LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma
BK10A0401 Kandidaatintyö ja seminaari

NOLLAPISTEKIINNITTÄMISEN HYÖDYNTÄMINEN PALETOINNISSA
ZERO-POINT CLAMPING SYSTEMS UTILIZATIONS IN PALLETIZING

Lappeenrannassa 10.06.2013

Mikko Vesanto

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1 JOHDANTO 5
1.1 Työn tavoitteet 5
1.2 Työn rajaus 5
1.3 Työn lähtökohdat 5
2 TYÖKAPPALEEN KIINNITTÄMINEN KONEISTUSKIINNITTIMELLÄ 7
2.1 Työkappaleen paikoittaminen 7
2.2 Työkappaleen kiinnittäminen kolmipistekiinnitysjärjestelmällä 8
2.3 Kiinnitysvoimat 9
2.4 Kiinnityskohtien valinta 10
2.5 Kiinnitintyypit 11
3 NOLLAPISTEKIINNITTÄMINEN 12
3.1 Nollapistekiinnittimen rakenne 12
3.1.1 Vetotappi 13
3.1.2 Sylinteri 16
3.2 Lukitusmenetelmät 16
3.2.1 Kuulalukitus 16
3.2.2 Holkkilukitus 17
3.2.3 Kynsilukitus 17
3.3 Sylinterityypit 18
3.4 Valmiit pohjalevymallit 20
3.5 Nollapistekiinnittimen lukituksen vapauttaminen 21
3.5.1 Hydraulinen lukituksen vapautus 22
3.5.2 Pneumaattinen lukituksen vapautus 22
3.5.3 Paineenvahvistin 23
3.6 Nollapistekiinnittimen puhdistus 23
3.7 Kiinnitystarkkuus 24
3.8 Nollapistekiinnittimeen vaikuttavat voimat 24
3.9 Edut ja rajoitukset 26
3.10 Nollapistekiinnittimien hinnat 27

3.11 Nollapistekiinnittimien huolto 29
4 NOLLAPISTEKIINNITYKSEN KÄYTTÖ G4099 VENTTIILIPESÄN PALETOINNISSA 30
4.1 Nollapistekiinnityksen käyttö paletin ja koneistuskiinnittimen liittämisessä 30
4.2 Nollapistekiinnityksen käyttö venttiilipesän liittämisessä 30
4.2.1 Ensimmäisen vaiheen paletointi 31
4.2.2 Toisen vaiheen paletointi 31
4.3 Kustannussäästöt 32
4.4 Tuotantoprosessissa vaikuttavien voimien laskenta 33
4.4.1 Työstöstä aiheutuvat rasitukset 34
4.4.2 Palettipesukoneesta aiheutuvat rasitukset 35
5 NOLLAPISTEKIINNITTIMEN VALINTA 36
5.1.1 Koneistuskiinnittimen liittäminen nollapistekiinnityksellä 36
5.1.2 G4099 venttiilipesän liittäminen toisessa vaiheessa nollapistekiinnityksellä .. 38
6 JOHTOPÄÄTÖKSET 41
LÄHTEET 44
LIITTEET
LIITE 1: Laitetoimisten kiinnittimien edut ja haitat.
LIITE 2: Vuotuisen säästön laskenta koneistuskiinnittimen vaihdossa.
LIITE 3: Ominaislastuamisvoiman laskenta.
LIITE 4: Syöttövoiman laskenta.
LIITE 5: Lukitusvoiman (F_E) minimiarvon laskenta neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä työstön aikana.
LIITE 6: Lukitusvoiman (F_E) minimiarvon laskenta kahden nollapistekiinnittimen järjestelmässä työstön aikana.
LIITE 7: Lukitusvoiman (F_E) minimiarvon laskenta neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä palettipesukoneessa.
LIITE 8: Lukitusvoiman (F_E) minimiarvon laskenta kahden nollapistekiinnittimen järjestelmässä palettipesukoneessa.

SYMBOLILUETTELO

D_c	Poran halkaisija [mm]
f_n	Syöttö/kierros [mm/r]
f_z	Syöttö/teräsärmä [mm]
F_E	Lukitusvoima [N]
F_g	Maan vetovoima [N]
F_V	Syöttövoima [N]
k_c	Ominaislastuamisvoima [N/mm^2]
k_{1c}	Ominaislastuamisvoima 1 mm^2 lastulle [N/mm^2]
k_r	Asetuskulma [°]
L_V	Terän keskilinjan etäisyys nollapistekiinnittimen otsapinnasta Y-akselin suunnassa [mm]
m_c	Ominaislastuamisvoima kasvu (k_c) lastunpaksuuden kasvaessa
M_E	Lukitusvoimasta aiheutuva momentti [Nm]
M_V	Syöttövoimasta aiheutuva momentti [Nm]
γ_0	Rintakulma [°]

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan nollapistekiinnittimien tuomia mahdollisuuksia Sandvik Mining and Construction Oy:n hydrauliikkavasaroita valmistavan yksikön paletointisolussa. Sandvikin FMS-järjestelmän keskiönä toimii hyllystöhissi, jonka ympärille on rakennettu kirjava tuotantoympäristö, joka koostuu NC-sorveista, NC-koneistuskeskuksista, palettipesukoneesta ja paletointisolusta. Työssä käsiteltävä tuotantovaihe on hydrauliikkavasaran venttiilipesän paletointi paletointipaikalla. Venttiilipesät koneistetaan yrityksessä koneistuskeskuksella.

1.1 Työn tavoitteet

Työn ensisijaisena tavoitteena on selvittää, millaisia vaikutuksia nollapistekiinnittämiseen siirtymisellä olisi yrityksen paletointisolussa. Toissijaisena tavoitteena on selvittää, millainen nollapistekiinnitinjärjestelmä olisi sopiva yrityksen tarpeisiin.

1.2 Työn rajaus

Työ keskittyy nollapistekiinnitystekniikan hyödyntämiseen koneistuskiinnittimen ja paletin liittämisessä, sekä koneistettavan työkappaleen liittämisessä suoraan palettiin ilman erillistä koneistuskiinnitintä. Venttiilipesämallistosta valittiin G4099 venttiilipesä, jolle edellä mainittu selvitys tehtiin. G4099 venttiilipesä valittiin korkean tuotantomäärän takia.

1.3 Työn lähtökohdat

Yrityksessä on toteutettu lay-out muutos, jonka seurauksena aikaisemmin kahden FMS:n ympärillä toiminut koneistus on siirretty yhden FMS:n ympärille. Koneistuspalettien määrä suhteessa käytössä olevien koneistuskiinnittimien määrään on liian pieni, koska koneistuskäytöstä pois jätetyn FMS:n paletit ovat eri kokoisia kuin koneistuskäyttöön jätetyn FMS:n paletit. Lay-out muutos aiheuttaa palettivajeen koneistuskäyttöön jätetyssä FMS:ssä, koska kaikki koneistuskiinnittimet siirtyvät samaan FMS:ään. Yritys joutuu valmistamaan myös varaosia vanhoihin hydrauliikkavasaramalleihin, jolloin myös vanhojen mallien koneistuskiinnittimet täytyy säilyttää. Tuotantoon on myös tulossa uusia malleja, jotka vaativat omat koneistuskiinnittimensä. Nollapistekiinnittimillä pyritään

nopeuttamaan yleistyvää koneistuskiinnittimen vaihtoa, vähentämään työn kuormitusta ja välttämään uusien palettien ostoa. (Savinainen, 2013).

Sandvikilla on tällä hetkellä käytössä manuaaliset koneistuskiinnittimet, joihin työstettävä kappale kiinnitetään standardikiinnitysrautojen avulla. Kiinnitystekniikka on aikaa vievä menetelmä ja ergonomisesti epäystävällinen työntekijöitä kohtaan. Muttereiden vääntö momenttiin rasittaa työntekijöiden olkapäitä, joka pitkällä aikavälillä voi johtaa työkunnon heikentymiseen.

Paletinvaihtoprosessin työvaiheet (Mallinen, 2013):

1) Kiinnitysruuvien (9 kappaletta) irrottaminen.
2) Koneistuskiinnittimen nosto paletin päältä siltanosturilla.
3) Paletin ja koneistuskiinnittimen välisen kosketuspinnan ja pulttien kierteiden puhdistaminen kemikaaleilla ja hiontakivellä.
4) Paletin pinnan rasvaus kuparitahnalla.
5) Uuden koneistuskiinnittimen alapinnan putsaus ja koneistuskiinnittimen ohjaustappien asennus.
6) Uuden koneistuskiinnittimen nosto paletin päälle siltanosturilla.
7) Koneistuskiinnittimen liittäminen palettiin kiinnitysruuveilla.

Nykyinen paletinvaihtoprosessi kestää noin 45 minuuttia. Suurimman osan ajasta vie paletin ja koneistuskiinnittimen välisen kosketuspinnan sekä kierteiden puhdistus. Aikaa tähän työvaiheeseen kuluu lähes 20 minuuttia.

2 TYÖKAPPALEEN KIINNITTÄMINEN KONEISTUSKIINNITTIMELLÄ

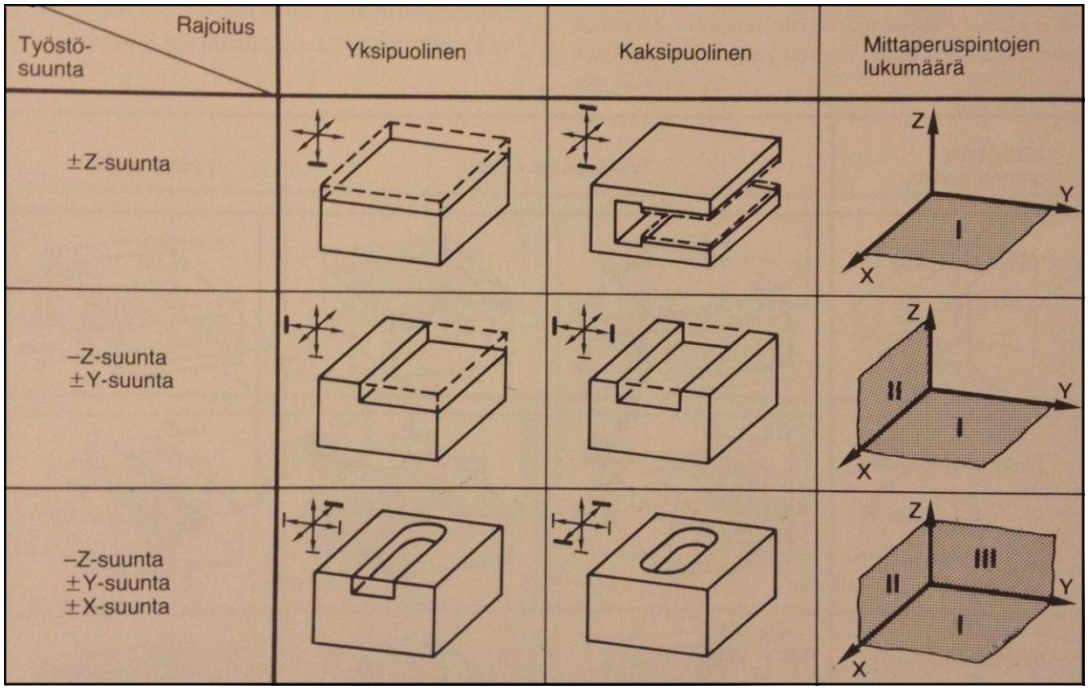
Koneistuskiinnittimen tehtävä on työkappaleen paikoittaminen oikeaan asentoon. FMS:ssä työkappaleen kiinnittämisen ja irrottamisen tulee olla nopeaa, edullista, tarkkaa, turvallista ja kiinnittimien tulee olla pitkäikäisiä. Kiinnittämisessä tulee suosia yleiskiinnittimiä tuotantomäärien ollessa pieniä. Yksittäisen tuotteen tuotantomäärän kasvaessa kustannuksiltaan kalliimpien erikoiskiinnittimien käyttö tulee kannattavammaksi. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 7.)

2.1 Työkappaleen paikoittaminen

Työkappaleen on pysyttävä paikallaan siihen vaikuttavista voimista riippumatta. Vaikuttavia voimia ovat keskipakoisvoimat, lastuamisvoimat, kiinnitysvoimat, lämpötilanmuutoksista aiheutuvat voimat ja hitausvoimat. Paikoittamisessa kappaleelle määrätään sijainti työkaluun nähden. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 59.)

Työkappaleen kiinnittämistä suunniteltaessa ensimmäisenä valitaan paikoituspintojen lukumäärä ja asema. Tämän jälkeen valitaan tasoille sijoitettavien paikoituspisteiden asema, suunta ja lukumäärä. Jotta paikoitustasojen asema ja lukumäärä voidaan määrittää, on tiedettävä työkappaleen mittaperuspintojen lukumäärä ja asema. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 59.) Teknisen tiedotuksen (1982, s. 59) mukaa: ”Mittaperuspinta on se pinta, josta lähtien jokin työstämällä valmistettu mitta on piirustuksessa annettu ja jota peruspintana käyttäen se tarkastetaan.”

Kuvassa 1 on esitetty, kuinka työstösuunnat vaikuttavat mittaperuspintojen lukumäärään. Normaalissa tapauksessa lähtökohtana on, että kaikki työkappaleen peruspinnat ovat yhdensuuntaisia jonkin kolmiulotteisen koordinaatiston tason (X–Y, Y–Z, X–Z) kanssa. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 59.)



Kuva 1. Mittaperuspintojen ja työstösuuntien suhde (Tekninen tiedotus, 1982, s. 59).

Paikoitustason määrää paikoituspisteet eli työkappaleeseen koskettavat paikoituselementit. Jokaisessa paikoitustasossa on huomioitava paikoituspisteiden paikka, lukumäärä ja vaikutussuunta. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 63.)

Kiinteällä kappaleella on aina kuusi vapausastetta, joidenka suhteen se voi liikkua. Työkappale voi liikkua kolmen akselin suunnassa ja pyöriä jokaisen akselin ympäri. Työkappaleen asema määritetään työstötapauksen mukaan. Työstötapauksesta riippuen asema on määritettävä yhdessä, kahdessa tai kolmessa tasossa. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 63.)

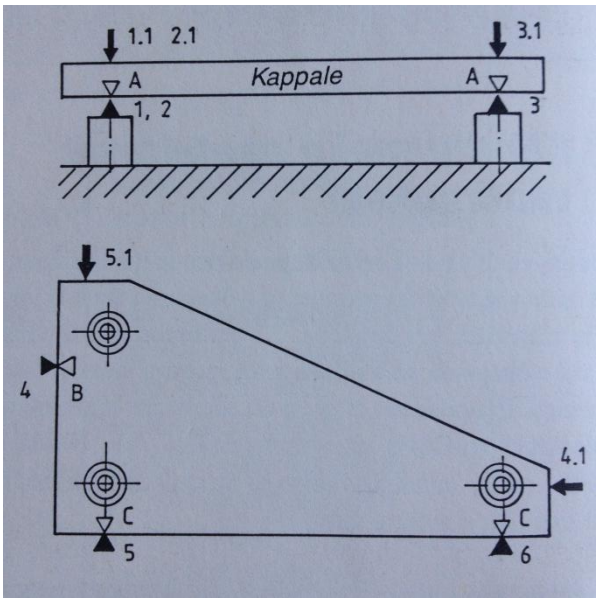
Paikoituselimen tehtävät ovat kappaleen aseman määrittäminen ja siihen kohdistuvien voimien vastaanottaminen. Paikoituspinnaksi tulee valita työkappaleen suurin pinta, koska tällöin paikoituspisteet saadaan sijoitettua mahdollisemman kauas toisistaan. Näin saavutetaan paras mahdollinen paikoitustarkkuus. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 63.)

