



Open your mind. LUT.
Lappeenranta **University of Technology**

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TEKNILLINEN TIEDEKUNTA
KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa

Tarkastajat: Professori Juha Varis (LTY)
Laboratorioinsinööri Jari Selesvuo (LTY)

Lari Pursiainen
Jyväskylä
2010

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma

Lari Pursiainen

Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen työkalun valmistuksessa ja muovausprosessissa

Diplomityö

2010

93 sivua, 70 kuvaa, 3 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Professori **Juha Varis** (LTY)
Laboratorioinsinööri **Jari Selesvuo** (LTY)

Hakusanat: nollapistekiinnitin, koneistus, muovaus, kappaleen kiinnitys, kiinnitysjärjestelmä, design for fixturing, DFF

Tämä diplomityö tehtiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston konetekniikan osastolle. Työn tavoitteena oli kartoittaa nollapistekiinnittimien tyyppisiä ja toimintaperiaatteita sekä luoda muistilista liittyen nollapistekiinnittimen käyttöönottoon kiinnitysratkaisuna.

Nollapistekiinnitin on konepajatekniikan kappaleenkiinnitin, joka tarjoaa tarkan paikoituksen, nopean asetusajan ja yksinkertaisen kappaleenvaihdon. Työssä tutkitaan nollapistekiinnittimien ominaisuuksia ja käyttökohteita, esitellään erityyppisiä nollapistekiinnittämiä ja vertaillaan niitä perinteisiin kiinnitysmenetelmiin.

Työn kokeellisen osuuden tavoite oli tutkia nollapistekiinnittimen ominaisuuksia ja toimintaa ja pohtia mahdollisuuksia muovaustyökalun valmistuksessa ja kiinnittämisessä muovauspuristimeen. Kokeet tehtiin LTY:n konepajatekniikan laboratoriossa kesä- ja heinäkuussa 2010.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology
Department of Mechanical Engineering

Lari Pursiainen

**Utilizing The Zero-Point Clamping System in The Manufacturing Process
and The Operation of The Stamping Press Tool**

Master's thesis

2010

93 pages, 70 figures, 3 tables and 1 appendix

Supervisors: Professor **Juha Varis** (LUT)
Laboratory engineer **Jari Selesvuo** (LUT)

Keywords: zero-point, zero point, clamping, workholding, fixture, fixturing, mounting, machining, stamping, design for fixturing, DFF

This master's thesis was made for Lappeenranta University of Technology department of mechanical engineering. The objectives were firstly to overview the zero point clamping system, different clamps and their functions and secondly to compile a checklist for initialization and usage of the zero point clamping system.

A zero point clamp is speciality clamp used in workshops. The zero point clamping unit offers high repeating accuracy for the clamped part and fast and simple clamping and un-clamping. The properties, applications and different types of zero point clamps were reviewed in the thesis. The profitability of the zero point clamping systems compared to the conventional clamping solutions is analyzed

The goal of the experimental part of the thesis was to research the properties of the zero point clamp and the usage of the zero point clamping system as a clamping system in stamping tool manufacturing. The tests were performed in the laboratory of machine workshop technology of LUT in June and July 2010.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|-----|
| TIIVISTELMÄ | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| SISÄLLYSLUETTELO | iii |
| MERKINNÄT JA LYHENTEET..... | vi |
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 Työn tavoitteet | 1 |
| 1.2 Työn rajaus..... | 1 |
| 2. KIINNITTÄMISEN SUUNNITTELU | 2 |
| 2.1 Valmistettavuuden suunnittelu - Design for manufacturability..... | 2 |
| 2.2 Kiinnittämisen suunnittelu - Design for Fixturing..... | 3 |
| 2.3 Kiinnittimen vaatimuksia..... | 4 |
| 2.3.1 Asetusaika ja valmistusmäärän vaikutus | 4 |
| 2.3.2 Kiinnitinelementtien sijoittelu | 4 |
| 2.3.3 Dynaaminen jäykkyys ja työstövoimat..... | 5 |
| 2.4 Modulaariset kiinnittimet..... | 7 |
| 2.5 Kiinnittimet FMS:ssä | 9 |
| 2.6 Kiinnitinesimerkkejä..... | 10 |
| 3. NOLLAPISTEKIINNITIN | 12 |
| 3.1 Yleistä nollapistekiinnittimistä | 12 |
| 3.2 Nollapistekiinnittimen osat | 14 |
| 3.2.1 Sylinteri..... | 14 |
| 3.2.2 Vetotappi..... | 15 |
| 3.2.3 Lukitus ja irrotusjärjestelmä | 19 |
| 3.2.4 Painevahvistin | 20 |
| 3.2.5 Puhdistusjärjestelmä | 22 |
| 3.3 Lukitus ja kiinnipito | 23 |
| 3.3.1 Kuulalukitus..... | 25 |
| 3.3.2 Kynsilukitus | 26 |
| 3.3.3 Holkkilukitus | 27 |
| 3.3.4 Lukitus- ja kiinnipitovoima | 29 |
| 3.4 Kiinnitystarkkuus..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.1 Paikoitustarkkuus x, y ja z -suunnassa..... | 31 |
| 3.4.2 Toistotarkkuus | 32 |
| 3.4.3 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät..... | 32 |
| 3.4.4 Työkappaleen jännitykset ja muodonmuutokset..... | 32 |
| 3.5 Kiinnitintyytit..... | 33 |
| 3.5.1 Kiinnityssylinterit | 33 |
| 3.5.2 Peruslevyt ja paletit..... | 43 |
| 3.6 Anturointitekniikat..... | 48 |
| 3.6.1 Hydraulinen monitorointi | 48 |
| 3.6.2 Pneumaattinen monitorointi..... | 49 |
| 3.6.3 Jatkokytkeä | 49 |
| 3.7 Nollapistekiinnittämisen vertailu perinteisiin kiinnitysjärjestelmiin | 50 |
| 3.7.1 Nollapistekiinnittämisen edut | 50 |
| 3.7.2 Nollapistekiinnittämisen huonot puolet | 51 |
| 3.8 Sovelluskohteet | 52 |
| 3.8.1 Koneistus | 52 |
| 3.8.2 Hitsaus | 53 |
| 3.8.3 Sorvaus..... | 54 |
| 3.8.4 Suurten kappaleiden kiinnitys..... | 56 |
| 3.8.5 Mittaus | 57 |
| 3.8.6 Robotisoitu käyttö ja käyttö FM-järjestelmissä..... | 57 |
| 3.8.7 Modulaarinen kiinnitin nollapistekiinnittimen paletilla..... | 60 |
| 3.9 Esimerkkejä nollapistekiinnittimen sovelluskohteista | 60 |
| 4. KAPPALEEN KIINNITTÄMISEN TESTAUS | |
| NOLLAPISTEKIINNITTIMELLÄ..... | 63 |
| 4.1 Laitteisto | 63 |
| 4.1.1 FM-järjestelmä..... | 63 |
| 4.1.2 Nollapistekiinnitin | 65 |
| 4.2 Työkalun valmistusvaiheet | 67 |
| 4.2.1 Kiinnittämisen valmistelu | 67 |
| 4.2.2 Paikoituspintojen koneistus | 67 |
| 4.2.3 Automatisoitu panostus..... | 70 |
| 4.2.4 Paikoitustarkkuuden mittaus..... | 71 |
| 4.2.5 Kiinnitys kahdella sylinterillä..... | 76 |

| | |
|--|----|
| 4.2.6 Koneistuksen testaus..... | 78 |
| 5. KOETULOSTEN ANALYSOINTI..... | 79 |
| 5.1 Vaatimukset kiinnitettävälle kappaleelle | 79 |
| 5.2 Paikoitus- ja toistotarkkuus koneistuksessa | 81 |
| 5.3 Kappaleenkäsittely | 81 |
| 5.4 Nollapistekiinnityksen suunnittelu automatisoidulle käytölle | 83 |
| 6. JOHTOPÄÄTÖKSET..... | 87 |
| 6.1 Nollapistekiinnittimen soveltuvuus käyttökohteeseen..... | 87 |
| 6.2 Nollapistekiinnittämisen kannattavuus | 88 |
| 6.3 Nollapistekiinnittimen soveltuvuus muovaustyökalun kiinnitykseen | 88 |
| 7. YHTEENVETO | 89 |
| LÄHDELUETTELO | 91 |

LIITTEET

MERKINNÄT JA LYHENTEET

| | | |
|----------|---------------------------------------|----------------------|
| Ø | Halkaisija | |
| α | Kulma | [°] |
| A | Pinta-ala | [m ²] |
| AMF | Andreas Maier Fellbach GmbH | |
| bar | Baari, paineen (p) yksikkö | [10 ⁵ Pa] |
| CNC | Computer Numerical Control | |
| DFE | Design for Fixtures | |
| DFM | Design for Manufacturability | |
| DFX | Design for X | |
| engl. | Englanniksi | |
| F | Voima | [N] |
| FMS | Flexible Manufacturing System | |
| m | Massa | [kg] |
| min | Minuutti, ajan (t) yksikkö | [60 s] |
| l | Pituus | [m] |
| LTY | Lappeenrannan teknillinen yliopisto | |
| LUT | Lappeenranta university of technology | |
| p | Paine | [Pa] |
| R | Säde | [mm] |
| s. | Sivu | |
| S | Varmuuskerroin | |
| τ | Leikkausjännitys | [N/mm ²] |

1. JOHDANTO

Tässä työssä kerätään yhteen tietoa nollapistekiinnittimistä. Työ muodostuu teoriaosuudesta ja kokeellisesta osuudesta. Teoriaosuudessa käsitellään suunnittelunäkökohtia, jotka on otettava huomioon suunniteltaessa kappaleen kiinnitystä. Teoriaosuudessa esitellään nollapistekiinnittimien tekniikkaa ja erityyppisiä kiinnittimiä. Nollapistekiinnittimien tarkastelussa kiinnitetään huomiota ensimmäisen osan suunnittelunäkökohtiin. Työn kokeellisessa osuudessa testataan käytännössä nollapistekiinnittimen toimintaa sovelluskohteessa ja pohditaan sen soveltuvuutta kiinnitysjärjestelmäksi kyseiseen kohteeseen.

1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on laatia yksityiskohtaiset toimintatapaohjeet nollapistekiinnittimen hyödyntämisestä työkappaleen kiinnittämisessä ja tuoda uusia näkökulmia ja ideoita nollapistekiinnittimen käyttöönottoon liittyen. Käytännön osuuden tavoitteena on tutkia nollapistekiinnittimen ominaisuuksia ja soveltuvuutta koneistuksessa käytettäväksi kiinnittimeksi. Tämän lisäksi pohditaan nollapistekiinnittimen soveltuvuutta puristintyökalun kiinnittimeksi ja käytettävyyttä automatisoidulla kappaleenkäsittelyllä FM-järjestelmässä.

1.2 Työn rajaus

Työssä ei käsitellä koneistusta tai muovausprosesseja, vaan työ rajataan koskemaan kiinnitintekniikkaa. Kokeissa kiinnitettävän kappaleen työstömenetelmä on jyrshintä.

2. KIINNITTÄMISEN SUUNNITTELU

Teoria alkaa valmistettavuuden suunnittelusta (engl. Design for Manufacturability, DFM) jonka osa-alueista keskitytään kiinnittämisen suunnitteluun (engl. Design for Fixturing, DFF) Kappaleessa esitellään muutamia DFF:in suuntaviivoja. DFM ja DFF ovat osa laajempaa kokonaisuutta, eli valmistettavuuden suunnittelua (Design for X, Design for Everything, DFX), jonka osa-alueita ovat lisäksi mm. huolto ja logistiikka.

2.1 Valmistettavuuden suunnittelu - Design for manufacturability

Valmistettavuuden suunnittelu on prosessi, jolla pyritään

- Optimoimaan koko tuotteen valmistusprosessi, eli valmistus, kokoonpano, testaus, hankinta, toimitus, huolto ja korjaus
- Saavuttamaan paras mahdollinen kustannustehokkuus, laatu, luotettavuus, turvallisuus, toimitusaika ja asiakastyytyväisyys. (Anderson, 2004, s. 1)

DFM on koko tuotteen valmistusprosessin optimoimiseen kehitetty järjestelmä ja malli. DFM tarjoaa suuntaviivat Ennen DFM:n kehittämistä suunnittelu- ja valmistusosastot toimivat usein toisista erillään tietämättä toistensa toimista. Tämä johti usein tilanteisiin, joissa suunnitteluosasto suunnitteli tuotteita, joita oli mahdoton valmistaa tai joiden valmistuskustannukset olivat korkeat. Myöskään valmistusosasto ei osallistunut tuotteen suunnitteluun ja kommunikointi osastojen välillä oli usein vähäistä. (Anderson, 2004, s. 2)

DFM:n kantava idea on parantaa valmistettavuutta pienillä suunnittelumuutoksilla ja sitä kautta helpottaa kaikkia osa-alueita valmistuksen jälkeen. Seuraavassa on listattu muutamia yleisiä suunnittelun suuntaviivoja:

- Suunnittelun yksinkertaistaminen ja osien vähentäminen.
- Kustannustehokkaampien valmistusmenetelmien käyttö kun mahdollista. Esimerkiksi reikien valmistaminen lävistämällä poraamisen sijaan.
- Täsmälliset valmistusohjeet.

- Kappaleiden mitoitus olemassa olevista pinnoista, ei kuvitteellisista avaruuden pisteistä. Tämä helpottaa valmistamista käytännössä ja vähentää mitoitusvirheitä.
- Mahdollisimman monta mitoitusta saman paikoituspinnan suhteen.
- Kappaleen jäykkyys-paino suhteen nostaminen.
- Perustyökalujen käyttäminen aina kun mahdollista. Vältettävä kalliita erikoistyökaluja.
- Valmistusvaiheiden suunnittelu siten, että kappaleen kiinnityksen vaihtoja ja uudelleenpaikoituksia tulee mahdollisimman vähän. (Bralla, 1999, s. 1.20)

2.2 Kiinnittämisen suunnittelu - Design for Fixturing

Hyvin suunniteltu kiinnitin on oleellinen osa tuotteen valmistusprosessia. Jos kiinnitin on valittu kohteeseen oikein, työstökoneiden tuottamattomia sivuaikoja voidaan vähentää merkittävästi. Työstökoneita hankittaessa on siihen hankittava myös kappaleenkiinnittimet, jotta työ voidaan aloittaa.

Kiinnittimen toivottu ominaisuus on joustavuus, muunneltavuus ja soveltuvuus mahdollisimman usealle kappaleelle. Kuitenkin usein tilanne on se, että yhtä kiinnitintä pystytään käyttämään vain yhden tyyppisten kappaleiden kiinnittämiseen ja lähtökohtaisesti myös suunnitellaan vain yhdelle kappaleelle. (Aaltonen et. al, 1997, s. 244)

DFM:n periaatteita noudattaen saavutetaan paremmat lähtökohdat tuotannon automatisointiin. Tärkein suunnittelunäkökohta kiinnityksen helpottamiseksi on suunnitella valmistettavaan kappaleeseen ja kiinnittimeen tarkoituksenmukaiset kiinnitys- ja paikoituspinnat. Selkeiden paikoituspintojen avulla kiinnittäminen on mahdollista automatisoida. Myös kappaleen muiden osien mittatarkkuuksien suunnittelu ja valmistus helpottuu, kun kappaleelle on määritelty selkeä referenssipinta- tai piste. (Nee et.al, 1995, s. 21)

2.3 Kiinnittimen vaatimuksia

Hyviä kiinnittimen ominaisuuksia ovat mm. Nopea asetus aika, esteetön työskentely, mahdollisimman pienet vauriot kappaleelle, jäykkyys ja työstövoimien kesto. DFM:n periaatteiden mukaan suunnittelussa kappaleessa kiinnityspinta on muodoltaan yksinkertainen. Suorat yhdensuuntaiset ja lieriömäiset kiinnityspinnat tarjoavat yleensä luotettavimman pinnan kiinnitykseen. (Anderson, 2004, s. 261)

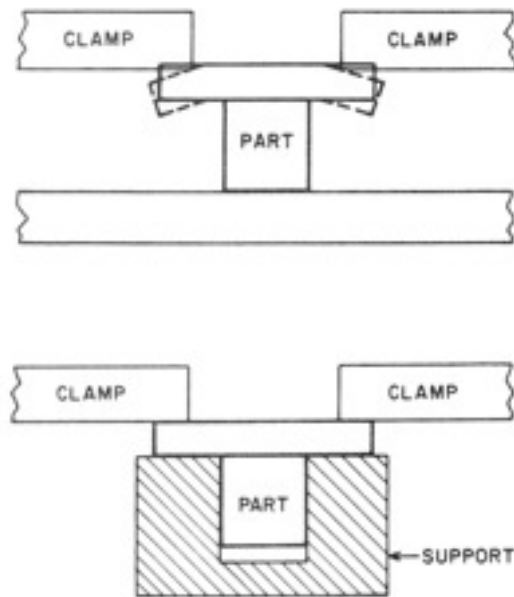
2.3.1 Asetusaika ja valmistusmäärän vaikutus

Yhtenäisessä FM-järjestelmässä, jossa on useita erilaisia paletteja kierrossa, asetus aika ei ole merkittävin tekijä kiinnittimen suunnittelussa. Merkittävämpää on se, kuinka monta kappaletta yhteen palettiin saadaan kiinnitettyä. Kun työstökoneelle jonottaa useita erityyppisiä kappaleita, voidaan tyhjät paletit panostaa odotusaikana. (Matikainen, 2010)

Usean kappaleen paleteilla saadaan paletin työstöaikaa pidennettyä ja aikaa jää panostukseen ja paletin siirtämiseen. Jos kappaleen työstöaika on pidempi kuin panostus ja siirtoaika, työstökone toimii parhaalla mahdollisella hyötysuhteella. Usean kappaleen kiinnittäminen yhteen palettiin mahdollistaa suuremmat valmistusmäärät, mutta vastaavasti huonontaa järjestelmän joustavuutta. (Nee, et. al, 1995, s. 6)

2.3.2 Kiinnitinelementtien sijoittelu

Kiinnittimen leuat tulisi sijoittaa mahdollisimman vahvaan kohtaan kappaleessa, jotta vältytään muodonmuutoksilta ja varmistetaan tukeva kiinnitys. Jos kappale joudutaan kiinnittämään heikommasta kohdasta, on käytettävä tukia mahdollisuuksien mukaan (Kuva 1). Tuet estävät kappaleen muodonmuutokset ja mittaheitot työstön aikana tai kiinnityksen irrotuksen jälkeen. Lisäksi tukeva kiinnitys vähentää värinöitä ja pienentää kappaleen irtoamisriskiä työstön aikana. (Hoffman, 2004, s. 42)



Kuva 1 Kiinnitettävän kappaleen tukeminen (Hoffman, 2004, s. 42)

Kiinnittimen suunnittelussa tulee myös huomioida mahdollisimman vähäinen häiriö työstölle tai operaattorille. Kappale kannattaa esimerkiksi kiinnittää keskeltä reiän läpi jos kappaletta työstetään pelkästään ulkoreunalta. (Hoffman, 2004, s. 41)

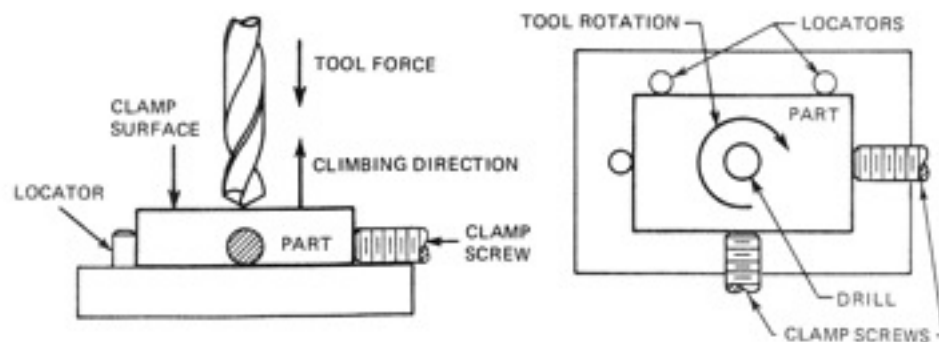
Kappaleen tukeva kiinnittäminen ja samaan aikaan työstön mahdollistaminen viideltä sivulta ovat usein ristiriidassa, kun käytetään perinteisiä kiinnitysjärjestelmiä. Viideltä sivulta työstämisen mahdollistavia kiinnittimiä ovat esimerkiksi magneettipöytä ja nollapistekiinnitin. Tällaiset kiinnittimet asettavat kuitenkin kiinnitettävälle kappaleelle tiettyjä vaatimuksia. Käytettäessä perinteisiä kiinnitysmenetelmiä joudutaan usein turvautumaan asetuksen vaihtoon viideltä sivulta koneistettaessa.

2.3.3 Dynaaminen jäykkyys ja työstövoimat

Kiinnitysvoima on voima, joka kohdistuu kappaleeseen ja puristaa sen paikoituspintaa vasten. Kiinnitysvoiman on oltava riittävä pitämään kappale paikoillaan työstön ajan. Jos kiinnitysvoima on riittämätön, kappaleen oma paino

tai työstövoimat voivat saada kappaleen irtoamaan kiinnityksestä. Irtoaminen voi aiheuttaa valmistuksessa mittaheittoja tai täydellisen epäonnistumisen tai pahimmassa tapauksessa vaarantaa koneen parissa työskentelevät ihmiset. (Hoffman, 2004, s. 42)

Kuvan 2 tapauksessa kiinnitys on toteutettu siten, että työkalun kautta kappaleeseen kohdistuva työstövoima painaa kappaletta kiinnityspintaa vasten estäen kappaleen liikkumisen pois päin kiinnityspinnasta. Kaksi ruuvipuristinta painavat kappaletta eri suunnista kolmea paikoitustappia vasten ja estävät kappaleen liikkeen sivusuunnassa ja pyörimisliikkeen.

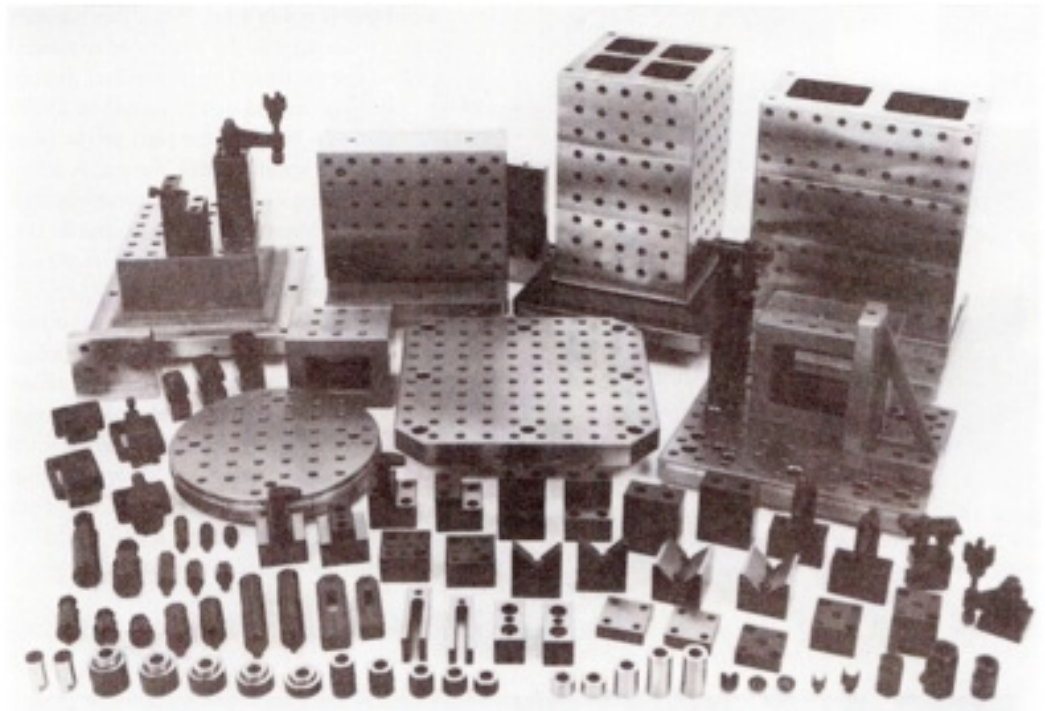


Kuva 2 Työstövoimien kompensointi paikoitustappien avulla (Hoffman, 2004, s. 42)

Kiinnitetystä kappaleesta ja kiinnittimestä voidaan tunnistaa kolme erityyppistä kiinnityksen kannalta merkittävää pintaa: paikoituspinta, kiinnityspinta ja tukipinta. Paikoituspinta on kappaleen pinta, joka toimii kiinnittimen ja kappaleen nollapisteenä ja referenssinä mitoitukselle. Paikoituspinnalla on yleensä kiinteitä tai säädettäviä paikoituselementtejä. Kiinnityspinnan välityksellä muodostetaan kiinnipitovoima kappaleeseen. Tukipinta on kiinnittimen kiinteä pinta ja kappaleen vastaava pinta, jonka tehtävä on estää kappaleen liike kiinnitettynä. Paikoituspinta voi toimia myös tukipintana, jos se on esimerkiksi koneistettu tarkasti tai käytetään riittävän kestäviä paikoituselementtejä. (Nee et. al, 1995, s. 12)

2.4 Modulaariset kiinnittimet

Työkappaleiden kiinnittimet olivat pitkään joko yleismallisia peruskiinnittimiä tai johonkin sovelluskohteeseen varta vasten valmistettuja erikoiskiinnittimiä. Konepajateollisuudessa käytettyjä perinteisiä kiinnitysmenetelmiä ovat mm. puristimet ja mekaaniset kiinnitysraudat. Modulaariset kiinnitinjärjestelmät ovat näiden kahden kiinnitintyyppin välimuoto. Modulaariset kiinnittimet ovat rakennussarja erilaisia paletteja ja kiinnitinelementtejä, joista kootaan käyttötarkoitukseen sopiva kiinnitin (Kuva 3). Rakennussarjat sisältävät standardinmukaisia kiinnitinlaitteita, joiden avulla voidaan rakentaa suuren joukon erilaisia erikoiskiinnittimiä. Modulaariset kiinnittimet soveltuvat myös yksinkertaisten kappaleiden kiinnittämiseen, johon yleensä käytetään esimerkiksi tavallisia koneruuvipuristimia. (Hoffman, 2004, s. 239)

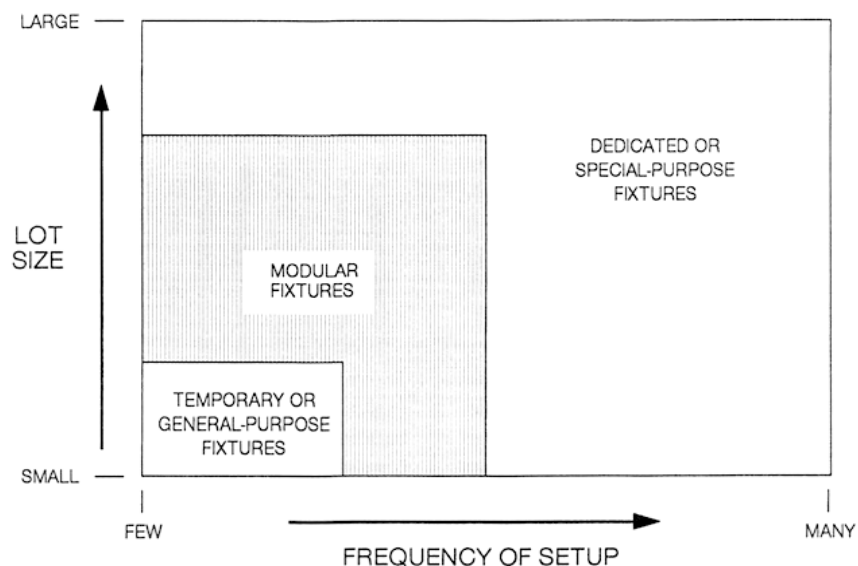


Kuva 3 Modulaarisen kiinnitinjärjestelmän rakennusosia, rasterilevyjä ja kiinnitystorneja. (Hoffman, 2004, s. 253)

Kuvassa 4 on havainnollistettu modulaaristen kiinnittimien soveltuvuutta eri valmistusmäärille ja kappaleen asetusten lukumäärille verrattuna perinteisiin ja erikoiskiinnittimiin. Kuvaajasta näkyy, että modulaariset kiinnittimet soveltuvat huomattavasti suuremmille valmistusmäärille kuin perinteiset kiinnittimet. Jos

kappaleen asetusta joudutaan muuttamaan prosessin aikana, modulaariset kiinnittimet eivät välttämättä tuo suurta parannusta perinteisiin kiinnittimiin verrattuna.

