

Tero Reunanen (toim.)

NOLLAPISTEKIINNITYS- TEKNOLOGIOIDEN SOVELTAMINEN JA ROBOTISOITU PANOSTUS

Panoste-projektin julkaisu 1/4



OPPIMATERIAALEJA
PUHEENVUOROJA
RAPORTTEJA 108
TUTKIMUKSIA

Tero Reunanen (toim.)

NOLLAPISTEKIINNITYS- TEKNOLOGIOIDEN SOVELTAMINEN JA ROBOTISOITU PANOSTUS

Panoste-projektin julkaisu 1/4



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Panoste-projektin julkaisut:

Tero Reunanen (toim.)

Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus

Panoste-projektin julkaisu 1/4

Turun ammattikorkeakoulun raportteja 108

Tero Reunanen (toim.)

Robotisoitu jäysteenpoisto

Panoste-projektin julkaisu 2/4

Turun ammattikorkeakoulun raportteja 109

Tero Reunanen & Sakari Koivunen (toim.)

Kappaleiden merkkkaus robotisoidussa tuotantosolussa

Panoste-projektin julkaisu 3/4

Turun ammattikorkeakoulun raportteja 110

Tero Reunanen & Sakari Koivunen (toim.)

Automatisoitu mittaus robotisoidussa tuotantosolussa

Panoste-projektin julkaisu 4/4

Turun ammattikorkeakoulun raportteja 111

Julkaisuja koostettaessa on käytetty lähteinä seuraavien henkilöiden tekstejä:

Jani Aarnio, Dmitri Glouchenko, Tomi Grönholm, Petri Helin, Sakari Koivunen, Kalle Kuusiniemi, Matias Kylliäinen, Pessi Kääpä, Jasper Lastunen, Teemu Lehtonen, Jaakko Lento, Antti Meriö, Toni Miller, Janne Mäkelä, Marko Piira, Sami Pöllänen, Juuso Raita, Tero Reunanen, Marko Seppälä, Jouni Sirola, Kimmo Sorola, Santtu Suhonen, Pekka Törnqvist, Tommi Unkuri, Samuli Uotila, Juho Vainio, Mikko Valliluoto, Gaius Voltti ja Heikki Vuorinen.

TURUN AMMATTIKORKEAKOULUN

RAPORTTEJA 108

Turun ammattikorkeakoulu

Turku 2011

ISBN 978-952-216-191-8 (painettu)

ISSN 1457-7925 (painettu)

Painopaikka: Tampereen Yliopistopaino – Juvenes Print Oy, Tampere 2011

ISBN 978-952-216-192-5 (PDF)

ISSN 1459-7764 (elektroninen)

<http://julkaisut.turkuamk.fi/isbn9789522161925.pdf>



LUKIJALLE

Tässä julkaisussa kuvataan Panoste-projektissa tehdyt testit ja kehitetyt sovellukset sekä niiden tulokset siten, että ne olisivat mahdollisimman helposti yritysten tutustuttavissa ja käytettävissä. Julkaisu on jaettu osiin tutkimusten, testien ja ratkaisujen mukaan mahdollisimman helpon käytettävyyden saavuttamiseksi yritysten näkökulmasta, eikä niinkään yhtenäisen lukukokonaisuuden vaatimusten mukaisesti. Kirjoittamiseen on osallistunut Turun ammattikorkeakoulun opiskelijoita sekä henkilökuntaa. Osiot on koostettu pääsääntöisesti suoraan valmiista opinnäytetöistä ja raporteista. Pieniä muokkauksia teksteihin on jouduttu tekemään jotta ne on voitu koostaa yhtenäisiksi kokonaisuuksiksi tähän julkaisuun.

Tahdon esittää kiitokseni erityisesti Turun ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan insinööriopiskelijoille jotka toimivat suuressa roolissa myös projektin dokumentoinnissa. Tämä julkaisu on pääsääntöisesti koostettu opiskelijoiden tuottamista opinnäytetöistä ja projektiraporteista. Lisäksi haluan kiittää Pekka Törnqvistiä ja Sakari Koivusta heidän tuestaan ja työstään julkaisun hyväksi sekä Tanja Hallenbergiä joka on toiminut oikolukijana ja kommentoinut tekstiä.

Tero Reunanen

SISÄLTÖ

ESIPUHE	7
I KONEISTETTAVIEN AIHIOIDEN UUSIEN PANOSTUSMENETELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO – PANOSTE	9
1.1 Projektin tarvelähtöisyys ja tavoitteet	9
1.2 Projektin tiedot	17
1.3 Tuotantosolu	20
2 PANOSTUS	23
2.1 Kiinnitys	23
2.2 Koneistuksen automatisoiminen	28
2.3 Nollapiste	30
2.4 Vaihtoehtoinen nollapistekiinnitin	46
3 KEHITETYT SOVELLUKSET	62
3.1 Koneistustorni	62
3.2 Case Pemamek Oy ja Mesera Paimio Oy – nollapistekiinnittimien käyttö robottihitsauksessa sekä koneistuksessa samoilla kiinnikkeillä	72
3.3 Case Tumo Oy – nollapistekiinnitystekniikan selvittäminen ja soveltaminen	81
3.4 Case Konepaja Ceiko Oy – levymäisen kappaleen koneistuksen nollapistekiinnityksen kehittäminen	96
4 PANOSTUS- JA ELEMENTTITESTIT	104
4.1 Testatut elementit	104
4.2 Nollapistekiinnittimien käyttötestit	107
4.3 Nollapistekiinnittimien testaus työstötorneissa	119
5 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN	133
LÄHTEET	135
LIITTEET	140

ESIPUHE

Vuoristoradan kyhdissä. Näillä sanoilla voisi kuvailla Suomen kone- ja metalliteknologia-alan yritysten menoa Koneistettavien aiheiden uusien panostusmenetelmien käyttöönotto – Panoste -projektin aikana. Kun projektia valmistettiin loppuvuodesta 2007 ja alkuvuodesta 2008 kävi maailman talous suurilla kierroksilla ja Suomen teollisuustuotanto oli noin 5 % kasvussa. Vuoden 2008 ensimmäisellä neljänneksellä oli metalliteollisuus suomalaisen tuotannon pääasiallisena kasvumoottorina jopa 12 % kasvuvauhdillaan. (Teollisuuden toimialakatsaus I/2008, Tilastokeskus). Kolmannella vuosineljänneksellä vuonna 2008 teollisuuden kokonaistuotannon kasvu lähes pysähtyi ja neljännellä vuosineljänneksellä alkoi jyrkkä alamäki. (Teollisuuden toimialakatsaus IV/2008, Tilastokeskus). Koko vuoden 2009 teollisuuden tuotanto supistui Suomessa tuotannon supistumisen alkaessa hidastua metalliteollisuudessa vasta vuoden 2009 viimeisellä vuosineljänneksellä. (Teollisuuden toimialakatsaus IV/2009, Tilastokeskus). Vaikka vuoden 2010 ensimmäisellä vuosineljänneksellä kaikkien teollisuuden toimialojen tuotanto oli jo kasvussa, niin metalliteollisuuden liikevaihto supistui yhä. (Teollisuuden toimialakatsaus I/2010, Tilastokeskus).

Talouden ja tuotannon vuoristorata loi projektille omat haasteensa. Vaikka Panosteen yhtenä tärkeimpänä tavoitteena oli vastata yritysten tarpeeseen selvitä juuri tällaisista tuotannon volyymin ja vaihtelevuuden muutoksista kehittämällä automatisoituja tuotantoratkaisuja kannattavuuden ja tehokkuuden parantamiseksi, niin laman vaikutuksesta johtuen projektin hyötynäkökohtien painopisteitä jouduttiin selvittämään ja ohjaamaan uudelleen projektin aikana.

Vaikka taloustilanteen vaihtelut aiheuttivat muutoksia jopa yhteistyöyritysten määrässä, niin voidaan sanoa, että Panoste onnistui silti jopa ennakko-odotuksia paremmin. Projektissa luotiin uusia sovelluksia ja ratkaisuja koneistettavien aiheiden panostukseen, jäysteenpoistoon, kappaleiden merkkäamiseen sekä tuotannon laadun valvontaan. Kaikki tutkimukset suoritettiin pitämällä mielessä konepajojen käytännön ongelmat ja kaikki sovellukset kehitettiin sellaisiksi, että pk-sektorin konepajat voivat ottaa ne käyttöönsä mahdollisimman vaivattomasti.

Panoste ei keskittynyt uusien teorioiden tai mihinkään kaukaisten visioiden luomiseen, jotka voitaisiin mahdollisesti hyödyntää vasta vuosikymmenien jälkeen. Panosteen punaisena lankana oli koko projektin läpiviennin ajan jo olemassa olevien tekniikoiden soveltaminen paremmin ja uusilla tavoilla sekä olemassa olevien sovellusten uudenlainen hyödyntäminen ja kehittäminen. Panosteen tarkoitus oli kerätä pk-yrityksiltä valitut kehityskohteet ja kehittää niihin automatisoidut ratkaisut. Tässä tehtävässä Panoste onnistui.

Turussa 24.03.2011

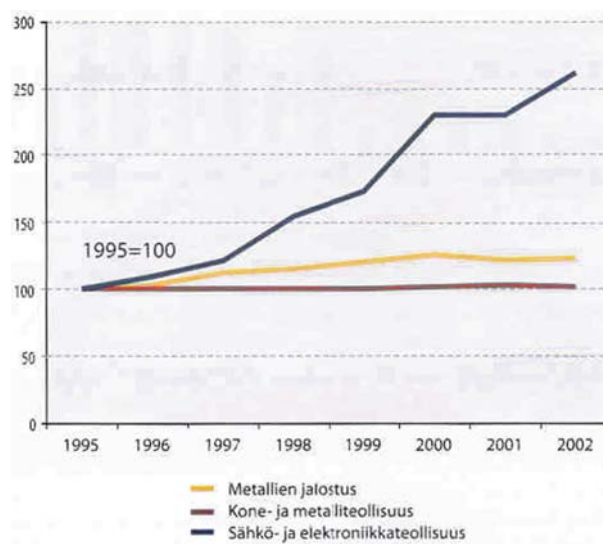
Tero Reunanen
Projektipäällikkö
Turun ammattikorkeakoulu

I KONEISTETTAVIEN AIHIOIDEN UUSIEN PANOSTUSMENETELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO – PANOSTE

Tero Reunanen

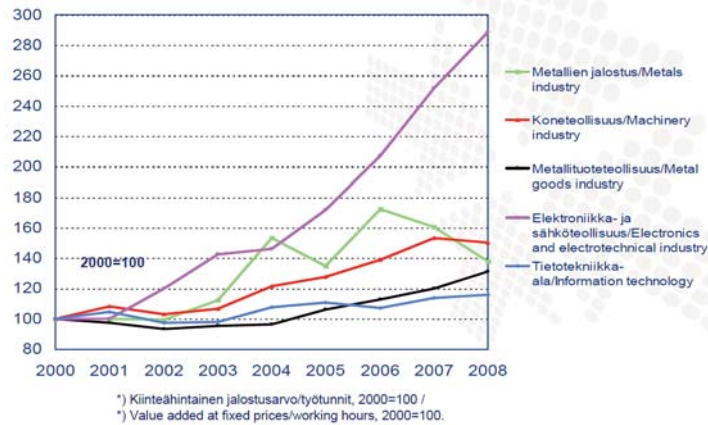
I.1 PROJEKTIN TARVELÄHTÖISYYS JA TAVOITTEET

Panoste syntyi samoista lähtökohdista kuin koko SISU-ohjelma eli suomalaisen teollisuuden kilpailukyvyn heikkoudesta sekä siitä, että suomalainen kone- ja metalliteollisuus ei ollut pystynyt nostamaan tuottavuuttaan juuri lainkaan vuosina 1995–2002 (kuvio 1). Tuottavuuden kasvu vuoden 2002 jälkeen on ollut myös kohtalaisen vaatimatonta (kuvio 2), vaikka tuottavuuden kasvuun oli osaltaan vaikuttanut positiivisesti kysynnän suuruudesta johtunut hintojen nousu, jonka tuottavuuden kasvua avustava vaikutus loppui vuonna 2008 (kuvio 3).



KUVIO 1. *Koneteknolomiteollisuuden tuottavuuden kehitys vuosina 1995–2002 (Teknolomiteollisuus ry 2004).*

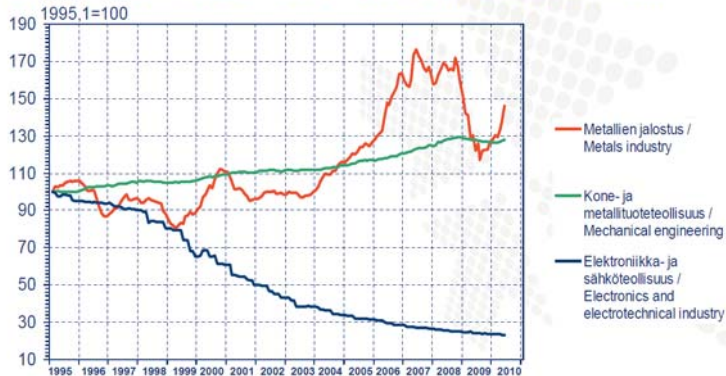
Tuottavuuden kehitys* teknologioteollisuudessa Labour Productivity Development in the Technology Industry



KUVIO 2. Tuottavuuden kehitys teknologioteollisuudessa vuosina 2000–2008 (Teknologioteollisuus Ry).

Teknologioteollisuuden tuottajahintojen kehitys Suomessa

Development of Producer Prices in Technology Industries in Finland

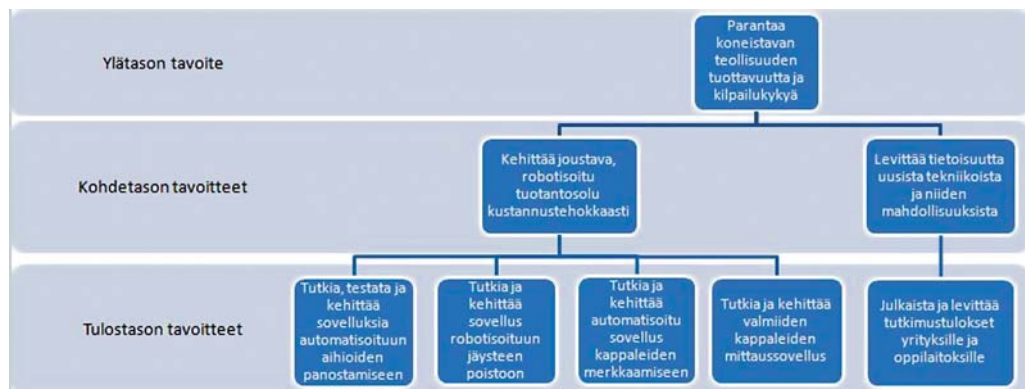


KUVIO 3. Tuottajahintojen kehitys vuosina 1995–2010 (Teknologioteollisuus ry).

Automatisoidun tuotannon joustavuuden parantaminen oli Panosteen toinen päätavoite ja tutkimusten kohde. Robotisointi- ja automatisointiratkaisut eivät tule ehkä koskaan olemaan niin joustavia ja adaptiivisia kuin ihminen. Toisaalta ihminen ei koskaan tule olemaan yhtä väsymätön ja tarkka kuin robotti. Ensimmäisen ohjelmoinnin jälkeen robotti pystyy toistamaan ohjelman täysin samanlaisesti pitkienkin taukojen jälkeen ilman virheitä tai muutoksia, kun taas ihmisen täytyy muistella edellistä kertaa ja tutustua uudelleen työtehtävään. Lisäksi ohjelman toistaminen onnistuu täsmälleen yhtä tarkasti toiseltakin robotilta, kun taas ihmisten välillä on suuriakin eroja muun muassa ammattitaidosta riippuen.

Suomalainen kone- ja metalliteollisuus tuottaa pääsääntöisesti pieniä sarjoja, mikä vaatii automatisoinnilta suurta joustavuutta. Tästä huolimatta automatisoidun tuotannon etuja ei voida kuitenkaan suoraan osoittaa vain sen joustavuutta tarkastelemalla. Jotta automatisoinnin kannattavuudesta ja hyödyistä saadaan todellinen kuva, tarkasteluun pitää myös ottaa mukaan muun muassa laatu-, investointikustannus- ja käyttökustannustekijät, suurin mahdollinen vuosittainen työmäärä sekä työmäärän ja työaikojen joustavuus.

Näistä ylätason tavoitteista ja rajaehdoista rajattiin projektille konkretisoidut tavoitteet. Kuvio 4 kuvaa tavoitteiden tasoa ja aktiviteetteja. Luvut 1.2.2–1.2.4 selvittävät tarkemmin yritysten tarpeiden muuntumista projektin tavoitteiksi.



KUVIO 4. Projektin tavoitteet.

1.1.1 Tuotannollinen näkökulma

Uusi ajattelu

Suomalainen koneistava konepajateollisuus nojautuu edelleen liikaa ”mies ja sorvi” -ajatusmalliin. Tällä tarkoitetaan ajatusta, että jokaisella koneella on oma henkilönsä tai päinvastoin, jokaisella henkilöllä on oma koneensa. Toki joissain yrityksissä on ollut myös mahdollista järjestää tuotanto siten, että 1) yksi henkilö operoi kahta tai useampaa konetta tai että 2) henkilö suorittaa koneistuksen aikana esimerkiksi jäysteen poistoa, kappaleiden merkkaukseen tai muita työvaiheita, joita on käsin voitu kappaleille suorittaa. Ensiksi mainittu järjestely kuvaa hyvin tuottavaa ajattelua, mutta tätäkin tuotantojärjestelyä voidaan tehostaa automatisoimalla näiden laitteiden toimintaa, jolloin henkilö pystyy operoimaan vieläkin useampia koneita yhtäaikaaisesti. Jälkimmäisen vaihtoehdon ongelmana on, että siinä hukataan ammattitaitoisen työntekijän työaikaa työvaiheisiin, jotka voitaisiin automatisoida tai suorittaa vähemmän ammattitaitoisella työvoimalla.

Panosteen ajatusmaailmassa ”mies ja sorvi” on vaihtunut ”mies ja useita robotisoituja tuotantosoluja” -ajatusmalliksi. Projektin perusajatuksena ja punaisena lankana ei siis ole ollut sataprosenttiseen automaatioon tähtäävät ratkaisut, vaan

ratkaisut, joissa automatisoidaan tuotantoa niin paljon, että yksi henkilö pystyy operoimaan yhtä aikaa useita tuotantosoluja ja -laitteita.

Työnjako

Panosteessa keskityttiin myös tuotantosolujen sisäisen työjärjestyksen optimoimiseen ja suurimman tuotannollisen hyödyn saamiseen. Automaattiorajapinnan tuominen mahdollisimman lähelle koneistettavaa kappaletta mahdollistaa myös kappaleen saamisen valmiimmaksi, tai täysin valmiiksi, kerralla. Tämä vähentää yrityksen sisäistä logistiikkaa ja keskeneräisen tuotannon määrää. Kappaleen saaminen kerralla aihioista valmiiksi tuotteeksi vapauttaa yrityksen henkilökuntaa kappaleiden siirtelystä työpisteeltä toiselle sekä pienentää keskeneräiseen tuotantoon sidottuja rahallisia resursseja.

Solujen sisäinen työnjako on suunniteltu siten, että mahdollisimman suuri osa kaikista ”avustavista töistä” voidaan suorittaa solussa, mutta koneistavan laitteen ulkopuolella robottivälineillä. Avustaviksi töiksi katsottiin 1) jäysteitys, 2) merkkkaus ja 3) mittaus. Nämä työvaiheet arvioitiin, panostuksen lisäksi, yhdessä yritysten kanssa tärkeimmiksi automatisoinnin tutkimuskohteiksi. Projektissa kehitetyssä tuotantosolun järjestelyssä koneistava laite, joka on yleensä solun kallein laite, suorittaa vain sellaiset työvaiheet, joihin muut laitteet solussa eivät pysty. Tällöin saadaan koneistavan laitteen todellinen tuottava hyötyaika mahdollisimman suureksi. Suorittamalla avustavat työt robotilla ja Panosteessa kehitetyillä sovelluksilla saadaan myös robotin panostusten väliset odotusajat hyötykäyttöön, jolloin robotin todellinen tuottava hyötyaika kasvaa. Kun solussa suoritetaan automatisoidusti sekä panostus, jäysteitys, merkkkaus että mittaus, saadaan vapautettua ammattitaitoista henkilökuntaa tuottavampaan ja ammattitaitoa paremmin hyödyntävään työhön, kuten esimerkiksi uusien kappaleiden koneistusohjelmien laatimiseen.

Tuotantovolyymien joustavuus

Tuotannon volyymin kasvattaminen ja supistaminen onnistuvat automatisoidussa tuotannossa huomattavasti helpommin ja pienemmällä ihmisin negatiivisesti vaikuttavilla seurauksilla kuin henkilötyöhön perustuvassa tuotannossa. Kuten jo johdantokappaleessa mainittiin, kone- ja metalliteknologia-ala on ollut kovassa turbulenssissa, eikä ole nähtävissä, että tällainen suhdanteiden vaihtelu ainakaan vähenisi tulevaisuudessa.

Noususuhdanteessa tuotannon osittaisellakin automatisoinnilla voidaan tuotantovolyymia kasvattaa helposti miehittämättömällä ajolla. Miehitettyjen työvuorojen jälkeen jätetään solut valmistamaan puskurissa olevat tuotteet loppuun. Tällainen miehittämätön tuotanto ei vielä vaadi läheskään sataprosenttista automaatioastetta vaan itsenäisesti toimivan solun, johon voidaan ladata aihioita odottamaan. Miehittämättömällä työvuorolla voidaan vähentää myös ylitöiden teettämistä. Ylityöt ovat työvoimakustannuksia tarkastellen suhteellisen kustan-

nustehoton tapa lisätä tuotannon volyyymia. Lisäksi jatkuvat ylityöt rasittavat yrityksen henkilökuntaa sekä fyysisesti että henkisesti. Usein myös tuotannon laatu ja tehokkuus laskevat suurien ylityökuormien aikana. Mikäli yritys toimii ympärivuorokautisesti, niin vähiten tuottavat ja raskaimmat aamuyön tunnit saattaisi olla kannattavaa hoitaa miehittämättömästi.

Laskusuhdanteessa taas voidaan jättää soluja käyttämättä. Mikäli investointi on jo kuolletettu, solun käyttämättä jättäminen ei aiheuta käytännössä lainkaan kuluja. Laskusuhdanteessa tuotannon supistamisen aiheuttamat inhimilliset ongelmat jäävät pieniksi. Automatisoidussa tuotannossa vältetään lomautuksilta ja irtisanomisilta paljon paremmin kuin ”mies ja sorvi” -tyyppisessä tuotannossa, jossa jokaisen koneen pysäyttäminen tuottaa yhden henkilön, jolle ei ole osoittaa työtehtäviä.

1.1.2 Investoinnin näkökulmat

Hankinta

Tuotannon automatisointi vaatii luonnollisesti investointinsa, mutta vaaditun investoinnin suuruutta pystytään rajaamaan muun muassa automaatioasteen järkevällä määrittelyllä sekä selvittämällä, mitä todella kannattaa automatisoida ja miten. Liian usein pyritään, ainakin myyntipuheissa ja mielikuivissa, sataprosenttiseen automaatioon. Varsinkin yksittäiskappale- ja piensarjatuotannossa sataprosenttisen automaation investointikustannukset nousevat todella suuriksi, mikäli täydellinen automatisointi on edes teknisesti mahdollista. Automatisointiastetta rajaamalla koskemaan automatisointi vain sellaisia toimia, jotka eivät vaadi liian suuria ja kalliita erikoisratkaisuja, saadaan automatisoinnin investointikustannukset pysymään siedettävänä.

Panosteen yhdeksi tavoitteeksi otettiin automatisoinnin toteuttaminen kustannustehokkaasti. Kustannustehokkuutta pyrittiin ylläpitämään sillä, että soluun kehitettävien laitteistojen ohjaaminen tapahtuu robotilla. Tällöin soluun ei tarvitse investoida ylimääräisiä ohjauskeskuksia tai muita suoraa tuottavaa työtä tekemättömiä laitteita. Ratkaisulla pyritään pitämään myös osaamiseen tarvittavat investoinnit matalampina, koska henkilökunta ei tarvitse koulutusta useiden eri laitteiden käyttöön, vaan koulutus robotin ohjaamiseen riittää.

Osaaminen

Kaikkien uusien tekniikoiden käyttöönotto vaatii investointinsa myös osaamiseen, eikä koneistavan tuotannon automatisointi tee tästä poikkeusta. Mikäli yrityksessä ei jo ennestään ole robotiikan ja automaatioalan osaajia, automatisoinnin investointikustannuksiin täytyy laskea myös yrityksen miltei pakolliset investoinnit tietotaitoon. Yritys tarvitsee henkilökunnaltaan uudenlaista osaamista niin automatisoidun tuotannon käyttämisessä kuin tuotannon ja toiminnan op-

timoimisessa. Robotin ja muiden laitteiden ohjelmoiminen sekä automatisoidun tuotannon suunnittelu poikkeavat tilanteesta, jossa kaikki työvaiheet tehdään ihmisten suorittamina. Nämä uudet vaatimukset herättävät usein vastustusta automatisointia kohtaan. Tämän muutosvastarinnan voittamiseksi ja uusien tapojen omaksumiseksi henkilökunnan kouluttaminen ja heille tiedottaminen sekä henkilökunnan mukaan ottaminen automatisointihankintoja tehdessä ovat hyvin tärkeitä asioita, jotka liian usein unohdetaan.

Panoste-projektia valmisteltaessa kävi yrityksissä ilmi sekä varoittavia että hyviä esimerkkejä automatisoinnin vaatiman osaamisen saralta. Huonoissa esimerkeissä osaamiseen ei oltu investoitu tarpeeksi ja automatisointiratkaisut olivat käytössä joko huonolla hyötysuhteella tai ne oli kokonaan poistettu käytöstä. Hyvissä esimerkeissä koulutukseen oli panostettu riittävästi ja oikealla tavalla. Eräs yritys oli kouluttanut yli 55-vuotiaita henkilöitä, joilla ei ollut ennestään minkäänlaista automaatiotaustaa, robotisoitujen tuotantosolujen operaattoreiksi, jotka kykenivät itsenäisesti solujen ongelmien ratkomiseen. Panosteen eräs tavoite oli levittää tietoa automatisoinnin vaatimista taidoista sekä tarjota yrityksille esimerkkejä ja osaamisen verkottumista automatisoinnin kynnyksen madaltamiseksi.

Käyttökustannukset

Käyttökustannusten laskeminen onnistuu robotisoidussa tuotannossa suhteellisen vaivattomasti. Nykyaikaiset teollisuusrobotit ovat ehkä konepajojen toimintavarmimpia laitteita. Mikäli tuotantomäärien arviot osuvat oikeaan, laitteiston vaatimat energia- ja huoltokustannukset sekä kappaleiden vaatima tuotantoaika voidaan laskea tarkasti. Epävarmimmaksi kustannustekijäksi käyttökustannuslaskelmissa jää ihmistyövoiman osuus. Automatisoitu laitteisto tuottaa samanlaiset kappaleet täsmälleen samassa ajassa, kun taas ihmistyöhön vaikuttaa useampi tekijä.

Kuten kaikkiin laitteisiin, myös automatisoituihin järjestelmiin ja robotteihin voi tulla häiriöitä ja vikoja. Tällöin kuitenkin yhden solun vikatilanne ei seisauta kaikkea tekemistä solua hoitavalta henkilöltä. Mikäli työntekijä hoitaa esimerkiksi viittä automatisoitua tuotantosolua, yhden solun häiriö- tai rikkoutumistilanteessa hänen työpanoksestaan häviää vain 20 %, kun taas ”mies ja sorvi”-tilanteessa menetetään henkilön koko työpanos. Samalla tavalla koneiden määrääikaishuollot ja muut seisokit aiheuttavat operoivalta henkilöltä huomattavasti pienemmän työpanoksen menetyksen.

1.1.3 Teknologinen näkökulma

Panostus

Panosteen ylätasoin tavoitteiden saavuttaminen vaati ensisijaisesti kappaleiden panostamisen automatisoinnin tutkimista ja soveltamista. Tästä johtuen projekti nimettiin ”Koneistettavien aihoiden uusien panostusmenetelmien käyttöönotto”. Automatisoiduille panostusmenetelmille on yhtenäistä yksi asia: nolllapiste. Kappaleisiin tarttuminen ja kappaleiden asettaminen ei ole automatisoidusti mahdollista, mikäli kappaleista ei jollain keinolla tiedetä yhtenäistä pistettä avaruuskoordinaatistossa, jonka mukaan tarttuminen ja asettaminen voidaan suorittaa. Keinoja nolllapisteen aseman havaitsemiseen on useita ja ne vaihtelevat konenäöstä mekaanisiin paikoituksiin ja rajoihin. Nykyisin on markkinoilla useiden eri valmistajien useita erityyppisiä nolllapistekiinnityselementtejä. Koska koko projektin perusajatus lähti panostuksen automatisoinnista, luonnollisesti *Panosteen ensimmäiseksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi valittiin aihoiden robotisoidun panostuksen tutkiminen, testaaminen ja soveltaminen koneistavassa konepajatuotannossa nolllapistekiinnityselementtejä hyödyntämällä.*

Jäysteitys

Jäysteitys on erittäin tärkeä koneistettujen ja sorvattujen kappaleiden viimeistelyvaihe. Jäysteen määritelmänä voidaan pitää seuraavaa: ”Jäyste on lastuavassa työstössä työkappaleen särmiin plastisen muodonmuutoksen seurauksena syntynyt ei toivottava materiaalimuodostuma.” (Gillespie 1999) Koska jäyste ei ole suunniteltua materiaalin muodostumista, jäysteen syntymistä voidaan, ja pitää, pyrkiä ensisijaisesti estämään. Jäysteen syntymistä voidaan estää muun muassa oikeanlaisella kappaleensuunnittelulla sekä oikealla työvaiheiden suunnittelulla ja järjestyksellä.

Yleensä ei silti jäysteen syntymistä voida täysin estää, vaan kappale pitää huolellisesta suunnittelusta ja oikeasta työjärjestyksestä huolimatta viimeistellä. Tähän löytyy useita eri keinoja termisestä räjäyttämisestä käsin suoritettavaan viilaukseen. Käsin suoritettava jäysteenpoisto on suorittajalle suhteellisen puuduttava, yksitoikkoinen ja epämiellyttävä työvaihe. Lisäksi käsin suoritettavaan jäysteenpoistoon kuluu huomattavan paljon työaika ja se vaatii suorittajaltaan jatkuvaa tarkkaavaisuutta. Tämän vuoksi Panoste keskittyi jäysteen robotisoituun poistamiseen pyörivillä työkaluilla. Ratkaisulla saadaan vapautettua ammattitaitoinen työvoima tuottavampaan ja miellyttävämpään työhön ja siten voidaan hyödyntää paremmin robotin aihoiden panostusten välistä odotusaikaa. *Panosteen toiseksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi tuli pyörivien jäysteitystyökalujen soveltaminen robotisoidussa tuotantosolussa sekä jäysteityslaitesovelluksen kehittäminen.*

Merkkaus

Valmistettaviin kappaleisiin halutaan usein merkintöjä, kuten tekstiä, numeroita tai kuvioita, jotka identifioivat kappaleen tai kertovat kappaleen valmistajan. Lisäksi myös kappaleen oikeanlainen käyttö saattaa vaatia merkintöjen tekemistä, kuten esim. hydraulikkaventtiileissä, joissa halutaan kertoa venttiilin eri kanavien funktiot. Tämän lisäksi tutkimuskohteita kartoitettaessa tuli esille, että nykypäivänä kappaleiden jäljitettävyyksivaatimukset ovat lisänneet kappaleiden merkkauksen tarvetta. Useat päätoimijat tilaavat samanlaisia kappaleita eri alihankkijoilta ja vaativat tällöin alihankkijoiltaan kappaleiden täyttä seurattavuutta.

Kappaleiden merkkauksen voi olla kohtalaisen paljon aikaa vievä prosessi. Kun Panosteen tutkimuskohteita kartoitettiin, tuli esille muun muassa seuraavanlainen tapaus: yritys valmisti hydraulikkakomponentteja, joihin merkittiin kanavien tunnukset. Merkkaukset suoritettiin koneistuskeskuksessa pienellä terällä kaivertamalla. Kun he tutkivat asiaa myöhemmin niin kävi ilmi, että kaiverruksiin kului niin paljon aikaa, että kaikkien koneiden kaiverrusajat yhteenlaskettuna yhden koneistuskeskuksen koko vuoden työaika meni vain merkkauksien tekemiseen. Tämän tehottomuuden ymmärtää paremmin, kun käännetään ajatus niin päin, että joku ehdottaisi yrityksessä yhden koneistuskeskuksen investointia vain tämän tyyppiseen työhön. Todennäköistä on, että ehdotus ei menisi läpi ja alettaisiin etsiä muita vaihtoehtoja työvaiheen suorittamiseen. On tosin hyvin inhimillistä, että tällainen tilanne pääsee pikkuhiljaa kehittymään. Työvaihe on joskus saattanut olla järkevä suorittaa kaivertamalla koneistuskeskuksessa, mutta tuotantovolyymien kasvaessa tuotantoa ei oltu huomattu järkeistää. *Panosteen kolmanneksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi tuli mahdollisimman hyvälaatuisen ja pysyvän merkkauksen menetelmän soveltaminen robotisoituun tuotantosoluun kustannustehokkaasti.*

Mittaus

Panosteessa kehitettävät ratkaisut ja tuotantosolu kehitettiin sellaisiksi, että osittainen miehittämätön tuotanto on mahdollista. Osittaisella miehittämättömällä tuotannolla saadaan aikaan suurempi joustavuus ja kokonaiskäyttökustannuksia saadaan alennettua. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi pitää kuitenkin kehittää tuotannon laatua varmistavia ratkaisuja. Mikäli laatua ei seurata mitenkään ja tuotanto pyörii miehittämättömästi, todennäköisesti jossain vaiheessa koko miehittämättömänä ajettu tuotanto on epäkuranttia ja koko tuotantoerä joudutaan siksi hylkäämään.

Panosteen valmistelussa kyseltiin yritysten suurinta tämän hetkistä tarvetta tuotannon aikaiseen mittaamiseen, minkä tuloksena päädyttiin sorvattavien kappaleiden ulkopuolisten halkaisijoiden mittatarkkuuden varmistamiseen sekä sisäpuolisten halkaisijoiden mittaamiseen. Alkuperäisenä tarkoituksena oli kehittää yksinkertainen sovellus tuotannon pysäyttämiseksi virheellisen kappaleen ilmesytyessä, mutta esiselvitysten jälkeen tavoitetta nostettiin siten, että tuotannon-

aikaisten mittaustulosten perusteella sorville syötetään parametrien korjaukset, mikäli kappaleen mitat lähestyvät toleranssirajoja. Tällöin voidaan estää ensimmäisenkin virheellisen kappaleen valmistus. *Panosteen neljänneksi tutkimusalueeksi ja tavoitteeksi muotoutui mittauslaitesovelluksen kehittäminen ulkopuolisten ja sisäpuolisten halkaisijoiden mittaamiseen.*

1.2 PROJEKTIN TIEDOT

1.2.1 SISU 2010 -ohjelma

SISU 2010 Uusi tuotantoajattelu -ohjelma aloitti toimintansa kesällä 2005 tilanteessa, jota oli edeltänyt hidaskasvun aineellisten investointien kasvu Suomen teollisuudessa sekä olemattoman tuottavuuden kehitys etenkin kone- ja metalliteollisuudessa. Ohjelman toteutusajankautena on koettu teollisuudessa voimakkaan korkeasuhdanteen kausi, mutta myös nopeasti edennyt valmistavan teollisuuden käytännössä lamauttanut taloustaantumien vastaisku.

Ohjelman käynnistyspäätöksen taustalla vaikuttivat odotettavissa olevat merkittävät kehityspaineet valmistavassa teollisuudessa, joiden asettamiin haasteisiin ohjelmalla on haluttu vastata tukemalla kappalevalmistuksen ja erityisesti kone- ja metallituoteteollisuuden yrityksiä vaativissa tuotannonkehityshankkeissa ja edistämällä alan tutkimustoimintaa. Havaittiin, että halvalla tuotannon maiden kilpailukyky perustuu pääasiassa edulliseen työvoimaan. Muilla kilpailukyvyn osa-alueilla suomalaisella kappalevalmistusohjelmalla uskottiin olevan täydet mahdollisuudet saavuttaa kansainvälinen kilpailuetu. Ohjelman missioksi määritettiin teknologisten edellytysten luominen suomalaisen kappalevalmistusohjelmalla kansainväliselle kilpailuedulle.

Ohjelmassa on rahoitettu yhteensä yli 140 projektia, joiden yhteenlaskettu budjetti nousee 81 miljoonaan euroon. Tästä Tekesin rahoitusosuus on ollut 39 miljoonaa euroa, mistä kaksi kolmasosaa on suuntautunut yrityksiin. Yritysten hankerahoituksella on voitu pienentää kehityshankkeisiin sisältyvää riskiä yritysten näkökulmasta ja kannustaa niitä haastavampiin tuotannon kehityshankkeisiin ja suurempiin teknologiaharppauksiin. Hankerahoituksella on luotu yrityksille mahdollisuuksia erikoistumiselle ja omien toimintaprosessien ennakkoluulottomaan kehittämiseen.

Ohjelman kohderyhmänä ovat olleet teknologiateollisuuden kappalevalmistusta valmistava teollisuus ja tehdastason investointihyödykkeitä tuottavat kone- ja laitevalmistajat sekä alalla toimivat tutkimuslaitokset (mukaan lukien VTT), yliopistot ja ammattikorkeakoulut. Hanketoiminta on kohdentunut erityisesti kolmelle teema-alueelle, joita ovat joustavat tuotantoratkaisut, edistyskelliset tuotanto- ja valmistusteknologiat sekä itseohjautuvuus tuotannossa.

Ohjelmatoimintaan sisältyneillä seminaareilla on tuotu esille ohjelman tarjoamia palveluja ja rahoitusmahdollisuuksia sekä edistetty hankkeiden välistä vuorovaikutusta ja alan toimijoiden välistä verkottumista. Ohjelman vuosiseminaarien lisäksi on järjestetty alue-seminaareja ja teemaseminaareja sekä kolme kansainvälistä seminaaria. Yhteensä seminaaritilaisuuksia on ollut 26, ja niihin on osallistunut lähes 1900 kotimaista ja yli 400 ulkomaista osallistujaa. Ulkomaisia puhujia tilaisuuksissa on ollut yli 50. (SISU 2010 Uusi tuotantoajattelu).

1.2.2 Panoste-projekti pähkinänkuoressa

Panoste toteutettiin Turun ammattikorkeakoulun ja yhteistyökumppaneiden yhteisellä ponnistuksella.

Yhteistyökumppaneita oli erityyppisiä. Osa kumppaneista oli varsinaisia projektipartnereita ja jotkut tukivat projektia mm. luovuttamalla tilojaan tai tuoteitaan projektin käyttöön. Lisäksi kumppaneiksi voitaneen laskea tavarantoimittajat, joista muutamat kuluttivat paljon aikaa ja vaivaa projektin tavoitteiden eteen. Luonnollisesti kumppaneiden panostusten määrät olivat erisuuruisia, mutta kaikkien kumppanien osallistuminen mahdollisti projektin toteuttamisen niin hyvälaatuisena kuin se toteutettiin. Panosteen projektiryhmä ja Turun ammattikorkeakoulu kiittää kaikkia kumppaneita!

Yhteistyökumppanit ja projektin rahoitus

TAULUKKO 1. *Rahoitussuunnitelma.*

Rahoitussuunnitelma		
Rahoittaja	Summa €	%
Tekes	260.818	60,00
Turun ammattikorkeakoulu	117.879	27,12
Gardner Denver Oy	5.000	1,15
Wipro Technologies Oy, Finland	5.000	1,15
ST-Koneistus Oy	5.000	1,15
Pemamek Oy	5.000	1,15
Konepaja Ceiko Oy	5.000	1,15
Carpino Oy	5.000	1,15
Salon Konepaja Oy	2.000	0,46
Mesera Works Oy	2.000	0,46
Mesera Paimio Oy	2.000	0,46
Tumo Oy	10.000	2,30
Högfors Oy	10.000	2,30
Yhteensä	434697	100

Muut partnerit:

Koneteknologiakeskus Turku Oy (tilat ja ohjausryhmän jäsenyys)
Fastems Oy Ab (ohjausryhmän puheenjohtajuus ja asiantuntemusta)
Leinovalu Oy (asiantuntemusta)
Wärtsilä Finland Oy (ohjausryhmän jäsenyys)

Suurimman rahoitussuunnitelmassa näkymättömän ja projektilta suuria summia säästäneen panoksen projektille antoi Koneteknologiakeskus Turku Oy (KTK). Projektin tutkimuksista pääosa tehtiin KTK:n tiloissa ja laitteilla. Lisäksi projektissa valmistettujen sovellusten osat valmistettiin pääasiassa KTK:n laitteilla.

Aikataulu

Projekti aikataulutettiin alun perin aikajaksolle 1.5.2008–30.4.2010, mutta laman aiheuttamien muutosten vuoksi projektille anottiin ja saatiin lisääaikaa 31.12.2010 asti. Tämä lisääika mahdollisti projektin suunnitellun ja tuloksellisen läpiviemisen.

Tekijät

Projekti suoritettiin sovittamalla yhteen Turun ammattikorkeakoulun insinööriopiskelijoiden opintoja, tutkimus- ja kehityshenkilöstön työtä sekä yritysten työtä. Tunteissa lasketuista työmääristä ylivoimaisesti suurimman työn suorittivat Turku ammattikorkeakoulun opiskelijat. Projektiin otti osaa yhteensä 28 opiskelijaa, jotka suorittivat projektissa opinnäytetöitään, alakohtaisia ja erikoistumisprojektio-pintojaan, vapaavalintaisia opintojaan sekä työharjoittelujaan. Turun ammattikorkeakoulun henkilökunnasta aktiiviseen työskentelyyn otti osaa kahdeksan henkilöä.

1.2.3 Turun ammattikorkeakoulu

Turun ammattikorkeakoulu (AMK) on monialainen koulutusyhteisö. Siellä työskentelee 750 ammattilaista ja opiskelee 9000 opiskelijaa. Turun AMK tarjoaa työelämää ja yrittäjyyttä kehittävää koulutusta sekä organisaatioita kokonaisvaltaisesti kehittävää tutkimus- ja kehitystyötä.

Turun AMK:n seitsemästä tulosalueesta Tekniikka, ympäristö ja talous (TYT) on innovaatio-akatemia, joka vastaa alallaan Varsinais-Suomen ja osittain koko Suomen alueella korkeimman ammatillisen osaamisen kehittämisestä. Turun AMK:n ja näin ollen myös TYT-tulosalueen tärkeimmät tehtävät ovat tutkintoon johtava koulutus, aikuiskoulutus, opiskelijoiden ammatillisen kasvun tukeminen, soveltava tutkimus- ja kehitystoiminta sekä toiminta-alueensa kehittäminen.

Kukin Turun ammattikorkeakoulun tulosalueista osallistuu Tutkimus-, kehitys- ja innovaatio (TKI) -ohjelmiensa avulla toiminta-alueensa elinvoimaisuuden kehittämiseen. Turun ammattikorkeakouluun on nimetty seitsemän T&K-ohjelmaa, jotka ovat pitkäkestoisia ja tulevaisuussuuntautuneita kokonaisuuksia, joiden alla T&K-projektit toimivat. Monipuolinen yhteistyö yritysten ja yhteisöjen kanssa on tuottanut sekä lyhyitä kehittämisprojekteja että monikansallisia hankkeita. Työelämän kanssa yhteistyössä toteutettavia projekteja käynnistetään vuosittain yli 100.

1.2.4 Koneteknologiakeskus Turku Oy

Vuonna 2005 perustettu Koneteknologiakeskus Turku Oy on Varsinais-Suomen teknologiateollisuusyritysten ja Turun tekniikan alan oppilaitosten yhteinen oppimis- ja kehittämiskeskus. Turun ammattikorkeakoulun, Turun ammatti-instituutin ja Turun aikuiskoulutuskeskuksen lisäksi mukana keskuksen toiminnassa on yli 70 yritystä.

KTK tarjoaa oppilaitoksille nykyaikaiset puitteet ja laitteet teknologian opetukseen ja ammatilliseen erikoistumiseen, mahdollisuudet harjoitus- ja lopputöiden tekemiseen sekä ammattitutkintonaäyttöjen suorittamiseen.

Yrityksille KTK tarjoaa uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä koulutus- ja uudelleenkouluksipalveluita. KTK tarjoaa yrityksille myös valmistuspalveluita, jolloin KTK:n ajanmukaista laitekantaa voidaan hyödyntää tarkoituksenmukaisesti opetusajan ulkopuolella.

Teknologiateollisuus on Turun alueen vahvin teollisuuden ala, ja sen osuus Varsinais-Suomen viennistä ja elinkeinoelämän T&K-investoinneista on huomattava. Koulutukseen hakeutuvien nuorten keskuudessa teollisuusalojen kiinnostavuus on kuitenkin vähentynyt jatkuvasti. Siksi KTK pyrkiikin esittelemään nuorille teknologia-alaa ja siihen liittyviä koulutus- ja työmahdollisuuksia sekä korjaamaan samalla osittain vanhentuneita käsityksiä alasta itsestään.

1.3 TUOTANTOSOLU

Panoste-projektin sovellukset tehtiin integroitaviksi Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olevaan robotisoituun tuotantosoluun. Projektin aikana ei ollut mahdollista muuttaa solun vakiopohjapiirustusta, mutta kaikki uudet sovellukset kyettiin kuitenkin sinne sijoittamaan projektissa päätetyillä tavoilla. Lisäksi soluun tehtiin pienimuotoisia muutostöitä, kuten seinien ja latausaseman uudelleensijoittelua.



KUVA 1. Solun ympäristö. (Kuva Pekka Törnqvist)



KUVA 2. Panoste-solun raakile. (Kuva Sakari Koivunen)

1.3.1 Lastuavat laitteet

Lähteenä Pekka Törnqvistin projektiraportti.