2.2 Työkappaleen kiinnittäminen kolmipistekiinnitysjärjestelmällä

FMS:ssä tulisi suosia kolmipistekiinnitysjärjestelmää. Sillä pystytään kiinnittämään kappale tarkasti ja varmasti ilman muodonmuutoksia. Etuihin kuuluu myös se, että

työkappaletta voidaan yhdellä kiinnityksellä koneistaa viideltä eri sivulta. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 8.)

Työkappaleelle edellä mainittujen kuuden vapausasteen sitomiseksi kolmipistekiinnityksessä työkappaleen paikka määritellään kuvassa 2 esitetyllä 3–2–1–menetelmällä. Menetelmän ensimmäisessä vaiheessa valitaan kolmen pisteen kiinnityspinnat yhdessä tasossa. Toisessa vaiheessa valitaan kaksi kiinnityspistettä 1. tasoa kohtisuoraan olevasta tasosta. Kolmannessa vaiheessa määritellään yksi kiinnityspiste tasoja yksi ja kaksi kohtisuoraan olevasta tasosta. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 8.)



Kuva 2. Kolmipistekiinnitystekniikka (Tekninen tiedotus, 1989, s. 8).

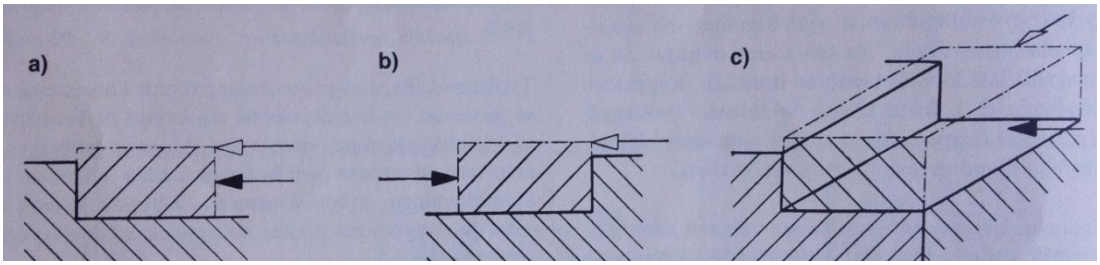
Kuvassa 2 pisteet 1, 2 ja 3 ovat ensimmäisen tason (A) paikoituspisteet. Pisteet 4, 5 ja 6 paikoittavat työkappaleen toista (C) ja kolmatta tasoa (B) vasten. Pisteet 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 ja 5.1 kuvastavat kiinnitysvoimia. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 8.)

2.3 Kiinnitysvoimat

Työstövoimat kulkevat työstötapahtumassa työstökohdasta työkappaleen kautta tukipisteisiin. Kiinnitinelimien tulee sitoa työkappale tukipisteisiin siten, että kiinnitysvoimat kumoavat työstövoimat. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 68.)

Kiinnitysvoiman suuruus riippuu kiinnitinelimen välityssuhteesta, käyttövoimasta ja kiinnitysmekanismin hyötysuhteesta. Kiinnitysvoima ei saa kuitenkaan olla liian suuri, etteivät työkappaleen paikoituksesta vastaavat osat jousta. Myöskään työkappale tai kiinnitinelin ei saa antaa myöten niin paljoa, että kiinnitysvoima heikkenee. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 68.)

Samanaikaisesti vaikuttavien kiinnitysvoimien vaikutussuunta tulee olla sama. Kiinnitysvoimien vaikutussuunta tulee valita siten, että ne vaikuttavat samassa suunnassa ja samaan kiinteään tukipisteeseen työstövoiman kanssa (kuva 3, a). Jos kuitenkin joudutaan tilanteeseen, jossa työstövoima ja kiinnitysvoima ovat kohtisuorassa (kuva 3, c), työkappaleen paikallaan pysyminen riippuu paikoituspinnan ja työkappaleen välisestä kitkasta. Tällaisessa tilanteessa kiinnitysvoiman on oltava jopa viisinkertainen työstövoimaan verrattuna. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 68.)



Kuva 3. Työstö- ja kiinnitysvoiman suunta (Tekninen tiedotus, 1982, s. 68).

Työstövoima ja kiinnitysvoima eivät saisi vaikuttaa vastakkaisista suunnista (kuva 3, b). Tällaisella kiinnitysmenetelmällä voidaan kuitenkin saavuttaa etuja työstön värähtelyssä, kiinnittimien ja ohjainlaitteiden käsittelyssä sekä työkalujen ja kiinnityslaitteiden kustannussäästöissä. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 69.)

2.4 Kiinnityskohtien valinta

Työkappale tulee olla kiinnitettynä siten, ettei se muuta asemaansa työstövoimien, reaktiovoimien tai oman massansa vaikutuksesta. Vaatimukset täyttyvät, kun työkappaleen kaikkiin kiinnityselimiin vaikuttaa puristusvoima. Kiinnityskohta tulee valita siten, että se sijaitsee mahdollisimman lähellä työstettävää kohtaa. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 69.)

Teknisen tiedotuksen (1982, s. 69) mukaan kiinnityskohtien lukumäärään ja sijoittamiseen vaikuttavat tekijät ovat:

- ”työstövoimien suuruus ja suunta
- työkappaleen muodon sopivuus kiinnitykseen
- työkappaleen jäykkyys
- tukipintojen lukumäärä
- tukipintojen sijainti koneistettaviin pintoihin nähden
- vaadittu työstötarkkuus.”

Työkappaleen joustolla on oleellinen vaikutus työstöprosessissa. Mitä vähemmän työkappale joustaa, sitä herkempi se on värähtelyille. Joustamattomuuden etuja ovat terän kulumisen pieneneminen sekä parempaan mittatarkkuuteen ja pinnanlaatuun pääseminen. Työkappaleen jäykkyys voi myös muuttua oleellisesti työstön aikana ja johtaa kiinnityksen löystymiseen. Jäykkyyden pienentyminen voi johtua suljetun muodon rikkoutumisesta, poikkipinnan pienentymisestä tai rakenneaineen sisäisten jännityksien laukeamisesta. Tällaisessa tilanteessa on kiinnitystä suunniteltaessa otettava huomioon jäykkyyden menettäneen työkappaleen ominaisuudet. (Tekninen tiedotus, 1982, s. 70.)

2.5 Kiinnitintyypit

Kiinnityselimet voidaan jakaa manuaalisiin, koottaviin ja laitetoimisiin kiinnittimiin. Manuaalisista kiinnittimistä yleisimpiä ovat kiinnitysmutterit ja –ruuvit. Joustavassa tuotannossa valmistussarjojen ollessa riittävän suuria, eräkoot pieniä ja kiinnittimien tarve pitkäikäistä tulisi suosia manuaalisia kiinnittimiä. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 9,12.)

Koontakiinnittimiksi kutsutaan kiinnittimiä, jotka rakennetaan yhdistämällä standardielementtejä ja erikoiskiinnittimiä. Koontakiinnittimiä tulisi suosia tilanteessa, jolloin sarjat ovat pieniä ja erilaisten työkappaleiden määrä on suuri. Tällaisessa tilanteessa koontakiinnittimet ovat manuaalisia erikoiskiinnittimiä edullisempi vaihtoehto. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 12.)

Laitetoimisiksi kiinnittimiksi kutsutaan hydraulisesti, pneumaattisesti, magneettisesti ja sähkömagneettisesti toimivia kiinnittimiä. Laitetoimisten kiinnittimien etuja ja haittoja on esitetty liitteessä 1. (Tekninen tiedotus, 1989, s. 14.)

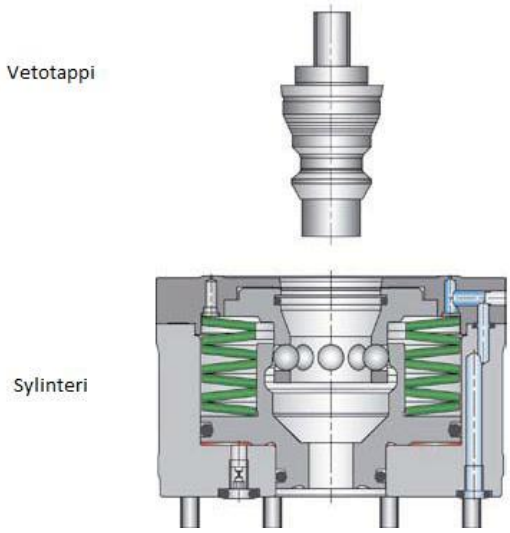
3 NOLLAPISTEKIINNITTÄMINEN

Nollapistekiinnittäminen on joustava kiinnitysmenetelmä koneistuskiinnittämisessä. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi koneistuskiinnittimen kiinnittämiseen, työkappaleen suoraan kiinnittämiseen, työkalujen kiinnittämiseen tai koneenosien kiinnittämiseen. Nollapistekiinnittimien käyttö soveltuu useille eri työstökoneille ja tuotantovaiheille. Nollapistekiinnitystekniikkaa voidaan käyttää mm. koneistuskeskuksilla, sorveilla, porakoneilla, kokoonpanolinjoilla ja muissa automaatio ympäristöissä. (Sariola, 2006, s. 2–3.)

Nollapistekiinnitysjärjestelmällä voidaan liikutella työkappaletta eri työpisteiden välillä. Nollapistekiinnitys mahdollistaa nopean ja tarkan kiinnittämisen ilman kellotuksia tai mittaamisia. Esimerkiksi DockLock nollapistekiinnitinjärjestelmällä asetukset voidaan ulkoistaa kokonaan työstökoneelta. Asetukset voidaan tehdä etukäteen, joka mahdollistaa joustavan tuotannonohjauksen. Myös suurien valukappaleiden asema koordinaatistossa on määritettävissä etukäteen ja näin asema voidaan ilmoittaa työstökoneelle etukäteen. (Sariola, 2006, s. 3–4.) Nollapistekiinnittimen perusidea on kaikilla valmistajilla sama. Toimintojen toteutuksissa ja nollapistekiinnittimien muotoilussa sen sijaan on eroja eri valmistajien välillä.

3.1 Nollapistekiinnittimen rakenne

Nollapistekiinnitin koostuu kahdesta perusosasta, vetotapista ja lukitussylinteristä. Kuvassa 4 on esitetty vetotappi ja leikkauskuva sylinteristä. Sylinteri sisältää lukitukseen ja lukituksen vapauttamiseen tarvittavan järjestelmän sekä puhdistusjärjestelmän. (System 3R, 2007, s. 8.)



Kuva 4. Nollapistekiinnittimen rakenne (System 3R, 2007, s. 8).

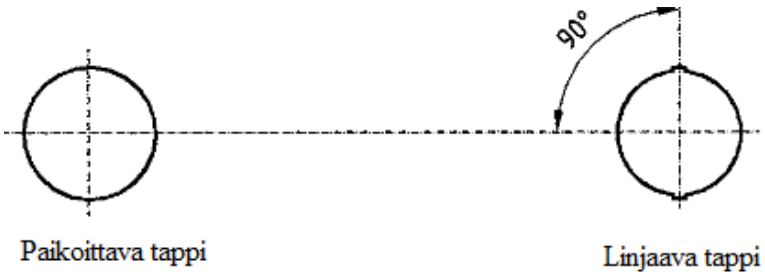
3.1.1 Vetotappi

Vetotappi on nollapistekiinnitinjärjestelmän osa, joka kiinnitetään työkappaleeseen tai palettiin. Järjestelmän ollessa lukittuna, sylinterin lukitusjärjestelmä vetää vetotappia sylinterin sisään, jolloin vetotapin ohjaava pinta on sylinterin paikoituspintaa vasten ja kiinnitettävän kappaleen pinta tiiviisti sylinterin otsapintaa vasten. (Sariola, 2006, s. 6–7.)

Kuvassa 5 on esitetty vetotappityypit. Vetotappityypit ovat paikoittava, linjaava ja kiinnittävä. Paikoittavan vetotapin tehtävä on määrittää kiinnityksen nollapiste. Riippumatta järjestelmässä käytettävien nollapistekiinnittimien määrästä, tulee järjestelmässä olla aina vain yksi paikoittava vetotappi. (Vischer & Bolli, 2012, s. 16.)

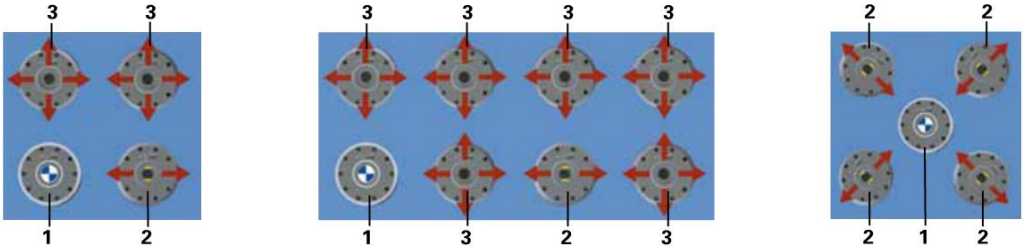
Kuva 5. Vetotappityypit: 1 paikoittava, 2 linjaava, 3 kiinnittävä (Mukaillen Vischer & Bolli, 2012, s. 16).

Linjaava vetotappi puolestaan määrittää X- tai Y-akselin. Linjaavan vetotapin paikoituspintojen tulee olla 90 asteen kulmassa paikoittavan vetotapin keskilinjan kanssa (kuva 6). Linjaavan vetotapin tehtävä on myös kompensoida lämpötilanmuutoksia. Linjaavia vetotappeja useamman kiinnittimen järjestelmässä on tavallisesti yksi. (Vischer & Bolli, 2012, s. 16.)



Kuva 6. Linjaavan vetotapin asema paikoittavaan tappiin nähden (Vischer & Bolli, 2012, s. 16).

Loppuja nollapistekiinnitinjärjestelmään tulevia vetotappeja kutsutaan kiinnittäviksi. Niiden tehtävä ei siis ole paikoittaa kappaletta minkään akselin suhteen, ainoastaan palvella kappaleen kiinnitystä. Kuvassa 7 on esitetty erilaisia kiinnitysvariaatioita useamman nollapistekiinnittimen järjestelmille. (Vischer & Bolli, 2012, s. 16.)

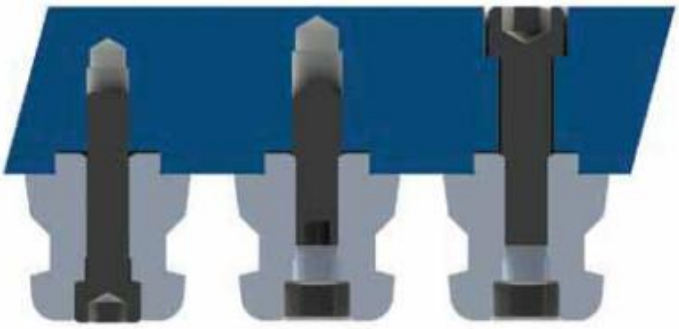


Kuva 7. Nollapistekiinnittimien sijoittelu järjestelmässä. 1 paikoittava, 2 linjaava ja 3 kiinnittävä nollapisteyksikkö (Vischer & Bolli, 2012, s. 16).

Vetotapin voi kiinnittää työkappaleeseen tai koneistuskiinnittimeen kolmella eri tavalla (Big Kaiser, 2012, s. 54.):

1. Vetotapin läpi kulkevalla ruuvilla. Ruuvi työnnetään vetotapin läpi ja kiinnitetään työkappaleessa tai kiinnittimessä oleviin kierteisiin.
2. Vangitsevalla kiristysruuvilla, joka sitoo vetotapin ja työkappaleen tai koneistuskiinnittimen toisiinsa.
3. Sekä vetotapin, että kiinnitettävän kappaleen läpi menevällä pultilla, joka vetää vetotapin kappaleeseen kiinni.

Kiinnitysvaihtoehdot on havainnollistettu kuvassa 8.



Kuva 8. Vetotapin kiinnitystavat vasemmalta alkaen tapa 1, 2 ja 3 (Big Kaiser, 2012, s. 54).