Sovelluskohteeseen suunnitellut erikoiskiinnittimet ovat omaa luokkaansa suurilla valmistusmäärillä sekä useilla kappaleen asetusten vaihdoilla, sillä niiden asetus aika on lyhyt verrattuna muihin kiinnittimiin. Erikoiskiinnittimet eivät kuitenkaan ole joustava ratkaisu, sillä niiden soveltuvuusalue on hyvin rajallinen. Modulaariset kiinnittimet ovat joustavampi vaihtoehto kappaleiden kiinnitykseen. Niillä voidaan joissain tapauksissa myös korvata erikoiskiinnittämiä. (Hoffman, 2004, s. 250)



Kuva 4 Kiinnitinjärjestelmien soveltuvuusalueet. Pystyakselilla sarjasuuruus, vaaka-akselilla asetusten lukumäärä. (Hoffman, 2004, s. 251)

Modulaariset kiinnittimet ovat joustavia, mikä tarkoittaa sitä, että ne tarjoavat mahdollisuuden kiinnittää useanlaisia erityyppisiä kappaleita. Perinteisistä kiinnittimistä esimerkiksi ruuvipuristin ei ole joustava kiinnitin, sillä se sallii luotettavan kiinnityksen ainoastaan kappaleille, joissa on kaksi yhdensuuntaista suoraa kiinnityspintaa kappaleen vastakkaisilla puolilla. Modulaarisen kiinnittimen avulla voidaan kiinnittää yhdellä rakennussarjalla kappaleita, joilla on erilaisia paikoituspintoja. (Nee et. al, 1995, s. 9)

Modulaarisen kiinnittimen vaatimukset ovat samat kuin edellisessä kappaleessa luetellut yleiset kiinnittimen vaatimukset. Modulaarisella kiinnittimellä on kuitenkin lisäksi vaatimus rakennetun kiinnikkeen toistettavuudesta. Toistettavuus tarkoittaa tässä tapauksessa kappaleen paikoituksen toistotarkkuutta samalle kappaleelle, kun kiinnike puretaan ja rakennetaan uudestaan. Purkamisen ja kokoamisen välillä kiinnikettä saatetaan käyttää myös muunlaisten kappaleiden kiinnittämiseen. Modulaarisella kiinnittimellä on mahdollista saavuttaa korkea toistotarkkuus jos kiinnitin kootaan rasterilevyille. (Nee et.al. 1995, s.87)

Modulaarisen kiinnittimen rakennus- ja alustana käytetään yleisimmin joko T-urapöytä tai rasterilevyä. T-urapöytään on koneistettu vierekkäin ja kohtisuoraan useita poikkileikkaukseltaan T-kirjaimen muotoisia uria, joihin voidaan kiinnittää kappaleita ruuvien avulla pujottamalla ensin ruuvien kanta uran päästä. Rasterilevyyn tai reikälevyyn on porattu reikiä määrättyllä välillä koko levyn alueelle. Vaikka molempien perusidea on sama - kiinnittää kappaleita levyyn ruuvien avulla - on taulukossa 1 esitetty muutamia eroja. (Nee et. al, 1995, s. 90)

Taulukko 1 T-urapöydän ja rasterilevyn vertailu modulaarisen kiinnittimen rakennus- ja alustana. (Nee et. al, 1995, s. 90)

| | T-urapöytä | Rasterilevy |
|--|-----------------------------|---|
| Valmistuskustannukset | Korkea | Matala |
| Joustavuus | Parempi | Huonompi |
| Kokoamisen vaikeus | Vaikea | Helppo |
| Kiinnityselementtien keskinäinen paikoitus alustalla | Joustava Portaaton säätö | Rajoittunut Porrastus = reikien välinen etäisyys |

2.5 Kiinnittimet FMS:ssä

Kiinnittimet ovat tärkeä osa FM-järjestelmiä. Tuotannossa pyritään usein miehittämättömään ajoon, jolloin kiinnittimen tarkkuus ja kiinnityksen toistettavuus ovat välttämättömiä valmistuksen onnistumisen kannalta.

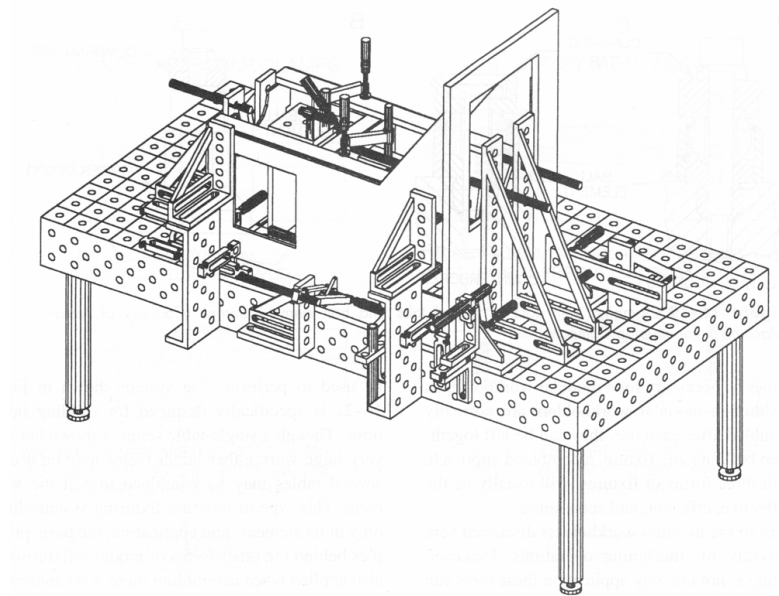
FM-järjestelmät ovat jaettavissa kahteen tyyppiin: solupohjaiseen ja korkeavarasto FM-järjestelmään. Kummallakin tyypillä on omat vaatimuksensa kiinnittimille. Yhtenäisessä FMS:ssä valmistettavat kappaleet ovat yleensä kiinnitettyinä paletteihin. Työstettävät kappaleet kulkevat koko valmistusprosessin ajan kiinnitettyinä samaan palettiin. Paletit panostetaan yleensä erillisellä panostusasemalla, josta paletit kuljetetaan automatisoidusti työstökoneelle. Korkeavarasto FMS:ssä kappaleen kiinnitysaika on vähemmän merkittävä tekijä kuin solupohjaisessa järjestelmässä, sillä kappaleen kiinnitykseen ei välttämättä tarvitse puuttua kesken prosessin yhtä useaan kertaan. (Nee, et. Al, 1995, s. 4)

Solupohjaisessa FM-järjestelmässä on useita itsenäisiä valmistussoluja, joissa jokaisessa on oma automatisoitu kappaleenkäsittelyjärjestelmä ja yksi tai useampi CNC-työstökone. Kappaleiden panostus kiinnittimiin tapahtuu automatisoidusti solun sisällä. Solujen välillä voi myös olla automaattinen kuljetusjärjestelmä. Solupohjaiselle FMS:lle on tyypillistä korkea joustavuus mutta myös suuri kiinnittimien ja palettien määrä. Jos työstöaika on lyhyempi tai suunnilleen yhtä pitkä kuin kappaleen asetus aika, paletteja on oltava kierrossa paljon, jotta koneen odotusaika olisi pieni. Jos työstöaika on paljon pidempi kuin kappaleen asetus aika, palettien ja kiinnittimien määrää pystytään vähentämään. (Nee, et. al, 1995, s. 3)

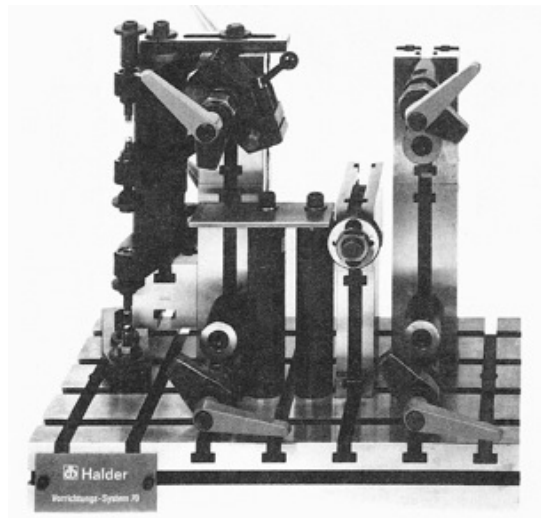
2.6 Kiinnitinesimerkkejä

Kuvassa 5 on modulaarinen hitsauskiinnitin rasterilevypöydällä. Etenkin hitsauksessa käytetyt kiinnittimet ja jigit voivat olla monimutkaisia, sillä erillisiä kappaleita liitetään toisiinsa. Kappaleiden keskinäinen paikoitus on toteutettava tarkasti jos kappaleita ei ole silloitettu ennen kiinnittämistä.

Kuvassa 6 on esitetty yksinkertaisempi modulaarinen kiinnitin T-urapöydällä. Rakennelmasta voidaan tunnistaa yksittäisiä kiinnityselementtejä, kuten kiinnityskynsiä ja T-uralla varustettuja palikoita, joita yhdistelemällä voidaan rakentaa modulaarisia kiinnittimiä.



Kuva 5 Esimerkki modulaarisesta hitsauskiinnittimestä (Hoffman, 2004, s. 252)



Kuva 6 T-urapöydälle rakennettu modulaarinen kiinnitin (Hoffman, 2004, s. 253)

3. NOLLAPISTEKIINNITIN

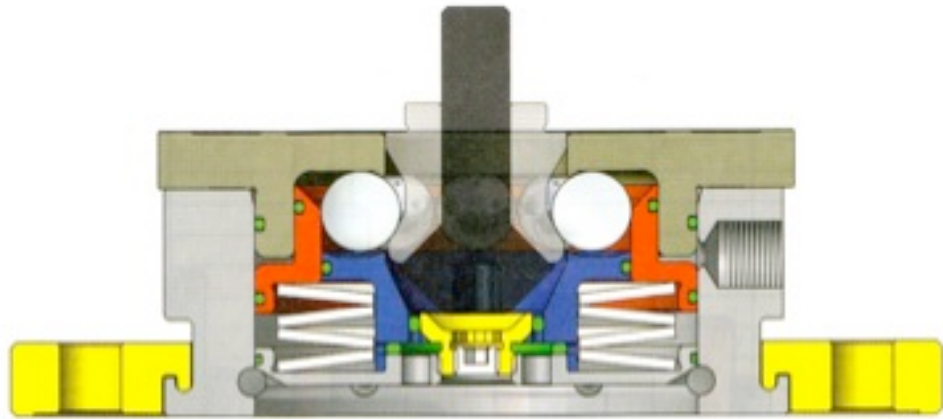
Tässä teoriaosuudessa käsitellään yleisesti nollapistekiinnittämiä ja niiden ominaisuuksia sekä tarkastellaan erilaisia nollapistekiinnittintyyppisiä, kiinnittimien perusosia, oheislaitteita ja kiinnittimien sovelluskohteita. Nollapistekiinnittämiä koskeva teoria pohjautuu pääosin valmistajien julkaisemiin tietoihin ja tuoteluetteloihin. Työn tekemisen aikaan erityisesti nollapistekiinnitinjärjestelmiin syventyvää kirjallisuutta oli julkisesti tarjolla vähän.

3.1 Yleistä nollapistekiinnittimistä

Nollapistekiinnitin on kappaleenkiinnitysjärjestelmä, joka paikoittaa kappaleen kaikkien koordinaattien suhteen tarkasti. Kiinnityksen toistotarkkuuden ilmoitetaan olevan parhaimmillaan 0,005 mm kiinnityskertojen välillä. Nollapistekiinnittimen etuihin kuuluu myös lyhyt asetus aika, jonka ansiosta työstökoneen ja koko valmistusprosessin hyötysuhdetta voidaan parantaa.

Kuvassa 7 näkyvät poikkileikkauskuvassa nollapistekiinnittimen perusosat. Sylinterin muotoinen yksikkö on nollapistekiinnittimen kiinnityssylinteri, joka on yleisimmin kiinnitetty työstökoneeseen tai kiinnitysalustaan. Kiinnitettävään kappaleeseen asennetaan vetotappi, jonka avulla kappale kiinnittyy sylinteriin. Nollapistekiinnittimet esiintyvät usein kahden tai useamman kiinnittimen ryhmässä, mutta myös yhden kiinnittimen käyttö kappaleen kiinnittämiseen on mahdollista jos käytetään indeksoivaa sylinteriä.

Yksi nollapistekiinnittimen merkittävä ominaisuus on se, että kiinnitettävästä kappaleesta jää viisi sivua täysin vapaaksi työstämistä varten. Näillä sivuilla ei ole mitään kiinnityselementtejä rajoittamassa työstöä.



Kuva 7 Pinta-asennettavan nollapistesylinterin poikkileikkaus (AMF, 2006, s. 5)

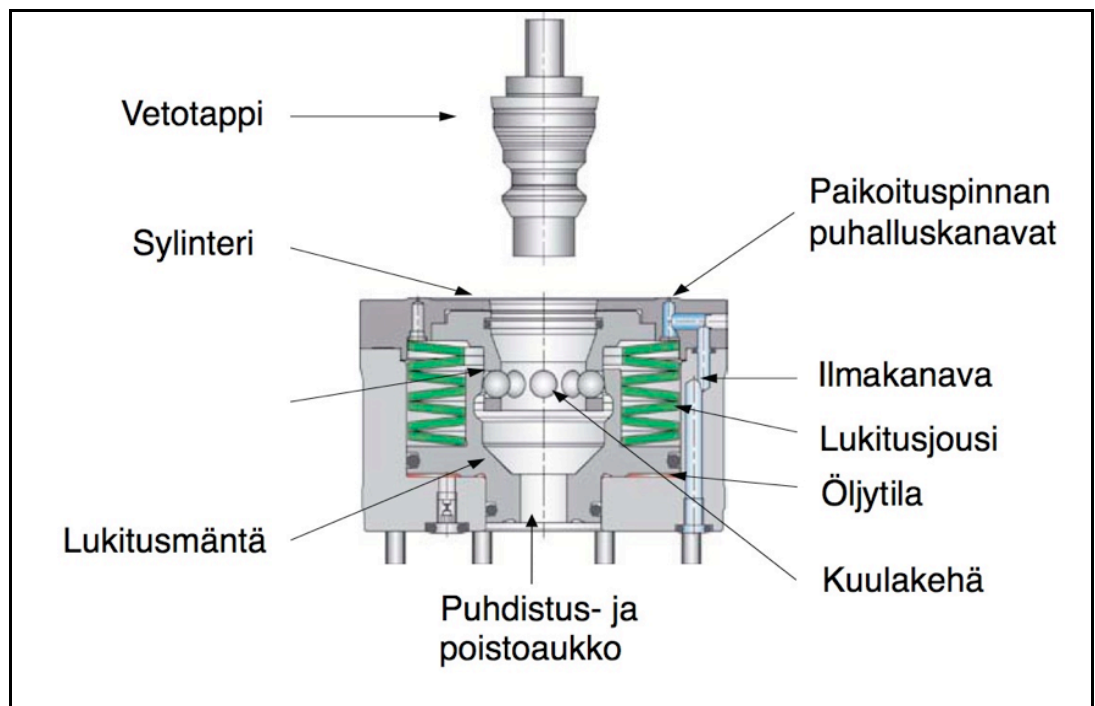
Kuvassa 8 on esitetty neljän nollapistesylinterin ja vetotapin kiinnitysjärjestelmä. Käytettäessä useampaa sylinteriä, kiinnitys on tukeva, kappale pysyy paremmin paikoillaan suuremman kiinnitysvoiman ansiosta kuin käytettäessä yksittäistä sylinteriä. Sylintereiden keskinäisen etäisyyden ollessa noin 200 - 400 mm, kiinnittimen kesto vääntäviä ja pyörittäviä voimia vastaan on huomattavasti yksittäistä sylinteriä suurempi.



Kuva 8 Kaksipuolinen neljän sylinterin kulmahylly, johon ollaan kiinnittämässä neljän vetotapin palettia (Vischer & Bolli, 2008, s. 20)

3.2 Nollapistekiinnittimen osat

Kappaleessa on esitetty nollapistekiinnittimien perusosia. Keskeisimpiä osia ovat lukitussylinteri, vetotappi, lukituksen irrotukseen tarvittavat järjestelmät ja puhdistusjärjestelmä. Kuvassa 9 on esitetty nollapistekiinnitinyksikön pääosat. Osien toiminta on pääpiirteittäin sama valmistajasta riippumatta, mutta osien suunnittelu ja ulkonäkö voi vaihdella suuresti. Kuvassa näkyvät osat on seuraavaksi esitelty omissa kappaleissaan.



Kuva 9 Nollapistekiinnittimen osat (System 3R, 2007, s. 8)

3.2.1 Sylinteri

Sylinteri on nollapistekiinnittimen tärkein osa. Sen tehtävänä on toimia systeemin nollapisteenä, tarjota kiinnitettävälle kappaleelle tarkka paikoituspinta ja lukita vetotappi ja kiinnitettävä kappale tukevasti paikoilleen. Sylinterit valmistetaan suurella tarkkuudella usein ruostumattomasta teräksestä.

Sylinterin lukitusjärjestelmä voidaan toteuttaa usealla tavalla, joiden pääperiaate on kuitenkin sama. Erilaisia toteutustapoja ovat mm. kuulalukitus, holkkilukitus ja

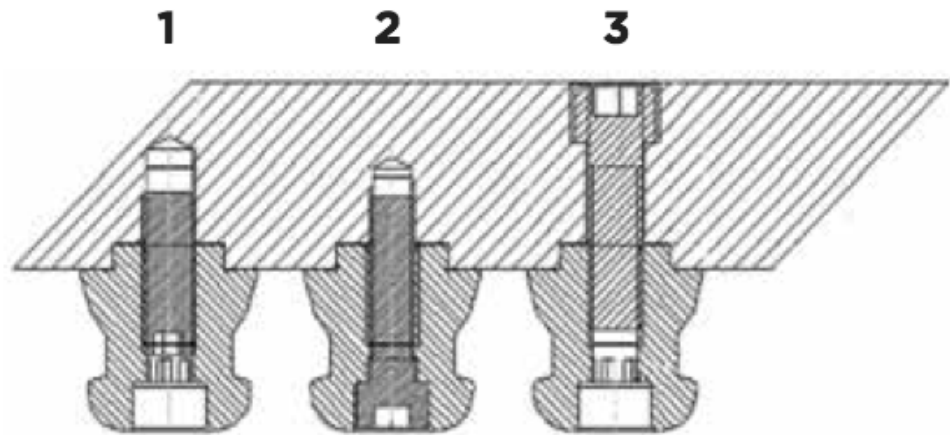
kynsilukitus. Kaikille menetelmille yhteistä on se, että lukitus tapahtuu jousivoimalla eikä sen ylläpitoon tarvita ulkoista voimanlähdettä tai painetta. Lukituksen irrotus sen sijaan tapahtuu hydraulisen tai pneumaattisen paineen avulla. Eri lukitusjärjestelmät on esitelty tarkemmin kappaleessa 3.3.

Sylinterien ulkomuoto vaihtelee hieman käyttötarkoituksen ja asennuspaikan mukaan. Tärkeimmät sylinterityypit ovat kasettimainen sylinteri, pinta-asennettava sylinteri ja upotettava sylinteri. Erityyppisiä sylintereitä on esitelty kappaleessa 3.5.

3.2.2 Vetotappi

Vetotappi (engl. Spigot, Nipple, Plug, Drawbar) kiinnitetään kiinnitinalustaan eli palettiin tai suoraan työstettävään kappaleeseen. Sen avulla kappale saadaan kiinnitettyä sylinteriin ja siinä on ura tai olake, joka vastaa sylinterin lukitsevaa elementtiä. Lukitsemisen aikana sylinterin lukitusjärjestelmä vetää vetotappia sylinterin sisään tietyllä voimalla. Tällöin vetotappin ohjaava pinta tulee sylinterin keskireiän paikoituspintaa vasten ja kiinnitettävän kappaleen kiinnityspinta tiiviisti sylinterin otsapintaa vasten.

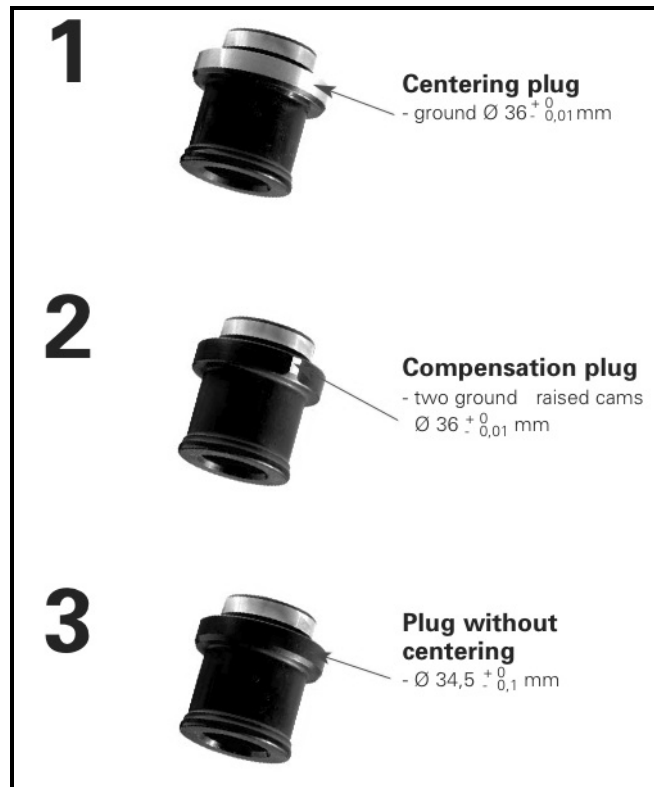
Vetotappi kiinnitetään kappaleeseen ruuvilla. Kuvassa 10 on esitetty kolme tapaa kiinnittää vetotappi. Kappaleen muodot vaikuttavat kiinnitystavan valintaan. Joissakin tapauksissa vetotappi on kiinnitettävä varta vasten suunnitellulla erikoisruuvilla.



Kuva 10 Kolme tapaa vetotapin kiinnitykseen: 1. Vaarnaruuvi, 2. Ruuvi vetotapin läpi ja 3. Ruuvi kappaleen läpi (Unilock, 2006, s. 16)

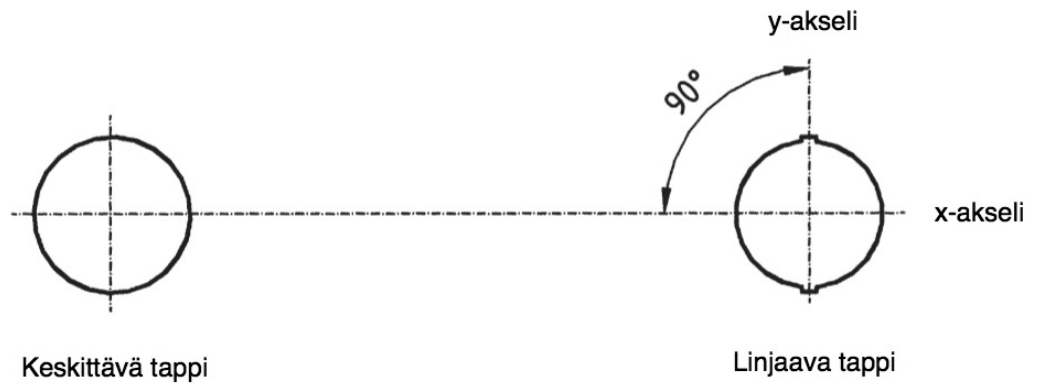
Kuvassa 10 näkyy myös upotus kappaleessa vetotapin kappaletta vasten tulevalle olakkeelle. Tämä upotus on koneistettava tarkasti valmistajan toleranssien mukaan, sillä sen avulla vetotappi paikoittuu kappaleeseen. Olake määrittelee vetotapin paikoitustarkkuuden kappaleessa. Ruuvin tehtävä on vain pitää tappi paikallaan ja vastata lukitus- ja kiinnipitovoimiin.

Vetotappeja on kolmea tyyppiä: keskittävä tappi, linjaava tappi ja ohjaava tappi (Kuva 11). Keskittävä tappi määrittelee kiinnityksen nollapisteen ja sen ohjaava pinta on koneistettu tarkkaan sovitteeseen sylinterin keskireiän kanssa. Nollapistekiinnityksessä käytetään aina keskittävää tappia. Jos kappaleessa tai paletissa on vain yksi vetotappi, sen on oltava keskittävä. Kiinnityksessä ei voida käyttää useampaa keskittävää tappia, sillä muuten kiinnitys olisi määritelty useammasta pisteestä liian tarkasti eikä epätarkkuuksille tai lämpölaajenemisille jää varaa.



