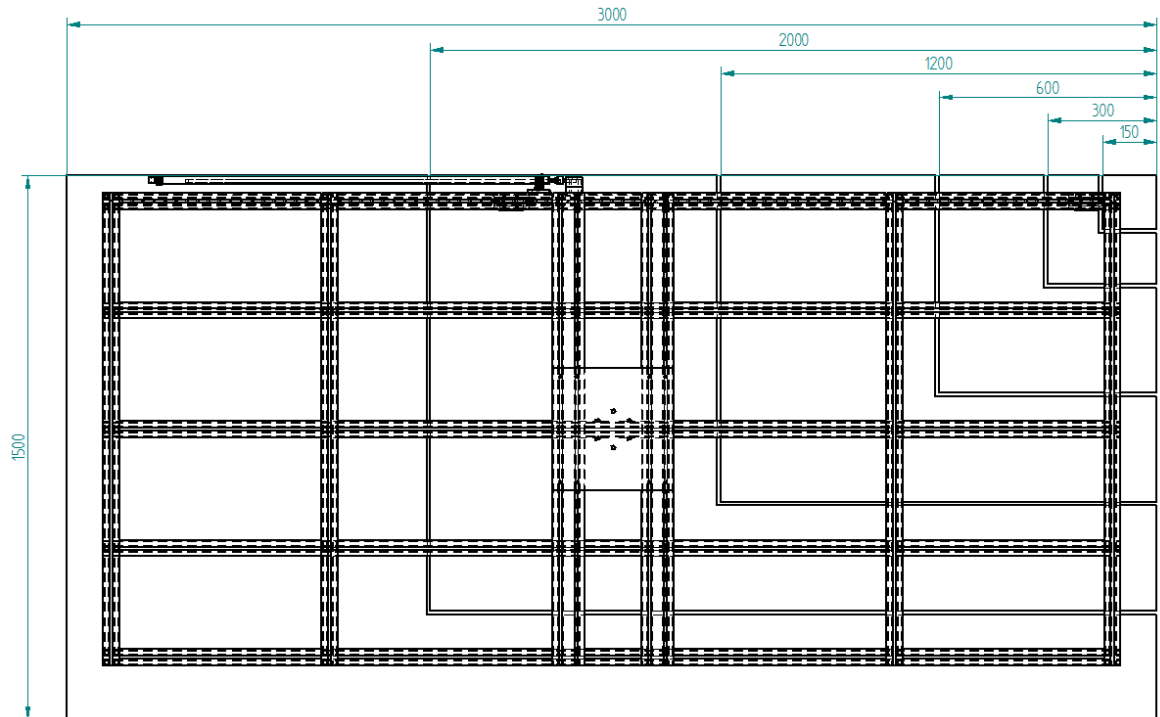
Lähtötiedoissa on päätetty, että pienin valmis kappale, joka tarttujalla voidaan nostaa, on 15 cm leveä. Voidaan nyt alustavasti päättää, että 15 cm on myös minimipituus valmiille kappaleelle. Imukupit tulee siis jakaa sellaisiin alueisiin, jotka voivat nostaa 15 x 15 cm kokoisia kappaleita. Alla olevasta kuvasta 18 huomataan, että tämä ei kuitenkaan ole kovin järkevää. Eri nostoalueita tulee liian monta, tarvittaisiin liian monta venttiiliä ohjaamaan jokaista pientä aluetta päälle.



Kuvio 18. Imualueet 15 cm:n jaolla

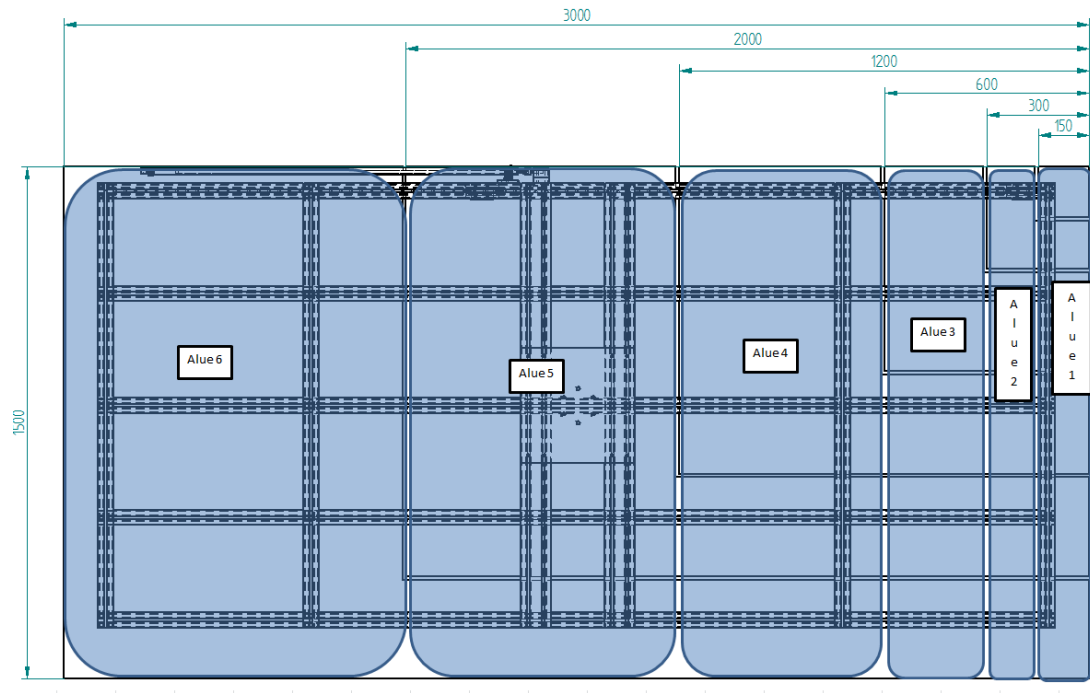
Venttiilien määrä saadaan pysymään järkevänä, kun käytetään pituussuunnassa 15 cm:n kerronnaisia: 15 cm, 30 cm, 60 cm, 120 cm, 240 cm. Jokaisessa profiilissa tulee olemaan omat alueensa, joten tarttujan leveyssuunnassa nostoalueiden jako tulee profiilien mukaan. Kuvan 19 mukaisessa aluejaossa on jokaisella profiili-

lilla kuusi aluetta ja eri alueita leveyssuunnassa on profiilien lukumäärä, viisi. Näin ollen tarvittaisiin yhteensä kolmekymmentä venttiiliä ohjaamaan imukuppeja, kuusi jokaiselle viidelle profiilille.

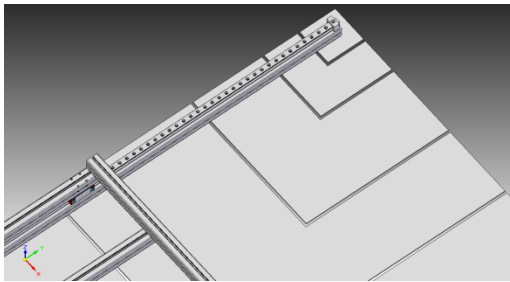


Kuvio 19. Imualueet 15 cm:n kerrannaisilla

Tätä määrää voidaan kuitenkin optimoida yhteentoista, kun päätetään että kytetään pituussuunnan alueiden venttiilit sarjaan leveyssuunnan venttiilien kanssa. Näin ollen mikäli halutaan ohjata vain aivan päädyssä olevaa pientä aluetta, kytetään yksi venttiili päälle. Tämän jälkeen kytketään haluttujen profiilien alueet päälle, eli mikäli halutaan ohjata vain ylimmän profiilin imukupit päälle, kytetään ylimmän profiilin venttiili päälle. Kuvassa 20 näkyy, miten levy on jaettu eri nostoalueisiin. Näin on tarttujalla mahdollista nostaa melkein minkä tahansa kokoisia valmiita kappaleita levytyökeskukselta. Kuvassa 21 on nostotilanne. Tulee lisäksi muistaa, että vaikka imukupit mallinnetaan alustavasti symmetrisiin paikkoihin, niin käytössä imukuppeja voidaan siirrellä tarpeiden mukaan. Mikäli loppukäyttäjät haluaa poimia lyhyempää kappaletta kuin 15 cm, hänen ei tarvitse tehdä muuta kuin muokata imualueiden leveyttä, vaihtaa alueen 1 leveydeksi esimerkiksi 5 cm.



Kuvio 20. Imualueet havainnollisesti



Kuvio 21. Tarttuja kurottuneena levyn päälle, levylle piirretty imualueet.

5.9.2 Alustava alipaineen lähde

Tarvittava alipaine on mahdollista aikaansaada joko pumpulla tai ejektorilla. Alipainepumppu käyttää pääsääntöisesti 75 % vähemmän energiaa kuin ejektori tuottaessaan alipainetta, joten se on energiankulutukseltaan huomattavasti taloudellisempi. (Bott 2011.) Pumput myös soveltuvat paremmin suurien ilmavirtojen aikaansaamiseen. (Vacuum generator 2011.) Toisaalta ejektorit pystyvät kehittämään alipaineen pumppuja nopeammin ohjaussignaalin asettamisen jälkeen. Ejektorit ovat myös pienempiä ja kevyempiä, ne voidaan tuoda lähelle käyttökohdetta.

Saman teholuokan, eli noin 100+ l/min ilmavirtauksen tuottavien alipainepumppujen ja ejektorien hinnat ovat samassa luokassa (Visa 2011; Westerlund 2011b).

Näillä tiedoilla kumpi tahansa alipaineen lähteistä sopisi tarttujalle. Alipainepumppu voisi jopa olla parempi vaihtoehto, mutta sen kiinnittäminen robottiin ei välttämättä onnistu, riippuen pumpun painosta ja sen aiheuttamasta värähtelystä, sekä robotin kuormitettavuudesta.

Vaikka siis sekä ejektori että alipainepumppu soveltuvat alipaineen lähteeksi, valitaan laskujen pohjaksi ejektori sen helpomman kiinnityksen ja käsittelyn vuoksi. Kun tarttujaa toteutetaan, voidaan yhdessä asiakkaan kanssa päättää käytetäänkö ejektoria vai taloudellisempaa alipainepumppua. Voihan olla, että asiakkaan tilojen paineilmajärjestelmä ei kykene tuottamaan ejektorien vaatimaa paineilmaa, jolloin valinta automaattisesti kohdistuu alipainepumppuun. Mikäli siirrytään käyttämään alipainepumppua, tulee sen sijoitus ratkaista tapauskohtaisesti.

5.9.3 Tarvittava alipaine

Alipainepumppua tai ejektoria valittaessa tulee tarkastella kahta eri ominaisuutta:

- ilmavirtausta
- alipaineen tasoa

Näitä suureita ei voida tarkastella toisistaan erillään, sillä ne riippuvat toisistaan. Kun alipainetta ei ole paljon, saadaan suuri ilmavirta, mutta alipaineen kasvaessa ilmavirta pienenee. Ejektorien ja alipainepumppujen teknisissä tiedoissa on yleensä ilmoitettu ilmavirta eri paineissa, kuten liitteessä 3 näkyy.

Alipaineen ilmavirtauksella on merkitystä siinä vaiheessa, kun jokin imukuppi osuu reiän kohdalle muodostaen vapaan kanavan, jota pitkin alipaine voi poistua järjestelmästä. Mikäli tyhjän päällä olevasta imukupista poistuu enemmän ilmaa kuin alipaineen lähde ehtii tuottamaan, alipaine ja imukuppien imuteho pienenee ja levy tai valmis kappale voi irrota imukupeista. On oletettava, että alkuperäisessä levyaihiossa joka vieään levytyökeskukselle, ei ole reikiä, mutta levytyökeskukselta

purettavissa valmiissa kappaleissa reikiä todennäköisesti esiintyy tuntematon määrä. Imukuppien nostava voima on seuraavan kaavan mukainen:

$$F = p * A \quad (9)$$

(Mäkelä ym. 2005, 99.)

Jossa F on nostovoima, 8 kN.

p on imukuppien alipaine suhteessa vallitsevaan ilmanpaineeseen, välillä 0...101,325 kPa, jossa 0 merkitsee normaalia ilmanpainetta ja 101,325kPa merkitsee täyttä tyhjiötä. 101,325 kPa on määritetty Gickmanin (2000) mukaan kansainvälisesti standardi-ilmanpaineeksi, jota voidaan käyttää laskuissa. Todellisuudessa ilmanpaine vaihtelee mittauspaikan, sään ja lämpötilan mukaan.

A on imukuppien yhteenlaskettu pinta-ala.

Tunnettuja ejektorien valmistajia, joiden tuotteita FMS-Service Oy on ennenkin käyttänyt, ovat SMC, Piab ja Festo. Muitakin valmistajia löytyy, mutta koska FMS-Service Oy aiemmin todennut Piabin ejektorit toimiviksi, pyritään tässä tarraimessa käyttämään niitä. Ejektoria valitessa on tehtävä valinta korkean tyhjiötason tai suuren virtauksen välillä. Koska imukuppien tulee voida nostaa myös kappaleita, joissa on reikiä, pyritään valitsemaan ejektorit jossa on suuri virtaus, enemmän kuin ejektorit jossa on korkea alipaineen taso. Piabilta löytyy useita ejektoreita jotka soveltuvat tarvittavan alipaineen luomiseen, Classic L100 ja piCLASSIC Si32-3. Kummallakin näistä saadaan aikaan 70 % alipaine, jolloin virtaus on 0,35...2,2 l/s. Valitaan nämä ejektorit alustavasti lähempään tarkasteluun. Tietoa ejektorin ilma-virtauksesta kullakin alipainetasolla tarvitaan luvussa 5.9.5. (Medium 2011.)

Kaavan 9 avulla saadaan nyt laskettua tarvittava imukuppien pinta-ala, joka vaaditaan että täysimittaista 200 kg levyä voidaan käsitellä robotilla turvallisesti.

$$F = p * A$$

$$8 \text{ kN} = 0,70 * 101.325 \text{ kPa} * A$$

$$A = 0,113 \text{ m}^2$$

Lasketaan lisäksi tarvittava pinta-ala, mikäli käytössä on 50 % alipaine. Tämä siksi, että kun alipaine on vain 50 %, saadaan samalla ejektorilla suurempi ilmavirta.

$$F = p * A$$

$$8 \text{ kN} = 0,50 * 101.325 \text{ kPa} * A$$

$$A = 0,158 \text{ m}^2$$

Laskuista saadaan selville, että mikäli käytössä on 70 % alipaine, tarvitaan imukuppien pinta-alaksi 0,113 m² kannattelemaan levyä. Mikäli taas käytössä on 50 % alipaine, tarvitaan 0,158 m².

5.9.4 Imukuppien alustava koko ja määrä

Koska käytetään pyöreitä imukuppeja, joiden koko ilmaistaan yleensä halkaisijana, sovelletaan ympyrän pinta-alan kaavaa selvittämään tarvittavien imukuppien määrä suhteessa imukuppien kokoon.

$$A = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * n \quad (10)$$

(Mäkelä ym. 2005, 18.)

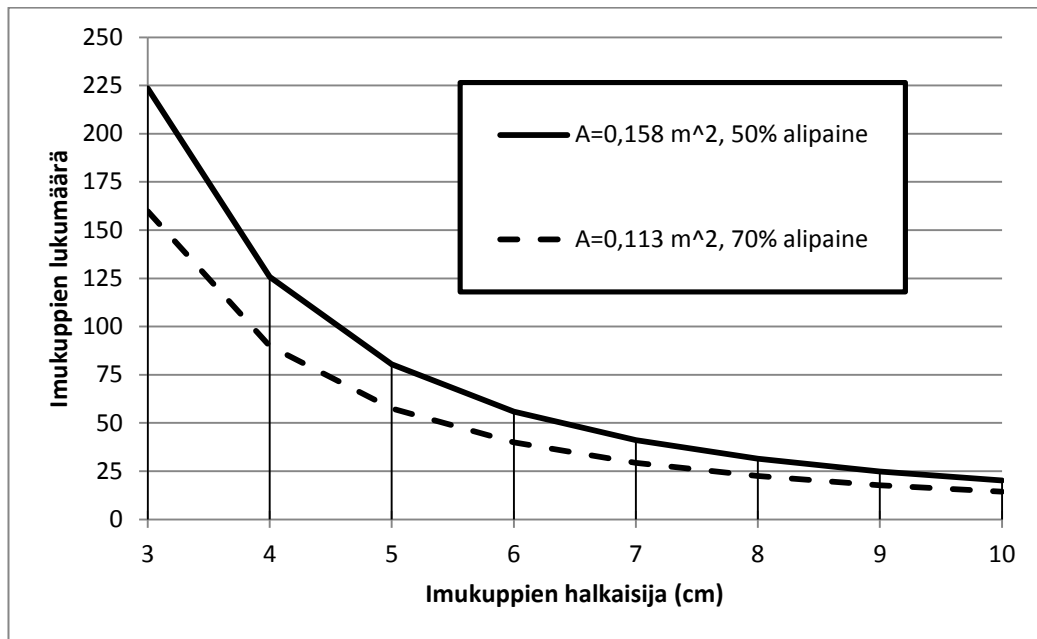
jossa A on 0,113 m² tai 0,158 m², tarvittava imukuppien kokonaispinta-ala.

d on yhden imukupin halkaisija.

n on imukuppien lukumäärä.

Kaavasta laskemalla saadaan kuvio 22, joka näyttää tarvittavien imukuppien lukumäärän suhteessa imukuppien halkaisijaan, niin että kokonaispinta-ala pysyy samana. Kaaviosta käy ilmi, että mikäli imukuppien halkaisija olisi 10 cm, ja käytössä on 70 % alipaine, imukuppeja tarvittaisiin 15. Vastaavasti nähdään, että jos käytössä on 50 % alipaine, vastaavassa tilanteessa imukuppeja tarvitaan 21. Koska 10 cm:n imukupit ovat kuitenkin liian suuria valmiiden kappaleiden poimintaan, joudutaan imukuppien kokoa pienentämään. Kun käytössä on 70 % alipaine, halkaisijaltaan 5 cm olevia imukuppeja tarvitaan 58, jotta kokonaispinta-alaksi tulee

tarvittava $0,113 \text{ m}^2$. Mikäli taas käytössä on 50 % alipaine, tarvitaan 5 cm:n halkaisijan imukuppeja 81 kappaletta.



Kuvio 22. Tarvittavien imukuppien lukumäärä

Halkaisijaltaan 5 cm on suurin realistinen imukupin koko, jota tarttujassa voidaan käyttää, ja jonka voidaan odottaa toimivan myös valmiiden kappaleiden kanssa. Pieniä kappaleita poimittaessa olisi suotavaa, että imukupit olisivat vieläkin pienempiä. Järkevintä olisi käyttää pieniä imukuppeja vain niissä kohteissa, joissa niitä tarvitaan, ja suurempia imukuppeja muualla. Kun 5 cm:n imukuppi korvataan pienemmällä, tulee muistaa että imukuppien kokonaispinta-alan tulee pysyä samana. Tämä toteutuu, kun noudatetaan alla olevaa taulukkoa 2. Näin ollen, kun yksi $\varnothing 5$ cm imukuppi korvataan $\varnothing 3$ cm imukupilla, näitä imukuppeja tarvitaan 2,78, eli pyöristettynä 3, jotta kokonaispinta-ala pysyy samana. Vastaavasti jos käytetään suurempia imukuppeja, niitä tarvitaan vähemmän.

Taulukko 2. Imukuppien määrä suhteessa kokoon.

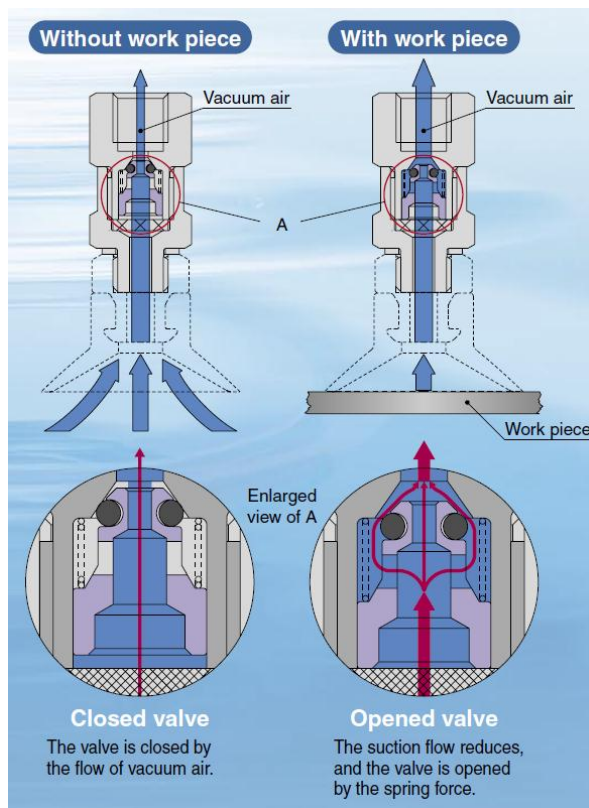
$\varnothing 5$ cm olevia imukuppeja tarvitaan, 70 % alipaine	58
$\varnothing 5$ cm olevia imukuppeja tarvitaan, 50 % alipaine	81

Imukupin halkaisija (cm)	10	9	8	7	6	5	4	3	2
yhtä $\varnothing 5$ cm imukuppia vastaava imukuppien lukumäärä	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,6	2,8	6,3

5.9.5 Ongelmana valmiissa kappaleissa olevat reiät

Robotin tarttujan on kyettävä nostamaan hyvin monimuotoisia valmiita kappaleita levytyökeskukselta. Voidaan odottaa, että osassa näitä kappaleita on reikiä toistaiseksi tuntemattomissa paikoissa. Kun kappaletta nostetaan imukupeilla, osa imukupeista voi osua tällaisen reiän kohdalle. Mikäli käytetään ainoastaan tavallisia imukuppeja, on suurena vaarana että alipaine katoaa tällaisen reiän kohdalle osuneen imukupin kautta ja kappale putoaa.

