

Alexi Mäkelä

Koneistuskiinnittimen suunnittelu

Opinnäytetyö

Kevät 2019

SeAMK Tekniikka

Konetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: SeAMK Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Aleksi Mäkelä

Työn nimi: Koneistuskiinnittimen suunnittelu

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2019 Sivumäärä:54 Liitteiden lukumäärä:

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli tarve saada työstettyä kappaleita, joiden kiinnittäminen olisi hankalaa tavanomaisin kiinnitysvälinein. Nykyään konepajan toiminta edellyttää nopeaa ja tehokasta läpimenoaikaa ja sen saavuttamiseksi kiinnitinsuunnitteluun on syytä panostaa. Joustavaa modulaarista kiinnitystapaa on pyritty hyödyntämään, jotta mahdollisten muutosten tullessa kiinnitin olisi helposti muunneltavissa tai käytettävissä johonkin toiseen tehtävään.

Työssä käsiteltiin koneistettavan kappaleen kiinnittämistä ja työstövoimien määrittämistä sekä laskettiin tarvittavia kiinnitysvoimia. Työssä tutkittiin eri työkaluvaihtoehtoja ja sen perusteella valittiin tämän osan valmistamiseen parhaiten soveltuvat työkalut. Koneistukseen myös suunniteltiin ja valmistettiin kiinnitin sekä mietittiin parasta työstömenetelmää kyseiselle tuotteelle. Kiinnitintä ja työn tuloksia käytettiin ja käytetään jatkossakin tuotteiden valmistamiseen.

Avainsanat: Lastuava työstö, Kiinnitys, Työstökoneet, Menetelmät

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Aleksi Mäkelä

Title of thesis: Design of a machining clamp

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2019 Number of pages:54 Number of appendices:

The starting point for the thesis was the need to get clamp machined pieces that would be difficult to clamp with conventional fasteners. Nowadays, the operation of a machine shop requires a quick and efficient turnaround time, and it is worth investing in the design of fastening. Attempts have been made to utilize the flexible modular attachment method to allow the fastener to be easily modified or used for another task when any changes occur.

The first thing in this thesis was to determine the machining forces and calculate the required fixing forces. Calculation formulas from many machining books were used to help machining force calculations. Various tools were studied in the thesis and the best tools for making this part were chosen according to their efficiency.

The result of the study was a designed fastener which was also manufactured. The first version of the fastener was used to machine the customer's products. Problems that came during machining work were fixed and better alternatives were designed. The fastener could also be attached to a rotating table which would speed up the machining job. The best machining method for the product in this question was considered. The fastener and the results were used and would continue to be used in the manufacture of products.

Keywords: Machining, Clamping, Machine-tool, Methods

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tavoitteet.....	8
1.2 Yritysesittely.....	8
2 KAPPALEEN KIINNITTÄMISEN TEORIAA.....	10
2.1 CNC-ohjattu jyrsinkone.....	10
2.2 Työssä käytetty työstökone.....	11
2.3 3-2-1-kiinnitysmenetelmä.....	12
2.4 Nollapistekiinnitys.....	13
2.5 Lastuamisvoimien määrittäminen.....	13
2.5.1 Kiinnitysvoimien määrittäminen.....	16
2.5.2 Kiinnitysruuvien kuorma.....	16
2.5.3 Kitka.....	20
2.5.4 Kiinnitysasetelma.....	21
2.6 Työkalut.....	23
2.6.1 Pikateräs.....	24
2.6.2 Kovametalli.....	24
2.6.3 Jyrsintä.....	27
2.6.4 Poraus.....	30
2.6.5 Avartaminen.....	33
2.6.6 Kierteen teko.....	33
2.6.7 Dynaaminen jyrsintä.....	36
3 KIINNITTIMEN SUUNNITTELU.....	40
3.1 Pohjalevy.....	40
3.2 Kylkilevyt.....	41
3.3 Ohjelma ja simulointi.....	43

3.4 Työstövaihe, työkalut ja kiinnitys	46
3.5 Käyttö hitsauskiinnittimenä.....	47
3.6 Prototyypin jälkeiset parannukset.....	48
3.7 Pyöröpöytä.....	49
4 YHTEENVETO.....	52
LÄHTEET	53

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuvio 1. Kappaleen vapausasteet.....	12
Kuvio 2. Ruuviliitokseen kohdistuvat voimat	17
Kuvio 3. Metrinen ISO-kierre.....	19
Kuvio 4. Kiinnitysasetelma sivulta.	22
Kuvio 5. Koko kiinnitysasetelma.....	22
Kuvio 6. Jyrsinnän suureiden selitykset.	28
Kuvio 7.Kierukkaporauksen suureet	32
Kuvio 8. Kierretoleranssin selite.....	35
Kuvio 9. Mitä on kierteen jysintä..	36
Kuvio 10. Dynaaminen jysintärata.	38
Kuvio 11. Perinteinen "zigzag"-työstörata.	39
Kuvio 12. Pohjalevy.	41
Kuvio 13. Yhteen hitsatut kylkilevyt.....	42
Kuvio 14. Koko kiinnitin ja kylkilevyt kahden eri mallin työstämiseen.....	43
Kuvio 15. Taskun jysintä dynaamisella työstöradalla.....	44
Kuvio 16. Dynaaminen kuorintarata.	45
Kuvio 17. Ote dynaamisen työstöradan ohjelmasta.....	46
Kuvio 18. Hitsausvaiheen kohdistuspalat.....	48
Kuvio 19. Pyöröpöytä.....	50
Kuvio 20. Matriisireikälevy pyöröpöytään.....	51

Taulukko 1. Lastuamisvoimat jyrsimille.....	14
Taulukko 2. Poraustyövaiheen voimat.	15
Taulukko 3. Ruuvivoimissa käytetyt suureet.	19
Taulukko 4. Ruuvien kiristysvoimat sekä leikkautumisvoimat.	19
Taulukko 5. Ruuviliitoksen kitkakertoimia	21
Taulukko 6. Materiaaliryhmät.....	26
Taulukko 7. Jyrsinnän suureiden selitykset.....	28
Taulukko 8. Jyrsinnän ominaislastuamisvoimia	30
Taulukko 9. Porauksen suureiden selitykset.....	32
Taulukko 10. Ominaislastuamisvoimia	33
Taulukko 11. Kierremerkinnän suureet	34

Käytetyt termit ja lyhenteet

CAM	Computer aided manufacturing. Tietokoneavusteinen valmistus.
CAD	Lyhenne sanasta computer aided desing. Tietokoneoavusteinen suunnittelu.
CNC	Computer numerical control, numeerisesti ohjattu työstökoneen numeerinen ohjaus.
Pyöröpöytä	Työstökoneen lisäakseli, jolla kappale voidaan kääntää haluttuun kulmaan.
Postprosessori	Kääntäjä, joka kääntää CAM-ohjelmiston työstöradat työstökoneen ymmärtämäksi NC-koodiksi.
Karateho	Voima, joka välittyy ja jota tarvitaan työkalun pyörittämiseen karalla. Siihen vaikuttaa suoraan moottorin teho ja hyötysuhde.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on kehittää koneistuskiinnitin monimuotoiselle kappaleelle, joita olisi mahdollisuus alkaa valmistamaan, mikäli valmistuskustannukset saadaan pienemmiksi. Työssä keskitytään kahden hyvin samanlaisen tuotteen valmistamiseen ja yritetään tehdä se mahdollisimman tehokkaasti. Työ sisältää erikoiskiinnittimen suunnittelua, menetelmän suunnittelua ja koneistusvaiheen kehittämistä lisäämällä työstökeskukseen neljäs akseli. Teoriaosuus käsittelee koneistamisen teoriaa, mutta pääasiassa on keskitytty metallin työstämiseen jyrsimällä sekä poraamalla. Työssä käytettiin CNC-ohjattua jyrsinkonetta. Työhön pyrittiin saamaan myös modulaarisuutta, sillä kappaleen muutokset aiheuttaisivat myös muutoksia kiinnittimeen ja jouduttaisiin valmistamaan uusi kiinnitin. Tavoitteena oli saada mahdollisimman pienillä muutoksilla muutettua kiinnitin tarvittaessa uudelle versiolle.

1.2 Yritysesittely

Yritys, johon opinnäytetyö tehtiin, oli Ateno Oy, joka on metallin käsittelyyn keskittynyt alihankinta yritys Etelä-Pohjanmaalla. Yritys on perustettu 1999 ja se on aloittanut toimintansa vesileikkauksella. Vesileikkaus kuuluu edelleen toimenkuvaan ja vesileikattuja osia toimitetaan paljon mm. paperi- ja selluteollisuuteen. Vesileikatut kappaleet ovat yleensä ruostumattomia ja haponkestäviä materiaaleja. Levyn leikkaus on isossa osassa yrityksessä ja sen vuoksi sillä on useita laserleikkauskoneita. Kun tuotetaan levyosia, asiakkaat tarvitsevat usein myös särmäystä, sillä he haluavat koko ajan valmiimpia komponentteja. Yrityksestä löytyy myös putkilinja, jossa käsitellään terästä kahdella putkilaserilla.

Viimeisen kahden vuoden aikana myös koneistus on tullut suurempaan osaan ja koneistuspuolelta löytyykin laaja konekanta pystykaraisia jyrsinkoneita, sekä pitkäjyrsinkoneita. Tärkeimmät tuotteet ovat osakokonaisuuksia tai pelkkiä yksittäisiä

kappaleita, jotka toimitetaan asiakkaille ympäri Suomea. Yritys toimittaa leikattuja, särmättyjä, hitsattuja, koneistettuja ja pintakäsiteltyjä komponentteja palvelen teollisuuden eri osa-alueita tehokkaasti.

Myös erikoisteräksen käsittely, kuten, alumiini, RST/HST ovat osa erikoisosaamista. Yritys pystyy myös pitämään materiaalia varastossa paljon ja näin takaamaan nopeamman toimituksen. Yritys on tehnyt kasvua melkein joka vuosi ja henkilöstöä on tällä hetkellä noin 90.

2 KAPPALEEN KIINNITTÄMISEN TEORIAA

Kiinnittimen tarkoitus on paikoittaa kappale koneistamista varten, sen täytyy estää kappaleen liikkuminen työstön aikana. Kiinnittimen käytön tulisi olla mahdollisimman helppoa ja vaivatonta, jolloin tuottamatonta työtä ei synny niin paljoa. Koneistettavan kappaleen kiinnittäminen on asia, joka kannattaa miettiä hyvin. Oikeanlaisella kiinnityksellä säästetään huomattavasti aikaa ja voimia. Jyrsinnän aikana työkalu ei saa irrota eikä liikkua paikaltaan, sillä terä saattaa vaurioitua, mittatarkkuus kärsiä ja työturvallisuus vaarantua. Siksi työkalu on kiinnitettävä huolellisesti ja tukevasti. (Maaranen 2004,190,191).

Seuraavanlaisia kiinnitysmenetelmiä on yleisesti käytetty koneistettavan kappaleen kiinnittämiseen (Maaranen 2004,190,191).

- kiinnittäminen jyrsinkoneen pöytään
- kiinnittäminen koneruuvipuristimeen
- kiinnittäminen kulmatasoon
- kiinnittäminen v-kappaleeseen
- kiinnittäminen jakolaitteeseen
- kiinnittäminen pyöröpöytään.

2.1 CNC-ohjattu jyrsinkone

Nykyään teollisuus käyttää automaatiota ja CNC-koneita jatkuvasti enemmän. Manuaalikoneissa ja CNC-ohjatuissa koneissa ei ole eroa, jos tilannetta katsotaan las-tuamistekniikalta, sillä molempia käytettäessä käytetään mahdollisesti samoja työkaluja ja työvälineitä. Erona kuitenkin on ohjaustapa, eli manuaalikonetta ohjaa koneen käyttäjä ja CNC-konetta ohjaa tietokone. CNC-koneen toiminnot tapahtuvat

automaattisesti, kullekin työkappaleelle laaditun ohjelman mukaisesti. Koneen ohjausyksikkö huolehtii toimintojen ohjauksesta. Ohjausyksikköön syötetään tarvittavat tiedot, kuten työstöarvot, työvälineet ja niiden koko ja työkalun liikeradat. Työstökone lukee kirjain ja numerokoodein laadittua ohjelmaa ja valmistaa tuotteen annettujen tietojen mukaan. (Maaranen 2004, 249)

2.2 Työssä käytetty työstökone

Tässä työssä käytettiin Lagun CM 6 -työstökonetta. Kyseinen työstökone valittiin, koska se soveltui yrityksen koneista parhaiten juuri tähän työhön. Tarvittavia ominaisuuksia kappaleen koneistamiseen oli riittävä koko, tarpeeksi vankka rakenne ja ohjelmoitava kulmapää. Kone oli siis Lagun-merkkinen vuonna 2018 käyttöönotettu pitkäjyrsinkone, josta pituusliikettä löytyy 6000 mm, y-liikettä 1300 mm ja z-liikettä 2000 mm. Liikematkat eivät kuitenkaan aivan riittäneet kappaleen hankalan muodon ja kappaleen molemmilta puolilta tapahtuvien työstöjen vuoksi, joten lisäksi tähän koneeseen liitettiin neljäs akseli eli pyöröpöytä kappaleen kääntämistä varten.

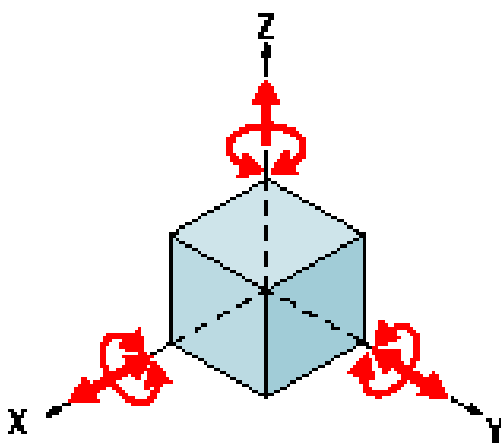


Kuva 1. Lagun CM6 pitkäjyrsinkone (Lagunmt, [viitattu 2.3.2019]).

2.3 3-2-1-kiinnitysmenetelmä

Kolmiulotteisella kappaleella on yhteensä kuusi vapausastetta. Koordinaatit x , y ja z sekä kierrot jokaisen akselin ympäri. Alla oleva kuva havainnollistaa tilanteen. Metodin nimi tulee kolmesta vaiheesta. Ensimmäisellä tasolla tarvitaan kolme tukipistettä muodostamaan taso. Kolme tukipistettä tarvitaan siksi, että neljällä tuella keinuminen olisi todennäköisempää kuin kolmella. Toisessa vaiheessa kaksi tukipistettä muodostaa suoran tasolle x - z ja kolmannessa vaiheessa yksi tukipiste estää vielä x -suunnan liikkeen. (Enerpac, [Viitattu 2.2.2019].)

Toistettavuus on todella tärkeää koneistettavan kappaleen kiinnittämisessä. Jos työstettävissä kappaleissa alkaa ilmetä mittojen heittoa, on kiinnitys tarkastettava ja mietittävä sen toimivuutta. Jotta pysyisimme toleranssien rajoissa, on parasta, jos työkappaleen pinnat, jotka on tarkoitettu kosketuksiin tukipisteisiin, olisi työstetty. Valetut pinnat ovat käyttökelpoisia, mutta niistä aiheutuu usein ongelmia, sillä aihiot eivät ole tarkkaan keskenään saman kaltaisia. Koneistetut reiät ovat ensimmäinen valinta, koska kahta työstettyä reikää voidaan käyttää poistamaan kaikki paitsi yksi vapausaste. (Enerpac, [Viitattu 2.2.2019].)



