

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

VALUKAPPALEEN KONEISTUKSEN OPTIMOINTI

THE OPTIMIZATION OF A CASTED PRODUCT'S MANUFACTURING PROCESS

Lappeenrannassa 19.6.2011

Teemu Sairanen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
1.1 Työn tavoitteet	6
1.2 Työn rakenne	6
2 TEORIA	8
2.1 Pallografiittirauta, GJS	8
2.2 Monitoimisorvi Doosan Puma MX2500 LST	9
2.3 Kiinnityksen suunnittelu	11
2.3.1 Kappaleen paikoitus	11
2.3.2 Kiinnityksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita	12
2.4 Lastuaminen	14
2.4.1 Ominaislastuamisvoima	14
2.4.2 Keskimääräinen lastunpaksuus	14
2.4.3 Nettoteho	15
2.4.4 Porauksen ja jyrsinän vääntömomentti	16
2.4.5 Porauksen syöttövoima	16
2.5 Optimilastuamisarvojen määrittäminen ja kustannukset	17
3 VALMISTUSPROSESSIN TARKASTELU JA KEHITTÄMINEN	20
3.1 Kappaleen nykyinen valmistus	20
3.2 Havaitut ongelmat	20
3.3 Kehitysehdotukset	21
3.4 Kiinnitys	21
3.4.1 Käytössä oleva kiinnitin	22
3.4.2 Uudet kiinnittimet	22
3.5 Kappaleen käsittely	25
3.6 Työkalut ja lastuamisarvot	27
3.7 Lastuamisvoimat ja tehon tarve	27
4 KUSTANNUKSET JA VALMISTUSAIKA	30
4.1 Kustannukset	30
4.2 Valmistusaika	31
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	33
5.1 Tulosten arviointi	33
5.2 Jatkokehitysehdotukset	35
LÄHTEET	37
LIITTEET	

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

a_e	Lastuamisleveys [mm]
a_p	Lastuamissyvyys [mm]
D_c	Jyrsimen halkaisija [mm]
F_f	Syöttövoima [N]
f_n	Kierroskohtainen syöttö [mm/kierr.]
f_z	Teräkohtainen syöttö [mm/terä]
h_m	keskimääräinen lastunpaksuus [mm]
k_c	Ominaislastuamisvoima [N/mm ²]
k_{cI}	Ominaislastuamisvoima (1 mm ² lastulle) [N/mm ²]
K_E	Koneen vuotuiset energiakustannukset [€]
K_H	Koneen vuotuiset huoltokustannukset [€]
K_K	Koneen sitoman pääoman korko [€]
K_{kok}	Kokonaiskustannukset [€]
K_L	Koneen vuotuiset muut kustannukset [€]
K_M	Konekustannukset [€]
K_P	Koneen poisto [€]
K_R	Koneen vuotuiset vuokratkustannukset [€]
K_T	Koneen vuotuiset käyttökustannukset [€]
K_W	Työkalukustannus [€]
K_Y	Yleiskustannukset [€]
m_c	Päälastuamisvoiman muutoskerroin
v_c	Lastuamisnopeus [m/min]
M	Konetuntihinta [€/h]
M_c	Vääntö [Nm]
n	Karanopeus [kierr./min]
n_s	Terien lukumäärä [kpl]
n_p	Särmien lukumäärä / terä [kpl]
P_c	Nettoteho [kW]

P_T	Työntekijän vuosipalkka [€]
q	Kerroin q
t_V	Vuotuinen tehollinen käyttöaika [h]
t_v	Työkaluvaihdon kesto [h]
v_c	Lastuamisnopeus [m/min]
v_f	Minuuttikohtainen syöttö [mm/min]
V	Lastuttava ainetilavuus [dm ³]
V'	Lastuvirta [dm ³ /min]
V_K	Kestovolyymi [dm ³]
W	Teränvaihtokustannus [€]
W_h	Terävarren hankintakustannus [€]
W_P	Teräpalan hankintahinta [€]
z_c	Tehollisten terien lukumäärä
z_n	Terien kokonaislukumäärä
α	Kulma [°]
γ_0	Rintakulma [°]
κ_r	Asetuskulma [°]
FMS	Joustava valmistusjärjestelmä, FM-järjestelmä (Flexible Manufacturing System)

1 JOHDANTO

Tämä kandidaatintyö käsittelee valukappaleen koneistusta. Työssä on tarkkailtu erään valetun kappaleen koneistusprosessia ja pyritty parantamaan sitä mahdollisuuksien mukaan. Koneistuksessa työstökone, lastuavat työkalut, kiinnitin ja työkalu ovat kaikki ratkaisevassa asemassa koneistuksen onnistumisen kannalta. Valukappaleita koneistettaessa etenkin kiinnitys saattaa olla haastavaa, koska valetussa aihiossa ei aina ole sopivia pintoja kappaleen kohdistukseen ja tartuntaan. Kiinnittimien parannuksilla onkin tässä työssä saavutettu suurimmat edut.

Imatran Työstöasennus Oy valmistaa asiakkaalleen valetuista aihioista koneistettavia koneenosia. Osia valmistetaan kolmea eri kokoa ja niitä käytetään asiakkaan kolmeosaisen tuoteperheen tuotteisiin. Osista pienin on kooltaan 220 mm * 170 mm * 80 mm ja se voidaan koneistaa yhdellä koneella alusta loppuun. Toiseksi suurin osa on kooltaan 240 mm * 200 mm * 130 mm, sekä suurin 255 mm * 205 mm * 130 mm. Näiden osien koneistuksessa joudutaan käyttämään kahta eri konetta. Tässä työssä on käsitelty tuoteperheen suurinta osaa, mutta työssä esitettyjä ratkaisuja voidaan soveltaa toiseksi suurimmankin osan valmistukseen. Yhteensä kaikkia osia on tarkoitus valmistaa 3000 kappaletta vuodessa. Yksi tuoteperheen tuotteista on jo markkinoilla ja muita lanseerataan. 3000 kappaleen tuotantovauhti on suunniteltu saavutettavaksi vuoden 2012 aikana.

Koneistettavan kappaleen aihio on valettu EN-GJS-500-7 pallografiittiraudasta. Aihion työstäminen aloitetaan poistamalla valussa jakopinnalle jäänyt purse kulmahiomakoneella. Tämän jälkeen aihio tuodaan koneistettavaksi Doosan Puma MX2500 LST monitoimisorville. Monitoimisorvilla suoritettujen koneistuksien jälkeen tuote koneistetaan loppuun Fastems MLS-MD FM-järjestelmään liitetyllä Doosan ACE-HM630 koneistuskeskuksella. Aihioon koneistetaan valmistusprosessin aikana tasopintoja, sorvataan muotoja sekä porataan 24 reikää, jotka sisältävät kierteitä ja uria.

Ongelmana tuotteen nykyisessä valmistusprosessissa on sen sisältämät useat työvaiheet. Nykyiseen valmistusprosessiin sisältyy käsityötä, välivarastointia sekä koneistusta

kahdella eri koneella. Nämä useat työvaiheet aiheuttavat ylimääräisiä kustannuksia, hukkaavat aikaa sekä vaikeuttavat erän valmistumisen seuraamista. Olisi tehokkaampaa ja yksinkertaisempaa valmistaa tuote alusta loppuun yhdellä koneella.

Salassapitosyistä työssä ei voida mainita asiakkaan nimeä taikka koneenosan käyttökohdetta. Myöskään tarkkoja piirustuksia kappaleesta ei voida esittää. Kappaleesta esitetään kuitenkin havainnollistavia kuvia, joissa alkuperäisiä muotoja on pelkistetty. Esimerkiksi kappaleen kiinnittäminen ei siis ole todellisuudessa niin yksinkertaista kuin tuotekuvasta saattaisi olettaa.

1.1 Työn tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on lyhentää tuotteen valmistusaikaa ja alentaa valmistuksen aiheuttamia kustannuksia. Työ on rajattu käsittelemään pelkästään valmistuksen suunnittelua, tuotesuunnitteluun ei ole puututtu. Valmiin tuotteen tulisi olla alkuperäisten piirustusten mukainen valmistusprosessin muutosten jälkeenkin. Tässä työssä ei myöskään ole käsitelty valmistusprosessiin liittyviä asioita, jotka eivät ole oleellisia lopputuloksen paranemisen kannalta.

1.2 Työn rakenne

Tämän työn teoriaosuudessa keskitytään tarkastelemaan valmistuksen tehokkuuden ja sen onnistumisen kannalta oleellisia asioita. Tarkastelun kohteena ovat materiaali, kone, kiinnittimet, lastuamisen koneelle asettamat vaatimukset sekä koneistuksen kustannukset.

Kolmannessa luvussa tutustutaan tuotteen nykyiseen valmistusprosessiin sekä ratkaisuihin, millä tuotteen valmistusprosessia voitaisiin parantaa. Luvussa esitellään monitoimisorvilla nykyisin käytetty kiinnitin, sekä monitoimisorville suunnitellut uudet kiinnittimet. Lisäksi luvussa käsitellään kappaleenkäsittelyyn liittyviä parannuksia, työkaluvalintoja sekä lastuamisvoimia ja tehontarvetta.

Luku neljä käsittelee kustannuksia ja valmistusaikaa. Muutoksia kustannuksiin on perusteltu teoriaosuuden kustannustenlasku kaavoilla. Valmistusajan muutoksia on arvioitu vertailemalla nykyisten sekä uusien valmistusvaiheiden kestoja.

Luvussa viisi on käyty läpi tässä työssä saatuja tuloksia ja kerrattu vielä nykyiseen valmistukseen liittyviä ongelmia. Luvun tulosten arviointi osiossa on arvioitu saatuja tuloksia sekä mahdollisia ongelmia liittyen parannusten toteutukseen. Jatkokehitysehdotukset osiossa on esitetty ratkaisuja näihin parannusten toteutukseen liittyviin ongelmiin. Osiossa on myös annettu kehitysehdotuksia koskien valmistuspiirustuksia sekä tuotetta suunnittelevan ja tuotetta valmistavan yrityksen yhteistyötä.

2 TEORIA

2.1 Pallografiittirauta, GJS

Pallografiittiraudassa grafiitti esiintyy satunnaisesti jakautuneina pallomaisina partikkeleina raudan matriisissa. Tämä rakenne on mekaanisten ominaisuuksien kannalta huomattavasti edullisempi kuin suomu- tai tylppägrafiitti. Pallografiittirautojen mekaaniset ominaisuudet ovat rakenne- ja koneterästen luokkaa ja ylikin (Meskanen & Niini). Standardilaatujen vetolujuus vaihtelee 340 ja 800 MPa välillä. Matriisin mikrorakenne muuttuu lujuuden kasvaessa ferriittisestä ferriittis-perliittiseen ja perliittiseen. Lujimpiin laatuihin voidaan päästä myös karkaisemalla ja nuorruttamalla (Vuorinen 1996 s. 68; Karhula 2009).

