

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka

Tuomas Aaltonen

SUURSÄKITYSAUTOMAATIN ROBOTIN TYÖKALU

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Tuomas Aaltonen

Suursäkitysautomaatin robotin työkalu, 40 sivua, 14 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikka, kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja tuotesuunnittelu

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: Tuotekehityspäällikkö Ari Dromberg, Erkomat Oy; Lehtori Timo Eloranta, Saimaan Ammattikorkeakoulu

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja kehittää Erkomat oy:lle suursäkitysautomaatin robottiin työkalu, joka hakee tyhjän suursäkin aukirullauskuljettimelta ja siirtää sen suuttimelle täyttöä varten. Robotin on tarkoitus olla yksi vaihtoehto säkin asettamiseen nykyisen asetinlaitteen rinnalla.

Olen ollut aikaisemmin töissä Erkomatilla, joten työympäristö ja siellä valmistettavat koneet olivat minulle jo valmiiksi tuttuja. Työhön tarvittavia lähtötietoja hankin Erkomatin suunnitteluinsinööreiltä sekä koneenasentajilta. Pajalla tehtiin myös erilaisia testejä ja mittauksia, joista saatiin hyödyllistä tietoa työkalun suunnittelua varten.

Suunnittelussa pyrittiin pitämään työkalun rakenne mahdollisimman yksinkertaisena ja varmatoimisena. Suunnittelun lähtökohtana oli suursäkitysautomaatin nykyinen tyhjen säkkien asetinlaite, josta hyödynnettiin laitteen perusidea. Nykyisessä asetinlaiteessa on oma runko, joka on kiinnitetty täyttöpään runkoon kiinni. Tuleva työkalu tulee toimimaan erillisen robotin avulla, jolla voidaan tarvittaessa korvata nykyinen asetinlaite. Suunnitellusta työkalusta tulee tehdä 3D-malli sekä valmistuspiirustukset Pro Engineer 3D -suunnitteluohjelmalla.

Työn tuloksena suunniteltiin robotille pneumatiikan avulla toimiva työkalu, joka hakee tyhjän suursäkin ja asettaa sen täyttösuuttimelle. Työkalusta tehtiin 14 eri valmistuspiirustusta sekä 32 3D-mallia.

Avainsanat: koneensuunnittelu, pneumatiikka,

ABSTRACT

Tuomas Aaltonen

Robot tool for an automated big-bag machine, 40 pages, 14 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Mechanical and Manufacturing Technology

Mechanical and Production Engineering

Thesis 2010

Instructor: Mr. Ari Dromberg Product Manager, Erkomat Oy; Mr. Timo Eloranta

Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

The purpose of this thesis was to design and develop for Erkomat Oy a robot tool that brings an empty sack from the conveyor and moves it to the nozzle for filling. It is meant that the robot is one of the options to set the sack to nozzle with the existing sackplacer.

I have previously worked for Erkomat Oy, so the working environment and the machines were already familiar to me. The initial data that I needed for this work were given by Erkomat Oy's planning engineers and mechanics. We also made different kind of tests and measurements, which provided useful information for the designing of the tool.

The purpose was to keep the structure of the tool as simple as possible. The design was based on the current sackplacer. The current sackplacer has a frame of it's own which is attached to the frame of the filling nozzle. The tool is going to work with a separate robot, so it can replace the current sackplacer if necessary. A 3D-model and manufacturing drawings of the designed tool must be made with Pro Engineer 3D design software.

The result of the work was a pneumatic-action tool that brings an empty sack to the nozzle. Of the tool there are 14 different kinds of manufacturing drawings and 32 3D models.

Keywords: Mechanical engineering, pneumatic

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 ERKOMAT OY	7
3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT OHJELMAT JA KÄSITTEET	7
3.1 SolidWorks	8
3.2 SolidWorks Cosmos	8
3.3 Pro Engineer	9
3.4 Keskeisiä käsitteitä	10
4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTA	12
4.1 Asetinlaite	12
4.2 Robotti	12
4.3 Lähtötiedot	14
4.4 Toimilaitteet	15
5 LAITTEEN IDEOINTI JA SUUNNITTELU	16
5.3 Alustavat ideat	16
5.3.1 Työkalun rakennevaihtoehto 1	16
5.3.2 Työkalun rakennevaihtoehto 2	17
5.3.3 Työkalun rakennevaihtoehto 3	18
5.4 Lopullisen rakenteen valinta	19
6 TYÖKALUN SUUNNITTELU	20
6.1 Sylinterivoimien laskenta	20
6.2 Työkalun komponentit	23
6.2.1 Runko	24
6.2.2 Keinu	24
6.2.3 Koura	25
6.2.4 Laakerit	26
6.2.5 Sylinterit ja venttiilit	27
6.2.6 Muut osat	31
6.3 Lujuuslaskenta	32
7 LOPPUTULOS JA PÄÄTELMÄT	37
KUVAT	38
TAULUKOT	39
LÄHTEET	39

LIITTEET

- Liite 1 Työpiirustus Tarttuja_IBC_kp
- Liite 2 Työpiirustus Runko_LAS
- Liite 3 Työpiirustus Keinuu
- Liite 4 Työpiirustus Takalevy_Las
- Liite 5 Työpiirustus Runkolevy_oikea_LAS
- Liite 6 Työpiirustus Runkolevy_vasen_LAS
- Liite 7 Työpiirustus Sivulevy_oikea_LAS
- Liite 8 Työpiirustus Sivulevy_vasen_LAS
- Liite 9 Työpiirustus Varsi
- Liite 10 Työpiirustus Kouralevy
- Liite 11 Työpiirustus Vaste
- Liite 12 Työpiirustus Holkki_KON
- Liite 13 Työpiirustus Kannake
- Liite 14 Työpiirustus Paineilmakaavi

1 JOHDANTO

Suoritin koulutusohjelmaani kuuluvan työharjoittelun Erkomat Oy:ssa vuonna 2007, josta sain ajatuksen kysyä opinnäytetyön aihetta sieltä. Keskustelin asiaa tuotekehityspäällikkö Ari Drombergin kanssa, joka ehdotti aiheeksi suursäkitysautomaatin robottiin kiinnitettävää työkalua.

Suursäkitysautomaatissa tyhjäsäkkirulla avataan aukirullaajan avulla kuljettimelle. Tämän jälkeen säkki kuljetetaan kuljettimen päähän, jossa sen suu avataan erillisen mekanismin avulla. Säkki noudetaan asetinlaitteen avulla, joka asettaa säkin suuttimelle täyttöä varten. Kun säkki on täysi, se suljetaan kuumien vasuksien avulla. Tämän jälkeen täysinäinen säkki viedään kuljettimen avulla eteenpäin varastoitavaksi.

Robotin tarkoitus on korvata nykyinen asetinlaite. Robotin tehtävä on hakea tyhjä suursäkki aukirullauskuljettimelta ja viedä se suuttimelle säkin täyttöä varten. Robotti tarvitsee toimiakseen työkalun, joka ottaa tyhjästä säkistä kiinni ja kääntää sen suuttimeen nähden oikeaan kulmaan. Työssä on tarkoitus keskittyä työkalun mekaaniseen ja pneumaattiseen suunnitteluun. Työkalun ohjelmointi ja logiikka eivät kuulu opinnäytetyön aiheeseen.

Työ tehdään pääasiassa Erkomatin toimitiloissa Kotkan toimipisteessä. Työkalun alustavat mallit ja luonnokset tehdään Saimaan ammattikorkeakoulussa SolidWorks 3D -suunnitteluohjelmalla. Tarvittavat lujuuslaskut tehdään SolidWorks Cosmos lujuuslaskentamoduulilla. Erkomatilla on käytössä Pro Engineer 3D -suunnitteluohjelmaa, jolla tulee tehdä työkalusta lopullinen malli sekä piirustukset. Työhön tarvittavaa tietoa hankitaan suursäkitysautomaatin suunnittelijoilta ja asentajilta sekä koneenrakennusta käsittelevästä kirjallisuudesta. Erkomatin tuotantotiloissa tehdään myös muutamia tarvittavia käytännön testejä ja mittauksia.

2 ERKOMAT OY

Erkomat Oy perustettiin vuonna 1977 myymään jauheidenkäsittelyn tuontikomponentteja. Vuonna 1979 toimitettiin ensimmäinen säkintäyttökone Pekemalle. Nykyään Erkomat toimittaa kokonaisia säkitysjärjestelmiä jauhemaisille ja raemaisille aineille sisältäen säkityksen, merkinnän, lavauksen ja huputuksen.

Vuonna 1988 yhtiö muutti nykyiseen toimipisteeseensä, joka sijaitsee Etelä-Suomessa, Kotkansaarella. Yritys työllistää noin 30 henkilöä. Erkomatin erityisosaaminen on suursäkkien ja venttiilisäkkien täyttöjärjestelmät, sekä säkkien lavausjärjestelmät. Päätuotteet Erkomat suunnittelee ja valmistaa itse.

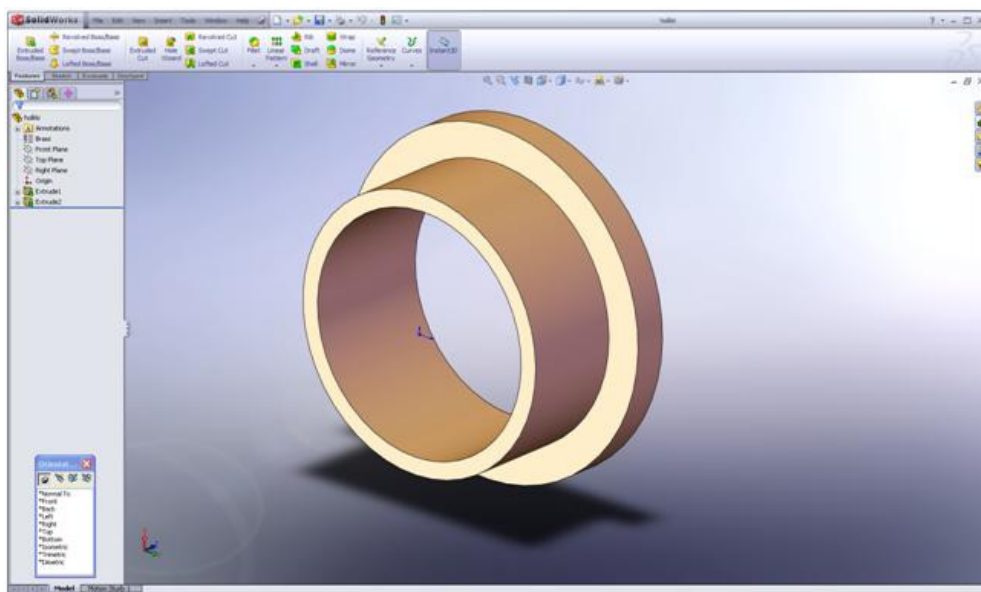
Erkomatin asiakkaita ovat muun muassa kemianteollisuus, elintarviketeollisuus ja rakennusmateriaaliteollisuus. (Erkomat, kotisivut)

3 TYÖSSÄ KÄYTETTÄVÄT OHJELMAT JA KÄSITTEET

Työssä käytetään kahta eri suunnitteluohjelmaa ja yhtä lujuuslaskentaohjelmaa. Erkomatilla on käytössä Pro Engineer 3D -suunnitteluohjelma, joten kappaleen malli ja piirustukset on tehtävä kyseisellä ohjelmalla. Saimaan ammattikorkeakoulussa on puolestaan käytössä SolidWorks 3D -suunnitteluohjelma. Opinnäytetyön mallintaminen toteutetaan siten, että alustavat mallit ja ideat luonnostellaan SolidWorksilla. Itse osaan käyttää kyseistä ohjelmaa paljon nopeammin kuin Pro Engineeriä, joten mallien teko on nopeampaa. Kun työkalusta on saatu kehiteltyä alustava malli, siirrytään käyttämään Pro Engineeriä. Työkalun rasiteuimpiin kohtiin tehdään lujuustarkastelut CosmosWorksilla ja tämän jälkeen tehdään lopullinen mallinnus ja piirustukset.

3.1 SolidWorks

SolidWorks on vuonna 1993 perustetun SolidWorks Corporationin 3D -suunnitteluohjelmisto. SolidWorks 3D -ohjelmisto on kehitetty mekaniikkasuunnittelun ja muotoilun tarpeisiin. Ohjelmisto käsittää osa-, pinta- ja kokoonpanomallinnuksen sekä ohutlevytoiminnot (kuva 3.1). Ohjelmisto tuottaa automaattisesti muun muassa piirustukset, osaluettelot, osanumeroinnin sekä tilavuus- ja massalaskelmat. SolidWorksilla suunnitellaan tuotteet osina ja osista tehdään kokoonpanoja samalla logiikalla kuin koneenrakentajakin toimii.



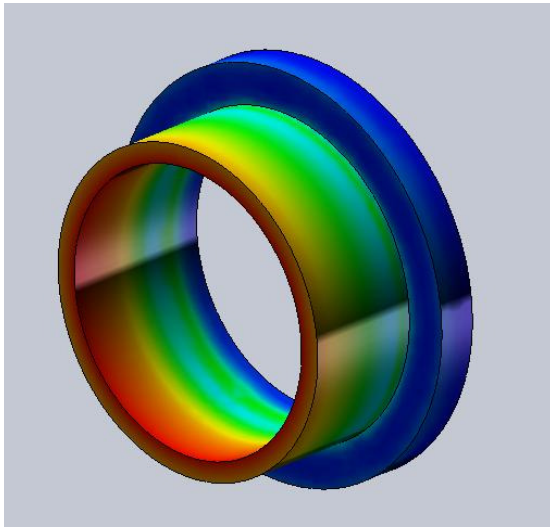
Kuva 3.1 SolidWorks-ohjelmalla tehty malli

SolidWorks on helppo oppia ja käyttää, koska käyttöliittymä on muistuttaa Windowsia. Alusta alkaen Windows-käyttöjärjestelmään suunniteltu ohjelmisto mahdollistaa muiden Windows-sovellusten helpon integroinnin (Cadworks, kotisivut).

3.2 SolidWorks Cosmos

SolidWorks Cosmos on SolidWorksiin integroitu lujuuslaskentaohjelma, jolla pystyy nopeasti analysoimaan mallinnetua kappaletta ilman hidastavia tiedonsiirtoja. Jos malliin tehdään muutoksia, ne siirtyvät automaattisesti myös Cos-

mokseen. Tulokset näkyvät SolidWorks työpöydällä. Ohjelmalla voi tarkastella muun muassa jännityksiä (kuva 3.2), nurjahtamista, värähtelyä, siirtymiä.