Kuvio 1. Kappaleen vapausasteet (Enerpac, [viitattu 10.3.2019]).

2.4 Nollapistekiinnitys

Nollapistekiinnitys on menetelmä, jota käytetään usein palettijärjestelmissä ja työkalun tarkassa paikoituksessa. Nollapistekiinnityksen toistotarkkuus on parhaimmillaan 0,005 mm kiinnityskertojen välillä. Etuina nollapistekiinnityksessä on nopea asetus aika ja tarkkuus, sekä yhtenäinen kiinnitys koneiden välillä. Suurimpana etuna on kuitenkin asetusajan lyheneminen olemattomiin muihin menetelmiin verrattuna. Joissakin tapauksissa asetus aika pienenee jopa 90 %. (AMF, [viitattu 2.3.2019].)

Pääosat nollapistekiinnittimessä ovat työstökoneen pöytään asennettava sylinteri ja vetotappi, joka kiinnittyy tarkasti sylinteriin. Lukitus tapahtuu joko hydraulilla tai paineilmalla. Vetovoima, jolla kiinnitystappia vedetään, on suuri käytettäessä hydraulilla, ja näin saavutetaan kappaleen tukeva kiinnitys. (AMF, [viitattu 2.3.2019].)

Tässä työssä ei käytetty nollapistekiinnitintä, mutta haettiin vaikutteita kiinnitysmenetelmästä. Tässä työssä esiintyvän hitsatun runkorakenteen epätarkkuus keskenään on kuitenkin niin suuri, että työstön aloittaessa on nollapistet määriteltävä uudestaan.

2.5 Lastuamisvoimien määrittäminen

Lastuamisvoimien avulla voidaan suunnitella kiinnitystä ja riittävää kiinnittimien määrää. Kiinnitysmenetelmän täytyy kumota lastuamisessa syntyvät voimat, jotta kappale pysyy paikallaan. Lastuamisvoimien suuruuteen vaikuttaa moni asia, ja siksi onkin vaikeaa tehdä tarkkoja laskelmia. Laskentaan liittyy ominaislastuamisvoima, joka on materiaaliikohtainen taulukkoarvo ja se kertoo materiaalin lastuttavuudesta. Tavallisesti teräkselle on käytetty ominaislastuamisvoimaa $k_c = n \cdot 2000 \text{ N/mm}^2$ (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 16,17).

Terämateriaali vaikuttaa lastuamisvoimiin, ja onkin havaittu, että keraaminen terä vähentää lastuamisvoimia n. 10 % kovametalliin verrattuna. Lastuamisvoiman suuruuteen vaikuttaa suuresti myös terän kuluminen, ja onkin osoitettu, että jokaista 0,1

mm viistekulumista kohti lastuamisvoimat kasvavat jopa 30 %. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 18). Työkalun nirkon eli kulman säde vaikuttaa lastuamisvoiman suuruuteen ja se voidaan karkeasti laskea kaavalla:

$$F_r = (0,1 + f + r) \quad (1)$$

Yllä olevassa kaavassa f on syöttö mm/min ja r on nirkonsäde millimetreinä. Näitä mittayksiköitä käyttämällä tulos on kilonewtonia. Työssä käytettävissä vaihtopala työkaluissa oli käytössä 0,8 mm:n nirkonsäde sen paremman kestävyuden ja riittävän tarkan pinnanlaadun vuoksi.

Lastuamisnesteen vaikutukset näkyvät myös lastuamisvoimissa, mutta sen vaikutus riippuu suuresti lastuamisnopeudesta. Pienillä lastuamisnopeuksilla lastuamisvoimat pienenevät, koska neste voitelee paremmin terän ja lastun kontaktialuetta. Suurilla lastuamisnopeuksilla ei kuitenkaan saavuteta tilannetta, jolloin neste voiteli, vaan nesteellä on enää jäähdytysominaisuus. Tällöin ongelmaksi tulee kuitenkin työstettävän materiaalin karkeneminen tällaisessa tilanteessa ja se taas lisää työstövoimia. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 20.)

Työssä käytettiin leikkuunestettä poraavilla työkaluilla ja kierretapeilla jäähdytyksen vuoksi. Kaikissa jrsinnän työvaiheissa käytössä oli kuitenkin paineilmajäähdytys. Jrsintä työvaiheissavaiheissa käytettiin työkaluja, joiden halkaisijat olivat 50 mm ja 16 mm. Seuraavaksi lasketaan päälastuamisvoimat, joita näillä työkaluilla syntyi. Jrsintätyövaiheita oli keskiholkin rouhinta, joka tehtiin 50 mm tangentiaalisella jrsintätyökalulla. Toinen jrsittävä työvaihe oli kappaleen toisen reunan aukot, jotka jrsittiin dynaamisille työstöradoille tarkoitetulla jrsinterällä. Dynaamisen jrsinterän etuina oli pitkä leikkuusyvyys eli A_p . Alla olevassa taulukossa on laskettuna kummallekin työkalulle työvaiheesta muodostuvat voimat.

Taulukko 1. Lastuamisvoimat jrsimille.

D (mm)	B (mm)	Vc (m/min)	z	fz (mm/r)	kcm (N/mm ²)	Lz (mm)	hm (mm)	Fym (kN)	e	Fy (kN)	a	PL (kW)
16	1,6	150	6	0,55	1578,09	3,6	2,44	25,41	0,43	0,53	25,84	4,704
50	5	175	4	0,44	3337,78	16,08	0,13	2,1	0,4	0,84	36,86	2,436

Yllä olevaan taulukkoon on laskettu, kuinka käytettävät työkalut vaativat tehoa ja minkä suuruisia voimia niistä muodostuu. Rivillä 1 on dynaaminen jrsintappi, jolla

tässä työssä työstettiin 66 mm:n asetussyvyydellä sekä 1,6 mm:n asetusleveydellä. Työstöarvoina oli 150 m/min leikkuunopeutta ja hammaskohtaisena syöttönä 0,09. Työstöarvot olivat paljon pienemmät, mitä valmistaja oli antanut, mutta työstökoneen rajoitettujen kierrosten takia jouduttiin laskemaan leikkuunopeutta niin, että karanopeus jää alle 3000 r/min. Työstö arvojen laskennassa käytetyt laskukaavat saatiin teoksesta koneistustekniikat. Apuna käytettiin myös Walter Gps -työkalunvalmistajan omaa sovellusta ja kaavoja, johon sovellus perustuu. Myös työkalunvalmistaja Sandvikin sivuja ja laskukaavoja käytettiin apuna. Päälastuamisvoimaksi tuli laskuista noin 0,5 kN, joka on melko pieni lukema. Lastuamistehoksi saatiin noin 5 kW ja moottorin hyötysuhde huomioon ottaen koneelta vaadittava teho on noin 6 kW. Koneessa, jota käytettiin työssä, karateko oli 34 kW, joten koneen teho oli riittävä.

Seuraavaksi lasketaan poraamisessa muodostuvat voimat. Kierukkaporauksessa vaikuttavia voimia on kaksi, joista toinen on poran varren eli z-akselin suuntainen ja toinen on päälastuamisvoimatyypinen tangentiaalivoima. Voimien laskennassa käytettävät kaavat löytyvät alla olevasta luvusta poraus. Alla olevaan taulukkoon on laskettu voimat 33 mm:n poralle ja avartimelle, jonka työstöhalkaisija on 135 mm. Avartimen voimien laskuissa apuna käytettiin kaavoja työkaluvalmistaja Sandvikin verkkosivuilta.

Kappaleeseen työstettiin useita reikiä ja porauksessa työkaluina oli 33 mm u-pora ja 10,2 mm kovametallipora. Avarrustyövaiheissa työkaluina oli 34 mm viimeistely avarrin ja 135 mm rouhinta-avarrin. Alla olevaan taulukkoon on laskettu voimat suurimmille ja eniten kuormittaville työkaluille eli U-poralle ja rouhinta avartimelle.

Taulukko 2. Poraustyövaiheen voimat.

D (mm)	d(mm)	b(mm)	h_1 (mm)	A (mm ²)	Ft (kN)	Fz (kN)
33	0	16,5	0,142	2,343	6,52	6,3
135	130	2,5	0,1	0,25	0,74	20,11

Taulukossa D on työkalun halkaisija, d on alkureiän halkaisija. u- poralla ei ole tarvetta porata alkureikää, avartimella taas alkureikä täytyy olla mahdollisimman lähelle tavoiteltua mitta. Asetuskulma kummassakin terässä oli 90 astetta. Laske-

malla lastuamisvoimat näille suurimmille työkaluille voidaan laskea kappaleen kiinnitysvoimat. Pienempien työkalujen kohdalla voidaan olettaa lastuamisvoimien jäävän reilusti alle suurimman, joka oli 20 kN.

2.5.1 Kiinnitysvoimien määrittäminen

Kappaleen kiinni pysymiseen vaikuttaa työstössä aiheutuva momentti. Momentti lasketaan kaavalla:

$$M_T = F_T * e \quad (2)$$

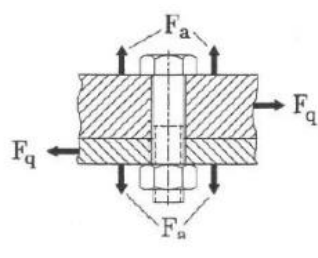
Laskukaavassa käytetty e tulee voimaparin komponenttien välisestä etäisyydestä ja se saadaan riittävällä tarkkuudella laskettua: $e = 0,5 * D$. Kaavassa F_T on jo aikaisemmin laskettu tangentialivoima. U-poralla porattaessa momentiksi saadaan 72 Nm, eli tämän vääntövoiman on kiinnityksen voitettava.

Avartimelle momentiksi saadaan 50 Nm, eli huomattavasti pienempi kuin u-poralla. Tämä johtuu siitä, että u-poralla työstetään umpiaineeseen, kun taas avartimella esikoneistettuun reikään.

Jyrsinnässä saavutetut päälastuamisvoimat täytyy kumota kappaletta alaspäin painavalla voimalla. Kappaletta paikoillaan piti 4 kpl M20 ruuveja, joilla painettiin lestirautoja kappaleen päältä.

2.5.2 Kiinnitysruuvien kuorma

Kiinnittintä paikoillaan poraussuunnassa piti 8 kpl M16-ruuveja ja x-suunnassa liike oli estetty kiiloilla ja neljällä M20-t-uraruuvilla. Syynä ruuviliitokseen tässä työssä oli sillä saavutettu modulaarisuus. Kun kiinnittimen kylkilevyt kiinnitetään ruuveilla pohjalevyyn, on leveyden muutokset mahdollisia helpoin muutoksin. Ruuviliitoksen mitoituksessa otetaan huomioon esikiristysvoima, joka mitoitetaan ulkoisen vetovoiman ja leikkausvoiman suhteen.



Kuvio 2. Ruuviliitokseen kohdistuvat voimat, (perustuu Björk ym. 2014, 143,144).

Kiinnityksessä käytettäväksi ruuveiksi valittiin lujuusluokka 8.8 sen riittävän lujuuden ja kovuuden takia. Kovempia ruuveja käyttämällä olisi ongelmana ollut kierteen rikoontuminen kiinnittimestä, sillä kiinnittimen kaikki osat oli valmistettu s355 teräksestä, jonka myötöraja on 355 MPa ja murtoraja n. 510-680 MPa. Merkintä 8.8 tarkoittaa, että ruuvien murtoraja on 800 MPa ja myötöraja on 640 MPa, nämä lasketaan kaavoilla 2 ja 3. Myös käytettävät t-uraruuvit olivat lujuusluokaltaan 8.8 ja standardin 787 mukaisia. Ruuviliitokseen kohdistuu suurimmalta osin leikkausvoimaa eli F_q . Selvitetään paljonko käytettävät ruuvit kestävät leikkausvoimaa. Ensin määritetään ruuvien murto ja myötörajat.

$$R_m = 8 * 100 \text{ Mpa} \quad (3)$$

$$R_e = 0,8 * R_m \quad (4)$$

Seuraavaksi tarvitsee laskea nimellisjännitys poikkipinta-ala A_s , joka lasketaan kaavalla:

$$A_s = \frac{\pi}{4} * \frac{d_2 + d_3}{2}^2 \quad (5)$$

Kierrekitka on taulukkoarvo, joka tässä tapauksessa: $\mu_K = 0,1$. Lukemaan vaikuttaa vastinpinnan materiaali sekä se, onko pinta kuiva, öljyitty tai sinkitty. Myös ruuvien valmistusmenetelmä sekä kierteen öljyäminen vaikuttaa.

Sallittu kiristysvoima on kuitenkin 90 % myötörajasta eli 576 Mpa.

$$\sigma_{vvsall} = 0,9 * R_e \quad (6)$$

Maksimi jännitys ruuville lasketaan kaavalla:

$$\sigma_{max} = \frac{\sigma_{vvsall}}{\sqrt{1+3\left[\frac{4}{1+d_3/d_2}\left(\frac{p}{\pi*d_2}+1,16*\mu_G\right)\right]^2}} \quad (7)$$

Esijännityksessä ruuvin vetovoima lasketaan seuraavalla kaavalla, tulokset näkyvät alla olevassa taulukossa, jossa on laskettu molemmille ruuveille jännitys.

$$F_{max} = \sigma_{max} * A_s \quad (8)$$

Esikiristysvoimaa vastaava kiristysmomentti lasketaan alla esitetyllä kaavalla. Tätä momenttia ei kuitenkaan käytetä momenttiavaimessa. Tulokseksi saatavan esikiristysvoiman suuruus määräytyy kitkakertoimien ja käytettävän kiristysmomentin tarkkuudesta. Kaavassa F_{max} on laskettu jo ylempänä, P on kierteen nousu, lisäksi tarvitaan kantopinnan ulko- ja sisähalkaisija sekä kitkakertoimet taulukosta.

$$T_{max} = F_{max}(0,16 * P + 0,58 * d_{2min} * \mu_{Gmin} + 0,5 * d_{KMIN} * \mu_{kmin}) \quad (9)$$

Liitoksessa pienin toteutuva kiristysvoima lasketaan kaavalla

$$F_{MIN} = F_{MAX}/a_A \quad (10)$$

Kaavassa a_A on vakio, jolla määritellään kiristysvoiman tarkkuutta, tässä tapauksessa käytämme arvoa 4, joka vastaa kiristystä käsin ilman momentin mittausta. Toteutuva kiristysmomentti, joka tarvittaessa momenttiavaimenkin laitetaan, tulee kaavalla

$$T_T = \frac{T_{MAX}}{1+\Delta_T} \quad (11)$$

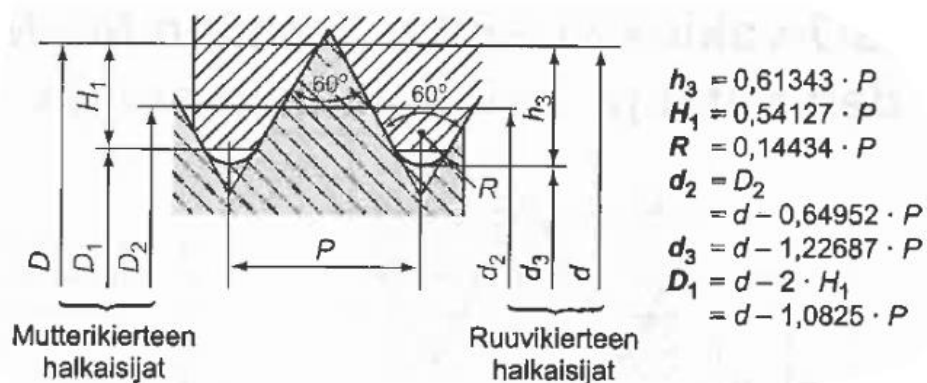
Kaavassa Δ_T on vakioarvo, jolla määritetään momenttiavaimen tarkkuutta ja tässä tapauksessa käytetään arvoa 0,06, joka vastaa tavanomaisia momenttiavaimia ja kalibrintilaitteita. Tuloksia voidaan katsoa alla olevasta taulukosta. Suurin leikkausvoima, jonka ruuvi kestää, lasketaan pienimmän toteutuvan kiristysvoiman mukaan

$$F_{MIN} * \mu_T * m \quad (12)$$

Kaavassa μ_T on kitkakerroin, joka saadaan taulukosta ja käytämme arvoa 0,16, joka vastaa puhdasta valssihilseistä teräs pintaa. Kaavassa m on liitosten lukumäärä eli 1. Tuloksista nähdään, että yksi 16 mm:n ruuvi kestää leikkausvoimaa noin 3 kN ja yksi 20 mm:n ruuvi noin 4,5 kN.