Koneteknologiakeskuksessa on käytössä kolme työstökoneetta: monitoimisorvi (Puma Series Mx 2500 ST), vaakakarainen koneistuskeskus (Doosan ACE HP 5000) ja viisiakselinen yleisjyrsinkone (Deckel Maho DMC 60 T). Koneet kuuluvat Fastems Oy:n toimittamaan FMS-järjestelmään. Panostaminen tapahtuu panostussolussa. Solussa on käytettävissä nivelvarsirobotti (Fanuc R-2000iB/165F) sekä latausasema.

1.3.2 Robotti

Lähteenä Sakari Koivusen projektiraportti.

Panoste-solussa on Fanuc R-2000iB/165F -teollisuusrobotti R-30iA -ohjauksella. Robotin kappaleenkäsittelykyky on 165 kg ja se on varustettu automaattisella työkalunvaihdolla. Sorvin panostamiseen on kahden kolmileukatarttujan yksikkö ja lisäksi nollapistekiinnikkeiden panostamiseen on oma erikoistarttujansa. Robotin 2655 mm yltämää on laajennettu asentamalla robotti 3070 mm pitkälle servotoimisille lineaariradalle. Lineaariradan ja robotin liikkeet on synkronoitu niin, että esimerkiksi suuren ja monimutkaisen kappaleen jäysteenpoistossa robottia voidaan siirtää radalla eri paikkaan jäysteenpoiston aikana.

FM-järjestelmään kytketty robottisolu voi ottaa työkappaleet suoraan hyllystöhissin varastosta. Robotin työalueella on kaksi FM-järjestelmän lavapaikkaa ja lisäksi erikoiskuljetin konepaletteille.

Konepalettia voidaan pyörittää, joten robotilla on mahdollista panostaa ja purkaa myös monitahoisia paletteja. Kappaleita valmistussoluun voidaan syöttää myös manuaalisesti kahden lavakärryn avulla.

Robotin ohjaus on kytketty Profibus-väylällä sekä ylätason FM-ohjaukseen että Daewoo -monitoimisorviin. Lisäksi robotissa on Ethernet-liitäntä esim. etädiagnostiikkaa tai, varmuuskopiointia varten. Oheislaitteiden liittämiseksi robotissa on kaksi sarjaporttia, joihin voidaan liittää esimerkiksi mittalaite tai merkkakone.

Kun kiinnitetään kappaleita pystytasoon perinteisillä nollapiste-elementeillä, on välttämätöntä pitää kappaleesta kiinni lukitsemisen ajan. Elementin lukitsemisen aiheuttaa suuria ulkoisia voimia robottiin. Tästä johtuva mekaaninen rasitus pyrittiin välttämään varustamalla robotti Softflood-optiolla. Sen avulla robotti voidaan asettaa myötäilemään ulkoisia voimia servovirtoja tarkkailemalla, joten kun elementti lukitaan, robotti seuraa perässä.

Robotissa on ohjelmistovalmiudet myös konenäön hyödyntämiseen, mutta Panosteessa konenäköä ei otettu käyttöön.

2 PANOSTUS

2.1 KIINNITYS

Lähteinä Kimmo Sorolan ja Heikki Vuorisen opinnäytetyöt sekä Kalle Kuusiniemen ja Teemu Lehtosen projektiraportti.

Lastuavan työstön tarkoituksena on saada epätarkkaan aihioon tarkempia mittoja, muotoja sekä keskinäisiä sijainteja ja parempi pinnanlaatu (Aunio, Kettunen, Kaaria, Niinimäki & Riski 1989, 84). Osana tehokasta työstöä ovat työstökoneiden kiinnittimet, joilla yksinkertaistetaan sekä nopeutetaan asetuksia ja kiinnityksiä vähentäen tuottamattomia sivuaikoja. Muunneltavuus on toivottava ominaisuus kiinnittimissä, jotta niitä voitaisiin käyttää usean eri tuotteen kiinnittämiseen. Kuitenkin yleisesti kiinnittimien suunnittelu ja valmistus tehdään vain yhtä tuotetta varten. (Aaltonen ym. 1991, 245.)

Perinteisesti koneistaminen työstökoneilla on ollut sellaista, että koneistaja työskentelee työstökoneella ja työstettävät kappaleet vaihdetaan käsin suoraan koneelle. Tällöin koneistaja työskentelee yhden tuotteen kanssa alusta loppuun saakka. Asetukset vaihdetaan sarjan alussa, ja koko sarja valmistetaan samoilla asetuksilla.

Isojen sarjojen käsittelyssä tuotantoa voidaan automatisoida käyttämällä esimerkiksi yksinkertaista manipulaattoria, joka vaihtaa kappaleen työstökoneella automaattisesti. Tämä on helpointa toteuttaa sorveissa, joissa pyörähdyskappaleiden kiinnitys tapahtuu kolmileukaistukkaan. Jyrsinkoneille, missä kappaleet ovat monimuotoisia, kappaleiden kiinnitys on vaativampaa.

Palettikoneissa työstettävän kappaleen vaihtoa on automatisoitu siten, että kappaleet on kiinnitetty työstökoneen irrotettavalla konepaletille ja paletti voidaan vaihtaa automaattisesti työstökoneelle. Tämän tyyppisissä koneissa paletteja voi olla 2 tai useampia.

Kun halutaan parantaa kilpailukykyä, tarvitaan lisää automaatiota, joten kappaleita täytyy saada panostettua automaattisesti. Tällä hetkellä automaatiota voidaan käyttää palettien vaihdossa, mutta silloin tarvitaan useampia paletteja yhtä konetta kohti. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää FM-järjestelmää, jossa on useamman paletin varasto palvelemissa useampaa konetta.

FM-järjestelmän käyttö on tarkoitettu lähinnä tuotantoon, joka koostuu vakio tuotteista. Alihankinnassa FM-järjestelmän käyttö ei ole yleistä korkean investointihinnan takia. FM-järjestelmässä tuotteen valmistelu on työlästä. Tässä tut-

kimuksessa pyritään testaamaan sitä, miten tuotantoa voidaan automatisoida nol-lapistekiinnitysteknologiaa soveltaen riippumatta siitä, onko kyseessä oma tuo-tanto vai alihankinta ja niin, että hankintakustannukset pysyvät kohtuullisina.

Työkappaleen paikoittamisella tarkoitetaan sen sijainnin määrittämistä työka-luun nähden. Kun työkappaletta koneistetaan, on sen sijainnin oltava yksikäsit-teisesti määritetty ja sen on säilytettävä oma sijaintinsa riippumatta siihen vai-kuttavista voimista.

Kun suunnitellaan kiinnittimiä, on ensiksi valittava työkappaleen paikoitustaso-jen asema ja lukumäärä. Kun paikoitustasot on valittu, määritetään tasolle sijoit-tettävien paikoituspisteiden asema, suunta ja lukumäärä.

Paikoitustasoilla tarkoitetaan niitä tasoja, joita käytetään työkappaleen mittaus-peruspintoina. Mittausperuspinta taasen on pinta, josta alkaen on jokin työstäen valmistettu mitta annettu piirustuksessa, ja joka tarkastetaan käyttäen sitä perus-pintana. Jotta paikoitustasojen määrä ja asema saataisiin määritettyä, on tunnet-tava työkappaleesta sen mittausperuspintojen määrä ja asema.

Peruspinnan asema määräytyy vain piirustuksessa osoitetun mitoituksen perus-teella. Kuvassa 3 näkyy työstösuuntien vaikutus mittausperuspintojen määrään. Normaalitytapauksessa voidaan lähtökohtana pitää, että kaikki työkappaleesta löytyvät peruspinnat ovat yhdensuuntaisia jonkin peruskoordinaattijärjestelmän kolmen tason (X-Y, X-Z tai Y-Z) kanssa. Tällöin on mahdollista esittää peruspinn-tojen sijaintien vaihtelu kuvan 3 mukaan. (MET Tekninen tiedotus 1982, 59.)

Rajoitus Työstö-suunta	Yksipuolinen	Kaksipuolinen	Mittaperuspintojen lukumäärä
$\pm Z$ -suunta			
$-Z$ -suunta $\pm Y$ -suunta			
$-Z$ -suunta $\pm Y$ -suunta $\pm X$ -suunta			

KUVA 3. Työstösuuntien vaikutus mittausperuspintojen määrään (MET Tekninen tiedotus 1982, 59).

Paikoituspinnoilla tarkoitetaan työkappaleeseen vaikuttavia peruspintoja. Tästä johtuen on työkappaleen paikoittavia pintoja oltava yhtä monta kuin mittauspe-ruspintoja. (MET Tekninen tiedotus 1982, 60.)

Pääpaikoituspinta tulisi aina koneistaa ensimmäisenä, koska seuraavissa työvaiheissa työkappale on voitava paikoittaa tätä pintaa apuna käyttäen. (MET Tekninen tiedotus 1982, 62.)

Työkappaleen kiinnittäminen jyrinnässä

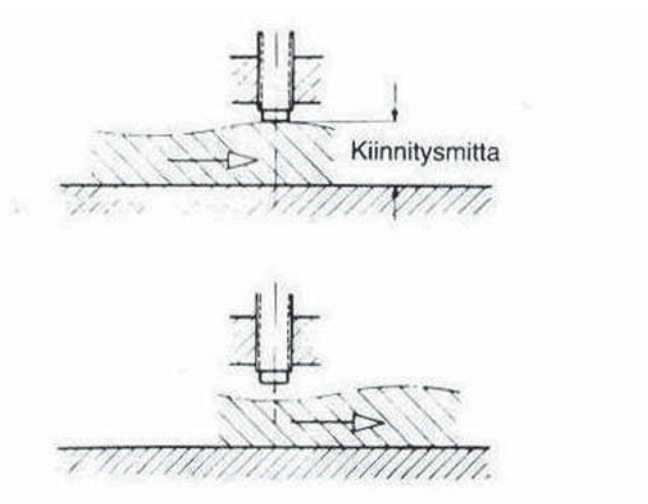
Kiinnittimien tarkoituksena on aikaansaada riittävän suuri kiinnitysvoima työkappaleeseen, jotta se saataisiin pidettyä siinä kohdassa koneistuksen aikana, johon se on paikoitettu mittausperuspintoja hyödyntäen. (MET Tekninen tiedotus 1982, 66.)

Jyrsittäessä työkappaleet on kiinnitettävä erittäin tukevasti, koska jyrinnässä syntyy suuria lastuamisvoimia. Itse lastuaminen on liikkeeltään nykivää, koska lastun paksuus ei pysy samana ja terän kosketuspituus ei usein ole työstön kannalta kaikkein paras. Kun kiinnitys on tehty oikein ja kunnolla, voidaan työstöarvot säätää oikein ja mahdollisimman taloudellisiksi. (Keinänen, Kärkkäinen, 2009, 177.)

Kiinnittämistavat

Kiinnittäminen voidaan jakaa joustaviin ja jäykkiin kiinnittämismenetelmiin. Jäykkiä kiinnityksiä ovat mm. kiilat, ruuvit sekä mutterit ja mukautuvia kiinnityksiä paineilma, hydrauliiikka sekä magneetit.

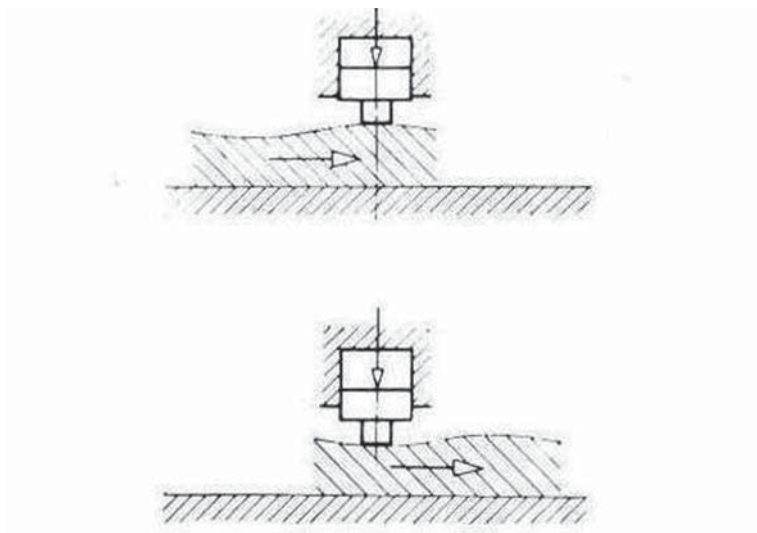
Jäykässä kiinnityksessä kiinnitin ei jousta lastuamisvoimien vaikutuksesta paitisi rungon jouston osalta. Kiinnitin siis muodostaa kiinnittimen rungon kanssa jäykän tilan, kun se on kiinnitystilassa. Haittana tällä kiinnitystavalla on se, että kun kappaleen kiinnityskohdan mitat muuttuvat, muuttuu myös kiinnitysvoima. Tämä nähdään kuvassa 4.



KUVA 4. Jäykkä kiinnitys. Kiinnitysvoima muuttuu kiinnitysmitan muuttuessa. (MET Tekninen tiedotus 1982, 67)

Kiristysvoima on riippuvainen itse käyttäjästä.

Mukautuvassa kiinnityksessä kiinnitysvoimat eivät muutu, vaikka kiinnityskohdan mitat muuttuvat. Tämä nähdään kuvassa 5.



KUVA 5. Mukautuva kiinnitys. Kiinnitysvoima pysyy samana huolimatta kiinnitysmittan muuttumisesta. (MET Tekninen tiedotus 1982, 67)

Työstettävä kappale pysyy koko lastuamisen ajan kiinnitettynä samalla voimalla. Kappale ei liiku edes silloin kun sen asema muuttuu tai se joustaa, koska jälkikiristys tapahtuu itsestään.

Mukautuvassa kiinnityksessä ei tarvita yhtä paljon kiinnitysvoimaa kuin jäykässä kiinnityksessä. Tässä kiinnitysvoima ei ole riippuvainen käyttäjästä ja se voidaan säätää kiinnityksen tarpeiden mukaan. (MET Tekninen tiedotus 1982, 67.)

Kiinnitysvoimat

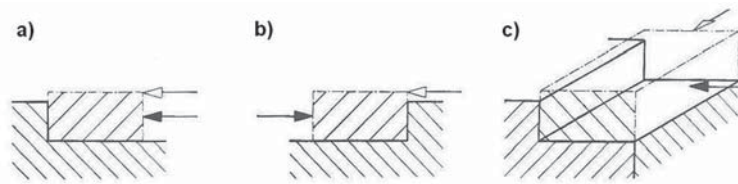
Kiinnittimien on johdettava kiinnitysvoima työstettävään kappaleeseen mahdollisimman lyhyttä reittiä. Kun lastuttaessa syntyy voimia, siirtyvät ne tukipisteisiin työstettävästä kohdasta juuri työkappaleen kautta. Lastuamisessa kiinnittimien tehtävänä onkin sitoa työstettävä kappale kiinnityspintaan siten, että työstössä aiheutuvat voimat kumoutuvat kiinnitysvoimilla.

Kun työkappaleen työstövoimat ovat suuret, sen koko kasvaa ja se joustaa, tarvitaan useita kiinnittimiä. Kiinnityskohdat tulisi valita niin, että työstettävän kappaleeseen syntyy vain puristus- tai vetojännityksiä.

Kiinnitysvoiman suuruuteen kappaleessa vaikuttaa kiinnityslaitteen käyttövoima, sen välityssuhde ja kiinnittimen hyötysuhde. Sitä rajoittaa kiinnittimen ja kiinnitettävän kappaleen jäykkyys ja lujuus. Kiinnitin tulisi rakentaa siten, ettei

edes suurimmalla mahdollisella voimankäytöllä ylitetä suurinta kiinnitysvoimaa, joka sille on sallittu.

Jotta työstettävän kappaleen paikallaan pysyminen varmistettaisiin mahdollisimman hyvin, on kiinnitysvoimien suunta valittava tarkoin. Kuvassa 6 nähdään, miten kiinnitysvoimien suunta tulisi valita työstövoimien mukaan. Kiinnitysvoimien suunta tulisi valita työstövoimien mukaan siten, että kumpikin voima vaikuttaa samassa suunnassa ja ne molemmat kohdistuvat samaa kiinteää tukipintaa kohden. (MET Tekninen tiedotus 1982, 68.)



KUVA 6. Työstö- ja kiinnitysvoimien keskinäinen suunta. (MET Tekninen tiedotus 1982, 68)

- a. Työstö- ja kiinnitysvoima samansuuntaiset
- b. Työstö- ja kiinnitysvoima suunniltaan vastakkaiset
- c. Työstövoima kohtisuorassa kiinnitysvoimaa vastaan

Kiinnityskohtien valinta

Kiinnityskohtien valinta on tehtävä huolellisesti. Hyvä kiinnitys on sellainen, ettei työstettävä kappale muuta asemaansa työstön aikana työstö-, reaktio- tai massavoimien ansiosta. Kun pursitusvoima vaikuttaa kaikkiin kiinnityselimiin, on kappale tukevasti kiinnitetty.

Myös kiinnityskohtien lukumäärän valintaan ja niiden oikeille paikoille sijoittamiseen on kiinnitettävä paljon huomiota. Työstettävä kappale tulisi kiinnittää mahdollisimman läheltä sitä kohtaa, jossa lastuaminen tapahtuu. On myös varottava, ettei kappale liiku kippaamisen tai siirtymisen vuoksi. Kiinnityskohtien lukumäärä tulisi saada mahdollisimman pieneksi.

Myös työstökoneen, työstettävän kappaleen ja itse kiinnittimen taivutusalttius on otettava huomioon. Jos työstämisestä aiheutuu paljon joustoa, aiheuttaa tämä vaarallista värähtelyä. Jos taas jousto saadaan poistettua, voidaan käyttää suurempia työstötehoja, mittatarkkuus kasvaa ja pinnanlaatu paranee. (MET Tekninen tiedotus 1982, 70.)

2.2 KONEISTUKSEN AUTOMATISOIMINEN

Lähteenä Pekka Törnqvistin projektiraportti.

Koneistus yksittäisellä työstökoneella käytännössä tarkoittaa sitä, että kappaleet vaihdetaan suoraan työstökoneelle. Tällöin kappaleen kiinnitys on rakennettu useimmiten mekaanisilla kiinnittimillä. Kappalevariaatio voi olla hyvinkin kirjava ja tuotanto ei ole suunniteltu sarjatuotantoon.

Tuotannon siirtyessä sarjatuotannon puolelle pyritään automaatiota lisäämään. Jos kyseessä ovat sorvattavat kappaleet, on kappaleiden kiinnitys yksinkertaista kolmileukaistukan avulla, ja kappaleen kiinnitys voidaan automatisoida käyttämällä hydraulista istukkaa, joka on melkein kaikissa NC-sorveissa. Kun tähän lisätään yksinkertainen manipulaattori ja rata, voidaan kappaleet vaihtaa automaattisesti. Joustavuutta tässä ei kuitenkaan ole, koska tuotteen vaihtaminen vaatii asetusten vaihtamista. Jyrsinkoneissa kappaleet ovat monimuotoisempia ja niiden kiinnittäminen automaattisesti vaatii jo erityiset hydrauliset kiinnittimet. Niiden käyttäminen vaatii enemmän suunnittelua ja rahaa. Kun sarjat ovat suuria, voidaan investointikustannukset saada myös takaisin automaation tuomasta edusta. Kuitenkaan tässä tapauksessa tuotannolla ei ole suurta joustavuutta. Asetusten muuttaminen vie aikansa.

Kun halutaan myös joustavuutta, tarvitaan järjestelmä, joka tarjoaa joustavia ratkaisuja kuten esimerkiksi FM-järjestelmä. Siinä kappaleiden kiinnitykset on rakennettu konepaletteille. Näitä konepaletteja voidaan vaihtaa automaattisesti työstökoneella, jossa on useampia paletteja. Vaihtoehtoisesti työstökone on kytketty isompaan FM-järjestelmään, missä on erillinen palettivarasto ja kuljetinsysteemi, millä paletit kuljetetaan työstökoneelle. Sorvit voivat olla osana FM-järjestelmää sillä edellytyksellä, että sorvin kiinnitin voidaan vaihtaa automaattisesti.

Koska FM-järjestelmän rakentaminen vaatii suuren investoinnin, muodostavat sen suurimman käyttäjäryhmän yritykset, jotka tekevät toistuvaa sarjatuotantoa. Sen lisäksi että FM-järjestelmän rakentaminen on kallista, myös yhden tuotteen valmistusprosessin rakentaminen vaatii resursseja ja investointeja. Jotta järjestelmässä joustavuus säilyy, pyritään tuotteelle rakentamaan valmiit asetukset omalle paletille. Kun tuotteita on useita, tarvitaan myös paljon paletteja. Yhden paletin valmistuskustannukset voi kohota n. 10 000 euroon. Miehitämätöntä tuotantoa rajoittaa ladattujen palettien määrä. Tuotannossa ei välttämättä ole kovinkaan monta erilaista tuotetta valmistuksessa samanaikaisesti, jolloin miehittämätön tuotanto toimii vain niin pitkälle kuin paletteja on valmiiksi ladattu järjestelmään.

2.2.1 Panostus ja purku käyttäen nollapistekiinnittimiä

Lähteinä Heikki Vuorisen opinnäytetyö ja Pekka Törnqvistin projektiraportti.

Jotta voitaisiin saavuttaa esimerkiksi yksi vuoro miehittämätöntä tuotantoa mahdollisimman pienillä kustannuksilla, joustavuuden kuitenkin kärsimättä, voidaan käyttää robottipanostusta nollapiste-elementtien avulla. Koneistusta varten kappaleille täytyy rakentaa kiinnittimet, joihin ne työstön ajaksi kiinnitetään. Kun kappale ei muutu, voidaan se vaihtaa käyttämällä vaikka yksinkertaista manipulaattoria ja kiinnittää esimerkiksi hydraulisilla kiinnittimillä. Tällainen järjestelmä ei kuitenkaan ole joustava. Kun halutaan vaihtaa valmistettavaa tuotetta, täytyy vaihtaa kappaleen kiinnitys ja robotin asetukset. FM-järjestelmän käyttö perustuu siihen, että kappaleille on rakennettu valmiit kiinnitykset konepaaleille. Kappaleet voidaan kiinnittää konepaaleille valmiiksi ja konepaalit varastoida järjestelmään, jolloin järjestelmä syöttää niitä koneille. Tässä tapauksessa tarvitaan useita konepaletteja.

Sarjatyössä koneistettaviin pintoihin vaaditaan samat mitat tarkalla toleranssilla, mikä takaa osien vaihtokelpoisuuden. Tämä saavutetaan käyttämällä kiinnittimiä. Samalla laatuvarmuus lisääntyy, kun käytetään hyvin suunniteltuja kiinnittimiä. Hankalankin muotoiset kappaleet saadaan tuettua hyvin, mikä mahdollistaa tehokkaamman lastuamisen. (Aunio, Kettunen, Kaaria, Niinimäki & Riski 1989, 86.) Kiinnittimiltä vaaditaan riittävän jäykkää ja tukevaa rakennetta. Käytön kannalta tärkeää on kiinnityselementtien nopea käytettävyyys. Kiinnittimen muotoilulla on poistettava mahdollisuus kappaleen väärään asemointiin. (Aaltonen ym. 1991, 246.) Nopean ja varman kappaleen vaihdon lisäksi on otettava huomioon mahdolliset poikkeamat aihion mitoissa ja niiden vaikutus kiinnitykseen. Kiinnitintä pidetään hyvänä silloin, kun se tukee kappaletta kolmesta eri pisteestä. (Pikkarainen 1999, 71.)

Koneistuskeskuksissa käytetään myös perinteisiä kiinnitinelementtejä työkohtaisten erikoiskiinnittimien lisäksi. Näitä ovat ruuvipuristimet, kolmileukaistukat ja erilaiset kiinnitysraudat. Kiinnitysrautojen käyttö soveltuu vain yksittäisten kappaleiden kiinnittämiseen, koska sarjoja valmistettaessa vaaditaan erikoiskiinnitin asetuksen nopeuttamiseksi. Kappaleen kääntämisen apuna käytetään usein pyöröpöytiä. Vaakakaraisissa keskuksissa ne ovat usein osa konetta sekä kooltaan suuria, ja ne pyörivät pysty akselin ympäri. Pystykaraisissa koneistuskeskuksissa käytettävät pyöröpöydät ovat huomattavasti pienempiä, ja ne pyörivät X- tai Y- akselin ympäri. Ne ovat lisälaitteita, ja ne kiinnitetään usein työstöpöytään. (Pikkarainen 1999, 72.) Kappaleiden kiinnittämiseen voidaan näiden lisäksi käyttää matalakiinnittimiä. Ne on suunniteltu sopimaan kappaleiden väliin ja lukitsemaan ne kiinteitä vasteita kohti. Vaikka matalakiinnittimet ovat pienikokoisia, saadaan niillä aikaiseksi suuri kiinnitysvoima. (OK-Vise 2009, 2, [Viitattu 7.9.2009].)

Koneistuskeskuksiin on yleensä pyrkimyksenä asettaa mahdollisimman monta kappaletta samaan kiinnitykseen, jotta yhtäjaksoista koneistusaikaa saataisiin lisättyä. Silloin kappaleita asetetaan rinnakkain tai päällekkäin ja eri puolille kiinnitintä, jota sitten käännetään pyöröpöydällä. Usein käytetään tornia, johon saadaan kappaleita kiinni usealle sivulle. Suuren kappalemäärän lisäksi pyritään kappaleiden asettaminen tekemään koneen käydessä, jolloin käytetään paletteja. (Pikkarainen 1999, 72.) Paletti on nopeasti vaihdettava kiinnitin, joka saadaan tarkasti asetettua koneistuskeskukseen. Käyttämällä useita paletteja saadaan keskuksen pysähdyksissä olevaa aikaa vähennettyä, koska kappaleet saadaan asetettua palettiin samalla kun kone työstää ja palettien vaihtaminen tapahtuu nopeasti. Paletinvaihtojärjestelmän toteuttaminen on yleensä kallista. (Cormier, Walsh 2005, 631.) Yleensä paletteihin pitää vielä lisätä jonkinlainen kiinnitin kappaleiden kiinnittämistä varten. Tavanomaisessa sarjatuotannossa käytetään usein yhtä kiinnitintä sen sijaan, että tehtäisiin useita identtisiä kiinnittimiä usealle paletille. (Boothroyd, Knight 2006, 399.)

Kun kappaleet kiinnitetään peruslevylle, joka sitten taas voidaan kiinnittää joko torniin tai suoraan koneen työpöydälle, voidaan kappaleiden käsittely automatisoida taloudellisemmin ja helpommin. Nollapiste-elementtien ja peruslevyjen avulla on mahdollista lisätä miehittämätöntä tuotantoa niin etteivät kustannukset kuitenkaan nouse kovin suuriksi. Voidaan rakentaa yhdelle tornille standardin mukainen nollapiste-elementeillä tapahtuva kiinnitys ja kappaleille rakennetaan omat peruslevyt. Peruslevyjen rakentaminen tulee edullisemmaksi kuin tornin rakentaminen. Peruslevyjen käsittelyyn voidaan rakentaa taas yhtenäinen tartuntapiste, jolloin robotille ei tarvitse rakentaa tuotteille omia tarttujia. Voidaan käyttää vain yhtä tarttujaa.

Peruslevyt voidaan varastoida hyllyille robotin lähetyville tai isoissa FM-järjestelmissä materiaalilavoille. Periaatteessa tällä systeemillä voidaan yhden työstökoneen ja robotin yhdistelmästä rakentaa pieni ja edullinen FM-järjestelmä.

2.3 NOLLAPISTE

Lähteinä Kalle Kuusiniemen ja Teemu Lehtosen projektiraportti sekä Marko Seppälän ja Heikki Vuorisen opinnäytetyöt.

NC-ohjattujen työostokoneiden koordinaattijärjestelmän perustana on kiinteä nollapiste, johon koneiden mittausjärjestelmä ja muut nollapistet perustuvat. NC-ohjauksella eli numeerisella ohjauksella saadaan koneen toiminnot automatisoitua laadittujen ohjelmien mukaisesti. (Maaranen 2004, 249, 257.) Ohjelmassa olevat mitat annetaan ohjelmaan määritetyn nollapisteen suhteen. Nollapiste voidaan valita vapaasti siten, että koordinaatteja tarvitsee ohjelmoitaessa laskea mahdollisimman vähän. Koneen koordinaatisto asetetaan ohjelman määrittämään paikkaan nollapisteen siirtotoiminnalla. Silloin akselien kiinteä nollapiste siirtyy ohjelman nollapisteeseen. (Vesämäki 2007 52,53.) Nollapiste sijoi-

tetaan X Y- tasossa yleensä kappaleen valmiiseen kulmaan tai reiän keskipisteseen ja Z-suunnassa valmiiseen yläpintaan (Maaranen 2004, 259).

Asetusta tehtäessä nollapisteen paikka haetaan manuaalisesti joko mittakellolla tai kosketusanturilla. Tavallisesti työkappaleen pidin, esimerkiksi ruuvipuristin, kiinnitetään työstöpöytään erillisillä tukiraudoilla. Silloin työkappaleelle pitää hakea nollapiste sen hetkisen puristimen sijainnin mukaan. Kun puristin otetaan pois pöydältä, kyseisen sijainnin mukaan haettu nollapiste menetetään, koska näin kiinnittämällä puristinta ei seuraavalla kerralla saada täysin samaan paikkaan. Mikäli puristimen kiinnitys tehtäisiin käyttäen nollapistetekniikkaa, ei nollapistettä enää menetettäisi irrottamisen vuoksi, vaan se olisi samassa paikassa seuraavalla kerralla kun työtä tehdään.

2.3.1 Nollapistekiinnitys

Nollapisteliittimille ja -sylintereille on käytössä useita nimityksiä. Sylintereistä on käytössä esimerkiksi nollapiste-elementti, nollapistekiinnitin sekä nollapistestukka ja liittimistä tappi.

Ominaisuudet

Nollapistekiinnittimillä on monta eri valmistajaa ja jokaisella valmistajalla vaihtelevin ominaisuuksin varusteltuja kiinnittimiä. Tästä johtuen pitääkin kiinnitintä valittaessa ensin kartoittaa tarve, se mitä ominaisuuksia tarvitaan, ja vasta sitten se miltä valmistajalta löytyy kyseisillä ominaisuuksilla varustettu tai varusteltava nollapistekiinnitin.

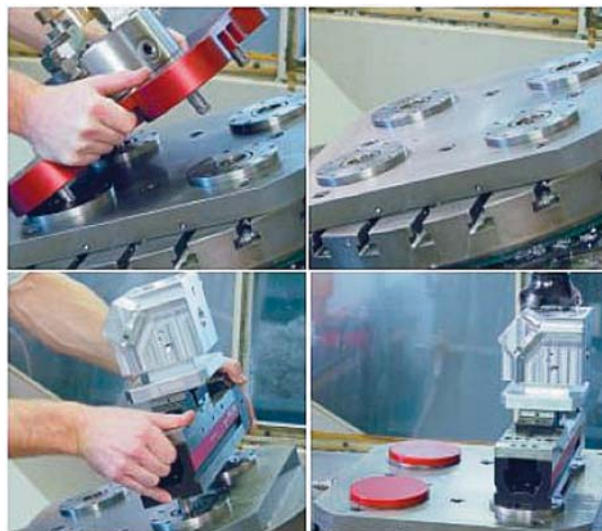
Nollapistekiinnitin muodostuu yhdestä tai useammasta peruslevyyn kiinnitetystä nollapistesylinteristä ja kiinnitinlevystä. Peruslevy asennetaan työstökoneen konepaletille/torniin. Itse kiinnitinlevy tulee peruslevyn sylintereihin kiinni kiinnitinlevyssä olevien kiinnitin- ja ohjaustappien avulla. Työkappaleet voidaan kiinnittää joko nollapistekiinnittimen kiinnitinlevylle tai suoraan nollapistesylinteriin kappaleeseen kiinnitettyjen kiinnitystappien avulla.

Nollapistekiinnityksessä asemoitavan kappaleen nollapiste säilyy jokaisella kiinnityskerralla samassa paikassa. Tässä kiinnitysmenetyksessä ei siis tarvitse erikseen määritellä nollapistettä kappaleen kiinnityksen yhteydessä. Näin ollen toisotarkkuus paranee osien valmistuksessa. Tästä on hyötyä etenkin valmistusmäärien ollessa suuria ja kun samaa kappaletta työstetään useammassa eri työpisteessä.



KUVA 7. *Zero Point Systems:n 4-sylinterinen peruslevy sekä kiinnitinlevy. (Kuva: Sakari Koivunen)*

Nollapistetekniikalla saadaan määritettyä nollapiste tarkasti ja varmasti X-, Y-, ja Z-akselien suhteen. Kiinnittimien valmistajat ilmoittavat kiinnityksen toistotarkkuudeksi $\leq 0,005$ mm. Asemointi ja kiinnitys saadaan tehtyä samanaikaisesti. Järjestelmän peruskomponentit ovat nollapistesylinterit ja -liittimet. Sylinterit pysyvät paikoillaan asennuskohteissa kuten koneistuskeskuksen työstöpöydällä. Kiinnitintapit ovat sylinterien vastakappaleita, ja ne liikkuvat työkappaleiden tai kiinnitysosien mukana. Tähän nollapistetekniikan käytön helppous ja nopeus perustuvat. Kun työkappaleen kiinnittimet on varustettu kiinnitystapeilla, saadaan ne helposti sekä nopeasti kiinnitettyä ja irrotettua. Tämän myötä saadaan vähennettyä asetuksen vaiheita ja siten siihen kuluva aika. Vaihtaminen tapahtuu kuvan 8 mukaisesti.



KUVA 8. *Työkappaleen vaihtaminen (Stark Spannsysteme GmbH, 2004).*



KUVA 9. Nollapistekiinnitin ja tappi (Zero Point Systems 2010).

Helpon kiinnitystekniikan vuoksi nollapistekiinnitys soveltuu hyvin myös automatisoituun tuotantoon. Tekniikkaa voidaan myös käyttää muuallakin kuin konepajatuotannossa lastuttavien kappaleiden kiinnittämiseen, esimerkiksi elintarviketeollisuudessa.

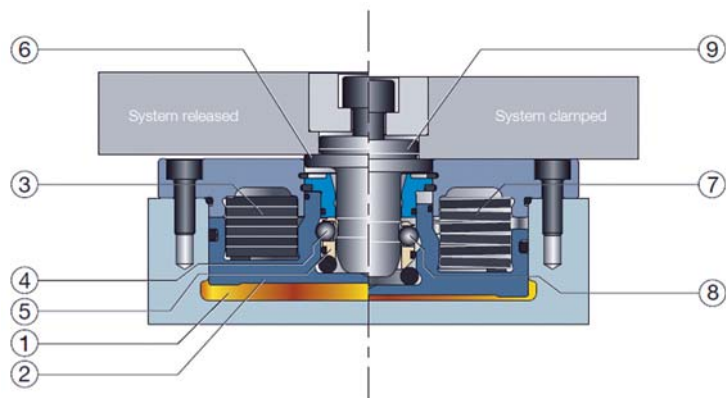
2.3.2 Nollapistekiinnityssylinterien toiminta

Nollapistesylinterien avaus/lukitus voi toimia mekaanisesti, hydraulisesti, pneumaattisesti, sähköisesti tai näiden yhdistelmällä. Nollapistesylinteri voi esimerkiksi avautua hydraulisesti ja lukittua mekaanisesti jousen avulla. Kiinnitintapin pitolukitus sylinterissä on toteutettu kuulien tai renkaiden avulla.

Mekaaninen kiinnitys tarkoittaa yleensä jousivoimaa, mutta myös ruuvattavia kiinnittimiä löytyy. Hydraulisessa lukituksessa erillisiin kammioihin johdetaan öljyä, jolloin lukitus tapahtuu öljynpaineella. Kiinnipitovoima vaihtelee 1,3–50 kN:iin. Maksimipitovoima on 13–200 kN. Kiinnipitovoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla kappale pysyy kiinni säilyttäen nollapisteensä. Maksimipitovoimalla tarkoitetaan voimaa, jolla kiinnitin vielä pitää, mutta nollapiste on jo siirtynyt. Tämän voiman ylittyessä nollapistekiinnitin antaa periksi ja nollapistetappi pääsee irtoamaan.

Kappaleen vapautus tapahtuu mekaanisesti, hydraulisesti tai pneumaattisesti. Hydraulisesti vapautettavissa kiinnittimissä irrotuspaine on 30–180 baria ja pneumaattisissa 6–8 baria. Tapin kiinnittämisen toistotarkkuudeksi valmistajat lupaavat <0,005 mm.

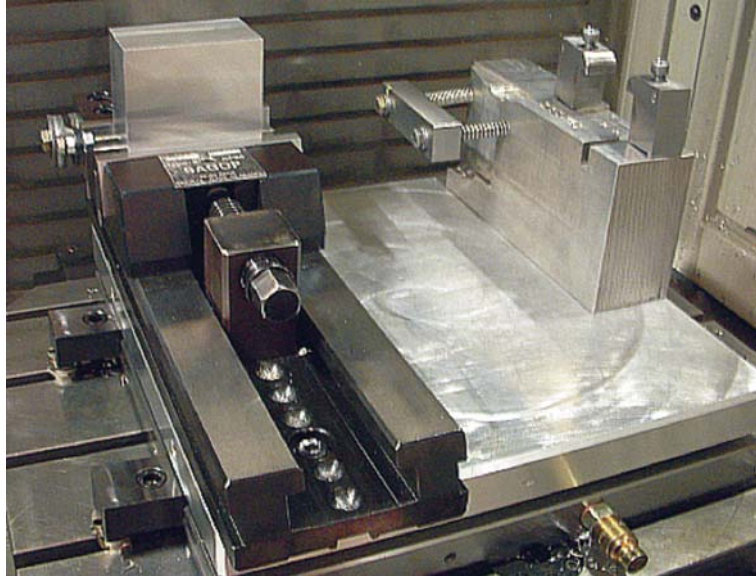
Kuvassa 10 on Starkin hydraulisesti avautuva ja mekaanisesti jousen avulla lukittuva sylinteri. Avautuminen: hydraulinen paine (1) vaikuttaa mäntään (2), jolloin mäntä liikkuu ylös ja jouset (3) puristuvat. Lukituskuulat (4) liikkuvat kuulakehikkoonsa (5) ja kiinnitintappi (6) asettuu mäntää vasten. Lukittuminen: Hydraulinen paine otetaan pois, jolloin jouset vapautuvat ja mäntä liikkuu alas. Jousien esijännitys (7) vaikuttaa jatkuvasti suoraan alaspäin puristaen lukituskuulat (8) kiinnitintappia (9) vasten.



KUVA 10. Nollapistesylinterin avautuminen ja lukitus (<http://www.stark-inc.com>).

Nollapistetekniikan käyttö koneistuksessa ei suoraan muuta työstömenetelmiä eikä tavallisesti työkappaleen kiinnittämiseen käytettäviä menetelmiä. Nollapistekiinnityksen lisäksi, mikäli kiinnitintappeja ei kiinnitetä suoraan työkappaleeseen, tarvitaan edelleen hyvä ja toimiva kiinnitin, jolla kappale kiinnitetään esim. kiinnityslevyyn. Sylinterit ja liittimet jäävät kappaleen alapuolelle, joten tekniikan käyttö ei aiheuta ylimääräisiä esteitä työstölle. Suurin muutos ja hyöty työkappaleen kiinnittämisestä ajatellen saadaan mahdollisuudesta kiinnittää nollapisteliittimet suoraan työkappaleeseen. Silloin ei tarvita palettia tai muutakaan työkappaleen pidintä järjestelmän ja työkappaleen välissä. Kun liittimet kiinnitetään suoraan työkappaleeseen, sitä voidaan työstää viideltä sivulta ilman esteitä. Yleisesti tekniikka mahdollistaa tavallisille kiinnitystavoille nopean ja helppokäyttöisen kiinnityksen sekä pysyvän nollapisteen. Tämän seurauksena asetusajat sekä työkappaleiden vaihtoajat lyhenevät, ja työkappaleiden automatisoitu vaihto tulee mahdolliseksi.

Yleinen tapa käyttää nollapistekiinnitystä on levymäisten palettien eli aluslevyjen käyttö kiinnittimien ja muiden työkappaleen pitimien kiinnittämiseen, jos liittimiä ei voida suoraan asentaa kappaleeseen tai työkappaleen pitimeen. Silloin liittimet ovat kiinni paletissa, ja siihen kiinnitetään työkappaleen pitimet. Aluslevyn koon mukaan siihen voidaan kiinnittää tarvittu määrä erilaisia kiinnittimiä. Aluslevyyn voidaan esimerkiksi kiinnittää ruuvipuristin ja työkappaleelle tehty kiinnitin kuvan 11 mukaisesti.

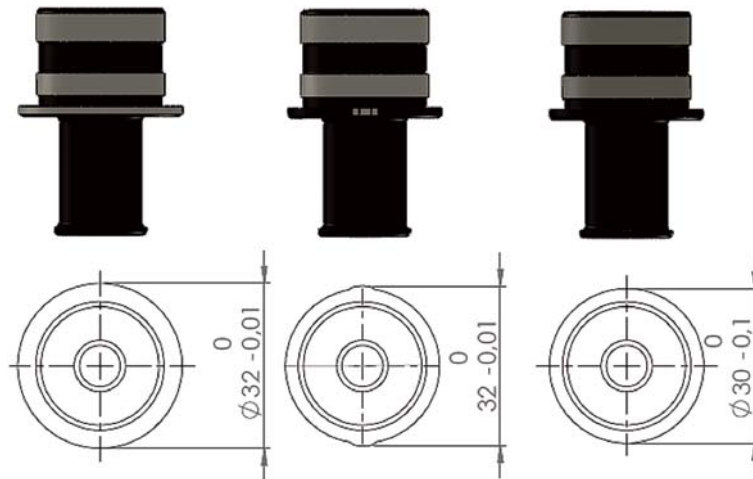


KUVA 11. Ruuvipuristin ja kiinnitin kiinnitettynä aluslevyyn.

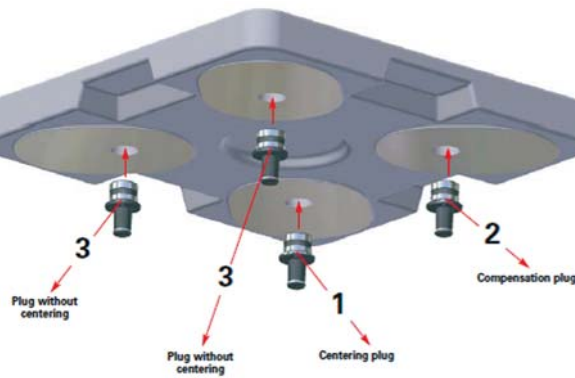
2.3.3 Kiinnitintapit

Kiinnitintapit mahdollistavat tarkan ja vakaan kiinnityksen. Tapit voidaan kiinnittää joko suoraan kappaleeseen tai erilliseen kiinnitinlevyyn. Kiinnitintappeja on yleisesti kolme eri tyyppiä: keskittäviä ja suuntaavia sekä tappeja, jotka ainoastaan kiinnittävät. Tarkkaan kiinnitykseen on suositeltavaa käyttää sekä suuntaavia että keskittäviä tappeja. Myös tappien keskinäisellä järjestyksellä paletilla on merkitystä. Keskittävä tappi määrittelee nollapisteen ja suuntaava tappi keskittää kiinnityksen joko x- tai y-suunnassa.

Työkappaleen pitimiin asennettavat liittimet voidaan jakaa toiminnaltaan kolmeen eri tyyppiin. Keskitysliitin määrittää nollapisteen ja sen halkaisija on tarkasti sylinterin sisähalkaisijaa vastaava. Kompensaatioliittimessä on kaksi vastakkaisilla puolilla olevaa uloketta, joiden muodostama halkaisija vastaa sylinterin halkaisijaa. Tämän vuoksi kompensaatioliittimissä on XY -tasossa pieni välys vain toiseen suuntaan ja toinen on tarkasti määritetty. Tällä järjestelyllä saadaan vältettyä lämpölaajenemisen aiheuttamia ongelmia kiinnityksen ja irrottamisen aikana. Kompensaatioliittimen ja keskityslittimen pitää olla samassa linjassa, johon nähden kompensaatioliittimen ulokkeiden pitää olla yhdeksänkymmenen asteen kulmassa. Kiinnityslittimet ovat vain kiinnitystä varten, ja niiden halkaisija on pienempi kuin sylinterissä. (Vischer & Bolli AG, 15,[Viitattu 15.5.2009].) Kuvassa 12 esimerkki liittimien eroista.

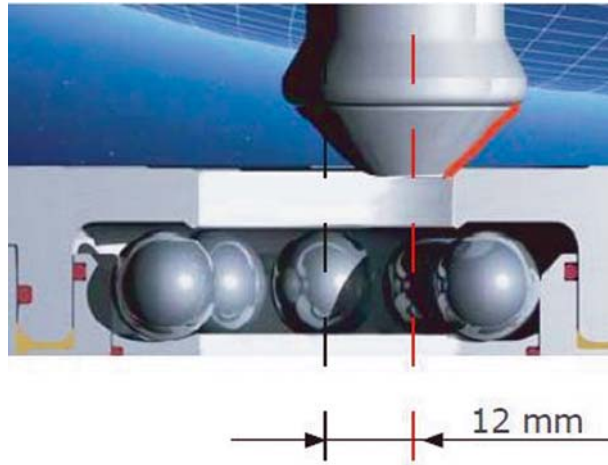


KUVA 12. Esimerkkinä VB DockLock SAFE 20 -sarjan liittimet.



KUVA 13. Esimerkki kiinnitintappien sijoittelusta kiinnitinlevyllä (www.vb-tools.com).

Nollapistekiinnittimissä ilmoitettu asetustoleranssi tarkoittaa sitä, kuinka tarkasti ja suoraan tappi on asetettava kiinnittimeen. Tämä riippuu kiinnittimen rakenteesta ja toimintaperiaatteista. Yleisesti asetustoleranssi on 2,5–12 mm, kuten kuvassa 14 on esitetty.



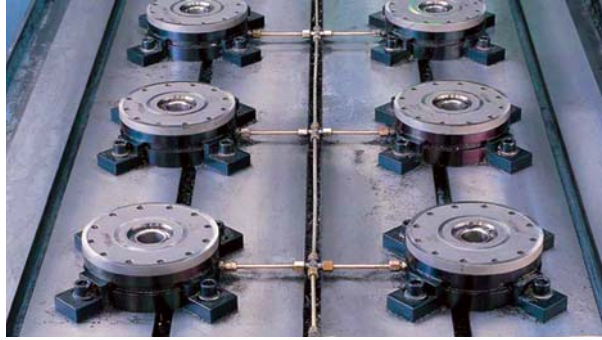
KUVA 14. Asetustoleranssi (Zero Point Systems 2010).