Kuva 3.2 CosmosWorksilla tehty jännitysanalyysi

Kuvassa 3.2 nähdään esimerkkinä kappaleen jännitysanalyysi. Ohjelma ilmoittaa väreinä jännitystason kappaleen jokaisessa eri kohdassa. Tällä tavalla saadaan nopeasti suhteellinen käsitys siitä, miten jännitykset jakautuvat kappaleen eri kohtiin. Tämä helpottaa ja nopeuttaa kappaleen tulkintaa huomattavasti.

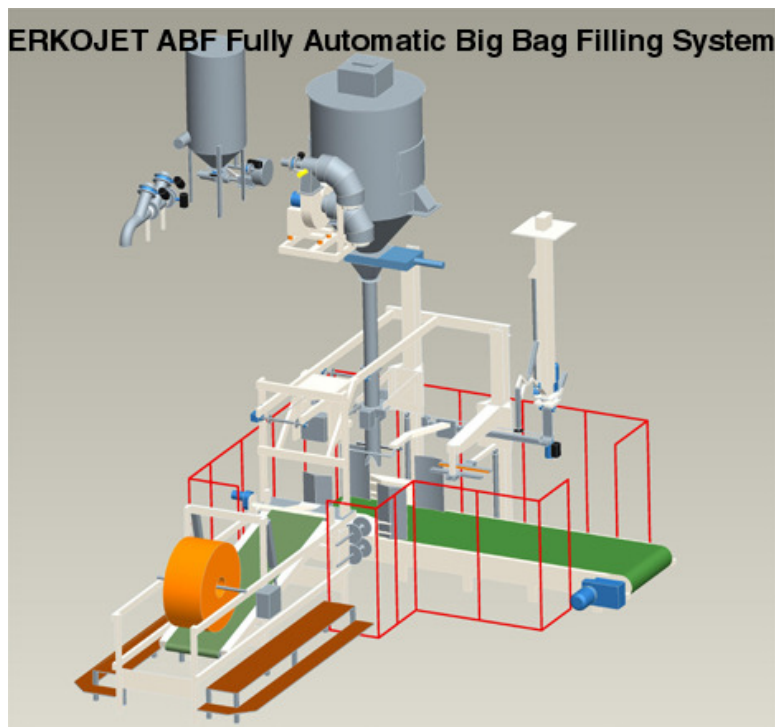
3.3 Pro Engineer

Pro Engineer on Parametric Technology Corporationin eli PTC:n päätuote. PTC loi aikanaan teollisuuden 3D-markkinan tuomalla markkinoille parametriseen ja assosiatiiviseen Pro Engineer 3-D suunnitteluohjelmistoon. Siitä lähtien Pro Engineer on ollut suosittu 3D -mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Pro Engineerin nykyinen versio on nimeltään Wildfire.

Pro Engineer Wilfiressä voit suunnitella nopeasti tarkkoja 3D-malleja. Sen käyttöliittymä on integroitu suoraan webiin, ja ohjelmisto kykenee hyödyntämään verkossa olevia resursseja. 3D-mallin muuttaminen näkyy välittömästi myös mallista tehtyjen piirustusten, kokoonpanojen, lujuuslaskentojen ja työstöratojen päivittymisenä (Convia, kotisivut).

3.4 Keskeisiä käsitteitä

Suursäkitysautomaatilla tarkoitetaan monen eri laitteen kokonaisuutta. Siihen kuuluu muun muassa aukirullaaja, asetinlaite, tyhjälavakasetti, kuljettimet sekä täyttö- ja suljentapää (kuva 3.3).

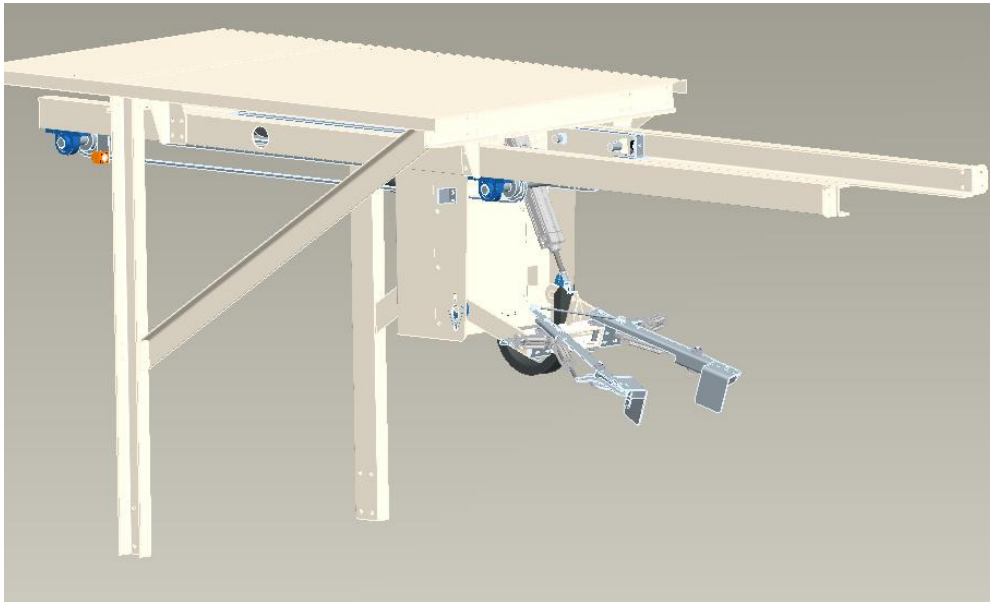


Kuva 3.3 Suursäkitysautomaatti (Erkomat, kotisivut)

Kuvasta 3.3 nähdään Pro Engineerillä mallinnettu säkitysasema. Varustelutasosta johtuen säkitysasemat voivat poiketa toisistaan huomattavasti. Jokaisessa eri säkitysasemassa on aina rakenteellisia eroja johtuen siitä, että ne räätälöidään aina asiakkaan vaatimuksien sekä tehdas olosuhteiden mukaan.

Aukirullaajan tehtävä on nimensä mukaisesti avata tyhjä suursäkkirulla kuljettimelle. Säkkirullassa on koosta riippuen noin 100–200 säkkiä. Rulla asetetaan nosturin avulla aukirullaajassa olevaan telineeseen. Säkkien välissä kulkevat nauhat, joiden avulla säkkirulla avataan. Kun säkki on rullattu auki oikeaan kohtaan, anturit pysäyttävät kuljettimen ja mekanismi avaa säkin suun.

Asetinlaitteen (kuva 3.4) tehtävänä on hakea aukirullaajan avaama säkki kuljettimelta. Kun asetinlaitteen koura saa säkistä otteen, silloin aukirullaaja päästää säkistä irti. Tämän jälkeen asetinlaite vie säkin eteenpäin täyttöpäähän, jossa se asetetaan suuttimeen.



Kuva 3.4 Asetinlaite (Erkomat, asetinlaite)

Kuvassa 3.4 nähdään nykyinen asetinlaite. Asetinlaitteen rungon toinen pää kiinnitetään täyttöpään runkoon ja toinen pää kiinnitetään aukirullaajan runkoon, jolloin nämä kolme eri laitetta muodostavat yhden kiinteän kokonaisuuden.

Tyhjälavakasettiin pinotaan päällekkäin kuormalavoja. Kuormalavoja käytetään suursäkin alustana, jolloin säkkiä on helppo liikuttaa trukilla. Kasetti asettaa yhden kuormalavan kerrallaan kuljettimelle, josta lava viedään eteenpäin täyttöpäähän.

Täyttöpäässä tapahtuu säkin täyttäminen. Kun säkki on tuotu suuttimelle ja kuormalava on asetettu paikallaan, voidaan aloittaa säkin täyttäminen. Ensin säkki puhalletaan täyteen ilmaa, jotta säkki asettuisi suoraan ja avautuisi mahdollisimman tilavaksi. Tämän jälkeen säkkiin valutetaan suuttimen kautta säkittevä materiaali. Kun säkki on täysi, se suljetaan kuumien vastuksien avulla. Lopuksi säkki viedään kuljettimia pitkin eteenpäin varastoitavaksi.

4 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTA

Ennen suunnittelun alkua tehtiin asennuspajalla mittauksia ja testejä suunnittelun helpottamiseksi. Pajalla oli parhaillaan rakenteilla yksi suursäkitysautomaatti, josta pystyi ottamaan tarvittavia mittoja. Mittauksen kohteena oli aukirullaajan säkinavausmekanismi ja täyttöpää, koska nämä asettivat työkalulle muotorajoitteita. Myös nykyisestä asetinlaitteesta otettiin mittoja. Säkin kauluksen avautumiskokoa testattiin rakenteilla olevan asetinlaitteen avulla. Testissä tutkittiin miten säkkien kauluksien mittavaihtelut vaikuttavat säkin asettamiseen suuttimeen. Lisäksi tutkittiin, miten sylinterin paineen muutos vaikuttaa säkin kauluksen venyvyyteen.

4.1 Asetinlaite

Nykyinen asetinlaitteen ongelmana ovat sen asettamat tilarajoitteet. Asetinlaite voidaan kiinnittää täyttöpään runkoon ainoastaan suoraan linjaan tai 90 asteen kulmaan. Aukirullaajaan kiinnitys asetinlaitteeseen onnistuu vain yhdessä asennossa. Oman hankaluuden aiheuttaa myös asetinlaitteen kouran keskittäminen suuttimeen nähden. Tämä johtuu rakenteen suuresta koosta, mikä aiheuttaa suurempia valmistustoleransseja, mutta kouran pitäisi samalla keskittyä millintarkasti suuttimeen nähden.

4.2 Robotti

Asetinlaitteen tilalla tullaan käyttämään Fuji Ace -tyyppistä neljäakselista lavausrobottia. Malliltaan robotti on joko EC-101 tai EC-171 (kuva 4.1). Toiminnaltaan mallit ovat samanlaisia. Erona niissä on nostokyky, rakenteen paino ja liikenopeus. Erkomat käyttää jo kyseisiä robotteja piensäkkien lavauksessa. Tuotantotiloissa sijaitsevassa testilaboratoriossa Erkomatilla on testikäytössä EC-101 -mallinen robotti, jolla voidaan testata erilaisien säkkien lavausmahdollisuuksia. Tässä tapauksessa robotilla voidaan tulevaisuudessa testata valmista työkalua.



Kuva 4.1 EC-171-robotti (Erkomat, kotisivut)

Kuvasta 4.1 nähdään EC-171-robotin varteen kiinnitetty nostotyökalu. Robotti on suunniteltu nimenomaan lavausta varten, joten tähän tarkoitukseen on saatavissa monia erilaisia työkaluja.

Taulukosta 4.1 nähdään robottien tekniset tiedot. Robottia on saatavana myös viisiakselisena, jolloin sillä on yksi vapausaste enemmän. Työkalun suunnittelun kannalta, viisiakselisen robotin käyttö mahdollistaisi työkalun yksinkertaisemman rakenteen, mutta kokonaiskustannuksiltaan tämä vaihtoehto tulisi jäämään kalliimmaksi. Tästä syystä Erkomat päätyi käyttämään neljäakselista perusmallia.

Taulukko 4.1 Robottien tekniset tiedot (Erkomat, kotisivut)

Technical specifications:			
Model	EC-101	EC-171	
Mechanism	Fully Articulated		
Action Mode	Cylindrical		
Weight Capacity (including hand)	120 kg	110 kg	
Palletizing Capacity (cycles/ hour)	1000 c/hr	1500 c/hr	
Degree of Freedom	Standard 4 Axes (upto 5 Axes)		
Operational Space	- Z Axis (vert.)	2300 mm	2400 mm
	- R Axis (long.)	1500 mm	1600 mm
	- θ Axis (turn)	330 °	
	- α Axis (wrist)	330 °	
Hand Gripper	Clamp, Fork, Vacuum and Various Options		
Memory	30 Palletizing Blocks (up to 400 optional)		
Teaching Method	Teaching Playback or Support/ Teachingless (Option)		
Power (220 V 3-ph. 50 Hz)	2 kVA	3 kVA	
Main Body Weight (without hand)	800 kg	750 kg	

4.3 Lähtötiedot

Ennen suunnittelun aloittamista määriteltiin työkalulle vaatimuslista (taulukko 4.2), minkä pohjalta työkalun suunnittelu aloitettiin. Vaatimuslista tehtiin tuotekehityspäällikön avustuksella.

Työkalun tulee tehdä kolmea eri toimintoa. Ensimmäinen toiminto on säkin kiinniotto noutopöydältä, toinen toiminto on säkin kääntö suuttimeen nähden oikeaan kulmaan ja kolmas toiminto on säkin asettaminen robotin avulla suuttimeen.

Taulukko 4.2 Vaatimuslista

ERKOMAT	VAATIMUSLISTA
V/T	Työkalun vaatimukset
	Geometria:
V	Yhteensopiva suuttimen ja aukirullaajan avausmekanismin kanssa
	Toiminnalliset vaatimukset:
V	Säkistä kiinniotto, säkin kääntö oikeaan asentoon ja säkin asettaminen suuttimeen
V	Kestettävä erilaisten säkitysmateriaalien korroosiovaikutukset
V	Riittävän jäykkä rakenne robotin ohjelmoinnin kannalta
V	Toimilaitteiden oltava pneumaattisia
T	Mahdollisimman varmatoiminen
	Valmistus:
T	Yksinkertainen rakenne
T	Mahdollisimman kevyt (max 50kg)
	Siirtymät ja jännitykset:
V	Maksimi jännitys $< 100\text{N/mm}^2$
V	Siirtymät eivät saa rajoittaa työkalun toimintaa

Taulukosta 4.2 nähdään, että työkalun paino saa olla enintään 50 kg. Vaikka robotin kantokyky on yli 100 kg, niin pienemmällä työkalun massalla mahdollistetaan robotin nopeammat ja tarkemmat liikkeet. Muutorajoitteita työkalulle asettaa aukirullaajan avausmekanismi sekä täyttösuihin. Toimilaitteiden on oltava pneumaattisia.

4.4 Toimilaitteet

Pneumaattisten sylinterien käyttö työkalussa on edullisempaa ja yksinkertaisempaa verrattuna sähköisiin tai hydraulisiin toimilaitteisiin. Säkitysasema vaatii toimiakseen paineilmaa, joten työkalulle saadaan tätä kautta paineilmaliihtä, ilman että tarvitsee asentaa erillistä paineilmakompressoria.