Taulukko 3. Ruuvivoimissa käytetyt suureet.

Suure	Selitys
R_m	Ruuvin murtoraja
R_e	Ruuvin myötöraja
A_s	Ruuvin jännityspoikkipinta-ala
σ_{vsall}	Ruuvin sallittu kiristysvoima
σ_{max}	Ruuvin maksimijännitys
F_{max}	Ruuvin vetovoima
T_{max}	Esikiristysvoima
d_{2min}	$0,985 d_2$
μ_{Gmin}	Kitkakerroin
d_{KMIN}	Kantopinnan ulko + sisähalk. /2 *0,97
F_{MIN}	Pienin toteutuva kiristysvoima
T_t	Työkalussa käytettävä momentti
m	Leikkeisyys
α_A	Vakio. Tavallinen momenttiavain: 1,4
Δ_T	Vakio. Tavalliset momenttiavaimet ja kalibrointilaitteet



Kuvio 3. Metrinen ISO-kierre. (Perustuu Tekniikan taulukkikirja. Valtanen, 2002, 784.)

Taulukko 4. Ruuvien kiristysvoimat sekä leikkautumisvoimat.

D (mm)	Tmax (Nm)	Tt (Nm)	Fmin (kN)	σ_{MAX} (kN)
16	163,96	154,68	19,56	2,934
20	319,68	301,58	30,55	4,58

Jyrsinnässä F_{ym} maksimi oli 25 kN ja kahdeksalla M16-ruuvilla saavutettava pito-voima on noin 23 kN, joka ei siis laskelmien mukaan riittäisi, mutta kyseisessä työvaiheessa aiheutuvat syöttövoimat kohdistuvat kohtisuoraan ja liike siihen suuntaan on varmistettu asetuskiloilla. Leikkausvoiman kestävyttä voidaan myös parantaa

kiristämällä ruuvit tarkemmin momenttiin. Varmuuden lisäämiseksi lisätään kiinnitysruuveja seuraavaan versioon kaksi kappaletta. Suurin voima aiheutui dynaamisessa työstössä juuri suuren asetussyvyyden vuoksi.

Porauksessa taas kiinnitysvoima on selvästi suurempi kuin porauksessa aiheutuva syöttövoima. Eli voidaan todeta, että kiinnittimen kylkilevyt pysyvät paikallaan kappaletta koneistaessa. Tätä asiaa vahvistaa testaukset, jotka suoritettiin koneistamalla kappaleita kiinnittimessä. Kiinnitysvoimaa voidaan kuitenkin tarvittaessa suurentaa käyttämällä momenttikiristystä tai kestävämpiä ruuveja, esimerkiksi lujuusluokkaa 10.9. Käyttämällä lujempia ruuveja kiinnittimen kierreosien materiaaliksi täytyisi vaihtaa esimerkiksi Weldox 700, joka on sitkeää ja suuremman murtorajan omaava terästä. Weldox 700:n myötöraja on 700 MPa ja murtoraja 750-950 MPa.

2.5.3 Kitka

Kiinnitysvoiman suuruuteen vaikuttaa oleellisesti pintojen välinen kitkavoima,

$$F_{\mu} = F * \mu \quad (13)$$

Kitkakerroin on taulukkoarvo, joka on annettu eri materiaaleille ja niiden väliselle kitkalle. F on voima joka liitokseen vaikuttaa. Esimerkiksi kannan ja alusta välinen kitkakerroin taulukon mukaan kahden kuivan teräs pinnan välillä on 0,1...0,16. (Björk ym. 2014, 143,144).

Taulukko 5. Ruuviliitoksen kittakertoimia. (Perustuu Björk ym. 2014,144.)

Taulukko 3.2.4-2 Ruuvien kannan ja alustan kittakertoimia erilaisilla pintakäsittelyillä (5,s. 21).

Kannan ja alustan välisen kittakerroin Kg				Nuostrusteräksinen ruuvi										
				Musta tai fosfatoitu				Sähkösinkitty Zn6				Sähkökadmioitu Cd6		
				Poristettu		Sorvattu		Hiottu		Poristettu				
				Kuiva	Öljyty	MoS ₂	Öljyty	MoS ₂	Öljyty	Kuiva	Öljyty	Kuiva	Öljyty	
Kuva vastapinta	Teräs	Paljas	Hiottu		0,16 0,22		0,10... 0,18		0,16... 0,22	0,10... 0,18		0,18... 0,16		
			Las-tuttu		0,12... 0,18	0,10... 0,18	0,08... 0,12	0,10... 0,18	0,08... 0,12		0,10...0,18		0,08... 0,16	0,08... 0,14
		Sähkö-sinkitty			0,10...0,16			0,10... 0,16		0,10... 0,18	0,16... 0,20	0,10... 0,18		
			Sähkö-kadmioitu		0,08...0,16								0,12... 0,20	0,12... 0,14
	GRS	Paljas	Hiottu		0,10... 0,18					0,10...0,18		0,08 0,16		
			Las-tuttu		0,14... 0,20		0,10... 0,18		0,14... 0,22	0,10... 0,18	0,10... 0,16	0,08... 0,16		
	AlMg			0,08...0,20										

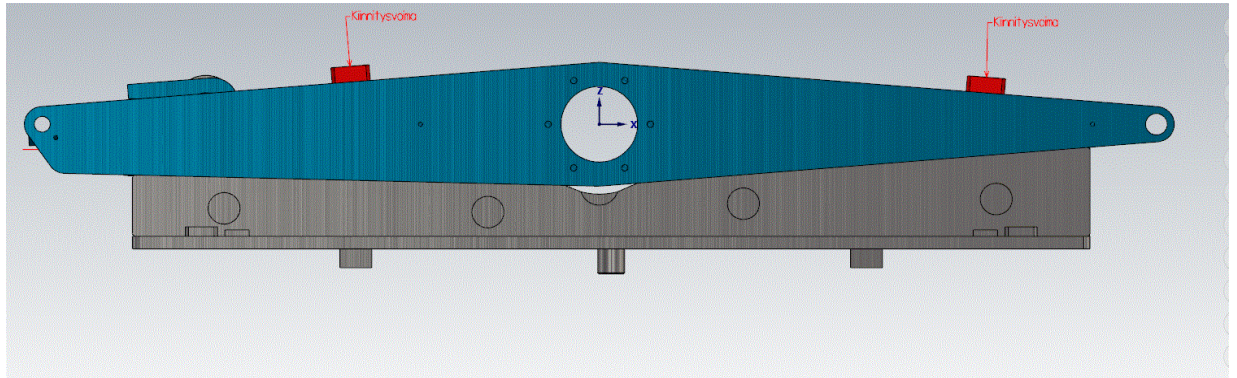
2.5.4 Kiinnitysasetelma

Työssä käytettävän kiinnittimen kiinnitys voidaan tehdä suoraan jyrsinkoneen pöytään, jolloin pohjalevy kiinnitetään neljällä M20-t-uraruuvilla ja liike y -suunnassa esitetään pohjalevyyn asennetuilla kiiloilla. Ensimmäiset kappaleet työstettiin tällä menetelmällä, mutta kiinnittimen suunnittelu tehtiin periaatteella, että se voidaan kiinnittää pyöröpöytään, jolloin sen keskitys tehdään akselilla pyöröpöydän keskelle. Keskittävä akseli pohjalevyssä sorvattiin tarkkuuteen h7 ja akselin päässä on asetusviiste. Kiinnitysasetelmassa on sama periaate kuin nollapistekiinnittimessä, mutta tarkkuus ei ole yhtä hyvä. Asetustarkkuus on kuitenkin riittävä, sillä kiinnitintä ei ole tarkoitus irrottaa kappaleita työstäessä.

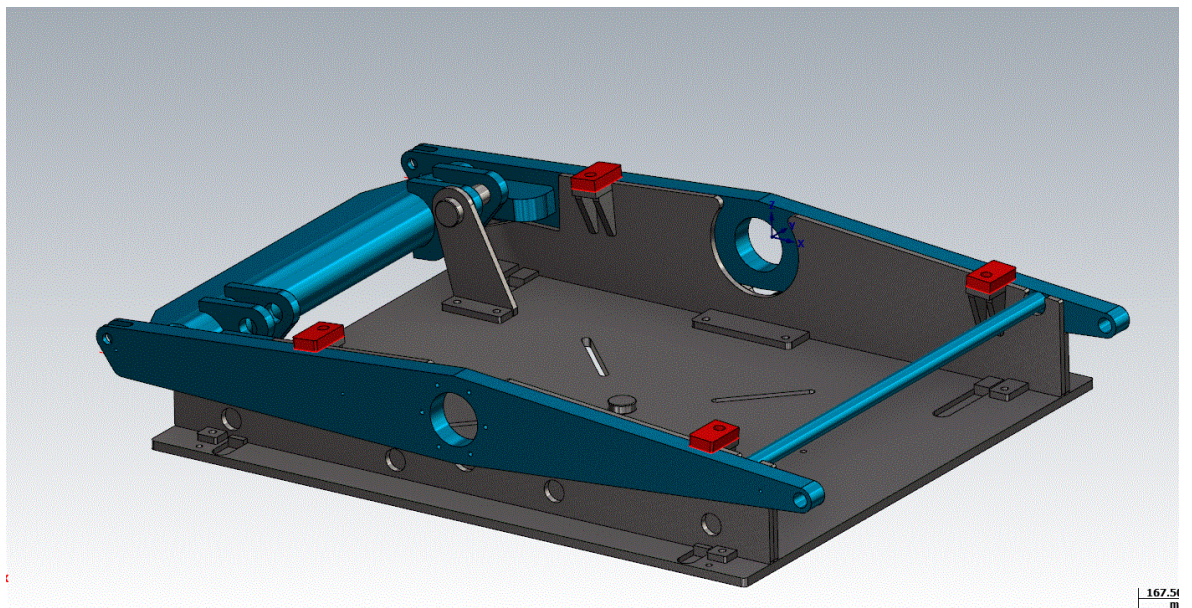
Kuvio 4 havainnollistaa kiinnittimen kiinnityksen pyöröpöytään. Harmaa osa on suunniteltua kiinnitintä ja sininen osa on kiinnitettävää kappaletta. Kohdistuksen takia pohjalevyssä on kiilat, joilla kiinnitin saadaan kohtisuoraan koneen x-akseliin nähden. Kiilojen käyttö ei kuitenkaan ole välttämätöntä, sillä pyöröpöytä voidaan paikoittaa mihin tahansa kulmaan ja määrittää asema nollakulmaksi. Kiilat olivat

välttämättömät kuitenkin tilanteessa, jossa kappaleet jouduttiin työstämään ilman pyöröpöytää kiinnittintä kääntämällä.

Kuvioissa 4 ja 5 näkyvät punaiset kappaleet ovat kiinnitysrautoja, joilla kappale pu-
ristettiin kiinnittimeen. Kiinnitysraudat pyrittiin asettamaan mahdollisimman lähelle
kappaleen molempia päitä, mutta esteenä olevien välitankojen vuoksi ne jäivät hie-
man kauaksi.



Kuvio 4. Kiinnitysasetelma sivulta.



Kuvio 5. Koko kiinnitysasetelma.

2.6 Työkalut

Työssä oli tarpeellista käyttää enimmäkseen poraavia työkaluja. Työkalut valittiin sen mukaan, millä tehokkaimmin ja tarkimmin saataisiin valmistettua vaatimusten mukainen tuote. Kaikki käytettävät työkalut olivat vaihtopalaisia tai täyskovametallisia työkaluja, lukuun ottamatta kierretappeja. Asioita, joita otettiin huomioon porausmenetelmää valittaessa:

- reiän halkaisijan mitta
- vaaditut toleranssit
- lastuamiskustannukset
- työkappaleen materiaali
- osan muoto
- käytettävissä olevat työstökoneet.

Reikiä koneistettaessa täytyy ottaa huomioon useita samanaikaisesti esiintyviä virheitä ja poikkeamia ideaalista reikägeometriasta. Tavallisimpia reikien virheitä ovat

- reiän keskipisteen sijainti virhe (paikkatoleranssi)
- reiän keskiakselin geometrian sijainti virhe (suoruus, kohtisuoruus)
- reiän muotovirhe (Lieriömäisyys, ympyrämäisyys)
- pinnankarheuden poikkeamat ideaalipinnanlaadusta
- työstönaarmujen suunta ja syvyys
- reiän halkaisijan mitoitus.

Onnistunut reikien poraus edellyttää tukevia, oikeanmittaisia ja -muotoisia sekä keskeisesti pyöriviä työkaluja. Dynaamisten värähtelyjen eliminoimiseksi on käytettävä mahdollisimman lyhyttä poran ulokepituutta. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997,213,214.)

2.6.1 Pikateräs

Pikateräs on edelleen käytössä oleva työkalumateriaali, mutta sitä käytetään yleensä erikois- ja yksittäistapauksissa pienempien lastuamisarvojen vuoksi. Pikateräs on kuitenkin yleisesti edelleen käytössä kierretappien materiaalina. (Pesonen 2019). Tässä työssä käytettävät kierretapit olivat pikaterästä, koska se toimii kierretappin materiaalina paremmin kuin kovametalli ja sillä työkalun hinta saadaan pienemmäksi.

Pikateräksen koostumukset vaihtelivat alun kehitysvaiheessa ja vaihtelevat edelleenkin. Pikateräs ei olekaan yksi teräaine, vaan laajakirjainen teräaineryhmä. Konventionaaliset pikateräkset valmistetaan sulatusmenetelmällä ja pulveripikateräkset sintraamalla. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 43.)

