



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Juho Saari

Koneistuskiinnittimen suunnittelu

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Juho Saari

Työn nimi: Koneistuskiinnittimen suunnittelu

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 36

Liitteiden lukumäärä: 0

Työn tarkoituksena oli suunnitella Seinäjoella sijaitsevalle Konepaja Stamac Oy:lle koneistuskiinnitin, jonka avulla voitaisiin kehittää nykyistä koneistettavan kappaleen sarjatuotantoa nopeammaksi. Nykyinen menetelmä on hidas ja sarjatuotantomäärä iso. Menetelmällä saadaan valmiiksi kaksi kappaletta yhdellä kiinnityskerralla ja ne vaativat kaksi erillistä kiinnityskertaa. Suunniteltavaan kiinnittimeen täytyi saada kiinnitettyä vähintään neljä kappaletta kerralla. Käytettävä työstökone, johon kiinnitin suunniteltiin, on pystykarainen kolmiakselinen CNC-työstökeskus, joka on varustettu CNC-pyöröpöydällä. Kiinnittimestä suunniteltiin pyöröpöytään asennettava, sillä se mahdollistaa kappaleen kääntämisen koneistamisen aikana. Tämän avulla se on mahdollista saada valmiiksi yhdellä kiinnityksellä. Kappaleen koneistusvaatimusten vuoksi kiinnitystapana pitäisi käyttää otsakiinnittimiä.

Suunnittelu tehtiin käyttäen Siemensin Solid Edge -suunnitteluohjelmistoa. Ohjelmiston avulla mallinnettiin koneistuskiinnittimen osien 3d-mallit ja voitiin mallintaa kiinnittimen kokoonpano. Sen avulla pystyttiin tarkastelemaan kiinnittimen rakennetta ja korjaamaan mahdolliset virheet. Ohjelmistolla laadittiin kaikki tarvittavat kokoonpano ja -valmistusdokumentit. Suunniteltaessa otettiin huomioon työkappaleen paikoittaminen ja kiinnipysymisen tärkeys. Tässä käytettiin 3–2–1 menetelmää, jonka avulla kappale saatiin asemoitua ja kiinnitettyä kiinnittimeen. Modulointi huomioitiin suunnittelussa kiinnitystarvikkeiden kohdistusrei'illä, joiden avulla kiinnittimeen on mahdollista valmistaa erilaisia kiinnitystarvikkeita ja hyödyntää sitä tarvittaessa muiden valmistettavien osien kohdalla.

Lopputuloksena saatiin suunniteltua vaatimusten mukainen koneistuskiinnitin, johon saadaan kiinnitettyä neljä koneistettavaa kappaletta ja ne saadaan valmiiksi yhdellä kiinnityskerralla. Sen avulla kappaleiden vaihtaminen myös helpottuu ja nopeutuu. Vaihtokerrat myös puolittuvat verrattuna aiempaan menetelmään. Kiinnittimen lopullinen valmistus ja testaus jäivät opinnäytetyön ulkopuolelle.

¹ Asiasanat: koneistus, koneistuskiinnitin, suunnittelu, menetelmäkehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Juho Saari

Title of thesis: Designing of machining fixture

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2022

Number of pages: 36

Number of appendices: 0

The purpose of the thesis was to design a machining fixture for Konepaja Stamac Oy. The company is located in Seinäjoki. The target of the machining fixture was to develop a faster serial production machining method. The current method was slow for the big volume production. With this method only two workpieces were made with one machining cycle. The workpieces needed two phases before they were ready. The requirements of the designed fixture were to have a minimum of four workpieces fastened at one time. The machine where the fixture would be designed was a 3-axis CNC milling machine. The machine was equipped with a CNC rotary table. The fixture was designed to be installed on the rotary table. That would allow to rotate a workpiece during the machining. With rotating it would be possible to have a workpiece machined completely in one phase. The machining requirements of the workpiece demanded to use horizontal clamps for fastening.

The designing was made by using Siemens Solid Edge designing software. The software was used to model all 3d models of the machining fixture and the model assembly of the machining fixture. With the software it was possible to check the structure of the fixture and fix the problems if there were any. The software was also used to draft a manufacturing documentation. In the designing process it was important to take account of the locating and holding of the workpiece. This was made by using 3-2-1 method and it was used to locate and fasten the workpiece into the fixture. Modular structure was used in design in locating holes and other fastening accessories. With this it was possible to use them in other machining processes.

The result was a designed machining fixture which met the requirements. It was possible to fasten four workpieces into the fixture and the workpiece was done with one fastening. Changing the workpieces was faster and easier than with the current method. The number of changing times was also decreased to half. The manufacturing and testing of the fixture was excluded from the thesis.

¹ Keywords: machining, machining fixture, designing, development

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva- ja kuvioluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tausta ja tavoite	8
1.2 Työn rakenne	8
1.3 Yritysesittely.....	8
2 KONEISTUS- JA KIINNITYSMENETELMÄT	9
2.1 Koneistus	9
2.2 Jyrsintä	10
2.3 Poraus	10
2.4 Työstökoneet	11
2.5 Jyrsinnan suunnitteluun vaikuttavat asiat	12
2.6 Moniakselinen jyrsintä.....	13
2.7 Työkappaleen kiinnittäminen.....	15
2.8 Kiinnitystavat.....	18
2.9 Kiinnitykseen vaikuttavat voimat.....	19
2.10 Koneensuunnittelu	20
2.11 Modulointi	21
3 LAAKERIPESÄN KANNEN KIINNITTIMEN SUUNNITTELU	23
3.1 Valmistettava kappale	23
3.2 Lähtökohdat ja nykytilanne.....	24
3.3 Kehittämistarpeet ja vaatimukset.....	24
3.4 Kiinnittimen suunnittelu	25
3.5 Kiinnittimen mallinnus	27
3.6 Kokoonpano ja standardiosien valinta	30
3.7 Valmistusdokumenttien laatiminen	32

4 YHTEENVETO	34
LÄHTEET	36

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. CNC-työstökeskus ja ohjausyksikkö.	12
Kuva 3. CNC-työstökeskus varustettuna pyöröpöydällä.	15
Kuva 5. Valmistettavan kappaleen valettu aihio.	24
Kuvio 1. CNC-työstökeskuksen akselit ja niiden kiertoakselit.	14
Kuvio 2. 3–2–1 menetelmässä lukittavat tasot.	17
Kuvio 3. Terään ja työkappaleeseen kohdistuvat lastuamisvoimat.	19
Kuvio 4. Esimerkki moduloinnista kiinnitinsuunnittelussa.	22
Kuvio 5. Kiinnityksessä lukittavien akselien suunnat.	27
Kuvio 6. Pohjalevyjen vaihtoehdot.	28
Kuvio 7. Otsakiinnittimen kokoonpano.	29
Kuvio 8. Kiinnitin yläpuolelta.	31
Kuvio 9. Kiinnitin alapuolelta.	32

Käytetyt termit ja lyhenteet

Asetusaika	Aika, joka kuluu koneen ja koneistettavan kappaleen valmisteleseen ennen sarjatuotantoa.
CAM	Computer-Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus.
CNC	Computer Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus.
Otsakiinnitin	Kiinnityselementti, jolla työkappale voidaan kiinnittää sivulta painaen. Kiinnitysvoima vaikuttaa eteen- ja alaspäin.
Vaste	Kiinnityselementti, jota vasten työkappale asetetaan tai kiinnitetään.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoite

Työn tarkoituksena on kehittää ja suunnitella koneistettavalle kappaleelle tehokkaampi ja nopeampi valmistusmenetelmä. Nykyinen menetelmä on hidas, ja kappaleiden vaihtamiseen kuluu paljon aikaa. Tavoitteena on suunnitella koneistuskiinnitin, jonka avulla saadaan valmiiksi useampi kappale kerralla yhdellä kiinnityksellä. Valmistettavien kappaleiden tuotantomäärä on yleensä noin 300 kerralla. Nykyisellä menetelmällä saadaan valmistettua kaksi kappaletta valmiiksi yhdellä kiinnityskerralla, joten kappaleiden vaihtamiseen kuluva aika pitäisi saada mahdollisimman pieneksi. Kiinnitystavan pitäisi olla mahdollisimman yksinkertainen ja varma niin, että sarjatuotanto onnistuu ongelmitta. Opinnäytetyö rajattiin koneistuskiinnittimen suunnitteluun ja varsinainen kiinnittimen valmistus jäi työn ulkopuolelle.

1.2 Työn rakenne

Työ koostuu johdannosta, teoriaosuudesta ja käytännön osuudesta. Johdannossa käydään läpi työn tausta ja tavoitteet sekä esitellään yritys, minne työ tehdään. Teoriaosuudessa käydään läpi koneistuksen ja koneistettavan kappaleen kiinnitystapojen teoriaa. Käytännön osuudessa esitellään varsinaisen työn toteuttaminen. Lopuksi käydään läpi työn yhteenveto ja onnistuminen.

1.3 Yritysesittely

Työn toimeksiantajana toimii seinäjokelainen alihankintakonepaja Konepaja Stamac Oy, joka on perustettu vuonna 1997. Se toimii Seinäjoella Kapernaumin teollisuusalueella ja työllistää noin 60 henkilöä. Asiakkaita ovat pääasiassa kansainväliset teollisuuden kuljetusväline-, koneenrakennusteollisuuden ja teknologia-alan yritykset. Konepaja Stamac Oy valmistaa erilaisia koneistettuja kappaleita prototyypeistä aina sarjatuotantoon. Yritys panostaa tuotannon automatisointiin ja nykyaikaiseen konekantaan. Koneina on perinteisiä CNC-ohjattuja sorveja ja jysinkoneita. Näiden lisäksi löytyy monitoimisorveja, pitkäjysinkoneita, vaakakaraisia työstökeskuksia sekä useita robotisoituja koneistussoluja.

2 KONEISTUS- JA KIINNITYSMENETELMÄT

Lastuava työstö sisältää useita erilaisia menetelmiä, joista yleisimpiä ovat sorvaus, jysintä, poraus ja hionta. Nykyaikana nämä menetelmät ovat pääasiassa automatisoituja, ja koneita, joilla työstö tapahtuu, kutsutaan CNC-koneiksi. Kiinnitysmenetelmiä on useita erilaisia ja yleensä ensimmäinen vaihe koneistusta suunniteltaessa on miettiä kiinnitystapa niin, että koneistus onnistuu ongelmitta. On otettava huomioon kappaleen vaatimat koneistukset ja näiden aiheuttamat voimat. Koneistusta suunniteltaessa on myös mietittävä käytettävien työkalujen erityistarpeita esim. pituus tai vaikeasti lastuttavan materiaalin tuomat haasteet (Sandvik Coromant, i.a.-a).

2.1 Koneistus

Koneistus on lastuava työstömenetelmä, jossa leikkaavan työkalun avulla poistetaan materiaalia kappaleesta (Maaranen, 2004, s. 12). Yleisimpiä koneistusmenetelmiä ovat sorvaus, jysintä, poraus ja hionta. Koneistus on nykyaikana pitkälle kehittynyttä ja moni työstömenetelmä on pyritty automatisoimaan ja näin saamaan tuotteen valmistuksesta mahdollisimman tehokasta (Heinonen, 2020, s.10). Koneistuksen automatisointi tarkoittaa käytännössä tietokoneohjattuja työstökoneita, joita kutsutaan CNC-koneiksi.

Poraamalla voidaan valmistaa erilaisia reikiä, upotuksia ja kierteitä (Maaranen, 2004, s. 42). Poraamisessa pyörivää työkalua, esimerkiksi kierukkaporaa, syötetään työkappaleeseen ja edetessään se saa aikaan lieriömäisen reiän. Porauksessa on kaksi työstöliikettä, pyörimis- ja syöttöliike (mts. 43).

Hiomista käytetään mitta- sekä pinnanlaatuvaatimuksiltaan tarkkojen kappaleiden pintojen viimeistelyyn (Heinonen, 2020, s. 184). Kappaleen pintaan syntyy esimerkiksi karkaisussa muodonmuutoksia ja nämä muutokset voidaan poistaa hiomalla. Hiomisessa kappaleen pinnasta poistetaan ainetta yleensä pyörivän hiomalaikan avulla (Maaranen, 2004, s. 67). Hiomalaikka sisältää useita lastuavia teriä, joita kutsutaan hiomajyviksi. Laikka ohjataan syöttöliikkeellä kappaleen pintaan ja hiomajyvät poistavat kappaleesta pieniä lastuja.