Standardisoidun vetotapin paikoitusnastan halkaisija on 25 mm, pituus 5 mm ja toleranssi h6. Koko vetotapin halkaisija on 40 mm ja pituus 40 mm. Paikoitusnasta on vetotapin osa, joka tulee kiinnitettävän kappaleen sisälle. Nastaosan on oltava mittatarkka, sillä se määrää vetotapin paikoitustarkkuuden kappaleessa. (Big Kaiser, 2012, s. 54–55.)

Vetotappi on mahdollista kiinnittää sylinterimäiseen valureikään paisuntatuurna-vetotapin avulla. Menetelmä ei kuitenkaan sovellu tarkoille työkappaleille, koska vetotapin asennustarkkuus on suoraan verrannollinen kappaleen paikoitustarkkuuteen. Valureikien muoto on niin epämääräinen, että siihen on vaikea saada vetotappia tarkasti kiinni. Toinen ongelma paisuntatuurna-vetotappien käytössä on tapin kestämä vetolujuus. Vetotapin ja valureiän välinen kitka on pieni. (Sariola, 2013c.)

3.1.2 Sylinteri

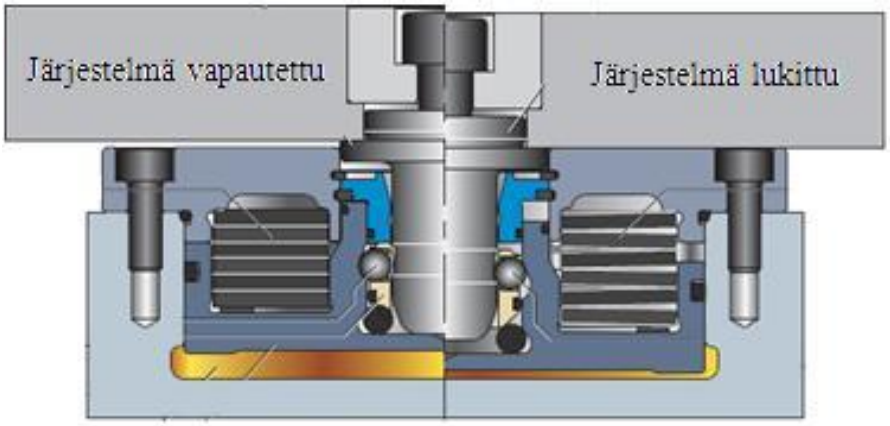
Sylinterissä sijaitsee nollapistekiinnittimen tärkeimmät osat. Sylinterissä olevat lautasjouset lukitsevat vetotapin sylinterin sisälle. Nollapistekiinnittimen vetovoima riippuu sylinterin sisällä olevien jousien jousivoimasta. Sylinterissä kulkee myös lukituksen irrottamiseen ja järjestelmän puhdistamiseen tarvittavat kanavat. (System 3R, 2007, s. 12.) Automaattikäytössä oleviin sylintereihin on mahdollista asentaa elektroniset tai pneumaattiset sensorit, jotka viestittävät soluohjaimelle, onko sylinteri lukitussa tilassa vai ei. (Sariola, 2013.)

3.2 Lukitusmenetelmät

Nollapistekiinnitysjärjestelmän lukittumisen periaate on kaikissa lukitusmenetelmissä sama: sylinterin sisällä oleva jousi aiheuttaa voiman, jolloin lukituselimet puristuvat vetotapin ympärille ja järjestelmä lukittuu. Lukitusmenetelmiä ovat kuula-, holkki- ja kynsilukitus.

3.2.1 Kuulalukitus

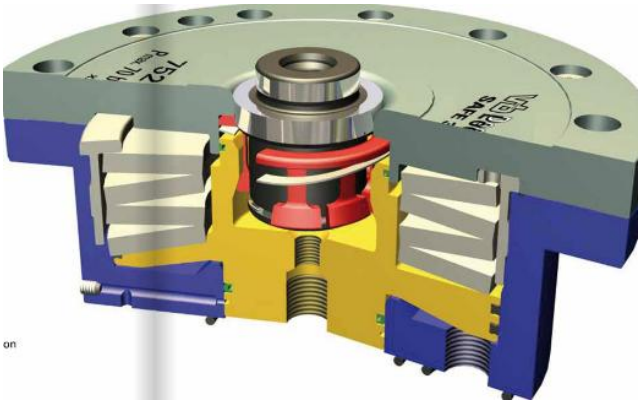
Kuulalukituksessa sylinterin keskireiän ulkokehällä sijaitsevat kuulat asettuvat vetotapin kauluksen ympärille järjestelmän ollessa lukitussa tilassa (kuva 9). Sylinterissä oleva jousi painaa lukitusmäntää alaspäin, jolloin kuulat lukitsevat vetotapin sylinterin sisälle.



Kuva 9. Stark:in kuulalukitteinen nollapistekiinnitin (Mukaillen Roemheld, 2008, s. i.6).

3.2.2 Holkkilukitus

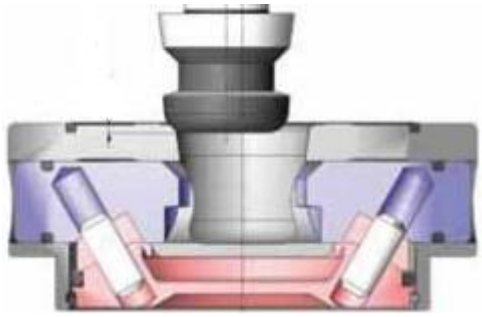
Kuvassa 10 esitetyssä holkkilukitteisessa sylinterissä kuulien tilalla on kiristysholkki, joka puristuu vetotapin kaulukseen sylinterin ollessa lukitustilassa. Kuulalukituksen tapaan voima välittyy jousista lukitusmännän kautta holkkiin. (Vischer & Bolli, 2012, s. 6–7.)



Kuva 10. Holkkilukitteinen nollapistekiinnitin, DockLock (Vischer & Bolli, 2012, s. 6–7).

3.2.3 Kynsilukitus

Kynsilukitteisessa sylinterissä lukitus tapahtuu usean kynnen avulla, jotka painautuvat jousikuormitteisesti vetotappia vasten. Poiketen kahdesta edellisestä lukitusmenetelmästä, kynsikuormitteisessa lukituksessa ei ole lukitusmäntää, vaan kynnet itsessään ovat jousikuormitteiset (kuva 11). Tällöin myös lukituksen aukaisemiseen käytettävä voima kohdistetaan lukitusmännän sijaan suoraan kynsiin. (Big Kaiser, 2012, s. 4–5.)



Kuva 11. Kahdella kynnellä varustettu kynsilukitteinen sylinteri (Big Kaiser, 2012, s. 5).

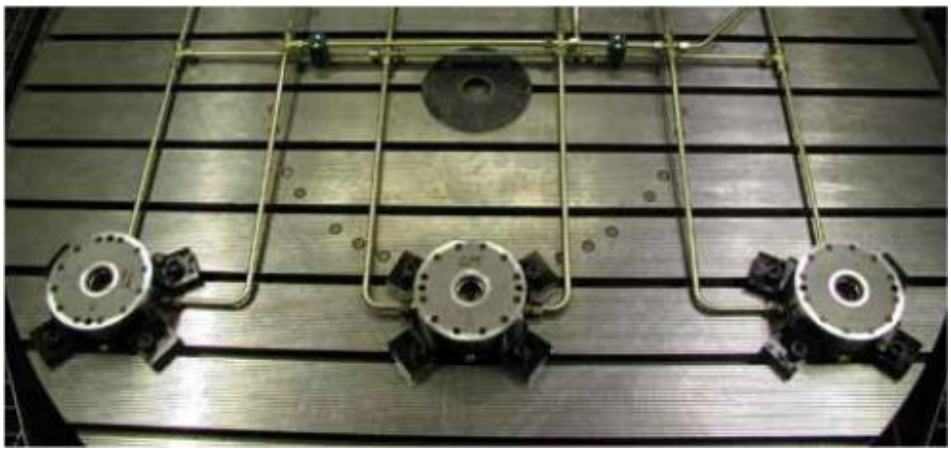
3.3 Sylinterityypit

Sylinterit voidaan jakaa niiden käytön mukaan erilaisiin tyyppeihin. Sylinterityyppejä ovat kasettimalliset, pinta-asennettavat, upotettavat ja indeksoivat sylinterit. Kasettimallisia sylintereitä (kuva 12) käytetään konekohtaisissa sovelluksissa. (Sariola, 2006, s.8.) Kasettimallinen sylinteri integroidaan suoraan koneen pöytään, palettiin tai muuhun kiinteään alustaan. Asennettavaan tasoon täytyy koneistaa paikka niin sylinterille, kuin sylinterin pohjasta lähteville hydrauliikka- ja paineilmakanaville. (Vischer & Bolli, 2012, s. 10-11.)

Kuva 12. Kasettimallinen sylinterijärjestelmä (Vischer & Bolli, 2012, s. 10).

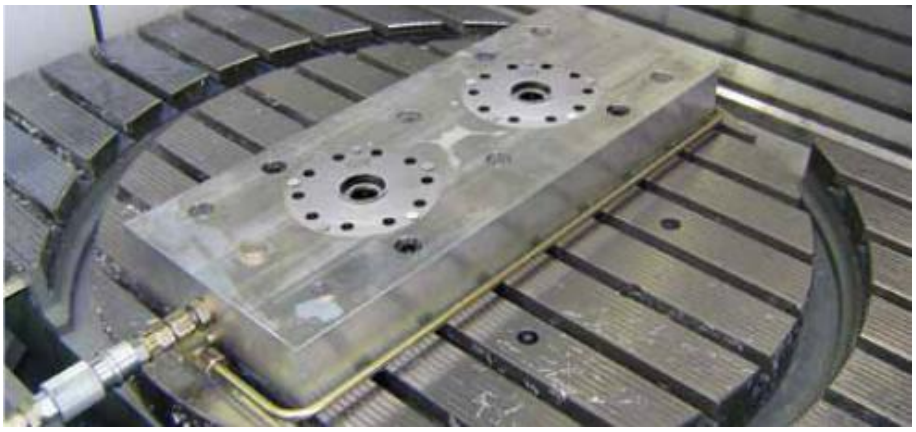
Pinta-asennettavat sylinterit asennetaan nimensä mukaisesti jonkin tason, esimerkiksi koneistuspöydän päälle. Kiinnitys pöytään voidaan toteuttaa veistiraudoilla. Pinta-asennettavan sylinterin etuna on se, että se voidaan kätevästi irrottaa pöydästä eikä asennus vaadi yhtä työläitä koneistuksia kuin kasettimallisen sylinterin asennus. (Sariola, 2006, s.

8.) Kuvassa 13 on esitetty, kuinka pinta-asennettavan sylinterijärjestelmän hydrauliikka putket asennetaan myös asennuspinnan yläpuolelle.



Kuva 13. Pinta-asennettava sylinterijärjestelmä (Vischer & Bolli, 2012, s. 24).

Kun halutaan mahdollisimman matalia rakenteita, suositellaan käytettäväksi sisään rakennettavia eli upotettavia sylintereitä. Upotettavalle sylinterille (kuva 14) on kasettisylinterin tapaan koneistettava paikka asennettavaan tasoon. (Sariola, 2006, s. 8.) Upotettavat sylinterit on tarkoitettu mittakoneisiin, pohjalevyihin ja laitteistojen asemiin tuleviin kiinnityksiin. Upotettavan sylinterin asennussyvyys on matalampi kuin kasettimallisen. (Vischer & Bolli, 2012, s. 12–13.)



Kuva 14. Upotettava sylinterijärjestelmä (Vischer & Bolli, 2012, s. 13).

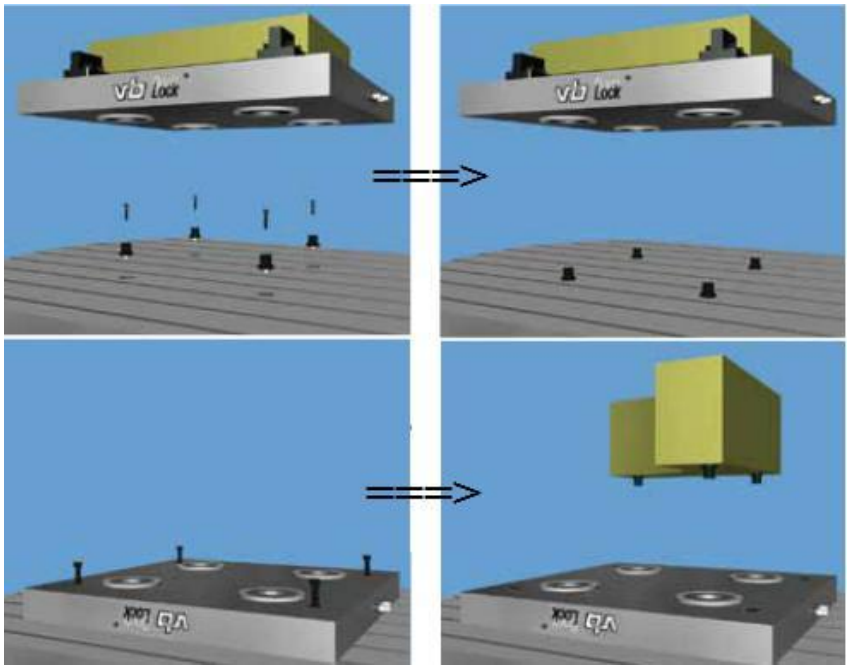
Kahden tai useamman nollapistekiinnittimen järjestelmässä kappaleen pyörähtäminen yhden nollapistekiinnittimen ympäri estyy muiden nollapistekiinnittimien ansiosta. Käytettäessä vain yhtä nollapistekiinnitintä työkappaleen kiinnittämisessä on käytettävä

indeksoivaa sylinteriä. Indeksoivassa sylinterissä on urat (kuva 15), joihin asetettavat indeksoivat ruuvit estävät kiinnitettävän kappaleen pyörähtämisen. Indeksoiville ruuveille on koneistettava paikka kiinnitettävään kappaleeseen. Indeksoiva sylinteri sopii pienten kappaleiden koneistukseen. Etuna indeksoivassa sylinterissä on, että kappale voidaan kiinnittää tarkasti eri kulmiin 90 asteen välein. Indeksoivia sylintereitä on saatavilla niin upotettaviin, pinta-asennettaviin kuin kasettimallisiin sylintereihin. (Vischer & Bolli, 2012, s. 10–15, 52.)

Kuva 15. Indeksoiva ura kasettimallisessa sylinterissä (Mukaillen Vischer & Bolli, 2012, s. 23).

3.4 Valmiit pohjalevymallit

Yksittäisten nollapistekiinnittimien lisäksi markkinoilla on myös valmiita nollapistekiinnitinjärjestelmäratkaisuja, niin sanottuja vakioperuslevyjä, joissa sylinterit ovat jo valmiiksi asennettuina pohjalevyyn. Myös hydrauliikka- ja paineilmakanavat kulkevat jo valmiiksi pohjalevyn sisällä. Kanavien liitinkohdat on sijoitettu peruslevyn sivuun. Pohjalevy voidaan kiinnittää koneen pöytään nollapistekiinnittimien avulla, jolloin koneistettava kappale kiinnitetään pohjalevyyn mekaanisesti. Toinen vaihtoehto on kiinnittää peruslevy koneen pöytään tai palettiin pulteilla, jolloin työkappale kiinnitetään pohjalevyyn nollapistekiinnityksellä. Kuvassa 16 on esitetty eri kiinnitysvariaatiot. Valmiit pohjalevymallit sopivat erityisesti suurille työstökoneille, sillä työstökoneen pöytää ei tarvitse koneistaa uudelleen. Pohjalevyn voi kiinnittää kaikkiin koneistuspöytiin vetotappien avulla ja työstökonetta on mahdollista käyttää nollapistekiinnitinjärjestelmän kanssa tai ilman. Standardisoiduissa ratkaisuissa pohjalevyssä olevien kiinnittimien määrä vaihtelee kahdesta neljään. (Vischer & Bolli, 2012, s. 42–51.)