Pikateräksen merkintänä käytetään yleensä kirjaimia HSS (engl.: High speed steel).

Pikateräksen lastuamisnopeus vaihtelee työmenetelmästä riippuen, esimerkiksi sorvauksessa noin 0,25 – 2 m/s (20-120 m/min) ja kalvinnassa noin 0,1-0,2 m/s (6-12 m/min). Pikateräkset sietävät sitkeinä teräaineina suuria syöttöjä ja lastuamis-syvyyksiä. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 43.)

2.6.2 Kovametalli

Kovametalli on yleisesti käytössä oleva työkalumateriaali. Nykyään suurin osa myytävistä työkaluista on kovametallia. Kovametallin ominaisuuksiin vaikuttaa eniten kovien volframikarbidien raekoko sekä sidosaineen (kobolttin) määrä. Kovametallin kulutuskestävyys verrattuna työkaluteräksiin voi olla 50-kertainen, parhaimmissa sovelluksissa jopa 100-kertainen. Kovametallin puristusmurtolujuus, jäykkyys ja lämmönjohtokyky ovat hyviä. (Kovametalli-IN, [Viitattu 5.2.2019].)

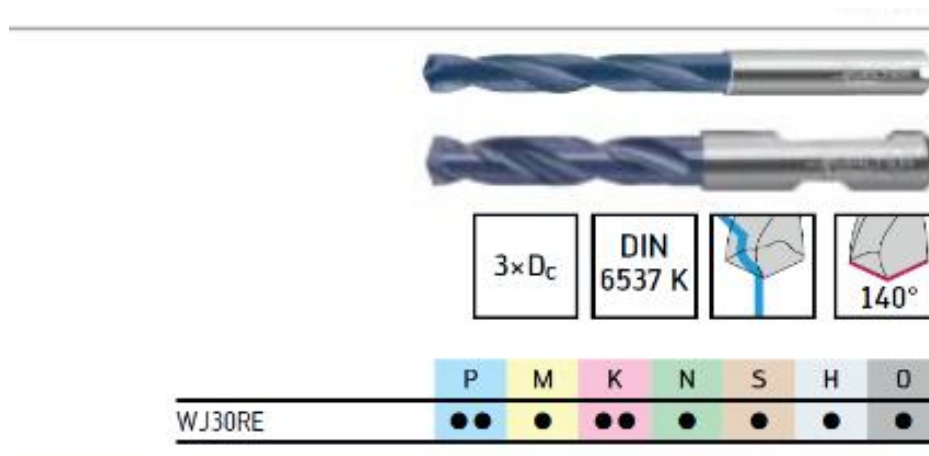
Kovametallit valmistetaan volframikarbidijauheesta, johon sekoitetaan titaani-, niobi- tai tantaalikarbidia sekä kobolttijauhetta. Koboltti toimii kovia karbideja yhdistävänä sideaineena. Kovien komponenttien osuus on kovametalleissa 70-95 % lopun ollessa sidosainetta. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 46.)

Koostumusta ja rakennetta muuntelemalla syntyvät erilaiset kovametallit on totuttu ryhmittelemään käyttöominaisuuksien perusteella luokkiin. ISO:n mukaisessa ryhmityksessä lastuavan työstön kovametallit jaetaan kolmeen ryhmään: P, M ja K. Ryhmillä on omat tunnusvärensä: sininen, keltainen ja punainen. Merkintään kuuluu lisäksi kulumiskestävyyden ja sitkeyden ilmaiseva numero, esim. P30. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 46.)

Alla oleva kuva esittää nykyisellään käytössä olevat materiaaliryhmät, joiden mukaan valitaan sopiva työkalu tai poramateriaali. Nykyään kovametalliseokset pystyvät yhä kovempiin materiaaleihin ja niinpä materiaaliryhmistä löytyy myös karkaistut teräkset, nikkeli-kobolttiseokset ja titaanit. Alumiini ja muovit edustavat taas pehmeämpiä materiaaleja. Poratyypit taas on suunniteltu niin, että eri leikkuunopeuksia ja syöttö arvoja käyttämällä ne soveltuvat melkein kaikille ryhmille. Kun halutaan lisätä työkalun kestoa, tulee eteen tilanne, että täytyy valita juuri kyseiselle materiaalille suunniteltu työkalumateriaali. Kuva 3 esittää, kuinka kyseinen kovametallipora soveltuu keskimäärin hyvin kaikille materiaaliryhmille, mutta parhaiten se sopii materiaaleille teräs ja valurauta. (Walter general catalogue 2012).

Taulukko 6. Materiaaliryhmät (Walter general catalogue 2012).

Code letters	Machining group	Groups of the materials to be machined	
P	P1–P15	Steel	All types of steel and cast steel, with the exception of steel with an austenitic structure
M	M1–M3	Stainless steel	Stainless austenitic steel and austenitic-ferritic steel and cast steel
K	K1–K7	Cast iron	Grey cast iron, cast iron with spheroidal graphite, malleable cast iron, cast iron with vermicular graphite
N	N1–N10	NF metals	Aluminium and other non-ferrous metals, non-ferrous materials
S	S1–S10	High temperature alloys and titanium alloys	Heat resisting special alloys based on iron, nickel and cobalt, titanium and titanium alloys
H	H1–H4	Hard materials	Hardened steel, hardened cast iron materials, chilled cast iron
O	O1–O6	Other	Plastics, fibre glass and carbon fibre reinforced plastics, graphite



Kuvio 2. Kovametalliporan soveltuvuus eri materiaaliryhmille (Walter general catalogue 2012).

Työssä käytettävistä porista kaikkien materiaali oli kovametalli. Kovametallityökaluja käytettiin niiden pidemmän keston ja suuremman työstönopeuden takia. Kovametallia oli myös avarrintyökalun teräpala sekä dynaaminen jyrsintappi, jolla työstettiin kappaleeseen aukkoja.

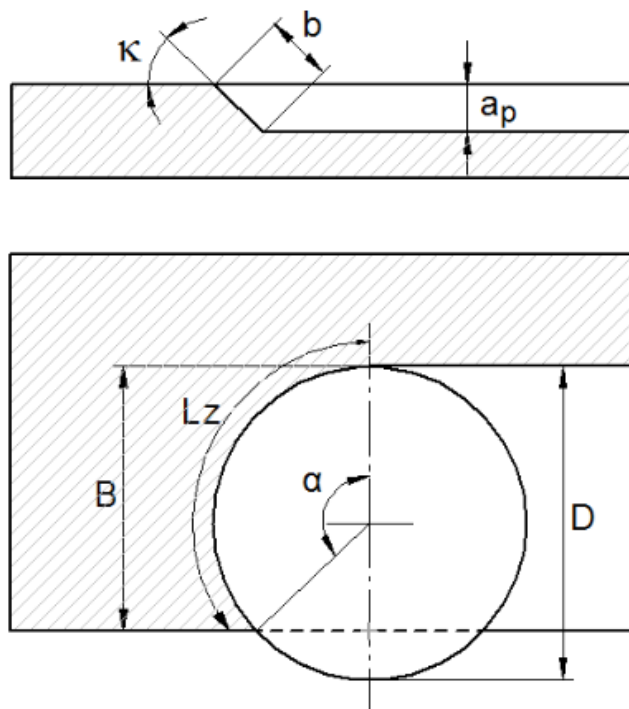
2.6.3 Jyrsintä

Tason jyrsintä on yleinen materiaalin poisto menetelmä työkappaletta koneistaessa. Jyrsiminen on lastuava työmenetelmä, jossa pyörivää, tavallisesti monihampaista työkalua käyttäen irrotetaan lastuja työstettävästä kappaleesta. Jyrsimällä voidaan valmistaa mm. tasomaisia tai käyriä pintoja sekä uria ja hammasmuotoja. (Maaranen 2004,173.)

Jyrsinnän suureita laskettaessa on otettu käyttöön termi keskimääräinen lastunpaksuus h_m . Keskimääräistä lastunpaksuutta on hyvä käyttää, koska jyrsinnässä usein vaihtuvan lastunpaksuuden ja lastuamisleveyden vuoksi laskukaavat olisivat liian monimutkaisia. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997,22.)

Taulukko 7. Jyrsinnän suureiden selitykset. (Perustuu Andersson 1997).

Suure	Selitys	Yksikkö
B	Jyrsittävä leveys	mm
h_m	Keskilastunpaksuus	mm
D	Jyrsimen halkaisija	mm
a_p	Asetussyvyys	mm
e	kontaktissa oleva terien määrä	kpl
k	Asetuskulma	aste
α	terän ja kappelen kontaktikulma	aste
L_z	Työkalun ja työkappaleen kontaktipituus	mm
f_z	Syöttö/ hammas	mm
k_c	Keskimääräinen ominaislastuamisvoima	$\frac{N}{mm^2}$
z	jyrsimen hammasluku	kpl



Kuvio 6. Jyrsinnän suureiden selitykset. (Perustuu Andersson 1997,22).

Keskimääräinen lastunpaksuus lasketan kaavalla:

$$h_m = \sin k * f_z * B / L_z \quad (14)$$

Kontaktipituus, jyrsimen ja kappaleen kosketuskulmaa vastaava kaaren pituus:

$$L_z = \frac{a}{360} * \pi * D \quad (15)$$

Keskimääräinen päälastuamisvoima hammasta kohden:

$$F_{ym} = b * h_m * k_c \quad (16)$$

Kokonaislastuamisvoima saadaan laskemalla ensin kaava:

$$e = z * a / 360 \quad (17)$$

Ja seuraavaksi:

$$F_y = F_{ym} * e \quad (18)$$

Kontaktissa olevien hampaiden määrän kaava:

$$e = z * a / 360 \quad (19)$$

Kaavoissa esitetyt suureet löytyvät yllä olevasta taulukosta. Kaavoissa esiintyvä k_c ominaislastuamisvoima ja se saadaan laskettua kaavalla

$$k_c = h_m^{-m} * k_{c.11} \quad (20)$$

Kaavassa esiintyvä $k_{c.11}$ on taulukko arvo, joka saadaan alla olevasta taulukosta.

Taulukko 8. Jyrsinnän ominaislastuamismoimia. (Perustuu Andersson 1997, 17).

Materiaali	SB (N/mm ²)	k _{c1.1} (N/mm ²)	m	γ (°)	λ (°)
Fe 370	370	1780	0,17	6	-4
Fe 500	520	1990	0,26	6	-4
Ck 45	670	2220	0,14	6	-4
42CrMo4	730	2500	0,26	6	-4
34CrMo4	800	2240	0,21	6	-4
55NiCrMoV6	940	1740	0,24	6	-4
GG 200 (220HB)	-	1020	0,25	6	-4

2.6.4 Poraus

Reiän tekeminen jyrsinkoneella on hyvinkin yleistä, sillä CNC-ohjattu jyrsin soveltuu hyvin erilaisten reikien poraamiseen, jyrsimiseen tai avartamiseen. Avartamista käytetään yleisesti tarkkojen reikien koneistamiseen, sen hyviä ominaisuuksia on halkaisijan säädettävyys ja työstötarkkuus. Reiän tekoon on käytettävissä yleensä erilaisia poratyyppisiä, seuraavassa on lista yleisimmistä käytettävistä:

- HSS-pora MK kartio
- HSS-pora, lieriövirtinen
- kovametallipora
- vaihtokärkipora
- vaihtopalapora (U-pora)
- Kanuunapora.

Porauksessa vaikuttaa kaksi eri voimaa, jotka ovat poran varren suuntainen aksiaalivoima F_z , sekä tangentialivoima F_t . Poratessa syöttö on hammasta kohden ja yleisesti kierukkiporassa hammasluku $z = 2$. (Andersson 1997, 25.)

Alla oleva kuva havainnollistaa porauksen suureet, kuvassa D = poran halkaisija ja d = alkureiän koko. Kulma k taas on terän kulma. Eri poratyypeillä on eri kärkikulma,

esimerkiksi kovametalliporissa yleisesti käytetty kärkikulma on 118 astetta ja pika-teräsporissa se on 120 astetta. Vaihtopalaporissa eli u-porissa kärkikulma on 180 astetta.

Syöttö leikkaavaa terää kohden:

$$F_z = f/z \quad (21)$$

Porauksen lastun leveys:

$$b = \frac{D-d}{2 * \sin k} \quad (22)$$

Lastuamispaksuus:

$$h_1 = f_z * \sin k \quad (23)$$

Lastun poikkipinta-ala:

$$A = b * h_1 = \frac{(D-d)*f}{4} \quad (24)$$

Ilman alkureikää porattaessa $D = 0$, jolloin tangentialivoima lastuavaa särmää kohti on:

$$F_t = A * kc, \quad (25)$$

Tangentialivoiman lauseke:

$$F_T = \frac{D-d}{2*\sin k} * \left(\frac{f}{2} * \sin k\right)^{1-m} * kc \quad 1.1$$

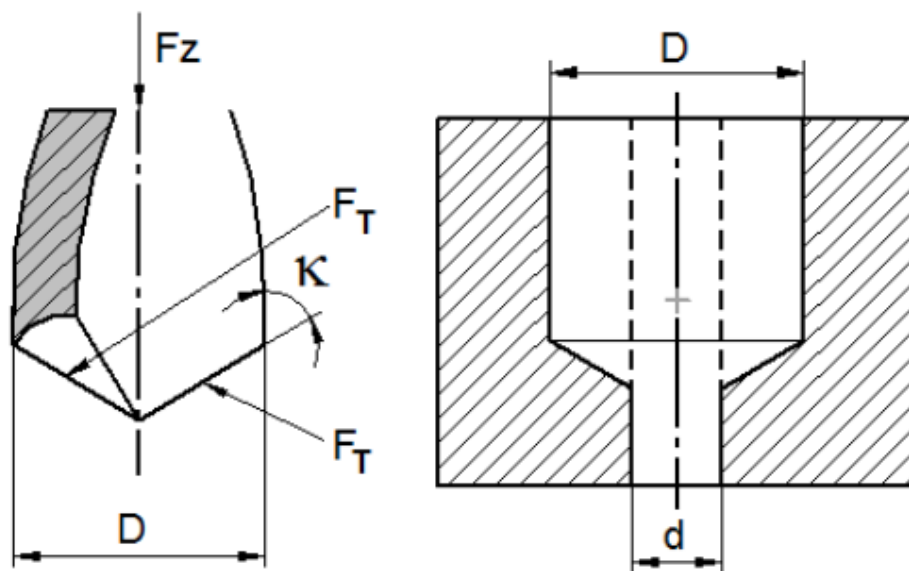
Myös porauksessa kc on porauksen ominaislastuamisvoima, joka lasketaan kaavalla:

$$k_c = h_m^{-m} * k_{c.11}$$

Ominaislastuamisvoima taulukoissa esiintyvä Fe 500 on vanha merkintä ja se vastaa nykypäivänä materiaalia s355, jonka myötölujuus on 355 N/mm^2 ja murtolujuus $510\text{-}680 \text{ N/mm}^2$

Taulukko 9. Porauksen suureiden selitykset. (Perustuu Andersson, 1997).