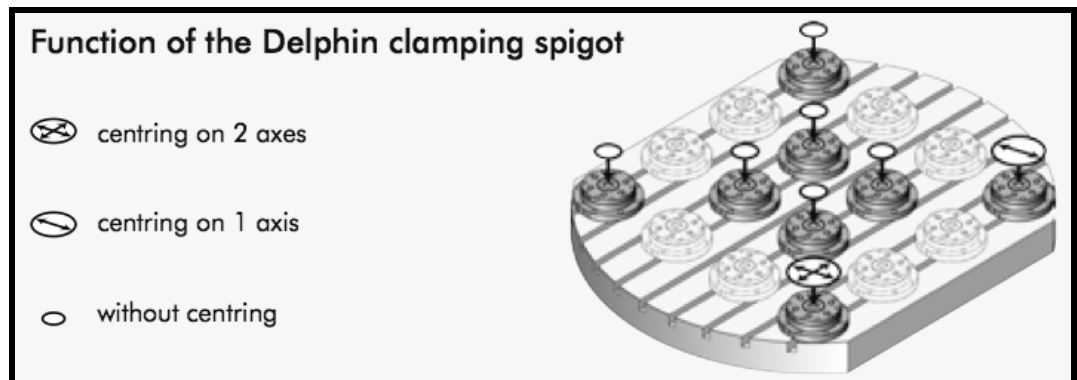
Kuva 11 1 Keskitävä, 2 linjaava ja 3 ohjaava vetotappi. Kuvassa näkyvät keskitävän ja linjaavan tappin koneistetut ohjauspinnat. (Vischer & Bolli, 2008, s. 35)

Linjaava tappi määrittelee kiinnityksen y-akselin kun x-akseli kulkee keskitävän ja viereisen linjaavan tappin keskipisteiden kautta (Kuva 12). Linjaavan tappin ohjauspinnalta on koneistettu kaksi ohutta pintaa vastakkaisille puolille ja loput ohjauspinnasta on alimitassa. paikoituspintojen keskilinja asetetaan y-akselin suuntaiseksi, eli kohtisuoraan x-akselia vasten. Tämä järjestely sallii lämpölaajenemisen x-akselin suunnassa.



Kuva 12 Linjaavan tapin paikoituspintojen asemointi keskittävään tappiin nähden (Vischer & Bolli, 2008, s. 35)

Jos kappaleessa tai paletissa käytetään useampaa kuin kahta vetotappia, loput tapit ovat ohjaavia tappeja (Kuva 13). Ohjaavien tappien paikoituspinta on kokonaan alimitassa noin 0,5 - 1,5 mm, joten niillä ei ole vaikutusta kappaleen paikoitukseen. Ohjaavien vetotappien tehtävä on ainoastaan kappaleen kiinnittäminen.



Kuva 13 Keskittävän, linjaavan ja ohjaavien vetotappien käyttö, kun vetotappeja on yli kaksi kappaletta. (System 3R, 2007, s. 38)

3.2.3 Lukitus ja irrotusjärjestelmä

Sylinterin lukituksen irrotukseen voidaan käyttää hydrauliöljyn tai paineilman avulla aikaansaattua voimaa. Myös paineilmalla käytettävä hydraulinen painevahvistin on tyypillisesti käytetty irrotusjärjestelmä.

Sylinterin lukitus on toteutettu jousivoimalla eikä tarvitse ulkoista voimanlähdettä. Lukituksen irrottaminen sen sijaan tarvitsee ulkoisen voimanlähteen ja yleensä käytetään hydraulista painetta. Hydrauliöljy johdetaan sylinterin öljytilaan - toteutus vaihtelee sylinterin tyypistä ja valmistajasta riippuen. Hydraulisen paine aiheuttaa voiman lukitusmäntään. Voima kohdistuu lukitusjousen jousivoimaa vastaan. Hydraulisen paineen voittaessa jousikuorman, mäntä liikkuu ja irrottaa lukituksen. Lukitus irtoaa kun vetotapin lukitsevat osat vapautuvat puristuksesta ja liikkuvat pois vetotapin urasta sallien vetotapin vetämisen irti sylinteristä.



Kuva 14 Sähkömoottorikäyttöinen hydraulipumppu. Maksimipaine 50-500 bar mallista riippuen. (Stark Automation, s. 25)

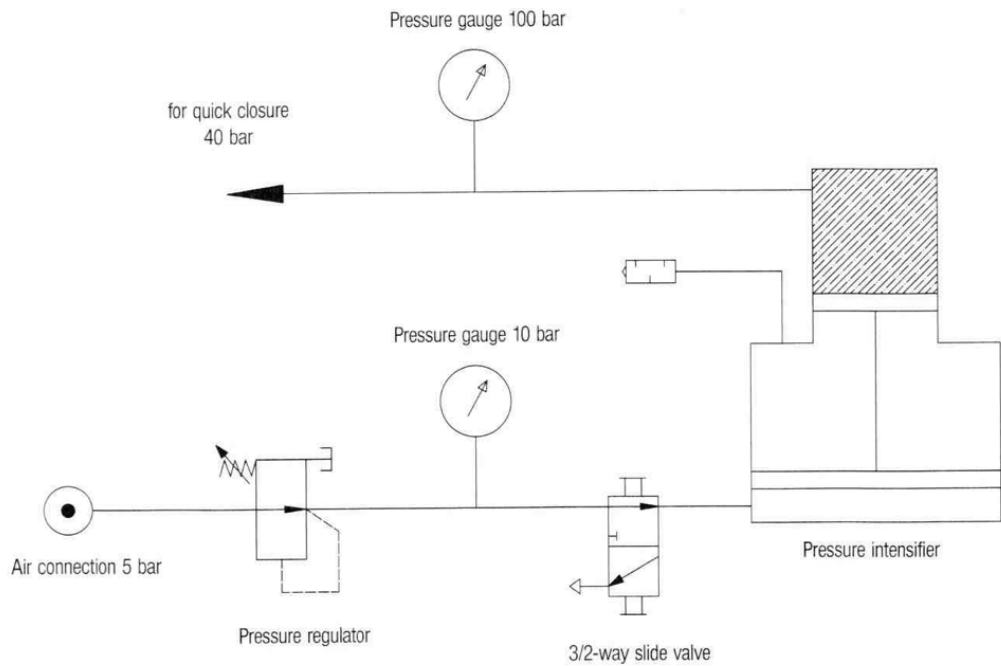
Lukituksen poistoon sopii hydraulipumppu (Kuva 14) tai painevahvistimia, jos käyttökohteessa ei ole ennestään käytössä kiinteää hydraulijärjestelmää. Hydrauliikalla toteutetun lukituksen irrotuspaine on tyypillisesti yli 50 bar.

Lukituksen irrotukseen voidaan hydrauliöljyn sijaan käyttää myös ilmaa. Paineilman käyttö on perusteltua kohteissa, joissa ei sallita öljyjen käyttöä, kuten elintarviketeollisuudessa. Paineilmalla ei kuitenkaan saavuteta yhtä suurta painetta kuin hydrauliikalla. Alhaisempi paineen takia paineilmatoimisella irrotuksella ei pystytä käyttämään yhtä jäykkää lukitusjousia sylintereissä eikä näin ollen yhtä suuria lukitusvoimia kuin hydraulisissa systeemissä. Pneumatiikalla saavutettavat lukitusvoimat ovat noin yleensä 25 % pienemmät kuin hydrauliikalla (Amf, 2008, s. 7).

3.2.4 Painevahvistin

Painevahvistimen (engl. Pressure Intensifier) avulla luodaan hydraulinen paine kiinnittimille paineilman avulla. Painevahvistinta käytetään, koska paineilmaa on saatavilla tuotantotiloissa lähes poikkeuksetta. Painevahvistin on yksinkertainen ja kompakti hydraulinen järjestelmä, joka on yksinkertaista asentaa paineilmaverkon jatkeeksi. Painevahvistimessa on öljysäiliö ja paineilmakäyttöinen sylinteri, jolla saadaan aikaan huomattavasti suurempi paine hydrauliöljyyn kuin paineilmaverkon paine. Männän ja sylinterin poikkipinta-ala on pneumaattisella puolella suurempi kuin hydraulipuolella, jolloin paine on suurempi. (Amf, 2006, s. 29)

Kuvassa 15 on esitetty tyypillinen painevahvistimen hydraulikaavio. Kuvassa 16 on Starkin automaatiokäyttöön suunniteltuja painevahvistinmallistoa. Mallistoon kuuluu kolmea erikokoista painevahvistinta.



Kuva 15 Painevahvistimen hydraulikkakaavio (Amf, 2006, s. 29)

Painevahvistimella paineilmajärjestelmän paine nostetaan noin 40-60 bar arvoon (Amf, 2006, s. 29). Kun järjestelmään kuuluu yli 10 sylinteriä tai sylinterien kiinnitovoimat ovat luokkaa 20 - 30 kN, saatetaan käyttää 60-80 bar hydraulipainetta (Stark Automation, s. 24). Käytettävä paine riippuu käytettävistä kiinnittimistä. Tarvittava käyttöpaine on useimmiten ilmoitettu kiinnittimen tyyppikilvessä.

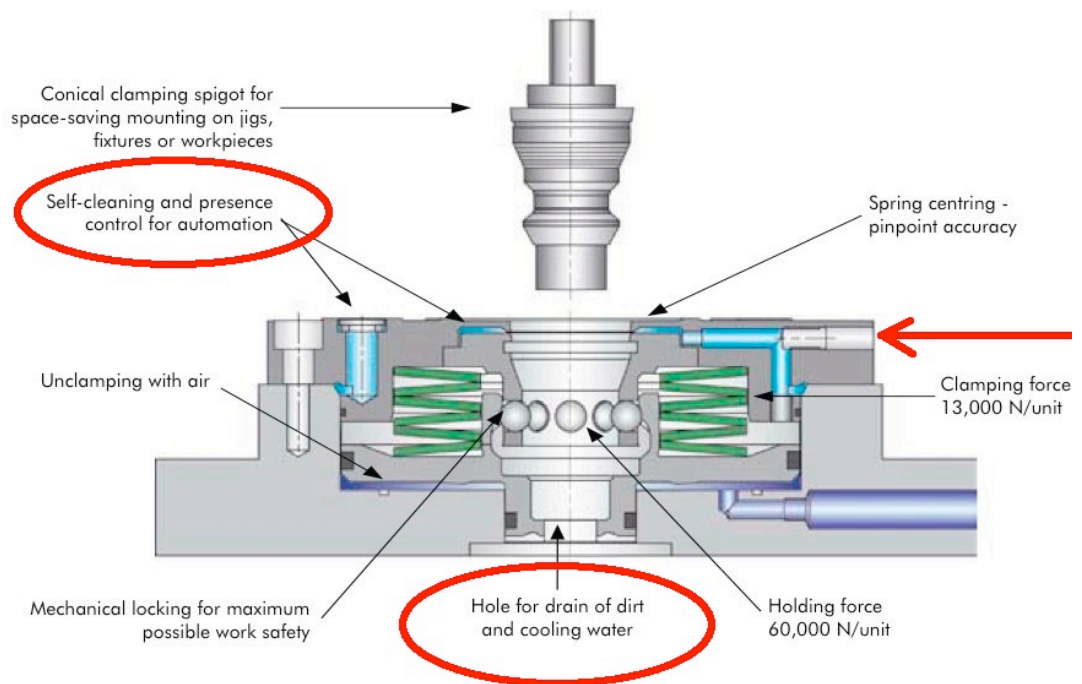


Kuva 16 Painevahvistimia. Vasemmalta lukien ensimmäisen mallin maksimipaine 40 bar / sylinterien suurin määrä 17 kpl, toisena 80 bar / 12 kpl, kolmantena 40 - 80 bar / 45 kpl (Stark Automation, s. 24)

3.2.5 Puhdistusjärjestelmä

Jotta nollapistekiinnittimellä olisi edellytykset luvattuun tarkkuuteen ja luotettavaan kiinnitykseen, kiinnityspintojen ja vetotapin reiän puhtaanapito on tärkeää. Kiinnityspinnoille joutuvat roskat, lastut ja lastuamisnesteet vaikuttavat kiinnitystarkkuuteen tai pahimmassa tapauksessa estävät kiinnittymisen täysin.

Sylinterien puhdistus on yleensä toteutettu paineilmalla, jolle sylinterissä on erillinen liitäntä (Kuva 17). Paineilma johdetaan sylinterin tärkeille paikoitus- ja kiinnityspinnoille ja irtoroskat sekä epäpuhtaudet kulkeutuvat ilmavirran mukana pois.



Kuva 17 Upotettava sylinteri, jossa yksi mahdollinen ratkaisu puhdistukseen. Ilmakanava paikoituspinnoille ja keskireiälle sekä läpireikä jätteiden ja nesteiden poistoon. Usein myös keskireiässä on paineilmapuhallus. (System 3R, 2007, s. 31)

Useasta sylinterityypistä on saatavilla versiot paineilmakanavien kanssa ja ilman. Paineilmakanavien puuttuessa puhdistus tapahtuu manuaalisesti. Kanavattoman sylinterin sopiva sijoituspaikka on kohteissa, joihin ei pääse työstöstä syntyvää jätettä kovin helposti. Käytännössä kiinnittimiä ilman puhdistusjärjestelmää ei

kuitenkaan käytetään konepajatekniikan sovelluksissa. Automatisoiduissa sovelluksissa puhdistusjärjestelmä on välttämätön. (Sariola, 2010)

3.3 Lukitus ja kiinnipito

Kun vetotappi on lukittu sylinteriin, liike vetotapin akselin suunnassa on estetty. Kiinnitetyn kappaleen pinta on puristuksessa sylinterin otsapintaa vasten ja kuulat tai kynnet estävät vetotapin irtoamisen sylinteristä. Kappaleen pyörimisliikettä vetotapin akselin ympäri ei ole estetty lukitusjärjestelmällä. Pyörimisliikkeen estämiseksi käytetään indeksoivaa sylinteriä tai kahden tai useamman sylinterin kiinnitystä.

Eri valmistajien käyttämiä erityyppisiä lukitusjärjestelmiä ovat mm. kuulalukitus, kynsilukitus ja holkkilukitus. Järjestelmien suurin ero on sylinterin sisäisissä lukituksen aikaansaavissa osissa.

Eriytyyppisillä lukituksilla toteutetut järjestelmät eivät normaalisti ole keskenään yhteensopivia. Poikkeuksen muodostavat kuitenkin esim. kuulalukitteiset Amf:n 6370EU ja 6370AU -sylinterit, jotka ovat yhteensopivia Unilockin Ø40 mm Unitool -vetotapin kanssa. Muitakin valmistajien välisiä yhteensopivuuksia on olemassa. (Amf, 2006, s. 25)

Lukituksen irrotukseen tarvittava voima voidaan tuottaa joko hydraulisesti tai pneumaattisesti. Pneumaattisesti saavutettava maksimipaine on pienempi kuin hydraulisesti saavutettava, mikä asettaa rajoituksen lukitusmännän jousien jäykkyydelle. Lukitusvoima, joka on riippuvainen jousien jäykkyydestä, on täten pneumaatiikalla toimivissa sylintereissä pienempi kuin vastaavassa hydraulisessa sylinterissä, kuten kappaleessa 3.2.4 on todettu. (Amf, 2006, s. 7)

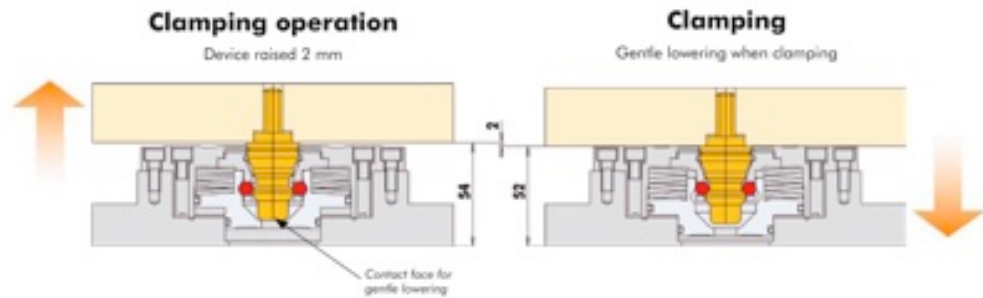
Lukituksen irrotus mekaanisesti on harvemmin käytetty toteutustapa, joka soveltuu lähinnä manuaaliseen kiinnitykseen. Irrotusvoima aikaansaadaan esimerkiksi ruuvien avulla (Kuva 18). Järjestelmän etu on yksinkertaisuus – Hydrauliikka- tai pneumaattikajärjestelmää ei tarvita.



Kuva 18 Mekaaninen nollapistekiinnittimen sylinteri. Lukituksen poisto tapahtuu ruuvista kiristämällä. Lukitusjärjestelmän osien ulkonäkö eroaa hieman työssä esitellyistä, mutta perusidea on sama. (Halder)

Joissakin nollapistekiinnittimissä lukitusmäntä nostaa kappaletta irti sylinteristä pari millia, kun lukitus irrotetaan ja vastaavasti vetää vetotapin kokonaan sylinteriin lukittaessa (Kuva 19). Järjestelmän tarkoitus on helpottaa etenkin raskaiden kappaleiden asetusta sylinteriin, sillä keskittävän vetotapin ohjauspinta ja sylinterin keskireikä ovat tarkassa sovitteessa keskenään. Irrotusvaiheessa kappaleen irti vetämiseen ei tarvita voimaa, kappale tarvitsee ainoastaan nostaa pois sylinteristä. (System 3R, 2007, s. 10)

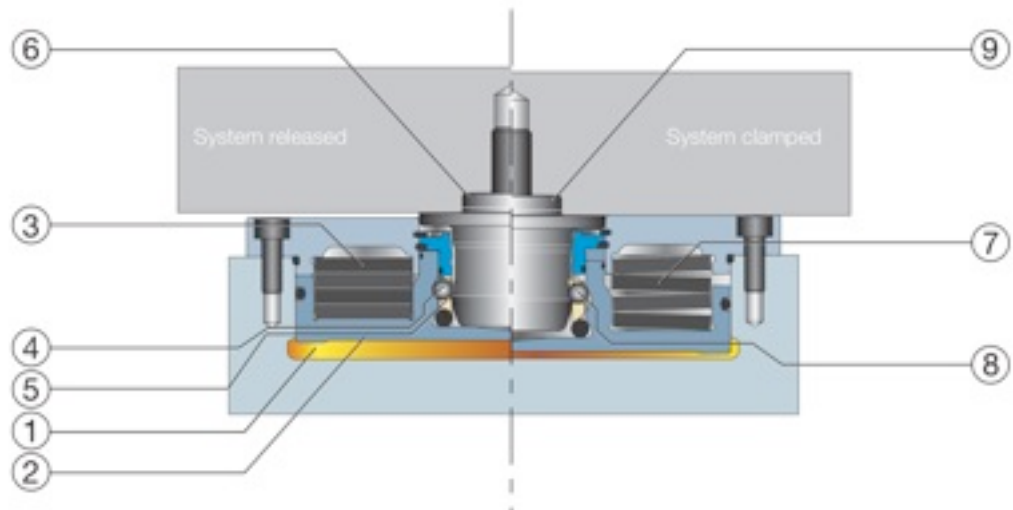
Kappaleen nosto-ominaisuudella varustettujen sylinterien irrotuspainetta voidaan säätää lukituksen irrotukseen tarvittavan rajan jälkeen kappaleen painon mukaan. Järjestelmää ei käytetä pystytasoon tai seinään asennetuissa sylintereissä, kuten ei myöskään suositella raskaiden kappaleiden kiinnitystä seinään. (System 3R, 2007, s. 10)



Kuva 19 Lukitusjärjestelmä kappaleen nosto-ominaisuudella (System 3R, 2007, s. 10)

3.3.1 Kuulalukitus

Kuulalukituksessa vetotapin lukitsemiseen käytetään teräskuulia, jotka muistuttavat kuulalaakerin kuulia. Kuulat sijaitsevat urassa kehällä sylinterin keskireiän sisäpinnalla. Vetotapissa on vastaava ura kuulille. Kun sylinteri lukitaan, jousikuormitteinen mäntä pakottaa kuulat vetotapin tiiviisti uraan. Lukituksen ollessa päällä kuulat eivät pääse liikkumaan säteen suunnassa sylinterin ulkokehää kohti, jolloin vetotappi on lukittu sylinteriin. Vetotapin ura, jota vasten kuulat painautuvat on poikkileikkaukseltaan kalteva, mistä seuraa vetotapin akselin suuntainen voima eli lukitusvoima sylinteriin päin. Kuvassa 20 näkyy lukitusjärjestelmän toiminta ja pääosat (Stark, 2008, s. i.6)



Kuva 20 Kuulalukitteinen Stark-nollapistekiinnitin vapautettuna ja lukittuna. (Stark, 2008, s. i.6)

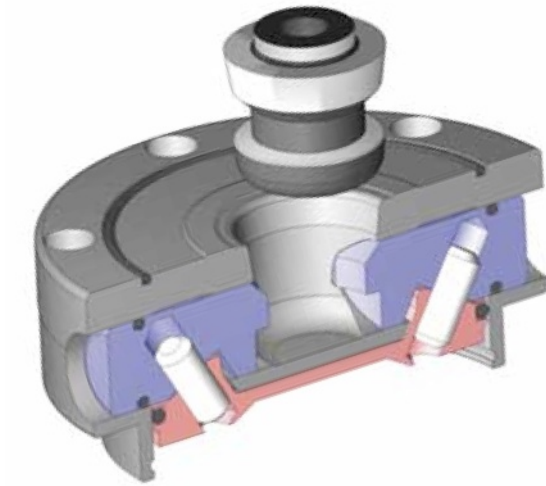
Luettelo kuvan 20 osista ja toiminnoista:

1. Öljytila
 2. Lukitusmäntä
 3. Lukitusjousi
 4. Kuulakehä
 5. Kuulien pidike
 6. Vetotappi
 7. Lukitusjousi painaa männän ala-asentoon
 8. Kuulat painautuvat vetotappia vasten ja aiheuttavat lukitusvoiman
 9. Vetotappi liikkuu sylinterin sisään. Ohjauspinnat paikoittavat kappaleen
- (Stark, 2008, s. i.6)

3.3.2 Kynsilukitus

Eräs vaihtoehto lukitukseen kuulien avulla on käyttää kahta jousikuormitteista leveää kynttä, jotka lukitsevat vetotappin sylinteriin (Kuva 21). Kynnet liikkuvat sylinterin akselin suuntaisesti. Lukituksen irrotuksen aikana kynnet vetäytyvät pois tieltä jotta vetotappi mahtuu menemään niiden ohitse reiän pohjalle. Lukitusvaiheessa kynnet painautuvat tappia vasten ja aiheuttavat lukitusvoiman.

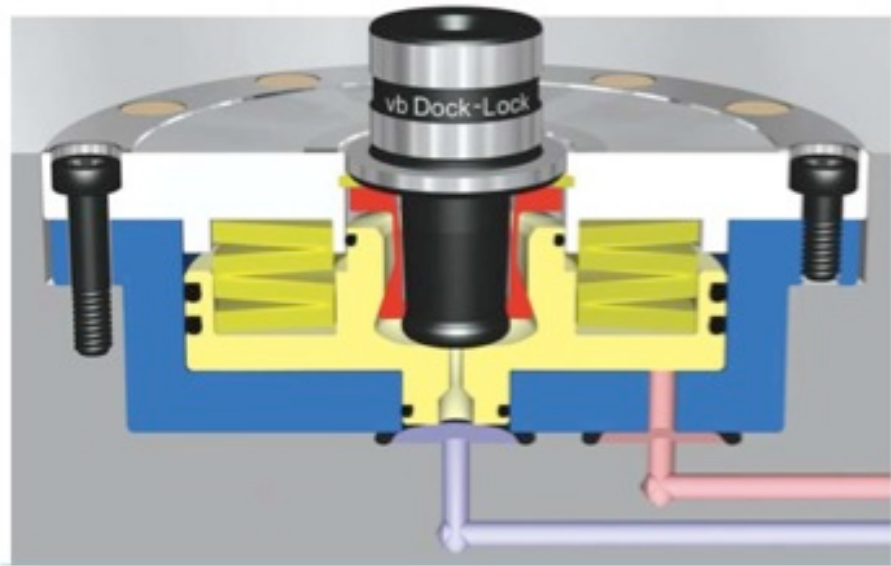
Lukitus on toteutettu jousivoimalla ja irrotus esimerkiksi ilmanpaineella. Kynsilukituskessa ei ole lukitsevaa jousikuormitteista mäntää, vaan itse kynnet ovat jousikuormitteiset. Myös lukituksen irrottava voima kohdistuu suoraan kynsiin. (Unilock, 2006, s. 4)



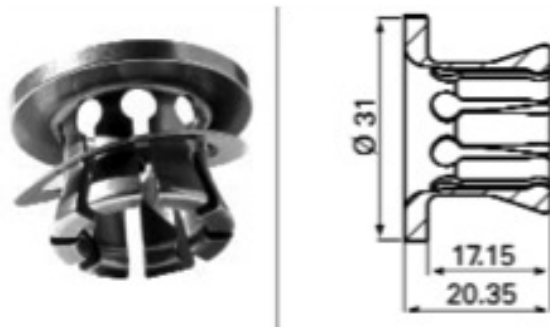
Kuva 21 Poikkileikkauskuva lukituskynsistä (Unilock, 2006, s. 4)

3.3.3 Holkkilukitus

Holkkilukitus muistuttaa paljon kuulalukitusta, mutta kuulien sijaan lukitus on toteutettu holkillä, jossa on useita joustavia kynsiä (Kuva 23). Holkki sijaitsee sylinterin keskireiässä. Kun vetotappi kiinnitetään sylinteriin, lukitusholkki on vetotapin ympärillä. Holkkilukituksessa käytetään myös lukitusmäntää, joka painaa holkin kynnet vetotapin olaketta vasten. Kun lukitus poistetaan, kynnet palautuvat alkuperäiseen asemaansa sallien vetotapin poistamisen holkin läpi (Kuva 22).