Sorvaamalla valmistetaan poikkileikkaukseltaan ympyrämäisiä eli ns. pyörähdyskappaleita (Maaranen, 2004, s. 96). Näitä ovat esimerkiksi akselit, ruuvit, holkit yms. Valmistettava

kappale kiinnitetään sorviin esim. kolmileukaistukkaan, joka pyörii. Lastuava työkalu on kiinnitettyä teräkelkkaan, jonka avulla suoritetaan asetus- ja syöttöliike.

Jyrsinnässä pyörivä, usein monihampainen työkalu leikkaa lastuja koneistettavasta kappaleesta (Maaranen, 2004, s. 173). Jyrsimällä voidaan valmistaa tasomaisia tai monimuotoisia pintoja. Lisäksi voidaan valmistaa erilaisia uria ja reikiä. Koneistettava kappale on kiinnitettyä jyrsinkoneeseen, esim. pöytään tai koneruuvipuristimeen. Jyrsimessä lastuaminen tapahtuu pyörivän työkalun avulla ja syöttöliike koneen pöydän avulla.

2.2 Jyrsintä

Jyrsimällä valmistetaan yleisesti prismaattisia kappaleita, joihin koneistetaan erilaisia tasoja (Aaltonen ym., 1997, s. 207). Työstömenetelmällä kappaleeseen pystytään valmistamaan erilaisia uria esim. T-, lohenpyrstö-, ja kiilaurat. Lisäksi voidaan valmistaa nousullisia uria tai kierteitä.

Esimerkkejä jyrsimellä valmistettavista osista (Aaltonen ym., 1997, s. 207):

- akselien kiilaurat
- tasomaiset tiivistepinnat moottorien osissa
- runkokappaleet
- avainvälit kiinnityselimiin
- hammaspyörät.

Jyrsinnässä työstettävä kappale kiinnitetään jyrsinkoneen pöydälle erilaisten kiinnitysvälineiden avulla (Heinonen ym., 2020, s. 65). Koneen pöydässä voi olla tarkkamittaiset T-urat, joiden avulla kappale tai erilaiset kiinnitysvälineet voidaan kiinnittää pöytään.

2.3 Poraus

Poraamalla valmistetaan reikiä työstettävään kappaleeseen (Aaltonen ym., 1997, s. 213). Poraus kattaa noin 20 % kaikesta lastuavasta työstöstä. Useimmat rei'istä, joita poraamalla valmistetaan, ovat yleensä vapaareikiä, joilla ei ole suuria toleranssivaatimuksia. Poraus on yleensä valmistusprosessin loppupuolella tapahtuva työvaihe. Tässä vaiheessa kappaleen jalostusarvo on jo kasvanut edellisten vaiheiden myötä (Sandvik Coromant, i.a.-b). On siis

tärkeää valita oikeanlainen pora valmistettavan reiän mukaan, että työstö toimii halutulla tavalla ilman ongelmia.

Poraa valittaessa on huomioitava valmistettavan reiän vaatimukset, joita ovat seuraavat:

- halkaisija
- syvyys
- pinnanlaatu
- tarkkuus (Sandvik Coromant, i.a.-b).

Porausta vaikeuttavat risteävät reiät tai epätasaiset sisäänmeno- ja ulostulopinnat (Sandvik Coromant, i.a.-b). Reiän ominaisuuksien lisäksi on huomioitava porattava materiaali ja reikien sekä valmistettavien kappaleiden lukumäärä. Myös käytettävän työstökoneen ominaisuudet vaikuttavat huomattavasti oikean poran valintaan.

Työstökoneen ominaisuuksista merkittävimpiä ovat

- koneen ja karan tukevuus
- karateho etenkin suuria reikiä porattaessa
- lastuamismestjärjestelmän teho
- karanopeus
- työkappaleen kiinnitys
- lastunpoisto (Sandvik Coromant, i.a.-b).

Porauksessa on erittäin tärkeää huomioida työkalun heitottomuus (Sandvik Coromant, i.a.-b). Poran on pyörittävä tarkasti keskiönsä ympäri, sillä varmistetaan työkalun pitkä kestoikä, reiän suoruus ja hyvä pinnanlaatu.

2.4 Työstökoneet

Nykypäivänä koneet ja työkalut ovat kehittyneet niin, että jyrsimällä voidaan valmistaa käytännössä kaikenlaisia kappaleita (Sandvik Coromant, i.a.-a). Jyrsimällä voidaan koneistaa erilaisia reikiä, pintoja ja kierteitä, jotka aiemmin olisi jouduttu valmistamaan sorvaamalla. Yleisesti käytettävät jyrsinkoneet ovat CNC-ohjattuja (Aaltonen ym., 1997, s. 210). Näillä pystytään valmistamaan monimutkaisia muotoja ja geometrioita. Käytännössä niitä kutsutaan jyrsinkoneiden sijaan työstökeskuksiksi. Koneet ovat koteloituja, ja sillä estetään lastujen ja

leikkuunesteen roiskuminen niiden ympäristöön. Lisäksi ne ovat varustettuja automaattisilla työkalumakasiineilla ja työkaluvaihtajilla.

CNC-työstökeskuksella pystytään koneistamaan kappaleita huomattavasti nopeammin ja tarkemmin kuin perinteisellä manuaalisella jyrsinkoneella (Heinonen ym., 2020, s. 120). Lisäksi pystytään koneistamaan sellaisia muotoja, joiden koneistaminen manuaalisesti olisi jopa mahdotonta. CNC-työstökeskusta ohjataan tietokoneella, joka on yleensä integroitu työstökeskukseen. Tietokonetta käytetään koneessa olevan näytön ja ohjauspainiketaulun avulla, jota kutsutaan ohjausyksiköksi. Kuvassa 1 on nähtävillä työstökeskus ja sen etualalla sijaitseva ohjausyksikkö.



Kuva 1. CNC-työstökeskus ja ohjausyksikkö (Fagor Automation, 2011).

2.5 Jyrsinnän suunnitteluun vaikuttavat asiat

Jyrsintää suunniteltaessa on otettava huomioon valmistettavan kappaleen vaatimukset (Sandvik Coromant, i.a.-a). Kappaleesta on tutkittava esim. jyrsittävien muotojen syvydet, materiaalin ominaisuudet ja muut lastuamista vaikeuttavat asiat. Valmistus voi vaatia esimerkiksi pitkiä työkaluja, jos koneistettavat muodot sijaitsevat syvällä. Myös materiaali vaikuttaa

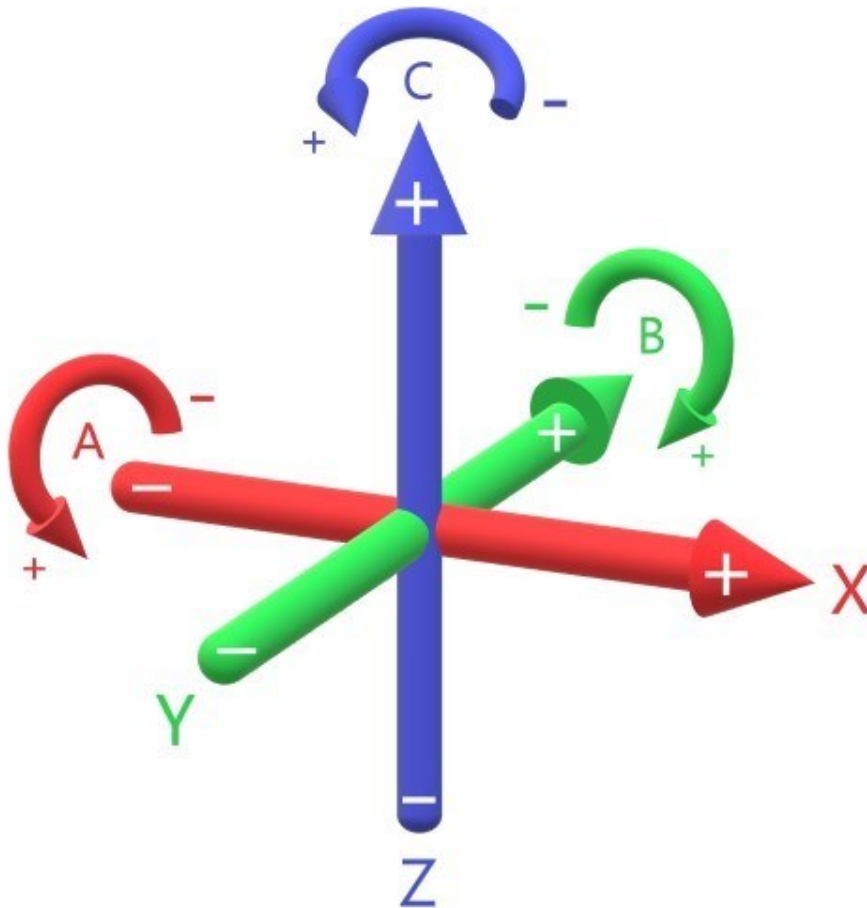
työkalujen valintaan. Esimerkiksi kova valu- tai taospinta lisää koneistuksen vaativuutta. Lisäksi ohuet seinämät tai kiinnityksen heikkous voivat vaatia erikoistyökaluja tai -työstömenetelmiä.

Tilanteissa, joissa työkappaleen kiinnitys riittävän lujasti ei ole mahdollista vaikkapa ohuiden seinämien vuoksi, joudutaan usein miettimään kiinnitys- ja koneistusratkaisuja tarkemmin. Kappaleen ohuet seinämät voivat liiallisen kiristykseen voimasta muuttaa muotoaan, ja heikosti kiristetty kappale saattaa irrota kiinnityksestä. Tällaisissa tilanteissa joudutaan usein pienentämään lastunpaksuutta niin, että kappale pysyy kiinni pienemmällä kiinnitysvoimalla.

Käytettävä työstökone vaikuttaa kappaleen valmistettavuuteen huomattavasti (Sandvik Coromant, i.a.-a). Perinteiset jyrityöt onnistuvat 3-akselisella työstökoneella, mutta 3D-muotojen valmistus vaatii useamman akselin. Lisäksi 3D-muotojen ohjelmointi vaatii usein CAM-ohjelmiston käyttöä.