Suure	Selitys
b	lastun leveys
h_1	Lastuamispaksuus
D	Poran halkaisija
F_T	Tangentiaalivoima
e	Voimaparin komponenttien etäisyys
d	Alkureiän halkaisija
A	Lastun poikkipinta-ala
M_T	Vääntömomentti
f_z	syöttövoima
k_c	Porauksen ominaislastuamisvoima



Kuvio 7. Kierukkaporauksen suureet. (Perustuu Andersson 1997, 25.)

Taulukko 10. Ominaislastuamisvoimia poraukselle. (Perustuu Andersson, 1997, 27).

Materiaali	σ_B (N/mm ²)	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	m	$k_{cf1.1}$ (N/mm ²)	n
18 CrNi 8	600	2 690	0,18	1 240	0,45
42 CrMo 4	1 080	2 720	0,14	2 370	0,29
100 Cr 6	710	2 780	0,24	1 630	0,44
46 MnSi 4	650	2 390	0,15	1 360	0,38
Ck 60	850	2 200	0,13	1 170	0,43
Fe 500	560	1 960	0,18	1 250	0,29
16 MnCr 5	560	2 020	0,17	1 220	0,36
34 CrMo 4	610	1 840	0,20	1 460	0,36

2.6.5 Avartaminen

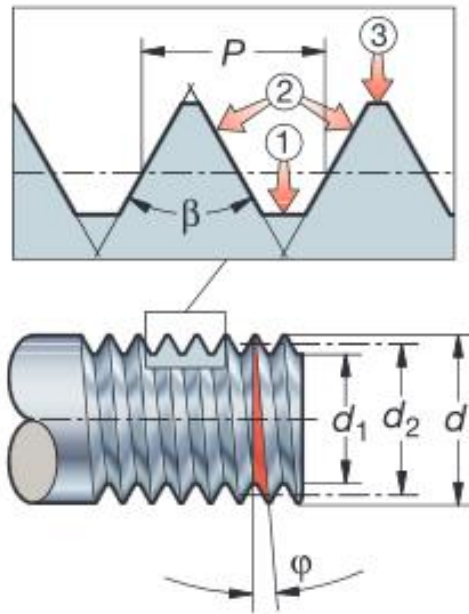
Avartaminen on työstömenetelmä, joka on tarkoitettu kappaleiden tarkkamittaisten sovitereikien ja useiden saman akselisten reikien koneistamiseen. Tarkat toleranssit varmistetaan usein työstämällä reikäakseliinjat yhdellä kiinnityksellä. Avartamiseen on olemassa siihen tarkoitettuja työstökoneitakin, mutta kaikilla yleisimmillä työstökoneilla onnistuu myös avartaa siihen tarkoitettulla työkalulla. Isot työkalut vaativat yleensä paljon karatehoa, mutta tarkoituksenmukaisilla työkaluilla voidaan välttää kappaleen kääntämistä ja ylimääräistä liikuttelua. Avartaessa reikiä voidaan soveltaa porauksessakin käytettyjä lastuamisarvoja. Tapauskohtaisesti lastuamisarvoja joudutaan kuitenkin säätämään, että saavutetaan haluttu pinnankarheus ja toleranssit. (Andersson 1997, 204). Tässä työssä käytettiin kahden tarkan reiän valmistamiseen avarrintyökalua. Työkalut valittiin työhön sopivaksi niiden säädettävyyden ja hyvän mittatarkkuuden vuoksi.

2.6.6 Kierteen teko

Kierteitys kuuluu porausmenetelmien joukkoon standardin DIN 8589 mukaan. Kierteen teko voidaan suorittaa muutamalla erilaisella työkalulla ja työkierrolla. Työstökoneella tapahtuva kierteen teko on usein kuitenkin kierretapilla kierteittämistä. (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 214).

Kierteen valmistamiseen ja merkitsemiseen liittyviä asioita:

1. kierteen pohja, yhdistää vierekkäiset kyljet
2. kylki, yhdistää kierteen harjan ja pohjan
3. harja, vierekkäisten kylkien yhdistävä osa.

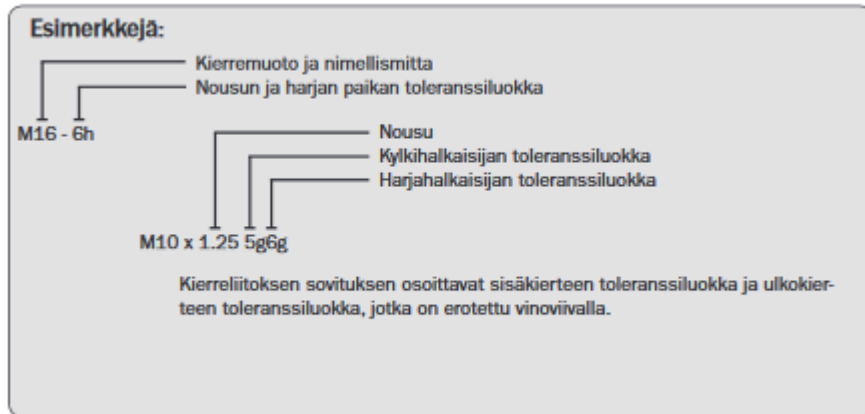


Kuvio 3. Kierremerkinnän suureet (Sandvik Coromant, [viitattu 12.2.2019]).

Taulukko 11. Kierremerkinnän suureet, (perustuu Sandvik Coromant. [Viitattu 12.2.2019]).

Suure	Selite	Yksikkö
P	Nousu	mm tai tuuma
β	Kylkikulma	Astetta
ϕ	Kierteen nousukulma	Astetta
d/D	Ulkohalkaisija, ulko tai sisäkierre	mm
$d_1 \ D_1$	Sisähalkaisija, ulko tai sisäkierre	mm
$d_2 \ D_2$	Kylkihalkaisija, ulko tai sisäkierre	mm

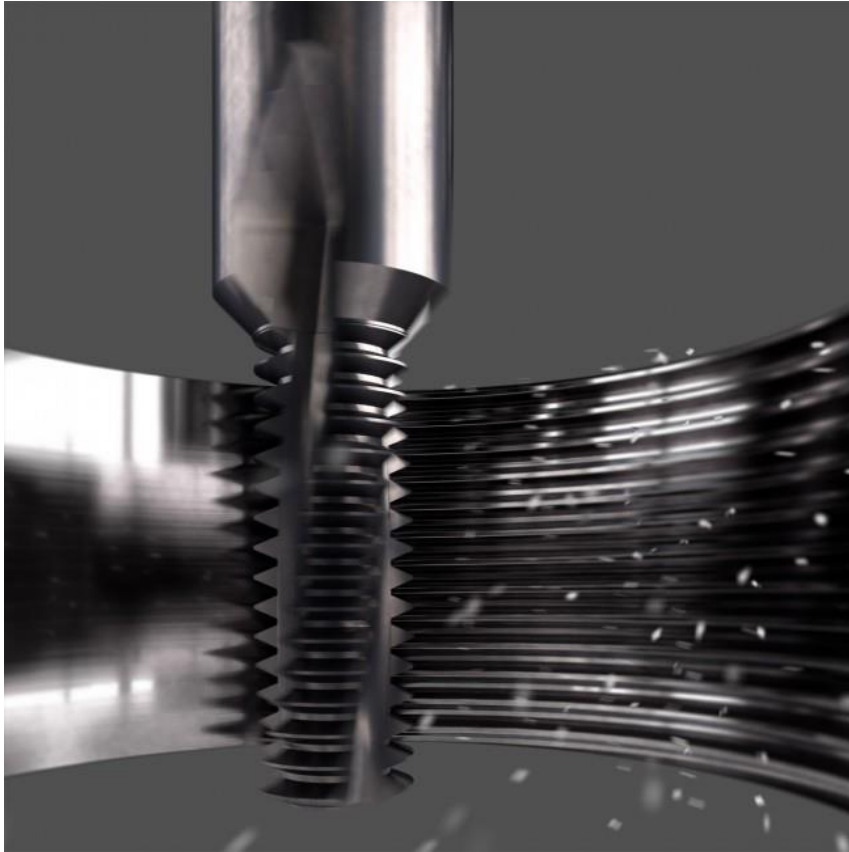
Ulkokierteen ja sisäkierteen eli kierrelitoksen sopimisen yhteen mahdollistaa standardi, joka määrittää kierteiden sopivuuden toisiinsa ja niiden keston määrätyle kuormalle. Alla oleva kuva kertoo, kuinka kierre merkitään piirustukseen ja kuinka toleranssia tulkitaan.



Kuvio 8. Kierretoleranssin selite. (Sandvik Coromant). [viitattu 12.2.2019]).

Toinen tapa kierteen valmistamiseen työstökoneella on kierteen jyrshintä. Kierteen jyrshintä on nykyään yleistymään päin alentuneiden työkalukustannusten ja ylivoimaisen nopeuden vuoksi. Jyrshintä soveltuu useille materiaaleille kovametallista valmistetun työkalun ansiosta. Työkalussa on kierteen nousun mukainen profiili ja kierre muodostuu kappaleeseen, kun työkalua pyöritetään ja ajetaan nousu interpo-laatioliikkeellä. Yhden kierroksen sivuttaisliike muodostaa kierteen nousun. Kierteen jyrshintä saavutetaan myös nopea työstöaika, sillä työstäessä voidaan käyttää työstöarvoja, jotka on tarkoitettu kovametallille. (Guehring, [viitattu 10.2.2018].)

Kierrejyrshintä on suositeltavaa käyttää esimerkiksi tilanteissa, joissa lastun muodostus ja poisto tuottavat ongelmaa, koneistetaan olaketta vasten tai lähelle umpireikää, työkappale tai sen kiinnitys on heikko tai ei haluta kierretapin katkeavan kriittiseen paikkaan. Särkynyt kierrejyrshintä on helppo poistaa reiästä, sillä kovametalli murenee yleensä pieniin osiin. (Guehring, [viitattu 10.2.2018].)



Kuvio 9. Mitä on kierteen jrsintä. (Sandvik Coromant).

2.6.7 Dynaaminen jrsintä

Dynaaminen jrsintä ominaisuutta hyödynnettiin tämän työn tekemiseen, sillä käytössä oli CAM-ohjelmisto, jolla dynaamisen radan teko ei aiheuttanut ongelmaa. Dynaamisen työstöradan käyttö konepajateollisuudessa on lisääntymään päin CAM-ohjelmiston käytön yleistymisen vuoksi ja siksi, että sen hyödyt on huomattu käytännön asioissa. (Pesonen 2019). Dynaamista jrsintää hyödynnetään esimerkiksi Mastercam-ohjelmiston eri työkiertoissa, mutta muidenkin CAM-ohjelmistojen valmistajilta on tullut dynaamiseen työstöön liittyviä työkiertoja.

Yhtenä suurena valmistajana on Mastercam, jolta esimerkiksi löytyy seuraavanlaisia dynaamisia työstöratioja:

- dynaaminen profiili
- dynaaminen tasaus

- dynaaminen kuorinta.

Dynaaminen optirouhinta. (Dynaaminen jrsintä. Mastercam 2019, [Viitattu 10.2.2019].)

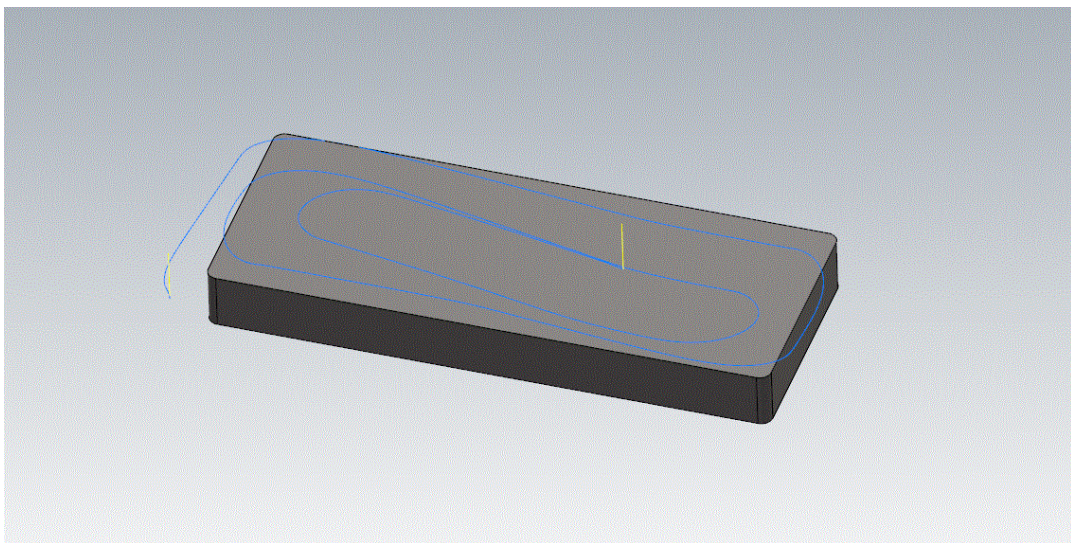
Dynaaminen jrsintä on työstömenetelmä, jonka työkaluvalmistajat ja CAM-ohjelmistojen kehittäjät ovat yhdessä kehittäneet. Dynaamiset työstömenetelmät kehitettiin alun perin vaikeasti lastuttavien aineiden, kuten kovien terästen ja kuumalujien superseosten rouhintaan. Menetelmä perustuu siihen, että käytetään hyväksi työkalun koko pituutta, eli aksiaalinen lastuamissyvyys (a_p) on mahdollisimman suuri ja radiaalinen lastuamissyvyys (a_e) mahdollisimman pieni, eli pyritään välttämään jrsintää täydellä työkalun leveydellä. Dynaamisen jrsintäradan käytössä pyritään välttämään suoraviivaisia liikkeitä ja materiaalia poistetaan jouheilla kaariliikkeillä. (Dynaaminen jrsintä, [viitattu 12.2.2019].)

Työstettäessä dynaamisella työstöradalla taskuja tai kappaleen sivuja työstö on aina myötäjrsintää ja käytettävä lastuamisleveys $a_e = n \cdot 5-20 \% D_c$. Myötäjrsintä tarkoittaa, että työkalulla työstetään ainoastaan samaan suuntaan ja lastun päätyttyä työkalu palaa aina uuden lastun alkuun pikaliikkeellä. Lähestyminen kappaleeseen tehdään kaarevalla liikeradalla, joka on n. 10 % työstöhalkaisijasta. Työstettäessä taskuja ja suljettuja alueita työkalun halkaisija (D_c) saa olla enintään 70 % alueen leveydestä. Dynaamisesti jrsittäessä suositellaan käytettäväksi paineilmajäähdytystä, joka poistaa lastuja kappaleen päältä tehokkaammin kuin perinteinen leikkuuneste. Leikkuunesteen suurin haitta on se, että neste painaa lastut alas taskuun, jolloin ne jäävät helpommin häiritsemään työstöä. (Dynaaminen jrsintä, [viitattu 12.2.2018].)