Kuva 22 Kasettimainen kiinnitinsylinteri holkkilukituksella. Punaisella väritetty holkki on vetotapin ympärillä ja sen kynnet ovat lukittuna vetotapin olaketta vasten. (Vischer & Bolli, 2008, s. 6)



Kuva 23 Irrotettava ja vaihdettava lukitusholkki (Vischer & Bolli, 2008, s. 19)

Holkkilukituksen etuihin kuuluu kiinnitysvoiman jakautuminen suuremmalle alalle kuin kuulalukituksessa. Tämä tarkoittaa pienempää holkin ja vetotapin kulumista etenkin automaatiokäytössä, jossa kiinnityskertojen määrä saattaa olla huomattavasti suurempi kuin ei-automatisoidussa käytössä. Lukitusholkki on helposti vaihdettavissa jos se kuluu liikaa tai vaurioituu. Myös joitakin kuulalukitteisia sylintereitä on toteutettu vaihdettavalla kuulakehällä. (Sariola, 2010)

3.3.4 Lukitus- ja kiinnipitovoima

Vetotapin lukitus tapahtuu kokonaan jousivoiman avulla. Jousien ominaisuuksista riippuu lukitusvoima. Kiinnipitovoima riippuu lukitusjärjestelmän ja sylinterin mekaanisista ominaisuuksista. Lukitus- ja kiinnipitovoima ovat tärkeitä ominaisuuksia nollapistekiinnittimiä vertailtaessa.

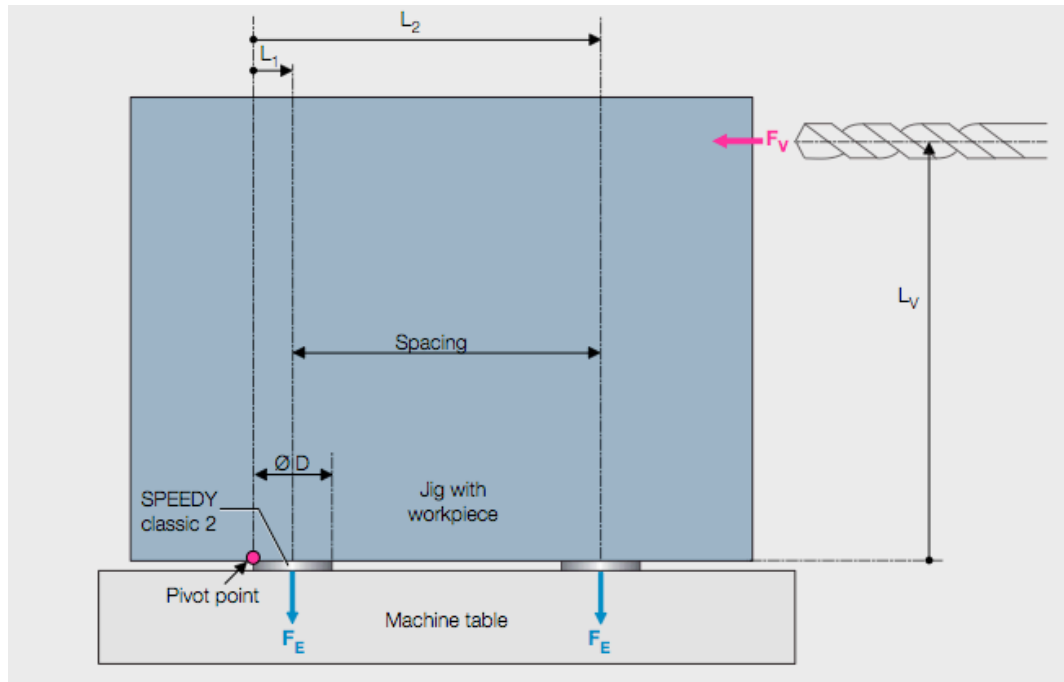
Lukitusvoima

Lukitusvoima tai vetovoima (Pull-In Force, Insertion Force) on lukitusjärjestelmän jousien kappaleeseen aiheuttama vetävä voima. Kiinnipitovoimaa riippuu kiinnitysjärjestelmän jousien jäykkyydestä. Mitä jäykempiä jousia lukitusmännässä käytetään, sitä suurempi on lukitusvoima ja myös lukituksen irrottamiseen tarvittava voima. (Sariola, 2010)

Hydraulisissa kiinnityssylintereissä voidaan käyttää jäykempiä lukitusjousia kuin pneumaattisissa, sillä hydraulikalla saavutettava irrotusvoima on huomattavasti suurempi kuin mitä pneumatiikalla saavutetaan. Tämän vuoksi hydraulisten sylintereiden lukitusvoima on suurempi.

Lukitusvoiman ei tulisi ylittyä missään tilanteessa kiinnityksen aikana. Jos kiinnitettyä kappaletta kuormitetaan yli lukitusvoiman, systeemin nollapisteen paikkansapitävyys ei ole taattu. (Stark, 2008, s. 10)

Jos kiinnitettävään kappaleeseen vaikuttaa suuria voimia, jotka ovat lähellä yksittäisen sylinterin lukitusvoimaa, tulisi kiinnitys suunnitella esimerkiksi useammalla sylinterillä voimien jakamiseksi. Kahden tai useamman sylinterin ja paletin kiinnitysratkaisuissa kiinnitysvoima jakautuu useammalle sylinterille, jotka ovat tietyn etäisyyden päässä toisistaan. Tällöin yhteen sylinteriin kohdistuva vetotappia irti kampeava voima pienenee. (Stark, 2008)



Kuva 24 Työstövoiman jakautuminen nollapistesyntereille (Stark, 2008, s. 1.1)

Kuvassa 24 on esitetty esimerkki kiinnitysvoimien mitoitukselta työstövoimille ja voimien jakautumisesta useammalle sylinterille. Mitoituksessa käytetään sylintereiden lukitusvoimaa ja lopulliselle kiinnitysvoimalle on annettava varmuuskerroin.

Kiinnipitovoima

Kiinnipitovoima tai pitovoima (Holding Force) ilmoittaa suurimman sallitun sylinterin keskilinjän suuntaisen ulosvetävän voiman, jonka nollapistekiinnitin kestää kiinnityksen irtoamatta. (Stark, 2008, s. 10)

Toisin kuin lukitusvoima, kiinnipitovoima ei riipu lukitusjousista eikä siten myöskään käytetystä väliaineesta. Pneumaattisten ja hydraulisten sylintereiden lukitusvoimat eroavat toisistaan, mutta kiinnipitovoima on vastaavilla sylintereillä sama. (Amf, 2006, s. 7)

Vetotapin ollessa lukittuna sylinterissä, vetotappia ulospäin vetävä voima välittyy lukittavien elementtien kautta suoraan kiinnityssylinterin runkoon (Amf, 2006, s.

5). Kiinnipitovoimaan voidaan vaikuttaa lukitusjärjestelmän osien suunnittelun kautta.

Kiinnipitovoiman suuruuteen vaikuttavat sylinterin lukitusjärjestelmän osien koko sekä vetotapin kiinnitys. Sylinterin koon kasvaessa sylinterin osat muuttuvat suuremmiksi ja kestävämmiksi, mikä mahdollistaa suurempien voimien keston. Suurempien vetotappien kiinnitykseen taas voidaan käyttää suurempia kiinnitysruuveja, jotka vastaavat sylinterin osien kestävyyttä.

3.4 Kiinnitystarkkuus

Nollapistekiinnittimen ilmoitettu tarkkuus on hyvä ja riittävä lähes kaikkeen CNC-työstöön. Valmistajien tarjoamilla komponenteilla ja paketeilla on tietyt ilmoitetut valmistustoleranssit.

3.4.1 Paikoitustarkkuus x, y ja z -suunnassa

Jos keskittävän tapin ohjauspinta on toleranssissa $\emptyset d_{(-0,01)}^{+0}$ ja kappaleeseen koneistettavan reiän sisäpinta laitevalmistajan mitoituksen mukaan $\emptyset D_{(-0}^{+0,01)}$ eli $\emptyset D_{h5}^{H5}$, niin pahimmassa tapauksessa vetotapin keskipiste on 0,01 mm sivussa tavoitellusta keskipisteestä. Tämä epätarkkuus vaikuttaa vain ensimmäisen kerran asetusvaiheessa ja jos se pystytään kompensoimaan työstökoneen paikoitusjärjestelmällä voidaan jatkossa luottaa toistotarkkuuden toleransseihin. Nollapistekiinnittimen paikoitustarkkuus pätee niin kauan ennen kuin vetotappi irrotetaan kiinnitettävästä kappaleesta. (Vischer & Bolli, 2008, s. 43)

Vetotapin lukituksen tyyppi tai se, miten lukitus on toteutettu ei vaikuta paikoitustarkkuuteen. Paikoitustarkkuuteen X- ja Y-suunnissa vaikuttaa ainoastaan keskittävän vetotapin ohjauspinta ja Z-suunnassa sylinterin otsapinnan tarkkuus. (Unilock, 2006, s. 4)

3.4.2 Toistotarkkuus

Useimmat valmistajat ilmoittavat nollapistekiinnittimen kiinnityksen toistotarkkuudeksi alle 0,005 mm kiinnitysten välillä kun sama paletti kiinnitetään uudelleen samaan kiinnittimeen (Amf, 2006, s. 7; Vischer & Bolli, 2008, s. 6; System, 3R, s. 12; Unilock, 2006, s. 8; Stark, 2008, s. 10). Nollapisteen tarkkuuden ilmoitetaan olevan alle 0,01 mm jos paletti vaihtuu tai paletti kiinnitetään toiseen kiinnittimeen. (Stark, 2008, s. 10)

3.4.3 Tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Kun kyseessä ovat tuhannesosamillimetrien tarkkuudet, lämpölaajeneminen ja kutistuminen täytyy ottaa huomioon. Lämpölaajeneminen muodostuu ongelmaksi lähinnä usean vetotapin kiinnityksissä ja sitä kompensoidaan vetotappien paikoituksella kappaleen 3.2.2 tavalla. Keskittävä vetotappi määrittelee aina kiinnityksen nollapisteen. Jos kappale elää lämpölaajenemisen seurauksesta, nollapiste pysyy aina paikoillaan.

3.4.4 Työkappaleen jännitykset ja muodonmuutokset

Nollapistekiinnittimen aiheuttamat jännitykset kiinnitettävään kappaleeseen ovat vähäisiä kiinnityksen aikana verrattuna moneen perinteiseen kiinnitysmenetelmään. Kiinnitys aiheuttaa jännitystä vetotapin kiinnitysreiän ympäristöön. Nollapistekiinnitin ei aiheuta puristusjännitystä kappaleeseen eikä täten myöskään vaurioita kappaleen ulkopinnoille (FMS-tools). Nollapistekiinnitin ei aiheuta jännityksiä kiinnitysalustaan, kuten jotkin voimakäyttöiset mekaaniset kiinnittimet saattavat tehdä (Vischer & Bolli, 2008, s. 6)

3.5 Kiinnitintyytit

Suurimmat erot erilaisten nollapistekiinnittimien välillä ovat sylintereissä. Vetotappi on perusidealtaan ja toiminnaltaan samanlainen kaikissa kiinnitintyyteissä vaikka mitat ja muodot voivat vaihdella suuresti. Käyttökohteen ja työkappaleen perusteella voidaan valita sopiva nollapistekiinnitinjärjestelmä.

3.5.1 Kiinnityssylinterit

Kappaleessa esitellään lyhyesti erilaisia kiinnitinmoduleita eli sylintereitä, peruslevyjä ja paletteja. Jokaisella erilaisella kiinnitintyytillä on omat ominaisuutensa ja sovelluskohteensa. Indeksoimattomat sylinterit ovat harvoin yksittäin sovelluskohteissa. Kun kyseessä on kiinnitettävän kappaleen työstäminen, tarvitaan työstövoimia vastaanottamaan ja kappaleen liikkumista estämään vähintään kaksi sylinteriä. Indeksoivat sylinterit toimivat pienehköillä kappaleilla yksinäänkin, kunhan kappaleeseen on tehty vaadittavat lisävalmistelut, kuten paikoituspinnat.

Kasettimaiset sylinterit

Kasettimaiset sylinterit (Kuva 25) soveltuvat asennettaviksi kiinteästi työstökoneen pöytään. Sylinteriä varten koneistetaan aukko pöytään sylinterityypin mittojen mukaan. Koneistettava aukko vastaa sylinterin alaosan muotoja ja sylinteri on mahdollista asentaa pöydän pinnan tasolle. Kasettimaisen sylinterin hydraulikka- ja paineilimaliittimet ovat sylinterin pohjassa, joten ne vaativat sylinterille läpireiän tai kanavien koneistamisen pöytään. (Vischer & Bolli, 2008, s. 10)



Kuva 25 Kasettimainen sylinteri (Vischer & Bolli, 2008, s. 10)

Kasettimaisessa sylinterissä lukituksenpoistojärjestelmä, öljytila ja kanavat anturoinneille ovat sisäänrakennettuna, mistä sylinterityypin nimi on peräisin. Sylinterille koneistetaan asennusreikä sylinterin mittojen mukaan ja itse sylinteri on asennusvalmis paketti. Liitännät voidaan sylinterin tyypistä riippuen joko koneistaa asennusreiän pohjaan määrätyille kohdille tai liitännöihin voidaan käyttää putkia ja nippoja.

Upotettavat sylinterit

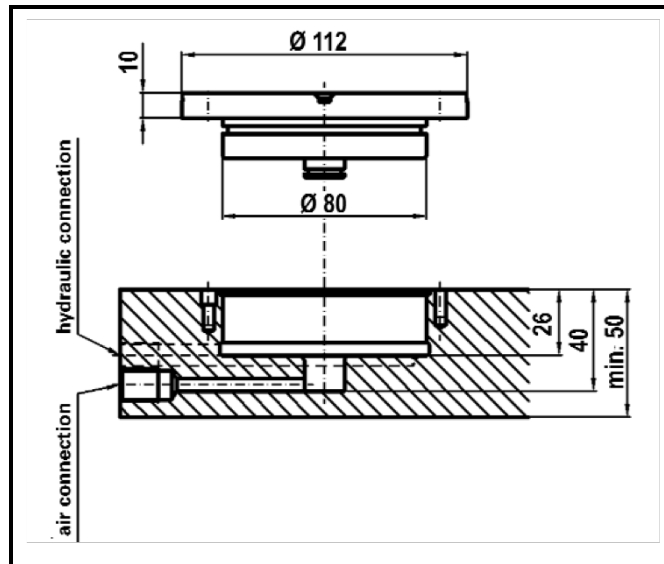
Upotettavan sylinterin asennustapa ja käyttökohteet ovat samat kuin kasettimaisen sylinterin. Upotettava sylinteri eroaa kasettimaisesta matalammalla asennussyvyydellä. Sille koneistettava asennusreikä on matalampi. Upotettavan sylinterin ylin olake jää kokonaan pöydän pinnan yläpuolelle kuten kasettimaisessa sylinterissä. Matala asennussyvyys mahdollistaa sylinterin asennuksen ohuisiin pöytiin ja paletteihin (Kuva 26). (Vischer & Bolli, 2008, s. 12)

Merkittävin ero kasettimaiseen sylinteriin on hydraulinen irrotusjärjestelmä. Upotettavassa sylinterissä ei ole lainkaan öljytilaa vaan sylinterin ja asennusreiän pohjan välille jäänyt tila toimii öljytilana (Kuva 27). Sylinterin pohjimmainen pinta on lukitusmännän pinta, joka painuu ylöspäin paineen kasvaessa ja vapauttaa lukituksen. Mäntä ja sylinteri tiivistetään asennusreikään säteistiivisteellä. Jos sylinteri on varustettu ilmapuhdistuksella, paineilmaa varten

on koneistettava kanava keskelle asennusreikää, jolloin ilma virtaa sylinterin läpi.
(Vischer & Bolli, 2008, s. 12)



Kuva 26 Upotettavia sylintereitä peruslevyssä. Hydraulikka- ja paineilmaliihtimet levyn sivussa. (Vischer & Bolli, 2008, s. 8)



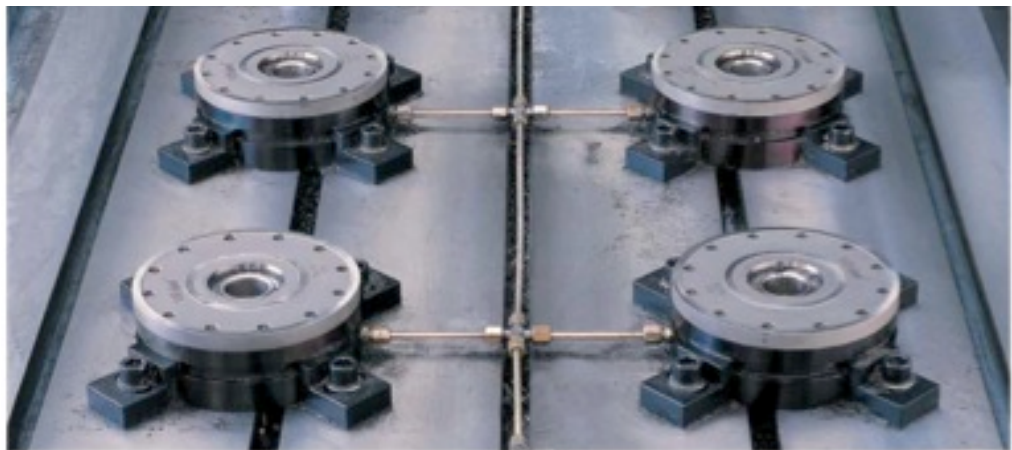
Kuva 27 Yksi tapa koneistaa öljy- ja ilmakeinavat upotettavalle sylinterille.
(Vischer & Bolli, 2008, s. 12)

Pinta-asennettavat sylinterit

Pinta-asennettava sylinteri (Kuva 28) on sopiva valinta vanhan työstökoneen olemassa olevan kiinnitinjärjestelmän päivittämiseen. Pinta-asennettavat sylinterit voidaan asentaa suurimpaan osaan olemassa olevista kiinnityspöydistä, kuten yleiseen T-urapöytiin ja reikälevyihin.



Kuva 28 Pinta-asennettava sylinteri (Vischer & Bolli, 2008, s. 13)



Kuva 29 Pinta-asennussylintereitä asennettuna T-urapöytään (Vischer & Bolli, 2008, s. 13)

Pinta-asennussylinterit kiinnitetään pöytään laipan (Kuva 30) tai kynsien (Kuva 29) avulla. Sylinterien kohdistus on suoritettava ennen kuin kiinnitinjärjestelmä on valmis käytettäväksi. Kun kohdistus on kerran suoritettu, saadaan käyttöön nollapistekiinnittimen edut.



Kuva 30 Pinta-asennusylinterin kiinnityslaippa. Laippa on irrotettavissa sylinteristä. (AMF, 2006, s. 15)

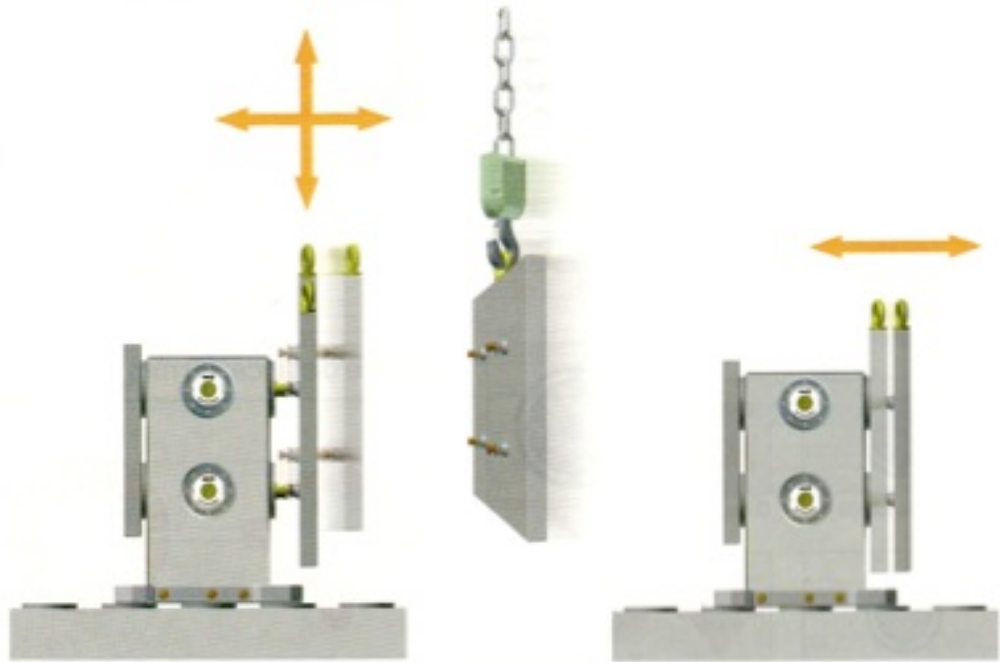
Seinäasennettavat sylinterit

Seinäasennettava sylinteri Horizontal Rapid Clamping System soveltuu käytettäväksi esimerkiksi kulmahyllyssä tai kiinnitintornissa ja jos kiinnitettävä kappale on niin painava, ettei käsin nostaminen ole mahdollista ja joudutaan käyttämään nosturia (Kuva 31). (AMF, 2006, s. 16)

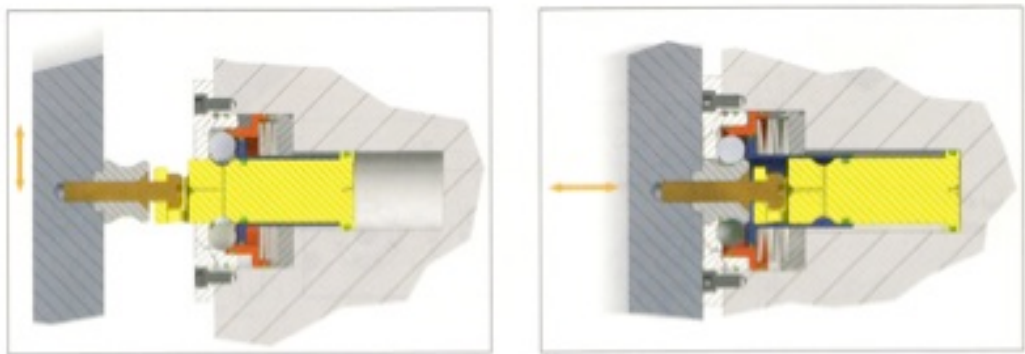
Kun lukitus poistetaan, sylinteristä työntyy ulos koukku, jossa on vetotapille sopiva ura. Kappale vetotappeineen viedään uraan ylhäältä päin. Kun lukitus palautetaan, koukku vetää vetotapin kokonaan sylinterin sisään, minkä jälkeen kuulat lukitsevat vetotapin, kuten muissakin sylintereissä (Kuva 32). (AMF, 2006, s. 16)

Seinä-asennettava erikoissylinteri tarjoaa tavallisten nollapistekiinnitinten ominaisuuksien lisäksi muita selkeitä etuja verrattuna tavallisen sylinterin käyttöön seinäkiinnityksessä:

- Nopeampi asetus raskailla kappaleilla verrattuna tavanomaisien sylinterien käyttöön
- Pienempi tapaturmariski
- Vähäisempi osien kuluminen ja vaurioitumisriski (AMF, 2006, s. 16)



Kuva 31 AMF Horizontal Rapid Clamping System -toimintaperiaate.
Kiinnitettävä kappale tuodaan nosturilla ja asetetaan koukkujen päälle. (AMF, 2006, s. 16)



Kuva 32 Sylinterin leikkauskuva. Oikealla järjestelmä auki ja vasemmalla lukittuna. (AMF, 2006, s. 17)

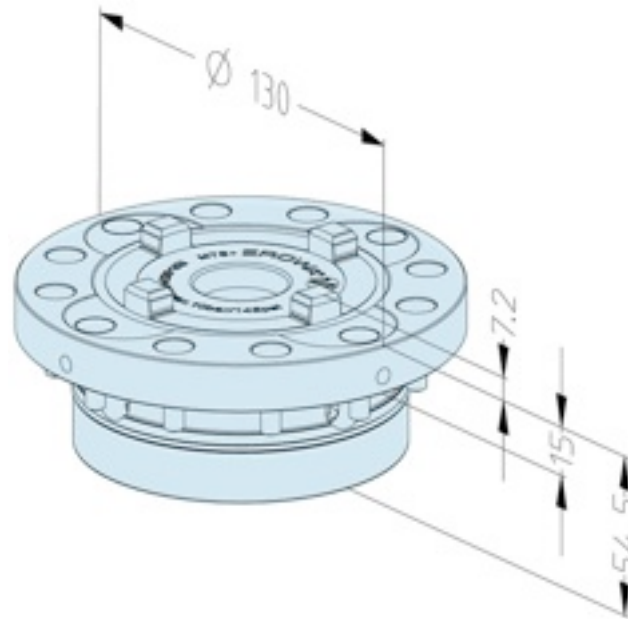
Indeksoivat sylinterit

Kiinnitettäessä kappale yksittäisellä nollapistekiinnitys sylinterillä, kappaleen liike vetotapin aksiaalisuunnassa ja irtoaminen sylinteristä on estetty. Kappaleen pyörimisliikkeelle ei kuitenkaan ole erityistä estettä sylinterin otsapinnan ja kappaleen paikoituspinnan välistä kitkaa lukuun ottamatta. Esimerkiksi koneistuksessa työstövoimat ovat usein niin suuria, että työstäminen on mahdotonta ellei pyörimisliikettä estetä. Tähän tarkoitukseen on olemassa indeksoivia sylintereitä, joiden avulla saadaan yksittäisen kiinnityssylinterin tapauksessa kappaleen pyörimisliike estettyä.

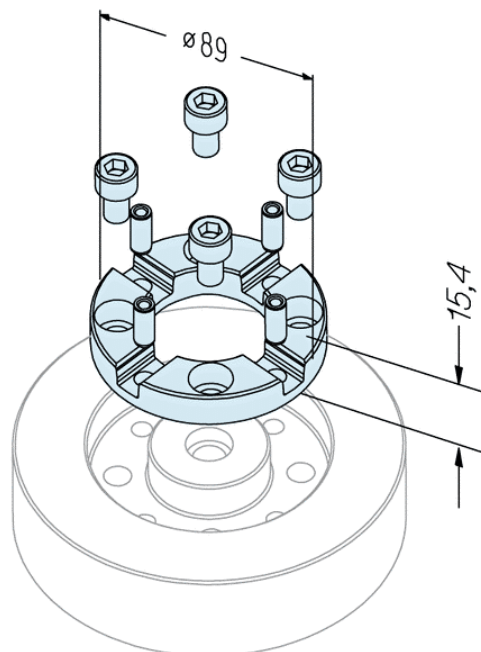


Kuva 33 Indeksoiva sylinteri, jossa indeksointiurat estämässä kappaleen pyörimisen. (Vischer & Bolli, 2008)

Indeksoivat sylinterit tarjoavat lisäksi mahdollisuuden asettaa kappale useampaan eri kulmaan sylinterin päälle hyvällä tarkkuudella. Useimmat indeksoivat sylinterit mahdollistavat kappaleen asettamisen eri kulmiin 90 asteen välein. Indeksointi voidaan toteuttaa esimerkiksi uritetulla sylinterillä ja kiinnitettävään kappaleeseen vastaaviin kohtiin asennettavilla tapeilla (Kuva 33). Urilla varustettu sylinteriä voidaan käyttää kuten tavallista sylinteriä, jos kappaleeseen ei asenneta indeksointitappeja. Kiinteillä indeksointitapeilla varustettu sylinteri (Kuva 34) on vähemmän joustava vaihtoehto, sillä kappaleen täytyy aina olla indeksoivaan sylinteriin sopiva (Kuva 35).