Kuva 16. Valmiin nollapistekiinnitinjärjestelmän käyttömahdollisuudet (Vischer & Bolli, 2012, s. 42).

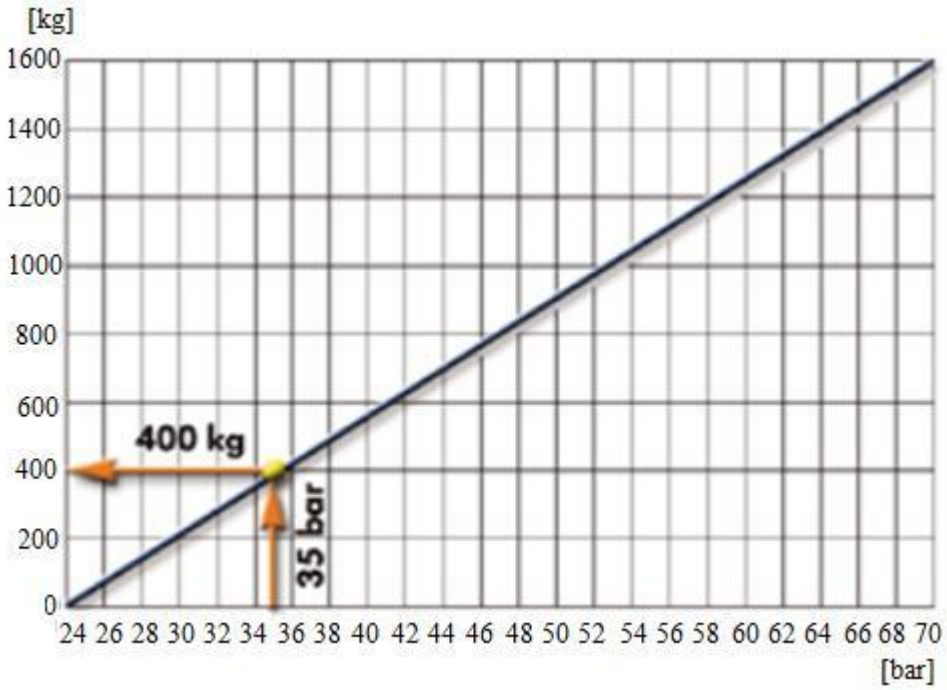
Eri kiinnitinvalmistajilla on olemassa myös pystytasoon asennettavia valmiita nollapistekiinnitinjärjestelmiä, asiakkaan tarpeiden mukaan mukautettuja kiinnitinjärjestelmä-ratkaisuja, valmiiksi vetotappeja varten rei'itettyjä paletteja ja indeksisylintereitä varten valmistettuja palettiratkaisuja (Vischer & Bolli, 2012, s. 47–52).

3.5 Nollapistekiinnittimen lukituksen vapauttaminen

Perustilassa sylinterin sisällä oleva jousi kuormittaa lukitusmekanismia, jolloin vetotappi pysyy sylinterin sisällä, vaikka nollapistekiinnittimeen kohdistuisikin ulkoinen voima, joka yrittäisi vetää sylinteriä ja vetotappia irti toisistaan. Sylinterin lukituksen vapauttamiseen käytetään hydraulista tai pneumaattista painetta. Molemmissa menetelmissä perusperiaate on sama, vain paineen luova väliaine on eri. Lukituksen vapauttamiseksi paineen on synnytettävä suurempi voima kuin jousesta aiheutuva lukitusvoima. (Roemheld, 2008, s. i6–i7.) Pneumaattinen paine pystytään myös muuttamaan hydrauliikkapaineeksi paineenvahvistimen avulla (AMF, 2012, s. 11).

3.5.1 Hydraulinen lukituksen vapautus

Hydraulisessa lukituksen vapautuksessa hydrauliikkanestettä johdetaan kanavia pitkin nollapistekiinnittimen sylinterin öljytilaan. Hydrauliikkaöljy työntää lukitusmäntää ylöspäin, jolloin sylinterissä olevat jouset puristuvat ja lukitus vapautuu. (AMF, 2012, s. 8–9.) Hydrauliikkapaineen voi toteuttaa öljytilaan esimerkiksi hydrauliikkapumpun avulla tai ottamalla hydrauliikkapaine suoraan tehtaassa olevasta hydrauliikkajärjestelmästä. Roemheldin (2008, s. i10) mukaan lukituksen avaamiseen tarvittava paine on 30–180 baaria sylinterin mallista riippuen. Kuvassa 17 on esitetty massa, jonka yksi nollapistekiinnitin kykenee nostamaan tietyn hydrauliikkapaineen vallitessa öljytilassa. Neljän nollapistekiinnittimen järjestelmä, jonka yhden sylinterin öljytilassa oleva paine on 35 baaria, kykenee näin nostamaan 1600 kilon painoisen kappaleen.



Kuva 17. Hydrauliikkapaineen ja nostettavan massan suhde (System 3R, 2007, s. 10).

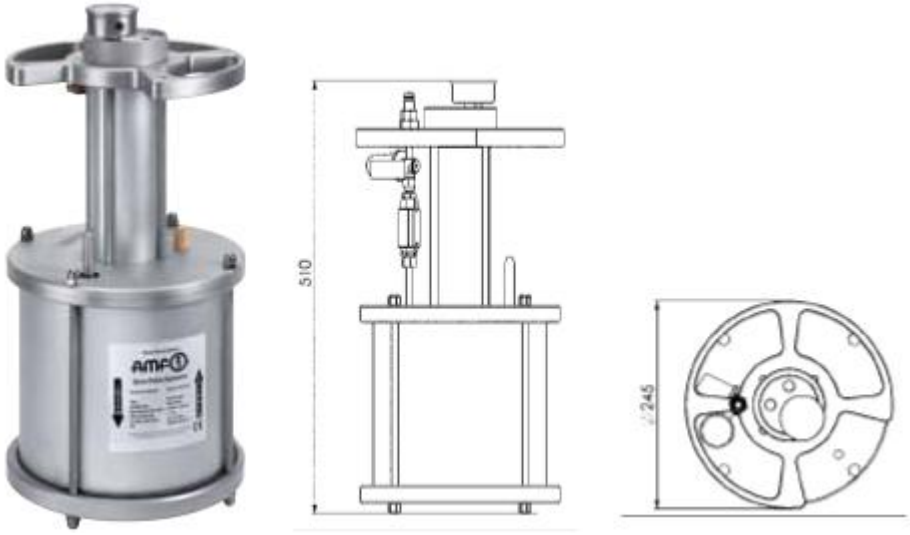
3.5.2 Pneumaattinen lukituksen vapautus

Pneumaattisen lukitusjärjestelmän avaamiseen tarvittava paine on huomattavasti pienempi kuin hydrauliikkajärjestelmässä, vain 6 baaria. Tästä syystä myöskään jousivoima ei voi olla kovin suuri, jotta lukitus saadaan avattua. Koska pneumaattisesti avautuvassa järjestelmässä jousivoima on huomattavasti pienempi kuin hydraulisessa, myös

nollapistekiinnittimen vetoa vastustava voima on huomattavasti heikompi. (System 3R, 2007, s. 10.)

3.5.3 Paineenvahvistin

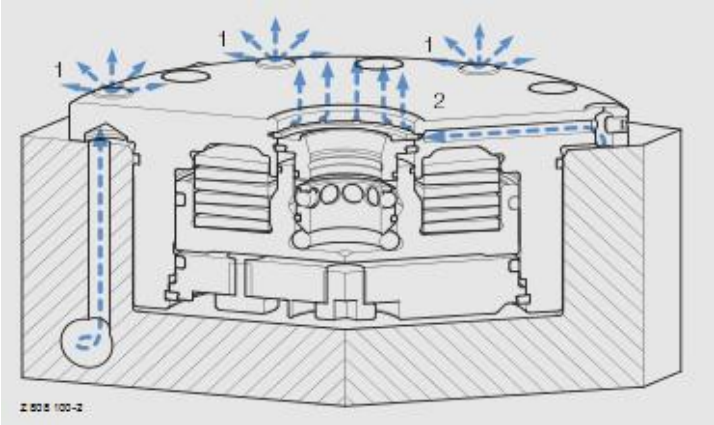
Paineenvahvistin on laite, jolla pneumaattinen paine muutetaan hydrauliikkapaineeksi. Painevahvistin kytketään paineilmaverkon ja hydrauliikkapainetoimisen järjestelmän väliin, jolloin painevahvistin muuttaa pneumaattisen paineen hydrauliikkapaineeksi suhteella 1:8. Yhdellä paineenvahvistimella pystytään aukaisemaan jopa 36 sylinterin järjestelmiä (AMF, 2012, s. 11, 84). Kuvassa 18 on esitetty AMF:n paineenvahvistin.



Kuva 18. AMF:n paineenvahvistin, käyttöpaine maksimissa 60 baaria (AMF, 2012, s. 84).

3.6 Nollapistekiinnittimen puhdistus

Nollapistekiinnittimen sylinterin puhdistukseen on kaksi vaihtoehtoa, manuaalisesti käsin tai automatisoidusti paineilmalla. Markkinoilla olevissa itsepuhdistavissa sylintereissä on sisäänrakennettuna puhdistusjärjestelmä. Puhdistusjärjestelmä puhaltaa paineilmaa niin sylinterin keskireikään, kuin otsapinnalle poistaen epäpuhtaudet sylinteristä. (Roemheld, 2008, s. 1.9.) Kuvassa 19 on esitetty paineilmakanavat.



Kuva 19. Automaattisella puhdistusjärjestelmällä varustettu sylinteri (Roemheld, 2008, s. 1.9).

3.7 Kiinnitystarkkuus

Nollapistekiinnitinjärjestelmillä päästään < 0,005 mm toistotarkkuuteen. Radiaalinen uudelleenpaikoitustarkkuus on ± 3 mm ja suurin aksiaalinen uudelleenpaikoitustarkkuus automatisoidussa panostuksessa on -3 mm. Järjestelmän tarkkuudeksi annetaan alle 0,01 mm, joka syntyy vaihdettaessa useampaa palettia esim. eri koneilla. (Roemheld, 2008, s. i10.)

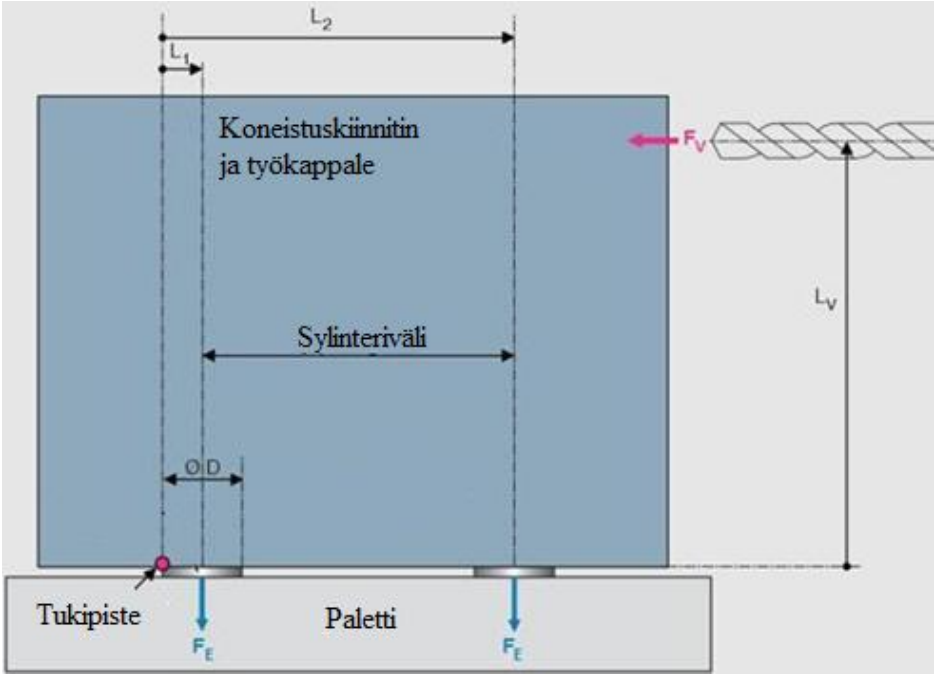
3.8 Nollapistekiinnittimeen vaikuttavat voimat

Nollapistekiinnittimien suurimmat sallitut kuormitusvoimat vaihtelevat suuresti eri valmistajien eri tuotteiden välillä. Sylinterin mallista, koosta ja lukitusmekaniikasta riippuen erot eri nollapistekiinnittimien välillä ovat todella suuret. Kaksi tärkeintä suuretta ovat lukitus- ja kiinnipitovoima.

Lukitusvoimalla tai vetovoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla sylinterin lukitusjärjestelmä vetää vetotappia sylinteriin. Lukitusvoima riippuu sylinterin sisällä olevien jousien jousivoimasta. Annettua lukitusvoimaa ei saa ylittää, muuten nollapistekiinnityksen nollapiste voi muuttua. Lukitusvoiman kumoamiseen eli lukituksen vapautumiseen tarvittava paine vaihtelee sylinterin mallin mukaan. (Roemheld, 2008, s. i10; AMF, 2012, s. 10.) Vischer & Bolli:n (2012, s. 6) mukaan Dock Lock -nollapistekiinnittimien lukitusvoimat ovat 12,5 kN–30 kN kiinnitinyksikköä kohden.

Kiinnipitovoima kertoo suurimman sallitun vetävän voiman, jolloin vetotappi pysyy vielä paikallaan, mutta kiinnityksen nollapiste on muuttunut. Kiinnipitovoiman suuruuteen vaikuttaa nollapistekiinnittimen osien koko. (Roemheld, 2008, s. i10; AMF, 2012, s. 10.) Yhden nollapistekiinnitinyksikön kiinnipitovoima on 40 kN - 90 kN kiinnittimen mallista riippuen (Vischer & Bolli, 2012, s. 6).

Muita nollapistekiinnittimen valintaa tehdessä huomioitavia suureita ovat työstössä aiheutuvat poikittaisvoimat, kallistusmomentti sekä neliö-muotoon asennetussa neljän kiinnittimen järjestelmässä vääntömomentti (Roemheld, 2008, s. i10). Vääntömomenttiin vaikuttavia mittoja ja voimia on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Lastuavan terän aiheuttamaan vääntömomenttiin vaikuttavat mitat ja voimat (Mukaillen Roemheld, 2008, s. i11).

Syöttövoiman F_V [N] aiheuttama vääntömomentti tukipisteeseen tulee olla pienempi kuin nollapistekiinnittimien lukitusvoimien aiheuttama vääntömomentti, jotta työkappale pysyy paikallaan. (Roemheld, 2008, s. i11.)

Syöttövoima F_V on kappaleeseen tunkeutuvaan poraan aiheutuva aksiaalinen voima. Syöttövoiman suuruuteen vaikuttaa poran halkaisija, syöttö, työkappaleen materiaali ja

teräsärmien asetuskulma. Kappaleen materiaalin kannalta vaikuttavin tekijä on ominaislastuamisvoima k_c. Ominaislastuamisvoima on ainekohtainen ja se voidaan määrittää kokeellisesti tai laskemalla. (Sandvik Coromant, 2005, E 5.) Ominaislastuamisvoima voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$k_c = k_{c1} * (f_z * sin\, \kappa_r)^{-m_c} * (1 - \frac{\gamma_0}{100}) \quad (1)$$

, missä 1 k_{c1} on ominaislastuamisvoima 1mm^2 lastulle, f_z on syöttö/teräsärmä, k_r on asetuskulma, m_c on ominaislastuamisvoiman kasvu (k_c) lastunpaksuuden kasvaessa ja γ_0 on rintakulma. Täyskovametallisilla porilla $f_z = f_n/2$ ja kääntöteräisillä porilla $f_z = f_n$. Kaavassa f_n on syöttö/kierros. (Sandvik Coromant.)