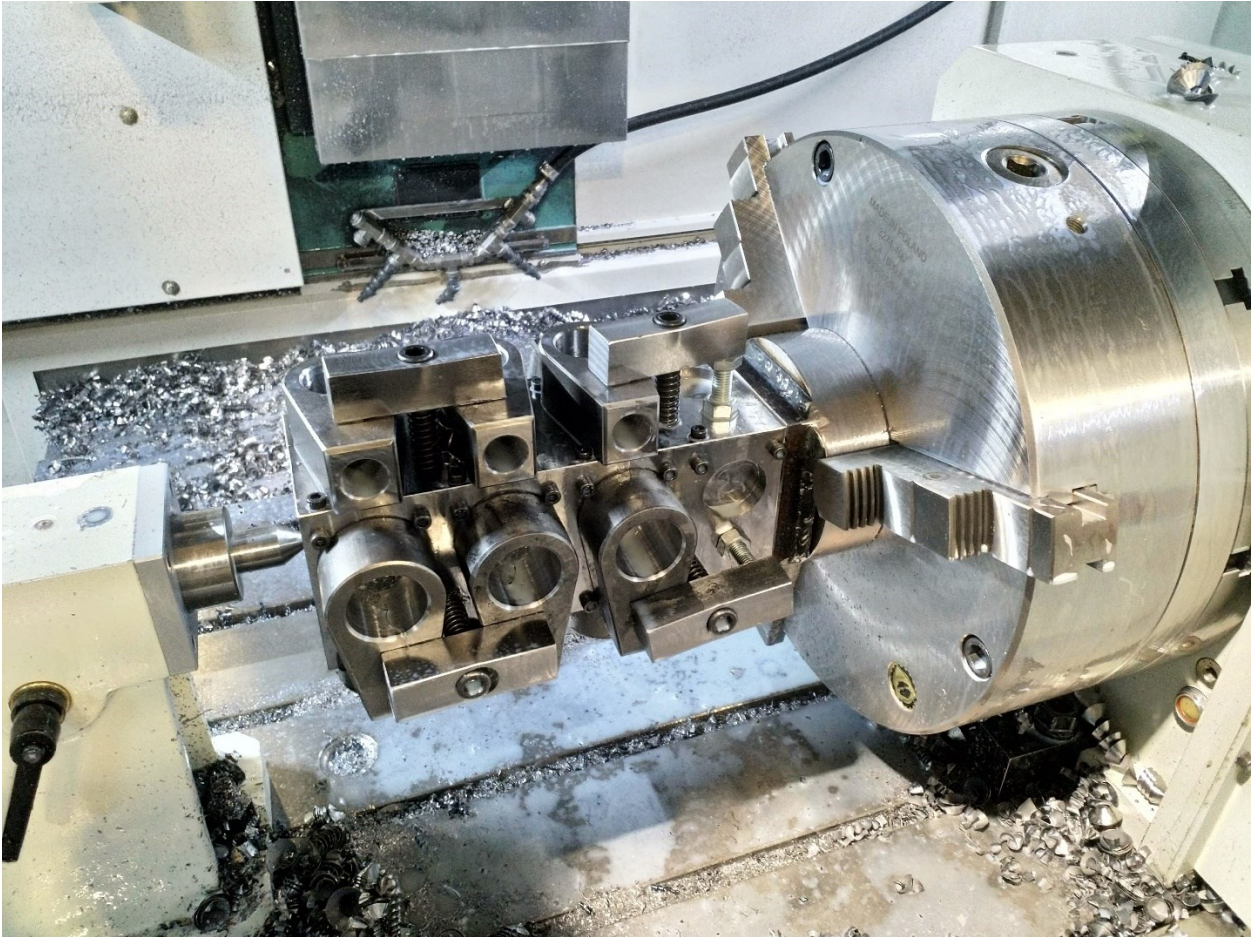
2.6 Moniakselinen jyritys

Työstökoneen akselien lukumäärä vaikuttaa työstettävän kappaleen valmistuksessa vaadittavien kiinnityskertojen lukumäärään (Heinonen ym., 2020, s. 198). Esimerkiksi kun kappaletta joudutaan työstämään usealta eri sivulta, vaatii se perinteisellä kolmiakselisella koneella monta kiinnityskertaa. Moniakselisella koneella taas voidaan työstää useasta eri suunnasta samalla kiinnityksellä, koska kappaletta voidaan kiertää akselien ympäri. Moniakselisuus lisää yleensä haasteita kappaleen kiinnittämiseen (mts. 207). Usein joudutaan käyttämään itse valmistettuja kiinnittimiä tai koneistamaan kappaleeseen erillinen kiinnitystaso. Moniakselisuuden etuna on, että yhdellä koneistuskerralla voidaan valmistaa useampi samaan kiinnittimeen kiinnitetty kappale kerralla (kuva 3). Kuviossa 1 on esitetty työstökeskuksen koordinaattiston akselit ja niiden kiertoakselit.



Kuvio 1. CNC-työstökeskuksen akselit ja niiden kiertoakselit (soveltaen Heinonen ym., 2020, s. 200).

Tavallisen kolmiakselisen CNC-työstökeskuksen lisäakseli voidaan toteuttaa koneen pöydälle asennettavalla lisälaitteella, joka on yleensä indeksi- tai pyöröpöytä (kuva 3) (Heinonen ym., 2020, s. 200). Pyöröpöytä kiertää X-akselia ja tuo huomattavasti lisämahdollisuuksia jyrsintään. Tämän jälkeen kone on neliakselinen työstökeskus. X-akselin kiertoakseli on A-akseli.



Kuva 2. CNC-työstökeskus varustettuna pyöröpöydällä (Konepaja Stamac Oy, 2019).

Viisiakselinen työstökeskus voidaan toteuttaa monella eri tavalla (Heinonen ym., 2020, s. 201). Yksi vaihtoehto on käyttää pyöröpöydän tapaista lisälaitetta. Tällaisessa laitteessa kierretään X-akselia pyöröpöydän tapaan. Lisäksi Z-akselia kierretään laitteessa olevan pyöröpöydän avulla. Z-akselin kierto toteutetaan C-akselilla. Toinen vaihtoehto on käyttää Z-akselin suunnassa kiertävää pyöröpöytää ja kääntyvää työstökoneen karaa. Kääntyvä kara kiertää Y-akselia ja kiertoakseli on B.

2.7 Työkappaleen kiinnittäminen

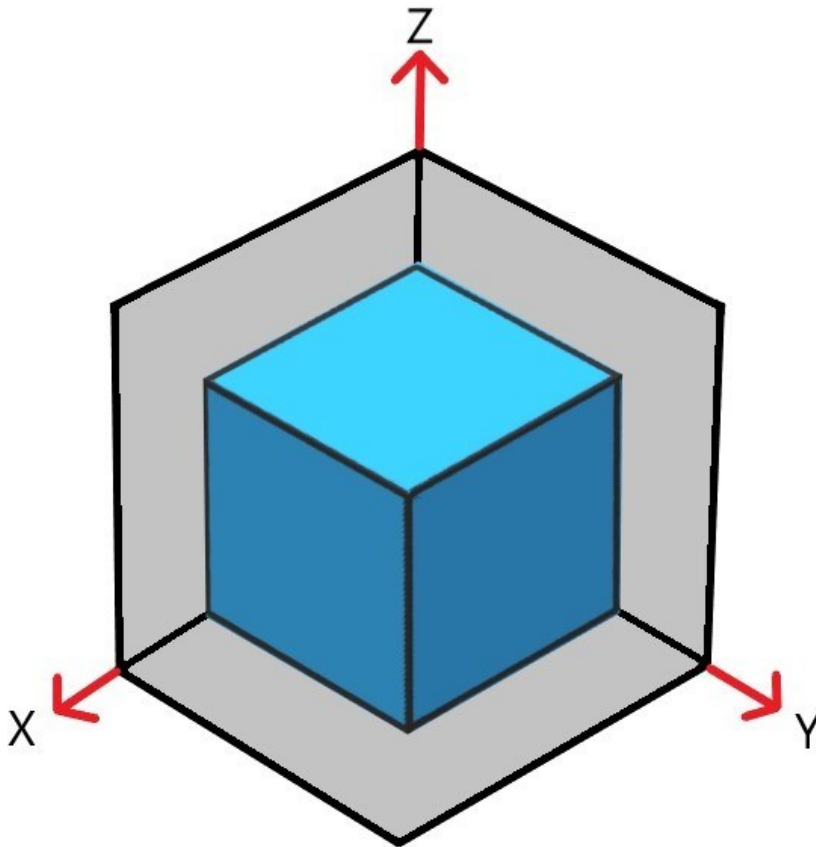
Työkappale ei saa liikkua tai irrota työstön aikana (Heinonen ym., 2020, s. 72). Kappaleen irtoaminen saattaa johtaa työkalun vaurioitumiseen tai työturvallisuuden vaarantumiseen. Kappaleen liikkuminen taas aiheuttaa ongelmia mittatarkkuuteen.

Tavallisimmin käytettäviä kiinnitystapoja ovat

- jyrskoneen pöytään
- koneruuvipuristimeen
- v-kappaleeseen
- kulmatasoon
- pyöröpöytään (Heinonen ym., 2020, s. 72).

Kiinnitettäessä työkappaletta on huomioitava jyrskinnän aikana esiintyvät voimat ja niiden suunta (Heinonen ym., 2020, s. 72). Käytettävät työkalut sisältävät yleensä useita leikkaavia teriä, joten esiintyvät voimat ovat iskumaisia ja epätasaisia. Tämän lisäksi aiheutuu sivuttaisvoimia esim. käytettäessä lieriöjyrskintä. Terästä ja jyrskintavasta riippuen jyrskintä voi joko painaa tai nostaa kappaletta irti kiinnittimestä jyrskinnän aikana. On huomioitava kiinnitystapa myös siinä tilanteessa, jos kappaleen koko otsapinta on jyrskittävä. Valukappaleen tai muuten monimuotoisen kappaleen kiinnittäminen voi olla haastavaa.

Kiinnittämisen yhtenä peruseriaatteena voidaan pitää 3–2–1 menetelmää. Tässä menetelmässä tarkoitus on lukita kaikki kuusi vapausastetta, joita kolmiulotteisella kappaleella on (Enerpac, i.a.). Nämä vapausasteet ovat X-, Y- ja Z-akselin suuntaiset liikkeet sekä niiden kiertoliikkeet (kuvio 1). Näiden lukitseminen tarkoittaa, että kappale pysyy varmasti paikallaan koneistuksen aikana. Menetelmän nimi tulee kolmesta eri vaiheesta, joissa jokaisessa lukitaan yksi taso koordinaatistosta. Ensimmäisessä asetetaan kappale tasolle kolmen pisteen päälle ja lukitaan näin X- ja Y-akselien kiertoliikkeet sekä Z-akselin suuntainen liike. Käytettäessä kolmea tukipistettä neljän sijaan estetään kappaleen keinuminen tukipisteiden päällä. Toisessa vaiheessa lukitaan kappaleen kiertoliike Z-akselin ympärillä asettamalla kaksi tukipistettä sen yhdelle sivulle. Nämä tukipisteet estävät myös kappaleen liikkumisen joko X- tai Y-akselin suunnassa riippuen mille sivulle tukipisteet ovat asetettu. Kolmannessa vaiheessa asetetaan yksi tukipiste kolmannelle sivulle, joka lukitsee viimeisen jäljellä olevan X- tai Y-akselin suuntaisen liikkeen. Lisäksi jokaista kolmea tasoa vasten pitäisi olla esim. kiinnitysrauta, jolla kappale kiinnitetään tasoa vasten. Kuviossa 2 on esitetty harmaalla värillä koordinaatiston lukitut tasot.



Kuvio 2. 3–2–1 menetelmässä lukittavat tasot (soveltaen Enerpac, i.a.).

Työkappaletta kiinnitettäessä on huomioitava myös koneistettaessa ja kiinnitettäessä syntyvät muodonmuutokset (Lehtimäki, 2020, s. 44). Huonosti suunniteltu työkappaleen kiinnitys on yleensä syy mitta- ja muotovirheiden syntymiseen. Näihin vaikuttavat koneistettavien pintojen sijainti paikoitus- ja tukipisteisiin nähden. Lisäksi lastuamis- ja kiinnitysvoimien täytyisi kohdistua tukipintoihin. Muodonmuutokset voivat johtua myös kappaleen sisäisten jännitysten purkautumisesta tai koneistettaessa syntyvistä uusista jännitystiloista. Jyrsittäessä muodonmuutokset aiheuttavat yleensä pintojen epämuotoisuutta, joka ilmenee esim. tasomaisuuden tai kohtisuoruuden heittoina. Porauksessa virhe näkyy yleensä reikien muoto- tai sijaintivirheinä. Nämä virheet vältetään yleensä, kun kappale on tuettu oikein esim. sijoittamalla tukipisteet jyrsittävän pinnan alapuolelle. Lisäksi on tärkeää sijoittaa kiinnitysvaivat painamaan kappaletta tukipisteiden yläpuolelta tai mahdollisuuksien mukaan niin, että kiinnitys ei aiheuta kappaleen taipumista. Näiden virheiden välttämiseksi koneistettavien osien valmistusdokumenteissa käytetään geometrisia toleransseja (Heinonen ym., 2020, s.14). Näillä toleransseilla määritetään muodon, sijainnin, suunnan tai heiton rajat. Käyttö- ja merkintätavoista on saatavilla SFS-standardi. Toleranssien käyttämisestä tulee harkita tarkkaan ja käyttää vain todellisen tarpeen vaatiessa, sillä liialliset tarkkuusvaatimukset nostavat tuotteen valmistuskustannuksia.

