



# **PNEUMAATTISEN KONEISTUS- KIINNITTIMEN SUUNNITTELU TYÖSTÖKESKUKSELLE**

Niigata SPN 501

Erkka Multanen

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2014  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Modernit tuotantojärjestelmät

Erkka Multanen:  
Pneumaattisen koneistuskiinnittimen suunnittelu työstökeskukselle  
Niigata SPN 501

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 18 sivua  
Tammikuu 2014

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Gardner Denver Oy:lle yhden tuoteperheen koneistuskiinnitin. Vanhalla mekaanisella kiinnittimellä ei saavutettu haluttua laatua ja valmistuskapasiteettia. Tavoitteena oli suunnitella tukeva paineilmatoiminen kiinnitin, helpottaa siten asennustyötä ja lyhentää asetusajoja.

Kahdessa vaiheessa koneistettavat kappaleet kiinnittyvät ensin mekaanisesti jousivoiman avulla, ja kiinnitys avataan sylintereillä. Toisessa koneistusvaiheessa kappaleiden kiinnitys tapahtuu nollapisteteknologiaa soveltaen. Yrityksen ensimmäinen laitetoiminen kiinnitin ja siihen käytetty nollapisteteknologia nostaa runko-osien valmistuslinjan uudelle tasolle, avaa mahdollisuuden latausaseman robotisoinnille ja miehittämättömälle panostukselle. Automaatiotasoa nostamalla parannetaan entisestään yrityksen imagoa ja kilpailukykyä kompressorimarkkinoilla. Suunnittelu toteutettiin Autodesk Inventor 2013 3D CAD – mallinnusohjelmaa apuna käyttäen.

Työn tuloksia ja siitä saatuja kokemuksia hyödynnetään seuraavaksi kehittämällä vanhoja, suurempien kompressorimallien kiinnittimiä laitetoimisiksi. Kiinnittimen käyttöönotosta ei saatu tietoa tähän insinööriyöhön, alihankkijoiden toimitusaikojen viivästyttyä.

Opinnäytetyön liitteet ovat luottamuksellisia, eikä niitä esitetä työn julkisessa versiossa.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
Option of Modern Production Systems

Multanen, Erkka:  
Designing a Pneumatic Fixture for a Machining Center  
Niigata SPN 501

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 18 pages  
January 2014

---

The aim of this thesis was to design a machining fixture for one product group made by Gardner Denver Oy. The desired quality and production capacity were not being achieved with the old mechanical fixture. The goal was to design a sturdy pneumatic fixture which would facilitate component loading and reduce set-up times.

The pieces are machined in two stages. First they are fastened mechanically with the help of spring force and the fastening can be opened by cylinders. In the second phase the pieces are attached using the zero point technology. The first mechanized fixture together with the zero point technology lifts the machining production line up to a new level, opening the possibility for automation of the loading station. By raising the level of automation, the image and competitiveness of the company will be further improved in the compressor market. The design work has been done by using the Autodesk Inventor 2013 3D CAD – modeling system.

The results of the thesis and the experience gained will be utilized in designing the old and bigger compressor models into a mechanized model. The results of the deployment of the fixture could not be included in this thesis because of the delays in the subcontractors' delivery times.

The appendices of the thesis are confidential and not for general publication.

---

Key words: fixture, set-up time, spring force, cylinder, zero point technology, robot

## ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Gardner Denver Oy:tä mielenkiintoisesta ja yritykselle tärkeästä opinnäytetyön aiheesta. Aiheen sain tuotannon kehityspäällikkö Kai Piiraiselta, jonka sopiva painostus antoi lisäpotkua saattamaan työn valmiiksi ajallaan. Suuri kiitos kuuluu myös menetelmäsuunnittelun esimies Vesa Kanaselle ja menetelmäsuunnittelija Jani Mannilalle, heiltä sain paljon apua suunnittelu-, mallinnus- ja kirjoitusvaiheessa. Kiitos kuuluu myös Cavice Oy:n toimitusjohtaja Tauno Takaniemelle, keneltä sain hyviä vinkkejä työn kuluessa.

Toimiston- ja tuotannon työkaverit ansaitsevat myös kiitokset kannustamisesta ja rakentavasta palautteesta koko opinnäytetyöni aikana.

Erkka Multanen

Tampereella 30.12.2013

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Yrityksen historia ja nykypäivä.....	8
1.2	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	9
2	RUUVIKOMPRESSORIT.....	11
3	VALMISTUS.....	14
3.1	FMS- järjestelmä.....	14
3.2	Koneistuskeskukset.....	14
3.3	Valuraudan koneistus.....	16
4	KONEISTETTAN KAPPALEEN KIINNITTÄMINEN.....	18
4.1	Kappaleen paikoitus ja tukivoimat.....	18
4.2	Koneistuskiinnittimet.....	19
4.3	Automaattinen kappaleen vaihto.....	21
4.4	Nollapistekiinnitys.....	22
5	LASTUAMISVOIMAT.....	27
5.1	Kiinnitysvoiman määrittäminen.....	27
5.2	Lastuamisvoimien suunnan hallinta.....	30
5.3	Terän rintakulman vaikutus lastuamisvoimaan.....	32
6	JOUSIVOIMAT.....	33
7	KIINNITTIMEN SUUNNITTELU- JA MALLINNUS.....	34
7.1	Vanha kiinnitin.....	34
7.2	Painelaipan ensimmäisen vaiheen kiinnitys.....	35
7.3	Rungon ensimmäisen vaiheen kiinnitys.....	39
7.4	Kompaktisynterierin valinta.....	43
7.5	Liukulaakerin valinta.....	44
7.6	Nollapistesynterierien valinta.....	45
7.6.1	Nollapisteliittimet.....	46
7.6.2	Synterierien sijoittelu.....	46
7.7	Koneistuksen ulottuvuustarkastelu ja työkalun valinta.....	47
8	JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE.....	49
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	51
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET.....	54
	Liite 1. Päälastuamisvoiman laskeminen.....	54
	Liite 2. Jousivoimien laskeminen.....	56
	Liite 3. Nollapistesynterierin tappi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Liite 4. Kiinnittimen mittakuvat .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Liite 5. Kytkäkaavio .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**ERITYISSANASTO**

CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
SRM	Svenska Rotormaskiner AB
OEM	Original Equipment Manufacturer = Alkuperäisvalmistaja
FMS	Flexible Manufacturing System = Joustava valmistusjärjestelmä
CNC	Computerized Numerical Control
GJL	Suomugrafiittivalurauta
CBN	Cubid Boron Nitride = Kuutiollinen boorinitriitti, timantin jälkeen kovin tunnettu materiaali

## 1 JOHDANTO

Nykypäivänä metallialan yritysten välinen kilpailu on kovaa, jopa yrityksen sisaryhtiöiden välillä. Yrityksen sisäinen kilpailu laadulla ja tehokkuudella mitattuna luo positiivisen jatkuvan parantamisen ilmapiirin, mihin voidaan vastata uusimalla konekantoja ja kehittämällä omia järjestelmiä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on vastata näihin elintärkeisiin haasteisiin suunnittelemalla edullinen, yhden tuoteperheen paineilmatoiminen koneistuskiinnitin, ja luoda perusta myös muiden volyymituotteiden kiinnityksen automatisoinnille.

Uusi kiinnitin tulee kuuden palettiperustaisen vaakakaraisen työstökeskuksen FMS-järjestelmään, jossa kiinnitintä tullaan käyttämään kahdella uudella työstökeskuksella. Vanhalla mekaanisella kiinnittimellä ei saavuteta haluttua laatua ja tehokkuutta kappaleenvaihdon ollessa vaikeaa ja aikaa vievää. Ongelmat ratkaistaan käyttämällä nollapisteteknologiaa sekä hyödyntäen innovatiivisuutta ja kokemusta.

Työssä käydään läpi tarkemmin kiinnitykseen liittyvää teoriaa, kiinnittimen suunnittelua, komponenttien valintoja sekä kappaleenvaihtoaseman perustamista laitetoimisille kiinnittimille ja roboteille sopiviksi.

### 1.1 Yrityksen historia ja nykypäivä

Gardner Denver Oy, eli entinen Tamrotor, valmistaa Tampereen tehtaallaan paineilma-kompressoreita ja ruuviyksiköitä. Tuotanto alkoi alun perin Tampella Oy:n yhteydessä, mutta tarkkaa ajankohtaa ensimmäisen kompressorin valmistumisesta ei ole saatavilla.

Vuonna 1963 Tampella Tamrock solmi lisenssisopimuksen ruotsalaisen Svenska Rortormaskiner AB (SRM) yrityksen kanssa. Mukana tulleen tietotaidon avulla Tampella aloitti kompressoreiden valmistuksen. Kompressoripaketit myytiin Poll Air- tuotenimellä. (Gardner Denver 2012)

Suomen teollisuushistorian yksi suurimmista nimistä - Tampella Oy, ajautui taloudellisiin vaikeuksiin 1980-luvun lopussa, jonka seurauksena toiminta yhtiöitettiin ja Oy Tamrotor Ab perustettiin vastaamaan kompressoreiden valmistuksesta. Samalla tuotenimi Tamrotor otettiin käyttöön. 1990-luvun alun taloudellisesta ahdingosta huolimatta yritys otti linjakseen jatkaa tutkimus- ja kehitystyön investointia emoyhtiönsä Tamrockin turvin. Riski kannatti ja Tamrotor selvisi Suomen historian syvimmästä lamasta. (Gardner Denver 2012)

Vuonna 1997 amerikkalainen Gardner Denver Inc. osti Tamrotorin. Omistajan vaihduttua kompressoreita alettiin vähitellen toimittaa Gardner Denver-tuotenimellä. Yritys vaihtoi nimekseen Gardner Denver Oy vuonna 1999. (Gardner Denver 2012)

### **Yrityksen nykytilanne**

Tänä päivänä Gardner Denver Oy on pohjoismaiden suurin ruuvikompressorien valmistaja. Kompressoreita valmistetaan laiva-, off shore- ja teollisuuskäyttöön maailmanlaajuisesti. Ruuviyksiköitä toimitetaan sisaryhtiöille ja OEM-asiakkaille. Organisaatiossa on töissä 190 työntekijää. Vuonna 2012 liikevaihto oli 62.5 miljoonaa euroa, sisältäen Suomen myyntiyhtiön Tamrotor Kompressorit Oy:n myynnin. (Gardner Denver 2012)

## **1.2 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet**

Tampereen tehtaalla valmistettava Enduro 3-yksikkö sai rinnalleen samaa kokoluokkaa olevan EN3-yksikön. EN3:n on tarkoitus syrjäyttää vanha E3 lähitulevaisuudessa. Nykytilanteessa E3:n kiinnittimiä on kolme kappaletta, joista valmistuu kaksi runkoa kahden koneistuskierron aikana. EN3:lla on vain yksi kiinnitin, jossa piti alun perin valmistua kolme runkoa kahden kierron aikana, mutta kolmannen, kiinnittimessä korkeimmalla olevan rungon mitat eivät pysyneet toleranssissa erilaisista kiinnitinmuutoksista huolimatta.

EN3-yksikköä myydään asiakkaille jatkuvasti, ja jotta pystytään vastaamaan markkinoiden kysyntään, tulee kiinnittimiä suunnitella lisää. Uutta kiinnitintä lähdettiin kehittämään tulevaisuutta ajatellen. Kiinnitintä, joka on riittävän tukeva, jonka asetusajat lyhyemmät kuin vanhassa kiinnittimessä, ja joka toimisi myös miehittämättömässä

FMS- robottisolussa. Täysin mekaaninen kiinnitin ei pystyisi vastaamaan yhtiön vaatimuksiin ja tulevaisuuden visioihin, joten kiinnittimestä päätettiin suunnitella laitetoiminen. Kiinnitettävien kappaleiden ollessa pieniä päädyttiin pneumaattiseen ratkaisuun hydraulisen sijaan, koska kiinnitysvoimaksi ei tarvita hydraulikalla saavutettavia suuria voimia.

Kiinnittimessä ei tule olemaan jatkuvaa paineilmaa. Kappaleet pysyvät kiinni mekaanisesti jousivoiman avulla, ja kiinnitys avataan paineilmasylintereillä. Jatkuva paineilma kiinnittimessä helpottaisi huomattavasti komponenttien valinnassa, sillä valmistajilta löytyy valmiita paineilmatoimisia puristimia. Toteutus vaatisi kuitenkin tilaa vievän paineakun, johon voisi tulla painehäviötä kiinnittimen ollessa palettivarastossa pitkiä aikoja käyttämättömänä. Suunnitteleimme kiinnittimen, joka on mekaanisen ja pneumaattisen kiinnittimen yhdistelmä.

## 2 RUUVIKOMPRESSORIT

Kompressori on laite, jolla voidaan nostaa kaasun painetta vähintään kaksinkertaiseksi imupaineeseen verrattuna. Kompressorin koko valitaan käyttökohteen vaatiman tuoton ja paineen mukaan. Kompressorien tuottomäärät vaihtelevat kompressorin mallin mukaan välillä 0.5 - 73 m<sup>3</sup>/min tehoalueella 4 - 500 kW ja painetta saadaan 3 - 13 bar. Tuotto ilmoitetaan paineilman tilavuusvirtana, jonka yksikkönä käytetään l/min tai m<sup>3</sup>/min. Kuviossa 1 on kompressorien tuoteperhe. (Hietakangas, J. 2006, 10.)

Toisin kuin muilla kompressorityypeillä, ruuvikompressoreilla saavutetaan niin suuri tilavuusvirta, että sillä pystytään vastaamaan suuren paineilma-verkon kuormitukseen nopeasti ja tarkasti. Suuren ja nopean tilavuusvirran, sekä kestävien komponenttiansa ansiosta ruuvikompressorit ovat yleisimmät ja luotettavimmat paineilmalähteet niin teollisuudessa kuin monessa muussakin ympäristössä. (Hietakangas, J. 2006, 10.)

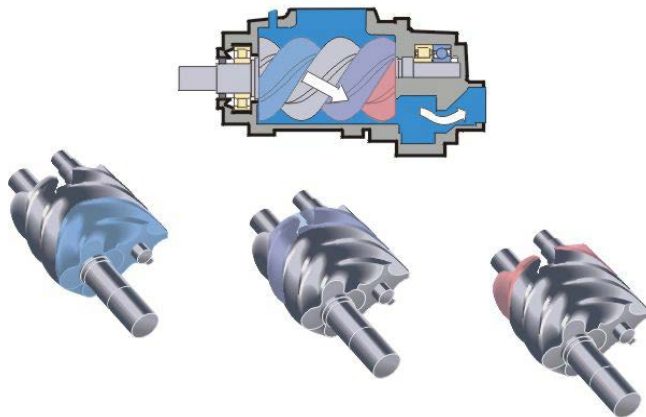


KUVIO 1. Tuoteperhe (Gardner Denver 2012)

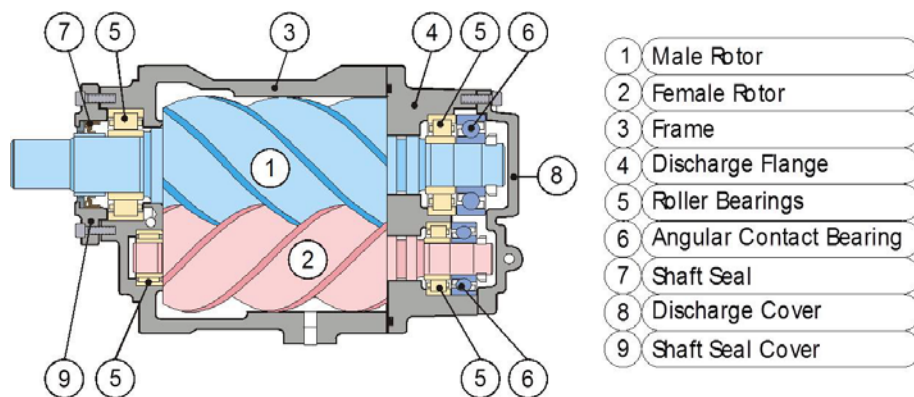
### Ruuvikompressorin toimintaperiaate

Tampereen tehtaalla valmistetut ruuvikompressorit ovat kaikki öljyvoideltuja ja pääasiassa ruuvivetoisia, eli tehonsiirto tapahtuu ruuviroottorin akselin välityksellä. Ruuvin ja luistin pyöriessä alipaine imee imuaukosta ilmaa, joka tämän jälkeen sekoittuu öljyyn. Ryntökohta siirtyy kohti paineaukkoa, jolloin yhteys imuaukkoon loppuu, ja ilma

jää suljettuun tilaan. Seuraavan pyörinnän kuluessa roottoreiden välissä olevan uran tilavuus pienenee, ja ilma alkaa puristua, kunnes saavutetaan tuottopaine, ja paineilma-öljy-seos siirtyy paineaukon ja tuottoputken kautta säiliöön. Kuvio 2 esittää ilman kulua ruuvi-luisti-parin pyöriessä ja Kuviossa 3 on ruuvikompressoriyksikön pääosat ja komponentit. (Airila, Hallikainen, Kääpä & Laurila 1983, 30.)