2.3.4 Sylinterien asennustavat

Sylinterit voidaan karkeasti jakaa asennustavaltaan kahteen erilaiseen malliin: sisäänrakennettuihin eli upotettuihin (build-in) ja pinnalle asetettaviin (build-up). Molempia malleja voidaan käyttää useisiin eri kohteisiin kuten työstöpöytiin, torneihin ja paletteihin. Sisäänrakennetut integroidaan kiinteästi asennuskohteeseen. Kuvassa 17 on sisäänrakennettuja sylintereitä peruslevyssä. Niissä jää vain laippa pinnan yläpuolelle. Sisäänrakennetuissa sylintereissä on lisäksi erilaisia asennustapoja. Upotettavista sylintereistä on olemassa ruuvilla kiinnitettävä versio sekä screw-in versio, jonka laipassa on kierteet. Screw-in sylinteri on mahdollista upottaa kokonaan levyyn. Sylinterin pinta voidaan esimerkiksi asettaa samalle tasolle asennuspintaan nähden tai halutulle korkeudelle.



KUVA 15. Uppoasennus ja pinta-asennus (Zero Point Systems 2010).



KUVA 16. *Pinta-asennetut sylinterit (www.vb-tools.com).*



KUVA 17. *Neljä sisäänrakennettua sylinteriä peruslevyssä.*

Pinnalle asetettavat sylinterit kiinnitetään asennuskohteeseen erillisillä kiinnittimillä ja ne jäävät kokonaan pinnan yläpuolelle. Kiinnitystapa mahdollistaa joustavan asettelun, jolloin sylinterit voidaan asettaa esimerkiksi tietyn työkappaleen linjaa mukailevaksi. Pinta-asennettavat voidaan kiinnittää kuusiokoloruuveilla tai pikakiinnityksellä, jolloin ne voidaan helposti irrottaa ja kiinnittää uudelleen eri paikkaan. Niiden kiinnittämiseen käytetään kulmatukia tai niiden kiinnittämistä varten suunniteltuja laippoja, kuten kuvassa 16. Pikakiinnityslaippa (kuva 18) asennetaan nollapistekiinnittimen alareunassa sijaitsevaan uraan ja laippa kiinnitetään työpöytään ruuveilla. Liikkuvalle työstöpöydällä etuna on kevyempi paino peruslevyn käyttöön verrattuna. Pinnalle asetettavat sylinterit saadaan asennettua tarkasti paikoilleen koneistuslaitteen karaan kiinni saatavan kohdistustyökalun avulla.



KUVA 18. Pikakiinnityslaippa. (Zero Point Systems 2010).



KUVA 19. Pinnalle asetettavia nollapistesylintereitä työstöpöytään kiinnitettynä.

Valmistajien tarjoamaa kuvan 19 tapaista peruslevyn käyttöä voidaan pitää näiden kahden kiinnitystavan välimuotona. Tässä ratkaisussa käytetään sisäänrakennettuja sylintereitä, mutta ne voidaan helposti kiinnittää suoraan esimerkiksi työstöpöydälle pinnalle asetettavien sylintereiden tavoin. Levyihin voidaan tehdä kiinnitysreiät ruuvikiinnitystä varten. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää kiinnitinrautoja levyn päälle tai sivuille tehtyihin kiinnitinuriin.

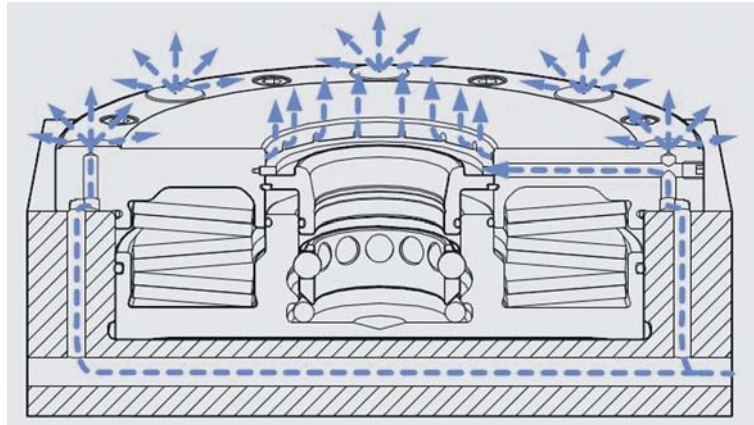
Momentin vastaanotto

Kiinnittimien pitää pystyä vastaanottamaan momentti, joka aiheutuu lastuamisvoimista. Kiinnittimiä on erimuotoisia riippuen kiinnittimen ominaisuuksista momentin vastaanoton suhteen. Yleisin muoto on pyöreä, mutta myös neliönmuotoisia löytyy. Neliönmuotoiset ovat tarkoitettu itsenäisesti ottamaan vastaan työstökappaleeseen kohdistuvat momentit. Momentin vastaanotolla varus-

tettu nollapistekiinnitin tulee kysymykseen, jos kyseessä on pienikokoinen kappale eikä ole mahdollista käyttää useampaa kiinnitintä. Jos momentin vastaanottoa ei ole ja halutaan käyttää pyöreänmuotoista kiinnitintä, voidaan pyörimisen esto toteuttaa myös käyttäen ohjaustappeja, jotka samalla estävät pyörimisliikkeen. Momenttia voidaan ottaa vastaan myös asentamalla useampi kiinnitin.

Puhdistus

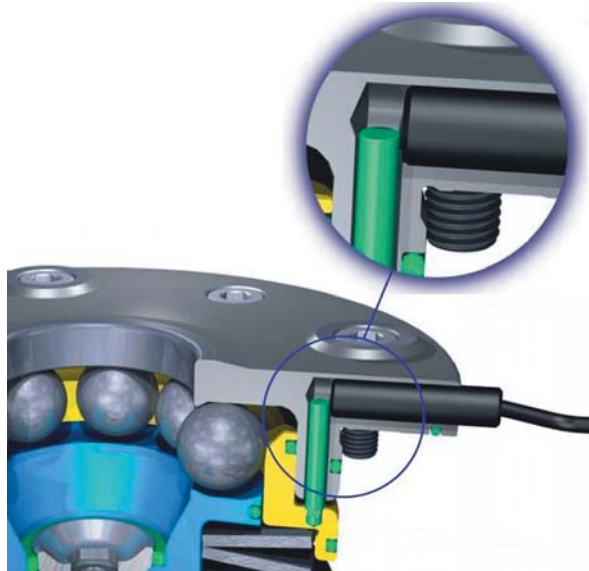
Kappaleiden hitsauksessa, koneistuksessa ja muissa työstöissä esiintyy likaa ja työstöaineita. Jotta kiinnittimet pysyvät puhtaina ja toimivina, ne on syytä puhdistaa aika ajoin. Useammat kiinnittimet ovat avattavia ja voidaan puhdistaa manuaalisesti, mutta myös automaattinen puhdistus on mahdollista. Tähän yksinkertaisena ratkaisuna kappaleen irrotuksen yhteydessä päästetään paineilmaa puhaltamaan kiinnittimen pinnat ja sisukset puhtaaksi roskista (kuva 20).



KUVA 20. Kiinnittimen automaattinen puhdistus paineilmalla (Stark 2010).

Valvonta

Yhä useammin kappaleen valmistus pyritään automatisoimaan. Näissä tapauksissa pitää saada kiinnittimeltä tieto siitä, onko kappale lukittu vai irrotettu. Eräissä nollapistekiinnittimissä on integroitu valvontapiiri tai mekanismi. Sen avulla saadaan siis vaikka robotille varmistustieto kiinnittimen tilasta. Kuvassa 21 vihreä ylös nouseva tappi kertoo anturille kappaleen olevan lukittu.



KUVA 21. Valvontapiirillä varustettu kiinnitin (Zero Point Systems 2010).

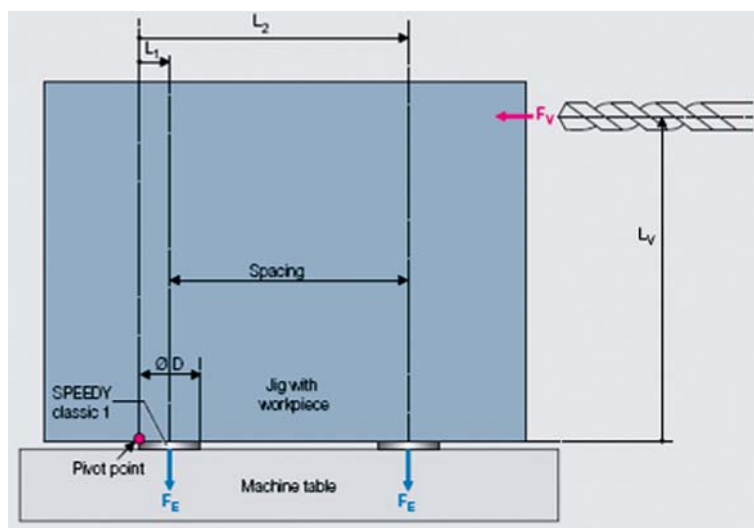
2.3.5 Tarvittavan vetovoiman laskeminen

Lähteinä Kalle Kuusiniemen ja Teemu Lehtosen projektiraportti sekä Kimmo Sorolan opinnäytetyö.

Taulukossa 2 esitetään esimerkki sylinterien veto- ja pitovoimasta. Vetovoimalla tarkoitetaan sylinterin jousien esiasetusvoimaa eli voimaa, jolla sylinteri vetää kappaletta/kiinnitinlevyä. Tähän voimaan asti nollapisteen säilyminen voidaan taata. Vetovoimaa ei saa ylittää. Pitovoimalla tarkoitetaan voimaa, jonka kiinnittimet vielä kestävät, mutta nollapiste ei enää säily.

TAULUKKO 2. *Esimerkkisylinterit.*

Valmistaja	Zero Point Systems	Zero Point Systems	Zero Point Systems	STARK	Vischer & Bolli
Malli	K20 pyöreä	K20 neliö	K20 horizontal pyöreä	Speedy Classic 1 pyöreä	SAFE 20 pyöreä
Tyyppi	Build-in	Build-in	Build-in	Build-in	Build-in
Huoltoväli (kiinnitystä)	150 000	150 000	150 000	100 000	45 000
Lukitus	jousi	jousi	jousi	jousi	jousi
Avaus	hydr.	pneum.	hydr.	hydr.	hydr.
Vetovoima (kN)	20	17	20	6,7	12,5
Pitovoima (kN)	55	55	55	25	40
Irroituspaine max (bar)	60	10	50	40	70
Asetus- toleranssi (mm)	± 12	± 12	± 11	± 3	ei tiedossa
Halkaisija (mm)	112	120	112	105	112
Korkeus (mm)	44	44	109	36	45



KUVA 22. *Voimien laskennassa tarvittavat mitat.*

$$\begin{aligned}
M_V &= F_V \cdot L_V \\
M_E &= 2 \cdot (F_E \cdot L_1) + 2 \cdot (F_E \cdot L_2) \\
M_E &= 2 \cdot F_E \cdot (L_1 + L_2) \\
M_V / M_E &< 2? \\
M_V / M_E &= Nm / Nm \\
M_V / M_E &\approx 2 \\
M_E &< 2 \cdot M_V
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_V &= \text{Koneistuksesta aiheutuva momentti} \\
M_E &= \text{Kiinnipitovoimasta aiheutuva momentti} \\
F_V &= \text{Koneistus voima} \\
F_E &= \text{Kiinnipitovoima} \\
L_V &= \text{Koneistus etäisyys} \\
\phi D &= \text{nollapistekiinnittimen ulkohalkaisija} \\
L &= 0 - \text{Pistekiinnittimien etäisyys} \\
L_1 &= \phi D / 2 \\
L_2 &= \phi D / 2 + L
\end{aligned}$$

Esimerkissä on Starkin 4-sylinterinen peruslevy ja siihen kiinnitetty aihio. Sylinterit peruslevyssä 200 x 200 mm välein. Kappaleeseen kohdistuva syöttövoima on suurimmillaan 7 kN. Laskuesimerkissä tarkastellaan onko sylinterien lukumäärä, sylinterien vetovoima ja etäisyydet oikeassa suhteessa koneistusvoimaan. (www.stark-inc.com)

Tunnetut suureet

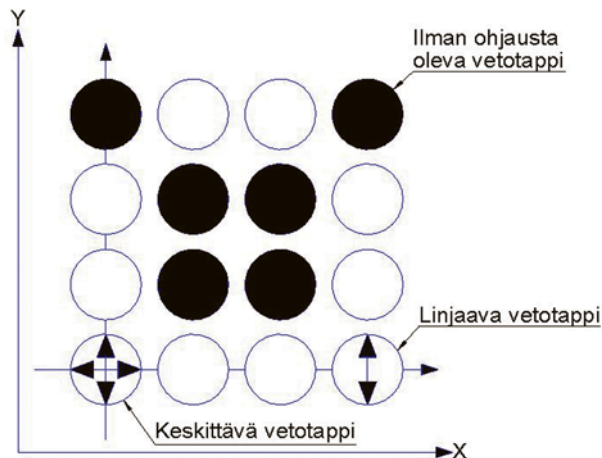
$$\begin{aligned}
F_V &= 7000 \text{ N} \\
F_E &= 10\,000 \text{ N} \\
D &= 0,105 \text{ m} \\
L_1 &= \frac{1}{2} \cdot D = 0,5 \cdot 0,105 \text{ m} = 0,0525 \text{ m} \\
L_2 &= \frac{1}{2} \cdot D + 0,2 \text{ m} = 0,5 \cdot 0,105 \text{ m} + 0,2 \text{ m} = 0,2525 \text{ m} \\
L_V &= 0,4 \text{ m}
\end{aligned}$$

Rouhintatyöstä johtuen, tässä halutaan varmuuskertoimeksi 2, joten momenttiyhtälöksi saadaan $M_E > 2 \cdot M_V$

Syöttövoimasta syntyvä vääntömomentti
 $M_V = F_V \cdot L_V = 7000 \text{ N} \cdot 0,4 \text{ m} = 2800 \text{ Nm}$

Sylintereiden vetovoimasta aiheutuva momentti
 $M_E = 2 \cdot (F_E \cdot L_1) + 2 \cdot (F_E \cdot L_2) = 2 \cdot F_E \cdot (L_1 + L_2)$
 $= 2 \cdot 10\,000 \text{ N} \cdot (0,0525 \text{ m} + 0,2525 \text{ m}) = 6100 \text{ Nm}$

Tällä kokoonpanolla momenttien suhteeksi saadaan
 $\frac{M_E}{M_V} = \frac{6100 \text{ Nm}}{2800 \text{ Nm}} = 2,18 \dots \approx 2,2 > 2$



KUVA 23. Vetotappien asettelu.

2.3.6 Nollapistekiinnityksen edut

Lähteinä Pekka Törnqvistin projektiraportti ja Heikki Vuorisen opinnäytetyö.

Koneistuskeskusten työstöajan maksimointi on avainasemassa konepajojen tuottavuuden kannalta. Hukattu työstöaika tarkoittaa huonoa resurssien hyödyntämistä, mikä johtaa pienempään tuottavuuteen. Asetusaikojen vähentäminen siirryttäessä työstä toiseen mahdollistaa kaikkein merkittävimmän tavan minimoida menetettyä työstöaikaa ja parantaa siten tuottavuutta sekä kannattavuutta. (West 2007, [Viitattu 26.5.2009].) NC-koneiden toimittajat pyrkivät voimakkaasti parantamaan tuottavuutta nopeuttamalla koneiden toimintaa. Parhaimpienkin koneiden saavuttamat sekuntien hyödyt työstövaiheessa ovat kuitenkin merkityksettömiä, mikäli kone on pysähdyksissä pitkiä aikoja asetuksen vaihdon aikana. (Allmatic-Jakob Spannsysteme GmbH, [Viitattu 30.5.2009].)

Yksi toimivaksi todettu menetelmä asetusajojen lyhentämiseksi on toteuttaa työkalujen kiinnitys nollapistetekniikkaa hyväksi käyttäen. Se mahdollistaa nopeat asetusten ja työkalujen vaihdot säilyttäen kuitenkin korkean laadun ja tarkkuuden asemoinnissa. Nollapistetekniikka käyttämällä työkalun pitimet saadaan asetettua sekä kiinnitettyä tarkasti ja nopeasti työstöpöytiin, torneihin ja muihin konepajatuotannossa käytössä oleviin kiinnityskohteisiin. Nollapistetekniikka mahdollistaa kiinnityksen useille eri työkalun pitimille. Nollapistejärjestelmää voidaan käyttää niin pysty- kuin vaakakaraisissakin koneistuskeskuksissa ja muussa tuotannossa, jossa useat asetustenvaihdot vähentävät koneaika. (West 2007, [Viitattu 26.5.2009].) Kun käytetään nollapistekiinnitystä, pitää asetusta tai työkalua vaihdettaessa vain avata lukitus ja poistaa kiinnitin, minkä jälkeen asetetaan toinen kiinnitin ja suljetaan lukitus. Virheellisestä järjestelmän käytöstä johtuvat kiinnitysvirheet käytännössä eliminoiduvat. (Allmatic-Jakob Spannsysteme GmbH, [Viitattu 30.5.2009].)

Kun kappaleen asetukset on rakennettu peruslevylle ja peruslevyn kiinnityspaikat on pyritty standardisoimaan, voidaan kappaleen kiinnitys peruslevyn avulla siirtää vaikka toiselle koneelle, jossa on myös nollapiste-elementit. Peruslevyn käyttö toimii hyvin myös tilanteessa, jossa kappale työstetään eri koneilla. Peruslevyn voi suoraan siirtää koneelta toiselle eikä kappaletta tarvitse irrottaa välillä.

Nollapistetekniikalla pystytään luultavasti hyödyntämään jo yrityksen käytössä olevia kiinnittimiä. Tämä on huomioitava asia, kun pohditaan järjestelmän kustannuksia ja hyötyjä. Nollapistetekniikkaa voidaan soveltaa suoraan kiinnittimiin sekä tavallisiin ruuvipuristimiin ja muihin työkappaleiden pitimiin. Nollapistetekniikalla voidaan myös korvata kalliiden erikoispalettien käyttö. (Modern Applications News 2008, [Viitattu 2.6.2009].)

Asetusaika vaihtelee työstä riippuen. Asetusaikojen pienentämisellä saatava tuotannon lisäys ja tästä saatava tuotto voivat maksaa nollapistejärjestelmään tehtävän investoinnin hyvin pian takaisin (West 2007, [Viitattu 26.5.2009].) Kyse on yleensä vain kuukausista tai jopa vain viikoista tuotannon tyypistä riippuen. Säästöä saadaan nopeammasta työkappaleen ja asetusten vaihdosta sekä mahdollisuudesta hyödyntää olemassa olevaa laitekantaa ja korvata kalliit konekohtaiset erikoispalettit. (Fastems Oy Ab, 2009, [Viitattu 29.8.2009].)

Ajansäästön lisäksi nollapistetekniikalla on myös mahdollista parantaa työn laatua, jos työkappaleen valmistuksessa on eri koneilla tehtäviä työvaiheita. Työkappale kiinnitetään kerran kiinnittimeen, minkä jälkeen se voidaan siirtää koneelta toiselle samassa kiinnittimessä. Tällöin voidaan minimoida virheasetusten määrä verrattuna tilanteeseen, jossa tehdään useita asetuksia ja kiinnityksiä. (West 2007, [Viitattu 26.5.2009].)

Nollapiste-elementtejä voidaan käyttää hyväksi myös automatisoinnissa. Jos aikaisemmin on koko konepaletti vaihdettu automaattisesti, voidaan automaatio-rajapintaa tuoda lähemmäksi kappaletta. Kun konepaletille rakennetaan standardijaolla nollapiste-elementeillä rajapinta, voidaan yhdelle paletille vaihtaa suoraan kiinnityslevyillä kappaleet joko manuaalisesti tai robotilla. Täten voidaan useampia kappaleita kiinnittää valmiiksi kiinnityslevyille, jotka ovat edullisempia rakentaa ja vaativat varastoinnin kannalta vähemmän tilaa. Silloin ei kalliita konepaletteja tarvitse investoida kuin sen verran että työstökoneen koneistusaikaa voidaan pitää yllä.

Nollapistekiinnitys on hyödyllinen myös tilanteissa, joissa työ joudutaan keskeyttämään. Kyseessä voi olla esimerkiksi toinen kiireellisempi työ tai koneeseen tuleva vika, jolloin työkappale voidaan siirtää hetkeksi sivuun tai vaihtaa toiseen koneeseen kuitenkin ilman tarvetta asetuksen purkamiseen tai sen uudelleen tekemiseen. Sama hyöty saadaan siirrettäessä työkappale kiinnittimessä esimerkiksi mittauskoneeseen. Jos muutoksia tarvitsee tehdä, voidaan kappale viedä takaisin koneeseen nollapisteen muuttumatta sekä ilman tarvetta kappaleen uudelleen asettamiseen. (Modern Applications News 2008, [Viitattu 2.6.2009].)

Käyttämällä nollapistekiinnitystä on mahdollista parantaa työn ergonomiaa. Jatkuva pulttien kiristäminen ja avaaminen vaihdetaan paineilman hyödyntämiseen. Tekniikka mahdollistaa levynkiinnittämisessä suuren tulokulman, mikä helpottaa kiinnittimien asettamista. (Modern Applications News 2008, [Viitattu 2.6.2009].)

Nollapistekiinnitystekniikan käytön etuja ovat:

- lyhyemmät asetusajat ja nopea työkappaleen vaihtaminen
- nopea työn keskeyttäminen ja jatkaminen
- käytössä olevan laitteiston tehokkaampi hyödyntäminen
- parempi työn laatu vähentyneen kappaleen irrottamisen ja kiinnittämisen takia
- parempi työergonomia.

2.4 VAIHTOEHTOINEN NOLLAPISTEKIINNITIN

Lähteenä Juho Vainion opinnäytetyö.

JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli toteuttaa mekaniikkasuunnittelu toimivan ja kustannustehokkaamman nollapistemenetelmän kehittämiseksi.

Laitteen tarkoitus on madaltaa nykyisten nollapistekiinnitysmenetelmien tuotantokustannuksia. Kustannuksiltaan halvempi nollapistekiinnitysmenetelmä parantaa pienempien konepajojen kilpailukykyä sekä lisää tuotantokapasiteettia.

Haastetta tuotteen suunnitteluun toivat veto- ja pitovoimiin liittyvät vaatimukset. Elementin kiinnitysmekanismiin tulee pitää koneistettavaa kappaletta paikallaan mahdollisimman vakaasti. Jos kiinnityselementtejä on useampi kuin yksi, on suotavaa, että kiinnityselementtien linjaus keskenään on yksinkertaista.

Kiinnitysmekanismiin suunnittelu osoittautui haastavaksi. Nykyisissä keksinnöissä on käytetty hyväksi laakereita, joiden mekaaniset ominaisuudet tuntuvat päihittävät kaikki muut. Usean idean jälkeen keskityttiin kiilamekanismien ominaisuuksiin. Pylväsporakoneissa ja muissa konepajatyökaluissa on jo pitkään käytetty kiilan pito-ominaisuuksia.

Kappale suunniteltiin sarjatuotantoa varten, joten siksi keskityttiin elementin ainevahvuuksiin, kappaleiden kulumiskestävyyteen ja muihin mekaanisiin ominaisuuksiin. Nykyisten nollapistekiinnittimien rakennetta ja materiaaliratkaisuja pyrittiin yksinkertaistamaan mahdollisimman paljon. Huomioon otettiin kuitenkin laitteen huoltotöiden helppous ja kestävyys.

SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Nollapistekiinnittimiä on markkinoilla monenlaisia, mutta useimmat niistä ovat hyvin kalliita ja valmistusteknisesti monimutkaisia. Tehtävänä oli suunnitella nollapistekiinnitin, joka olisi edullinen, ja joka voitaisiin valmistaa modernissa konepajassa.

Kiinnitystapoja löytyy maailmasta monia, mutta tutkimuksissa keskityttiin muutamaa lupaavimpiin.

Suunnittelutyön esitutkimus aloitettiin tutustumalla saatavilla olevaan tietoon olemassa olevista nollapistekiinnittimistä. Kun tiedot nollapistekiinnittimien toimintaperiaatteista ja kiinnitysvaihtoehdoista oli sisäistetty, siirryttiin etsimään erilaisia kiinnitusratkaisuja ympärillä olevasta maailmasta.

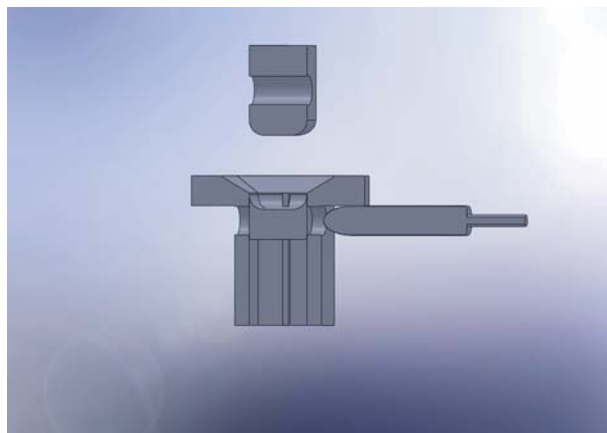
Luonnostelu

Lähtökohtana oli suunnitella valmistuskustannuksiltaan halpa nollapistekiinnitin, joka voidaan valmistaa modernissa konepajassa. Nollapistekiinnittimen täytyy olla itsepidättyvä ja hydraulisesti avattava. Kiinnitysmekanismiin tulee pitää kiinnitettävää kappaletta paikallaan sekä vetää kiinnitettävää kappaletta puoleensa.

Aluksi jätettiin tarkemmat nollapistekiinnittimeltä vaadittavat ominaisuudet huomioimatta ja keskityttiin löytämään erilaisia kiinnitysratkaisuja.

Neliötappi

Neliötappi koostui kiinnitintapista, rungosta ja prikkamaisesta lukituspalasta, joka lävistää kiinnitintapin ja näin pidättää tapin kiinni. Ratkaisun etuna oli se, että tarvittavia hydraulisia sylintereitä, jotka työntävät lukituspalan kiinnitintapin läpi, olisi runsaasti eri kokoisia ja hintaisia.



KUVA 24. Neliötapin halkileikkaus, auki-asennossa.

Ratkaisu ei kuitenkaan toimi, koska reijän ja lukituspalan välinen sovite ei voi olla ahtosovite. Nollapistekiinnitin ei toimisi, jos kiinnitintappi olisi vähääkään väärässä asennossa. Jos sovitteena käytettäisiin vällys-ovitetta, olisi nollapiste-kiinnittimen työstö- ja toistotarkkuus huonompi.

Lehtijousikiinnitin

Teollisuudessa ja kulkuneuvoissa lehtijousia on käytetty moniin eri tarkoituksiin. Lehtijousikiinnittimen ideana oli asettaa kaksi lehtijousta vastakkain työstöpöydän sisään. Koneistettavassa kappaleessa kiinni oleva tappi lasketaan työstöpöydässä olevaan reikään, ja tappi asettuu lehtijousten väliin. Hydraulisesti toimivasta yksitoimisesta sylinteristä kytketään virtaus pois, ja lehtijouset sulkeutuvat kiinnitintappia vasten. Kun lehtijousikiinnitin halutaan avata, kytketään hydrauliseen sylinteriin virtaus päälle ja sylinterin mäntä työntää jousen kaarevaksi, jolloin kiinnitintappi voidaan nostaa pois.

Tämä idea jäi vain paperiluonnoksen asteelle, koska lehtijousen tulevaa, tarkkaa kosketuspintaa kiinnitystapin kanssa on hyvin vaikea määritellä. Lehtijousi ei kaareudu keskeltä, vetovoimaa ei juurikaan ole, ja pidätysvoimaa on vaikea las- kennallisesti määritellä.

Magneettinen kiinnitin

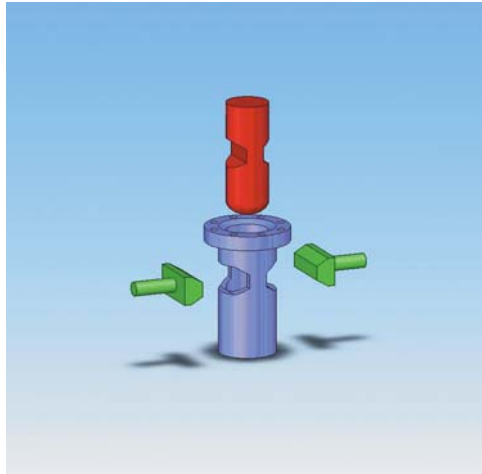
Magnetismia hyödyntävässä kiinnittimessä ajatuksena oli yksinkertaisesti kiinnittää koneistettava kappale työstöpöytäan magneetein. Ongelmana on kuitenkin se, että voimakkaat magneetit tarvitsevat voimanlähteen toimiakseen. Koneistuspöytä ei voi olla kytkettynä sähköverkkoon koneistuksen aikana.

Kartiokiinnitys

Yritysvierailun aikana ST-koneistuksessa Ylöjärvellä kävi ilmi, että neliötappi- malli olisi huono edellä mainittujen vikojen takia. Sen sijaan kiinnitysprikka korvattaisiin kartiolla. Kartion muoto antaa vetovoimaa ja pidätysvoimaa. ST-koneistuksessa ehdotettiin myös, että kiinnitystappi olisi itsepidättyvä ja että se kiinnitettäisiin ja irroitettaisiin hydraulisesti.

Iskuporakoneen terän kinnitysmekansimin halkaisukuvan näkemisen jälkeen päätettiin hyödyntää kiilan mekaanisia voimia.

ST-koneistuksesta saatujen suositusten mukaisen hydraulisen itselukittuvan kaksitoimisen sylinterin löytäminen osoittautui kuitenkin hankalaksi. Edellä mainitun kaltaiset kaksitoimiset sylinterit olivat kalliita ja kiilan muotoisen pään liittäminen männänvarteen toisi lisää kustannuksia. Päätettiin suunnitella myös hydraulinen sylinteri itse. Suunnittelutyön tulokset käydään läpi seuraavassa kappaleessa.



KUVA 25. Kartiomallinen sovellus.

2.4.1 Kehitetty rakenne

Päällilevy

Päällilevyn materiaalina käytettiin Onnisen EN10025 standardin mukaista kuumavalssattua terästä S355J2+N. Teräslevyn paksuus on 8 mm. Ruukin ohjelehdien (Kuumavalssatut teräslevyt- ja kelat, Materiaalin työstö, Lastuaminen) mukaan kuumavalssattu teräs on poratessa pitkälastuista, joten lastunpoiston varmistamiseksi lastu-urien tulee olla väljät ja sileäpintaiset. Ruukin ohjelehdien (Kuumavalssatut teräslevyt- ja kelat, Rakenneteräkset, Multisteel) mukaan teräksen S355J2+N hitsattavuus on erinomainen. Työlämpötilaa ei tarvitse korottaa millään hitsaustavalla, jos hitsattavan liitoksen yhdistetty levynpaksuus ei ylitä 40 mm. Työssä suurin yhdistetty levynpaksuus t on päällilevyn ja sylinterin kiinnityslevyn välisessä t -liitoksessa 24 mm.

$$t := t_1 + t_2 + t_3$$

$$t := 8 + 8 + 8 = 24$$

Päällilevyyn porataan kymmenen reikää, M6x20 DIN 6912-8,8 kuusiokoloruuveille, siten, että myös ruuvien kanta jää päällilevyn sisään. Kierteet ruuveille porataan alustaan, johon nollapistekiinnitin halutaan liittää.

Valitut kuusiokoloruuvit ovat lujuusluokkaa 8.8. Vetomurtolujuus R_m saadaan kertomalla lujuusluokan ensimmäinen luku sadalla. Yksittäisen kuusiokoloruuvien vetomurtolujuus R_m on siis 800 (N/mm²). Laskennallisesti päällilevyn kiinnitinruuvit kestävät 8000 newtonin kohtisuoran vetovoiman.

Päällilevyyn porataan reikä kiinnityselementin tappia varten. Reiän yläosaan tehdään 5x35° viiste. Koneistajan kannalta 45° viiste olisi helpompi työstää, mutta automaatiota ajatellen 35° viiste ohjaa työstettävän kappaleen pehmeämmin tappiputkeen.

Tappi ja tapin liitin

Tapin liittimen materiaalina käytettiin samaa materiaalia, kuin päällilevyssä, mutta teräslevyn paksuus on 12 mm. Tapin liittimeen porataan neljä reikää M6x20 DIN 6912-12,9 kuusiokoloruuveille siten, että myös ruuvien kanta jää liittimen sisään.

Kappaleeseen, johon nollapistekiinnittimen tappi halutaan liittää, täytyy porata reiät ja tehdä kierteet kuusiokoloruuveja varten. Asiakas voi halutessaan jyrsiä kiinnitettävään kappaleeseen tilan, johon tapin liitin voidaan upottaa, jos halutaan, että työstettävä kappale lepää päällilevyä vasten.

Tapin liittimen keskelle porataan \varnothing 28 mm:n reikä, johon tappi upotetaan 5 mm tapin liittimen sisään, ruuvien kantojen suunnalta katsoen. Liitos on välisovite.

Tappi kiinnitetään tapin liittimeen TIG (Tungsten Inert Gasarcwelding)-tai MIG/MAG (Metal Inert/ Activ Gasarcwelding)-hitsauksella. Hitsausasento on pienaliitos. Hitsausaineen tulee olla perusaineen seostusta vastaava korroosion välttämiseksi ja rakenteen parhaan mahdollisen myötölujuuden saavuttamiseksi. Yliluja hitsausaine lisää jäännösjännityksiä.

Tapin materiaalina käytettiin Onnisen EN 10025 standardin mukaista terästä S355J2. Pyörötangon halkaisija on 30 mm. S355J2 teräs vastaa Imatra 520 terästä. Imatra 520 teräs on tekniikan taulukkokirjan (Valtanen, 2002,170) mukaan lastuamis- ja hitsausominaisuuksiltaan hyvä.

Tappiin koneistetaan kiilaura. Ensin selvitettiin symmetrisen kiilan kiilakulman, jolla kiilasysteemi olisi itsepidättyvä.

Kuivan teräksen lepokitkakerroin μ_s on 0,6 ja voidellun teräksen lepokitkakerroin μ_s on 0,1. (Salmi, 1998, 260) Lepokitka on täysin kehittynyt, kun kiila on ajettu kiilauraan. Tämän takia liikekitkakerrointa μ_k ei oteta huomioon. Valittiin voidellun teräksen lepokitkakerroin, koska avoimesta rakenteesta johtuen leikkuunesteen, hydraliöljyn ja muiden epäpuhtauksien päätyminen kiilapinnalle on todennäköistä. Määritetään lepokitkakulma ϕ

$$\tan(\varphi) = 0,1$$

$$\varphi = 5,711^\circ$$

Jos kosketusvoimat pystyvät kääntymään kohtisuoriksi, on kiila itsepidättyvä. Itsepidätysehdoksi saadaan siis

$$\alpha \leq 2\varphi$$

$$\alpha \leq 2 \cdot 5,711 = 11,4212^\circ$$

Näin pienellä kiilakulmalla kiilan halkaisija tapin ulkopuolella olisi hyvin pieni ja liian heikko. Pienikulmainen kiila vaikuttaisi huomavasti nollapistekiinnittimen mittasuhteisiin. Tapin täytyisi olla halkaisijaltaan hyvin suuri, että kiila pääsisi tarpeeksi syvälle ja suuri halkaisija vaikuttaisi myös hydraulisynterin männän pituuteen, josta myös tulisi liian pitkä. Näinollen itsepidättyvä kiila ei ole mahdollinen.

Valittiin laskentakaavoja käyttämällä $14,5^\circ$ kiilakulma. Valintakriteereinä käytettiin pidätysvoimaa F_p ja tapin myötölujuutta R_{eH} . Kireteereistä suurin on F_p , koska se vaikuttaa suuresti pidätinjousen valintaan. Tästä kerrotaan tarkemmin kappaleessa 4.4.6 Pidätinjousi. Kiilan sisäänlyöntivoimaa ei tarvitse laskea, koska tappi on alhaalla, kun kiila ajetaan sisään. Vertailukohteina käytän 30° ja 40° kiilakulmia.

Kiilakulmien $\alpha_1 = 14,5^\circ$, $\alpha_2 = 30^\circ$ ja $\alpha_3 = 40^\circ$ pidätysvoima F_p eli voima jolla kiila pidättee tässä tapauksessa tappia, jota painetaan tai vedetään voimalla $K = 1500$ N. Lepokitkakulma $\phi = 5,711^\circ$.

$$F_p = K \cdot \tan(\alpha - \phi)$$

$$F_{p1} = 1500N \cdot \tan(14,5^\circ - 5,711^\circ)$$

$$F_{p1} = 231,9N$$

$$F_{p2} = 1500N \cdot \tan(30^\circ - 5,711^\circ)$$

$$F_{p2} = 676,9N$$

$$F_{p3} = 1500N \cdot \tan(40^\circ - 5,711^\circ)$$

$$F_{p3} = 1022,8N$$

Kiila ajetaan kiilauraan hydraulisesti, mutta esimerkiksi koneistuksen aikana, kun nollapistekiinnittimeen ei tuoda hydraulista voimaa, sylinterin männän takana oleva jousi painaa kiilaa. Jousen voima kiilan ollessa kiinni asennossa on tässä vertailussa 1500 N. Huomataan, että vertailuryhmässä 40° kiilakulmaa käytettäessä kiilan hyötysuhde ei ole hyvä.

Tapin myötölujuuden laskemiseksi piti ensin selvittää tappiin kiilauran koneistuksen jälkeen jäävän, tapin kapeimman kohdan eli ympyrän segmentin pinta-ala. Koska 40° kiilakulma todettiin jo epäkäytännölliseksi, se jää vertailusta pois.

Kiilauran syvyys määräytyy kiilakulman mukaan. Tiedetään, että matka kiilauran alareunasta on 5 mm ja kiilakulma on $\alpha_1 = 14,5^\circ$ tai $\alpha_2 = 30^\circ$, joten kiilauran syvyys voidaan johtaa tangenttilausekkeesta.

$$\tan\theta = \frac{h}{r}$$

$$r = \frac{h}{\tan\theta}$$

$$r_1 = \frac{5\text{mm}}{\tan(14,5^\circ)}$$

$$r_1 = 19,3\text{mm}$$

$$r_2 = \frac{5\text{mm}}{\tan(30^\circ)}$$

$$r_2 = 8,66\text{mm}$$

Keskuskulman määrittäminen kiilauran syvyyden perusteella. Tapin halkaisija on 28 mm, joten tapin säde on 14 mm. Määritetään ensin etäisyys ympyrän keskipisteestä keskuskulmion kantaan. Tämän jälkeen lasketaan kosinilausekkeella keskuskulma.

$$h_1 = 19,3\text{mm} - 14\text{mm} = 5,3\text{mm}$$

$$h_2 = 8,66\text{mm} - 14\text{mm} = -5,4\text{mm}$$

$$\alpha_1 := \cos = \frac{5,3\text{mm}}{14\text{mm}}$$

$$\alpha_1 = 67,75^\circ \cdot 2 = 135,5^\circ$$

$$\alpha_2 := \cos = \frac{-5,4\text{mm}}{14\text{mm}}$$

$$\alpha_2 = 112,4^\circ \cdot 2 = 224,8^\circ$$

Ympyrän segmentin pinta-ala A.

$$A = \frac{r^2}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{180^\circ} \cdot \pi - \sin \cdot \alpha \right)$$

$$A_1 = \frac{14\text{mm}^2}{2} \cdot \left(\frac{135,5^\circ}{180^\circ} \cdot \pi - \sin(135,5^\circ) \right)$$

$$A_1 = 163\text{mm}^2$$

$$A_2 = \frac{14\text{mm}^2}{2} \cdot \left(\frac{224,8^\circ}{180^\circ} \cdot \pi - \sin(224,8^\circ) \right)$$

$$A_2 = 453,6\text{mm}^2$$

Tapin myötölujuuden R_{eH} :n laskenta kummankin kiilakulman arvoilla. Teräksen S355J2 myötölujuus on 355 N/mm^2 , joten saamme tapin myötölujuuden kertomalla teräksen S355J2 myötölujuuden segmentin pinta-alan kanssa.

$$R_{eH1} = 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} 163 \text{mm}^2$$

$$R_{eH1} = 57865 \text{N}$$

$$R_{eH2} = 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} (453,6 \text{mm}^2)$$

$$R_{eH2} = 161028 \text{N}$$

Tästä havaitaan, että 30° antaa huomattavasti suuremman myötölujuuden kuin $14,5^\circ$ kiilakulma. 30° myötölujuus on kuitenkin niin suuri, ettei siitä ole mitään mekaanista hyötyä. $14,5^\circ$ kiilakulman edut tulevat esiin, kun tarkastelemme pidätinjousta.

Tapin päässä on 6 mm pyöristys, joka myötäilee esimerkiksi robotin paikoitusvirhettä. Päälilevyn $5 \times 35^\circ$ viisteen kanssa saavutetaan 8 mm:n asetustoleranssin.

Hitsausten ja koneistuksen jälkeen tappi hiiletyskarkaistaan. Hiiletyskarkaisulla tapin pinnan hiilipitoisuutta nostetaan 0,65–0,9 %. Pinta muuttuu kovaksi ja kulutuskestäväksi noin 0,05 mm–3,5 mm:n syvyydeltä. Tapin sisusta pysyy pehmeämpänä ja sitkeämpänä käytetyn teräksen ominaisen matalan hiilitason takia.

Hiiletyskarkaisun jälkeen kiilaura hiotaan mittaansa. Tällä toimenpiteellä kiilauran pinta kestää kulumista ja naarmuuntumista pitempään, eikä toistotarkkuus kärsi.

Tappiputki

Tappiputken materiaalina käytettiin Tibnorin EN 10210 standardin mukaista S355J2H saumatonta rakenneputkea. Putken ulkohalkaisija on 33,7 mm ja seinämänpaksuus 2,6 mm. S355J2H teräksellä on samat lastuttavuus- ja hitsattavuusominaisuudet kuin tapissa käytetyssä rakenneteräksessä.

Tappiputken tarkoituksena on välttää tilanne, jossa tappi syötetään päälilevyssä olevaan reikään vinossa kulmassa. Tämä voi aiheuttaa vaurioita koko kiinityselementille. Tappiputki ohjaa tapin asemaansa kohtisuoraan kiilaan nähden.

Tappiputki ei ulotu tapin kiilauraan asti. Tämä helpottaa kiilauran kulumisen tarkkailua ja epäpuhtauksien poistumista kiilaurasta.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tappiputken sisäpintaan hitsataan ohjauspala tappia varten. Päädyttiin kuitenkin siihen tulokseen, että ohjauspalan liittäminen tappiputkeen tarkasti olisi hyvin hankalaa ja siten suhteettoman kallista.

Lisäksi nollapistekiinnitin olisi alttiimpi toimintahäiriöille, jos esimerkiksi tapin ohjausurassa on epäpuhtauksia, jotka estävät tappia laskeutumasta tappiputkeen.

Tappiputki hitsataan päälilevyyn samalla hitsausmenetelmällä, kuin tappi hitsattiin tapin liittimeen. Hitsaus asento on puoli-Y hitsi.

Tiivisteistukka

Tiivisteiden istukka valmistetaan pronssista keskipakovalulla. Pronssi valittiin materiaaliksi, koska sylinterin vartta vasten tarvittiin materiaali jonka liukukerroin on hyvä. Pronssi kestää rautaa paremmin korroosiota, eikä väsy yhtä helposti. Lisäksi kappaletta koneistetaan runsaasti ja pronssi on lastuamisominaisuuksiltaan erinomainen.

Männänvarsi työnnetään tiivisteistukan läpi. Tiivisteistukka kiinnitetään sylinteriputkeen metrisellä ISO-vakiokierteellä M45. Kiilan puolelle koneistetaan lippa, joka jää sylinteriputkea vasten, kun tiivisteistukka on kierretty pohjaan. Kiilan puoleiseen pätyyn porataan kaksi 5 mm:n avainreikää tiivisteistukan kiinnittämistä ja avaamista varten.

Tiivisteistukkaan koneistetaan urat kahdelle O-renkaalle ja yhdelle varrentiivisteelle. Tiivisteiden valmistaja on Trelleborg ja kaikkien tiivisteurien mitat on mitoitettu noudattaen heidän ohjeitaan. O-renkaiden halkaisijat ovat $\varnothing 40,2$ mm ja $\varnothing 15$ mm. Molempien O-renkaiden paksuus on 3 mm. Yksi O-rengas sijoitetaan hydrauliputken ja tiivisteistukan väliin kierteiden taakse. Toinen O-rengas sijoitetaan hydraulisynterin puolelle painamaan männän vartta vasten. Molemmat O-renkaat ovat valmistettu nitrilikumista (NBR) ja kestävät 50 bar:in paineen. Varrentiivisteen halkaisija on 15 mm ja varrentiivistettä tukee sen takana 17,12 x 2,62 kokoinen O-rengas.

Hydraulisynterin puolelle koneistetaan myös lippa, joka pysäyttää hydraulimännän ja jättää välin, josta hydraulioiljy pääsee synteriin sisään.

Sylinterin mäntä

Sylinterin männässä käytettiin samaa materiaalia kuin tapissa. Pyörötangon halkaisija on 44,4 mm.

Männänvarsi, joka muodostaa myös kiilan, koneistetaan halkaisijaltaan 15 mm:iin. Näin saavutetaan hydraulinen voima F_{ulosveto} , joka tarvitaan pidätinjousen jousivoiman $F_{\text{jousivoima}}$ syrjäyttämiseen.