Kuva 34 Eräs tapa toteuttaa indeksoiva sylinteri. Sylinterin otsapinnassa on neljä koneistettua indeksoivaa kynttä. (Erowa)



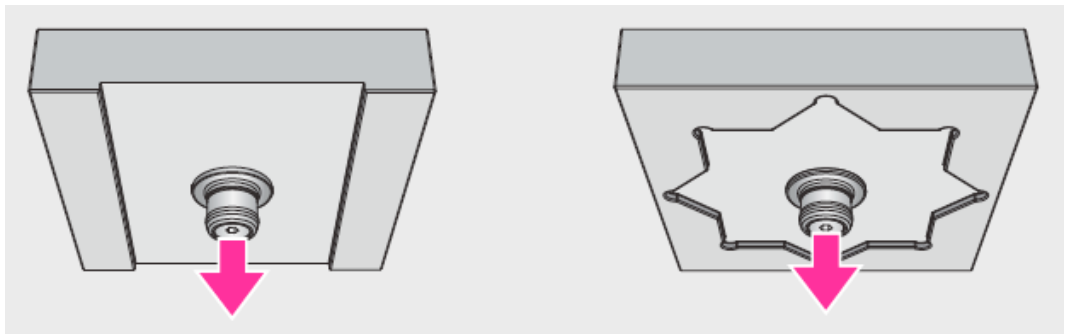
Kuva 35 Erowan indeksoivaa sylinteriä vastaava osa kiinnitettävässä kappaleessa. (Erowa)

Neliön muotoinen sylinteri on eräs indeksoivan sylinterin toteutustapa. Neliön-sylinterin otsapinta on neliön muotoinen (Kuva 36). Kiinnitettävässä kappaleessa on oltava vetotapin kiinnityksen lisäksi sylinterin paikoituspintaa vastaava muoto, joka estää kappaleen pyörimisen (Kuva 37). Rakenne mahdollistaa suuremmat

työstövoimat kuin uritettu indeksoiva sylinteri. Heikkoutena on kappaleeseen vaaditut ylimääräiset koneistukset, jolloin kappaleen käsittelyaika pitenee ennen kuin kiinnittäminen on nollapistekiinnittimellä on mahdollista. Paikoitukseen vaaditaan vähintään yksi kappaleen paikoituspinta, joka tulee neliön reunaa vasten.



Kuva 36 Indeksoiva neliön muotoinen sylinteri. (AMF, 2006, s. 14)



Kuva 37 Neliö-sylinteriin yhteensopivia paikoituspintoja kappaleessa. Oikeanpuoleinen ratkaisu mahdollistaa indeksoinnin 45° välein. (Stark, 2008, s. i.3)

Sorvin pikavaihtoistukat

Kappaleen kiinnitys sorviin voidaan myös toteuttaa nollapistekiinnittimellä. Tällöin on huomioitava, että erityisesti kappaleen pyörimisliike on estettävä. Tyypillisesti käytetään sorvin karaan kiinnitettyä nollapistekiinnintä. Neliön muotoisen sylinterin käyttö on yleistä työstövoimien keston vuoksi. Sorvauksessa kiinnityksen varmistava anturointi on erittäin tärkeää, sillä kappale ja koko nollapistekiinnitin pyörivät suurella nopeudella ja kappaleen irtoaminen ei ole suotavaa.

Toinen vaihtoehto sorvattavan kappaleen kiinnittämiseen on toteuttaa karan kiinnitys sorviin nollapistekiinnittimellä (Kuva 38). Tällöin sorvin kara on nopeasti irrotettavissa ja toimii ikään kuin vaihdettavana palettina. (Hemo, s. 46)

Vaihdettavan karan kanssa on mahdollista toteuttaa jatkokytkennän avulla lastuamismesteen tuonti, hydraulinen istukan käyttö ja puhdistusjärjestelmä. Pitkät kappaleet voidaan työntää karan ja nollapistekiinnittimen läpi kuten tavallisenkin karan tapauksessa. (Hemo, s. 46)



Kuva 38 Nollapistetekniikalla toteutettu sorvin pikavaihtoistukka. (Hemo)

3.5.2 Peruslevyt ja paletit

Peruslevyt ja paletit ovat nollapistekiinnittimien alustoja, joihin on integroitu tyypillisesti kaksi tai useampia nollapistekiinnittimiä. Levyissä on koneistetut öljy- ja ilmakeinavat. Peruslevy on valmistajan tarjoama asennusvalmis paketti esimerkiksi työstökoneeseen. Nollapistekiinnitinpaletti vastaa tavallista FM-järjestelmän palettia, mutta paletin pohjaan on kiinnitetty vetotapit.

Peruslevy

Peruslevy on levy, jonka pintaan on asennettu nollapistesylinteriä (Kuva 39). Peruslevyyn voidaan kiinnittää yksi tai useampi kappale tai paletti. Kun kiinnityspisteitä kappaletta tai palettia kohti on useita, kiinnitys on tukeva ja pyörimisliike on estetty ja kiinnitys on tukevampi kuin yhdestä pisteestä.



Kuva 39 Peruslevyjä neljällä ja kahdella upotettavalla sylinterillä. (Vischer & Bolli, 2008)

Peruslevyä käytetään yleensä valmistajan saman sarjan palettien kanssa. Sylinterien ja vetotappien jaot ovat standardeja saman valmistajan tuotteiden kesken. Esimerkiksi neljän sylinterin peruslevyyn voidaan kiinnittää kahden vetotappin paletti kun jako on sama. Paleteissa, joissa on useampi kuin yksi vetotappi, noudatetaan kappaleen 3.2.2 mukaisia periaatteita vetotappien valinnassa. Yksi vetotappi on keskittävä, yksi linjaava ja loput ohjaavia.

Peruslevyissä ja paletissa kahden vetotapin etäisyyden toleranssi on valmistajien ilmoitusten mukaan $\pm 0,01$ mm. Vetotapit voidaan myös kiinnittää suoraan kappaleeseen samalla toleranssilla. (Vischer & Bolli, 2008, s. 29)

Penkkikiinnitin

Penkkikiinnittimessä on kaksi kiinnityssylinteriä, joista toinen on kiinteä ja toinen liikuteltavissa pituussuunnassa (Kuva 40). Pituussuunnassa liikuteltava sylinteri mahdollistaa eri pituisten kappaleiden kiinnittämisen. Kiinnitettävän kappaleen pituus voi muuttua portaattomasti, kunhan kiinnitys on järjestetty kahdella vetotapilla ja tappien etäisyys toisistaan on penkin sallimissa rajoissa. Vetotapit voivat olla suoraan kiinni kappaleessa tai kiinnityksessä voidaan käyttää palettia. (Vischer & Bolli, 2008, s. 26)



Kuva 40 Penkkikiinnitin säädettävällä sylinterijaolla. (Vischer & Bolli, 2008, s. 26)

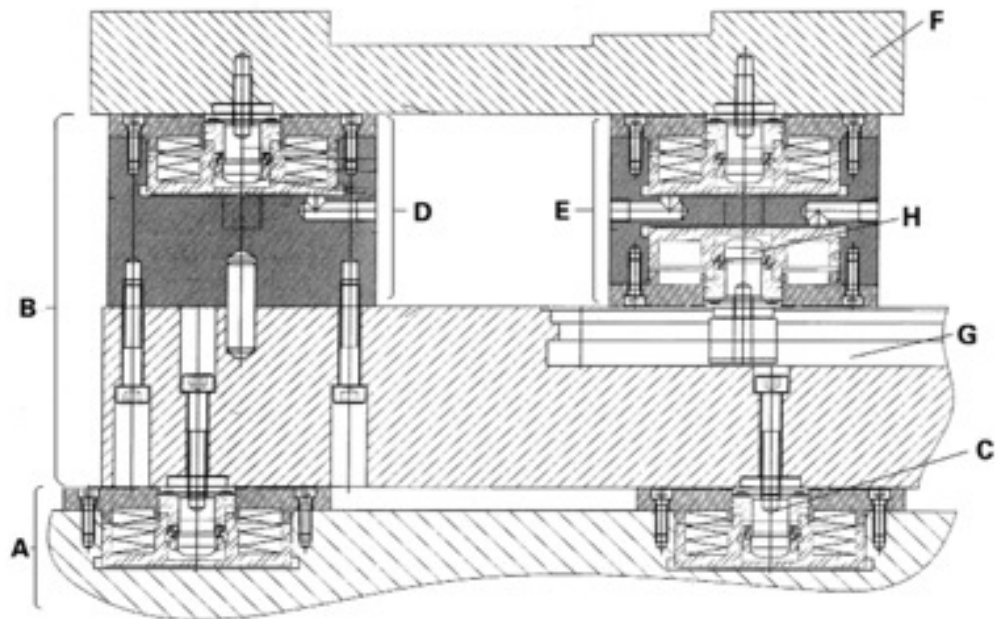
Penkkikiinnitin on joustava ratkaisu koneistettavien pitkien kappaleiden kiinnitykseen. Hyödyt tulevat esiin erityisesti silloin kun koneistettavien kappaleiden pituudet vaihtelevat usein. Penkkikiinnitin sallii työstämisen viideltä

sivulta. Erityistapauksessa voidaan työstää jopa kuudelta sivulta. Tämä on mahdollista kun kappale on riittävän pitkä, jolloin sylinterien väliin jää tilaa työstökoneen osille ja työkaluille.

V&B DockLock -penkkikiinnittimen osat nimetty A-H (Kuva 41)

- A. Työstökoneen nollapistekiinnitinjärjestelmä
- B. Penkkikiinnittimen palkki
- C. Vetotapit palkin
- D. Kiinteä sylinteri
- E. Kaksipuolinen sylinteri
- F. Työkappale
- G. T-ura
- H. Vetotappi, joka liikkuu T-urassa pituussuunnassa

(Vischer & Bolli, 2008, s. 26)



Kuva 41 Penkkikiinnittimen osat. (Vischer & Bolli, 2008, s. 26)

Paletti

Paletti on levy, johon on kiinnitetty yksi tai useampi vetotappi. Paletti toimii yleensä alustana perinteisille kiinnitinlaitteille. Paletit on useimmiten mitoitettu siten, että ne sopivat saman valmistajan peruslevyyn. Jos paletti kiinnitetään kahdella tai useammalla vetotapilla, niin se on automaattisesti indeksoiva. Yhden vetotapin paletit ovat poikkeuksetta indeksoivia paletteja. Paletteihin pätevät kappaleen 3.2.2 periaatteet vetotappien osalta.

Indeksoiva paletti

Indeksoivassa paletissa on vain yksi vetotappi keskellä levyä. Indeksointi ja pyörimisliikkeen estäminen on toteutettu indeksointiruuveilla, jotka asennetaan vetotapin ympärille kehälle (Kuva 42). Indeksointitapit osuvat indeksoivan sylinterin indeksointiuriin (Kuva 43) ja estävät paletin pyörimisliikkeen. (Vischer & Bolli, 2008, s. 45)



Kuva 42 Indeksoivoa paletteja. Kummassakin vetotapin kiinnitysreiän ympärillä kehällä neljä indeksointitapin kiinnitysreikää. (Vischer & Bolli, 2008)



Kuva 43 Indeksoiva paletti ja sylinteri. Paletissa on vain yksi indeksointitappi, sylinterissä neljä indeksointiuraa. (Unilock, 2006, s.15)

Rasterilevy

Rasterilevy eli reikämatriisilevy tuo mahdollisuuden rakentaa modulaarisia kiinnittimiä nollapistekiinnittimen paletille. Rasterilevy on käytännössä modulaarisen kiinnitinjärjestelmän rakennusalausta, johon on lisätty reiät vetotappien kiinnitystä varten (Kuva 44). Näin modulaarista kiinnitintä voidaan käyttää vaihdettavana palettina. (Vischer & Bolli, 2008, s. 27)



Kuva 44 Tyypillinen nollapistekiinnittimen rasterilevy, jossa neljä kiinnitysreikää vetotapeille. (Vischer & Bolli, 2008, s. 27)

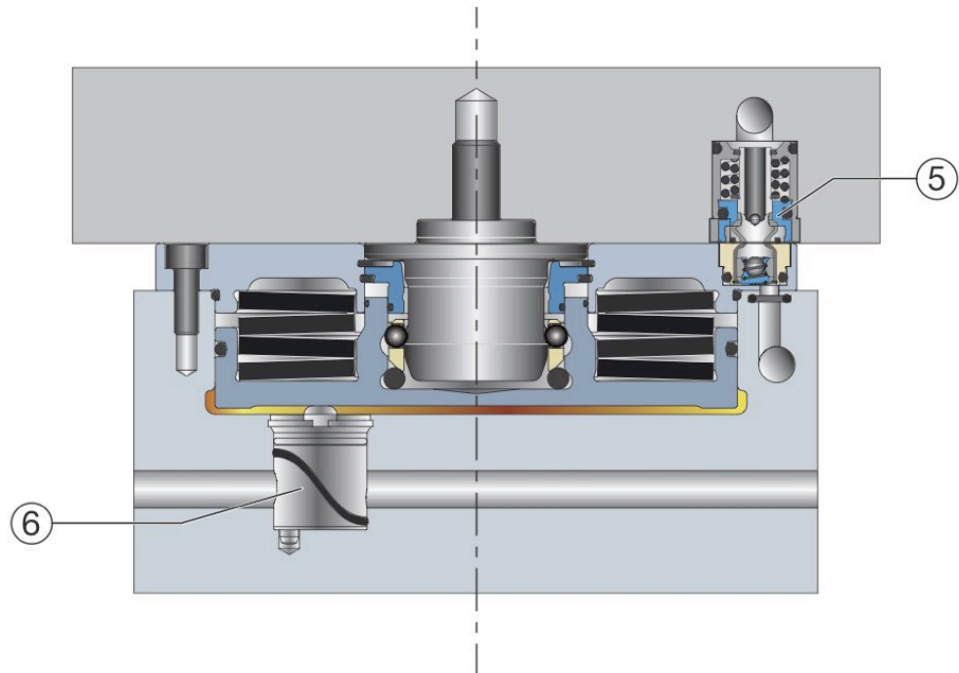
3.6 Anturointitekniikat

Nollapistekiinnittimien anturointitekniikoilla pyritään seuraamaan ja ohjaamaan kiinnittimen toimintaa kiinnityksen aikana. Anturointi on lähes poikkeuksetta käytössä etenkin automatisoiduissa sovelluskohteissa. Vähimmillään sylintereissä on yleensä paineilmapuhdistusjärjestelmä myös ei-automatisoiduissa käyttökohteissa. Paikoituspintojen ja mekanismien puhtaus on perusedellytys tarkkuudelle ja muiden anturointien käytölle. (Sariola, 2010)

Nollapistekiinnittimien anturointitekniikka hyödyntää samoja tekniikoita kuin muutkin automatisoidut valmistusmenetelmät. Erilaisia anturointitekniikoita ovat elektroninen, hydraulinen ja pneumaattinen anturointi, joista hydraulinen ja pneumaattinen ovat yleisimmin käytössä nollapistekiinnittimissä.

3.6.1 Hydraulinen monitorointi

Hydraulisella kiinnityksen ohjausventtiilillä (hydraulic clamp control valve) voidaan monitoroida nollapistekiinnittimen kiinnityksen onnistumista sen perusteella, ovatko lukitusjouset painaneet lukitusmännän pohjaan asti eli onko vetotappi pohjassa ja kunnolla kiinni (Kuva 45). Monitorointipiiri on erillinen hydraulinen piiri, jossa on sarjassa venttiilit. Kun kaikkien järjestelmän nollapistekiinnittimien kiinnitys on hyväksyttävä ja kontrolliventtiili auki, monitorointipiirin paine antaa painekytkimen avulla signaalin kiinnityksen onnistumisesta.



Kuva 45 Anturointitekniikkaan liittyviä osia kanavineen: 5. Jatkokytkentäventtiili
6. Hydraulinen kiinnityksen ohjausventtiili. (Stark, 2008, s. i.8)

3.6.2 Pneumaattinen monitorointi

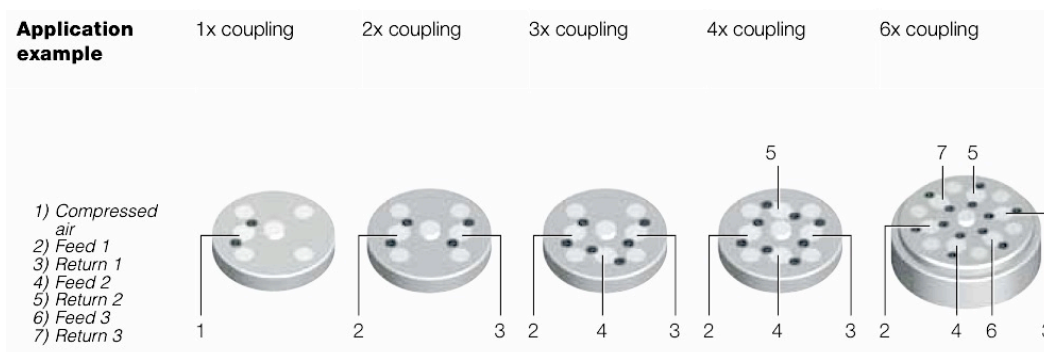
Pneumaattinen monitorointi toimii samalla periaatteella kuin hydraulinen, mutta väliaineena on hydraulioöljyn sijaan paineilma. Venttiilit, anturit ja muut järjestelmän osat tulee olla paineilmakäyttöön soveltuvia. Pneumaattinen monitorointi sopii pneumaattisten kiinnittimien tapaan kohteisiin, joissa vaaditaan puhtautta. (Vischer & Bolli, 2008, s. 51)

3.6.3 Jatkokytkentä

Nollapistekiinnittimen jatkokytkenän avulla on mahdollista käyttää palettiin liitettyjä hydraulisia tai pneumaattisia laitteita, kuten ruuvipuristimia ja kiinnittimiä.

Jatkokytkentä on toteutettu upotetuilla liittimillä, jotka sijaitsevat sekä peruslevyssä että paletissa (Kuva 46). Jokaisessa liittimen kanavan päässä on

sulkuventtiili, joka on normaalisti kiinni. Kun paletti kiinnittyy peruslevyn päälle, venttiilit painautuvat vastakkain ja aukeavat mekaanisesti. Tällöin yhteys peruslevyn ja paletin välille on muodostettu ja paletille sijoitettuja laitteita voidaan käyttää. Kun paletti irrotetaan, venttiilit sulkeutuvat automaattisesti. (Vischer & Bolli, 2008, s. 51)



Kuva 46 Jatkokytentäliittimiä, joissa 1 - 6 erillistä kanavaa eri käyttötarkoituksiin. (Stark, 2008, s. 6.7.)

3.7 Nollapistekiinnittämisen vertailu perinteisiin kiinnitysjärjestelmiin

Nollapistekiinnittimellä on monia etuja verrattuna perinteisiin kappaleenkiinnitysjärjestelmiin, kuten ruuvipuristimiin. Yksi selkeä etu on lyhyt asetus aika, mikä tarkoittaa lyhyempää laitteen hukka-aikaa. Mitä useampia kiinnittämiä tehdään, sitä enemmän edut korostuvat. Myös kiinnityksen toistotarkkuus on hyvä, mikä on myös etu jos kiinnityksiä tulee useita.

3.7.1 Nollapistekiinnittämisen edut

Nollapistekiinnittimen selkeä etu on kiinnitysajan merkittävä väheneminen perinteisiin kiinnittimiin verrattuna. Kiinnittämisessä ja paikoituksessa säästetty aika tarkoittaa lisää aikaa tuotannolle ja vähemmän työkoneen odotusaikaa. Ajansäästö on sitä merkittävämpää mitä enemmän kiinnitysten ja kappaleiden vaihtoja työvuoron aikana joudutaan tekemään. Nollapistekiinnittimen

toimintaperiaate ja käyttäminen ovat yksinkertaisia, mikä vähentää kiinnitysaikaa ja pienentää virheellisen kiinnityksen mahdollisuutta.

Nollapistekiinnittimen etuja ovat mm.

- Nollapisteen toistotarkkuus kiinnitysten välillä
- Työn keskeyttäminen mahdollista ilman, että nollapiste katoaa tai muuttuu
- Soveltuu miehittämättömään ja automatisoituun tuotantoon
- Voidaan asentaa useimpiin vanhoihin laitteisiin alkuperäisten kiinnittimien tilalle
- Kappaleiden kiinnitysaikoihin jopa 90% vähennys
- Kappaleen pinnat jäävät vapaiksi kiinnityselementeistä, kuten leuoista. Tämä mahdollistaa viiden tai erityistapauksessa kuuden sivun työstämisen yhdellä kiinnityksellä
- Kiinnitysvoimien vaikutus, jännitykset ja muodonmuutokset kiinnitettävässä kappaleessa vähäisiä
- Työturvallisuus varmemman kiinnityksen ja pienemmän virheellisen kiinnittämisen riskin ansiosta (Vischer & Bolli, 2008, s. 6)

3.7.2 Nollapistekiinnittämisen huonot puolet

Nollapistekiinnitin ei sovellu kaikkeen kiinnittämiseen. Seuraavassa on lueteltu nollapistekiinnittimen heikkouksia perinteisiin kiinnitysmenetelmiin verrattuna:

- Korkeammat investointikustannukset
- Vaatii yleensä hydraulikka- tai paineilmajärjestelmän irrotukseen
- Epäpuhtauksien ja lastujen haittavaikutus vaatii puhdistusta ja ennaltaehkäisyä
- Vetotapin kiinnityksen ja indeksoinnin vaatimat koneistukset kappaleeseen käytettäessä suoraa kappaleen kiinnitystä vetotapilla sylinteriin lisäävät valmistusvaiheita
- Paikoituspintojen ja vetotapin kiinnityksen asettamat rajoitukset kappaleen muodolle

Selkeimpänä haittapuolena nollapistekiinnittimissä on vetotapin asentaminen kiinnitettävään kappaleeseen. Tämä ongelma tulee kyseeseen kun vetotappi

kiinnitetään suoraan kappaleeseen. Kiinnitettävä kappale on lähtökohtaisesti suunniteltava nollapistekiinnitykseen ja huomioitava, ettei kiinnityksen vaatimista koneistuksista ole haittaa lopullisen tuotteen toiminnalle. Ongelma voidaan kiertää käyttämällä palettia johon on asetettu esimerkiksi ruuvipuristin, mutta tällöin menetetään joitakin nollapistekiinnittimen etuja.

3.8 Sovelluskohteet

Kappaleessa tarkastellaan nollapistekiinnittimen mahdollisia sovelluskohteita konepajateollisuudessa. Tyypillisiä sovelluskohteita ovat mm. lastuava työstö ja hitsaus. Pohditaan nollapistekiinnittimen etuja ja haittoja sekä soveltuvuutta kohteeseen.

3.8.1 Koneistus

Koneistus on yksi tyypillisimmistä nollapistekiinnittimen käyttökohteista. Nollapistekiinnitin sopii koneistuskiinnittimeksi tarkkuutensa, lyhyen asetusajan ja automatisointimahdollisuuden vuoksi.

Työstövoimien kesto ja tukevuus ovat koneistuskiinnittimelle tärkeitä ominaisuuksia. Nollapistekiinnitin vetää kappaletta sylinterin paikoituspintaa vasten suurella voimalla jolloin kappale on tukevasti kiinni. Kiinnityksen jäykkyyttä ja työstövoimien kestoa lisätään kiinnittämällä kappale kahdella, neljällä tai raskaampien kappaleiden tapauksessa vielä useammalla sylinterillä.

Koneistuksessa ja erityisesti automatisoidussa tuotannossa kiinnitinsylinterin puhdistusjärjestelmä on välttämätön varuste. Puhdistusjärjestelmän avulla sylinterin keskireiästä ja paikoituspinnalta puhalletaan paineilman avulla pois epäpuhtaudet. Koneistuksessa syntyvät epäpuhtaudet ovat lastuamisnestettä ja lastuja. Erityisesti lastujen joutuminen nollapistekiinnittimeen vaarantaa kiinnityksen ja siten työn onnistumisen. (Sariola, 2010)

Nollapistekiinnittimen avulla on mahdollista kiinnittää kappale siten, että koneistus on mahdollista viideltä sivulta. Tämä voi joissain tapauksissa tuoda suuren edun kappaleen valmistusajassa, jos vältytään asetusten muutoksilta valmistusvaiheiden välillä.

3.8.2 Hitsaus

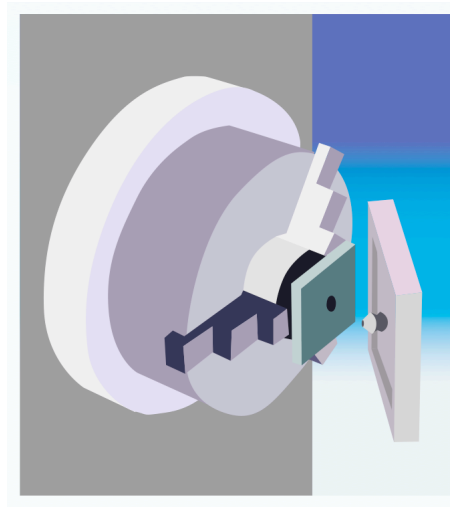
Nollapistekiinnittimen tarkkuus hitsauskiinnittimenä on riittävä. Toleranssit hitsattaessa kaarihitsauksella ovat koneistusta väljemmät. Automatisoidussa hitsauksessa käytetään usein railonhaku- ja seurantajärjestelmiä, mikä lieventää tarkkuusvaatimuksia. Nollapistekiinnittimen tarkkuus voi olla etu esimerkiksi kapearailohitsauksessa sekä lisäaineettomassa hitsauksessa, joissa molemmissa hitsausrillon pinnat ovat erittäin tarkat ja ilmarako pieni. Kappaleeseen kohdistuvat työstövoimat ovat minimaaliset ja tulevat suurimmalta osin kappaleen omasta painosta.

