

Tomi Lassila

## **ALIPAINEHARTSAUSKAMMION SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

# **ALIPAINEHARTSAUSKAMMION SUUNNITTELU JA TOTEUTUS**

Tomi Lassila  
Opinnäytetyö  
Kevät 2014  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaation suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Tomi Lassila

Opinnäytetyön nimi: Alipainehartsauskammion suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaaja: lehtori Jari Viitala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2014 Sivumäärä: 54 + 8 liitettä

---

Insinööritöä tehtiin Oulun Ruskossa sijaitsevalle Sähkö-Rantek Oy:lle. Työ on osa uuden jarrukokoonpanolinjan suunnittelutyötä. Tuotantolinja tehtiin uuden tuotesarjan tuotantoon. Koko tuotantolinjan suunnittelu toteutettiin samaan aikaan viitenä erillisenä opinnäytetyönä: layout- ja materiaalivirrat, alkukokoonpano, alipainehartsauskammio, välivarasto ja loppukokoonpano. Tämä insinööritö käsittelee alipainehartsauskammion suunnittelua.

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin toimiva ja automatisoitu alipainehartsauskammio uudelle tuotantolinjalle. Työhön kuului laitteen mekaniikkasuunnittelu, toimilaitteiden valinta, laitteen toiminnan määrittely ja kokoonpano. Työssä esitetään alipainehartsauskammion oleellisimpien komponenttien mitoitus ja valinta.

Alipainehartsauskammion suunnittelussa tuli ottaa huomioon tilaajan ja linjan muiden suunnittelijoiden asettamat vaatimukset ja toiveet laitteelle. Tuli ottaa huomioon laitteen valmistettavuus, käytettävyys, huollettavuus ja yksinkertaisuus. Alipainehartsauskammioon oli tilattu valmiiksi hartsin sekoitus- ja annostelulaite, jonka asettamat vaatimukset oli myös huomioitava. Laitteiden tulee olla yhteensopivia.

Työn keskeisenä menetelmänä käytettiin systemaattista suunnittelumenetelmää eli ratkaisuja haettiin ja vertailtiin systemaattisesti. Alipainekammio tehtiin alumiinista ja jalusta valmiista alumiiniprofiilista. Lineaariliikkeiden toteutukseen käytettiin kaupallisia kuularuuvikäyttöisiä lineaariyksiköitä ja servomootoreita. Ohjaus toteutettiin ohjelmoitavalla logiikalla ja paikoitusohjaimella.

Tuloksena saatiin toimiva ja vaatimukset täyttävä alipainehartsauskammio. Sillä voidaan hartsata vähintään viiden eri tuotevariaation sähkömagneetteja tavoitellussa kolmen minuutin tahtiajassa.

---

Asiasanat: tuotesuunnittelu, alipainekammio, lineaariyksikkö, servotekniikka

## ALKULAUSE

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin automatisoitu alipainehartsauskammio osaksi Sähkö-Rantek Oy:n uutta tuotantolinjaa. Suunnittelutyö oli mielenkiintoinen ja haastava.

Haluan kiittää Sähkö-Rantek Oy:n henkilökuntaa ja ohjaavana opettajana toiminutta lehtori Jari Viitalaa hyödyllisistä neuvoista. Projektin onnistumisesta haluan kiittää myös alipainehartsauskammion automaatiosuunnittelusta vastannutta Kitelin automaatiosuunnittelija Kauko Turpeista. Kiitän myös koko tuotantolinjan suunnitteluprojektissa mukana olleita insinööriopiskelijoita Jari-Pekka Kurolaa, Antti Nivakoskea, Janne Hyytistä ja Hanna Herrosta. Erityisesti haluan kiittää Oulun seudun ammattikorkeakoulua ymmärryksestä ja joustavuudesta tätä projektia kohtaan.

Tomi Lassila

Oulu 10.3.2014



# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Sähkö-Rantek Oy	7
1.2 Työn tavoite	7
2 ALIPAINEHARTSAUSKAMMIO	9
2.1 Alipainehartsauskammion käyttö Rantekilla	9
2.2 Alipainehartsauskammion pääosat	9
2.2.1 Alipainekammio	10
2.2.2 Alipainepumppu	10
2.2.3 Dopag-Variomix-sekoitus- ja annostelulaite	10
2.2.4 Lineaariyksikkö	11
2.2.5 Servotekniikka	12
2.2.6 Ohjelmoitava logiikka	12
2.2.7 Paikoitusohjaus	13
3 TUOTESUUNNITTELUN PERIAATTEITA	14
3.1 Osien standardisointi	14
3.2 Osien suunnittelu valmistuksen ja kokoonpanon kannalta	15
3.3 FEM-laskenta	15
4 ALIPAINEHARTSAUSKAMMION SUUNNITTELUN LÄHTÖTIEDOT	17
4.1 Vaatimuslista	17
4.2 Ongelman muotoilu	19
4.2.1 Olemassa olevien ideoiden analysointi	19
4.2.2 Ideointi	20
5 ALIPAINEHARTSAUSKAMMION SUUNNITTELU	22
5.1 Paikoitusalueen suunnittelu	22
5.2 Xy-manipulaattorin suunnittelu	24
5.2.1 Kuularuuvikäytön mitoitus	26
5.2.2 Lineaariyksikön lujoustarkastelu	29
5.2.3 Servomootorin valinta	30

5.2.4 Energiansiirtoketjun valinta	35
5.3 Alipainekammion suunnittelu	35
5.4 Alipainekammion lujuusanalyysi	36
5.5 Ovimekanismin suunnittelu	41
5.5.1 Paineilmasylintereiden mitoitus	42
5.5.2 Paineilmakaavio	43
5.6 Alipainepumpun mitoitus	45
5.7 Pumppauksen toimintakuvaus	45
5.8 Ohjauslogiikan valinta	47
5.9 Alipainehartsauskammion toiminta	47
6 YHTEENVETO	49
LÄHTEET	51
LIITTEET	54

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Sähkö-Rantek Oy

Sähkö-Rantek Oy on sähköteollisuuden laitteiden valmistaja, jonka pääasiakkaita ovat Euroopan johtavat sähkökoneteollisuuden yritykset. Sähkö-Rantek Oy:llä on erikoisosaamista ja asiantuntemusta kääminnästä, koneistuksesta ja kokoonpanosta. (1.) Rantekilla on 3 000 neliömetrin tuotantotilat Oulussa. Siellä työskentelee runsaat 40 toimialan erikoisosaajaa (2).

Rantek on aloittanut toimintansa vuonna 1989, jolloin se alkoi toimittaa erikoisosaamista vaativia ja asiakasräätälöityjä sähkölaitteita (2). Rantekilla on sertifioitunut ISO 9001 -laatu järjestelmä sekä ISO 14001 -ympäristöjärjestelmä. Käytössä ovat Minitab -laatu tiedon analysointiohjelmisto, Zeiss -3D-mittakoneet, sähkötekniset mittavälineet ja tuotanto-osien hyväksymisprosessi PPAP. (3.)

Sähkö-Rantek Oy teettää uuden tuotesarjan tuotantolinjan suunnittelun viitenä opinnäytetyönä. Tuotantolinjan suunnitteluun kuuluu layoutin ja materiaalivirtojen suunnittelu (4), alkukokoonpanopisteen suunnittelu (5), loppukokoonpanopisteen suunnittelu (6), välivaraston suunnittelu (7) ja alipainehartsauskammion suunnittelu. Kaikki opinnäytetyöt tehdään pääosin Sähkö-Rantek Oy:n tiloissa. Opiskelijoille on varattu omat työpisteet ja suunnitteluohjelmat.

Uudesta tuotantolinjasta on aiemmin tehty Sähkö-Rantek Oy:ssä alustavaa luonnostelua ja muutamia linjaan kuuluvia laitteita oli tilattu, kuten tuotteiden testausasema ja hartsin annostelulaite. Tämä opinnäytetyö käsittelee hartsauskammion suunnittelua.

## 1.2 Työn tavoite

Sähkö-Rantekin aiemmin valmistaman tuotesarjan valmistus on vähenemässä, koska tilalle on tulossa uusi tuotesarja. Tuotesarjat poikkeavat malliltaan toisistaan merkittävästi. Lisäksi olemassa olevan tuotantolinjan kapasiteetti ei riitä valmistamaan uuden sarjan tuotteita. Tämän takia uuden tuotantolinjan

rakentaminen tulee kyseeseen. Uusien tuotteiden valmistusmäärät tulevat olemaan suuria. Tuotteen kokoonpanon tahtiajaksi uudella linjastolla vaaditaan olevan korkeintaan viisi minuuttia, mutta tarvittaessa on päästävä kolmeen minuuttiin.

Työn tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa uudelle tuotantolinjalle toimiva ja vaatimukset täyttävä alipainehartsauskammio aikataulun mukaisesti. Työhön kuuluvat laitteen mekaniikkasuunnittelu, toimilaitteiden valinta, toiminnan määrittely ja lopuksi laitteen kokoonpano. (Liite 1.)

Opinnäytetyöprojekti alkoi tutustumalla tilaajan toimintaan ja tuotantotiloihin sekä analysoimalla olemassa olevat suunnitelmat linjastosta. Tämän jälkeen ideoidaan ja suunnitellaan parhaimmat mahdolliset ratkaisuvaihtoehdot uuden tuotantolinjan rakenteesta, josta linjan layoutin ja materiaalivirtojen suunnitellut Janne Hyytinen kertoo tarkemmin omassa opinnäytetyössään Jarrukokoonpanolinjan layout ja materiaalivirrat (4).

## **2 ALIPAINEHARTSAUSKAMMIO**

### **2.1 Alipainehartsauskammion käyttö Rantekilla**

Sähkö-Rantek Oy käyttää alipainehartsauskammiota sähkömagneettien hartsaukseen. Sähkömagneettien urassa oleva kuparikäämi vaatii ympärilleen kovettuvan hartsin, jonka päätehtävinä on pitää käämi paikallaan urassa sekä suojata käämiä likaantumiselta. (8.)

Aiemman sarjan tuotantolinjassa sähkömagneetit kulkevat paletin päällä alipainehartsauskammioon, minkä jälkeen kammioon luodaan alipaine. Alipaineen tehtävänä on poistaa ilma sähkömagneetin käämiurasta, jotta hartsiin ei muodostuisi ilmakuplia. Hartsista poistetaan ilmakuplat annostelulaitteessa. Tämä on välttämätöntä laatuvaatimusten täyttämiseksi. (8.)

Vanhassa kammiossa lineaariyksiköihin kiinnitetty hartsin annostelulaitteen suutin hartsaa automaattisesti sähkömagneetin käämiuran ja annostelee tarvittavan määrän hartsia uraan. Lineaariyksiköiden ja hartsin annostelulaitteen ohjaus tapahtuu ohjelmoitavalla logiikalla. Hartsauksen päätyttyä paine palautetaan takaisin normaaliin ilmakehän paineeseen. Lopuksi sähkömagneetit viedään kuivumaan välivarastoon ja siitä edelleen loppukokoonpanoon.

Rantekin olemassa oleva alipainekammio on suurikokoinen ja tarkoitettu aiemman sarjan tuotteiden hartsaukseen. Vanhassa kammiossa voidaan hartsata useita sähkömagneetteja kerrallaan. Uudelle alipainehartsauskammiolle vaatimuksena on saada hartsattua yksi sähkömagneetti kerrallaan.

### **2.2 Alipainehartsauskammion pääosat**

Automatisoidun alipainehartsauskammion pääosia ovat alipainekammio, hartsin syöttölaite, alipainepumppu ja liikkeiden toteuttamiseen tarvittavat lineaariyksiköt ja servomoottorit. Alipainehartsauskammion ohjaus toteutetaan ohjelmoitavalla logiikalla.

### **2.2.1 Alipainekammio**

Alipainekammio on suljettu tila, jossa kaasun paine saadaan pienemmäksi kuin ympäröivän ilmakehän paine. Luonnollinen tyhjiö saavutetaan noustessa maapallon pinnalta kohti avaruutta. Maapallon pinnalla tyhjiö on luotava keinotekoisesti poistamalla suljetusta tilasta kaasuja alipainepumpun tai ejektorin avulla. (9, s. 12.)

Alipainekammio ei ole painelaite, vaikka sen sisällä oleva paine poikkeaaakin normaalista ilmakehän paineesta. Nykyisen painelaitedirektiivin mukaan vain laitteet, joihin voi muodostua ylipainetta, luokitellaan painelaitteiksi. (10, s. 9.)

### **2.2.2 Alipainepumppu**

Mekaanisen alipainepumpun toimintaperiaate on kompressorin kaltainen, mutta päinvastainen, eli sillä imetään ilmaa suljetusta tilasta ulkoilmaan. Alipainepumput ovat yleensä mäntä-, kalvo- tai lamellipumppuja tai Rootin puhaltimia. Kompressorin ja alipainepumpun kaksi pääeroa on, että alipainepumpun suurin paineen muutos on yhden baarin suuruinen ja paineen alentuessa ilman massavirta laskee, joten pumpun tulee absorboida kaikki tuottamansa lämpö itseensä. Pumpun liiallinen lämpeneminen voi vaikuttaa sen ominaisuuksiin ja elinikään. (11, s. 155.)

### **2.2.3 Dopag-Variomix-sekoitus- ja annostelulaite**

Dopag-Variomixin (kuva 1) tyypillisiä käyttökohteita ovat pieni- ja suuriviskoosisten kaksoiskomponenttimateriaalien sekoitus ja annostelu. Sillä voidaan sekoittaa epokseja, polyuretaaneja ja silikoneja. (12.) Laitteeseen kuuluu kaksi tynnyriä, jotka sisältävät hartsia ja koveteainetta. Laite sekoittaa hartsin ja kovetteen keskenään ja annostelee tarvittavan määrän ohjelmoitavan logiikan avulla.

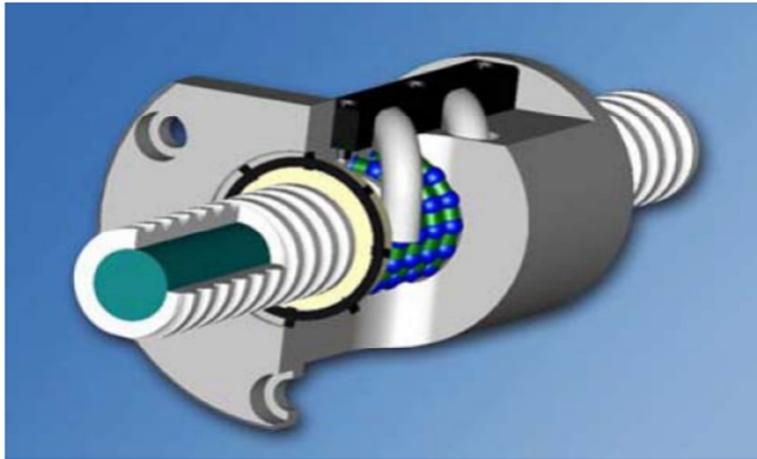


*KUVA 1. Dopag-Variomix-sekoitus- ja annostelulaite (12)*

Sekoituksen ja annostelun lisäksi Dopag-Variomix kykenee lisävarusteiden ansiosta tuottamaan tynnyreihin alipaineen, jotta syötettävästä hartsista saadaan ilmakuplat poistettua. Lisäksi laitteeseen kuuluu lämmitin, jonka avulla hartsiseos saadaan juoksevammaksi. Lämpö laskee hartsin viskositeettia.

#### **2.2.4 Lineaariyksikkö**

Lineaariyksiköt ovat alumiiniprofiiliin rakennettuja toimilaitteita, joilla voidaan muuttaa moottorin pyörimisliike johdekelkan suoraviivaiseksi liikkeeksi. Yleisimmät käytöt lineaariyksikössä ovat hammashihna-, liukuruuvi- tai kuularuuvikäyttöiset lineaariyksiköt. Kuularuuvissa (kuva 2) pienet kuulat välittävät liikkeen ruuvien ja mutterien välillä. Rakenteen etuina ovat pieni kitkakerroin ja tarkka välyksetön liike (13, s. 3). Kuularuuvilla saavutetaan noin 90 %:n hyötysuhde (14).



*KUVA 2. Kuularuuvin periaatekuva (13, s. 3)*

### **2.2.5 Servotekniikka**

Servotekniikka on alun perin kehitetty sotateollisuuden käyttöön. Sitä käytettiin tutkimissa ja ilmatorjuntatyökeissä tarkkojen liikkeiden tuottamiseen. Nykyisin järjestelmä on levinnyt kaikkialle, missä tarvitaan tarkkaa ja nopeaa liikettä. Teollisuudessa servotekniikkaa käytetään pääosin NC-työstökoneiden ohjaukseen sekä robottien liikkeiden tuottamiseen. (13, s. 3.)

### **2.2.6 Ohjelmoitava logiikka**

Ohjelmoitava logiikka eli PLC on pieni tietokone, jota käytetään automaatioprosessien ohjauksessa. Ohjelmoitavat logiikat otettiin alun perin käyttöön autoteollisuudessa, missä ohjelmistopäivitykset korvasivat ohjausjärjestelmien uudelleenjohtotukset. Yksi logiikka voi korvata helposti satoja aiemmin käytettyjä releitä ja ajastimia. (15.)