Pneumaattisten sylintereiden teoreettiset voimat saadaan helposti laskettua kaavalla 4.1 kertomalla männän pinta-ala käytettävällä paineella. (Valtanen, E. 2008)

$$F = A * p \quad (4.1)$$

jossa:

F = voima

A = pinta-ala

p = paine

On kuitenkin huomioitava, että sylintereiden hyötysuhde vaikuttaa sylinteristä saatavaan voimaan. Rakenteeseen syntyvät kitkat sekä mahdolliset ilmavuodot vaikuttavat sylinterin hyötysuhteeseen. Tämä huomioidaan kertomalla teoreettinen sylinterivoima kertoimella 0,5...0,8 (Pimatic Oy. 1987)

Sylinterivoimista rakenteisiin aiheutuvia tukireaktioita sekä voimakomponentteja voidaan selvittää momenttitasapainon avulla. Kappale on tasapainossa silloin, kun momenttien summa on nolla. (Valtanen, E. 2008)

$$\Sigma M = 0$$

$$M = F * r \quad (4.2)$$

jossa:

M = momentti

F = voima

r = voiman etäisyys momenttipisteestä

5 LAITTEEN IDEOINTI JA SUUNNITTELU

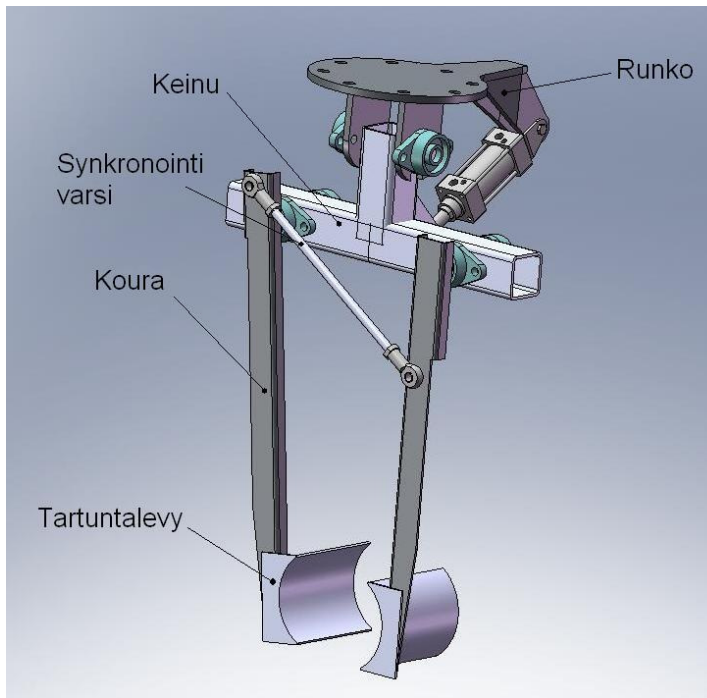
Alustavassa suunnittelussa tehdään muutamia karkeita malleja siitä, millainen työkalu voisi mahdollisesti olla. Mallit eivät ole tarkoissa mittoissa, eivätkä täsmälleen oikean muotoisia, vaan ne ovat ainoastaan ajatuksia, mitkä ovat siirretty tietokoneelle. Luonnokset ovat tehty SolidWorksilla.

5.3 Alustavat ideat

Perusidea miten työkalun tulisi toimia, on otettu nykyisestä asetinlaitteesta. Erilaisia rakenneratkaisuja suunniteltaessa keksittiin kolme erillaista vaihtoehtoa. Näiden kolmen ratkaisun ominaisuuksia verrataan keskenään, joista parasta vaihtoehtoa alettiin jatkokehittää.

5.3.1 Työkalun rakennevaihtoehto 1

Ensimmäisessä luonnoksessa (kuva 5.1) keinun kääntö tapahtuu yhdellä sylinterillä. Keinu koostuu kahdesta rhs-profiilista, jotka hitsataan toisiinsa kiinni. Myös varsien liike toteutetaan yhdellä sylinterillä. Säkin tartuntalevyt ovat muotoiltu kaareviksi, jotta saadaan suurempi tartuntapinta-ala. Tartuntalevyjen on tarkoitus mennä valmiiksi avatun säkinkauluksen sisäpuolelle. Tämän jälkeen kouria ajetaan sylinterin avulla kauemmas toisistaan, jolloin säkki jää kouralevyihin kiinni.

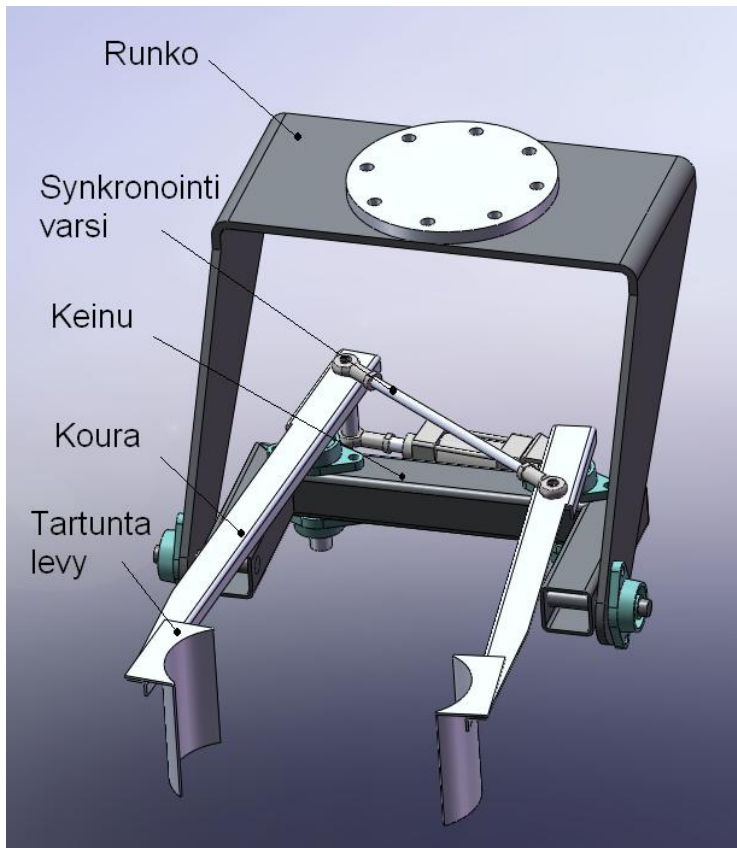


Kuva 5.1 Rakenne 1

Kuvasta 5.1 nähdään, että keinun laakerointipisteet rungossa ovat melko lähellä toisiaan, mikä saattaa tehdä rakenteesta epävakaan. Nivelpisteen paikka sylinteriin nähden on myös hieman epäedullinen. Etuna tällä rakenteella on sen keveys sekä yksinkertainen rakenne.

5.3.2 Työkalun rakennevaihtoehto 2

Toisessa luonnoksessa (kuva 5.2) ajatuksena on siirtää keinun laakerointipisteet mahdollisimman kauas toisistaan, vakaan rakenteen saavuttamiseksi. Keinun kääntö tapahtuu kahdella sylinterillä. Nivelpiste on suunniteltu keinun puoliväliin, jotta saadaan pienennettyä sylinteriin kohdistuvia voimia. Tässä mallissa kouran liikuttaminen tapahtuu yhdellä sylinterillä.

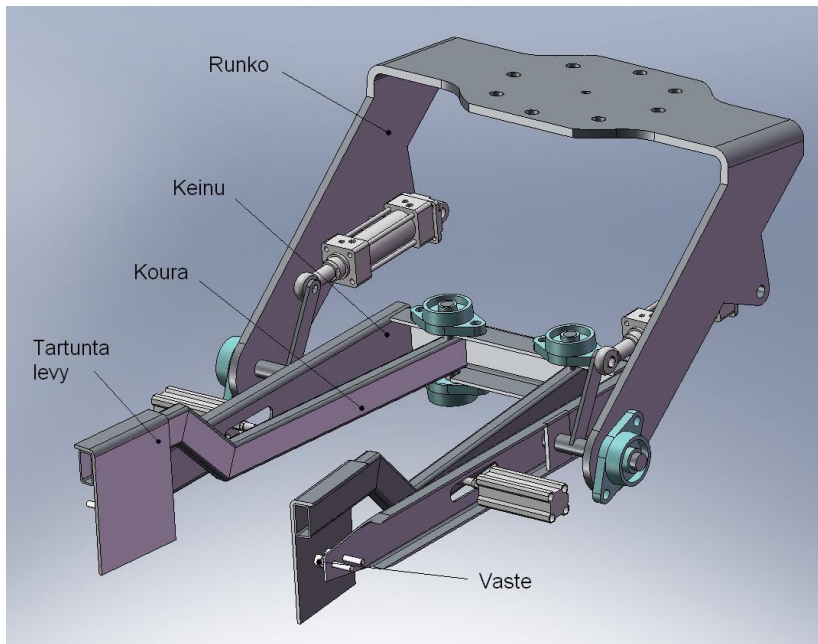


Kuva 5.2 Rakenne 2

Kuvasta 5.2 nähdään kourien välissä oleva synkronointivarsi, joka mahdollistaa kourien liikuttamisen yhden sylinterin avulla. Tämän tyylistä ratkaisua on käytetty aikaisemmissa asetinlaitteissa. Tämän tyyllisellä rakenteella kouran sylinteriin kohdistuu melko suuri voima, mikä aiheuttaa myös rakenteeseen suuria voimia ja jännityksiä. Rakenteen tartuntatyöli säkistä on samanlainen kuin rakenne 1:ssä

5.3.3 Työkalun rakennevaihtoehto 3

Kolmannessa rakennemallissa (kuva 5.3) on samanlainen keinuratkaisu kuin toisessa rakenteessa. Rakenteellisena erona tässä mallissa on kouran laakeroinnin sijoittaminen keskelle keinun runkoa sekä kouran toimiminen kahden sylinterin avulla.



Kuva 5.3 Rakenne 3

Kuvasta 5.3 nähdään, että rakenteen toimintaperiaatetta on erilainen kuin kahdessa aikaisemmassa rakennemallissa. Tarkoituksena on viedä tartuntalevyt säkin kauluksen sisäpuolelle, jonka jälkeen kouria ajetaan kauemmaksi toisistaan, niin pitkälle että tartuntalevyt törmäävät kuvasta 5.3 nähtäviin vasteisiin. Vasteet ovat säädetty siten, että säkki ei kiristy pelkästään tartuntalevyjä vasten, vaan vasteiden ja tartuntalevyjen väliin. Tällöin kourien väliin jäävä osuus säkistä on löysä, mikä helpottaa sen asettamista suuttimelle.

5.4 Lopullisen rakenteen valinta

Kolmea eri rakennetta vertailtaessa, käytettiin apuna painoarvotaulukkoa (taulukko 5.1). Tarkastelun kohteena ovat ominaisuudet, jotka vaikuttavat eniten rakennemallin toimintaan. Jokaiselle rakenteelle annetaan eri ominaisuuksista pisteet asteikolla 1–5. Tämän jälkeen annetut pisteet kerrottiin painoarvokertoimella.

Taulukko 5.1 Painoarvotaulukko

Ominaisuus	Painoarvo	Rakenne1	Rakenne2	Rakenne3
Rakenteen paino	3	5	4	3
Varmatoimisuus	4	3	4	5
Yksinkertaisuus	2	5	3	2
Toimintaperiaate	5	3	3	5
Yhteensä		52	49	58

Taulukosta 5.1 nähdään, että rakenne 3 sai parhaat pisteet. Tähän tulokseen vaikutti eniten rakenteen toimintaperiaate sekä varmatoimisuus. Nivelpisteen sijoitus rakenteessa, jolla saadaan vähennettyä sylintereille kohdistuvia voimia, oli myös merkittävä tekijä pisteitä annettaessa. Vaikka tässä mallissa on muihin nähden eniten sylintereitä, pidettiin sitä silti varmatoimisimpana ratkaisuna muihin verrattuna.

6 TYÖKALUN SUUNNITTELU

Parhaan rakennemallin valinnan jälkeen siirryttiin työkalun tarkempaan suunnitteluun. Suunnittelu vaati lukuisia mittauksia sekä käyntejä tuotantotiloissa. Myös Pro Engineer-ohjelman käytön opettelu vaati oman aikansa. Pro Engineerillä tehtiin työkalun komponenteista lopulliset 3D-mallit ja piirustukset.

Ennen työkalun mallintamista jouduttiin laskemaan sylintereiltä vaadittavat voimat. Lisäksi oli varmistettava tiettyjen osien kestävyys lujuuslaskentaohjelmalla.

6.1 Sylinterivoimien laskenta

Aikaisemmassa asetinlaitteessa käytettiin Feston pneumaattista sylinteriä. Sylinterin malli oli dncb-63- 600. Dncb tarkoittaa sylinterin mallia, 63 tarkoittaa sylinterin halkaisijaa ja 600 tarkoittaa männän iskun pituutta. Sylintereissä, joiden halkaisija on 63 mm, käytetään 20 mm:n männän vartta (taulukko 6.1).

Taulukko 6.1 Sylinterien voimataulukko (Pimatic Oy. 1987)

Syl. Ø mm	M-varsi Ø mm	Pinta-alat cm ²		Vaimennus		Syl. voimat + liikkeellä N			
		+ liike	- liike	pit. mm	p-ala cm ²	0,2 MPa	0,4 MPa	0,6 MPa	0,8 MPa
32	12	8	6,9	15	6	160	320	480	640
40	16	12,5	10,5	18	9,4	250	500	750	1000
50	20	19,6	16,5	19	13,7	390	780	1170	1560
63	20	31	28	24	26	620	1240	1860	2480
80	25	50	45	27	42	1000	2000	3000	4000
100	32	78	70	32	70	1560	3120	4680	6240
125	32	122	114	39	109	2440	4880	7320	9760
160	40	200	180	41	180	4000	8000	12000	16000
200	50	314	294	44	283	6280	12560	18840	25120
250	63	490	460	48	459	9800	19600	29400	39200
320	70	800	765	50	750	16000	32000	48000	64000

1 MPa = 10 bar 1 N = 0,102 kp

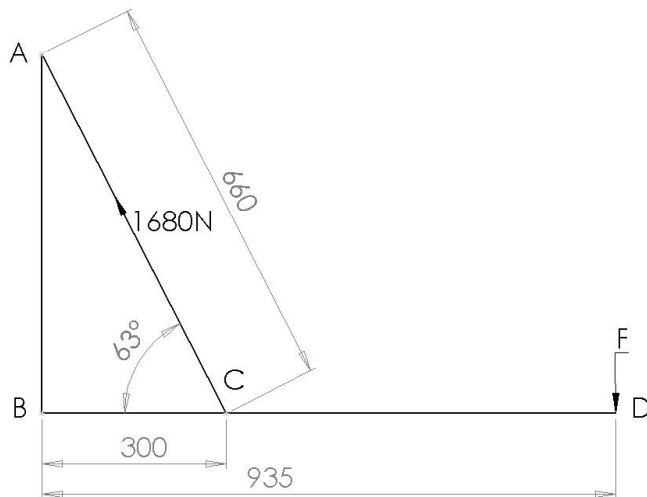
Taulukossa olevat voimat ovat teoreettisia + liikkeellä. Käytännössä sylinterin voimaksi valitaan n. 0,5... 0,8 kertaa taulukkoarvo.