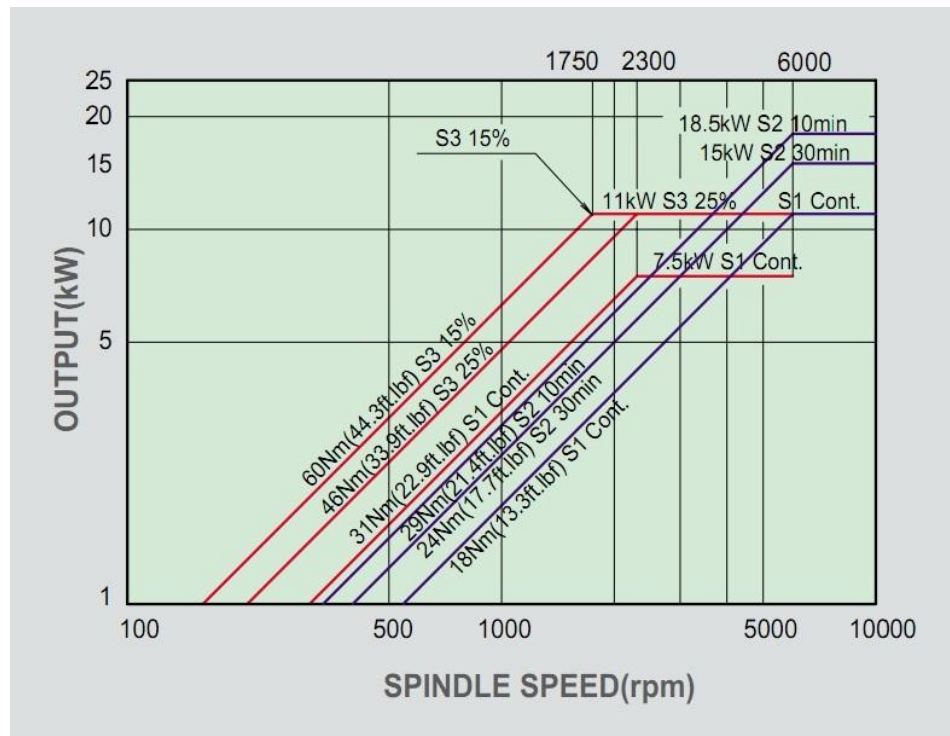
Pallografiittirautojen lastuttavuus on yleensä ottaen hyvä. Materiaalin suuremman lujuuden takia työstö edellyttää kuitenkin suurempaa työstövoimaa ja tehontarvetta kuin suomugrafiittiraudan työstäminen. Teräksiin verrattuna GJS:n työstettävyyks on parempi (Meskanen, S & Niini, E). Pehmeillä, suuremman ferriittipitoisuuden omaavilla lajeilla on voimakas taipumus irtosärmänmuodostukseen. Näiden lajien koneistuksessa ja hakkaavassa lastuamisessa hallitseva terän kulumismekanismi on usein adheesio, mikä voi aiheuttaa pinnoitteen hilseilyongelmia. Enemmän perliittiä sisältävillä lajeilla todennäköisempi kulumismekanismi on abrasiivinen kuluminen ja/tai plastinen muodonmuutos. Abrasiivista kulumista voidaan estää käyttämällä teräpalassa kovaa kovametalliperusainetta sekä paksua alumiinioksidipinnoitetta. Valurautojen koneistuksessa käytetään usein negatiivisia teriä, koska niiden lujalla särmällä saadaan prosessiin varmuutta. (Sandvik Coromant).

2.2 Monitoimisorvi Doosan Puma MX2500 LST

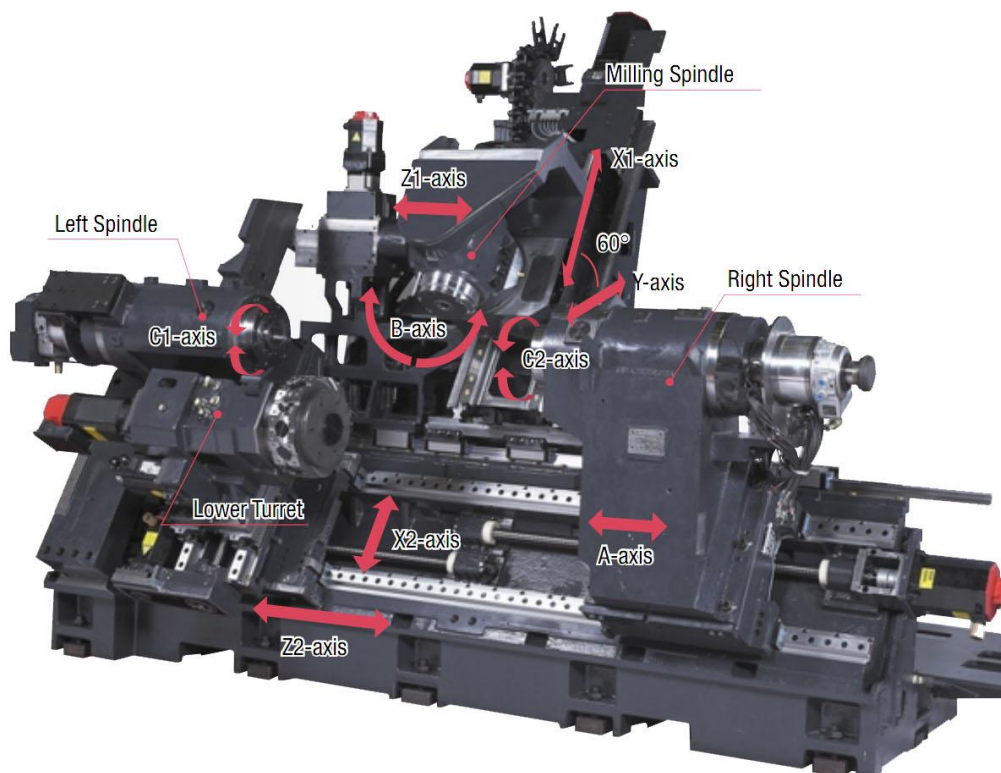
Doosan Puma MX2500 LST monitoimisorvissa on kaksi jyrsinkaraa ja kaksi sorvinkaraa, jotka voivat toimia yhtä aikaa. Taulukossa 1 on esitelty koneen tärkeimmät ominaisuudet. Annetut arvot ovat maksimiarvoja. Jyrsinkarojen tehoarvoista tulisi huomata, ettei maksimi tehoa saavuteta kaikilla kierrosluvuilla. Ylemmän jyrsinkaran teho- ja vääntökäyrä on esitetty kuvassa 1. Akseleiden suunnat sekä karojen sijainnit nimineen ovat esitetty kuvassa 2.

Taulukko 1. Doosan Puma MX2500 LST:n ominaisuudet. (Doosan Puma MX2500 LST esite)

PUMA MX2500		
Ominaisuus	Yksikkö	LST
X1/2-akselin liike	mm	555/185
Y-akselin liike	mm	160(±80)
Z1/2-akselin liike	mm	1595/1640
A-akselin liike	mm	1565
C1- ja C2-karan nopeus	rpm	3500
C1- ja C2-karan jarruvoima	Nm	1103
C1- ja C2-karan teho (30 min)	kW	26
Ylemmän jyrsinkaran nopeus	rpm	10000
Ylemmän jyrsinkaran teho (10 min)	kW	18,5
Ylemmän jyrsinkaran teho (30 min)	kW	15
Alemman jyrsinkaran nopeus	rpm	4000
Alemman jyrsinkaran teho (15 min)	kW	5,5
Työkalupaikkoja vaihtajassa	kpl	80
Työkalupaikkoja alemmalla jyrsinkaralla	kpl	12
Työkalun vaihtoaika	s	1,5



Kuva 1. Ylemmän jrsinkaran teho-vääntö käyrä. Suomennokset: Output = lähtöteho, spindle speed = pyörimisnopeus (Doosan Puma MX2500 LST esite)



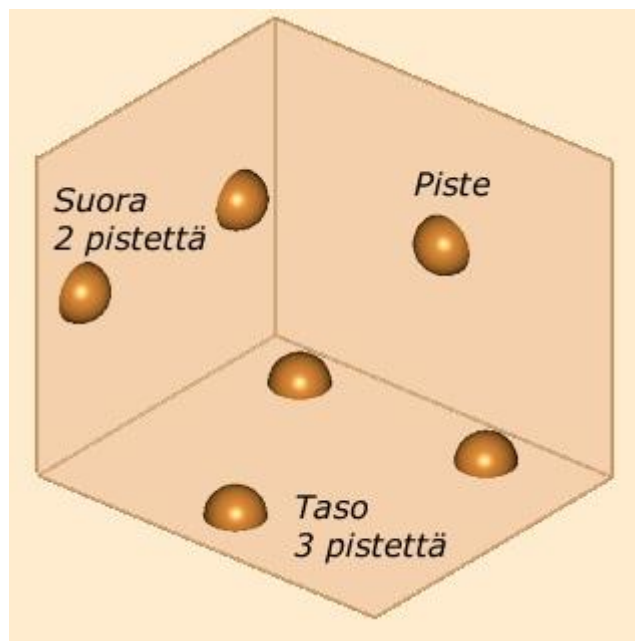
Kuva 2. Doosan Puma MX2500 LST monitoimisorvi ja sen liike- ja pyörimisakselit nimineen. Suomennokset: Milling spindle = jrsinkara, left spindle = vasen kara, right spindle = oikea kara, lower turret = ala revolveri, axis = akseli. (Doosan Puma MX2500 LST esite)

2.3 Kiinnityksen suunnittelu

Kappaleen kiinnitys on koneistuksen onnistumisen kannalta hyvin tärkeässä roolissa. Koneistettava kappale on aina pystyttävä paikoittamaan tarkasti ja kiinnittämään tukevasti. Tässä työssä käsitellään kiinnityksen suunnittelua lähinnä valetun kappaleen kiinnityksen kannalta. Valettu kappale vaatii usein erikoiskiinnittimen, koska sitä ei muotonsa vuoksi voida kiinnittää yleiskiinnittimeen.

2.3.1 Kappaleen paikoitus

Kappaleen paikoitus aloitetaan asettamalla kappale kolmen pisteen muodostamalle tasolle. Tällöin kappale voi liikkua enää vain yhtä tasoa pitkin ja pyöriä vain yhden akselin suuntaisesti. Kiertymisliike tämän jäljellejäävän akselin suhteen lukitaan kahden pisteen muodostaman suoran avulla, sekä tasoliike vielä yhden pisteen avulla. (Valukappaleet koneistuksen kannalta, ASM 1989 s. 405) Kuvassa 3 on esitetty tällaisen paikoituksen periaatetta.



Kuva 3. Tason, suoran ja pisteen avulla paikoitus (Valukappaleet koneistuksen kannalta)

2.3.2 Kiinnityksen suunnittelussa huomioon otettavia asioita

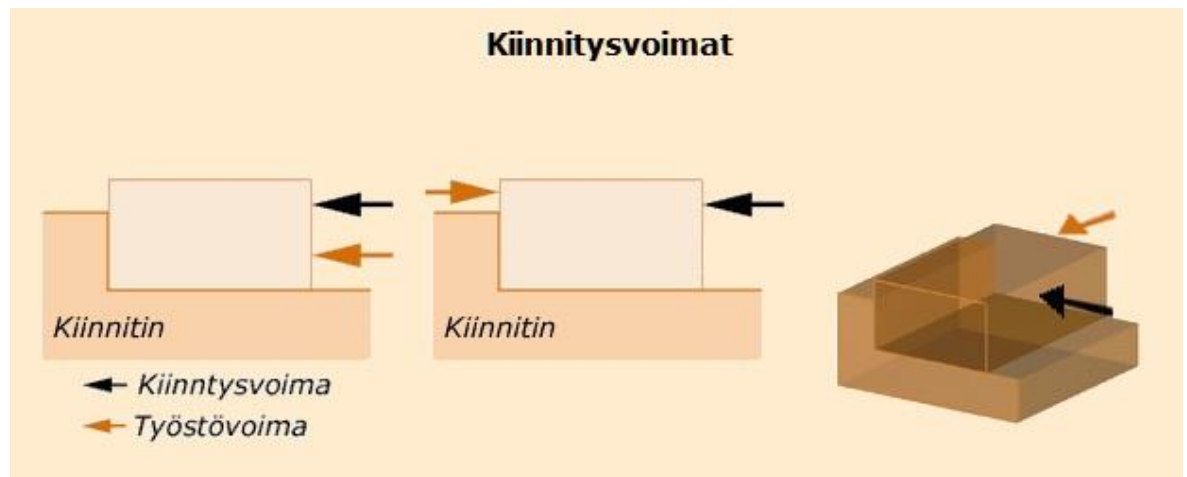
Valetuissa kappaleissa on usein paljon sellaisia kohtia, jotka eivät voi toimia kiinnityspintoina tai jotka ovat epätarkkoja. Tällaisia kohtia ovat mm. koneistettavat alueet, joilla kiinnitin olisi koneistuksen tiellä, sekä jakopinnat, kupujen ja kanavien poistokohdat yms. alueet joilla esiintyy epätarkkuutta. Kiinnitin ei saa haitata lastunpoistoa, eikä kiinnittimeen saisi koneistuksen aikana kerääntyä niin suurta määrää lastuja, että se haittaa koneistusta ja aiheuttaa koneen pysäyttämisen. Lastut eivät myöskään saa jäädä kiinnittimen koloihin, jolloin ne haittaavat kappaleen vaihtoa ja voivat aiheuttaa virhettä paikoituksessa. Lastut pitäisi voida poistaa helposti imurilla, lastuamisnesteellä tai puhaltamalla. (Valukappaleet koneistuksen kannalta, ASM 1989 s. 404)