Valmiiksi silloitetun kappaleen kiinnittäminen nollapistekiinnittimellä ei eroa esimerkiksi koneistettavan kappaleen kiinnittämisestä. Jos hitsaamalla liitetään erillisiä kappaleita toisiinsa, kiinnittäminen onnistuu paletin avulla. Kahden erillisen kappaleen asemointiin toistensa suhteen tarvitaan usein jigejä ja monimutkaisempia kiinnittimiä, jotka on mahdollista rakentaa paletille.

Hitsattavan kappaleen kiinnityksessä nollapistekiinnittimen kriittisten osien suojaus on koneistustakin tärkeämpää. Hitsauskipinät ja roiskeet ovat vahingollisempia tarkoille paikoituspinnoille sekä sylinterin sisäisille osille suuren lämpötilan takia. Hitsauskipinöiden vaikutus voidaan eliminoida käyttämällä palettia, joka peittää kaikki kiinnityssylinterit. Näin kaikkien sylinterien paikoituspinnat ovat turvassa paletin alla.

3.8.3 Sorvaus

Käytettäessä nollapistekiinnitintä sorvissa ehdoton vaatimus on kiertoliikkeen estäminen. Tämä vaatii käytännössä indeksoivan sylinterin käyttöä. Sorvauksen kiinnittimenä voidaan käyttää yhtä sylinteriä, joka on kiinnitetty sorvin pakkaan (Kuva 47). Neliönmuotoinen indeksoiva sylinteri on erityisen sopiva sorvaukseen, sillä se sallii suuret työstövoimat kappaleen pyörähtämättä akselinsa ympäri. (Hemo, s. 18)



Kuva 47 Indeksoivan sylinterin käyttö sorvin kolmileukaistukassa. (Hemo s. 20)

Myös indeksointitappien avulla toteutettua indeksoivaa sylinteriä voidaan käyttää sorvauksessa. Tässä tapauksessa vaatimukset kappaleelle ja kappaleen valmistelulle ovat huomattavasti väljemmät, mikä tarkoittaa lyhyempää käsittelyaikaa.

Eräs etu käytettäessä nollapistekiinnitintä sorvauksessa on se, että kappaleessa ei tarvitse olla kiinnityspintaa sorvin karan leukoja varten. Tämä on etu esimerkiksi epäsäännöllisten kappaleiden työstössä. Kappaleen ulkohalkaisija voi myös olla huomattavasti suurempi kuin karan (Kuva 48).



Kuva 48 Vetotappi ja indeksointitappi kiinnitettynä suoraan sorvattavaan kappaleeseen. Sorvin karassa on indeksoiva sylinteri. (Unilock, 2006, s. 20)

Toinen vaihtoehto nollapistekiinnittimen hyödyntämiseen on kappaleessa 3.5.1 esitelty sorvin pikavaihtoistukka. Käytettäessä pikavaihtoistukkaa, noudatetaan kappaleen kiinnittämisessä karaan samoja periaatteita kuin sorvauksessa yleensä. Kappale voidaan kiinnittää pikavaihtoistukkaan sorvin ulkopuolella ja kiinnittää istukka kappaleineen sorviin.

Pikavaihtoistukan käyttö mahdollistaa tarkemman ja helpomman kappaleen kiinnityksen istukkaan. Tämä on etu erityisesti monimutkaisten, ei-pyörähdyssymmetristen kappaleiden kiinnityksessä. Kappaleen asemointi voidaan suorittaa koneen ulkopuolella, missä on usein enemmän tilaa ja paremmat mahdollisuudet tarkkaan työskentelyyn kuin kiinnitettäessä kappaletta suoraan koneeseen. Lisäksi työstökoneen seisonta-aikaa voidaan vähentää kun koneen ei tarvitse olla pysähdyksissä kappaleen asetuksen aikana.

3.8.4 Suurten kappaleiden kiinnitys

Suurten, yli 1000 kg painavien kappaleiden kohdalla nollapistekiinnittimen lukitus- tai kiinnipitovoiman raja saattaa tulla vastaan. Sallittujen voimien ylittäminen voi johtaa mittaheittoihin, kiinnityksen irtoamiseen ja työturvallisuuden vaarantumiseen. Moni valmistaja tarjoaa perusmallisia sylintereitä ja vetotappeja useassa eri koossa. Vetotapin halkaisijat vaihtelevat välillä 20–40 mm ja lukitusvoimat välillä 10–40 kN (Amf, 2006, s. 7; Vischer & Bolli, 2008, s. 6).

Esimerkiksi System 3R:n valmistama Delphin BIG -nollapistekiinnitinjärjestelmä on suunniteltu erityisesti raskaille kappaleille. Järjestelmä sopii suositusten mukaan alle 10 000 kg painaville kappaleille tarjoten saman kiinnitystarkkuuden kuin pienemmät nollapistekiinnittimet. Yhden yksikön nostokapasiteetiksi irrotuksen yhteydessä mainitaan kuitenkin korkeintaan 25 000 kg. Yhden kiinnitinyksikön lukitusvoima on 50 kN ja kiinnipitovoima 200 kN. (System 3R, 2007, s. 50)



Kuva 49 Delphin BIG kiinnitinelementtejä pöydässä. Kiinnittimen ulkoreunalla sijaitsevat lukituskyynnet. (System 3R, 2007, s. 50)

Delphin BIG -nollapistekiinnitinyksikön rakenne poikkeaa merkittävästi aikaisemmin esitetystä. Työstökoneeseen kiinnitettävä osa on tappimainen lukituskyynillä varustettu yksikkö joka vastaa kiinnityssylinteriä (Kuva 49).

Työkappaleeseen tai palettiin kiinnitettävä osa vastaavasti on kuppi, jonka toimintaperiaate vastaa vetotappia (Kuva 50). Kuppeja on keskittäviä, linjaavia ja ohjaavia, kuten tavallisia vetotappejakin. (System 3R, 2007)



Kuva 50 Delphin BIG keskittävä, linjaava ja ohjaava kuppi. Kupprien ohjaava sisäpinta on koneistettu eri kupeissa eri sovitteeseen. (System 3R, 2007, s. 54)

3.8.5 Mittaus

Nykyaikaiset mittauskoneet eivät usein aseta erityisvaatimuksia kappaleen kiinnittämiselle. Koneet osaavat yleensä tulkita kappaleen asennon ja sijainnin automaattisesti ja muodostaa kolmiulotteisen mallin kappaleesta kappaleen asennosta riippumatta. (Matikainen, 2010)

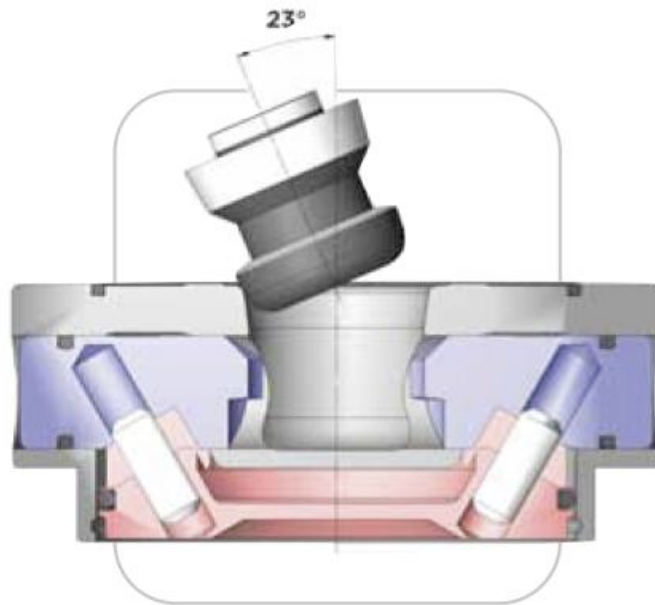
Nollapistekiinnittimen hyödyntäminen ei tuo erityisiä etuja nykyaikaisilla mittauskoneilla (Matikainen, 2010). Jos yhtenäinen nollapistekiinnitinjärjestelmä on käytössä tuotantolaitoksen muissa osissa, voidaan sitä käyttää myös mittauskoneessa (Unilock, 2006, s. 6).

3.8.6 Robotisoitu käyttö ja käyttö FM-järjestelmissä

Nollapistekiinnitin soveltuu nykyaikaisena kiinnitinjärjestelmänä myös automatisoituun käyttöön. Kappaleen asettaminen nollapistekiinnittimeen ei vaadi

erityisosaamista niin ihmiseltä kuin robotiltakaan. Robotti kykenee ohjelmoituna viemään vetotapin sylinteriin. Sylinterin lukitusjärjestelmä hoitaa kiinnityksen.

Kaikilla nollapistekiinnittimillä on määrätty rajat sille, missä kulmassa ja kuinka paljon sivussa keskilinjasta vetotappi voidaan tuoda sylinteriin (Kuva 51). Manuaalisessa käytössä nämä rajat harvemmin tulevat vastaan, mutta automatisoidussa käytössä ne on hyvä huomioida. Vetotapin muotoilussa on huomioitu mahdollisimman hyvä ohjautuvuus sylinterin keskireikään ja kuten mainittu, kappaleenkäsittelyrobotit ovat riittävän tarkkoja kappaleen asetukseen.



Kuva 51 Esimerkki vetotapin asetuskulmasta kiinnitysvaiheessa. (Unilock, 2006, s. 5)

Automatisoituun käyttöön suunnitelluissa kiinnitinmallistoissa paikoituspintojen puhtaanapitoon on kiinnitetty erityistä huomiota. Useimmissa malleissa on sylinterin keskireikää suojaamassa kupu, joka työntyy pois tieltä kun vetotappi kiinnitetään sylinteriin (Kuva 52). Suojaus estää epäpuhtauksien joutumista keskireiän paikoituspinnalle ja lukitusjärjestelmään.



Kuva 52 Automaatiokäyttöön suunniteltu sylinteri. Keskireiän päällä suoja, pienet automaattisesti puhdistuvat paikoituspinnot. (Stark automation, 2005, s. 9)

FM-järjestelmien ja koneistuskeskusten kiinnittimiltä vaadittuja ominaisuuksia tukevan kiinnityksen lisäksi ovat mahdollisimman monelta sivulta työstäminen (Aaltonen et. Al. 1997, s. 245). Nollapistekiinnitin tarjoaa mahdollisuuden työstämiseen viideltä sivulta, erikoistapauksessa kuudelta. Koneistaminen näin monelta sivulta vähentää tarvetta kääntää kappaletta työstön aikana ja näin ollen helpottaa ohjelmointia ja ylipäänsä yksinkertaistaa valmistusprosessia.

Kuten kaikissa automatisoiduissa käytössä, puhdistus- ja anturointijärjestelmät ovat välttämättömiä myös nollapistekiinnittimessä. Kiinnittimen osien pitäminen puhtaana esim. lastuista on edellytys luotettavalle kiinnittämiselle. Puhdistuksen merkitys korostuu miehittämättömässä ajossa. (Sariola, 2010)

3.8.7 Modulaarinen kiinnitin nollapistekiinnittimen paletilla

Nollapistekiinnittimen paletille voidaan rakentaa myös modulaarisia kiinnittimiä käyttäen valmiita rasterilevyjä tai muita sopivia alustoja (Kuva 53). Modulaarisen kiinnittimen käyttäminen lisää nollapistekiinnittimen joustavuutta ja mahdollistaa myös pienet valmistusmäärät. Modulaarisen kiinnittimen tapauksessa ei välttämättä saavuteta nollapistekiinnittimelle tyypillisiä nopeita kiinnitysaikoja, mutta voidaan hyödyntää muita nollapistekiinnittimen ominaisuuksia. Modulaarinen kiinnitin voidaan valmistella työstökoneen ulkopuolella ja kiinnittää nopeasti työstökoneeseen nollapistekiinnittimellä. Tämä vähentää työstökoneen odotusaikaa.



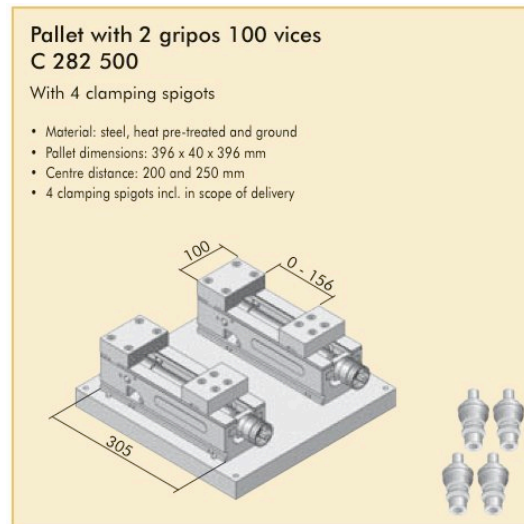
Kuva 53 Indeksioivia paletteja, joihin on rakennettu yksinkertaiset standardiosista rakennetut kiinnittimet. (Unilock, 2006, s. 23)

3.9 Esimerkkejä nollapistekiinnittimen sovelluskohteista

Tyypillinen nollapistekiinnittimen käyttökohde on paletti, jossa on ruuvipuristin kappaleen kiinnittämistä varten. Paletti panostetaan valmiiksi kiinnitysasemalla työstökoneen ulkopuolella ja voidaan asettaa nopeasti nollapistekiinnittimeen joko suoraan työstökoneeseen tai kappaleenkäsittelylaitteeseen.

Eräs tyypillinen kiinnitysratkaisu on ruuvipuristin nollapistekiinnittimen paletilla (Kuva 55). Ruuvipuristin mahdollistaa kappaleen kiinnittämisen ilman vetotappien reikiä tai muita muutoksia. Kiinnitystarkkuus on kuitenkin lähes

nollapistekiinnittimen luokkaa, sillä ruuvipuristimien koordinaatit on tarkasti määritelty. Kun kappale on kerran asetettu tarkasti puristimiin, sen nollapiste on tiedossa ja nollapistekiinnittimien avulla kappaletta voidaan kiinnittää ja irrottaa tarkkuuden säilyessä. Myös laitevalmistajat tarjoavat omia ratkaisuitaan ruuvipuristimen kiinnittämiseksi nollapistekiinnittimeen (Kuva 54).

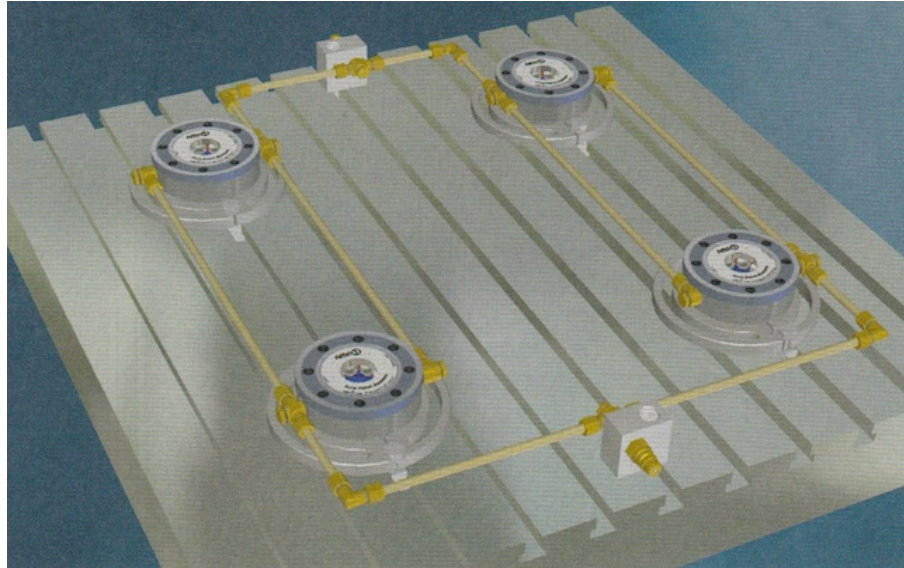


Kuva 54 Laitevalmistajan tarjoama valmis paletti ruuvipuristimilla. (System 3R, 2007, s. 42)



Kuva 55 Ruuvipuristimia nollapistepaletilla. (Vischer & Bolli, 2008, s. 3)

Nollapistekiinnitinjärjestelmän asentaminen vanhoihin työstökoneisiin on mahdollista käyttäen pinta-asennettavia sylintereitä (Kuva 56). Näin saadaan vanhan konekannan kiinnitysjärjestelmää päivitettyä ja useiden koneiden kiinnityslaitteiston yhtenäistäminen on mahdollista.



Kuva 56 Pinta-asennettuja sylintereitä sekä hydraulikka- ja ilmapuhalluslinjat työstökoneen T-urapöydällä. (AMF, 2006, s. 12)

4. KAPPALEEN KIINNITTÄMISEN TESTAUS NOLLAPISTEKIINNITTIMELLÄ

Työn kokeellinen osuus suoritettiin Lappeenrannan teknillisen yliopiston konepajatekniikan laboratoriossa kesä-elokuussa 2010.

Kokeellisen osuuden tarkoituksena on tutkia nollapistekiinnittimen soveltuvuutta työkappaleen kiinnittämiseen ja koneistukseen vaakakaraisessa koneistuskeskuksessa ja FM-järjestelmässä. Saatujen koetulosten pohjalta pohdittiin myös nollapistekiinnittimen soveltuvuutta muovaustyökalun kiinnittimeksi muovauspuristimeen.

4.1 Laitteisto

Kokeellisessa osuudessa käytettävä laitteisto on Lappeenrannan teknillisen yliopiston konepajatekniikan laboratorion FMS-LUT automaattinen FM-järjestelmä. (LUT)

4.1.1 FM-järjestelmä

Koneistukseen liittyvät testit suoritetaan FMS-LUT -järjestelmällä. FMS-LUT on joustava tuotantojärjestelmä, joka koostuu automaattisesta pinoavasta varastosta, kappaleenkäsittelyrobotista, kahdesta koneistuskeskuksesta, sorvista ja hitsausrobotista.

Testeissä käytetty FM-järjestelmän koneistuskeskus on vaakakarainen Kitamura MyCenter HX-400iF (Kuva 57). Koneistuskeskuksessa on kahden paletin vaihtojärjestelmä, jossa toinen paletti on koneistuksessa ja toinen mahdollista panostaa samaan aikaan. Koneistuskeskusta käytettiin kiinnittimen testaukseen ja koekappaleiden koneistukseen.



Kuva 57 Testeissä käytetty Kitamura-koneistuskeskus

FM-järjestelmään kuuluu automaattinen pinoava varasto omalla Camlinen varasto-ohjelmistolla. Varaston ominaisuuksiin kuuluvat kappaleiden korkeuden tunnistava valokennojärjestelmä. Koneenäköjärjestelmällä voidaan kuvata varastoitavat paletit ja pitää yllä lavapaikkatietojärjestelmää. (LUT)

Kappaleenkäsittelyrobotti on kiertyvänivelinen Motoman EA1900M, jota käytetään kappaleiden hakemiseen automaattivarastosta ja sorvin, kahden koneistuskeskuksen ja hitsaussolun automaattiseen panostukseen. Käytössä on useita eri tarraimia riippuen käsiteltävän kappaleen muodoista sekä koneesta, johon kappaleet asetetaan. Kappaleenkäsittelyrobotia käytettiin kappaleen asettamiseen nollapistekiinnittimeen testaukseen.

4.1.2 Nollapistekiinnitin

Kokeissa käytetyt nollapistekiinnittimet olivat oli AMF:n K20-sarjan neliön muotoisia sylintereitä.

- Tyyppi: AMF 6370EQ-20HA-001
- Lukitusvoima: 20 kN
- Kiinnipitovoima 55 kN
- Hydraulinen lukitusjärjestelmä
- Ilmapuhallus

Koneistuksessa käytettiin kiinnittimenä kahden nollapistekiinnittimen peruslevyä 6370S2-20HA-002 neliönmuotoisilla upotetuilla sylintereillä (Kuva 58). Paletin mitat olivat 400 x 200 mm ja sylintereiden keskipisteiden etäisyys 200 mm. Peruslevy kiinnitettiin vaakatasoon kulmahyllyyn toiselle koneistuskeskuksen paletille.



Kuva 58 Koneistuskeskuksessa käytetty peruslevy kahdella AMF:n indeksoivalla sylinterillä, käyttövoima hydraulikka

Nollapistekiinnittimien hydraulinen paine luotiin Amf 6370V-001. Painevahvistimeen kytkettävien K20-sylintereiden maksimimäärä on 10. Testissä

painevahvistimeen oli kytketty ainoastaan peruslevy eli kaksi sylinteriä. Painevahvistin tuottama paine säädettiin 50 bariin, joka oli sylintereidien irrotukseen vaadittu minimipaine. Peruslevy liitettiin suoraan koneistuskeskuksen paletinvaihtojärjestelmän hydraulii- ja paineilmalinjoihin, joihin painevahvistin ja paineilma liitettiin koneistuskeskuksen ulkopuolelta.

Painevahvistimen pneumaattinen ohjausventtiili muutettiin manuaalisesta sähköohjattuun magneettiventtiiliin, jota ohjattiin jalkapolkimella. Painevahvistin sijoitettiin koneistuskeskuksen katolle, jolloin manuaaliventtiilin käyttö olisi ollut epäkäytännöllisempää jalkapolkimeen verrattuna. Syy sijoituspaikkaan oli paletinvaihtojärjestelmän hydraulii- ja pneumatiikkaliitinten sijainti keskuksen katolla pyörivässä akselissa. Sijoittamalla painevahvistin koneistuskeskuksen katolle, saatiin öljy- ja ilmaletkut reititettyä siten, etteivät ne hankaudu puhki tai liittimet kierry auki kun paletinvaihdin pyörii (Kuva 59).



Kuva 59 Painevahvistin sijoitettuna koneistuskeskuksen päälle. Painevahvistinta käytetään sähköohjatusti. Hydraulii- ja paineilmalinjat kulkevat koneistuskeskuksen palettikarusellin akselin läpi kiinnittimelle.

4.2 Työkalun valmistusvaiheet

Kokeellisen osuuden tarkoituksena oli testata työkalun valmistusvaiheita nollapistekiinnitintä hyödyntäen ja tarkastella niiden mahdollisuutta ja järkevyyttä. Työkalun valmistus aloitettiin teräsaihiosta, joka kiinnitetään manuaalisesti työstökoneeseen ja johon koneistetaan nollapistekiinnitykseen tarvittavat paikoituspinnan muodot ja vetotapin kiinnitysreiät. Aihiota paikoituspintoineen ja vetotappeineen kiinnitettiin nollapistekiinnittimeen ja sille tehtiin koneistukset ja mittaukset.

4.2.1 Kiinnittämisen valmistelu

Nollapistekiinnitin kiinnitettiin kulmahyllyyn. Koska kyseessä oli ensimmäinen kerta kun nollapistekiinnitintä käytettiin tässä koneistuskeskuksessa, täytyi nollapistekiinnittimen paikka koneen koordinaatistossa selvittää. Kun valmistelut on kerran tehty, ei niitä tarvitse tehdä uudestaan jatkossa.

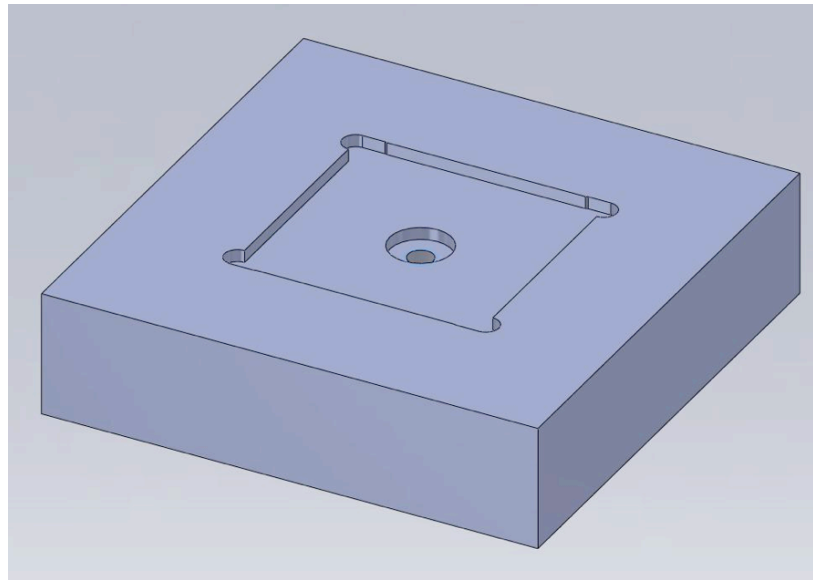
Nollapistekiinnittimien peruslevyn kiinnittämisen jälkeen mitattiin molempien sylinterien nollapiste työstökoneen mittauskärjellä. Mittaustulokset ja syyt mittavirheisiin on esitetty taulukossa. Mitattu nollapiste sijaitsee sylinterin keskireiän keskipisteessä uloimman paikoituspinnan tasolla. Mitatut nollapisteeset ohjelmoitiin työstökoneeseen.

4.2.2 Paikoituspintojen koneistus

Neliön muotoisen sylinterin vaatimien muotojen koneistukseen laadittiin NC-koodi. Ohjelmoinnin lähtökohtana oli luoda ohjelma, joka soveltuu käytettäväksi teräsaihioille eri työstökoneissa mahdollisimman pienin muutoksin. Ohjelman avulla koneistetaan määriteltyyn pisteeseen vetotapin kiinnitysreikä kierteineen ja upotuksineen ja sen ympärille indeksointiin ja työstövoimia vastaanottamaan neliön muotoinen upotus, joka vastaa 100 x 100 mm neliön muotoisen nollapistesylinterin muotoa (Kuva 60). Neliö-upotuksessa kaikki neljä sivua toimivat tässä mallissa paikoitus- ja tukipintoina. Neliön kulmissa on helpotukset

valmistuksellisista syistä sekä mahdollistamassa kiinnityksen ilman kappaleen jumittumista.

Koneistettavan muodon mallintamiseen käytettiin SolidWorks 2009 -ohjelmaa. SolidWorksista (Kuva 60). Mallit tuotiin EdgeCAM-ohjelmaan, jolla ohjelmoitiin työstökoneen radat ja työstöarvot. EdgeCAM:illa luodut NC-ohjelmat siirrettiin koneistuskeskukselle verkon välityksellä. Ohjelmistojen etuna oli muutosten helppo lisääminen malleihin jälkikäteen. Muutokset pystyttiin päivittämään EdgeCAM:iin ja NC-koodiin mallintamatta kaikkea alusta alkaen uudestaan.