Pajalla tehdyssä testissä huomattiin, että säkkiä asetettaessa suuttimeen, asetinlaitteen sylinteri joutuu toimimaan aivan ääri rajoilla. Jos säkki olisi ollut edes vähääkään raskaampi asettaa suuttimeen, ei sylinterin voima olisi riittänyt. Taulukosta 6.1 voidaan todeta, että halkaisijaltaan 63 mm:n sylinteri kykenee teoriassa tuottamaan plus liikkeellä 1890 N:n voiman 0,6 Mpa:n paineella. On kuitenkin huomioitava, että nykyinen asetinlaite on suunniteltu asettamaan säkkiä suuttimeen sylinterin ollessa miinusliikkeessä. Tämä aiheuttaa sen, että sylinteristä saatava voima on pienempi kuin taulukon ilmoittama plusliikkeen voima. Kyseinen voima voidaan laskea kaavan 4.1 avulla (s.15), jossa männän pinta-alasta on vähennetty männän varren pinta-ala.

$$F = 2800\text{mm}^2 * 0,6\text{N} / \text{mm}^2 = 1680\text{N}$$

Laskun perusteella voidaan todeta, että sylinterissä vaikuttava voima on 1680 N. Tätä arvoa voidaan pitää työkalun suunnittelun lähtöarvona.

Seuraavaksi lasketaan asetinlaitteen toimintamittapiirroksesta (kuva 6.1) kouran päässä vaikuttava voima säkin asettamishetkellä.



Kuva 6.1 Asetinlaitteen toimintamittapiirros

Kuvassa 6.1 A ja C piste kuvaavat sylinterin kiinnityskohtia, piste B kuvaa kouran laakerointipistettä ja piste D kuvaa kouraan kohdistuvan voiman keskikoh-
taa. Kuvassa esiintyvä mitta 660 tarkoittaa sylinterin kokonaispituutta miinus
tilassa. Sylinterivoiman pystysuuntainen voimakomponentti voidaan laskea kaa-
van 6.1 avulla. (Kangasaho, Mäkinen, Oikkonen, Paasonen & Salmela. 1995)

$$\sin \alpha = \frac{h}{b} \quad (6.1)$$

jossa:

α =sylinterin ja kouran kulma

h =sylinterivoiman pystykomponentti

b =Sylinterivoima

$$\sin 63^\circ * 1680N = 1496,8 \approx 1500N$$

Sylinterivoiman pystysuuntainen komponentti on 1500N. Tätä arvoa käytetään
kouraan kohdistuvan voiman laskennassa. Momenttitasapaino saadaan lasket-
tua kaavan 4.2 avulla (s.15).

$$F = \frac{1500N * 0,3m}{0,935m} \approx 480N$$

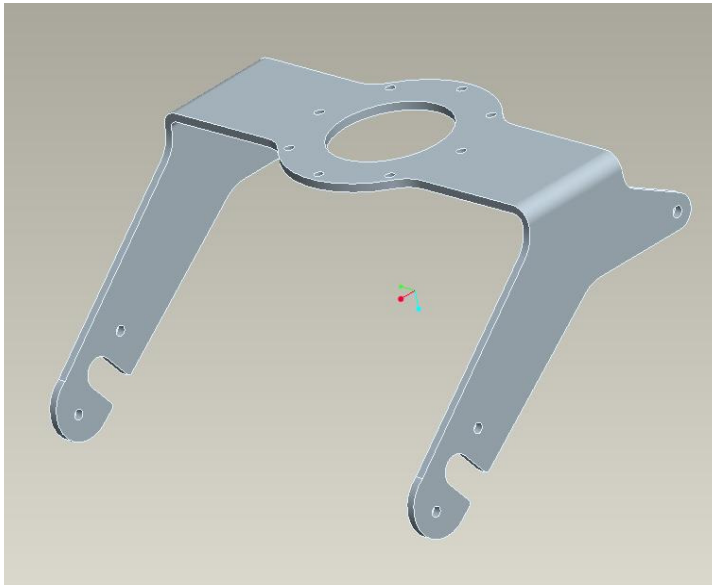
Laskelmien perusteella voidaan todeta, että asetinlaitteen kouraan kohdistuu 480 N:n suuruinen voima. On kuitenkin huomioitava, että asetinlaitteen kouran paino aiheuttaa suuren osan tästä voimasta. Pajalla tehdyn mittauksen mukaan omasta painosta pisteeseen D kohdistuu 17,3 kg:n suuruinen massa, mikä vastaa 170 N:ia. Ilman oman painon vaikutusta, kouraan kohdistuu 310 N:n suuruinen voima. Tätä arvoa hyödynnetään myöhemmin, mitoitettaessa työkalun sylintereitä.

6.2 Työkalun komponentit

Työkalu koostuu yhteensä 25:stä eri metalli- ja ostokomponentista. Laser-osat teetetään Ht-laser Oy:ssä, jossa tehdään myös laser leikattujen kappaleiden särmäykset. Laserosat toimitetaan Erkomatille, jossa osat hitsataan ja viimeistellään. Pintakäsittelyä vaativat osat viedään Kotka Coatings Oy:lle maalaukseen.

6.2.1 Runko

Rungon (kuva 6.2) materiaalina käytetään S235JRG2 rakenneteräslevyä. Runkoon tulee kiinnitysreiät robotin laipalle, kahdelle sylinterille sekä kahdelle laakerille.

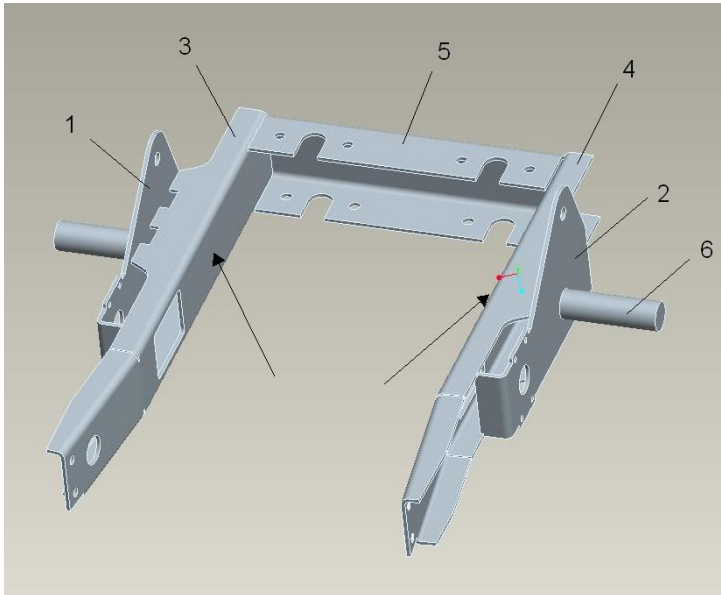


Kuva 6.2 Runko

Pienikin virhe rungon mitoissa tai särmäyksessä voi aiheuttaa eri osien sopimattomuuden keskenään. Tämän takia runko leikataan levystä laserin avulla, jotta muoto ja reiät tulisivat mahdollisimman tarkasti tehtyä. Leikkauksen jälkeen levy särmätään kuvasta 6.2 nähtävällä tavalla. Rungon painoa pienennetään teemmällä robotin kiinnitysreikien keskelle jäävään alueeseen reikä.

6.2.2 Keinuu

Keinu valmistetaan kuudesta erilaisesta komponentista (kuva 6.3). Kappaleet 1 ja 2 sekä 3 ja 4 ovat toistensa peilikuvia. Osat 1–5 valmistetaan rakennelevystä laserilla leikkaamalla. Osa 6 katkaistaan pyörötangosta sahalla oikean kokoiseksi. Materiaalina käytetään S235 terästä. Keinuu laakeroidaan runkoon osaan 6 asennettavien laakereiden avulla. Keinun muotoa suunniteltaessa oli huomiotava täyttösuuttimen muoto.

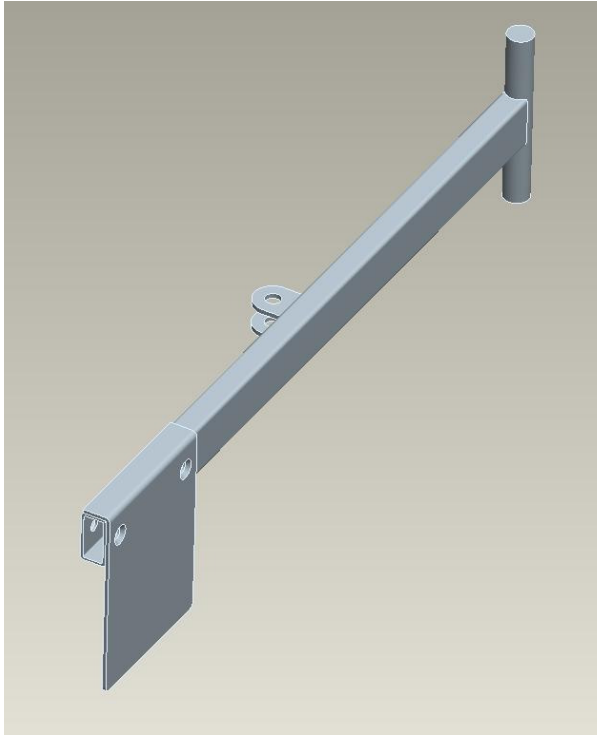


Kuva 6.3 Keinuu

Keinua rakennettaessa osiin 3 ja 4 tehdään reiät nuolen osoittamiin paikkoihin (kuva 6.3). Reiän halkaisija on sama kuin pyörötangon halkaisija. Kun kaikki osat ovat valmistettu hitsausta varten, työnnetään ylipitkä pyörötanko osiin 3 ja 4 tehtyjen reikien läpi. Tämän jälkeen osat hitsataan kiinni toisiinsa. Kun kaikki hitsit ovat tehty, leikataan keinun väliin jäävä pyörötanko pois. Tällä menetelmällä varmistetaan, että niveltapit ovat varmasti samassa linjassa keskenään jolloin koneen toimintavarmuus paranee. Edellä mainittu rakennustapa on ainoastaan ehdotus, jota Erkomat voi halutessaan käyttää. Rakennustavan edellyttämiä rakennemuutoksia ei näy työkuivissa.

6.2.3 Koura

Koura valmistetaan neljästä erilaisesta komponentista. Materiaalina käytetään S235 terästä. Varren päähän hitsattavaan pyörötankoon kiinnitetään kasaussvaiheessa laakerit, mitkä mahdollistavat kouran liikkeen. Varren keskivaiheilla oleviin korvakkeisiin kiinnitetään kouraa liikuttava sylinteri.



Kuva 6.4 Koura

Työkalu on suunniteltu toimimaan kahden kouran avulla. Kuvasta 6.4 nähtävän kouran varsi on muotoiltu symmetriseksi, jotta kouralevyn kiinnitys on mahdollista molemmin puolin vartta. Tämä mahdollistaa sen, että samaa vartta voidaan käyttää kummallakin eri puolella. Lisäksi varresta tarvitaan tehdä ainoastaan yksi työpiirustus kahden sijaan.

Alkuperäisessä rakennemallissa kouran varsi oli muotoiltu käyräksi. Varsi päätettiin kuitenkin muuttaa suoraksi, koska tällä muodolla rakenteesta tulee kestävämpi ja helpompi valmistaa. Varren muotoilu vaikuttaa säkin tartuntapisteen muuttumiseen, mutta tämä huomioidaan keinuun asennettavalla vasteella.

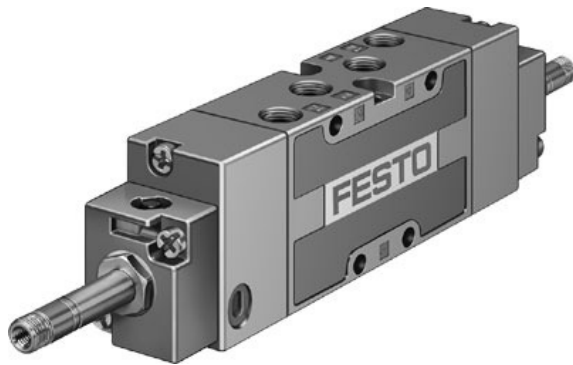
6.2.4 Laakerit

Työkaluun tarvitaan yhteensä kuusi eri laakeria. Laakerit valittiin Erkomatin varastolistalta. Näin varmistetaan laakereiden helppo ja nopea saatavuus valmistuksessa sekä mahdollisten varaosatoimitusten varalle.

Keinu tarvitsee kaksi laakeria, jotka kiinnitetään keinun niveltappeihin sekä runkoon niille kuuluville paikoille. Laakeriksi valittiin SKF:n laakeriyksikkö UCFL 205. Kourat vaativat yhteensä neljä kappaletta laakereita. Tähän tarkoitukseen sopii hieman pienempi SKF:n laakeriyksikkö UFL 004.

6.2.5 Sylinterit ja venttiilit

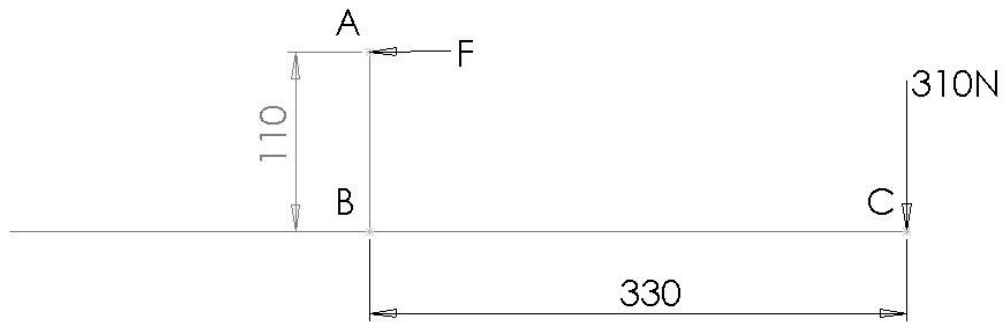
Erkomat käyttää kaikissa laitteissaan Feston pneumatiikkakomponentteja, joten on luonnollista, että tässäkin työkalussa käytetään Feston valmistamia sylintereitä ja venttiileitä (kuva 6.1).