Kun ominaislastuamisvoima tiedetään, syöttövoima voidaan laskea yhtälöllä 2 (Sandvik Coromant, 2005, E 5).

$$F_V = 0{,}5 * k_c * \frac{D_c}{2} * f_n * \sin k_r \quad (2)$$

, missä 2 k_c on ominaislastuamisvoima, D_c on poran halkaisija, f_n on syöttö/kierros ja k_r on asetuskulma (Sandvik Coromant).

3.9 Edut ja rajoitukset

Nollapistekiinnitysjärjestelmä on tehokas apu paikoissa, joissa esiintyy hukka-aikoja asetustoimintojen vuoksi. Nollapistekiinnittäminen on tehokas tapa näiden hukka-aikojen poistamiseen ja mahdollistaa 20–50 % tuotantokapasiteetin lisäyksen konekannan pysyessä ennallaan. Hukka-aikojen poistuminen lyhentää myös työkappaleiden läpimenoaikoja. Nollapisteen käyttö leikkaa myös mittaukseen ja säätöön kuluvaa aikaa. Erinomainen toistotarkkuus sekä mittaepävarmuuksien katoaminen parantavat tuotteiden laatua. (Sariola, 2006, s. 4.) Nollapistekiinnittimillä voidaan liikutella työkappaletta ja koneistuskiinnitintä koneelta toiselle ilman, että työkappaleen nollapiste muuttuu.

Yksi huomattava etu perinteisiin koneistuskiinnittimiin nähden on se, että työkappaleessa jää vapaaksi koneistukselle kaikki neljä sivua, koska kiinnittimet sijaitsevat työkappaleen

pohjassa. Jos työkappale pystytään kiinnittämään nollapistekiinnityksellä suoraan palettiin ilman koneistuskiinnitintä, voidaan yhdellä kiinnityksellä koneistaa useammasta eri suunnasta. Nollapistekiinnittäminen on myös huomattavasti ergonomisempi kiinnitysmenetelmä, koska työntekijää kuormittavat muttereiden kiristykset jäävät työvaiheesta pois.

Nollapistekiinnityksen käyttöä työkappaleen suorassa kiinnittämisessä rajoittaa vetotappeja varten koneistettavat reiät. Mikäli vetotapin reikien koneistaminen valukappaleeseen olisikin mahdollista, syntyisi tästä yksi työvaihe lisää. Koneistuksesta jäävät tapinreiät eivät saa myöskään olla haittana lopullisessa tuotteessa. Rei'ille olisikin hyvä löytää käyttömahdollisuus esimerkiksi kokoonpanossa tai valmiin tuotteen käytössä.

Toisin kuin perinteiset koneistuskiinnittimet, nollapistekiinnitys vaatii pneumatiikka- tai hydrauliikkalaitteiston lukituksen avaamiseen. Näin ollen investointikustannukset voivat nousta perinteisiin koneistuskiinnittimiin verrattuna huomattavasti suuremmiksi. Nollapistekiinnittimen tarkat toleranssipinnat vaativat erityistä huomiota, koska paletointi vaiheessa ei työkappaleen paikkaa tarvitse määrittää mittaamalla. Pienetkin epäpuhtaudet sylinterissä voivat vaikuttaa koneistustarkkuuteen.

3.10 Nollapistekiinnittimien hinnat

Nollapistekiinnitinjärjestelmän hinta koostuu kiinnitinkomponenteista, suunnittelusta, koneistus-, kokoonpano- ja testaustyöstä sekä mahdollisista pinta- ja lämpökäsittelyistä. Kokonaiskustannuksissa on otettava huomioon myös asennus- ja kuljetuskustannukset. (Sariola, 2013a.)

Sylintereiden ja vetotappien hinnat vaihtelevat mallista riippuen. Taulukossa 1 on esitetty Dock-Lock -nollapistekiinnitinkomponenttien hintoja. Taulukon sylinterit ovat holkkilukitteisia ja lukituksen vapauttamiseen käytetään hydrauliikkaöljyä. Dock-Lock – nollapistekiinnitin tuotekategoriat ovat Safe 20, Safe 30 ja Safe 50.

Taulukko 1. Vischer & Bolli:n Dock-Lock -nollapistekiinnitinkomponenttien hinnasto (Sariola, 2013a).

	Safe 20	**Safe 30**	**Safe 50**
Kasettisylinteri	850–1440 €	1500–1970 €	2220–2680 €
Upotettava sylinteri	570–1000 €	–	–
Pinta-asennettava sylinteri	900–1330 €	1670–2160 €	2530–3000 €
Vetotappi	30–130 €	50–60 €	70–100 €
4 sylinterin pohjalevy ilmapuhdistuksella	5370–5550 €	–	–
4 sylinterin pohjalevy ilman ilmapuhdistusta	4880–5040 €	–	–
Standardi ryhmä ilmapuhdistuksella	5800–5980 €	–	–
Standardi ryhmä ilman ilmapuhdistusta	5230–5480 €	–	–

Standardisoituun ryhmään kuuluu neljällä holkkilukitteisella sylinterillä varustettu pohjalevy, kaksi kappaletta paikoittavia vetotappeja, neljä kappaletta kiinnittäviä vetotappeja, kaksi kappaletta linjaavia vetotappeja ja neljä kappaletta suojatappeja (Vischer & Bolli, 2012, s. 46). Yksittäisen sylinterin hintaan vaikuttaa, onko sylinterissä paineilmapuhdistusta tai kiinnittimen kääntöön ja momentin vastaanottoon tarkoitettua indeksointiuraa. Kasettisylintereissä hintaan vaikuttaa myös, onko sylinterin pohjassa hydrauliikka- ja paineilmaliitäntöjä varten kierrerei'ät vai vapaat rei'ät. Lisäksi hintaan vaikuttaa se, onko sylinterissä männän asennon ja kappaleen kiinnityksen tunnistamiseen tarkoitettuja informaatiokanavia. Vetotapin hinta riippuu siitä, onko vetotappi paikoittava, linjaava vai kiinnittävä. (Sariola, 2013a; Vischer & Bolli, 2012, s. 10-20.)

3.11 Nollapistekiinnittimien huolto

Nollapistekiinnittimien huoltotarve on hyvin vähäinen. Nollapistekiinnittimien huoltoväliin vaikuttaa, onko nollapistekiinnittimen sylinterissä paineilmapuhdistustoimintoa. Paineilmapuhdistuksen omaavien sylintereiden lautasjousien vaihtoväli on 30000–100000 iskun jälkeen. Automaattisovelluksissa vaihtoväli on pidempi. Sylintereillä, joilla paineilmapuhdistustoimintoa ei ole, vaihtoväli on hieman lyhyempi. Lautasjousien vaihdon yhteydessä vaihdetaan yleensä myös lukitusmekanismi, esimerkiksi holkki. Muita kuluvia osia ei nollapistekiinnittimissä ole. (Sariola, 2013b.)

Vauriotilanteissa vahingoittuneiden osien vaihto on helppoa. Vahingoittuneet osat voidaan vaihtaa uusiin yläkautta eli kiinnittimiä ei tarvitse purkaa peruslevystä. Yleisimmin tapahtuva vauriotilanne on vetää nollapistekiinnitinjärjestelmää irti siltanosturilla ilman, että nollapistekiinnittimen lukitusta on avattu. Tällöin kiinnitinmekanismi antaa periksi ja saattaa vaurioitua. (Sariola, 2013b.)

Nollapistekiinnittimien huollon voi liittää esimerkiksi vuosihuoltorekisteriin. Vuosihuolto pitää sisällään vuotojen tarkastuksen eli paineen pysymisen hydrauliikassa ja öljyjen vaihdon. (Mansikkala, 2013.)

4 NOLLAPISTEKIINNITYKSEN KÄYTTÖ G4099 VENTTIILIPESÄN PALETOINNISSA

Tässä kappaleessa käydään läpi nollapistekiinnittämisen sovellusmahdollisuuksia niin G4099 venttiilipesän liittämisessä, kuin venttiilipesän koneistuskiinnittimen liittämisessä. Kappaleessa tarkastellaan myös kustannuksia ja G4099 venttiilipesän työprosessista aiheutuvia rasituksia nollapistekiinnittimiin. G4099 venttiilipesä koneistetaan kahdessa vaiheessa. Molempien vaiheiden jälkeen venttiilipesä kulkee FMS:ssä palettipesukoneen kautta korkeavarastoon.

4.1 Nollapistekiinnityksen käyttö paletin ja koneistuskiinnittimen liittämisessä

Nollapistekiinnittimet soveltuvat erinomaisesti paletin ja koneistuskiinnittimen yhteen liittämiseen. Nollapistekiinnittimet nopeuttavat koneistuskiinnittimen vaihtoa ja helpottavat työntekijän työskentelyä. Koneistuskiinnittimien vaihdon lisääntyessä nollapistekiinnittimien erinomaisesta toistotarkkuudesta saadaan suuri hyöty.

Jos nollapistekiinnitintä käytetään vain paletin ja koneistuskiinnittimen liittämisessä, siitä ei kuitenkaan saada parasta mahdollista hyötyä irti, koska työkappaleet jouduttaisiin edelleen kiinnittämään kiinnitysrautojen avulla. Näin ollen itse paletointiprosessissa nollapistekiinnittimistä ei olisi hyötyä.

Kiinnittimen vaihdossa sen sijaan säästyttäisiin työläiltä puhdistusprosesseilta sekä muttereiden avaamisilta ja kiinnittämisiltä. Jo pelkästään näiden työvaiheiden poisjäänti prosessista nopeuttaa yhden koneistuskiinnittimen vaihtoa 30 minuuttia, joka on 67 % yhden koneistuskiinnittimen vaihtoon kuluvasta ajasta ilman nollapistekiinnittimiä. Nollapistekiinnitystä kannattaa käyttää vain sellaisten mallien koneistuskiinnittimien liittämisessä, joiden tuotantosarjojen pituudet ovat lyhyitä. Tällaisilla malleilla kiinnittimen vaihto on yleisempää ja nollapistekiinnittimistä saadaan suurempi hyöty.

4.2 Nollapistekiinnityksen käyttö venttiilipesän liittämisessä

Työkappaleen liittämiseksi suoraan palettiin täytyy työkappaleeseen koneistaa kierrereiät vetotapeille. Vetotapin reikien koneistusta varten täytyy työkappaleessa olla tasainen pinta,

johon reiät pystytään koneistamaan. Vetotappien reikien koneistusvaiheet ovat poraus, mahdollinen kalvaus ja kierteitys (Mansikkala, 2013).

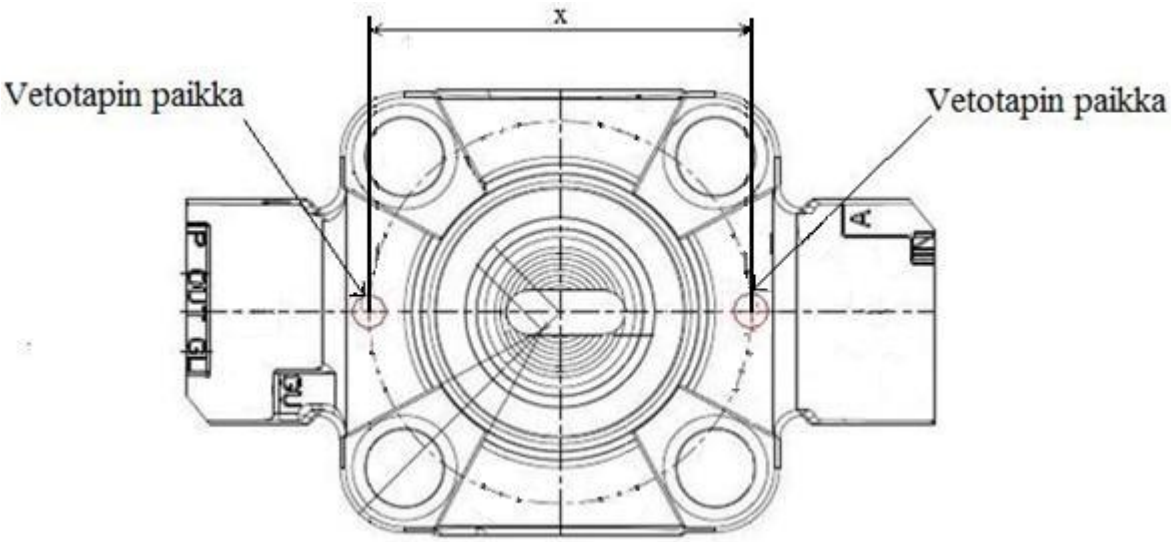
4.2.1 Ensimmäisen vaiheen paletointi

Jos nollapistekiinnitystä halutaan käyttää ensimmäisen vaiheen paletoinnissa, on työkappaleeseen koneistettava etukäteen vetotapin kiinnitysreiät. Kiinnitysreikien koneistus ensimmäistä vaihetta varten toisi koko työprosessiin yhden paletointi- ja koneistusvaiheen lisää. Lisääntyvät työvaiheet aiheuttaisivat lisäkustannuksia työprosessiin, eikä näin ollen olisi kannattavaa.

4.2.2 Toisen vaiheen paletointi

Toista koneistusvaihetta varten pystyttäisiin koneistamaan vetotappien kiinnitysreiät ensimmäisessä vaiheessa. Näin ollen nollapistekiinnitystä olisi mahdollista käyttää toisen vaiheen paletoinnissa. Ainoa käytännön hyöty nollapistekiinnittimistä olisi kuitenkin vain kiinnitysmuttereiden kiristämisen ja aukaisemisen pois jäänti työprosessista. Vaikutukset toisen vaiheen paletointiaikaan ovat vähäiset. Pidemmällä aikavälillä nollapistekiinnittämisellä saavutetaan myös ergonomisia etuja kiinnitysmuttereiden kiristyksen pois jäännin myötä.

Nollapistekiinnitystä toisen vaiheen paletoinnissa kannattaisi harkita, jos samaa nollapistekiinnitinjärjestelmää pystyttäisiin käyttämään muillekin työkappaleille. Tämä edellyttäisi sitä, että samaa kiinnitinetäisyyttä pystyttäisiin käyttämään useassa eri venttiilipesämallissa. Tämä vähentäisi koneistuskiinnittimien määrää FMS:ssä ja toisi sekä nopeutta, että ergonomisuutta paletointiin. Yksi nollapistekiinnitin variaatio G4099 venttiilipesän kiinnittämiseen toisessa vaiheessa olisi käyttää kahden nollapistekiinnittimen järjestelmää kuvan 21 paikoituksella.



Kuva 21. Vetotappien paikat koneistuksen toisen vaiheessa (Savinainen, 2013).

Toisen vaiheen koneistuksen jälkeen työkappaleeseen jää vetotappien kiinnitysreiät. Näitä reikiä pystytään käyttämään esimerkiksi työkappaleen liikuttelussa nostoelementtien kiinnitysreikinä. Kuvassa 21 näkyvää pintaa vasten kiinnitettävän osan asennuksessa ei ole haittaa vetotappien kierrerei'istä.

4.3 Kustannussäästöt

Koneistuskiinnittimen pitkä vaihtoaika saattaa vaikuttaa työstökeskusten toimintaan. Mikäli näin tapahtuu, työstökeskuksien seisottaminen aiheuttaa tuotannon katkeilua, pidentää läpimenoaikoja ja synnyttää ylimääräisiä kustannuksia. Taulukossa 2 on esitetty nollapistekiinnittämisestä syntyvät säästöt koneistuskiinnittimen vaihdossa. Taulukossa 2 esitetyt arvot on laskettu liitteessä 2.

Taulukko 2. Nopeasta koneistuskiinnittimen vaihdosta syntyvä säästö.

Prosessi	**Ilman nollapistekiinnitystä**	**Nollapistekiinnityksellä**
Konekustannukset	100 €/h	100 €/h
Kiinnittimen vaihtoja/viikko	1	1
Kiinnittimen vaihtoaika	45 minuuttia	5 minuuttia
Vaihtokustannukset/viikko	75 €	8,3 €
Vaihtokustannukset/vuosi	3900 €	432 €
Vuotuinen säästö kiinnittimen vaihdossa	3468 €	

Tuloksesta voidaan huomata, että vuotuinen säästö vastaa kolmen pinta-asennettavan nollapistekiinnitinjärjestelmän hankintakustannuksia.