Nollapistekiinnittimen ulosvetovoima koostuu paineesta ρ ja paineenalaisesta vaikutuspinta-alasta, joka on kiilan puolella A_1 .

$$F_{\text{ulosvetovoima}} = \rho \cdot A_1$$

Vaikutuspinta-ala A_1 lasketaan ympyrärenkaan kaavalla, jossa D^2 on sylinterin männän halkaisija ja d^2 on männänvarren halkaisija.

$$A_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi(44\text{mm}^2 - 15\text{mm}^2)}{4}$$

$$A_1 = 1343,8\text{mm}^2$$

Nollapistekiinnittimessä käyttöpaine on 50 baaria. Ulosvetovoima.

$$F_{\text{ulosvetovoima}} = 5000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,0013438\text{m}^2 \quad F_{\text{ulosvetovoima}} = 6719\text{N}$$

Kiilamännänvarren myötölujuus. Teräksen S355J2 myötölujuus R_{eH} on 355 N/mm². Kiilamännänvarren kapein halkaisija on 15 mm, joten säde r on 7,5 mm.

$$A = \pi \cdot 7,5\text{mm}^2$$

$$A = 176,7\text{mm}^2$$

$$M\text{äntä}_{R_{eH}} = 355 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 176,7\text{mm}^2$$

$$M\text{äntä}_{R_{eH}} = 62728,5\text{N}$$

Kiilamännänvarren myötölujuus on riittävä, kun otetaan huomioon nollapistekiinnittimen teho.

Kiilan päässä olevat kulmat on pyöristetty R2:een, jotta kiilaura ei kuluisi niin nopeasti.

Männän tiivisterengas on Trelleborgin D A S Type B kaksitoiminen männäntiiviste-elementti. Tiivisterengas tukee ja ohjaa mäntää sylinterissä. Tiivisterenkaan materiaalina on käytetty nitrilikumia (NBR), polyesteri elastomeeriä ja polyuretaani kumia.

Suuren urasyvyyden takia tiivisterenkaan asentaminen vaatii lämmitystä ja voimaa. Suuren urasyvyyden etuja ovat voimakas tiivistys, joten tiivisterengas soveltuu lukitus sylintereihin.

Tiivisterenkaan asennusurat on mitoitettu Trelleborgin ohjeiden mukaisesti.

Männän tiivisterenkkaan taakse jäävän männänvarren tehtävä on tukea pidätinjousta. Männänvarteen ohjataan myös hydraulista voimaa, josta muodostuu paineenalainen vaikutuspinta A_2 . Männänvarren halkaisija takana on 39 mm.

Nollapistekiinnittimen sisäänlyöntivoima koostuu samoista tekijöistä, kuin ulosvetovoima. Vaikutuspinta A_2 on ympyrä.

$$A_2 = \pi r^2$$

$$A_2 = \pi \cdot 19,5\text{mm}^2$$

$$A_2 = 1194,59\text{mm}^2$$

$$F_{\text{sisäänlyöntivoima}} = 5000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0,00119459\text{m}$$

$$F_{\text{sisäänlyöntivoima}} := 5973\text{N}$$

Otetaan huomioon vielä vastus K , jonka kiila syrjäyttää sisäänlyönnissä eli lasketaan sisäänvetovoima. Johdetaan sisäänvetovoima kiilan sisäänlyöntivoiman kaavasta.

$$F_s = K \cdot \tan(\alpha + \varphi)$$

$$K = \frac{F_s}{\tan(\alpha + \varphi)}$$

$$K = \frac{4021,25\text{N}}{\tan(14,5^\circ + 5,711^\circ)}$$

$$K = 10922,97\text{N}$$

Sylinterin mäntä hiiletyskarkaistaan koneistuksen jälkeen samasta syystä, kuin tappi.

Pidätinjousi

Pidätinjouseksi valittiin Lesjöforsin ISO 10243 standardin mukainen erikoisraskaan kuorman työkalujousi. Jousen vapaa pituus on 203 mm ja jousen ulkohalkaisija on 40 mm.

Sopiva jousi määriteltiin nollapistekiinnittimeen laskennallisesti. Hydraulisen ulosvetovoiman täytyy olla riittävä, jotta pidätinjousi voidaan vetää takaisin lähtösentoonsa ja kiinnitetty kappale voidaan nostaa pois.

Valitun jousen jousivoima suurimmalla liikematalla on 6706 N. Jousen jousivakio c on 132 N/mm. Hydraulisylinlerin ulosvetovoima on F_{ulosveto} 6719 N. Jousen pituus, kun kiilamäntä on auki asennossa.

$$s = \frac{F_{\text{ulosveto}}}{c}$$

$$s = \frac{6719\text{N}}{132 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}$$

$$s = 50,9015\text{mm}$$

Jousen voima F_{kiinni} , kun kiila on kiinni asennossa. Kiilan liikematka kiilauraan on 21 mm.

$$s_2 = s - 21\text{mm}$$

$$s_2 = 50,9015\text{mm} - 21\text{mm}$$

$$s_2 = 29,9\text{mm}$$

$$F_{\text{kiinni}} = c \cdot s_2$$

$$F_{\text{kiinni}} = 132 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}} \cdot 29,9\text{mm}$$

$$F_{\text{kiinni}} = 3946,8\text{N}$$

Nollapistekiinnittimen pitovoima

$$F_{\text{pitovoima}} = \frac{F_{\text{kiinni}}}{\tan(\alpha - \varphi)}$$

$$F_{\text{pitovoima}} = \frac{3946,8\text{N}}{\tan(14,5^\circ - 5,711^\circ)}$$

$$F_{\text{pitovoima}} = 25527,2\text{N}$$

Sylinteriputki

Sylinteriputken materiaaliksi valittiin Polarputken EN 1305 standardin mukaisesta saumattomasta lähtöaineesta kylmävedetty S355BKS teräsputki.

Sylinteriputkeen porataan yksi 6,4 mm:n reikä ¼ tuuman hydrauliliitännälle sylinterin etuosaan. Etuosaan tuodaan paine, joka tuottaa sylinterille ulosvetovoiman. Reiän päälle hitsataan hitsattava ¼ tuuman muhvi.

Sylinteriputken takaosaan tehdään sisäreunaan viiste jousi-istukan ja päätylaipan hitsisaumaa varten.

Sylinteriputken hydrauliliitännän puoleisen päädyn sisäosaan tehdään ISO-vakio-kierteet M50, tiivisteistukan kiinnittämistä varten.

Jousi-istukka

Jousen istukan materiaalina käytettiin Terästarvike Oy:n EN 1305 standardin mukaista S355 tarkkuusteräsputkea. Putken halkaisija on 45 mm ja seinämän paksuus 2,5 mm.

Jousi-istukka hitsataan päätylaipan keskelle puoli-Y hitsillä. Jousi-istukan tehtävä on pitää pidätinjousi kohtisuorassa kiilaan nähden ja estää jousen sivuttaisliike sylinteriputkessa.

Päätylaippa ja päätylaipan vastakappale

Päätylaippa ja päätylaipan vastakappale ovat samaa materiaalia, kuin päälilevy.

Päätylaipan vastakappale hitsataan sylinteriputkeen hydraulisynterinin päähän puoli-Y hitsinä. Päätylaippaan on jo hitsattu jousi-istukkaan ja yhdistelmä työnnetään sylinteriputkeen. Hydraulisynterini suljetaan kahdeksalla M8x30 DIN 933-12,9 kuusioruuvilla. Ruuvit kiinnitetään itsevarmistavilla M8 kuusiomuttereilla.

Päätylaipan keskellä on ¼ tuuman kierteytetty reikä hydrauliliitintää varten, josta hydraulisynterini saa voiman sisäänlyöntiin.

Sylinterin kiinnityslevyt

Sylinterin kiinnityslevyjen materiaali on sama kuin päätylaipassa ja päälilevyssä.

Sylinterin kiinnityslevyillä kiinnitetään hydraulisynterini päälilevyyn. Kiinnityslevyt liittyvät lomittain toisiinsa kolmella M8x30 DIN 933-12,9 kuusioruuvilla. Ruuvit kiinnitetään itsevarmistavilla M8 kuusiomuttereilla.

Kiinnityslevyt hitsataan päälilevyyn ja sylinteriputkeen katkohitsaamalla, jotta ruuvien reiät eivät muutu soikeiksi.

Alakiinnityslevyissä on alareunassa viisteet kaarevalle pinnalle hitsaamisen helpottamiseksi.

Kiinnitinlevyjen myötölujuus R_{eH} voidaan teoreettisesti laskea jakamalla kiinnityslevyjä pidättelevän pinta-alan puolella. Useimmat hitsaus-saumamat ovat yhtä kestäviä tai vahvempia, kuin hitsattava materiaali.

Sylinterin kiinnityslevyn pituus h on 215 mm ja leveys on b 6 mm. Pinta-ala A ja myötölujuus R_{eH} .

$$A = b \cdot h$$

$$A = 6\text{mm} \cdot 215\text{mm}$$

$$A := 1290\text{mm}^2$$

$$R_{eH} := \frac{1290\text{mm}^2}{2} \cdot 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_{eH} = 228975\text{N}$$

Kiinnikkeet kestävät mainiosti nollapistekiinnittimen voimia.

Ominaisuudet

Suunnitellun nollapistekiinnittimen ominaisuuksista laadittiin taulukko. Kaikki arvot ja niiden selitykset löytyvät raportistani. Vertauskohteena on Hemo Zero Point Systems:in kiinnitinelementti K5. Vertailtava nollapistekiinnitin on jousilukitteinen ja hydraulisesti avattava. Opiskelijan suunnittelema nollapistekiinnitin on hydraulisesti avattava ja suljettava.

TAULUKKO 3. *Ominaisuusvertailu.*

Malli	Vetovoima (kN)	Pitovoima (kN)	Irroituspaine (bar)	Asetustoleranssi (mm)	Halkaisija (mm)	Korkeus (mm)
Opiskelija	11	25	50	8	335	98
K5	5	13	50	4	62	26

Vertailtava nollapistekiinnitin edustaa pienimpiä kiinnittimiä. Opiskelijan suunnittelema nollapistekiinnitin sijoittuu veto- ja pitovoimissa keskiluokkaan ja nollapistekiinnittimen koko on hyvin suuri johtuen hydraulisesta kiinnityksestä.

Kustannusarvio

Hykomet Oy:n Janne Saario teki tarjouksen suunnitellusta nollapistekiinnittimestä kokoonpantuna. Prototyypin valmistus maksaisi 930 euroa ja sadan kappaleen valmistussarja 270 euroa. Tuhannen kappaleen valmistuserä maksaisi lähes yhtä paljon kuin sadan kappaleen.

Arviolta prototyyppi maksaisi tällä hetkellä noin tuhat euroa, koska nollapiste-kiinnittimeen jouduttiin tekemään pieniä rakennemuutoksia yritysvierailun jälkeen.

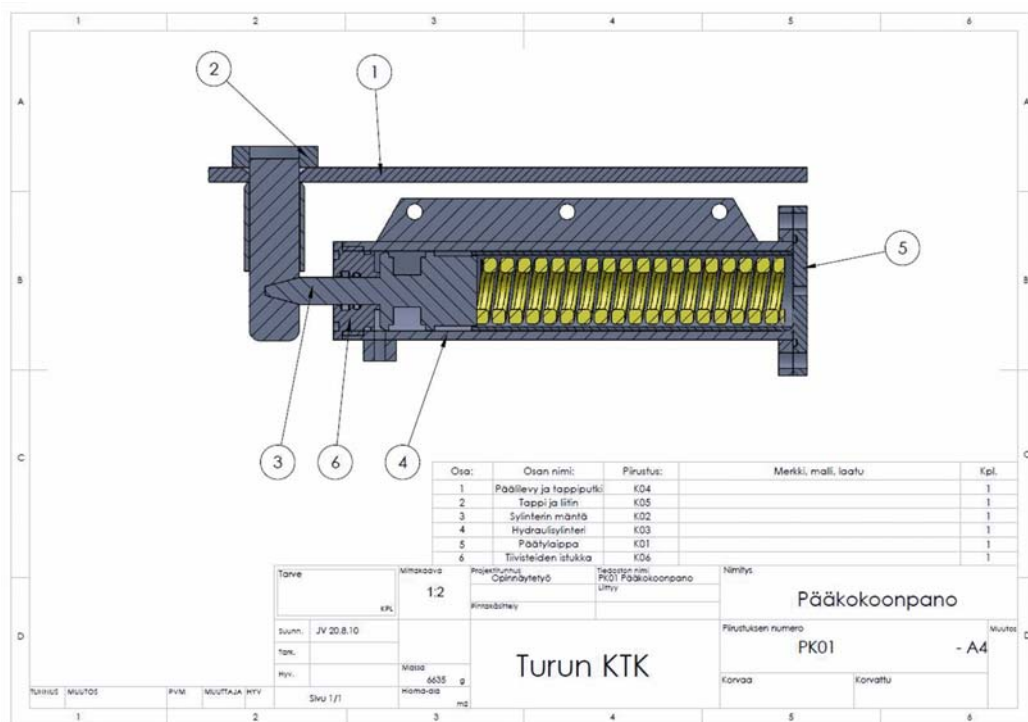
Riskianalyysi

Nollapistekiinnintä huollettaessa on lähes aina tarpeellista irroittaa päätylevy. Vaaran aiheuttaa pidäinjousi, jonka jännitevoima kiilan ollessa kiinni asennossa on 4 kN ja auki asennossa 6,7 kN. Päätylevyä irrottaessa täytyy olla varma, että kiila on kiinni asennossa ja hydraulikka on kytketty pois päältä. Kukaan ei saa seistä päätylevyn edessä, kun pultteja avataan. Varotoimenpiteenä on hyvä käyttää esimerkiksi säädettäviä puristinleukoja.

Laitteen suorituskykyyn vaikuttavat tekijät

Laitteen suorituskykyyn vaikuttavat tietenkin laitteen käyttötarkoitus, käytettävä hydraulijärjestelmä ja laatuvaatimukset. Nyt keskityttiin kuitenkin toistotarkkuuteen, pitovoimaan ja käyttöikään vaikuttaviin tekijöihin.

Koneistuksen aikana metallilastuja ja muita koneistusjätteitä saattaa jäädä kiilauraan. Jos metallilastut eivät tipu urasta itsestään, voivat ne kuluttaa kiilaa tai vaikuttaa nollapistekiinnittimen toistotarkkuuteen ja tämä vaikuttaa koneistetavaan tuotteeseen. Sama pätee myös päällilevyihin, mutta koneistuspyötä puhdistetaan useimmissa koneistuspaikoissa muutenkin.



KUVA 26. Kokooppanopiirustus.

Kommentti (Tero Reunanen)

Tuloksena saatiin hyvä vaihtoehto olemassa oleville nollapistekiinnitysratkaisuille. Oletettavasti nykypäivän toleranssivaatimuksia ei aina tällä ratkaisulla pystytä tyydyttämään, mutta varsinkin hitsaukseen ja vähemmän tarkkuutta vaativiin koneistuksiin kehitetty ratkaisu voi olla ylivoimainen kustannustehokkuudestaan johtuen. Valitettavasti projektin puitteissa ei aikataulusyistä voitu valmistaa prototyyppiä ja päästy testaamaan kehitetyn ratkaisun ominaisuuksia. Olisi ollut hyvin mielenkiintoista saada tämä mukaan luvussa 4 esitettyihin käyttötesteihin.

3 KEHITETYT SOVELLUKSET

3.1 KONEISTUSTORNI

Lähteenä Pekka Törnqvistin projektiraportti.

Nollapiste-elementtien käyttö edellyttää pneumatiikkaa tai hydraulikkaa. Paineella voidaan elementit joko lukita ja/tai avata. Tässä casessa käytettiin hydraulikkaa elementtien avauksessa, ja elementtien lukitus tapahtuu lautasjousien avulla. Lautasjousilla saavutetaan 40 kN pitovoima. Hydraulikka tuodaan torniin käyttämällä automaattiliitintä, joka puolestaan tuodaan torniin robotilla. Robotin tarttuja on rakennettu niin, että samalla tarttujalla voidaan tarttua sekä hydraulikkaliittimeen että peruslevyihin. Hydraulikkaliitin voidaan lukita vastakappaleeseen, ettei robotin tarvitse pitää liitintä paikallaan. Robotti voi siirtyä käsittelemään peruslevyjä. Tarvittaessa robotilta voidaan hydraulikalla avata nollapiste-elementit.

Högfors-casessa rakenettiin torni, jossa kahdella sivulla on nollapiste-elementtejä 6 kappaletta. Elementit on sijoitettu siten, että tornin sivulle voidaan kiinnittää kolme kiinnitinlevyä niin että yksi levy on aina kahdella elementillä kiinni. Vaihtoehtoisesti voidaan kiinnittää yksi kiinnitinlevy tornin sivuun kuudella elementillä. Tornin sivuun on myös kiinnitetty ohjaintapit, jotka helpottavat kiinnittimien asentamista. Högfors-casessa tavoitteena oli rakentaa nollapiste-kiinnitintorni, johon voidaan vaihtaa kappaleiden kiinnittimiä mahdollisimman nopeasti. Tornia suunniteltaessa otettiin myös huomioon mahdollisuus automatisoida kiinnitinlevyjen kiinnittäminen torniin.

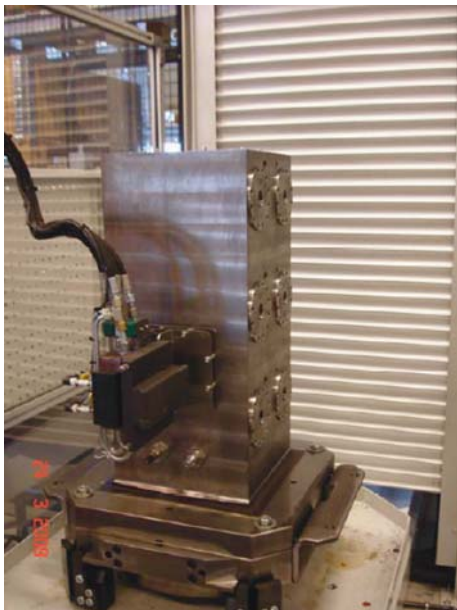
Tornin kiinnitinlevyjen automatisointi testattiin projektin puitteissa koneteknologiakeskuksen solussa. Tornin varusteltiin Romheldin kaksikanavaisella automaattisella hydraulikkaliittimellä. Hydraulikkaliitin saatiin kytkettyä torniin robotin kaksileukatarttujalla. Samaa tarttujaa käytetään myös kiinnitinlevyn käsittelyssä, joten robotilla ei tarvita kuin yhtä tarttujaa.

Testi suoritettiin kiinnittämällä tornin sivuun kolme pienempää kiinnitinlevyä tai vaihtoehtoisesti yksi suurempi kiinnitinlevy. Molemmissa kiinnitinlevyissä käytettiin samanlaista tartuntaelementtiä. Tornin voitiin kiinnittää helposti joko kolme kiinnitinlevyä tai yksi kiinnitinlevy. Mitään rakenteellisia muutoksia ei torniin tarvinnut tehdä kun kiinnitinlevyn koko muuttui.

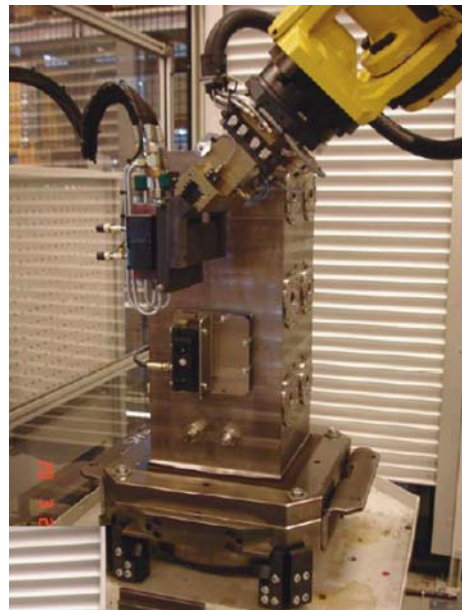
Ongelmia voi syntyä, kun käytetään kolmea kiinnitinlevyä. Koska tornin sivulla kaikki elementit ovat samassa hydraulikkapiirissä, joudutaan ne avaamaan aina

kun kiinnitinlevy tuodaan torniin. Tällöin myös tornin sivussa olevat kiinnitinlevyt joudutaan avaamaan. Kun robotti pitää kiinni kiinnitettävästä levystä, täytyy muut levyt tukea jotenkin. Tornissa on käytetty ohjaintappeja aina kahden elementin parina. Kun elementit avataan, on kiinnitinlevy ohjaintappien varassa. Muuten kiinnitinlevyt voivat pudota elementien avauksen yhteydessä. Yhden kiinnitinlevyn käsittelyssä tätä ongelmaa ei tietenkään synny, koska robotti pitää kiinni tästä kiinnitinlevystä kun elementit ovat auki.

Kuitenkin testit osoittivat sen, että robotilla voidaan suoraan panostaa kappaleita käyttämällä kiinnitinlevyjä adaterina, suoraan työstökoneen pöydälle.



KUVA 27. Koneistustorni. (Kuva: Pekka Törnqvist)



KUVA 28. Hydrauliliittimen asennus. (Kuva: Pekka Törnqvist)

3.1.1 Koneistustorni koukkusylintereillä

Lähteinä Pekka Törnqvistin, Samuli Uotilan ja Juho Vainion projektiraportit.

Nollapiste-elementtien käyttö pöydällä toimii yhtä hyvin pienillä kuin raskailakin kappaleilla. Raskaiden kappaleiden kanssa täytyy vain käyttää hieman kestävämpiä elementtejä. Ongelmia syntyy, kun kiinnittimet on asennettu vaakasentoon esimerkiksi vaakakaraisen työstökeskuksen torniin. Kappaleiden massa aiheuttaa ongelmia, kun kappaleen kiinnitinlevyä ollaan asentamassa nollapiste-elementtiin. Elementin kiinnitykseen avuksi voidaan rakentaa ohjaintapit, jotka kannattelevat kuorman ja ohjaavat kiinnitinlevyssä olevat vetotapit nollapiste-elementeihin.



KUVA 29. Koukkutornin panostaminen nosturilla. (Kuva: Pekka Törnqvist)

ZeroPointSystem ratkaisu

ZeroPointSystems on kehittänyt elementin, jonka sisällä on kaksitoiminen sylinteri ja sylinterin päässä on koukku. Koukun ollessa ulkona siihen voidaan laskea kiinnitinlevyn vetotappi. Kun vetotappi on laskettu koukkujen varaan, voidaan hydrauliiikan avulla vetää vetotappi elementtien sisälle. Tämän jälkeen voidaan vetotappi lukita normaalisti lautasjousivoiman avulla. Kun elementti avataan, vetotappien lukitus vapautetaan hydrauliiikalla, ja sylinteri työntää vetotappin pois elementin sisältä.

Kun käytetään nollapiste-elementin ja ohjaustappin yhdistelmää, tulee ongelmaksi raskaiden kappaleiden käsittely. On kiinnitettävä huomiota siihen, kuinka hyvin kiinnitinlevy saadaan ohjattua paikoilleen nostettaessa sitä kappaleen kanssa ohjaustappien varaan. Kun kiinnitinlevy on ohjaustappien varassa, täytyy vetotappi vielä siirtää käsin tai jollain muulla tavalla elementtien sisälle. Koukkusylinterin käytössä on etuna se, että on huomattavasti helpompaa laskea vetotappi koukkujen varaan. Kun vetotappi ovat koukkujen varassa, voidaan jopa nosturin koukut irroittaa kiinnitinlevystä ja tämän jälkeen vetää hydrauliiikan avulla vetotappi sisään.



KUVA 30. Vetotapit ja koukkusylinteri. (Kuva: Pekka Törnqvist)



KUVA 31. Kiinnityslevy ladattuna vetotapit auki asennossa. (Kuva: Pekka Törnqvist)

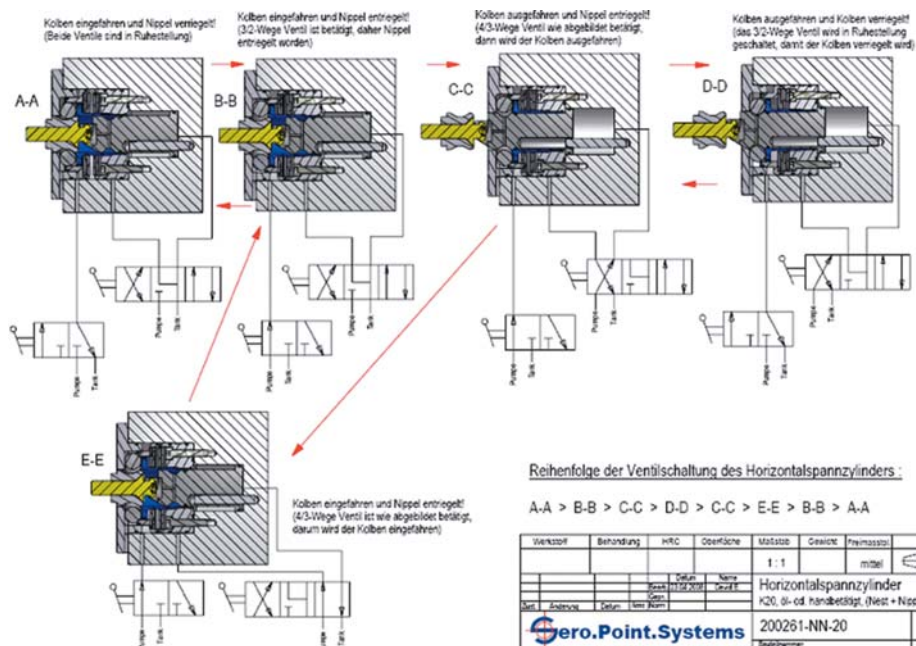
Panosteen koukkusylinteritorni

Panoste-projektin koukkutorni on rakennettu projektin puitteissa. Elementtejä tilattiin neljä kappaletta, ja ne asennettiin torniin 200 mm välillä, koska elementtien väli haluttiin pitää samana kuin peruslevyssäkin. Jaon valinnalla haluttiin testata tilannetta, jossa voidaan koukkusylinterille tarkoitettu kiinnitinlevy kiinnittää myös peruselementeillä varustettuun peruslevyyn.

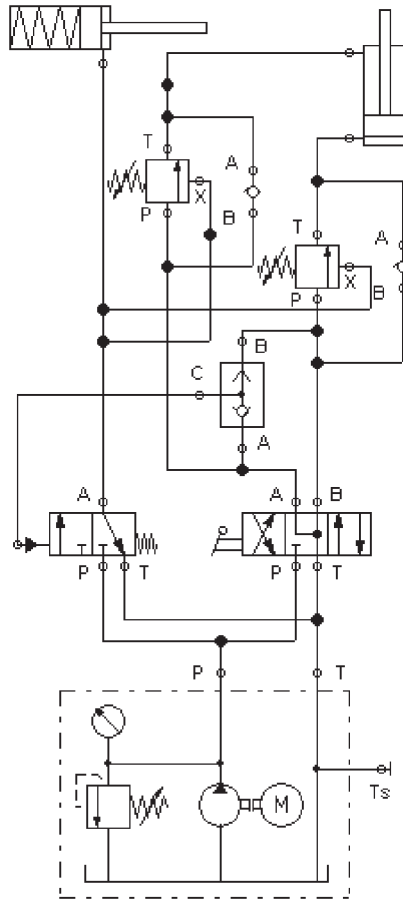
Torni on valmistettu valuraudasta ja tämän takia torniin koneistettiin teräsholkit elementtejä varten. Tällä haluttiin varmistaa, että sylinterien pesät eivät vuoda materiaalin huokoisuuden takia.

Hydrauliikkajärjestelmä

Elementin valmistaja toimitti hydrauliikkakaavion elementille. Koska elementissä on kaksi hydrauliikkasyylinteriä, yksitoimen ja kaksitoiminen sylinteri, täytyy sylintereitä ohjata myös erillisillä ohjausventtiileillä. Kaaviokuvan mutkaan elementin sylintereitä piti ohjata kahdella erillisellä vipuohjatulla venttiilillä. Venttiileitä pitää ohjata vielä oikeassa järjestyksessä. Projektin yhtenä tavoitteena on järjestelmien automatisointi. Tässäkin tapauksessa pyrittiin siihen, että voidaan rakentaa hydrauliikkajärjestelmä, missä sekvenssiohjaus tapahtuu hydraulisesti. Tästä syystä Panoste-projektin torniin suunniteltiin ratkaisua, jossa ohjaus voitaisiin ratkaista käyttämällä yhtä ohjausventtiiliä, mitä ohjataan nyt vivulla.



KUVA 32. Hydrauliikkajärjestelmä valmistajan mukaan (Zerpoint Systems).

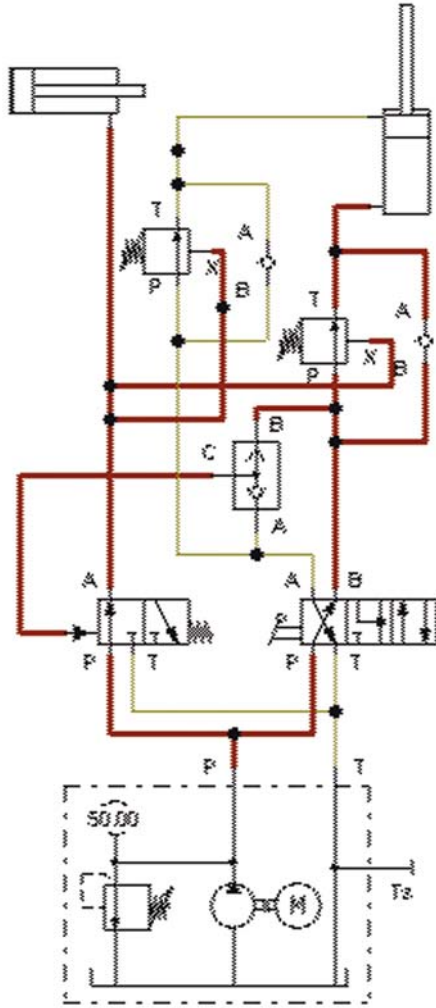


KUVA 33. *Hydraulikaavio.*

Hydraulijärjestelmä näytti kuvan 33 mukaiselta. Yksitoiminen sylinteri kuvaa kuulalaakerien lukitusmekanismia, jolla horisontaalikiristyssylinteri lukitaan ääriasentoihinsa ja kaksitoiminen sylinteri liikuttaa varsinaista horisontaalikiristyssylinterin mäntää.

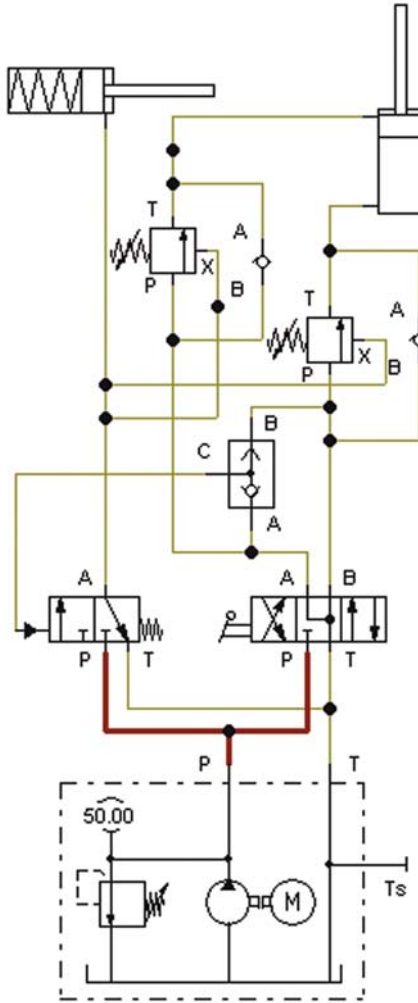
Toiminta

Vipua väännettäessä kuulalaakerien lukitusmekanismi tekee miinusliikkeen. Mekanismin saavuttaessa ääriasennon aukeaa oikeanpuoleinen paineenrajoitusventtiili, ja kiristyssylinteri tekee plusliikkeen. Sylinterit eivät saa liikkua ennen kuin kuulalaakerilukitus on auennut. Kuva 34 havainnollistaa, mitä järjestelmässä tapahtuu vipua väännettäessä.



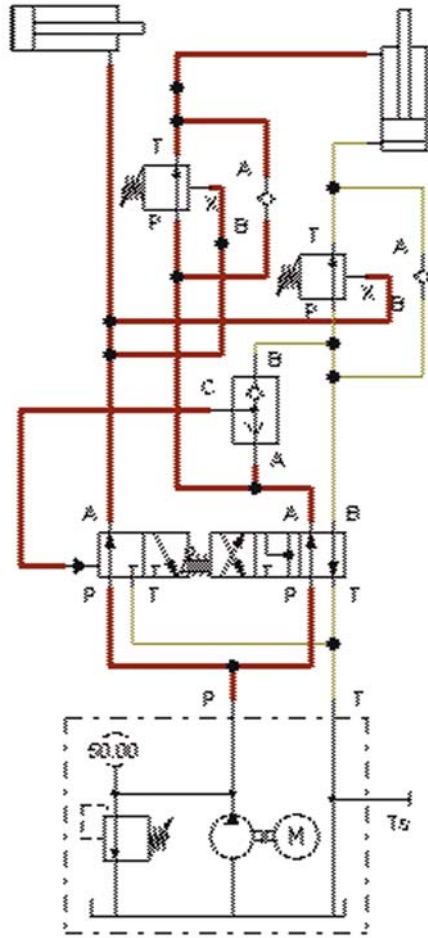
KUVA 34. *Sylinterien avaaminen.*

Seuraavassa vaiheessa järjestelmä palaa paineettomaan tilaan 4/3 suuntaventtiilin mennessä 0-asentoon. Kiristyssylinteri jää ennalleen, mutta lukitusmekanismi tekee plusliikkeen jousipalautuksen ansiosta. Tämä vaihe näkyy kuvassa 35. Kuulalaakerien lukittuminen ei tässä vaiheessa haittaa, sillä männän alussa on ura kuulalaakereille.



KUVA 35. *Sylinterit panostusasennossa.*

Viimeisessä vaiheessa 4/3 suuntaventtiilin asettuessa b-asentoon lukitusmekanismi tekee miinusliikkeen eli kuulalaakerilukitus aukeaa ja kiristyssylinteri pysyy tekemään miinusliikkeen myös. Jälleen yksitoimisen sylinterin on auettava ensiksi, jotta horisontaalikiristyssylinteri ei vaurioituisi. Kuvassa 36 tilanne 4/3 suuntaventtiilin b-asennossa.



KUVA 36. *Sylinterit lukitusasennossa.*

Tämän jälkeen 4/3 suuntaventtiilin asetettaessa 0-asentoon järjestelmä on taas alkuasetelmassa.

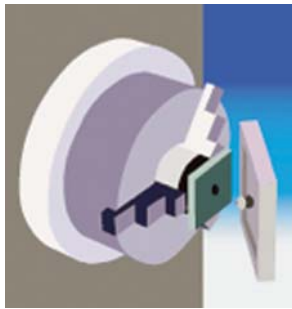
3.1.2 Nollapistekiinnityselementin hyödyntäminen sorvissa

Lähteenä Pekka Törnqvistin projektiraportti.

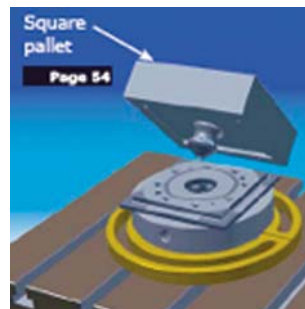
Nollapiste-elementin asentaminen sorviin tuo uusia joustavia kiinnitysmahdollisuuksia käytettäväksi. Kun kappaleen kiinnittäminen kolmileukapakkaan ei ole mahdollista, mutta siinä on kuitenkin sorvattava pinta, voidaan neliöelementin kiinnitinlevylle rakentaa kappalekohtainen kiinnitin. Kiinnityslevy voidaan kiinnittää neliöelementtiin, joka on sorvin pakassa kiinni. Myös koneistettavan kappaleen kiinnitys on mahdollista rakentaa kiinnitinlevyyn. Mikäli kyseistä kappaletta halutaan sekä sorvata että koneistaa työstökeskuksella, voidaan samainen kiinnitinlevy kiinnittää neliöelementtiin, joka on kiinnitetty työstökoneen pöydälle.

Neliöelementin käyttäminen sorvissa antaa myös mahdollisuuksia jostavaan tuotantoon. Kun sorvissa tuotantoerä saadaan valmiiksi ja vaihdetaan uuden tuotantoerän asetuksia, täytyy usein vaihtaa myös kappaleen kiinnitykseen tarvittavat leuat. Jos kappale on kiinnitetty nollapiste-elementtiin, voidaan kiinnitinlevyä vaihtamalla vaihtaa kappaletta. Erilaisten kappaleiden kappaleenvaihto automatisointikin voidaan helposti yhdenmukaistaa mikäli käytetään kiinnitinlevyjä, joista robotti voi tarttua samalla tarttujalla.

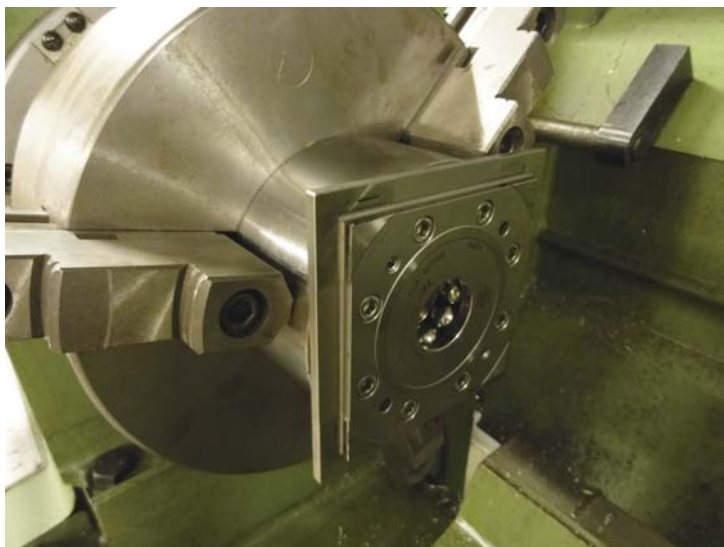
Kuten muussakin nollapiste-elementtien käytössä, myös tässä kannattavuus perustuu siihen että kyseinen kappaleen valmistus on toistuvaa. Joustavasta tuotannosta puhuttaessa ei eräkoolla juurikaan ole merkitystä, jos kappaleiden asetusajat on saatu minimiin. Mutta jos kappaletta valmistetaan vain yksi erä, on turhaa rakentaa kallista kiinnitystä yhtä kertaa varten. Tällaisissa tapauksissa käytetään perinteisiä menetelmiä.



KUVA 37. Periaatekuva neliöelementistä sorvissa.



KUVA 38. Periaatekuva neliöelementistä koneistuspöydällä.



KUVA 39. Panoste-projektissa kehitetty sorvikiinnitys.

3.2 CASE PEMAMEK OY JA MESERA PAIMIO OY – NOLLAPISTE- KIINNITTIMIEN KÄYTTÖ ROBOTTIHITSAUKSESSA SEKÄ KONEISTUKSESSA SAMOILLA KIINNIKKEILLÄ

Lähteenä Marko Seppälän opinnäytetyö.

Mesera Paimio Oy:ssä on kahden robotin hitsaussolu. Robottien valmistaja on Fanuc. Pienempi on M-10iA-sarjan robotti (kuva 40), ja suurempi on M-900iA-sarjan robotti (kuva 41). Kappaleen hitsaus tapahtuu näillä roboteilla. Pienempi robotti, johon on integroitu hitsauspistooli, toimii kappaleen hitsaajana. Suurempi hoitaa kappaleen käsittelyn, noudon ja palautuksen.

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin nollapistekiinnittimien soveltuvuutta robotisoituun kappaleen hitsaukseen sekä koneistukseen. Tarkoituksena oli selvittää, onko mahdollista käyttää samaa kiinnikettä irrottamatta kappaletta työvaiheiden välissä. Hitsattava ja koneistettava kappale oli Pemamek Oy:n suunnittelema ja valmistuksesta vastasi Mesera Paimio Oy. Tutkimus oli osa Turun ammattikorkeakoulun organisoimaa Panoste-projektia.



KUVA 40. *M-10iA (Fanuc Robotics 2010).*

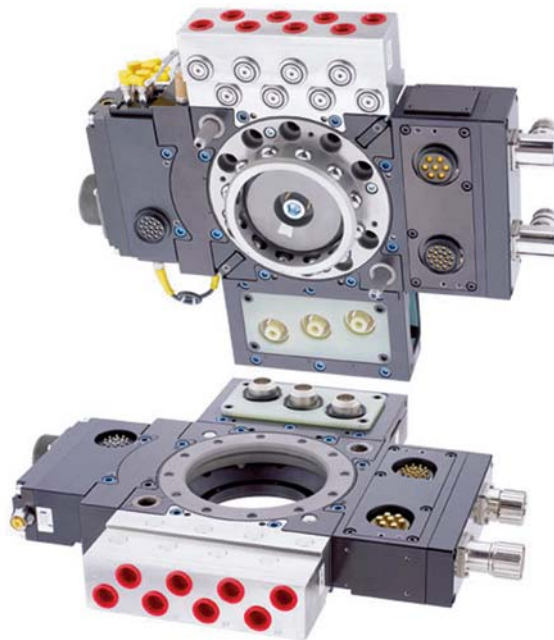


KUVA 41. *M-900iA/600 (Fanuc Robotics 2010).*

3.2.1 Robottihitsaussolu

Suuremmissa robotissa on Schunkin valmistama SWS-L 510-laippa (kuva 42) johon on tarkoitus kiinnittää nollapistekiinnittimet erillisen adapterin avulla. Laippaan on mahdollista saada neljä moduulia, esimerkiksi signaalin syöttö, valvonta, neste tai paineilman läpisyöttö ja hitsausvirtamoduuli. Kantokyky laipalla on 700 kg asti ja maksimimomentti kuorma 4680 Nm. (Schunk 2010, SWS-L 510 tuote-esite.)

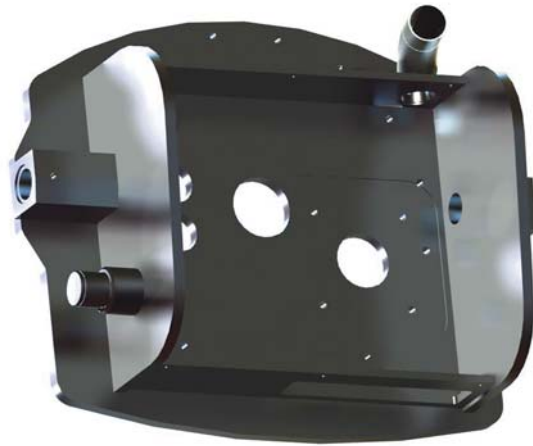
Hitsauspistooli on vesijäähdytetty ja laitteistona toimii Lincoln Electricin hitsausyksikkö.



KUVA 42. SWS-L 510 -laippa (Schunk 2010).

3.2.2 Hitsattava ja koneistettava kappale

Työstettävä kappale on Pemamek Oy:n pyörityspöydän kääntävärunko (kuva 43). Kappale muodostuu yhdeksästä polttoleikatusta osasta. Ensimmäiseksi osat hitsataan oikeille paikoille ja sen jälkeen koneistetaan oikeilla toleransseilla olevat reiät, kierteet ja upotukset.



KUVA 43. Kääntövärunko 1500 Ahma.

Kappaleen silloitus

Kappaleen osat tulevat polttoleikattuna silloitukseen. Heftauksen paikat ovat ennalta määrättyjä ja mahdollisimman matalalla a-mitalla, jotta nämä eivät häiritse lopullista hitsausprosessia.

Silloituksessa käytetään jigiiä. Tämä apuväline mahdollistaa kappaleen osien oikeat sijoituspaikat. Tässä vaiheessa kappaleen etulevy kiinnitetään nollapistekiinnittimin varustettuun kiinnittimeen. Kiinnitys tapahtuu hitsauksessa vain kolmesta pisteestä, jotta kappale voi elää hitsauksen aikana. On tärkeää, että kappaleeseen kohdistuu mahdollisimman vähän tai ei ollenkaan jännitteitä hitsauksen jälkeen sen jäähtyttyä.

Kappale tuodaan silloitettuna robotin operointialueelle. Robotti pystyy erinäisillä mittapäillä paikantamaan kappaleen sijainnin ohjelmallisesti, näin määrittäen nollapistetappien sijainnin. Tästä robotti noutaa kappaleen ja aloittaa hitsauksen.

Hitsauksessa esiintyy yleensä muodonmuutoksia, jotka aiheuttaa hitsauksen tuottama lämpö. Nämä muodonmuutokset vaikuttavat kappaleen lopullisiin mittoihin sekä aiheuttavat jännityksiä. Näihin pystytään vaikuttamaan jo silloituksessa osien asettelussa sekä valitsemalla oikea hitsausjärjestys. Suurimmaksi ongelmaksi todettiin kappaleen eläminen hitsauksen aikana. Eli voidaan kappale työstää ilman irrotusta kiinnittimestä vapauttamalla esiintyvät jännitykset. Kiinnitin piti suunnitella siten, että työkappale pystyy elämään hallitusti kiinnittimessä. Näin ollen kappaleeseen kohdistuvia jännityksiä pyritään minimoimaan ja se voidaan koneistaa ilman irrotusta.

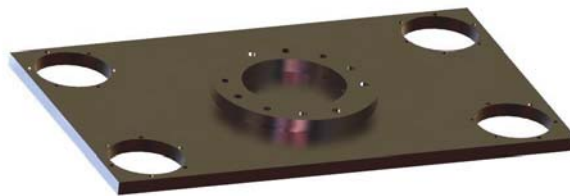
Hitsauksen jälkeen kappale viedään koneistettavaksi. Koneistuksessa kappaleeseen tehdään reikiä, kierteitä sekä pintajyrsintää. Kappaleen tärkeimpiä osia mitoituksen suhteen ovat tappi, holkit, kääntökehä, hiilien ja pyörittäjän moottorin reikä.

3.2.3 Kiinnitinadapteri ja nollapistekiinnittimen kiinnitykset

Kiinnitinadapteri kiinnitetään itse kappaleeseen ja tähän adapteriin kiinnitetään nollapistekiinnittimen tapit. Tämän adapterin avulla on siis mahdollista hitsata ja työstää kappaletta useasta eri suunnasta.

Nollapistekiinnittimen kiinnitys robottiin

Robotissa on käytössä Schunkin SWS-L 510 laippa. Laipan vastakappaleeseen kiinnitetään erillinen levy (kuva 44), johon kiinnitetään nollapistekiinnittimet. Työstettävän kappaleen leveydestä, syvyydestä ja korkeudesta voidaan tässä vaiheessa päätellä nollapistekiinnittimiä tarvittavan 4 kappaletta.