Kuva 6.5 Suuntaventtiili 5/3 (Festo, tuotekatalogi)

Kouran sylintereiden venttiiliksi valittiin kuvan 6.5 5/3 suuntaventtiili. Työkierron ollessa siinä pisteessä, jolloin robotti on tuonut säkin suuttimelle ja suuttimen sylinterit ovat ottaneet säkistä kiinni, on työkalun laskettava säkistä irti. Tässä vaiheessa kytketään venttiilistä vapaa keskiasento päälle, jolloin ilma pääsee poistumaan sylinterin männän molemmin puolin. Tämä aiheuttaa sen, että kouran varsissa ei ole kumpaankaan suuntaan voimia, jolloin säkki irtoaa kouran otteesta ja työkalu voidaan ajaa pois suuttimelta hakemaan uutta säkkiä. Normaalilla 5/2 venttiilillä käytettäessä, sylinteri joudutaan ajamaan aina toiseen ääriasentoon, jolloin se törmäisi tässä tapauksessa suuttimen runkoon. Tämän vuoksi se ei sovellu tähän tarkoitukseen, mutta keinun venttiiliksi se sopii toimintansa puolesta.

Ennen kuin voidaan valita keinun kääntösylinterin koko, on määritettävä sylinteriltä vaadittava voima. Luvussa 6.1, Sylinterivoimat, määritettiin kouraan kohdistuva voima. Tätä voimaa hyödynnetään keinun toimintamittapiirroksessa (kuva 6.6), jonka avulla saadaan selville sylinteriltä vaadittava voima.



Kuva 6.6 Keinun toimintamittapiirros

Kuvassa 6.6 piste A kuvaa keinun kiinnityskohtaa sylinterille, piste B kuvaa keinun laakerointi pistettä ja piste C kuvaa kouraan välittyvän voiman vaikutuspistettä. Sylinterivoima F saadaan selville laskemalla kappaleen momenttitasapaino kaavalla 4.2 (S.15).

$$F = \frac{310N * 0,33m}{0.11m} = 930N$$

Laskennan perusteella voidaan todeta, että sylintereiltä vaaditaan yhteensä 930 N:n suuruinen voima. Koska sylintereitä on kaksi, kohdistuu yhdelle sylinterille 465N:n suuruinen voima. Taulukon 6.1 perusteella valitaan sylinterin kooksi 40 mm. Nämä arvot ovat kuitenkin teoreettisia arvoja. Käytännössä sylinterivoimana käytetään arvoa 0,5...0,8 kerrottuna taulukkoarvolla (Pimatic Oy. 1987. Pneumatiikkaa). Lisäksi on huomioitava, että työkalu asettaa säkkiä paikalleen keinun sylintereiden ollessa miinusliikkeessä, jolloin sylintereistä saatava voima on pienempi. Tämä saadaan laskettua kaavan 4.1 avulla (s.15).

$$F = 1050mm^2 * 0,6N / mm^2 = 630N$$

Lopuksi tehdään ohjesäännön mukainen tarkastuslasku, jolla huomioidaan sylinterin hyötysuhde.

$$630N * 0,8 = 504N$$

Tarkastuksen jälkeen voidaan todeta, että halkaisijaltaan 40 mm:n sylinteri on riittävä keinun kääntöä varten. Sylinterityypiksi valitaan Feston kaksitoiminen sekä päätyvaimennettu Dncb-sarja (kuva 6.7). Malli on sama, jota käytetään nykyisessä asetinlaitteessa.



Kuva 6.7 Feston Dncb-sylinterimalli (Festo, tuotekatalogi)

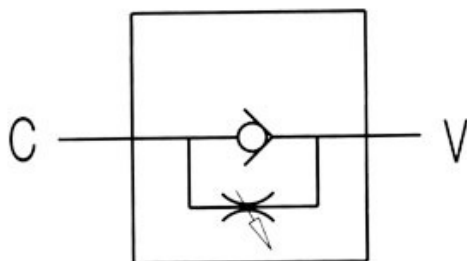
Varren sylintereiksi valittiin Dncb 32–80. Nykyisessä asetinlaitteessa käytetään säkin kiinnitysmekanismissa halkaisijaltaan 32 mm:n sylinteriä. Sylinterin koko on todettu käytännössä sopivan kokoiseksi, joten työkalussa tullaan käyttämään samankokoista sylinteriä. Sylinterille asennetaan myös paineenrajoitusventtiili, jolla voidaan säätää varsien optimaalinen puristusvoima. Sylinteri kiinnitetään keinuun korokepalojen päälle kiinnikesarjan (kuva 6.8) avulla. Kiinnikesarja sallii sylinterin liikkumisen yhden vapausasteen verran.



Kuva 6.8 Feston sylinterikiinnikesarja (Festo, tuotekatalogi)

Koneenrakennuksessa sallitaan aina rakenteille tietyn verran mittavaihtelua. Tässä tapauksessa, jos työkalun sylinterien kiinnityspisteisiin syntyisi suurin mahdollinen mutta kuitenkin valmistustoleranssien sisällä oleva mittavaihtelu, aiheuttaisi se sylintereihin suurempaa rasitusta ja sitä kautta kuluttaisi sylinterin nopeammin käyttökelvottomaksi. Tämä ehkäistään käyttämällä sylinterien varsisissa kuvasta 6.8 nähtävää nivelpäätä. Nivelpää sallii tietyn verran linjavirhettä, jolla eliminoidaan mahdollisten valmistustoleranssien aiheuttamat negatiiviset vaikutukset.

Sekä kouran että keinun sylintereiden liikenopeutta rajoitetaan käyttämällä vastusvastaventtiileitä (kuva 6.9). Vastusvastaventtiili sallii ilman vapaan virtaamisen toiseen suuntaan, mutta toiseen suuntaan virtauksen määrä on säädettävissä.

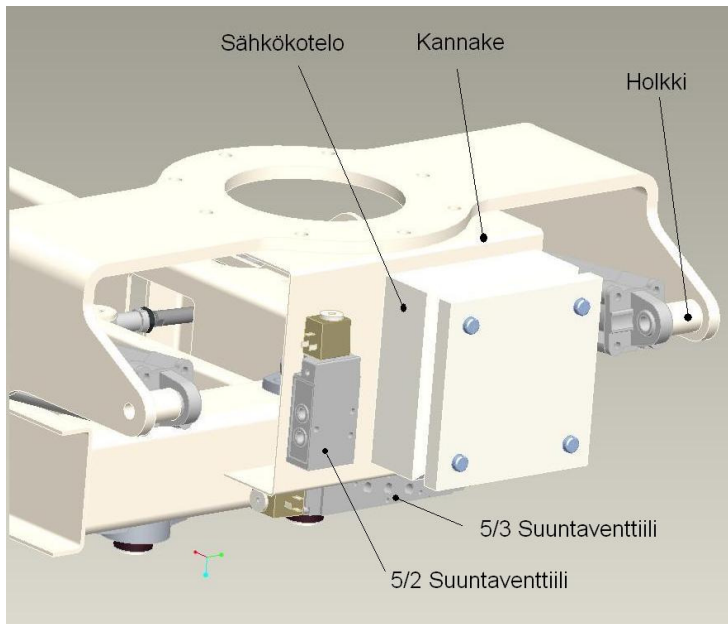


Kuva 6.9 Vastusvastaventtiilin piirrosmerkki

Kuvan 6.9 tyyppistä vastusvastaventtiiliä käytetään sylinteristä poistuvan ilmapirtauksen säätämiseen. Näin ollen sylinterin sisällä vallitsee koko ajan täysi paine, mikä tekee sylinterin liikkeestä tasaisemman.

6.2.6 Muut osat

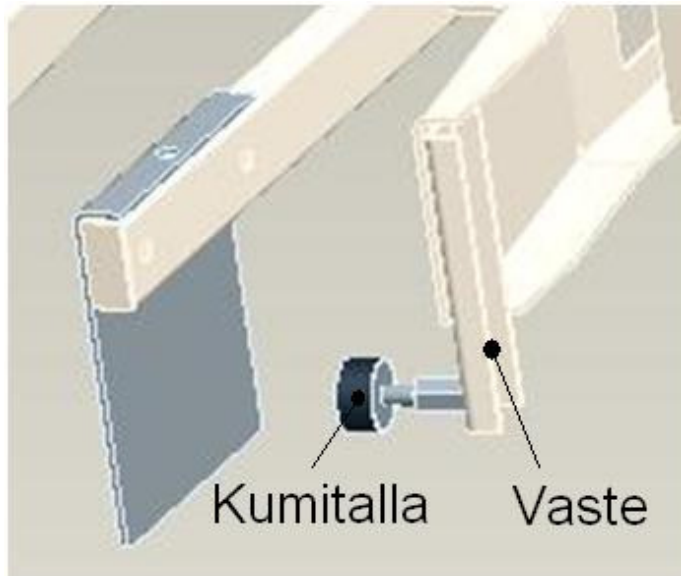
Edellä mainitut osat ovat työkalun toiminnan kannalta keskeisimpiä ja monimutkaisimpia komponentteja. Työkalu vaatii kuitenkin toimiakseen myös joukon pienempiä ja yksinkertaisempia osia (kuvat 6.10 ja 6.11).



Kuva 6.10 Työkalun muut osat 1

Työkalussa käytettävät suuntaventtiilit ovat sähköohjattuja, joten työkaluun piti asentaa sähkökotelo sähkökomponentteja varten. Kotelo asennetaan työkaluun erillisen kannakkeen avulla. Samaan kannakkeeseen asennetaan myös itse venttiilit kuvan 6.10 osoittamalla tavalla. Lisäksi keinun kääntösylinterit oli asennettava erillisten holkkien avulla tietyn etäisyyden päähän rungosta.

Työkalun toimintaperiaatteen takia oli kouran tartuntalevyille suunniteltava vaste, jota vasten tartuntalevy painaa säkin kaulusta. Vasteen päähän asennetaan kumitalla, säkin rikkoutumisen välttämiseksi (kuva 6.11).



Kuva 6.11 Työkalun muut osat 2

Kuvasta 6.11 nähdään keinun päähän asennettava vaste. Kouran sylinterin ollessa miinustilassa kouran varsi on erittäin lähellä keinun runkoa. Tämän takia vaste kiinnitetään keinuun kahdella uppokantaruuvilla, jotta vältetään osien mahdollinen kosketus toisiinsa.

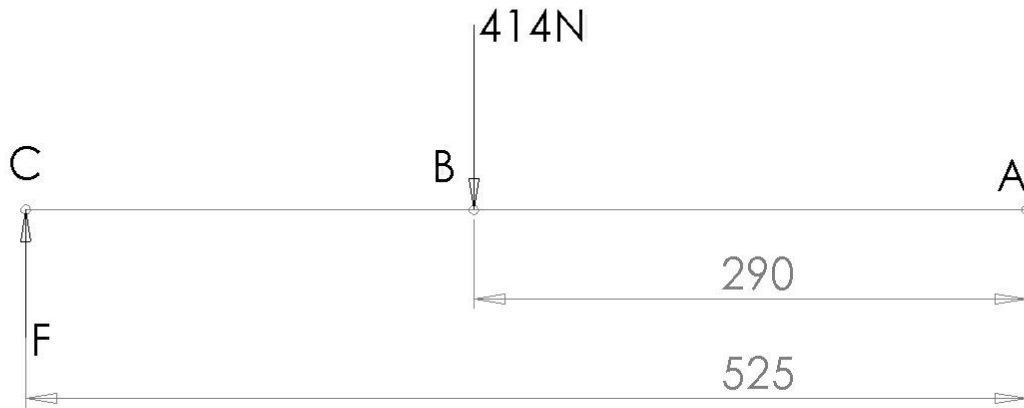
6.3 Lujuuslaskenta

Lujuustarkastelu suoritettiin CosmosWorks -ohjelmalla. Tarkastettavaksi kohteeksi valittiin keinuun kiinnitettävä vaste sekä säkkiä avaava koura. Nämä osat joutuvat suhteessa suurimman rasituksen alaiseksi. Mallit ovat tehty SolidWork-silla ja siirretty sieltä CosmosWorksiin. Malleja on hieman yksinkertaistettu lujuustarkastelua varten, mutta se ei vaikuta olennaisesti tuloksiin.

Ennen Cosmoksella tehtävää lujuustarkastelua on laskettava, millä voimalla koura painaa tartuntalevyjä vastetta vasten. Tässäkin tapauksessa sylinteri on miinustilassa tarttuessaan säkistä kiinni.

$$690\text{mm}^2 * 0,6\text{N} / \text{mm}^2 = 414\text{N}$$

Sylinteri tuottaa 414 N:n voiman. Tätä voimaa käytetään hyödyksi kouran toimintamittapiirroksessa (kuva 6.12).