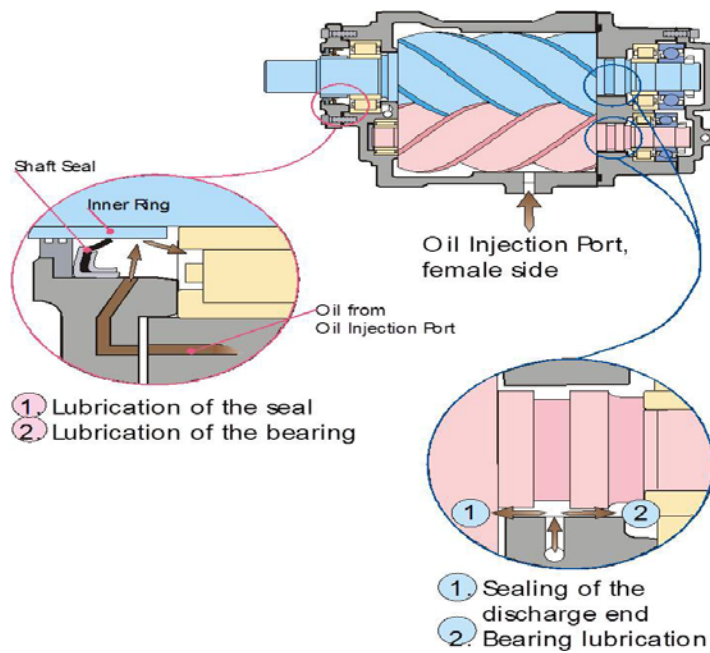
KUVIO 2. Puristuksen kulku ruuvikompressoreissa (Gardner Denver 2012)



KUVIO 3. Ruuvikompressorin osat (Gardner Denver 2012)

### Öljyn tehtävät

Ruuvikompressoreissa öljyä syötetään pääasiassa luistin puolelta roottoreiden puristustilaan noin yksi tilavuusprosentti ilman määrästä. Öljyn tehtävänä on voidella roottorit ja laakerit, tiivistää vuodot ja ruuvi-luistin-parin välisen välyksen, sekä siirtää paineilman puristuksesta syntyvä lämpö pois roottoreilta. Kuviossa 4 on öljyn tehtävät. (Leppälä 2011, 11.)



KUVIO 4. Öljyn syöttö ja tehtävät (Gardner Denver 2012)

### Öljynerotus

Paineilma-öljy-seoksen tultua säiliöön sen alaosassa tapahtuu karkea öljyn erotus. Säiliön pohjalta paineistettu ilma nousee ylöspäin, puristuu öljynsuodattimien läpi ja jatkaa kohti jäähdytintä. Jäähdyttimen jälkeen ilma kulkee vielä vedenerottajan läpi, minkä jälkeen runkoverkosta saadaan puhdasta paineilmaa. (Leppälä 2011, 11.)

### 3 VALMISTUS

#### 3.1 FMS- järjestelmä

Joustavia valmistusjärjestelmiä (FMS) käytetään palettiperustaisten työstökeskusten automatisointiin. FMS perustuu latausasemista, palettivarastosta ja integroiduista työstökoneista. FMS:n hissi kuljettaa paletteja automaattisesti järjestelmän sisällä, mikä mahdollistaa useiden palettien lataamisen etukäteen ja asetusaikojen minimoimisen.

Fastemsin joustavien valmistusjärjestelmien ytimessä on edistyksellinen ohjausohjelmisto - Fastems MMS, joka kykenee aikatauluttamaan tuotannon tuotantotilausten perusteella, hallitsemaan ja siirtämään NC-ohjelmia, priorisoimaan ladattujen palettien työjonon ja huolehtimaan miehittämättömästä tuotannosta. ([www.fastems.com/tuotteet](http://www.fastems.com/tuotteet))



KUVIO 5. Joustava valmistusjärjestelmä (<http://www.fastems.com/fi/>)

#### 3.2 Koneistuskeskukset

Koneistuskeskukset ovat kehittyneet avarrus- ja jyrsinkoneiden pohjalta ja ne ovat aina numeerisesti, eli CNC- ohjattuja. Koneistuskeskuksia on saatavilla pysty- ja vaakakaraisina malleina. Pystykaraiset koneet soveltuvat esimerkiksi muottien ja keernojen koneistamiseen, ja vaakakaraiset monelta sivulta työstettävien kappaleiden koneistamiseen. Olennaisia piirteitä vaakakaraisille koneille erä- ja sarjatuotannossa ovat suuret

työkalumakasiinit, ja työkalujen vaihtamisen sekä kappaleenvaihtojen automatisointi. Kappaleiden käsittely on automatisoitu paletinvaihtajalla.

Koneistuskeskuksilla pyritään koneistamaan työkalupale kertakiinnityksellä ahiosta valmiiksi kappaleeksi. Tavallisimpia työstövaiheita ovat:

- tasojen ja muotojen jyrshintä
- reikien poraus ja kierteitys
- reikien avartaminen
- upotus- ja tasauskoneistukset

Gardner Denverin kahteen eri FMS- linjastoon integroidut vaakakaraiset koneistuskeskukset ovat CNC- jyrsinkoneita Fanuc:n- ohjauksella ja automaattisella työkalunvaihdolla. Koneiden työkalumakasiinit ovat ketju- tai matriisitoimisia, työstökoneesta riippuen. Koneiden tiedot ovat taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Koneistuskeskusten tiedot

Malli	Niigata HN63D-A	Niigata HN63C-B	Niigata SPN501	Niigata HN50C-C	Niigata HN50C-D	Doosan HM630
Lukumäärä	1	1	4	1	1	2
Ohjaus	Fanuc 18i- MB	Fanuc 16i- MA	Fanuc 18i- MB	Fanuc 16i- M	Fanuc 16i- MA	Fanuc 18i- MB
Teho [kW]	26/22		30	15/18.5	15/18.5	22/26
Karan kierrokset [rpm]	7000	6500	8000	6500	6500	6000
työkalujen lukumäärä [kpl]	178	180	178	126	126	180
Työkalu-makasiini	Matriisi	Ketju	Matriisi	Matriisi	Matriisi	Ketju
Paletin koko [mm]	630x630	630x630	500x500	500x500	500x500	630x630
Liikealue X [mm]	1000	1000	800	800	800	1000
Liikealue Y [mm]	850	850	800	700	700	800
Liikealue Z [mm]	750	750	850	580	580	850
Karan kartio	BT-50	BT-50	BT-50	BT-50	BT-50	BT-50

EN3- yksikön osat koneistetaan Niigata SPN501- työstökeskuksilla niiden ollessa linjaston uusimmat ja mittatarkimmat koneet. Rullajohteet takaavat nopeat pikaliikkeet, ja 600 Nm:n vääntävällä karamoottorilla voidaan koneistaa suuremmilla ja taloudellisimmilla työstöarvoilla, mikäli koneistuskiinnitin on tarpeeksi tukeva. Koneen pikaliikkeiden ollessa 60 m/min työkalunvaihto aika on 1.4 s. Ensimmäisen FMS- linjaston kaksi Niigata SPN501- työstökeskusta (kuvio 6) varustellaan EN3- osien koneistukseen vaa-

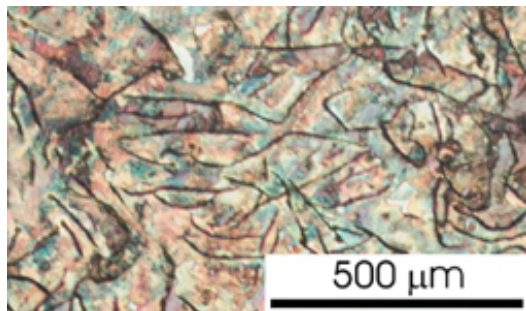
dittavilla työkaluilla. Tällöin tuotteella on varamenetelmä toisen koneen rikkoutuessa, ja koneiden kuormitusta voidaan tasapainottaa. (Niigata 2008)



KUVIO 6. Niigata SPN501 työstökeskus (Niigata 2008)

### 3.3 Valuraudan koneistus

Kaikki Gardner Denverin FMS- linjastoissa koneistettavat tuotteet ovat materiaaliltaan suomugrafiittivalurautaa (GJL). Harmaassa valuraudassa (GJL) grafiitti esiintyy luonteenomaisina suomuina (kuvio 7). Suomumainen grafiitti muodostaa metalliin epäjatkuvuuskohtia, jotka toimivat lastuttaessa lastunmurtajina, kun grafiitti itse toimii terän voiteluaineena. Valurautoja koneistetaan perinteisesti ilman leikkuunestettä, mutta märkäkoneistusta käytetään lähinnä grafiitti- ja rautapölyn hillitsemiseksi (pois lukien CBN- terälaadut). (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 159; Sandvik Coromant 2010, H26.)



KUVIO 7. Suomugrafiittivaluraudan mikrorakenne (<http://koulut.tampere.fi/-materiaalit/valimo2/materiaalit3.htm>)

Harmaan valuraudan pääominaisuuksia ovat alhainen iskusitkeys, hyvä lämmönjohtokyky (ei kuumene lastuttaessa, ja valmis kompressorin runko kuumenee vähemmän kompressorin käydessä) ja erittäin hyvät värinänvaimennusominaisuudet. Lisäksi valu on kustannuksiltaan suhteellisen edullista. Yleisesti ottaen harmaan valuraudan lastuamisvoimat ovat pieniä ja lastuttavuus erittäin hyvä. (Sandvik Coromant 2010, H26.)

Valukappaleiden pintakerros on usein vaikeammin lastuttavaa kuin sisäosuudet, johtuen valun pintakerroksen epämetallisista sulkeumista sekä grafiittipitoisuuden ja rakenteen muutoksista heti valupinnan alla. Tästä seuraa kovien ainesosien aiheuttama terän abraasiivinen kuluminen. Myös valanteiden pintaan tarttunut kaavaushiekka kuluttaa ja rikkoo teriä. (Aaltonen ym. 1997, 159.)

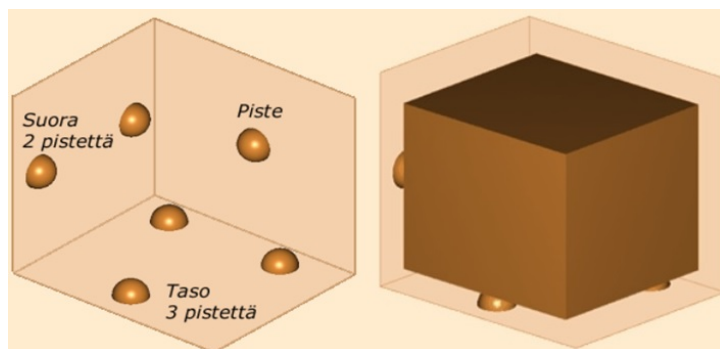
Valurautaa lastuttaessa olisi hyvä koneistaa ensimmäinen lastu riittävän syvältä, jotta pintakerroksen kovuusvaihtelut ja epäpuhtaudet eivät kuluttaisi teriä. Valun tarkkuuksien ja työvarojen vaihtelut vaikeuttavat ensimmäisen lastun syvyyden määrittelyä, mutta esim. Renishaw- mittakärjellä voidaan kappaleen paikka mitata kiinnittimessä. Näin saadaan paikoitustiedot kappaleesta, ja muuttujien avulla voidaan lastun syvyyksiä hallita valukohtaisesti.

## 4 KONEISTETTAN KAPPALEEN KIINNITTÄMINEN

Kiinnittimen on pidettävä koneistettava kappale tukevasti kiinni ja otettava vastaan lastumisesta aiheutuvat voimakomponentit ja momentit. Toisaalta liian suuret kiinnitysvoimat voivat aiheuttaa kappaleeseen muodonmuutoksia. Kappaleen tulee yksiselitteisesti paikoittua samaan asentoon toistuvasti. Tämä voi olla vaikeaa toteuttaa valukappaleilla, kun kappaleen perusmitat ja työvarat saattavat vaihdella annettujen toleranssien rajoissa. Tarpeeksi tukevalla kiinnityksellä voidaan käyttää optimaalisia työstöarvoja, jolloin kappaleen koneistusaika lyhenee ja tuottavuus kasvaa. Hyvällä ja nopeakäyttöisellä kiinnittimellä saadaan minimoitua kappaleen asetusajat, eli työstökoneen tuottamattomat ajat. Jakosauman kohdalle ei tule koskaan suunnitella tuki- tai kiristyspistettä, sillä silloin pinta saattaa vaihdella valuerästä ja kappaleen viimeistelijästä riippuen. Kappaleen irrotessa kiinnityksestä koneistuksen aikana kappaleesta tulee lähes poikkeuksetta käyttökelvoton, jolloin on suuri riski sille, että kallis terä tai kone vaurioituu. (MET 1989, 7)

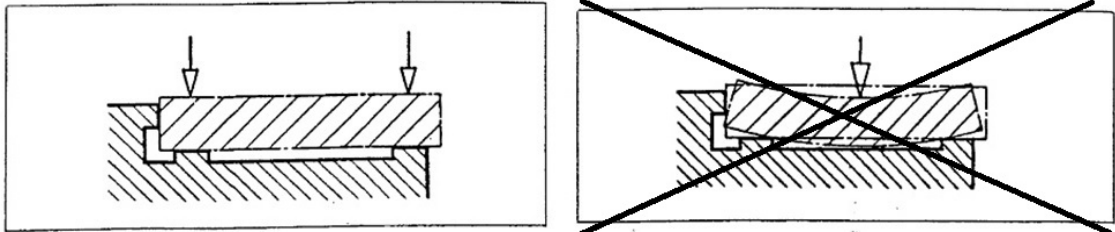
### 4.1 Kappaleen paikoitus ja tukivoimat

Epäpyörähdyskappaleet pyritään paikoittamaan kolmessa tasossa kuudella tukipisteellä (kuvio 8). Paikoitus aloitetaan asettamalla kappale kolmen tukipisteen päälle. Kolmiossa olevat tukipisteet pyritään saamaan mahdollisimman kauas toisistaan. Tukipisteet estävät kappaleen liikkeen ja nostavat kappaleen ilmaan kiinnittimestä, jolloin sivut voidaan koneistaa puhtaaksi. (AEL 2003, 3.)



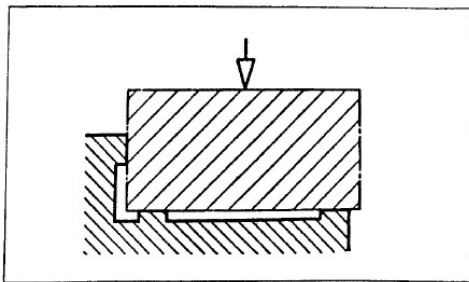
KUVIO 8. Kolme tasoa ja kuusi tukipistettä (<http://koulut.tampere.fi/materiaalit/-valimo2/suuntaus3.htm#>, muokattu)

Kiinnitysvoima tulee aina pyrkiä tuomaan tukien kohdalle. Väärin kiinnitetty hento kappale taipuu ja siihen tulee muodonmuutoksia. Kuviossa 9 on esitetty hennon kappaleen oikea ja väärä kiinnityskohta tukeen nähden. (AEL 2003, 23)



KUVIO 9. Hennon kappaleen kiinnittäminen (AEL 2003, muokattu)

Suuri kappale voidaan tukea kahden tukipinnan välistä, koska kappaleen jäykkyys estää muodonmuutokset (AEL 2003, 23, muokattu).