Koneistuskiinnittimiä on yli 10 kappaletta enemmän kuin paletteja. Koneistuskiinnittimien määrä on kasvussa tulevaisuudessa, joka tarkoittaa myös uusien palettien hankinta tarvetta, mikäli koneistuskiinnittimien vaihdosta haluttaisiin päästä eroon. Nollapistekiinnitinjärjestelmä, jota pystyttäisiin käyttämään esimerkiksi viiden eri koneistuskiinnittimen liittämiseen palettiin, sitoisi viidelle koneistuskiinnittimelle vain yhden paletin viiden sijaan. Yksi nollapistekiinnitinjärjestelmä toisi huomattavia säästöjä uusien palettien hankintakustannuksiin nähden viittä koneistuskiinnitintä kohden.

4.4 Tuotantoprosessissa vaikuttavien voimien laskenta

Sopivaa nollapistekiinnitintä valittaessa työstöstä aiheutuvat rasitukset eivät yleensä ole rajoittava tekijä. Koneistus aiheuttaa kuitenkin kappaleeseen vääntömomentin, joka on syytä selvittää, jotta sopivaa nollapistekiinnitintä valittaessa ei tapahdu ylimitoitusta vaadittavan lukitusvoiman suhteen. Toinen nollapistekiinnittimiä kuormittava tekijä tuotantoprosessissa on palettipesukone, joka kääntää työkappaleen ja koneistuskiinnittimen vertikaalisuuntaan pesun ajaksi. Tämä aiheuttaa vääntömomenttia, jonka voimana toimii työkappaleeseen ja koneistuskiinnittimeen vaikuttava maan vetovoima.

4.4.1 Työstöstä aiheutuvat rasitukset

Suurinta vääntömomenttia lähdettiin selvittämään arvioimalla, mitkä työkalut aiheuttavat suurimman syöttövoiman työkappaleeseen. Suurin syöttövoima arvioitiin syöttövoiman kaavan muuttujien perusteella, jonka tuloksena päätettiin suorittaa laskutoimitukset G4099 venttiilipesää ensimmäisessä vaiheessa koneistavalle Ø80 mm u-poralle, joka on halkaisijaltaan suurin pora työstöprosessissa, sekä Ø31 mm u-poralle, jonka y-akselin etäisyys paletin pintaan on kaikkein pisin. Toisen vaiheen koneistuksessa laskutoimitukset tehtii Ø58 mm u-poralle, jonka halkaisija on toisen vaiheen työstöprosessissa koneistavista porista suurin.

Ennen syöttövoiman laskentaa selvitettiin työkaluille ominaislastuamisvoima. Ominaislastuamisvoiman laskenta on esitetty liitteessä 3. Ø80 mm u-poran ominaislastuamisvoimaksi saatiin k_c = 2332,68 N/mm^2, Ø31 mm u-poran k_c = 2509,80 N/mm^2 sekä Ø58 mm u-poran k_c = 2045,04 N/mm^2.

Ominaislastuamisvoiman selvittämisen jälkeen pystyttiin laskemaan työkalujen aiheuttama syöttövoima. Syöttövoiman laskenta on esitetty liitteessä 4. Ø80 mm u-poran syöttövoimaksi saatiin F_V = 4662,52 N, Ø31 mm u-poran F_V = 1496,81 N sekä Ø58 mm u-poran F_V = 4741,60 N/mm^2. Tuloksista voidaan huomata, että poran halkaisijalla ja kierrossyötöllä on suuri vaikutus syntyvään syöttövoimaan.

Kun syöttövoima tiedetään, voidaan laskea pienin sallittu lukitusvoiman arvo, jolla työkappale pysyy paikoillaan. Tukipisteeksi valittiin kuvan 20 (sivulla 25) mukaisesti koneistavaa työkalua vastakkaisella puolella olevan nollapistekiinnittimen sylinterin reuna. Työkalun aiheuttaman vääntömomentin tulee olla pienempi kuin nollapistekiinnittimien lukitusvoiman aiheuttama vääntömomentti. Pienimmän sallitun lukitusvoiman F_E laskenta on esitetty liitteessä 5. Laskuissa käytettiin varmuuskerrointa 1,5, koska se antaa riittävän varmuuden kriittisen arvon ja laskennallisen arvon välille. Neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä Ø80 mm u-poralle pienin sallittu lukitusvoima F_E = 3500 N ja Ø31 mm u-poralle minimiarvo F_E = 1600 N. Neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä Ø80 mm u-poran aiheuttama vääntömomentti toimii siis rajoittavana tekijänä koneistuksessa. Tuloksen perusteella voidaan todeta, etteivät työstöstä aiheutuvat rasitukset ole ongelma

neljän sylinterin nollapistekiinnityksessä, sillä nollapistekiinnittimien lukitusvoimat ovat huomattavasti minimiarvoja suurempia.

Kahden nollapistekiinnittimen järjestelmässä lukitusvoiman aiheuttama vastus syöttövoimasta aiheutuvaa vääntömomenttia vastaan on huomattavasti pienempi kuin neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä, koska lukitusvoimien määrä ja etäisyys tukipisteeseen nähden ovat huomattavasti pienempi. Kahden nollapistekiinnittimen järjestelmän pienimmän lukitusvoiman (F_E) arvon laskenta on esitetty liitteessä 6. Varmuuskertoimella 1,5 tulokseksi saatiin, että työkalulla Ø58 mm u-pora F_E > 9700 N, jotta työkappale pysyy paikallaan. Tarvittava lukitusvoima on huomattavasti suurempi kuin neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä.

4.4.2 Palettipesukoneesta aiheutuvat rasitukset

Palettipesukoneessa nollapistekiinnittimiin vaikuttavan voiman F_g suuruus ensimmäisen vaiheen neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä on 4768 N. Vääntömomenttia aiheuttava voima on suurempi kuin syöttövoimasta aiheutuva momentti. Lukitusvoiman minimiarvon laskenta on esitetty liitteessä 7. Vaadittava lukitusvoima (F_E) yhdeltä nollapistekiinnittimeltä varmuuskertoimella 1,5 on 3600 N.

Toisen vaiheen paletointi kahdella nollapistekiinnittimellä suoraan työkappaleeseen laskee nollapistekiinnittimiin vääntömomenttia aiheuttavaa voimaa. Vääntömomenttia aiheuttavan voiman suuruudeksi saatiin 2070 N. Tällöin yhdeltä nollapistekiinnittimeltä vaaditaan 8400 N lukitusvoimaa varmuuskertoimella 1,5. Laskenta on esitetty liitteessä 8.

5 NOLLAPISTEKIINNITTIMEN VALINTA

Sariolan (2013a) mukaan nollapistekiinnittimen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat:

- ”Vaadittava mittatarkkuus kiinnittimen/kappaleen vaihdon yhteydessä.
- Kuinka usein kiinnittimiä / työkappaleita vaihdetaan vuoden aikana.
- Ympäristö, jossa kiinnitintä käytetään: yksittäiskone, robottisolu, FMS.
- Automaatioaste tai valmius automaatioasteen kasvattamiseen eli kuinka kerätään informaatiota esimerkiksi soluohjainta varten sekä kuinka huolehditaan liitospintojen puhtaudesta.
- Työkappaleiden / työkappalekiinnittimien koko eli kuinka paljon täytyy ottaa huomioon kappaleen käsittelyä painon tai mittojen takia.
- Kiinnittimen / työkappaleen asento kiinnittimeen tuotaessa, vaakatasossa vai pystysuorassa.
- Valmistustapa: Jyrsintä, poraus, sorvaus, muovaus jne.
- Muiden valmistusmenetelmien / työkoneiden integrointimahdollisuus nollapistekiinnitysjärjestelmän avulla.
- Kiinnitetäänkö työkappale suoraa vetotapeilla kiinnittimeen vai käytetäänkö erillisiä työkappalekiinnittimiä.”

5.1.1 Koneistuskiinnittimen liittäminen nollapistekiinnityksellä

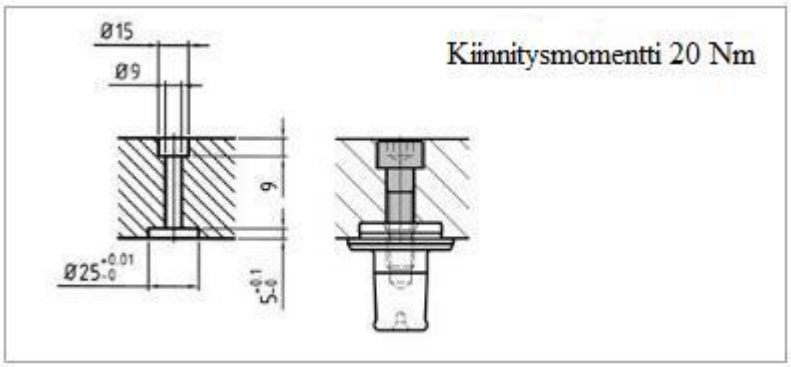
Jos ei haluta investoida valmiisiin, mutta kalliisiin vakioperuslevyihin, voidaan nollapistekiinnitinjärjestelmä suunnitella yksittäisten sylintereiden avulla. Nollapistekiinnitinjärjestelmäksi valittiin DockLock Safe 20 neljän pinta-asennettavan sylinterin järjestelmä paineilmapuhdistuksella. Paineilmapuhdistustoiminto pidentää huoltovälejä ja minimoi sylinterin vaurioitumisriskin. Hintaa perusmalliin nähden, jossa paineilmapuhdistusta ei ole, tulee lisää 4,5 %. Lukituksen vapautus tapahtuu hydrauliikkapaineen avulla.

Tarvittavan lukitusvoiman määrää palettipesukone, koska se vaatii suurimman lukitusvoiman nollapistekiinnittimen sylinteriltä. DockLock Safe 20 sylinteri täyttää asetetun vaatimuksen, sillä sen lukitusvoima on 12,5 kN. Vaikka sylintereiden lukitusvoima onkin huomattavasti suurempi kuin G4099 venttiilipesälle vaadittava 3600 N,

on otettava huomioon, että samaa neljän nollapistekiinnittimen kiinnitinjärjestelmää on pystyttävä käyttämään myös suuremmissa venttiilipesämalleissa, jotta nollapistekiinnityksestä saadaan paras mahdollinen hyöty irti.

Sylinterit kiinnitetään palettiin neljällä M12 x 35 mm kuusiokoloruuvilla. Sylintereiden paikoitusväliksi valittiin 300 mm, jotta sylinterit voitaisiin liittää paletissa valmiiksi oleviin kierrereikiin. Mikäli sylinterin kiinnityksessä ei voida käyttää paletissa valmiiksi olevia M16 kierrereikiä, joudutaan palettiin koneistamaan kierrereiät kuusiokoloruuveille. Vaihtoehtoisesti voitaisiin valmistaa sylintereiden kiinnittämiseen erikoiskiinnikkeet, joissa voitaisiin käyttää M16 kuusiokoloruuveja. Kolmas vaihtoehto sylintereiden liittämiseen on kiinnittää palettiin 40 mm paksu välilevy, johon koneistettaisiin M12 kierteet kuusiokoloruuveille.

Vetotapeiksi valitaan yksi paikoittava, yksi linjaava ja kaksi kiinnittävää vetotappia. Vetotapit kiinnitetään koneistuskiinnittimen pohjalevyn läpi menevällä ruuvilla. Järjestelmässä voidaan käyttää lyhytkantaisia vetotappeja, jolloin koneistuskiinnittimen pohjalevyyn täytyy koneistaa muun muassa Ø9 mm reikä kiinnitysruuville ja $Ø25^{+0,01}_{-0}$ mm reikä vetotapin kannalle. Tarvittavat koneistukset toleransseineen kuvassa 22.



Kuva 22. Vetotappia varten tehtävät koneistukset (Vischer & Bolli, 2012, s. 18).

Pinta-asennettavat sylinterit nostavat koneistuskiinnitintä ja työkappaletta 55 mm ylöspäin (Vischer & Bolli, 2012, s. 14). G4099 venttiilipesämallissa tämä ei aiheuta ongelmia, koska kokonaiskorkeus ensimmäisessä vaiheessa olisi nollapistekiinnityksen kanssa 725 mm ja toisessa vaiheessa 515 mm. FMS:ssä olevien tuotteiden maksimikorkeus saa olla

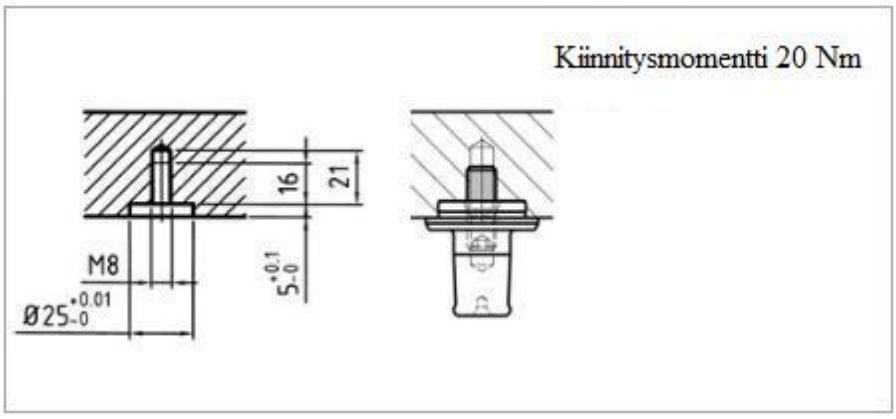
1300 mm (Mallinen, 2013). Nollapistekiinnittimistä aiheutuva korkeuden nousu saattaa kuitenkin olla rajoittava tekijä joidenkin koneistuskiinnitinyhdistelmien kohdalla.

Neljän paineilmapuhdisteisen DockLock SAFE 20 nollapistekiinnittimen sylintereiden, vetotappien ja järjestelmän kiinnittämiseen tarvittavien kiinnityselementtien yhteishinnaksi saatiin noin 4450 euroa. Hydrauliikkajärjestelmän rakentamiseksi vaadittavat putket, liittimet, liitinparisarjat ja jakotukit maksavat yhteensä noin 400 euroa. Kokonaisuudessaan investointikustannuksiksi tulisi näin ollen 4850 euroa. (Sariola, 2013a.)

5.1.2 G4099 venttiilipesän liittäminen toisessa vaiheessa nollapistekiinnityksellä

Nollapistekiinnitinjärjestelmäksi valittiin kahdella paineilmapuhdisteisella sylinterillä toimiva DockLock SAFE 20 järjestelmä. Sylintereiden lukitusvoima 12,5 kN riittää työkappaleen kiinnipitämiseen, sillä edellä mainittu minimilukitusvoima on 9700 N. Lukituksen vapautus toteutetaan hydrauliikkapaineen avulla. Sylintereiden kiinnityspintana voi käyttää jo käytössä olevia kiinnittimiä, koska kiinnittimistä löytyy vaadittava korkeuden nosto, jotta koneistuskeskuksen kara ei osu kiinnittimeen koneistuksen aikana. Kiinnittimen korokekohtaan jouduttaisiin kuitenkin liittämään levennyskappaleet venttiilipesän korvakkeiden kohdalle, jotta sylinterit saataisiin asennettua kiinnittimen pintaan. Sylintereiden paikoitusväli määräytyy vetotappien kiinnityspinnan mukaan.