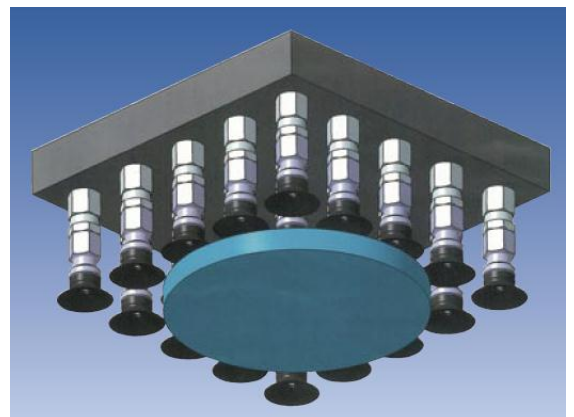
Kun SMC Pneumatics Finland Oy:ltä kysyttiin suosituksia imukupeista reikäiselle materiaalille, he ehdottivat kuvan 23 ZP2V-sarjan imuvastaventtiiliin käyttöä. (Skogström 2011). Imuvastaventtiili tulee imukupin yhteyteen, ja vähentää imukupista hukkaan vuotavaa ilmaa mikäli nostettavassa levyssä on imukupin alla reikä.



Kuvio 23. ZP2V-imuvastaventtiilin periaate (Vacuum Saving Valve [Viitattu 23.10.2011].)

Kuvassa 24 näkyy imuvastaventtiilin toiminta.

ZP2V-sarjan manuaalissa on mainittu, että A8 tai B01 ja näistä suuremmat imuvastaventtiilit sopivat halkaisijaltaan 32 – 50 mm imukupeille, mikä on työssä käytettävä kokoluokka. Valitaan mahdollisimman pieni imuaukko, mikä on tuossa kokoluo-



Kuvio 24. ZP2V-imuvastaventtiili toiminnassa (Vacuum Saving Valve [Viitattu 23.10.2011].)

kassa 0,5 mm, jolloin ZP2V-manuaalin mukaan laskennallisesti yhtä imuvastaventtiiliä varten tulee alipainetta varata 5 l/min. (Vacuum Saving Valve [Viitattu 23.10.2011].)

Aiemmin valittujen Piab Classic L100- ja piCLASSIC Si32-3 -ejektorien alipaineiden virtaukset ovat 57 l/min ja 132 l/min. Voidaan laskea että kyseiset ejektorit kykenevät ylläpitämään 11 tai 26 imukuppia. Kaikki imukupit eivät tarvitse imuvastaventtiiliä, ainoastaan ne, jotka tulevat nostamaan valmiita kappaleita pois levytyökeskuksesta. Kaikkien imukuppien tulee kuitenkin olla samalla korkeudella.

Laskemalla saadaan selville, että mikäli käytössä on 70 % alipaine ja pi CLASSIC Si 32-3x6, joka tuottaa 132 l/min imuvirtauksen, voidaan sillä kannatella 26 imukuppia.

Mikäli tyydytään vain 50 %:n alipaineeseen, tuottaa yllä mainittu ejektor 216 l/min imuvirtauksen. Tällöin yksi ejektor jaksaa kannatella 43 imukuppia, mutta vastaavasti imukuppeja tulee olla enemmän.

Jotta voidaan ratkaista tarvittava ejektorien määrä, tulee imukuppien määrä vielä tarkistaa.

5.9.6 Imukuppien määrä ja sijoittelu

70 % alipaine. Jos tarttujaan käytetään 70 % alipainetta, tarttujaan tarvitaan 58 imukuppia, joiden halkaisija on 5 cm. Kun nämä jaetaan tasan jokaiselle viidelle profiilille, saadaan 12 imukuppia per profiili. Kun profiilin pituus on 2800 mm, saadaan imukuppien väliseksi etäisyydeksi 255 mm.

Jotta saadaan varmistettua aivan pienten valmiiden kappaleiden poiminta, käytetään aivan päädyssä kuvan 20 mukaisilla imualueilla 1 – 3 pienempiä imukuppeja kuin 5 cm. Aikaisemmin laskettiin, että mikäli halkaisijaltaan 5 cm imukuppi korvataan halkaisijaltaan 3 cm olevalla imukupilla, tulee pienempiä imukuppeja olla 2,8 kertaa korvattavien imukuppien määrä. Eli kun aivan tarttujan päädyistä korvataan kolme imukuppia 60 cm matkalta, tulee tilalle laittaa 9 pienempää imukuppia. Yhteensä tarvitaan yhdeksän halkaisijaltaan 5 cm imukuppia ja yhdeksän halkaisijal-

taan 3 cm imukuppia per profiili. Yhteensä siis 18 imukuppia. Voidaan ajatella, että kuvan 20 mukaisesti ainoastaan imualueet 1 – 4 tarvitsevat imuvastaventtiiliä, ne tulevat osallistumaan valmiin kappaleen nostoon. 1200 mm matkalla on yhdeksän pientä imukuppia ja kolme normaalia imukuppia. Yhteensä siis 12 imukuppia, jotka tarvitsevat imuvastaventtiiliä. Lisäksi profiililla on kuusi imukuppia imualueilla 5 ja 6, jotka eivät alustavasti tarvitse imuvastaventtiilejä.

Profiileja, jotka pystyvät kurottumaan poimimaan valmiita kappaleita on kolme, ja kiinteitä profiileja on kaksi. Myös kiinteät profiilit voivat osallistua poimintaan, mutta ainoastaan mikäli valmis kappale on niin suuri, että koko tarttuja mahtuu nostamaan sitä. Jotta tarvittavien imuvastaventtiilien lukumäärä ei kasva liian suureksi, päätetään että ainoastaan kurottuvissa profiileissa on imuvastaventtiilejä. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli valmis kappale on niin suuri, että sen poimimiseen tarvitaan koko tarttujaa ja siinä on lisäksi reikiä, vakiomallinen tarttuja ei pysty sitä nostamaan. Toki tarpeen mukaan tarttujaa voidaan muokata, lisätä tarvittavia vastuvastaventtiilejä.

Imuvastaventtiilejä tulee olemaan koko tarttujassa $3 * 12$, eli 36. Jokainen imuvastaventtiili vaatii 5 l/min imuvirtauksen, eli yhteensä tarttujassa olevat imuvastaventtiilit tarvitsevat 180 l/min virtauksen alipaineen lähteeltä.

Yksi Piab-ejektori pi CLASSIC Si 32-3x6 tuottaa 132 l/min imuvirtauksen 70 % alipaineella (piCLASSIC Si32-3 2011). Näin ollen näitä ejektoreita tarvitaan tarttujaan kaksi kappaletta. Kumpaakin ejektoria ohjataan omalla magneettiventtiilillä, jotta ne eivät kuluta paineilmaa kun alipainetta ei tarvita. Kun käytetään kahta yllä mainittua ejektoria, niiden yhteenlaskettu imuvirtauksen tuotanto on 264 l/min, vaikka tarvetta on vain 180 l/min. Eli kahdella ejektorilla on 84 l/min ylikapasiteettia imuvirtauksen tuotannossa. Järjestelmään voidaan siis joko lisätä tarvittaessa 16 imuvastaventtiiliä, tai ejektori tai ejektorit voidaan korvata edullisemmilla.

Yhteensä koko tarttujassa tulee olemaan 27 halkaisijaltaan 3 cm imukuppia ja 51 halkaisijaltaan 5 cm imukuppia.

50 % alipaine. Jos tarttujaan käytetään 50 % alipainetta, tarttujaan asennetaan 81 imukuppia, joiden halkaisija on 5 cm. Kun nämä jaetaan tasan jokaiselle viidelle profiilille, saadaan 17 imukuppia per profiili. Kun profiilin pituus on 2800 mm, saa-

daan imukuppien väliseksi etäisyydeksi 175 mm. Aivan päädyssä käytetään taas imualueilla 1 ja 2 halkaisijaltaan 3 cm imukuppeja. Tälle alueelle mahtuu neljä imukuppia, jotka korvataan 11 pienemmällä imukupilla taulukon 3 mukaan. Yhteensä yhdelle profiilille tulee 24 imukuppia. Kun ainoastaan imualueet 1-4 tarvitsevat imuvastaventtiilejä, tulee tarvittavien imuvastaventtiilien lukumääräksi 14, koska 1200 mm:n matkalla päädyssä on 11 pientä imukuppia ja kolme normaalikokoista.

Kuten 70 % alipainetta käytettäessä, päätetään että ainoastaan kurottuvissa profiileissa on imuvastaventtiilejä. Tällöin imuvastaventtiilejä tulee olemaan koko tarttujassa $3 * 14$, eli 42. Jokainen imuvastaventtiili vaatii 5 l/min imuvirtauksen, eli yhteensä 210 l/min.

Yksi Piab-ejektori pi CLASSIC Si 32-3x6 tuottaa 216 l/min imuvirtauksen 50 % alipaineella (piCLASSIC Si32-3 2011). Näin ollen yksi tällainen ejektorin riittää koko tarttujan tarpeisiin. Tarvittaisiin vain yksi ejektoria ohjaava magneettiventtiili.

Yhteensä koko tarttujassa on 33 Ø 3 cm imukuppia ja 73 Ø 5 cm imukuppia.

5.9.7 70 %:n vai 50 %:n alipaine

Nyt kun tiedetään tarvittavien imukuppien ja imuvastaventtiilien lukumäärät, voidaan päättää käytetäänkö 70 %:n vai 50 %:n alipainetta. Mikäli käytetään 70 % alipainetta, tarvitaan kaksi ejektoria, mutta vain 78 imukuppia ja 36 imuvastaventtiiliä.

Mikäli taas käytetään 50 %:n alipainetta, ejektoreita tarvitaan vain yksi, mutta imukuppeja tarvitaan 106 ja imuvastaventtiilejä 42.

Näistä vaihtoehdoista valitaan 70 % alipaine. Vaikka kaksi ejektoria onkin huomattavan kallis ratkaisu, kokonaishinta ei juuri eroa yhden ejektorin ratkaisusta. Valitsemalla 70 %:n alipaine, tarvitaan imukuppeja ja niiden tarvikkeita vähemmän. Asennus on nopeampaa ja helpompaa, kun on vähemmän letkuja kytkettävänä.

5.9.8 Alipaineen lähteen valinta

Edellä olevissa kappaleissa on valittu Piabin pi CLASSIC Si 32-3x6 laskujen pohjaksi. Tämä ei välttämättä ole lopullinen ejektori, johon tarttujaa rakennettaessa päädytään. Nyt mainittu piCLASSIC Si32-3x6 ejektori on vasta alustava valinta. Piabilla on suuremmissa kokoluokissa muita ejektoreita, jotka saattavat sopia paremminkin tarttujalle. Mainitsemisen arvoinen on Piab L300, joka tuottaa 186 l/min imuvirtauksen, kun alipaine on 70 %. (L300 2011.) Tämän mallin hintaa ei kuitenkaan ole tähän työhön selvitetty.

Myös alipainepumppua voidaan käyttää, kuten kappaleessa 5.9.2 on mainittu.

Kun harkitaan alipaineen lähdeä, on tärkeää ottaa huomioon järjestelmän tarvitsema imuvirta valitulla alipainetasolla, kappaleiden 5.9.5 ja 5.9.6 esimerkin mukaisesti. Kertauksena, alipaineen lähteeltä vaaditaan taulukossa 4 mainitut ominaisuudet. Taulukkoon on myös kerätty eri vaihtoehtojen vaatimat komponentit.

Taulukko 3. Vaihtoehdot eri alipaineille

Alipaineen taso	Imuvirtaus	Ø 5 cm imukuppeja	Ø 3 cm imukuppeja	Imuvastaventtiilejä
50 %	210 l/min	73	33	42
70 %	180 l/min	51	27	36

Mikäli käytetään 50 %:n alipainetta, tarvitaan imukuppeja enemmän, mutta tarvittava imuvirtaus on helpommin tuotettavissa. Tässä työssä suunniteltava tarttuja käyttää 70 %:n alipainetta, mutta imukuppeja lisäämällä myös 50 %:n alipaineen käyttö onnistuu.

5.9.9 Imukuppien valmistaja, tyyppi ja materiaali

Imukupin materiaaliksi SMC suositti nitrilikumia sen hyvän mekaanisen kestävyysvuoksi (Skogström 2011). Imukupit joutuvat olemaan paljon tekemisissä öljyn kanssa, sillä levyaihiot ovat yleisesti suojaöljytyjä saapuessaan valimolta ja valsauksesta (Aaltonen ym. 1997a, 11). Myös levytyökeskuksesta voi johtua öljyä levyihin. Tästäkin syystä nitrilikumi on hyvä valinta, johtuen materiaalin hyvästä

öljynkestävyydestä (Hulkkonen 2007, 8). Valitettavasti kuitenkin SMC:n imukupit ovat melko korkeita, niiden rakenne on huomattavasti korkeampi kuin Piabin imukuppien (Series ZP 2011, 10-18). Koska tarttujasta halutaan matala, valitaan imukupit Piabilta. Piabilla paras öljynkestävä materiaali on nitrilikumi HNBR tai nitrili-PVC. Lisäksi tarjolla on kloropreenikumi, jonka öljynkestävyys ei ole edellä mainittujen materiaalien veroinen, mutta kohtalainen. Näistä vaihtoehtoista valitaan nitrili-PVC sen edullisen hinnan ja hyvien ominaisuuksien vuoksi. Pienempiin imukuppeihin ei tätä materiaalia ole saatavilla, tällöin pitää käyttää joko nitrilikumia tai kloropreenikumia. Näistä nitrilikumi on noin kolme kertaa kalliimpaa kuin kloropreenikumi (Westerlund 2011), joten alustavasti käytetään kloropreenikumia, katsotaan miten hyvin se kestää käytössä ja tarvittaessa vaihdetaan materiaalia. (B50 2011.)

Imukuppeja saa erimuotoisina, eri sovelluksiin. Tässä tarttujassa voitaisiin käyttää joko kuvassa 25 esiintyviä matalia tai palkeellisia imukuppeja. Palkeellinen imu-



Kuvio 25. Matala & palkeellinen imukuppi (Nitrile-PVC & chloroprene 2011)

kuppi sopii hieman paremmin, joutu-
tuen tarttujan suuresta koosta. Imukuppi tuo tarttujaan pienen joustavan elementin. Tällöin ei haittaa vaikka tarttuja olisi hieman kallallellaan, koska paljeimukuppi tasoittaa tarttujan eri osien korkeuseroja. Mikäli käytettäisiin matalia imukuppeja, olisi mahdollista että tarttujan koettau jonkin pienen muodonmuutoksen, kaikki imukupit eivät enää yltäisi yhtä aikaa poimimaan levyä. (Hulkkonen 2007, 6.)

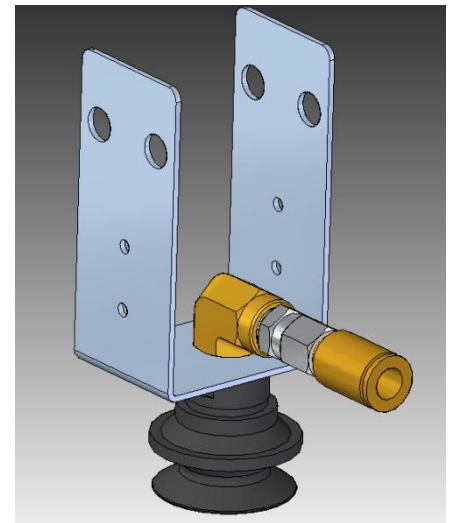
Palkeellinen imukuppi sopii myös siitä syystä paremmin, että oikeaa materiaalia olevaa matalaa imukuppia ei yksinkertaisesti ole Piabin valikoimissa tarvittavissa kokoluokissa (F- Flat 2011).

Taulukkoon 4 on kerätty tarttujalla käytetyt imukupit. Imukuppi koostuu sekä kiinnikeosasta että kumiosasta.

Taulukko 4. Käytettäviä Piab-imukuppeja. (B30-2 2011) (B50 2011)

Osa	Tarkka kuvaus	Piab Tilausnumero
Imukupin kiinnike Ø30:	Fitting 1/8" NPSF female, 30–40, with mesh filter	101153
Imukupin kiinnike Ø50:	Fitting 1/8" NPSF female, 50, with mesh filter	101154
Imukupin kumiosa Ø30:	Suction cup B30-2 Chloroprene	101103
Imukupin kumiosa Ø30:	Suction cup B30-2 HNBR	108077
Imukupin kumiosa Ø50:	Suction cup B50 Nitrile-PVC	101107

Vierellä olevassa kuvassa 26 on malli imukupista, kulmaliittimestä, imuvastaventtiilistä ja pikaliittimestä paikallaan profiiliin kiinni tulevalle kiinnittimellä. Kiinnittimen sivulla olevat pienet reiät on tarkoitettu nippusiteitä varten, jotta muille imukupeille menevät paineilmaletkut saadaan kiinnitettyä.



5.9.10 Vaihtoehtoinen tarttuja

Markkinoilla on myös olemassa valmiita ratkaisuja, jotka kykenevät käsittelemään reikäisiä kappaleita. Kuvio 26. 30 mm:n imukuppi kiinnikkeessään.

Esimerkkinä Joulin valmistajat tarttujat, jollainen kuvassa 27 on. Tarttujan toiminta ja monipuolisuus näkyy kuvasta 28.

Tällaisen tarttujan toiminta perustuu huokoiseen vaahtomateriaaliin, jonka läpi ilmaa imetään. Menetelmä soveltuu hyvin huokoisiin materiaaleihin ja tilanteisiin, joissa vain pieni osa tarttujasta on kosketuksissa käsiteltävään kappaleeseen ja loppu osa tarttujasta on vapaana. Tämän tyyppinen tarttuja nostaa reiällisiä kappaleita helposti.



Kuvio 27. Joulin yleistarttuja (Presentation [Viitattu 29.11.2011].)



Kuvio 28. Joulin yleistarttuja nostaa reikäisiä kappaleita. (Presentation [Viitattu 29.11.2011].)

Valitettavasti tämän tyyppinen malli ei sovellu tähän tarttujaan. Syynä on se, että tarkoitus on poimia valmis kappale raaka-ainelevyn keskeltä siten, että valmis kappale on ympäröity jäljelle jääneellä raaka-ainelevyllä. Kun tällainen yleistarttuja viedään poimimaan valmis kappale raaka-ainelevyn keskeltä, tarttuu yleistarttuja sekä valmiiseen kappaleeseen että raaka-ainelevyyn. Yleistarttujan pitäisi aina olla pienempi kuin valmiin kappaleen, tai valmiin kappaleen ympärillä pitäisi olla tyhjää tilaa.

imukuppitarttujaa käytettäessä voidaan poiminta-aluetta säädellä helpommin. Vaikka siis yleistarttujalla onkin hyviä ominaisuuksia, tähän työhön se ei sovellu.