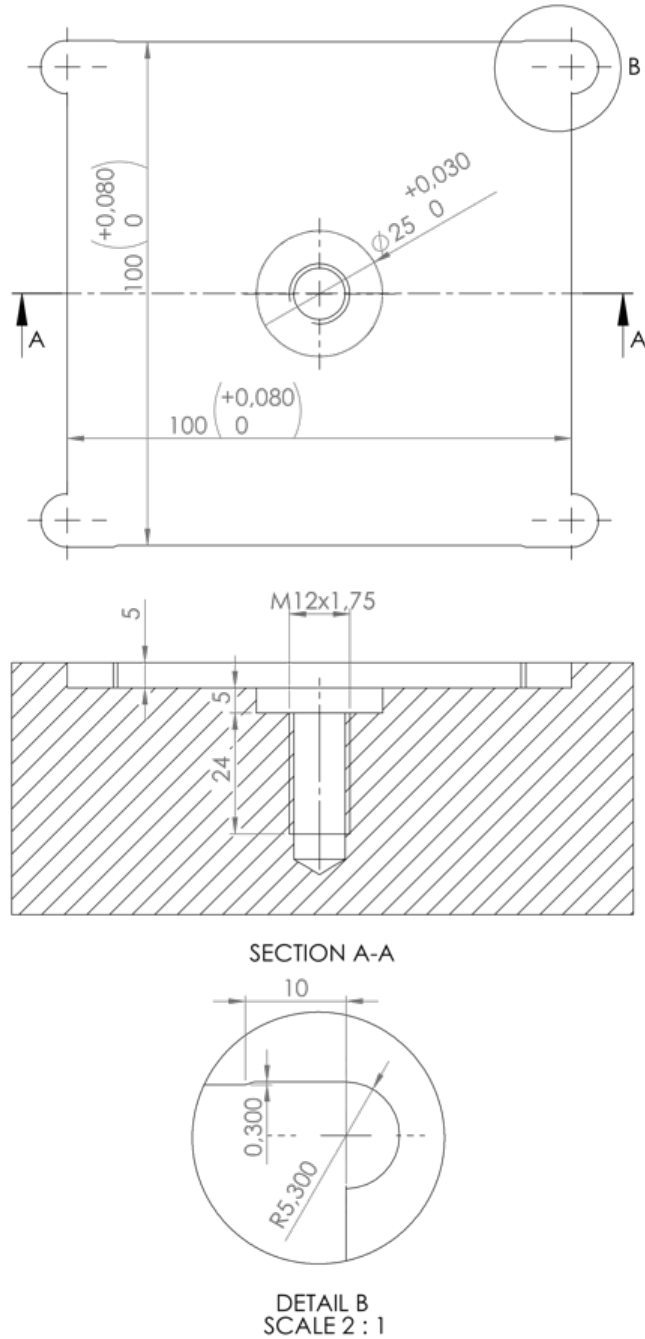


Kuva 60 SolidWorks-ohjelmalla mallinnettu paikoituspinta

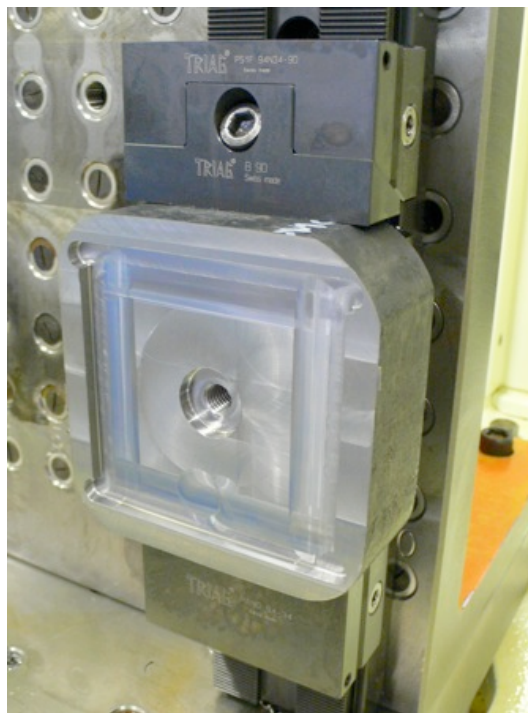
Muotojen koneistamiseen ei ollut saatavilla erityisiä ohjeita tai toleransseja, joten ne haettiin kokeilemalla. Koneistuksen tehtiin 120 x 120 x 50 mm metalliseen aihioon (Kuva 62). Mallinnetun ja koneistetun paikoituspinnan piirustus, mitat ja toleranssit on esitetty kuvassa 61.

Muodon syvyys koneistettiin määrämittaan, mutta neliön ja vetotapin upotukset jätettiin 0,5 mm alimittaan. Upotusten reunoilta poistettiin materiaalia noin 0,1 mm kerrallaan kunnes vetotappi ja sylinteri mahtuivat paikoilleen. Neliöupotuksen sivun pituus 100,08 mm. Tällöin osat pystyttiin asettamaan paikoilleen käsin ilman että kappale juuttui kiinni sylinteriin. Sopivan välilyksen

neliöupotukseen voidaan arvioida olevan noin 0,05 mm. Upotuksen syvyys on 5 mm.



Kuva 61 Mallinnetun ja koneistetun paikoituspinnan piirustus.



Kuva 62 Koekappaleeseen koneistettu paikoitusmuoto, keskellä vetotapin asennusreikä

Vetotapin upotus on myös 5 mm syvä ja sen halkaisijan tarkkuus määrittelee lopullisen tarkkuuden kappaleelle. Vetotapin upotuksen halkaisija on 25,00 mm ja reiän tulisi olla mahdollisimman lähelle samankokoinen tai hieman yli. Koekappaleeseen koneistetun upotuksen lopullinen halkaisija oli 25,03 mm, jolloin vetotapissa tuntui ennen ruuvin kiristämistä pieni välys. Välyksen vaikutusta toistotarkkuuteen tutkittiin ja tuloksia on nähtävissä taulukossa 3.

4.2.3 Automatisoitu panostus

Nollapistekiinnittimen panostusta testattiin FM-järjestelmän kappaleenkäsittelyrobotilla. Kiinnitettävä koekappale oli edellisten testien yhden vetotapin koneistettu kappale.

Kappaleenkäsittelyrobotti ohjelmoitiin lähestymään nollapistekiinnitintä kohti z-akselin suuntaisesti. Robotin tarkkuus havaittiin riittäväksi kappaleen asettamiseen.

Irrottaessa kappaletta kiinnittimestä, havaittiin paikoituspinnan reunojen takertuvan nollapistekiinnittimen teräviin reunoihin ja vaikeuttavan irrotusta. Useimmilla irrotuskerroilla kappale pysyi kiinni leuoissa, mutta jäi vinoon tehden uudelleenasetuksen mahdottomaksi. Tilannetta pyrittiin korjaamaan muuttamalla kappaleen paikoituspintaa siten, että ainoastaan kaksi viereistä neliön sivua ovat paikoittavia. Kahdelta sivulta koneistettiin materiaalia pois siten, etteivät ne enää ottaneet kiinni sylinterin paikoituspintoihin. Myös paikoitustarkkuuden mittaukset suoritettiin tästä eteenpäin koekappaleella, johon koneistukset oli tehty.

4.2.4 Paikoitustarkkuuden mittaus

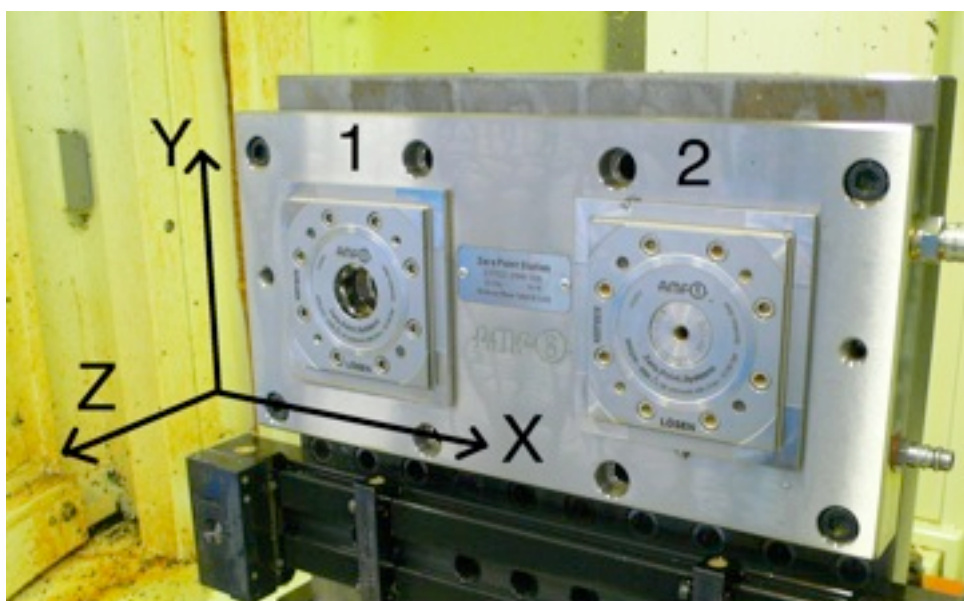
Koekappaleen ulkoreunoille koneistettiin symmetriset pinnat, joiden etäisyys ohjelmoidusta keskipisteestä oli yhtä suuri. Koneistettuja pintoja mittaamalla selvitettiin todellisen nollapisteen ja työstökoneeseen ohjelmoidun nollapisteen ero. Pintojen koordinaatit mitattiin lähestymällä kappaletta mittalaitteella ylhäältäpäin. Kappaletta käännettiin 180 mittausten välillä, jolloin saatiin selville keskipisteen heitto. Keskipisteen mittaheitoksi saatiin x-suunnassa 0,010 mm ja y-suunnassa 0,025 mm. Keskipisteen korjauksen ja uuden pintojen koneistuksen jälkeen keskipisteen heitoksi mitattiin X- ja Y-suunnassa 0,005 mm. Uudet korjatut nollapistet kirjattiin työstökoneen muistiin ja niitä käytetään aina kun koneistetaan nollapistekiinnittimiin kiinnitettyjä kappaleita.

Taulukossa 2 on esitetty sylinterien mitattuja koordinaatteja. Koordinaatit mitattiin työstökoneen mittauskärjellä. Sylinterien keskipisteet on laskettu ohjelmallisesti keskireiän sivun ja neliön ulkoreunan koordinaattien perusteella. Mittausero on näiden kahden menetelmän antamien tulosten ero. Lisäksi keskipisteelle laskettiin korjattu arvo koekappaleen todellisen keskipisteen avulla. Korjattu arvo olisi lopullinen työstökoneeseen syötettävä kiinnittimen keskipisteen koordinaatti.

Taulukko 2 Nollapistesylinterien keskipisteiden mittaustulokset ja korjatut koordinaatit

| Kiinnitin 1 | Keskipisteen mittaus keskireiästä | Keskipisteen mittaus neliön sivuista | Mittauserot | Korjattu arvo |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------|---------------|
| x | -505,036 | -505,044 | 0,008 | -505,026 |
| y | -380,258 | -380,253 | -0,005 | -380,270 |
| z | -622,713 | | | -622,713 |

| Kiinnitin 2 | Keskipisteen mittaus keskireiästä | Erotus Kiinnitin 1:een | Kommentti |
|-------------|-----------------------------------|------------------------|--|
| x | -305,037 | -199,999 | Nimellismitta 200 mm |
| y | -380,295 | 0,037 | Epätarkat pultit |
| z | -622,793 | 0,080 | Kulmahylly vinossa 0,07mm mittauspisteiden välillä |

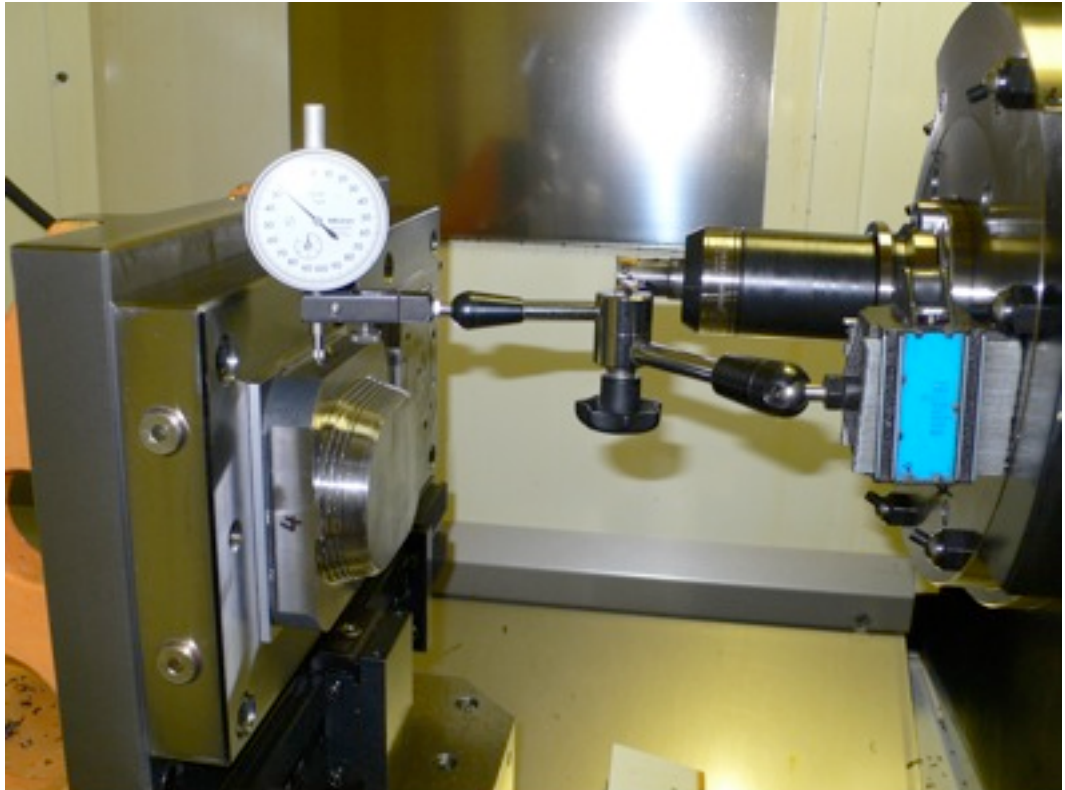


Kuva 63 Nollapistesylinterit ja koneistuskeskuksen koordinaatisto.

Kummankin sylinterin keskipisteet selvitettiin, jotta saadaan selville peruslevyn ja kulmahyllyn suoruus. Mittaehdot ja selitykset on esitetty taulukossa 2 työstökoneen koordinaatein (Kuva 63) ilmoitettuna.

Mittaerosta x-suunnassa nähdään peruslevyn suuri valmistustarkkuus. Kiinnittimen mittaehdot y-suunnassa johtuneet osittain peruslevyn kiinnittämiseen

käytetyistä pulteista. Kiinnittimille suunniteltuja tarkkamittaisia erikoispultteja ei ollut saatavilla joten jouduttiin turvautumaan tavallisiin. Mittaheitto z-suunnassa johtuu kulmahyllyn kiinnityksestä koneistuskeskuksen palettiin ja osittain työstökoneen epätarkkuuksista, sillä koneen pyöritettävä c-akseli sijaitsee paletissa.



Kuva 64 Toistotarkkuuden mittausjärjestely koneistuskeskuksessa.

Kappaleen koordinaattien mittaus tehtiin työstökoneen karaa hyödyntäen. Karaan kiinnitettiin 0,001 mm mittakello, jonka lukema otettiin ylös samassa mittauspisteessä (Kuva 64). Mitattaessa kappaleen koordinaattia, kara ajettiin aina samaan pisteeseen. Lähestyminen tehtiin aina samasta suunnasta työstökoneen välysten vaikutuksen eliminoimiseksi. Tarkoissa mittauksissa työstökoneen välykset tulevat esille. Kun kara oli mittauspisteessä, mittakellon lukemasta nähtiin kappaleen pinnan koordinaattien muutos kun kappaletta oli mittausten välillä irrotettu tai käännetty. Taulukossa 3 on esitetty nollapistekiinnittimen toistotarkkuuden mittaustulokset.

Taulukko 3 Nollapistekiinnittimen toistotarkkuuden mittaustulokset

| Mittaus 1: neliö koepala, toistotarkkuus | | | | |
|---|---------------------|---------------------------|-------------------------|--|
| Työstökoneen koordinaatit mittauspisteessä | | | | |
| | x | 50,000 | | |
| | y | 256,000 | | |
| | z | 242,000 | | |
| Neliön sivu | Mittaus nro. | Mittakellon lukema | Lukema kun x=125 | Kommentti |
| 1 | 1 | 0,031 | 0,04 | Koneistettu pinta vinossa noin 0,01 mm |
| | 2 | 0,034 | | |
| | 3 | 0,038 | | |
| | 4 | 0,038 | | |
| | 5 | 0,038 | | |
| 2 | 1 | 0,062 | 0,074 | Pinta vinossa 0,012 mm |
| | 2 | 0,063 | | |
| | 3 | 0,062 | | |
| | 4 | 0,062 | | |
| | 5 | 0,062 | | |
| 3 | 1 | 0,065 | 0,07 | Pinta vinossa 0,005 mm |
| | 2 | 0,065 | | |
| | 3 | 0,065 | | |
| | 4 | 0,066 | | |
| | 5 | 0,065 | | |
| 4 | 1 | 0,027 | 0,034 | Pinta vinossa 0,007 mm |
| | 2 | 0,027 | | |
| | 3 | 0,027 | | |
| | 4 | 0,026 | | |
| | 5 | 0,026 | | |

Mittaus 2: Toistotarkkuus paletin vaihdolla ja uudelleenkiinnityksellä

Neliön Mittaus Mittakellon sivu nro. lukema

| | | |
|---|---|-------|
| 1 | 1 | 0,041 |
| | 2 | 0,040 |
| | | |
| 2 | 1 | 0,065 |
| | 2 | 0,063 |

Mittaus 3: Toistotarkkuus z-suunnassa paletin vaihdolla ja uudelleenkiinnityksellä

Työstökoneen koordinaatit mittauspisteessä

| | |
|---|---------|
| x | 70,000 |
| y | 370,000 |
| z | 171,000 |

Mittaus Mittakellon nro. lukema

| | |
|---|-------|
| 1 | 0,041 |
| 2 | 0,041 |
| 3 | 0,041 |

Mittaus 4: Vetotapin irrotus ja 90 asteen kääntö kiinnitysten välillä

| Neliön sivu | Mittaus nro. | Mittakellon lukema | Kommentti |
|-------------|--------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | 1 | 0,026 | Lähtötilanne |
| 2 | 2 | 0,025 | 90° |
| 3 | 3 | 0,016 | 180° |
| 4 | 4 | 0,024 | 270° |
| 1 | 5 | 0,034 | Alkuperäinen tapin asento |

Toistotarkkuusmittaukset sivulta 1 vetotapin irrotusten jälkeen

| | | |
|---|---|-------|
| 1 | 1 | 0,043 |
| 1 | 2 | 0,042 |
| 1 | 3 | 0,043 |

Mittaus 5: Pitkän koekappaleen kiinnityksen toistotarkkuuden mittaukset

Työstökoneen koordinaatit mittauspisteessä

| | |
|---|---------|
| x | 50,000 |
| y | 239,600 |
| z | 260,000 |

Mittaus Mittakellon nro. lukema

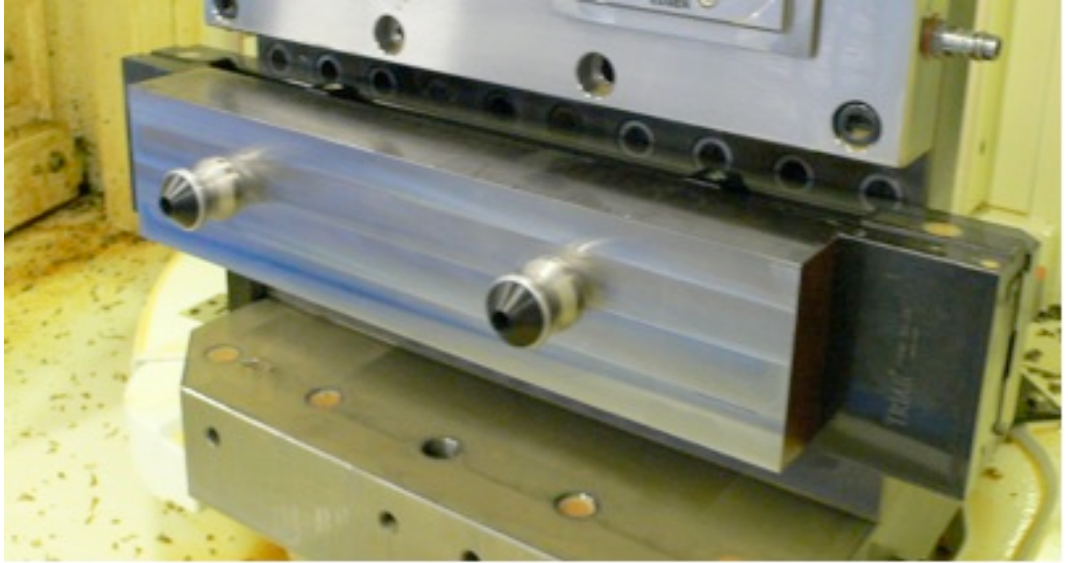
| | |
|---|-------|
| 1 | 0,037 |
| 2 | 0,035 |
| 3 | 0,037 |

Kommentti

Pitkän kappaleen mittaukset eivät ole täysin luotettavia, sillä mittauspinta oli rouhittu

4.2.5 Kiinnitys kahdella sylinterillä

Neliön muotoisten nollapistekiinnittimien tiedettiin sopivan myös useamman vetotapin kappaleen tai paletin kiinnittämiseen. Tällöin paikoituspinnoista täytyi koneistaa ainoastaan vetotapin reikä upotuksineen sekä kiinnityspinta (Kuva 65). Paikoituspinnan koneistamiseen käytettiin samaa ohjelmaa kuin edellisessä koekappaleessa, mutta neliön muotoisen upotuksen koneistus asetettiin alkamaan 5 mm kappaleen pinnan yläpuolelta. Täten kappaleen pintaan syntyi vain 5 mm syvä vetotapin upotus ja kierteinen kiinnitysreikä. Kappaleen pinta oli koneistettu suoraksi koko kappaleen matkalta.



Kuva 65 Kahden vetotapin koekappaleen paikoituspinta koneistettuna ja vetotapit asennettuna

Kahden sylinterin kiinnityksessä käytettiin yhtä keskittävää ja yhtä linjaavaa vetotappia. Valmistajan paleteille ilmoittama toleranssi vetotappien keskinäiselle etäisyydelle x-akselilla oli $\pm 0,01$ mm. Koneistuskeskuksen tarkkuus havaittiin riittäväksi ja kappale voitiin kiinnittää sylintereihin. Linjaavan vetotapin paikoituspintojen ollessa linjassa y-akselin kanssa, x-akselin suunnassa mitattiin olevan 0,3 mm välystä, mikä sallii pienet mittaheitot vetotappien välisessä etäisyydessä. Väly johtuu linjaavan vetotapin olakkeen pienemmästä halkaisijasta muualla kuin paikoittavien pintojen kohdalla.

4.2.6 Koneistuksen testaus

Koekappaleeseen koneistettiin muottityökalua vastaavia muotoja, nollapistekiinnittimen testaamiseksi. Kappaleesta rouhittiin a-mitalla 1, 2 ja 3 mm syviä lastuja (Kuva 66). Kappale pysyi hyvin paikallaan eikä kappaleessa esiintynyt epänormaaleja värinöitä. Toistotarkkuus mahdollisti koneistuksen jatkamisen kappaleen irrotuksen jälkeen ilman erillistä paikoitusta.



Kuva 66 Muottityökalun muotoja rouhinnan jälkeen. Lastuamissyvyys 1 - 3 mm

5. KOETULOSTEN ANALYSOINTI

Kappaleessa on esitetty edellisen kappaleen kokeiden perusteella tehtyjä huomioita sekä parannusvaihtoehtoja liittyen kappaleen kiinnittämiseen.

5.1 Vaatimukset kiinnitettävälle kappaleelle

Kiinnitettävässä kappaleessa on oltava paikoituspinnat sylinterin otsapintaa vasten sekä paikoituspinta ja kiinnitysreikä vetotapille. Lisäksi indeksoivaa sylinteriä käytettäessä kappaleeseen on valmistettava indeksoinnin vaatimat muodot. Automatisoitu käyttö asettaa lisää vaatimuksia paikoituspinnalle. Näistä vaatimuksista lisää kappaleessa 5.4.

Kuvassa 61 on esitetty koekappaleeseen koneistettu itse suunniteltu paikoituspinta, joka on yhteensopiva AMF K20 100 mm neliön muotoisen sylinterin kanssa. Neliön muotoisen upotuksen kulmiin on koneistettu ympyrän muotoiset helpotusurat neliön teräviä reunoja varten. Helpotuksen enimmäisetäisyys upotuksen reunasta on 10 mm, jotta sylinterin paikoituspinta ei jää kokonaan helpotuksen kohdalle.

Vetotapin upotus koneistettiin 10 mm varsijyrsimellä, jonka vuoksi muodon poikkileikkaus ei välttämättä ole täysin ympyrän muotoinen. Tarkempaan tulos saavutettaisiin käyttämällä suoraan oikealla halkaisijalla olevaa jyrshintä tai avartamista. Lisäksi vetotapin upotus ja paikoittava olake voidaan tehdä 5 mm sijaan hieman syvemmiksi. Tällöin varmistetaan, että kulmiin mahdollisesti jäävät pyöristykset eivät haittaa paikoitusta. Jos pyöristyssädettä on liikaa, kappale tai vetotappi voivat jäädä kantamaan ja tarkkuus kärsii.

Paikoituspinnat ja tukipinnat voidaan mallintaa kappaleeseen, jolloin aiemmin mainittuun paikoituspinnan NC-ohjelma koostuisi ainoastaan vetotapin reiän ja upotuksen koneistuksista. Tukipintojen rouhinta ja viimeistely on helpompaa yhdistää kappaleen muiden osien koneistukseen. K20-sylinteri mahdollistaa kappaleen uloimman otsapinnan käyttämisen paikoituspintana neliö-upotuksen

pohjan sijaan. Tällöin tukipintoja on oltava kuitenkin vähintään kaksi ja nekin toisiinsa nähden vastakkain.

Neliö-upotukseen on jätettävä hieman välystä sylinterin muotoon nähden, sillä upotuksessa kaikki neljä sivua tulivat sylinterin muotoa vasten. Jos paikoitus toteutetaan esimerkiksi yhdellä pinnalla, voidaan välystä mahdollisesti pienentää. Paikoituksen toteutus yhdellä pinnalla on myös helpottava tekijä asetusvaiheessa etenkin jos asetus on automatisoitu. Upotuksen reunan viistäminen helpottaa myös kappaleen asetusta. Reunan viistämistä ei tehty koekappaleeseen. Käsinaiset onnistui kuitenkin myös ilman viistettä.