KUVIO 10. Jäykkään kappaleeseen ei tule muodonmuutoksia puristusvoimasta (AEL 2003, muokattu)

## 4.2 Koneistuskiinnittimet

Kiinnittimet voidaan jakaa kahteen pääryhmään kiinnitystavasta riippuen:

- manuaaliset kiinnittimet, joissa ihmisen lihas synnyttää ruuvien, kiilan, epäkeskon, vipujen tms. välityksellä kiinnitysvoiman.
- laitetoimiset kiinnittimet, joissa kiinnitysvoima tuotetaan pneumaattisesti, hydraulisesti, hydromekaanisesti, sähköisesti tai magneettisesti. (MET 1989, 7.)

Manuaaliset kiinnittimet ovat hinnoiltaan halvimpia rakentaa. Kiinnityspäätteitä ja -välineitä löytyy niin runsaasti eri valmistajilta, että suunnittelijan vaativimpia tehtäviä on valita juuri oikea väline monen samassa konstruktiossa toimivan kiinnityselimen joukosta. Standardiosia kannattaa käyttää mahdollisimman paljon verrattuna itse suunniteltuihin osiin, sillä varaosia tarvittaessa standardiosat saadaan paikalle hetkessä. Kuviossa 11 on perinteisiä kiinnittimen osia.



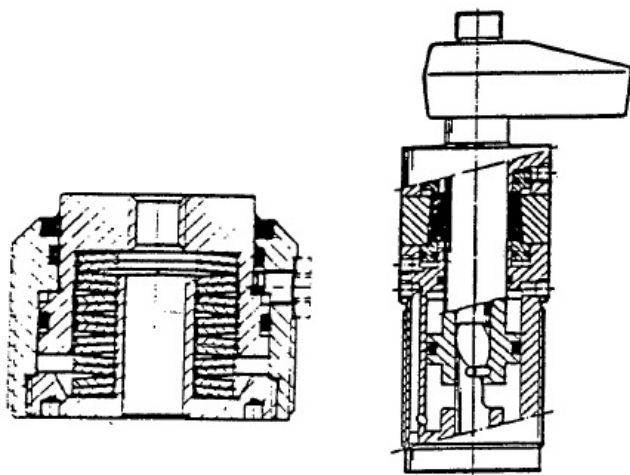
KUVIO 11. Kiinnittimien peruskomponentteja (Norelem 2013, muokattu)

Laitetoimisen kiinnittimen komponentit ovat usein kalliita, ja työstökoneen sisällä ne ovat alttiina lastuille, epäpuhtauksille ja leikkuunesteelle, jonka takia ne tarvitsevat säännöllistä huoltoa. Liikkuvat puristimet (kuvio 12) tarvitsevat yleensä jatkuvan hydraulisen tai pneumaattisen paineen, ja niiden puristusmatka on noin 5 mm.



KUVIO 12. Swing clamp ([http://www.pascaleng.co.jp/english/product\\_aw/01/006.html](http://www.pascaleng.co.jp/english/product_aw/01/006.html))

Hydromekaanisissa kiinnittimissä (kuvio 13) aukaisu ja kiinnitys tapahtuu hydraulisesti. Työstettävän kappaleen kiinnityksen jälkeen hydraulinen paine poistetaan, ja kiinnitys lukittuu mekaanisesti jousivoimalla tai kartioholkeilla kiilakiristysperiaatteella. (AEL 2003, 45.)



KUVIO 13. Jousella ja kartioholkeilla lukittuvat hydromekaaniset kiinnittimet (AEL 2003, 45)

Laitetoimisissa kiinnittimissä on monia etuja käsitoimisiin kiinnittimiin verrattuna, kuten:

- nopeus
  - suuret kiinnitysvoimat, ja kiinnitysvoima helposti säädettävissä
  - kiinnitysvoima pysyy samana käyttäjästä riippumatta
  - mahdollisuus kiinnittää monta kappaletta samalla kiinnityksellä
  - käyttäjä ei rasitu
  - mahdollistavat kiinnittämisen ja kappaleen vaihdon automatisoinnin
- (AEL 2003, 3.)

### 4.3 Automaattinen kappaleen vaihto

Kappaleen vaihdon automatisoimiseksi täytyy mallintaessa kiinnittää erityistä huomiota kiinnittimen konstruktion, sillä uudelleen asemoitumisen kannalta kiinnittimen muodon täytyy mahdollistaa lastujen poisto kappaleen ja paikoituselinten välistä. Robotin

liikkeet ja tarttujan toimivuus täytyy huomioida jo kiinnitintä suunniteltaessa. Automaatioon tarvittavat toimilaitteet vaativat myös paljon tilaa latausaseman välittömästä läheisyydestä.

Automatisoidun kiinnityksen hyöty tulee siinä, ettei kappaleita tarvitse kiinnittää varastoon miehittämätöntä jaksoa varten. Volyymituotteita voidaan koneistaa miehittämättömässä ajossa yhdellä kiinnittimellä, jolloin rinnakkaisten kiinnittimien tarve vähenee. Laitetoimiset kiinnittimet ovat normaalisti 2 - 3 kertaa kalliimpia kuin mekaaniset kiinnittimet, mutta vähentämällä rinnakkaisten kiinnittimien tarvetta robotisoimalla toistuvat ja kuormittavat vaiheet saavutetaan pienemmät työkustannukset, ja kiinnittimen hinta kompensoituu.

Edellytyksinä miehittämättömälle koneistusjaksoille ovat:

- riittävän suuri työkalumakasiini (varatyökalut avaintyökaluille)
- paletinvaihtojärjestelmä
- suuri ohjelmamuisti tai yhteys ylemmän tason ohjaus- ja ohjelmointijärjestelmään
- työstönvalvontajärjestelmä
- työkalujen valvontajärjestelmä
- tehokas lastuamisneste- ja lastunkuljetusjärjestelmä
- järkevät kappaleiden kiinnittimet
- liittymät konepajan materiaalijärjestelmään
- operaattorien ammattitaito, työpanos kiinnittämisestä laadunvalvontaan ja ongelman ratkaisuun

(Aaltonen ym. 1997, 233.)

#### **4.4 Nollapistekiinnitys**

Nollapisteliittimille ja –sylintereille on käytössä useita nimityksiä. Sylintereistä on käytössä esimerkiksi nollapiste-elementti, nollapistekiinnitin sekä nollapisteistukka, ja liittimistä tappi. Kuviossa 14 on yhden valmistajan pinta- ja uppoasennettava nollapistesylinteri sekä tappi.



KUVIO 14. Pinta- ja uppoasennettava nollapistesylinteri (AMF 2013)

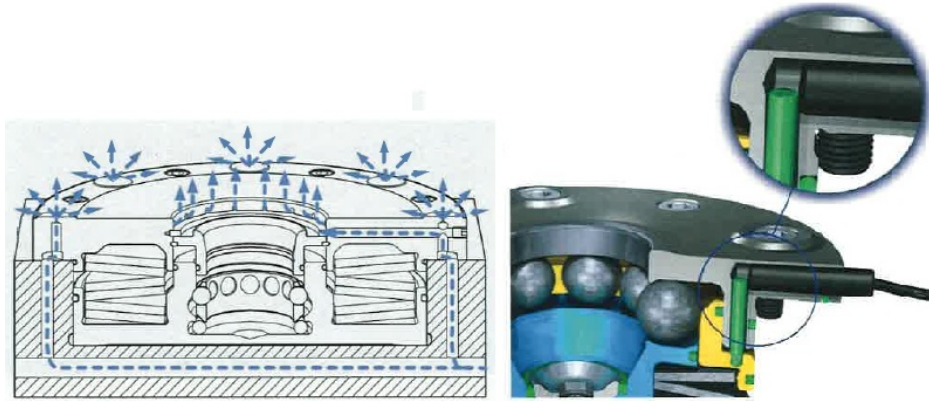
Nollapistekiinnittimiä on saatavilla monelta eri valmistajalta vaihtelevin ominaisuuksin. Kiinnittintä valitessa mietitään ensin tarve, mitä ominaisuuksia halutaan, ja vasta sitten miltä valmistajalta löytyy tarvittavilla ominaisuuksilla varusteltuja nollapistekiinnittimiä.

Nollapistekiinnityksessä asemoitavan kappaleen nollapiste säilyy jokaisella kiinnityskerralla samassa paikassa. Näin ollen toistotarkkuus paranee osien valmistuksessa, mistä on eniten hyötyä valmistusmäärien ollessa suuria, tai kun kappaletta työstetään useammassa eri työpisteessä. Valmistajat lupaavat kiinnityksen toistotarkkuudeksi  $\leq 0.005$  mm. (Reunanen, T. 2011, 31.)

Nollapistekiinnitin muodostuu yhdestä tai useammasta peruslevyyn kiinnitetystä nollapistesylinteristä. Peruslevy asennetaan työstökoneen konepalettiin tai kiinnittimen seinä itsessään voi toimia peruslevynä. Kiinnitinlevy tulee peruslevyyn kiinnitettyihin sylintereihin kiinnitinlevyssä olevien kiinnitin- ja ohjaustappien avulla. Työkappaleet kiinnitetään joko kiinnityslevyyn tai suoraan nollapistesylinteriin kappaleeseen kiinnitettyjen kiinnitystappien avulla. Kiinnityksen tapahtuessa työkappaleeseen suoraan kiinnitettävillä tapeilla kappaleen asemointi tapahtuu samalla kun itse kiinnityskin. Avauksen ja lukituksen nopeudet takaavat lyhyet kappaleen asetus- ja vaihtoajat. Tähän perustuu kappaleen vaihdon helppous, nopeus ja automatisoitavuus. (Reunanen, T. 2011, 31.)

Lisäominaisuuksina sylintereille on saatavilla automaattinen puhdistus ja valvonta. Puhdistus tapahtuu automaattisena puhalluksena sylinterin sisältä ja kiinnityspinoilta

kappaleen irrotuksen yhteydessä. Valvottuun sylinteriin on integroitu valvontapiiri, jonka avulla saadaan esimerkiksi robotille tietoa siitä, onko kappale kiinnitetty vai irti kiinnityksestä. Kuviossa 15 on esimerkki puhallus- ja valvontaominaisuudesta. (Reunanen, T. 2011, 40 - 41.)



KUVIO 15. Sylinterin puhdistus- ja valvonta ominaisuus (Kuvio: Reunanen, T. 2011, muokattu)

### **Nollapistesylinterin toiminta**

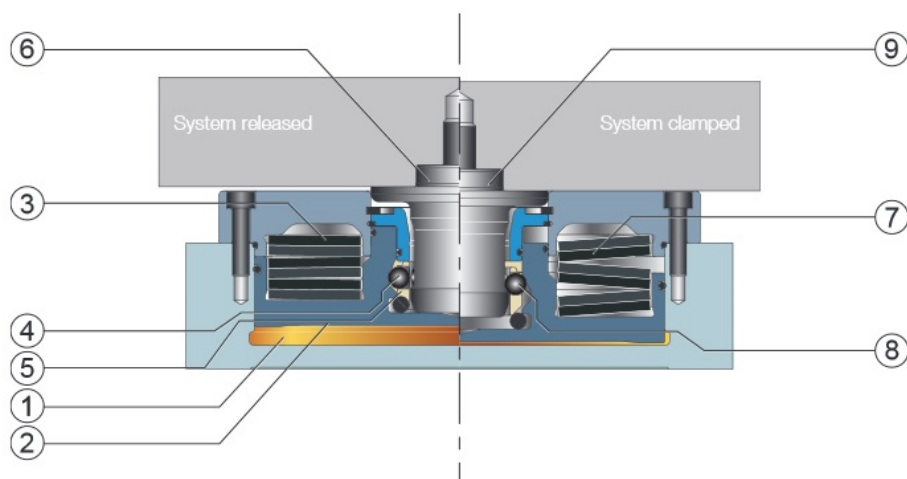
Nollapistesylinterit voidaan avata/lukita mekaanisesti, hydraulisesti, pneumaattisesti, sähköisesti tai näiden yhdistelmällä. Yhdistelmässä avaus tapahtuu hydraulisesti tai pneumaattisesti, ja lukitus mekaanisesti jousen avulla. Mekaaninen kiinnitys tarkoittaa yleensä jousivoimaa, mutta myös ruuvattavia – täysin mekaanisia kiinnittimiä on saatavilla (Kuvio 16). Tappi lukkiutuu sylinterissä kuulien tai renkaiden avulla.



KUVIO 16. Täysin mekaaninen nollapistesylinteri (Kuvio: Erkki Multanen 2013)

Kuviossa 17 on Starkin hydraulisesti avautuva ja mekaanisesti jousen avulla lukittuva sylinteri. Avautuessa hydraulinen paine (1) vaikuttaa mäntään (2), jolloin mäntä liikkuu

ylös ja jouset (3) puristuvat. Lukituskuulat (4) liikkuvat kuulakehikkoonsa (5) ja kiinnitintappi (6) asettuu mäntää vasten. Lukittuessa hydraulinen paine otetaan pois, jolloin jouset vapautuvat ja mäntä liikkuu alas. Jousien esijännitys (7) vaikuttaa jatkuvasti suoraan alaspäin puristaen lukituskuulat (8) kiinnitintappia (9) vasten. Pneumaattinen sylinteri toimii samalla periaatteella kuin hydraulinen. (Reunanen, T. 2011, 34.)



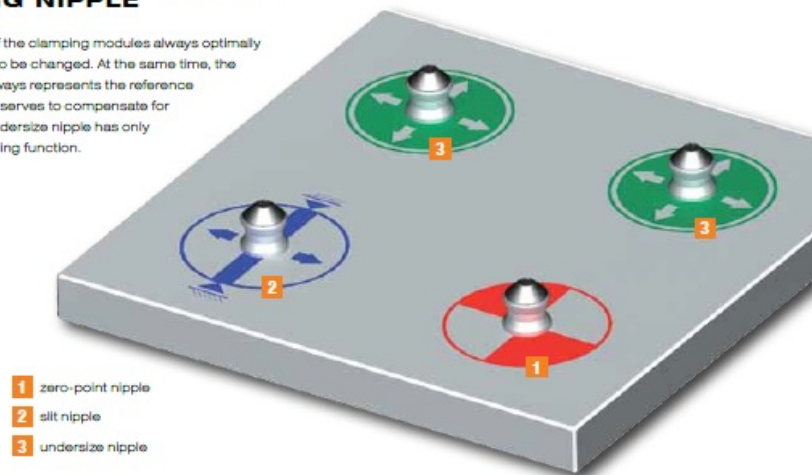
KUVIO 17. Nollapistesylinterin avautuminen ja lukitus (<http://www.stark-inc.com>)

### Kiinnitintapit

Kiinnitintappeja on kolme eri tyyppiä: keskittäviä, suuntaavia, sekä tappeja, jotka ainoastaan kiinnittävät. Tapeista käytetään myös nimityksiä nollapiste-, ohjaava-, alikoko-tappi. Tarkkaan kiinnitykseen tulee käyttää kaikkia tappeja kiinnityksen tapahtuessa usealla sylinterillä. Keskittävän tapin halkaisija on tarkalla sovitteella sylinterin kanssa ja määrittää siten nollapisteen. Suuntaavan tapin vastakkaisilla puolilla on kaksi uloketta, joiden muodostama halkaisija vastaa sylinterin halkaisijaa. Tämän vuoksi XY-tasossa on vällys vain toiseen suuntaan, toisen suunnan ollessa tarkasti määritetty. Tällä järjestelyllä vältetään lämpölaajenemisen aiheuttamia ongelmia kiinnittämisen ja irrottamisen aikana. Alikokoinen tappi on vain kiinnitystä varten ja tulee siten väljällä sovitteella. Kuviossa 18 on esimerkki tappien sijoittelusta. (Reunanen, T. 2011, 31.)