5.10 Tarttujan anturointi

Tarttuja tarvitsee antureita seuraaviin kohteisiin:

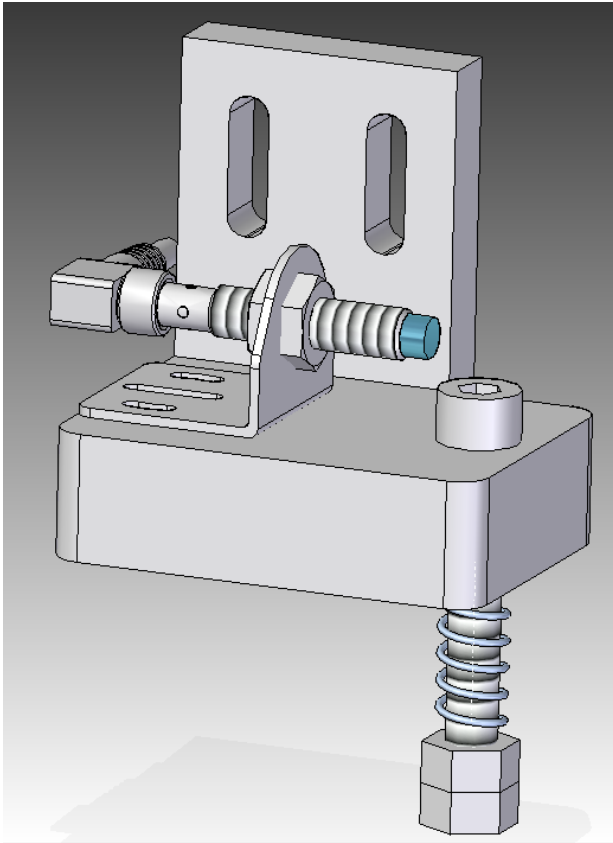
1. Havaitsemaan levypinon korkeuden, jotta raaka-ainelevy osataan poimia oikealta korkeudelta.
2. Tarkkailemaan levyn nostoa, pysyykö levy tarttujassa.
3. Tarkkailemaan valmiin kappaleen nostoa, pysyykö valmis kappale tarttujassa.

Kun robotti ohjaa tarttujan raaka-ainepinon päälle ja lähtee noutamaan päällimmäistä levyä, pinon korkeutta ei tiedetä etukäteen. Robotti ei tiedä tarkkaan, mille korkeudelle sen tulee pysähtyä. Robotin tarttujassa tulee olla anturi, joka havaitsee milloin ollaan levypinon päällä oikealla korkeudella. Kun tämä anturi havaitsee robotin olevan levypinolla, robotti voi keskeyttää lähestymisliikkeensä ja pysäyttää tarttujan oikealle korkeudelle levypinon päälle, siten että imukupit saavat otteen levystä.

Tämän anturi voi olla esimerkiksi mekaanisen tunnistelijan ja lähestymisanturin yhdistelmä. Mekaaninen tunnistelija ulottuu imukuppien alapuolelle ja osuessaan levypinoon kohoaa ylöspäin, jolloin lähestymisanturi havaitsee tämän. Tällöin levypinon tunnistetaan ennen kuin tarttuja osuu levyyn. Kuitenkaan tunnistelijan ei tule ulottua liian alas, jotta se ei osu levytyökeskuksen pöytään, kun tarttuja käy noutamassa valmiin kappaleen levytyökeskukselta. Kaikki komponentit, jotka ulottuvat tarttujan imukuppien alapuolelle kasvattavat tarttujan paksuutta.

Toisaalta anturi voi olla kosketukseton, esimerkiksi ultraääni-, laser- tai muu etäisyysanturi, joka suoraan tarkkailee etäisyyttä. Tällöin anturilla ei ole lainkaan osia jotka ulottuisivat tarttujan imukuppien alapuolelle. Tämä madaltaa tarttujan rakennetta.

Yksinkertainen induktiivinen anturi on näistä ratkaisuista edullisempi. Käytetään



Kuvio 29. Induktiivinen anturi ja jousipalautteinen tunnustelija

sitä, ellei tarttujan korkeus kasva liian suureksi. Kuvaan 29 on mallinnettu induktiivinen anturi yhdistettynä jousipalautteiseen tunnustelijaan. Kun robotin tarttuja laskeutuu levypinolle, jousipalautteinen vapaasti liikkuva ruuvi työntyy ylöspäin törmätessään levypinon. Kun ruavin kanta ulottuu induktiivanturin tasalle, kertoo induktiivanturi järjestelmälle että levypinon pinta on saavutettu.

Tätä yhdistelmää voidaan käyttää sekä tunnistamaan raaka-ainelevypinon pintaa, että tarkkailemaan levyn ja valmiin kappaleen tartunnan onnistumista. Mikäli tarttujassa oleva levy puoltaa, palautuu tunnustelija al asentoonsa ja induktiivinen anturi ha-

vaitsee tämän. Käytetään kahta kuvan 29 mukaista anturia koko tarttujaan, kahden eri kurottuvaan profiiliin. Näin erikokoisten valmiiden kappaleiden tartunta tunnistetaan varmemmin. Myös levynpinnan havaitseminen onnistuu varmemmin kahdella anturilla. Robotin ohjelmassa on oltava toisaalta mahdollisuus kytkeä toinen anturi pois päältä, mikäli ajetaan levykokoa, joka ulottuu vain toisen anturin kohdalle.

5.11 Energiansiirtoketju

Nyt kun tiedetään mitä komponentteja tarttujaan tulee, voidaan ratkaista komponenttien johdotus. Jotta komponenttien johdot ja letkut saadaan seuraamaan kurottuvaa tarttujaa, tulee kaikki kurottuvalle tarttujalle menevät johdot vetää energiansiirtoketjun läpi. Näin letkut ja johdot pysyvät hyvässä järjestyksessä, eivätkä

hierry toisiaan vastaan rikki. Jotta saadaan valittua oikeanlainen energiansiirtoketju, tulee kaikki tarttujalla olevat komponentit ottaa huomioon.

5.11.1 Huomioon otettavat komponentit

Tarttujan profiileille tulee kuusi eri imualuetta kuvan 20 mukaisesti. Alipaine tulee ejektoreilta alipaineletkua pitkin tarttujalle ensimmäisille magneettiventtiileille, jotka määräävät mille imualueille imua tulee. Sitten alipaine kulkee toisten magneettiventtiilien läpi, jotka määräävät mille profiileille alipaine tulee. Alipaineita ohjaavat magneettiventtiilit voivat olla yksinkertaisia 3/2 On/Off-magneettiventtiilejä. Nämä magneettiventtiilit eivät tule kurottuville profiileille, vaan jäävät tarttujan päälle. Tästä järjestelystä johtuu, että jokaiselle profiilille tulee kuusi erillistä paineilmaletkua, yksi jokaiselle imualueelle. Kun profiililla on lineaariliike, johdotetaan paineilmaletkut energiansiirtoketjujen kautta.

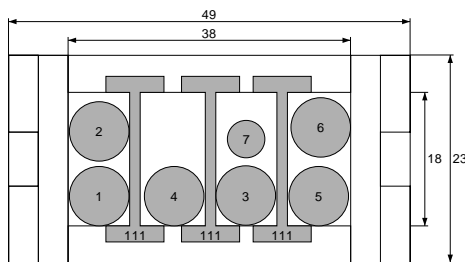
Lineaariliikkeen aikaansaavat paineilmasyylinterit kukin vaativat magneettiventtiilin, mutta nämä voidaan sijoittaa tarttujan päälle. Myös Ejektorit vaativat magneettiventtiilin, yhden kullekin, mutta nämä komponentit jäävät robotin päälle. Ejektoreilta tulee tarvittava määrä alipaineletkuja tarttujalle. Mikäli alipaineletkun pinta-ala uhkaa jäädä pieneksi suhteessa vaadittavaan imuvirtaukseen, voidaan alipaine kuljettaa tarttujalle useampaa letkua pitkin.

Paineilman lisäksi tulee tarttujalle kappaleessa 5.10 mainittuja antureita. Kun anturi sijoitetaan kurottuvalle tarttujan profiilille, tulee anturin johto vetää energiansiirtoketjun kautta. Vaikka jokaiselle profiilille ei anturia tulekaan, on selvyuden vuoksi paras varata jokaiselle energiansiirtoketjulle tilaa anturin johdolle.

Näin ollen yhdelle energiansiirtoketjulle pitää mahduttaa kuusi halkaisijaltaan 8 mm:n paineilmaletkua ja yksi halkaisijaltaan maksimissaan 5 mm:n sähköjohto. Lisäksi ketjulle tulee mahdollisesti luvussa 9.9 mainittu törmäystä tarkkaileva anturi, mutta tarvittaessa kaikki anturijohdot voidaan viedä yhdellä moninapakaapelilla.

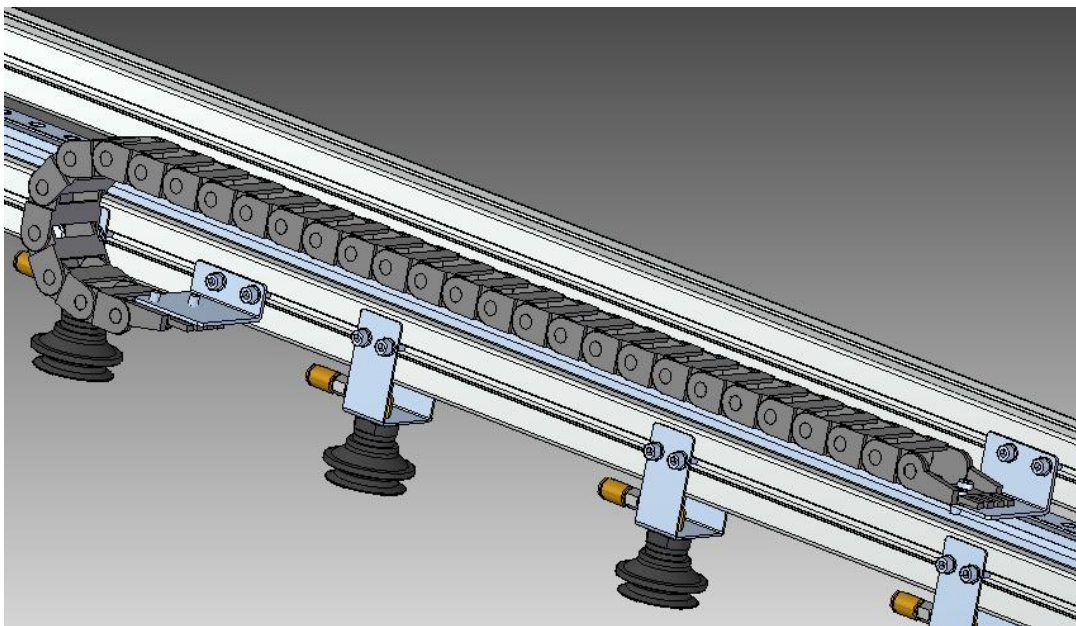
5.11.2 Energiansiirtoketjun valinta

Yhteistyössä SKS Mekaniikan edustajan Tuomas Pesson kanssa valitaan energiansiirtoketjuksi Igusen ketju tuote 1072369, osanumeroltaan 10.038.075 (Pesso 2011a; Pesso 2011b). Ketjulle tulee pituutta 0,86 metriä. Kyseisen energiansiirtoketjun sisätila jaetaan kolmeen osaan, jotta ketjussa kulkevat paineilmaletkut eivät kietoudu toistensa ympäri. Tilanjakamiseen käytetään tilanjakajia 999815, osanumeroltaan 111. Kaapelit sijoittuvat ketjun sisälle kuvan 30 mukaisesti. (Series 10 [Viitattu 11.11.2011].)



Kuvio 30. Paineilmaletkut (1-6) ja sähköjohto (7) energiansiirtoketjussa. Kolme väljakajaa (111). (Pesso 2011b)

Energiansiirtoketjun päätyihin tulee osanumeron 1038-12PZ päätysarjat (Series 10 [Viitattu 11.11.2011]). Energiansiirtoketjun kiinnityksen suunnittelussa tulee muistaa, että ketjun taivutussäde on 75 mm. Kuvassa 31 on energiansiirtoketju kiinnikkeineen paikoillaan profiililla.



Kuvio 31. Energiansiirtoketju kiinnikkeineen.

6 Levyn sijainti tarttujassa

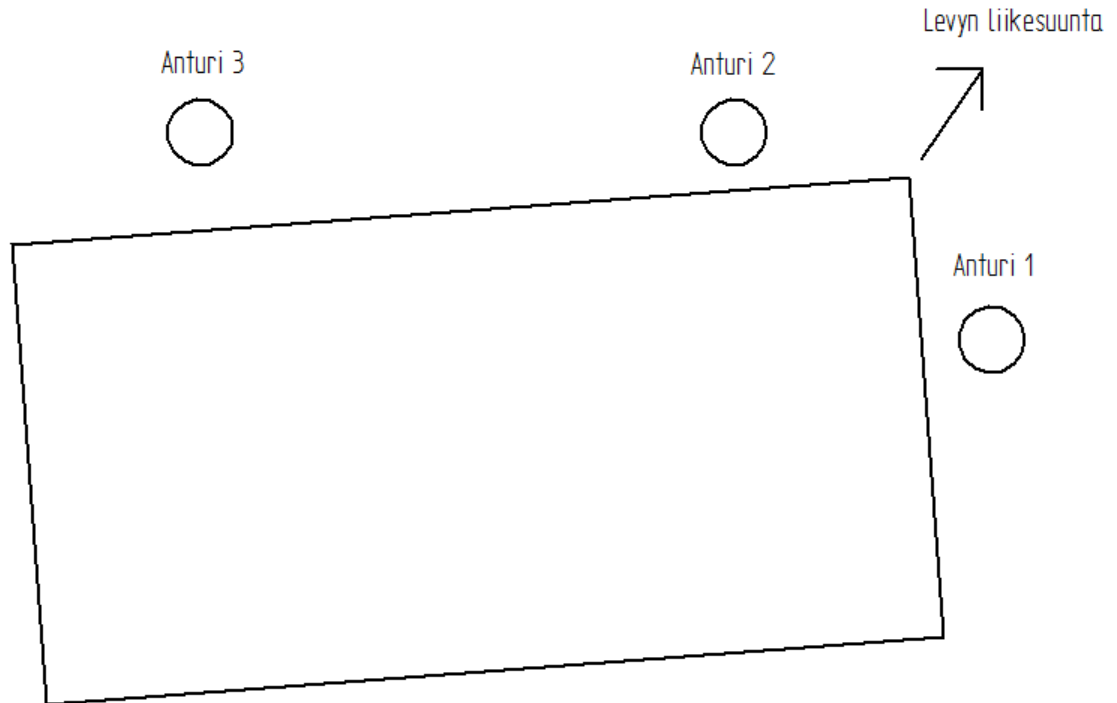
6.1 Paikoituksen peruste

Levyt saapuvat valimolta määrämittäisinä arkkeina tavaralavoilla. Nämä lavat tuodaan trukilla tai pumppukärryillä lattialle tai erillisille pöydille robotin lähelle, ja paikoitetaan yleensä kiinteitä esteitä vasten. Mikäli käytössä on erotusmagneetteja, lavalla olevat levyt paikoitetaan niitä vasten. Robotti poimii tästä pinosta aina päällimmäisen levyn. Ongelmaksi muodostuu se, että levyjen paikka ei ole sama joka kerta. Vaikka lava paikoitettaisiin joka kerta täsmälleen samaan paikkaan, levyjen paikat lavalla vaihtelevat hieman. Heittoa levyjen sijainnissa voi tulla useita senttimetrejä. Koska levyt tulee kuitenkin joka kerta paikoittaa samalle paikalle levytyökeskuksella, pitää levyn sijainti robotin tarttujalla määritellä tarkasti. Voidaan joko mitata levyn sijainti tarttujassa, tai levy voidaan viedä erilliselle referenssipöydälle, jossa se fyysisesti paikoitetaan mekaanisia rajoja vasten. Kun levyn sijainti tämän jälkeen tunnetaan varmasti, se voidaan aina kuljettaa samassa asennossa levytyökeskukselle.

6.2 Levyn paikan mittaus tarttujassa

FMS Service Oy:n aikaisemmassa projektissa käytettiin menetelmää, jossa robotti nostettuaan levyn lavalta kävi mittaamassa levyn sijainnin tarttujalla. Mittausta varten levyn nostopaikan ympärille oli asetettu kuvan 32 mukaisesti kolme anturia, joille robotti vei levyn nostettuaan sen. Kun anturit tunnistivat levyn reunan, robotti asetti antureiden tunnistuskohdat muistiin ja pystyi näitä pisteitä käyttäen laskemaan levyn asemoinnin tarttujassa. Sitten robotti liikutti tarttujaa siten, että itse levy saapui aina samassa asennossa ja samaan paikkaan prosessissa. Vaatimuksena tälle menetelmälle on, että levyjen nostopaikan lähellä on kolme anturia tarpeeksi erillään toisistaan. Jotta menetelmä olisi tarkka, tulee anturit kytkeä robotilla nopeisiin interrupt-tuloihin, joita luetaan tiheämmin kuin normaaleja tuloja. Muuten on vaarana, että robotin tarttujan liikkuessa useita metrejä sekunnissa, voi robotti liikkua useita senttimetrejä anturin reunan ohitse, ennen kuin robotti huomaa antu-

rin aktivoituneen. Anturityyppinä tulee käyttää kosketuksetonta lähestymisanturia, esimerkiksi optista tai laseranturia.



Kuvio 32. Levyn aseman mittaus tarttujassa kolmella anturilla

6.3 Levyn fyysinen paikoitus

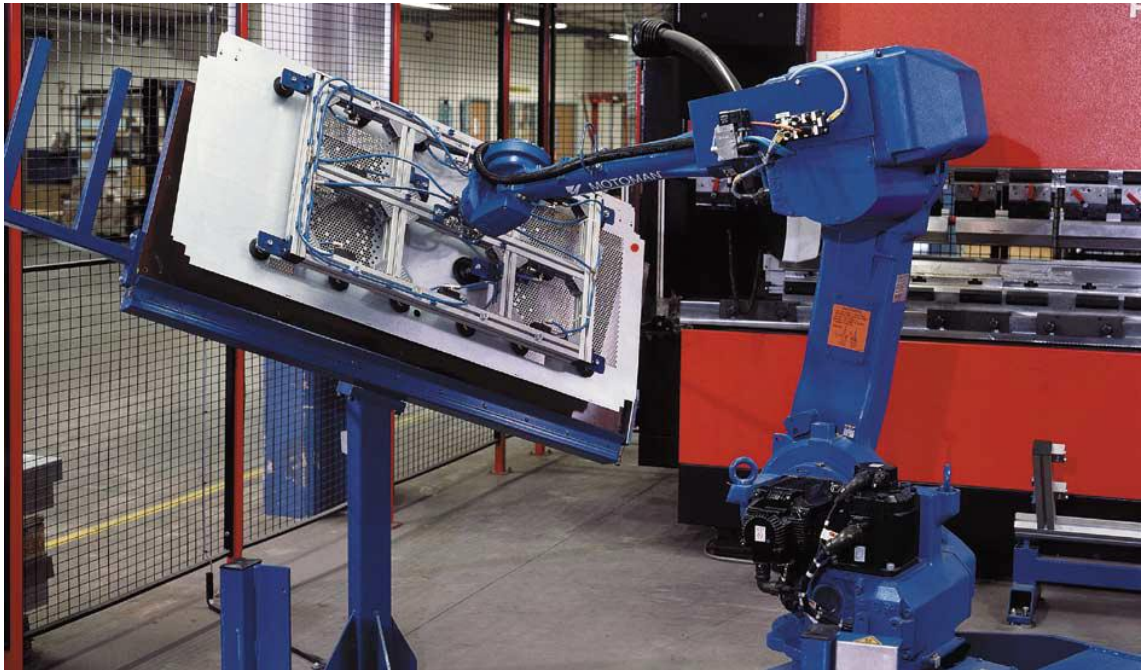
Yleisesti käytetty tapa levyjen keskittämiseen on käyttää erillistä orientaatiopöytää. Orientaatiopöytä on kallellaan siten, että sille asetettu levy liikuu pöydän kulmaa vasten, joka kerta samaan paikkaan. Usein orientaatiopöydällä on rullia tai pyöriä, jotka helpottavat levyn liukumista ja estävät levyn naarmuuntumisen.

Levy nostetaan raaka-ainevarastosta ja viedään orientaatiopöydälle, jossa robotti irrottaa otteensa levystä. Levy liikuu pöydän kulmaan, jolloin robotti ottaa levystä uuden otteen. Orientaatiopöydän yhteyteen on luvun 7.1.3 mukaisesti mahdollista integroida levyn paksuuden mitta-anturi, jolla saadaan tarkistettua että levyjä on tarraimessa vain yksi kappale.

Orientaatiopöydän käyttö ei juuri kasvata robotin kiertoaikaa, sillä robotti voi nousta uuden levyn orientaatiopöydälle heti sen jälkeen kun vanha levy on viety orien-

taatiopöydältä levytyökeskukselle. Tässä vaiheessa kestää joka tapauksessa jonkin aikaa, ennen kuin levytyökeskus saa ensimmäisen kappaleen valmiiksi.

Orientaatiopöydän huonona puolena voidaan pitää sen vaatimaa lattiatilaa. Mikäli tilasta on pulaa, tulee levyn paikoitus suorittaa mittaamalla. Mikäli tilaa on tarpeeksi, on orientaatiopöytä varmempi. Toisaalta levyn paikan sijainnin selvittäminen anturoinnilla voi olla edullisempi vaihtoehto.