Ohjelmoitavat logiikat ovat yleisimpiä ohjauslaitteita. Maailman logiikkamarkkinoita hallitsevat monikansalliset yritykset, joista merkittävimpiä ovat Siemens, Mitsubishi, Omron, Allen Bradley ja GE Fanuc. Logiikka ohjainlaitteena ottaa tuloon kytketyltä anturilta saamansa informaation vastaan ja reagoi saamansa tiedon perusteella ohjelman määräämällä tavalla asettamalla lähdöt. Reagointi ilmenee toimilaitteiden tarkoituksenmukaisena toimintana. Reagointitapa riippuu lähes yksinomaan ohjelmoijan tekemästä ohjelmasta ja reagointinopeus logiikan ominaisuuksista. (16.)



Logiikat jaetaan perinteisesti pieniin kompakteihin ja modulaarisiin logiikoihin. Pienet kompaktit logiikat ovat edullisia, rajallisesti laajennettavia, noin 10...30 tuloa/lähtöä (Input/Output) käsittäviä laitteita. Ne on tarkoitettu yhden pienen koneen ohjaukseen. Modulaarinen logiikka rakentuu jännitelähdeyksiköstä, prosessoriyksiköstä ja sovellukseen vaadittavasta määrästä erilaisia I/O-yksiköitä. (16.)

### **2.2.7 Paikoitusohjaus**

Ohjelmoitavaan logiikkaan voidaan liittää paikoitusohjain, joka ohjaa servomootoreita. Ohjaimen mallista riippuen, paikoitusohjain mahdollistaa esimerkiksi usean akselin suoraviivais- ja ympyränkaari-interpoloinnin, nopeuden ja kiihtyvyyden säädön. Paikoitusohjaus perustuu servomootorin enkooderin lähettämiin pulsseihin. Yksi moottorin akselin kierros voi enkooderista riippuen sisältää useita tuhansia pulsseja. Mitä enemmän pulsseja on, sen tarkempi paikoitus saadaan.

### 3 TUOTESUUNNITTELUN PERIAATTEITA

Mahdollisimman kilpailukykyistä ja sarjatuotantotuotetta valmistettaessa tärkeimpiä seikkoja ovat valmistuksen rationalisointi suurine sarjoineen ja halpa rakenne (17, s. 6). Yksittäistä tuotetta suunniteltaessa ei kuitenkaan tuotteen hinnalla ole niin suurta merkitystä. Rakenteet pyritään kuitenkin valitsemaan ja mitoittamaan mahdollisimman yksinkertaisiksi ja vaatimukset täyttäviksi.

Apukeinoina tuotesuunnittelussa voidaan käyttää erilaisia tuotekehitysmenetelmiä, joissa ratkaisuvaihtoehtoja haetaan ja vertaillaan systemaattisesti. Systemaattisessa menetelmässä pyritään muotoilemaan oleellinen ongelma. Tämän jälkeen esitetään toimintarakenne. Toisin sanoen tehtävä määritellään tulo- ja lähtösuureiden avulla kokonaistoiminnoiksi. Kokonaistoiminnot määritellään osatoiminnoiksi ja haetaan niille ratkaisua. Ratkaisut yhdistellään ja sopivat yhdistelmät valitaan jatkotarkasteluun. Ratkaisut konkretisoidaan laskelmien, luonnosten, simulointien ja mallien avulla. Lopuksi erilaiset ratkaisuyhdistelmät arvioidaan esimerkiksi pistearvioinnin avulla. (18.) Yksittäisen laitteen suunnitteluprojektin etenemisvaiheita ovat

- ideointi ja esisuunnittelu
- systeemitason suunnittelu
- yksityiskohtainen suunnittelu
- testaus ja viimeistely (18).

Tuotantolinjan toimivuuden ja ongelmien välttämisen kannalta laitteen suunnittelijan on tehtävä yhteistyötä tuotantolinjan muiden suunnittelijoiden kanssa. Tätä menetelmää kutsutaan rinnakkaissuunnitteluksi (17, s. 8).

#### 3.1 Osien standardisointi

Osien standardisointi pienentää varastoitavien ja käytettävien nimikkeiden määrää. Harvinaisten ja erikoisempien komponenttien käyttäminen ei ole kannattavaa, koska komponenttivalmistajien ei yleensä tarvitse kilpailla osien laadussa ja hinnassa muita valmistajia vastaan. Koskaan ei myöskään kannata suunnitella osaa, joka on mahdollista ostaa luettelon perusteella. (19, s. 46.)

Yksittäistä konetta suunniteltaessa voi harvinaisten ja valmistettavien komponenttien käytöstä olla kuitenkin etua. Standardiosien haeskelu luettelosta vie aikaa, ja niiden toimitusajat voivat olla pitkiä. Lisäksi valmiissa komponenteissa voi olla korkea hinta.

### **3.2 Osien suunnittelu valmistuksen ja kokoonpanon kannalta**

Suunnittelijan on otettava huomioon käytettävissä olevat koneet, laitteet ja valmistusprosesseihin liittyvät rajoitukset osia suunniteltaessa. Tolerointi ja pinnanlaatu on mietittävä kokonaisuutena laitteen toiminnan ja valmistettavuuden kannalta. Osat on pyrittävä suunnittelemaan myös siten, että osien valmistusaika olisi mahdollisimman lyhyt.

Laitteen suunnittelussa on huomioitava myös kokoonpantavuus. Laite on hyvä suunnitella niin, että laite on helposti koottavissa ja tarpeen tullen myös purettavissa, koska kyse on vielä alustavasti prototyypistä. Alipainehartsauskammion suunnittelussa valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden lisäksi on huomioitava myös laitteen huollettavuus, käytettävyys ja turvallisuus.

### **3.3 FEM-laskenta**

Lujuuslaskentatehtävässä on tavoitteena ratkaista annetuista kuormituksista aiheutuvat rakenteen siirtymätilakenttä, muodonmuutostilakenttä ja jännitystilakenttä, kun rakenteen tuenta tunnetaan. Kenttien ratkaisemisessa tarvittavat yhtälöt tunnetaan lujuusopin teoriasta. (20, s. 1.)

Elementtimenetelmän menestys perustuu tietokoneisiin, jotka tekevät mahdolliseksi suurten numerolaskumäärien käsittelyn kohtuullisessa ajassa. Menetelmä kehittyi tietokoneiden mukana nopeasti 1960- ja 1970-luvuilla, jolloin syntyi monia lineaarisen statiikan ja dynamiikan ohjelmistoja. (20, s. 1.)

Koneensuunnittelussa tietokoneavusteista FEM-laskentaa (Finite Element Method) käytetään rakenteiden lujuustarkastelussa. FEM-laskennan avulla voidaan tarkastella rakenteen siirtymiä, jännityksiä, värähtelyjä, väsymistä ja

murtumista. Se perustuu rakenteen jakamista elementteihin ja niiden välisten vuorovaikutusten simulointiin. (20, s. 2.)

Laskentamallin luonnin ja varsinaisen laskennan lisäksi FEM-analyysi sisältää myös tulosten tarkastelun ja arvioinnin. Koska FEM-ohjelma tuottaa hyvin suuren määrän numeerista tulostietoa, tarvitaan tulosten tarkasteluun jälkikäsittelyohjelma, joka muuntaa tulokset havainnolliseen graafiseen asuun. Eri ohjelmista saatavat graafiset esitykset ovat varsin vakiintuneita, koska niissä on joka tapauksessa esitettävä samat lujuusopillisesti kiinnostavat seikat. FEM-laskennalla voidaan tutkia esimerkiksi lujuusopin levyteoriaan perustuen rakenteen käyttäytymistä yleisemminkin. (21, s. 1.)

## **4 ALIPAINEHARTSAUSKAMMION SUUNNITTELUN**

### **LÄHTÖTIEDOT**

Sähkö-Rantek Oy:ssä alipainehartsauskammion suunnittelu alkaa aloituskatselmuksesta, jossa on mukana suunnittelija, tilaajan edustaja ja ohjaava opettaja. Aloituskatselmuksessa selvitetään ja tarkennetaan suunnittelun lähtötietoja tilaajan kanssa. Suunnitteluprosessin edetessä järjestetään ajoittain katselmuksia sekä tilaajan että ohjaavan opettajankin kanssa. Näiden palaverien tavoitteena on antaa suunnittelijalle palautetta eri osastojen edustajilta, jotta tuotetta saadaan muokattua paremmaksi. Lisäksi on pidettävä kiinni aikataulusta.

Opinnäytetyön kick off -palaveri pidettiin viikolla 37. Projekti ositettiin tehtävän tutustumisvaiheeseen, projektisuunnitelman tekemiseen, olemassa olevien ideoiden analysointiin, ratkaisujen hakuun, osien suunnitteluun, toimilaitteiden valintaan ja laitteen kokoonpanoon. Alipainehartsauskammion suunnittelun osuuden tulee olla valmiina ja komponentit on tilattava 48. viikolle mennessä. Koko tuotantolinjan on oltava täydessä toimintakunnossa 28.2.2014.

Suunnitteluprosessissa on myös käytävä palavereita osien toimittajien, valmistajien sekä automaatio suunnittelijan kanssa. Automaatio suunnittelijan tulee tietää laitteen toiminta, jotta hän pääsee omassa työssään eteenpäin. Alipainehartsauskammion automaatio suunnittelu tilataan ulkopuoliselta yritykseltä.

#### **4.1 Vaatimuslista**

Systemaattista menetelmää käytettäessä, on esisuunnitteluvaiheessa laadittava alustava vaatimuslista (taulukko 1), joka on yrityksen sisäinen luettelo kaikista toiveista ja vaatimuksista, jotka halutaan toteuttaa (18). Vaatimuslistaa päivitetään suunnitteluprosessin edetessä tarpeen mukaan.

TAULUKKO 1. Alipainehartsauskammion vaatimuslista

Alipainehartsauskammion vaatimuslista		
KV, VV, T	VAATIMUS	
	<b>1. GEOMETRIA</b>	
KV	OTETTAVA HUOMIOON TUOTANTOLINJAN LAYOUT JA TILAVAATIMUKSET	
KV	VARIOMIX SEKOITTAJA VOIDAAN VIEDÄ KAMMION SISÄLLE ALUMIINIPUTKESSA (VAATII TIIVISTYKSEN)	
KV	LINEAARIYKSIKÖT MAHDUTETTAVA KAMMIOON	
T	ALIPAINEPUMPPU SAMAN RUNKOON	
KV	VARIOMIX SEKOITTAJAN PAINEILMAMOOTTORIOSAA EI SAA VIEDÄ KAMMION SISÄLLE	
T	IKKUNA KAMMIOON	
T	RUUVILIITOKSET	
T	MAHDOLLISIMMAN YKSINKERTAINEN	
VV	ERGONOMIA HUOMIOITAVA	
VV	HARTSAUSKAMMION OVEN TOIMINTA AUTOMATISOITAVA	
T	RUNKO ALUMIINIPROFIILISTA	
	<b>2. VOIMAT</b>	
KV	KESTETTÄVÄ ALIPAIN 750 mbar	
KV	MAHDOLLISET MUODONMUUTOKSET EIVÄT SAA HAITATA LAITTEEN TOIMINTAA	
	<b>3. ENERGIA</b>	
KV	SÄHKÖ	
KV	PNEUMATIikka	
	<b>4. MATERIAALI</b>	
	ALUMIINI	
	<b>5. TURVALLISUUS</b>	
KV	EI SAA AIHEUTTAA KÄYTTÄJILLE VAARAA	
	<b>6. VALMISTUS</b>	
KV	OSIEN KONEISTUS PÄÄOSIN RANTEKILLA	
T	MAHDOLLISIMMAN PALJON STANDARDIOSIA	
	<b>7. KÄYTTÖ</b>	
KV	HUOMIOITAVA TUOTANTOLINJAN LEAN-AJATTELU	
KV	ALIPAINEN IMU ENNEN HARTSAUSTA	
KV	TAHTIAIKA MAX. 5 MINUUTTIA	
VV	KYETTÄVÄ HARTSAAMAAN YKSI JARRU KERRALLAAN	
KV	KYETTÄVÄ HARTSAAMAAN 5 ERI TUOTEVARIAATIOTA	
KV	AUTOMATISOITU HARTSAUS	
KV	10 MINUUTIN VÄLEIN HARTSISUUTTIMEN TYHJENNYS JOTTA EI JÄMÄHDÄ PUTKEEN	
KV	LOGIIKKAOHJAUS	
	<b>8. KUNNOSSAPITO</b>	
T	MAHDOLLISIMMAN PITKÄ HUOLTOVÄLI	
T	HELPOSTI HUOLLETTAVISSA	
	KV=Kiinteä vaatimus	
	VV=Vähimmäisvaatimus	
	T=Toivomus	

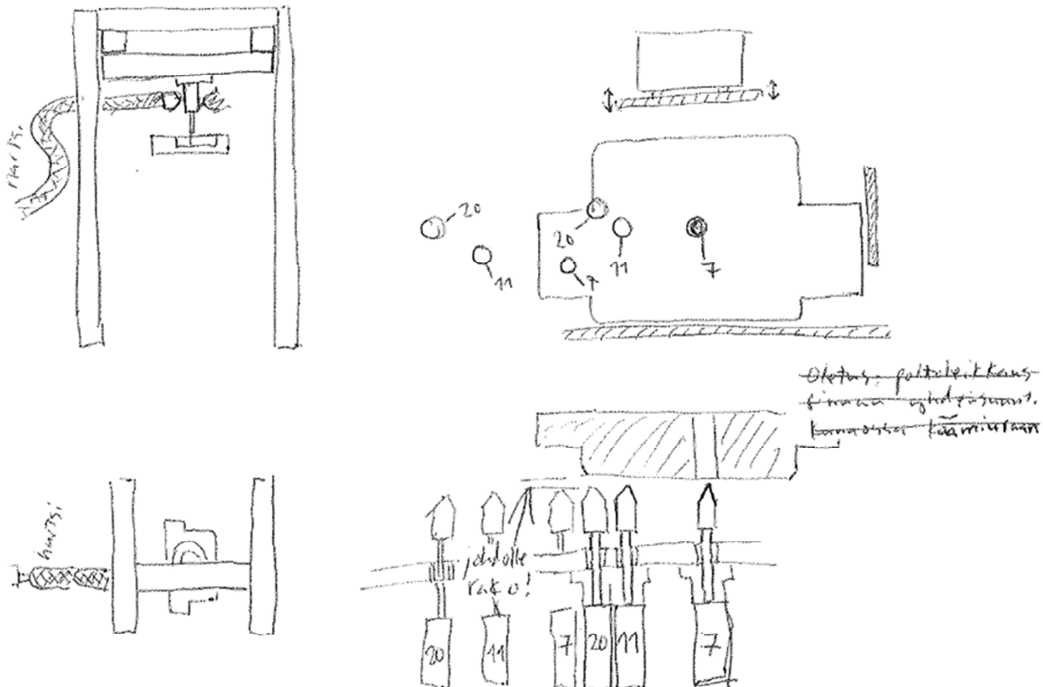
## 4.2 Ongelman muotoilu

Vaatimuslistan ja olemassa olevien ideoiden pohjalta ongelma pyritään muotoilemaan uudelleen, jotta tehtävän ydin tiedostettaisiin. Tehtävänanto on pyrittävä muotoilemaan mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon, jotta ylimääräiset rajoitukset eivät vaikuttaisi ajatustyöhön ja laitteen kehittämiseen. Näin ollen on suunniteltava laite, joka mahdollistaa uuden tuotesarjan sähkömagneettien hartsaamisen alipaineessa automaattisesti.

### 4.2.1 Olemassa olevien ideoiden analysointi

Sähkö-Rantekin olemassa olevassa alipainekammiossa käämiurien hartsaus tapahtuu lineaariyksikköjen varassa liikkuvalla suuttimella eli kappale pysyy paikallaan ja suutin liikkuu. Rantekilla aiemmin tehdyistä luonnosteluista kävi ilmi, että uudessakin kammiossa olisi tarkoitus liikutella suutinpäätä kappaleen pysyessä paikallaan (kuva 3).

*Lineaariakselit + nousevat paikoitustapit*



KUVA 3. Rantekilla aiemmin laadittu luonnostelupiirros alipainehartsauskammion toiminnasta

Linjastolle valmiiksi tilatun Variomix-annostelulaitteen sekoittajan paineilmamoottoriosaa (kuva 4) ei kuitenkaan saa viedä alipainekammion sisälle, joten suuttimen liikuttaminen lineaariyksiköiden varassa voidaan tässä tapauksessa unohtaa. On keksittävä toinen ratkaisu tarvittavien liikeratojen toteuttamiseen.



*KUVA 4. Paineilmatoiminen sekoitin*

Ainoastaan kuvassa 4 näkyvä alumiininen putki voidaan viedä kammion sisälle tiivistetyn läpiviennin kautta. Aikaisemmasta luonnostelusta kävi myös ilmi, että sähkömagneetit kulkevat alipainekammioon hihnaa pitkin. Tuotevariaatioiden paikoitus tapahtuisi paikoitustappien avulla.