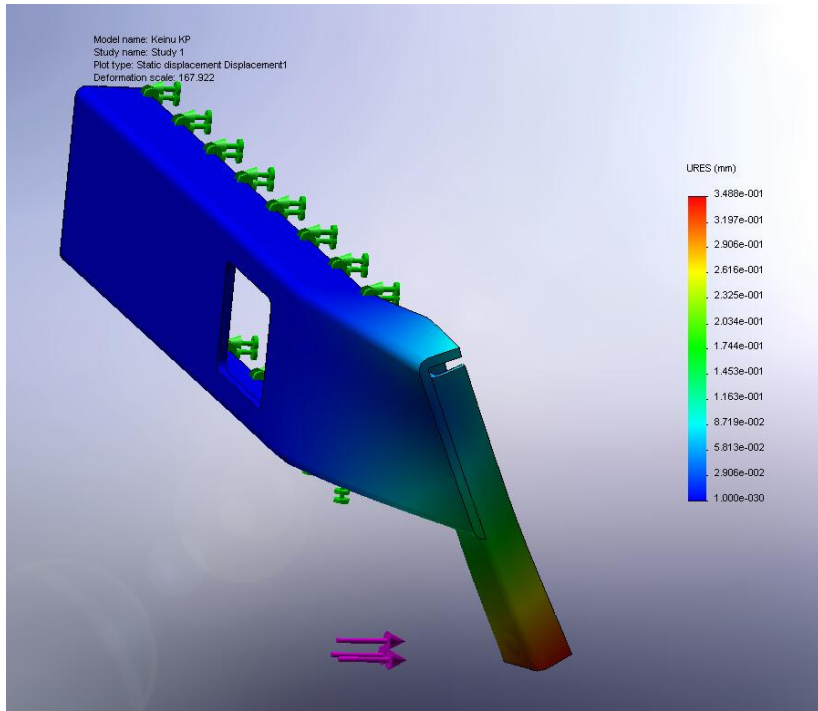


Kuva 6.12 Kouran toimintamittapiirros

Kuvan 6.12 toimintamittapiirroksen avulla voidaan laskea tartuntalevyyn kohdistuva voima. Piste A kuvaa kouran laakerointipistettä, piste B kuvaa sylinterin kiinnityskohtaa ja piste C kuvaa tartuntalevyyn kohdistuvaa voimaa. Voiman F laskennassa käytetään kaava 4.2 (s.15)

$$F = \frac{414N * 0,29m}{0,525m} \approx 230N$$

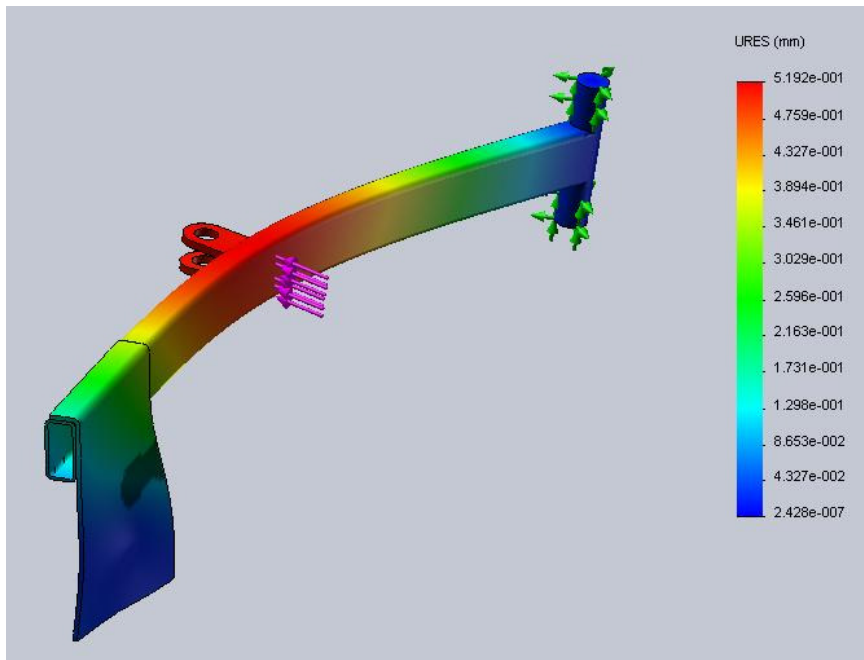
Vasteen lujuustarkastelussa käytetään 230 N:n sylinterivoimaa. Voima kohdistuu kuvan 6.13 osoittamalla tavalla kohtisuorassa vasteen kumitallaa vasten.



Kuva 6.13 Vasteen lujuustarkastus

Kuvasta 6.13 nähdään, että vasteen päähän, kumitallan kohdalle syntyy noin 0.34 mm:n siirtymä.

Seuraavaksi lujuustarkastelun kohteena on koura (kuva 6.14). Kiinnityspisteiksi on määritelty varren niveltappi sekä tartuntalevystä se alue, mihin kumitalla osuu. Niveltapin tuenta on tasojen suunnassa kiinteä, mutta momenttia tuenta ei välitä. Tartuntalevyn liikkuminen on estetty pintaa kohtisuorassa olevassa tasossa, kumitallan alueelta. Vartta vetävänä voimana käytetään 414 N: ia, mikä on kouran sylinterivoima.



Kuva 6.14 Kouran lujuustarkastus

Kuvasta 6.14 nähdään, että suurin siirtymä kourassa tulee olemaan noin 0,52 mm.

Kouralle sekä vasteelle tehtiin myös jännitystarkastelu CosmosWorksilla. Molemmissa tapauksissa maksimijännitykset jäivät reilusti alle 100 N/mm². Tämä tarkoittaa, että rakenteissa on yli 2,5 kertainen varmuus materiaalin myötörajaan nähden.

Tietokonepohjaisen lujuusanalyysin lisäksi laskettiin rakenteiden siirtymät myös käsinlaskentamenetelmällä, jotta saatiin tietokoneen ilmoittamille siirtymille vertailuarvot. Laskennassa käytettiin yksinkertaistettuja menetelmiä, koska ideana on ainoastaan varmistaa siirtymien oikea suuruusluokka.

Kouran taipumista selvitettiin kaavan 6.2 avulla (Karhunen, Lassila, Pyy, Ranta, Räsänen, Saikkonen & Suosara. 2001).

$$v = \frac{Pbx}{6LEI}(L^2 - b^2 - x^2) \quad (6.2)$$

Jossa:

v = Suurin siirtymä

P = Vaikuttava voima

x = Siirtymän tarkastelukohta

b = Vaikuttavan voiman etäisyys nivelpisteeseen

L = Kappaleen kokonaispituus

E = Kimmokerroin

I = Jäyhyysmomentti

$$\frac{414N * 290mm * 235mm}{6 * 525mm * 210000N / mm^2 * 13400mm^4} (525^2 - 290^2 - 235^2) = 0,43mm$$

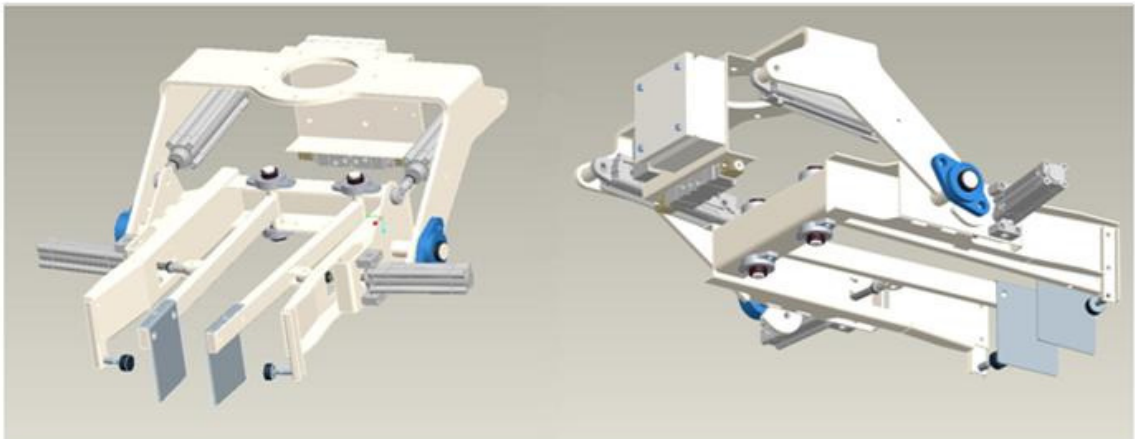
Käsinlasketun maksimisiirtymän suuruus oli 0,43 mm kun, taas Cosmoksella saatu tulos oli 0,52 mm. Käsinlaskennan tulokseen vaikutti se, että tartuntalevyä ei huomioitu laskussa millään tavalla. Jos tartuntalevy huomioitaisiin laskussa, se kasvattaisi hieman taipuman suuruutta, jonka jälkeen tulos olisi lähempänä Cosmoksella saatua tulosta. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että siirtymät ovat samaa suuruusluokkaa, joten niiden voidaan olettaa pitävän paikkansa.

Tehtyjen siirtymä- ja jännitysanalyysien pohjalta voidaan todeta, että rakenne tulee kestävämmän rikkoutumatta siihen kohdistuvat kuormitukset. Rakenteeseen syntyvät siirtymät ovat myös sen verran alhaisia, etteivät ne vaikuta työkalun toimintaan millään tavalla.

7 LOPPUTULOS JA PÄÄTELMÄT

Insinööriyön tuloksena sain suunniteltua suursäkitysautomaatin robottiin työkalun, mikä vastasi Erkomat Oy:n toiveita. Työkalusta tehtiin 3D-malli ja tarvittavat työpiirustukset. Työkalun valmistusta ei vielä ole ehditty aloittamaan, mutta tarkoitus on tehdä ensin protoversio työkalusta, josta selviää työkalun toimivuus ja mahdollisten rakennemuutoksien tarpeellisuus. Opinnäytetyön laajuuden johdosta työkalun logiikkaohjaus on kokonaisuudessaan suunnittelematta. Ohjauksen suunnittelu vaatisi enemmän aikaa ja syvällisempää perehtymistä automaatioon ja logiikkasuunnitteluun.

Työkalun rakenne pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta saatiin karsittua turha paino ja kustannukset pois. Valmistuspiirustuksia työkalusta syntyi yhteensä 13 kappaletta sekä yksi paineilmakaavio (liitteet 1–14). Työkalu sisältää yhteensä 32 kappaletta erilaisia 3D-malleja, joista kaksi on osakokoonpanoja ja yksi kuvassa 7.1 nähtävä pääkokoonpano.



Kuva 7.1 Työkalun pääkokoonpano

Robotin työkalun suunnittelu oli haastava ja mielenkiintoinen aihe opinnäytetyölle. Työssä joutui perehtymään uuteen suunnitteluohjelmaan, sylintereiden mitoitukseen, mekanismioppiin sekä työpiirustusten valmistamiseen. Aikaisemmissa suunnittelutöissäni olen lähinnä tehnyt olemassa oleviin laitteisiin parannussuunnitelmia. Tämä oli ensimmäinen kerta, kun suunnittelin uuden tuotteen

alusta loppuun asti. Työtä tehdessä tietämys koneenrakennuksesta ja pneumaatikasta kasvoi entisestään.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia työssä auttaneita henkilöitä. Erityiskiitokset haluan antaa opinnäytetyön ohjaajalle Ari Drombergille, joka neuvoi minua työkalun suunnittelussa sekä opasti uusien ohjelmien käytössä.

KUVAT

Kuva 3.1 SolidWorks-ohjelmalla tehty malli s.8

Kuva 3.2 CosmosWorksilla tehty jännitysanalyysi s.9

Kuva 3.3 Suursäkitysautomaatti s.10

Kuva 3.4 Asetinlaite s.11

Kuva 3.5 EC-171-robotti s. 13

Kuva 5.1 Rakenne 1 s. 17

Kuva 5.2 Rakenne 2 s. 18

Kuva 5.3 Rakenne 3 s. 19

Kuva 6.1 Asetinlaitteen toimintamittapiirros s. 22

Kuva 6.2 Runko s. 24

Kuva 6.3 Keinu s. 25

Kuva 6.4 Koura s. 26

Kuva 6.5 Suuntaventtiili 5/3 s. 27

Kuva 6.6 Keinun toimintamittapiirros s. 28

Kuva 6.7 Feston Dncb-sylinterimalli s. 29

Kuva 6.8 Feston sylinterikiinnikesarja s. 30

Kuva 6.9 Vastusvastaventtiilin piirrosmerkki s. 30

Kuva 6.10 Työkalun muut osat 1 s. 31

Kuva 6.11 Työkalun muut osat 2 s. 32

Kuva 6.12 Kouran toimintamittapiirros s. 33

Kuva 6.13 Vasteen lujjuustarkastus s.34

Kuva 6.14 Kouran lujjuustarkastus s.35

Kuva 7.1 Työkalun pääkokoonpano s.37

TAULUKOT

Taulukko 4.1 Robottien tekniset tiedot s. 13

Taulukko 4.2 Vaatimuslista s. 14

Taulukko 5.1 Painoarvotaulukko s. 20

Taulukko 5.2 Sylinterien voimataulukko s. 21

LÄHTEET

Pimatic Oy. 1987. Pneumatiikkaa. Mancon-yhtymä

Valtanen, E. 2008. Tekniikan käsikirja. Kuudestoista painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy

Kangasaho, Mäkinen, Oikkonen, Paasonen & Salmela. 1995. Geometria. Porvoo: WSOY:n graafiset laitokset

Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen. 2005. Valmistustekniikka. Helsinki: Hakapaino Oy

Karhunen, Lassila, Pyy, Ranta, Räsänen, Saikkonen & Suosara. 2001. Lujjuusoppi. Seitsemäs painos. Helsinki: Hakapaino Oy

Dromberg, A. Tuotekehityspäällikkö. 2009. Erkomat Oy. Kotka. Henkilökohtainen tiedonanto

Syvänne, P. Suunnittelija. 2009. Erkomat Oy. Kotka. Henkilökohtainen tiedonanto

Orpana, J. Suunnittelija. 2009. Erkomat Oy. Kotka. Henkilökohtainen tiedonanto

Tani, R. Koneasentaja. 2009. Erkomat Oy. Kotka. Henkilökohtainen tiedonanto

Eskonen, P. Koneasentaja. 2009. Erkomat Oy. Kotka. Henkilökohtainen tiedonanto

Hirvonen, R. Levyseppä Kotka. 2009. Erkomat Oy. Henkilökohtainen tiedonanto

Erkomat, tietokanta. Erkomat Oy. (luettu 22.5.2009)

Festo, kotisivut. <http://www.Festo.fi> (Luettu 25.1.2010)

Erkomat Oy, kotisivut, <http://www.erkomat.fi> (luettu 25.1.2010)

Cadworks Oy, kotisivut, <http://www.cadworks.fi> (luettu 24.1.2010)

Cadon Oy, kotisivut, <http://www.cadon.fi> (luettu 24.1.2010)

Convia, kotisivut, <http://www.convia.fi> (luettu 22.5.2009)

Fujiyusoki kotisivut, <http://www.fujiyusoki.com> (luettu 19.1.2010)