2.8 Kiinnitystavat

Yksi yleisimmistä kiinnitystavoista on työkappaleen kiinnittäminen jyrsinkoneen pöytään (Heinonen ym., 2020, s. 73). Tässä hyödynnetään jyrsinkoneen pöydässä olevia T-uria. Niitä käytettäessä tarvitaan kiinnitysruuvi sekä uraan asetettava vastakappale, jota vasten ruuvi kiristetään. Tämän lisäksi tarvitaan kiinnitysrautoja ja niiden tukialustoja. Niitä on saatavilla eri valmistajilta useita erilaisia ja erilaisiin käyttötarkoituksiin sopivia. Tavallisesti käytetyt kiinnitysraudat ovat U-rautoja tai ns. rakorautoja. Tukialustoina käytetään usein kiinteitä tai korkeudeltaan säädettäviä alustoja. Kiinnitysrautojen lisäksi käytetään vasteita sillä sivulla kappaletta, minne työstövoimat sitä pyrkivät työntämään. Tapauksissa, joissa koko työkappaleen otsapinta täytyy koneistaa, käytetään yleisesti matala- ja otsakiinnittimiä. Näiden kiristysvoima vaikuttaa kappaleeseen puristaen sitä sivupinnalta eteen- ja alaspäin (Halder, i.a.).

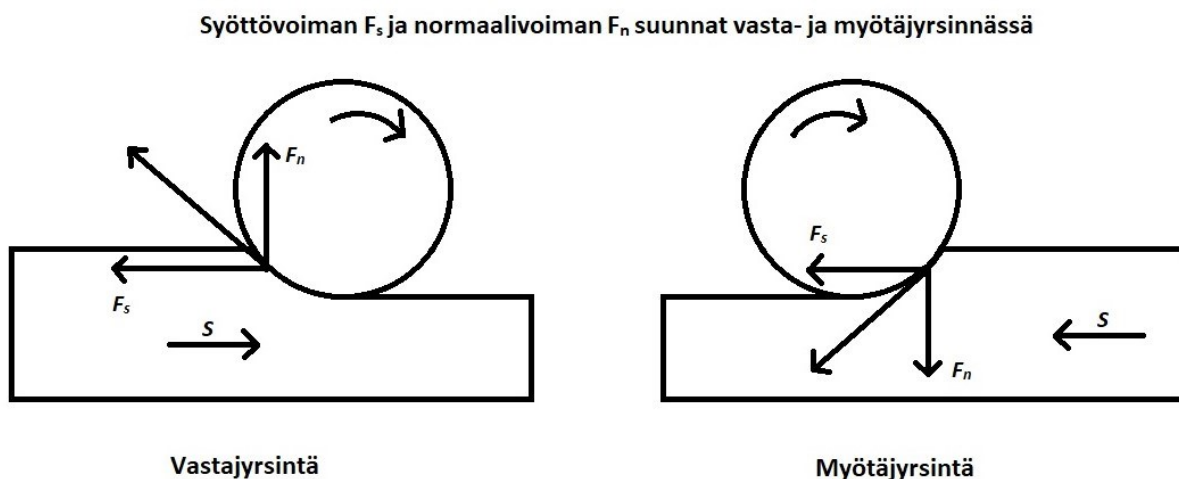
Toinen yleisimmin käytetty tapa on kiinnittäminen koneruuvipuristimeen (Heinonen ym., 2020, s. 74). Tätä käytetään etenkin pienten ja säännöllisen muotoisten kappaleiden kohdalla. Puristin kiinnitetään työstökoneen T-uriin, ja sen pohjassa on usein ohjauskiilat, jotka asettuvat uriin ja ohjaavat näin puristimen pöydän urien suuntaisesti. Tarvittaessa puristin voidaan asettaa tarkasti suoraan mittakellon avulla.

Yksi tapa kiinnittää kappale on kulmatasoon kiinnittäminen (Heinonen ym., 2020, s. 75). Tätä kiinnitystä käytetään, kun kappaleeseen täytyy koneistaa kohtisuoria tai tiettyyn kulmaan tulevia pintoja. Taso voi olla kiinteä tai säädettävä 0–90° välillä. Lisäksi voidaan käyttää jakolaitetta kappaleen kiinnittämiseen (Maaranen, 2004, s. 201). Jakolaite on yksi jyrsinkoneen yleisimmistä lisävarusteista. Siihen kappale kiinnitetään yleisimmin kolmileukaistukkaan. Kiinnitystapa on käytännössä samanlainen kuin sorviin kappaletta kiinnitettäessä. Kappale voidaan tukea toisesta päästä kärkituen avulla.

Jakolaitteen sijaan nykyaikaisissa CNC-koneissa käytetään yleisesti CNC-pyöröpöytää, joka on käytännössä jakolaite, jota ohjataan tietokoneellisesti. Pyöröpöytä kytetään koneen lisäakseliksi ja sitä pystytään ohjaamaan koneen omalla ohjausjärjestelmällä. Sen avulla koneistettavaa kappaletta voidaan kiertää yhden akselin ympäri. Tämä mahdollistaa koneistamisen usealta eri sivulta samalla kiinnityskerralla. Pyöröpöytään voidaan kiinnittää kolmileukaistukka tai koneruuvipuristin, johon työkappale saadaan kiinnitettyä. Lisäksi voidaan hyödyntää erilaisia itse valmistettuja kiinnittimiä, jotka kiinnitetään pyöröpöydän kiinnityslaippaan.

2.9 Kiinnitykseen vaikuttavat voimat

Jyrsittäessä esiintyy erilaisia voimia, jotka vaikuttavat kappaleen kiinni pysymiseen (Heinonen ym., 2020, s. 75). Kappale voi esimerkiksi pyrkiä nousemaan irti kiinnityksestä jyrsinnän aikana. Jyrsittäessä lastun paksuus ja terän leikkuusuunta vaihtelevat, tästä johtuen lastuamisvoimien suunta ja suuruus muuttuvat jatkuvasti. Kiinnityksessä tärkeimpiä huomioitava voimia ovat syöttöliikkeen suuntainen syöttövoima F_s ja siihen kohtisuorassa vaikuttava normaalivoima F_n (kuvio 3).



Kuvio 3. Terään ja työkappaleeseen kohdistuvat lastuamisvoimat (soveltaen Heinonen ym., 2020, s. 75).

Kiinnitysvoimat pitävät kappaleen paikallaan ja kumoavat siihen kohdistuvat lastuamisvoimat (Lehtimäki, 2020, s. 37). Työkappaleen kiinnipysymisen kannalta ratkaisevaa on kiinnitysvoimien suuruus, suunta ja kiinnityspisteiden paikka sekä määrä. Koneistuskeskuksissa kappaleiden kiinnitys tapahtuu yleensä kitkavoiman avulla (mts. 41). Kiinnittimessä käytettävien vasteiden pintojen kitka tulee huomioida suunnittelussa. Ohutseinämaisillä kappaleilla, joilla on ohut kuori, käytettävän kiinnitysvoiman saa helposti pienemmäksi, kun vasteina käytetään piikkimäisiä nastoja. On kuitenkin huomioitava, että piikistä jää työkappaleeseen yleensä jälki. Kiinnittäessä suunniteltaessa on siis tärkeää saada kitka mahdollisimman suureksi työkappaleen ja vasteen tukipintojen välillä.

Kitkavoima F_μ lasketaan kaavalla (Hautala & Peltonen, 2016, s.33)

$$F_\mu = \mu N$$

(1)

missä μ on materiaalista riippuva kitkakerroin ja N on pintaan kohtisuorassa vaikuttava normaalivoima. Kitkakertoimen kiinnittintä suunniteltaessa käytetään yleensä arvoa väliltä 0,10–0,30 riippuen kiinnittimen ja kiinnitettävän kappaleen materiaalista (Lehtimäki, 2020, s. 43). Esimerkiksi kun valurautainen kappale kiinnitetään teräksiseen kiinnittimeen, on tällöin kitkakerroin voideltujen pintojen välillä 0,10.

2.10 Koneensuunnittelu

Insinöörin tärkeimpiä tehtäviä on ratkaista teknisiä ongelmia käyttäen luonnontieteellistä tietoa ja toteuttaa ne mahdollisimman tehokkaasti määriteltyjen rajoitusten sisällä (Pahl ym., 1990, s. 1). Rajoitukset liittyvät usein teknisiin, aineellisiin ja taloudellisiin seikkoihin. Suunnittelu aloitetaan tehtävänasettelun selvittämällä (mts. 48). Tämä tarkoittaa tiedonhankintaa asetetuista vaatimuksista ja yleisesti pysyvistä reunaehdoista sekä näiden vaikutuksesta suunnitteluun. Tämän tuloksena syntyy vaatimuslista, joka pidetään ajan tasalla ja se toimii pohjana seuraaville työaskelille.

Seuraava vaihe on luonnostelu, jossa määritetään periaatteellinen ratkaisu aiempien vaatimusten mukaisesti (Pahl ym., 1990, s. 48). Tämä voidaan esittää monella tapaa, ja esim. valmiita komponentteja käytettäessä voi riittää pelkkä rakenne- tai kytkentäkaavio (mts. 49). Toisissa tapauksissa karkea vapaalla kädellä piirretty luonnos voi riittää. Työstetyt luonnokset täytyy arvostella, että voidaan hylätä sellaiset, jotka eivät täytä määriteltyjä vaatimuksia, ja hyväksytyt arvioidaan tiettyjen kriteerien mukaisesti. Yleensä tässä vaiheessa arvostellaan tarkemmin teknisiä näkökohtia ja taloudelliset kohdat huomioidaan karkeasti. Ratkaisuluonnoksista valitaan arvostelun perusteella se, mitä lähdetään toteuttamaan. Voi käydä niinkin, että useampi luonnos on samanarvoinen ja lopullinen päätös voidaan tehdä vasta myöhemmissä vaiheissa.

Kehittelyvaiheessa suunnitellaan teknisen tuotteen tai laitteen konkreettinen kokoonpano huomioiden tekniset sekä taloudelliset rajoitteet (Pahl ym., 1990, s. 49). Usein joudutaan suunnittelemaan erilaisia alustavia ehdotuksia ja näiden avulla voidaan selvittää tarkemmin eri ehdotusten edut ja haitat. Tämän jälkeen ehdotukset arvioidaan teknis-taloudellisesti. Tällä arvioinnilla yleensä jokin ehdotus näyttää taloudellisesti edullisemmalta, mutta teknisesti huonommalta. Edullisempaa ratkaisua voidaan kuitenkin parantaa hyödyntämällä siinä taloudellisesti huonompien ideoiden osaratkaisuja. Näiden yhdistelmien soveltamisella ja

heikkouksien poistamisella saadaan aikaan yleensä lopullinen kokonaiskehitelmä rakenne-
muotoilusta. Tässä kokonaiskehitelemässä on varmistettu kaikki tärkeät seikat kuten laitteen
toiminta ja kestävyys yms.