Suunnitteluprosessin edetessä päätettiin, ettei kappaleiden kuljetus tapahdukaan hihnaa pitkin. Sen sijaan päätetään käyttää pikanostimia, joilla kappale voidaan nostaa työpisteestä seuraavaan. Tämäkin asettaa omat vaatimuksensa alipainekammion rakenteelle.

#### **4.2.2 Ideointi**

Vaatimusten ja aikaisempien ideoiden pohjalta pyritään ideoimaan toimivat ratkaisut laitteen toteuttamiselle ja vaatimusten täyttämiseksi. Annostelulaitteen sekoitinosaa on vietävä kammion katon läpi alumiiniputkessa. Putkea ei saa jatkaa millään joustavalla letkulla, joten ainoaksi vaihtoehdoksi jää enää kappaleen liikuttaminen lineaariyksiköiden varassa.

Viidessä eri tuotevariaatiossa on yksi ympyränmuotoinen ja kaksi ellipsinmuotoista käämiuraa eli tarvittavat liikeradat voidaan toteuttaa xy-



manipulaattorilla. Paikoitusohjaimessa on oltava lineaari- ja ympyränkaari-interpolointi mahdollisuus ja logiikan tulee keskustella Variomix-laitteen kanssa. Lisäksi tuotemalleista on olemassa eri tuotevariaatiota, joissa on tilavuudeltaan erikokoiset käämiurat. Xy-manipulaattorin päälle on suunniteltava paikoitusalue, johon kaikki tuotteet saadaan asetettua kiinteään nollapisteen mukaisesti. Sähkömagneettien on myös pysyttävä paikallaan manipulaattorin liikuteltaessa kappaletta. On myös huomioitava kymmenen minuutin välein tapahtuva hartsiputkien tyhjentäminen paikoitusaluea suunniteltaessa eikä hartsia saa päästä valumaan lineaariyksiköiden päälle.

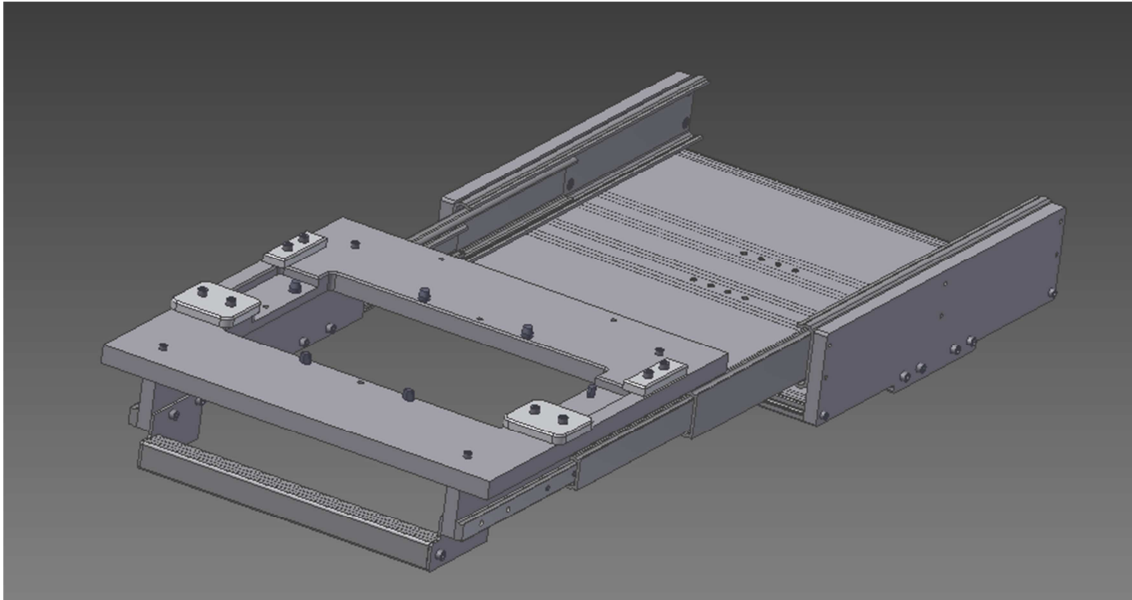
Alipainepumpun koko vaikuttaa kustannuksiin merkittävästi. Tehokkaat alipainepumput ovat todella kalliita investointeja. Tämän vuoksi alipainekammion on oltava tilavuudeltaan mahdollisimman pieni. Alipainekammion materiaalina tulee käyttää alumiinia vaatimuslistan mukaisesti, ja liitokset on toteutettava ruuveilla. Alipainekammion oven toiminta on automatisoitava eikä se saa avautuessaan aiheuttaa liikkumisestettä linjastolla. Alipainepumppu on myös tilanpuutteen vuoksi mahdutettava mielellään samaan runkoon.

Kammioon tulevien sähköjohtojen läpivienneissä on käytettävä standardiosia. Variomix-laitteen alumiiniputken sisällä oleva muovinen sekoitinputki on vaihdettava kerran päivässä, joten putken läpiviennin on oltava sellainen, että putken saa irrotettua ja vaihdettua helposti. Myös alipainepumpun ohjaus ja kammion takaisinilmaus tulee tapahtua automatisoidusti.

## 5 ALIPAINEHARTSAUSKAMMION SUUNNITTELU

### 5.1 Paikoitus-alustan suunnittelu

Ensimmäinen tehtävä on luonnostella sähkömagneeteille sopiva paikoitus-alusta sekä määrittää tarvittavien lineaariyksiköiden iskunpituudet, jotta kammion minimimitat saadaan tietoon. Paikoitus-alusta toteutetaan alumiinilevystä koneistamalla (kuva 5), johon tarvittavat paikoitustapit voidaan kiinnittää puristussovitteiden avulla. Paikoitus-alustassa kaikkien tuotevariaatioiden keskireikä on samassa kohdassa, jota voidaan pitää referenssipisteenä. Suurin tuote joudutaan paikoittamaan ulkoreunoista kuvassa 5 näkyvillä paikoituspalikoilla.

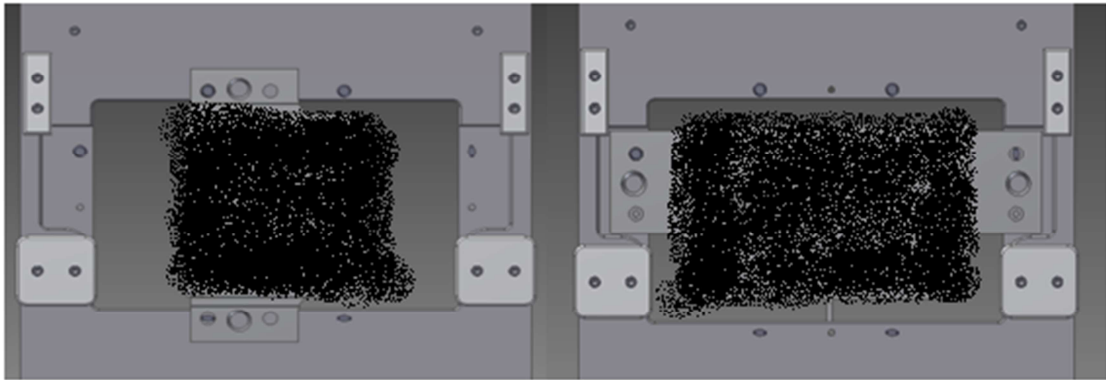


*KUVA 5. 3D-malli paikoitus-alustasta*

Paikoitus-alustan materiaalina käytetään pääosin alumiinia lukuun ottamatta teleskooppijohteita ja kiinnityselimiä. Alumiinilla saavutetaan riittävä lujuus ja keveys. Tämän paikoitus-alustaratkaisun etuja on se, ettei yhtään tuotetta voida vahingossakaan laittaa väärinpäin. Se mahdollistaa myös kaikkien tuotevariaatioiden asettamisen alustalle riittävällä paikoitustarkkuudella.

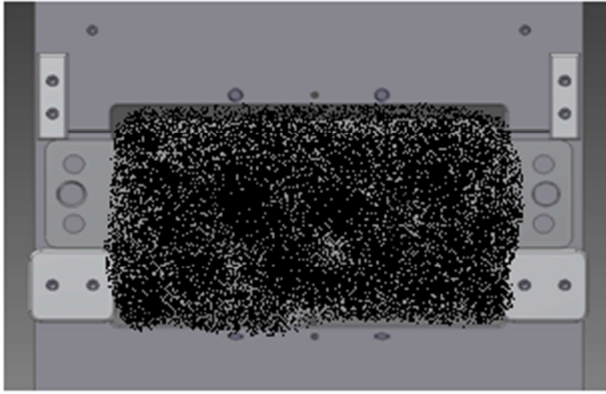
Paikoitus-alustan teleskooppijohteiden tehtävänä on mahdollistaa alustan ulosveto kammioista, jotta tuote saadaan vaihdettua uuteen pikanostimen

avulla. Lisäksi paikoitusalueen runkoon on jätetty riittävästi tilaa hartsin tyhjennyslaatikolle. Rungon rakenne on pyritty suunnittelemaan siten, että se suojaa samalla hartsin valumisen lineaariyksiköiden päälle. Teleskoopeiksi valikoitui Rollcon 140 %:n iskulla olevat johteet, joiden kuormankantokyky ääriasennossa on 163 kg paria kohden. Maksimissaan paikoituslevylle kohdistuva paino on 38 kg, joten ratkaisu on riittävä. Paikoitusalueen mitoituksen lähtökohtana on myös Rantekilla olemassa olevat materiaalit, joista tarvittavat osat voidaan koneistaa kokoonpanoon. Kuvassa 6 on esimerkki eri tuotteiden sijoittamisesta alustalle. Tilaajan toiveet huomioiden kuvat 6 ja 7 on osittain sensuroitu.



*KUVA 6. Sähkömagneettien sijoittaminen alustalle*

Paikoitus on pyritty suunnittelemaan siten, että kaikkien tuotevariaatioiden keskipiste on samalla kohtaa. Kuvassa 6 näkyvät timantinmuotoiset tapit on valittu helpottamaan kappaleen nostoa alustalle. Pyöreän tapin tehtävänä on paikoittaa kappale oikeaan kohtaan, jolloin timantinmuotoinen tappi estää pyörimisliikkeen. Kuvasta 7 nähdään suurin tuote sijoitettuna alustalle.



*KUVA 7. Suurin sähkömagneetti paikoitettuna ulkoreunoista*

Sähkömagneetti on ulkoreunoistaan polttoleike. Polttoleikkauksen toleranssi on  $\pm 2,5$  mm, joten suurimman tuotteen paikoitus ulkoreunoista on hieman kyseenalainen ratkaisu. Aikataulun vuoksi suurimman sähkömagneetin paikoitus kuitenkin toteutetaan ulkoreunoista ja tarvittaessa paikoitusta parannetaan suunnittelemalla sille myöhemmin esimerkiksi oma paikoituslevy.

## **5.2 Xy-manipulaattorin suunnittelu**

Paikoitusalueen suunniteltaessa on samalla mietittävä tarvittavaa xy-manipulaattorin suunnittelua ja valintaa. Suurimman hartsattavan sähkömagneetin käämiuran ulkoreunojen leveys on noin 300 mm ja pituus noin 200 mm. Xy-manipulaattorin tarvittavat liikematkat tulee olla minimissään 300 x 200 mm. Pienimmän tuotteen käämiuran ympyrän ulkohalkaisija on pienempi kuin 200 mm, joten liikematka on siltäkin osin riittävä.

Alustavassa mitoituksessa suunnittelun lähtötietoina ovat tarvittavat liikematkat, kelkan päälle tuleva massa ja kiihtyvyys. Lineaariyksiköiksi valitaan kuularuuvijohde sen tässä sovelluksessa tarvittavien hyvien ominaisuuksien vuoksi. Kuularuuvijohteilla on hyvä jäykkyys ja riittävä toistotarkkuus.

Kuularuuvien pyörimisnopeus maksimiliikenopeudella lasketaan kaavalla 1 (22, s. 179).

$$n_{\text{kuularuuvi}} = \frac{v}{p} \quad \text{KAAVA 1}$$

$v$  = kelkan maksimiliikenopeus

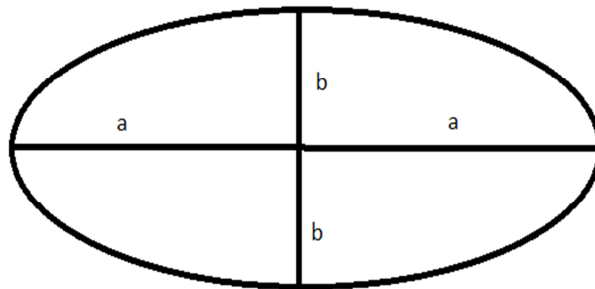
$p$  = kuularuuvien nousu

Nopeus  $v$  voidaan selvittää hartsaukseen käytettävästä matkasta ja hartsausajasta. Suurimman sähkömagneettin 2D-piirustusta hyväksikäyttäen saadaan likimääräinen kehän pituus  $P$  laskettua kaavasta 2 (23, s. 25).

$$P \approx a + b + 3 * \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{KAAVA 2}$$

$a$  = säteen pituus horisontaalisesti (mm)

$b$  = säteen pituus vertikaalisesti (mm) (kuva 8)



KUVA 8. Laskentamalli käämiuran likimääräisille mitoille (23, s. 25)

Sijoittamalla arvot kaavaan 2 saadaan kehän pituudeksi noin 7 000 millimetriä. Hartsin korkean viskositeetin vuoksi tulee rata kiertää ympäri noin kymmenen kertaa eli kokonaisliikkeen pituuden tulee olla:  $s_{\text{kok}} = 7\,000 \text{ mm} + 170 \text{ mm} = 7\,170 \text{ mm}$ . 170 mm on lisätty kokonaisliikkeen pituuteen, koska kappaleen referenssipisteestä on liikuttava hartsisuuttimen kohdalle ja takaisin. Edellä suoritettua laskennassa arvot on muuteltu tilaajan toivomuksesta.

Hartsaukseen käytettävä ajaksi  $t$  määritetään alustavasti 60 sekuntia, joten nopeus  $v$  voidaan laskea kaavasta 3 (23, s. 200).

$$v = \frac{s_{kok}}{t}$$

KAAVA 3

$$v = \frac{7170 \text{ mm}}{60 \text{ s}} \approx 120 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Kuularuuvien maksimipyörimisnopeutta rajoittaa tietyllä pyörimisnopeudella tapahtuva resonanssi-ilmiö, joka saa sen värähtelemään radiaalisesti. Alustavassa mitoituksessa kriittinen pyörimisnopeus lasketaan käyttämällä akselin ominaiskulmanopeuden kaavaa 4. (17, s. 29.)

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m_k}}$$

KAAVA 4

$m_k$  = akselin massa

$k$  = akselin jousivakio

Akselin jousivakio voidaan laskea kaavalla 5 (17, s. 29).

$$k = \frac{48EI}{l_k^3}$$

KAAVA 5

$E$  = teräksen kimmokerroin (210 GPa)

$l_k$  = akselin pituus

$I$  = akselin neliömomentti

Akselin neliömomentti  $I$  lasketaan kaavalla 6 (23, s. 403).

$$I = \frac{\pi d_k^4}{64}$$

KAAVA 6

$d_k$  = akselin halkaisija

Käytännössä kulmanopeuden täytyy olla selvästi pienempi tai suurempi kuin ominaiskulmanopeus. Laskennassa käytetään ehtoja  $\omega \leq 0,7 \omega_n$  tai  $\omega \geq 1,4 \omega_n$ . Kuularuuvia käytettäessä pyritään pysymään kriittisen pyörimisnopeusalueen alapuolella, jolloin ei ylitetä akselin ominaiskulmanopeutta. (17, s. 30.)

### 5.2.1 Kuularuuvikäytön mitoitus

Kuularuuvikäyttöä mitoittaessa otetaan huomioon pyörimisnopeudet, välitykset ja komponentteihin kohdistuvat voimat sekä momentit. Näiden tietojen

perusteella pystytään valitsemaan sopiva kuularuuvi sekä sitä käyttävä moottori ja mahdollinen välitys.

Tarkastellaan Rollcon CTV-sarjan lineaariyksikköä, joka on kompakti moottorikäyttöön tarkoitettu lineaariyksikkö. Sen rakenteessa on yhdistetty lineaarijohde ja kuularuuvi. CTV-sarjan lineaariyksikössä

- kokoluokka on runkoprofiilin leveys
- rakennevaihtoehtoja ovat lyhyt tai pitkä kelkka
- toistotarkkuus normaalissa on +/- 0,05 mm ja tarkassa +/- 0,02 mm
- kuularuuveista on saatavilla valssattu tai hiottu vaihtoehto
- halkaisijoita on saatavilla 12 mm:stä 20 mm:iin
- nousuja on saatavilla 5, 10, 16, 20 mm:iin
- lisävarusteina on ääriajakatkaisijat sekä suojakansi.