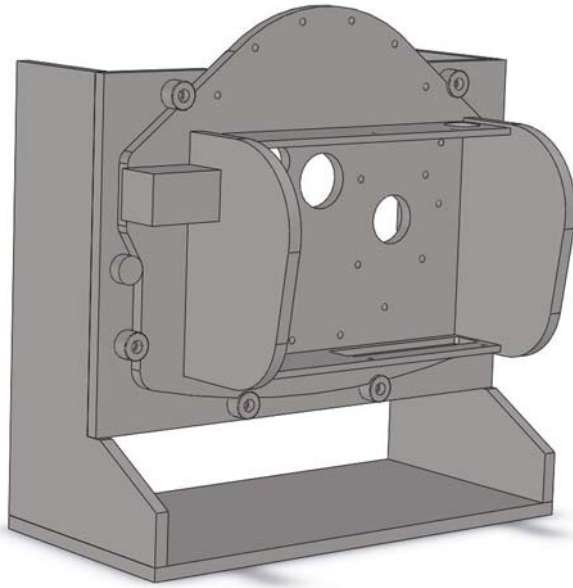
KUVA 44. *Nollapistekiinnittimien kiinnitys.*

Nollapistetappien kiinnittäminen tapahtuu usein kuusiokoloruuvilla. Pinnassa johon ne kiinnitetään, on joko reikä tai kierre. Koska kappaletta on pystyttävä hitsaamaan ja koneistamaan neljästä eri suunnasta, ei itse kappaleeseen voida suoraan kiinnittää tappeja. Tapit on siis kiinnitettävä erilliseen adapteriin, joka on kiinni työstettävässä kappaleessa.

Nollapistekiinnittimien käyttö hitsauksessa ja koneistuksessa

Työn alussa epäiltiin, että onko mahdollista hitsata ja koneistaa yhdellä ja samalla kiinnitinadapterilla. Useita eri vaihtoehtoja pyöriteltiin, kunnes viimeisin ratkaisu tuli esille. Pääajatuksena oli, että käyttämällä samaa kiinnitinadapteria säästytään ylimääräisiltä kiinnitysvaiheilta. Tämä vaatii kiinnittimiltä suuremman kiinnipitovoiman, koska painopiste siirtyy kauemmas. Kiinnittimien asennuspaikka pitää olla riittävän etäällä, jotta koneistukselle on tilaa riittävästi. Koneistuksia tulee tulevien molemmiin puoliin sekä molemmille sivuille. Eli kappaleeseen on päästävä koneistamaan neljästä suunnasta. Ylä- ja alapuolelle ei tule koneistuksia, mutta hitsauksia tulee.

Suunnittelujen jälkeen päätettiin valita tämä ratkaisu ja alkaa kehittämään kiinnitinadapteria. Ensimmäinen versio oli suuntaa-antava.



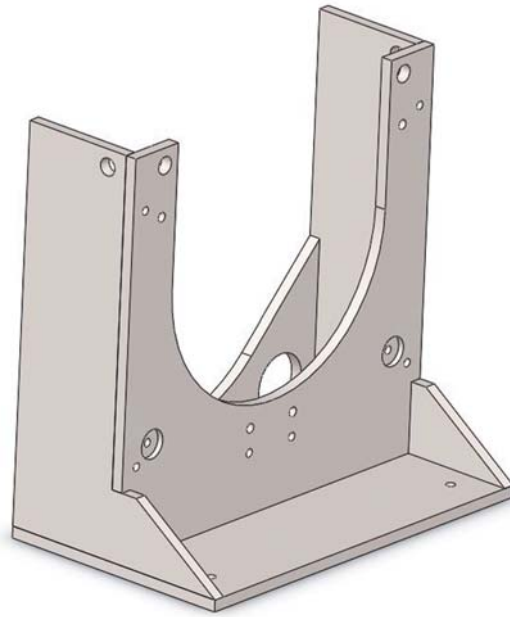
KUVA 45. Ensimmäinen versio kiinnitinadapterista.

Kiinnitinadapterissa otettiin huomioon hitsauksen ja koneistuksen vaatima tila. Tämä versio sai jokaisen osapuolen hyväksynnän. Epäileviäkin ajatuksia esiintyi, mutta asiaa on vaikea selvittää ilman kokeiluja.

Kiinnitinadapterin rakenne

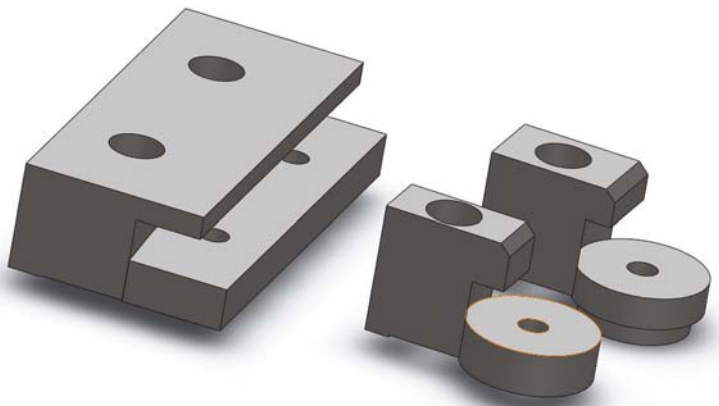
Kiinnitinadapterin rakenteen on kestettävä koneistuksen aiheuttamat voimat sekä resonoinnit. Tätä varten piti suunnitella kappaleen kiinnitin riittävän pak-
susta materiaalista sekä riittävillä tukirakenteilla kasvattamatta kiinnittimen painoa. Työstettävänä oleva kappale painaa noin 80 kg ja ensimmäinen versio kiinnitinadapterista noin 120 kg. Kiinnittimeen on lisättävä tukirakenteita joten painon voidaan olettaa kasvavan 20–40 kg. Lopullisessa ratkaisussa on päätetty toteuttaa työkappaleen kiinnitys hitsauksen ajaksi kolmesta pisteestä. Tämä mahdollistaa kappaleen elämisen hitsauksen aikana ilman että syntyy jännityksiä. Kappaleen jäähtyttyä säätöpultit kierretään kappaleen pintaan ja lisätään kiristimet. Näiden lisäksi kiinnikkeiden avulla kiinnitin pystyy pitämään kappaletta paikoillaan ja kestää siihen kohdistuvat koneistusvoimat.

Toisessa versiossa (kuva 46) etulevy on jatkettu alas asti ja taakse lisätty kaareva tuki. Nämä muutokset tukevat sivusuunnassa, mutta eivät ole koneistuksen tai hitsauksen esteenä. Keskellä alhaalla ja ylhäällä sivuilla näkyvät reiät on tarkoitettu kiinnittimille, joilla työstettävä kappale kiinnitetään hitsauksen aikana. Alhaalla sivuilla olevat reiät ovat koneistukseen lisättävät kiinnittimet. Upotukset on tarkoitettu säätöruuveja varten.



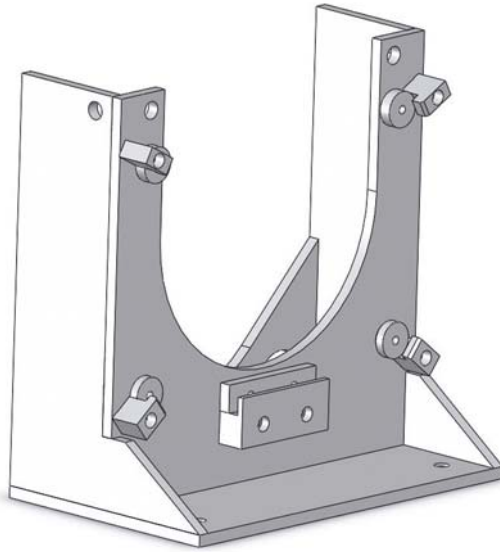
KUVA 46. *Toinen versio kiinnitinadapterista.*

Kiinnitinadapterin yläreunassa olevat reiät on tarkoitettu nostamista varten. Ne on keskitetty siten, että ne sijaitsevat pystysuorassa massakeskipisteeseen nähden. Tämä mahdollistaa kappaleen nostamisen ilman että se kallistuu sivusuunnassa.

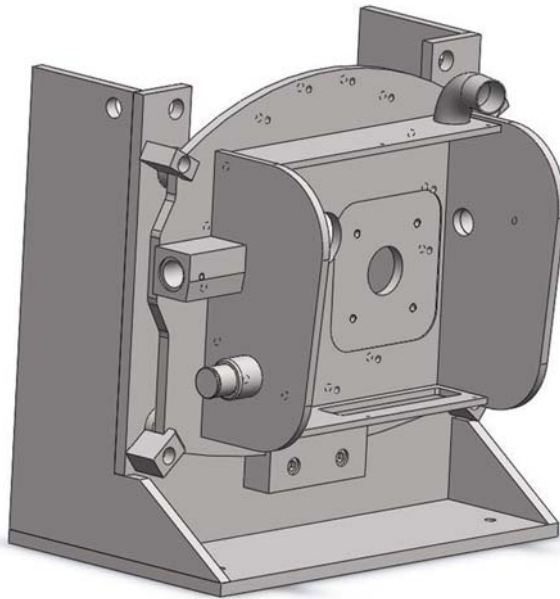


KUVA 47. *Kappaleen kiinnittimet.*

Työstettävä kappale kiinnitetään kuvassa (kuva 47) esiintyvillä kiinnittimillä. Ympyrän muotoiset vastakkeet ovat kiinni kiinnitinadapterissa. Näistä toinen on kiinteästi asennettava ja toinen säädettävä. Ajatuksena näissä kiinnittimissä on se, että ne toimivat samalla kappaleen keskittiminä.



KUVA 48. *Kiinnittimet kiinnitettynä.*



KUVA 49. *Kiinnittimet ja työstettävä kappale kiinnitettynä.*

Hitsausvaiheessa kiinnitetään leveä alakiinnike ja ylemmät kiinnikkeet. Koneistusvaiheeseen kiinnitetään alemmat kiinnikkeet alas sivuille (kuva 48). Vastikkeet tulevat kiinni takapuolelta ja kiristimet etupuolelta. Kuvassa (kuva 49) työstettävä kappale kiinnitettynä.

3.2.4 Nollapistekiinnittimen valinta

Nollapistekiinnittimen valintaa tehdessä otetaan huomioon useita asioita. Kappaleen ominaisuudet ja työpisteessä vaikuttavat tekijät lienevät tärkeimmät. Kappaleen painon ja massakeskipisteen huomioonottaminen on tärkeää, jos kappaletta joudutaan kääntämään. Tärkein tieto on se, kuinka suurella voimalla nollapistekiinnittimiä rasitetaan. Voima ei missään tilanteessa saa ylittää valmistajan ilmoittamaa kiinnipitovoimaa. Jos näin käy, nollapiste siirtyy ja kappaleeseen tehdyt koneistukset yms. eivät enää ole toleranssien mukaisia.

Kriteerit ja valinta

Useiden valmistajien joukosta valittiin neljän valmistajan tuotteet tutkittavaksi. Schunk, System 3R Delphin, Stark ja Zero Point System AG.

Ensimmäisinä kriteereinä ovat vapautusmenetelmä sekä muut yksittäiset ominaisuudet. Koska käytössä on pelkästään pneumaattikkaa, voimme automaattisesti poislukea kaikki nollapistekiinnittimet, jotka käyttävät vapautukseen tai kiinnitykseen hydraulikkaa. Jäljelle jäävät pneumaattiset kiinnittimet. Pyörimisen estoa ei tarvita, koska kiinnittimiä tulee neljä kappaletta. Usean nollapistekiinnitinvalmistajan tuotteissa puhdistus ja valvonta ovat valinnaisia. Nämä toiminnot voidaan myös lisätä jälkikäteen, sekä ne ovat mahdollista rakentaa erikseen. Tämän perusteella kaikilta valmistajilta löytyi työhön sopiva malli.

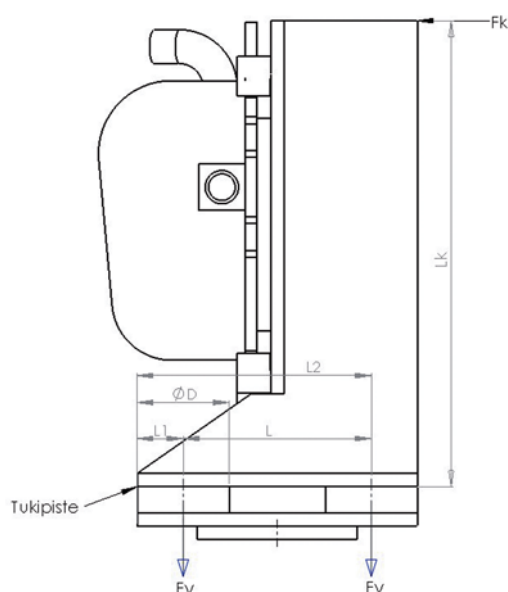
Toisena kriteerinä olivat käytössä olevat voimat, eli itse kappaleesta aiheutuvat voimat (painovoima) ja koneistuksessa syntyvät voimat. Voimien laskemisessa tarvittavien muuttujien suuren määrän vuoksi valittiin yksi nollapistekiinnitin, joka kattaa muut kriteerit. Nollapistekiinnitin löytyi valmistajalta Schunk.



KUVA 50. *Nollapistekiinnitin Schunk NSE 138 (Schunk 2010).*

Malliksi valitsin NSE 138 (kuva 50). Tämän nollapistekiinnittimen kiinnipitovoima on 5 kN ja maksimipitovoima riippuen nollapistetapin kiinnityspultista 35 - 75 kN. Irrotuspaine 6 bar ja toistotarkkuus $<0,005 \mu\text{m}$. Nollapistekiinnittimen halkaisija on 138 mm ja korkeus 54,7 mm. (Schunk 2010, NSE 138 tuotesite.)

Hitsauksen aikana nollapistekiinnittimiin kohdistuu vain kiinnitinadapterin ja työstettävän kappaleen painovoima. Jos painoa kertyy yhteensä 250 kg ja kappaleet käännetään robotilla ylösalaisin, kohdistuu yhteen nollapistekiinnittimeen n. 625 N voima. Tämän perusteella kiinnipitovoima on riittävä. Jos kiinnitinadapterin ja kappaleen paino tulee ongelmaksi, on adapteria mahdollista myös keventää.



KUVA 51. Vapaakappalekuva.

Koneistuksessa kappaleeseen kohdistuvat voimat vaihtelevat. Kiinnipitovoima laskussa (Stark Zero Point Clamping System 2010) lasketaan riittäkö kiinnipitovoima pitämään kappale paikoillaan menettämättä nollapistettä. Varmuusluvaksi valittiin 2.

$$\begin{aligned}
 M_K &= F_K * L_K \\
 M_K &= 2100 Nm \\
 M_V &= 2 * (F_V * L_1) + 2 * (F_V * L_2) \\
 M_V &= 2 * F_V * (L_1 + L_2) \\
 M_V &= 4200 Nm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_K / M_V &< 2? \\
 M_K / M_V &= Nm / Nm \\
 M_K / M_V &\approx 2 = 2
 \end{aligned}$$

Laskuissa käytetyt arvot ovat maksimi-arvoja. Esimerkiksi koneistusetäisyys on maksimi koneistusetäisyys Lk (kuva 51). Näillä arvoilla laskettuna saadaan varmuusluvaksi 2. Tämän perusteella 3000 N on suurin voima, jolla kiinnittimiä voidaan rasittaa varmuusluvun rajoissa.

Jos koneistuksessa käytettävät voimat ovat suurempia kuin laskettu, voidaan voimia koittaa vähentää polttoleikkaamalla koneistettavat reiät. Polttoleikataan rei-

ät ennen hitsausta oikeaa toleranssia pienemmäksi ja koneistuksessa määrättyllä toleranssilla. Näin toimien myöskään hitsauksessa syntyvät muodonmuutokset eivät vaikuta lopullisiin toleransseihin.

3.2.5 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, onko mahdollista käyttää nollapistekiinnittimiä robotisoidussa kappaleen hitsauksessa sekä koneistuksessa käyttäen samaa kiinnikettä. Menetelmän käyttöönotosta ei lopputyön tekohetkellä ollut varmuutta. Suurimmaksi kysymykseksi tuli kappaleen eläminen hitsauksen aikana. Teoriapohjalla järjestelmän kokeileminen on kuitenkin harkitseminen arvoista. Etenkin taloudellista kannattavuutta korostaisi se, jos samoilla nollapistekiinnittimillä olisi mahdollista työstää suuria kappalemääriä myös muita työkappaleita.

3.3 CASE TUMO OY – NOLLAPISTEKIINNITYSTEKNIIKAN SELVITTÄMINEN JA SOVELTAMINEN

Lähteenä Heikki Vuorisen opinnäytetyö.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ja soveltaa nollapistekiinnitystekniikan käyttöä. Selvitysosassa esitetään nollapistetekniikan toiminta sekä erilaiset käyttömahdollisuudet konepajatuotannossa ja nollapistekiinnityksen käyttämisen mahdollistamat hyödyt tuotantoon. Soveltavassa osassa tehtiin esiselvitys sopivasta nollapistejärjestelmästä Tumo Oy:n pystykaraiselle työstökeskukselle, koska yrityksellä oli esiintynyt tarvetta kyseisen työstökeskuksen tuotannon kehittämiseen. Suunnitelman lisäksi tavoitteena oli tutkia nollapistekiinnityksen vaikutusta työstökeskuksen tuotantoon ja arvioida hankinnan kannattavuutta.

Esiselvitykseen kerättiin tietoa seuraamalla työstökeskuksella tuotantoa ja keskustelemalla yrityksen henkilökunnan kanssa. Varsinkin pääsääntöisesti koneella työskentelevät koneistajat olivat suureksi avuksi. Koko työstökeskuksen toiminnan lisäksi mitattiin yhden työn eri vaiheisiin kuluvat ajat ja selvitettiin asetusajkojen vähentyminen, jos käytettäisiin nollapistekiinnitystä. Saatujen havaintojen perusteella pyrittiin suunnittelemaan sopiva nollapistejärjestelmä sekä arvioimaan siihen investoimisen järkevyyttä.

Nollapistekiinnitystekniikka mahdollistaa kiinnittimien asettamisen nopeasti ja tarkasti nollapisteen muuttumatta. Tämä mahdollistaa lyhyemmät asetusajat, minkä ansiosta saadaan lisättyä tuotantoa. Järjestelmän suunnitelmassa päädyttiin hydrauliiikkakäyttöiseen nollapisteperuslevyyn. Hankinta on kannattava ja maksaa investoinnin nopeasti takaisin, jos sen tuottamat hyödyt saadaan kunnolla käyttöön.

Selvitysmenetelmä

Ennen järjestelmän suunnittelua piti ottaa selvää työstökeskuksen ominaisuuksista ja sillä tehtävästä tuotannosta. Tässä kartoitettiin tuotannolliset ja työskentelyyn liittyvät mahdolliset ongelmakohdat, jotka voitaisiin ratkaista käyttämällä nollapistekiinnitystä. Tämän vuoksi kappaleen kiinnittämiseen ja asetusten vaihtoon kuuluvat toimenpiteet sekä niihin kuluvat ajat oli selvitettävä, jotta voitaisiin arvioida järjestelmän hankkimisen kannattavuutta. Tämä tapahtui seuraamalla työskentelyä ja keskustelemalla koneella pääsääntöisesti työskentelevien koneistajien kanssa. Koneen ominaisuuksista oli tärkeitä saada selville rajoitteet, jotka on otettava huomioon sopivaa järjestelmää suunniteltaessa. Nykytilannetta verrataan kirjallisuudesta löytyvään tietoon joustavasta ja tuottavasta tuotannosta sekä pohditaan, miten ongelmaan voitaisiin vaikuttaa käyttämällä nollapistekiinnitystä.

Työstökeskus

Työstökeskus, johon nollapistejärjestelmää suunnitellaan ja mahdollisesti otetaan käyttöön, on Victor Vcenter-4 (kuva 52). Työstökeskus on 3-akselinen ja pystykarainen, jossa työstöpöytä liikkuu X- ja Y-suunnassa. Pystyliikkeen, Z-akselin, suorittaa karalaatikko. Työstökeskus on NC-ohjattu. Työstökeskuksen perustiedot ovat taulukossa 4. Työstökeskuksessa on suljettu rakenne, mikä vaikeuttaa nosturin käyttöä nostettaessa painavia työkappaleen pitimiä työstöpöydälle.



KUVA 52. *Victor Vcenter-4.*

TAULUKKO 4. *Victor Vcenter-4 perustiedot.*

Ominaisuus		Arvo
Akselin liikematka	X-akseli	570 mm
	Y-akseli	420 mm
	Z-akseli	460 mm
Työstöpöytä	Työskentelyala	420 mm x 920 mm
	Maksimikuorma	300 kg
Kara	Karamoottorin teho	7,5 kW
	Kierroslukualue	150 - 6000 rpm
Pikaliikkeen nopeus	X- ja Y-akseli	15 m/min
	Z-akseli	12 m/min
Työliikkeet	Maksimipaino	8 kg
	Lukumäärä	16 kpl
Ohjaus	NC	Fanuc OM-A

Kyseinen työstökeskus on ollut varsinkin kiireisinä aikoina yrityksen tuotannossa hidaste ja pullonkaula. Tämän takia se valittiin kehityskohteeksi ja siihen harkitaan nollapistetekniikan käyttöönottoa. (Kortelainen, 2009, palaveri.)

Selvästi työstökeskuksen joustavuutta rajoittava tekijä on koneen työkalumakasiinin koko. Siihen mahtuu työkaluja 16 kappaletta, minkä takia työkaluja joudutaan vaihtamaan eri töiden ja jopa työn vaiheiden välissä. Ongelmana on myös ohjausyksikön muistin pieni koko. Paljon koneistusta vaativan työn kaikki työkierrat eivät välttämättä mahdu samaan ohjelmaan ja ohjelmia joudutaan lataamaan vaiheiden välissä. Tuotannon joustavuutta voidaan parantaa poistamalla kaikki turha työ ja pyrkimällä tekemään jäljelle jäävä työ oikea-aikaisesti. Asetustyö voidaan jakaa sisäiseen ja ulkoiseen asetustyöhön. Ulkoista asetusta voidaan tehdä valmistelevana työnä edellisen työn aikana koneen käydessä ja sisäistä asetustyötä koneiden ollessa pysäytettynä. (Aaltonen ym. 2005, 472.) Sovelluskohteena olevassa työstökeskuksessa ei ole paletinvaihtojärjestelmää, minkä takia siinä tehtävä asetustyö on keskuksen sisäistä. Nollapistetekniikan käyttöönottoa voitaisiin tältä osin harkita manuaalikäyttöisen paletinvaihtojärjestelmän lisäämisellä työstökeskukseen. Se mahdollistaisi vaaditun sisäisen asetustyön vähentymisen.

Tuotanto ja työskentely

Suurimmaksi osaksi työkappaleiden kiinnittämiseen käytetään ruuvipuristinta ja työkappaleille erikseen tehtyjä kiinnittimiä. Kiinnittimet kiinnitetään joko ruuvipuristimilla tai suoraan työstöpöytään kulmatuilla. Käytössä on myös istukoita ja jakolaite, jotka kiinnitetään suoraan työstöpöytään. Näiden asettaminen joudutaan tekemään sisäisenä asetustyönä. Kiinnittimien asettaminen ja kappaleiden vaihtaminen eivät ole ainoita sisäisenä asetuksena tehtäviä vaiheita, sillä työkalujen vaihtaminen on myös paljon aikaa vievä vaihe.

Yleinen asetusten tekemiseen käytettävä vaihtoaika työtä kohden on kolmesta-kymmenestä minuutista yhteen tuntiin ja asetusten vaihtoja tehdään normaalisti keskimäärin 1 tai 2 kertaa päivän aikana (Sappinen, 2009, tiedonanto).

Töiden sarjakoot ovat pääosin alle 100 kappaletta. Poikkeuksena on yksi työ, jossa sarjakoko on yli 100 kappaletta. Kyseistä työtä tehdään kuitenkin harvoin, noin 1 tai 2 kertaa vuoden aikana (Bowers, 2009, tiedonanto). Pienet sarjakoot ja siitä aiheutuvat useat asetusten vaihdot vähentävät työstökeskuksen tuotanto-aikaa. Kuitenkin tuotantolaitteiston korkea käyttöaste on edellytyksenä alhaisille valmistuskustannuksille ja tuottavuudelle. (Aaltonen ym. 2005, 459.) Käyttämällä nollapistekiinnitystä saataisiin asetusten tekoon kuluva aika vähennettyä ja siitä aiheutuva tuottamaton aika vaihdettua tuottavaksi.

Nykyiset markkinat vaativat joustavuutta, mikä kuitenkin tuotannossa esiintyy usein ohjaushäiriöinä. Aloitettuja sarjoja joudutaan keskeyttämään, ja välissä joudutaan tekemään muita työkappaleita. (Aaltonen ym. 2005, 470.) Samaa ongelmaa esiintyy myös kyseisen työstökeskuksen tuotannossa. Töitä on jouduttu keskeyttämään kiireellisempien töiden takia, jolloin on pitänyt purkaa työn asetus ja tehdä se taas myöhemmin uudestaan (Sappinen, 2009, Tiedonanto). Tällaisissa tilanteissa nopea ja helppo asetusten vaihto olisi tärkeää ja siihen pystyttäisiin nollapistetekniikan käytöllä.

Kaikkia sisäisen asetuksen vaiheita ei ole mahdollista tai kannattavaa poistaa tai siirtää ulkoiseksi. Koneen työkalumakasiiniin koko on rajoitteena, joten työkaluja pitää poistaa ja lisätä töiden ja työvaiheiden välissä. Yksittäisten työkappaleiden vaihto ei useissa tapauksissa ole niin paljon aikaa vievää, että siihen saataisiin ajallista etua käyttämällä useaa kiinnitintä ja nollapistekiinnitystä. Kappaleen kiinnittämiseen kuuluvat asetusvaiheet pystyttäisiin kuitenkin ulkoistamaan tai poistamaan käyttämällä nollapistekiinnitystä. Ilman nollapistejärjestelmää pitää asetuksen vaihtuessa suorittaa seuraavia aikaa vieviä vaiheita koneen ollessa pysähdyksissä:

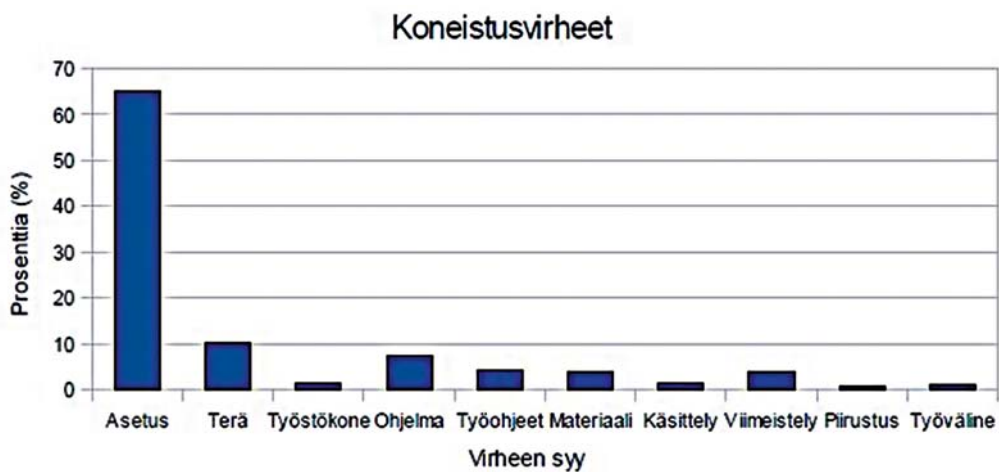
- edellisen asetuksen kiinnittimien irrottaminen ja työstöpöydän puhdistaminen
- työkalujen ja kiinnitinrautojen hakeminen
- kiinnittimien asettaminen työstöpöytään ja niiden kellottaminen
- työkappaleen kiinnittäminen ja nollapisteen hakeminen.

Nollapistejärjestelmällä tarvitsisi vain avata lukitus, poistaa edellisen työn kiinnittimet, asettaa seuraavan työn kiinnittimet paikoilleen ja lukita lukitus. Työkappaleen asettaminen ja valmistelu olisi mahdollista tehdä edellisen työn aikana. Myös tarve nollapisteen hakemiseen ja kiinnittimien kellottamiseen poistuisi.

Laatuvirheet

Laatuvirheiden seurannan lähteenä on käytetty Tumo Oy:n laatuosaston poikkeamaseuranta. Seurannassa on eriteltyä laatuvirheiden määrä syiden perusteella ja näistä aiheutuvat kustannukset. Seuranta ulottuu vuodesta 2006 nyky päivään.

Suurin osa laatuvirheistä on koneistusvirheitä, joissa useimmiten syynä on virheellinen kappaleen asetus. Eniten syntyy sijainti-, paikka- ja mittavirheitä. Asetuksen virheet liittyvät esimerkiksi työn asetukseen, kiinnittimen valintaan/käyttöön ja työkappaleen asettamiseen. Näiden prosenttiosuus kaikista koneistuksen työvirheistä on 65 %. Seurannassa erittely työn asetukseen, käytettyyn kiinnittimeen ja kappaleen asettamiseen on aloitettu vasta vuoden 2008 aikana, joten tarkkaa jakautumista näiden välillä ei tiedetä. Erittelyn jälkeen asetuksesta tai kiinnittimestä johtuvien virheiden määrä on kuitenkin vain 5 %. Suurin syy laatuvirheisiin on siis virheellinen kappaleen asettaminen. Esimerkiksi virheen on aiheuttanut liian löysä kappaleen kiinnitys kiinnittimeen tai lastu kappaleen ja kiinnittimen välissä. Loput koneistusvirheet jakautuvat kuvion 5 mukaisesti useaan eri syyhyyn, mutta asetusten lisäksi muuta yksittäin suuren määrän virheitä aiheuttavia syitä ei ole.



KUVIO 5. Koneistusvirheiden jakautuminen.

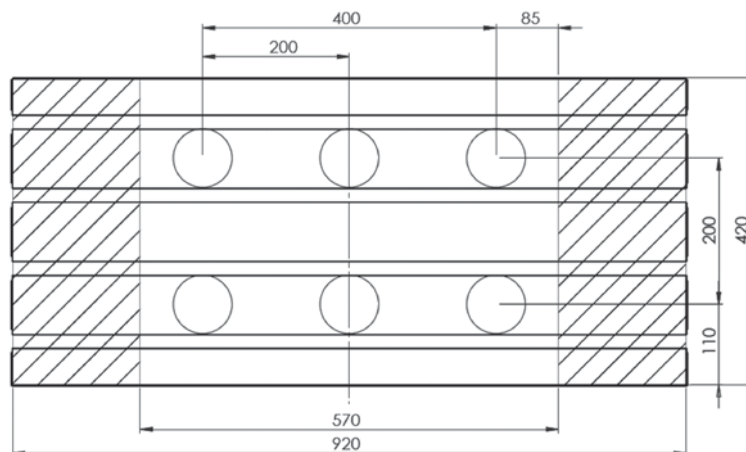
Nollapistetekniikan käyttö ei suoraan poistaisi työkappaleen kiinnittämisestä tai asettamisesta aiheutuvia virheitä. Asetuksessa tapahtuvia virheitä kuten esimerkiksi virheellinen nollapiste näppäilyvirheen seurauksena poistuisi, koska nollapistettä ei pitäisi työlle enää jatkossa hakea uudestaan. Mikäli kappaleen kiinnittäminen ulkoistetaan, voidaan kiinnittäminen tehdä paremmassa asennossa, ja mahdolliset lastut huomataan tämän takia helpommin.

3.3.1 Nollapistejärjestelmän Suunnitelma Työstökeskukseen

Mitoitus ja ominaisuudet

Lähtökohtana sopivan järjestelmän suunnittelulle oli valita ominaisuudet ja tehdä mitoitus työstökeskukseen sopivaksi. Työstökeskus on manuaalisesti ladattava, joten siihen riittävät ominaisuuksiltaan manuaalikäyttöön tarkoitettut sylinterit. Automaatiokäyttöön sekä miehittämättömään ajoon tarkoitettuja tarkkailujärjestelmiä ei tarvita. Järjestelmän asennuskohde on pystykaraisen työstökeskuksen työstöpöytä, joten siihen voidaan asentaa peruslevy, sisäänrakennetut sylinterit tai pinnalle asetettavat sylinterit. Koko pitää valita sen mukaan, että sylinterien määrä ja sylinterijako sopisivat mahdollisimman hyvin työstöpöydän kokoon ja varsinkin akselien liikerajoihin, jotta se ei olisi yli- tai alimitoitettu. Mitoitusta ja ominaisuuksia ei voi valita ajatellen yksittäistä työkappaletta tai tuoteperhettä, koska työstökeskuksella tehdään useita erilaisia ja erikokoisia kappaleita. Siksi järjestelmän pitää mahdollistaa erilaisten kiinnittimien käyttö.

Koneen työstöpöydän koko on 920 mm x 420 mm ja akselien liikerajojen muodostama alue X- ja Y-suunnassa on 570 mm x 420 mm. Työstöpöydän mittoihin ja akselien liikerajoihin sopiva järjestelmän koko on 6 sylinteriä, joiden etäisyys toisistaan on 200 mm. Sylinterien keskipisteet muodostavat talloin 400 mm x 200 mm kokoisen alueen, jolloin akselien liikerajat saadaan hyvin käyttöön. Kyseisellä mitoituksella saadaan hyvin peitettyä liikerajojen rajaama alue, mutta uloimmat sylinterit eivät kuitenkaan ole akselien liikerajoihin nähden liian kaukana tai lähellä, eivätkä ne ole niiden ulkopuolella. Sylinterien sijainti ja etäisyydet, työstöpöydän koko ja akselien liikerajat X- ja Y-suunnassa on esitettyinä kuvassa 53.



KUVA 53. Sylinterien sijainti työstöpöydällä.

Valittu sylinterijako on yleinen valmistajien tämän kokoluokan ratkaisuisissa. Jaon voisi vapaasti valita omien mittojen mukaan, mutta siihen ei ole tarvetta, koska valittu jako sopii työstökeskukseen. Tämän etuna on mahdollisuus hyödyntää markkinoilla olevia ratkaisuja. Mikäli tekniikan käyttöä laajennetaan, olisi sylinterien jako hyvä pitää yhtenäisenä eri järjestelmien välillä. Tämän takia on parempi valita yleisesti käytetty jako. Kun sylinterien etäisyydet pidetään molempiin suuntiin samana, voidaan käytettävät kiinnittimet tarvittaessa kääntää käytettäessä kahta tai neljää liitintä.

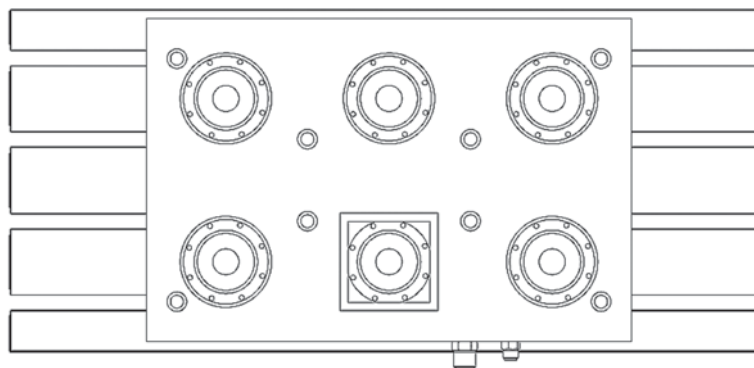
Koneella käytetään paljon erilaisia kiinnittimiä. Helpomman valmistuksen ja liitinten asennuksen takia valitaan järjestelmä, jossa on tappimaiset liittimet. Silloin kiinnittimien valmistus vaatii vähemmän koneistusta ja liitinten tarvitsema tila kiinnittimestä on pienempi, jolla voi lisäksi olla merkitystä pieniä kiinnittimiä käytettäessä.

Järjestelmän käytön kannalta on tärkeää tehdä siitä mahdollisimman monipuolinen ja joustava erilaisille kiinnityksille. Monipuolisuutta saadaan lisättyä käyttämällä indeksoivaa sylinteriä, jolloin pienten kappaleiden kiinnittämiseen tarkoitettujen kiinnittimien kokoa ei tarvitse turhaan kasvattaa ja lisäksi kiinnitin saadaan helposti käännettyä 90:n tai 45 asteen kulmassa. Tavallisten sylinterien lisäksi tarvitaan joko neliönmallinen tai indeksointiurallinen sylinteri. Näiden hankintahinta on korkeampi, eikä ole tarvetta useampaan. Kahden yksittäisen kiinnityksen käyttäminen samaan aikaan kannattaisi ennemmin toteuttaa kiinnittämällä kiinnittimet samaan aluslevyyn. Järjestelmään valitaan yksi indeksoitava sylinteri. Onko kyseessä neliönmallinen vai indeksointiurallinen sylinteri riippuu siitä, minkä valmistajan järjestelmä hankitaan. Sen sijoitus on keskellä ja koneistajan puoleisella sivulla, jotta varmistetaan liikkeen riittävyys X-akselin suunnassa ja helppo kiinnittimen asettaminen.

Sylinterit asennetaan vaakasuoraan, minkä takia valitaan hydraulinen lukituksen avaus, koska se mahdollistaa kannattelun liittimistä. Vaikkei työstökeskuksella työstetä erityisen painavia työkappaleita, on hallitulla kappaleen laskemisella mahdollista vähentää kontaktipintojen vaurioitumisen riskiä. Silloin voidaan helpommin varmistaa tarkkuuden säilyminen. Toimintavarmuuden lisäämiseksi järjestelmään valitaan lisäksi sylintereihin paineilmapuhdistus.

Z-akselin korkeuden rajoittamana kappaleeseen kohdistuvan kohtisuoran työstövoiman etäisyys sylintereihin ei ole niin suuri, että se aiheuttaisi merkittävän suurta vääntömomenttia kiinnitykseen. Tämän takia riittävät valmistajien pienemmän kokoluokan järjestelmät, joissa yhden sylinterin kiinnipitovoima on 40–60 kN. Z-akselin liikeraja jää 150 mm työstöpöydän pinnasta. Tämän takia työstöpöytään upotettavien sylinterien käyttö saattaisi synnyttää tarpeen käyttää turhan pitkiä työkalun varsia. Valitaan peruslevyn käyttäminen sylinterien asentamiseen työstöpöytään.

Levyn ulkomitat, lopullinen muoto ja yksityiskohdat riippuvat valmistajasta. Kuvassa on hahmotelma siitä, miten levy asettuu työstöpöydälle. Levyssä on reiät T-uramutterikiinnitystä varten sekä liittännät paineilmaa ja hydrauliiikkaa varten (kuva 54). Kiinnitysreikiä varten valmistajat tarvitsevat työstöpöydän tiedot.



KUVA 54. Levy työstöpöydällä.

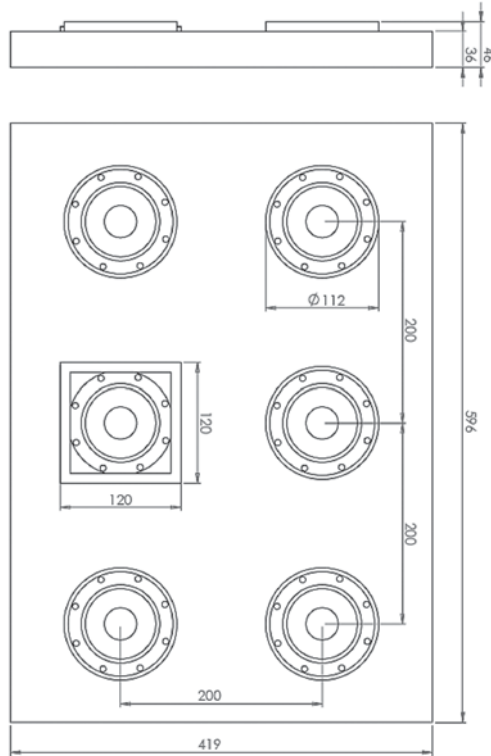
3.3.2 Esimerkkiratkaisu järjestelmästä kahdelta eri valmistajalta

Zero.Point.Systems K 20

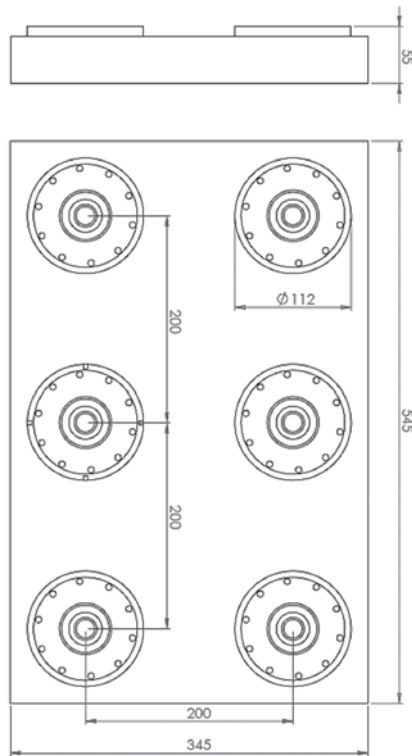
Zero.Point.Systemsilla on tarvittavassa kokoluokassa K 20 -sarja, jossa sylinterin lukitusvoima on 20 kN ja kiinnipitovoima 55 kN. Kontakti liittimeen on toteutettu vapaasti liikkuvilla kuulilla. Indeksointisyylinteri on neliönmallinen. Lukituksen avaamiseen käytetään paineenlisääjää. Kuva levystä maahantuojan tekemän tarjouksen ja valmistajan mittojen mukaan (kuva 55). Valmis järjestelmä sisältää suunnitelman mukaisen levyn ja paineenlisääjän tarvikkeineen.

Vischer & Bolli DockLock SAFE 20

Vischer & Bollilla on tarvittavassa kokoluokassa DockLock SAFE 20 -sarja. Lukitusvoima on 12,5 kN ja kiinnipitovoima 40 kN. Lukitukseen käytetään holkkilukitusta. Indeksointisyylinterissä on indeksointiurat. Lukituksen avaamiseen käytetään hydrauliikkapumppua. Kuva levystä maahantuojan tekemän tarjouksen pohjalta (kuva 56). Valmiissa järjestelmässä on suunnitelman mukainen levy ja hydrauliikkapumppu käyttövalmiina.



KUVA 55. *Zero.Point.Systems K 20 -peruslevy.*

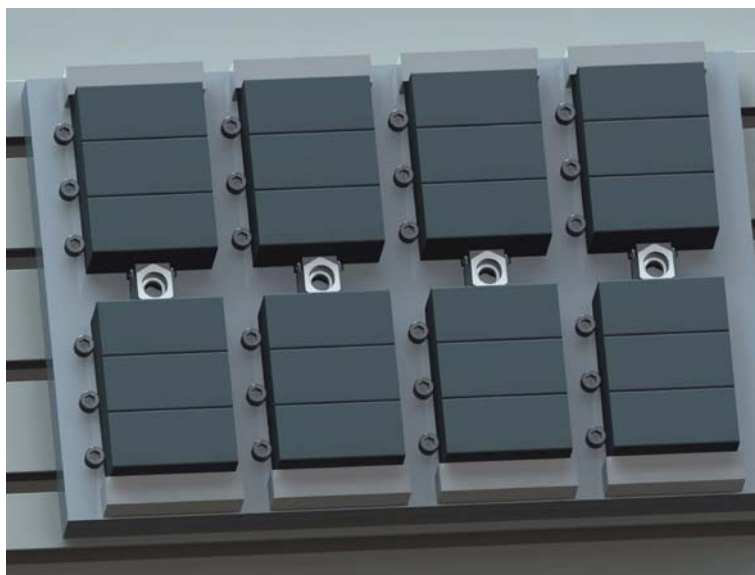


KUVA 56. *Vischer & Bolli DockLock SAFE 20 -peruslevy.*

Esimerkki järjestelmän soveltamisesta

Esimerkki siitä miten työkappaleen kiinnityksen voisi muuttaa, kun käytössä on nollapistekiinnitysjärjestelmä. Kyseisen työkappaleeseen tehdään tällä keskuk-sella 2 eri työvaihetta. Kappaleen aihion koko on 50 mm x 50 mm x 108 mm. Kiinnityksessä on käytössä 3 ruuvipuristinta, joista jokaiseen saadaan kerralla kiinnitettyä 4 työkappaletta vierekkäin, jolloin kerralla saadaan kiinnitettyä 12 työkappaletta. Ensimmäisen vaiheen jälkeen kappaleista käännetään toinen sivu ylöspäin.

Nollapistekiinnitystä hyödyntäen kappaleiden kiinnitys voitaisiin tehdä helposti käyttäen aluslevyä ja matalakiinnittimiä. Vanhalla tavalla kiinnitettäessä pitäisi varata kolme ruuvipuristinta tätä työtä varten tai muuten muuttaa kiinnitys-tapaa. Esimerkiksi kolme ruuvipuristinta aluslevyllä olisi myös painava ja siten vaikeasti liikuteltava. Käyttämällä neljää matalakiinnitintä ja kiinteitä vasteita mahtuisi matalakiinnittimien molemmille puolille 3 työkappaletta. Kerralla työ-kappaleita mahtuisi yhdelle levylle periaatekuvan mukaisesti 24 kappaletta (kuva 57).



KUVA 57. Periaate kiinnityksestä matalakiinnittimillä.

3.3.3 Menetelmien vertailu työkappaleella

Nykyisen kiinnitystavan selvitys

Vertailuun valittu työkappale on osoittautunut ongelmalliseksi. Työstöä vaikeut-tavat vastakkaisella puolella olevat reiät, joiden pitää olla kohtisuorat korvak-keiden kanssa ja keskenään mahdollisimman lähellä. Reikien suuntatoleranssi

korvakkeiden pintaan kohtisuoruuden mukaan on 0,1. Reiät koneistetaan eri vaiheissa, jolloin työkalupaleessa on eri kiinnitys.

Asetuksen teossa aikaa vie kiinnittimien kiinnittäminen sekä kellottaminen ja nollapisteen hakeminen eri vaiheille. Työssä on kolme koneistusvaihetta ja neljä eri kiinnitystä, joista jokaiseen kiinnitykseen haetaan oma nollapisteensä. Kahdessa ensimmäisessä vaiheessa kappale kiinnitetään ruuvipuristimella ja nollapiste haetaan kappaleesta. Kolmannessa vaiheessa kappale kiinnitetään kahteen eri asentoon työlle tehtyyn kiinnittimeen ja nollapistet haetaan kiinnittimestä. Kiinnitin on kiinni ruuvipuristimessa.