LIITE 1

Nro	Varasto	LAITOKULUTTERI	Mk-23	2
24	Varasto	ALUSLEIY	M12/M12/2	2
23	P2781152/210	ROULUTINKOPELLO	K1.1532-210 BRITAL	1
22	Ompelina	TÄSÄMÄKÄNNÄKIN	51.1532-PAAL STRA	1
21	J10924	LÄMKEKÄNNÄKÖ	LEF. 004 SILBER	4
20	J10322	LÄMKEKÄNNÄKÖ	DCR.2105	2
19	FE9202	ROD EYE	SS316/12x1/26 FESTO	2
18	FE9201	ROD EYE	SS316/12x1/26 FESTO	2
17	FE99931	SOLENOID OJAL	MSF5-24-EX FESTO	3
16	FE99924	SOLENOID VALVE	MSF5-18-EX FESTO	1
15	FE99926	SOLENOID VALVE	MSF5-24-EX FESTO	1
14	FE93242	CYLINDER	DNC8.32481	2
13	FE93277	CYLINDER	DNC8.32481	2
12	FE94481	SOCKET CONNECTOR	MS80-F FESTO	3
11	FE93246	TRINNINNON MOUNTING	LN25-32 FESTO	2
10	FE10143	LED-TIIVISTE	MF-LD 12-24DC FESTO	3
9	FE174411	PIVOT PIN	ZNCS-32	2
8	FE174388	SWIVEL FLANGE	SNCS-40 FESTO	2
7	0940112	KÄNNÄKKE		1
6	0940111	HÖLÄRIKON		1
5	0940110	VÄKSTE		2
4	0940108	KOIBALEIY		2
3	0940102	VÄRSÄ		2
2	0940101	MENU		1
1	0940101	ROUNKO LAS		1

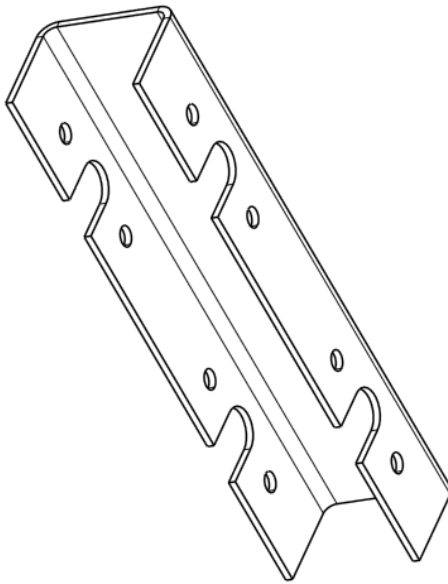
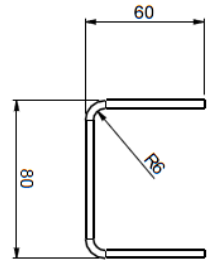
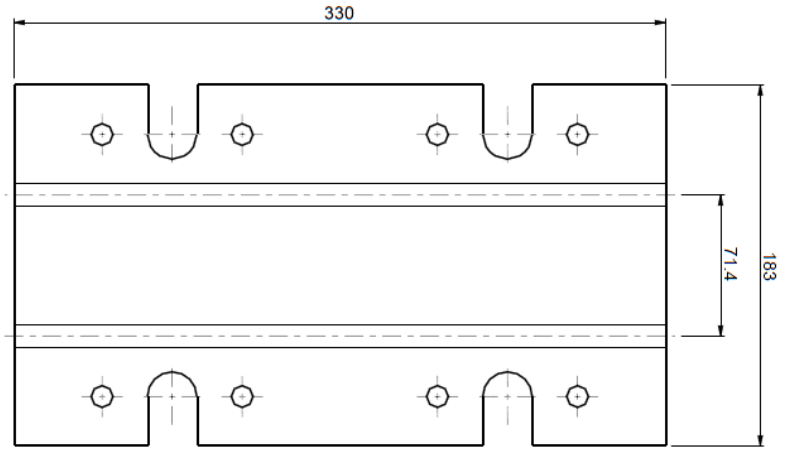
OSAN NIMENKIRJA	NIMI	MÄÄRÄ	LAJI
1	ROUNKO LAS	1	1
2	MENU	2	2
3	VÄRSÄ	2	2
4	KOIBALEIY	2	2
5	VÄKSTE	2	2
6	HÖLÄRIKON	1	1
7	KÄNNÄKKE	1	1
8	PIVOT PIN	2	2
9	ZNCS-32	2	2
10	MF-LD 12-24DC FESTO	3	3
11	LN25-32 FESTO	2	2
12	MS80-F FESTO	3	3
13	DNC8.32481	2	2
14	DNC8.32481	2	2
15	MSF5-24-EX FESTO	1	1
16	MSF5-18-EX FESTO	1	1
17	SS316/12x1/26 FESTO	3	3
18	SS316/12x1/26 FESTO	2	2
19	DCR.2105	2	2
20	LEF. 004 SILBER	4	4
21	51.1532-PAAL STRA	1	1
22	K1.1532-210 BRITAL	1	1
23	M12/M12/2	2	2
24	M12/M12/2	2	2
25	Mk-23	2	2

YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT
YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT
YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT
YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT	YHTEYSTIEDOT

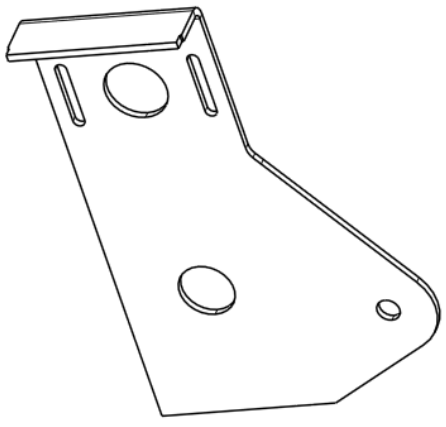
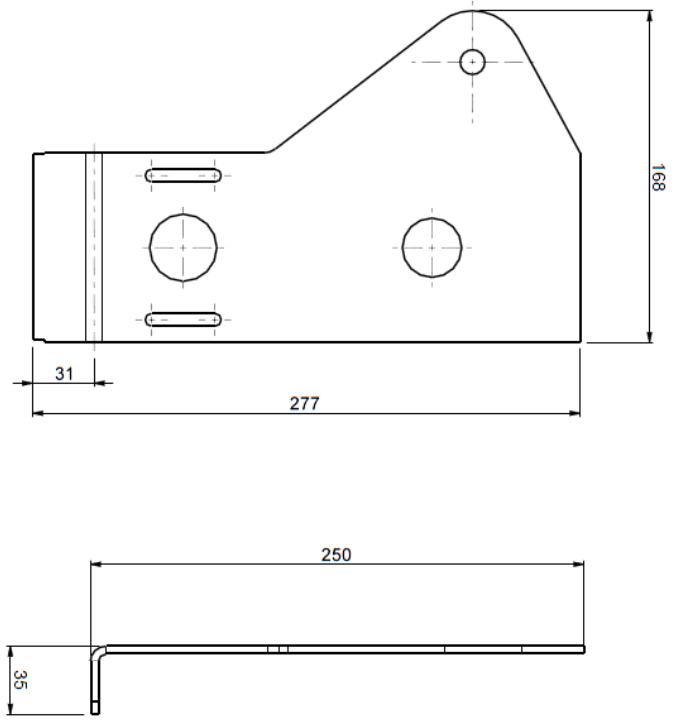
ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT
ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT
ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT
ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT	ERKOMAT

TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP
TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP
TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP
TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP	TARTTUA IBC KP

0940100	0940100	0940100	0940100
0940100	0940100	0940100	0940100
0940100	0940100	0940100	0940100
0940100	0940100	0940100	0940100

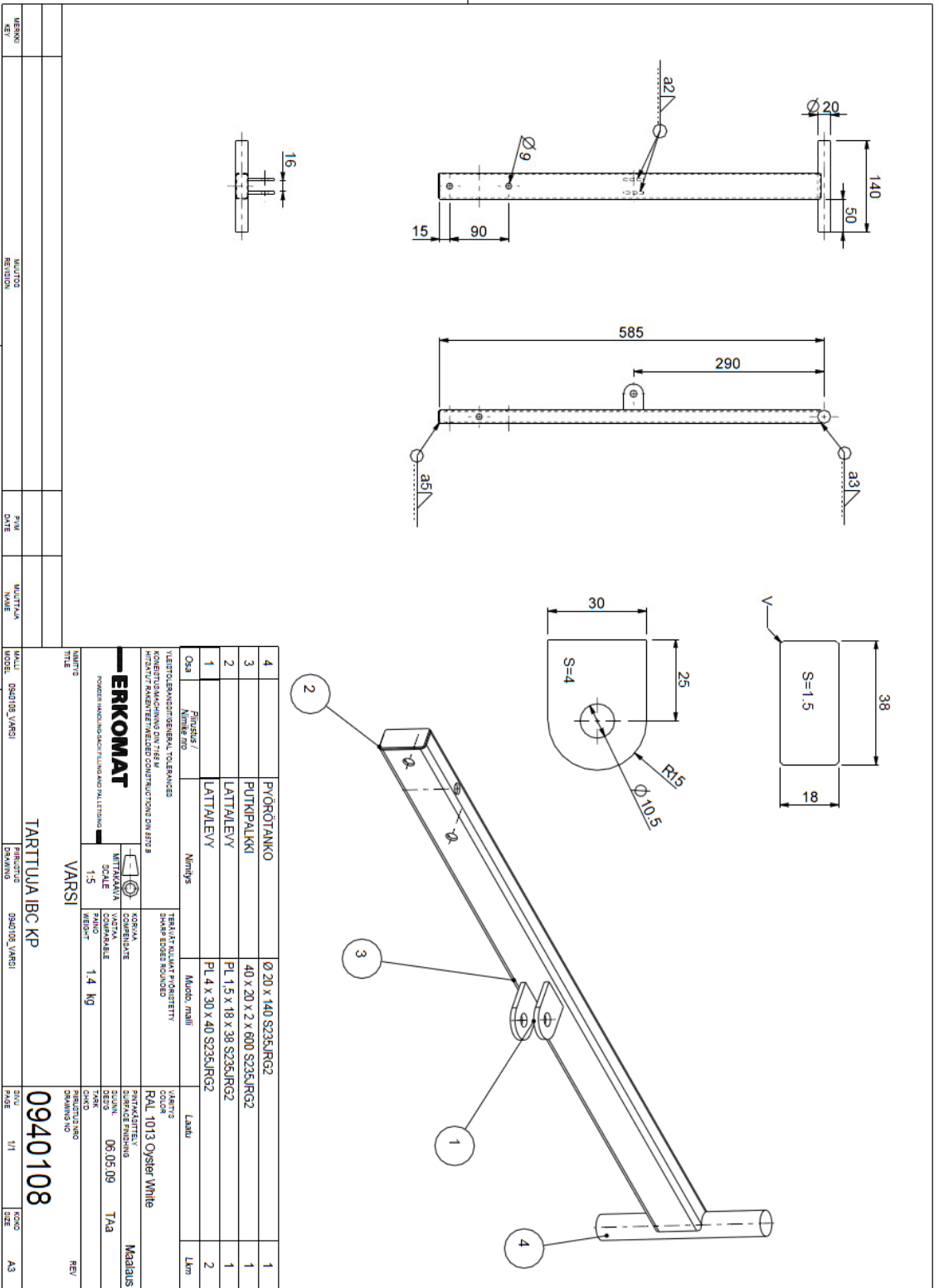


Puhdas / Number: 00		Nimitys		Muoto, malli		Latu		Lm	
Osa		LATTALEIVY		PL 4 X 184 X 330 9236JRG2					
Yleistön kuvaus / GENERAL TOLERANCES		Yleistön kuvaus / GENERAL TOLERANCES		Yleistön kuvaus / GENERAL TOLERANCES		Yleistön kuvaus / GENERAL TOLERANCES		Yleistön kuvaus / GENERAL TOLERANCES	
Korkeus / HEIGHT		183		Korkeus / HEIGHT		183		Korkeus / HEIGHT	
Leveys / WIDTH		330		Leveys / WIDTH		330		Leveys / WIDTH	
Pituus / LENGTH		714		Pituus / LENGTH		714		Pituus / LENGTH	
Paino / WEIGHT		1.8 kg		Paino / WEIGHT		1.8 kg		Paino / WEIGHT	
Materiaali / MATERIAL		KORVA		Materiaali / MATERIAL		KORVA		Materiaali / MATERIAL	
Suunnittelija / DESIGNER		TAKALEIVY LAS		Suunnittelija / DESIGNER		TAKALEIVY LAS		Suunnittelija / DESIGNER	
Keskustelijä / CONSULTANT		TARTTUA IBC KP		Keskustelijä / CONSULTANT		TARTTUA IBC KP		Keskustelijä / CONSULTANT	
Käsitellyt / HANDLED		KENJU		Käsitellyt / HANDLED		KENJU		Käsitellyt / HANDLED	
Käsitellyt / HANDLED		0940103		Käsitellyt / HANDLED		0940103		Käsitellyt / HANDLED	
Käsitellyt / HANDLED		06/05/09		Käsitellyt / HANDLED		06/05/09		Käsitellyt / HANDLED	
Käsitellyt / HANDLED		TAA		Käsitellyt / HANDLED		TAA		Käsitellyt / HANDLED	
Käsitellyt / HANDLED		REV		Käsitellyt / HANDLED		REV		Käsitellyt / HANDLED	
Käsitellyt / HANDLED		1/1		Käsitellyt / HANDLED		1/1		Käsitellyt / HANDLED	
Käsitellyt / HANDLED		A3		Käsitellyt / HANDLED		A3		Käsitellyt / HANDLED	



Osa		LATTALEIVY		PL 4 x 168 x 277 S235LRG2		Laitu		Lkm	
Pöytä / Numero		Nimitys		Materiaali		Väri / Color			
YLEISTÄ SUUNNITTELU- JA TUOTANTO- KONSTRUKTIIVIOHJEITA HÄNTÄUT RAKENNETTUWELDED CONSTRUCTIONS DN 8711 8		TÄRKEÄT MITAT / ROOSTETTY SHARP EDGES ROUNDED		VÄRI / COLOR		PÄÄKÄSITTELY SURFACE FINISHING			
ERKOMAT		KORVAUS KOMPAANI		PÄIVÄYS DATE		TARKASTUS CHECK			
PÖYDÄN MUUNNOKSEKILPILINÄN PÄÄTTELEIKKI		TÄRKEÄT MITAT / SCALE		PÄIVÄYS DATE		TARKASTUS CHECK			
1:2		1:2		06.05.09		TAA			
1,0 kg		1,0 kg							
TITTELIN NIMI		SUUNNITTELU NIMI		PÄIVÄYS DATE		TARKASTUS CHECK		REV	
TARTTUJALBC KP		KEINU		0940107					
KUVAN NIMI		SUUNNITTELU NIMI		PÄIVÄYS DATE		TARKASTUS CHECK		KOKO SIZE	
0940107		1/1						A3	