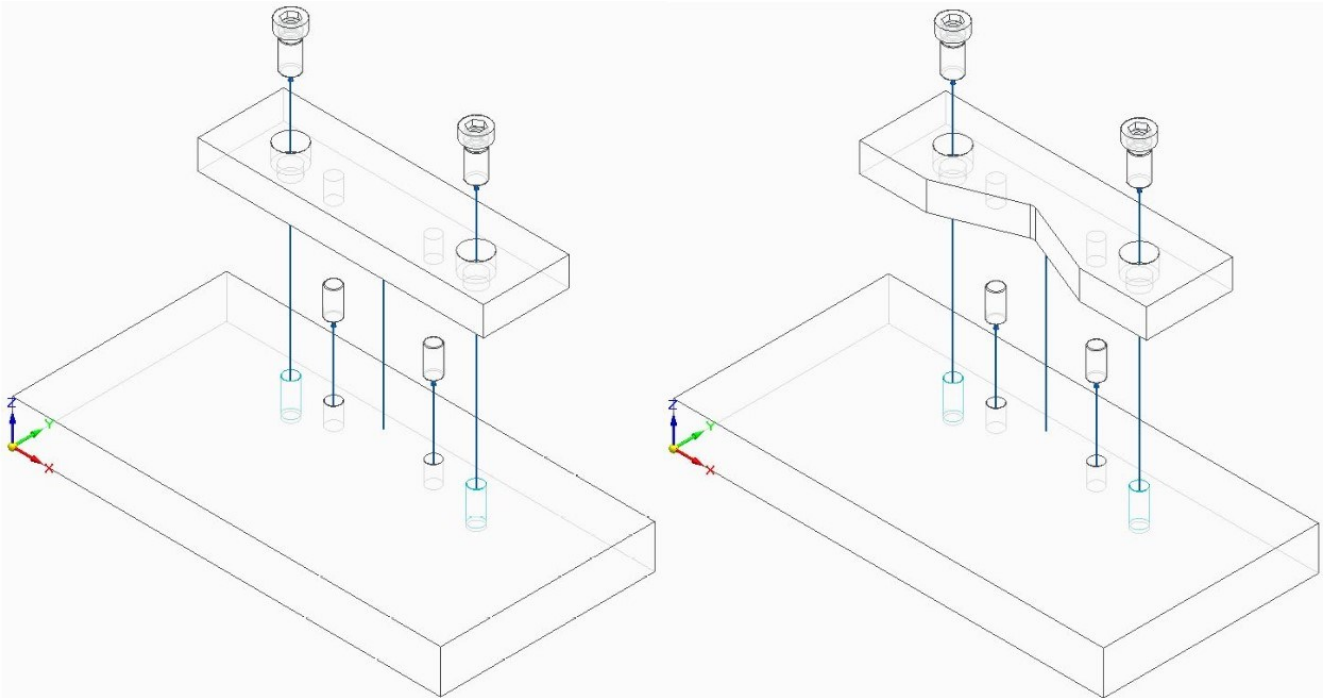
Viimeinen vaihe on viimeistely, jossa teknisen laitteen kokoonpanoa täydennetään esim.
muotoilun avulla (Pahl ym., 1990, s. 50). Laaditaan ja mitoitetaan kaikki tarvittavat valmistus-
dokumentit ja näihin täydennetään esim. toleranssivaatimukset ja valitaan käytettävät materi-
aalit. Määritetään myös valmistusmahdollisuudet ja tarkistetaan kustannukset. Lisäksi laadi-
taan kaikki tarvittavat asiakirjat suunnitelman toteuttamiseksi. Viimeistelyvaiheessa joudutaan
usein vielä korjaamaan virheitä ja palaamaan edellisiin työvaiheisiin näiden ratkaisemiseksi.
Tärkeimpiä tavoitteita viimeistelyssä ovat optimoida periaate, rakenne ja valmistus mahdolli-
simman hyväksi.

2.11 Modulointi

Moduloinnissa tuotteet jaetaan moduuleihin eli itsenäisiin yksiköihin (Österholm & Tuokko,
2001, s. 8). Tuotteilla on rajapinnat, joiden avulla moduulien yhdistettävyyden ja vaihdettavuuden
on mahdollista. Rajapinnat ovat tarkasti määriteltäviä ja vakioituja. Moduloinnin avulla standar-
dikomponenttien lukumäärä saadaan mahdollisimman suureksi, ja eri tuotevariaatioita on hel-
pompaa hallita. Näin varioinnin vaikutukset koskevat vain osaa tuotteesta. Moduloinnilla tuot-
teen fyysinen ja toiminnallinen rakenne pyritään pitämään mahdollisimman samanlaisena.
Tämän avulla moduulien rajapinnoista saadaan mahdollisimman yksinkertaisia ja moduulien
väliset vuorovaikutukset minimoitua. Modulaarisen tuotteen moduulien pitäisi jokaisen toteut-
taa omia toimintojaan niin, että moduulit eivät ole riippuvaisia toisistaan. Tämän avulla eri
moduulien itsenäinen suunnittelu ja suunnittelun rinnakkaisuus on mahdollista, koska moduu-
lien välinen riippuvuus on minimoitu. Moduloinnin ansiosta myös tuotteeseen tehtävät muu-
tokset ovat nopeita ja helppoja toteuttaa, koska muuttamalla yhtä moduulia se ei vaikuta koko
tuotteeseen.

Moduloinnin huomioiminen kiinnittintä suunniteltaessa tässä työssä on järkevää, koska samaa
kiinnittintä voidaan näin hyödyntää useamman eri kappaleen koneistuksessa. Moduloinnin an-
siosta siihen voidaan vaihtaa erilaisia kiinnitystarvikkeita valmistettavan kappaleen mukaan.
Kiinnitystarvikkeisiin on valmistettava tarvittavat kiinnitys- ja kohdistuselementit identtisesti.
Näiden avulla ne saadaan asennettua kiinnittimen pohjalevyyn aina samalle paikalle. Lisäksi

pohjalevyyn voidaan valmistaa useampia kiinnityskohtia samalla reikäkuviolla ja näin kiinnitystarvikkeiden paikkaa voidaan siirtää koneistettavan kappaleen vaatimusten mukaan. Kuviossa 4 on havainnollistettu modulaarisuutta kiinnitystarvikkeita suunniteltaessa. Kiinnitys- ja kohdistusreiät ovat identtiset kummassakin vastinkappaleessa. Näiden avulla vastinkappale voidaan vaihtaa helposti koneistettavan kappaleen mukaan.



Kuvio 4. Esimerkki moduloinnista kiinnitinsuunnittelussa.

3 LAAKERIPESÄN KANNEN KIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Kiinnittimen suunnittelu aloitettiin tutkimalla valmistettavan kappaleen ominaisuuksia ja kiinnitysmahdollisuuksia. Mietittiin nykyisen käytettävän kiinnitysmenetelmän hyviä puolia ja mitä niistä voitaisiin hyödyntää suunnittelussa. Lähtökohtana oli, että kappaleita saataisiin valmiiksi vähintään neljä yhdellä kiinnityskerralla. Tämä edellyttäisi sitä, että kiinnitin täytyisi suunnitella CNC-pyöröpöytään asennettavaksi, joka mahdollistaa kappaleen kääntämisen koneistuksen aikana. Kehittämistarve johtui valmistettavien kappaleiden suuresta sarjakoosta, joka edellyttää nykyisellä menetelmällä turhan useaa vaihtokertaa. Suunnittelussa tärkeää oli huomioida kappaleen vaatima koko yläpinnan koneistus, joka edellyttää otsakiinnittimien käyttöä. Lopputuloksena syntyi edellä mainittujen vaatimusten mukainen koneistuskiinnitin, jonka avulla saadaan valmistettua neljä kappaletta samalla kiinnityskerralla.

3.1 Valmistettava kappale

Koneistettava kappale on valamalla valmistettu laakeripesän kansi. Se on suhteellisen yksinkertainen rakenteeltaan eikä sen valmistaminen vaadi erikoisia koneistusmenetelmiä. Kiinnitys kuitenkin vaatii hieman suunnittelua, sillä kappale on monimuotoinen eikä sen ulkopinnassa ole suorja pintoja minkä avulla se olisi helppo kiinnittää. Tämän lisäksi koko otsapinta täytyy koneistaa, jolloin sitä ei voida kiinnittää päältä alaspäin painamalla, vaan täytyy käyttää otsakiinnittimiä. Kuvassa 5 on nähtävillä valettu aihio. Siinä näkyvä otsapinta täytyy koneistaa kauttaaltaan, lisäksi upotukset koneistetaan ja porataan kiinnitysreiät. Edellä mainittujen lisäksi kylkeen porataan yksi kierrereikä, joka vaatii kappaleen kääntämistä koneistamisen aikana.



Kuva 3. Valmistettavan kappaleen valettu aihio (Konepaja Stamac Oy, 2021).

3.2 Lähtökohdat ja nykytilanne

Nykyisellä valmistusmenetelmällä kappaleen koneistaminen on hidasta. Valmistaminen vaatii kaksi erillistä kiinnityskertaa. Ensimmäisellä kerralla kappale kiinnitetään koneruuvipuristimeen otsapinta ylöspäin, jolloin koneistetaan otsapinta, upotukset ja kiinnitysreiät. Tämän jälkeen se joudutaan irrottamaan ja kiinnittämään toiseen puristimeen, jolloin saadaan koneistettua kylkeen kierrereikä. Tällä menetelmällä saadaan valmistettua jokaisella koneistuskerralla kaksi kappaletta. Ensimmäistä vaihetta koneistetaan kahdessa koneruuvipuristimessa ja toista vaihetta myös kahdessa puristimessa. Jokaisen koneistuskerran jälkeen joudutaan siis vaihtamaan kappaleet neljään eri puristimeen. Vaihtamiseen kuluu paljon aikaa, sillä puristimet ja kappaleet joudutaan puhdistamaan lastuista jokaisen vaihdon yhteydessä.

3.3 Kehittämistarpeet ja vaatimukset

Sarjakoko on yleensä noin 300 kappaletta kerralla. Sarjan valmistaminen tarkoittaa siis nykyisellä menetelmällä 150 koneistuskertaa. Vaihtamiseen kuluvan ajan lisäksi koko sarjan valmistuksessa kuluu paljon aikaa esim. työkalujen vaihtamiseen, koska kappaleita valmistuu vain kaksi kerralla. Sama työkalu joudutaan siis vaihtamaan työstökoneen karalle useasti

sarjan aikana. Tavoitteena olisi saada valmistettua vähintään neljä kappaletta yhdellä koneistuskerralla niin, että kappale saadaan koneistettua valmiiksi yhdellä kiinnityksellä. Tällä tavalla saataisiin koneistuskertojen lukumäärää vähennettyä 150 kerrasta 75 koneistuskertaan. Samalla vaihtamiseen kuluva aika pienentyisi, koska kappale täytyisi kiinnittää vain kerran.

Koneistuksessa käytettävä työstökone on 3-akselinen pystykarainen työstökeskus. Koneistaminen yhdellä kiinnityksellä valmiiksi vaatii koneelta yhden lisäakselin, jonka avulla kappaletta voidaan kääntää koneistuksen aikana. Koneeseen on olemassa lisävarusteena CNC-pyöröpöytä. Siihen täytyy valmistaa koneistuskiinnitin, johon voidaan kiinnittää useampi valmistettava kappale kerralla. Kiinnittimen pitäisi siis olla sellainen, joka voidaan asentaa pyöröpöytään ja tämän avulla kappaleet saadaan valmiiksi yhdellä kiinnityskerralla. Sen on myös oltava riittävän tukeva mahdollisten koneistuksessa aiheutuvien värähtelyjen minimoimiseksi. Kiinnittäminen vaatii matalia otsakiinnittimiä, koska koko yläpinta on koneistettava. Näiden lisäksi täytyy valmistaa erilliset kiinteät vasteet, joita vasten kappale asetetaan ja kiristetään.

3.4 Kiinnittimen suunnittelu

Suunniteltaessa ensimmäisenä täytyi huomioida pyöröpöytään kiinnittämisen vaatimukset. Pyöröpöytä on varustettu kolmileukaistukalla, johon kiinnitin on helppo ja nopea asentaa. Toinen vaihtoehto olisi kiinnittäminen pyöröpöydän laippaan, johon se voitaisiin asentaa käyttämällä ruuveja ja t-uramuttereita. Vaihtoehdoista päädyttiin kolmileukaistukkaan, koska tämä on huomattavasti helpompi ja yksinkertaisempi tapa. Se on lähes aina kiinnitettynä pyöröpöydän laippaan, joten tämä nopeuttaa huomattavasti asetusaikaa. Tällä tavalla säästytään kolmileukaistukan irrottamiselta pyöröpöydän laipasta, että kiinnitin voitaisiin asentaa laippaan.