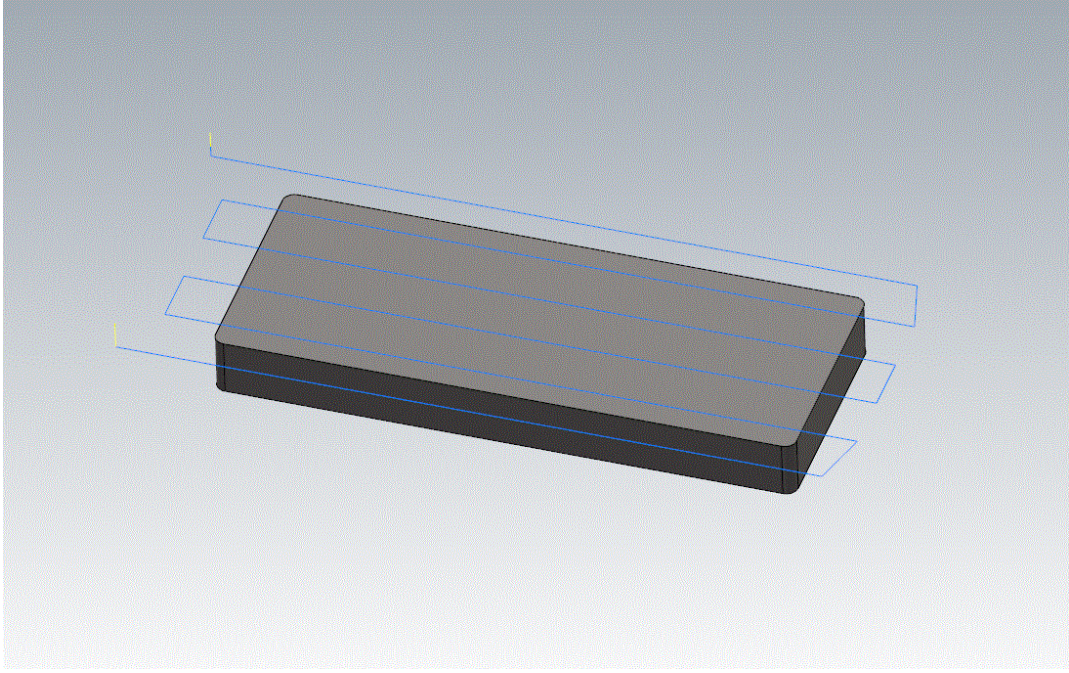
Pinnan tasauksessa dynaamisesti käytetään optimaalista lastuamisleveyttä työkalun valmistajan ohjeiden mukaisesti, joka on yleensä 66-75 % koko lastuamisleveydestä. Dynaaminen tasaus kilpailee perinteisten ”yhteen suuntaan” tai ”zigzag”-menetelmien kanssa. Etuna dynaamisessa radassa kuitenkin on jouheva työstörata, joka mukaillee työstettävää aluetta, sekä työkalun kontakti, joka on suuri työstettävään kappaleeseen. Dynaamisesti työstettäessä lastuamissuunta pysyy vakiona ja lastuamisleveys pysyy tarkkaan optimaalisella alueella, jolloin työkalu ei kuormitu

liikaa esimerkiksi käänkökohdissa. Dynaamisen työstön avulla lastuvirta ja työstökoneen kuormitus pysyy koko ajan samana ja näin säästetään työkalukustannuksissa. Käyttämällä dynaamista rataa pidennetään koneen elinkaarta ja säästetään huoltokustannuksissa. Dynaaminen rata on pienempi rasitus työstökoneen johteille, kuularuuveille ja servomootoreille, sillä työstöradassa liike on jatkuvaa, eikä siinä ole nopeita suunnanvaihtoja. Dynaamisen jyrinnän käyttäjillä ei ole tullut vastaan tilannetta, jossa työ olisi ollut parempi suorittaa vanhoin menetelmin. (Pesonen 2019.)

Alla olevat esimerkit työstöt on tehty Mastercam ohjelmistolla ja kuvat havainnollistavat dynaamisen radan ja "zigzag"-radan eron. Sininen viiva kuvaa koneen työstöliikettä ja keltainen nopeampaa pikaliikettä. Esimerkissä työstettiin 200 mm x 500 mm alue samoilla työstöarvoilla ja parametreilla. Tuloksista selviää, että dynaaminen rata on työstöajaltaan 1.28 min, kun taas "zigzag"-rata on 1,58 min, joten eroa tulee jo pienelläkin alueella. Dynaamista rataa käyttämällä voitaisiin kuitenkin käyttää suurempiakin työstö arvoja ilman teräpalan rikkoontumisongelmia.



Kuvio 10. Dynaaminen jyrintärata.



Kuvio 11. Perinteinen "zigzag"-työstörata.

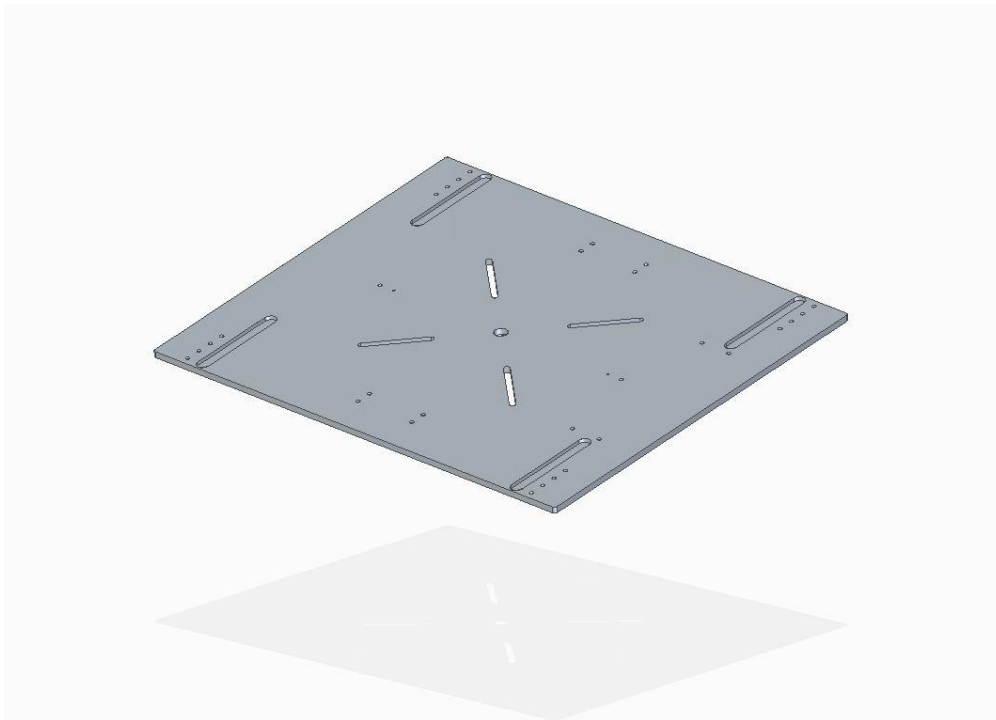
3 KIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Tämän kiinnittimen suunnittelun lähtökohtana oli tarve saada työstettyä kappale, jonka kiinnittäminen olisi ollut hankalaa tavanomaisin keinoin. Tällaisissa tapauksissa yrityksessä on totuttu valmistamaan työstössä apuna oleva kiinnitin itse. Suunnittelun tarpeellisuutta vahvisti myös mahdollisuus saada valmistaa tuotteita jatkosakin, jos valmistuskustannukset saadaan tarpeeksi pieniksi.

Kiinnittimen suunnittelussa apuna käytettiin kahta eri ohjelmistoa, mutta suurin osa osien mallintamisesta tehtiin Mastercam-ohjelmistolla. Toinen ohjelmisto, jota käytettiin, oli Solid edge ST 9. Suunnittelu aloitettiin tutkimalla 3D-mallia, jonka asiakas oli toimittanut, ja sen pohjalta eri kiinnitysmenetelmiä alettiin tutkimaan. Kiinnittimen osat mallinnettiin suoraan 3D-mallin päälle, jolloin varmistettiin osien sopivuus valmistettavaan kappaleeseen.

3.1 Pohjalevy

Suunnittelun ensimmäinen vaihe oli suunnitella pohjalevy, jonka päälle itse kiinnitin ja työstettävä kappale tulisi. Pohjalevyn suunnittelussa huomioon otettiin mahdollinen pyöröpöytäkiinnitys ja keskittävä akseli. Riittävä tukevuus täytyi myös varmistaa. Materiaaliksi valittiin 20 mm paksuinen s355-laatuinen teräslevy. Materiaalikulunnuksia ei tarvinnut miettiä, sillä kaikki käytettävät materiaalit löytyivät yrityksen varastosta. Jatkossa, jos kiinnittimen käyttö lisääntyisi, pohjalevy voitaisiin valmistaa Weldox 700 -laatusesta teräksestä, joka on sitkeämpää sekä lujempaa. Sitkeyttä ja lujuutta tarvitaan esimerkiksi kierteissä. Jos ruuveja joudutaan avaamaan useita kertoja, kierteet kuluvat nopeasti. Weldox 700 -teräs ei ole myöskään yhtä altis värinöille ja on helposti työstettävää.



Kuvio 12. Pohjalevy.

Pohjalevyn täytyi olla mahdollisimman tukeva, mutta painon täytyi kuitenkin pysyä sopivana. Kuvio 10 havainnollistaa pohjalevyä ja siihen tehtyjä koneistuksia. Pohjalevy ja siihen suunnitellut läpireiät leikattiin laserilla. Pohjalevyyn koneistettiin 10 mm syvyiset kiilaurat varmistamaan kylkilevyjen paikoitus sekä ruuviliitosten pitävyys. Koneistustyö suoritettiin samalla Lagun CM6 -työstökoneella, jolla kappaleetkin koneistettiin.

3.2 Kylkilevyt

Kylkilevyjen suunnittelussa tärkein oli työstettävän kappaleen asettuminen niiden päälle ja vaakatasoon, jolloin reikien mitoitus on helppo työstää kuvan mukaisesti. Kylkilevyt suunniteltiin siis 3D-mallin päälle, jolloin kappaleen asettaminen vaakatasoon oli helppoa. Materiaaliksi valittiin tähänkin s355 J0 ja materiaalin paksuudeksi 15 mm. Kylkilevyjä asetettiin kaksi päällekkäin ja ne hitsattiin yhteen, jolla materiaalin paksuus kasvatettiin 30 mm:iin. Kylkilevyistä taimmainen oli korkeampi ja sen tarkoitus oli estää kappaleen liikkuminen y-suunnassa, kun taas etummainen

kylkilevy vastasi kappaleen sivun muotoa eli kannatteli kappaletta. Alla olevasta kuvasta näkyy kylkilevyjen kokoonpano. Pohjalevyssä oleva kiilaura näkyy kuvassa oikeassa alareunassa.

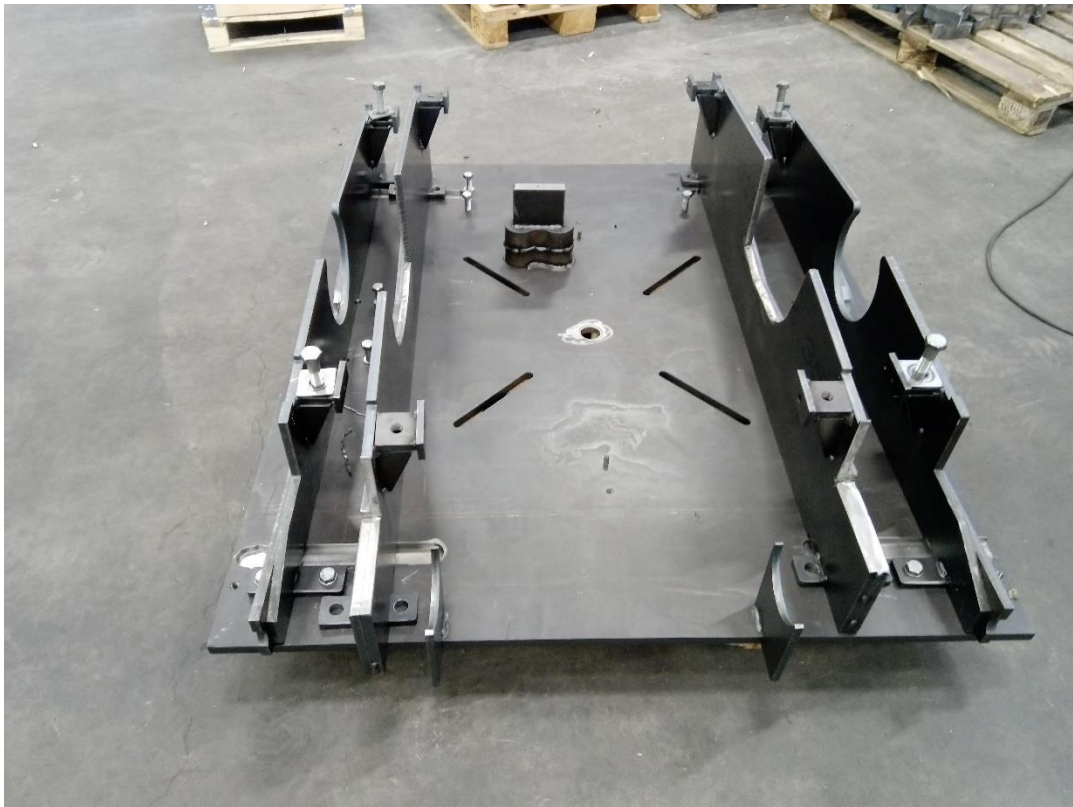


Kuvio 13. Yhteen hitsatut kylkilevyt.

Kylkilevypaketin alareunaan asennettiin laipat, joilla levy voidaan kiinnittää pohjalevyyn. Kylkilevyjen tarkkaa paikoitusta varten pohjaan asennettiin kiilapalat. Kiilapalat myös varmistavat ruuviitoksen pitävyyden x-akselin suunnassa. Laipat kiinnitettiin hitsaamalla, mutta kiilojen paikat sekä kylkilevyjen pohjat koneistettiin ja kiila kiinnitettiin M10 8.8 -kuusiokolo ruuvilla. Kiilat valmistettiin DIN 6880:n mukaisesta C45+C-teräksestä. Tarkkuus kiilan leveydellä ja paksuudella oli h9, jolloin kylkilevyt asettuivat tarkasti pohjalevyn kiilauriin, jotka oli koneistettu tarkkuuteen G9.

Kylkilevyistäkin valmistettiin koeversiot, joilla ensimmäiset kappaleet työstettiin. Työstön aikana huomattiin epäkohtia toimivuudessa ja niihin tehtiin muutoksia. Yksi ongelmakohta oli hitsisaumojen osuminen kylkilevyihin, jolloin kappale asettui virheellisesti kiinnittimeen. Korjaustoimenpiteenä kylkilevyistä leikattiin materiaalia pois niiltä kohdin, johon saumat osuivat. Toinen ongelma havaittiin työstettäessä

taskua kappaleen päähän. Suuri työstövoima aiheutti värinöitä ja kiinnittimeen jouduttiin lisäämään tukea. Nämä ongelmat otettiin huomioon suunniteltaessa uudet versiot kylkilevyistä. Alla olevat kuvat esittävät ensimmäistä versiota kiinnittimestä. Pohjalevyn päälle on asetettu kahdelle eri kappaleelle tarkoitetut kylkilevyt. Sisemmistä kylkilevyistä on leikattu keskeltä materiaalia pois kappaleen paremman asettumisen vuoksi. Materiaalikustannuksia koko kiinnittimen valmistamiseen tuli noin 500 euroa laskettuna teräksen hinnalla 1 €/kg. Painoa kiinnittimelle tuli 500 kg.