### ARRANGEMENT OF CLASSIC CLAMPING NIPPLE

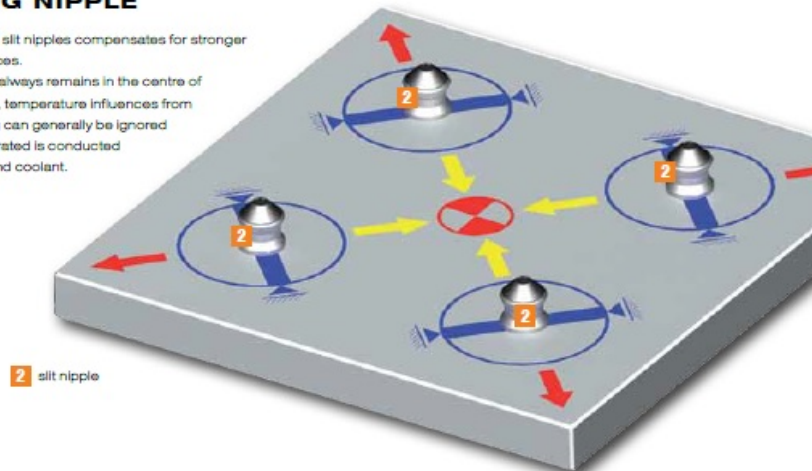
This arrangement of the clamping modules always optimally positions the pallet to be changed. At the same time, the zero-point nipple always represents the reference point. The slit nipple serves to compensate for the free axis. The undersize nipple has only a clamping and holding function.



### ARRANGEMENT OF OPTIONAL CLAMPING NIPPLE

The exclusive use of slit nipples compensates for stronger temperature influences.

The reference point always remains in the centre of the pallet. Of course, temperature influences from machine processing can generally be ignored since the heat generated is conducted away by the chips and coolant.



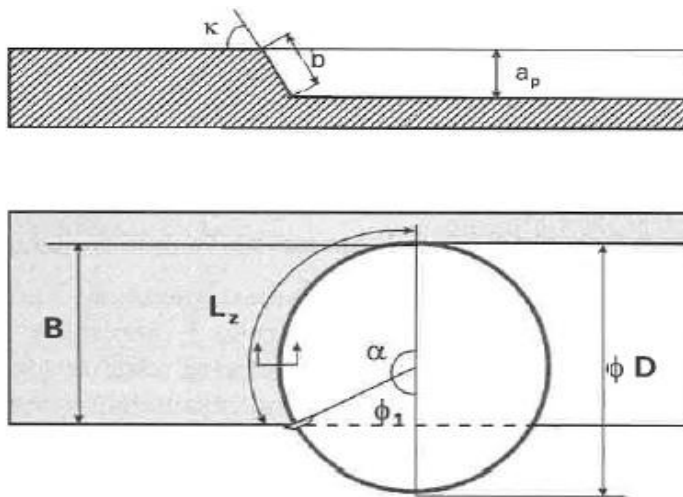
KUVIO 18. Kiinnitintappien sijoittelu (AMF 2013, muokattu)

## 5 LASTUAMISVOIMAT

### 5.1 Kiinnitysvoiman määrittäminen

Kappaleen kiinnitysvoiman tarve selvitetään yleensä lastuamisesta syntyvien voimien perusteella. Tällöin yleensä riittää päälastuamisvoiman määrittäminen. (AEL 2003, 15.) Suurimmat voimat syntyvät tasojiyrinnässä, joten sitä käytetään kiinnitysvoiman määrittämiseen.

Päälastuamisvoima on laskettu ilman pyöristyksiä liitteessä 1 kuvion 19 ja taulukon 2 parametreja käyttäen.



KUVIO 19. Otsajiyrinnän parametrit (Aaltonen ym. 1997, 22)

### TAULUKKO 2. Parametrien Selite

Parametri	Merkitys	Metrinen yksikkö
$B$	Jyrsittävä leveys	mm
$D$	Työkalun halkaisija	mm
$\alpha$	Kontaktikulma	aste
$L_z$	Työkalun ja työstökappaleen kosketuskulman pituus	mm
$a_p$	Lastuamissyvyys	mm
$\kappa$	Terän asetuskulma	aste
$b$	$b = a_p$	mm
$e$	Kontaktissa olevien terien lukumäärä	kpl
$h_m$	Keskimääräinen lastuamispaksuus	mm
$f_z$	Syöttö/terä	mm
$k_c$	Keskimääräinen ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{mm^2}$
$k_{c1.1}$	Ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{mm^2}$
$m$	Korjauskerroin todelliselle $h_m$ -arvolle	-

Terän kontaktikulma lasketaan kaavalla:

$$\alpha = 180^\circ - \arccos \left[ \frac{\left( B - \frac{D}{2} \right)}{\frac{D}{2}} \right] \quad (1)$$

$$\alpha \approx 115.40^\circ$$

Jyrsimen ja kappaleen kosketuskulmaa vastaava kaaren pituus lasketaan kaavalla:

$$L_Z = \frac{\alpha}{360^\circ} \cdot \pi \cdot D \quad (2)$$

$$L_Z \approx 63.40 \text{ mm}$$

Keskimääräinen kontaktissa olevien terien lukumäärä lasketaan kaavalla:

$$e = z \cdot \frac{\alpha}{360^\circ} \quad (3)$$

$$e \approx 1.60$$

Keskimääräinen lastuamispaksuus lasketaan kaavalla:

$$h_m = f_z \cdot \sin \kappa \cdot \frac{B}{L_Z} \quad (4)$$

$$h_m \approx 0.18 \text{ mm}$$

Keskimääräinen ominaislastuamisvoima lasketaan kaavalla:

$$k_C = h_m^{-m} \cdot k_{C1.1} \quad (5)$$

$$k_C \approx 1785.30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Keskimääräinen päälastuamisvoima hammasta kohti lasketaan kaavalla:

$$F_{ym} = b \cdot h_m \cdot k_C \quad (6)$$

$$F_{ym} \approx 791.60 \text{ N}$$

Saadaksemme kokonaislastuamisvoiman, on  $F_{ym}$  kerrottava keskimäärin kontaktissa olevien terien määrällä, kaavalla:

$$F_y = F_{ym} \cdot e \quad (7)$$

$$F_y \approx 1.30 \text{ kN}$$

Kaavan (5) arvot  $m$  ja  $k_{C1.1}$  saatiin taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Valurautojen MC-koodit (Sandvik Coromant 2010, muokattu)

MC-koodi	Materiaaliryhmä	Aliryhmä	Valmistusprosessi	Lämpökäsittely	Nimelliskovuus	Ominaislastuamisvoima, $k_{C1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$m_c$	
K1.1.C.NS	1	1	pieni murtolujuus	C	NS	200 HB	780	0.28
K1.2.C.NS		2	suuri murtolujuus	C	NS	280 HB	1020	0.28
K2.1.C.UT	2	1	pieni murtolujuus	C	UT	180 HB	900	0.28
K2.2.C.UT		2	suuri murtolujuus	C	UT	245 HB	1100	0.28
K2.3.C.UT	3	3	austenittinen	C	UT	175 HB	1300	0.28
K3.1.C.UT		1	ferrittinen	C	UT	155 HB	870	0.28
K3.2.C.UT		2	ferrittis-perliittinen	C	UT	215 HB	1200	0.28
K3.3.C.UT		3	perliittinen	C	UT	265 HB	1440	0.28
K3.4.C.UT		4	martensittinen	C	UT	330 HB	1650	0.28
K3.5.C.UT	5	austenittinen	C	UT	190 HB			
K4.1.C.UT	4	1	pieni murtolujuus (perliittia < 90 %)	C	UT	160 HB	680	0.43
K4.2.C.UT		2	suuri murtolujuus (perliittia ≥ 90 %)	C	UT	230 HB	750	0.41
K5.1.C.NS	5	1	pieni murtolujuus	C	NS	300 HB		
K5.2.C.NS		2	suuri murtolujuus	C	NS	400 HB		
K5.3.C.NS		3	erittäin suuri murtolujuus	C	NS	460 HB		

### Kiinnitysvoiman laskeminen

Tasojyrsinnästä syntyvä laskennallinen päälastuamisvoima kerrotaan varmuusluvulla kaksi. Määritetään kappaleen kiinnitysvoima kaavalla:

$$F_{kiinnitys} = F_y \cdot 2 \quad (8)$$

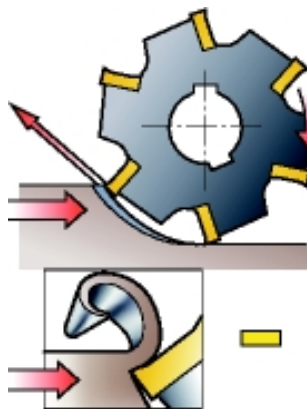
Sijoitetaan luvut kaavaan ja saadaan:

$$F_{kiinnitys} = 1268.50 \text{ N} \cdot 2 \approx 2.54 \text{ kN}$$

Saatu voimaa käytetään kappaleiden kiinnitysvoimana. Jokaisen vaiheen kiinnitysvoiman tulee olla yli lasketun arvon.

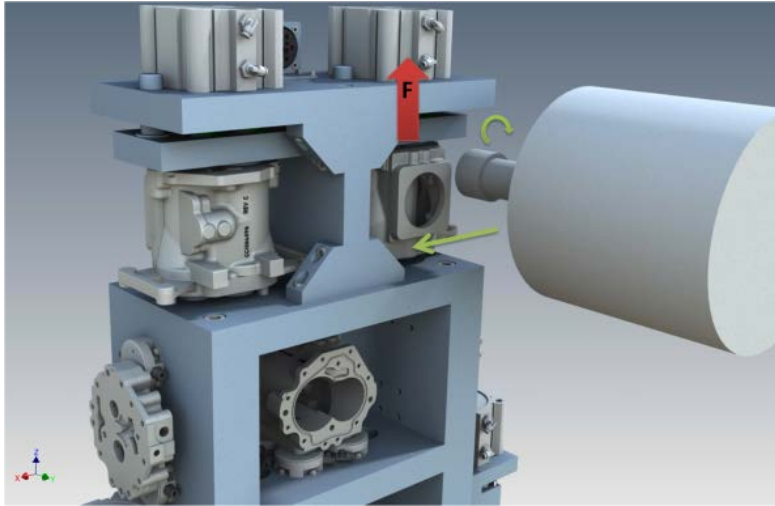
### 5.2 Lastuamisvoimien suunnan hallinta

Vastajyrsinnässä syöttöliike on jyrsimen pyörimissuuntaan nähden päinvastainen, jolloin lastunpaksuus lähtee kasvamaan nolasta ja on suurimmillaan lastun katketessa (kuvio 20). (Sandvik Coromant 2010, H27).



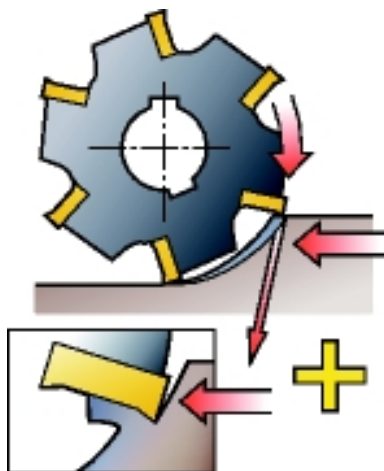
KUVIO 20. Vastajyrsinnän lastunkatkeaminen (Sandvik Coromant 2010, H27)

Vastajyrsinnästä aiheutuvat radiaaliset lastuamisvoimat pyrkivät nostamaan työkappaletta irti kiinnityksestä. Kuviossa 21 on esimerkki vastajyrsinnästä ja sen nostavasta koneistusvoimasta.



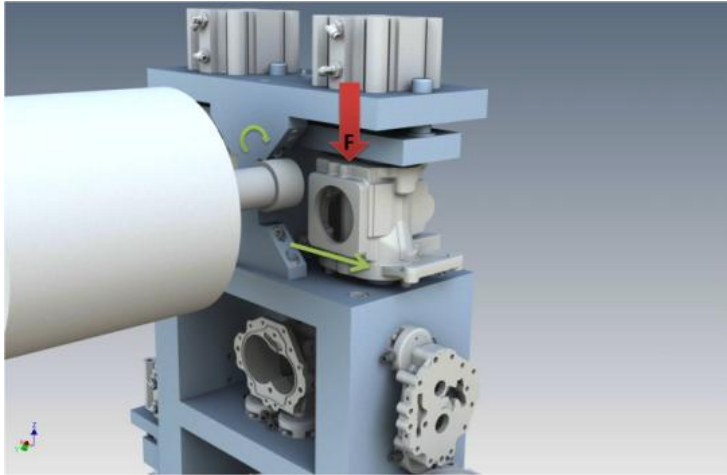
KUVIO 21. Vastajyrsinnän nostava lastuamisvoima

Myötäjyrsinnässä jyrsimen syöttöliike ja pyörimissuunta ovat samansuuntaisia. Tällöin jyrsimen kehällä lastunpaksuus pienenee lastuamisen aloituksesta lähtien, kunnes se lastun irrotessa on nolla. Suuri lastunpaksuus on etu, sillä lastuamisvoimat painavat kappaletta jyrsintä vasten ja lastuamislake jatkuu katkeamatta (kuvio 22). (Sandvik Coromant 2010, H27.)



KUVIO 22. Myötäjyrsinnän lastuaminen (Sandvik Coromant 2010, H27)

Myötäjyrsinnän lastuamisvoimat pyrkivät painamaan kappaletta alaspäin kiinteitä paikoitusnastoja vasten. Kuviossa 23 on esimerkki myötäjyrsinnästä ja sen painavasta koneistusvoimasta. Jyrsinnästä aiheutuvien voimien suuntaa voidaan kontrolloida, ja näin ollen tukevoittaa kappaleen koneistusta menetelmävalinnoilla.

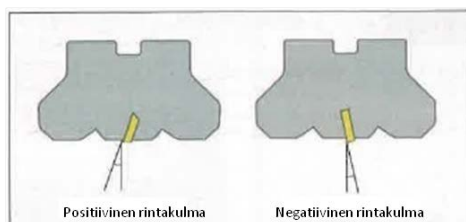


KUVIO 23. Myötäjyrsinnän painava lastuamisvoima

### 5.3 Terän rintakulman vaikutus lastuamisvoimaan

Jyrsimen teräpalkan rintakulman valinnalla voidaan pienentää lastuamisesta syntyviä voimia. Negatiivisen rintakulman omaava pala periaatteessa työntää materiaalia leikkaamisen sijaan, jolloin syntyy suuria lastuamisvoimia ja lämpöä. Koneistetun kappaleen lopullinen tarkkuus voi kärsiä, jos koneen teho ei riitä tai kappaleen kiinnitys ei ole riittävän tukeva. Negatiivisen rintakulman jyrsimestä aiheutuvat lastuamisvoimat voivat jopa taivuttaa ohutseinäistä kappaletta. (Alatalo 2013, 8.)

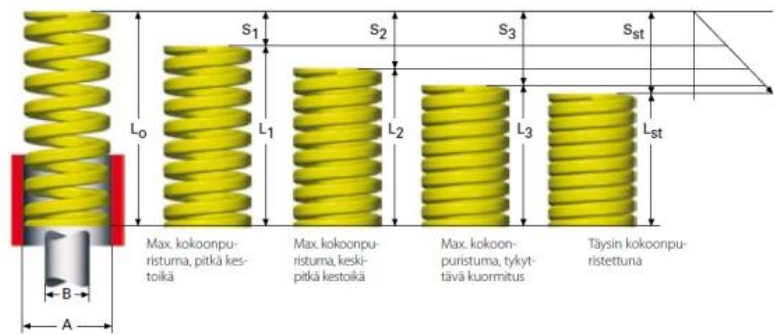
Positiivisen rintakulman työkalussa suurin osa työkalun rungosta kallistuu taaksepäin lastuamissärmästä, jolloin särmä leikkaa materiaalia vapaasti lastuten. Lastunpaine minimoituu ja työstövoimat pysyvät pienempinä. (Alatalo 2013, 8.) Kuviossa 24 on kuvattu jyrsimet eri rintakulmilla.