Kappale pitäisi myös pystyä koneistamaan yhdellä kiinnityksellä. Kappaleen irrottaminen ja uudelleen kiinnittäminen voi viedä pitkänkin ajan, varsinkin jos kiinnitin on hidaskäyttöinen ja se pitää puhdistaa jokaisen irrotuksen yhteydessä. Kiinnityksen pitäisi olla mahdollisimman helppoa ja nopeaa, joka puolestaan säästää aikaa ja alentaa kustannuksia. Suunnitteluvaiheessa kannattaa myös miettiä, voidaanko kappaleen kiinnitys automatisoida, vai pitääkö kiinnitys suorittaa käsin. Automaattisen kiinnityksen luotettavuudessa korostuu etenkin lastujen poistuminen kiinnittimestä ja valukappaleen mittatarkkuus. Automaattisen kiinnityksen yhteydessä olisi hyvä käyttää automaattista laadunvalvontaa mm. kappaleen oikean paikoituksen varmistamiseksi. Myös energian tuonti pitää pystyä ratkaisemaan, käytetäänkö kiinnittimen toimintaan paineilmaa vai hydraulikkaa. (Valukappaleet koneistuksen kannalta, ASM 1989 s. 404)

Koneistuksen työstövoimat täytyy tuntea ja osata laskea. Kappaletta ei saa lukita kiinnittimeen niin tiukasti, että kiinnittimeen tai kappaleeseen syntyy muodonmuutoksia. Useita kiinnityskohtia käytettäessä, kiinnitysten vaikutussuuntien tulisi olla samat. Yhtä aikaa vaikuttavat kiinnitysvoimat eivät milloinkaan saa olla vastakkaiset. Kiinnitysvoimien vaikutussuuntien tulisi olla samansuuntaiset työstövoimien kanssa sekä kohdistua kiinteään tukeen. Jos voimat ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan, kiinnityskyky riippuu kappaleen ja kiinnittimen välisestä kitkasta. Tällöin tarvittava kiinnitysvoima on lähes viisinkertainen työstövoimaan nähden (kuva 4). Myös lämpötilan muutosten vaikutukset on tunnettava. Turvallisuuden kannalta

kappale on pystyttävä kiinnittämään niin tiukasti, että se pysyy kiinni kiinnittimessä, tapahtui mitä tahansa. Irronnut kappale voi aiheuttaa suurtakin vahinkoa. (Valukappaleet koneistuksen kannalta, ASM 1989 s. 405)

Jäykissä kiinnityksissä apuna voidaan käyttää kiiloja, kartioita ruuveja, muttereita yms. Mukautuvassa kiinnityksessä paineilmaa, hydraulikkaa, magneettia, jousia yms. (Valukappaleet koneistuksen kannalta) Jos tuotantomäärät ovat suuria, kannattaa käyttää automaattista kiinnitintä. Automaattikiinnittimet voivat toimia mekaanisesti, hydraulisesti, pneumaattisesti, sähköisesti tai magneettisesti. (Ostwald, Phillip F. & Muñoz, Jairo. 1997 s. 132-133)



Kuva 4. Kiinnitysvoimat. Vasemmalla paras tapaus. Oikealla huonoin tapaus, jossa voimat ovat kohtisuorassa toisiinsa nähden. (Valukappaleet koneistuksen kannalta)

2.4 Lastuaminen

Tämä luku käsittelee jyrinnän sekä porauksen tehon ja väännön tarvetta, sekä niihin vaikuttavia parametreja. Porauksen syöttövoima on myös käsitelty tässä luvussa.

2.4.1 Ominaislastuamisvoima

Ominaislastuamisvoimaa k_{c1} käytetään konetehon, vääntömomentin ja lastuamisvoimien laskemiseen. Se kuvaa 1 mm² kokoisen lastun poistamiseen tarvittavaa voimaa ja se määritetään materiaalille kokeellisesti. Jyrinnän tarkka ominaislastuamisvoima k_c voidaan laskea yhtälöllä 1 ja porauksen ominaislastuamisvoima yhtälöllä 2.

$$k_c = k_{c1} * h_m^{-m_c} * \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (1)$$

Yhtälössä 1 k_c on jyrinnän ominaislastuamisvoima, h_m on keskilastunpaksuus, m_c on päälastuamisvoiman muutoskerroin ja γ_0 on rintakulma. Jos rintakulmaa ei tiedetä, käytetään arvoa $\gamma_0 = 0^\circ$. Muut arvot ovat edellisessä kappaleessa kerrotun mukaiset. (Sandvik Coromant)

$$k_c = k_{c1} * (f_z * \sin\kappa_r)^{-m_c} * \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (2)$$

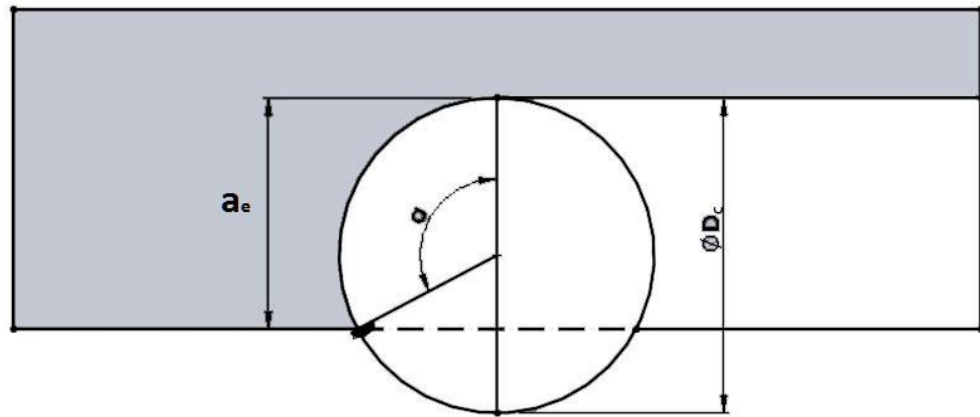
Yhtälössä 2 k_c on porauksen ominaislastuamisvoima, f_z on syöttö/teräsärmä, κ_r on asetuskulma, m_c on päälastuamisvoiman muutoskerroin ja γ_0 on rintakulma. Muut arvot ovat edellisessä kappaleessa kerrotun mukaiset. (Sandvik Coromant)

2.4.2 Keskimääräinen lastunpaksuus

Jyrinnän ominaislastuamisvoiman laskemiseen tarvitaan keskimääräisen lastunpaksuuden arvoa h_m . Arvo kuvaa lastun keskimääräistä paksuutta. Tasojyrinnän keskimääräinen lastunpaksuus voidaan laskea yhtälöllä 3. Kuvassa 5 on esitetty yhtälössä käytettävät parametrit.

$$h_m = \sin\kappa_r * f_z * \frac{a_e}{\frac{\alpha}{360} * \pi * D_c} \quad (3)$$

Yhtälössä 3 κ_r on asetuskulma, f_z on syöttö per hammas, a_e on lastuamisleveys, α on kulma asteina ja D_c on jyrsimen halkaisija. (Aaltonen 1997, s. 22)



Kuva 5. Keskilastunpaksuus tasojyrsinnässä. Kuvassa a_e on lastuamisleveys, α on kulma asteina ja D_c on jyrsimen halkaisija.

2.4.3 Nettoteho

Nettoteho P_c [kW] kuvaa lastuamisen koneelta vaatimaa tehoa. Sen avulla voidaan tarkastella koneen tehon riittävyttä. Tarkastelussa tulisi ottaa myös huomioon hyötysuhde, joka on yleensä noin 85 %. Hyötysuhde otetaan huomioon jakamalla nettoteho P_c hyötysuhteella, esim. $P_c/0.85$. Todellinen tehon tarve on siis suurempi kuin nettoteho. Jyrsinnan nettoteho voidaan laskea yhtälöllä 4 ja porauksen nettoteho yhtälöllä 5.

$$P_c = \frac{a_p * a_e * v_f * k_c}{60 * 10^6} \quad (4)$$

Yhtälössä 4 a_p on lastuamissyvyys, a_e on lastuamisleveys, v_f on pöytäsyöttö ja k_c on ominaislastuamisvoima. (Sandvik Coromant)

$$P_c = \frac{f_n * v_c * D_c * k_c}{240 * 10^3} \quad (5)$$

Yhtälössä 5 f_n on syöttö/kierros, v_c on lastuamisnopeus, D_c poran halkaisija ja k_c on ominaislastuamisvoima. (Sandvik Coromant)

2.4.4 Porauksen ja jyrsinnän vääntömomentti

Riittävän tehon tarkastelun lisäksi tulisi lastuamisarvoja valitessa tarkastella myös tarvittavaa vääntömomenttia M_c [Nm]. Vääntömomentti voidaan laskea sekä porauksen että jyrsinnän tapauksessa yhtälöllä 6

$$M_c = \frac{P_c * 30 * 10^3}{\pi * n}, \quad (6)$$

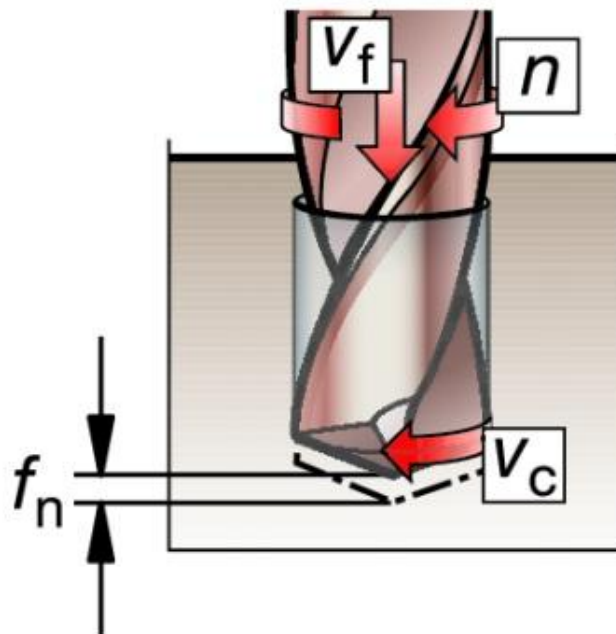
missä P_c on tarvittava teho ja n on karanopeus. (Sandvik Coromant)

2.4.5 Porauksen syöttövoima

Syöttövoima kuvaa voiman suuruutta, jolla poraa painetaan kappaleeseen. Syöttövoima on kuvassa 6 esitetyn syöttönopeuden v_f suuntainen. Sen suuruus voidaan laskea yhtälöllä 7

$$F_f \approx 0,5 * k_c * \frac{D_c}{2} * f_n * \sin \kappa_r, \quad (7)$$

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

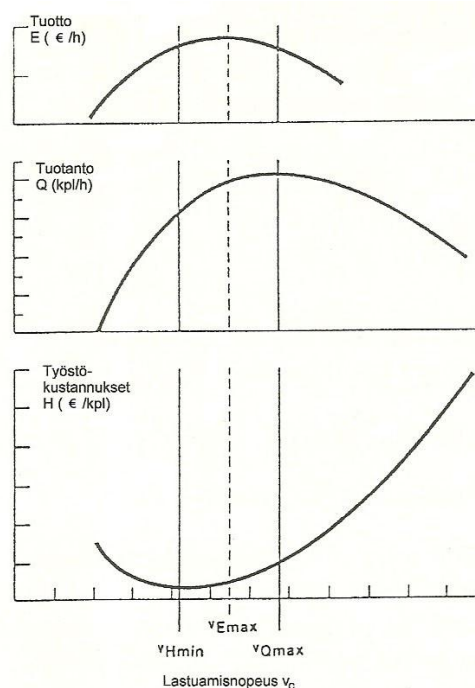


Kuva 6. Porauksen syöttö. (Sandvik Coromant)

2.5 Optimilastuamisarvojen määrittäminen ja kustannukset

Lastuamisarvojen määrittämiseen vaikuttavat olennaisesti optimoinnin tavoitteet. Rouhinnassa vaihtoehtoisia tavoitteita voi olla kolme: työstökustannusten minimointi, työstöajan minimointi tai tuoton maksimointi. Viimeistelyn tavoitteet liittyvät pinnankarheuksien ja toleranssien saavuttamiseen edullisilla kustannuksilla. Työstötalouteen vaikuttavat kaikki lastuvirran tekijät, mutta tavanomaisesti työstöarvojen optimoinnissa keskitytään lastuamisnopeuden määräämiseen. (Andersson 1997, s.162)

Minimityöstökustannuksilla tarkoitetaan pienimpiä mahdollisia kustannuksia tuoteyksikköä kohden [€/kpl]. Tämä saavutetaan lastuamisnopeudella v_{Hmin} . Maksimituotannolla tarkoitetaan suurinta mahdollista tuotantomäärää aikayksikköä kohden [kpl/h]. Tämä saavutetaan nopeudella v_{Qmax} . Maksimituotolla tarkoitetaan suurinta mahdollista katetta valmistuskustannusten osalta aikayksikköä kohden [€/h]. Tämä saavutetaan lastuamisnopeudella v_{Emax} . (Andersson 1997, s.163) Kuvassa 7 on esitetty em. käsitteet lastuamisnopeuden funktiona. Kuvasta nähdään, että minimityöstökustannukset saavutetaan hitaimmalla lastuamisnopeudella, maksimituotto toisiksi hitaimmalla ja maksimituotanto nopeimmalla lastuamisnopeudella.