Kuvio 33 Motoman orientaatiopöytä. (Robotised press-brake operation, [viitattu 14.9.2011])

7 Levyn paksuuden mittaus

7.1 Levyn paksuuden mittauksen vaihtoehtoja

Koska halutaan olla varma siitä, että kaksoislevyä ei pääse levytyökeskukselle asti, tulee levyn paksuuden mittaus ottaa käyttöön. Mikäli mittauksessa huomataan, että levyjä on tarttujassa enemmän kuin yksi, voidaan suorittaa jokin luvussa 3.2.2 mainituista toimenpiteistä, jotka estävät kaksoislevyn päätyksen levytyökeskukselle.

Levyn paksuuden mittaamiseen ja kaksoislevyn tunnistamiseen on useita eri vaihtoehtoja. Näille kaikille on yhteistä, että järjestelmälle pitää etukäteen kertoa oletettu levyn paksuus, johon järjestelmä vertaa saamaansa mittaustulosta. Seuraavissa kappaleissa on esitelty eri tapoja levyn paksuuden mittaukseen.

7.1.1 Mittapää ja kiinteä taso

Mittaus voidaan suorittaa mekaanisesti tuomalla fyysinen mittapää kiinni levyyn samalla kun levy lepää kiinteän tason päällä. Mittapäässä olisi kiinni lineaarianturi, esimerkiksi lineaaripotentiometri tai pulssianturi. Tämä anturi antaisi logiikalle etäisyyden levyn pinnasta alla olevaan tukipintaan, jolloin logiikka voi päätellä onko levy oikean paksuinen. Ongelmana tätä menetelmää käytettäessä on, että levyä ei voida yksiselitteisesti laskea kiinteälle pinnalle lepäämään ilman että tiedetään levyn paksuus. Otetaan esimerkki:

Robotille on opetettu että levy on 3 mm paksu. Tarttujassa on ollut 3 mm levy kiinni, jolloin tarttuja on taipunut muotoonsa ja tämän jälkeen liikeradan pisteet on opetettu. Mikäli tulee tilanne, että tarttujassa onkin kaksi levyä päällekkäin, levyjen yhteen laskettu paksuus on 6 mm. Tarttuja taipuu nyt enemmän kuin 3 mm levyä nostettaessa. Lisäksi levyjen alapinta on 3 mm alempana kuin normaalisti. Mikäli nämä levyt paikoitetaan kiinteälle tasolle, taipuu robotin tarttuja, koska levy

koskettaa tasoon 3 mm liian aikaisin ja tarttuja on valmiiksi taipunut alaspäin. Tarttujaan saattaa tulla pysyvä muodonmuutos.

Näin ollen ei ole hyvä idea laskea levy kiinteää pintaa vasten mittausta varten.

Tämä ongelma voidaan kiertää käyttämällä anturirakennetta, jossa sekä kiinteä taso että paksuuden mitta-anturi on kiinni robotin tarttujassa. Kuvassa 34 on Trumpf Sheetmasterin paksuusmittari, joka käyttää käännettyä fyysistä mittapäätä ja kiinteää tasoa. Fyysinen mittapää on liikkuva sormi, joka kiertyy nostetun levyn alle. Kiertyvä sormi painaa levyä kiinteää vastetta vasten, ja kiertyvän sormen asennosta saadaan selville levyn paksuus. (Sheetmaster 2011.)



Kuvio 34. Trumpf Sheetmasterin levyn paksuuden mitta-anturi (Sheetmaster 2011.)

7.1.2 Kaksi anturia levyn molemmin puolin

Toinen vaihtoehto levyn paksuuden mittaukseen on tuoda levy kahden analogisen anturin väliin, esimerkiksi kahden analogisen ultraääni-, kapasitiivi- tai laseranturin väliin. Kun näiden kahden anturin välinen etäisyys pysyy vakiona, voidaan näiden kahden analogisen anturin signaalien erotuksesta laskea levyn paksuus. Yksi anturi ei tässä tilanteessa riitä, koska robotin tarttuja taipuu hieman eri mittoihin, riippuen montako levyä tarttujassa on kiinni tai miten paksuja levyt ovat, jolloin levyn ja anturin etäisyys muuttuu. Lisäksi tarttujan muoto tulee muuttumaan hieman useaan otteeseen laitteen elinkaaren aikana.

Anturien ja levyn väliin tulee jättää runsaasti ilmarakoa, jotta robotin tarttuja ei vahingossakaan osuisi antureihin. Kun muistetaan että tarttujan päädyt taipuvat 3 cm alaspäin nostaessaan levyä, voidaan antureiden välissä olevan ilmaraon miniminä pitää kaksi kertaa tuo mitta, eli 6 cm, mielellään enemmänkin. Kapasitiivisen anturin mitta-alue saattaa jäädä lyhyeksi tässä tilanteessa. Ainoastaan ultraääni- tai laseranturi kykenee mittaukseen näin pitkiltä etäisyyksiltä. Kuvassa 35 on kaksi Omronin laseretäisyysanturia, joiden yhteistoiminnalla voidaan laskea antureiden välissä olevan levyn paksuus. Kuvan laseryksiköiden vahvistimien välissä oleva komponentti on laskentayksikkö, joka osaa kertoa järjestelmälle levyjen paksuuden yhtenä analogisena arvona.



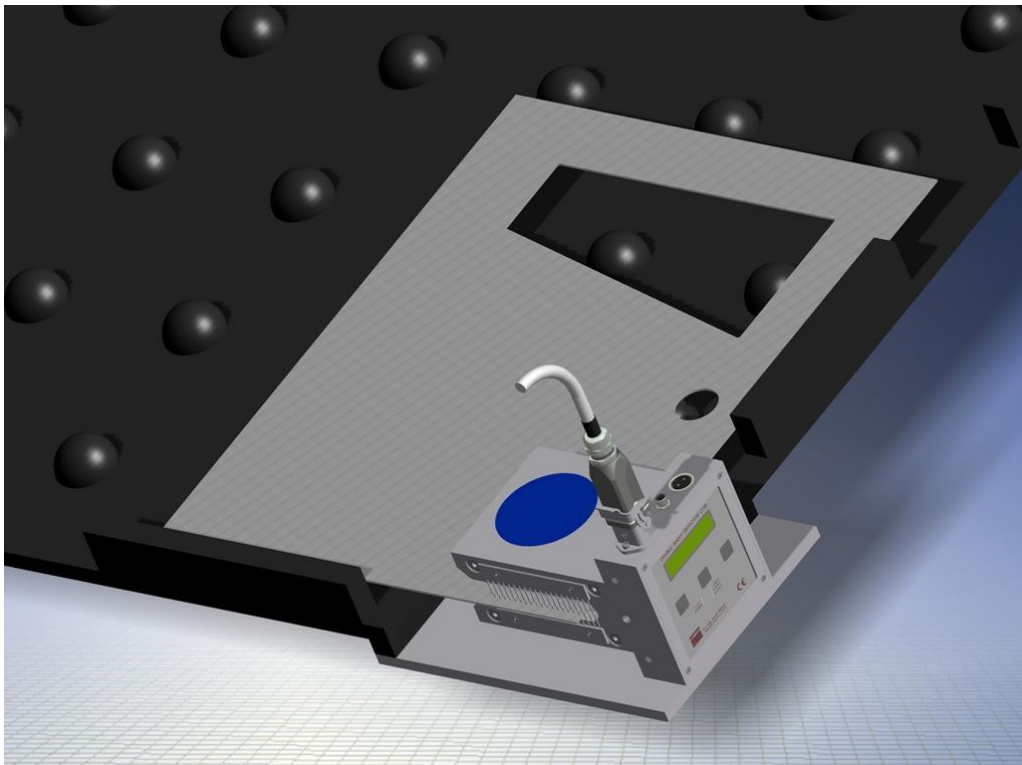
Kuvio 35. Omron ZX -laseranturit toiminnassa (ZX-LASERANTURIT tarkkaan mittaukseen, [Viitattu 15.9.2011])

Aiemmat laseretäisyysmittarit ovat olleen huomattavan kalliita, mutta vuoden 2011 aikana Omron on tuonut markkinoille uuden sukupolven laseretäisyysmittarin, XZ2, jonka hinta on alle puolet vanhemman XZ-anturin hinnasta. Teknisiltä ominaisuuksiltaan XZ2 on jopa parempi kuin vanhempi XZ. (Uusi ZX2 lasermittausanturi 2011; Liinamaa 2011.) Koska tämän uuden sukupolven laseranturit ovat niin edullisia, soveltuvat ne hyvin käytettäväksi levyn mittauksessa. Käytettäessä laseretäisyysmittaria voidaan antureiden välinen etäisyys pitää pitkänä, jolloin anturien asennus helpottuu. Ne voidaan asentaa hyvin etäälle toisistaan, jolloin tarraimelle jää runsaasti tilaa. Anturit tulisivat aivan raaka-ainelevypinon viereen, jolloin robotti voi noston jälkeen käydä nopeasti pienellä sivuttaisella liikkeellä mittaamassa levyn paksuuden.

7.1.3 Mittaus orientaatiopöydällä

Levyn paksuuden mittauksen ei välttämättä tarvitse olla robotin tarttujassa kiinni, vaan se voi olla integroituna esimerkiksi levyn orientaatiopöytäan. Tällöin anturien väliin ei tarvitse jättää suurta rakoja, sillä levy voidaan laskea orientaatiopöydälle josta se liukuu anturien väliin. Vaihtoehtoisesti levy voidaan ensin laskea orientaatiopöydälle ja odottaa että se paikottuu pöydän kulmia vasten, jonka jälkeen paksuuden mittausanturit voivat liikkua mittausasentoon yksinkertaisella paineilmasylinterin liikkeellä.

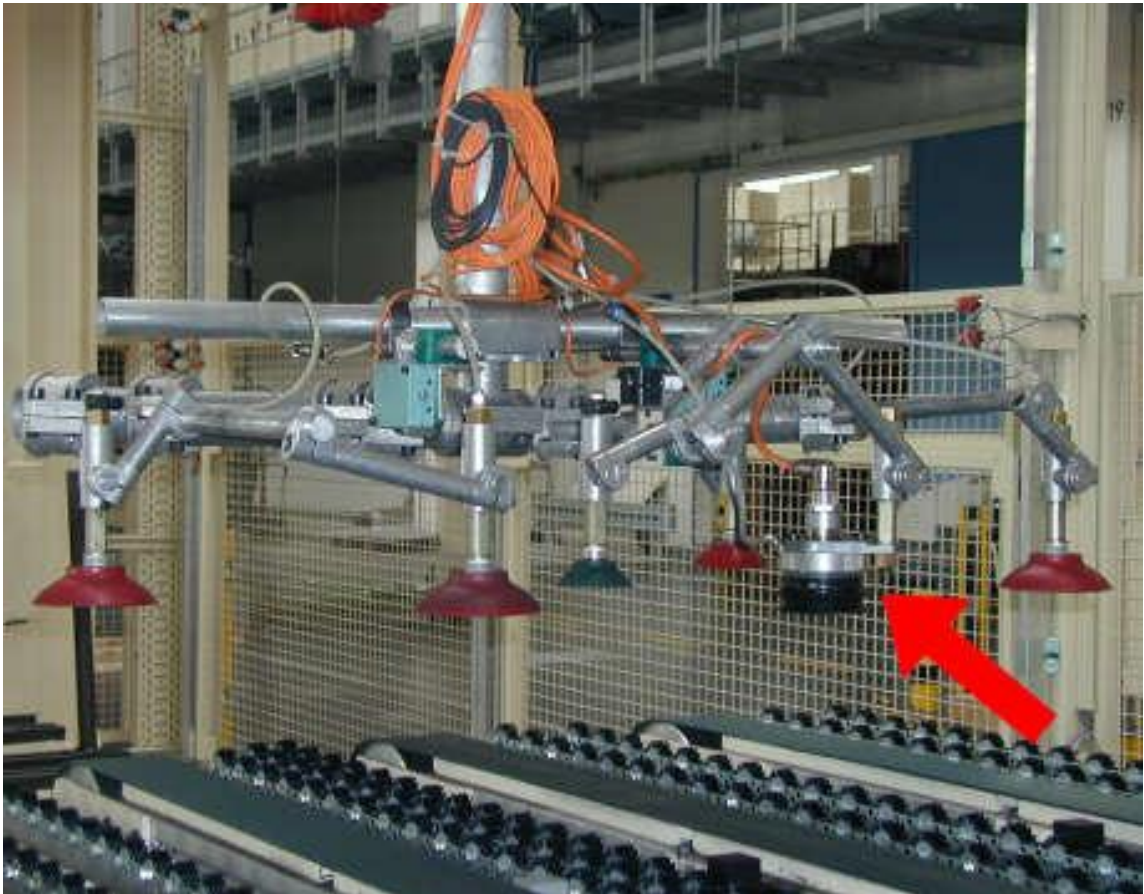
Kun antureiden välinen etäisyys ei ole niin suuri, voidaan antureina käyttää myös induktiivisia ja kapasitiivisia antureita, jolloin rakenteesta tulee hieman halvempi. Myös valmiita paksuuden mittaukseen orientaatiopöydällä soveltuvia tuotteita löytyy, kuvassa 36 on Ronald Electronicin C100 paksuuden mittausanturi kahdella mittapäällä integroituna orientaatiopöydälle. Kun levyn paksuus mitataan vasta orientaatiopöydällä, on vaarana että nostettaessa kaksi levyä toinen voi pudota ennen kuin levy lasketaan pöydälle. Putoavat levyt voivat tehdä tuhoa ympäristöönsä, joten tämä mahdollisuus on otettava huomioon kun valitaan sopivaa tapaa mitata levyn paksuus.



Kuvio 36. Ronald Electronic C100 paksuuden mittausanturi orientaatiopöydällä (Capacitive Double Sheet Control C100, 2010.)

7.1.4 Mittaus yhdellä anturilla

Markkinoilla on myös olemassa erikoisantureita, jotka kykenevät mittaamaan levyn paksuuden yhdeltä puolelta levyä. Yhteen anturiin perustuva paksuuden mittaus voidaan kiinnittää suoraan robotin tarttujaan, jolloin levyn paksuuden tunnistamisesta tulee yksinkertaista. Anturien hintaa ei tähän työhön ole selvitetty, mutta voidaan olettaa että ne eivät ole halpoja. Kuvassa 37 on Roland Electronicin yksiosainen levyn paksuuden mittausanturi asennettuna tarttujaan ja kuvassa 38 on mittausanturin lähikuva.



Kuvio 37. Roland Electronic UDK20 toiminnassa (Destacker, [Viitattu 16.9.2011])



Kuvio 38. Roland Electronic UDK20, yksiosainen levyn paksuuden mitta-anturi (UDK20, [Viitattu 15.9.2011])

Tämän anturin lisäksi Roland Electronic valmistaa myös kuvassa 39 näkyvää A100-anturia, joka tunnistaa ferriittisen materiaalin paksuuden välillä 0.04...4 mm (A100, [Viitattu 21.11.2011]). Mikäli käytetään vain ferriittisiä materiaaleja, on A100 edullinen vaihtoehto. Anturi tunnistaa kuitenkin vain neljän millimetrin alueelta, joten tämä ratkaisu ei sovellu kaikkein paksuimmille levyille.



Kuvio 39. A100. (A100, [Viitattu 21.11.2011])

8 Mallinnus

8.1 Solid Edge ST2

Robotin tarttujan suunnittelussa käytettiin Siemensin Solid Edge ST2 -ohjelmaa. Ohjelmasta on olemassa ilmainen Solid Edge Viewer, jolla tarttujan kokoonpano ja yksittäiset osatiedostot saadaan avattua. Lisäksi Solid Edgeä on mahdollista kokeilla ilmaiseksi 45 päivän ajan. Ohjelma sisältää harjoituksia, joiden avulla ohjelman käyttö tulee tutuksi. Opiskelijat saavat käyttöönsä Solid Edgen opiskelijalicenssin ilmaiseksi. (Solid Edge 2011.)

Solid Edgen virallinen kotisivu on osoitteessa

http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/index.shtml

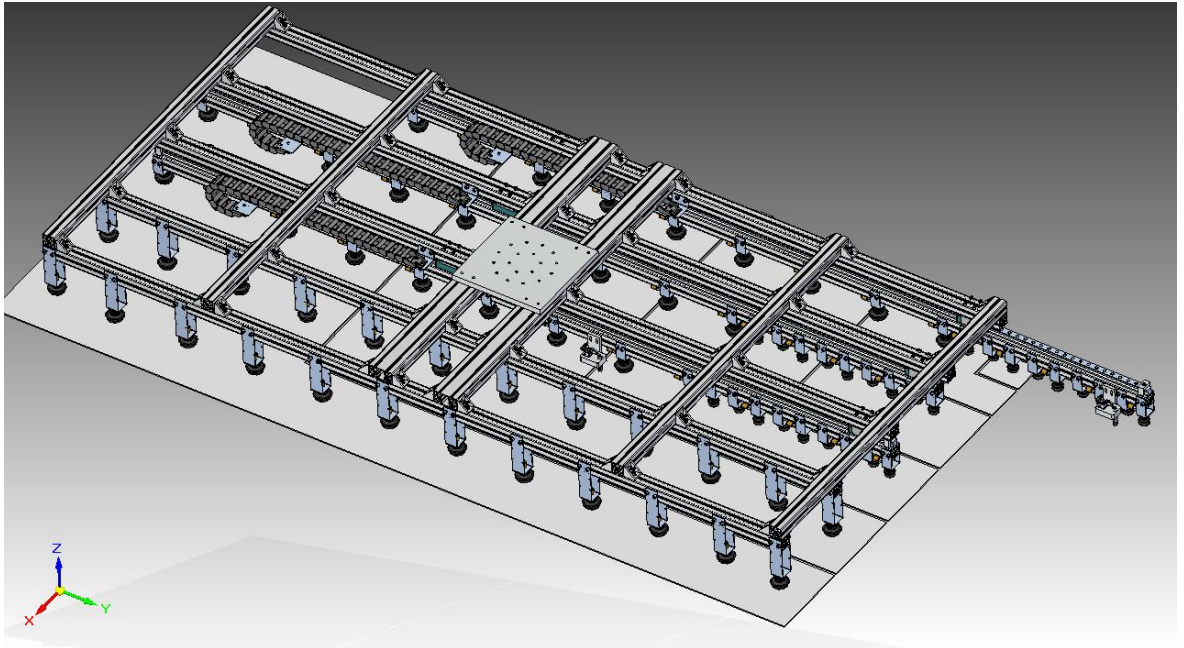
Tarttujan 3D-malli luovutetaan sellaisenaan FMS-Service Oy:lle. Lisäksi kaikki valmistettavat osat tallennetaan useaan eri 3D-tiedostomuotoon, jotta osat saadaan auki myös muilla 3D-mallinnusohjelmistoilla.

8.2 Tarttujan mallinnus

Tarttujan mallinnus alkoi ruutupaperille piirretyistä periaatekuvista. Tässä vaiheessa punnittiin eri runkorakenteita sekä vaihtoehtoja valmiin kappaleen poimintaan levytyökeskuksen raosta. Lopulta päädyttiin kuvassa 9 olevaan rakenteeseen ja kuvassa 11 olevaan poimintaan lineaariliikkeellä. Tämän jälkeen mallinnus on edennyt luvussa 5.5 olevan laskennan viitoittamalla tiellä. Kun jokin komponentti valittiin käytettäväksi, sen 3D-malli noudettiin valmistajan kotisivuilta ja lisättiin malliin. Mallinnus jatkui näiden komponenttien ympärille.

Ensin mallinnettiin yksi kurottuva profiili kokonaan, tämän jälkeen profiili kopioitiin kahteen otteeseen. Kiinteät profiilit olivat seuraavina. Lopulta tarttujan ensimmäinen versio oli valmis ja kuvan 40 mukainen. Tarttuja oli rakenteellisesti valmis. Tarttujaa voitiin kuitenkin vielä hieman parannella, seuraavissa kappaleissa käy-

dään läpi eri parannuksia joita tarttujalle tehtiin. Loput parannukset jäävät tarttujan valmistajan harkinnan varaan.