Esivalitaan CTV-110-lineaariyksikkö, jossa kuularuuvin halkaisija on 16 mm, nousu 5 mm. Muut mittatiedot ovat liitteessä 2.

Lasketaan neliömomentti I kaavalla 6.

$$I = \frac{\pi * (16mm)^4}{64} \approx 3\,217\,mm^4$$

Lasketaan jousivakio k kaavalla 5.

$$k = \frac{48 * 210\,000 \frac{N}{mm^2} * 3\,217mm^4}{(575mm)^3} = 170,6 \frac{N}{mm}$$

Lasketaan kuularuuviakselin massa kaavalla 7 käyttämällä teräksen tiheyden arvona  $7\,800\,kg/m^3$  (23, s. 300) ja kuularuuvin pituutena 575 mm.

$$m_{akseli} = \rho V$$

KAAVA 7

$\rho$  = teräksen tiheys

$V$  = akselin tilavuus ( $\pi r^2 * l_{akseli}$ )

$$m_{akseli} = \rho * \pi r^2 * l_{akseli} = 7\,800 \frac{kg}{m^3} * \pi * (0,008m)^2 * 0,575m \approx 0,90kg$$

Lasketaan kriittinen pyörimisnopeus  $\omega_n$  kaavalla 4.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{170600 \frac{\frac{kgm}{s^2}}{m}}{0,90kg}} \approx 435 \frac{1}{s}$$

Valitaan 5 mm:n nousulla oleva kuularuuvi ja lasketaan sen pyörimisnopeus kaavalla 1.

$$n = \frac{120 \frac{mm}{s}}{5mm} = 24 \frac{1}{s} = 1\,440 \frac{r}{min}$$

Lasketaan kuularuuvien kulmanopeus  $\omega$  kaavalla 8 (23, s. 200).

$$\omega = 2\pi n$$

KAAVA 8

$$\omega = 2\pi * 24 \frac{1}{s} \approx 151 \frac{1}{s}$$

Aiemmin mainittiin, että kulmanopeuden  $\omega \leq 0,7 \omega_n$  tai  $\omega \geq 1,4 \omega_n$ . Tulokseksi saatu  $151 \ll 0,7 * 435$ , joten voidaan valita 5 mm:n nousulla oleva kuularuuvi.

Kaavoilla suoritettu laskenta on suuntaa-antavaa, joten pidemmälle edenneessä suunnittelussa tulee käyttää kuularuuvivalmistajan antamia ohjeita ja kaavoja kuularuuvien mitoittamiseen. Tässä sovelluksessa käytettävien kuularuuvien pituudet ovat varsin lyhyitä, joten halkaisijaltaan 16 mm:n kuularuuvi tulee varmasti kestävänsä kyseisessä sovelluksessa.

CTV-sarjan lineaariyksiköihin valmistaja suosittelee 50 millimetrin turvamatkaa kuularuuvien molempiin päihin. Kelkan ja päätylaakeroinnin väliin on siis jätettävä 50 mm turvaetäisyyttä, jotta päätylaakerointiin ei kohdistuisi liikaa rasituksia. Näin ollen alkavat lineaariyksiköiden tarvittavat iskunpituudetkin hahmottua.

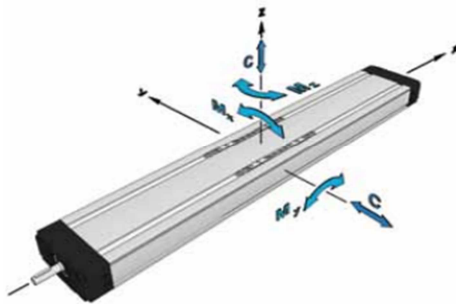
Aiemmin mainittiin, että tarvittavien liikematkojen on oltava vähintään 300 x 200 mm, joten tarvittava turvaetäisyys lisätään liikkeisiin. Valitaan alemman yksikön iskunpituudeksi 400 millimetriä ja ylemmän yksikön iskunpituudeksi 300 millimetriä. Kuularuuvien valmistaja ilmoitti 400 millimetrin iskulla olevan



kuularuuvien maksimipyörimisnopeudeksi 4 400 rpm, joka on paljon suurempi kuin 1 440 rpm eli mitoitus on hyväksyttävissä näiltä osin.

### 5.2.2 Lineaariyksikön lujuustarkastelu

CTV-110-sarjan pitkällä kelkalla olevan lineaariyksikön taivutusmomentin kesto x-suunnassa on 1 308 Nm sekä y- ja z-suunnassa 1 680 Nm (liite 2). Kuvasta 9 nähdään yksikön koordinaattiakselit.



KUVA 9. CTV-110 koordinaatisto (liite 2)

300 millimetrin yksikkö tullaan sijoittamaan pidemmän yksikön päälle 90 asteen kulmaan alempaan yksikköön nähden. Alemman yksikön päälle kohdistuu paikoitusaluslusta, jarrusta ja ylemmästä yksiköstä aiheutuva massa, joten on tarkastettava, että alemman yksikön  $M_x$  on riittävä. Paikoitusaluslusta on kammiosta ulosvedettävä malli. Voiman varsi on maksimissaan 780 millimetrin etäisyydellä alemman yksikön x-akselista, maksimivoiman ollessa noin 550 N. Alemmaan yksikköön kohdistuva maksimimomentti voidaan laskea kaavasta 9 (23, s. 191).

$$M = Fr$$

KAAVA 9

F = maksimivoima

r = voiman varsi

$$M = 550 \text{ N} * 0,78 \text{ m} = 429 \text{ Nm}$$

Varmuusluku on siis  $1\,308 \text{ Nm} / 429 \text{ Nm} = 3$ , joka on myös valmistajan suositus. Alemman lineaariyksikön tuenta tapahtuu pohjasta, joten sen

kummempaa taipumatarkastelua sille ei tarvitse tehdä. Ylemmän yksikön pituuden ollessa todella lyhyt, voidaan todeta, ettei sallittu taipuma tässä sovelluksessa tule ylittymään, joten mitoitus on siltä osin hyväksyttävissä. Lian suojaukseen valitsin yksiköihin lisäksi suojakannet. Lopuksi oli vielä varmistettava, että yksiköt soveltuvat käytettäväksi alipaineessa.

### 5.2.3 Servomoottorin valinta

Servomoottoria valittaessa tärkeimpiä seikkoja ovat inertiasuhde, nopeus, maksimivääntö ja keskimääräinen väännön tarve käytetyllä nopeudella. Onkin tärkeää, ettei päädytä valitsemaan liian pientä moottoria, vaikka se kiihtyvyyden pienentämisen kautta olisi mahdollista. Liian pieni moottori vaikuttaa sen käyttämien massojen inertiasuhteeseen ja heikkoon moottorin kykyyn vaikuttaa sen pyörittämien massojen liikkeeseen. Tällöin liike saattaa muuttua kuminauhamaiseksi (17, s. 39). Alle 750 watin servomoottorissa tulisi inertiasuhteen olla vähemmän kuin 15 (22, s. 174).

Kuularuuvikäytön mitoituksessa suurimmat vaikuttavat voimat tulevat siirrettävän kuorman massasta ja siitä aiheutuvista hitaus- ja kitkavoimista. Moottorin momentin tarvetta lisäävät myös käyttöön kuuluvista pyörivistä massoista aiheutuvat hitausmomentit. Rakenteesta riippuen näitä ovat moottorin hitausmomentti, hihnavälityksen hihnapyörien hitausmomentit, kuularuuvin ja laakeroinnin aiheuttamat hitausmomentit. (22, s. 174.)

Lineaarinen liikettä vastustava voima lasketaan kaavalla 10 (23, s. 193).

$$F = m_{tot} * a + m_{tot} * \mu g \quad \text{KAAVA 10}$$

$m_{tot}$  = paikoituslavan, kappaleen ja ylemmän lineaariyksikön yhteenlaskettu massa

$a$  = kelkan maksimikiihtyvyys

$\mu$  = kuularuuvin laakerikitka (0,15)

$g$  = putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Alustavasti kelkan kiihtyvyydeksi valitaan 1,4 m/s<sup>2</sup> ja massan arvioidaan olevan 65 kg. Lasketaan lineaarinen liikettä vastustava voima kaavalla 10.

$$F = 65 \text{ kg} * 1,4 \frac{m}{s^2} + 65 \text{ kg} * 0,15 * 9,81 \frac{m}{s^2} = 186,7 N$$

Lineaarisista voimista aiheutuva vääntömomenttikuormitus moottorin akselille lasketaan kaavalla 11 (22, s. 174).

$$M_l = \frac{F * p}{2\pi} \quad \text{KAAVA 11}$$

F = lineaariliikettä vastustava voima

p = kuularuuvien nousu

$$M_l = \frac{186,7 \text{ N} * 0,005 \text{ m}}{2\pi} \approx 0,15 \text{ Nm}$$

Hitausmomenteista aiheutuva vääntömomenttikuormitus moottorin akselilla saadaan laskemalla yhteen pyörivistä massoista aiheutuvat vääntömomentit kaavalla 12 (23, s. 202).

$$M_h = \frac{J_k \alpha_k}{\eta} + J_m \alpha_k + J_{h1} \alpha_k + \frac{J_{h2} \alpha_k}{\eta} + \frac{J_{ma} \alpha_k}{\eta} \quad \text{KAAVA 12}$$

$\alpha_k$  = kuularuuvien kulmakiihtyvyys

$J_k$  = kuularuuvien hitausmomentti

$J_m$  = moottorin hitausmomentti

$J_{h1}$  = käytävän hammaspyörän hitausmomentti

$J_{h2}$  = käytettävän hammaspyörän hitausmomentti

$J_{ma}$  = alemman yksikön päälle tulevan massan (65 kg) aiheuttama hitausmomentti

$\eta$  = hammashihnavälityksen hyötysuhde (97 %)

Käytännössä myös hammashihna aiheuttaa hieman hitausmomenttia, mutta sen aiheuttama hitausmomentti on merkityksettömän pieni, joten sitä ei oteta tässä laskennassa huomioon. Hammashihnavälitys valitaan rakenteeseen sen vuoksi, että se pienentää alipainekammion pohjapinta-alan tarvetta moottorin sijoittelun vuoksi. Hammashihnavälitykseksi valitaan 1:1, joka on perusteltu sivulla 34. Hammaspyörien halkaisija on 50 mm ja materiaali alumiinia, joten niiden hitausmomentin arvo voidaan laskea kaavalla 13 (23, s. 196).

$$J_h = \frac{1}{2} m_{hp} (R^2 + r^2)$$

KAAVA 13

$m_{hp}$  = hammaspyörän massa

$R$  = hammaspyörän sisähalkaisija

$r$  = hammaspyörän jakohalkaisija

Kaavalla 7 saadaan laskettua hammaspyörän massa alumiinin tiheyden ollessa  $2700 \text{ kg/m}^3$  (23, s. 299).

$$m_{hp} = \rho_{\text{alumiini}} V_{\text{hammaspyörä}} = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi(0,05 \text{ m} - 0,016 \text{ m})^2}{4} * 0,03 \text{ m}$$

$$\approx 0,075 \text{ kg} = 75 \text{ g}$$

Lasketaan hitausmomentin arvo kaavalla 13.

$$J_h = \frac{1}{2} m_{hp} (R^2 + r^2) = \frac{1}{2} * 0,075 \text{ kg} * ((0,025 \text{ m})^2 + (0,008 \text{ m})^2)$$

$$\approx 2,58 * 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Esivalitaan 200 watin servomoottori, jonka hitausmomentti on  $0,24 * 10^{-4} \text{ kgm}^2$ .

Kuularuuvien hitausmomentti saadaan laskettua valmistajan kaavasta (liite 2).

$$J_k = (2,0 + 0,005 * 400) * 10^{-5} = 4 * 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Seuraavaksi lasketaan yksikön päälle kohdistuvan massan aiheuttama hitausmomentti kaavalla 14 (22, s. 176).

$$J_{ma} = \frac{m_a * p^2}{4\pi^2}$$

KAAVA 14

$$J_{ma} = \frac{65 \text{ kg} * (0,005 \text{ m})^2}{4\pi^2} = 4,12 * 10^{-5} \text{ kgm}^2$$

Kuularuuvien kulmakiikhtyvyys saadaan laskettua kaavalla 15 (17, s. 40).

$$\alpha_k = \frac{a2\pi}{p}$$

KAAVA 15

$a$  = kuularuuvien maksimikiikhtyvyys

$$\alpha_k = \frac{1,4m * 2\pi}{s^2 * 0,005m} \approx 1759,3 \frac{1}{s^2}$$

Hitausmomenteista aiheutuva vääntömomenttikuormitus voidaan laskea nyt kaavasta 12.

$$M_h \approx 0,28 Nm$$

Moottorilta vaadittu kokonaismomentti saadaan kuularuuvikäytön hyötysuhde 90 % huomioiden kaavalla 16.

$$M_{tot} = \frac{M_l + M_h + M_{ll}}{\eta_{kuularuuvi}} \quad \text{KAAVA 16}$$

$M_{ll}$  = kelkan liikkeellelähtömomentti (0,13 Nm) (liite 2)

$$M_{tot} = \frac{0,15 Nm + 0,28 Nm + 0,13 Nm}{0,9} \approx 0,62 Nm$$

200 watin moottorin HF-KP 23 nimellisvääntömomentti on 0,64 Nm > 0,62 Nm ja maksimi vääntömomentti 1,9 Nm (liite 3). Servomoottorin vääntömomentti on siis riittävä tähän sovellukseen. Seuraavaksi tehdään moottorin inertiatarkastelu.

Servomoottorin ja sen käyttämien inertioiden suhde tulee olla riittävän iso sulavan liikkeen takaamiseksi. Inertiasuhde lasketaan kaavalla 17 (22, s. 174).

$$\frac{J_{käyttö}}{J_{moottori}} \quad \text{KAAVA 17}$$

Käytön hitausmomentti saadaan laskemalla yhteen pyörivien massojen aiheuttamat hitausmomentit kaavalla 18.

$$J_{käyttö} = J_k + J_{h1} + J_{h2} + J_{ma} + J_m \quad \text{KAAVA 18}$$

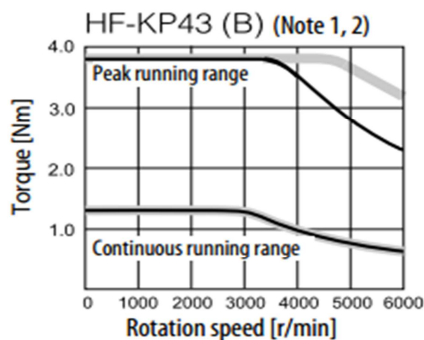
Käytön hitausmomentiksi saadaan

$$J_{käyttö} = 1,52 * 10^{-4} \text{ kgm}^2.$$

Lasketaan inertiasuhde kaavalla 17.

$$\frac{1,52 * 10^{-4}}{0,24 * 10^{-4}} = 6,3 < 15$$

Moottorin valmistajan mukaan alle 750 watin moottorin inertiasuhteen tulisi olla pienempi kuin 15 (liite 3) eli mitoitus on hyväksyttävissä. Sovellukseen valitaan varmuuden vuoksi 400 watin servomoottori HF-KP 43 (kuva 10), koska hintaero moottoreiden välillä ei ole merkittävä.



KUVA 10. 400 watin servomoottorin vääntömomenttikuvaaja (liite 3)

Servomoottorin vääntömomenttikuvaajan perusteella nähdään, että vääntömomentti ei laske, vaikka kierrosluku laskee, joten voidaan valita kyseinen moottori. Nimellisvääntömomentti moottorilla on 1,3 Nm ja maksimivääntömomentti 3,9 Nm. Hammashihnavälityksen maksimivääntömomentin kesto on 4 Nm ja kuularuuvien maksimivääntömomentin kesto on 6,6 Nm.

Kuvasta 10 nähdään, että servomoottorin maksimipyörimisnopeus voi olla jopa 6 000 rpm, joten olisi ollut järkevää ottaa hihnavälitykseen alennusvaihte, joka olisi samalla pienentänyt moottorin kuormitusta ja inertiasuhdetta. Tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista saatavilla olevien moottorin ja hammashihnavälitysten sovitteiden kannalta. Pienempi hammaspyörä olisi vaatinut kiilauran moottorin akselille, jota ei kuitenkaan ollut saatavilla kyseiseen moottorimalliin. Tarvittava maksiminopeus sovellukseen on 1 452 rpm.