HEIKKI KEI	MUUTOS REVISION	PÄIVÄ DATE	MUUTTAJA NAME	UUSI MODEL	PIKUSTUS DRAWING	0940107_SIVULEIVY_VASEN_LAS	SIVU PAGE	1/1	KOKO SIZE	A3
---------------	--------------------	---------------	------------------	---------------	---------------------	-----------------------------	--------------	-----	--------------	----



VERSI REV	MUUTOS REVISION	PÄIVÄ DATE	MUUTTUJA NAME	MALLI MODEL	0940108_VARSI	PIIRUSTUS DRAWING	0940108_VARSI	SIIVÄ PAGE	111	KOKO SIZE	A3
--------------	--------------------	---------------	------------------	----------------	---------------	----------------------	---------------	---------------	-----	--------------	----

4	PIVORITANKKO	Ø 20 x 140 S235JRG2	1
3	PUTKIPALKKI	40 x 20 x 2 x 800 S235JRG2	1
2	LATTALEIIVY	PL 1.5 x 18 x 38 S235JRG2	1
1	LATTALEIIVY	PL 4 x 30 x 40 S235JRG2	2

Osa /
Nimitys /
Materiaali /
Lähde /
Lkm

VARSI

ERKOMAT

PIIRUSTUKSEN
SUURUUS
SCALE
1:5

KOKONAIS
KORVAUS
SCALE
1:4

MAASSIS

0940108

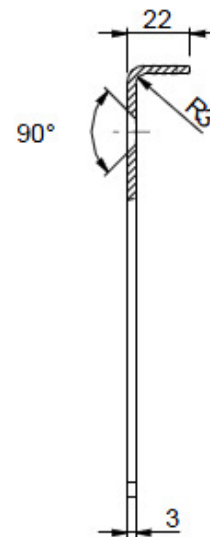
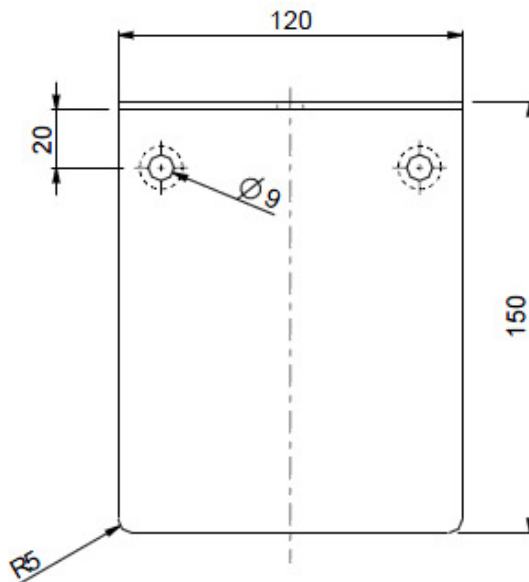
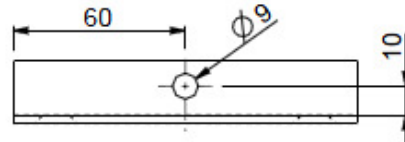
VARSI

TARTTUJUA IBC KP

0940108

0940108

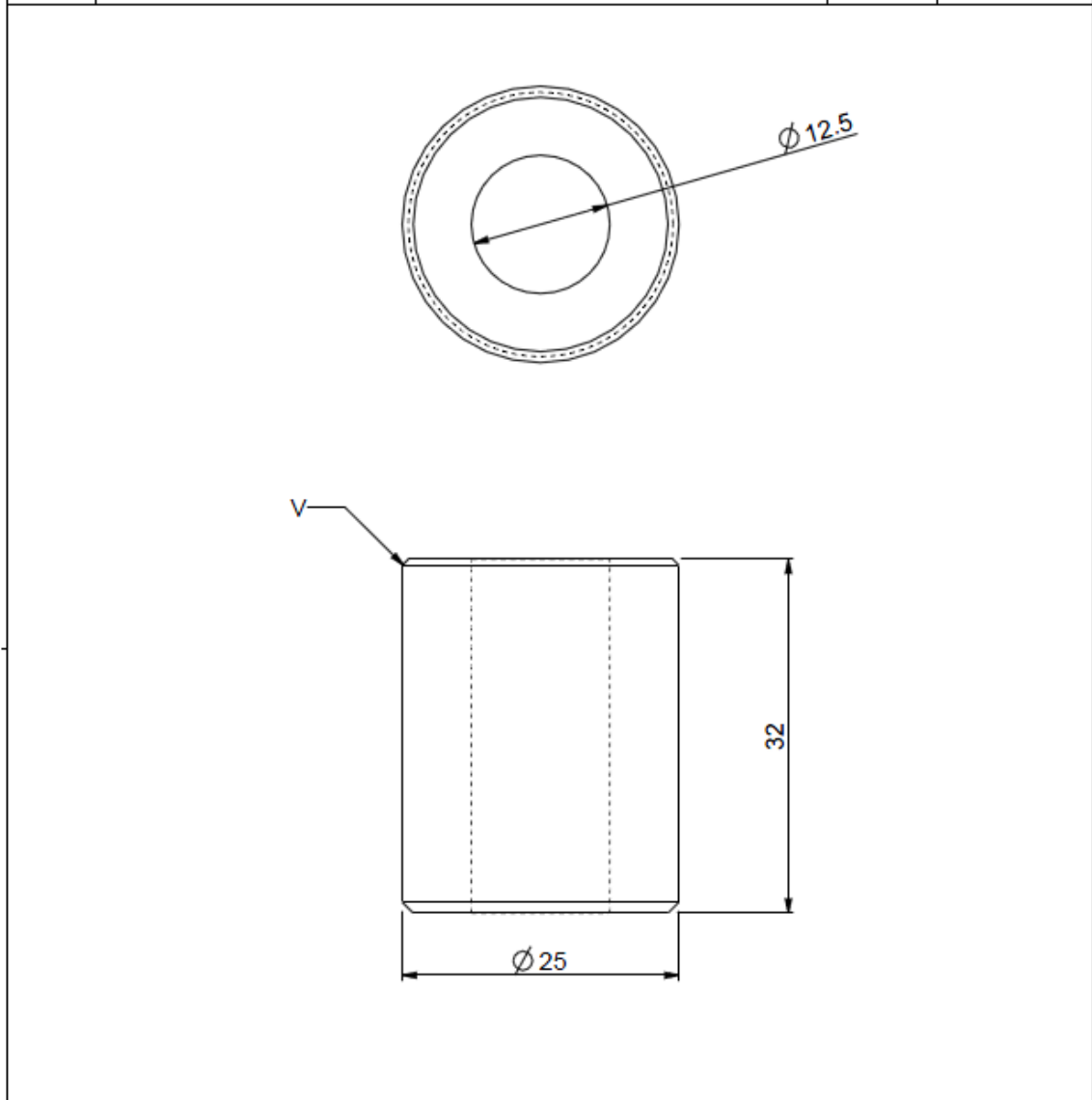
MERKKI KEY	MUUTOS REVISION	PVM DATE	MUUTTAJA NAME



LATTI/LEVY		PL 3 x 120 x 167 AISI 304	
Osa	Piirustus / Nimike nro	Nimitys	Muoto, malli
YLEISTOLERANSSIT/GENERAL TOLERANCES KONEISTUS/MACHINING DIN 7168 M HITATUT RAKENTEET/WELDED CONSTRUCTIONS DIN 8570 B		TERÄVÄT KULMAT PYÖRISTETTY SHARP EDGES ROUNDED	VÄRITYS COLOR
 POWDER HANDLING-SACK FILLING AND PALLETISING	 MITTAKAAVA SCALE 1:2	KORVAAN COMPENSATE	PINTAKÄSITTELY SURFACE FINISHING
		VASTAA COMPARABLE	SUUNN. DES'G 06.05.09 TAa
NIMITYS TITLE KOURALEVY TARTTUJA IBC KP		PAINO WEIGHT 0.5 kg	TARK. CHKD
MALLI MODEL 0940109_KOURALEVY		PIIRUSTUS DRAWING 0940109_KOURALEVY	PIIRUSTUS NRO DRAWING NO 0940109 REV
SIVU PAGE 1/1		KOKO SIZE A4	

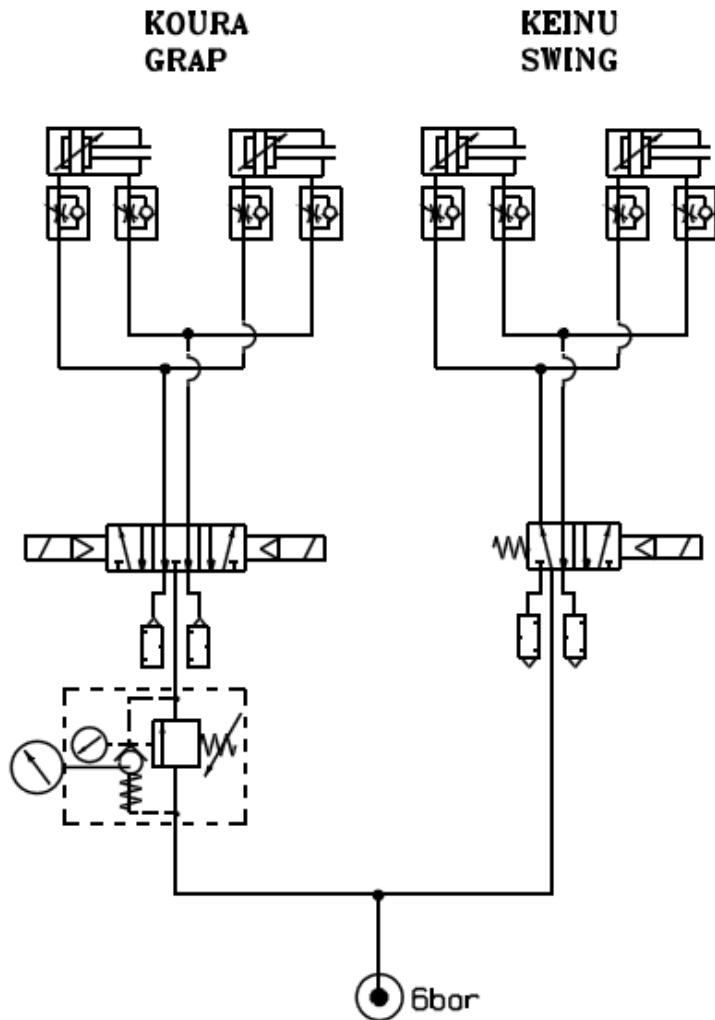
MERKKI KEY	MUUTOS REVISION	PVM DATE	MUUTTAJA NAME				
	LATTA/LEVY	PL 3 x 49 x 130 S235JRG2					
Osa	Piirustus / Nimike nro	Nimitys	Muoto, malli	Laatu	Lkm		
YLEISTOLERANSSIT/GENERAL TOLERANCES KONEISTUS/MACHINING DIN 7168 M HITSAUTUT RAKENTEET/WELDED CONSTRUCTIONS DIN 6570 B		TERÄVÄT KULMAT PYÖRISTETTY SHARP EDGES ROUNDED	VÄRITYS COLOR RAL 1013 Oyster White				
ERKOMAT POWDER HANDLING-SACK FILLING AND PALLETISING		MITTAKAAVA SCALE 1:1	KORVAA COMPENSATE VASTAA COMPARABLE PAINO WEIGHT 0.2 kg	PINTAKÄSITTELY SURFACE FINISHING Maalaus	SUUNN. DES'G 06.05.09 TARK CHKD TAA		
		NIMITYS TITLE VASTE TARTTUJA IBC KP		PIIRUSTUS NRO DRAWING NO 0940110	REV		
MALLI MODEL	0940110_VASTE	PIRUSTUS DRAWING	0940110_VASTE	SIVU PAGE	1/1	KOKO SIZE	A4

MERKKI KEY	MUUTOS REVISION	PVM DATE	MUUTTAJA NAME



PYÖRÖTANKO		Ø 25 x 32 S235JRG2			
Osa	Piirustus / Nimike nro	Nimitys	Muoto, malli	Laatu	Lkm
YLEISTOLERANSSIT/GENERAL TOLERANCES KONEISTUS/MACHINING DIN 7168 M HITSAUTUT RAKENTEET/WELDED CONSTRUCTIONS DIN 6570 B		TERÄVÄT KULMAT PYÖRISTETTY SHARP EDGES ROUNDED		VÄRITYS COLOR RAL 1013 Oyster White	
ERKOMAT POWDER HANDLING-SACK FILLING AND PAL LETTING		KORVAA COMPENSATE		PINTAKÄSITTELY SURFACE FINISHING	
		MITTAKAAVA SCALE 2:1		Maalaus	
NIMITYS TITLE		VASTAA COMPARABLE		SUUNN. DES'G	
HOLKKI KON TARTTUJA IBC KP		PAINO WEIGHT 0.1 kg		06.05.09 TAa	
MALLI MODEL		PIIRUSTUS DRAWING		TARK CHKD	
0940111_HOLKKI_KON		0940111_HOLKKI_KON		PIIRUSTUS NRO DRAWING NO 0940111	
0940111_HOLKKI_KON		0940111_HOLKKI_KON		REV	
0940111_HOLKKI_KON		0940111_HOLKKI_KON		SIVU PAGE	
0940111_HOLKKI_KON		0940111_HOLKKI_KON		1/1	
0940111_HOLKKI_KON		0940111_HOLKKI_KON		KOKO SIZE	
0940111_HOLKKI_KON		0940111_HOLKKI_KON		A4	

MERKKI KEY	MUUTOS REVISION	PVM DATE	MUUTTAJA NAME	HYV APP'D



TOLERANSIT/GEHARAL TOLERANCES KORKEUS/MACHING DIN 718 M MITSATU RAKENTEET/ WELDED CONSTRUCTIONS DIN 9570 B TERAVAT KULMAT PYÖRSTETTY SHARP EDGES ROUNDED	TYÖNO	VARI	LK	KPL	
	NIMI/PVM	RAL 1013	SAUMAT HÄRJÄTÄÄN	PAIVAYS DATE	NIMI NAME
ERKOMAT POWDER HANDLING-SACK FILLING AND PALLETISING	MITTAK SCALE 1:1	KORVAA COMPENSATE	PIIRT DRWN	12 05 2009	TAa
		KORVATTU COMPENSATED	SUUNN DES'G		
NIMITYS TITLE	PAINELMÄKÄÄVIO COMPRESSED AIR DIAGRAM TARTTUJA IBC KP		EI PINTAK. HAPOTUS		REV
		PAINO WEIGHT KG	TARK. CHK'D	04-0940113	