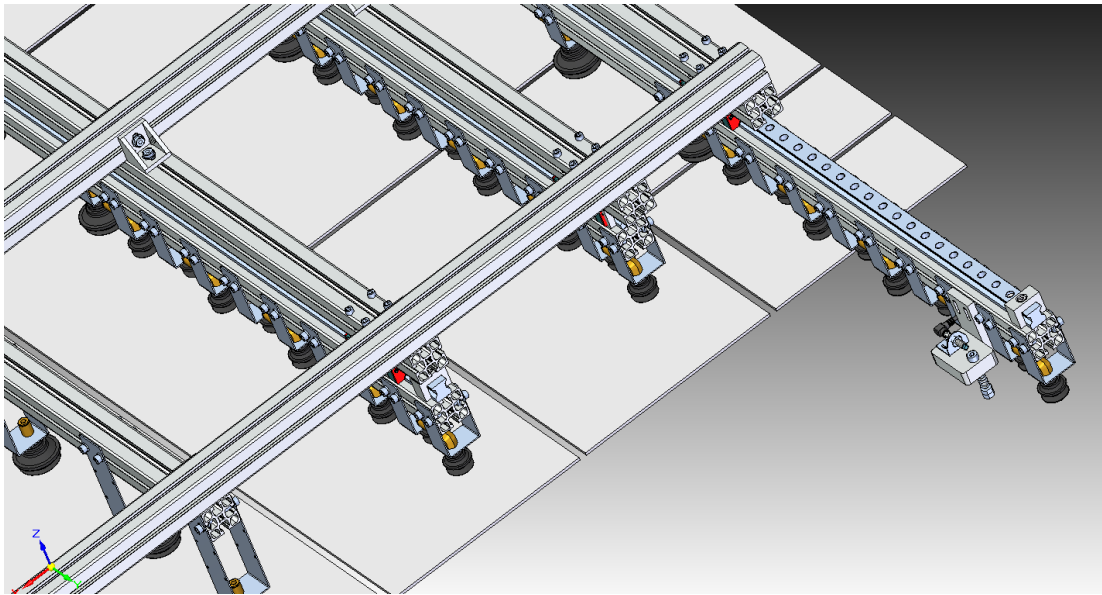


Kuvio 40. Melkein valmis tarttuja

8.2.1 Kapeiden kappaleiden noston parantaminen

Suurin ongelma tarraimessa oli sen rajallinen kyky nostaa keskikokoisia, eli noin 30 cm leveitä kappaleita yhdellä puomilla. Kurottajien välinen etäisyys oli juuri 30 cm, joten edellä mainitut ja sitä pienemmät kappaleet jouduttiin nostamaan yhdellä kurottajalla.

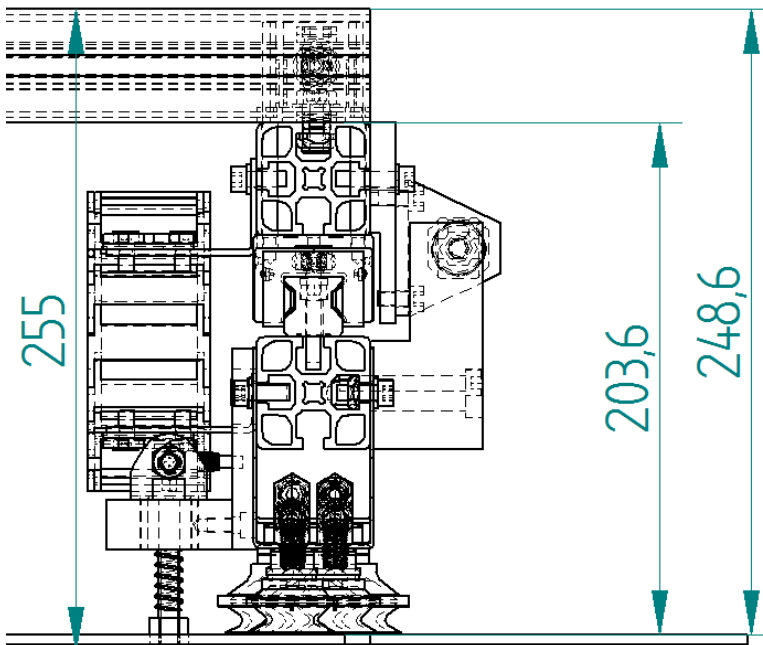
Ratkaisu tähän oli lähentää kahta reunimmaista kurottajaa. Kun näitä kurottajia siirrettiin 10 cm lähemmäs toisiaan, keskikokoisten kappaleiden nostaminen helpottui, kun niistä saatiin kiinni kahdella kurottajalla. Lisäksi tarttujan kokonaispaino putosi hieman kun poikkiprofiilit lyhenevät. Toisaalta kun tarttujan leveys pieneni 1300 mm:stä 1200 mm:iin, raaka-ainelevystä jäi roikkumaan 5 cm enemmän ilman tukea suuntaansa. Muutoksen jälkeen tarttujasta tuli kuvan 41 mukainen. Kaksi reunimmaista tarttujaa ovat huomattavasti lähempänä toisiaan, jolloin keskikokoisten kappaleiden poiminta on helpottunut.



Kuvio 41. Tarttuja muutoksen jälkeen

8.2.2 Tarttujan madaltaminen

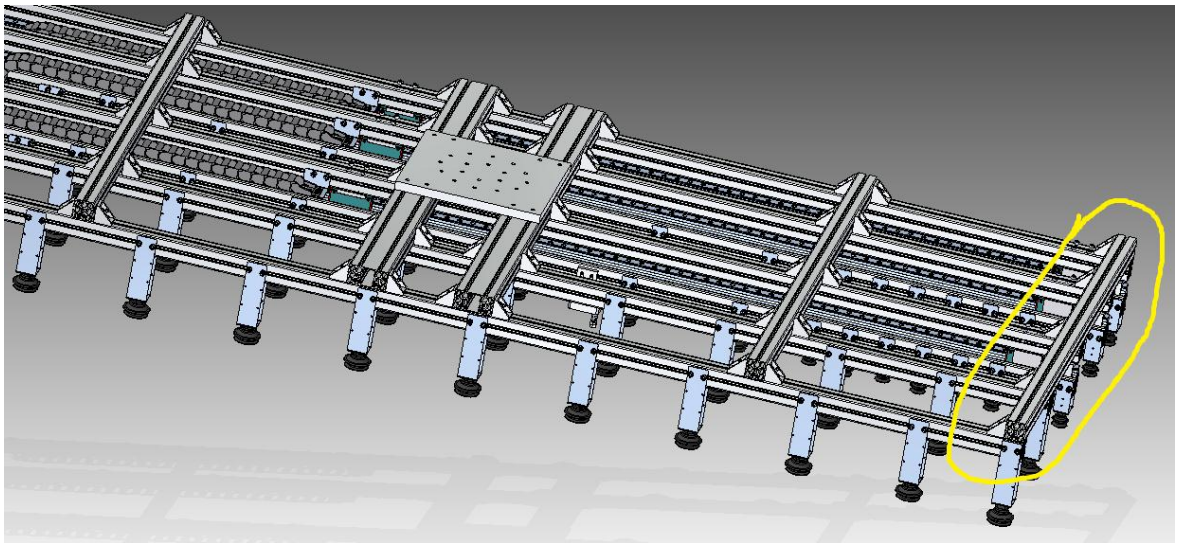
Tarttujan tulee mahtua 290 mm:n korkuiseen koloon, kun raaka-ainelevyä viedään levytyökeskukselle. Kuvassa 42 on tarttujan ensimmäisen version profiili päädyistä katsottuna.



Kuvio 42. Tarttujan korkeus

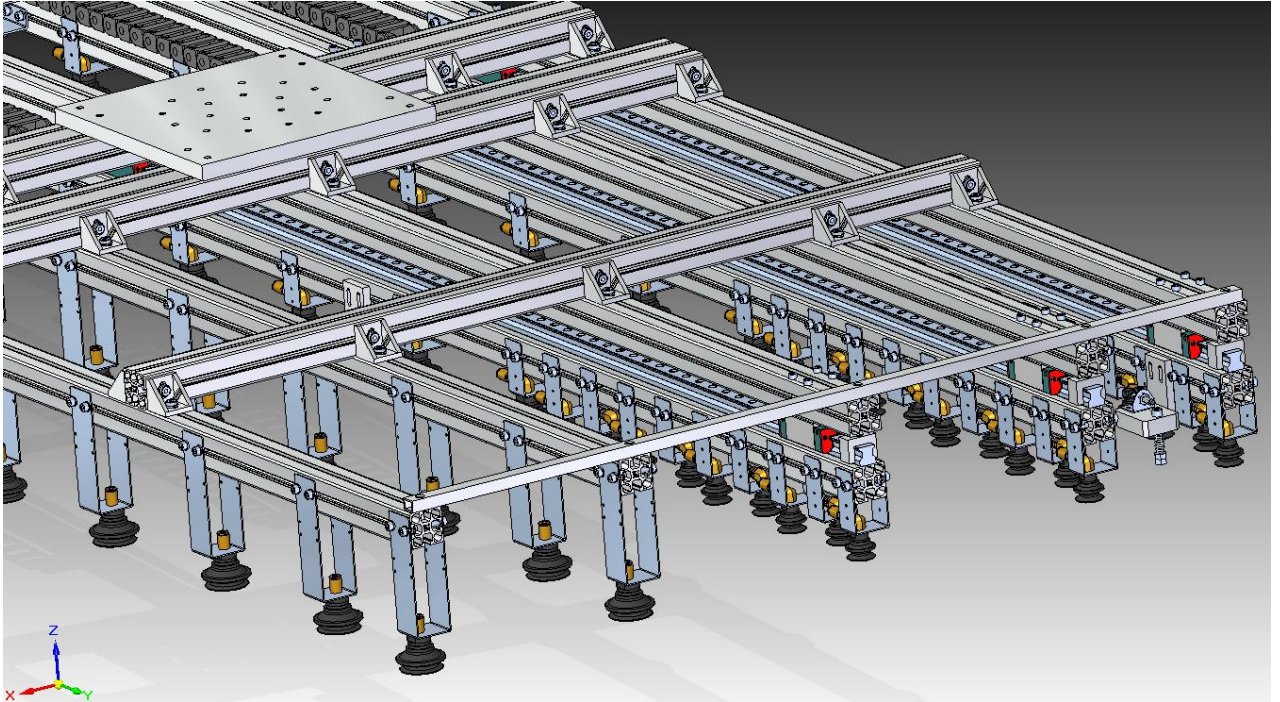
Kun mitataan aivan tarttujan päältä anturoinnin alapintaan, tarttujan korkeus on 255 mm. Tähän lisätään levyn maksimipaksuus, eli kappaleen 3.1 mukainen 5,5 mm. Yhteensä tarttuja siis olisi 260,5 mm korkea. Vaikka tarttuja paperilla mahtuu-kin levytyökeskuksen 290 mm matalaan rakoon, todellisuudessa tarttujaa pitää saada hieman matalammaksi. Tällöin saadaan lisää liikkumatilaa robotille ja voidaan kompensoida tarttujan taipumista paremmin. Tilaa tarttujan yläpinnan ja levytyökeskuksen rungon alapinnan väliin pitää jäädä vähintään kappaleessa 5.5.2 lasketun taipumisen verran, 3 cm, sekä kaksi kertaa levyn maksimipaksuuden verran, 1,1 cm. Yhteensä siis rakoa robotin tarttujan ja levytyökeskuksen rungon välissä tulee olla vähintään 5 cm. Tarttujan ei tarvitse olla koko matkaltaan matalampi, ainoastaan siitä päädyssä joka menee levytyökeskukselle.

Ratkaisuna on poistaa, siirtää tai korvata tarttujan päädyssä oleva poikittainen tukipalkki, joka näkyy ympyröitynä kuvassa 43. Palkin tarkoitus on tehdä tarttujan rakenteesta jäykempi ja pitää tarttujan eri profiilien päädyt samalla korkeudella.



Kuvio 43. Tukipalkki, joka voidaan poistaa tai muokata, jotta tarttujasta saadaan matalampi

Kyseinen päädyssä oleva palkki voidaan korvata matalammalla profiililla tai yksinkertaisella alumiinisella lattatangolla. Tällöin saadaan rakennetta madallettua, mutta osa jäykkyydestä saadaan silti säilytettyä ja tarttujan profiilit pysyvät samalla korkeudella. Ehkä paras ratkaisu on korvata kyseinen profiili alumiinisella neliöputkella, jolla saadaan suurempi jäykkyys kuin käytettäessä vastaavan painoista lattaprofiilia. Käytetään 20 x 15 x 2 mm alumiinista suorakaideprofiilia tai vastaavaa.



Kuvio 44. Tarttuja, jossa päätypalkki korvattu suorakaideprofiililla

Kuvassa 44 on tarttuja, josta päätypalkki on korvattu suorakaideprofiililla. Mikäli osoittautuu, että yksi suorakaidepalkki ei tee tarttujan rakenteesta tarpeeksi jäykkää, voidaan suorakaideprofiileja asentaa useampi rinnakkain.

Tarttujan pitäisi toimia hyvin myös kokonaan ilman kyseistä palkkia, mikäli tarttujan päädyistä halutaan vielä matalampi. Kumpaa tahansa toimenpidettä käytetäänkään, mahtuu tarttuja paremmin levytyökeskuksen sisälle ja törmäysriski pienenee. Myös tarttujan paino putoaa hieman.

Radikaali ratkaisu tarttujan madaltamiseen on liikkuvan profiilin poistaminen kokonaan. Kaikki toimilaitteet kiinnitettäisiin suoraan lineaarikiskoon. Tällöin tulisi laskea lineaarikiskon taipuminen, paljonko kisko taipuu kappaleessa 5.5.2 kuvatussa tilanteessa. Lisäksi kaikki imukuppien pitimet ja kaikki muutkin osat, jotka nyt on kiinnitetty liikkuvaan profiiliin, tulisi miettiä uudelleen. Tätä ratkaisua voidaan harkita, mikäli tarvitaan matalampaa tarttujaa kuin mihin muuten pystyttäisiin.

8.3 Solid Edge -animaatio

Lopuksi Solid Edgen työkaluilla tarttujaan tehtiin pieni animaatio, joka esittelee tarttujan lineaariliikkeitä. Animaatiossa kukin lineaariliike työntyy vuorollaan esiin, jonka jälkeen lineaariliikkeet palaavat yhtä aikaa takaisin taka-asentoonsa. Tämä animaatio löytyy Youtubesta, osoitteesta <http://youtu.be/-8fEyOd8rTM>

8.4 Robotin simulaatio

Halvin tapa testata tarttujaa on simuloida sen toimintaympäristöä. Tällöin vältetään kalliilta yllätyksiltä, mikäli tarttuja ei sovellukaan kohteeseensa. Simuloimalla saadaan myös selville robotin sijainti suhteessa levytyökeskukseen. Mikäli robotti kiinnitetään lattiaan ilman tarkkaa tietoa sen paikasta, on vaarana että robotti ei taivu-kaan jokaiseen tarvittavaan asentoon. Robottia on huomattavasti helpompaa siirtää simulaatiossa kuin tehtaan lattialla. Varsinkin kun robotin tulee olla lattiaan pultattu, ennen kuin sillä voidaan ajaa ja tarkistaa sen ulottuvuus.

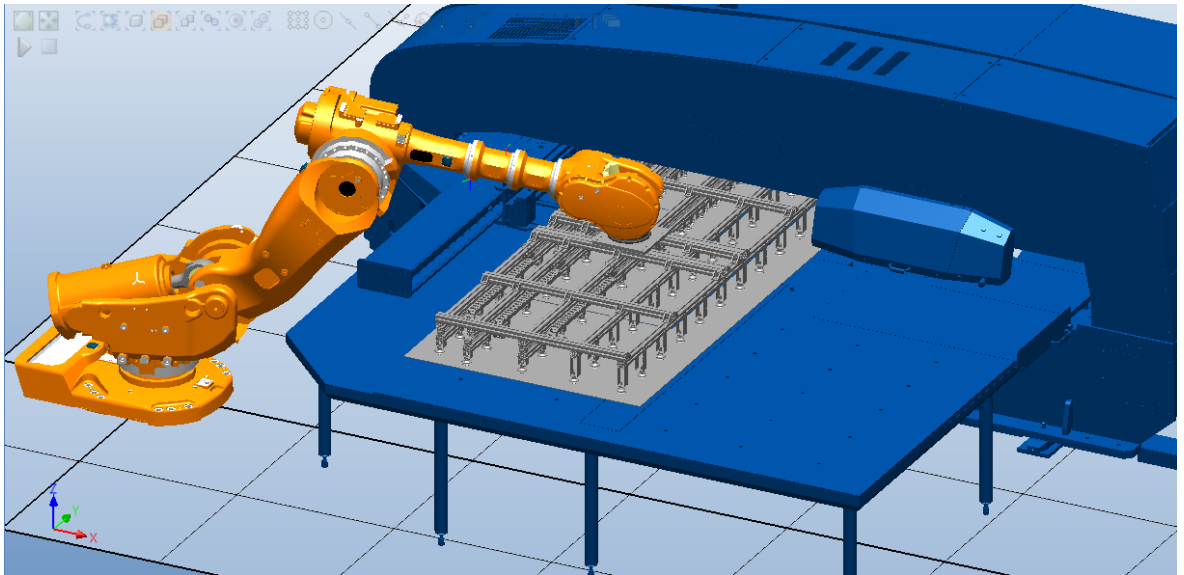
8.4.1 ABB robostudio 5.13

Jotta voidaan tarkistaa tarttujan toiminta, käytetään ABB robostudio -ohjelmaa. Ohjelman voi kopioida ABB:n sivuilta, ABB.com > Tuotteet ja järjestelmät > Robotit > Ohjelmistotuotteet > RobotStudio. Samalta sivulta voi myös ladata ”Operating manual” ja ”RobotStudio 5.10 Documentation”. Näissä manuaaleissa on tarkempia ohjeita ohjelman käytöstä. (RobotStudio-ohjelmiston yleiskatsaus 2011.)

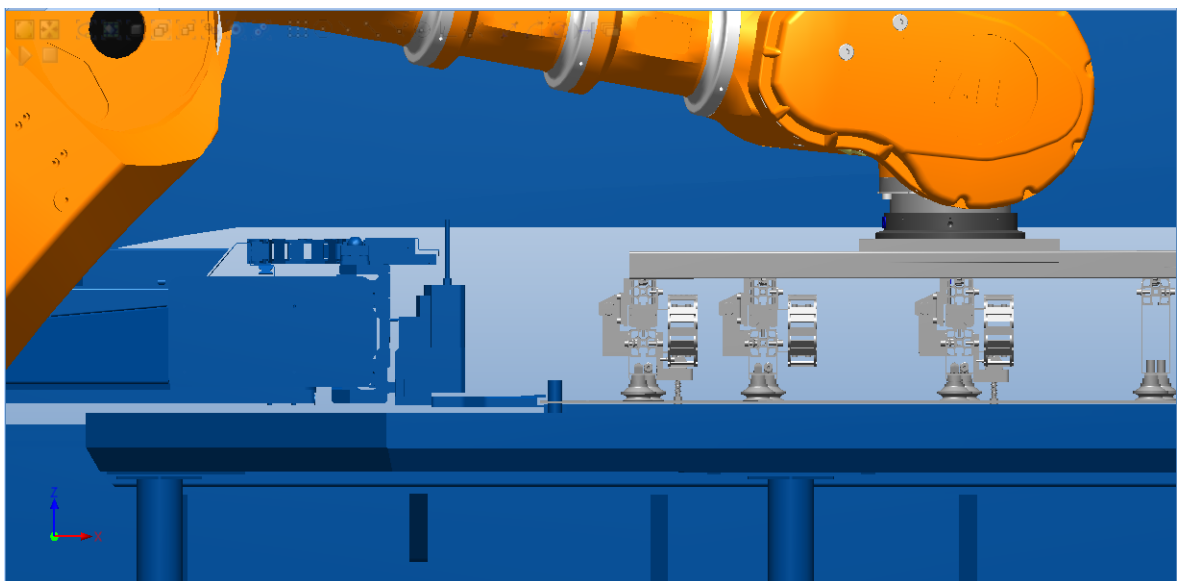
Ohjelmassa on 30 päivän kokeiluaika, jonka aikana ohjelma toimii kaikilla ominaisuuksilla. Tämän jälkeen ohjelma pitää joko rekisteröidä tai jatkaa käyttämistä rajoitetuilla ominaisuuksilla. (Downloads 2011.) Mikäli käytetään muuta kuin ABB-robottia, voidaan käyttää kyseisen robottivalmistajan vastaavaa simulaatio-ohjelmaa. Valitettavasti kuitenkin esimerkiksi KUKA.Sim Layout -ohjelmasta ei ole saatavilla ilmaista versiota. (KUKA.Sim Layout 2011.)