KUVIO 24. Positiivinen ja negatiivinen rintakulma (Kone Kuriiri 10/2013, 8)

## 6 JOUSIVOIMAT

Rungon ja painelaipan ensimmäisen vaiheen kiinnitys tapahtuu Lesjöfors'in ISO 10243-työkalujousilla. Työkalujouset ovat korkealaatuisia puristusjousia, joita käytetään puristintyökaluissa, venttiileissä, kytkimissä, kiinnittimissä tai kohteissa, joissa jouselta vaaditaan suurta joustokykyä rajallisessa tilassa. Valmistajan taulukosta saadaan voimat  $F_1 - F_3$  joustomatkoille  $S_1 - S_3$  kuvion 25 mukaisesti. (Lesjöfors 2011, 59.)

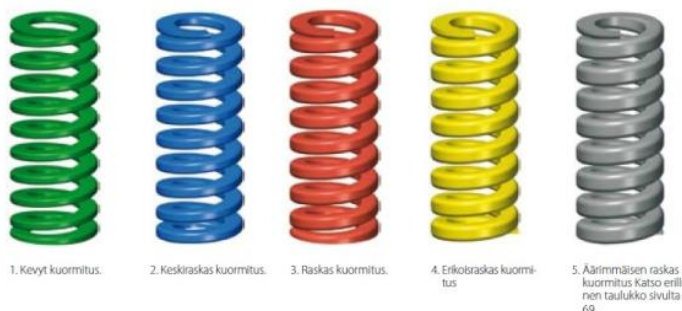


KUVIO 25. Työkalujousien parametreja (Lesjöfors 2011, 59)

Maksimijoustomatkaa  $S_3$  ei koskaan pidä ylittää, koska se lyhentää jousen kestoikää.

Jousella tulee aina olla tietty määrä esijännitystä. Esijännityksen pituuden tulisi olla vähintään 5 % jousen vapaasta pituudesta  $L_0$ . (Lesjöfors 2011, 59.)

Työkalujousia on saatavilla samankokoisina viidestä eri voimaluokasta. Voimaluokat erotellaan värikoodilla kuvion 26 mukaisesti. Voimiltaan ylimitoitettua jouta on vältettävä, sillä silloin voidaan joutua valitsemaan kalliimpi ja suurempi kompaktisylinteri sekä suurempi järjestelmän käyttöpaine jousivoimien kumoamiseksi.



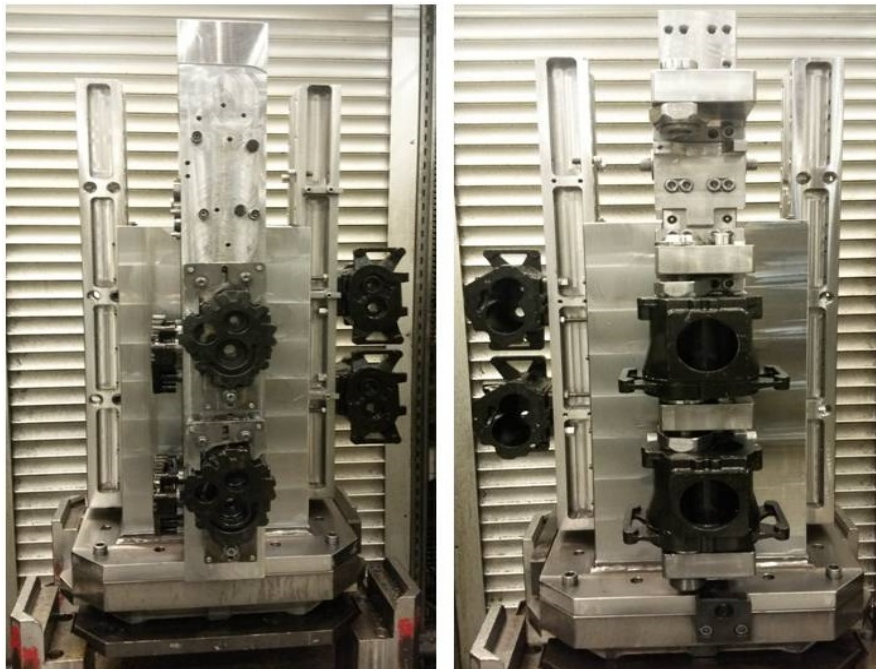
KUVIO 26. Työkalujousien värikoodit (Lesjöfors 2011, 60)

## 7 KIINNITTIMEN SUUNNITTELU- JA MALLINNUKSEEN

### 7.1 Vanha kiinnitin

Vanha kiinnitin on perhekiinnitin, jossa saman tuotteen kaksi osaa valmistuvat kahdessa eri kiinnitysvaiheessa. Runkojen paikat on suunniteltu kiinnittimeen liian kauaksi pöydän kääntöpisteestä ja toisistaan, mistä aiheutuu samankeskiisyys-virhettä roottori- ja laakeripesien välillä. Virheestä käytetään myös kääntökeskiövirhe-nimeä. Kappaleiden yhdenmukaisuus kärsii, kun työstökone joutuu koneistamaan sen liikeavaruuden ääri-laidoissa. Ylimmän rungon kiinnitys pääsee joustamaan koneistuksesta aiheutuvien voimien vaikutuksesta, jolloin kappaleeseen syntyy värinäjälkeä ja toleranssit sekä pinnanlaatuvaatimukset eivät toteudu. Tästä johtuen kiinnittimeen ladataan vain kaksi runkoa ja kaksi painelaippaa koneistuskiertoa kohden.

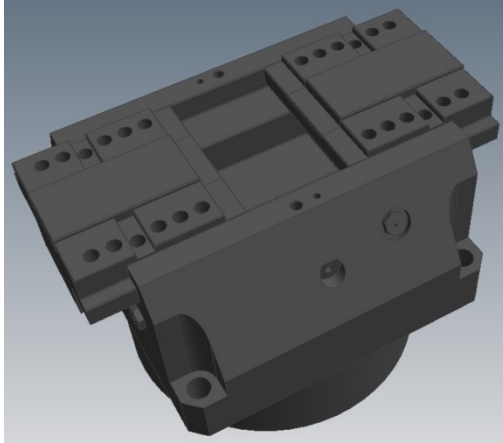
Painelaippojen ensimmäisen vaiheen vestirautoja on muutettu ja korjattu useita kertoja, mutta laipat eivät siitä huolimatta pysy tukevasti kiinni. Kappale on usein päässyt irtotamaan kesken koneistuksen tai o-rengas uraan syntyy värinäjälkeä, jolloin o-rengas ei enää tiivisty uran pohjaa ja seinämiä vasten, ja kokoonpantu yksikkö vuotaa öljyä koe-käytön aikana. Kuviossa 27 on vanha EN3- yksikön koneistuskiinnitin.



KUVIO 27. Vanha EN3 kiinnitin 0° ja 180° asennoissa (Kuvio: Erkka Multanen 2013)

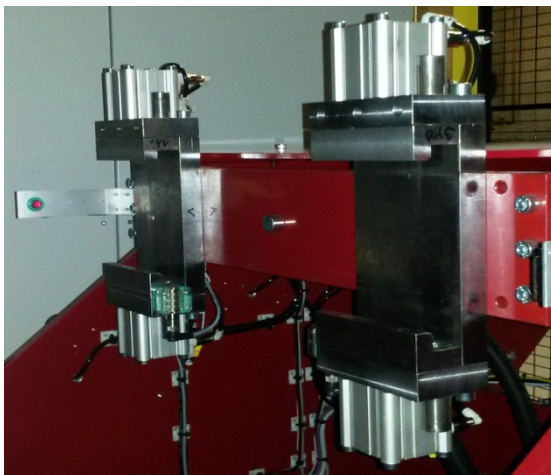
## 7.2 Painelaipan ensimmäisen vaiheen kiinnitys

Ennen varsinaista toteutusta painelaipan kiinnittimeksi suunniteltiin kuvion 28 mukainen, keskeisesti puristava paineilmatoiminen kiinnityslohko. Lohkon leukoihin oli tarkoitus suunnitella muotoleuat kiinnittämään kappale tukevasti. Muita vaihtoehtoja alettiin kuitenkin miettiä lohkon suuren koon ja 3500 euron kappalehinnan vuoksi.



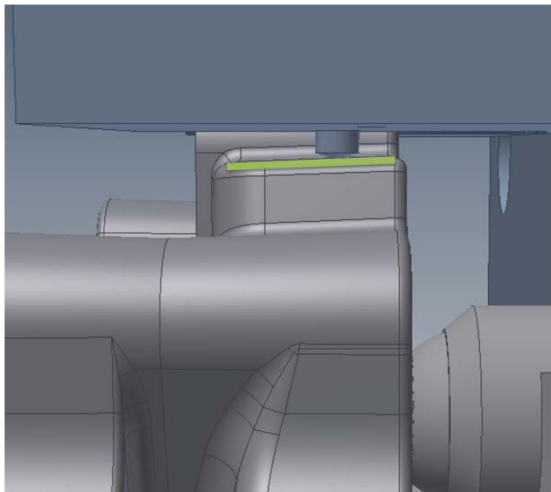
KUVIO 28. Kiinnityslohko

Idea suunnitella puristin itse kiinnittimen kustannuksien laskemiseksi syntyi Gardner Denverin kokoonpanolinjan uuden ”mixed model line:n” liikkuvasta kappaleen kuljetus kelkasta. Kuviossa 29 on kelkan puristimet. Kelkan puristimista saatiin idea käyttää kompaktisylintereitä kiinnityksen avaamiseen, ja ideaa sovellettiin kiinnitysvoiman mekanisoimiseksi lisäämällä jouset puristimeen.



KUVIO 29. Kappaleen kuljetus kelkka

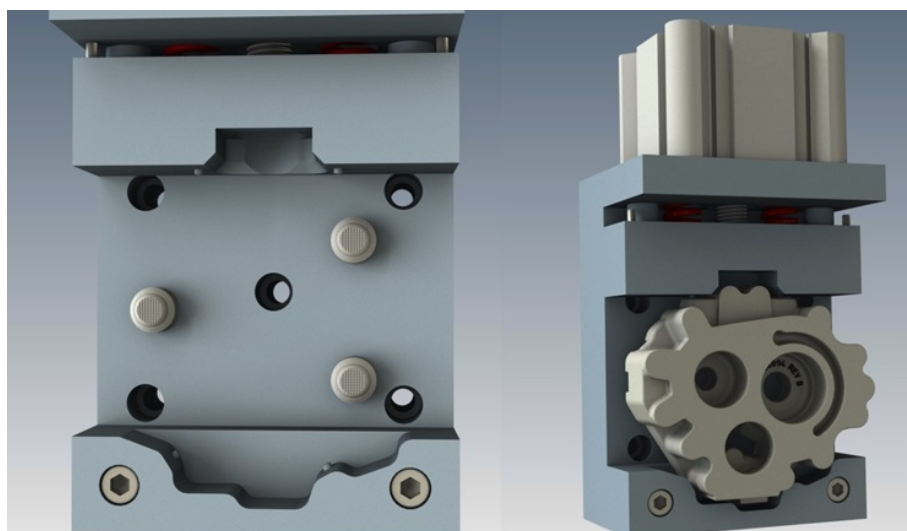
Alun perin suunniteltiin laipan ensimmäisen vaiheen kiinnityksen tulevan niin, että laipan suurempi laakeripesä olisi alapuolella, jolloin se toimisi koneistuksen nollapisteenä paletin 90° ja 180° asennoissa. Tällöin kääntökeskiövirhe minimoituisi. Vanhan kokemuksen mukaan kappaleen kaarevat, pyöristetyt ja valukohtaiset pinnat eivät sovellu hyvin kiinnityspisteiksi, joten katsottiin parhaaksi puristaa kappaletta sen ainoilta suorilta pinnoilta. ”Suorat” pinnat on hellitetty valuteknisistä syistä kahden asteen kulmaan, jolloin kappaleen pinnan kiinnityspisteet ovat hieman vinossa, verrattuna kiinnittäviin kovametallinastoihin (kuvio 30). Puristava kiinnitysvoima voi suoristaa hellitetyn kulman suoraksi kovametallinastaan nähdessä, jolloin laippa koneistuu epäkeskeiseksi. Mietinnässä tultiin kuitenkin siihen tulokseen, että kertamuottimenetelmällä saavutettu normaalia pienempi hellityskulma, ja laipan takana olevat tukinastat estävät kappaletta kääntymästä kiinnitysvoiman vaikutuksesta.



KUVIO 30. Hellitetty valupinta kiinnitystä vasten

### **Kiinnitys**

Painelaipan ensimmäinen vaihe kiinnitetään muotoleuoilla. Muotoleukojen muoto mallinnettiin kokoonpanossa luomalla ”sketsi” muotoleuan aihion pintaan. Painelaipan aihio lukittiin oikeaan kohtaan ja sen ulkomuodot projisoitiin muotoleuan aihioon. Laipan ulkomuotoa levitettiin 3 mm suuremmaksi, jotta kappale mahtuu sille suunniteltuun koloon valun vaihteluista ja jakosaumasta huolimatta. Viivojen muotoja ja kulmia muunneltiin koneistusystävällisemmiksi ja nurkkiin lisättiin pyöristykset muodon koneistamisen mahdollistamiseksi varsijyrkimellä. Tämän jälkeen muoto leikattiin aihioon ja se mitoitettiin tuleviin mittoihinsa. Kuviossa 31 on mallinnettu muotoleuka.



KUVIO 31. Muotoleuat

### **Muotoleuan toiminta**

Puristin avataan kompaktisylinterillä ja painelaippa asetetaan kahden kovametallinastan päälle. Kappaletta painetaan kiinteitä paikoitusnastoja vasten ja ohjataan sylinterin veto-liike pois päältä, jolloin yläpuolen liikkuvan leuan jouset puristavat ja lukitsevat kappaaleen kiinni mekaanisesti. Alla olevat kovametallinastat tulevat kiinni kappaaleen sivuista ja ovat noin  $60^\circ$  ja  $30^\circ$  asteen kulmassa. Ne estävät kappaletta lähtemästä liikkeelle X-akselin suuntaisten koneistusvoimien vaikutuksesta. Ylhäältä tuleva puristus estää kappaletta lähtemästä liikkeelle Y-akselin suuntaan ja kumoaa porauksien momenttien aiheuttavan kiertävän liikkeen. Laippa koneistetaan myötäjyrsinnällä, jolloin lastuamisvoima painaa kappaletta kahta kiinteää nastaa vasten, eikä nosta kappaletta vastajyrsinnän tavoin jousivoimia vastaan.

### **Jousivoimat laippa kiinnitettynä**

Painelaipan kiinnitykseen valittiin kaksi Lesjöförsin 5331 voimaluokan 3 työkalujousta. Laskut on laskettu ilman pyöristyksiä liitteessä 2. Laipan ensimmäisen vaiheen ollessa puristuksessa, mittatyökalulla mitattuna sylinteri on työntynyt 13.75 mm ja jouselle jää tällöin tilaa pituussuunnassa 60.75 mm.

Kiinnittämiseen tarvittava voima laskettiin kaavalla (8). Voima jaetaan kahdella, jolloin saadaan voima joka yhden jousen on vähintään tuotettava kappaaleen ollessa kiinnitettynä:

$$2540 \text{ N} \div 2 = 1270 \text{ N}$$

Jousen tuottama voima painelaipan ollessa puristuksissa lasketaan kaavalla:

$$F = k \cdot f \quad (9)$$

$$F = 1509.75 \text{ N}$$

Jousen esijännitys prosentteina lasketaan kaavalla:

$$F_E = \frac{f}{L_0} \cdot 100 \quad (10)$$

$$F_E \approx 20 \%$$

Todellinen kiinnitysvoima on kahden jousen tuottaman voiman summa. Lasketaan todellinen kiinnitysvoima:

$$\sum F_{kiinnitys} = 1509.75 \text{ N} \cdot 2 \approx 3.00 \text{ kN}$$

Saatua todellista kiinnitysvoimaa verrataan kaavalla (8) laskettuun varmuusluvulla korotettuun päälastuamisvoimaan. Kiinnitysvoima on suurempi, joten voima riittää kappaleen kiinnittämiseen.