Kuva 7. Tuotto, tuotanto ja työstökustannukset lastuamisnopeuden funktiona (Andersson 1997, s.163).

Työstökustannukset koostuvat kone-, työkalu- ja yleiskustannuksista. Optimointi tehdään tavallisesti lastuamisnopeuden suhteen. Lastuamisnopeutta voidaan usein vaihdella hyvin laajojen rajojen sisällä. (Andersson 1997, s.162)

Lastuamisen tehokkuuteen ja taloudellisuuteen vaikuttavat myös muut lastuamisparametrit, kuten lastuvirta ja volyyymi. Tarkasteltavat kustannuslajit ovat Konekustannukset K_M jotka koostuvat koneen ja sen oheislaitteiden pääoma- ja käyttökustannuksista. Konekustannukset lasketaan yhtälöllä 8

$$K_M = \frac{V}{V'} * M , \quad (8)$$

missä V on lastuttava ainetilavuus, V' on lastuvirta käytetyillä työstöarvoilla ja M on konetuntihinta. (Andersson 1997, s.163)

Konetuntihinta voidaan laskea yhtälöllä 9

$$M = \frac{K_T}{t_V}, \quad (9)$$

missä K_T on koneen vuotuiset käyttökustannukset ja t_V on vuotuinen tehollinen käyttöaika. (Andersson 1997, s.164)

Koneen vuotuiset käyttökustannukset lasketaan yhtälöllä 10

$$K_T = K_P + K_K + P_T + K_H + K_E + K_R + K_L, \quad (10)$$

missä K_P on koneen poisto, K_K on koneen sitoman pääoman korko, P_T on työntekijän vuosipalkka sivukustannuksineen, K_H on koneen vuotuiset huoltokustannukset, K_E on koneen vuotuiset energiakustannukset, K_R on koneen vuotuiset vuokratkustannukset ja K_L on vuotuiset muut kustannukset. (Andersson 1997, s.164)

Työkalukustannus K_w koostuu terän ja pitimen hankintahinnasta tai työkalun teroituskustannuksista ja osuudesta työkalunhankintahinnasta. Työkalukustannus lasketaan yhtälöllä 11

$$K_w = \frac{V}{V_K} * W, \quad (11)$$

missä V on lastuttava ainetilavuus, V_K on kestovolyymi – ainetilavuus, joka yhdellä särmällä on lastuttavissa, kun lastuvirta on V' , W on teräkustannus särmää kohti, joka voidaan laskea yhtälöllä 12 (Andersson 1997, s.164)

$$W = \frac{W_h}{n_{sp}} + \frac{W_p}{n_p} + q(t_v * M), \quad (12)$$

missä W_h on uuden terävarren hankintahinta varusteineen, W_p on teräpalan hankintahinta, n_p on käytettävien särmien lukumäärä yhdessä terässä, n_s on yhdellä terävarrella lastuttavien terien lukumäärä varren elinaikana, n_{sp} on $n_s * n_p$, q kertoimella otetaan huomioon, ettei kääntöterän kaikkia särmiä voida käyttää, koska osa vioittuu ilman lastuamista, $q=0,6\dots0,95$, t_v on työstökoneen pääaikana tapahtuva työkalunvaihdon kesto ja M on konetuntihinta. (Andersson 1997, s.165)

Yleiskustannukset K_Y ovat edellisistä riippumattomia tuotantoedellytysten olemassaolosta johtuvia kustannuksia, sisältäen mm. kiinnittimet ja vaihto-omaisuuden.

Kokonaiskustannukset muodostuvat seuraavasti (Andersson 1997, s.165)

$$K_{kok} = K_M + K_w + K_Y \quad (13)$$

3 VALMISTUSPROSESSIN TARKASTELU JA KEHITTÄMINEN

3.1 Kappaleen nykyinen valmistus

Nykyisin tässä työssä käsitellyn valetun aihion työstäminen aloitetaan poistamalla valusta jakopinnan kohdalle jäänyt jakopintapurse kulmahiomakoneella. Tämän jälkeen aihiot tuodaan sivun 10 kuvan 2 Doosan Puma MX2500 LST monitoimisorville. Sorvin C1–karalla työstetään aihioon sen alapuoliset muodot ja kanavat, jonka jälkeen sorvi vaihtaa kappaleen C2–karalle jossa työstetään osa kappaleen päällä olevista muodoista ja kanavista.

Työkierto sorvilla aloitetaan poistamalla käsin sorvin C2–karalta edellisellä työkierrolla valmistunut kappale. Tämän jälkeen sorvi vaihtaa puolivalmiin kappaleen automaattisesti C1–karalta C2–karalle. Uusi aihio asetetaan vapautuneeseen sorvin C1–karassa olevaan kiinnittimeen robotilla. Tämän jälkeen sorvi työstää kappaleen pohjan puolella olevat muodot ja kanavat.

Kappaleet työstetään loppuun Doosan ACE-HM630 koneistuskeskuksella, joka on liitetty Fastems MLS-MD FM–järjestelmään. Sorvilta tulleet kappaleet kiinnitetään FM–järjestelmän palettiin ja hyllystöhissi siirtää paletin varastoon ja sieltä koneistuskeskukselle, keskuksen vapauduttua. Tuotetta varten on tehty yksi paletti, johon voidaan kiinnittää kolme kappaletta kerralla. Kappaleiden vaihdot suoritetaan sillä aikaa kun koneistuskeskus työstää muita tuotteita. Koneistuksen jälkeen kappaleet viimeistellään ja mitat tarkastetaan otannalla tuotannossa. Joka viides kappale mitataan. Lisäksi kappaleille tehdään 3% satunnaisotannalla lopputarkastus koordinaattimittakoneella (Tommi Matikainen).

3.2 Havaitut ongelmat

Valmistusprosessiin sisältyy nykyisellään käsityötä, useita työvaiheita ja varastointia. Monitoimisorvin liian lyhyen y-akselin liikkeen vuoksi sillä ei voida tehdä kaikkia tarvittavia koneistuksia. Myöskään jyrskoneella ei voida tehdä kaikkia vaiheita ilman erillistä kappaleen kääntöä, koska koneistuksia täytyy tehdä joka suunnasta. Kappaleen pohjassa on myös muotoja jotka on edullisinta tehdä sorvilla.

Kahden käytössä olevan koneen takia kappaleita joudutaan välillä siirtämään, varastoimaan ja kiinnittämään taas uudelleen palettiin/kiinnittimeen. Tämä vie aikaa ja sitoo työvoimaa.

3.3 Kehitysehdotukset

Nykyisen valmistuksen sisältämän monen eri työvaiheen ja kahden eri koneen käytön sijaan, olisi kuitenkin parempi valmistaa kappale yhdellä koneella alusta loppuun ja vähentää käsityövaiheita.

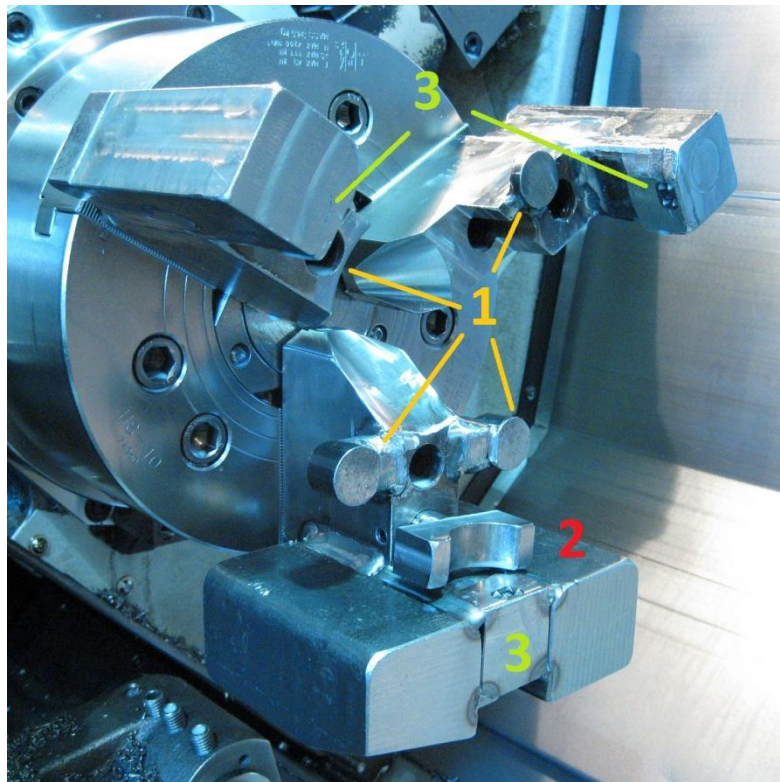
Uudessa valmistusprosessissa kappaleen koneistus aloitetaan tuomalla aihiot Doosan Puma MX2500 LST monitoimisorville. Sorvin yhteydessä toimiva Fanuc M710iT robotti poistaa valmiin tuotteen koneesta, siirtää puolivalmiin kappaleen, sekä asettaa uuden aihion koneeseen. Jakopintapursetta ei poisteta käsin, vaan se poistetaan koneistamalla, kappaleen ollessa C1–karalla. Kun pohjan puolen muodot on koneistettu, kappale siirretään robotilla C2–karalle, jossa koneistetaan sivuilla ja päällä olevat reiät ja muodot. Sivulla 24 kuvassa 10 esitetty C2–karan epäkeskeinen kiinnitin mahdollistaa kappaleen loppuun asti työstämisen monitoimisorvilla. Kiinnittimen ansiosta aiemmin liian kaukana ollut reikä saadaan lähemmäs pyörimisakselia. Lopuksi kappaleet viimeistellään ja tarkastetaan.

3.4 Kiinnitys

Tällä hetkellä monitoimisorvin C1–karalla on erikoiskiinnitin ja C2–karalla normaalit sorvin leuat. FMS:n paletissa on myös oma erikoiskiinnittimensä johon voidaan kiinnittää kolme kappaletta kerrallaan. Tässä luvussa esitellään tämänhetkisistä kiinnittimistä vain C1–karan kiinnitin, koska FM-järjestelmää ei tulla käyttämään valmistusprosessin muutoksen jälkeen ja C2–karan kiinnitin on yleisesti tunnettu. Myös nykyinen C1-karan kiinnitin on tarkoitus poistaa käytöstä, mutta sitä voidaan käyttää jos kaikkia tässä työssä esitettyjä muutoksia ei haluta toteuttaa. Tätä asiaa on käsitelty tarkemmin luvussa 5.2 jatkokehitysehdotukset.

3.4.1 Käytössä oleva kiinnitin

Monitoimisorvin C1-karalle on tehty kiinnitin ahiota varten. Paikoitus tason suhteen (kuva 3, 3-pistettä) saadaan aikaan kuvassa 8 numerolla 1 esitettyjen neljän pisteen avulla. Aihion kulman pyörivän akselin suhteen (s. 11 kuva 3 2-pisteen suora) määrittää numerolla 2 merkitty jousitettu ohjuri. Numerolla 3 merkityt leuat lukitsevat aihion paikoilleen ja samalla siis estävät tasoliikkeen (kuva 3 piste).



Kuva 8. Nykyinen C1-karan kiinnitin.