8.4.2 Simulaatio

Robostudiossa luodaan ensin projekti, jossa on sopiva ABB-robotti. Tässä tapauksessa lähinnä oikeaa kokoluokkaa oleva robotti on ABB IRB 7600-325, jonka kantavuus on 325 kg. Tämän jälkeen käytetään Import Geometry -komentoa, jolla tuodaan projektiin tarttujan 3D-malli. Tämä malli kiinnitetään robotin laippaan oikeaan asentoon. Lopuksi simulaatioon tuodaan halutun levytyökeskuksen 3D-malli. Robotti sovitetaan levytyökeskuksen lähelle siten, että robotilla päästään tuomaan raaka-ainelevy keskuksen kynsille. Robottia päästään ajamaan valitsemalla robotti ruudun vasemmassa laidassa olevasta listasta hiiren oikealla napilla ja klikkaamalla ”Mechanism Linear Jog”. Esiin tulevaan taulukkoon voidaan suoraan syöttää koordinaatit, johon robottia halutaan ohjata. Tämän jälkeen ajetaan robottia ja tarttujaa kaikkiin niihin pisteisiin, joihin niiden voidaan olettaa liikkuvan todellisessa käytössä. Tarkistetaan että robotin paikka on sopiva, eikä se törmää levytyökeskukseen tai muihin rakenteisiin missään vaiheessa. On syytä kiinnittää huomiota sekä tarttujaan että robotin runkoon, varmistaa että kumpikaan ei ole vaarassa törmätä. Tarvittaessa on mahdollista kohottaa robottia lattiasta ilmaan jalustalle, mikäli robotti ei muuten ylety levytyökeskusta palvelemaan. Kuvassa 45 on esimerkki robotin sijoittelusta lattialle levytyökeskuksen viereen. Robotti ylettyy tässä tapauksessa palvelemaan levytyökeskusta ongelmitta. Lähikuvassa 46 robotti paikoittaa levyä levytyökeskuksen kynsiin.



Kuvio 45. ABB IRB 7600-325 robotti levytyökeskuksen rinnalla ABB Robostudiossa. Levytyökeskus on Finn-Power E6x. (Koskenniemi 2011)



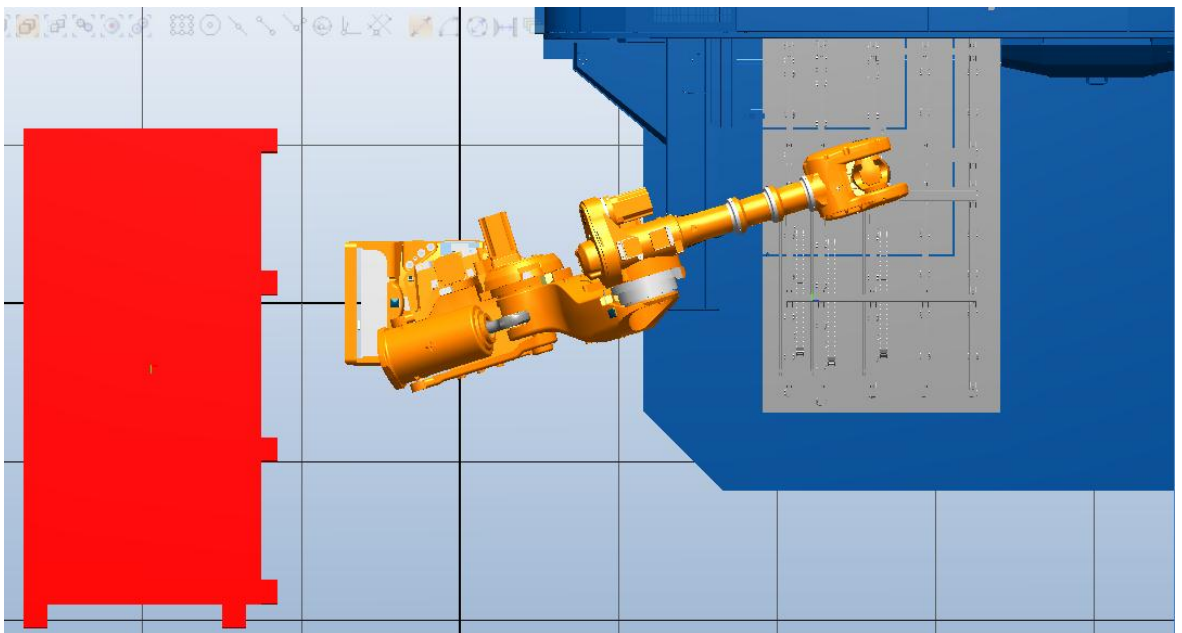
Kuvio 46. Lähikuva robotista paikoittamassa levyä levytyökeskuksen kynsiin.

Kun robotti on asemoitu paikoilleen, voidaan robotin ympärille asemoida raaka-ainevarasto ja valmiiden kappaleiden varasto. Raaka-ainevaraston paikkaa haettaessa tulee muistaa raaka-ainelevyjien ja robotin väliin tulevat luvussa 3.2.2 mainitut erotusmagneetit. Erotusmagneettien korkeuden määrittää raaka-ainelevypinon korkeus, tämä tulee asiakkaalta selvittää. Kun simulaatioon on tuotu sopivan korkuiset erotusmagneetit, tulee varmistaa että robotti kykenee poimaan raaka-ainelevypinon alimmatkin levyt törmäämättä erotusmagneetteihin. Valmiiden kappaleiden varasto tulee asettaa lähemmäksi levytyökeskusta kuin

raaka-ainevarasto, koska robotti tulee viemään valmiita kappaleita levytyökeskuksesta pois useammin kuin se tulee viemään raaka-ainelevyjä levytyökeskukselle.

Kun on todettu, että robotti mahtuu toimimaan kohteessa, voidaan simulaatiosta mitata robotin sijainti suhteessa levytyökeskukseen. Tarkistetaan vielä, että fyysisen levytyökeskuksen ympärillä todellisuudessa on niin paljon tilaa, kuin simulaation robotti ja sen oheislaitteet vaativat.

ABB Robostudion mittaustyökalut ovat kaukana kunnon 3D-mallinnusohjelman mittaustyökaluista, eikä tarkkojen mittausten teko ole kovin helppoa Robostudiossa. Mikäli mittauksia tehdessä ei muu auta, voidaan Robostudiolla mallintaa määrämittäisiä kappaleita ja niitä sovittamalla selvittää etäisyyksiä. Toisaalta koko simulaation grafiikka voidaan viedä ulkoiselle 3D-mallinnusohjelmalle, jossa mittaukset on helppo tehdä. Kuvassa 47 on robotti kuvattu ylhäältäpäin syöttämässä levytyökeskusta. Robotin toiselle puolelle on mallinnettu raaka-ainevarasto.



Kuvio 47. Robotti levytyökeskuksella kuvattuna ylhäältäpäin. Robotin vieressä on raaka-ainevarasto.

9 Tarttujan toteutus

Kun tässä työssä suunniteltu robotin tarrain tullaan rakentamaan, tulee huomioon ottaa lukuisia asioita, joita tässä työssä ei ole toistaiseksi käsitelty. Seuraavaksi mainitaan muutamia kohtia.

9.1 Turvallisuus

Robottijärjestelmän tulee olla turvallinen. Standardissa SFS-EN ISO 10218-1 (2011) käsitellään robottijärjestelmän turvallisuutta, tämä olisi ensimmäinen lähde jonka puoleen tulee kääntyä kun robottijärjestelmää tullaan toteuttamaan.

Robotista tulee tehdä riskianalyysi, kuten SFS-EN ISO 10218-1 -standardissa ohjeistetaan (SFS-EN ISO 10218-1 2011, 6). Erytystä huomiota tulee kiinnittää robotin aitaukseen. Pitää ottaa huomioon, että vikatilanteessa tarraimen alipainetartunta levystä saattaa häiriintyä ja levy voi irrotessaan singahtaa täyttä vauhtia kulkevan robotin kyydistä, aiheuttaen vaaraa ympäristölle. Robotin ympärille tulee siis rakentaa tarpeeksi vahva aitaus, jotta se pysäyttää 200 kg painavan teräslevyn.

Luvussa 4 mainitut Trumpf Sheetmaster ja Finn-Powerin lastaus- ja purkulaitteet on helpompi saattaa turvallisiksi, johtuen niiden rajatuista liikemahdollisuuksista. Toisin kuin teollisuusrobotilla, mahdollisesti irtoava levy voi singota ainoastaan rajattuihin suuntiin.

9.2 Robotin ohjelmointi

Robotin ohjelmointi tulee olemaan keskimääräistä hankalampaa. Robotin ohjelmoijan tulee osata määrittää sopivat kättelyt levytyökeskuksen kanssa, jotta koneet osaavat toimia yhdessä. Levytyökeskuksen tulee muun muassa kertoa robotille valmiin kappaleen ulkomitat. Kun roboti tietää kappaleen ulkomitat, voi se asettaa oikeat imualueet päälle noutaessaan valmista kappaletta, sekä kurottua oikean määrän poimintaprofiileja noutoon. Myös robotin paikoitus noudossa riippuu levytyökeskuksen antamista valmiin kappaleen paikkatiedoista.

Levytyökeskuksen tulee kappaletta irrottaessaan paikoittaa valmis kappale optimaalisesti siten, että robotti saa sen parhaiten poimittu. Eli kappaleen tulee tulla tarpeeksi esille levytyökeskuksen revolverin alta, jotta tarttuja pääsee sen poimaan.

9.3 Levyn paikoituksen mittaustavan valinta

Luvussa 6 on käsitelty eri tapoja, joilla levy voidaan paikoittaa robotin tarraimessa. Koska orientaatiopöydälle ei luultavasti ole tilaa, tulee käyttää levyn asemoinnin mittausta. Levyn sijainnin tunnistavat anturit voidaan kiinnittää raaka-ainelevypinon ympärillä olevien erotusmagneettien rakenteisiin. Antureina voidaan käyttää mitä tahansa tarkoitukseen sopivaa, levyn reunan tunnistavaa lähestymisanturia, esimerkiksi optista tai laseranturia. Induktiivinen tai kapasitiivinen anturi ei välttämättä sovi tarkoitukseen, koska tarttujan ja anturien väliin tulee jättää jonkin verran tilaa.

9.4 Levyn paksuuden mittaustavan valinta

Luvussa 7 on käsitelty eri vaihtoehtoja, joilla voidaan mitata levyn paksuus, varmistaa että levyn poiminnassa ei ole tullut kahta levyä päällekkäin. Luvussa ei ole suoraan nostettu mitään näistä tavoista muiden ylitse, vaan tarttujan valmistajan tulee tapauskohtaisesti päättää mitä keinoa tullaan käyttämään. On suositeltavaa käyttää joko kahta laseretäisyysanturia tai yhdeltä puolelta mittaavaa Roland Electronic -anturia.

9.5 Alipaineen lähde

Lopullinen alipaineen lähde tulee valita kappaleessa 5.9.8 olevien vaatimusten perusteella. Se voi olla ejektori tai alipainepumppu.

9.6 Imukuppien lopullinen sijainti

Kun tarttujaa rakennetaan, on hyvä muistaa että imukuppien paikkoja ja imualueita voidaan vapaasti muuttaa. Mikäli esimerkiksi osoittautuu, että valmiin kappaleen reiät osuvat juuri imukuppien kohdalle, voidaan imukuppeja siirtää. Mikäli valmis kappale on niin reikiä täynnä, että poimintakohdat on tarkkaan määritetty, liikutetaan imukuppeja ja tarvittaessa tehdään uudenlaisia imukuppien pitimiä, jotka mahdollistavat imukupin siirron sivusuunnassa.

Vastaavasti mikäli on mahdollista, että valmiissa kappaleessa on reikiä pitemmällä kuin mihin imuvastaventtiilit ulottuvat, voidaan imuvastaventtiilejä lisätä tarttujalle. Tällöin tulee laskea luvun 5.9.5 mukaisesti, että ejektorien virtaus riittää.

Toisaalta on mahdollista myös jättää käyttämättä imuvastaventtiilejä, mikäli niitä ei käyttökohteessa tarvita.

Tämänhetkiset imukupin pitimet pitävät imukupit suoraan profiilien alla. Pitimet eivät ole täysin symmetrisiä, vaan imukupin reikä on pitimen keskiviivasta sivussa. Kun joka toinen pidin asennetaan eri päin kuin edellinen, saadaan tartunnasta hieman tukevampaa. Mikäli tehdään uusi imukupin pidin, joka ulottaa imukupin profiilin reunan ulkopuolelle, tulee varmistaa että sille on tarpeeksi tilaa ympärillään, ettei se törmää viereisen profiilin toimilaitteisiin. Koska leveämpi tarttuja vaatii enemmän tilaa ympärilleen, levytyökeskuksen kynsien tulee olla kauempana revolverista poimimistilanteessa. Tämä kasvattaa poimittavissa olevan kappaleen minimikokoa.

Lopullinen imukuppien sijoittelu on täysin vapaa, paitsi että tulee varmistaa luvun 5.9.3 mukaisen tarvittavan imupinta-alan säilyminen.

9.7 3D-mallista puuttuvat komponentit

Vaikka 3D-malli onkin hyvin yksityiskohtainen, siihen ei ole pyrittykään mallintamaan kaikkea mitä tarttujalle tulee. Jokaisen kaapelin mallinnus olisi vaatinut kohutuuttomasti aikaa, ilman vastaavaa hyötyä. Seuraavissa kappaleissa on listattu komponentteja, jotka puuttuvat mallista.

9.7.1 Paineilmatarvikkeet

Tarttujalta puuttuu sinne tulevat paineilmaventtiilit. Kuten luvussa 5.9.1 on mainittu, tarttujalle tulee 11 paineilmaventtiiliä, joilla ohjataan imualueita. Näitä venttiilejä ei ole mallinnettu tarttujalle, vaikka ne sinne tulevatkin. Lisäksi jokainen paineilmasyylinteri vaatii oman venttiilinsä, eli kolme lisää. Imualueita ohjaavat venttiilit voivat olla yksinkertaisia 3/2-venttiilejä, mutta paineilmasyylinterit vaativat 5/3-venttiilin, jossa on suljettu keskiasento. Lisäksi tulee huomioida, että imualueita ohjaavien venttiilien tulee olla alipaineelle ja käytettävälle imuvirtaukselle sopivia.

Venttiilejä valittaessa tulee muistaa, että alipainetta on syöttämässä mahdollisesti useita erillisiä alipaineen lähteitä, esimerkiksi kaksi erillistä ejektoria. Tämä tulee ottaa huomioon venttiilejä tilattaessa, mikäli venttiilit tilataan moduuleissa. Eri venttiiliblokkit vaativat erillisen syötön. Venttiilit tulee jakaa tasaisesti eri alipaineen lähteiden kesken, jotta alipaineen lähteet kuormittuvat tasaisesti.

Järkevä sijoituspaikka näille venttiileille saadaan, kun tarttujan keskellä oleville kahdelle 90 mm leveälle poikittaisprofiille kiinnitetään teräs- tai alumiinilevy.

Vaihtoehtoisesti voidaan yllä mainitut venttiilit sijoittaa robotin päälle seuraavan luvun mukaisesti, mutta tällöin tarttujalle tulee viedä 11 paineilmaletkua imualueita varten ja kuusi letkua sylintereitä varten.

9.7.2 Ejektorit ja niiden venttiilit

Mikäli tarttujan alipaineen lähteeksi valitaan kappaleen 5.9.8 mukaan ejektorit, niitä ohjaamaan tarvitaan magneettiventtiilit, jotta ejektorit saadaan päällä vain tarvittaessa. Ejektoreja ei ole tarpeellista tuoda tarttujalle, vaan järkevämpää on jättää ne robotin päälle. Tällöin ne eivät tuo lisää painoa tarraimelle. Robotit on suunniteltu siten, että varsinaisen kuorman lisäksi ne voivat kantaa kevyempiä apukuormia rungossaan, 100 kg Kuka KR 270-2 ja 50 kg IRB 7600-325. (KR 270-2 (Serie 2000) 2011; IRB 7600 2011.)

9.7.3 Tarttujalle robotin läpi tulevat kaapelit ja letkut

Edellisissä kappaleissa mainitut sylinterit, imukupit ja venttiilit tarvitsevat paineilmaa, alipainetta ja sähköä. Tarttujalle tulee kolme paineilmaletkua, joista kahdessa kulkee imualueille menevää alipainetta ja kolmannessa letkussa kulkee sylinterien tarvitsemaa paineilmaa. Paineilman poistoilmaa ei tarvitse tuoda tarttujalta pois, kun venttiileille asennetaan äänenvaimentimet.

Tarttujalle on syytä viedä sähköt moninapakaapelilla. Seuraavassa on lueteltu kohteita tarttujalla, jotka tarvitsevat sähköjohtoja:

- tarttujalla olevat venttiilit
- lineaariliikkeen sylinterien anturit
- kappaleen 5.10 tarttujalla olevat anturit, jotka tarkkailevat levyä.
- kappaleen 7.1.1 tai 7.1.4 mahdollinen levyn paksuuden mitta-anturi
- kappaleen 9.9 mahdollinen törmäysanturi

Koska sähköjohtoja tulee näinkin paljon, on järkevää asentaa tarttujalle pieni muovinen laatikko, jossa moninapakaapeli jakautuu eri kohteisiin meneviksi pienemmiksi johdoiksi. Tämä laatikko voidaan asentaa vastaavalle tasolle kuin venttiilit, tarttujan keskiviivan toiselle puolelle.

3D-malliin ei ole mallinnettu letkuja tai johtoja. Niitä kuitenkin tulee yllä mainittuihin kohteisiin, eivätkä ne voi roikkua tarttujalla vapaana. Johdot tulee kiinnittää tarttujan rakenteisiin, joko suoraan profiilien ympäri menevillä nippusiteillä tai profiileihin ruuvattavilla nippusideankkureilla. Myös muita kiinnitysvaihtoehtoja on mahdollista käyttää.

Tarttujan liikkuvalla profiilille on mahdollisesti järkevää asentaa pieni kytkentälaatikko, jonne tarttujalla olevan anturin johto viedään. Tältä kytkentäboksilta johto jatkuisi moninapakaapelia pitkin energiansiirtoketjussa tarttujan päälle. Tämä ratkaisu helpottaa anturin vaihtamista, kun anturin johtoa ei tarvitse uudelleen pujottaa energiansiirtoketjun kautta. Lisäksi, mikäli tarttujalle tulee toinen anturi, kuten levyn paksuuden mittausanturi, kulkevat kaikki anturien johdot kätevästi samaa moninapakaapelia pitkin.

9.8 Tarttujan painon optimointi

Tässä vaiheessa tarttujan paino on liitteen 4 mukaan yli 130 kg. Kun kappaleessa 5.3 otettiin referenssirobotiksi Kukan KR 270-2, jonka kapasiteetti on 270 kg, tästä kapasiteetista olisi vain 70 kg varattuna tarttujalle. Kun tarttujan paino on nyt 130 kg, voidaan tarttujalla poimia maksimissaan 140 kg kuormia. Tämä on huomattavasti vähemmän kuin tavoite 200 kg, tarttuja ei voi nyt poimia täysipainoista teräslevyä valitulla referenssirobotilla. Kaavaa 1 käyttäen, saadaan laskettua että robotilla voidaan poimia ainoastaan noin 4 mm paksuisia teräslevyjä. Edessä on kolme vaihtoehtoa:

- Valitaan suurempi robotti, joka jaksaa nostaa suurempia kuormia.
- Hyväksytään 4 mm rajoitus ja määritetään levyn maksimipainoksi 140 kg.
- Kevennetään tarttujaa.

Kaikki kolme vaihtoehtoa voidaan toteuttaa, joko erikseen tai yhdessä. Vaikka tarttujaa kevennettäisiin, ei 60 kg kevennys ole realistinen tavoite, ilman kappaleessa 9.8.5 mainittua profiilien poistoa. Silti tarttujan painosta on mahdollista pudottaa jonkin verran, seuraavissa kappaleissa on muutamia ideoita, jotka voidaan toteuttaa tarttujaa rakennettaessa.

9.8.1 Lineaarijohteen lyhentäminen

Jokaista lineaarijohdetta on mahdollista lyhentää 6 cm ottamalla kummastakin päästä 3 cm käyttämätön pala pois. Kun lineaarijohteita on kolme kappaletta ja lineaarijohteen paino on 3.36 kg/m, tulee yhteiskevennykseksi 0,6 kg. (Linear Guideways RG Series. [Viitattu 7.10.2011].)

9.8.2 Lineaariliikkeen lyhentäminen

Kuten kappaleessa 5.8.1 on mainittu, Levytyökeskuksen revolverin ja revolverin suojan leveys on levytyökeskuksesta riippuen 580 mm – 1120 mm. Revolverin leveys määrittää tarvittavan lineaariliikkeen pituuden. Kurottuvan liikkeen pitää

ylettyä vähintään revolverin puoleen väliin, mielellään revolverin toiselle puolelle, samalla kun muu osa tarttujasta on revolverin suojan edessä. Riippuen millaista levytyökeskusta tarttujalla tullaan palvelemaan, voidaan lineaariliikettä lyhentää.

Kun lineaariliikettä lyhennetään, vaihdetaan liikkeen aikaansaava sylinteri. Myös lineaarikiskoa tarvitaan lyhyempi pätkä. Tällöin laakerikelkkojen välistä etäisyyttä tulee pienentää. Koska tarttujan kokonaispituus kuitenkin pysyy samana, kasvaa laakerikelkkojen jälkeen tuleva vapaana roikkuvan profiilin pituus. Tällöin laakerikelkkoihin vaikuttavat taivutusmomentit kasvavat huomattavasti. Valitut laakerit eivät välttämättä enää kestä rasituksia, mikäli laakerikelkkojen välistä etäisyyttä pienennetään.