### **Jousivoimat laipan kiinnitys auki**

Kompaktisyylinterin vetäessä laipan kiinnitys auki jouset puristuvat lisää. Aikaisemmin mainittiin, ettei jousen maksimijoustomatkaa  $S_3$  saa koskaan ylittää. Mallinnetusta auki-tilanteesta mittatyökalulla mitattuna jousille jää 48 mm pitkä tila. Lasketaan jousen puristuma  $f$ :

$$f = 76 \text{ mm} - 48 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

Taulukko antaa jousen maksimijoustomatkaksi  $S_3 = 22.8 \text{ mm}$ , jolloin jouset ylittävät matkan  $S_3$ . Ongelma korjataan lisäämällä kaksi pidätinruuvia puristavaan leukaan, joilla

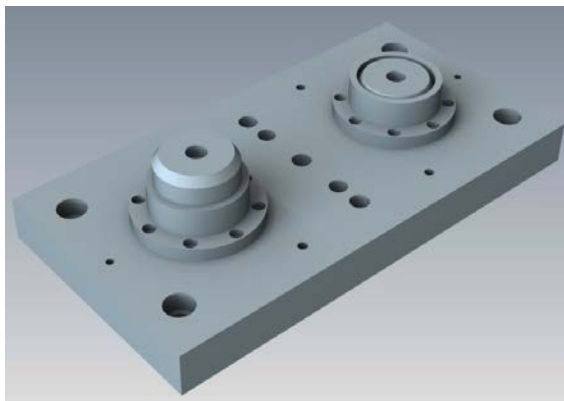
estetään paluuliikettä 7.6 mm. Tällöin jousen maksimipuristumaksi tulee 20.4 mm . Lasketaan kahden jousen tuottama voima puristusmatkalle 20.4 mm kaavalla (9):

$$F = 4039.2 \text{ N} \approx 4.00 \text{ kN}$$

Tämä on suurin voima, jonka kompaktisyylinterin täytyy kumota painelaipan ensimmäisen vaiheen kiinnityksessä.

### 7.3 Rungon ensimmäisen vaiheen kiinnitys

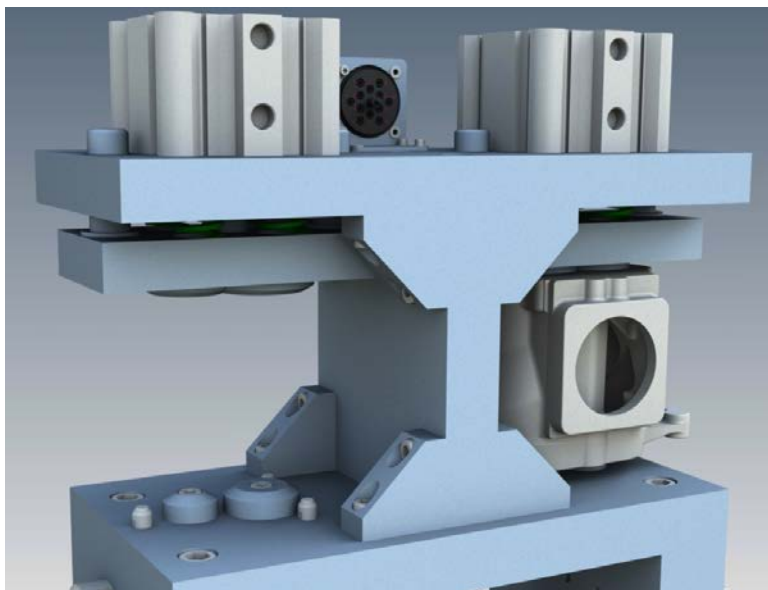
Rungon ensimmäisen vaiheen kiinnityksen suunnittelu oli työssä haastavinta. Ennen varsinaista toteutusta suunniteltiin kuvion 32 mukainen ylälevy, jossa yksi viistetty kartiosylinteri painaa jousen avulla rungon kiinni ruuviroottoripesän suulta. Holkki olisi materiaaliltaan pehmeämpää kuin mäntä, jolloin holkki toimisi itsessään liukulaakerina sylinterille. Ajatuksesta luovuttiin, koska tilaan ei löytynyt sopivaa joustaa ja puristus vain yhden roottoripesän suulta mahdollistaisi kappaleen irtomaan kiertävään liikkeeseen koneistusvoimien vaikutuksesta.



KUVIO 32. Rungon ensimmäisen vaiheen kiinnitys ennen muutoksia

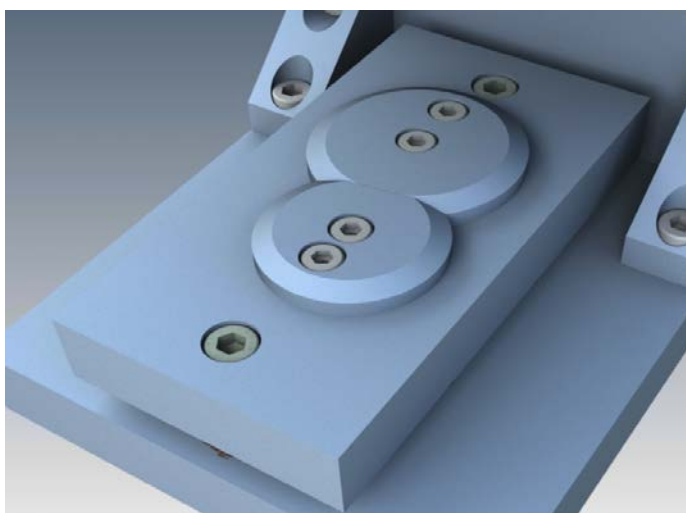
#### Rungon 1 vaihe toiminta

Kompaktisyylinterillä vedetään puristava levy ylös, jolloin kiinnitykseen tulee tilaa Y-akselin suunnassa, ja runko mahtuu paikalleen. Kuviossa 33 on rungon ensimmäisen koneistusvaiheen kiinnitys.



KUVIO 33. Rungon ensimmäisen vaiheen kiinnitys

Runko asetetaan kolmen paikoitusnastan päälle niin, että kartiosylinterien viisteosuus tulee hieman rungon laakeripesien sisään. Kartiosylinterien halkaisijat on mitoitettu suuremmaksi kuin laakeripesien halkaisijat, ja viisteet mitoitettu  $30^\circ$  asteen kulmaan. Seuraavaksi kompaktisylinterin veto vapautetaan, jolloin puristavan levyn ja kompaktisylinterin kiinnityslevyn väliset jouset kiinnittävät kappaleen mekaanisesti jousivoimalla. Kuviossa 34 on puristava levy.



KUVIO 34. Rungon ensimmäisen vaiheen puristava levy

Levyssä on kaksi ruuveilla kiinnitettyä viistettyä lieriötä, joiden halkaisijat on mitoitettu hieman suuremmiksi kuin roottoripesät, ja viisteet mitoitettu  $30^\circ$  asteen kulmaan. Kar-

tiomainen osuus puristuu roottoripesien reunaan samoin, kuin alapuolella olevat kartiosylinterit puristuvat jousien vaikutuksesta laakeripesien reunoille. Alapuolella olevat kartiosylinterit puristavat kappaletta kevyellä jousikuormalla lisäten näin tukipisteiden määrää ja ehkäisten värinää koneistettaessa kappaletta. Yhdessä ne ja paikoittavat kappaleen oikeaan asentoon, estävät sivuttaisliikkeen mahdollisuuden, ja kappale kiinnittyy paikoitusnastoja vasten.

### **Jousien valinta runko kiinnitettynä**

Rungon kiinnittämiseen valittiin neljä Lesjöforsin 5154 voimaluokan 1 työkalujousta. Tarvittavan kiinnitysvoiman saavuttaminen yhdellä tai kahdella jousella vaatisi kooltaan suuren jousen, joka ei mahtuisi kiinnittimeen rajallisen tilan vuoksi. Laskut on laskettu ilman pyöristyksiä liitteessä 2.

Kiinnittämiseen tarvittava voima jaetaan neljällä, jolloin saadaan voima, joka yhden jousen on vähintään tuotettava kappaleen ollessa kiinnitettynä:

$$2540 \text{ N} \div 4 = 635 \text{ N}$$

Rungon ensimmäisen vaiheen ollessa puristuksissa, mittatyökälulla mitattuna sylinteri on työntynyt 14.7 mm, ja jouselle jää tällöin tilaa pituussuunnassa 66.7 mm. Tässä pituudessa yhden jousen tulee saavuttaa minimissään 635 N:n jousivoima. Jousen tuottama voima rungon ollessa puristuksissa lasketaan kaavalla (9):

$$F \approx 830 \text{ N}$$

Saatu luku kerrotaan neljällä, jolloin saadaan neljän jousen yhteinen jousivoima:

$$F_{\text{puristus}} \approx 3.30 \text{ kN}$$

Lasketaan jousen esijännitys kaavalla (10):

$$F_E \approx 19 \%$$

Rungon kiinnityksessä rungon pohjan laakeripesiin tulee jousipuristeiset kartiosylinterit. Niiden tehtävänä on puristaa kappaletta kevyellä jousikuormalla koneistuksesta syntyvän värinän poistamiseksi ja kappaleen paikoittaminen laakeripesistä oikeaan asentoon. Jousiksi valittiin Lesjöforsin 5119 voimaluokan 1 jouset. Kartiosylinterien ollessa yläasennossa jouset ovat lepopituudessaan 25 mm ja puristuneena 22 mm. Kartiosylinterin jousen tuottama voima lasketaan kaavalla (9):

$$F_{kartio} \approx 167 \text{ N}$$

Rungon ensimmäisen vaiheen todellinen kiinnitysvoima lasketaan voimakomponenttien resultanttina, kaavalla:

$$\sum F_{kiinnitys} = F_{puristus} - F_{kartiot} \quad (11)$$

$$\sum F_{kiinnitys} \approx 3.00 \text{ kN}$$

Saatu todellista kiinnitysvoimaa verrataan kaavalla (8) laskettuun varmuusluvulla korotettuun päälastuamisvoimaan. Kiinnitysvoima on suurempi, joten voima riittää kappaleen kiinnittämiseen.

### **Rungon kiinnitys auki**

Kompaktisylinterin vetäessä rungon kiinnitys auki, jouset puristuvat lisää. Maksimijoustomatkaa  $S_3$  ei saa ylittää. Mallinnetusta auki- tilanteesta mittatyökalulla mitattuna jousille jää 57 mm pitkä tila. Tällöin jousen puristuma:  $f = 37 \text{ mm}$ .

Taulukko antaa jousen maksimijoustomatkaksi  $S_3 = 35.6 \text{ mm}$ , jolloin jouset ylittävät matkan  $S_3$ . Ongelma korjataan lisäämällä 2.5 mm paksu aluslevy sylinteri- ja puristavan levyn väliin, jolloin jousien maksimipuristumaksi tulee 34.5 mm. Lasketaan neljän jousen tuottama voima puristusmatkalle 34.5 mm kaavalla (9):

$$F \approx 5.10 \text{ kN}$$

Tämä on suurin voima rungon ja painelaipan kiinnityksissä. Saatua voimaa käytetään kompaktisyylinterin valinnassa.

#### 7.4 Kompaktisyylinterin valinta

Sylinteriksi valittiin CQ2-kompaktisyylinteri (kuvio 35) SMC Pneumatics Finland Oy:ltä. Lisäominaisuuksiksi sylinterille valittiin magneettimäntä tukevoittamaan sylinterin liikerataa, ja puhdistaja, jotta sylinterin sisään ei pääsisi epäpuhtauksia. Sylinteriltä tarvitaan vain sisään vetävä liike, sillä jouset puristavat sylinterin mäntää ulos jatkuvasti. Ulos-liikkeen paineilmalähtöön asennetaan liitin ilman letkua, vain estämään epäpuhtauksien pääsy sylinterin sisään.



KUVIO 35. CQ2- kompaktisyylinterit (SMC 2011, 207)

Sylinterin kuormitusaste ei saa olla suurempi kuin noin 70 % tavallisille sylinteriliik-  
keille. (SMC 2011, 465). Lasketaan sylinterin kuormitus, kun sylinteriin kohdistuva  
maksimivoima saatiin sivulla 41.

$$5110 \text{ N} \div 0.7 = 7300 \text{ N} \approx 7.30 \text{ kN}$$

Konstruktioon valitulle sylinterille CDQ2A100TF-20DC-XC4 on taulukosta 4 katsottu-  
na valittava 10 bar:in käyttöpaine, jolloin sylinterin sisään-liikkelle saadaan yli  
7.30 kN:n voima. Paineilmaverkossa yleinen käyttöpaine on 5 bar, joten riittävän voi-  
man saamiseksi tarvitaan paineenvahvistaja, jolla saadaan tuplattua paineilmaverkon  
paine.

## TAULUKKO 4. Sylinterin mitoitus (SMC 2011, 465)

**Teoreettisen sylinterivoiman laskenta**

Sylinterin nimellisk- raho.	Määrän- vähennys- raho.	Läike	Määrän- lasko, pisto- raho (mm)	Paine (MPa), sylinterin voima newtonina (N)											
				0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0			
6 mm	3 mm	Ulos	0,28	6	8	11	14	17	20	—	—	—	—	—	—
		Sisään	0,21	4	6	8	11	13	15	—	—	—	—	—	
10 mm	4 mm	Ulos	0,39	10	24	31	59	47	45	—	—	—	—	—	—
		Sisään	0,66	13	20	28	33	40	48	—	—	—	—	—	
12 mm	6 mm	Ulos	1,13	23	34	45	57	69	79	99	102	113	—	—	—
		Sisään	0,85	17	25	24	42	51	59	69	78	85	—	—	—
16 mm	8 mm	Ulos	2,01	40	60	80	101	121	141	161	181	201	—	—	—
		Sisään	1,73	35	52	69	86	104	121	138	155	173	—	—	—
20 mm	10 mm	Ulos	3,14	63	94	126	157	188	220	251	283	314	—	—	—
		Sisään	2,64	53	79	106	132	158	185	211	238	264	—	—	—
25 mm	12 mm	Ulos	4,91	96	147	196	245	295	344	393	442	491	—	—	—
		Sisään	4,12	82	124	165	206	247	289	330	371	412	—	—	—
32 mm	16 mm	Ulos	8,04	161	241	322	402	483	563	643	724	804	—	—	—
		Sisään	6,91	139	207	276	346	415	484	553	622	691	—	—	—
40 mm	20 mm	Ulos	12,57	261	377	503	628	754	880	1 005	1 131	1 257	—	—	—
		Sisään	10,56	211	317	422	528	633	739	844	950	1 056	—	—	—
50 mm	25 mm	Ulos	19,63	393	569	755	942	1 179	1 374	1 571	1 767	1 963	—	—	—
		Sisään	16,49	320	495	660	825	990	1 155	1 319	1 484	1 649	—	—	—
63 mm	32 mm	Ulos	31,17	623	905	1 247	1 599	1 870	2 182	2 494	2 806	3 117	—	—	—
		Sisään	26,03	561	841	1 121	1 402	1 682	1 962	2 242	2 523	2 803	—	—	—
80 mm	40 mm	Ulos	50,27	1 005	1 506	2 011	2 514	3 016	3 519	4 022	4 522	5 027	—	—	—
		Sisään	42,98	867	1 294	1 721	2 148	2 575	3 002	3 429	3 856	4 283	—	—	—
100 mm	50 mm	Ulos	78,83	1 571	2 356	3 141	3 927	4 712	5 497	6 282	7 066	7 851	—	—	—
		Sisään	71,47	1 429	2 144	2 859	3 574	4 289	5 003	5 718	6 432	7 147	—	—	—
125 mm	63 mm	Ulos	115	2 294	3 441	4 588	5 735	6 882	8 029	9 176	10 323	11 470	—	—	—
		Sisään	115	2 294	3 441	4 588	5 735	6 882	8 029	9 176	10 323	11 470	—	—	—
140 mm	68 mm	Ulos	154	3 080	4 620	6 160	7 700	9 240	10 800	12 300	13 900	15 400	—	—	—
		Sisään	144	2 880	4 320	5 760	7 200	8 640	10 100	11 500	13 000	14 400	—	—	—
160 mm	75 mm	Ulos	201	4 020	6 030	8 040	10 050	12 060	14 070	16 080	18 100	20 110	—	—	—
		Sisään	189	3 770	5 650	7 540	9 420	11 310	13 190	15 080	16 980	18 850	—	—	—
180 mm	85 mm	Ulos	254	5 080	7 620	10 160	12 700	15 200	17 800	20 300	22 800	25 400	—	—	—
		Sisään	239	4 790	7 170	9 590	12 000	14 300	16 700	19 100	21 500	23 900	—	—	—
200 mm	95 mm	Ulos	314	6 260	9 420	12 600	15 700	18 800	22 000	25 100	28 300	31 400	—	—	—
		Sisään	296	5 900	8 860	11 800	14 800	17 700	20 700	23 600	26 600	29 500	—	—	—
250 mm	120 mm	Ulos	491	9 800	14 700	19 600	24 500	29 400	34 300	39 200	44 100	49 000	—	—	—
		Sisään	463	9 200	13 800	18 500	23 200	27 900	32 400	37 000	41 700	46 300	—	—	—
300 mm	150 mm	Ulos	707	14 100	21 200	28 300	35 400	42 400	49 500	56 600	63 600	70 700	—	—	—
		Sisään	668	13 400	20 000	26 700	33 400	40 100	46 800	53 400	60 100	66 800	—	—	—

## 7.5 Liukulaakerin valinta

Kiinnittimeen tulevia liukulaakereita suunniteltaessa laakerin tulee lähtökohtaisesti olla itsestään voiteleva/mahdollisimman huoltovapaa, ja laakeri tulee löytyä standardiluettelosta, jotta laakerin vaurioituessa saadaan tilalle nopeasti uusi ”asennusta vaille valmis”-laakeri. Liukulaakerit ja niiden akselit tulevat kiinnittimessä painelaipan ja rungon ensimmäisen koneistusvaiheen ohjaaviksi ja säteittäistä liikettä poistaviksi komponenteiksi.