Neliöupotuksen ja vetotapin upotuksen syvyydet ovat 5 mm. Tämän lisäksi vetotapin kiinnitysruuvien kierreosuus ulottuu 24 mm päähän vetotapin upotuksen pohjasta. Kierrereiän pohjalle on jätettävä tilaa noin 5 mm, jotta ruuvi voidaan kiertää riittävän syväälle. Kappaleen vaadittu ainevahvuus vetotapin kohdalla on noin 40 mm. Muualla upotuksen kohdalla vaadittu ainevahvuus on noin 15 mm. Lisäksi tälle alueelle ei voida tehdä mitään kappaleen toimintaan liittyviä muotoja.

Vetotapin kiinnitysruuvien vaatimaa tilaa voidaan erityistapauksessa vähentää lyhentämällä ruuvien kierrettä. Tämä mahdollistaa levymäisten kappaleiden kiinnittämisen tai kappaleen kiinnittämisen kohdasta, jossa ainevahvuus on alle 40 mm. Suunniteltaessa vetotapin kiinnitystä lyhyemmällä kierteellä on kuitenkin huomioitava sylinterin maksimivetovoima ja jätettävä riittävän monta kierrosta kierrettä kappaleeseen ja ruuviin. Jos pultin lujuusluokka on 10.9 (AMF, 2006, s.) ja kappale on terästä S235, niin teräksen maksimijännitys on määräävä tekijä. Liitteen I laskujen perusteella M12 kierrettä on oltava vähintään 7 mm eli 4 nousua. Kun tähän lisätään kierukkaporan ja kierretapin vaatima vara reiän pohjalla, vaaditaan yhteensä noin 10 mm syvä reikä.

5.2 Paikoitus- ja toistotarkkuus koneistuksessa

Nollapistekiinnittimen suurin etu puristintyökalun koneistuksessa on toistotarkkuus. Koneistettava kappale kiinnitetään koneistuksen jälkeen puristimeen ja muovausta testataan. On todennäköistä, että työkalun puoliskoja joudutaan koneistamaan uudelleen esimerkiksi kulumisen takia oikeiden välysten aikaansaamiseksi. Nollapistekiinnitin on hyvä ratkaisu tässä tapauksessa, sillä toistotarkkuus on kokeessa tehtyjen mittausten perusteella alle 0,005 mm. Muotti voidaan irrottaa kiinnittimestä ja asettaa takaisin ilman nollapisteen hakemista, mikä nopeuttaa muotin korjausvaihetta merkittävästi.

5.3 Kappaleenkäsittely

FM-järjestelmän kappaleenkäsittelyrobotin tarkkuus oli riittävä kappaleen asetusta varten. Robotti ohjelmoitiin lähestymään tarraimella nollapistekiinnitintä suoraan Z-akselia pitkin. Robotisoitua käyttöä varten paikoituspinnan muotoon on hyvä koneistaa viiste, joka ohjaa kappaleen paremmin kiinnittimen muotoja vasten. Testeissä käytetyissä nollapistekiinnitimissä ei ole anturointia, mikä tuo haasteensa robotisoidulle kappaleen kiinnitykselle.

Kappaleen paikoitusmuodon sivujen määrällä ei havaittu olevan vaikutusta kappaleen paikoitustarkkuuteen. Tämän vuoksi automatisoidussa käytössä kannattaa hyödyntää ainoastaan yhtä tai kahta paikoittavaa sivua käytettäessä neliön muotoista indeksoivaa kiinnityssylinteriä.



Kuva 67 Kappaleenkäsittelyrobotin lineaaritarrain, jossa leukojen lisäosat sylinterimäisien kappaleiden käsittelyyn

Kappaleen paikoitus automaattivarastoon on mahdollista hyödyntämällä vetotappia ja yhtä aihion sivua. Paikoituspintojen on oltava valmiiksi koneistettu ja vetotappi asennettu aihioon. Aihiot asetetaan pöydälle vetotapin puoli alaspäin. Pöydässä on pyöreä reikä vetotapille ja yhtä aihion sivua vasten ohjain, jotta aihio pysyy halutussa asennossa.

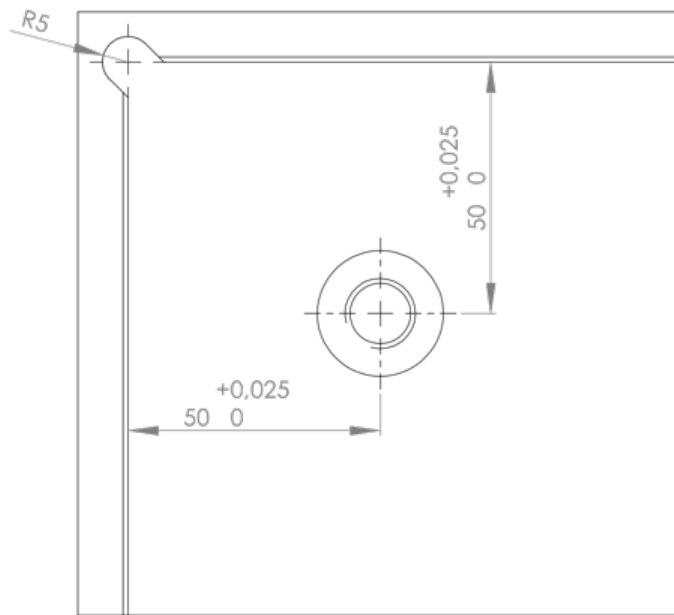
Kappaleen ja aihion siirto robotilla onnistuu lineaaritarraimen ja kappaleelle sopivien leukojen avulla (Kuva 67). Lineaaritarrain soveltuu prismaattiselle aihiolle. Tarranta varten aihion ulkoreunoille, kahdelle vastakkaiselle sivulle koneistetaan yhdensuuntaiset tasot. Myös valmista työkalua voidaan käsitellä lineaaritarraimella, kun muotin urospuoliskoon jätetään koneistuksen jälkeen tarraimen vaatimat suorat pinnat.

5.4 Nollapistekiinnityksen suunnittelu automatisoidulle käytölle

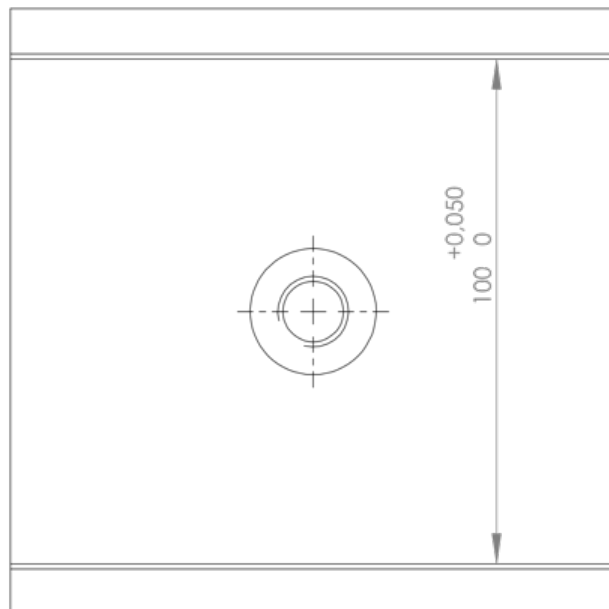
Nollapistekiinnittimen automatisoitu panostus asettaa uusia vaatimuksia kiinnittimelle, kappaleelle ja kappaleenkäsittelyrobotille.

Kokeissa havaittiin, että indeksoivan sylinterin paikoitusura aiheuttaa ongelmia robotisoidussa kappaleen kiinnittämisessä ja irrottamisessa. Kappale jumiutuu helposti kiinnittimeen irrotusvaiheessa ja ohjautuu huonosti oikealle kohdalle asetusvaiheessa. Manuaalisessa asetuksessa näitä ongelmia ei ole.

Ongelmat sekä asetus- että irrotusvaiheessa ovat korjattavissa paikoituspintojen muutoksella. Koneistettua paikoitusmuotoa korjattiin siten, että vähennettiin työstövoimia vastaanottavia tukipintoja neljästä kahteen. Tämä muutos estää upotuksen reunan takertumisen sylinterin reunaa vasten. Yksi vaihtoehto on jättää kaksi viereistä sivua tukipinnoiksi (Kuva 68), kuten testikappaleelle tehtiin. Ratkaisu on valmistuksen ja mittojen tarkistuksen kannalta vaikeampi kuin toinen vaihtoehto. Toinen mahdollisuus on koneistaa paikoituspinnan upotus koko kappaleen läpi jatkuvaksi, jolloin kaksi vastakkaista sivua toimivat tukipintoina (Kuva 69). Tämä vaihtoehto on myös laitevalmistajien suosima ja huomattavasti yksinkertaisempi valmistaa.



Kuva 68 Ensimmäinen vaihtoehto paikoituspinnan koneistukseen. Tukipintana toimivat kaksi viereistä sivua. Kulmaan täytyy jyrsiä helpotus.



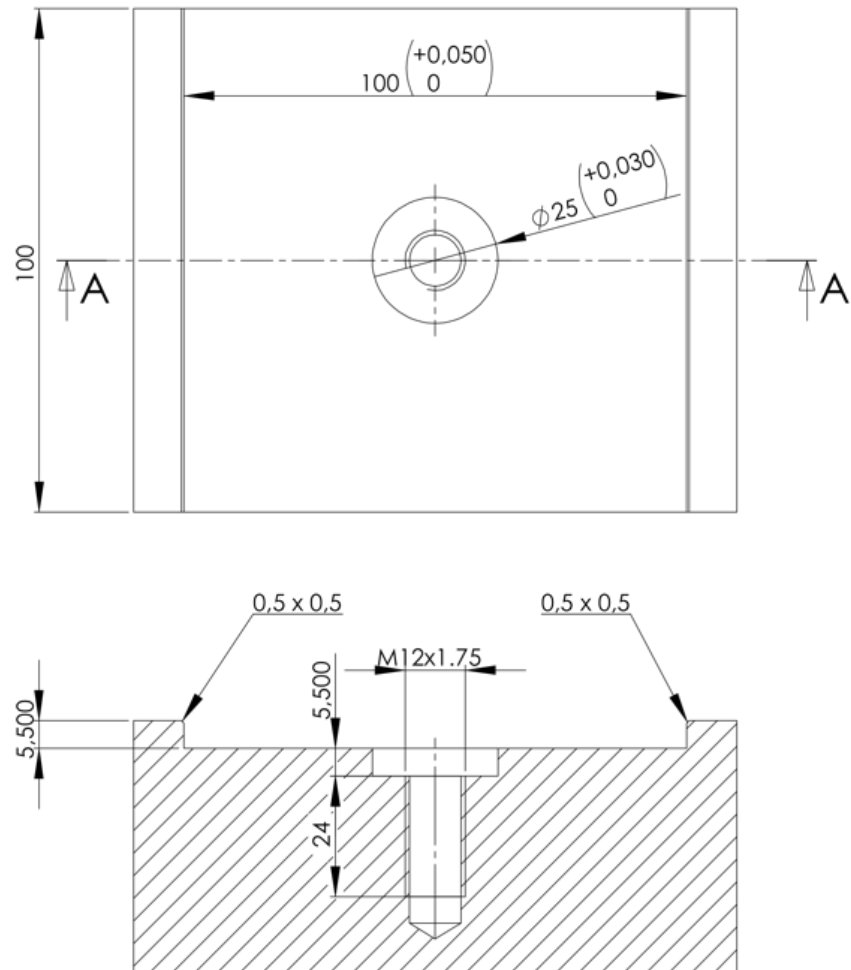
Kuva 69 Toinen vaihtoehto paikoituspinnan koneistukseen. Vastakkaiset sivut toimivat tukipintoina ja upotus voidaan koneistaa kappaleen koko matkalta läpi

Toinen mahdollinen muutos olisi koneistaa 0,5 x 0,5 mm viisteet upotuksen reunoille, kuten kuvissa 68 ja 69. 0,5 mm viistäminen jälkeen tukipintaa jää jäljelle riittävästi työstövoimien keston varmistamiseksi. Viiste helpottaa kappaleen ohjautumista indeksoivaan sylinteriin ja vähentää myös irrotusvaiheessa terävän reunan takertumista sylinteriin.

Lastuavan työkalun nirkonsäteen aiheuttamaa sisäkulmien pyöreydellä saattaa olla vaikutusta kappaleen ja vetotapin kiinnityksessä. Vaikutuksen todettiin poistuvan kun upotuksia syvennettiin 5 mm:stä 5,5 mm:iin. Tällöin z-suuntainen paikoituspinta muuttuu kappaleen uloimmalle osalle. Myös kappaleen ulointa pintaa voidaan käyttää paikoituspintana AMF K20-sylinterillä. Näin pienellä upotuksien syventämisellä ei ole vaikutusta vetotapin paikoitukseen tai lukitukseen. Alkuperäisestä päivitetty paikoituspinnan piirustus on esitetty kuvassa 70.

Muottipuoliskojen koneistusajan ollessa melko pitkä, useita tunteja ja todennäköiset tuotantomäärät pieniä, kappaleenkäsittelyn automatisointi ei välttämättä ole kannattavaa. Yhden paletin, johon kiinnitetään muotin molemmat osat, koneistusaika on arviolta kolme tuntia, sillä muotin pinnat koneistetaan suurella tarkkuudella pienillä työkaluilla. Jos muotteja valmistettaisiin suurempia määriä, yhdessä vuorossa yksi työstökone valmistaisi 2 - 3 valmista muottiparia. Käyttämällä kuutta palettia, työstökoneelle riittäisi työstettävää yli kahdeksi työvuoroksi, mikä mahdollistaisi miehittämättömän tuotannon yön yli.

Muotin naaraspuolisko on merkittävästi suurempi ja painavampi kuin urospanolisko. Aihion paino aiheuttaa haasteen kappaleenkäsittelylle robotilla. Kahdella leualla kiinnitettynä painavan aihion käsittely voi olla epätarkkaa ja kappaleen irtoamisriski on suuri.



SECTION A-A

Kuva 70 Testitulosten perusteella päivitetty piirustus paikoituspinnan muodoista ja mitoista

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kappaleessa esitellään työn teoriaosasta ja käytännön osuudesta muodostettuja johtopäätöksiä.

6.1 Nollapistekiinnittimen soveltuvuus käyttökohteeseen

Nollapistekiinnittimen voidaan todeta soveltuvan hyvin testattuun käyttökohteeseen, eli muotin valmistukseen. Aihiot voidaan kiinnittää yhdelle peruslevylle samaan aikaan käyttäen yhtä kiinnityssylinteriä aihiota kohden. Nollapistekiinnittimen toistotarkkuus on merkittävä etu muotin koneistuksessa, sillä voidaan irrottaa kiinnityksestä, testata muovauspuristimessa ja mahdollisesti tehdä korjauksia. Korjauksien koneistaminen onnistuu nollapistekiinnittimen avulla ilman uutta nollapisteen hakemista aina kun kappale kiinnitetään uudestaan.

Sama kiinnitinjärjestelmä koneistuskeskuksessa ja puristimessa on helppokäyttöinen ja yksinkertainen ratkaisu. Indeksoivien sylinterien ansiosta muottipuoliskot kohdistuvat automaattisesti oikeaan asentoon toisiinsa nähden. Muottityypin ja kuluneiden muottien vaihtaminen onnistuu lyhyessä ajassa vaikka kesken valmistuksen - vain pienellä katkolla.

Nollapistekiinnitin vastaanottaa työstövoimat suoraan otsapinnan välityksellä metalli vasten metallia. Vetotappi tai kiinnittimen osat kiinnittimen sisällä eivät altistu puristimen työstövoimille.

Koska testauksen kohteena ollut valmistettava kappale oli työkalu, jonka toimivuus on tärkeämpi ominaisuus kuin ulkonäkö, on ehdottomasti kannattavaa kiinnittää kappale suoraan nollapistekiinnittimeen. Vetotappi ja paikoituspinnaat eivät ole puristintyökalun toiminnallisia osia.

6.2 Nollapistekiinnittämisen kannattavuus

Muottityökaluun tehtäviä muotojen korjauksia ja kuluneen työkalun uudelleenkonetusta ajatellen nollapistekiinnittimen edut ovat selvät. Nopea asetus ja pysyvä määritely nollapiste nopeuttavat korjaustoimenpiteitä ja lisäävät luotettavuutta. Kiinnitettävän kappaleen nollapisteen voidaan luottaa olevan samassa pisteessä ilman uudelleenpaikoituksia ja nollapisteen hakua.

6.3 Nollapistekiinnittimen soveltuvuus muovaustyökalun kiinnitykseen

Tehtyjen testauksien ja laitevalmistajien julkaisemien tietoihin pohjautuen voidaan todeta nollapistekiinnittimen sopivan muovauspuristimen työkalun kiinnitykseen. Mm. seuraavat seikat ovat nollapistekiinnittimen etuja tässä sovelluskohteessa:

- Kiinnittimen tarkkuus on riittävä kahden työkalun puolikkaan keskinäiseen paikoittamiseen.
- Toistotarkkuus mahdollistaa työkalun irrotuksen, korjauksen ja uudelleenkiinnittämisen ilman erillistä paikoitusta.
- Nollapistekiinnitin kestää otsapintaan suuntautuvia työstövoimia hyvin, koska voimat välittyvät kiinnittimen jäykkää runkoa pitkin. Kiinnitettävä kappale on metalli vasten metallia kontaktissa kiinnittimen kanssa.
- Kiinnityssylinteri on mahdollista asentaa mihin tahansa asentoon.

Kun kiinnitettävä kappale on työkalu, ei ulkonäöllä ole merkitystä, toisin kuin kuluttajamarkkinoille suunnatuilla tuotteilla. Tämä antaa täydet mahdollisuudet kiinnittää vetotappi ja koneistaa paikoituspinnat suoraan kappaleeseen, sen ominaisuuksien huononematta. Teräksiset muottityökalut on suunniteltava tukeviksi, jotta ne kestävät muovaamisprosessin työstövoimat. Tällöin kappaleissa on yleensä riittävästi materiaalihyvyyttä kiinnityksen vaatimille koneistuksille. Muotin naaraspuoliskon pohja on ainut paikka, jossa materiaalinpaksuus saattaa olla riittämätön vetotapin kierrereialle. Tällöin voidaan suunnitella työkalu uudelleen nollapistekiinnittintä varten tai lyhentää vetotapin kiinnitysruuvia.

7. YHTEENVETO

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin nollapistekiinnittimen perusasioita, toimintaa sekä kiinnittämisen filosofiaa. Kokeellisessa osuudessa testattiin käytännössä nollapistekiinnittimen toimintaa. Teorian ja käytännön perusteella pohdittiin huomioonotettavia asioita nollapistekiinnittintä käyttöönotettaessa sekä soveltuvuutta eri käyttökohteisiin.

Nollapistekiinnitin on kappaleenkiinnitin, joka tarjoaa hyvän toistotarkkuuden sekä mahdollistaa yksinkertaisen ja nopean asetuksen verrattuna perinteisiin kiinnitysmenetelmiin. Sen haittapuolia ovat kappaleelle tehtävien valmistelujen määrä sekä joustamattomuus ilman erityisjärjestelyjä. Joustamattomuutta voidaan korjata yhdistelemällä nollapistekiinnittimiin perinteistä kiinnitintekniikkaa. Nollapistekiinnitin koostuu kiinnitinsylinteristä, joka toimii kiinnityksen alustana ja nollapisteenä. Kiinnitettävään kappaleeseen asennetaan vetotappi, jonka avulla kappale lukitaan sylinteriin. Lukituksen irrotus tapahtuu hydraulisesti tai pneumaattisesti. Lukituksen ylläpito toimii mekaanisesti, eikä jatkuvaa painetta sylinterissä tarvita.

Nollapistekiinnittimen erilaisia muunnelmia on lukuisia eri sovelluskohteisiin. Erilaisien kiinnitintyyppien määrästä voidaan päätellä, että laitevalmistajat ovat tehneet paljon kehitystyötä, vaikka julkaistua materiaalia on liikkeellä niukasti. Tyypillisimpiä nollapistekiinnittimen käyttökohteita ovat koneistus ja sorvaus. Yhtenä mahdollisena nollapistekiinnittimen sovelluskohde on muovauspuristimen muottityökalun kiinnitys. Sovelluskohteessa vaaditaan hyvää paikoitustarkkuutta sekä työstövoimien kestoa. Nollapistekiinnittimen paikoitustarkkuuden voidaan testien perusteella todeta olevan alle valmistajien ilmoittaman 0,005 mm. Kiinnittimien tukeva rakenne mahdollistaa työstövoimien välittämisen kappaleesta työstökoneen runkoon.

Nollapistekiinnitin on kappaleenkiinnitintyyppi, joka tekee tuloaan Suomen konepajoihin, eikä ole vielä laajamittaisesti käytössä. Vaikka nollapistekiinnitin tarjoaa teoriatasolla selkeitä etuja perinteisiin kiinnittimiin verrattuna, sen

käyttöönottoon liittyy monia huomioitavia asioita. Erittäin yksinkertaisten kappaleiden, kuten prismaattisten särmiöiden, kiinnittäminen nollapistekiinnittimellä ei välttämättä ole järkevää. Mutta jos kiinnittämisessä vaaditaan toistotarkkuutta, tulee nollapistekiinnitin kysymykseen.

Olemassa olevan kiinnitinlaitteiston muuttaminen nollapistekiinnitinjärjestelmäksi on useassa tapauksessa monimutkainen prosessi, eikä ole aina järkevää. Sen sijaan uutta valmistusjärjestelmää käyttöönotettaessa nollapistekiinnitin kannattaa ottaa huomioon yhtenä vaihtoehtona.

LÄHDELUETTELO

Kirjalliset lähteet

Aaltonen, K. & Andersson, P. & Kauppinen V. Levytyö- ja työvälinetekniikat, 1. painos, WSOY Helsinki. Porvoo 1997, ISBN 951-0-21438-8, 264 s.

Amf Zero-Point Systems Catalog 2006 [valmistajan tuoteluettelo]

Anderson, D. M. Design For Manufacturability and Concurrent Engineering. CIM Press. USA 2004. ISBN 1-878072-23-4, 412 s.

Bralla, J. G. Design for Manufacturability Handbook, Revised Edition. McGraw-Hill, USA 1999. ISBN 0-07-007139-X

Hoffman, E.G. Jig and Fixture Design, 5. Painos, Delmar learning New York. Kanada 2004, ISBN-13 978-1-4018-1107-5, 369 s.

Immonen, Jarkko. 2005. Koneistuskeskuksella työstettävien työkappaleiden kiinnittimet, Lappeenranta: Lappeenrannan teknillisen yliopiston konetekniikan osasto, [viitattu 13.3.2010]. Konetekniikan erikoistyö 56 s.

Nee, A.Y.C. & Whybrew, K. & Senthil kumar, A. Advanced Fixture Design for FMS, Springer-Verlag London UK. Iso-Britannia 1995, ISBN 3-540-19908-X, 204 s.

Vischer & Bolli, Tuoteluettelo 7.52, Nollapistekiinnitinjärjestelmä 2008 [Valmistajan tuoteluettelo]

Haastattelut

Matikainen, T., Imatran Työstöasennus Oy [haastattelu 26.5.2010]

Rissanen, J., Teräskonttori Oy [puhelinkeskustelu 3.5.2010]

Sariola, H., FMS-Tools Oy [puhelinkeskustelu 10.5.2010]

Internet-lähteet

Erowa Workholding Systems [valmistajan internet-sivut] (päivitetty 2009)
[Viitattu 20.9.2010] saatavissa: <http://www.erowa.com/en/products-solutions/workholding-systems.html>

FMS-Tools [maahantuojaan internet-sivut] (päivitysaika tuntematon) [Viitattu 10.10.2010] saatavissa: <http://www.fms-tools.fi>

Halder [valmistajan internet-sivut] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu 29.9.2010] saatavissa: <http://www.halder.de>

Hemo Werkzeugbau Zero.Point.Systems [P. Aro Oy:n verkkosivuilla] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu 18.5.2010] saatavissa: <http://www.p-aro.com/ladattavat.html>

LUT Metalli - Konetekniikka [LUT:n www-sivuilla] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu 29.4.2010] saatavissa: <http://www.lut.fi/fi/technology/lutmechanical>

System 3R, Delphin - the Modular Clamping System 2007 [System 3R international AB:n www-sivuilla] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu: 25.10.2010] saatavissa: <http://www.system3r.com/3r/en/products-services/products/delphin.aspx>

Stark Zero Point Clamping System Speedy Classic catalog 2008 [Stark Inc.:n www-sivuilla] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu: 25.11.2010] saatavissa: <http://www.stark-inc.com/English/downloads/index.php>

Stark Components for full automatic production – from setting up to processing 2005 [Valmistajan tuoteluettelo] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu: 25.11.2010] saatavissa: <http://www.stark-inc.com/English/downloads/index.php>

Unilock Zero-Point Clamping Systems Catalog 2006 [Big Kaiser Precision Tooling Inc. -internet-sivuilla] [Päivitysaika tuntematon] [Viitattu: 25.11.2010]
saatavissa: www.bigkaiser.com/unilock.php

Zero Point Systems AG <http://pdf.directindustry.com/pdf/zero-point-systems-ag/general-catalogue-of-zeropoint-quickclamping-cylinder/38584-23120.html>

Laskelma vetotapin kiinnitysruuvien kierteiden vähimmäismäärälle

Kiinnitysruuvien kierre on M12x1,75.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (1)$$

F = sylinterin lukitusvoima (20 000 N)

A = kierteen leikkautuva pinta-ala

A_k = yhden kierteen nousun leikkautuva pinta-ala

τ = teräksen myötöraja (235 N/mm²)

S = varmuuskerroin (3)

$$A = nA_k \quad (2)$$

$$A_k = \pi \cdot 12\text{mm} \cdot 1,75\text{mm} = 65,9\text{mm}^2$$

$$\tau = S \frac{F}{A} = \frac{SF}{nA_k}$$

$$n = \frac{SF}{\tau A_k} = \frac{3 \cdot 20000\text{N}}{235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 65,9\text{mm}^2} \quad (1)$$

$$n = 3,9$$

Varmuuskertoimella 3 vaaditaan vähintään 4 kierteen nousua, jotta varmistetaan kierteen kestävyys. Vaadittu kierreosan pituus 1,75 mm nousulla on 7 mm.