Loppujen lopuksi, vaikka lineaariliikettä voidaankin lyhentää, lineaarikiskon pituuteen tai laakerikelkkojen paikkaan ei tule tehdä muutoksia ennen kuin on laskettu laakereihin vaikuttavat voimat uudelleen.

9.8.3 Imukuppien pitimien materiaali

Tällä hetkellä imukuppien pitimien materiaaliksi on valittu teräs. Pitimet on kuitenkin myös mahdollista valmistaa alumiinista. Imukuppien pitimiä on kolme eri tyyppiä, alla olevassa taulukossa 5 näkyvät niiden lukumäärät ja painot eri materiaaleista valmistettuina.

Taulukko 5. Imukuppien pitimien paino

Nimike	Paino, teräs (kg)	Paino, alumiini (kg)	Lukumäärä tarttujassa	Paino yhteensä, teräs (kg)	Paino yhteensä, alumiini (kg)	Painojen erotus (kg)
Imukupin kiinnike pienelle imukupille	0,079	0,027	27	2,133	0,729	1,404
Imukupin kiinnike suurelle imukupille	0,071	0,024	27	1,917	0,648	1,269
Imukupin kiinnike kiinteä profiili	0,181	0,062	24	4,344	1,488	2,856

Erotus yhteensä:	5,529 kg
------------------	----------

Kun imukuppien pitimet siis valmistettaisiin alumiinista teräksen sijaan, saadaan tarttujan kokonaispainoa pudotettua 5,5 kg.

9.8.4 Imukuppien vaihtaminen suuremmiksi

Mikäli kiinteiden profiilien imukupit vaihdetaan suuremmiksi, niitä tarvitaan vähemmän, kuten kappaleessa 5.9.4 on laskettu. Näin ollen myös imukuppien pitimiä tarvitaan vähemmän. Suurten imukuppien pitimet tulee suunnitella erikseen, jotta uusien imukuppien tartuntapinta tulee samalle korkeudelle kuin vanhojen imukuppien. Kiinteiden profiilien imukupit voitaisiin helposti vaihtaa suurempiin, ilman että tarttujan toiminta hankaloituu. Mikäli liikkuvien profiilien imukuppien kokoa kasvatetaan, voi tartunta vaikeutua.

9.8.5 Profiilien poistaminen

Tähän mennessä suunnitellussa tarttujassa on kolme profiilia, joilla on lineaariliike, sekä kaksi profiilia, jotka ovat kiinteitä.

Mikäli tarttujasta poistetaan kiinteä tai kurottuva profiili, tämä rakenne kevenisi. Tällöin jäljelle jääneet profiilit tulevat taipumaan enemmän kuormituksen alla kuin kappaleessa 5.5.2 on laskettu, mutta taipuma ei liene liian suuri. Tämä tulee tarkistaa laskemalla.

Kiinteän profiilin poistaminen. Kun yksi kiinteä profiili poistetaan, tulee siinä olevat imukupit jakaa järkevästi jäljelle jääneille profiileille. Osa imukupeista voidaan kiinnittää tarttujan halki leveyssuunnassa kulkeville tukiprofiileille, mutta tällöin tulee näille imukupeille suunnitella pitimet erikseen, jotta imukuppien tartuntapinta tulee samalle tasalle muiden kanssa.

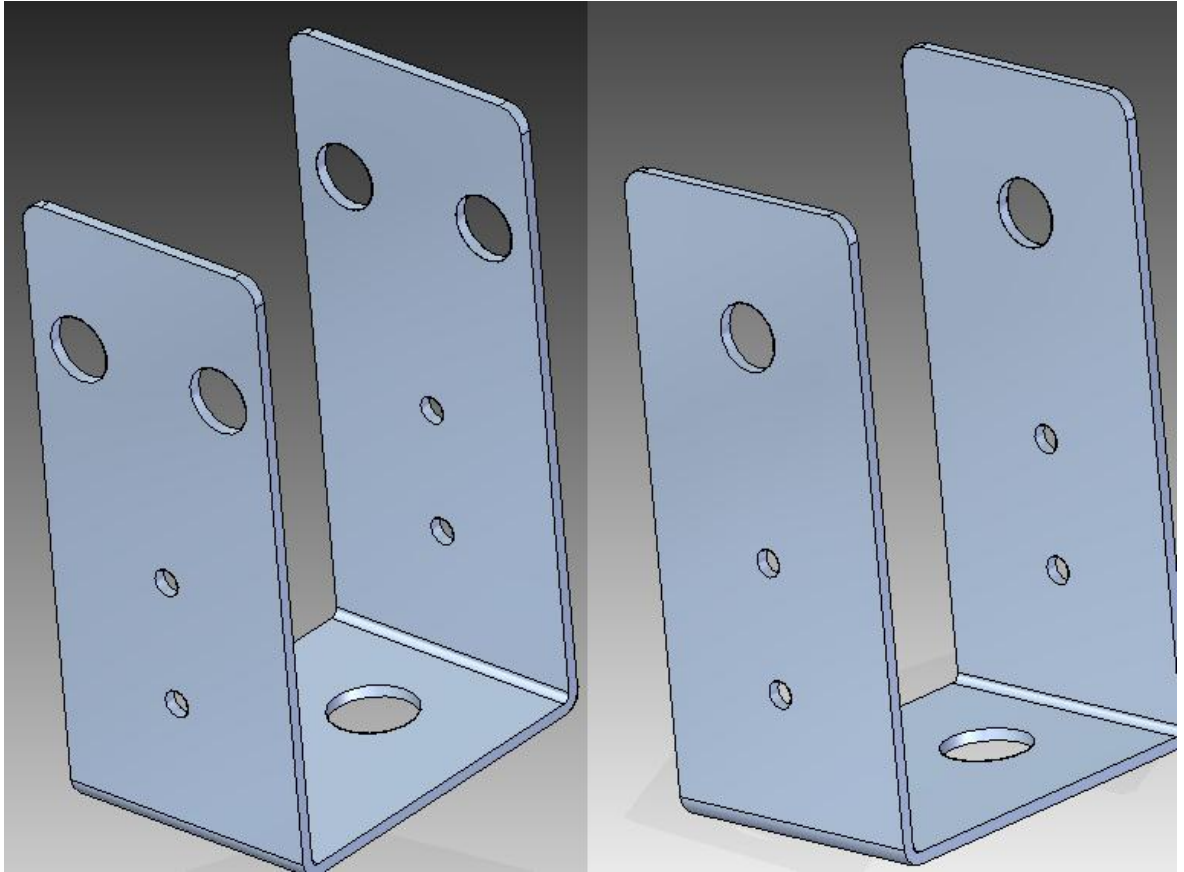
Kurottuvan profiilin poistaminen. Tarttujasta voidaan poistaa yksi kurottuva profiili. Tämä hankaloittaa leveiden valmiiden kappaleiden poimimista, mutta tarttuja kevenee huomattavasti. Poistettavan profiilin imukupit tulee kiinnittää jäljelle jääneisiin profiileihin, jotta tarttujan kantokyky säilyy.

9.9 Törmäyksen tunnistus

Robottitarrain voi törmätä kahdella tapaa. Ensinnäkin koko tarrain voi törmätä, esimerkiksi levytyökeskuksen reunaan tai kynsiin. Tämä on törmäyksistä vaarallisempi, johtuen robotin nopeudesta ja voimasta. Toinen mahdollinen törmäys on tilanne, jossa tarttujan kurottuvaa profiilia liikutetaan paineilmasyylinterillä ja profiilin pääty tai imukupit törmäävät levytyökeskukseen. Tämä törmäys ei ole niin vaarallinen, johtuen sylinterin rajallisesta voimasta ja siitä että robotti on paikallaan.

Koko tarraimen törmäys. Robotti itsessään pysäyttää liikkeen, kun sen akselien moottorien raja-arvot ylittyvät. Tässä vaiheessa vahinko on kuitenkin jo yleensä ehtinyt tapahtua. Olisi hyvä mikäli törmäys tunnistettaisiin heti törmäystapahtuman alettua ennen kuin tarttujaan tulee pysyviä muodonmuutoksia tai jokin osa menee rikki. Ongelmaksi muodostuu törmäyksen tunnistus, se voi tulla mistä suunnasta tahansa, tarttujan mihin osaan tahansa.

Todennäköisimmin törmäys kuitenkin tapahtuu, kun levyä ollaan viemässä levytyökeskukselle, tai valmista kappaletta ollaan noutamassa levytyökeskukselta. Eli tarttujan pääty törmää kiinteään esteeseen, törmäys tapahtuu tarttujan suuntaisesti. Ratkaisuna tähän on tarttujan päädyssä olevien imukuppien pitimien muokkaaminen ja anturointi. Kun muut imukuppien pitimet on kiinnitetty profiiliin neljällä ruuvilla siten että ne ovat tukevasti kiinni profiilissa, muokataan päädyssä olevia pitimiä kuvan 48 mukaisiksi. Pitimet tulevat vain yhdellä ruuvilla kiinni, ja pidintä avarretaan sen verran että profiiliin ja pitimen väliin mahtuu aluslaatta. Näin saadaan päädyssä olevista imukuppien tarttujista yksinkertaiset keinut, jotka antavat periksi, kallistuvat, törmäystilanteessa. Asennetaan jokin anturi, mahdollisesti mekaaninen, tarkkailemaan näitä kiinnikkeitä, ja ohjelmoidaan robotti pysähtymään välittömästi kun anturi havaitsee kiinnikkeen kallistuneen. Toisaalta, voi olla että kun tarttujalla on levy imukupeissaan, nämä päätymäiset imukupit pitävät niin kovaa kiinni levystä, että kiinnikkeet eivät pääse kiertymään. Tämä selviää vasta testaamalla.



Kuvio 48. Vasemmalla normaali imukupin pidin, oikealla muokattu imukupin pidin, jota voidaan soveltaa törmäyksen anturointiin.

Kurottuvan profiilin törmäys. Tämä törmäys huomataan siitä, että lineaariliikkeen aikaansaavan sylinterin raja-anturi ei mene päälle, vaikka sylinteriä ohjataan eteenpäin. Tämä pitää ottaa robotin ohjelmassa huomioon ja pysäyttää ohjelma kun tällainen törmäys on tapahtunut.

9.10 Raaka-ainelevyn poistaminen

Nyt suunniteltu tarttuja ei poista robotin raaka-ainelevyn jäterankaa, joka jää jäljelle kun levystä on irrotettu kaikki halutut valmiit kappaleet. Riippuen jäterainan muodosta, on mahdollista että se voidaan nostaa robotilla ja viedä pois, mutta todennäköisempää on että robotin tarttujan imukupit eivät saa siitä otetta. On mahdollista lisätä tarttujaan mekaaniset tarttumat, jotka ottavat rainan reunasta kiinni ja vetävät sen pois. Mikäli näin tehdään, tulee rainalle suunnitella jokin määränpää,

jolle se kulkeutuu pöydältä, robotti voi ainoastaan vetää sen levytyökeskuksen välittömään läheisyyteen.

Toinen vaihtoehto on levytyökeskuksen sormilla työntää raina keskuksen toiselle puolelle, jossa on erillinen mekanismi rainan poistoa varten.

9.11 Kolmannen lineaarilaakerin lisääminen

Lineaariliike on nyt toteutettu kahdella laakerikelkalla. Osittain tämä tehtiin siksi, että vaikuttavien voimien laskenta olisi yksinkertaisempaa, kun tukipisteitä on vain kaksi. Mikäli lineaariliikkeeseen lisättäisiin kolmas laakerikelkka kuvan 12 tukipisteiden A ja B puoleen väliin, voisi tarttujan rakenne jäykistyä entisestään. Toisaalta lisäkomponentit tuovat lisäpainoa tarttujalle. Mikäli tarttujan rakenne ei kappaleen 5.5.2 laskuista huolimatta ole tarpeeksi jäykkä, voidaan tätä vaihtoehtoa kuitenkin harkita.

10 Yhteenveto

10.1 Työn kuvaus

Työssä suunniteltiin teollisuusrobotille tarttuja, joka kykenee käsittelemään kahta eri tuotetta. Toinen tuote on 1500 x 3000 mm, maksimissaan 200 kg painava raaka-ainelevy, ja toinen tuote on minimissään 150 x 150 mm valmis kappale. Valmiissa kappaleessa voi olla reikiä, ja se voidaan joutua poimimaan 290 x 200 mm raosta. Valmiilla kappaleella ei ole maksimikokoa, se voi olla raaka-ainelevyn mitainen.

Tarttujan runko mallinnettiin alumiiniprofiilista, ja siihen tehtiin kolme lineaarisesti liikkuvaa profiilia valmiiden kappaleiden poimintaa varten. Poiminta toteutettiin imukupeilla. Tarttujassa on anturointi, jolla tunnistetaan levypinon korkeus raaka-ainelevyä noudettaessa. Sama anturi myös tunnistaa poiminnan pitävyyden.

Raaka-ainelevyä poimittaessa levypinon päällimmäinen levy erotetaan muusta pinosta erotusmagneetilla, minkä lisäksi robotin poimiman levyn paksuus mitataan kaksoislevyn varalta. Mittaus suoritetaan joko levyn kahdelta puolelta, poimintapisteen vierelle kiinteästi asennetuilla laseretäisyysmittareilla, tai robotin tarttujaan asennettavalla yhdeltä puolelta tunnistavalta erikoisanturilla.

Mahdollisesti reikiä täynnä olevan valmiin kappaleen poimintaan käytetään imukuppeja, joihin on asennettu imuvastaventtiili. Imuvastaventtiili estää liiallisen alipaineen karkaamisen, vaikka imukupin alla ei olisikaan työkappaletta. Tarttujan imukupit on jaettu magneettiventtiileillä erillisiin imualueisiin, jolloin erikokoisten kappaleiden poiminta helpottuu.

Lopuksi työssä on simuloitu robotti, johon tarttujan valmis 3D-malli on kiinnitetty, sekä levytyökeskus. Simulaatiossa on tarkistettu robotin liikeradat ja robotin sijainti. Simulaatioon on lisätty muut tarvittavat rakenteet, kuten raaka-ainevarasto ja valmiiden kappaleiden varasto.

10.2 Työn onnistuminen

Robottitarttuja on suunniteltu ja mallinnettu annettujen ohjeiden mukaiseksi. 3D-mallit luovutetaan FMS-Servicelle yhdessä tämän kirjallisen työn kanssa. Työn tavoitteet saavutettiin osittain, sillä vaikka tarttuja onkin melkein FMS-Servicen toiveiden mukainen, siitä tuli liian painava. Tarttujasta oli haluttu yleistarttuja, joka pystyy palvelemaan levytyökeskuksia kaikilla levykokoluokilla. Nyt teräslevyn paksuus joudutaan rajoittamaan kappaleen 9.8 mukaan maksimissaan 4 mm, tai käyttämään muita kappaleessa mainittuja vaihtoehtoja.

Muilta osiltaan tarttuja onnistui ja on toteuttamiskelpoinen. Liitteessä 5 on kuvia valmiista tarttujan 3D-mallista

LÄHTEET

- A100. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. ROLAND ELECTRONIC. [Viitattu 21.11.2011]. Saatavana: <http://www.roland-electronic.com/en/products/a100>
- Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainenen, M., Vihinen, J. & Virtanen, A. 1999. Robotiikka. Teoksessa: R. Kuivanen (toim.) Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/Metallitekniikka.
- Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997a. Levytyö- ja työvälinetekniikat. Porvoo: WSOY.
- Aaltonen, K. & Torvinen, S. 1997b. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY
- Aaltonen, K., Kalevi, E., Kamppari, J., Kauppinen, V., Kivivuori, S., Paro, J. & Vuorinen, J. 1991. Työvälinetekniikka. Hämeenlinna: Otatieto.
- Aarnio, J. 2011. STATIIKKA. Kurssimateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tekniikan ja liikenteen ala. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Julkaisematon.
- B30-2. 2011. [Verkkosivu]. Piab. [Viitattu 27.10.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Suction-cups-grippers/Online-catalogue/Nitrile-PVC--chloroprene/B--Bellows-5150-mm/B30-2/>
- B50. 2011. [Verkkosivu]. Piab. [Viitattu 26.10.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Suction-cups-grippers/Online-catalogue/Nitrile-PVC--chloroprene/B--Bellows-5150-mm/B50/>
- Bott, D. 2011. The Ins and Outs of Vacuum Generators. Dan Bott Consulting LLC. [Verkkolehtiartikkeli]. Compressed Air Best Practices. [Viitattu 1.12.2011]. Saatavana: <http://www.airbestpractices.com/technology/vacuum/ins-and-outs-vacuum-generators>
- Capacitive Double Sheet Control C100. 09.11.2010. [Verkkosivu]. Ronald Electronic. [Viitattu 16.9.2011]. Saatavana: <http://www.roland-electronic.com/en/news/press-information/C100>
- Destacker. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Roland Electronic. [Viitattu 16.9.2011]. Saatavana: <http://www.roland-electronic.com/en/applications/destacker>
- Downloads. 2011. [Verkkosivu]. ABB. [Viitattu 28.11.2011]. Saatavana: <http://www.abb.com/product/ap/seitp327/049ffeb82687791ec12574b9004958cf.aspx>

E-series Punch Presses. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Finn-Power Oy. [Viitattu 21.11.2011]. Saatavana: http://www.finn-power.com/global/machine_tools.asp?GetLinks=MTP_NcE_a

F- Flat. 2011. [Verkkosivu]. Piab. [Viitattu 26.10.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Suction-cups-grippers/Online-catalogue/Nitrile-PVC--chloroprene/F--Flat-15150-mm/>

Finn-Power TP300. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. FMS-Service Oy. [Viitattu 22.11.2011]. Saatavana: <http://www.fms-service.fi/index.php?productclick=115&lang=1>

Glaser, A. 2009. Industrial Robotics: How to Implement the Right System for Your Plant. New York: Industrial Press, cop.

Glickman, T. 2000. Glossary of Meteorology, Second Edition. Boston: American Meteorological Society.