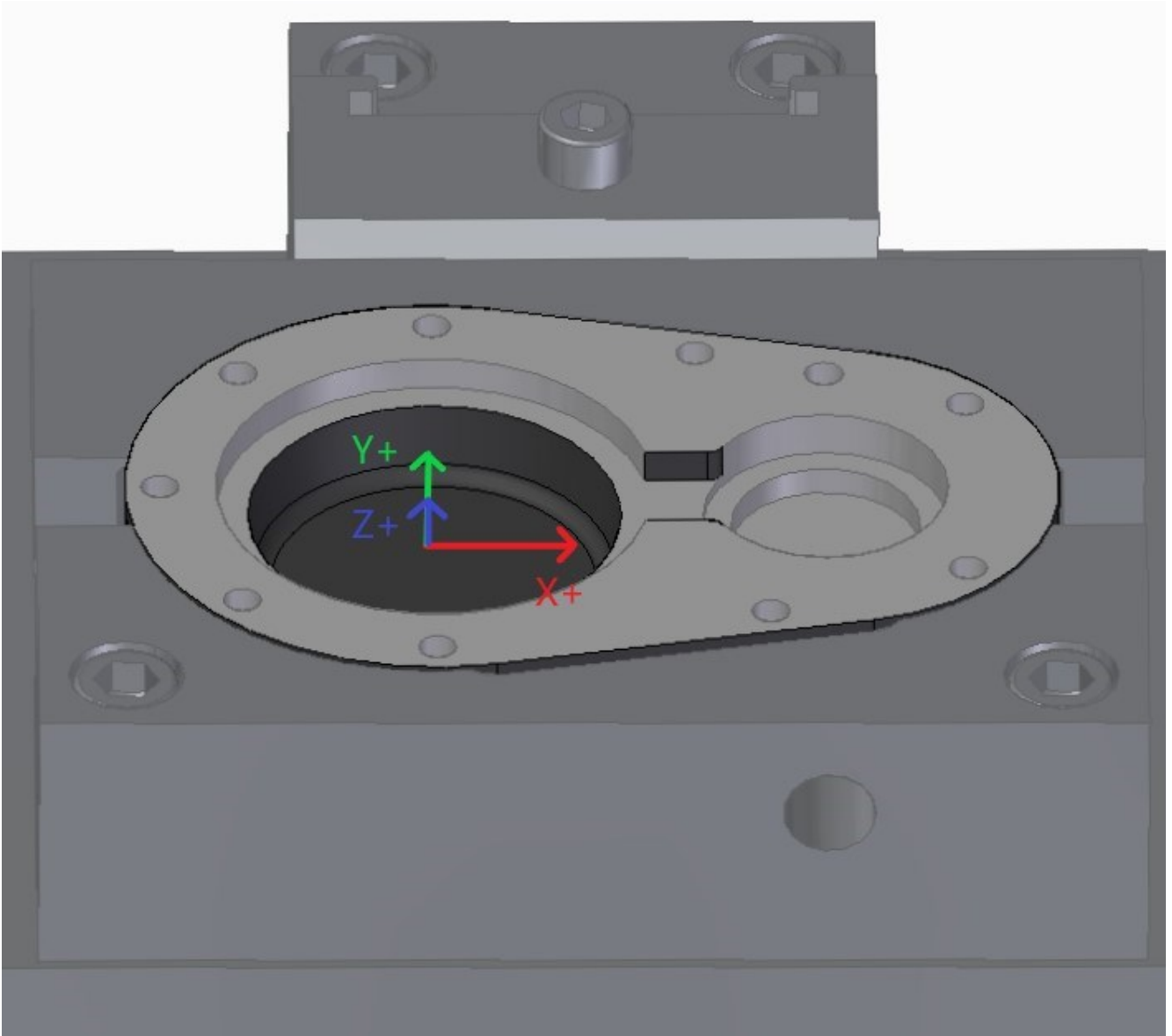
Pohjalevyä suunniteltaessa täytyi ottaa huomioon levyn suurimmat mahdolliset pituus- ja leveysmitat. Pyöröpöydän laippa on halkaisijaltaan 400 mm. Pohjalevy ei siis voi olla tätä leveämpi, että sitä on mahdollista kiertää X-akselin ympäri. Levyn pituuden kanssa ei olisi ongelmia, sillä X-akselin suunnassa koneen liikerata on 1500 mm, tästä kuitenkin pyöröpöytä itsessään kärkituen kanssa vie tilaa noin 600 mm. Jäljelle jäävä 900 mm on kuitenkin riittävä.

Kiinnitystarvikkeita suunniteltaessa otettiin huomioon 3–2–1 menetelmä miettimällä sen pohjalta, miten kappale saadaan lukittua mahdollisimman hyvin paikalleen. Ensimmäisenä päätettiin asettaa kappale kolmen erillisen vasteen päälle, joka poistaa keinumisen. Lisäksi suunniteltiin käytettävään muotoleukoja, joilla kappale saadaan lukittua samanaikaisesti X- ja Y-

akselin suuntaisesti. Näiden lisäksi kiinnittämiseen suunniteltiin otsakiinnitin, jonka avulla kappale saadaan kiristettyä. Se painaa kappaletta Y- ja Z-akselin suuntaisesti vasteita vasten.

Kiinnitystarvikkeisiin lukeutuvat kiinteät vasteet, joita vasten kappaleet asetetaan. Näiden lisäksi on liikkuvat vasteet, joilla kappaleet kiristetään kiinteitä vasteita vasten. Lisäksi tarvitaan pohjavasteet, joiden päälle kappaleet saadaan asetettua. Kiinteät vasteet lukitsevat kappaleen XY-tasossa ja pohjavasteet asettavat sen paikalleen Z-akselin suuntaisesti. Nykyisessä kiinnitysmenetyksessä, jossa kappaleet kiinnitetään koneruuvipuristimeen, käytetään muotoleukoja, jotka on valmistettu kappaleen ulkomuotojen mukaisesti. Tämä menetelmä on toimiva ja sitä päätettiin hyödyntää suunnittelussa. Täytyi siis suunnitella kiinteään ja liikkuvaan vasteeseen kappaleen ulkomuotoa mukailevat pinnat, joita vasten se kiristetään.

Kiinnittäminen vaatii kiinnittämistä kappaleen sivupinnoilta, koska koko yläpinta on koneistettava. Tästä syystä liikkuva vaste täytyy olla otsakiinnittimen tapainen, joka painaa kappaletta samalla Y- ja Z-akselin suuntaisesti. Sitä täytyy painaa Z-akselin suuntaisesti alaspäin sillä siihen kohdistuvat työstövoimat voivat aiheuttaa sen nousemisen irti kiinnityksestä. Tämä ongelma korostuu tässä tapauksessa etenkin yläpintaa rouhittaessa ja sivulle porattavan reiän koneistamisen yhteydessä. Rouhittaessa otsajyrsimellä sen aiheuttamat työstövoimat kohdistuvat 45° kulmassa ylöspäin kappaleen pinnasta. Tämä johtuu jyrsimen teräpalan asetuskulmasta. Kuviossa 5 on esitetty kiinnityksen koordinaatiston akselien suunnat. Kuvioista selviää, kuinka kappale lukittuu paikoilleen X- ja Y-akselien suunnassa muotoleukojen ansiosta. Näiden lisäksi otsakiinnitin painaa sitä Z-akselin negatiiviseen suuntaan.



Kuvio 5. Kiinnityksessä lukittavien akselien suunnat (Konepaja Stamac Oy, 2021).

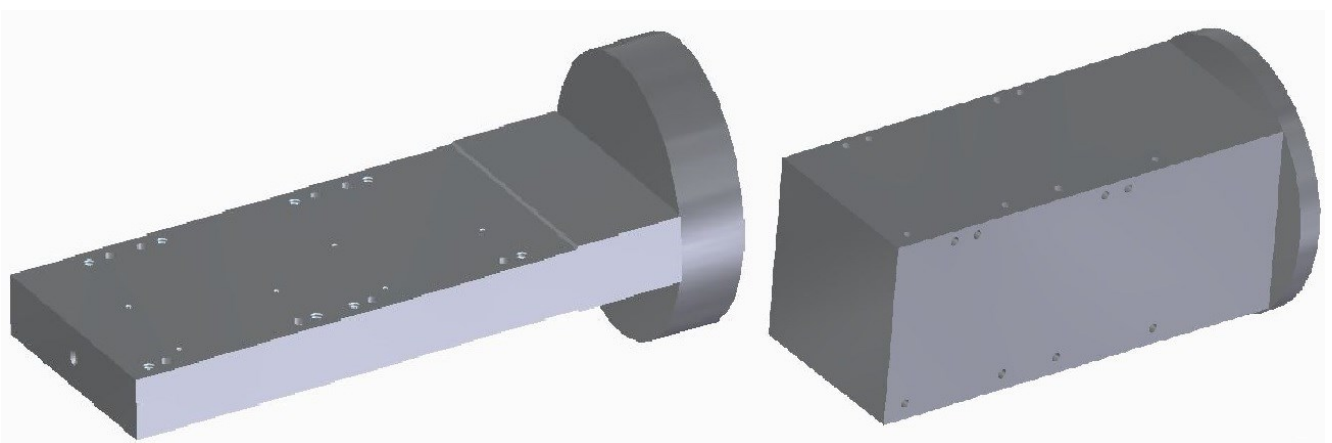
Pohjavasteiden suunnittelussa täytyi huomioida se, että ne eivät voi olla suuria halkaisijaltaan, sillä kappaleen pohja on monimuotoinen eikä se sisällä isoja samalla tasolla olevia pintoja. Tämän lisäksi se täytyisi saada asetettua kolmea pistettä vasten, sillä valupinta on epätasainen ja käytettäessä useampaa vastetta kappale keinuisi niiden päällä. Kolmea pistettä vasten asetettaessa se asettuu paikalleen ilman keinumista.

3.5 Kiinnittimen mallinnus

Mallinnus toteutettiin käyttäen Solid Edge ohjelmistoa, joka on Siemensin tuottama 3D-suunnitteluohjelmisto. Ohjelmiston avulla voitiin suunnitella kaikki tarvittavat komponentit

kiinnittimeen sekä toteuttaa kokoonpano ja nähdä mahdolliset suunnitteluvirheet ja ongelmat. Näin virheet voitiin korjata jo ennen varsinaisen kiinnittimen valmistusta.

Työ aloitettiin pohjalevyn mallintamisella. Levy tehtiin aluksi ulkomitoiltaan karkeasti oikean kokoiseksi. Lisäksi mallinnettiin kiinnityslaippa, jonka avulla kiinnitin saadaan kiinnitettyä kolmileukaistukkaan. Pohjalevyjä suunniteltiin kaksi erilaista, joista toiseen saadaan kiinnitettyä neljä ja toiseen kahdeksan valmistettavaa kappaletta. Levy, johon saadaan kiinnitettyä neljä kappaletta, sisältää kaksi sivua johon kappaleet kiinnitetään. Isommassa kahdeksalle soveltuvassa pohjalevyssä on neljä sivua, joille jokaiselle mahtuu kaksi kappaletta. Vaihtoehtoista päädyttiin käyttämään pienempää neljälle soveltuvaa kiinnitintä, ja tulevaisuudessa, jos sarjako kasvaa, voidaan valmistaa isompi malli kiinnittimestä. Kuviossa 6 on nähtävissä molemmat pohjalevyt mallinnettuna.



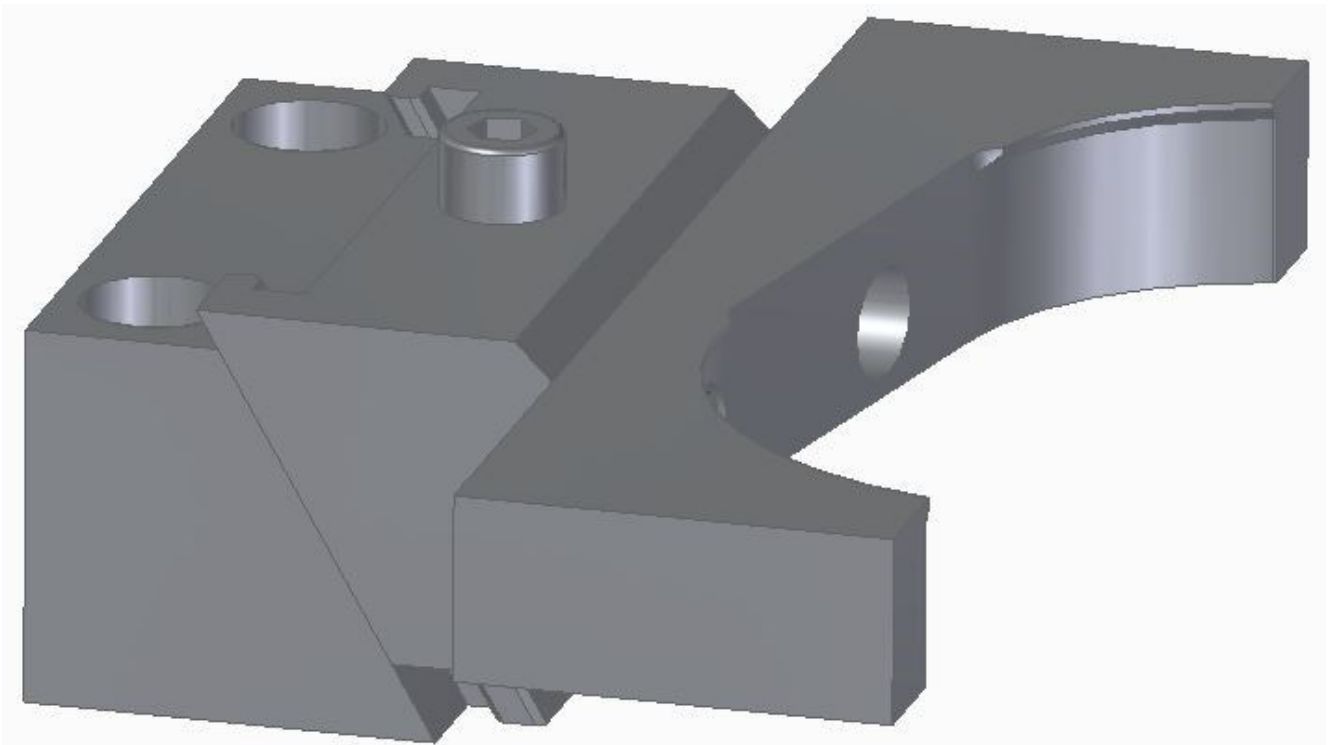
Kuvio 6. Pohjalevyjen vaihtoehdot (Konepaja Stamac Oy, 2021).