3.4.2 Uudet kiinnittimet

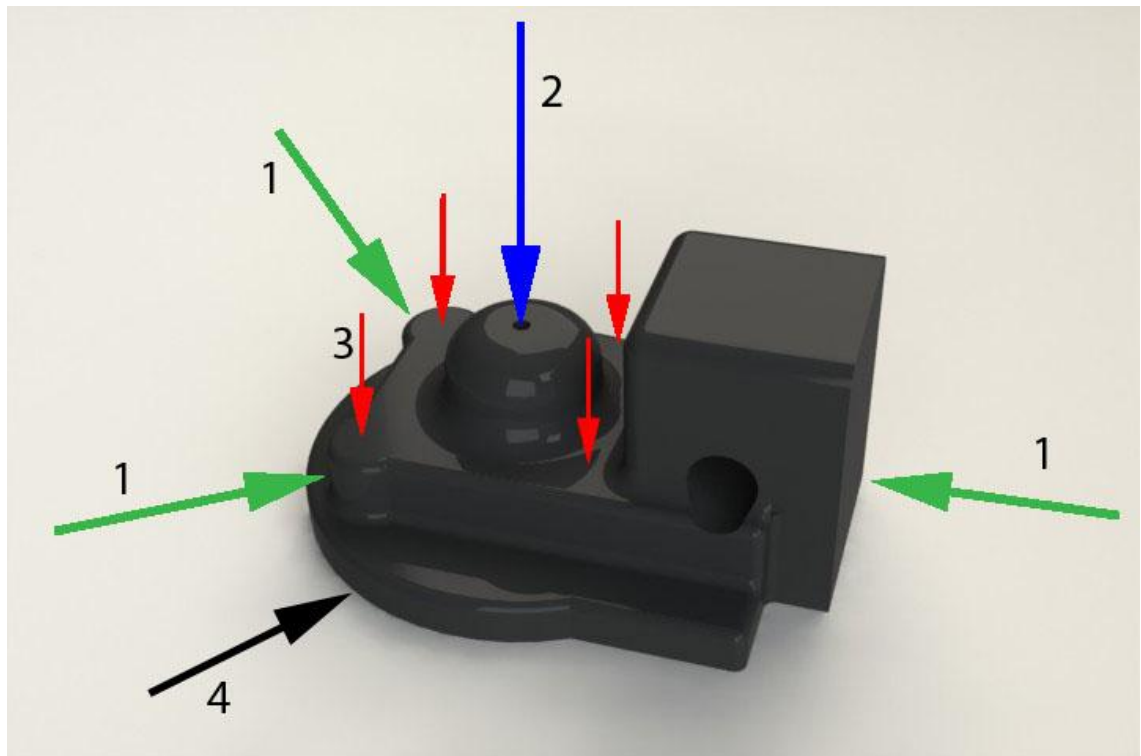
C1-kara

Nykyinen kiinnitin on sikäli huono, että se tarttuu kappaleesta jakopinnan kohdalta. Tämän takia kappaleesta on hiottava pois valupurse ennen koneistusta. Lisäksi paikoitus ei ole nykyisellään kovinkaan tarkka mm. kuvassa 8, numerolla 2 osoitetun ohjurin ja kuvassa 9 nuolella 4 osoitetun aihion jakopinnan purseen hionnan vuoksi.

Esitetään että uudella kiinnittimellä kappale kiinnitetään samaan kohtaan kuin ennenkin. Tartunta suoritetaan kuitenkin eri kohdista. Kuvassa 9 sinisellä nuolella (2) esitetty reikä asettuu pyörimisakselin keskelle. Puristus tapahtuu vihreiden nuolien (1)

osoittamista kohdista. Paikoitus tason suhteen määritetään punaisilla nuolilla (3) osoitetuista kohdista. Tällöin kappaleesta ei tarvitse tarttua jakopinnan kohdalta, jolloin jakopinnan valupurse voidaan koneistaa pois jyrshintapilla. Näin kiinnityksestä saadaan aiempaa tarkempi ja lisäksi kappaleesta voidaan nyt tarttua kiinni robotilla, kuten kuvassa 12 on esitetty. Tämän mahdollistavat koneistettu pinta tartuntakohdalla sekä se, että uusi kiinnitin ei ole vanhan kiinnittimen tapaan robotin tarttujan tiellä.

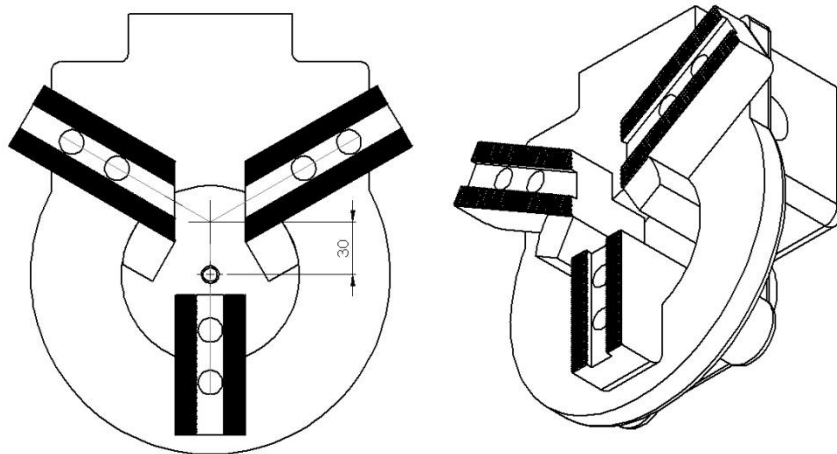
Koska koneistettava kappale on valettu, eivät kiinnityspintojen mitat ole tarkkoja. Tämä asettaa haasteita kiinnityksen suunnittelulle. Koska valupiirustuksessa eikä valmistuspiirustuksissa ole esitetty pintojen tarkkoja mittoja, joista kiinnittimen olisi tarkoitus ottaa kiinni, ei tässä työssä ole suunniteltu C1-karan kiinnitintä tarkemmin. Lopullinen suunnittelu ja valmistus täytyy tehdä kokeilemalla.



Kuva 9. Uuden C1-karan kiinnittimen tuki- ja kiinnityspisteet, sekä nuolella numero 4 merkitty reuna, jolla esiintyy valupursetta.

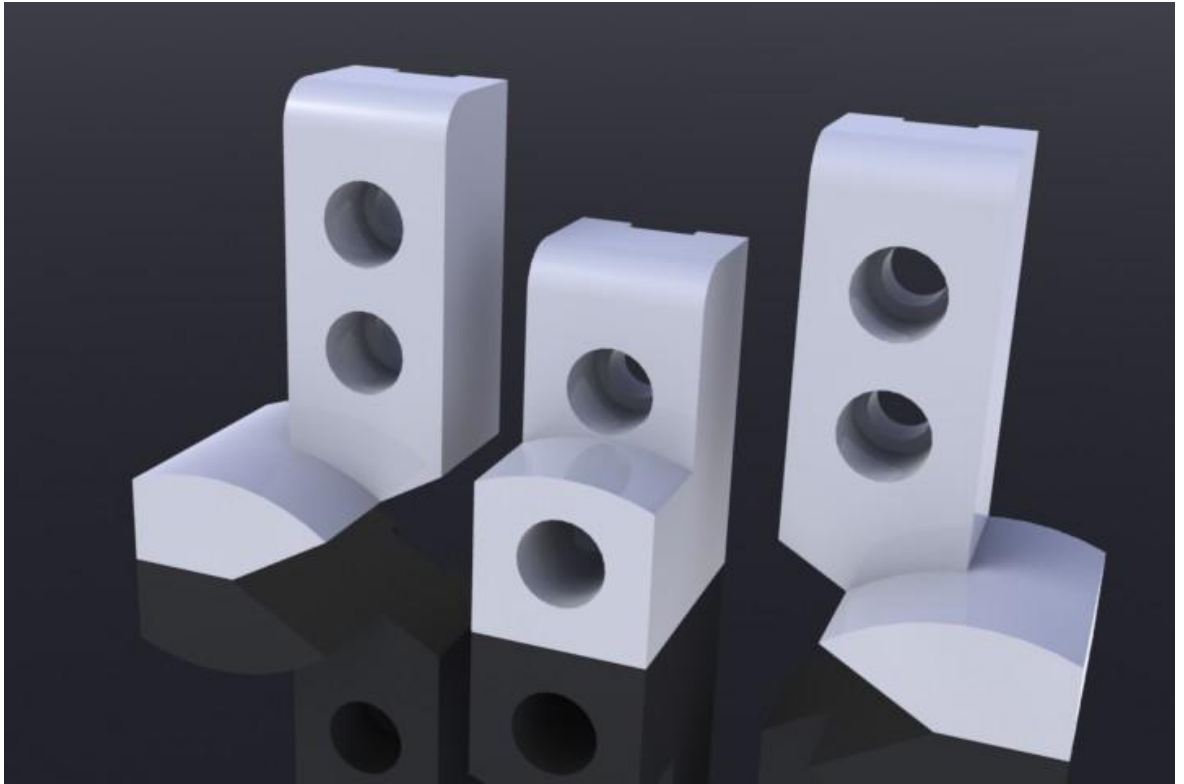
C2-kara

Koska sorvin y-akselin liike ei ole riittävä, on C2-karalle valmistettava leuat jotka mahdollistavat kappaleen epäkeskeisen kiinnityksen. Leukojen avulla kappaleen pyörimisakselin paikkaa saadaan siirrettyä 30 mm C1-karan pyörimisakselin pakkaan nähden.



Kuva 10. C2–karan epäkeskeinen kiinnitin.

Leukojen valmistukseen voidaan käyttää valmiiksi saatavia SCHUNK KM-WB 103 aihioita. Kuvassa 11 keskellä olevan leuan valmistus onnistuu jyrsimällä aihioista pois materiaalia, muita muutoksia ei tarvita. Kuvan 11 reunimmaisten leukojen valmistusta varten täytyy aihioin sivulle lisätä materiaalia ennen koneistusta, esimerkiksi hitsaamalla aihion kylkeen 25-30mm paksut palat terästä. Mikäli kappaleen leukoihin asettavan robotin paikoitustarkkuus ei ole riittävä, tai kappale joudutaan asettamaan leukoihin käsin, voidaan johonkin leuoista lisätä tappi joka asettuu kappaleen pohjaan C1-karalla porattuun reikään. Leukoihin voidaan myös upottaa magneetit, jotka vetävät kappaleen kiinni leukoihin, mikäli sillä on taipumusta jäädä irti ja näin ollen asettua vinoon. Magneetit eivät kuitenkaan saa olla niin tehokkaat, että robotti ei saa kappaletta irti leuoista. Tarkemmat kuvat leuoista ovat liitteissä I ja II.



Kuva 11. C2–karan uudet leuat. Keskellä ylin leuka ja sivuilla alemmat leuat.

3.5 Kappaleen käsittely

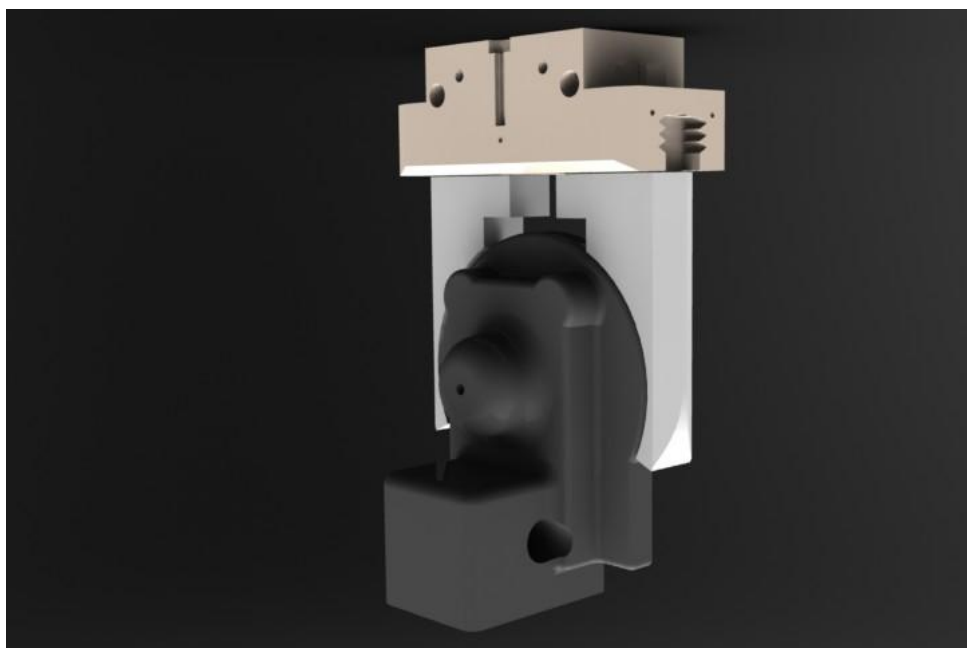
Kappaleen käsittelyssä hyödynnetään monitoimisorvin yhteyteen liitettyä Fanuc M710iT kappaleenkäsittelyrobotia. Robotin avulla tuotantoa voidaan jatkaa tarvittaessa myös yöllä, eikä kappaleiden vaihtaminen sido työntekijää päivälläkään.