Hanke, J. <xxxxxxxxx@kuka-roboter.de> 2011. Support Engineer. KUKA Roboter GmbH. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [31.5.2011]

Hulkkonen, V. 1-2007. Tyhjiötekniikka — ejektorit. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Fluid Finland / Ompipress Oy. [Viitattu 27.6.2011]. Saatavana: <http://www.fluidfinland.fi/content/download/225/1376/file/ejektorit.pdf>

Ihalainen, E., Aaltonen, K., Aromäki M. & Sihvonen P. 2003. Valmistustekniikka. 10. p. Helsinki: Hakapaino Oy

IRB 7600. 2011. [Verkkosivusto]. Abb. [Viitattu 29.11.2011]. Saatavana: <http://www.abb.fi/product/seitp327/3a3b8bda4d60a689c12572e60033907a.aspx?productLanguage=fi&country=FI>

ISO/VDMA Cylinders. 2005. [Verkkojulkaisu]. SMC CORPORATION. [Viitattu 11.10.2011]. Saatavana: http://content2.smctech.com/pdf/ISO-VDMA-A_EU.pdf

Karokh, M. 2010. Design of a gripper tool for robotic picking and placing. Uppsala University. Disciplinary Domain of Science and Technology, Technology, Department of Engineering Sciences, Electricity. Student thesis. Saatavana: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-135387>

Kivekäs, V. 2011a. Toimitusjohtaja. FMS-Service Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 1.3.2011

- Kivekäs, V. 2011b. Toimitusjohtaja. FMS-Service Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 29.3.2011
- Kivekäs, V. 2011c. Toimitusjohtaja. FMS-Service Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 16.11.2011
- Kivistö, S. <xxxx.xxxxxx@movetec.fi> 2011. Movetec. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [19.10.2011]
- Koneluettelo. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Tuusmet Oy. [Viitattu 22.11.2011]. Saatavana: <http://www.tuusmet.fi/pages/koneluettelo.php>
- Koskenniemi, A. 2011. <xxxxxx.xxxxxxxxxxx@primapower.com> . 2011. Finn-Power Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [25.11.2011].
- KR 270-2 (Serie 2000). 2011. [Verkkosivu]. KUKA Roboter GmbH. [7.6.2011]. Saatavana: http://www.kuka-robotics.com/en/products/industrial_robots/high/kr270_2
- KUKA.Sim Layout. 2011. [Verkkosivu]. KUKA Roboter GmbH. [Viitattu 28.11.2011]. Saatavana: http://www.kuka-robotics.com/en/products/software/kuka_sim/kuka_sim_detail/PS_KUKA_Sim_Layout.htm
- L300. 2011. [Verkkosivu]. Piab. [Viitattu 2.12.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Vacuum-pumps-generators/Large-101--918-mh/Classic-MP/L300/>
- Liinamaa, J. <xxxxxxxxxxxxx@eu.omron.com> 2011. Aluemyyntipäällikkö. Omron. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [16.9.2011]
- Lineaarijohteet. 2008. [Verkkosivusto]. Movetec Oy. [Viitattu 7.10.2011]. Saatavana: <http://www.movetec.fi/tuotteet-mekaaninen/lineaarijohteet>
- Linear Guideways EG Series. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. HIWIN. [Viitattu 7.10.2011]. Saatavana: http://www.movetec.fi/images/pdf/hiwin_eg_sarjan.pdf
- Linear Guideways RG Series. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. HIWIN. [Viitattu 7.10.2011]. Saatavana: http://www.movetec.fi/images/pdf/rg_sarja.pdf
- Linear Robots. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Olympus Technologies Ltd. [Viitattu 23.11.2011]. Saatavana: <http://www.olympustechnologies.co.uk/about/types-linear.php>

- Linerva, K. <xxxxxxxxxxx@snoy.fi> 2011a. Sales Manager, Power Transmission. S&N Osakeyhtiö. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [12.4.2011]
- Linerva, K. <xxxxxxxxxxx@snoy.fi> 2011b. Sales Manager, Power Transmission. S&N Osakeyhtiö. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [23.9.2011]
- Magnetic Sheet Separators. [Ei päiväystä]. [Verkkosivusto]. Goudsmit Magnetics. [Viitattu 1.12.2011]. Saatavana: <http://www.goudsmit-magnetics.nl/index.php?id=17>
- Medium. 2011. [Verkkosivusto]. Piab. [Viitattu 2.12.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Vacuum-pumps-generators/Medium-180-1700-Nlmin/>
- MINITEC CATALOGUE. [Ei päiväystä]. MiniTec. [Viitattu 4.4.2011]. Saatavana: <http://www.minitec.fi/Profilesystem.pdf>
- Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2005. Tekniikan KAAVASTO. 5. uudistettu painos. Hämeenlinna: Karisto Oy.
- Nitrile-PVC & chloroprene. 2011. [Verkkosivu]. Piab. [Viitattu 26.10.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Suction-cups-grippers/Online-catalogue/Nitrile-PVC--chloroprene/>
- NSK Linear Guides. 2003. [Verkkosivusto]. NSK. [Viitattu 26.9.2011]. Saatavana: <http://www.jp.nsk.com/app01/en/ctrq/index.cgi?gr=dn&pno=E3328>
- Packaging Automation Trends. 2009. [Verkkosivusto]. DENSO Robotics. [Viitattu 23.11.2011]. Saatavana: <http://www.densorobotics.com/whitepapers/1/DENSO%20Packaging%20White%20Paper.pdf>
- Pesso, T. <xxxxxx.xxxxx@sks.fi>. 2011a. SKS Mekaniikka Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [4.11.2011]
- Pesso, T. <xxxxxx.xxxxx@sks.fi>. 2011b. SKS Mekaniikka Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [11.11.2011]
- Peurala, T. <xxxx.xxxxxxx@smc.fi>. 2011. SMC Pneumatics Finland Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [11.10.2011]
- piCLASSIC Si32-3. 2011. [Verkkosivu]. Piab. [Viitattu 2.12.2011]. Saatavana: <http://www.piab.com/en-GB/Products/Vacuum-pumps-generators/Medium-180-1700-Nlmin/piCLASSIC/piCLASSIC-Si32-3/>

- Presentation. [Ei päivystä]. [Verkkosivu]. Joulin Aero. [Viitattu 29.11.2011]. Saatavana: <http://www.joulin.biz/biz/us/presentation.htm>
- Robotised press-brake operation. Ei päivystä. [Verkojulkaisu]. Motoman Robotics Europe AB. [Viitattu 14.9.2011]. Saatavana: <http://www.profibus.lt/userfiles/file/files/Press%20break%20systems.pdf>
- RobotStudio-ohjelmiston yleiskatsaus. 2011. [Verkkosivu]. ABB. [Viitattu 28.11.2011]. Saatavana: <http://www.abb.com/product/seitp327/78fb236cae7e605dc1256f1e002a892c.aspx>
- SFS-EN ISO 10218-1. 2009. TEOLLISUUSROBOTIT. TURVALLISUUSVAATI-MUKSET. OSA 1: ROBOTTI. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 10218-1. 2011. ROBOTS AND ROBOTIC DEVICES. SAFETY RE-QUIREMENTS FOR INDUSTRIAL ROBOTS. PART 1: ROBOTS. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Series 10. [Ei päivystä]. [Verkkosivu]. igus® inc. [Viitattu 11.11.2011]. Saatavana: http://www.igus.com/iPro/iPro_01_0003_0011_USen.htm?ArtNr=10-038-075-0&c=US&l=en
- Series ZP. [Verkojulkaisu]. SMC. [Viitattu 3.12.2011]. Saatavana: http://content2.smcetech.com/pdf/ZP_EU.pdf
- Sheetmaster. 2011. [Verkkosivu]. Trumpf International. [Viitattu 21.11.2011]. Saatavana: <http://www.trumpf-machines.com/en/products/punching/automation/sheetmaster.html>
- Skogström, T. <xxxxxxxxxxxxx@smc.fi> 2011. Tuotepäällikkö. SMC Pneumatics Finland Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [6.4. 2011]
- Solid Edge. 2011. [Verkkosivusto]. Siemens. [Viitattu 29.11.2011]. Saatavana: http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/solidedge/
- UDK20. Ei päivystä. [Verkkosivu]. Roland Electronic. [Viitattu 15.9.2011]. Saatavana: <http://www.roland-electronic.com/en/products/udk20>
- Uusi ZX2 lasermittausanturi. 14.4.2011. [Verkkosivu]. Omron. [Viitattu 16.9.2011]. Saatavana: http://industrial.omron.fi/fi/news/product_news/zx2_laser_sensor.html

- Vacuum generator. 2011. [Verkkosivu]. Schmalz. [Viitattu 2.12.2011]. Saatavana: <http://www.schmalz.com/produkte/vakuumkomponenten/allgemeineinfos/00388>
- Vacuum Saving Valve. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. SMC CORPORATION. [Viitattu 23.10.2011]. Saatavana: http://content2.smcetech.com/pdf/ZP2V-A_EU.pdf
- Visa, E. <xxxxx.xxxx@busch.fi> 2011. Busch Vakuumtechnik Oy. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [28.6.2011].
- Westerlund, R. <xxxx.xxxxxxxxxx@movetec.fi> 2011a. Movetec. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [27.10.2011]
- Westerlund, R. <xxxx.xxxxxxxxxx@movetec.fi> 2011b. Movetec. [Henkilökohtainen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Tommi Elonen. [29.6.2011]
- ZX-LASERANTURIT tarkkaan mittaukseen. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. OMRON Europe B.V. [Viitattu 15.9.2011]. Saatavana: http://downloads.industrial.omron.fi/IAB/Products/Sensing/Measurement%20Sensors/Distance,%20Displacement%20Sensors/ZX-LD/SF8P_ZXSensor/SF8P_ZXSensor_FIN01_0702.pdf

LIITTEET

LIITE 1. Alumiiniprofiilin tekniset tiedot 1

LIITE 2. Alumiiniprofiilin tekniset tiedot 2

LIITE 3. piCLASIC Si32-3

LIITE 4. Osalista

LIITE 5. Kuvia valmiista tarttujasta

LIITE 1. Alumiiniprofiilin tekniset tiedot 1

PROFILES

Material Type: Al Mg 0,7 Si EN-AW-6063 T66

Specific weight: 2.75 g / cm³

Material no.: 3 3206.72

artificially aged

min. Rm: 245 N / mm²

min. Rp 0,2: 200 N / mm²

Ductile yield A 5: > 10%

Ductile yield A 10: > 8%

Module of elasticity: E: 70000 N / mm²

G: 27000 N / mm²

Expansion hardness: ca. 75 HB 2,5 / 187.5

Heat extension: 23,8 · 10⁻⁶ K⁻¹

Surface natural anodized E6/EV1

Layer thickness: approx. 10 µm

Layer hardness: 250 - 350 HV

Tolerances DIN EN 12020 Part 1 + 2

Outer dimensions: depending on size 0.2 to 0.4 mm

Straightness deviation: max. 1,5 mm / 2 m

Flatness deviation: max. 1,5 mm / 2 m

Generally we confirm half the values according to the tolerances of DIN EN 12020 part 2.

Core boring uniform 7.5 - 0.3 mm

The thread M8 must be made by thread former, not by tap.

Core bore reborable up to M12.

Modular Dimension Standard 45 mm

All profiles are based on the same modular dimension.

All grooves are uniform.

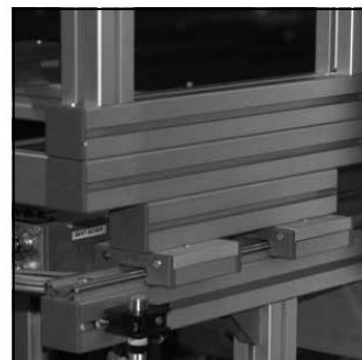
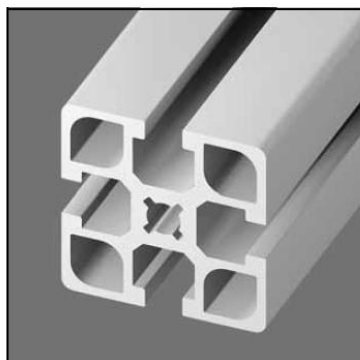
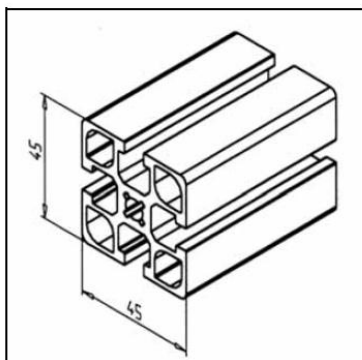
All bores are uniform.

(MINITEC CATALOGUE [Viitattu 4.4.2011], 16.)

LIITE 2. Alumiiniprofiilin tekniset tiedot 2

PROFILE 45 X 45 F

Part. N° 20.1033/0



TECHN. DATA / ITEMS SUPPLIED

- Ix =	14,172 cm ⁴
- Iy =	14,172 cm ⁴
- wx =	6,298 cm ³
- wy =	6,298 cm ³
- Weight	2,005 kg/m
- Length	6 m
- Packing unit	36 m

APPLICATIONS

- General constructions

ASSEMBLY

- MiniTec power-lock fastener

- Angle 19 / 25 / 45 / 45 x 90

- Bolt-fastener 20

- Screw connection

LIITE 3. piCLASIC Si32-3

piCLASSIC Si32-3



- ▶ Patented COAX® technology inside – the most energy efficient ejector technology.
- ▶ The Si cartridge offers extra vacuum flow.
- ▶ Suitable for handling porous materials or if leakage is present.
- ▶ Large capacity range, available with 1 to 6 COAX® Si32 three-stage cartridges.
- ▶ Can be easily be upgraded with more capacity if needed.
- ▶ Low-weight, configurable and modular design.
- ▶ Easy disassembly for maintenance.

Technical data

Description	Unit	Value
Feed pressure, optimum	MPa	0.60
Feed pressure, max.	MPa	0.7
Max. vacuum	-kPa	75
Internal volume, vacuum chamber, 1-2 cartridges	cm ³	140
Internal volume, vacuum chamber, 3-4 cartridges	cm ³	246
Internal volume, vacuum chamber, 5-6 cartridges	cm ³	353
Noise level at 40 -kPa & optimal feed pressure	dBA	66-77
Temperature range	°C	-10-80
Materials		PA, Al, SS, NBR (FKM), CuZn

Technical data, specific

Weight	Value (g)
1-2 cartridges	500-550
3-4 cartridges	720-790
5-6 cartridges	795-875
Silencer	120
Vacuum gauge	50

Vacuum flow at recommended feed pressure (0.6 MPa)

COAX® cartridge	Air consumption NI/s	Vacuum flow (NI/s) at different vacuum levels (-kPa)							
		0	10	20	30	40	50	60	70
Si32-3 x1	1.75	6.00	3.50	2.60	1.70	0.90	0.60	0.50	0.35
Si32-3 x2	3.50	12.0	7.00	5.20	3.40	1.80	1.20	1.00	0.70
Si32-3 x3	5.25	18.0	10.5	7.80	5.10	2.70	1.80	1.50	1.10
Si32-3 x4	7.00	24.0	14.0	10.4	6.80	3.60	2.40	2.00	1.40
Si32-3 x5	8.75	25.5	15.8	12.4	8.50	4.50	3.00	2.50	2.10
Si32-3 x6	10.5	28.8	17.9	14.8	10.2	5.40	3.60	3.00	2.20

Evacuation time at recommended feed pressure (0.6 MPa)

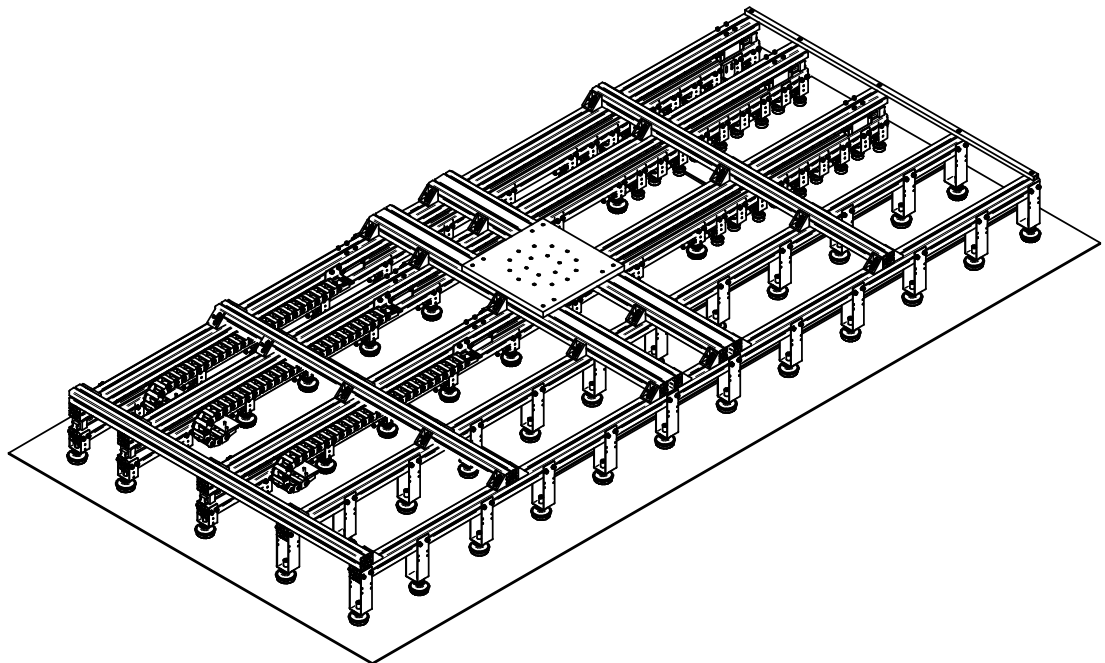
COAX® cartridge	Air consumption NI/s	Evacuation time (s/l) to reach different vacuum levels (-kPa)						
		10	20	30	40	50	60	70
Si32-3 x1	1.75	0.02	0.05	0.10	0.18	0.33	0.53	0.80
Si32-3 x2	3.50	0.01	0.025	0.05	0.09	0.17	0.27	0.40
Si32-3 x3	5.25	0.007	0.017	0.033	0.06	0.11	0.18	0.27
Si32-3 x4	7.00	0.005	0.013	0.025	0.045	0.083	0.13	0.20
Si32-3 x5	8.75	0.004	0.01	0.02	0.036	0.066	0.11	0.16
Si32-3 x6	10.5	0.003	0.008	0.017	0.03	0.055	0.09	0.13

(piCLASSIC Si32-3 2011)

LIITE 4. Osalista

pääkokoontapano

Item Number	File Name	Material	Quantity	Material	Mass
1	Liikkuvan_profiilin_tukiprofiili.asm		3		26,430 kg
2	kiinteä_profiili.asm		2		18,175 kg
3*	profiili_45_45_F_1200.par	Aluminum, 7075-T6	3	Aluminum, 7075-T6	7,472 kg
4	levy.psm		1		
5	roboflange.par	Aluminum, 5050	1	Aluminum, 5050	5,876 kg
6	profiili_45_90_F_1200.par	Aluminum, 7075-T6	2	Aluminum, 7075-T6	7,894 kg
7	tartunta_profiili.asm		3		57,182 kg
8	levypinon_anturi_versio2.asm		2		0,684 kg
9*	ANGLE 45 60-Z.asm		45		3,886 kg
10*	M6_16.par	Steel	5	Steel	
11*	alumiini_suorakaide_profiili_15_20_2.par	Aluminum, 6061-T6	1	Aluminum, 6061-T6	0,396 kg



Täydellinen osalista

Item Number	File Name	Material	Quantity	Material	Mass
3'	profili_i_45_45_F_1200.par	Aluminum, 7075-T6	3	Aluminum, 7075-T6	7,472 kg
5	roboflange.par	Aluminum, 5050	1	Aluminum, 5050	5,876 kg
6	profili_i_45_90_F_1200.par	Aluminum, 7075-T6	2	Aluminum, 7075-T6	7,894 kg
9'	ANGLE 45 GD-Z.asm		45		3,886 kg
10	profili_i_45_45_F_2800_laakerireikainen.par	Aluminum, 7075-T6	3	Aluminum, 7075-T6	17,409 kg
11'	M6_50.par	Steel	30	Steel	
12'	synterinin_kiinnikkeen_kiinnike.par	Aluminum, 1350	3	Aluminum, 1350	0,312 kg
13'	C85L25A 120,11.par	Steel	3	Steel	0,263 kg
14'	Synterinin_CD85_body_A_C D85N20_1000C_B_X2018_0.par	Aluminum, 5050	3	Aluminum, 5050	
15'	Movetec RGH25CA laakeriketka.asm		6		5,245 kg
16'	M6_12.par	Steel	6	Steel	
17'	Din_125A_aluslevy_M6.par	Steel	330	Steel	
18'	M6_25.par	Steel	147	Steel	
19'	Piab umikuppi 50_1_8.par	PVC	51	PVC	1,880 kg
20'	imukupin_kiinnike_kiinteaprofili.psm	Steel	24	Steel	4,346 kg
21'	M6_16.par	Steel	329	Steel	
22'	SMC_K02S08_01S.par	Brass, yellow brass	78	Brass, yellow brass	
23'	minitec_M6_nut.par	Steel	216	Steel	0,821 kg
24	profili_i_45_45_F_2800.par	Aluminum, 7075-T6	5	Aluminum, 7075-T6	29,059 kg
25'	M8_mutteri.par	Steel	4	Steel	0,023 kg
26'	M8_60.par	Steel	2	Steel	
27'	anturin_kiinnike_2_versio2.par	Aluminum, 5050	2	Aluminum, 5050	0,364 kg
28'	jousi.par	Steel	2	Steel	
29	anturin_kiinnike_1.par	Aluminum, 5050	2	Aluminum, 5050	0,172 kg
31'	SICK_BEF_WN_M08_Order_no_5321721_2.par	Steel	2	Steel	
32'	1_8_male_female_elbow2.par	Brass, yellow brass	54	Brass, yellow brass	1,853 kg
33'	ZP2V_A01_05.par	Steel	54	Steel	
34'	Piab_Suction cup B30-2 HNR 1.8 NPSF female with mesh filter.par	PVC	27	PVC	0,282 kg
35'	imukupin_kiinnike_pienelle_imukupille.psm	Steel	27	Steel	2,125 kg
36'	JA20_8_125_20.par		3		
37'	imukupin_kiinnike_suurelle_imukupille.psm	Steel	27	Steel	1,898 kg
39'	8845 mm_igus GmbH_1003804808845_Energy Chain Series 10_29_1003804801003804_80.asm		3		0,607 kg
40'	M6_40.par		6		
41'	synterinin_maman_kiinnike.par	Aluminum, 5050	3	Aluminum, 5050	1,074 kg
42'	Synterinin_CD85_rod_A_CD 85N20_1000C_B_X2018_0.par	Steel	3	Steel	
43	paatyloppari.par	Aluminum, 5050	6	Aluminum, 5050	0,221 kg
44'	alumiini_suorakaide_profilili_15_20_2.par	Aluminum, 6061-T6	1	Aluminum, 6061-T6	0,396 kg
45'	Movetec lineaarijohdin.par	Steel, structural	3	Steel, structural	26,564 kg
46'	SICK_IM08_04NPS_ZT1_Bestell_Nr_7900013.asm		2		0,029 kg

LIITE 5. Kuvia valmiista tarttujasta