Asetusaikaa kasvattaa myös työkalujen asettaminen ja niiden kalibrointi. Työssä tarvitaan enemmän työkaluja kuin työstökeskuksen työkalumakasiinin rajaama 16 kappaletta. Tämän takia työkaluja joudutaan ottamaan pois ja lisäämään uusia eri vaiheiden välissä. Tästä aiheutuu työn muuhun asetukseen verrattavissa olevaa joutoaikaa työstökoneelle.

Ensimmäisessä vaiheessa koneistetaan kappaleen muoto esille aihioista. Asetustyö tähän vaiheeseen on ruuvipuristimen kiinnitys, suuntaisalusalan asettaminen, ensimmäisen aihion kiinnittäminen ja siitä nollapisteen hakeminen. Tähän kulunut aika oli 15 minuuttia. Vaiheeseen kuuluvien työkalujen asettamiseen kului myös 15 minuuttia, johon sisältyi asettamisen lisäksi niiden kalibrointi. Työkalupaleen vaihtamiseen tässä vaiheessa kului 40 sekuntia. Koneistusaika ensimmäiselle vaiheelle oli 28 minuuttia.

Toisessakin vaiheessa kappale kiinnitetään ruuvipuristimeen ja siinä käytetään työkalupaleelle tehtyä aluspalaa. Tässä vaiheessa poistetaan ensimmäisen vaiheen kiinnittämiseen tarvittu ylimääräinen aine. Nollapisteen ei tarvitse olla tarkka X- ja Y-akseleilla. Nollapisteen hakemiseen kului 6 minuuttia ja vaiheeseen tarvittavan työkalun asettamiseen minuutti ja 30 sekuntia. Koneistusaika tällä vaiheella oli 3 minuuttia ja 20 sekuntia. Kappaleen vaihtamiseen kului 45 sekuntia.

Kolmannessa vaiheessa kappaleelle on kaksi eri kiinnitystä samassa työlle tehdystä kiinnittimestä. Asetustyö kolmannessa vaiheessa on kiinnittimen kiinnitys ruuvipuristimeen, kiinnittimen kellottaminen suoraan ja nollapisteiden hakeminen molemmille kappaleen kiinnityskohdille. Tarkkailukerralla kiinnittimen asettaminen sujui helposti, koska se oli heti suorassa, eikä sitä tarvinnut suoristaa käyttämällä lisäpaloja kiinnittimen ja ruuvipuristimen välissä. Asettaminen ja nollapisteiden hakeminen kesti 15 minuuttia. Jos kiinnitin ei olisi ollut suorassa ilman lisäpaloja, olisi kiinnittämisen suoristamiseen voinut mennä noin 15 minuuttia. Tämän vaiheen työkalujen asettaminen kesti 15 minuuttia. Koneistusaika kolmannelle vaiheelle oli 15 minuuttia ja 40 sekuntia ja kappaleiden vaihto kesti 3 minuuttia. Ensimmäisellä kiinnityskerralla, jolloin kiinnittimen osia piti laittaa paikoilleen, kesti kappaleiden kiinnittäminen 4 minuuttia, mikä sisältyy taulukossa 2 kolmannen vaiheen asetusten tekoon. Ajat on saatu seuraamalla työn kulkua ja ottamalla aikaa työn eri vaiheista (taulukko 5).

TAULUKKO 5. Eri työvaiheisiin kuluvat ajat.

Tehtävä	Vaiheisiin kuluvat ajat				
	Vaihe- 1	Vaihe- 2	Vaihe- 3	Yhteensä	12 kpl sarja
Asetus	15min	6min	19min	40min	
Työkalut	15min	1min 30s	15min	31min 30 s	
Koneaika	28min	3min 20s	15min 40s	47min	9h 24min
Kappaleen vaihto	40s	45s	3min		52min

Asetustyön osuus johon voitaisiin vaikuttaa nollapistetekniikalla oli yhteensä 40 minuuttia. Tehdyssä 12 kappaleen sarjassa sen merkitys kokonaisu-aikaan verrattuna oli noin 6,5 %. Asetustyön suhteellinen vaikutus kokonaisu-aikaan riippuu tietysti tehdystä sarjakoosta.

Työkappaleen asetus nollapistetekniikalla

Kyseisessä työssä käytettävien työkappaleen pitimien asettaminen voitaisiin toteuttaa eri tavoilla. Ruuvipuristin ja kiinnitin voitaisiin asettaa erikseen tai kiinnittää samaan aluslevyyn, jolloin molempien asettaminen ja paikoittaminen saataisiin tehtyä samanaikaisesti. Niiden asettaminen samaan levyyn ei kuitenkaan ole välttämätöntä, koska työn vaiheita ei voida työstää yhdellä asetuskerralla työstökeskuksen rajoitteiden takia. Samalle levyille asettamisen myötä työlle pitäisi varata ruuvipuristin ja lisäksi levystä voisi tulla niin painava, että sen nostamiseen pitäisi käyttää nosturia, jolla nostaminen on hidasta. Sen takia olisi parempi käyttää erillään olevaa ruuvipuristinta kiinnittimen lisäksi.

Nollapistetekniikalla kiinnittämiseen ja poistamiseen kuluvaa aikaa testattiin Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olevalla nollapistejärjestelmällä. Hydraulikkaliitännän kiinnittäminen, lukituksen avaaminen ja aluslevyn pois nostaminen kesti 25 sekuntia. Levyn asettaminen takasin, lukitseminen ja liitännän irrottaminen kesti 20 sekuntia.

Ensimmäisen ja toisen vaiheen asetus, eli ruuvipuristimen kiinnittäminen ja alustojen asettaminen kestäisi arviolta 2 minuuttia. Kolmanteen vaiheeseen siirtyäessä ruuvipuristimen poistaminen ja kiinnittimen asettamiseen olisi mahdollista tehdä minuutissa.

TAULUKKO 6. Kiinnitysmenetelmien vertailu.

Menetelmä	Vaiheisiin kuluvat ajat (minuuttia)			
	Vaihe-1	Vaihe-2	Vaihe-3	Yhteensä
Nykyinen	15	6	19	40
Nollapistekiinnitys	2		1	3
Vähennys	19		18	37

Kiinnittämiseen liittyvän asetustyön aika vähentyisi noin 93 %. Kaikkeen asetustyöhön verrattuna käytettävä aika vähentyisi noin 52 %. Kokonaisläpimenoaikaan sen vaikutus 12 kappaleen sarjalla olisi 6 %.

3.3.4 Järjestelmän hankinnan kannattavuuden arviointi

Suurimman kustannuksen aiheuttaa hankittava järjestelmä. Muita kustannuksia tulee esimerkiksi tarvittavista liittimistä ja aluslevyistä. Aluslevyjä voidaan ostaa tai tehdä itse. Kustannuksissa esimerkkeinä olevien käyttövalmiiden järjestelmien nettohinnat.

TAULUKKO 7. *Esimerkkiratkaisujen hankintakustannukset.*

Järjestelmä	Tuote	Hinta (€/kpl)
K 20	Levy ja paineenlisääjä	9849,00
	Keskitysliitin	60,90
	Kompensaatioliitin	60,90
	Kiinnitysliitin	60,90
SAFE 20	Levy ja hydrauliiikkapumppu	8261,00
	Keskitysliitin	33,34
	Kompensaatioliitin	36,50
	Kiinnitysliitin	29,16

Nollapistejärjestelmän käytön vaikutus koneistuskeskuksen tuotantoon

Työstökeskuksella tehdään pääosin pienen sarjakoon töitä ja useita erilaisia tuotteita, joten suurin mahdollinen hyöty nollapistetekniikan käytöstä saadaan asetusajojen pienentämisestä. Se korostuu tilanteissa, joissa käynnissä oleva työ pitää keskeyttää kiireisemmän työn takia. Nollapistetekniikkaa käyttämällä uusi työ saadaan nopeammin aloitettua ja edellinen työ nopeammin uudestaan käyntiin. Näin on mahdollista lisätä tuotantoaikaa ja pienentää läpimenoaikaa sekä parantaa tuotannon joustavuutta. Kappaleiden vaihto ei usein vie nykyiselläkään menetelmällä paljon aikaa, jolloin vaihtoajan pienentämisestä saatava hyöty on joko vähäinen tai sitä ei ole ollenkaan.

Kiinnittimien osalta tekniikan käyttö mahdollistaisi erilaisten kiinnittimien helpon käytön. Esimerkiksi edellä kuvatun matalakiinnitinratkaisun tapaista kiinnitystapaa voitaisiin tarvittaessa soveltaa muihinkin työkappaleisiin, jolloin saataisiin samalla kertaa useampi työkappale kiinnitettyä, eikä tarvitsisi käyttää raskaita ruuvipuristimia. Työergonomia paransi myös siten, ettei tarvitsisi huonosassa asennossa kiristää ja löysätä ruuveja.

Laatuvirheistä saadaan karsittua pois työkappaleen pitimien asetuksessa mahdollisesti tapahtuvia virheitä. Koneistuksen kannalta saadaan hyötyä korkeuden lisäyksestä pystysuunnassa, jolloin voidaan käyttää lyhyempiä työkalun varsia.

Ongelmat ja haasteet

Nollapistejärjestelmän lisääminen laitteistoon voi saavutettujen hyötyjen lisäksi aiheuttaa ongelmia ja asettaa haasteita ennen kuin tekniikan vaikutus tuotantoon saadaan täysin hyödynnettyä.

Kun järjestelmä otetaan käyttöön, pitää kiinnittimet ja ruuvipuristimet muokata tai uusia, jotta niitä voidaan käyttää. Jatkossa kiinnittimistä pitää tehdä järjestelmään sopivia, ja koneistuskeskuksen monipuolisuuden hyödyntäminen voi tämän takia vaikeutua. Levyn lisääminen vähentää tilaa pystysuunnassa, jolloin korkeiden työkappaleiden koneistaminen voi tulla mahdottomaksi. Haasteena on myös pitää kiinnittimet ja aluslevyt tarpeeksi kevyinä, jotta niiden asettaminen ja poistaminen olisi tehtävissä helposti ja nopeasti.

Nollapistetekniikan käyttöön ottaminen tuo mukanaan yhden mahdollisen häiriön tai virheenaiheuttajan. Kosketuspintoihin voi jäädä likaa, mikä aiheuttaa laatuvirheen ja virhe järjestelmässä voi pysäyttää koneistuskeskuksen tuotannon. Kyseisestä syystä tapahtuvan laatuvirheen mahdollisuutta voitaisiin vähentää käyttämällä ilmapuhdisteisia sylintereitä.

Nollapistejärjestelmä voitaisiin saada ajettua sisään yrityksen tuotantoon tilanteissa, joissa yritys on päättänyt hankkia järjestelmän kehityskohteena olevaan työstökeskukseen. Henkilökunta voitaisiin tutustuttaa nollapistetekniikkaan käytännön tasolla. Tietyn tarkkailujakson jälkeen saataisiin myös tarkempi käsitys tekniikan vaikutuksista tuotantoon, minkä pohjalta olisi helpompi tehdä päätös käytön lisäämisen kannattavuudesta toisiin työstökeskuksiin.

Tulevaisuudessa voi olla haasteena automatisoidun kappaleen käsittelyn käyttöön ottaminen yrityksen tuotannossa. Silloin nollapistetekniikan laaja käyttäminen työstökeskuksissa voisi olla perusta, jonka avulla automatisointia ryhdytään toteuttamaan.

Järjestelmän pitää tehostaa työstökeskuksen tuotantoa riittävästi, jotta sen hankinta olisi kannattava. Takaisinmaksuaika ja tuottavuuden parantuminen perustuvat arviointiin, koska asetus aika on työstä riippuvainen ja vuosittainen asetusenvaihtomäärä ei ole vakio. Taulukossa 8 on asetusajan vähentymiseksi arvioitu 40 minuuttia ja konetuntihintana on käytetty 50 €/tunti. Asetuksen vaihtomäärissä on arvioita vuosittaisista vaihtomääristä, kun niitä tehdään yhdestä kahteen kertaan päivän aikana. Tämän perusteella voidaan laskea arvio investoinnin takaisinmaksuajasta. Ratkaisun kokonaishintana on käytetty 10 000 €.

TAULUKKO 8. *Hankinnan takaisinmaksuaika.*

Asetuksia päivässä (kpl)	Asetuksen vaihto (kpl/vuosi)	Asetusajan vähentyminen (h/vuosi)	Tuotto (€/vuosi)	Takaisinmaksuaika (kuukautta)
1	250	167	8350	15
1,5	375	250	12500	10
2	500	333	16650	8

Taulukon mukaan järjestelmä voisi maksaa hankinnan kustannuksen hyvinkin pian takaisin, vaikka asetuksia tehtäisiin vain kerran päivässä. Vaatimuksena on se, että asetusajoissa säästetty aika saadaan suoraan muutettua tuottavaksi työksi. On myös huomioitava, että käyttöönottoaiheeseen kuluu aikaa, koska kiinnittimiä pitää muokata ja uusia ennen kuin tekniikka saadaan kunnolla käyttöön ja tuotanto toimimaan sujuvasti. Kiireisenä aikana parantunut joustavuus voi vaikuttaa muuhunkin tuotantoon, jolloin vaikutus saattaa olla vielä suurempi.

Näiden havaintojen perusteella hankinta olisi kannattava, koska se maksaisi investoinnin nopeasti takaisin ja alkaisi nostaa työstökeskuksen tuottavuutta. Tämä perustuu kuitenkin siihen ajatukseen, että nollapistetekniikan käytön mahdollistama tuotantoajan tehostuminen parantuminen saadaan täysin hyödynnettyä.

3.3.5 Yhteenveto

Tässä työssä tutkittiin ja selvitettiin nollapistetekniikan käyttöä ja sen mahdollistamia hyötyjä lastuttavien työkappaleiden kiinnittämisessä. Tekniikan selvityksen lisäksi tehtiin esiselvitys järjestelmän hankkimisesta pystykaraiselle työstökeskukselle sekä vertailtiin vaikutusta yhdellä työkappaleella.

Nollapistetekniikalla pystytään kiinnittämään työkappaleita nopeasti ja tarkasti nollapisteen pysyessä samana. Näin saadaan vähennettyä asetuksen tekoon kuluva aikaa, lisättyä tuotantoaikaa sekä vähennettyä koneiden joutoaikaa. Nollapistetekniikalla pystytään hyödyntämään jo käytössä olevaa laitteistoa ja työkappaleen pitimiä. Tekniikan käyttäminen ei tee suoraa muutosta kappaleiden kiinnittämiseen eikä poista hyvin suunniteltujen kiinnittimien tarvetta työkappaleiden kiinnittämisessä.

Esiselvitystä järjestelmästä tehtiin Tumo Oy:n yhdelle pystykaraiselle työstökeskukselle, josta selvitettiin työstökeskuksen ominaisuudet sekä sillä tehtävä tuotanto ja työskentelytavat. Tavoitteena oli suunnitella järjestelmä mahdollisimman sopivaksi työstökeskukseen menettämättä keskuksen monipuolista käyttöä. Järjestelmän suunnitelmassa päädyttiin hydraulikkakäyttöiseen peruslevyyn, jossa on viisi tavallista ja yksi indeksoitava sylinteri.

Vertailtaessa nollapistekiinnitystä nykyiseen tapaan mitattiin eri työvaiheisiin kuluvat ajat ja verrattiin niitä nollapistekiinnityksen käyttöön. Käytetyllä kiinnitysmenetelmällä kiinnitykseen kuluvan asetustyön kesto oli 40 minuuttia. Kiinnittämiseen liittyvää asetustyötä voitaisiin vähentää 37 minuuttia käyttämällä nollapistekiinnitystä, mikä tarkoittaisi noin 90 %:n vähennystä aiemmasta ja kestoksi vain 3 minuuttia. Kaikkeen asetustyöhön kuluva aika saataisiin puolitettua.

Järjestelmän hankinnasta saataisiin hyötyä asetusaikojen lyheneminen ja joustavuuden parantumisena. Muita etuja olisivat työergonomian parantuminen ja kiinnittimiin liittyvien asetusvirheiden poistaminen. Riskinä voi kuitenkin olla monipuolisuuden vähentyminen ja järjestelmän käytöstä aiheutuvat virheet ja häiriötilanteet. Järjestelmän hankinta voi olla erittäin kannatavaa, jos sen mahdollistamat edut saadaan täysin hyödynnettyä.

3.4 CASE KONEPAJA CEIKO OY – LEVYMÄISEN KAPPALEEN KONEISTUKSEN NOLLAPISTEKIINNITYKSEN KEHITTÄMINEN

Lähteenä Kimmo Sorolan opinnäytetyö.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja kehittää nollapistekiinnitysteknologian soveltuvuutta levymäisten kappaleiden koneistukseen. Konkreettisena esimerkkinä toimi kiinnitinlevyn rakentaminen levymäiselle kappaleelle käyttäen hyödyksi nollapisteteknologiaa. Tavoitteena oli vähentää koneistuksen joutoaikaa ja lisätä tuotantokykyä lyhentämällä kappaleiden kiinnitykseen ja asetusten tekoon menevää aikaa. Kiinnitinlevyjen toimivuus sekä mahdollinen ajansäästö asetusten ja kappaleen vaihdossa testattiin, jonka jälkeen saatuja tuloksia verrattiin alkuperäisen kiinnityksen vastaaviin arvoihin.

Työssä käydään läpi koneistettavan kappaleen kiinnittämisen peruseriaatteita ja sitä, miten työkappale paikoitetaan ja kiinnitetään koneistuskeskuksessa. Lisäksi tutkitaan erilaisia kiinnittämistapoja sekä perehdytään kiinnitysvoimiin ja kiinnityskohtien valintaan. Työssä selitetään nollapistekiinnityksen perusidea ja pohditaan kiinnitystavan tuomia etuja. Lisäksi tutustutaan erilaisiin nollapistekiinnityselementteihin ja niiden asennustapoihin.

3.4.1 Kiinnitinlevy

Kiinnitinlevyt suunniteltiin siten, että koneistettavan kappaleen molemmat työvaiheet voitaisiin koneistaa samalla kiinnittimellä vain kääntämällä kappale työvaiheiden välissä. Konepaja Ceikolla kappaleiden kiinnitys on toteutettu tornimaisessa kiinnittimessä, jossa yhdellä sivulla on ollut ensimmäisen vaiheen koneistuksen asetukset ja toisella sivulla toisen vaiheen koneistuksen asetukset.

Levyt koneistettiin Turun Koneteknologiakeskus Oy:n tiloissa viisiakselisella Deckel Maho DMC 60 T yleisjyrsinkoneella, jossa on Heidenhain -ohjaus sekä Daewoo ACE HP 5000 vaakakaraisella koneistuskeskuksella, jossa on Fanuc -ohjaus. Kiinnitinlevyjen suunnittelu tehtiin SolidWorks 3D-mallinnusohjelman avulla. Itse koneistettavan kappaleen kiinnitys levyllä tapahtui OK-Visse matalakiinnittimien avulla.



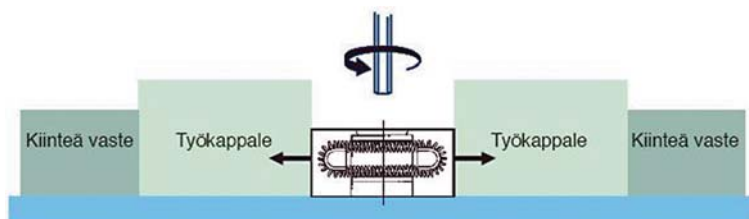
KUVA 58. Deckel Maho DMC 60 T viisiakselinen yleisjyrsinkone (Fastems, 2006, 7).



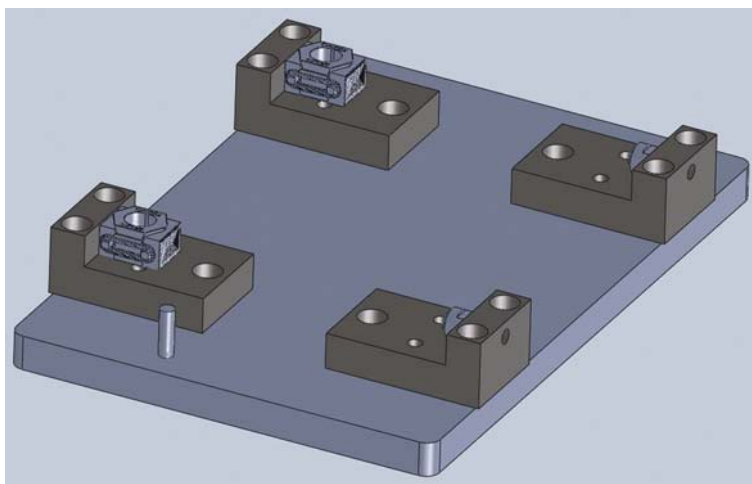
KUVA 59. Doosan Daewoo ACE HP 5000 vaakakarainen koneistuskeskus (Doosan Infracore, 2009).

OK-Vise matalakiinnitin lukitsee koneistettavat kappaleet kohti kiinteää vastetta. Vaikka kiinnittimet ovatkin pienikokoisia, niillä aikaansaadaan silti jopa 150 kN:n kiinnitysvaiva. (OK-Vise, 2006, 2.)

Yleisesti matalakiinnittimet on tarkoitettu asetettavaksi koneistettavien kappaleiden väliin, mutta suunniteltavassa levyssä ne painavat vain yhtä kappaletta erillisiä uivia nastoja vasten.



KUVA 60. OK-Vise toimintaperiaate (OK-Vise 2006, 2).

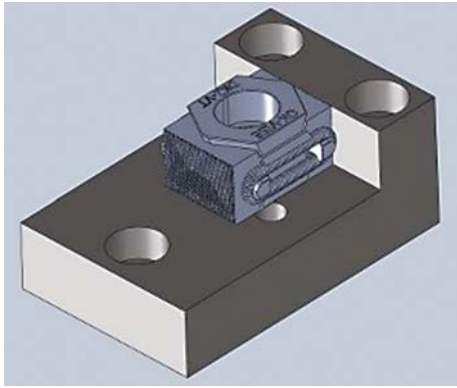


KUVA 61. Kiinnitinlevy.

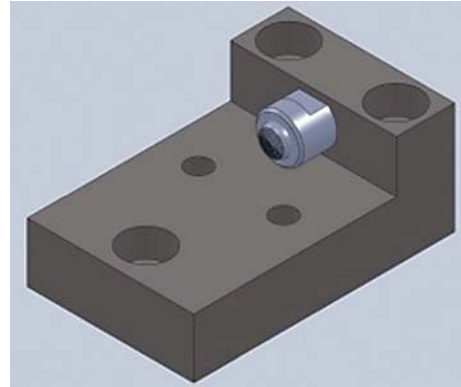
Koska koneistettavaan kappaleeseen tehdään vinoja reikiä, tuli aihiota nostaa ylöspäin kiinnitinlevyn pinnasta jotta työkalulla on tarpeeksi tilaa koneistuksessa. Tätä varten kiinnitinlevyyn valmistettiin erilliset korotuspalat. Näihin osiin kiinnitettiin matalakiinnittimet ja niiden vastakkaiselle puolelle uivat karhennettut nastat vastapaloiksi.

Korotuspaloista pyrittiin tekemään mahdollisimman yksinkertaiset niin koneistuksen kuin käytönkin kannalta. Kaikki korotuspalat ovat muuten identtisiä keskenään, paitsi että osaan porataan pohjaan M12-kierereikä matalakiinnittintä varten ja toisiin takaosaan M12-kierereikä karhennettua uivaa nastaa varten.

Korotuspalat kiinnitetään itse kiinnitinlevyyn M12-kuusiokoloruuveilla, joita varten niihin porattiin vapaareiät ja jysyttiin upotukset ruuvien kannoille. Palojen tarkka paikoitus varmistettiin 10x40 lieriösokilla, joita varten porattiin tarkat reiät sekä korotuspaloihin että kiinnitinlevyihin.



KUVA 62. Korotuspala OK-Vise matalakiinnittimellä.



KUVA 63. Korotuspala karhennetulla uivalla nastalla.

Kiinnitinlevyjen valmistaminen aloitettiin tilaamalla Konepaja Ceikolta polttoleikatut aihiot. Levyjen pinta esikoneistettiin Koneteknologiakeskuksen Deckel Maho -yleisjyrsinkoneella.

Koska nollapiste-elementtejä vasten tulevien pintojen tulee olla mahdollisimman suoria ja tasaisia, lähetettiin levyt esikoneistuksen jälkeen hiottavaksi Konepaja Ceikolle. Sillä aikaa kun levyt olivat hionnassa, minulla oli aikaa tehdä ohjelmat seuraaville työvaiheille. Alun perin suunnitelmana oli tehdä kaikki työvaiheet Deckel Maho -yleisjyrsinkoneella, johon ohjelmat teinkin, mutta koneen yllättävä hajoaminen pakotti siirtämään osan työstä vaakakaraiselle Daewoo-koneistuskeskukselle.

Kun levyt toimitettiin hionnasta, työstöä jatkettiin koneistamalla ne haluttuihin leveys- ja pituusmittoihin sekä jysymällä reunoihin 10 mm:n reunapyöritykset. Tämä työvaihe toteutettiin vaakakaraisella Daewoo-koneistuskeskuksella. Kiinnitykseen käytettiin VBDockLock Safe -nollapisteperuslevyä, jossa on kaksi upotettua nollapiste-elementtiä.

Seuraavaksi kiinnitinlevyt siirrettiin DeckelMaho DMC 60 T viisiakseliselle jyrsinkoneelle, jossa levyihin porattiin kierrereiät ja lieriösokkien reiät. Tähänkin työvaiheeseen suunniteltiin nollapistekiinnitystä, mutta esteeksi muodostui nollapiste-elementtien koko, joka olisi estänyt levyn läpi porattavien kierrereikien valmistuksen. Niinpä levy kiinnitettiin suoraan konepalettiin perinteisin kiinnitysmenetelmin.

Korotuspalojen valmistus aloitettiin tilaamalla valmiiksi sahatut aihiot 50x70 lattatangosta. Koska korotuspaloista haluttiin tehdä mahdollisimman hyvät ja tasalaatuiset, valittiin niiden materiaaliksi S355-rakenneteräs tavallisemman S235 -teräksen sijaan.

Aluksi aihiot koneistettiin haluttuihin ulkomittoihin Daewoon vaakakaraisella koneistuskeskuksella. Tämän jälkeen porattiin vapaareiät upotuksineen, lieriösokkien reiät sekä osaan korotuspaloista OK-Vise matalakiinnittimien vaatimat M12-kierrereiät. Tässä työvaiheessa aloitettiin myös korotuspalojen niiden pintojen, joihin itse koneistettava kappale aikanaan asetettaisiin, muodon esijyrsintä. Ideana oli, että korotuspaloihin jätettäisiin muutaman millin työvara, joka jysittäisiin pois vasta kun korotuspalat olisivat liitettynä kiinnitinlevyyn. Näin varmistetaan korotuspalojen korkeuden yhtäläisyys ja se, että jokaisesta levystä tulisi täysin identtinen. Ilman tätä ominaisuutta ei kiinnitinlevyjä voisi kierrättää kun aikanaan aloitettaisiin koneistettavien kappaleiden työstö. Viimeisenä työvaiheena korotuspaloille oli osaan kappaleista tulevien karhennettujen uivien nastojen M12-kierrereikien poraaminen kappaleiden takaosaan. Tämä työvaihe toteutettiin Daewoo-koneistuskeskuksella käyttäen kiinnityksessä apuna VB DockLock -nollapisteperuslevyä. Tämän jälkeen voitiin korotuspalat kiinnittää kiinnitinlevyyn ja aloittaa viimeistelykoneistus.



KUVA 64. *Valmis kiinnitinlevy.*

3.4.2 Testaus

Kiinnitinlevyjen testaus tapahtui Koneteknologiakeskuksen tiloissa käyttäen Starkin nollapisteperuslevyä, jossa on kaksi upotettua nollapiste-elementtiä. Kiinnittimen avulla testattiin ainoastaan kappaleenvaihdon ja kappaleen kääntämisen sekä kokonaisen kiinnitinlevyn vaihdon nopeutta. Itse fyysinen koneistus jätettiin testaamatta, koska uudella kiinnittimellä ei pyritty vaikuttamaan koneistusaikaan, vaan asetusajojen sekä kappaleen vaihtamiseen kuluvan ajan vähentämiseen. Konepaja Ceikolta sain tiedon heidän ajamiensa sarjojen koneistusajoista, joista sitten laskin keskiarvon. Tämän ajan oletin olevan sama myös uudella kiinnittämistavalla. Ceikolta sain myös heidän kappaleen asetusten tekemiseen kuluneen keskimääräisen ajan sekä arvion kappaleen vaihtoon kulu- neesta ajasta.

Konepaja Ceikon kiinnitys tapahtuu pystysuuntaisessa tornikiinnittimessä, ja oma kiinnittimeni testattiin vaakatasossa olevalla paletilla. Voidaan kuitenkin olettaa, että tulokset eivät vääristy kun kappaleen kiinnittämissuunta muuttuu.

TAULUKKO 9. *Työvaiheisiin kuluvat ajat.*

Tehtävä	Vaiheisiin kuluvat ajat	
	Vaihe 1	Vaihe 2
Asetus	6min	
Koneaika	34min 42s	
Kappaleen vaihto	2min	2min

Testauksessa ongelmaksi muodostui kiinnitinlevyn suuri paino. Tyhjää kiinnitinlevyä pystyi melko helposti liikkuttelemaan käsin, mutta kun tähän lisättiin vielä koneistettava aihio, tuli koko kiinnityksestä lähes mahdoton yhden henkilön panostaa käsin. Tämä ongelma voidaan toki ratkaista joko käyttämällä apuna nosturia tai robotisoimalla panostus.

Testauksessa kellotin seuraavia eri skenaariota: koneistettavan aihion asettaminen tyhjään kiinnittimeen, kappaleen vaihtaminen kiinnittimessä, kappaleen kääntäminen kiinnittimessä ja kokonaisen kiinnitinlevyn vaihtaminen. Kuten aiemmassa kappaleessa mainitsin, kiinnittimen paino esti jo panostetun kiinnitinlevyn vaihdon kellottamista, joten jouduin käyttämään tyhjää kiinnitinlevyä. Tämä ei kuitenkaan mielestäni vaikuta tuloksiin radikaalisti. Tein kellotukset kolmeen kertaan jonka jälkeen laskin saaduista ajoista keskiarvon.

TAULUKKO 10. *Koneistettavan aihion vaihtamisen ajat.*

	Koneistettavan kappaleen vaihto (sekuntia)		
	Kappaleen asettaminen tyhjään kiinnittimeen	Kokonaisen kappaleen vaihtaminen	Kappaleen kääntäminen
1	35.68	44.09	35.73
2	29.70	48.23	37.42
3	34.58	46.98	31.00
ka.	33.32	46.43	34.72

TAULUKKO 11. *Kiinnitinlevyn vaihtamisen ajat.*

	Kiinnitinlevyn vaihto (sekuntia)
1	59.86
2	54.27
3	58.12
ka.	57.42

Näistä ajoista nähdään, että asetusten tekemiseen koneistuksen alkaessa kuluu aikaa noin 1 min 30 s. Aikaan on laskettu kappaleen asettaminen tyhjään kiinnittimeen sekä kiinnitinlevyn vaihto. Kappaleen vaihtoon kuluu aikaa alle minuutti. Näin ollen asetusajaa voitaisiin vähentää 4 min ja 31 s sekä kappaleen vaihtoaikaa 1 min ja 14 s. Asetusten tekoon kuluva aika vähenisi uudella kiinnittämistavalla noin 75 % ja kappaleen vaihtoaika noin 60 %. Näiden tulosten valossa nollapistekiinnitys vaikuttaa hyvinkin varteenotettavalta vaihtoehdolta perinteisiin kiinnitysmenetelmiin verrattuna.

TAULUKKO 12. *Kiinnitysmenetelmien vertailu.*

	Asetustenteko aika	Kappaleenvaihto
Menetelmä		
Nykyinen	6min	2min
Nollapistekiinnitys	1min 29s	46s
Vähennys	4min 31s	1min 14s

3.4.3 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ja kehittää nollapistekiinnitysteknologiaa koneistuksessa. Konkreettisenä esimerkkinä suunnittelin ja valmistin levymäiselle kappaleelle kiinnitinlevyn, jossa käytettiin apuna nollapistekiinnittämiä.

Nollapistetekniikka mahdollistaa nopeat asetus- sekä kappalevaihdot ilman nollapisteen menettämistä. Näin vähennetään asetusajoja ja koneistuksesta johtu-

vaa joutoaikaa, eli toisinsanoen nostetaan koneen tuotantoaikaa. Samalla saadaan myös painettua alas koneaikaa, jota kuluu koneistettavan kappaleen valmistukseen. Tämä puolestaan johtaa kappaleen hinnan alenemiseen ja edelleen tarjouskilpailujen voittamiseen. Nollapistekiinnitysteknologian avulla myös kappaleiden robotisoitu panostus helpottuu huomattavasti.

Konepaja Ceiko halusi selvittää, saataisiinko nollapistekiinnityksellä vähennettyä koneistettavan kappaleen asetusajoja sekä kappaleen vaihtoon kuluva aikaa. Selvitys tehtiin vertaamalla suunnittelemani ja valmistamani kiinnitinlevyn asetusajoja ja kappaleen vaihtoon kuluva aikaa heidän vastaaviin aikoihinsa. Vertauksista saatiin selville, että asetusajoja voitaisiin vähentää 4 min ja 31 s ja kappaleen kiinnittämisaikaa 1 min ja 12 s. Tämä tarkoittaa noin 75 %:n vähennystä asetusajoihin 60 %:n vähennystä kappaleen vaihtoajaan. Haittapuoleksi kiinnittimissä muodostui niiden melko suuri paino, mutta tämä ongelma voidaan ratkaista joko käyttämällä apuna nosturia tai robotisoimalla panostus. Kaiken kaikkiaan nollapistekiinnitys on kuitenkin hyvin vartenotettava vaihtoehto perinteisille kiinnitysmenetelmille.

4 PANOSTUS- JA ELEMENTTITESTIT

Lähteenä Kalle Kuusiniemen ja Teemu Lehtosen projektiraportti.

4.1 TESTATUT ELEMENTIT

Panoste-projektiin hankittiin nollapistekiinnittimiä kolmelta eri valmistajalta. Zero Point Systemsiltä hankittiin yksi levy, jossa on yhteensä neljä pyöreää sylinteriä, yksi neliönmallinen sylinteri Puman monitoimisorvia varten sekä kuusi koukkusylinteriä tornikiinnitystä varten. Starkilta sekä Vischer & Bollilta hankittiin kummaltakin yksi levy, jossa on kaksi pyöreää sylinteriä. Zero Point Systemsin, Starkin ja V&B:n levyä testataan konepaletin lisäksi myös vaakakaraisen työstökoneen tornissa.

TAULUKKO 13. *Testattavat nollapistekiinnittimet.*

Valmistaja	Zero Point Systems	Zero Point Systems	Zero Point Systems	STARK	Vischer & Bolli
Malli	K20 pyöreä	K20 neliö	K20 horizontal pyöreä	Speedy Classic 1 pyöreä	SAFE 20 pyöreä
Tyyppi	Build-in	Build-in	Build-in	Build-in	Build-in
Huoltoväli (kiinnitystä)	150 000	150 000	150 000	100 000	45 000
Lukitus	jousi	jousi	jousi	jousi	jousi
Avaus	hydr.	pneum.	hydr.	hydr.	hydr.
Vetovoima (kN)	20	17	20	6,7	12,5
Pitovoima (kN)	55	55	55	25	40
Irroituspaine max (bar)	60	10	50	40	70
Asetustoleranssi (mm)	± 12	± 12	± 11	± 3	ei tiedossa
Halkaisija (mm)	112	120	112	105	112
Korkeus (mm)	44	44	109	36	45

4.1.1 Panostaminen

Panostussolun latausasemalle saapuva paletti puretaan ja ladataan robotin avulla. Hydraulisesti avautuva nollapistekiinnitin avataan käyttäen hydraulipumppua sekä Roemheldin automaattista hydrauliiikkaliitinjärjestelmää (automatic coup-

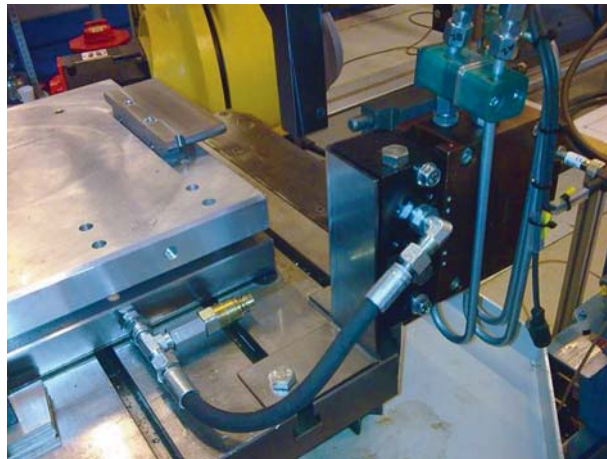
ling system). Pumppuun liitetty hydraulikkaliitin haetaan käyttäen robottia ja tuodaan konepaletille asennettuun vastakappaleeseen.

Kun nollapistekiinnitin aukeaa, vaihtaa robotti kiinnitinlevyn/kappaleen. Kappale puretaan kiinnitinlevyltä manuaalisesti ja levyllä kiinnitetään uusi aihio. Kuvasimme panostustapahtuman videolle.

Kiinnitinlevy on mahdollista irrottaa myös manuaalisesti ilman pumppua käyttäen paineilmatoimista paineenvahvistinta.



KUVA 65. *Panostussolu.*



KUVA 66. *Nollapistekiinnittimen avaaminen.*

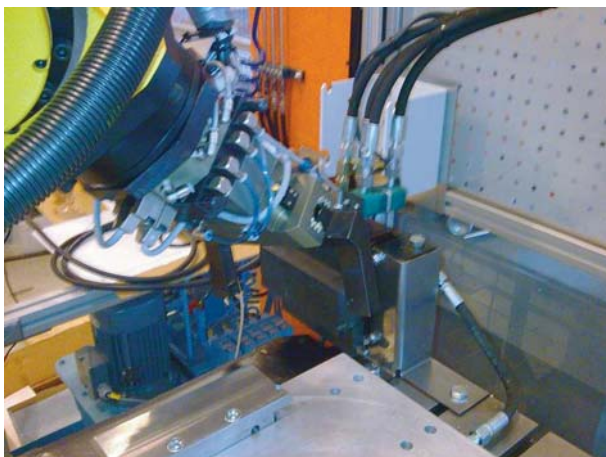
Hydrauliikkaliittimen vastakappaletta varten tuli suunnitella erikseen tukilevy pitämään liittintä tukevasti paikoillaan pystysuorassa asennossa paletilla. Tukilevy suunniteltiin liittimen vastakappaleen mittojen mukaisesti hyödyntäen samalla kokoonpanokuvaa esimerkiksi tukilevyn T-uramutterien kiinnityspaikkaa selvittäessä.



KUVA 67. *Hydrauliikkaliittimen vastakappaleen tukiteline.*



KUVA 68. *Hydrauliikkaliitin ylhäältä.*



KUVA 69. *Liittimen irrotus.*



KUVA 70. *Liittimen asetus.*

Mittakellon telineen suunnittelu

Testauksen aloittamista varten piti suunnitella tukikappale mittakellolle. Mittakellon telineen suunnittelussa piti huomioida se, että telineestä pitäisi valmistaa rakenteeltaan vahva, jotta mittatarkkuus säilyisi tarkasti μm :n tarkkuudessa.

Paikoitustarkkuutta oli tarkoitus mitata sekä manuaalisesti (käsikäyttö) että robotilla. Mittaus tuli suorittaa levyelementin kahdelta sivulta mittakellon avulla. Manuaalisesti sekä robotilla toistetaan kummallakin 20 toiston sarja ja mittakellolla mitataan paikoitustarkkuutta kiinnitinlevyn kahdelta sivulta. Saatuja mitausarvoja verrataan alkuarvoon ja ero taulukoidaan.



KUVA 71. *Mittakello ja teline paletilla.*

Muiksi testattaviksi asioiksi valittiin elementtien soveltuvuuden automatisointiin ja manuaaliseen käyttöön sekä torni- että palettikäytössä. Soveltuvuudessa automatisointiin testataan robotilla kiinnityksen sekä irrotuksen helppoutta/toistettavuutta. Soveltuvuudessa manuaalikäyttöön testataan myös kiinnityksen sekä irrotuksen helppoutta/toistettavuutta. Vertailut eri elementtien välillä raportoidaan sanallisesti. Arvostelu eri kiinnittimien välillä tehdään asteikolla 0-5.

Testaustulosten perusteella ZPS: K 20 pyöreä pystyi keskimäärin 2 µm toistotarkkuuteen sekä robotilla että manuaalisesti testattuna. Tämän perusteella se toteutti hyvin valmistajan lupauksen alle 5 µm:n toistotarkkuudesta. Robotilla ajettuna saatiin 2. sivulta mitattua 20 toistokerran aikana täysin saman lukeman mittakellosta eli paikoitustarkkuus siinä sarjassa oli alle 1 µm:n luokkaa. Robotin 1. sivulla paikoitustarkkuus oli kuitenkin 2 µm. Manuaalisesti ajettuna paikoitustarkkuudeksi saimme 2 µm kiinnityslevyn molemmilla sivuilla. Testitulokset liitteenä (liite 1).

4.2 NOLLAPISTEKIINNITTIMIEN KÄYTTÖTESTIT

Lähteenä Samuli Uotilan projektiraportti.

4.2.1 Testatut elementit

Kaikki testatut nollapistekiinnittimet olivat ”build-in” tyyppisiä eli ne olivat kiinni aluslevyssä. Nollapistekiinnittimiä hankittiin kolmelta eri valmistajalta. Testatut kiinnittimet olivat Zero Point Systemin (ZPS) aluslevy, jossa oli kiinni neljä pyöreätä sylinteriä. Vischer & Bollilta (V&B) sekä Starkilta oli molemmilta hankittu aluslevyt, joissa kummassakin oli kaksi pyöreätä sylinteriä.

Kaikki nollapistekiinnittimet olivat puhtaita ja moitteettomassa kunnossa testien aloitushetkellä.

4.2.2 Muut laitteet

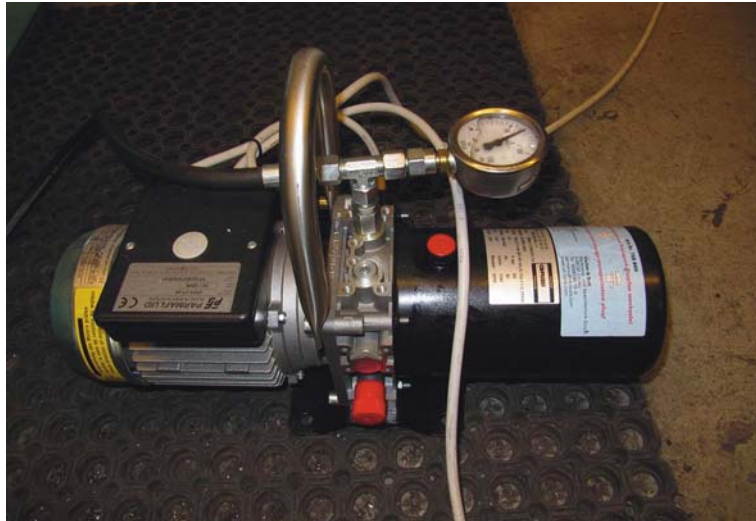
Toistotarkkuuden mittaukseen käytin Mitutoyo ID-C112GB mittakelloa, joka kiinnitettiin paletissa kiinni olevaan tukevaan telineeseen. Luulimme Mitutoyon mittakellon kykenevän 1 μm :n tarkkuuteen, mutta tämä alkoi epäilyttää odottamattomien testitulosten kasaantuessa ja osoittautuikin, että mittarin tarkkuus olikin vain 3 μm (www.mitutoyo.com). Tämän todettiin silti riittävän kun testituloksia otetaan tarpeeksi monta. Kuvassa 71 mittakello kuvattuna testeissä.

ZPS:n nollapistekiinnittimien avaamiseen käytin ZPS:n omaa painepumppua, joka käyttää paineilmaa hydraulisen paineen aikaansaamiseksi. ZPS -elementit avattiin noin 50 bar:n paineella.



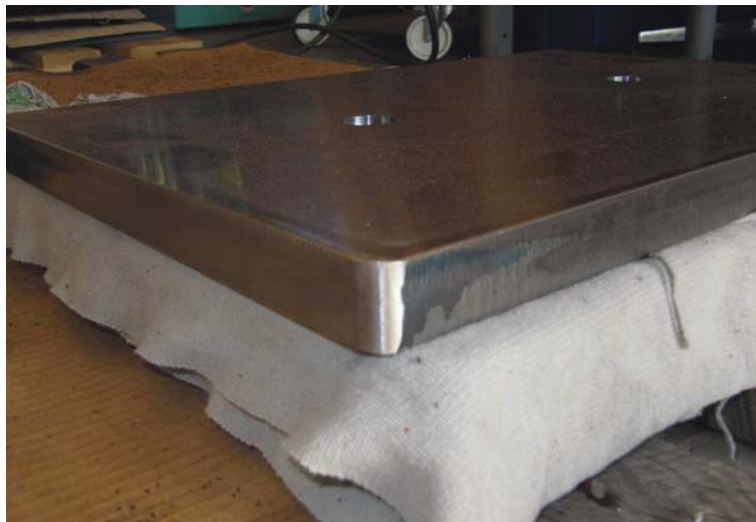
KUVA 72. Zero Point Systemsin painepumppu.

V&B ja Starkin nollapistekiinnittimet avattiin molemmat sähkötoimisella V&B Dock Lock Hydraulic -painepumpulla noin 65 bar:n paineella.



KUVA 73. *Vischer & Bollin painepumppu.*

Kiinnityslevyn mitattavan pinnan tasaisuus ja puhtaus oli varmistettava. Tämä on erittäin tärkeää luotettavien mittaustulosten kannalta μm -luokan mittauksissa! Levyn pinnan suurimmat virheet hiottiin viilalla ja viimeisteltiin hienolla hio-
makivellä. Juuri ennen mittauksia mitattava pinta pyyhittiin vielä paperilla niin monta kertaa, ettei paperiin jäänyt tummaa kuonaa. Reiät joihin kiinnitystapit tulivat, puhdistettiin myös hyvin kangasliinalla ja paineilmalla.