Laakerit altistuvat työstökeskuksen sisällä leikkuunesteelle ja harmaan valuraudan lastumisesta syntyville lastuille ja epäpuhtauksille. Ohutseinälaakereista teflonpintaiset eivät sovellu epäpuhtauksien takia, ja aiheista sorvattavat pronssilaakerit eivät löydy standardiosina, joten valitaan valssattu pronssilaakeri BRM 10, suora malli DIN 1494 –standardin mukainen liukulaakeri. Laakerin liukupinta on varustettu rasvataskuilla, joihin leikkuunesteessä oleva öljy jää voiteluaineeksi (kuvio 36).

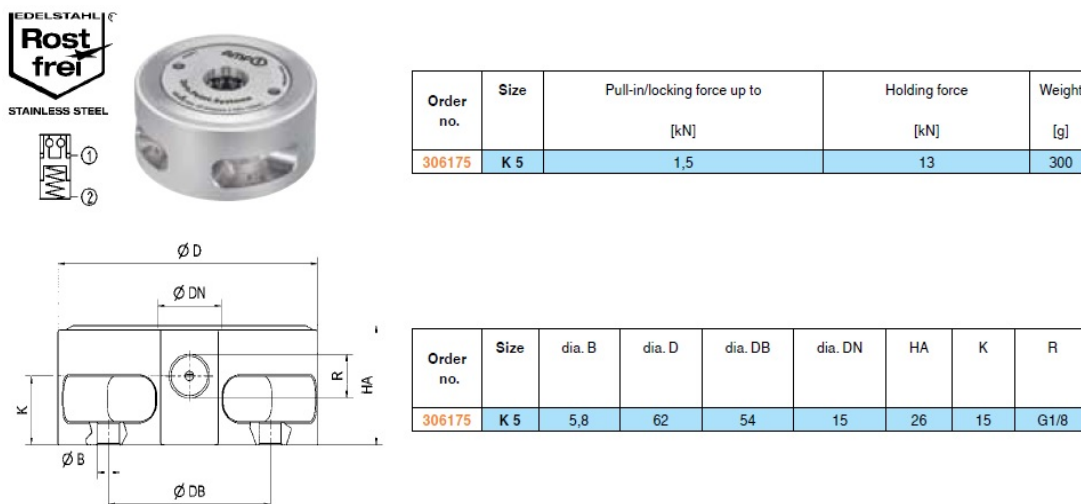


KUVIO 36. BRM 10 liukulaakerit (Kuvio: Erkka Multanen 2013)

Akselin mekaanisia ominaisuuksia ja pinnankarheutta voidaan halutessa parantaa kova-kromauksella, mutta se ei ole välttämätön toimenpide. Liukulaakeri asennetaan H7-toleranssin reikään, jolloin akselin tulee olla e7- toleranssissa ja pinnanlaatu  $< R_a 1.0$ .

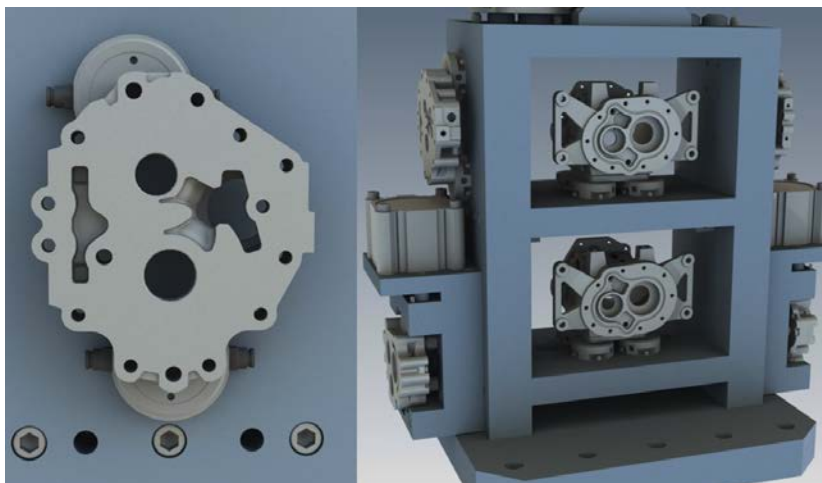
## 7.6 Nollapistesyylinterien valinta

Nollapistesyylinteriksi valittiin AMF Zero Point Systemin K5 -paineilmatoimiset nollapistesyylinterit (kuvio 37). Ne ovat markkinoiden pienimpiä kooltaan ja kiinnipitovoimiltaan. K5- sylinterit ovat varustettuja kahdella paineilma sisääntulolla, joista ensimmäinen on avaamiseen ja toinen kiinnittävien kuulien keskittämiseen. Lukitus tapahtuu mekaanisesti jousivoimalla. Sylinterit tarvitsevat 8-12 bar:n käyttöpaineen lukituksen avaamiseen. K5 -sylinterille asetetaan sama 10 bar:in käyttöpaine, kuin kompaktisyylinterillekin.



KUVIO 37. Kiinnittimeen valittu nollapistesyylinteri (AMF 2013)

Painelaipan ja rungon toisen koneistusvaiheen kiinnitys tapahtuu nollapistesyylinterillä (kuvio 38), laippa kahdella ja runko neljällä. Rajoittavin tekijä sylinterin valinnassa oli rungon imuaukon kiinnitysreiät, jotka ovat 74 mm:n päässä toisistaan, jolloin tila sylinterille on hyvin rajallinen. Yhden K5 -sylinterien vetovoima on 1.5 kN, joten laipan kaksi- ja rungon neljä sylinteriä riittävät kumoamaan lastuamisesta syntyvät voimat.



KUVIO 38. Painelaipan ja rungon toisen vaiheen kiinnitys

### 7.6.1 Nollapisteliittimet

Työkappaleet kiinnitetään suoraan nollapistesylinteriin kappaleeseen kiinnitettävien tappien avulla. Tappit jouduttiin suunnittelemaan itse, koska valmistajalla ei ollut tarjota sopivaa kierrekokoa. Valmistaja toimitti alkuperäisen tapin malliksi, josta mitattiin toiminnan kannalta tärkeät kulmat ja halkaisijat 3D -mittalaitteella. Tämän jälkeen tapista tehtiin 3D -malli ja mitoituskuva. Mitoituskuva (liite 3) hyväksyttiin nollapistesylinterin valmistajalla ja tappit teetettiin alihankkijalla. Kuviossa 39 on itse suunniteltu tappi.



KUVIO 39. 3D -mallinnettu tappi

### 7.6.2 Sylinterien sijoittelu

Nollapistesylinterit tilataan hiottuna sopivaan välykseen tappien sijaan, keskittäväksi, ohjaavaksi ja kiinnittäväksi sylinteriksi. Näin ollen kaikki tappit voivat olla samankokoi-

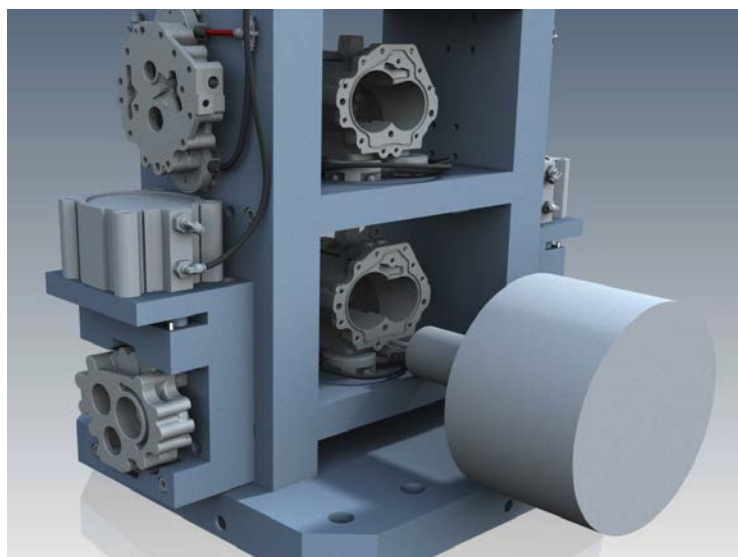
sia, jolloin kappaleenvaihtajan työ helpottuu, kun ei ole tarvetta miettiä tappien kiinnitysjärjestystä eikä virheellisen asennuksen mahdollisuutta synny. Tapit voidaan teettää yhdellä työkuvalla, ja alihankkija voi valmistaa ne nopeammin ja edullisemmin, kun tehdään kaikki yhtenä sarjana.

Rungon kiinnityksen hiotut sylinterit sijoitetaan kiinnittimeen sivulla 25 kuvion 18 mukaisesti klassisella sijoitustavalla. Yksi sylintereistä on nollapiste-, yksi ohjaava, ja kaksi ylikokoista sylinteriä. Painelaipan kiinnitys tulee kahdella sylinterillä, joista yksi on nollapiste- ja toinen ohjaava sylinteri.

### 7.7 Koneistuksen ulottuvuustarkastelu ja työkalun valinta

Kiinnitintä mallinnettaessa valitaan pääpiirteittäin työkalut, joilla kappaletta tullaan työstämään. Vaatimuksena oli koneistaa kappaleet jo olemassa olevilla työkaluilla, uusien kalliiden työkaluhankintojen sijaan.

Tarvittavan työkalun pituus saadaan selville, kun mallinnettu kara ja työkalunpidin vietään turvaetäisyyden päähän kiinnittimestä. Tämän jälkeen mitataan mittatyökalulla kappaleen etupinnasta tai porauksessa reiän pohjasta etäisyys työkalunpitimen etupintaan, ja saadaan tarvittavan työkalun pituus (kuvio 40).



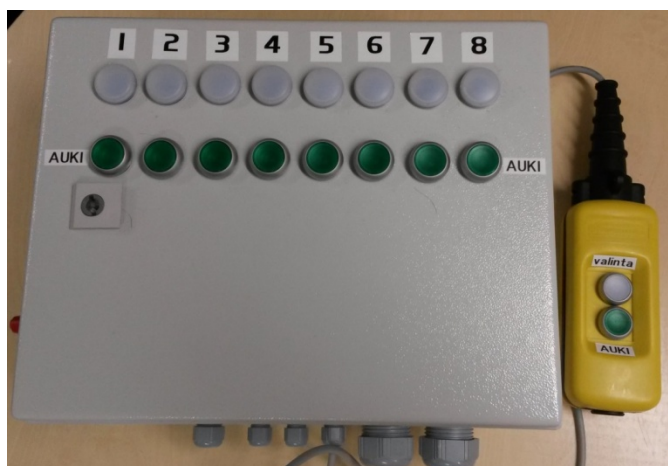
KUVIO 40. Työkalun pituuden valinta ja ulottuvuustarkastelu

Koneistuksen mahdollisuus ja kiinnittimen käytettävyys tarkistetaan mallintamalla käytettävä työkalu ja kara, ja simuloimalla niiden liikeradat ennen varsinaista CAM-ohjelman tekoa. Kiinnittimen mittakuvat on liitteessä 4.

## 8 JÄRJESTELMÄN TOIMINTAPERIAATE

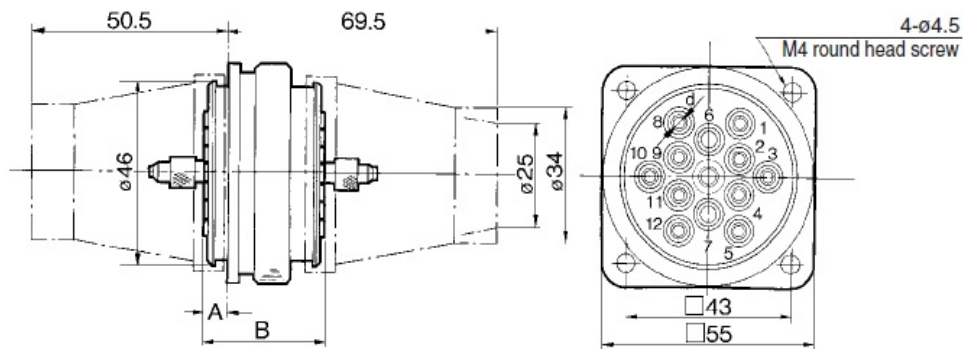
FMS:n vaihtoasema varustellaan venttiililaatikolla ja logiikkaohjausyksiköllä. Paineilmajärjestelmän kaavion toteutti SMC Pneumatics Finland Oy:n myyntiedustaja tulevien komponenttien ohjaustarpeiden mukaan. Jokaisen kompaktisynterinin liikettä ohjataan omana yksikkönään ja nollapistesynterereiden toimintaa kappaleen kiinnityksen mukaan, rungossa neljää ja laipassa kahta syntereriä kerrallaan. Järjestelmän paine tuplataan 10 bar:iin paineenvahvistajalla, ja tuplattu ilmanpaine säilötään kappaleenvaihtoasemalla sijaitsevaan paineakkuun. Ohjauskeskuksen suunnittelun toteutti Automation Services Oy suunnitellun logiikan mukaan. Logiikkaohjauksen komponentit ja kokoonpano tilattiin Tekno-Tikka Oy:ltä.

Ohjauskeskuksessa on kahdeksan merkkilamppua, joita aktivoidaan käsiohjauskotelolla (kuvio41). Runkojen ja laippojen kiinnityksiin stanssataan numerot, jotka vastaavat ohjauskotelon numeroita. Käsiohjauskotelossa on kaksi painiketta. Ylempi painike valitsee numeroidun lukituksen ja alempi painike avaa sekä sulkee kiinnityksen. Käsiohjauskoteloa käytetään yhdellä kädellä, jolloin kappaleenvaihtajan toinen käsi pitää kappaletta paikoitusnastoja vasten, ja toinen lukitsee kappaleen painikkeella. Ohjauskeskusta voidaan käyttää myös muihin vastaavalla periaatteella toimiviin hydraulisiin tai pneumaattisiin kiinnittimiin tulevaisuudessa. Ohjauskeskukseen liitetään myöhemmin ProfiNet-kortti tai tekniikan ehtiessä kehittyä jokin vastaava systeemi, jolla robotti voi ohjata kiinnittimen toimintaa.