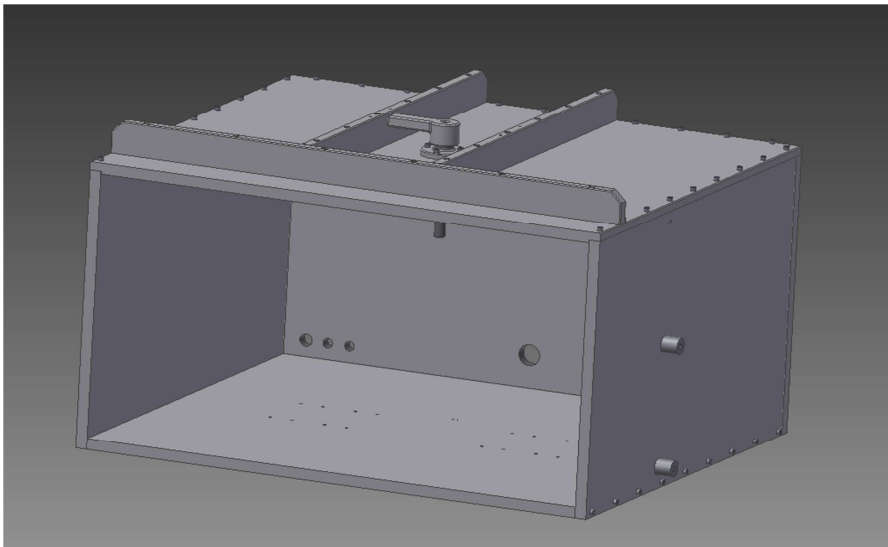
Servomoottorin pyörimisnopeutta voidaan kuitenkin säätää halutuksi servo-ohjaimen avulla.

#### 5.2.4 Energiansiirtoketjun valinta

Rakenteeseen tarvitaan myös yksi energiansiirtoketju, jossa ylemmän yksikön moottorin, enkooderin ja päätyrajojen kaapelit saavat sujuvasti liikkua. Liikuteltavassa asennuksessa servokaapeleiden taivutussäde on minimissään  $10 \times$  kaapelin halkaisija (24). Enkooderin kaapelin halkaisija on valmistajan mukaan 7 mm, joten taivutussäde saa olla minimissään 70 mm. Valitaan Movetecilta Kabelschleppin Mono-sarjasta rakenteeseen sopiva avattava energiansiirtoketju, jonka taivutussäde on 74 mm, leveys 40 mm ja korkeus 10 mm. Energiansiirtoketjun tyyppi on 0130.40 ja sen tekniset tiedot ovat liitteessä 4.

#### 5.3 Alipainekammion suunnittelu

Xy-manipulaattorin ja paikoitusalustan vaatimien liikeratojen vuoksi kammion pohjan sisäpinta-alaksi määräytyi 900 x 800 mm, jotta törmäysvaaraa ei syntyisi missään tilanteessa. Kammion sisäkorkeudeksi valitsin 485 mm. Kammion kokonaistilavuus on siis  $0,35 \text{ m}^3$  eli 350 litraa. Kuvasta 11 nähdään lopullisen alipainekammion rakenne 3D-mallina.



KUVA 11. 3D-malli alipainekammion rakenteesta

Alipainekammion materiaaliksi valikoitui 6082-alumiini ja seinämänpaksuudeksi määräytyi FEM-analyysin perusteella 20 mm. Kattoon on ruuvattu muutama jäykiste muodonmuutosten estämiseksi. Kammio kiinnitetään jalustaan pohjalevystä ja kaikki saumat tiivistetään tiivistemassalla.

#### 5.4 Alipainekammion lujuusanalyysi

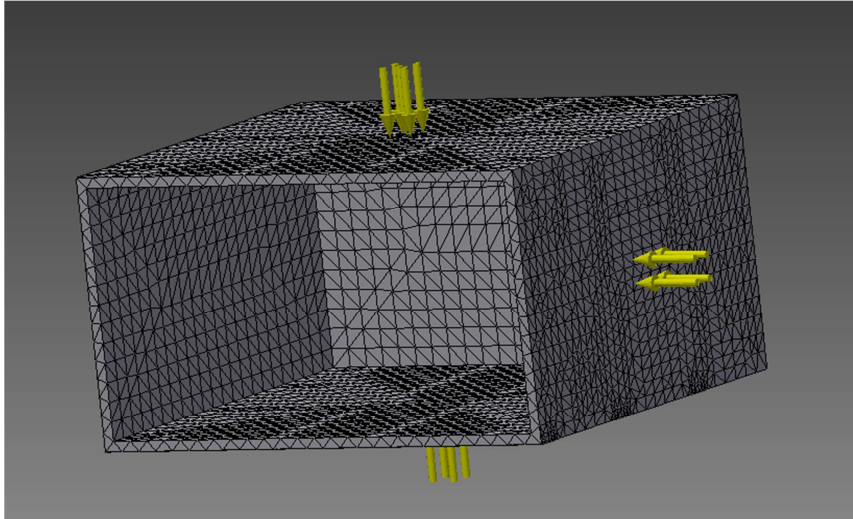
Kammion lopullisesta rakenteesta tehtiin vastaava analyysimalli, josta voitiin tarkastaa, kestäkö kammio vaadittua paine-eroa 750 mbar. Kammion suunnittelu ja lujuusanalyysi tehdään käytössä olevalla Inventor Professional 2011 3D -suunnitteluohjelmalla. Materiaaliksi määritetään Inventorista löytyvä 6061-alumiini, jonka myötö- ja murtorajan arvot ovat erittäin lähellä 6082-laattaa, kuten taulukosta 2 nähdään. Myötö- ja murtorajalla ei ole merkitystä FEM-analyysin laskennan kannalta, mutta tulosten tulkinnan kannalta on.

TAULUKKO 2. Alumiinien vertailutaulukko (25)

EN AW	AA	WERKSTOFF	DIN	SS	R, 0.2% MPa	Rm MPa	HB	Käyttökohteet
1050A	1050A	3.0255	Al99,5	4007	20	65	20	Hyvä korroosiokesto, hyvä muovattavuus
1070A	1070A	3.0275	Al99,7	4005	15	60	18	Hyvä korroosiokesto, hyvä muovattavuus
1200	1200	3.0205	Al99,0	4010	25	75	23	Syvävetoon, lämmönvaihtimet
2007	2007	3.1645	AlCuMgPb	4335	220	340	90	Automaattisorvauslaatu
2014	2014	3.1255	AlCuSiMn	4338	440	360	120	Suuri lujuus, lentokoneteollisuus
2017A	2017	3.1325	AlCuMg1		260	380	110	Pakkausteollisuus, hyvä lujuus
2024	2024	3.1355	AlCuMg2		330	460	120	Suuri lujuus ja sitkeys, lentokoneteollisuus
3003	3003	3.0517	AlMnCu		35	95	28	Hyvä korroosiokesto, hyvä muovattavuus
3103	3103	3.0515	AlMn1	4054	35	90	27	Autokorilaatu
5005	5005	3.3315	AlMg1	4106	110	145	47	Anodisointilaatu
5052	5052	3.3523	AlMg2,5	4120	65	170	47	Hyvä korroosiokesto
5083	5083	3.3547	AlMg4,5Mn	4140	125	275	75	Hyvä korroosiokesto, merivesilaatu
5754	5754	3.3535	AlMg3	4125	80	200	50	Merivesilaatu, hyvä hitsattavuus
6012	6012	3.0615	AlMgSiPb		200	275	80	Automaattisorvauslaatu
6061	6061	3.3211	AlMg1SiCu		240	290	90	Hyvä hitsattavuus, suuri lujuus
6063	6063	3.3206	AlMgSi0,5	4104	160	215	70	Yleisin profiillilaatu, sopii anodisointiin
6082	6082	3.2315	AlMgSi1	4212	255	315	95	Yleisin koneenrakennusseos, anodisoitava
6262	6262		AlMg1SiPb		240	290	85	Automaattisorvauslaatu, anodisoitava
7010	7010	3.4394			485	545	150	Suuri lujuus, lentokoneteollisuus
7020	7020	3.4335	AlZn4,5Mg1	4425	275	350	105	Suuri lujuus, hitsattava
7050	7050	3.4144			485	545	150	Lentokoneteollisuus, muotinvalmistus
7075	7075	3.4365	AlZnMgCu1,5		505	570	150	Muottiteollisuus, työvälineet, lentokoneet
7475	7475	3.4384			420	500	140	Lentokoneteollisuus



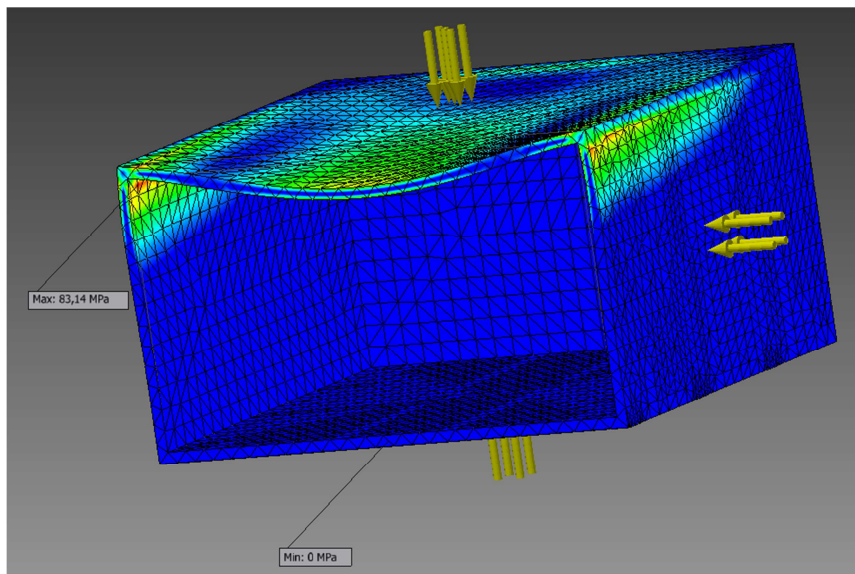
Kammiosta tehdään jäykistämätön malli ja katsotaan, miten se käyttäytyy paine-eron vaikutuksesta. Alipaine vetää seiniä sisäänpäin, joten ohjelmaan syötetään paineen kohdistuvan ulkopuolelta kuvan 12 mukaisesti.



*KUVA 12. Jäykistämätön analyysimalli alipainekammioista*

Kuvasta 12 nähdään myös generoitu elementtiverkko. Paine-erona analyysissä käytetään 1 000 mbar ja paine laitetaan kohdistumaan kaikkiin ulkopintoihin. Ohjelmaan täytyy myös määrittää painovoiman vaikutuksesta aiheutuva voima ja sellainen tuenta, kuten se todellisuudessaakin olisi.

Kuvasta 13 nähdään, että jäykistämättömän kammion vertailujännityksen maksimiarvo on 83,14 MPa. 6082-alumiinin myötöraja on 255 MPa (taulukko 2), joten varmuus on kolminkertainen myötörajaan verrattuna.



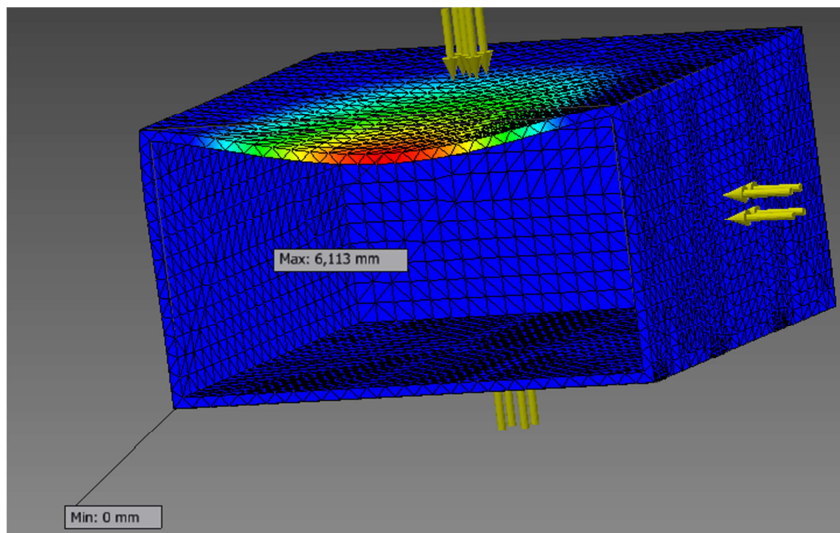
*KUVA 13. Jäykistämättömän kammion vertailujännitys*

Konetekniikassa yleisesti käytetyt varmuuskertoimet myötörajaan nähden vaihtelevat välillä 1,3...2,5 (26, s. 22). Paineastioissa varmuuskertoimet ovat lainsäädännössä määriteltyjä. Aikaisemmin kuitenkin todettiin, ettei alipainekammio ole paineastia, joten valitaan käytettäväksi varmuuskertoimeksi 1,5. Sallittu jännitys lasketaan kaavalla 19.

$$\sigma_{nsall} = \frac{R_{p0.2}}{1,5} \quad \text{KAAVA 19}$$

$R_{p0.2}$  = 0,2 %:n venymäraja (26, s. 21)

Sijoittamalla arvot kaavaan saadaan sallituksi jännitykseksi 6082-alumiinille 170 MPa, joten jännitysten osalta voidaan todeta, että rakenne kestää hyvin siihen kohdistuvat kuormitukset. Seuraavaksi tarkastellaan siirtymiä (kuva 14).

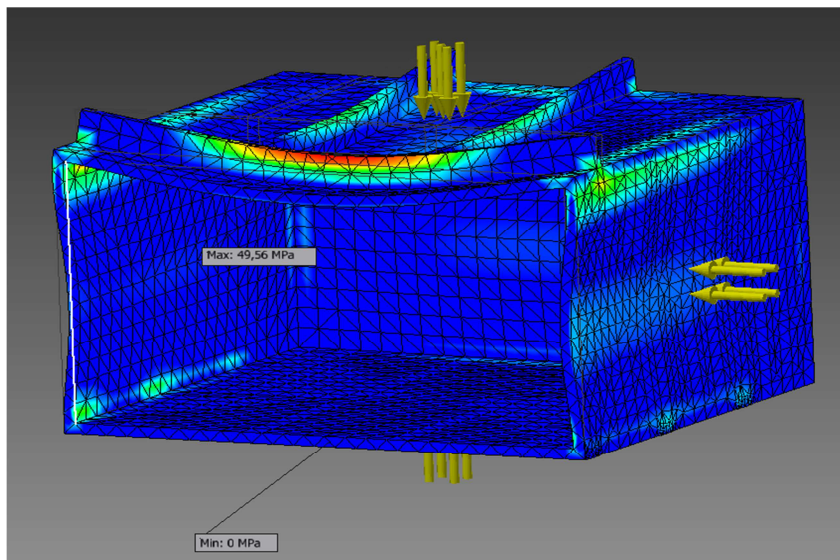


*KUVA 14. Jäykistämättömän kammion siirtymät*

Kuvasta 14 nähdään, että katon etureuna taipuu 6,113 mm alaspäin paine-eron aiheuttaman voiman vaikutuksesta. Koneenrakennuksessa nyrkkisääntönä pidetään, että sallittu taipuma saa olla maksimissaan  $L / 200$ . Lasketaan sallittu taipuma:

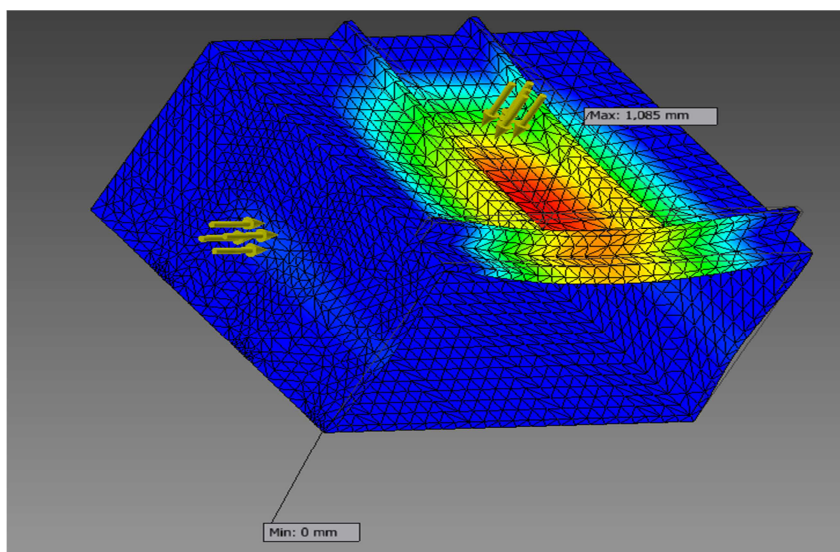
$900 \text{ mm} / 200 = 4,5 \text{ mm} < 6,113 \text{ mm}$  eli taipuma ei ole hyväksyttävissä. Katon etureuna vaatii siis jäykistyksen. Seuraavaksi tarkastellaan jäykistetyn säiliön jännityksiä ja siirtymiä.

Kuvasta 15 nähdään, että jäykistetyn kammion maksimi vertailujännitykseksi saadaan 0,1 MPa:n suuruisella paine-erolla 49,56 MPa. Nyt uudeksi varmuusluvuksi saadaan 5,1 myötörajan nähden ja 3,5 sallittuun jännitykseen nähden.



*KUVA 15. Jäykistetyin analyysimallin vertailujännitys*

Kuvan 16 mukaan maksimi siirtymä on 1,085 mm, joka on paljon pienempi kuin 4,5 mm. Se sijoittuu lähelle kammion katon keskustaa, joka ei haittaa kammion toimintaa.