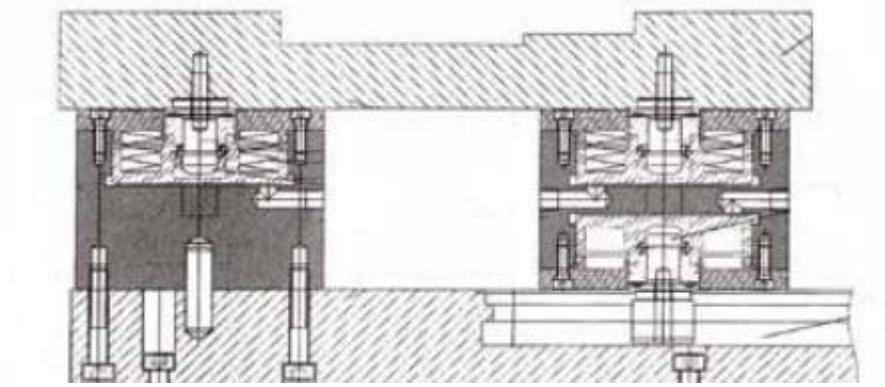
Vetotappityypit järjestelmässä ovat paikoittava ja linjaava vetotappi. Työkappaleen kiinnittämisessä voidaan käyttää lyhytkantaisia vetotappeja, joka kiinnitetään työkappaleeseen kuvan 23 mukaisesti vetotapin läpi menevällä kuusiokoloruuvilla.



Kuva 23. Koneistukset vetotapin liittämiseksi venttiilipesään (Vischer & Bolli, 2012, s.18).

Hinta edellä mainitulle järjestelmälle on 2230 euroa. Hinta koostuu sylintereistä, vetotapeista ja sylinterin kiinnittämiseen käytettävistä komponenteista. Hydrauliikkajärjestelmän rakentamiseksi vaadittavat putket, liittimet, liitinparisarjat ja jakotukit maksavat yhteensä noin 400 euroa. Koko järjestelmän investointihinnaksi saatiin 2630 euroa. (Sariola, 2013a)

Jotta kahden sylinterin nollapistekiinnitystä voitaisiin käyttää useammassa eri venttiilipesämallissa, yksi vaihtoehto olisi hankkia ns. räätälöity ratkaisu. Nollapistekiinnitinjärjestelmässä käytettäisiin kolmea nollapistesylinteriä, jotka on asennettu kuvan 24 tavalla. Järjestelmä rakennettaisiin paletin tai välilevyn päälle. Järjestelmän pohjana toimii portaattomasti säädettävä palkki. Toinen nollapistekiinnitin olisi kiinteä ja toinen liikuteltavissa säätöalueen asettamissa rajoissa. Nollapistekiinnitystä käytettäisiin työkappaleen kiinnittämiseen, sekä portaattoman säädön lukitukseen. (Vischer & Bolli, 2012, s. 48.)



Kuva 24. Nollapistekiinnitinjärjestelmä portaattomalla etäisyydensäädöllä (Vischer & Bolli, 2012, s. 48).

Nollapistekiinnitinjärjestelmien lukitusten avaamiseksi on syytä hankkia erillinen hydrauliikkapumppu. Hydrauliikkapumppu kiinnitetään verkkovirtaan, joten se on tarvittaessa kätevästi liikuteltavissa paletointipaikalta toiselle. 220 V käyttöjännitteellä toimivan hydrauliikkapumpun, jonka ulostulo paine on 65 bar, soveltuu 1 - 30 SAFE 20 sylinterin avaamiseen (Vischer & Bolli, 2012, s. 54). DockLock SAFE 20 nollapistekiinnittimillä käyttöpaine on 65 baaria, minimipaine lukitusten avaamiseen on 55 baaria, maksimipaine on 70 baaria ja öljyn tuotoksi riittää 2,3 l/min (Sariola, 2013d). Hintaa vaadittavalla hydrauliikkapumpulla on noin 1500 euroa (Sariola, 2013).

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tuloksista voidaan huomata, että nollapistekiinnittimien mallilla, määrällä ja sijoittelulla voidaan vaikuttaa kiinnitettävän kappaleen paikallaan pysyvyyteen. Työstövoimista aiheutuva vääntömomentti neljän neliön muotoon asennetun nollapistekiinnittimen järjestelmässä on suurillakin työkaluilla varsin olematon nollapistekiinnittimien kiinnitysvoiman aiheuttamaan vääntömomenttiin verrattuna. Kahden rinnan asennetun sylinterin kohdalla työstövoimista aiheutuva vääntömomentti vaatii sylintereiltä huomattavasti suuremman kiinnipitovoiman. Huomioitavaa on, että kiinnitettäessä työkappale suoraan palettiin kahdella nollapistekiinnittimellä, lukitusvoiman rajoittavana tekijänä toimii koneistuksesta aiheutuva rasitus. Kiinnitettäessä koneistuskiinnitin palettiin neljällä nollapistekiinnittimellä, rajoittavana tekijänä toimii palettipesukoneen pöydänkäännöstä aiheutuva rasitus.

Tuloksia voidaan pitää luotettavina, sillä työkalujen tiedot, kiinnitinjärjestelmien kriittiset mitat ja laskentaan käytetyt kaavat ovat itse mitattuja tai tieteellisestä lähteestä otettuja. Laskentaproseduurit ovat yksinkertaiset ja helposti sovellettavissa erilaisille nollapistekiinnitin variaatioille. Laskennoissa on käytetty varmuuskerrointa 1,5, joka antaa tilaa kriittisen ja laskennallisen tuloksen väliin. Näin ollen valitut nollapistekiinnitinratkaisut kestävät varmasti työprosessissa aiheutuvat rasitukset.

Verrattuna perinteisiin koneistuskiinnitysmenetelmiin, nollapistekiinnittämisen mahdollistamat lyhyet asetusajat tuovat huomattavia säästöjä varsinkin yrityksissä, joissa työkappaleet paletoidaan työstökoneen pöydällä. Nollapisteen säilyminen mahdollistaa myös työkappaleen ja paletin liikuttelun työstökoneesta toiselle ilman, että työkappaleen nollapiste muuttuu. Tuotantolinjassa tämä tarkoittaa sitä, että FMS ei välttämättä tarvita ollenkaan. Myös asetuksen vaihdoista syntyvät mittavirheet jäävät pois kiinteän nollapisteen myötä. Ergonomisia etuja saadaan paremmilla työasennoilla ja kiinnitysrautojen kiristelyn vähentymisen myötä.

Nollapistekiinnittimien hankinnasta syntyvät kustannussäästöt riippuvat siitä, lisääntyykö koneistuskiinnittimien vaihto niin paljon, että sillä on merkitystä työstökeskuksien

seisonta-aikoihin. Nollapistekiinnittimen investointikustannukset verrattuna monen paletin investointikustannuksiin ovat huomattavasti pienemmät. Jos nollapistekiinnitinsuunnittelu tilataan talon ulkopuolelta, syntyy siitä kuitenkin huomattavia kustannuksia, jotka pitää huomioida kokonaiskustannuksissa. Yksinkertaisimmat nollapistekiinnitinjärjestelmät ovat kuitenkin helposti mitoitettavissa ja suunniteltavissa ilman ulkoistakin suunnittelijaa. Takaisinmaksuaika nollapistekiinnittimillä on hyvin lyhyt, muutamasta kuukaudesta vuoteen hankitusta nollapistekiinnitinjärjestelmästä riippuen. Taulukossa 3 on esitetty investointikustannusten yhteenveto.

Taulukko 3. Nollapistekiinnittimen investointikustannusten yhteenveto.

	Neljän nollapistekiinnittimen järjestelmä	**Kahden nollapistekiinnittimen järjestelmä**
Sylinterit, vetotapit sekä kiinnityskomponentit	4450 €	2230 €
Muut komponentit	400 €	400 €
Hydrauliikkapumppu	1500 €	
Yhteensä	6350 €	4130 €

Tulevaisuudessa työkappaleiden liittäminen nollapistekiinnityksellä kannattaa ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Näin ollen eri malleille voitaisiin suunnitella samalle nollapistekiinnitin etäisyydelle paikat vetotapeille. Tällöin samaa nollapistekiinnitinjärjestelmää voitaisiin käyttää useamman eri työkappaleen paletoinnissa. Tämä vähentäisi niin FMS:ssä kuin FMS:n ulkopuolella varastoitavien koneistuskiinnittimien määrää. Nollapistekiinnittimien tuomia mahdollisuuksia on myös syytä tarkastella monitoimisorveilla, roboteilla ja kokoonpanossa.

Nollapistekiinnityksen käyttö niin koneistuskiinnittimen liittämisessä kuin G4099 venttiilipesän liittämisessä on mahdollista. Nollapistekiinnityksellä saavutetaan sekä nopeutta, että työntekijäystävällisyyttä molemmissa liitäntä tapauksissa.

Nollapistekiinnittämisen käyttöönotto koneistuskiinnittimien liittämisessä palettiin tulee kannattavaksi, mikäli koneistuskiinnittimien vaihdot yleistyvät niin paljon, että ne

saattaisivat pysäyttää hetkellisesti tuotannon. Koneistuskiinnittimen vaihto sitoo myös työtekijän pitkäksi aikaan prosessiin, josta ei synny voittoa yritykselle. Mitä useammalle koneistuskiinnittimelle voidaan käyttää samaa nollapistekiinnitin alustaa, sitä vähemmän FMS:ssä tarvitsee olla paletteja. Näin ollen tuotantoketjua voidaan pyörittää olemassa olevien palettien avulla ja uusien palettien hankintatarve vähenee. Tästä syntyvät kustannussäästöt ovat myös merkittävät.

Sopivin nollapistekiinnitinjärjestelmä koneistuskiinnittimen liittämisessä palettiin on neljän nollapistekiinnittimen järjestelmä, jota myös eri yrityksetkin suosittelevat käyttämään tuotekatalogeissaan. Pinta-asennettavat sylinterit ovat helpot asentaa, jolloin säästytään monilta koneistusvaiheilta verrattaessa esimerkiksi upotettaviin sylintereihin. Neljällä pinta-asennettavalla sylinterillä varustetun nollapistekiinnitinjärjestelmän hankintakustannukset ovat noin 1000 euroa standardisoituja nollapistekiinnitinjärjestelmiä pienemmät.

Nollapistekiinnittimien käyttö työkappaleen liittämisessä on järkevintä toteuttaa kaksivaiheisen koneistusprosessin toisessa vaiheessa. Näin ollen työvaiheiden määrä ei kasva ja vetotappien reiät on helppo koneistaa ensimmäisessä vaiheessa. Tulos oli odotettu ja samaa toimintamallia käytetään useissa yrityksissä. Käytettäessä samaa nollapistekiinnitintä useamman eri venttiilipesämallin kiinnittämiseen on koneistajan oltava tarkkana, että työstökoneen ohjelma vastaa nollapistekiinnittimeen kiinnitettyä venttiilipesää. Huolimattomuusvirheen seurauksena voi esimerkiksi työstökeskuksen kara törmätä työkappaleeseen pikaliikkeen aikana.

LÄHTEET

AMF. 2012. Zero-point-systems 11/2012 [verkkodokumentti]. [Viitattu 28.3.2013]. 108 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.s-t-group.com/images/news_images/AMF_Zero-Point_en_STnews051212.pdf

Big Kaiser. 2010. Unilock vol. 1, Zero-point clamping system 10/2012 [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2013]. 110 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.bigkaiser.com/pdfs/Unilock%20Vol.%201%20Zero-Point%20Clamping%20System.pdf

Mallinen, M. 2013. Koneistaja, Sandvik Mining and Construction Oy. Lahti. Haastattelu 14.2.2013. Haastattelijana Mikko Vesanto. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Mansikkala, K. 2013. Raskaan koneistuksen valmistuspäällikkö, Valtra Oy Ab. Suolahti. Tehdasvierailu 15.2.2013. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Roemheld. 2008. Stark, Zero Point Clamping System SPEEDY classic 1 [verkkodokumentti]. [viitattu 26.3.2013]. 84 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_2008/wm_020_304.pdf

Sandvik Coromant. 2005. Lastuavat työkalut, Tekninen käsikirja. Sweden by Elanders.

Sandvik Coromant. Laskukaavoja. [Sandvik Coromantin www-sivut]. [Päivitysaika tuntematon]. [viitattu 2.5.2013]. Saatavissa: http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/drilling/formulas_and_definitions/formulas/pages/default.aspx

Sariola, H. 2006. FMS-Tools Ab, DockLock-nollapistekiinnittimet [verkkodokumentti]. [viitattu 25.3.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.fms-tools.fi/images/uploads/pdf/DockLock_nollapiste_kiinnittime452006.pdf

Sariola, H. 2013a. DockLock kiinnittimet [yksityinen sähköpostiviesti]. [Liitetiedosto]. Vastaanottaja: Mikko Vesanto. Lähetetty 22.4.2013 14:52 (GMT +0200).

Sariola, H. 2013b. DockLock kiinnittimet [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mikko Vesanto. Lähetetty 29.4.2013 8:18 (GMT +0200).

Sariola, H. 2013c. DockLock kiinnittimet [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mikko Vesanto. Lähetetty 29.4.2013 11:49 (GMT +0200).

Sariola, H. 2013d. DockLock kiinnittimet [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mikko Vesanto. Lähetetty 21.5.2013 12:54 (GMT +0200).

Sariola, H. 2013. Myynti, FMS-tools Oy. Lahti. Nollapistekiinnitin esitys 24.5.2013. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

Savinainen, T. 2013. Tuotantopäällikkö, Sandvik Mining and Construction Oy. Lahti. Palaveri 15.2.2013. Muistiinpanot haastattelijan hallussa.

System 3R International AB. 2007. Delphin – the modular clamping system [verkkodokumentti]. [viitattu 27.3.2012]. 64 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.system3r.com/3rfiles/marketing/T-2175-E_72dpi.pdf

Tekninen tiedotus. 1982. Työkappaleen kiinnittäminen. Tekninen tiedotus 18/1982. Helsinki, Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 142s. ISBN 951-817-134-3.

Tekninen tiedotus. 1989. Työkappaleiden kiinnittäminen FM-järjestelmässä. Tekninen tiedotus 16/1989. Helsinki, Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 56s. ISBN 951-817-422-8.

Vischer & Bolli AG. 2012. Zero-point clamping, Changeover in Seconds! [verkkodokumentti]. Tuoteluettelo 7.52. [viitattu 26.3.2013]. Saatavissa PDF-tiedostona: http://195.134.130.20/Flipviewer/Katalog_7.52-eng_output/web/flipviewerxpress.html

Laitetoimisten kiinnittimien edut ja haitat (Tekninen tiedotus, 1989, s. 14-17).

	Edut	**Haitat**
Hydrauliset	- nopeus - samanaikaisuus - suuret kiinnitysvoimat - tasainen kiristys käyttövarmuus	- kiinnityksen varmistaminen - kallis - kiinnityselinten liikematkat rajoitettuja tarvitaan ulkopuolinen energialähde
Pneumaattiset	- saasteeton	- kiinnityssylinterin suuri koko - herkkä paineenvaihteluille
Magneettiset	- työkappaleen nopea irrotus ja kiinnitys - muodonmuutosten vähäisyys	- soveltuu vain magnetoituville aineille suositeltavaa tasomainen pinta
Sähkömagneettiset	- yksi energiamuoto - yksi energiansiirto-järjestelmä - ei letkuja tai putkia	- suuri koko kiinnitysvoimaan nähden - hankintakustannukset

Vuotuisen säästön laskenta koneistuskiinnittimen vaihdossa (Savinainen, 2013).

Alkuarvoja:

Konekustannukset = 100 €/h

Koneistuskiinnittimen vaihdot viikossa = 1

Koneistuskiinnittimen vaihtoaika ilman nollapistekiinnitystä = 45 min

Koneistuskiinnittimen vaihtoaika nollapistekiinnityksellä = 5 min

Kustannukset ilman nollapistekiinnitystä:

Syntyvät kustannukset viikossa lasketaan kaavalla

$$\frac{100\,\frac{€}{h}}{60} * 45 = 75\ €$$

Kustannukset vuodessa saadaan

$$75\ € * 52 = 3900\ €$$

Kustannukset nollapistekiinnityksellä:

Syntyvät kustannukset viikossa lasketaan kaavalla

$$\frac{100\,\frac{€}{h}}{60} * 5 = 8{,}3\ €$$

Kustannukset vuodessa saadaan

$$8{,}3\ € * 52 = 431{,}6\ €$$

Nollapistekiinnityksellä saavutetuksi vuotuiseksi säästöksi saadaan

$$3900\ € - 431{,}6\ € = 3468{,}4\ €$$

Ominaislastuamisvoiman laskenta (Sandvik Coromant; Mallinen, 2013).