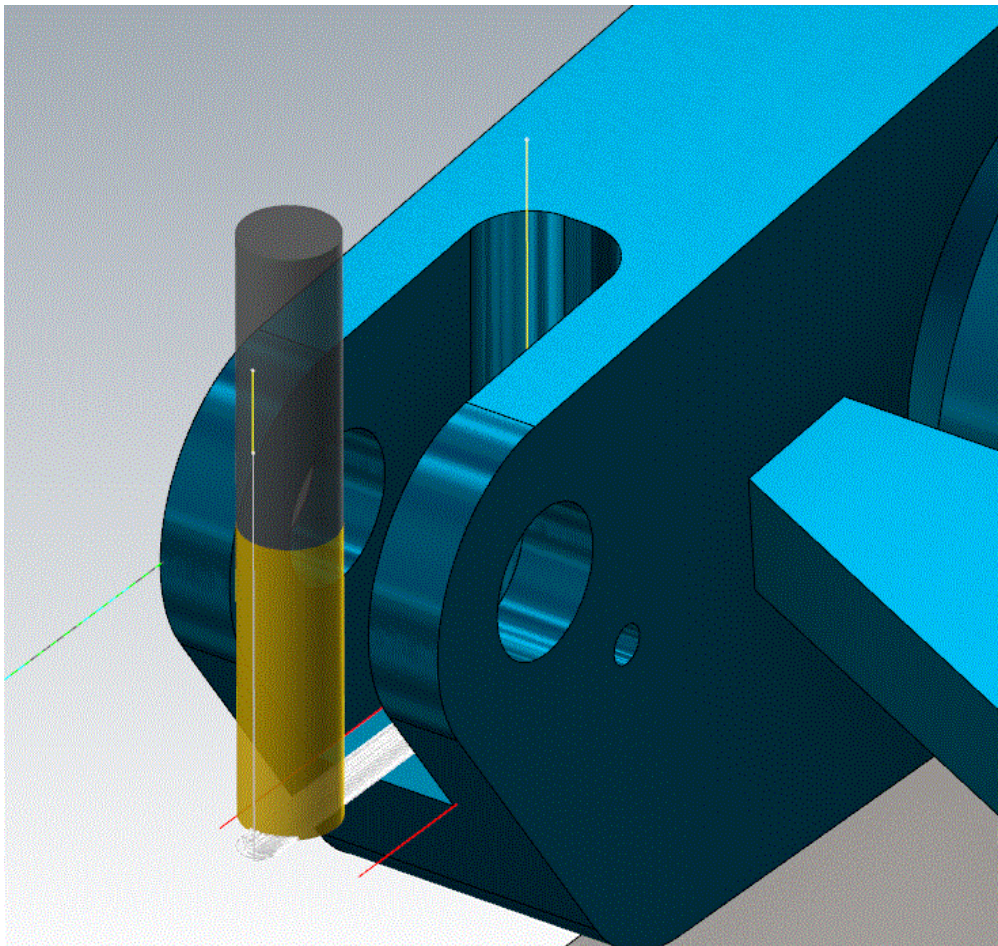


Kuvio 14. Koko kiinnitin ja kylkilevyt kahden eri mallin työstämiseen.

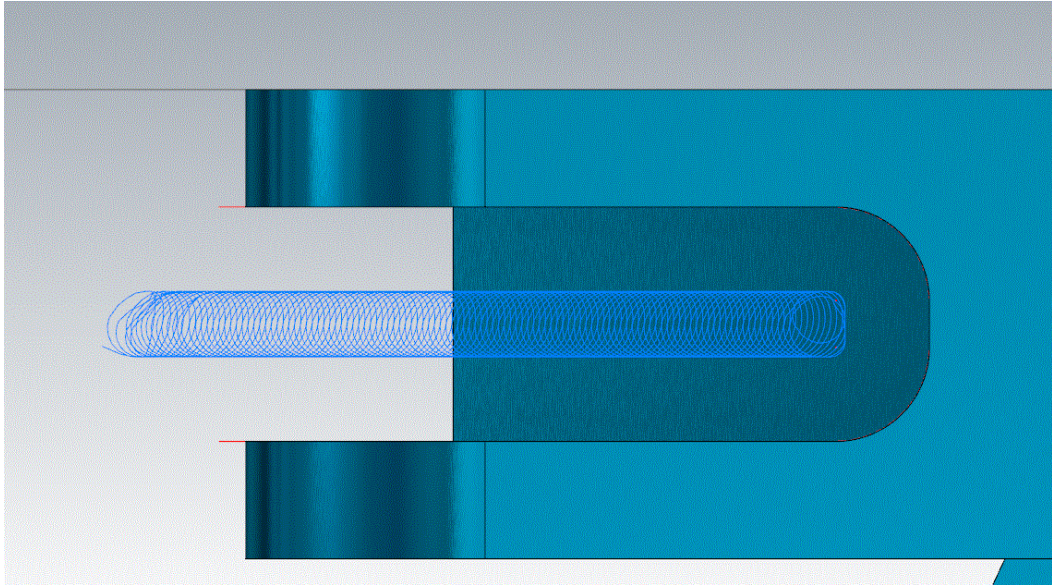
3.3 Ohjelma ja simulointi

Työstöjen ohjelmoinnissa käytettiin Mastercam ohjelmistoa. Kappaleen yksinkertaiset työstöt eli lähinnä porauksen työkierrat eivät pakottaneet CAM-ohjelman käyttöön. Dynaamisen jyrsinradan ohjelmointiin CAM on kuitenkin välttämätön ja juuri

dynaamista rataa hyödynnettiin työstettävässä kappaleessa. Alla olevat kuvat havainnollistavat taskun jrsintätyövaihetta dynaamisella jrsintapilla ja dynaamisella työstöradalla.



Kuvio 15. Taskun jrsintä dynaamisella työstöradalla.



Kuvio 16. Dynaaminen kuorintarata.

Ohjelman simulointi tehtiin samalla CAM-ohjelmistolla, jolla myös työstöt oli tehty. Simuloinnilla varmistetaan ohjelman toimivuus ja voidaan hakea parhaita mahdollisia liikeratoja saavuttaakseen tehokkaamman työstöajan. Työstöaika nähdään jo ohjelman simulointivaiheessa lähes realistisena, kunhan työkalun vaihtoajat ja koneen kiihtyvyydet on määritelty oikeaksi. Simuloinnissa voidaan havaita myös mahdolliset ongelmakohdat, kuten törmäykset. Ohjelman toimimista työstökoneella edellyttää myös postproessorin toiminta. Postprosessoria oli kuitenkin testattu jo vuoden verran ilman ongelmaa. Mahdollisien törmäysten havainnollistamiseen tarvittiin 3D-malli, joka sisälsi itse kappaleen ja kiinnittimen.

Alla oleva kuvio esittää dynaamisen työstöradan ohjelmaa. Kuvio on koodin alkupäästä ja kokonaisuudessaan tässä työvaiheessa oli rivejä 6200. Koodista olisi saatu lyhyempi ohjelmoimalla se suorilla liikeradoilla ja kaariliikkeillä. Suorilla ja kaariliikkeillä koodin pituus olisi ollut noin 20 riviä, mutta työstöaika olisi ollut huomattavasti hitaampi ja työkalun kesto paljon huonompi.

```

2 1 BLK FORM 0.1 Z A+0. I+0. L+0.
3 2 BLK FORM 0.2 X+0. Y+0. Z+0.
4 3 ; FVM 9.4.2019 KLO 15:01
5 4 ; -----
6 5 ; T48 16-DYNAAMINEN MIN.Z-34.847
7 6 ; -----
8 7 ; AUKON JYRSINTÄ ROUHINTA
9 8 ; TOOL 48 16-DYNAAMINEN HALK.16. PIT.+100. MIN.Z-34.847
10 9 TOOL CALL 48 Z S2586
11 10 CYCL DEF 247 PERUSPISTEEN ASETUS ~
12 Q339=0
13 11 CYCL DEF 319 Automatic Head ~
14 Q1570=+0 ;Angle A ~
15 Q1571=+0 ;Angle B ~
16 Q1572=+0 ;Angle C
17 12 L X-915.753 Y-27.346 R0 FMAX M3
18 13 L Z+50. FMAX
19 14 L Z+35.847 FMAX
20 15 L Z-34.597 F600
21 16 L X-913.723 Y-28.212 Z-34.748 F1552
22 17 CC X-912.311 Y-24.9
23 18 CP IPA+23.09 Z-34.847 DR+
24 19 L X-911.312 Y-28.5
25 20 L X-911.222
26 21 L X-911.112 Y-28.324
27 22 L X-910.999 Y-28.063
28 23 L X-910.885 Y-27.741
29 24 L X-910.772 Y-27.369
30 25 L X-910.664 Y-26.955
31 26 L X-910.562 Y-26.505
32 27 L X-910.468 Y-26.024
33 28 L X-910.382 Y-25.517
34 29 L X-910.304 Y-24.987
35 30 L X-910.234 Y-24.439
36 31 L X-910.171 Y-23.873
37 32 L X-910.116 Y-23.294
38 33 L X-910.066 Y-22.703
39 34 L X-910.063 Y-22.666
40 35 CC X-911.658 Y-22.542
41 36 C X-910.149 Y-22.01 DR+
42 37 CC X-911.658 Y-22.542
43 38 C X-910.444 Y-21.5 DR+
44 39 L X-911.11
45 40 CC X-911.11 Y-24.6
46 41 CP IPA+38.897 Z-34.742 DR+
47 42 L X-914.048 Y-22.988 Z-34.679
48 43 CC X-912.101 Y-25.4
49 44 CP IPA+30.444 Z-34.597 DR+

```

Kuvio 17. Ote dynaamisen työstöradan ohjelmasta.

3.4 Työstövaihe, työkalut ja kiinnitys

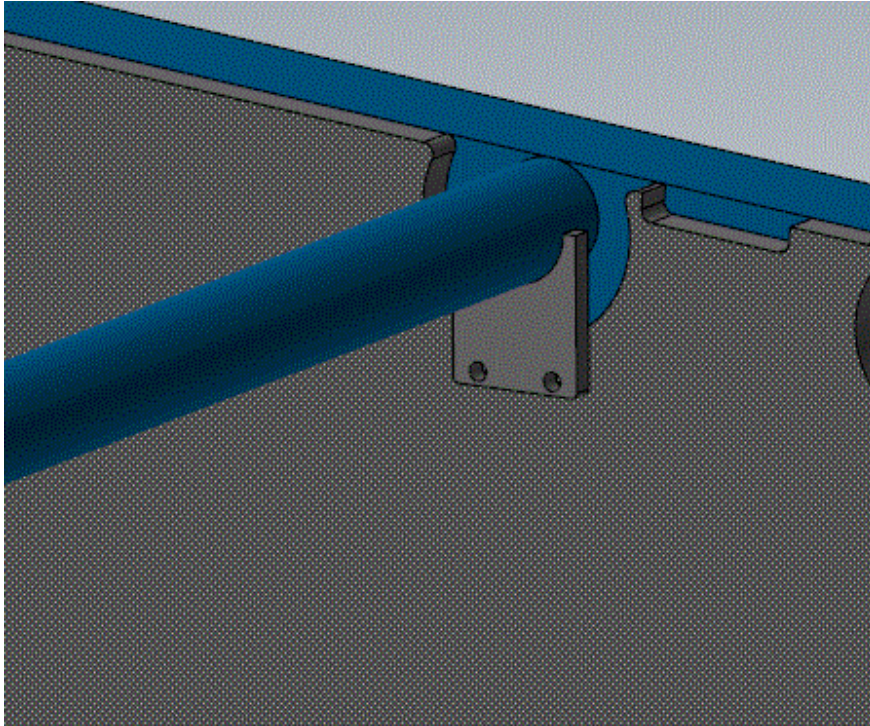
Työkaluja valittaessa hyödynnettiin tehokkaimpia menetelmiä, joten työkalumateriaaleina oli pääasiassa kovametalli. Pikaterästä käytettiin ainoastaan kierretapeissa. Kierteitysvaihe voidaan jatkossa korvata kierrejyrsinnällä, joka nopeuttaisi työvaihetta ja mahdollisessa rikkoutumistapauksessa jyrsin on helpompi poistaa reiästä kuin kierretappi.

Työstövaiheen aluksi suoritettiin kappaleen kiinnitys kiinnittimeen asettamalla kappale vapaasti kiinnittimeen ja tarkastamalla, onko hitsauksessa aiheutunut vääntymää. Hitsauksessa aiheutunut vääntyminen näkyisi niin, että kappaleen pohja pinta ei vastaisi koko matkalta kiinnittimeen. Kappaleen puristaminen tällaisessa tilanteessa ei ole mahdollista, sillä kappaleeseen tulee muodonmuutos, ja työstön jälkeen kappaleen muoto palautuisi ennalleen. Tällaisessa tapauksessa ei olisi mahdollista saada reikiä saman keskeisiksi. Hitsauksessa aiheutuneet vääntelyt poistettiin asettamalla asetuslevyjä niille alueille, joissa vääntymää oli, jolloin kiinnitysruuveja kiristäessä kappaleen muoto ei muuttunut.

3.5 Käyttö hitsauskiinnittimenä

Tässä työssä suunniteltiin kiinnitin kappaleen koneistamista varten, mutta kappaleen hitsaaminen edellyttää myös kiinnittimen, jolla hitsaus kokoonpano saadaan tehtyä mahdollisimman tarkasti ja nopeasti. Hitsaus kokoonpanoa helpottamaan tehtiin samanlainen kiinnitin kuin koneistukseen, mutta kylkilevyihin tehtiin muutoksia niin, että kappaleeseen tulevat välitangot on helppo asettaa paikalleen ilman ylimääräisiä mitoitusvaiheita. Kappaleessa oli myös osia, joiden tarkkaan koneistetut reiät edellyttivät hitsausvaiheessa tulkin käyttöä varmistamaan reikien yhdensuuntaisuus. Kuviossa 5 on esitetty kohdistinakselin toiminta. Akseli asetetaan oikeaan korkeuteen leikatun levyosan reiän läpi, jolloin korvakkeet asettuvat oikealle korkeudelle. Kiinnittimen pohjalevyssä on kiinnitysreiät tälle akseliohjaimelle, ja se kiinnitetään kahdella M16-ruuvilla.

Kylkilevyihin koneistettiin M8-kierteet, jotta niihin saatiin kiinnitettyä tukipalat kannattelemaan välitankoja. Ruuvikiinnitys valittiin siksi, että tukipalat on helppo irrottaa loppuhitsaamisen ajaksi.



Kuvio 18. Hitsausvaiheen kohdistuspalat.

3.6 Prototyypin jälkeiset parannukset

Kiinnittimestä valmistettiin prototyyppi, jonka toimivuutta testattiin koneistamalla siinä koe-erä kappaleita. Koe-erän koneistamisessa käytettävänä ei kuitenkaan ollut vielä pyöröpöytää. Kiinnittimessä huomattiin kiinnitysvaiheessa muutama epäkohta, kuten kiinnittimien kylkilevyjen pituus. Kylkilevyjen pituus valittiin materiaalia säästäten ja pituudeksi valikoitui 1500 mm, mutta pituus osoittautui kuitenkin lyhyeksi, sillä jyrittäessä kappaleen päässä kappale alkoi väristä. Väriäongelma ratkaistiin lisäämällä tukea kappaleen päähän.