*KUVA 16. Jäykistetyin analyysimallin siirtymät*

Kaikki simulaatiot tehtiin paine-erolla 1 000 mbar. Todellinen paine-ero kammiossa tulee olemaan 750 mbar, joten kammion voidaan todeta kestävän siihen kohdistuvat rasitukset. Elementtimenetelmä ei ole tarkka mitoitustapa, mutta se antaa riittävän tarkat tulokset. Haluttaessa tarkempia tuloksia voidaan elementtiverkkoa tihentää tarpeen mukaan.

Analyysin tulosten suuruusluokka tarkistetaan vielä käsinlaskennalla. Laskenta tehdään käyttämällä tasan jakautunutta kuormaa koko laatalle (23, s. 423; tapaus 1a). Otetaan tarkasteluun jäykistämätön kattolevy. Suurin jännitys keskellä laattaa saadaan kaavalla 20 (23, s. 423).

$$\sigma = \frac{C_1 p b^2}{t^2} \quad \text{KAAVA 20}$$

$C_1$  = laatan pituuden ja leveyden suhteesta johtuva kerroin (0,2985) (23, s. 423)

$p$  = tasan jakaantunut kuormitus (0,1 MPa)

$b$  = laatan leveys (800 mm)

$t$  = laatan paksuus (20 mm)

$$\sigma = \frac{0,2985 * 0,1 \text{ N} * (800 \text{ mm})^2}{\text{mm}^2 * (20 \text{ mm})^2} \approx 48 \text{ MPa}$$

Tulokseksi saatu 48 MPa on paljon pienempi kuin sallittu jännitys eikä suuruusluokaltaan poikkea merkittävästi elementtimenetelmällä saadusta tuloksesta, joten voidaan luottaa analyysiin. Tarkastetaan vielä suurin taipuma keskellä laattaa kaavalla 21 (23, s. 423).

$$\delta = \frac{-C_2 p b^4}{E t^3} \quad \text{KAAVA 21}$$

$C_2$  = laatan pituuden ja leveyden suhteesta johtuva kerroin (0,04655) (23, s. 423)

$E$  = alumiinin kimmokerroin (70 000 MPa) (23, s. 310)

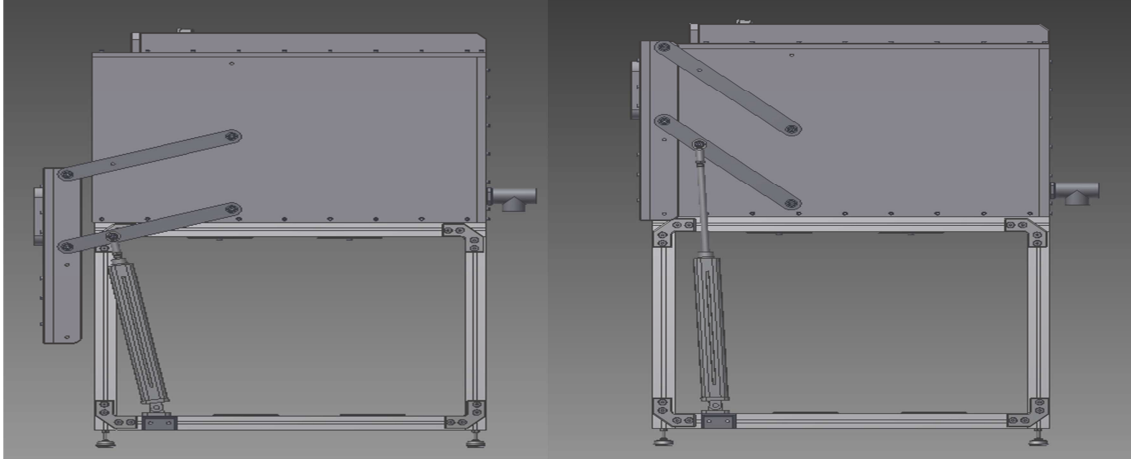
$$\delta = \frac{-0,04655 * 0,1 \text{ N} * (800 \text{ mm})^4 * \text{mm}^2}{\text{mm}^2 * 70\,000 \text{ N} * (20 \text{ mm})^3} \approx 3,4 \text{ mm}$$

3,4 mm on myös hyvin lähellä elementtimenetelmällä saatua tulosta, joten voidaan luottaa FEM-analyysissä saatuihin tuloksiin.

## 5.5 Ovimekanismin suunnittelu

Kammion ovi tehdään myös 20 mm:n alumiinilevystä. Alipainekammion oven toiminta on automatisoitava, eikä se saa avautuessaan aiheuttaa liikkumisestettä linjastolla. Kammion oveen on koneistettava aukko tarvittavalle

ikkunalle. Suunnitellaan oveen mekanismi (kuva 17), joka aukaisee oven kahdella paineilmasyylinterillä ja kiinni mennessään painaa oven tiivistettä kammion etureunaa vasten tiiveyden takaamiseksi. Kuvassa 17 nähdään 3D-malli oven toimintaperiaatteesta.



*KUVA 17. Oven toimintaperiaate sivulta kuvattuna*

Ovea kannattelevien lattatankojen materiaaliksi valitsin S355-teräksen ja mitoitin niihin liukulaakereille tarvittavat reiät. Sylinterit kiinnitetään takahaarukalla ja männänvarsien kiinnitys pallonivelellä. Lisäksi ylemmissä lattatangoissa näkyviin kierrereikiin lisätään seinää vasten laahaavat muoviset liukupalat, joiden tehtävänä on poistaa mahdollinen sivuttaisvällys.

Konedirektiivin turvallisuusvaatimukset huomioiden on oveen kiinnitettävä puristumisvaaratarrat. Sylintereiden tarvitsema paine on säädettävä toiminnan kannalta mahdollisimman pieneksi, jotta suurta vahinkoa ei pääse syntymään. Laitteeseen tulee lisäksi kaksoisnappikäyttö, jossa käyttäjän tulee painaa molempia nappeja pohjassa samanaikaisesti niin kauan, että ovi avautuu tai sulkeutuu kokonaan. Näin ollen ovimekanismin aiheuttamat vaarat on huomioitu ja minimoitu kaikilta osin.

### **5.5.1 Paineilmasyylintereiden mitoitus**

Ovikokoonpanon paino lattatangot mukaan lukien on 38,2 kg. Sylintereiden tarvitsema voima on maksimissaan lattatankojen ollessa kohtisuorassa oveen nähden. 3D-mallin perusteella sylinterin työntövoima  $F_s$  on 9 asteen kulmassa

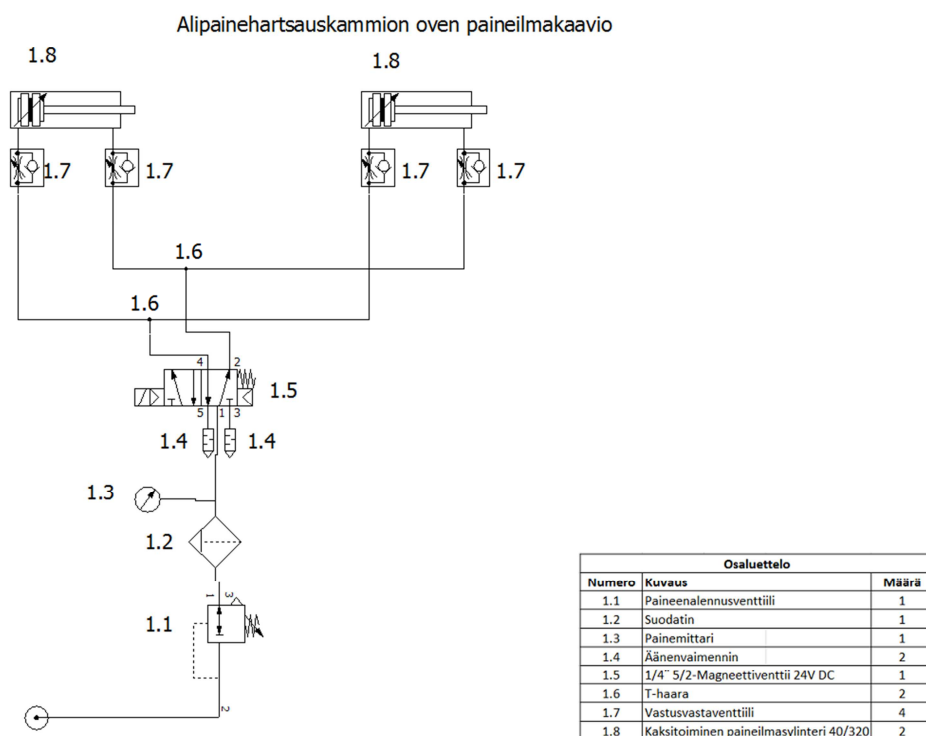
$F_{sy}$ :n nähden. Sylinterin kiinnityspisteiden etäisyys toisistaan on 835 mm ja käyttöpaineena 6 baaria. Sylinteritoimilaitteiden mitoitus kokonaisuudessaan on esitetty liitteessä 5.

Sylinteriltä vaadittavaksi työntövoimaksi saadaan 594,2 N (liite 5). Sovellukseen valitun sylinterin teoreettisen männänvarsivoiman tulee olla vähintään 1,5–2-kertainen tarvittavaan laskennalliseen männänvarsivoimaan verrattuna (23, s. 939). Sylintereiksi valitaan 40 millimetrin männän halkaisijalla ja 320 millimetrin iskulla olevat kaksitoimiset päätyvaimennetut paineilmasylinterit. Yhden sylinterin teoreettinen työntövoima on 794 N. Tähän sovellukseen sylintereitä tulee kaksi kappaletta, joten yhteiseksi työntövoimaksi 6 baarin paineella saadaan 1 588 N. Tällöin työntövoima on lähes 2,7-kertainen. Sylintereille tehtiin myös nurjahdustarkastelu (liite 5, 2/2).

### **5.5.2 Paineilmakaavio**

Valittuja sylintereitä tulee voida ohjata logiikalla ja niiden on oltava synkronoituja keskenään. Sylintereiden liikenopeus ja tarvittava paine tulee olla säädettävissä. Laaditaan kuvan 18 mukainen paineilma-kaavio sylintereiden ohjaamiseen.





*KUVA 18. Alipainehartsauskammion oven paineilmakaavio*

Kuvan 18 perusteella nähdään, että yhdellä jousipalautteisella 5/2-magneettiventtiilillä voidaan ohjata molempia sylintereitä samanaikaisesti ja nopeudensäätö toteutetaan vastusvastaventtiileillä. Ennen venttiiliä sovellukseen valitaan huoltoyksikkö, joka pitää sisällään kaaviossa näkyvän paineenalennusventtiilin, suodattimen ja painemittarin. Toiseen sylinteriin tarvitaan päätyrajakatkaisimet molempiin päihin sylinteriä, jotta tiedetään oven raja-asemat. On myös huomioitava, että letkujen pituudet on oltava samat venttiililtä molemmille sylintereille, koska kyse on synkronisesta käytöstä.

Konedirektiivin turvallisuusvaatimukset huomioiden on ennen 5/2-magneettiventtiiliä sijoitettava normaalisti kiinni oleva jousipalautteinen 2/2-sulkuventtiili, jolla saadaan hätä-seis-nappia painettaessa sylintereille ja palloventtiileille menevä pääpaine suljettua. Tällöin myös alipainekammio palautuisi normaaliin ilmakehän paineeseen ja kammion ovi avautuisi.



## 5.6 Alipainepumpun mitoitus

Alipainepumpun on kyettävä saavuttamaan 750 millibaarin suuruinen alipaine halutussa ajassa. Hartsaukseen käytettäväksi ajaksi määritellään noin minuutin mittaiseksi, tarvittavaksi kappaleenvaihtoajaksi noin 30–60 sekuntia ja alipainekammion tyhjennysajaksi 60 sekuntia. Tällöin saavutettaisiin kolmen minuutin tahtiaika.

Tarvittava pumpun pumppausnopeus lasketaan kaavalla 22 (27).

$$q = \frac{V \cdot \ln \frac{p_0}{p_1}}{t} \quad \text{KAAVA 22}$$

q = alipainepumpun pumppausnopeus

V = säiliön tilavuus (0,35 m<sup>3</sup>)

p<sub>0</sub> = normaali ilmakehän paine (1 013,25 mbar)

p<sub>1</sub> = saavutettava alipaine (250 mbar)

t = tyhjennysaika (60 s)

Tavoitteena on saavuttaa 750 millibaarin alipaine 60 sekunnissa. Lasketaan tarvittava pumppausnopeus kaavalla 20.

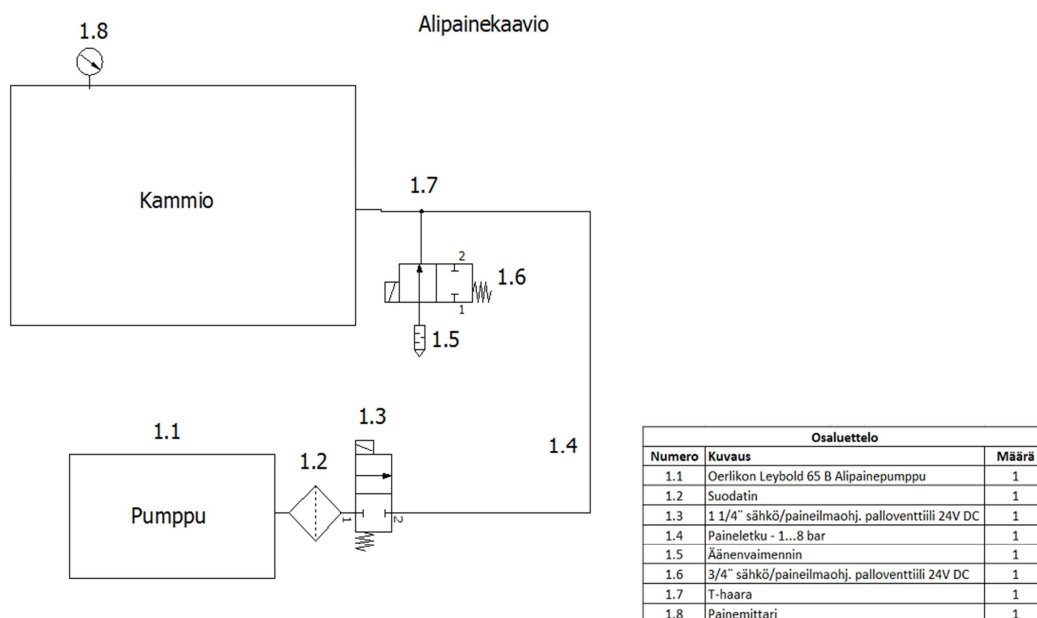
$$q = \frac{0,35 \text{ m}^3 \cdot \ln \frac{1013,25 \text{ mbar}}{250 \text{ mbar}}}{60 \text{ s}} \approx 0,0082 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Valmistajan mukaan pumppausaikaan negatiivisesti vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kosteus kammiossa, sähkömoottorin staattorit tai roottorit kammiossa ja vuodot. Tämän perusteella valitsin sovellukseen Oerlikon Leybold Sogevac SV65B -öljylamellipumpun, jonka nimellinen pumppausnopeus on 59 m<sup>3</sup>/h. Pumpun tekniset tiedot ja mittatiedot löytyvät liitteestä 6. Alipainehartsauskammion rungon mitoituksessa on otettava huomioon myös pumpun tilantarve.

## 5.7 Pumppauksen toimintakuvaus

Valitun alipainepumpun käyttöohjeen mukaan pumpun maksimi käynnistyskertojen lukumäärä on kuusi kertaa tunnissa. Tahtiajan ollessa kolme

minuuttia on käynnistystä tehtävä 20 kertaa tunnissa, joten pumpun ohjaus toteutetaan venttiilien avulla. Tällöin pumppua pidetään koko ajan käynnissä ja imua ohjataan alipainekäyttöön soveltuvilla 2/2-palloventtiileillä. Myös pumpun valmistajan mukaan pumppua voidaan pitää käynnissä koko ajan. Valmistaja suositteli venttiilin sijoittamista heti suodattimen jälkeen. Kuvasta 19 nähdään alipaineen pumppauksen ja kammion takaisinilmauksen toimintaperiaate.



KUVA 19. Alipaineakaavio

Valitaan suodattimen eteen normaalisti kiinni oleva jousipalautteinen palloventtiili, jota ohjataan 24 V:n tasavirralla. Säiliön takaisinilmaus tapahtuu myös sähköohjatulla palloventtiilillä. Valitaan ilmausventtiiliksi normaalisti auki oleva jousipalautteinen palloventtiili. Normaalisti auki olevan venttiilin ansiosta kammio palautuu takaisin normaaliin ilmakehän paineeseen sähkökatkon sattuessa. Tällöin kammion ovi saadaan avattua. Alipainepumppua ohjataan kontaktorin kautta.