Alkuarvoja työkalulle Ø80 mm u-pora kääntöterät:

Työstettävä materiaali = pallografiittivalurauta

k_{c1} = 1440 N/mm^2

f_z = f_n = 0,1

k_r = 88°

m_c = 0,28

γ_0 = 15°

Alkuarvoja työkalulle Ø31 mm u-pora kääntöterät:

Työstettävä materiaali = pallografiittivalurauta

k_{c1} = 1440 N/mm^2

f_z = f_n = 0,077

k_r = 88°

m_c = 0,28

γ_0 = 15°

Alkuarvoja työkalulle Ø58 mm u-pora kääntöterät:

Työstettävä materiaali = pallografiittivalurauta

k_{c1} = 1440 N/mm^2

f_z = f_n = 0,16

k_r = 88°

m_c = 0,28

γ_0 = 15°

Ominaislastuamisvoima lasketaan kaavalla

$$k_c = k_{c1} * (f_z * sin\ \kappa_r)^{-m_c} * (1 - \frac{\gamma_0}{100})$$

Sijoitetaan arvot yhtälöön, saadaan ominaislastuamisvoimaksi Ø80 mm u-poralle:

$$k_c = 1440\ {}^{N}/_{mm^2} * (0{,}1 * sin88)^{-0{,}28} * (1 - \frac{15}{100})$$

k_c= 2332,68 N/mm^2

Ø31 mm u-poralle ominaislastuamisvoimaksi saadaan:

$$k_c = 1440\ {}^{N}/_{mm^2} * (0{,}077 * sin88)^{-0{,}28} * (1 - \frac{15}{100})$$

k_c= 2509,80 N/mm^2

Ø58 mm u-poralle ominaislastuamisvoimaksi saadaan:

$$k_c = 1440\ {}^{N}/_{mm^2} * (0{,}16 * sin88)^{-0{,}28} * (1 - \frac{15}{100})$$

k_c= 2045,04 N/mm^2

Syöttövoiman laskenta (Sandvik Coromant, Mallinen, 2013).

Alkuarvoja työkalulle Ø80 mm u-pora kääntöterät:

Työstettävä materiaali = pallografiittivalurauta

k_c = 2332,68 N/mm^2

D_c = 80 mm

f_n = 0,1

k_r = 88°

Alkuarvoja työkalulle Ø31 mm u-pora kääntöterät:

Työstettävä materiaali = pallografiittivalurauta

k_c = 2509,80 N/mm^2

D_c = 31 mm

f_n = 0,077

k_r = 88°

Alkuarvoja työkalulle Ø58 mm u-pora kääntöterät:

Työstettävä materiaali = pallografiittivalurauta

k_c = 2045,04 N/mm^2

D_c = 58 mm

f_n = 0,16

k_r = 88°

Laskukaava

$$F_V = 0{,}5 * k_c * \frac{D_c}{2} * f_n * \sin k_r$$

Sijoitetaan arvot yhtälöön, saadaan syöttövoimaksi Ø80 mm u-poralle:

$$F_V = 0{,}5 * 2332{,}68\ {}^{N}/_{mm^2} * \frac{80\ mm}{2} * 0{,}1 * sin88$$

F_V = 4662,52 N

Ø31 mm u-poralle syöttövoimaksi saadaan:

$$F_V = 0{,}5 * 2509{,}80\ {}^{N}/_{mm^2} * \frac{31\ mm}{2} * 0{,}077 * sin88$$

F_V = 1496,81 N

Ø58 mm u-poralle syöttövoimaksi saadaan:

$$F_V = 0{,}5 * 2045{,}04\ {}^{N}/_{mm^2} * \frac{58\ mm}{2} * 0{,}16 * sin88$$

F_V = 4741,60 N

Lukitusvoiman F_E minimiarvon laskenta neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä työstön aikana (Roemheld, 2008, s. i11).

Alkuarvoja:

F_V (Ø80 mm u-pora) = 4662, 52 N

F_V (Ø31 mm u-pora) = 1496,81 N

Sylintereiden välinen etäisyys L_3 = 300 mm

Sylinterin halkaisija D = 112 mm (DockLock SAFE 20 pinta-asennettava sylinteri)

L_V (Ø80 mm u-pora) = 405 mm

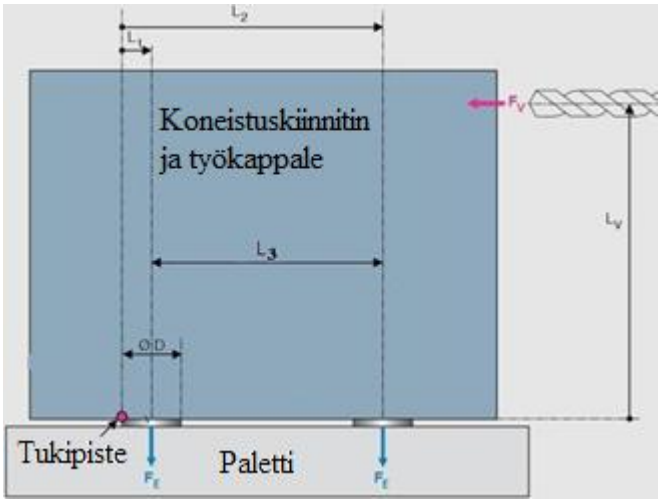
L_V (Ø31 mm u-pora) = 558 mm

L_1 =56 mm

$L_2 = L_1 + L_3$ = 356 mm

Varmuuskerroin = 1,5

$M_E > 1{,}5 * M_V$



Lasketaan Ø80 mm u-poralle työkalun aiheuttama vääntömomentti tukipisteen suhteen

$M_V = F_V * L_V = 4662,52 \text{ N} * 0{,}405 \text{ m}$

$M_V = 1888{,}3\ Nm$

Neljän nollapistekiinnittimen aiheuttama vääntömomentti tukipisteen suhteen

$M_E = 2 * (F_E * L_1) + 2 * (F_E * L_2)$

$M_E = 2 * F_E * (L_1 + L_2)$

$L_1 = \frac{ØD}{2}$

$L_2 = \frac{ØD}{2} + L_3$

$L_1 + L_2 = ØD + L_3$

$L_1 + L_2 = 0{,}056\ m + 0{,}356\ m = 0{,}412\ m$

Ratkaistaan pienin sallittu F_E arvo, jolloin $M_E > 1{,}5 * M_V$

$M_E > 1{,}5 * M_V$

$2 * F_E * (L_1 + L_2) > 1{,}5 * M_V$

$$F_E > \frac{1{,}5 * M_V}{2 * (L_1 + L_2)}$$

$$F_E > \frac{1{,}5 * 1888{,}32\ Nm}{2 * 0{,}412\ m}$$

$F_E > 3437{,}47\ N$

Lasketaan Ø 31 mm u-poralle vääntömomentti tukipisteen suhteen kaavalla

$M_V = 1496{,}81\ \mathrm{N} * 0{,}558\ \mathrm{m} = 835{,}2\ Nm$

Sijoitetaan arvot edellisessä kohdassa saatuun yhtälöön

$$F_E > \frac{1{,}5 * M_V}{2 * (L_1 + L_2)}$$

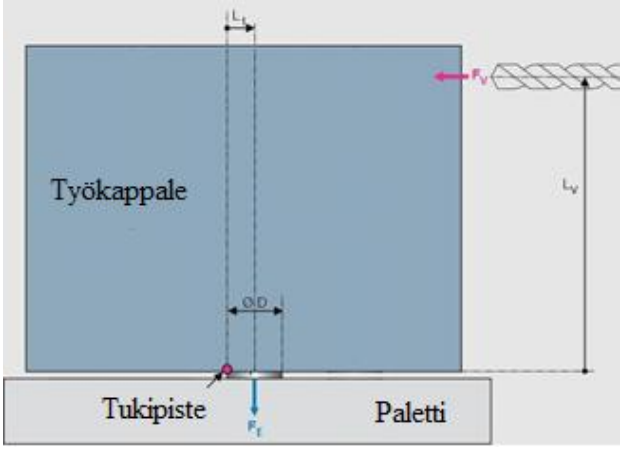
$$F_E > \frac{1{,}5 * 835{,}2\ Nm}{2 * 0{,}412\ m}$$

$F_E > 1520{,}39\ N$

Neljän nollapistekiinnittimen järjestelmää valittaessa koneistuksessa rajoittava tekijä on Ø80 mm u-pora. Yksittäisen nollapistekiinnittimen lukitusvoima on oltava >3500 N.

Lukitusvoiman F_E minimiarvon laskenta kahden nollapistekiinnittimen järjestelmässä työstön aikana (Roemheld, 2008, s. i11).

G4099 venttiilipesä liitettään työstöprosessin toisessa vaiheessa palettiin kahdella nollapistekiinnittimellä ilman koneistuskiinnitintä. Nollapistekiinnittimet peräkkäin kuvassa.



Alkuarvoja:

F_V (Ø58 mm u-pora) = 4741,6 N

Sylinterin halkaisija D = 112 mm

L_1 = 56 mm

L_V = 152 mm

Varmuuskerroin = 1,5

Nollapistekiinnittimien lukitusvoimasta aiheutuvan vääntömomentin tulee olla suurempi kuin syöttövoimasta aiheutuvan vääntömomentin.

$M_E > 1{,}5 * M_V$

$M_E = 2 * L_1 * F_E$

$M_V = 4741{,}6\ N * 0{,}152\ m = 720{,}72\ Nm$

$2 * L_1 * F_E > 1{,}5 * M_V$

$F_E > \frac{1{,}5 * M_V}{2 * L_1}$

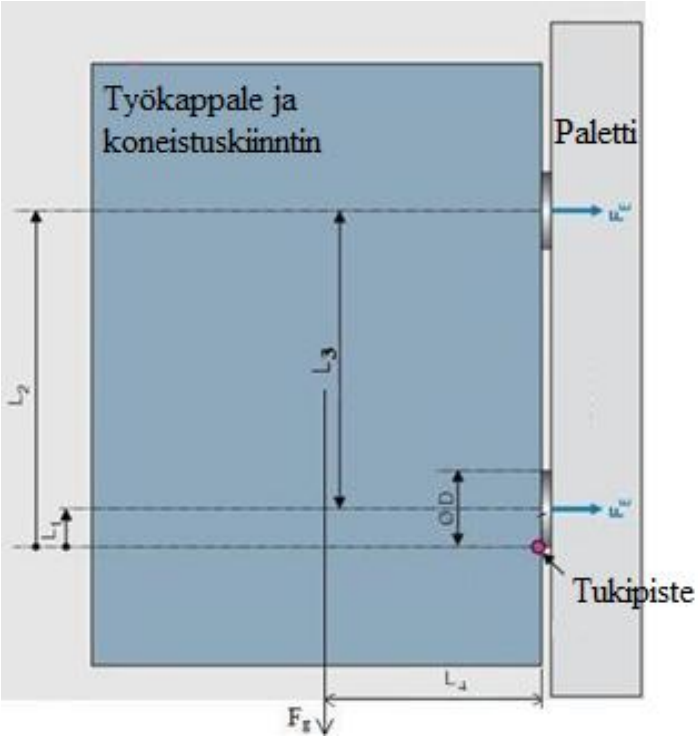
$F_E > \frac{1{,}5 * 720{,}72\ Nm}{2 * 0{,}056\ m}$

$F_E > 9652{,}5\ N$

Yhden nollapistekiinnittimen pienin sallittu lukitusvoima on $F_E > 9700$ N.

Lukitusvoiman F_E minimiarvon laskenta neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä palettipesukoneessa (Roemheld, 2008, i11).

Palettipesukoneen pöydänkäännöstä aiheutuvan rasituksen laskenta neljän nollapistekiinnittimen järjestelmälle.



Alkuarvoja:

$m_{G4099\ venttiilipesä}$ = 211 kg

$m_{koneistuskiinnitin}$ = 275 kg

m_{tot} = 221 kg + 275 kg = 486 kg

g = 9,81 m/s^2

Sylinterin halkaisija D = 112 mm

L_1 = 56 mm

L_2 = 356 mm

L_3 = 300 mm

L_4 = 405 mm

Varmuuskerroin = 1,5

Oletetaan, että massakeskipiste on työkappaleen nollapisteessä. Lasketaan maan vetovoiman aiheuttama voima

$$F_g = m_{tot} * g = 486\ kg * 9{,}81\ {}^{m}/_{s^2} = 4767{,}66\ N$$

Pienin lukitusvoima, joka yhdellä nollapistekiinnittimellä pitää olla neljän nollapistekiinnittimen järjestelmässä, voidaan laskea

$$2 * F_E * L_1 + 2 * F_E * L_2 - 1{,}5 * F_g * L_4 = 0$$

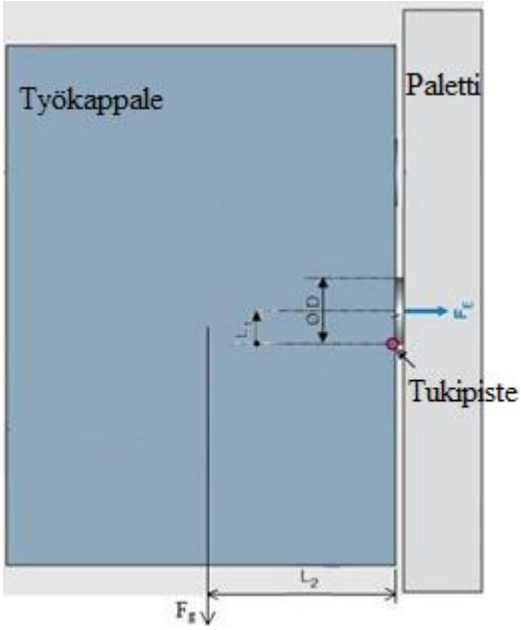
$$2 * F_E(L_1 + L_2) = 1{,}5 * F_g * L_4$$

$$F_E = \frac{1{,}5 * F_g * L_4}{2 * (L_1 + L_2)} = \frac{1{,}5 * 4767{,}66\ N * 0{,}405\ m}{2 * (0{,}056\ m + 0{,}356\ m)} = 3514{,}99\ N$$

Pienin lukitusvoima, joka yksittäisellä nollapistekiinnittimellä pitää olla varmuuskertoimella 1,5 on 3600 N.

Lukitusvoiman F_E minimiarvon laskenta kahden nollapistekiinnittimen järjestelmässä palettipesukoneessa (Roemheld, 2008, i11).

Palettipesukoneessa pöydänkäännöstä aiheutuvat rasitukset. Massakeskipisteen oletetaan olevan kappaleen keskipisteessä. Nollapistekiinnittimet peräkkäin kuvassa.



Alkuarvoja:

m = 211 kg

g = 9,81 m/s^2

$ØD$ = 112 mm

L_1 = 56 mm

L_2 = 303 mm

varmuuskerroin = 1,5

Lasketaan maan vetovoimasta aiheutuva voima

$$F_g = 211\ kg * 9{,}81 \frac{m}{s^2} = 2069{,}91\ N$$

Pienin sallittu nollapistekiinnittimen lukitusvoima, jolla kappale pysyy paikallaan, saadaan ratkaistua kaavalla

$$2 * F_E * L_1 - 1{,}5 * F_g * L_2 > 0$$

$$F_E > \frac{1{,}5 * F_g * L_2}{2 * L_1}$$

$$F_E > \frac{1{,}5 * 2069{,}91\ N * 303\ mm}{2 * 56mm}$$

$$F_E > 8399{,}77\ N$$

Lukitusvoiman (F_E) on oltava vähintään 8400 kN, jotta nollapistekiinnitys kestää.