Pohjalevyn mallintamisen jälkeen se avattiin Solid Edgen kokoonpano-osiossa, jossa levyn päälle saatiin tuotua valmistettava kappale haluttuun asentoon. Se asemoitiin pohjalevyn päälle kohtaan, johon se haluttiin kiinnittää. Tämän jälkeen voitiin aloittaa liikkuvien ja kiinteiden vasteiden suunnittelu. Tämä onnistui helposti kokoonpano-osiossa, jossa kokoonpanoon voidaan mallintaa erillisiä uusia komponentteja. Tämän avulla nähdään jo paikallaan olevat muut komponentit ja saadaan väistettyä mahdollisesti näiden vaatima tila sekä asetettua mitat kerralla oikein.

Ensimmäisenä mallinnettiin kiinteä vaste kappaleen toiselle sivulle. Se tehtiin kappaleen ulkomuotojen mukaan, joiden avulla kappale asettuu oikeaan asentoon ja liikkuvalla vasteella kiristettäessä se puristuu mahdollisimman tasaisesti ulkopinnasta vastetta vasten. Kiinteään

vasteeseen mallinnettiin tarvittavat kiinnitys- ja kohdistusreiät, joilla vaste kiinnitetään pohjalevyyn. Tämän jälkeen levyyn tehtiin samat reiät vastaaville paikoilleen.

Liikkuvan vasteen kohdalla käytettiin samaa periaatetta kuin kiinteän vasteen kohdalla. Mallinnettiin kappaleen ulkomuotoja mukaileva leukakappale, jolla työkappale kiristetään kiinteää vastetta vasten. Liikkuva vaste koostuu useasta erillisestä komponentista, joten leukakappaleen jälkeen täytyi vielä suunnitella otsakiinnittimen tapainen rakenne, johon leuka kiinnitetään. Otsakiinnitin kiristää kappaleen painaen sitä samalla sekä horisontaalisesti että vertikaalisesti. Siinä on kaksi erillistä osaa, joista toinen on kiinteä ja toinen liikkuva. Nämä vastaavat toisiinsa kulmassa olevaa kaltevaa pintaa vasten. Liikkuvaa osaa kiristettäessä se työntyy samalla eteen- ja alaspäin. Kuviossa 7 on nähtävillä otsakiinnitin kokoonpantuna sekä siihen kiinnitetty leukakappale. Leukakappaleisiin mallinnettiin myös ohut reunapinta, joka puristaa kappaletta. Tämän avulla kiinnityspinnasta saadaan hieman piikkimäinen ja leuka pureutuu paremmin kappaleen pintaan pienentäen samalla tarvittavaa kiinnitysvoimaa.



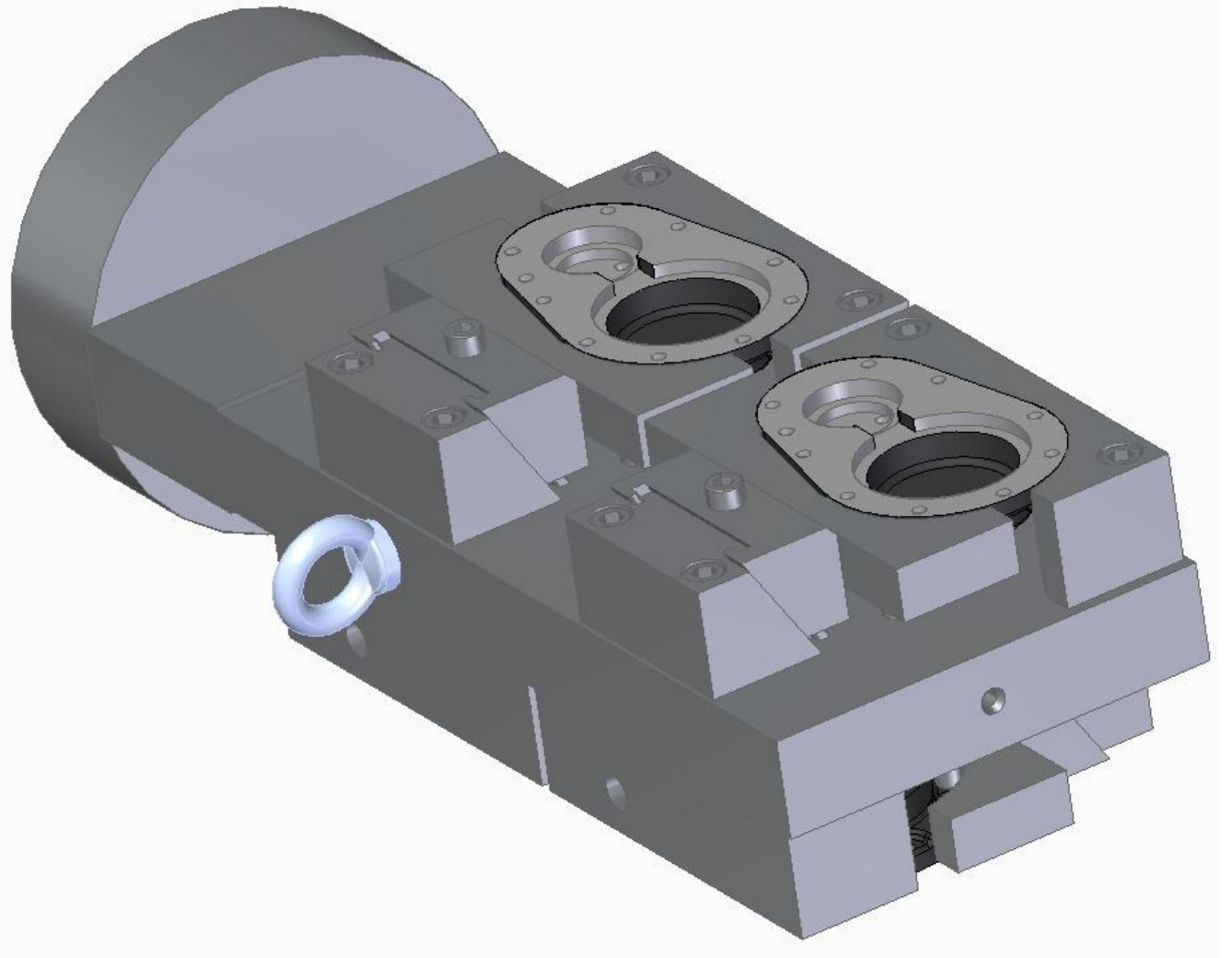
Kuvio 7. Otsakiinnittimen kokoonpano (Konepaja Stamac Oy, 2021).

Pohjavasteiden mallinnus aloitettiin tutkimalla valmistettavan kappaleen pohjassa olevia samalla tasolla sijaitsevia pintoja. Tämän jälkeen, kun halutut pinnat olivat löytyneet, tutkittiin niiden koko, että tiedettiin vasteen suurin mahdollinen halkaisija. Lisäksi täytyi selvittää sen korkeus. Tämä vaati kappaleen asettamisen halutulle korkeudelle pohjalevystä, jonka jälkeen

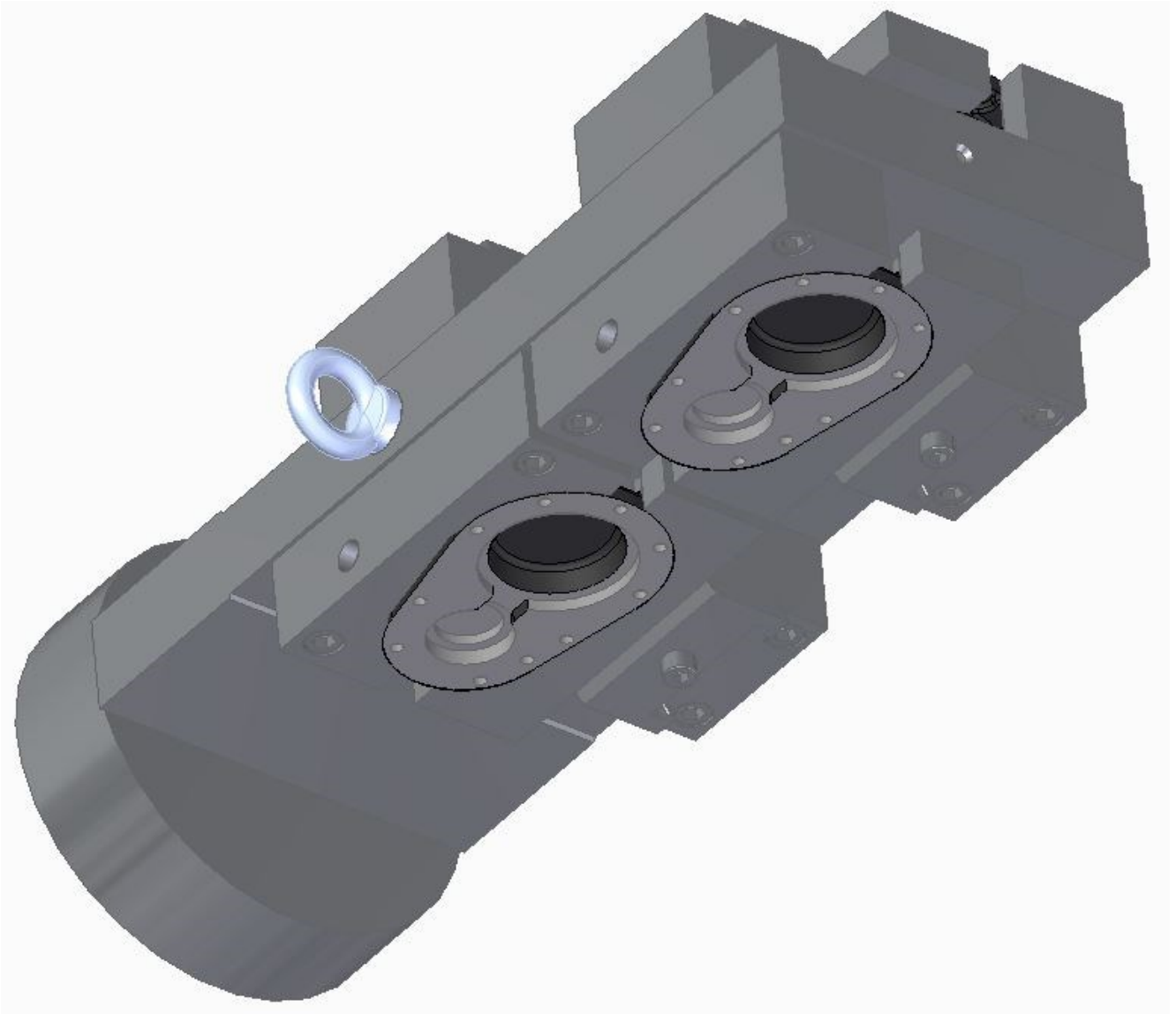
voitiin mitata levyn ja kappaleen väliin jäävä tila. Mittauksen jälkeen voitiin mallintaa vaste. Päädyttiin yksinkertaiseen sorvaamalla valmistettavaan vasteeseen, jonka toisessa päässä on kierre, jolla se voidaan kiristää pohjalevyyn. Kaikki vasteet suunniteltiin samanlaisiksi, joka helpottaa niiden valmistamista koska jokainen voidaan sorvata samalla asetuksella.