## 5.8 Ohjauslogiikan valinta

Yleisesti voidaan sanoa, että valmistuksessa käytettävän koneen ohjausjärjestelmä on pitkäaikainen investointi tuotannon tehostamiseksi. Silloin tärkeitä asioita ovat luotettavuus, joustavuus, laajennettavuus, muunneltavuus ja yhteensopivuus uusien järjestelmien kanssa. Yleensä hinnan merkitys ei ole määräävä tällaisissa tapauksissa. (16.)

Ohjausjärjestelmän suunnittelussa on lähtökohtana aina ohjattava laite ja sen asettamat vaatimukset. Alipainehartsauskammion logiikan valinnassa tulee ottaa huomioon koneen digitaalisten tulojen ja lähtöjen tarve. On myös huomioitava koneen liikkeenohjausjärjestelmä. Käyttöliittymän on oltava mahdollisimman helppokäyttöinen ja laitteen käyttöturvallisuusvaatimukset on otettava huomioon. (16.)

Kappaleen tunnistukseen oli ehdolla lasermittausanturi, joka vaatisi logiikkaan myös analogisen tulokortin. Tunnistus päätettiin kuitenkin tehdä käyttöliittymään sijoitettavalla valintakytkimellä vielä alustavasti, koska kyse on vielä prototyypistä. Mahdollinen automaattinen kappaleen tunnistus voitaisiin asentaa laitteeseen myöhemmin.

Ohjausjärjestelmäksi valitaan tilaajan toiveet ja laitteen asettamat vaatimukset huomioiden Mitsubishin Q-sarjan logiikka, joka sisältää 16 tulo- ja lähtöporttia. Paikoitusohjaimeksi valitaan kahden akselin ohjaukseen soveltuva QD75MH2-paikoitusohjain. Moottoreiksi valitaan aiemmin mainitut Mitsubishin 400 watin servomoottorit ja -vahvistimet. Kenttäväylänä toimii Mitsubishin kehittämä SSCNET3. Virtalähteeksi valitaan teollisuudessa yleisesti käytössä oleva 24 V DC. Lisäksi valitaan 7 tuuman näytöllä oleva ohjauspaneeli.

## 5.9 Alipainehartsauskammion toiminta

Suunnitellussa alipainehartsauskammiossa (liitteet 7–8) tuotteen tunnistus tapahtuu ohjauspaneelistä löytyvällä valintapainikkeella. Ohjauspaneelissa on lisäksi muut tarvittavat painikkeet laitteen käytölle. Ohjauspaneelin käyttöliittymän suunnittelee laitteen automaattiosuunnittelija.

Alipainehartsauskammion ovi on alkutilanteessa auki. Paikoitusalueesta vedetään kammioista ulos ja asetetaan kappale alustalle sille tarkoitettulle paikalle. Alusta työnnetään takaisin sisälle ja lukitaan paikalleen lukitusvivusta. Tämän jälkeen suljetaan ovi kaksoisnappikäytöllä.

Oven mentyä kiinni valitaan ohjauspaneelista oikea tuote ja käynnistetään laite. Pumppu alkaa kehittää kammioon alipainetta. Alipainetason tunnistus tapahtuu painelähtetimen avulla. Ohjelmallisesti voidaan ohjata suodattimen jälkeistä venttiiliä avautumaan ja sulkeutumaan, jos vuotoja ilmenee. Saavutettuaan vaaditun painetason alkaa kappale liikkua ohjelmoidun liikeradan mukaisesti. Myös hartsin annostelu käämiuraan tapahtuu automaattisesti. Hartsauksen päätyttyä pumpun suodattimen jälkeinen venttiili sulkeutuu ja ilmausventtiili avautuu. Suodattimen jälkeisen venttiilin sulkeutumisen ja ilmausventtiilin avautumisen väliin suosittelen ohjelmoimaan pienen viiveen. Normaalin ilmakehän paineen saavutettuaan kammion ovi avataan kaksoisnappikäytöllä ja kappale voidaan vaihtaa.

## 6 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin toimiva alipainehartsauskammio Sähkö-Rantek Oy:n uuteen tuotantolinjaan. Työn tuloksena saadun automaattisen koneen avulla voidaan hartsata vähintään viiden eri tuotevariaation sähkömagneetit kolmen minuutin tahtiajalla.

Suunnittelussa sovellettiin systemaattisen tuotesuunnittelun periaatteita. Lisäksi laite pyrittiin suunnittelemaan valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden kannalta mahdollisimman yksinkertaiseksi, jotta mahdollisimman suuri osa osista voitiin valmistaa ja laittaa kokoon Sähkö-Rantekin tiloissa aikataulun mukaisesti. Laite pyrittiin suunnittelemaan myös käytettävyyden ja huollettavuuden kannalta mahdollisimman yksinkertaiseksi. Lisäksi pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon standardiosia ja Sähkö-Rantekilla olemassa olevia osia.

Vaatimusten pohjalta päädyttiin ratkaisuun, jossa kappaletta liikutellaan suuttimen sijasta. Xy-manipulaattoriksi valikoitui CTV-110-sarjan tukevat lineaariyksiköt. Lineaariyksiköt mitoitettiin valmistajalta saatujen teknisten tietojen ja ohjeiden perusteella.

Servomootoreiden ja vahvistimien valinnan perusteena käytetään lineaariyksiköiden valintaa. Kummankin yksikön käyttöön valittiin sama moottori myyjän suosituksen mukaisesti. Ohjauslogiikan valinnassa otettiin huomioon tilaajan asettamat vaatimukset ja toiveet. Ohjauslogiikka- ja paikoitusohjaus tilattiin samassa paketissa servomootoreiden kanssa.

Alipainepumpun kustannuksissa pyrittiin säästämään, joten alipainekammio mitoitettiin mahdollisimman pieneksi. Suurin osa alipainekammion osista pyrittiin suunnittelemaan sellaiseksi, että ne voitaisiin valmistaa Sähkö-Rantek Oy:ssä. Aikataulun ja resurssien puutteen vuoksi osa pienistä osista oli kuitenkin teetettävä ulkopuolisilla yrityksillä. Alipainekammion lujuustarkastelu tehtiin Inventor Professional 2011 -ohjelmalla.

Työssä suunniteltiin ovimekanismi, joka automaattisesti avaa ja sulkee oven. Lisäksi alipainepumpun toiminta suunniteltiin automaattiseksi. Suunnittelussa pyrittiin myös kiinnittämään huomioita laitteen ergonomiaan ja turvallisuuteen. Alipainehartsauskammion jalusta tehtiin alumiiniprofiilista.

Tässä insinööriyössä ei käyty yksityiskohtaisesti läpi kaikkien alipainehartsauskammioon kuuluvien osien mitoitus ja valintaa, vaan esitettiin pääkomponenttien ja liikemekanismin mitoitus. Lisäksi tarvittavat paineilma- ja alipaineakaaviot laadittiin kammion toiminnan ymmärtämiseksi. Työssä esitettiin 2D-kokoonpanopiirustus alipainehartsauskammioista (liite 7) ja kuva valmiista laitteesta (liite 8).

Jatkokehityksenä hartsauskammioon voisi suunnitella automaattisen kappaleentunnistuksen esimerkiksi lasermittausanturin avulla. Lisäksi kammioon tarvitaan käyttö- ja huolto-ohjeet, joita en aikataulun vuoksi ehtinyt tekemään.

Työ oli haastava, mutta samalla myös opettava. Suurimman osan ajasta vei valmistuspiirustusten tekeminen ja nopeasti saatavilla olevien osien ja komponenttien haaskelu ja tilaaminen. Haastetta lisäsi kireä aikataulu ja koulunkäynti samaan aikaan. Lisäksi osa hyödyllisistä kursseista, kuten Elementtimenetelmät ja Käyttölaitteiden valinta olivat käymättä, joten kaikki oli opiskeltava itsenäisesti työn ohessa. Kaikki osat kuitenkin täsmäsivät heti toisiinsa hyvin onnistuneen toleroinnin ja mitoituksen ansiosta. Kaikkiin ongelmiin löytyi myös ratkaisu ja tulokseksi saatiin vaatimukset täyttävä ja toimiva laite.

## LÄHTEET

1. Rantek. Saatavissa: <http://www.rantek.fi/>. Hakupäivä 9.1.2014.
2. Yritys. 2013. Rantek. Saatavissa: <http://www.rantek.fi/yritys.html>. Hakupäivä 9.1.2014.
3. Osaaminen. 2013. Rantek. Saatavissa: <http://www.rantek.fi/osaaminen.html>. Hakupäivä 9.1.2014.
4. Hyytinen, Janne 2014. Jarrukokoonpanolinjan layout ja materiaa livirrat. Valmisteilla oleva insinöö rityö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.
5. Nivakoski, Antti 2014. Jarrukokoonpanolinjan alkukokoonpanon suunnittelu. Valmisteilla oleva insinöö rityö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.
6. Kurola, Jari-Pekka 2014. Jarrukokoonpanolinjan loppukokoonpanon suunnittelu. Valmisteilla oleva insinöö rityö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma.
7. Herronen, Hanna-Leena 2014. Jarrukokoonpanolinjan vä livaraston rakennesuunnittelu. Insinöö rityö. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/71418>. Hakupäivä 24.3.2014.
8. Särkkä, Sauli 2013. Kehitys- ja laatu päällikkö, Rantek. Haastattelu 30.9.2013.
9. Viitanen, Mikko 2009. Automaattiset kuljetinjärjestelmät elintarviketeollisuudessa. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, konetekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6589/viitanen.pdf?sequence=3>. Hakupäivä 17.1.2014.

10. Lahtinen, Maria 2011. Painelaitteet ja markkinatutkimus niiden tarpeesta energiateollisuudessa. Opinnäytetyö. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, kemiantekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: [http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26836/Lahtinen\\_Maria.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26836/Lahtinen_Maria.pdf?sequence=1). Hakupäivä 17.10.2013.
11. Ellman, Asko – Hautanen, Juha – Järvinen, Kari – Simpura, Antti 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Oy.
12. Variomix. Dopag. Saatavissa: <http://www.dopag.com/?dom=5&rub=211>. Hakupäivä 17.1.2014.
13. Moilanen, Vesa-Pekka 2007. Lineaariliikkeen ohjaaminen logiikalla. Insinöörityö. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/10703/tko3svesapm.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 18.1.2014.
14. SKF:n ruiskuvaluratkaisut. SKF Group. Saatavissa: <http://www.skf.com/skf/campaign/IDemarketing/mechatronics/fi/injectionMoulding.html>. Hakupäivä 23.1.2014.
15. Ohjelmoitava logiikka 2013. Wikipedia. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmoitava\\_logiikka](http://fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmoitava_logiikka). Hakupäivä 18.1.2014.
16. Salmela, Heikki 2013. T313003 Tuotantoautomaatio 3 op. Opintojakson luentomateriaali syksyllä 2013. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
17. Martikkala, Antti 2012. Pyörösahan syöttölaitteen ja kiinnittimien tuotekehitys. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, automaatiotekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21190/martikkala.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 18.1.2014.



18. Kontio, Esa 2012. T318208 Tuotekehitys 8 op. Opintojakson luentomateriaali syksyllä 2012. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
19. Lempiäinen – Savolainen 2003. Hyvin suunniteltu - puoliksi valmistettu. 1. painos. Helsinki, Suomen robotiikkayhdistys Ry. 180 s.
20. Lähteenmäki, Matti 2012. Elementtimenetelmän perusteet. Saatavissa: [http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/elpe\\_pdf/johdanto.pdf](http://home.tamk.fi/~mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf). Hakupäivä 27.1.2014.
21. Digma 2012. Elementtimenetelmän perusteet. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/material/attachments/vanhaamk/digma/5h5F5Hlr3/FES05.pdf>. Hakupäivä 27.1.2014.
22. Hiwin – Catalogue 2013. Industrial robot technical information. Saatavissa: [http://www.hiwin.tw/download/tech\\_doc/robot/Industrial%20Robot-\(E\).pdf](http://www.hiwin.tw/download/tech_doc/robot/Industrial%20Robot-(E).pdf). Hakupäivä 20.11.2013.
23. Valtanen, Esko 2010. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-kirjat.
24. SL 813 C PVC/PUR moottorin liitäntäkaapeli. OEM AUTOMATIC. Saatavissa: [http://www.oem.fi/Tuotteet/Kaapeli/Kaapelit/Servokaapelit/SL\\_813\\_C\\_PVC\\_PUR\\_moottorin\\_liitantakaapeli/823127-554135.html](http://www.oem.fi/Tuotteet/Kaapeli/Kaapelit/Servokaapelit/SL_813_C_PVC_PUR_moottorin_liitantakaapeli/823127-554135.html). Hakupäivä 1.11.2013.
25. Alumiinit. ThyssenKrupp Aerospace Finland Oy. Saatavissa: <http://www.thyssenkrupp.fi/alumiinit/alumiinit/alumiinit>. Hakupäivä 12.11.2013.
26. Lavi, Markku 2000. Lujusopin perusteet. Iltakurssi. Helsinki: Helsingin ammattikorkeakoulu, konetekniikka. Saatavissa: <http://users.metropolia.fi/~lavim/Lujuusoppi.pdf>. Hakupäivä 5.11.2013.
27. The Engineering Toolbox. Vacuum evacuation time calculation. Saatavissa: [http://www.engineeringtoolbox.com/vacuum-evacuation-time-d\\_844.html](http://www.engineeringtoolbox.com/vacuum-evacuation-time-d_844.html). Hakupäivä 8.11.2013.

## **LIITTEET**

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 CTV-sarjan lineaariyksikön tekniset tiedot

Liite 3 Servomotor technical spesification

Liite 4 Solid plastic cable carriers with fixed chain widths

Liite 5 Paineilmasyntereiden mitoitus

Liite 6 Oerlikon Leybold SV 65B tekniset tiedot

Liite 7 Alipainehartsauskammion kokoonpanopiirustus

Liite 8 Alipainehartsauskammio

## LÄHTÖTIETOMUISTIO

Tekijä Tomi Lassila \_\_\_\_\_

Tilaaja Sähkö-Rantek Oy \_\_\_\_\_

Tilaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot

Juha-Matti Rantapää \_\_\_\_\_

Työn nimi Alipainehartsauskammion suunnittelu \_\_\_\_\_

Työn kuvaus Tehtävänä suunnitella hartsauskammio osaksi tuotantolinjaa.

Työhön kuuluu laitteen mekaniikkasuunnittelu, toimilaitteiden valinta, laitteen toiminnan määrittäminen ja laitteen pystyttäminen. \_\_\_\_\_

Työn tavoitteet

Tavoitteena on suunnitella vaatimusten mukainen kone aikataulun mukaisesti \_\_\_\_\_

Tavoiteaikataulu

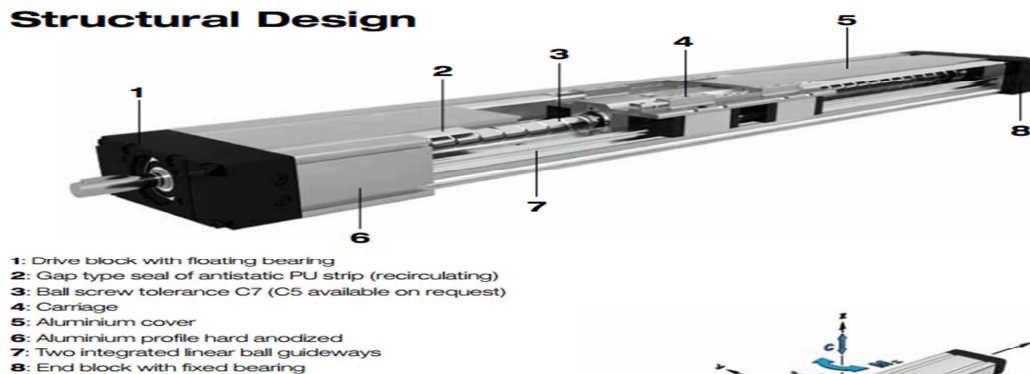
Suunnittelutyö valmis 29.11.2013

Raportti valmis 4/2014 \_\_\_\_\_

Päiväys ja allekirjoitukset 20/9/2013 \_\_\_\_\_

(Rollco linear unit – Catalogue. 2013, 6-7)

## Structural Design



- 1: Drive block with floating bearing  
 2: Gap type seal of antistatic PU strip (recirculating)  
 3: Ball screw tolerance C7 (C5 available on request)  
 4: Carriage  
 5: Aluminium cover  
 6: Aluminium profile hard anodized  
 7: Two integrated linear ball guideways  
 8: End block with fixed bearing

## General Technical Data

Modulus of elasticity  $E = 70000 \text{ N/mm}^2$

Article No.	Carriage length	**Load capacity		**Dynamic moment			Moved mass	*Max length	Planar moment of inertia	
	Lv (mm)	Dynamic C (N)	Static Co (N)	Mx (Nm)	My (Nm)	Mz (Nm)			Iy (cm <sup>4</sup> )	Iz (cm <sup>4</sup> )
CTV90-S	35	4616	6924	127	12,6	25,2	0,30	750	13,6	112,1
CTV90-L	100	9232	13848	254	302	302	0,50	750	13,6	112,1
CTV110-S	39	19800	28200	654	147	295	0,63	1500	28,4	192,6
CTV110-L	124	39600	56400	1308	1680	1680	1,36	1500	28,4	192,6
CTV145-S	49	34200	48400	1500	325	650	1,19	1800	83,1	656,9
CTV145-L	149	68400	96800	3010	3420	3420	2,61	1800	83,1	656,9