Robotti tarvitsee kappaleen käsittelyyn kaksi eri tarttujaa, jotka voivat olla kiinni robotissa yhtä aikaa. Toisella tarttujalla käsitellään ainoastaan aihioita ja toisella, kuvassa 12 esitetyllä tarttujalla, valmiita ja puolivalmiita kappaleita. Aihioita käsittelevänä tarttujana voidaan käyttää jo valmiiksi robotissa olevaa tarttujaa. Puolivalmiiden ja valmiiden kappaleiden käsittelyä varten täytyy hankkia kaksisorminen tarttuja. Sopiva tarttujan runko on Schunk PGN-plus 200-2 ja siihen liitettävät sormet voidaan valmistaa koneistamalla Schunk SBR-plus-200 aihioista. Tämä tarttuja pystyy käsittelemään maksimissaan 23,5 kg painavia kappaleita (Shunk).

Kappaleen vaihtoa suoritettaessa monitoimisorvin ovet aukeavat, robotti poistaa C2-karalta valmiin kappaleen ja asettaa sen ovien ulkopuolella olevalle pöydälle

väliaikaisesti. Seuraavaksi robotti siirtää puolivalmiin kappaleen C1-karalta C2-karalle ja asettaa toisessa tarttujassa jo mukana olevan uuden aihion C1-karalle. Tämän jälkeen sorvin ovet sulkeutuvat ja työstö voi alkaa. Työstön aikana robotti siirtää väliaikaisesti pöydällä olevan valmiin kappaleen kauempana olevalle pöydälle ja hakee toiseen tarttujaan uuden aihion. Uudet aihiot ovat aseteltu pöydälle valmiiden kappaleiden viereen. Väliaikaisella valmiin kappaleen pöydälle sijoittamisella lyhennetään matkaa, jonka robotti kulkee vaihdon aikana. Näin monitoimisorvin pysähdyksissä olo aikaa saadaan lyhennettyä.

Kappaleen käsittelyä suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon robotin maksimi hyötykuorma. Käytössä olevalla robotilla maksimikuorma on 70 kg. Koneistettavan aihion paino on noin 19 kg ja valmiin kappaleen paino piirustusten mukaan 14,2 kg. Puolivalmiin kappaleen paino on luonnollisesti tältä väliltä. Kaksisormisen tarttujan runko painaa 5,4 kg ja sormet yhteensä noin 3-4 kg. Aihiota käsittelevän tarttujan paino on hieman kaksisormista tarttujaa pienempi, noin 5 kg. Yhteensä kahdelle kappaleelle ja tarttujalle kertyy painoa noin 50 kg. Tähän on vielä lisättävä runko johon tarttujat kiinnitetään, jolloin paino nousee jo hyvin lähelle maksimia. Kappaleiden vaihtoa pystyttäisiin hieman nopeuttamaan käyttämällä kolmea tarttujaa, mutta se ei painorajoituksen takia ole mahdollista.



Kuva 12. Valmiiden ja puolivalmiiden kappaleiden käsittelyssä käytettävä tarttuja.

3.6 Työkalut ja lastuamisarvot

Työkaluvalinnoista ja lastuamisarvoista on teetetty Sandvik Coromantilla tuottavuusraportti. Tämän takia tässä työssä pyritään pitämään työkaluvalinnat entisellään. Joidenkin työstövaiheiden lastuamisarvoja joudutaan kuitenkin muuttamaan monitoimisorvin jyrsinkaran pienemmän tehon takia. Tätä asiaa on käsitelty kappaleessa 3.7 lastuamisvoimat ja tehon tarve. Tuottavuusraportissa suositellut terävalinnat ovat esitelty liitteessä III.

Uuden valmistusprosessin käyttöönoton yhteydessä jyrsinkoneella käytetyt työkalut siirretään monitoimisorville. Koska molemmilla koneilla on käytössä samoja tai ainakin vastaavia työkaluja, voidaan kaksi samanlaista työkalua eri koneilta korvata yhdellä työkalulla. Tällaisia työkaluja ovat 16 mm ja 24,5 mm porat, 11 mm pitkät porat, uraterät, osa viistejyrsimistä sekä M8 kierretapit. Näin työkalujen sekä työkaluvaihtojen määrää vähenee. Ennen käytössä olleiden 41 työkalun sijaan, käytössä on nyt 33 työkalua. Myös työstöjärjestykset kannattaa miettiä uudelleen turhien työkaluvaihtojen välttämiseksi. Uudet työkaluvalinnat on esitelty liitteessä IV.

3.7 Lastuamisvoimat ja tehon tarve

Lastuamisvoimia ja tarvittavaa tehoa on syytä tarkastella koneen riittävän moottori- sekä jarrutustehon varmistamiseksi. Myös kappaleen kiinnitys tulisi olla riittävän tukeva vastaanottaakseen lastuamisesta syntyvät voimat.

Materiaalilla on suuri vaikutus lastuttavuuteen, lastuamisvoimiin sekä tarvittavaan tehoon. Tässä työssä käsitellyn tuotteen aihio on valmistettu EN-GJS-500-7 laadun pallografiittivaluraudasta. Sen vallitseva rakenne on ferriittis-perliittinen ja sen vetolujuus on 500MPa (SFS-EN 1563+A1+A2). Ferriittis-perliittisen rakenteen omaavilla pallografiittivalurauodoilla k_{c1} -arvo on 1200 N/mm². Tapauskohtaisen k_c -arvon määrityksessä tarvittava kerroin m_c on 0.28.

C2-karan jarrutusvoiman riittävyttä on tarkasteltu porauksen aiheuttaman syöttövoiman ja sen karalle aiheuttaman momentin avulla. Syöttövoiman laskemiseen on käytetty yhtälöä 7. Yhtälön 7 sisältämän k_c arvon laskentaan on käytetty yhtälöä 2. Momentti on laskettu kertomalla syöttövoima [N] porattavan reiän keskipisteen

etäisyydellä monitoimisorvin karan pyörimisakselilta [m]. Lastuamisarvoina on käytetty samoja arvoja kuin taulukossa 3. Terän geometrian arvot on otettu Sandvik Coromantin luettelosta. CoroDrill 880-sarjan porilla $f_z=f_n$, $\kappa_r=88^\circ$ ja $\gamma_0=15^\circ$.

Koneen maksimi jarrutusvoima on 1103 Nm. Taulukossa 2 lasketuista arvoista huomataan, että jarrutusvoima on riittävä kyseisille porauksille.

Taulukko 2 Syöttövoiman karalle aiheuttama momentti. d = poran halkaisija.

Työvaihe	Syöttövoima [N]	Etäisyys pyörimisakselilta [m]	Momentti [Nm]
Poraus d30,5	2170,6	0,071	154
Poraus d24,5	1960,0	0,071	139
Poraus d17,8	985,7	0,071	70

Porauksen vaatiman tehon P_c [kW] määrittämiseen on käytetty yhtälöä 5. Ominaislastuamisvoiman määrittämiseen on käytetty yhtälöä 2. Koneen oletettu hyötysuhde 85 % on otettu huomioon kohdassa $P_c / 0,85$ jakamalla nettotehon arvo hyötysuhteen arvolla. Tarvittavan vääntömomentin M_c [Nm] laskemiseen on käytetty yhtälöä 6.

Vertaamalla taulukossa 3 saatuja arvoja kuvan 1 käyrästä, huomataan että poraukset ovat mahdollisia myös tehon ja väännön tarpeen puolesta.

Taulukko 3 Porauksen vaatima teho ja vääntö.

Työvaihe	f_n	v_c	D_c	k_c	n	P_c	$P_c/0,85$	M_c
Poraus d30,5	0,17	200	30,5	1675	2087	7,2	8,5	33,1
Poraus d24,5	0,2	90	24,5	1600	1169	2,9	3,5	24,0
Poraus d17,8	0,12	70	17,8	1847	1250	1,2	1,4	8,8

Tasojyrsinnän vaatiman tehon P_c [kW] määrittämiseen on käytetty yhtälöä 4. Ominaislastuamisvoiman määrittämiseen on käytetty yhtälöä 1, jossa esiintyvän keskilastunpaksuuden määrittämiseen on käytetty yhtälöä 3. Koneen oletettu hyötysuhde 85 % on otettu huomioon kohdassa $P_c / 0,85$ jakamalla nettotehon arvo hyötysuhteen arvolla. Tarvittavan vääntömomentin M_c [Nm] laskemiseen on käytetty yhtälöä 6. Terägeometrian arvot ovat otettu Sandvik Coromantin luettelosta ja muut lastuamisarvot tuottavuusraportista. CoroMill 345-sarjan jyrsimillä $\kappa_r=45^\circ$,

Vertaamalla taulukon 4 tehon ja väännön arvoja sivun 10 kuvan 1 käyrästään, huomataan, ettei tasoajrsintää voida suorittaa 345-080Q27-13H mallisella ajrsimellä, tuottavuusraportissa suositelluilla arvoilla. Tämä johtuu siitä, että ajrsinkarassa ei käytetä alennusvaihteistoa, vaan moottori on suoraan kiinni karassa, jolloin pienillä kierroksilla ei saavuteta suurta tehoa ja vääntöä. Tasoajrsintä on kuitenkin mahdollista suorittaa pienemmällä 345-063Q22-13H ajrsimellä ja käyttämällä suurempaa pyörimisnopeutta.

Taulukko 4 Tasoajrsinnan vaatiman teho ja vääntö

Työvaihe	a_p	a_e	v_f	k_c	h_m	f_z	P_c	$P/0,85$	M_c	n
Tasoajrsintä 345-080Q27-13H	5,3	56	934	1821	0,2256	0,4	8,4	9,9	275,1	292
Tasoajrsintä 345-080Q27-13H	2,7	56	934	1821	0,2256	0,4	4,3	5,0	140,1	292
Tasoajrsintä 345-063Q22-13H	2,7	46	1082	2378	0,0869	0,14	5,3	6,3	39,5	1288,4

4 KUSTANNUKSET JA VALMISTUSAIKA

4.1 Kustannukset

Kustannuksia on pyritty vähentämään tarpeettomia työvaiheita poistamalla, työkalun vaihtoja vähentämällä, sekä koneen vuotuista tehollista käyttöaika pidentämällä.

Tarkastelemalla sivun 18 yhtälöä 9 huomataan, että lisäämällä vuotuista tehollista käyttöaika, saadaan alennettua konetuntihintaa. Tämä taas vaikuttaa yhtälöllä 8 laskettavaan konekustannuksiin. Vuotuista tehollista käyttöaika voidaan pidentää käyttämällä konetta kolmessa vuorossa. Nykyisin tässä työssä käsiteltävä kappaletta ei voida koneistaa miehittämättömänä. Jos konetta halutaan käyttää myös yöllä, kun sillä ei ole käyttäjää, joudutaan koneella ajamaan jotakin toista miehittämättömänä koneistettavaa tuotetta. Toisen tuotteen yöllä ajaminen vaatisi kuitenkin kiinnittimien ja ohjelman vaihdon, sekä toisten tuotteiden siirtämisen koneelle joka ilta sekä aamu. Olisi siis huomattavasti tehokkaampaa koneistaa samaa tuotetta päivällä sekä yöllä.

Negatiivisesti konekustannuksiin vaikuttaa yhtälössä 10 esitettyjen koneen vuotuisten käyttökustannuksien lisääntyminen. Jos konetta käytetään myös öisin, koneen vuotuiset huoltokustannukset ja energiakustannukset lisääntyvät. Tästä aiheutuva kustannusten nousu on kuitenkin pienempi kuin edellä mainituista asioista saavutettava säästö.

Jotta jyrskoneen työkalut saadaan siirrettyä monitoimisorville, täytyy sorville hankkia muutamia työkalunpitimiä. Pitimien hankinnasta aiheutuva kustannus W_h on noin 3000 €. Näiden kustannusten merkitys kuitenkin vähenee ajan myötä, koska kustannus syntyy vain muutoksen yhteydessä ja pitimien hankinnan jälkeen työkalukustannukset pysyvät jotakuinkin samana. Työkalukustannuksia voi vähentää yhtälössä 11 esitettyä kestovolyymiä lisäämällä. Tämä tapahtuu alentamalla lastuamisnopeutta sellaisissa työstövaiheissa, joissa kone joutuisi odottamaan toisen työstövaiheen valmistumista. Tällöin työkalut kestävät kauemmin, mutta kappaleen valmistumisaika pysyy silti samana. Esimerkiksi jos alempi jyrskara saa työstövaiheensa ylempää jyrskaraa nopeammin valmiiksi ja joutuu odottamaan, voidaan alemman jyrskaran lastuamisarvoja alentaa.