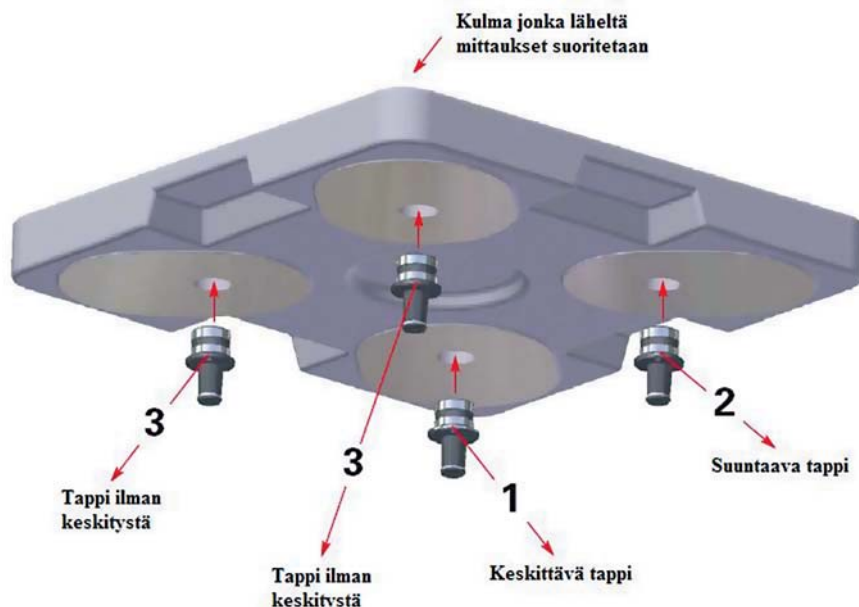


KUVA 74. *Hiomaton kiinnityslevy.*



KUVA 75. *Hiottu kiinnityslevy (puhdistamaton).*

Mittakellon tukiteline oli paikoitettava. Teline kiinnitettiin paletissa oleviin uriin, joten sitä ei saanut kiinnitettyä alun perin suunniteltuun paikkaan. Tästä seurasi siis nollapistekiinnittimien aluslevyjen siirtoa. Aluslevyjen kiinnikkeet väännettiin takaisin tiukkaan paletin öljyisyyden ja testausmenetelmien voiman käytön vuoksi. Mittakellon kärjen piti olla noin 50 mm:n etäisyydellä kulmasta, joka oli kauimmaisimpana kiinnityslevyn keskittävästä tapista.



KUVA 76. *Esimerkki mitattavan kulman sijainnista (www.vb-tools.com, muokannut Samuli Uotila).*

Mittakellon telineen ja aluslevyjen paikoitus tehtiin työntömitalla ja suorakulman avulla. Teline ruuvattiin tiukasti kiinni. Lisäksi erityistä varovaisuutta vaati pieni ruuvi, joka kiristää mittakellon telineeseen. Jos se kiristettiin hiemankin liian kireälle, näkyi se mittaustuloksissa. Liian tiukka ruuvi hankaloitti mittauslaitteen tikun liikkumista. Sopiva kiristys tapahtui kiristämällä ruuvi sormilla ja kiertämällä alle puoli kierrosta kuusikulma-avaimella. Mittakellon tikun liikkuvuus varmistettiin ennen jokaista mittaussarjaa.

Ennen varsinaisia testejä varmistettiin nollapistekiinnittimien aukaisun/kiinnityksen toimivuus ja suoritettiin muutama koemittaus.

4.2.3 Testimenetelmät

Koemittauksissa havaittiin noin 100:n sekalaisen testin jälkeen mielenkiintoinen ilmiö. Tuloksiin tuli aina noin 20 mittauksen välein 1-2 μm :n nousu tai lasku, joka suureni ja suureni testien aikana. Ilmiön ajateltiin johtuvan kiinnityslevyn lämpölaajenemisesta, joka puolestaan johtui levyjen käsittelystä. Asia tutkittiin lämmittämällä kiinnityslevy n. 10 astetta lämpimämmäksi kuin huoneen ilma. Mitattavaa muutosta ei kuitenkaan havaittu. Säännöllinen tuloksen muutos johtuikin kiinnityslevyn kulumisesta, jota oli erittäin hankala havaita silmin. Siitä huolimatta μm -luokan mittauksissa sillä on merkitystä. Toinen pysyvää muutosta aiheuttava tekijä oli lika, joka kertyi mittauslaitteen tikun kärkeen tai kulkeutui kiinnityslevyn mittauskohtaan. Likaa oli lähes mahdotonta havaita silmin ja sitä kertyi myös huolellisesti puhdistetulla kiinnityslevyn pinnalla.

Mittakellon tulos näyttää sitä negatiivisemmalla mitä pidemmälle sen tikkaa työnnetään laitteen sisälle. Jos tuloksiin tuli pysyvä +1 tai +2 μm :n muutos, oli kyseessä todennäköisesti kiinnityslevyn kuluminen. Erityisen nopeasti kuluma oli havaittavissa jos kiinnityslevy oli alumiinia. Tämän havaittuani päätettiin, että uusi alkuarvo on otettava aina 20 mittauksen välein. -1 tai -2 μm :n pysyvä muutos taas johtui todennäköisesti kertyneestä liasta. Siinä tapauksessa puhdistettiin mittauslaitteen tikun kärki ja levyn pinta.

Alkuarvot haettiin nostamalla kiinnityslevyä hieman, jotta tapit asettuvat uudelleen, ja kiinnittämällä/aukaisemalla nollapistekiinnittimet kolme kertaa.

Koska ZPS-kiinnittimillä tuloksiin ei saatu mitään muutosta kiinnityslevyn liikkeillä, kehitettiin testaussarjat, jotka simuloisivat mahdollisia tuotannossa tapahtuvia kiinnityslevyn virheliikkeitä.

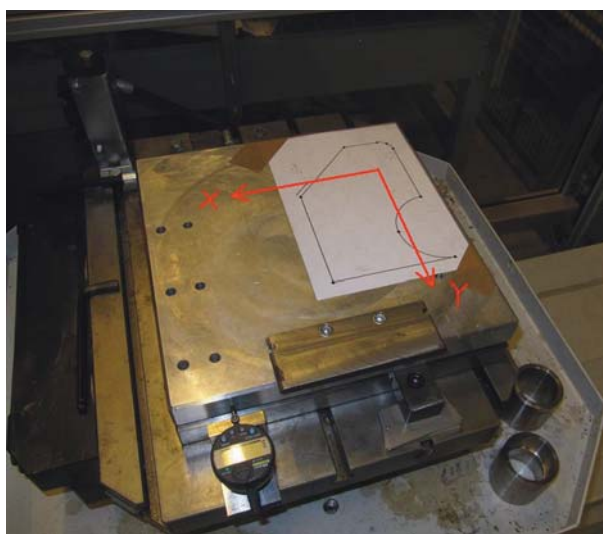
Ensimmäisessä testisarjassa simuloitiin juuri ennen kiinnitystä tapahtuvaa tärähdystä. Pieni kiinnityslevyn nosto (niin, että tapit juuri ja juuri nousivat ilmaan) ja liike mielivaltaiseen suuntaan riittivät, sillä ei koettu tarkoituksenmukaiseksi vasaroida koko kiinnitysjärjestelmää.

Toisessa testisarjassa nostettiin levy kokonaan irti. Tämä simuloi normaalia kiinnityksen vaihtoa. Tämä testi oli tärkein ja hyvin hankala tehdä kiinnityslevyn painon ja huonon nostoasennon vuoksi. Mittauslaitteen kärki oli saatava irti kiinnityslevystä samalla kun levyn toinen puoli nostettiin irti. Jos mittauslaitteen kärki oli kiinnityslevyä vasten koko noston ajan, kertyi siihen hyvin helposti likaa.

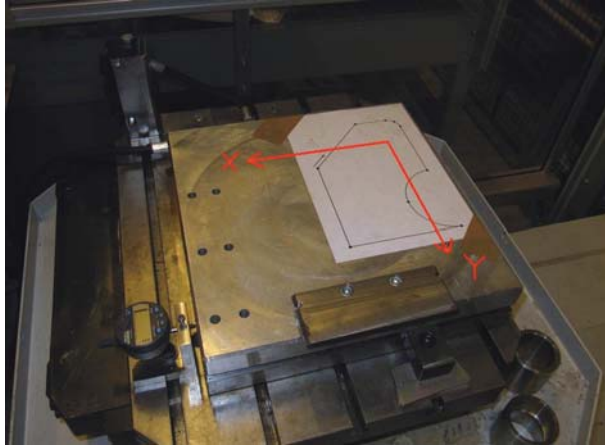
Kolmannessa ja neljännessä testisarjassa pyrittiin selvittämään, miten kiinnityslevy kääntyy keskittävä tappi keskipisteenä. Kiinnityslevyn kierto vastapäivään muodosti oman testisarjansa ja kierto myötäpäivään omansa. Nämä kaksi testiä olivat lähinnä nollapistekiinnityksiä varten, joissa oli vain kaksi sylinteriä.

Viidennessä ja kuudennessa testisarjassa selvitettiin, miten sivuttaiset voimat vaikuttavat kiinnitykseen. Kiinnityslevyn voimakas työntö mittauslaitteesta kohtisuoraan pois päin muodosti toisen testisarjan ja työntö kohtisuoraan mittauslaitetta kohti toisen.

Kaikista kuudesta testisarjasta suoritettiin 20 toistoa kahdelle kiinnityslevyn sivulle eli kaiken kaikkiaan 240 toistoa jokaiselle nollapistekiinnittimelle. Testausjärjestelyjen origona pidettiin keskittäviä tappeja ja niistä lähteviä mitattavia suuntia X- ja Y-akseleina. Tulosten itseisarvoista laskettiin keskiarvot.



KUVA 77. *Y-akselin mittausjärjestelyt (ZPS).*



KUVA 78. *X-akselin mittausjärjestelyt (ZPS).*

4.2.4 Testit

Zero Point Systems K20 -sylinteri

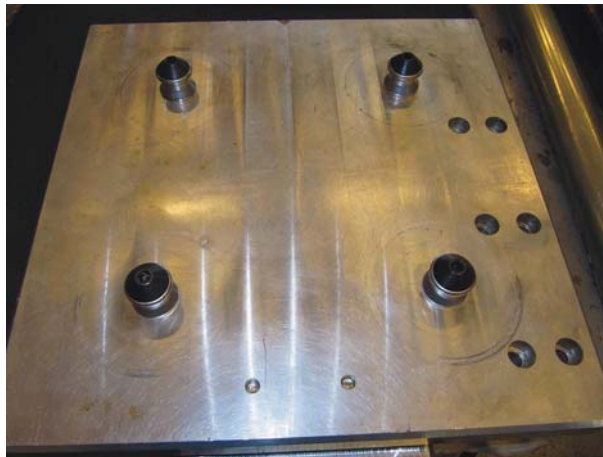
ZPS-nollapistekiinnittimet olivat ensimmäiset testattavat kiinnikkeet, joilla kehitettiin eri testimenetelmiä ja valmisteluja. Ne olivat lisäksi ainoat testattavat neljän elementin kiinnittimet.

ZPS-kiinnittimien rakenne on hyvä. Vaakatasossa paletilla ollessaan ne käyttävät painovoimaa hyväkseen ja paikoittavat nollapisteeseen erittäin tarkasti jo ennen varsinaista kiinnitystä. Rakenne näyttää vankalta ja yksinkertaiselta sekä sellaiselta, että lika ei pääse häiritsemään toimintaa helposti. Kiinnitys tapahtui pehmeän oloisesti ilman minkäänlaista kolinaa. Tämä voi mahdollisesti säästää järjestelmää mekaaniselta rasitukselta lisäten sen käyttöikää.

Neljän elementin vuoksi kiinnityslevy oli testatuista suurin, mutta oli silti helppointa kiinnittää se käsin. Kiinnityslevy oli alumiinia ja tappien tylppämäinen kärki auttoi kohdistamisessa sen verran, että kiinnitys tapahtui ilman suurempia tähtäilyjä. Kiinnityslevyn mitoitus oli tosin epäkäytännöllinen käsin nostoa ajatellen. Se olisi saanut olla hieman leveämpi kuin aluslevy. Aluslevyn ja kiinnityslevyn väliin jäi vain 10 mm:n väli, mikä tekee sormien saamisen väliin hankalaksi, ja nostamiseen ei saanut kunnolla voimaa.



KUVA 79. Zero Point Systemsin aluslevy ja sen neljä elementtiä.



KUVA 80. Zero Point Systemsin alumiininen kiinnityslevy ja tapit.

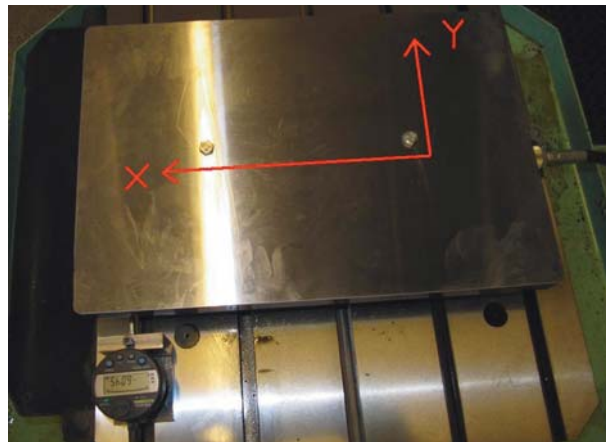
ZPS-kiinnittimet olivat tarkkuudessa ylivoimaisia verrattuna muihin. Tämä johtui osittain neljästä käytössä olleesta elementistä. Kaikkien ZPS-kiinnittimen tulosten keskiarvoksi muodostui $0,55 \mu\text{m}$:ä siitä huolimatta, että lähes puolet testeistä oli suoritettu epätasaisella ja likaisella pinnalla. Pintojen tasaisuuden ja puhtauden tärkeys huomattiin vasta ZPS-kiinnittimien testisarjojen puolella välissä. ZPS-kiinnittimien testitulokset ovat liitteessä 1. Esitesteissä kokeiltiin erilaisia testimenetelmiä. Testien tulokset löytyvät liitteestä 1.

ZPS-kiinnittimet ovat hyviä vaihtopaletti käytössä niiden painovoimaa hyödyntävän keskityksen ansiosta. Keskitys ei tosin hyödytä pystysuorassa torni käytössä. Automatisointiin ZPS –kiinnittimet soveltuvat erinomaisesti helpon kiinnityslevyn asettamisen ja jo ennen kiinnitystä tapahtuvan keskityksen vuoksi. Robottiohjelmalta ei tällöin vaadita suurta tarkkuutta. Jos kiinnityslevyyn kohdistuu voimia (muuta kuin painovoima), on kiinnitystarkkuus kiinnityshetkellä aina huonompi. Arvosanaksi testaajat antavat 5 asteikolla 1–5.

Vischer & Bolli Dock Lock Safe 20 -sylinteri

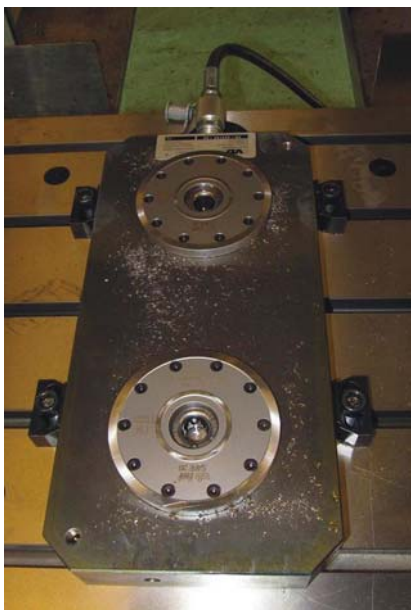
V&B-nollapistekiinnittimien rakenne osottautui testien huonoimmaksi likäsiedon kannalta. Kiinnittimien rei'issä oli T-muotoisia metallilevyjä ja ne olivat herkkiä lialle. Myös lian puhdistaminen tehokkaasti niiden takaa tuntui lähes mahdottomalta. V&B-kiinnitin päästi välillä ikävän kuulaisen kolahduksen kiinnittyessään, vaikka kiinnityslevy ei tuntunut liikkuvan tappien ollessa koloissaan ennen kiinnitystä.

Panosteen muissa testeissä V&B-elementeille tehty kiinnityslevy oli sopivan kokoinen, siitä sai hyvän otteen. Se oli tosin tehty teräksestä ja oli huomattavasti raskaampi kuin ZPS:n alumiininen kiinnityslevy pienemmästä koostaan huolimatta. Testien tarkkuuden kannalta materiaali oli tosin hyvä. Mittauslaitteen kärki ei kuluttanut pintaa samalla tavalla kuin alumiinisessa kiinnityslevyssä. Kiinnitys oli tosin melko hankalaa elementtien pienten reikien vuoksi. Tappien piti osua tarkasti reikiin, mikä oli hankala toteuttaa raskaalla teräslevyllä. Kiinnityslevyn saa myös sellaisiin asentoihin ennen kiinnitystä, että se vaikuttaa toistotarkkuuteen. V&B-kiinnittimissä siis ei ole ZPS:n kaltaista painovoimaa hyödyntävää rakennetta. Tämä ei silti vaikuttanut kovinkaan merkittävästi. Tapit tuntuivat olevan myös jollakin tavalla jumissa kiinnitysrei'issä tehden kiinnityslevyn nostosta hankalaa.

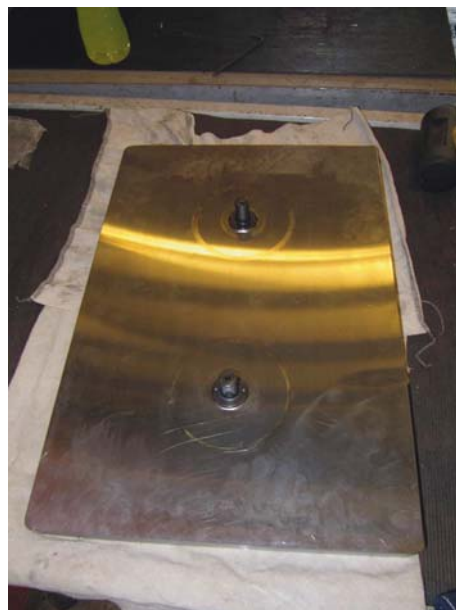


KUVA 81. *Vischer & Bolli mittausjärjestelyt Y-akselille ja mitattavien akselien suuntien havainnollistaminen kun käytössä on kaksi elementtiä.*

V&B kiinnittimien tarkkuus oli testin toiseksi paras. Kaikki V&B testit suoritettiin hiotulla ja puhtaalla pinnalla toisin kuin ZPS-kiinnittimillä. V&B:n kahden elementin järjestely oli mittaustuloksien mukaan huomattavan herkkä Y-akselin suunnassa tapahtuville voimille ja heittoa siinä suunnassa tuli runsaasti. Tämä johtui osittain varmasti myös siitä, että testeissä oli käytössä vain kaksi keskittävää tappia. Normaalisti toinen tapeista on suuntaava. Kaikkien V&B:n tulosten keskiarvoksi tuli $0,90 \mu\text{m}$:ä. V&B:n mittaustulokset liitteessä 1.



KUVA 82. *Vischer & Bolli elementit.*



KUVA 83. *Vischer & Bolli kiinnityslevy ja tapit.*

Automatisointiin V&B-kiinnittimien oletetaan sopivan valikoivasti. Kiinnityslevyn asettaminen paikalleen pitää olla hyvin tarkkaa, ja kiinnittimet olivat huomattavasti herkempiä voimille kiinnitysvaiheen aikana kuin ZPS-kiinnittimet. Automatisoinnin oletetaan silti olevan hyvinkin mahdollista robotilla, mikäli sen ohjelmat on tehty huolellisesti. Arvosanaksi testaajat antavat 3 asteikolla 1–5.

Stark Speedy Classic I -sylinteri

Starkin nollapistekiinnittimet olivat visuaalisesti hienoimmat testattavat. Likasieto vaikutti testin parhaimmalta. Valitettavasti rakenne on sellainen, että kiinnityslevy keinoi runsaasti sivulta sivulle ja päästää kovan kolauksen lähes aina kiinnittyessään kun kiinnityslevy paukahtaa suoraksi. Kiinnityslevy oli hyvin altis menemään vinoon pienestäkin voimasta ja testien aikana havaittiin sillä olevan suuri vaikutus kiinnitystarkkuuteen. Starkin kiinnittimiä varten tehtiin ylimääräinen testi jossa kokeiltiin kiinnitystä vinoissa asennoissa ja tulokset olivat heikohkot. Koska ylimääräisiä testejä ei tehty muille elementeille, niin niitä ei huomioida Starkin tulosten lopulliseen keskiarvoon. Starkin ylimääräisen testin tulokset liitteessä 3.

Kiinnityslevy oli sama jota käytettiin V&B:n kanssa. Levyn oli vain vaihdettu Starkin kiinnitystapit. Kiinnityslevyn asettaminen käsin oli vielä hankalampaa kuin V&B:n kanssa. Asettaminen oli vielä tarkempaa kuin V&B:n elementeillä. Lisäksi vielä piti olla huolellinen ettei kiinnityslevy jäänyt vinoon. Tätä ei tosin pystynyt aina välttämään ja se näkyi tuloksissa.

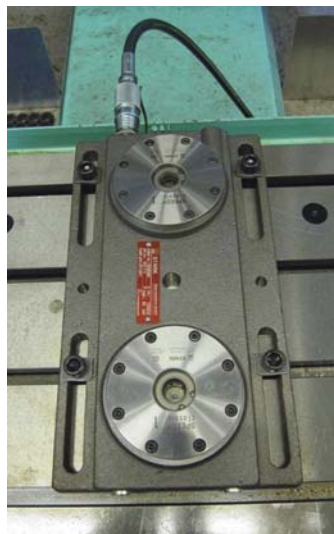
Starkin tapit olivat testin ainoat, joissa havaittiin selvät kulumat jo noin 100:n toiston jälkeen. Testiryhmälle heräsi tästä havainnosta kysymys: ”Miltähän tapit

näyttäisivät 100 000:n toiston jälkeen, joka on valmistajan lupaama huoltoväli ja miten se mahtaisi vaikuttaa toistotarkkuuteen?”



KUVA 84. Starkin tappi noin 100:n toiston jälkeen.

Kiinnitystarkkuudessa Stark oli testin huonoin johtuen enimmäkseen kiinnityslevyn keinumisen herkkyydestä ja sen vaikutuksesta kiinnityksen tarkkuuteen. Starkin kiinnityslevyssä oli kiinni keskittävä ja suuntaava tappi niin kuin kuuluukin, mutta siitä huolimatta tulokset olivat huonommat kuin muiden. Starkin kiinnittimet olivat myös erilaisia muihin testattuihin verrattuna sillä tavalla, että kun Starkin kiinnittimet aukaisee ja kiinnittää ilman kiinnityslevyyn koskemista, niin siitä huolimatta tulokseen tulee muutosta. Näin ei ollut V&B:n tai ZPS:n kanssa. Kaikki Starkin testit tehtiin puhtaalla ja hiotulla pinnalla. Starkin tulosten keskiarvoksi tuli 1,68 μm :ä ja sen testitulokset liitteessä 1.



KUVA 85. Starkin elementit.



KUVA 86. Starkin kiinnityslevy ja tapit.

Starkin kiinnittimet soveltuvat oletettavasti vertailun heikoiden myös automatisointiin. Kiinnityslevyn asettamisen täytyisi olla äärimmäisen tarkkaa ja kiinnityslevy olisi liian altis jäämään vinoon aiheuttaen suuren kiinnitysvirheen. Jotta estettäisiin kiinnityslevyn meneminen vinoon, olisi robotilla pidettävä kiinnityslevystä kiinni koko kiinnitysprosessin ajan. Tämä aiheuttaa myös aina heittoa kiinnitystarkkuuteen, koska kiinnityslevyyn kohdistuu tällöin robotin pitovoima kiinnityksen tapahtuessa. Starkin nollapistekiinnittimien toiminta ei vakuutanut ainakaan palettikäytössä. Arvosanaksi testaajat antavat 2 asteikolla on 1-5.

4.2.5 Loppupäätelmät

Kukin testin nollapistekiinnitin kykeni alle 5 μm :n toistotarkkuuteen ainakin keskiarvojen mukaan kuten valmistajien spesifikaatiot lupasivat.

ZPS-kiinnittimet olivat ylivoimaisia tässä testissä, mutta tilanne saattaa olla tasoissa muiden kanssa tornikäytössä, jossa ZPS-kiinnittimien painovoimaa hyväksikäyttävä keskitys ei toimi. V&B -kiinnitin näyttäisi olevan kohtuullisen hyvä ”perus” nollapistekiinnitin.

Starkin kiinnitin oli tässä testissä huonoin, mutta se saattaisi olla melko tasaväkinen ainakin V&B:n kanssa, jos käytössä olisi neljä elementtiä. Kiusallinen keinuminen saataisiin sillä tavalla enimmäkseen eliminoidua, josta seuraisi paljon parempi toistotarkkuus.

4.3 NOLLAPISTEKIINNITTIMIEN TESTAUS TYÖSTÖTORNEISSA

Lähteenä Samuli Uotilan ja Mikko Valliluodon projektiraportti.

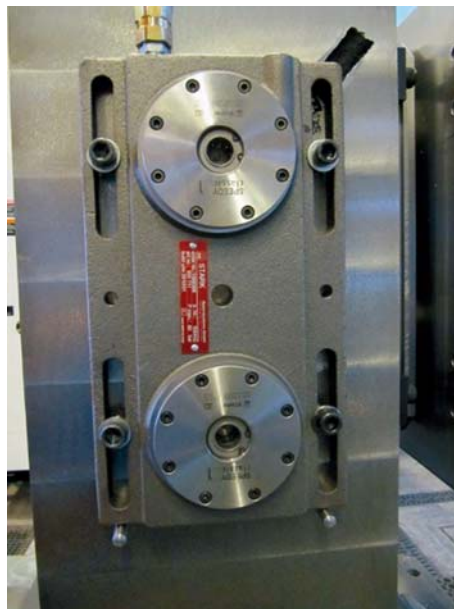
Testien tavoitteena oli kokeilla eri nollapisteelementtien soveltuvuutta työstötornikiinnitykseen käsikäytössä vain kraananosturia apuna käyttäen, eli ilman ohjaavia sovelluksia tai manipulaattoreita. Tuloksia haettiin pääasiassa käyttömukavuuden ja kiinnittämisen sujuvuuden kannalta.

Erojen todentamiseksi muuten kuin käsituntumalla tutkittiin eri valmistajien elementtisarjojen suhteellisia eroja kellottamalla yksinkertaista työvaihetta, josta saatiin konkreettisia tuloksia asetusajojen paremmuuksista.

4.3.1 Nollapistekiinnittimet

Testejä varten oli hankittuna nollapistekiinnittimiä kolmelta eri valmistajalta. Kaikki kiinnittimet olivat build-in tyyppisiä, eli ne olivat työstötornin tai aluslevyn sisällä niille tehdyssä rei'issä.

Starkilta oli hankittuna aluslevy, jossa oli kaksi pyöreää mallin Speedy Classic 1 nollapiste-elementtiä kiinni (kuva 87). Aluslevy kiinnitettiin työstötorniin ja käytössä olivat Starkin perustapit (kuva 88).

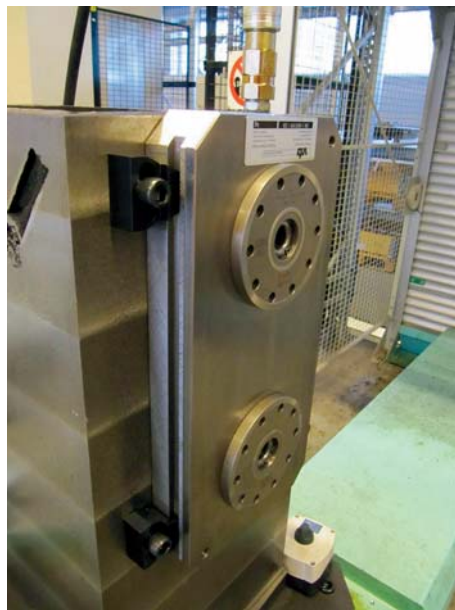


KUVA 87. *Starkin elementit työstötornissa.*



KUVA 88. *Starkin tappi.*

Vischer & Bollilta (V&B) oli myös hankittuna kaksi pyöreän mallin Dock Lock Safe 20 nollapiste-elementtiä (kuva 89), jotka olivat aluslevyssä kiinni. Aluslevy oli testien alkaessa valmiiksi kiinni työstötornissa, joka ilmeisesti koneistettiin Turun Koneteknologiakeskus Oy:ssä testejä varten. V&B:lta oli myös käytössä perustapit (kuva 90).



KUVA 89. *V&B elementit työstötornissa.*

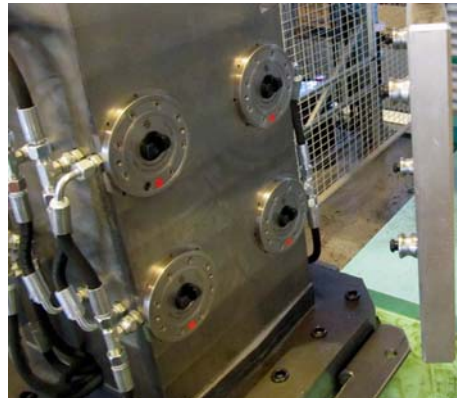


KUVA 90. *V&B tappi.*

Zero Point Systemsiltä (ZPS) oli hankittuna kaksi eri kiinnitysratkaisua. Toinen oli tyyppillinen aluslevyyn asennettu ratkaisu neljällä pyöreän mallin K20 nollapiste-elementillä (kuva 91), mutta toinen oli erikoistuneempi ratkaisu (kuva 92) nimenomaan työstötorneja varten. Siinä oli neljä pyöreän mallin Horizontal K20 nollapiste-elementtiä asennettuna työstötorniin. Kyseiset elementit teki erikoiseksi niiden männän rakenne, joka muista kiinnittimistä poiketen tulee ulos elementin reiästä sen ollessa aukaistuna. Männän päässä oli hakaset, joihin erikoistapeilla varustetun kiinnityslevyn sai helposti kiinni pelkällä pystyliikkeellä. Erikoistapit soveltuivat molempiin ZPS:n kiinnitysratkaisuihin (kuva 93).



KUVA 91. *ZPS peruselementtien aluslevy.*



KUVA 92. *ZPS pystykiinnityslemenetit.*

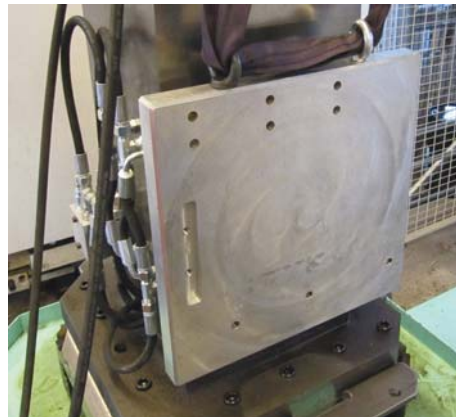


KUVA 93. *ZPS erikoistappi.*

Kiinnityslevyt, joihin tapit kiinnitettiin, työstettiin Turun Koneteknologiakeskus Oy:ssä. Starkin ja V&B:n kiinnittimiä varten oli tehty teräksestä kiinnityslevyt (kuva 94). ZPS:lle tehty levy oli hieman suurempi, mutta alumiinista työstetty kiinnityslevy (kuva 95).



KUVA 94. *Stark/V&B kiinnityslevy nosturissa.*



KUVA 95. *ZPS kiinnityslevy koukkutornissa.*

4.3.2 Esivalmistelut

Työ suoritettiin Koneteknologiakeskuksen tiloissa. ZPS:n ja V&B:n elementtisarjat olivat kokeen aikana kiinnitettyinä työstötorneissa. Työkaluina pääasiassa käytettiin kraananostinta ja liinaa, joilla toistettiin tahallisesti hieman kömpelöä lataamista, jotta valmistajien väliset erot tulisivat selvästi havaittua.

Kaikki kiinnityslevyt eivät soveltuneet suoraan kraananostoon siten, että tyhjä kiinnityslevy olisi noussut samassa kulmassa suhteessa muihin testattaviin kiinnityslevyihin. Nostamista varten valmistettiin karkeat nostokorvakkeet (kuvat 96 ja 97), jotta kaikki levyt olivat vertailukelpoisia.



KUVA 96. *Nostokorvake.*



KUVA 97. *Nostokorvake.*

Testausrutiiniksi haettiin yksinkertainen, helposti toistettava työvaihe, jolle oli määritetty selvät aloitus- ja lopetusrajat siten, että suoritusajassa vaikuttaisi ainoastaan varsinaiset kiinnitys/irrotus vaiheet. Raportissa esitetyt toistoajat ovat siis suhteellisia, eivätkä kelpaa suoraan mitta-arvoiksi minnekään muualle.

Teräslevyistä kasattiin kaksi erilaista painoa kiinnitettäväksi kiinnityslevyihin, jotta testeistä saatiin hieman todellisuutta vastaavia. Toinen oli melko helposti käsiteltävä noin 25 kg:n paino (kuvat 98 ja 99) ja sitä käytettiin jokaisen elementtisarjan kohdalla. ZPS:n Horizontal K20 elementtejä varten kasattiin noin 80 kg:n paino (kuvat 100 ja 101) testataksemme tilannetta, jossa lihasvoimalla ei ole enää merkitystä.



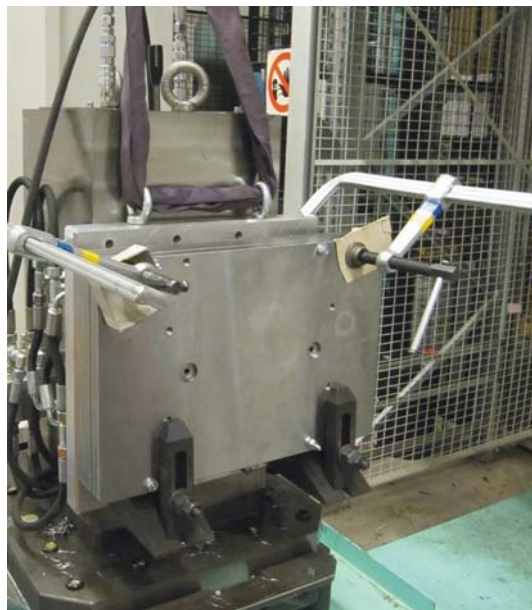
KUVA 98. *Paino ~25 kg ja momenttikulma.*



KUVA 99. *Paino ~25 kg.*



KUVA 100. *Paino -80 kg.*



KUVA 101. *Paino -80 kg.*

Kaikki elementtisarjat avattiin/lukittiin V&B 65 bar:n pumpulla (kuva 73).

4.3.3 Toteutus

Työ aloitettiin ZPS:n pystysuoraan kiinnitykseen tarkoitettulla elementtisarjalla ja sille tarkoitettulla kiinnityslevyllä, jossa oli koukkumaisiin tarraimiin tarkoitettut tapit. Kiinnityslevy oli alumiinia ja sitä oli helppo nostella sen kevyen painon ja valmiiksi päätyyn porattujen kierteiden vuoksi, joihin sai suoraan nostorengaat kraananosturia varten. Lisäpainon kiinnitys aiheutti pientä vaivaa vähäisten kiinnitykseen soveltuvien kierrereikien takia ja erityisesti kiinnitettäessä noin 80 kg:n painoa.

ZPS:n pystysuora elementtisarja oli ainut, jonka aukeamis- ja sulkeutumisaika kelloitettiin, sillä elementissä oli mäntä, joka työnsi tai veti sisään koukkumaiset tarraimet. Muissa elementeissä oli jousikiinnitys, joka aukeaa tai kiinnittyy aina noin sekunnin aikana.

ZPS:n pystykiinnityselementit olivat kiinni työstötornissa. Sen päällä oli käsin ohjattava suuntaventtiili, jolla määrätään hydraulikoneisto joko aukaisemaan tai sulkemaan elementit.

Testin aikana havaittiin, että kaikki neljä elementtiä eivät auenneet tai sulkeutuneet samanaikaisesti, vaan toimivat yleensä pareittain. Elementit letkutettuna lähimmäksi pumpppua toimivat ensimmäisenä. Tämä johtui varmasti hydraulivirran tarkoituksellisesta kuristuksesta, jotta kappale ei tekisi liian nopeita liikkeitä. Myös putkiston haaroitus vaikutti nestevirran tasaiseen jakautumiseen.

Seuraavaksi testattiin V&B:n elementtejä. Sarjassa oli kaksi elementtiä toisin kuin ZPS:n tapauksessa. V&B:n testauksessa käytettiin myös eri työstötornia. Tämä poikkesi ZPS:n tornista siinä mielessä, ettei siinä ollut omaa hydraulijärjestelmää, vaan elementtisarjalevyssä oli oma venttiili pumpulle. Kiinnitys ja aukaisu hoituivat kääntämällä pumpun suuntaa.

Tässä testissä käytettiin erilaista kiinnityslevyä kuin ZPS:n tapauksessa. Tämä levy oli tarkoitettu ehkä enemmänkin vaakakiinnitykseen, eikä siinä ollut tarvittavia nostokorvakkeita tämän testin tarpeisiin.

Kolmas testattava oli ZPS:n vaakakiinnitykseen tarkoitettu neljän elementin sarja ilman pystykiinnityskoukkuja. Elementit olivat erillisen aluslevyn sisällä, joka kiinnitettiin V&B:n työstötorniin. Testit olivat muuten samat kuin edellisilläkin elementtisarjoilla. Testissä käytettiin samaa kiinnityslevyä ja koukkumaisia tappeja kuin ensimmäisessä ZPS:in testissä.

Viimeinen testattava elementtisarja oli Starkilta. Tässä oli kaksi nollapiste-elementtiä, kuten V&B:n tapauksessa ja elementit oli upotettu samalla tavalla aluslevyyn.

Testin tarkoituksena oli pääasiassa kirjata käyttömukavuutta ja kiinnittämiseen vaikuttavia aikoja. Seinään kiinnitetty kraananosturi, joka ei kyennyt liikku-

maan koordinaatiston akseleiden suuntaisesti, oli selvästikin väärä työkalu tarkkuutta vaativan kiinnityslevyn viemiseen elementeille, mutta palveli silti testin aikana mainiosti.

Ennen varsinaisten aikojen kellotusta kiinnityslevyn viemistä elementeille harjoiteltiin joitakin kertoja, etteivät varsinaiset mittaustulokset vaihtelisi oleellisesti testaajan kokemattomuuden, vaan ennemminkin käytännön tähtäys vaikeuksien takia.

Kiinnityslevyn ollessaan tyhjillään, 10:n toiston jälkeen kiinnitimme levyyn teräslevyjä tuomaan painoa ja momenttia, joka simuloisi todellista kiinnitystilannetta, jossa kiinnityslevy ei tule suorassa pystyasennossa elementeille. Täten kiinnittäjällä on enemmän vaikeuksia kappaleen tuomisessa elementeille.

Tämän jälkeen kirjataan uudet 10 kiinnitysaikaa ja tehdään huomiot mm. kiinnityslevyn käyttömukavuuden, ongelmien ja muiden havaintojen osalta.

4.3.4 Tulokset

Arvostelua varten laadittiin pisteytystaulukko, johon pohdittiin viisi eri osa-arvoa. Kullekin annettiin omat painoarvot, ja ne pisteytettiin käyttökokemuksen perusteella. Lukijan tulee huomioida pisteytyksessä käytetty järjestelmä. Jokaiselle osa-arvolle toimittajien tuotteet arvosteltiin paremmuusjärjestykseen 1–4. Tätä järjestysnumeroa käytettiin myös pistemääränä, joka kerrottiin osa-arvon painoarvolla.

Kiinnitysaika

Kiinnitysaika – Tällä mitattiin aukaisuun ja kiinnitykseen kuluneita kokonaisaikoja suorittaen yksinkertaista työvaihetta, jossa kiinnityslevy irrotettiin/kiinnitettiin ja kraananosturilla tehtiin pieni yksinkertainen liike pois päin työstötornista. Testillä selvitettiin pääasiassa työvaiheeseen kuluvaa aikaa, mutta myös suoritusmaisen kiinnityksen aikana tapahtuvia vaikeuksia ja ongelmia. Tälle mitaukselle ei annettu suurta painoarvoa arvosanaa muodostettaessa, koska kiinnityksen yhteydessä voitetusta muutamasta sekunnista ei ole niin huomattavaa käytännön hyötyä minuuteista tunteihin kestävässä koneistuskierrrossa.

Käyttöikä

Käyttöikään vaikuttavia tekijöitä arvioitiin kellotuksen aikana tapahtuneista törmäyksistä, kolahduksista sekä vinokiinnityksen helppoudesta. Vinokiinnitys tapahtuu helposti suurella painolla, kun käyttäjän pitää painaa nosturissa roikkuvaa kiinnityslevyä elementin pintaa vasten ennen elementin sulkemista. Elementit joissa on ulkonevia reunoja tai muotoja, ovat alttiimpia iskuille tai kiilautumille.

Käyttöiälle annettiin melko matala painokerroin 0,4, koska se vain sivuaa raportin todellista tavoitetta, ja koska testien toistojen määrä ei ollut niin suuri, että minkäänlaista kulumista tms. ei ollut havaittavissa. Työssä käytetty nosturi ei ollut paras mahdollinen työkalu. Työvaiheelle ja kappaleelle suunniteltu nostin sen sijaan parantaisi käyttöikää huomattavasti.

Likasieto ja virheherkkyys

Likasiedolla ja virheherkkyydellä viitataan koneistuksen aikana työstötornin ympärille kertyvään likaun ja lastuun. Vaihdon yhteydessä erilaiset partikkelit saattavat joutua nollapiste-elementtien ja tappien rakenteisiin aiheuttaen kiinnityshäiriöitä tai tukoksia.

Tälle annettu painoarvo on 0,4 eli keskiarvoa hieman matalampi. Tämä osarvo vain sivuaa tehtävänantoa, mutta liittyy kuitenkin testiin. Tukoksien avaamiseen ja tarkkuuteen vaikuttavaan kunnossapitoon kuluva aika ja niiden toistuvuus vaikuttaa elementin käytettävyyteen.

Käytettävyys ja soveltuvuus pystykoneistuskiinnitykseen

Tulos on testin suorittajien mielipide neljän valmistajan tuotteiden välisestä käyttömukavuudesta nostolaitteella, joka oli testin aikana käytettävissä. Arvio muodostettiin kellotuksen aikana havaittuja kiinnitys- ja aukaisuvaikeuksia silmälläpitäen, sillä kiinnitys/nostotyökalu saattaa olla erilainen toisenlaisissa työympäristöissä. Painoarvo tälle osa-arvolle arvioitiin korkeimmaksi 0,9, sillä tätä ominaisuutta tehtävänannossa juuri haetaan.

Soveltuvuus automatisoituun kiinnitykseen

Tässä arvioinnissa pohdittiin vaihtoehtoa käytetylle kraananosturille. Arvioimme, miten yksinkertainen manipulaattori tai robotti kykenee kiinnittämään kiinnityslevyn elementeille ilman, että se joutuu tekemään montaa erisuuntaista liikettä tai suoriutuu työstä kolhimatta arvokkaita osia vaikka ohjelmointi ei olisikaan moitteetonta.

TAULUKKO 14. *Pisteiden yhteenveto.*

	Kiinnitysaika	Käytettävyys ja Soveltuvuus pystykoneistuskiinnitykseen	Käyttöikä (melun ja törmäysalttiuden perusteella)	Likasieto / virhe herkkyys	Soveltuvuus automatisoituun kiinnitykseen	Arvosana arvosteluasteikolla 2,5-10
ZPS Horizontal K20	3	4	3	1	1	6,4
V&B Safe 20	1	2	2	2	4	5,9
ZPS K20	4	1	4	3	2	5,7
Stark Speedy classic 1	2	3	1	4	3	7,0
Painoarvo	0,3	0,9	0,3	0,4	0,6	

TAULUKKO 15. *Zero Point Systemsin yksityiskohtainen arvostelu.*

Zero Point Systems Horizontal K20		
	Arvosana	Perustelu
Kiinnitysaika	3	Yllättävän hyvä ottaen huomioon, että koukkujen liike otti oman aikansa (noin 6 s).
Käytettävyys ja soveltuvuus pystykoneistuskiinnitykseen	4	Kraananostimella mukava siirtää suunnilleen kohdalleen ja laskea koukkuihin. Jos koneistettavaa osaa on mahdoton siirtää lihasvoimin, on tämä koukkuratkaisu miltei ainoa mahdollinen momenttikallistuman takia.
Käyttöikä	3	Rauhallinen ja pehmeä kiinnitys. Mahdollisuus vakavaan vikaantumiseen mikäli kappaletta irrottaessa tapahtuu voimakas virheliike.
Likasieto ja virheherkkyys	1	Sisään vetäytyvät koukut kuljettavat koneistuslastuja elementin sisään.
Soveltuvuus automatisoituun kiinnitykseen	1	Kappaleen tuomiseen tarvitaan aina ylimääräinen liike. Tarkka tapin asemointi koukkuun on hankalaa y-koordinaatistossa, sillä kiinnityslevy olisi irrotettava robotista ennen kiinnitystä ja sellaisen pisteen ohjelmointi on käytännössä mahdotonta, jossa raskaasti lastattu kiinnityslevy ei tipahtaisi tai painaisi kiinnitinkoukkuja haitallisesti.

TAULUKKO 16. *Vischer & Bollin yksityiskohtainen arvostelu.*

V&B Safe 20		
	Arvosana	Perustelu
Kiinnitysaika	1	
Käytettävyys ja soveltuvuus pystykoneistuskiinnitykseen	2	Kiinnitys takkuilevaa ja elementin suhteellisen pieneen reikään tähtääminen oli ongelmallista. Kiinnityslevyn asettamisen jälkeen se tuntui olevan löysästi reiässä ja sitä piti tukea käsin ennen kiinnitystä.
Käyttöikä	2	Mahdollisuus vinoon kiinnitykseen. Loksahdusmainen kiinnitystapa. Asennusreikä on pienhkö tehden törmäysvaarasta suuren.
Likasieto ja virheherkkyys	2	Elementissä muotoja joiden väliin juuttuu helposti lastuja, poistaminen hankalaa.
Soveltuvuus automatisoituun kiinnitykseen	4	Elementin reuna on hieman kupera ja antaa anteeksi pienelle virheliikkeelle. Tapissa ei ole reunoja, jotka voisivat jumittaa elementin rakenteeseen.