\* For lengths over the stated value please contact Rollco

\*\* All the data of static and dynamic moments and load capacity are theoretical without considering any safety factor. The safety factor depends on the application and its requested safety. We recommend a minimum safety factor ( $\nu=3,0$ )

## Ball Screw Drive Data

Article No.	1 Max travel speed	No load torque		Lead constant	Ball nut type	Ball screw	2 Max positioning precision (mm/300 mm)		Max repeatability precision		Dynamic axial load capacity	Max drive torque
		Carriage S (Nm)	Carriage L (Nm)				Standard C7	On request C5	Standard C7	C5	Ca (N)	Ma (Nm)
CTV90	26,7·10 <sup>3</sup> /L <sup>2</sup> (mm)	0,07	0,09	5	RSY	12x5	0,05	0,02	0,03	0,01	3800	3,4
CTV90		0,06	0,08	10	RSY	12x10	0,05	0,02	0,03	0,01	2500	4,4
CTV110	34,2·10 <sup>3</sup> /L <sup>2</sup> (mm)	0,11	0,13	5	RSY	16x5	0,05	0,02	0,03	0,01	7500	6,6
CTV110		0,1	0,12	10	RSY	16x10	0,05	0,02	0,03	0,01	7020	12,5
CTV110	44,3·10 <sup>3</sup> /L <sup>2</sup> (mm)	0,09	0,11	16	RSY	16x16	0,05	0,02	0,03	0,01	7050	20,0
CTV145		0,28	0,3	5	RSY	20x5	0,05	0,02	0,03	0,01	10800	9,5
CTV145	44,3·10 <sup>3</sup> /L <sup>2</sup> (mm)	0,26	0,28	10	RSY	20x10	0,05	0,02	0,03	0,01	11960	21
CTV145		0,24	0,26	20	RSY	20x20	0,05	0,02	0,03	0,01	7650	27

1: For travel speed over the stated value please contact Rollco

2: For the ball nut with the preload of 2% please contact Rollco

L: Stroke in mm

Note: Reduced effective diameter at journal with keyway decreases values of max. drive torque

Linear Unit	Permissible drive torque
	Mp (Nm)
CTV90	-
CTV110	5,3
CTV145	11,9

## Mass and Mass Moment of Inertia

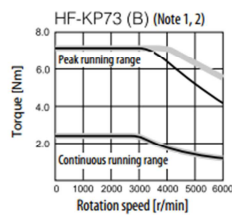
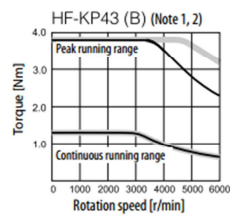
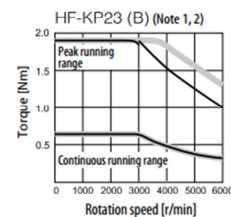
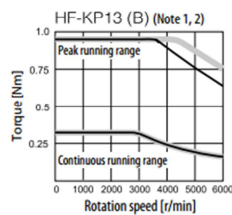
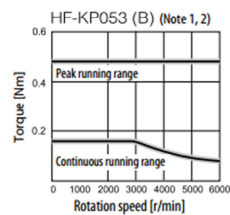
Article No.	Carriage length	Mass of linear unit	Mass moment of inertia
	Lv (mm)	(kg)	(10 <sup>-4</sup> kg·m <sup>2</sup> )
CTV90-S	35	1,6±0,006-stroke (mm)	0,3±0,002-stroke (mm)
CTV90-L	100	2,2±0,006-stroke (mm)	0,4±0,002-stroke (mm)
CTV110-S	39	3,3±0,008-stroke (mm)	1,1±0,005-stroke (mm)
CTV110-L	124	4,6±0,008-stroke (mm)	2,0±0,005-stroke (mm)
CTV145-S	49	5,7±0,015-stroke (mm)	4,2±0,013-stroke (mm)
CTV145-L	149	8,4±0,015-stroke (mm)	6,1±0,013-stroke (mm)

Note: Mass calculation doesn't include mass of motor, reduction, gear, switches and clamps

(Mitsubishi Electric – Catalogue. 2013, 15)

**HF-KP(B) Series Servo Motor Specifications (200 V Type)**

Servo motor model			HF-KP053(B) ①	HF-KP13(B) ①	HF-KP23(B) ①	HF-KP43(B) ①	HF-KP73(B) ①
Servo amplifier model			MR-J3-10A/B/T	MR-J3-10A/B/T	MR-J3-20A/B/T	MR-J3-40A/B/T	MR-J3-70A/B/T
Power facility capacity [kVA] ①			0.3	0.3	0.5	0.9	1.3
Continuous characteristics	rated output [kW]		0.05	0.1	0.2	0.4	0.75
	rated torque [Nm]		0.16	0.32	0.64	1.3	2.4
Maximum torque [Nm]			0.48	0.95	1.9	3.8	7.2
Rated rotation speed [rpm]			3000	3000	3000	3000	3000
Maximum rotation speed [rpm]			6000	6000	6000	6000	6000
Permissible instantaneous rotation speed [rpm]			6900	6900	6900	6900	6900
Power rate at continuous rated torque [kW/s]			4.87	11.5	16.9	38.6	39.9
Rated current [A]			0.9	0.8	1.4	2.7	5.2
Maximum current [A]			2.7	2.4	4.2	8.1	15.6
Moment of inertia J [ $\times 10^{-4}$ kg m <sup>2</sup> ] ②	standard		0.052	0.088	0.24	0.42	1.43
	with electromagnetic brake		0.054	0.090	0.31	0.50	1.63
Regeneration braking frequency [1/min]			② (a)	② (b)	448	249	140
Recommended load/motor inertia ratio ③			15	15	24	22	15
Speed/position detector			18-bit encoder (resolution per encoder/servo motor rotation: 262144 p/rev.				
Structure			Totally enclosed, non-ventilated (protection rating: IP65) ④				
Environment	ambient temperature		Operation: 0–40 °C (no freezing); Storage: -15–70 °C (no freezing)				
	ambient humidity		Operation: 80 % RH max. (no condensation); Storage: 90 % RH max. (no condensation)				
	atmosphere		Indoors (no direct sunlight); no corrosive gas, no inflammable gas, no oil mist, no dust				
	elevation/vibration ⑤		1000 m or less above sea level; X: 49 m/s <sup>2</sup> , Y: 49 m/s <sup>2</sup>				
Weight [kg]	standard motor ⑥		0.35	0.56	0.94	1.5	2.9
Order information	(without brake)	Art. no.	161507	160211	161508	161509	161510

**HF-KP Series Servo Motor Torque Characteristics**

Notes:  
 1. — : For 3-phase 200 V AC or 1-phase 230 V AC.  
 2. — : For 1-phase 200 V AC.

(Kabelschlepp – Catalogue. 2013, 64-65)

Section

BASIC UNIT

MONO

### Types 0132 and 0130

**Type 0132**  
Inside/Outside: Not to be opened

**Type 0130**  
Outside: Hinged, openable brackets

Type	$h_i$ mm	$B_i$ mm	$B_k$ mm	Intrinsic chain weight kg/m
0132.06	10	6	12	0.13
0132.10	10	10	16	0.14
0132.15	10	15	21	0.15
0132.20	10	20	26	0.16
0132.30	10	30	36	0.18
0132.40	10	40	46	0.20

Type	$h_i$ mm	$B_i$ mm	$B_k$ mm	Intrinsic chain weight kg/m
0130.06	10	6	12	0.13
0130.10	10	10	16	0.14
0130.15	10	15	21	0.15
0130.20	10	20	26	0.16
0130.40	10	40	46	0.20

**Bend radius and pitch**  
Types 0132 and 0130

Bend radii KR mm	
20	37

Pitch  $t = 13.0$  mm

**Load diagram**  
for unsupported length  $L_f$  depending on the additional load

**Unsupported length  $L_f$**

In the case of longer travel lengths, sag of the cable carriers is technically permissible depending on the application.  
In a gliding arrangement, even longer travel lengths are possible (see page 375).  
We are at your service to advise on these applications.

**Example of ordering**

Cable carrier: 0130 - 10 - 28 - 390

Type: 0130 Inside width  $B_i$  in mm: 10 Bend radius KR in mm: 28 Chain length  $L_k$  in mm (without connection): 390

Connection: FA/MA Connection: Fixed point/Driver

Section

BASIC UNIT

MONO

For: +49 2762 4003-0

Use our free project planning service.

64

Section

BASIC UNIT

MONO

### Types 0132 and 0130

**Connection dimensions**  
Plastic connectors with integrated strain relief

Short connectors without strain relief are also available for restricted installation conditions. Please contact us.

Type	$B_i$ mm	$B_k$ mm	$b_A$ mm	$n_z$
0130.06 / 0132.06	6	12	—	1
0130.10 / 0132.10	10	16	—	1
0130.15 / 0132.15	15	21	—	2
0130.20 / 0132.20	20	26	—	2
0132.30	30	36	22	3
0130.40 / 0132.40	40	46	32	4

The dimensions of the fixed point and driver connections are identical.

**Connection variants**

**Connection point**  
M – Driver  
F – Fixed point

**Connection type**  
A – Threaded joint outside (standard)  
I – Threaded joint inside

In the standard version, the connectors are mounted with the threaded joint outwards (FA/MA).  
When ordering please specify the desired connection type (see ordering key on page 412).  
The connection type can subsequently be altered simply by varying the connectors.

Section

BASIC UNIT

MONO

For: +49 2762 4003-0

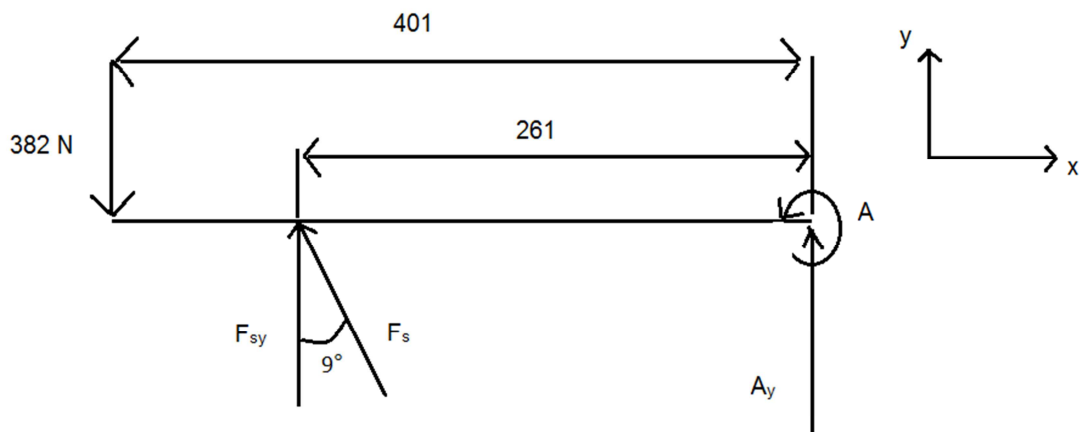
OnlineEngineering.de

(Valtanen, Esko. Tekniikan taulukkokirja. 2010. Genesis-kirjat. 473, 939)

### Sylinteriltä vaadittava voima $F_s$

Momentti A:n ympäri:

$$M_A: 382 \text{ N} \cdot 0,401 \text{ m} - F_{sy} \cdot 0,261 \text{ m} = 0$$



$$\rightarrow F_{sy} = (382 \text{ N} \cdot 0,401 \text{ m}) / 0,261 \text{ m} = 586,9 \text{ N}$$

Sylinteriltä vaadittava voima  $F_s$ :

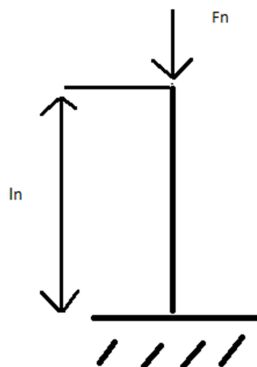
$$\cos 9^\circ = F_{sy} / F_s$$

$$\rightarrow F_s = F_{sy} / \cos 9^\circ$$

$$\rightarrow F_s = 586,9 \text{ N} / \cos 9^\circ = \underline{594,2 \text{ N}}$$

(Valtanen, Esko. Tekniikan taulukkokirja. 2010. Genesis-kirjat. 473, 939)

### Nurjahdustarkastelu



Eulerin 1. tapaus:  $l_n = 2 * l = 2 * 835 \text{ mm} = 1\,670 \text{ mm}$

Männänvarren halkaisija  $d = 16 \text{ mm}$ , neliömomentti  $I$  ympyräprofiilille:

$$I = \pi d^4 / 64 = \pi * (16 \text{ mm})^4 / 64 = 3\,217 \text{ mm}^4$$

Männänvarsi terästä ja teräksen kimmokerroin  $E = 210\,000 \text{ MPa}$

### Nurjahdusvoima

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{n l_n^2}$$

missä  $n$  on varmuusluku (1,5). Sijoitetaan arvot kaavaan:

$$F_n = \frac{\pi^2 * 210\,000 \text{ N} * 3\,217 \text{ mm}^4}{\text{mm}^2 * 1.5 * (1\,670 \text{ mm})^2} \approx 1\,594 \text{ N}$$

### Johtopäätös

40 mm:n sylinterin teoreettinen männänvarsivoima plus-liikkeessä 6 barin paineella on 756 N. Nurjahdusvoima 1 594 N >> 756 N eli kestää!

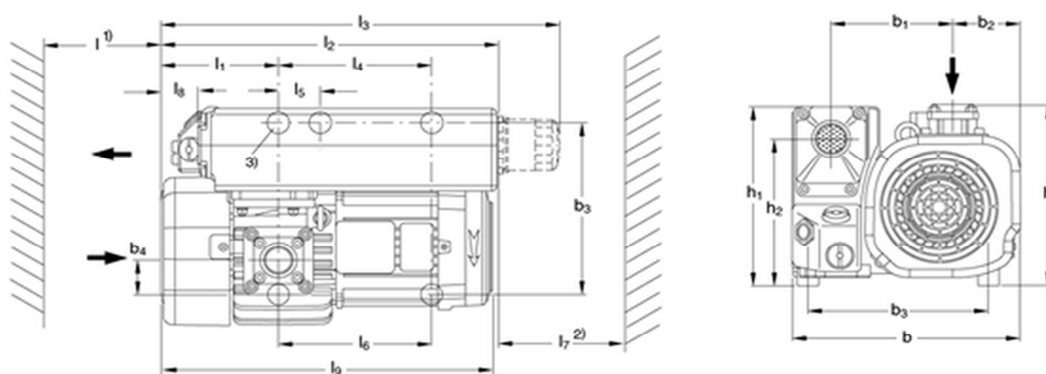


(Leybold products. Oerlikon – Catalogue. 2013)

## SV65 B

Technical data		50 Hz	60 Hz
Nominal pumping speed	m <sup>3</sup> /h	59	71
Pumping speed (according to PNEUROP)	m <sup>3</sup> /h	54	64
Ultimate partial pressure without gas ballast	mbar	≤ 0,5	≤ 0,5
Ultimate total pressure with small gas ballast	mbar	≤ 0,8	≤ 0,8
Ultimate total pressure with standard gas ballast	mbar	≤ 1,5	≤ 1,5
Water vapour tolerance:			
■ with small gas ballast	mbar	10	10
■ with standard gas ballast	mbar	30	30
Water vapour tolerable load:			
■ with small gas ballast	kg.h <sup>-1</sup>	0,36	0,42
■ with standard gas ballast	kg.h <sup>-1</sup>	1	1,25
Noise level (according to DIN 46 635)	dB (A)	60	64
Motor power - Rated rotational speed	kW - min <sup>-1</sup>	1,5-1500	1,8-1800
Mains voltage (+/- 10 %)	V	230 / 400	460
Protection - Isolation		IP 55 - F	IP 55 - F
Leak rate	mbar.l.s <sup>-1</sup>	1 x 10 <sup>-3</sup>	1 x 10 <sup>-3</sup>
Oil type / Capacity	l	GS77/2	GS77/2
Intake connection		1 1/4	1 1/4
Exhaust connection		1 1/4	1 1/4

## Dimensional drawing



- 1) Space for fitting the exhaust filter  
2) Space for the motor's ventilation

	b	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	h	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	l <sub>4</sub>	l <sub>5</sub>	l <sub>6</sub>	l <sub>7</sub>	l <sub>8</sub>	l <sub>9</sub>
mm	320	170	95	254	50	266	264	216	350	166	480	565	215	-	215	150	52	480
in.	12.6	6.69	3.74	10.0	1.97	10.47	10.39	8.50	13.78	6.54	18.9	22.2	8.46	-	8.46	5.91	2.05	18.90