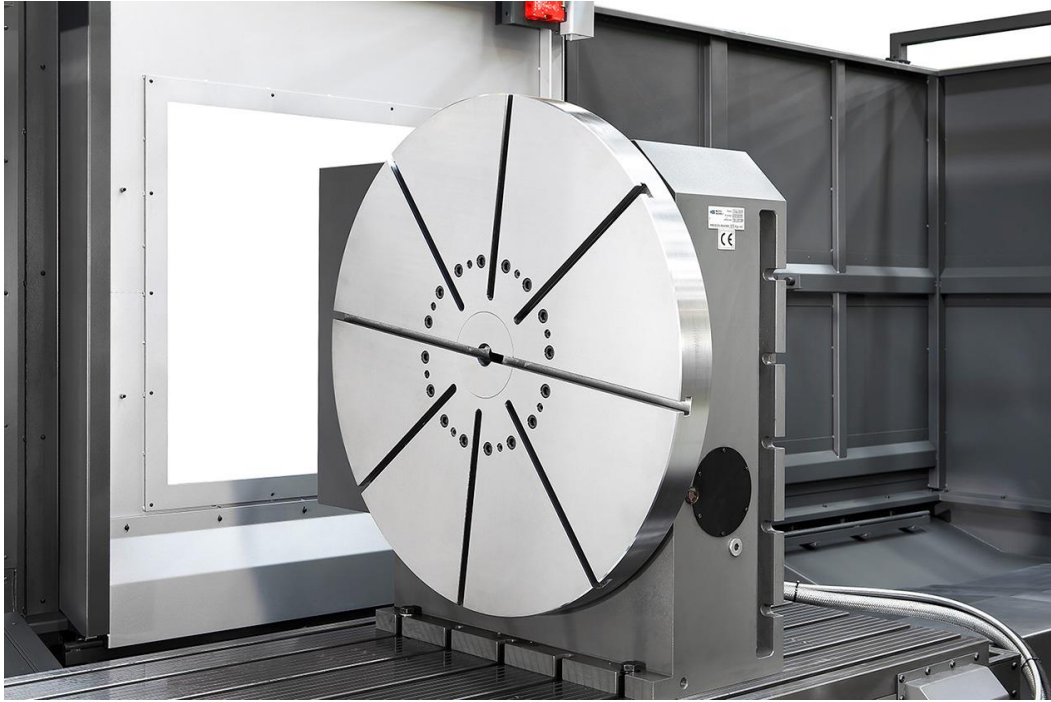
Toinen ongelmakohta, joka huomattiin, oli kylkilevyjen muotoilussa. Kylkilevyjen muoto oli suunniteltu liian lähelle hitsausaumoja, jolloin kappale ei asettunut kunnolla pohjaan, kuten oli suunniteltu. Kylkilevyistä jouduttiin leikkaamaan materiaalia, jotta kappale saatiin asettumaan kiinnittimeen.

Ensimmäisen prototyypin jälkeen kylkilevyt suunniteltiin uudestaan ottaen huomioon edellä huomatu ongelmät. Kylkilevyjen muotoa muutettiin niin, että hitsisaumoille jää tilaa, eikä kappale jää niistä kantamaan kiinnitysvaiheessa. Kylkilevyn pituutta muutettiin siten, että se on samanpituisen kuin koneistettava kappale ja kiinnitysrautoja lisättiin. Kiinnitysvoiman laskuissa M20-ruuvien puristusvoima jäi neljällä ruuvilla hieman pieneksi, joten kiinnitysrautoja lisättiin. Kiinnitysrautoja lisäämällä saatiin puristusvoima riittävän suureksi varmistamaan kiinni pysyminen.

3.7 Pyöröpöytä

Kappaleen kiinnitin suunniteltiin niin, että se voidaan liittää pyöröpöytään. Työstökoneeseen tehtiin muutoksia, jotta neljäs akseli saatiin käyttöön. Pyöröpöydällä kappale voidaan kääntää haluttuun kulmaan ohjelmoimalla akselin arvoa asteina. Tässä työssä pyöröpöytä nopeutti kappaleen kääntämistä noin 30 min. Laskelmat perustuvat kelloitettuun aikaan, joka koneistajalta kului kappaleen irrottamiseen, nosturin kytkemiseen, kääntämiseen ja kappaleen uudelleen kiinnittämiseen.

Pyöröpöydän käyttöönottamista edellytti työstökoneen ohjauksen muuttaminen. Työstökoneessa oli mahdollisuus pyöröpöydän liittämiseen eli hydraulikkalinjat ja sähkölinjat liittimiseen olivat valmiina. Ohjaukseen jouduttiin kuitenkin rakentamaan M-koodi, jolla neljäs akseli aktivoituu työstökoneessa. M-koodin ohjelmoinnissa käytettiin koneen maahantuojaan palveluita.

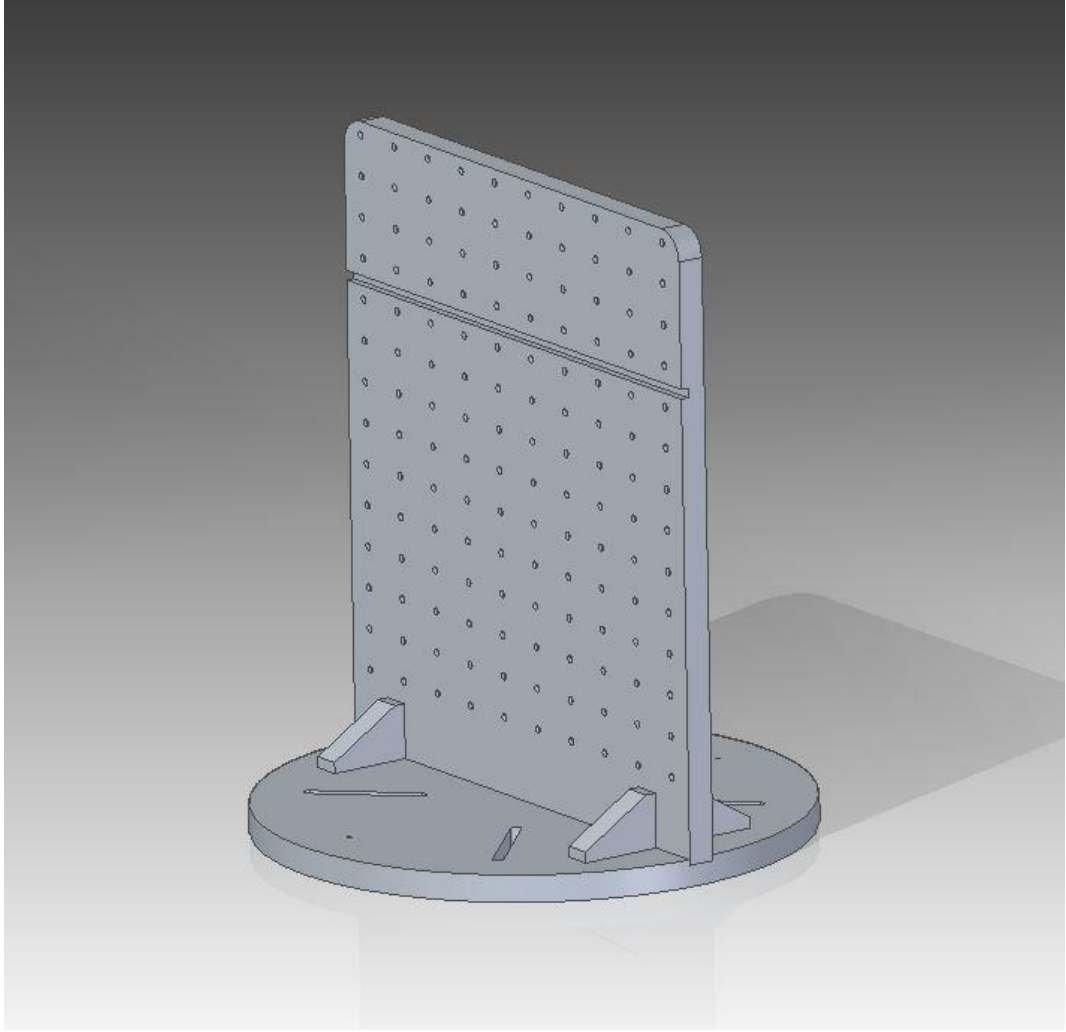


Kuvio 19. Pyöröpöytä (Lagunmt [viitattu 2.3.2019]).

Työtä tehdessä mietittiin myös muita käyttömahdollisuuksia pyöröpöydälle sen käyttöasteen lisäämiseksi. Mahdollisuuksia löytyikin muutamia ja joitakin niistä hyödynnetäänkin jatkossa.

Ensimmäinen käyttöastetta lisäävä mahdollisuus olisi valmistaa paletti, jossa on reikämatriisi erilaisten kappaleiden kiinnittämistä varten. palettiin voitaisiin sitten kiinnittää kappaleita molemmin puolin ja näin saataisiin työstöaikaa kasvatettua. Paletteja voisi rakentaa kaksin kappalein, jolloin koneistaja lataisi toista palettia koneen työstäessä. Paletteihin voitaisiin kiinnittää myös paineilmapuristimet nopeuttamaan kappaleen vaihtoa.

Toinen käyttökohde pyöröpöydälle olisi putkien pyörittäjänä. Yrityksessä koneistetaan paljon putkipalkkeja, joiden pituus on yli 6 metriä ja usein työstöjä tehdään kaikille sivuille. Suuren putkipalkin kääntäminen on työlästä, hidasta ja jopa vaarallista. Tämän takia pyöröpöytä voitaisiin asentaa työstökoneeseen pystyyn, jolloin putkipalkki voitaisiin asettaa pyöröpöydän keskiöön ja kärkituen väliin, kuten sorvissa.



Kuvio 20. Matriisireikälevy pyöröpöytään.

4 YHTEENVETO

Tämän työn tuloksena suunniteltiin kiinnitin koneistettavalle kappaleella, jonka kiinnittäminen tavanomaisin ja markkinoilta löytyvin apuvälinein olisi ollut hankalaa. Työssä perehdyttiin koneistamisen teoriaan, käytettäviin työkaluihin ja sen perusteella pyrittiin valitsemaan oikeat menetelmät kyseisen tuotteen valmistamiseen. Teoriaosuudessa käsiteltiin laskukaavoja, joita tarvittiin laskemaan työstövoimat poraus- ja jysintävaiheille. Työstövoimat laskettiin kaava kerrallaan ja selitettiin jokainen suure, joka tarvittiin laskujen suorittamiseen. Lopputuloksena saatiin työstövoimat, joiden perusteella arvioitiin kiinnitysvoiman tarpeellisuutta. Teoriaosuudessa laskettiin myös ruuvien puristusvoimaa tietyllä kiristysmomentilla. Laskujen avulla todettiin, että alkuperäisen suunnitelman mukaista kiinnitysruuvien lukumäärää joudutaan kasvattamaan.

Suunnittelussa otettiin huomioon mahdolliset muutokset kappaleeseen ja siksi kiinnittimestä tehtiin helposti muunneltava. Kiinnitin suunniteltiin koottavaksi ruuviliitoksilla, jolloin tarvittaessa eri osat voidaan korvata uudella versiolla. Ruuviliitokset olivat eduksi myös tilanteessa, jossa kappale oli hitsauksessa muuttanut muotoaan ja kiinnittimen kylkilevyjä jouduttiin säätämään. Kiinnittimestä valmistettiin ensimmäinen versio, jolla koesarja kappaleista saatiin koneistettua. Ensimmäisen version ja koesarjan työstöjen jälkeen tehtiin uusi versio, jossa huomattuihin epäkohtiin tehtiin muutoksia. Muutoksissa kylkilevyjen geometriaa muutettiin, niin että tilaa jäi hitsisaumoille ja tukea saatiin enemmän kappaleen päähän.

Lopuksi työssä mietittiin neljännen akselin toimintaa ja käyttömahdollisuuksia yrityksen muihin tuotteisiin. Käyttömahdollisuuksia löytyi muutamia, kuten palettijärjestelmä ja putken pyöritin järjestelmä.

Kiinnitin suunnitteluun panostetaan yrityksessä jatkossakin, sillä hyvän suunnitelman edut huomattiin tämänkin työn aikana. Hyvällä kiinnitin suunnittelulla ja valmistelulla säästetään kustannuksissa ja työstökoneen tuottava aika lisääntyy.

LÄHTEET

- Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. Porvoo: WSOY.
- Björk, T., Hautala, P., Huhtala, K., Kivioja, S., Kleimola, M., Lavi, M., Martikka, H., miettinen, J., Ranta, A., Rinkinen, J. & Salonen, P. 2014. Koneenosien suunnittelu. Helsinki. Sanoma Pro Oy.
- Dynaaminen jyrsintä. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. CAMCUT Oy. [Viitattu 12.2.2019]. Saatavissa: http://www.camcut.fi/DYNAAMINEN_JYRSINTA.pdf
- Dynaaminen jyrsintä. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Mastercam. [Viitattu 10.2.2019]. Saatavissa: http://mastercam.fi/harjoituksia/2019_dynaaminen%20jyrsinta.pdf
- Enerpac. Ei päiväystä. The 321 locating principle. [Verkkosivu]. Enerpac. [Viitattu 2.2.2019]. Saatavissa: <https://www.enerpac.com/en-us/training/e/the-321-locating-principle>
- Kierteen jyrsintä. Ei päiväystä [Verkkosivu]. Guehring. [Viitattu 10.2.2019]. Saatavissa: https://www.guehring.fi/wp-content/uploads/documents/Gewindfraeser_2014_FI_LowRes.pdf
- Mitä on kierteen jyrsintä. Ei päiväystä [Verkkosivu]. Sandvik Coromant. [Viitattu 12.2.2019]. Saatavissa: <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/threading/thread-milling/pages/default.aspx>
- Kierteen jyrsintä. Ei päiväystä [verkkosivu]. Sandvik Coromant. [Viitattu 12.2.2019]. Saatavissa: <https://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/technical%20guides/fi-fi/c-2920-031.pdf#page=4&zoom=page-fit,-357,605>
- Kovametalli-IN. 5.2.2019. Kovametallin ominaisuudet. [Verkkosivu]. Kovametalli-IN. [Viitattu 5.2.2019]. Saatavissa: <http://www.kovametalli-in.com/kovametallin-ominaisuudet.html>
- Lagun. Ei päiväystä. CM6. [Kuva]. Lagun Machine Tools S.L. [Viitattu 2.3.2019]. Saatavissa: <http://www.lagunmt.com/products/lagun-milling-machines/traveling-column-fixed-table>
- Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. Helsinki: WSOY
- Nollapistekiinnitys. Ei päiväystä [verkkosivu]. AMF. [Viitattu 2.3.2019]. Saatavissa: http://www.s-t-group.com/images/news_images/AMF_Zero-Point_en_STnews051212.pdf

Pesonen, J. 2019. Myyntijohtaja. Camcut Oy. Haastattelu. 6.3.2019

Valtanen, E. 2002. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis kirjat Oy.

Walter general catalogue. 2012 [Viitattu 5.2.2019]. <http://www.camcut.fi/pdf/general-catalogue-2012-en.pdf>