3.6 Kokoonpano ja standardiosien valinta

Kaikkien tarvittavien osien mallinnuksen jälkeen voitiin suorittaa kokoonpano ja valita tarvittavat standardiosat. Kokoonpanossa asetettiin osat paikoilleen ja tarkasteltiin, että kaikki mahduttavat niille suunnitelluille paikoille ilman että ne osuvat toisiinsa. Lisäksi tarkasteltiin, että kiinnityksessä tarvittavat reiät osuvat kohdilleen ja ruuvit sopivat paikalleen. Standardiosiin luokituvat tarvittavat ruuvit ja kohdistusreikiin tulevat lieriösokat. Ruuveja valittaessa täytyi ottaa huomioon niiden oikea pituus, että ne ylettyvät riittävän syvälle kierrettä, mutta eivät kuitenkaan osu reiän pohjaan. Valintaa helpotti Solid Edgen kokoonpanossa oleva mittaustyökalu, jolla voitiin mitata kiinnitysreiän otsapinnasta pituus kierteen pohjaan. Näin saatiin varmistettua suurin mahdollinen pituus ja valittua kerralla oikean mittainen ruuvi. Lieriösokille toteutettiin samanlainen mittaus, eli mitattiin sokan reiän syvyys pohjalevystä ja siihen kiinnitettävästä kappaleesta. Näin saatiin selville suurin mahdollinen pituus. Standardiosien valinnan jälkeen ne voitiin tuoda kokoonpanoon ja asettaa paikoilleen. Nyt osat näkyvät räjäytyskuvia tehdessä, ja niistä voidaan helposti tehdä osaluettelo, josta selviää tarvittava lukumäärä kullekin osalle. Kuvioissa 8 ja 9 on nähtävillä valmis kiinnitin kokoonpantuna valmistettavat kappaleet paikallaan.



Kuvio 8. Kiinnitin yläpuolelta (Konepaja Stamac Oy, 2021).



Kuvio 9. Kiinnitin alapuolelta (Konepaja Stamac Oy, 2021).

3.7 Valmistusdokumenttien laatiminen

Kaikki valmistuksessa tarvittavat piirustukset ja kokoonpanodokumentit voitiin tehdä samalla Solid Edge ohjelmistolla, jolla osat oli mallinnettu. Ohjelmiston avulla pystyttiin laatimaan helposti kokoonpanossa tarvittavat räjäytyskuvat ja osaluettelot. Ensimmäisenä aloitettiin kaikkien tarvittavien osien koneistuskuvien laatiminen. Koneistuskuvien laatiminen tapahtuu valmistamalla 3d-mallista 2d-kuva. Tämän jälkeen kuvaan täytyy mitoittaa koneistuksessa tarvittavat mitat, asettaa geometriset toleranssit sekä pinnanlaatuvaatimukset.

Mitoitettaessa koneistuskuvia täytyy miettiä mittojen suhdetta toisiinsa, sekä mistä pinnasta mitoitus aloitetaan. Lisäksi täytyy huomioida, mitkä mitat ovat tärkeitä ja oltava ehdottomasti oikein. On myös tärkeää asettaa tarkoille mitoille toleranssivaatimukset, joiden avulla voidaan

varmistaa, että valmistuksessa mitat ovat varmasti oikein. Geometrisilla toleransseilla tarkoitetaan esimerkiksi pintojen yhdensuuntaisuus-, tasomaisuus- tai kohtisuoruusvaatimuksia (Heinonen ym., 2020, s.14). Näillä voidaan varmistaa tarkkojen pintojen vaatimukset ja vaikkapa suoruus toisiinsa nähden. Geometrisia toleransseja tarvittiin lähinnä pohjalevyn mitoituksessa. Pohjalevyn on oltava tasomaisuudeltaan suora ja pohjalevyn kummankin tason on oltava yhdensuuntaisia toisiinsa nähden. Sillä pohjalevyä pyöröpöydässä pyöritettäessä sen täytyy pyörähtää tarkasti oikeaan asentoon, että koneistettavat pinnat tulevat suoraan kappaleen valupintoihin nähden. Pinnanlaatuvaatimukset täytyi huomioida etenkin otsakiinnittimen toisiaan vasten tulevien liukupintojen mitoituksessa. Näissä vastepinnoissa täytyi olla erittäin hyvä pinnanlaatu, koska tämän avulla voitiin varmistaa osien välinen mahdollisimman pieni kitkakerroin. Osien on tärkeä liukua mahdollisimman kitkattomasti toisiaan vasten, että otsakiinnitin toimii halutulla tavalla.

Koneistuskuvien laatimisen jälkeen voitiin tehdä kokoonpanokuvat, jotka sisältävät kiinnittimen kokoonpanon räjäytyskuvan, sekä otsakiinnittimen alikokoonpanokuvan. Kuvien avulla voidaan asentaa osat helposti oikeille paikoilleen. Niistä nähdään kiinnitystarvikkeiden, esim. ruuvien koko, pituus ja niiden tarvittava lukumäärä. Niiden avulla voidaan tilata tarvittavat kiinnitystarvikkeet jo valmistuksen alkuvaiheessa. Selkeät kokoonpanodokumentit helpottavat kokoonpanoa huomattavasti. Räjäytyskuvista nähdään heti, mikä osa asennetaan mihinkin paikkaan, eikä kokoonpantaessa tarvitse erikseen miettiä esim. ruuveille oikeaa paikkaa. Kokoonpanokuvien lisäksi tehtiin vielä kuvat kiinnittimestä koneistettavat kappaleet siihen kiinnitettynä. Kuvaan asetettiin tarkat mitat kappaleiden nollapisteiden sijainnille, mikä helpottaa koneistusasetuksen tekemistä.

4 YHTEENVETO

Tavoitteena oli kehittää Seinäjoella sijaitsevalle Konepaja Stamac Oy:lle koneistuskiinnitin, jonka avulla nykyistä kappaleen koneistusmenetelmää saataisiin nopeutettua. Nykyinen menetelmä on hidas siihen nähden, että sarjatuotantomäärä on iso ja sarjoja valmistetaan useasti vuoden aikana. Nykyisellä menetelmällä kappaleita valmistuu kaksi kerralla, ja nämä vaativat kaksi erillistä kiinnitystä. Tarkoituksena oli suunnitella koneistuskiinnitin, jonka avulla on mahdollista valmistaa vähintään neljä koneistettavaa kappaletta kerralla valmiiksi. Suunnittelussa oli otettava huomioon käytettävän työstökoneen ominaisuudet, jotka määrittävät, millainen suunnitellun kiinnittimen täytyisi olla. Työstökone on kolmiakselinen pystykarainen työstökeskus, joka on varustettu CNC-pyöröpöydällä. Kiinnittimen täytyi olla sellainen, että se voidaan kiinnittää pyöröpöydän kolmileukaistukkaan. Tämä mahdollistaa sen, että kappaleen valmistaminen onnistuu yhdellä kiinnityskerralla. Kappaleen kiinnitystapana käytettiin otsakiinnitintä, jolla se kiristetään kiinteää vastetta vasten. Tämä toimii samalla myös kappaleen asemoinnissa paikalleen. Koneistuksessa aiheutuvat voimat otettiin huomioon otsakiinnitintä suunniteltaessa, sillä se painaa kappaletta lukiten sen samalla sivuttais- ja pystysuunnassa. Kiinnityksessä ja paikoituksessa periaatteena käytettiin 3–2–1 menetelmää, jonka avulla kappale saadaan asemoitua kiinnittimeen riittävän tukevasti. Leukakappaleet, jotka puristavat kappaletta, suunniteltiin niin, että ne vastaavat kappaleen pintoihin mahdollisimman tasaisesti ja tämän avulla vältetään mahdolliset kiinnityksessä syntyvät muotovirheet. Modulointi otettiin huomioon kiinnitystarvikkeita suunniteltaessa valmistamalla kiinnitystarvikkeisiin ja kiinnittimeen kiinnitysreiät tietyllä reikäkuviolla. Tämän avulla kiinnitintä voidaan hyödyntää tarvittaessa myös muiden kappaleiden koneistuksessa.

Suunnittelu ja mallinnus tehtiin käyttäen Siemensin Solid Edge ohjelmistoa. Sen avulla pystyttiin valmistamaan kaikkien osien 3D-mallit ja tutkimaan kiinnittimen toimintaa kokoonpanutuna. Nähtiin mallintamisessa tapahtuneet virheet ja ne voitiin korjata heti. Kiinnittimen toiminnan varmistamisen jälkeen ohjelmistolla pystyttiin laatimaan koneistusdokumentit jokaisesta osasta. Kokoonpanosta tehtiin myös dokumentit, joista selviää valmistettavien osien ja tarvittavien standardiosien lukumäärä.

Lopputuloksena saatiin suunniteltua koneistuskiinnitin, joka on nähtävillä kuvioissa 8 ja 9. Suunnittelu onnistui määriteltyjen tavoitteiden mukaan ja lopputulos oli halutunlainen. Lopullinen valmistus ja testaus jäivät opinnäytetyön ulkopuolelle. Kiinnittimen käyttöönoton jälkeen koneistus nopeutuu ja koneistettavan sarjan läpimenoaika pienenee verrattuna aiempaan

menetelmään. Sen ansiosta kappaleiden vaihtaminen on nopeampaa ja yksinkertaisempaa. Vaihtokerrat vähenevät puoleen nykyisestä ja vaihtamiseen kuluva aika pienenee, sillä kappale saadaan valmiiksi yhdellä kiinnityskerralla. Tulevaisuuden kannalta, jos tuotantomäärä ja sarjakoko kasvavat, kiinnittimestä on mahdollista valmistaa suurempi versio, jossa kappaleet sijoitetaan neljälle eri sivulle ja saadaan valmistettua näin kahdeksan kappaletta kerralla. Tämä onnistuu käyttämällä työssä suunniteltua isompaa versiota kiinnittimestä.

LÄHTEET

- Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. (1997). *Koneistustekniikat*. WSOY.
- Enerpac. (i.a.). *The 3-2-1 Locating Principle*. Haettu 1.4.2022, <https://www.enerpac.com/en-us/training/e/the-321-locating-principle>
- Fagor Automation. (16.9.2011). Vertical machining center_centro mecanizado verti-cal_FagorAutomation [valokuva]. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/fagorautomation/12115343545/> CC BY-ND 3.0
- Halder. (i.a.). *Raskaat otsakiinnittimet*. Haettu 31.3.2022, <https://www.halder.com/fi/PM/Standardosat/Kiinnityselementit/Horisontaaliset-kiinnittimet/Raskaat-otsakiinnittimet>
- Hautala, M. & Peltonen, H. (2016). *Insinöörin (AMK) fysiikka: Osa 1 (12. p.)*. Lahden teho-opetus.
- Heinonen, M., Kalliolahti, J. & Immonen, P. (2020). *Koneistustekniikka (1. painos.)*. Sanoma Pro Oy.
- Lehtimäki, A. (2020). *Tuotantoväline- kirjasarja: Lastuavan työstön kiinnittimet ja paletit*. Aarre Lehtimäki. <https://tuotantovaline-kirjasarja.vmv-palvelut.com/01-lastuavan-tyoston-kiinnittimet-ja-paletit.html#oppikirjat>
- Maaranen, K. (2004). *Koneistustekniikat (5. uud. p.)*. WSOY.
- Pahl, G., Beitz, W., Konttinen, U., Beitz, W. & MET. (1990). *Koneensuunnitteluoppi*. Metalliteollisuuden kustannus.
- Sandvik Coromant. (i.a.-a). *Jyrsintä*. Haettu 10.10.2021, <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/pages/default.aspx>
- Sandvik Coromant. (i.a.-b). *Poraus*. Haettu 10.10.2021, <https://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/drilling/pages/default.aspx>
- Österholm, J. & Tuokko, R. (2001). *Systemaattinen menetelmä tuotemodulointiin: Modular function deployment*. Metalliteollisuuden keskusliitto.