TAULUKKO 17. *Pystykiinnitys Zero Point Systemsin yksityiskohtainen arvostelu.*

ZPS K20		
	Arvosana	Perustelu
Kiinnitysaika	4	
Käytettävyys ja soveltuvuus pystykoneistuskiinnitykseen	1	Varma ja luotettava kiinnitys, mutta kaikkien neljän tapin kohdalleen tähtääminen hankalaa, kun levy on kallellaan hieman joka suuntaan.
Käyttöikä	4	Yksinkertainen ja vankka rakenne, ilman ulkonevia reunoja. Mahdottomuus kiinnittää vinoon, johtuen neljästä elementistä.
Likasieto ja virheherkkyys	3	Isojen kuulalaakerien väliin joi jumittaa lastuja.
Soveltuvuus automatisoituun kiinnitykseen	2	Painavaa kiinnityslevyä irrottaessa manipulaattorilla koukkumaiseen kiinnitykseen tarkoitettu tappi saattaa jumittaa elementin sisäreunan taakse ja aiheuttaa rikkoutumisen. Robotilla tai paremman mallisella tapilla tämä tuskin on ongelma.

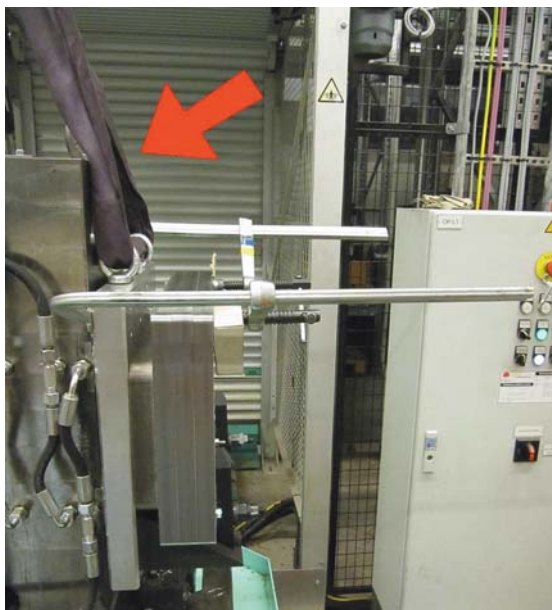
TAULUKKO 18. *Starkin yksityiskohtainen arvostelu.*

Stark Speedy classic 1		
	Arvosana	Perustelu
Kiinnitysaika	2	
Käytettävyys ja soveltuvuus pystykoneistuskiinnitykseen	3	Tämä oli yllätys testaajille, kiinnitys ja irrottaminen mielekästä. Johtuen varmaan tapin ja elementin esteettömästä rakenteesta.
Käyttöikä	1	Tapit kuluvat erittäin helposti. Elementissä ulkoneva reuna joka tulee mahdollisesti vaurioitumaan ensimmäisestä törmäyksestä. Mahdollisuus vinoon kiinnitykseen.
Likasieto ja virheherkkyys	4	Elementissä ei ole reunoja tai muotoja joiden taakse voi jumittua lastuja.
Soveltuvuus automatisoituun kiinnitykseen	3	Elementti ja tappi selkeän muotoisia. Kuitenkin tapin ohjaus elementtiin saattaa olla ongelmallista manipulaattorilla pienehköistä reiästä johtuen.

4.3.5 Loppupäätelmät

Nollapiste-elementtien arvostelu oli yllättävän hankalaa, sillä niiden paremmuus oli pääteltävä vain tuntuman perusteella ja konkreettista tietoa tuotannosta oli tuskin ollenkaan. Testit aloitettiin kellottamalla kiinnitykseen kuluva aikaa sadasosasekunnin tarkkuudella, mikä myöhemmin paljastui melko epärelevantiksi tiedoksi. Suoritusmainen työvaiheen tositaminen kuitenkin antoi paljon tärkeää kokemusta ja näkökulmaa todellista arvostelua varten, sillä suurin osa havainnoista tehtiin juuri kellotusten aikana.

Kraananosturilla kiinnityslevyä vietäessä käyttämämme koneistustorniin, pitää nosturi ajaa hieman tornin yli, jotta kiinnityslevy saadaan pystysuoraan tornin rinnalle. Kuitenkin tornin korkeudesta johtuen liina painautui työstötornin yläreunaa vasten haitaten kiinnityslevyn saamisessa paikalleen kiinnitystä varten. Kiinnityslevyä oli painettava paikoilleen käsin, mikä ei olisi mahdollista useamman sadan kilon painolla. Kuva 102 pyrkii havainnollistamaan asiaa.



KUVA 102. *Liiallinen tornin korkeus häiritsee kiinnityslevyn tuomista paikalleen.*

Tämän raportin lukijan on hyvä sisäistää, että nollapiste-elementin saama arvosana ei kerro sen paremmuudessa yleisesti, pelkästään sen soveltuvuudesta pysty-kiinnitykseen työstötornissa. Elementtejä on vertailtu vain toisiinsa, joten huonoin arvosana ei tarkoita kyseisen tuotteen olevan huono. Se saattaa myös olla maailman 4. paras.

ZPS Horizontal K20 oli aloitettaessa ennakkosuosikki. Se ei arvostelussa kuitenkaan yltänyt parhaille pisteille. Tähän yksinkertaisena syynä on kiinnitettyjen lisäpainojen ”painon puute”. Jos oletettaisiin tilanne, että koneistettava osa olisi usean sadan kilogramman painoinen ja se pitäisi kiinnittää käyttämällämme kraananosturilla, koko testin tuloksen tarkoitus olisi ollut ennalta määrätty. Paino jonka asentoa ei pysty yhden ihmisen lihasvoimin säätämään, olisi ollut mahdoton kiinnittää millään muulla kuin ZPS:in koukkumaisilla elementeillä.

Kiinnittämiseen voi kehitellä yksinkertaisia apuvälineitä, kuten kiinnityslevyn kiinnitettävän momenttivarren, josta koneistaja pystyy säätämään kiinnityslevyn yhdensuuntaiseksi elementtipintojen suhteen.

5 TULOSTEN HYÖDYNTÄMINEN

Panosteen tulosten hyödyntäminen on aloitettu jo projektin keston aikana. Tiedotus aloitettiin luonnollisesti jo projektin aikana. Panosteen tutkimuksista, uusista tekniikoista ja sovelluksista on tiedotettu aktiivisesti projektin eri toiminnoissa. Tutkimuksia ja projektissa kehitettyjä sovelluksia on esitelty yhteensä sadoille henkilöille ja yrityksille. Parhaimman esityksen ovat saaneet luonnollisesti ne henkilöt ja tahot, jotka ovat vierailleet Koneteknologiakeskuksen tiloissa ja nähneet kehitetyt ratkaisut käytössä sekä eri demonstraatiot, jotka tehtiin projektin tulosten esittelemiseksi. Panostuksen osalta ovat muutamat yritykset ottaneet jo käyttöön tai harkitsevat nollapisteteknologian käyttöönottoa. Panoste on luonut uusia ajatuksia ja ratkaisuehdotuksia, jotka parantavat suomalaisen konepajateollisuuden mahdollisuuksia kehittyä ja kilpailla paremmin markkinoilla. Panosteen tutkimusten ja selvitysten perusteella on luotu opetusmateriaalia Turku AMK:n käyttöön ja laitteistoja on hyödynnetty jo opetustoiminnassa. Turun ammattikorkeakoulu pystyy hyödyntämään tuloksia luonnollisesti helpoimmin, mutta laitteiston sijoittaminen Koneteknologiakeskukseen sekä tutkimusten julkisuus mahdollistavat kaikkien halukkaiden helpon tutustumisen projektin tuloksiin nyt ja tulevaisuudessa.

Ajatusmallin ”mies ja 5 automatisoitua tuotantosolua” juurruttaminen on onnistunut hyvin ja yhä useammat tahot ovat alkaneet harkita vakavasti tuotantonsa automatisointia. Tämän kehityksen esteenä on ollut lähinnä projektin loppuvaiheessa alkanut maailmanlaajuinen lama, joka on vienyt useilta toimijoilta ennustettavuuden ja mahdollisuudet investoida tuotantonsa automatisointiin. Panosteessa mukana olleiden tahojen yhdeksi ehkä suurimmaksi tehtäväksi jää pitää projektin tulokset kirkkaina mielessä, jotta taloustilanteen salliessa pystymme tukemaan yrityksiä parhaalla mahdollisella tavalla automatisointipyrkimyksissä.

Jatkokehitysideat

Panosteen yhtenä tavoitteena oli kehittää kustannustehokas, pk-yrityksille soveltuva tuotantosolu. Tätä ajatusta voidaan viedä eteenpäin ja ottaa seuraavaksi haasteeksi kustannustehokkaan joustavan tuotantojärjestelmän kehittäminen. Muutamien Panosteessa toimineiden Turun ammattikorkeakoulun henkilökunnan jäsenille ja opiskelijoiden yhteistyöllä on jo aloitettu tällaisen tuotantojärjestelmän esiselvitykset. Tarkoituksena olisi löytää yhtä mahtava verkosto toteuttamaan tätä projektia kuin mitä Panosteessa oli. Kyseessä oleva projekti on ristitty JOPI ”Joustava pienerien integroitava tuotantojärjestelmä” -nimiseksi ja projektin valmistelu on lähtenyt käyntiin loppuvuonna 2010.

Toisena Panosteesta alkunsa saaneena projektivalmisteluna voidaan pitää Turun ammattikorkeakoulussa vuonna 2011 valmisteluun tuleva HITSARI ”koneäön hyödyntäminen robottihitsauksessa” -hanketta. Tässä hankkeessa tullaan vastaamaan samantyyppisiin ajatuksiin ja kysymyksiin hitsaavan teollisuuden saralla kuin Panoste vastasi koneistavanteollisuuden puolella. Projektin johtoajatus on saada robotisoidusta hitsauksesta yhtä joustavaa kuin robotisoitu panostaminen on.

LÄHTEET

Tekes, 2010, SISU 2010 – uusi tuotantoajattelu, Helsinki: Libris Oy.

Teknologiateollisuus ry, www.teknologiateollisuus.fi.

Tilastokeskus, 2008, Teollisuuden toimialakatsaus I/2008, www.stat.fi.

Tilastokeskus, 2008, Teollisuuden toimialakatsaus IV/2008, www.stat.fi.

Tilastokeskus, 2009, Teollisuuden toimialakatsaus IV/2009, www.stat.fi.

Tilastokeskus, 2010, Teollisuuden toimialakatsaus I/2010, www.stat.fi.

Julkaisemattomat lähteet:

Törnqvist P, 2009, Projektiraportti koneistustornien kehittämisestä.

Uotila S, 2010 Projektiraportti nollapistekiinnittimien testauksesta.

Uotila S & Valliluoto M, 2010, Projektiraportti nollapistekiinnittimien testauksesta torneissa.

Opinnäytetyöt:

Vainio J, 2011, Kustannustehokkaan nollapistekiinnitysmenetelmän kehittäminen.

Kirjallisuus

Autio, A. Hasari, H. 1999. Koneenpiirustus ammattikorkeakouluille ja teknillisille oppilaitoksille. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Heikkilä, M. 2001. Tekniset piirustukset. Vantaa: WSOY Konetekniikka.

Hietikko, E. 2009. Solidworks tietokoneavusteinen suunnittelu. Savonia-ammattikorkeakoulu: Tampereen yliopistopaino Oy – juvenes Print.

Kauranne, H. Kajaste, J. Vilenius, M. 2003. Hydrauliiikan perusteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Keinänen, T. Kärkkäinen, P. 1999. Konetekniikan perusteet. Helsinki: Werner Söderström Osakeyhtiö.

Koivisto, K. Laitinen, E. Niinimäki, M. Tiainen, T. Tiilikka, P. Tuomikoski, J. 2001. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Oy Edita Ab.

Outinen, H. 2000. Statiikka osa 2. Tampere: Pressus Oy.

Pere, A. 1988. Koneenpiirustus 1. Helsinki: Offsetpiste Ky.

Pere, A. 2001. Koneenpiirustus 2. Helsinki: Offsetpiste Ky.

Salonen, E-M. 1999. Statiikka. Helsinki: Otatieto Oy.

Salmi, T. 1998. Statiikka. Tampere: Pressus Oy.

Esko Valtanen. 2002. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Sähköiset lähteet

Hydraulikomponentteja. <http://www.dunlophiflex.fi/?source=adwords>.

Jousia. <http://www.jouset.com/>.

Jousia. <http://www.lesjofors.fi/>.

Nollapistekiinnittimiä. <http://www.zeropointsystems.at/default.asp?lid=2&frs=210>.

Terästä. <http://www.ovako.com/index.asp>.

Terästä. <http://www.polarputki.fi/>.

Terästä. <http://www.ruukki.fi/www/finland.nsf/Documents/19702BA4C2C8E2B7C2257209002AE963?OpenDocument&lang=1>.

Terästä. <http://www.terastarvike.fi/>.

Tiivisteitä. <http://www.tss.trelleborg.com/fi/www/fi/homepage.jsp>.

Sorola K, 2010, Levymäisen kappaleen koneistuksen nollapistekiinnityksen kehittäminen.

Kirjallisuus

Cormier, Denis; Walsh, Ronald A 2005. Machining and Metalworking Handbook. New York, NY, USA: McGraw-Hill.

Lapinleimu, Ilkka; Kauppinen, Veijo; Torvinen, Seppo 1997. Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY.

Maaranen, Keijo 2007. Koneistustekniikat. 1-2 painos. Helsinki: WSOY.

MET-julkaisu 1982. Työkappaleen kiinnittäminen. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Vesämäki, Hannu 2007. Lastuavan työstön NC-ohjelmointi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Sähköiset lähteet

Doosan Infracore 2009. HP 5000 horizontal machining center. Saatavissa: http://www.doosaninfracore.com/machinetools/en/products/machining_centers/.

Europörssin metalli, 2005. DockLock nollapistekiinnittimen avulla työstön hukka-ajat minimiin. Saatavissa: http://www.eurometalli.com/uploads/pdf/EPM8_2005.pdf?newpage=1.

Fastems Oy Ab, 2006. Fastems Newsletter 1/2006. Fastems Oy Ab. Saatavissa: http://www.fastems.com/images/ToWeb/Media/Magazines/FAST_1-06_final.pdf.

Fastems Oy Ab, 2009. Fastems Newsletter 1/2009. Fastems Oy Ab. Saatavissa: http://www.fastems.com/images/ToWeb/Media/Magazines/Newsletter/1_2009/Newsletter_1_2009_eng.pdf.

Konepaja Ceiko Oy. Yrityksen kotisivut. www.ceiko.fi.

Modern Applications New, 2008. You've got to know when to hold them. Saatavissa: http://www.modernapplicationsnews.com/features/2008_April/0408_youve_got.aspx.

OK-Vise, 2006. OK-Vise esite. Saatavissa: <http://www.ok-vise.com/filebank/553-virallinensuomiesite2006.pdf>.

SchunkUnilock–Quickchange palletsystem. Saatavissa: <http://www.nurminentools.fi/hallinta/docbase/nollapistekiinnitin%5B1%5D.pdf>.

SISU 2010 – Uusi tuotantoajattelu loppuraportti, 2010. Saatavissa: www.tekes.fi/fi/document/44253/sisu_2010_pdf.

Stark Spannsysteme GmbH, 2007. Zero point mounting system 1000. Saatavissa: http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_english/en_wm_020_150.pdf.

Stark Spannsysteme GmbH, 2008. Zero point clamping system speedy classic 1. Saatavissa: http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_2008/wm_020_304.pdf.

Stark Spannsysteme GmbH, 2008. Zero point clamping system speedy classic 3. Saatavissa: http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_2008/WM-020-278-00-en.pdf.

Stark Spannsysteme GmbH, 2009. Saatavissa: <http://www.stark-inc.com/English/index.php>.

System 3R. Delphin – the modular clamping system. Saatavissa: http://www.system3r.com/3rfiles/marketing/T-2175-E_72dpi.pdf.

Seppälä M, 2010, Nollapistekiinnittimen käyttö robottihitsauksessa sekä koneistuksessa samoilla kiinnikkeillä.

Sähköiset lähteet

Fanuc Robotics 2010. M-10iA. Viitattu 23.5.2010 http://www.fanucrobotics.co.uk/en/Products/A_Industrial-Robots/M-10iA/M-10iA.aspx.

Fanuc Robotics 2010. M-900iA/600. Viitattu 23.5.2010 http://www.fanucrobotics.co.uk/en/Products/A_Industrial-Robots/M-900iA/M-900iA%20600.aspx.

Mesera Paimio Oy. Yrityksen kotisivut. Viitattu 20.2.2010 www.mesera.fi.

Pemamek Oy. Yrityksen kotisivut. Viitattu 11.2.2010 www.pemamek.fi.

Schunk 2010. Nollapistekiinnitin Schunk NSE 138. Viitattu 22.5.2010 http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SCHUNK_UNILOCK_NSE_138_DE_EN.pdf.

Schunk 2010. NSE 138 tuote-esite. Viitattu 22.5.2010 http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SCHUNK_UNILOCK_NSE_138_DE_EN.pdf.

Schunk 2010. SWS-L 510 tuote-esite. Viitattu 11.3.2010 http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SWS-L_510_EN.pdf.

Schunk 2010. SWS-L 510 Laippa. Viitattu 10.3.2010 http://217.5.167.5/schunk_files/images/au_rz_SWS-L.jpg.

Stark 2010. Kiinnittimen automaattinen puhdistus paineilmalla Viitattu 10.3.2010 http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_2008/WM-020-278-00-en.pdf.

Stark 2010. Tekniset tiedot - Väjäntömomentin lasku esimerkki. Viitattu 1.1.2010 <http://www.stark-inc.com/pdf/pdf092009/SPEEDY%20Airtec%201/WM-020-289-00-en.pdf>.

Zero Point Systems 2010. Asetustoleranssi. Viitattu 10.3.2010 <http://www.zeropointsystems.at/upload/prj1/pdf/zps4en200710.pdf>.

Zero Point Systems 2010. Nollapistekiinnitin ja tappi. Viitattu 10.3.2010 <http://www.zeropointsystems.at/upload/prj1/pdf/zps4en200710.pdf>.

Zero Point Systems 2010. Pikakiinnityslaippa. Viitattu 10.3.2010 <http://www.zeropointsystems.at/upload/prj1/pdf/zps4en200710.pdf>.

Zero Point Systems 2010. Uppoasennus ja pinta-asennus. Viitattu 10.3.2010 <http://www.zeropointsystems.at/upload/prj1/pdf/zps4en200710.pdf>.

Vuorinen H, 2010, Nollapistekinnitystekniikan selvittäminen ja soveltaminen.

Kirjallisuus

Aaltonen, Ekman, Kamppari, Kauppinen, Kivivuori, Paro, Vuorinen 1991. Työvalinetekniikka. Helsinki: Otatieto.

Aaltonen Kalevi ym 2005. Valmistustekniikka. 11. muuttumaton painos. Helsinki: Otatieto.

Aunio, Kettunen, Kaaria, Niinimäki, Riski 1989. Työvalinesuunnittelu. Helsinki: Valtion Painatuskeskus.

Boothroyd, Geoffrey; Knight, Winston A 2006. Fundamentals of Machining and Machine Tools. 3. painos. CRC Press.

Cormier, Denis; Walsh, Ronald A 2005. Machining and Metalworking Handbook. New York, NY, USA: McGraw-Hill.

Maaranen, Keijo 2007. Koneistustekniikat. 1-2 painos. Helsinki: WSOY.

Vesamäki, Hannu 2007. Lastuavan tyoston NC-ohjelmointi. Helsinki: Teknologiatieto Teknova Oy.

Pikkarainen, Eero 1999. NC-tekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Sähköiset lähteet

ALLMATIC-Jakob Spannsysteme GmbH. Increase in productivity only successful using optimum clamping devices. [Viitattu 30.5.2009.] Saatavissa: http://www.allmatic.eu/wEnglish/Presse/Pressemitteilungen/Produktivitaet_nur_mit_optimalem_spannmittel/GB_Allmatic_Spannvorrichtungen.pdf.

Fastems Oy Ab, 2009. Fastems Newsletter 1/2009. Fastems Oy Ab. [Viitattu 29.8.2009.] Saatavissa: http://www.fastems.com/images/ToWeb/Media/Magazines/Newsletter/1_2009/Newsletter_1_2009_eng.pdf.

Hirschmann GmbH. System 9000, Gatalogue NE 3608. [Viitattu 30.5.2009.] Saatavissa: http://www.hirschmanngmbh.com/fileadmin/Hirschmann/Downloads/SYS9000K_ENG.pdf.

Modern Applications News, 2008. You've got to know when to hold them. [Viitattu 2.6.2009.] Saatavissa: http://www.modernapplicationsnews.com/features/2008_April/0408_youve_got.aspx.

OK-Vise, 2009. OK-Vise esite. [Viitattu 7.9. 2009.] Saatavissa: <http://www.okvise.com/filebank/155-virallinenensiteenglanti2006.pdf>.

Stark Spannsysteme GmbH, 2004. Zero point clamping system speedy 1000. [Viitattu 3.8.2009.] Saatavissa: http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_english/en_modul_plate.pdf.

Stark Spannsysteme GmbH, 2008. Zero point clamping system speedy classic 1. [Viitattu 14.8.2009.] Saatavissa: http://www.stark-inc.com/pdf/pdf_2008/wm_020_304.pdf.

Stark Spannsysteme GmbH, 2009. [Viitattu 7.9.2009.] Saatavissa: <http://www.starkinc.com/English/index.php>.

System 3R. Delphin – the modular clamping system. [Viitattu 13.6.2009.] Saatavissa: http://www.system3r.com/3rfiles/marketing/T-2175-E_72dpi.pdf.

Vischer & Bolli AG, 2006. Gatalogue 7.52. [Viitattu 15.5.2009.] Saatavissa: http://www.vbtools.com/vb2/web/en/media/catalog/Produkte-Seite_Katalog_7.52.pdf.

West, Vince 2007. New system offers fast set-ups. Australian manufacturing technology november 2007, 34–36. [Viitattu 26.5.2009.] Saatavissa: <http://www.amtil.com.au/UserFiles/File/Pages from AMT 2007 11Nov FINAL-34-36.pdf>.

Zero Point Systems GmbH, 2009. [Viitattu 7.9.2009.] Saatavissa: <http://www.zeropointsystems.at/default.asp?lid=2&frs=210>.

Suulliset lähteet

Bowers Donald, Henkilökohtainen tiedonanto, 2009. Tumo Oy.

Kortelainen Sami, Palaveri, 27.5.2009. Tumo Oy.

Sappinen Konsta, Henkilökohtainen tiedonanto, 2009. Tumo Oy.

LIITE I

Zero Point Systems K20 mittau tulokset

X-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -3,547 ja levyn pientä nostamista		alkuarvona -3,929 ja levyn nosto irti		alkuarvona -3,926 ja levyn kierto vastapäivään	
mittaus nro	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	-2	1.	+2	1.	+2
2.	-2	2.	+2	2.	+2
3.	-2	3.	+2	3.	+2
4.	-1	4.	+2	4.	+1
5.	-1	5.	+1	5.	+2
6.	0	6.	+1	6.	+2
7.	0	7.	+1	7.	+2
8.	0	8.	+1	8.	+1
9.	0	9.	+1	9.	+1
10.	0	10.	+1	10.	+1
11.	0	11.	+1	11.	+1
12.	0	12.	0	12.	0
13.	0	13.	0	13.	+1
14.	0	14.	+1	14.	0
15.	0	15.	+2	15.	+1
16.	0	16.	0	16.	+1
17.	0	17.	+1	17.	+1
18.	0	18.	0	18.	0
19.	0	19.	+1	19.	0
20.	0	20.	0	20.	0
avg.	0,40	avg.	1,00	avg.	1,05

X-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -3,547 ja levyn kierto myötäpäivään		alkuarvona -3,545 ja levyn työntö mittalaitteesta poispäin		alkuarvona -3,546 ja levyn työntö mittalaitetta kohti	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	0	2.	0	2.	+1
3.	0	3.	0	3.	+1
4.	0	4.	0	4.	+1
5.	0	5.	0	5.	+1
6.	0	6.	0	6.	+1
7.	0	7.	0	7.	0
8.	0	8.	0	8.	0
9.	0	9.	0	9.	+1
10.	0	10.	0	10.	0
11.	0	11.	0	11.	0
12.	0	12.	0	12.	0
13.	0	13.	0	13.	0
14.	0	14.	0	14.	0
15.	0	15.	0	15.	-1
16.	0	16.	0	16.	0
17.	0	17.	0	17.	-1
18.	0	18.	0	18.	0
19.	0	19.	0	19.	-1
20.	0	20.	0	20.	-1
avg.	0,00	avg.	0,00	avg.	0,50

Y-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -8,715 ja levyn pientä nostamista		alkuarvona -8,717 ja levyn nosto irti		alkuarvona -8,713 ja levyn kierto vastapäivään	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	0	2.	+1	2.	0
3.	0	3.	+1	3.	0
4.	0	4.	+1	4.	0
5.	0	5.	+1	5.	0
6.	0	6.	+1	6.	0
7.	0	7.	+2	7.	0
8.	0	8.	+3	8.	0
9.	0	9.	+3	9.	0
10.	+1	10.	+4	10.	0
11.	+1	11.	+3	11.	0
12.	-1	12.	+3	12.	0
13.	-1	13.	+3	13.	0
14.	-1	14.	+3	14.	0
15.	-1	15.	+4	15.	0
16.	-1	16.	+4	16.	0
17.	-1	17.	+4	17.	0
18.	-1	18.	+3	18.	0
19.	-1	19.	+4	19.	0
20.	-1	20.	+4	20.	-1
avg.	0,55	avg.	2,60	avg.	0,05

Y-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -8,712 ja levyn kierto myötäpäivään		alkuarvona -8,713 ja levyn työntö mittalaitteesta poispäin		alkuarvona -8,713 ja levyn työntö mittalaitetta kohti	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	0	2.	0	2.	0
3.	0	3.	0	3.	0
4.	0	4.	0	4.	0
5.	0	5.	0	5.	0
6.	0	6.	0	6.	0
7.	0	7.	0	7.	0
8.	0	8.	0	8.	0
9.	0	9.	0	9.	0
10.	0	10.	0	10.	0
11.	-1	11.	0	11.	0
12.	0	12.	0	12.	0
13.	-1	13.	0	13.	0
14.	-1	14.	0	14.	0
15.	-1	15.	0	15.	0
16.	-1	16.	0	16.	0
17.	-1	17.	0	17.	0
18.	-1	18.	0	18.	0
19.	-1	19.	0	19.	0
20.	-1	20.	0	20.	0
avg.	0,45	avg.	0,00	avg.	0,00

Vischer & Bolli Dock Lock Safe 20 mittaustulokset

Y-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -3,931 ja levyn pientä nostamista		alkuarvona -3,929 ja levyn nosto irti		alkuarvona -3,926 ja levyn kierto vastapäivään	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	+2	2.	+2	2.	+1
3.	0	3.	+6	3.	+1
4.	+1	4.	+2	4.	-1
5.	+1	5.	+2	5.	+1
6.	+3	6.	+3	6.	-2
7.	+2	7.	+1	7.	-1
8.	+3	8.	+1	8.	0
9.	+3	9.	+1	9.	-1
10.	+4	10.	0	10.	+2
11.	+1	11.	+4	11.	+1
12.	+3	12.	+1	12.	0
13.	+1	13.	0	13.	0
14.	+4	14.	+1	14.	-1
15.	+5	15.	+1	15.	+1
16.	+3	16.	+1	16.	-2
17.	+4	17.	0	17.	-3
18.	+2	18.	+1	18.	-1
19.	+3	19.	+2	19.	+2
20.	+3	20.	+2	20.	+1
avg.	2,40	avg.	1,55	avg.	1,10

Y-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -5,276 ja levyn kierto myötäpäivään		alkuarvona -5,275 ja levyn työntö mittalaitteesta poispäin		alkuarvona -5,275 ja levyn työntö mittalaitetta kohti	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	+2	2.	+3	2.	+4
3.	0	3.	0	3.	+3
4.	0	4.	-1	4.	+2
5.	+3	5.	0	5.	+3
6.	+4	6.	0	6.	0
7.	+1	7.	+2	7.	0
8.	+1	8.	+1	8.	+2
9.	+2	9.	-1	9.	0
10.	0	10.	+2	10.	0
11.	+1	11.	+2	11.	0
12.	+1	12.	0	12.	-2
13.	+3	13.	+2	13.	0
14.	+1	14.	+2	14.	0
15.	+1	15.	0	15.	0
16.	+1	16.	-1	16.	+3
17.	+3	17.	0	17.	0
18.	+1	18.	0	18.	0
19.	0	19.	-1	19.	0
20.	0	20.	0	20.	0
avg.	1,25	avg.	0,90	avg.	0,95

X-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -9,280 ja levyn pientä nostamista		alkuarvona -9,279 ja levyn nosto irti		alkuarvona -9,277 ja levyn kierto vastapäivään	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	0	2.	+1	2.	0
3.	0	3.	+1	3.	0
4.	+1	4.	0	4.	0
5.	+1	5.	0	5.	0
6.	0	6.	-1	6.	0
7.	+1	7.	0	7.	0
8.	0	8.	0	8.	0
9.	0	9.	0	9.	0
10.	+1	10.	+2	10.	0
11.	+1	11.	0	11.	0
12.	0	12.	0	12.	0
13.	+1	13.	0	13.	0
14.	+1	14.	+1	14.	0
15.	+1	15.	+1	15.	0
16.	+1	16.	0	16.	0
17.	+1	17.	0	17.	0
18.	+2	18.	0	18.	-1
19.	+2	19.	0	19.	0
20.	+1	20.	0	20.	0
avg.	0,75	avg.	0,35	avg.	0,05

X-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -9,278 ja levyn kierto myötäpäivään		alkuarvona -9,277 ja levyn työntö mittalaitteesta poispäin		alkuarvona -9,278 ja levyn työntö mittalaitetta kohti	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	-1	1.	-1	1.	-1
2.	+1	2.	0	2.	-1
3.	0	3.	0	3.	0
4.	0	4.	0	4.	-1
5.	0	5.	0	5.	+1
6.	0	6.	0	6.	-1
7.	+1	7.	0	7.	0
8.	+1	8.	0	8.	0
9.	+1	9.	0	9.	-1
10.	+1	10.	0	10.	-1
11.	0	11.	0	11.	+1
12.	0	12.	0	12.	+1
13.	+1	13.	0	13.	-1
14.	0	14.	0	14.	0
15.	+1	15.	-1	15.	+1
16.	+1	16.	0	16.	-1
17.	+1	17.	0	17.	0
18.	+1	18.	0	18.	-1
19.	+1	19.	0	19.	-1
20.	+1	20.	0	20.	-1
avg.	0,65	avg.	0,10	avg.	0,75

Stark Speedy Classic I mittaustulokset

Y-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -3,053 ja levyn pientä nostamista		alkuarvona -3,053 ja levyn nosto irti		alkuarvona -3,052 ja levyn kierto vastapäivään	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	0
2.	0	2.	-1	2.	0
3.	0	3.	0	3.	0
4.	-1	4.	0	4.	0
5.	-2	5.	+1	5.	0
6.	-1	6.	+1	6.	0
7.	0	7.	0	7.	0
8.	-2	8.	0	8.	0
9.	-2	9.	+1	9.	0
10.	-2	10.	+1	10.	0
11.	-2	11.	+1	11.	0
12.	0	12.	+1	12.	0
13.	-3	13.	+2	13.	0
14.	-4	14.	+2	14.	0
15.	-2	15.	+2	15.	0
16.	-1	16.	+2	16.	0
17.	0	17.	+1	17.	0
18.	-2	18.	+1	18.	0
19.	-2	19.	+1	19.	0
20.	-2	20.	+1	20.	0
avg.	1,40	avg.	0,95	avg.	0,00

Y-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -3,053 ja levyn kierto myötäpäivään		alkuarvona -3,054 ja levyn työntö mittalaitteesta poispäin		alkuarvona -3,055 ja levyn työntö mittalaitetta kohti	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	+1	1.	+1	1.	0
2.	+1	2.	+1	2.	+1
3.	-3	3.	+1	3.	0
4.	-4	4.	+2	4.	0
5.	-1	5.	+1	5.	0
6.	+1	6.	+1	6.	+1
7.	+1	7.	+1	7.	+2
8.	+1	8.	+1	8.	+2
9.	0	9.	0	9.	+2
10.	+1	10.	-1	10.	-1
11.	+1	11.	-1	11.	-1
12.	0	12.	0	12.	-2
13.	0	13.	+1	13.	-8
14.	+1	14.	+1	14.	-2
15.	+1	15.	+1	15.	-9
16.	+1	16.	+1	16.	-9
17.	0	17.	+2	17.	-9
18.	0	18.	+1	18.	-10
19.	+1	19.	+1	19.	-10
20.	-6	20.	-1	20.	-11
avg.	1,25	avg.	1,00	avg.	4,00

X-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona -2,388 ja levyn pientä nostamista		alkuarvona -2,384 ja levyn nosto irti		alkuarvona - ja levyn kierto vastapäivään	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	0	1.	0	1.	+1
2.	-1	2.	-1	2.	+4
3.	0	3.	-2	3.	0
4.	-1	4.	-2	4.	0
5.	-1	5.	+1	5.	-2
6.	-1	6.	+2	6.	-2
7.	-1	7.	-1	7.	-2
8.	0	8.	-4	8.	-3
9.	-1	9.	+1	9.	+1
10.	-1	10.	-4	10.	0
11.	0	11.	-3	11.	0
12.	+4	12.	-4	12.	-2
13.	0	13.	-3	13.	0
14.	+4	14.	0	14.	+4
15.	+4	15.	-4	15.	0
16.	0	16.	-3	16.	0
17.	+5	17.	-3	17.	+2
18.	+2	18.	-1	18.	+4
19.	+6	19.	-1	19.	+1
20.	+4	20.	-1	20.	+8
avg.	1,80	avg.	2,05	avg.	1,80

X-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta					
alkuarvona - ja levyn kierto myötäpäivään		alkuarvona - ja levyn työntö mittalaitteesta poispäin		alkuarvona - ja levyn työntö mittalaitetta kohti	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	-2	1.	+1	1.	-4
2.	-6	2.	+1	2.	-3
3.	-4	3.	-2	3.	-3
4.	-1	4.	-3	4.	-5
5.	0	5.	-1	5.	-4
6.	+2	6.	-1	6.	-3
7.	+2	7.	-3	7.	-4
8.	+2	8.	0	8.	-3
9.	+2	9.	0	9.	-4
10.	+2	10.	+1	10.	-3
11.	+1	11.	+1	11.	-4
12.	0	12.	-1	12.	-1
13.	+3	13.	+1	13.	0
14.	+2	14.	0	14.	0
15.	+1	15.	+1	15.	-1
16.	-1	16.	+2	16.	-3
17.	-1	17.	+2	17.	-4
18.	-1	18.	+3	18.	0
19.	-2	19.	+2	19.	-3
20.	-1	20.	+2	20.	-1
avg.	1,80	avg.	1,40	avg.	2,65

Stark Speedy Classic I vinotestin tulokset

Y-akseli, mittalaite 50 mm levyn kulmasta			
alkuarvona -3,047 ja levy kallistettiin painamalla alas mittarin puolelta		alkuarvona -3,048 ja levy kallistettiin painamalla alas mittarin vastapuolelta	
mittaus nro.	heitto, μm (± 3)	mittaus nro.	heitto, μm (± 3)
1.	-20	1.	-3
2.	-1	2.	-2
3.	0	3.	-3
4.	-32	4.	-1
5.	0	5.	-4
6.	-2	6.	-4
7.	-2	7.	-7
8.	-28	8.	-7
9.	-2	9.	-4
10.	-26	10.	-11
11.	-2	11.	0
12.	-2	12.	-17
13.	-4	13.	-15
14.	-13	14.	-18
15.	-2	15.	-9
16.	-22	16.	-14
17.	-4	17.	-5
18.	-1	18.	-11
19.	-6	19.	-4
20.	-5	20.	-2
avg.	8,70	avg.	7,05

Nollapisteiden testimenetelmien haku ja kokeilu tulokset

X-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -5,103 mm		
mittaus nro.	heitto, μm	huomioitavaa
1.	0	järjestelmän toimivuuden testaus
2.	-2	levyn pientä nostamista
3.	-2	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
4.	-2	levyn työntö oikeaan yläkulmaan
5.	-2	levyn työntö oikeaan alakulmaan
6.	-2	levyn työntö vasempaan alakulmaan
7.	-1	levyn nosto irti
8.	-2	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
9.	-2	levyn työntö oikeaan yläkulmaan
10.	-2	levyn työntö oikeaan alakulmaan
11.	-1	levyn työntö vasempaan alakulmaan
12.	-2	levyn työntö vastapäivään
13.	-2	levyn työntö vastapäivään
14.	-3	levyn työntö vastapäivään
15.	-2	levyn työntö vastapäivään
16.	-3	levyn työntö myötäpäivään
17.	-3	levyn työntö myötäpäivään
18.	-3	levyn työntö myötäpäivään
19.	-3	levyn työntö myötäpäivään
20.	-3	levyn nosto irti

X-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -4,459 mm		
mittaus nro.	heitto, μm	huomioitavaa
1.	-2	levyn pientä nostamista
2.	-2	levyn pientä nostamista
3.	-2	levyn pientä nostamista
4.	-1	levyn pientä nostamista
5.	-1	levyn pientä nostamista
6.	-1	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
7.	-1	levyn työntö oikeaan yläkulmaan
8.	0	levyn työntö oikeaan alakulmaan
9.	0	levyn työntö vasempaan alakulmaan
10.	-1	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
11.	-1	levyn työntö oikeaan yläkulmaan
12.	-1	levyn työntö oikeaan alakulmaan
13.	0	levyn työntö vasempaan alakulmaan
14.	-1	levyn työntö vastapäivään
15.	-1	levyn työntö vastapäivään
16.	0	levyn työntö vastapäivään
17.	0	levyn työntö vastapäivään
18.	0	levyn työntö vastapäivään
19.	0	levyn työntö myötäpäivään
20.	+1	levyn työntö myötäpäivään
21.	+1	levyn työntö myötäpäivään
22.	+1	levyn työntö myötäpäivään
23.	+1	levyn työntö myötäpäivään
24.	+1	kiinnitys kun levy on hieman ilmassa
25.	+1	kiinnitys kun levy on hieman ilmassa
26.	+1	kiinnitys kun levy on hieman ilmassa
27.	0	kiinnitys kun levy on hieman ilmassa
28.	0	kiinnitys kun levy on hieman ilmassa

Mittalaite 45°:een kulmassa levyn kulmassa keskittävän tapin vastapuolella ja alkuarvona -11,611 mm		
mittaus nro.	heitto, µm	huomioitavaa
1.	0	levyn pientä nostamista
2.	0	levyn pientä nostamista
3.	0	levyn pientä nostamista
4.	0	levyn pientä nostamista
5.	0	levyn pientä nostamista

X-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -5,041 mm		
mittaus nro.	heitto, µm	huomioitavaa
1.	+2	levyn nosto irti ja kumivasara jarrutti kiinnitystä
2.	+2	levyn nosto irti ja kumivasara jarrutti kiinnitystä
3.	+2	levyn nosto irti ja kumivasara jarrutti kiinnitystä
4.	+9	levyn nosto irti ja kumivasara jarrutti kiinnitystä
5.	+8	levyn nosto irti ja kumivasara jarrutti kiinnitystä
6.	+4	levyn nosto irti ja kumivasara jarrutti kiinnitystä

Y-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -11,115 mm		
mittaus nro.	heitto, µm	huomioitavaa
1.	-1	levyn pientä nostamista
2.	-1	levyn pientä nostamista
3.	0	levyn pientä nostamista
4.	0	levyn pientä nostamista
5.	0	levyn pientä nostamista
6.	0	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
7.	0	levyn työntö oikeaan yläkulmaan
8.	0	levyn työntö oikeaan alakulmaan
9.	0	levyn työntö vasempaan alakulmaan
10.	+1	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
11.	0	levyn työntö oikeaan yläkulmaan
12.	+2	levyn työntö oikeaan alakulmaan
13.	0	levyn työntö vasempaan alakulmaan
14.	+1	levyn työntö vasempaan yläkulmaan
15.	+1	levyn työntö vastapäivään
16.	+1	levyn työntö vastapäivään
17.	+1	levyn työntö vastapäivään
18.	+1	levyn työntö vastapäivään
19.	+1	levyn työntö vastapäivään
20.	+2	levyn työntö myötäpäivään
21.	+2	levyn työntö myötäpäivään
22.	+2	levyn työntö myötäpäivään
23.	+2	levyn työntö myötäpäivään
24.	+2	levyn työntö myötäpäivään
25.	+1	levyn pientä nostamista
26.	0	levyn pientä nostamista
27.	+1	levyn pientä nostamista
28.	+2	levyn pientä nostamista
29.	+2	levyn pientä nostamista

X-akseli, mittalaite 60 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -5,571 mm		
mittaus nro.	heitto, µm	huomioitavaa
1.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
2.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
3.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
4.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
5.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
6.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
7.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
8.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
9.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
10.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
11.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
12.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
13.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
14.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
15.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
16.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
17.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
18.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
19.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
20.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vastapäivään
21.	0	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
22.	0	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
23.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
24.	0	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
25.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
26.	0	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
27.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
28.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
29.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
30.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
31.	0	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
32.	0	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
33.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
34.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
35.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
36.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
37.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
38.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
39.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
40.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö myötäpäivään
41.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
42.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
43.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
44.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
45.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
46.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
47.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
48.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
49.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
50.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
51.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
52.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
53.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti

54.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
55.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
56.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
57.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
58.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
59.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
60.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittaria kohti
61.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
62.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
63.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
64.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
65.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
66.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
67.	-2	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
68.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
69.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
70.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
71.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
72.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
73.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
74.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
75.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
76.	-3	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
77.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
78.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
79.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin
80.	-4	levyn pientä nostamista ja työntö mittarista poispäin

X-akseli, mittalaite 5 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -9,861 mm		
mittaus nro.	heitto, µm	huomioitavaa
1.	+1	työntö mittaria kohti
2.	+1	työntö mittaria kohti
3.	+1	työntö mittaria kohti
4.	+1	työntö mittaria kohti
5.	0	työntö mittaria kohti
6.	0	työntö mittaria kohti
7.	0	työntö mittaria kohti
8.	0	työntö mittaria kohti
9.	0	työntö mittaria kohti
10.	0	työntö mittaria kohti
11.	0	työntö mittaria kohti
12.	0	työntö mittaria kohti
13.	0	työntö mittaria kohti
14.	0	työntö mittaria kohti
15.	0	työntö mittaria kohti
16.	0	työntö mittaria kohti
17.	0	työntö mittaria kohti
18.	0	työntö mittaria kohti
19.	0	työntö mittaria kohti
20.	-1	työntö mittaria kohti
21.	0	työntö mittarista poispäin
22.	0	työntö mittarista poispäin
23.	0	työntö mittarista poispäin
24.	0	työntö mittarista poispäin
25.	0	työntö mittarista poispäin

26.	0	työntö mittarista poispäin
27.	0	työntö mittarista poispäin
28.	0	työntö mittarista poispäin
29.	0	työntö mittarista poispäin
30.	0	työntö mittarista poispäin
31.	0	työntö mittarista poispäin
32.	0	työntö mittarista poispäin
33.	0	työntö mittarista poispäin
34.	0	työntö mittarista poispäin
35.	0	työntö mittarista poispäin
36.	0	työntö mittarista poispäin
37.	0	työntö mittarista poispäin
38.	-1	työntö mittarista poispäin
39.	0	työntö mittarista poispäin
40.	0	työntö mittarista poispäin
41.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
42.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
43.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
44.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
45.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
46.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
47.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
48.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
49.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
50.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
51.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
52.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
53.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
54.	-1	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
55.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
56.	-1	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
57.	-2	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
58.	-1	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
59.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
60.	0	kierto vastapäivään ja sitten myötäpäivään
61.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
62.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
63.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
64.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
65.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
66.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
67.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
68.	-1	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
69.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
70.	-1	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
71.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
72.	-1	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
73.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
74.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
75.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
76.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
77.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
78.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
79.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin
80.	-2	työntö mittaria kohti ja sitten mittarista poispäin

X-akseli, mittalaite 5 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -9,863 mm		
mittaus nro.	heitto, μm	huomioitavaa
1.	+2	levyn nosto irti
2.	+2	levyn nosto irti
3.	+2	levyn nosto irti
4.	+2	levyn nosto irti
5.	+1	levyn nosto irti
6.	+1	levyn nosto irti
7.	+1	levyn nosto irti
8.	+1	levyn nosto irti
9.	+1	levyn nosto irti
10.	+1	levyn nosto irti
11.	+1	levyn nosto irti
12.	0	levyn nosto irti
13.	0	levyn nosto irti
14.	+1	levyn nosto irti
15.	+2	levyn nosto irti
16.	0	levyn nosto irti
17.	+1	levyn nosto irti
18.	0	levyn nosto irti
19.	+1	levyn nosto irti
20.	0	levyn nosto irti

X-akseli, mittalaite 0,5 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -9,863 mm		
mittaus nro.	heitto, μm	huomioitavaa
1.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
2.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
3.	+2	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
4.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
5.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
6.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
7.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
8.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
9.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
10.	-1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan yläkulmaan
11.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
12.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
13.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
14.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
15.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
16.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
17.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
18.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
19.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan
20.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan yläkulmaan

X-akseli, mittalaite 0,5 mm levyn kulmasta ja alkuarvona -9,862 mm		
mittaus nro.	heitto, µm	huomioitavaa
1.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
2.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
3.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
4.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
5.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
6.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
7.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
8.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
9.	0	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
10.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö oikeaan alakulmaan
11.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
12.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
13.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
14.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
15.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
16.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
17.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
18.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
19.	+1	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan
20.	0	levyn pientä nostamista ja työntö vasempaan alakulmaan