Pitimien hankinnan lisäksi koneelle on valmistettava uudet kiinnittimet, tehtävä uudet liikeradat sekä robottiin hankittava uusi tarttuja. Nämä kustannukset ovat yleiskustannuksia (K_Y) jotka syntyvät vain uuden menetelmän käyttöönoton yhteydessä. Niidenkin merkitys siis heikkenee ajan myötä. Aikaisempaan toimintatapaan verrattuna pysyviä kustannuksia syntyy vain robotin ja tarttujien energia- ja huoltokustannuksista. Näitä kustannuksia on verrattava työntekijän palkkaan, koska aikaisemmin nämä työvaiheet on tehty käsin. Voidaan siis olettaa, että alkuhankintojen jälkeen yleiskustannukset jäävät entistä alhaisemmiksi.

Yhtälössä 13 esitetyt koneistuksen kokonaiskustannukset jäävät siis aikaisempaa alhaisemmiksi, koska konekustannukset alenevat, työkalukustannukset pysyvät alkuhankintojen jälkeen jotakuinkin samana ja yleiskustannukset laskevat hieman.

Valmistusprosessin muutos kannattaisi suorittaa mahdollisimman pian, koska lisäkustannuksia muodostuu muutosprosessista. Näin saataisiin uusi aikaa ja rahaa säästävä menetelmä käyttöön jo tuotteen elinkaaren alkuvaiheessa.

4.2 Valmistusaika

Ajan käytössä säästöjä saadaan jäysteenpoiston suorittamisesta koneistamalla, sekä varastoinnin ja siirtojen vähenemisestä. Koneistamalla suoritettun jäysteenpoiston säästämä aika käsityöhön verrattuna on n. 3 minuuttia kappaletta kohden. Siirtojen vähenemisestä saavutettava kappalekohtainen ajansäästö jää alle minuuttiin, koska kappaleita voidaan siirtää laatikossa useita kerrallaan. Hieman suurempi kappalekohtainen ajansäästö saadaan jättämällä pois FMS ja jyrsinkoneella suoritettavat työstövaiheet, koska niissä kappaleita on vain kolme kerrallaan. Nämä vaiheet ovat muutaman minuutin per kappale.

Koneistusaika pysyy todennäköisesti melko samana verrattuna aikaisempaan jyrsinkoneen ja monitoimisorvin yhteenlaskettuun koneistusaikaan. Monitoimisorvin jyrsinkaran pienemmän tehon takia joitakin aiemmin jyrsinkoneella suoritettujen vaiheiden lastuamisarvoja joudutaan pienentämään, mutta monitoimisorvissa on kuitenkin kaksi jyrsinkaraa, jotka voivat toimia yhtä aikaa. Tämä hieman nopeuttaa työstöä. Lisäksi työkalunvaihtojen määrä vähenee, joten kokonaisuudessaan yhden kappaleen koneistusajaksi voidaan odottaa n. 44 minuuttia.

Jyrsinkoneella käytettävä aika on nykyisin 1 h 9 min kolmea kappaletta kohden, eli 23 minuuttia/kappale. Monitoimisorvilla käytetty aika on 21 minuuttia. Kappaleen vaihto käsin kestää monitoimisorvilla 1,5 minuuttia. Tämän ajan voidaan odottaa pysyvän robottia käyttämällä suunnilleen samana.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ongelmana nykyisessä valmistusprosessissa on useiden työvaiheiden määrä, käsityö ja tarpeeton varastointi. Ennen kappaleen koneistusta, siitä joudutaan poistamaan valuvaiheessa aihion jakopinnalle jäänyt purse kulmahiomakoneella. Koneistus joudutaan suorittamaan kahdella eri koneella, koska kappaleeseen sorvataan, jyrsitään ja porataan muotoja, eikä monitoimisorvin y-akselin liike riitä kaikkien työvaiheiden suorittamiseen. Kaikkien työvaiheiden suorittaminen jyrsinkoneellakaan ei ole kannattavaa, johtuen sorvattavista muodoista. Käsityövaiheista sekä käytettävistä kahdesta eri koneesta johtuen, joudutaan puolivalmiita kappaleita siirtelemään ja varastoimaan.

Ongelmat voidaan ratkaista valmistamalla monitoimisorville kiinnittimet, jotka mahdollistavat kappaleesta tarttumisen robotilla, jäysteenpoiston koneistamalla sekä kaikkien koneistusten suorittamisen monitoimisorvilla. Robotin käyttäminen mahdollistaa koneistamisen miehittämättömänä. Erän valmistumisen seuraaminen myös helpottuu, koska osa erästä ei ole FMS:ssä, vaan kaikki kappaleet valmistuvat yhdeltä koneelta.

Muutosten avulla koneistusaikaa ei pystytä merkittävästi lyhentämään, saavutettavat säästöt syntyvät työvaiheiden vähenemisestä. Tuote on vielä verrattain uusi ja sen valmistuksen voidaan olettaa jatkuvan vielä niin pitkän aikaa, että muutosten tekeminen on kannattavaa. Koska aiheutuvat kustannukset syntyvät muutosprosessista, kannattaa muutos tehdä mahdollisimman pian, jotta uutta aikaa ja rahaa säästävää valmistustapaa pystytään käyttämään mahdollisimman pitkään.

5.1 Tulosten arviointi

Todellisia kustannus- ja aikasäästöjä on vielä tässä vaiheessa vaikea arvioida, siksi tarkkaa arviota kustannuksista ja takaisinmaksuajasta ei ole tehty. Mahdollisten värinöiden ja tukevuuden aiheuttamat ongelmat selviävät vasta kun työstöä päästään kokeilemaan uusilla kiinnittimillä ja monitoimisorville siirretyillä työkaluilla. Myös

ongelmat tarkkuuden ja toleranssien täyttymisen kanssa selviävät varmuudella vasta lastuamiskokeilun jälkeen.

Lasketut lastuamisvoimat ja tarvittavan tehon ja väännön määrät ovat vain karkeita arvioita. Todellisuudessa arvot voivat olla erisuuruiset. Myös koneen suorituskyky voi poiketa esitteessä annetuista arvoista. Jos monitoimisorvin C2-karan jarru on kulunut, tai sen teho on muuten heikentynyt, voi kara lähteä pyörimään porauksia tehdessä tai tasoajrsinnässä. Porauksen aiheuttaman momentin lasketut arvot ovat tosin huomattavasti pienemmät kuin koneelle luvatut arvot, joten koneen jarrutusteho saa olla merkittävästi heikentynyt ennen kuin pyörähtäminen tapahtuu. Nämäkin asiat selviävät lastuamiskokeilun yhteydessä.

Kiinnitys C2-karan leukoihin voidaan odottaa onnistuvan ilman suurempia vaikeuksia, koska leuat tarttuvat kiinni pyöreästä jo koneistetusta pinnasta. C1-karan kiinnittimen valmistuksessa ja suunnittelussa voidaan odottaa ilmenevän ongelmia, johtuen valettujen aihoiden mittojen poikkeavuuksista ja monimutkaisemmista muodoista.

Nykyisen valmistumisaikataulun arviointia vaikeuttaa FMS:n käyttö. Järjestelmässä on paljon muitakin tuotteita, joita koneistetaan samalla jysinkoneella kun työssä käsiteltyä tuotetta. Kappaleen koneistaminen alusta loppuun samalla koneella helpottaa huomattavasti erän valmistumisen seuraamista. Myös muiden tuotteiden valmistuminen nopeutuu kun yksi tuote poistuu FM-järjestelmästä. Tästä tosin saavutetaan hyötyä vain jos muita koneistettavia tuotteita on riittävästi vapautuneen kapasiteetin täyttämiseen, eli yrityksellä on tarpeeksi tilauksia tuotteille.

Riittävä tilausten määrä on myös vaatimuksena yöllä tapahtuvan koneistuksen kannattavuudelle. Koneistusta ei kannata tehdä kolmessa vuorossa, jos koneistettavia kappaleita ei riitä kuin kahteen vuoroon. Yöllä seisahtunut kone kuluttaa energiaa. Jos tilauksia on riittävästi ja konetta halutaan käyttää myös öisin, työstöstä pitäisi saada niin stabiilia, että kone ei seisahtu yöllä esimerkiksi terärikon tai muun vastaavan takia. Koska kappaleen oletettu koneistusaika on 44 min, ei yöllä tapahtuvassa koneistuksessa kappaleiden loppuminen kesken muodostu ongelmaksi. Yön aikana pystytään koneistamaan kymmenen kappaletta.

5.2 Jatkokehitysehdotukset

Työssä esitettyä uudenlaista valmistusta voi myös soveltaa ja yhdistellä vanhaan. Kaikkia uudistuksia ei tarvitse heti toteuttaa, vaan alussa uuden menetelmän toimivuutta voisi kokeilla ilman robotin käyttöä ja jo mahdollisesti sorvilla olevilla työkaluilla, jotka ovat jyrskoneella käytettyjen työkalujen kaltaisia. Helpomman valmistettavuutensa ansiosta C2-karan kiinnitin kannattaa valmistaa ensin. Jos kone saadaan toimimaan tällä kiinnittimellä ilman häiriöitä, kannattaa C1-karalle valmistaa uusi kiinnitin. Tämän jälkeen voidaan monitoimisorville hankkia tarvittavat työkalunpitimet suositeltuja työkaluja varten ja robotille hankkia uusi tarttuja.

Jos C1-karalle suunnitellun uuden kiinnittimen valmistus osoittautuu liian vaikeaksi tai mahdottomaksi, voidaan kappale silti tehdä alusta loppuun monitoimisorvilla käyttäen vanhaa kiinnitintä. Puolivalmista kappaletta ei tällöin voida siirtää suunnitellulla robotin tarttujalla, mutta se voidaan siirtää käsin C2-karan epäkeskeiseen kiinnittimeen. C2-karan kiinnittimeen on tässä tapauksessa tehtävä aiemmin esitetyn kaltaiset ohjurit, jotta kappale asettuu oikeaan asentoon.

Jos C2-karan leukojen hitsien kestävyudessa ilmenee ongelmia, voidaan kestävyyttä parantaa hitsauksen jälkeisellä lämpökäsittelyllä. Leuat voidaan myös koneistaa alusta asti suuremmasta teräskappaleesta, käyttämättä valmiita SCHUNK KM-WB 103 aihioita, jolloin leuasta saadaan yhtenäinen eikä materiaalia tarvitse lisätä hitsaamalla. Tämä vaatii kuitenkin enemmän työtä, koska aihioon on koneistettava reiät sekä hammastus pohjaan (s. 23 kuva 10), jotta se saadaan kiinnitettyä karaan.

Jatkossa jo tuotesuunnitteluvaiheessa kannattaa kiinnittää enemmän huomiota tuotteen valmistusystävällisyyteen. Yhteistyö valmistavan yrityksen ja suunnittelevan yrityksen välillä helpottaisi tuotteen valmistusystävällistä suunnittelua. Valuaihioon voisi suunnitella kohtia, joista koneistuskiinnittimen on helppo tarttua. Näiden kohtien suunnittelussa kannattaisi kysyä neuvoa tuotetta valmistavalta yritykseltä.

Valmistuspiirustukset voisivat olla nykyistä selkeämmät. Selkeät yksiselitteiset kuvat helpottavat ja nopeuttavat niiden tulkintaa ja mahdollisilta tulkinnallisilta virheiltä vältytään. Kuvien leikkauksia voisi käyttää nykyistä paremmin. Etenkin leikkaustason valintaan kannattaisi kiinnittää enemmän huomiota. Leikkausviivaa voisi porrastaa, jolloin vältyttäisiin leikkauksilta, joissa leikkausviiva ei kulje keskeltä reikää ja leikkauskuvassa näkyy vain osa reiän kaaresta. Tällaiset kuvat voivat olla harhaanjohtavia. Samalla saataisiin kuviin lisää informaatiota, mikä vähentäisi tarvittavien leikkauskuvien määrää. Suurennoksia voisi sijoittaa lähemmäs kohtaa, josta suurennus on otettu, jolloin suurennos tai suurennettu kohta olisi helpompi löytää.