KUVIO 41. Ohjauskeskus (Kuvio: Erkka Multanen 2014)

Kiinnitin kytketään vaihtoasemalla paineilmaverkkoon DM12-moniliittimen avulla (kuvio 41). Kaksiosaisen liittimen toinen pää asennetaan kiinteästi kiinnittimen päälle suunniteltuun telineeseen. Liittimeen tuodaan paineilmaletkut sylintereiltä omiin tuloihinsa. Toiseen liittimen osaan tuodaan paineilmaletkut venttiililaatikosta. Sylinterit kytketään kaavion (liite 5) mukaisesti. Liitin on nopea kytkeä paineilmaverkkoon, ja sen saa kytkettyä vain yhteen asentoon, joten ohjaukset eivät voi mennä keskenään sekaisin.



KUVIO 41. DM12 –moniliitin (SMC 2011, 409)

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työssä suunniteltiin ja mallinnettiin erilaisia variaatioita kappaleiden kiinnityksen toteuttamiseksi ja kerrottiin kunkin version heikkouksista ja vahvuuksista. Jokainen kiinnittimen osa suunniteltiin valmistuskelpoiseksi, alihankkijan konekanta huomioon ottaen. Mittapiirustuksia tehdessä otettiin huomioon, etteivät liian tarkat toleranssit ja pinnanlaatuvaatimukset tuo lisäarvoa osille, joten osien valmistuskustannukset pysyivät edullisina. Kiinnittimen kasaukseen tarvittavat komponentit tilattiin samalta valmistajalta, ja ne pyrittiin pitämään samankokoisina, jotta varaosien saatavuus olisi nopeaa ja helppoa. Kiinnitin mallinnettiin niin, että kappaleet voidaan koneistaa jo olemassa olevilla terillä kalliiden terähankintojen välttämiseksi.

Opinnäytetyöhön rajattiin myös kiinnittimen käyttöönotto, mutta alihankkijan lupaama kolmen viikon toimitusaika venyi yli kolminkertaiseksi, ja siten käyttöönotosta ei ehditty saamaan tietoa tähän työhön. Työtä voidaan silti pitää luotettavana. Kappaleiden ensimmäisen koneistusvaiheen lastuamisvoimat laskettiin käsin, ja niiden luotettavuus tarkistettiin eri laskureilla. Varmuutta siitä, riittääkö painelaipan kiinnityksessä käytettyjen sileiden nastojen pieni pinta-ala tukemaan ja tuottamaan tarpeeksi suurta kitkavoimaa, jotta kappale ei irtoa koneistettaessa, ei ole. Mahdollinen ongelma voidaan korjata teettämällä suuremmat nastat karhealla pinnalla ja avartamalla nykyisiä nastan reikiä muotoleuoissa.

Toisessa koneistusvaiheessa kiinnitys tapahtuu nollapistesylintereillä, jotka ovat jo vuosia olleet luotettavia ja käytettyjä kiinnityskomponentteja koneistusyriyksissä. Heikokimmaksi lenkiksi jäi kappaleenvaihtoasemalla kiinnittimeen kytkettävä ja ennen koneistusta irrotettava moniliitin. Liittimen irtikytkemisen unohtaminen ennen kiinnittimen lähetystä työstökeskukselle voi pahimmillaan aiheuttaa ohjauskeskuksen ja venttiilikotelon vaurioitumisen ja kiinnittimen putoamisen FMS:n hissien kyydistä. Riski on olemassa niin kauan kuin kappaleenvaihtoasema saadaan robottipanoiteiseksi, joten asiaa ei voi painottaa liikaa koneistajille käyttö- ja huoltokoulutuksessa.

Kiinnittimen materiaaliksi valittiin rakenneteräs S355. Valuraudalla on tunnetusti teräkseen verrattuna noin neljä kertaa parempi värinänvaimennuskyky. Päädyimme kuitenkin

teräksen valintaan sen jäykkyysominaisuuksien, koneistettavuuden ja vanhojen kokemusten perusteella.

Kiinnittimen kokoonpano ja ylösajo toteutetaan yhdessä yritysten huoltomiesten kanssa, sillä ainoastaan koulutetut henkilöt tuntevat paineilmatekniikkaan liittyvät vaaratekijät. Tämän jälkeen kaikki riskitekijät kartoitetaan, minimoidaan ja koneistajille koulutetaan kiinnittimen käyttö- ja huoltotoimenpiteet. Ylösajon jälkeen yrityksellä on kiinnitin, jonka kappaleenvaihtaminen on nopeaa ja helppoa, ja lisää tietotaitoa laitetoimisista kiinnittimistä sekä niiden suunnittelusta ja toimivuudesta teoriassa ja käytännössä. Ohjausyksiköllä varusteltu kappaleenvaihtoasema on valmiina, joten muiden volyymituotteiden kiinnittimiä voidaan alkaa suunnitella laitetoimisiksi ja miettiä robottipanostuksen toteutusta.

Työ olisi pitänyt rajata tarkemmin ja pois sulkea tiettyjä aihealueita työn teoriaosuuden paisuttua suureksi. Onnistuneen kiinnitinsuunnittelun kannalta on kuitenkin äärimmäisen tärkeää tuntea lastuamismenetelmät ja niiden keskinäiset erot, materiaalin käyttäytyminen lastuttaessa, ymmärtää lastuamisvoimat ja tuntea kiinnittimet sekä niiden komponentit, jotta voidaan koskaan saavuttaa toimiva kokonaisuus. Vuosien työkokemus FMS- linjastossa on antanut loistavan pohjan kiinnitinsuunnitteluun. Kokemuksella opitut yleisimmät kiinnittimien epäkohdat pystyttiin välttämään jo suunnitteluvaiheessa. Lastuavaan työstöön käytettävät kiinnittimet on aina suunniteltava henkilön, joka tuntee kokemuksen kautta kiinnittimet ja lastuavat menetelmät.

## LÄHTEET

Aaltonen, K., Andersson, P., & Kauppinen, V. Koneistustekniikat 1. painos. Porvoo: WSOY

AEL-julkaisu. 2003. Konepajan tuotantotekniikka. Ammattienedistämislaitos. 62 s.

Alatalo, T. 2013. Jyrsinnän kehitys. Kone Kuriiri 10/2013, 8

Airila, M., Hallikainen, K., Kääpä, J. & Laurila, T. 1983. Kompressorikirja. Helsinki: Korpivaara Oy Hydor Ab

AMF, tuoteluettelo 2013

Gardner Denverin yritysesittely 2012

Hietakangas, J. 2006. Laivakompressoreiden suunnittelun ja materiaalinhallinnan kehitystyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

<http://koulut.tampere.fi/materiaalit/valimo2/materiaalit3.htm>

Leppälä, J. 2011. Roottoriprototyyppien valmistuksen menetelmäsuunnittelu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lesjöfors Gas & Stock Springs, Jousiluettelo #13.1, 2011

MET-julkaisu. 1989. Työkappaleen kiinnittäminen FM-järjestelmässä, Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 54 s.

Niigata, valmistajan esite 2008

Norelem, tuoteluettelo 2013

Reunanen, T. Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus, Panoste-projektin julkaisu 1/4, 2010

Sandvik Coromant Tekninen Käsikirja, 2010

SMC Pneumatics of Finland Oy, tuoteluettelo F2

[www.fastems.com/fi/](http://www.fastems.com/fi/)

[www.pascaleng.co.jp/english/product\\_aw/01/006.html](http://www.pascaleng.co.jp/english/product_aw/01/006.html)

[www.stark-inc.com](http://www.stark-inc.com)

## LIITTEET

### Liite 1. Päälastuamisvoiman laskeminen

1(2)

#### Päälastuamisvoiman laskeminen:

Parametri	Merkitys	Mittainen yksikkö
$B$	Jyrsittävä leveys	mm
$D$	Työkalun halkaisija	mm
$\alpha$	Kontaktikulma	aste
$L_z$	Työkalun ja työstökappaleen kosketuskulman pituus	mm
$a_p$	Lastuamisvyvyys	mm
$\kappa$	Terän asetuskulma	aste
$b$	$b = a_p$	mm
$e$	Kontaktissa olevien terien lukumäärä	kpl
$\bar{h}_{\text{m}}$	Keskimääräinen lastuamispaksuus	mm
$f_z$	Syöttöterä	mm
$k_x$	Keskimääräinen ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{\text{mm}^2}$
$k_{\text{CL1}}$	Ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{\text{mm}^2}$
$m$	Konjauksetroin todelliselle $\bar{h}_{\text{m}}$ -arvolle	-

#### Terän kontaktikulma lasketaan kaavalla:

$$\alpha = 180^\circ - \arccos \left[ \frac{\left( B - \frac{D}{2} \right)}{\frac{D}{2}} \right]$$

$$\alpha = 180^\circ - \arccos \left[ \frac{\left( 45 \text{ mm} - \frac{63 \text{ mm}}{2} \right)}{\frac{63 \text{ mm}}{2}} \right] = 115.37693352515^\circ$$

#### Jyrsimen ja kappaleen kosketuskulmaa vastaava kaaren pituus:

$$L_z = \frac{\alpha}{360^\circ} \times \pi \times D$$

$$L_z = \frac{115.378^\circ}{360^\circ} \times \pi \times 63 \text{ mm} = 63,431782182361 \text{ mm}$$

#### Keskimääräinen kontaktissa olevien terien lukumäärä:

$$e = z \times \frac{\alpha}{360^\circ}$$

Liite 1.

2(2)

$$e = 5 \times \frac{115.38^\circ}{360^\circ} = 1.6024574100715$$

**Keskimääräinen lastuamispaksuus:**

$$h_m = f_z \times \sin \kappa \times \frac{B}{L_z}$$

$$h_m = 0.25 \times \sin 90^\circ \times \frac{45 \text{ mm}}{63.43 \text{ mm}} = 0.17735588711125 \text{ mm}$$

**Keskimääräinen ominaislastuamisvoima:**

$$k_C = h_m^{-m} \times k_{C1.1}$$

$$k_C = 0.1774^{-0.28} \times 1100 \frac{N}{\text{mm}^2} = 1785.3193606659 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

**Keskimääräinen päälastuamisvoima hammasta kohti:**

$$F_{ym} = b \times h_m \times k_C$$

$$F_{ym} = 2.5 \text{ mm} \times 0.1774 \text{ mm} \times 1785.32 = 791.59224746948 \text{ N}$$

**Kokonaislastuamisvoima:**

$$F_y = F_{ym} \times e$$

$$F_y = 791.6 \text{ N} \times 1.6 = 1268.49 \text{ N} \approx 1.3 \text{ kN}$$

## Liite 2. Jousivoimien laskeminen

1(3)

**Jousivoimien laskeminen.****Jousivoimat laippa kiinnitettynä:**

Jousi: Lesjöfors 5331 voimaluokka 3. Värikoodi punainen

 $L_o = 76 \text{ mm}$ ,  $S_2 = 22.8 \text{ mm}$ ,  $k = 99$ , sylinterin stroke = 20 mm

Painelaipan kiinnitys tapahtuu kahdella työkalujousella. Laipan ollessa puristuksissa, sylinteri on työntynyt 13.75 mm. Mittatyökalulla mitattuna jousille jää tilaa pituussuunnassa 60.75 mm.

Jousen tuottama voima painelaipan ollessa puristuksissa:

$$F = k \cdot f$$

$$(f = 76 \text{ mm} - 60.75 \text{ mm} = 15.25 \text{ mm})$$

$$F = 15.25 \text{ mm} \cdot 99 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 1509.75 \text{ N}$$

Jousen esijännitys (sylinteri 20 mm puristunut) on prosentteina:

$$F_E = \frac{f}{L_o} \cdot 100$$

$$f = 60.7 \text{ mm} + (20 \text{ mm} - 13.75 \text{ mm}) = 66.95 \text{ mm}$$

$$F_E = \frac{(76 \text{ mm} - 66.95 \text{ mm})}{76 \text{ mm}} \times 100 \approx 12 \%$$

Todellinen jousien tuottama kiinnitysvoima, kerrotaan saatu puristusvoima kahdella:

$$\sum F_{\text{kiinnitys}} = 1509.75 \text{ N} \cdot 2 = 3019.50 \text{ N} \approx 3.00 \text{ kN}$$

Jousivoimat laipan kiinnitys auki:

sylinteri vetää, jousille jää 48 mm pitkä tila. Jousen puristuma  $f$ :

$$f = 76 \text{ mm} - 48 \text{ mm} = 28 \text{ mm}$$

Jousen  $S_2 = 22.8 \text{ mm}$ . Jouset ylittävät matkan  $S_2$ ... Jousen maksimi puristumaksi estoinen 20.4 mm.

Kahden jousen tuottama voima puristusmatkalle = 20.4 mm:

$$F = k \cdot f$$

## Liite 2.

2(3)

$$20.4 \text{ mm} \cdot 99 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 2 = 4039.2 \text{ N} \approx 4.00 \text{ kN}$$

**Jousien valinta runko kiinnitettynä**

Jousi: Lesjöförs 5154 voimaluokka 1. Värikoodi vihreä

$L_0 = 89 \text{ mm}$ ,  $S_3 = 35.6 \text{ mm}$ ,  $k = 37.2$ , sylinterin stroke = 20 mm

Kiinnittämiseen tarvittava voima jaetaan neljällä. Yhden jousen tuotettava voima:

$$2540 \text{ N} \div 4 = 635 \text{ N}$$

Runko puristuksissa. sylinteri 14.7 mm ulkona. Jouselle tilaa 66.7 mm. Jousen tulee saavuttaa 635 N. puristusvoima:

$$F = (L_0 - 66.7 \text{ mm}) \cdot k$$

$$F = (89 \text{ mm} - 66.7 \text{ mm}) \cdot 37.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 829.56 \text{ N}$$

Neljän jousen voima:

$$F_{\text{puristus}} = 829.56 \text{ N} \cdot 4 = 3318.24 \text{ N} \approx 3.30 \text{ kN}$$

Esiännitys prosentteina:

$$F_E = \frac{f}{L_0} \times 100$$

$$(f = 66.7 \text{ mm} + (20 \text{ mm} - 14.7 \text{ mm}) = 72 \text{ mm})$$

$$F_E = \frac{(89 \text{ mm} - 72 \text{ mm})}{89 \text{ mm}} \times 100 = 19.1 \%$$

**Kartiosylinterit:**

Jousi: Lesjöförs 5119 voimaluokka 1. Värikoodi vihreä

$L_0 = 25 \text{ mm}$ ,  $k = 55.8$

Jousen  $f = 3 \text{ mm}$ . Kartion jousen tuottama voimat:

$$F_{\text{kartio}} = 3 \text{ mm} \cdot 55.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 167.40 \text{ N}$$

Rungon ensimmäisen vaiheen todellinen kiinnitysvoima lasketaan voimakomponenttien resultanttina. Lasketaan todellinen jousien tuottama kiinnitysvoima kaavalla:

Liite 2.

Liite 2.

3(3)

$$\sum F_{\text{kiinnitys}} = F_{\text{puristus}} - F_{\text{kartiot}}$$

$$\sum F_{\text{kiinnitys}} = 3318.24 \text{ N} - (2 \cdot 167.40 \text{ N}) = 2983.44 \text{ N} \approx 3.00 \text{ kN}$$

**Rungon kiinnitys auki**

Sylinteri vetää kiinnityksen auki.  $S_2 = 35.6 \text{ mm}$ . Jousilla tilaa  $57 \text{ mm}$ . puristuma  $f$ :

$$f = 89 \text{ mm} - 52 \text{ mm} = 37 \text{ mm}$$

Jouset ylittävät matkan  $S_2$ . Asennetaan  $2.5 \text{ mm}$  aluslevy väliin  $\rightarrow$  jousen puristumaksi  $34.5 \text{ mm}$ . Neljän jousen tuottama voima puristusmatkalle  $34.5 \text{ mm}$ :

$$34.5 \text{ mm} \times 37.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times 4 = 5133.6 \text{ N} \approx 5.10 \text{ kN}$$