LÄHTEET

Aaltonen K. 1997. Porausmenetelmät. Teoksessa: Aaltonen, K & Andersson, P. & Kauppinen, V. Koneistustekniikat. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö. s. 213. ISBN 951-0-21437-x

Aaltonen K. 1996. Sorvaaminen, Poraaminen. Teoksessa: Aaltonen, K. et al. Valmistustekniikka. Jyväskylä. Otatieto Oy. s.150,174. ISBN 951-672-205-9

Andersson P. 1997. Lastuamisarvojen valinta. Teoksessa: Aaltonen, K & Andersson, P. & Kauppinen, V. Koneistustekniikat. Porvoo. Werner Söderström Osakeyhtiö. s. 162-165. ISBN 951-0-21437-x

ASM International Handbook Committee. 1989 Teoksessa: ASM Handbook, Volume 16 – Machining [verkkojulkaisu] [viitattu:15.06.2011] Saatavissa: www.knovel.com

Doosan PUMA MX series esite.

Karhula, J. 2009. Katsaus metallisiin koneenrakennusmateriaaleihin. Teoksessa: Karhula, J. Metalliopin perusteita. Lappeenranta.

Meskanen, S & Niini, E. Valimotekniikan perusteet [Valuatlas www-sivuilla] [viitattu 12.4.2011] Saatavissa:

<<http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/valimotekniikanperusteet/index.html>>

Ostwald, Phillip F. & Muñoz, Jairo. 1997. Teoksessa: Manufacturing Processes and Systems (9th Edition) [verkkojulkaisu] [viitattu:15.06.2011] Saatavissa: www.knovel.com

Sandvik Coromant. 2011. Tekninen käsikirja [verkkojulkaisu] [viitattu 15.5.2011] Saatavissa:

<<http://www.sandvik.coromant.com/sandvik/1100/Coromant/Internet/FI01028.nsf/alldocs/C1256BA000386361C125735A004A205F>>

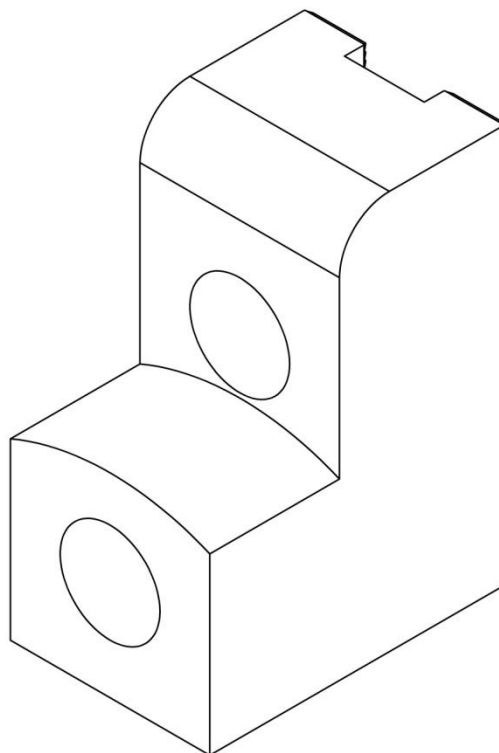
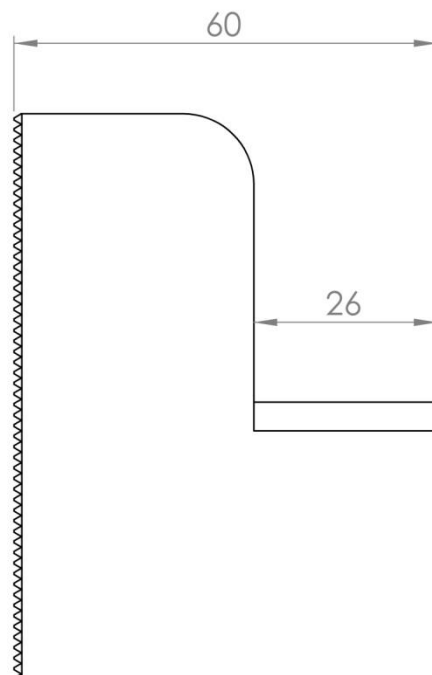
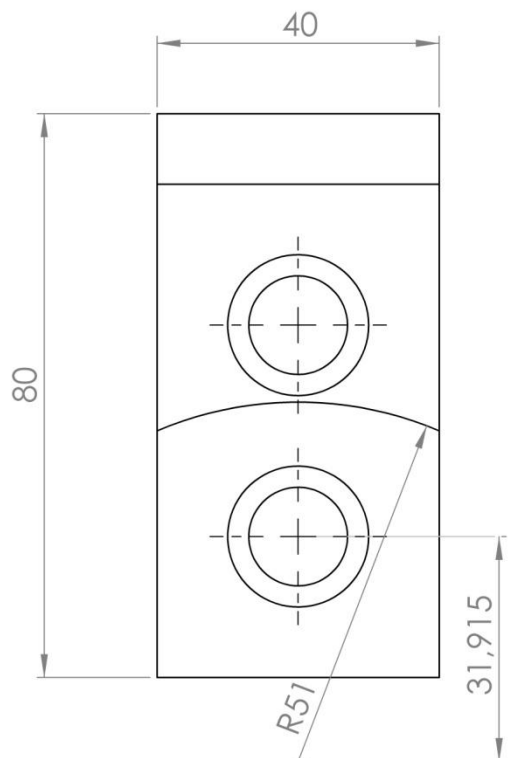
Schunk tarttujien esite. [verkkajulkaisu] [viitattu 20.4.2011] Saatavissa:
<http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/PGN-plus_200_EN.pdf>

SFS-EN 1563+A1+A2 Valut. Pallografiittivalurauta. Helsinki: Suomen
standardisoimisliitto, 2006. 49 s.

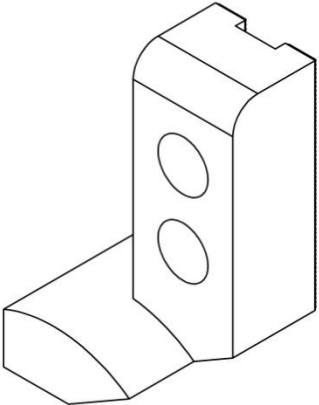
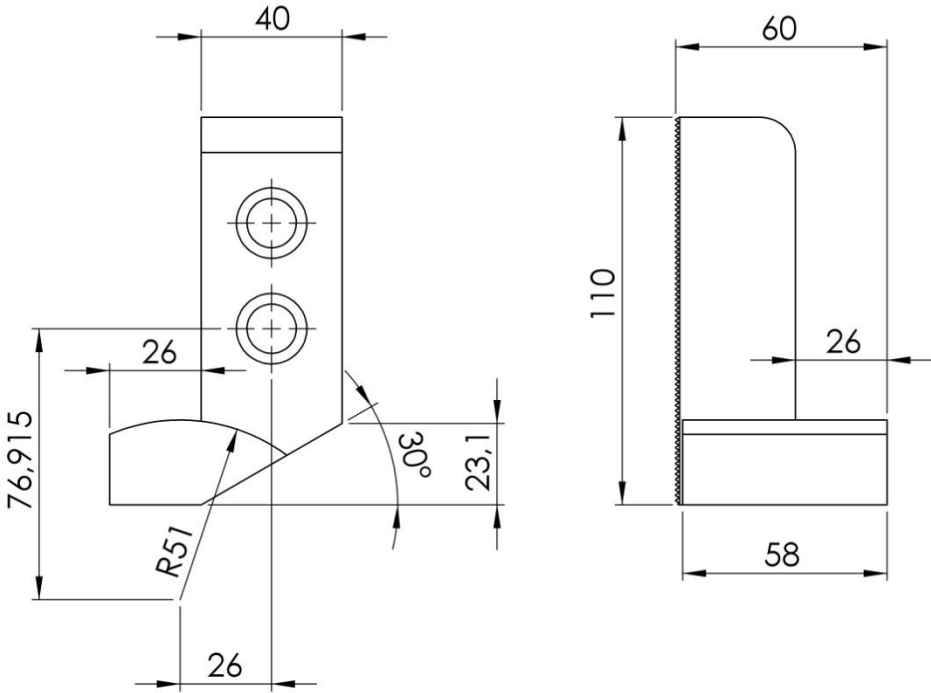
Tommi Matikainen 18.6.2011 [sähköposti]

Valukappaleet koneistuksen kannalta. [koulut.tampere.fi www-sivuilta] [viitattu
13.4.2011] Saatavissa: <<http://koulut.tampere.fi/materiaalit/valimo2/paasivu2.htm>>

Vuorinen, J. 1996. Katsaus valumetalleihin. Teoksessa: Aaltonen, K. et al.
Valmistustekniikka. Jyväskylä. Otatieto Oy. s.68. ISBN 951-672-205-9



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHKD									
APPV'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		Yläleuka	
								A4	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
DRAWN		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
CHK'D									
APP'V'D									
MFG									
Q.A				MATERIAL:		DWG NO.		alaleuka levitetty	
								A4	

Kone	Työvaihe	Sandvik Coromantin suosittelu	
Sorvi	Reiän avaus	880-D3800C6-03	
	Sisä rouhinta	C6-DCLNL-17100-12	
	Muodon ajo	316-25SM550-25020P 1030	
	Poraus d24.5	880-D2450L25-03	
	Uran jyrsintä	327-16B42EC-12	
	km tappi d12	R216.33-12045-AC22P 1630	
	Poraus 6.8/8.5	Pora 6.8/8.5	
	Kierretappi M8	M8	
	km pora d11 pitkä	d11 pora	
	Poraus d16	880-D1650L20-05	
	km pora d16	d16 km pora	
	km pora d6.8	km pora d6.8	
	Poraus d19	880-D1900L25-03	
	Kierretappi G1/2		
	km viistepora d14	km viistepora d16	
	sisä viimeistely	C6-SDJCL-45065-11	
	d12 viistejyrsin	d16	
	Jyrsin	Tasojyrsintä	345-080Q27-13H
		Kulmajyrsintä	490-063C6-14H
		Tasojyrsintä viimeistely	345-125Q40-13H
Pora d30.5		880-D3050L32-03	
Upotukset		316-20SM450-20010P 1030	
Keskio 135 astetta		keskiö	
Poraus d17,8		kenna	
Uraterä		Horn	
Kalvain D18H7		Beck	
Poraus d14		880-D1400L20-03	
Viistepora 11 + viiste		R841-1100-30-A1A 1220	
Poraus d11 pitkä		kenna d11	
Kierre G1/4		G1/4	
Poraus d16		880-D1600L20-05	
Pora d24,5		Kenna KSEM	
Porraspora 8,5/6,8			
d10		316-10SM450-10005P 1030	
Viisteet		316-16CM800-16045G 1030	
Kierre M16			
Kierre G3/4		G3/4	
Kierre G1		G1 tappi	
Kierre M8		M8	
viistejyrsin d26,3		viistejyrsin	
Kierrejyrsin D16		D16*1,5	
Yhteensä		41kpl	

Uudet terävalinnat	Uudet työstövaiheet C1	Uudet työstövaiheet C2
880-D3800C6-03	Reiän avaus	
C6-DCLNL-17100-12	Sisä rouhinta	
C6-SDJCL-45065-11	Sisä viimeistely	
316-25SM550-25020P 1030	Muodon ajo	
327-16B42EC-12	Uran jysintä	Levitukset reiän sisälle
880-D2450L25-03	Poraus 24.5mm	Poraus 24.5mm
Porraspora 6.8/8.5		6.8/8.5 reijät
Kenna d17.8		Reikä d17.8
Kalvain D18H7		reikä d18
d11 pora pitkä	d11 poraukset	d11 poraukset
880-D1600L20-05	d16 poraukset	d16 poraukset
km pora d6.8	d6.8 poraukset	
880-D1900L25-03		Poraus d19
880-D3050L32-03		Poraus d30.5
880-D1400L20-03		Poraus d14
R841-1100-30-A1A 1220		Viistepora 11 + viiste
km viistepora d16		km viistepora d14
Keskiö 135 astetta		Keskiö 135 astetta
km tappi d12	km tappi d12	
Kierretappi M8		M8
Kierretappi G1/2		Kierre M28x1.5
Kierretappi G1		G1
Kierretappi G3/4		G3/4
Kierretappi G1/4		G1/4
Kierretappi M16		M16
D16*1,5		Kierrejärsin D16
316-10SM450-10005P 1030		d10
316-16CM800-16045G 1030	Viisteet	Viisteet
345-080Q27-13H		Tasojärsintä
490-063C6-14H	Purseenpoisto	Kulmajärsintä
345-125Q40-13H		Tasojärsintä viimeistely
316-20SM450-20010P 1030		Upotukset
viistejärsin		viistejärsin d26,3
33kpl		