

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Janne Mourujärvi

KONEISTUSKIINNITTIMEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyö
Marraskuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2018
Kone- ja tuotantotekniikan
koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600

Tekijä
Janne Mourujärvi

Nimeke
Koneistuskiinnittimen suunnittelu

Toimeksiantaja
Joensuun CNC-Machining Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella koneistuskiinnitin Joensuun CNC-Machining Oy:lle. Koneistuskiinnittimen tulisi soveltua viiden eri puskulevyn koneistukseen, joita käytetään John Deere -metsäkoneissa. Kiinnittimen tulisi vaimentaa koneistuksesta johtuvia värähtelyitä. Puskulevyt ovat hitsattuja teräsrakenteita, ja niiden koneistus tehdään aina avarruskoneella.

Suunnittelu aloitettiin perehtymällä käytössä olevaan kiinnitykseen, sekä siinä oleviin aikaa vieviin ongelmakohtiin. Opinnäytetyön alussa mitattiin nykyisessä kiinnityksessä syntyvät koneistusvärähtelyt. Esisuunnitteluvaiheessa selvitettiin eri kiinnitysvaihtoehtojen toimivuus, joista valittiin parhain varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen.

Suunnitteluvaiheen lopputuloksena saatiin suunniteltua toimiva kiinnitin. Kiinnittimen komponenttien mallinnukseen käytettiin Solidworks-mallinnusohjelmaa. Kiinnittimen malli todettiin toimivaksi, joten valmistus ja käyttöönotto tullaan tekemään tulevaisuudessa.

Kieli
suomi

Sivuja 34

Asiasanat

3D-suunnittelu, kiinnitin, koneistus, kiinnitys



THESIS
November 2018
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Janne Mourujärvi

Title
Design of Machining Fastener

Commissioned by
Joensuun CNC-Machining Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to design a machining fastener for Joensuun CNC-Machining Oy. The fastener should be suitable for five different dozer blades which are used in John Deere forest machines. Moreover, the new fastener should muffle the voices caused by machining. The dozer blades are made by welding and the finishing is done on a boring machine. Previously each dozer blade was machined with its own fastener.

The planning of the fastener started by studying the old fastener and the problems related to that. The vibrations caused by machining were measured at the beginning. The functionality of the fastener designs was simulated in the pre-designing phase. The actual designing started after the best design was found.

The result of the design work was a common fastener for all five dozer blades. The designing was carried out with Solidworks 3D- design software. However, the manufacturing and introduction of the fastener were left undone. In spite of that, the fastener was regarded as practical and it will be manufactured in the future.

Language

Finnish

Pages 34

Keywords

3D-designing, fastener, fastening, machining

Sisältö

1	Johdanto	1
1.1	Joensuun CNC-Machining Oy	1
1.2	Opinnäytetyön tavoite	1
2	Avartaminen.....	2
2.1	Avartamisen periaate	2
2.2	Konetyypit	2
3	Koneistettavan työkappaleen kiinnittäminen	5
3.1	Koneistuskiinnittimen vaatimukset	6
3.2	Koneistuskiinnittimen vaikutus tuotantoon	7
3.3	Kiinnittimet	8
3.3.1	Kiinnitinelementit.....	9
4	Jyrsinnässä ja avartamisessa syntyvät värähtelyt	10
5	Kiinnittimen suunnittelu	11
5.1	Lähtötilanne	11
5.2	Värähtelyn mittaus	13
5.3	Puskulevyn käyttö ja koneistus	14
5.4	Esisuunnittelu	16
5.5	Varsinainen suunnittelu	17
5.6	Pohjalevy	18
5.7	Vasteet	20
5.7.1	Etuvaste.....	20
5.7.2	Takavasteet	22
5.7.3	X-akselin vaste	23
6	Puskulevyn kiinnittäminen.....	24
6.1	Kiinnitysvoimat.....	26
7	Tulokset	29
8	Yhteenveto.....	32
	Lähteet.....	34

1 Johdanto

1.1 Joensuun CNC-Machining Oy

Joensuun CNC-Machining Oy on vuonna 2007 perustettu, suurta tarkkuutta vaativien teollisuuden osakomponenttien ja -kokonaisuuksien sopimustoimittaja [1]. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Petri Holopainen, joka on palkittu vuonna 2014 Nuori Yrittäjä- palkinnolla.

Yritys tarjoaa monipuolisia metallialan palveluja, aina tuotteiden 3D-suunnittelusta alkaen itse valmiin tuotteen koneistukseen ja viimeistelyyn asti. Nykyaikainen konekanta mahdollistaa myös vaativien kappaleiden koneistuksen, jopa 5-akseliyyttä edellyttävien tuotteiden valmistuksen. [1].

Tällä hetkellä yrityksessä työskentelee 30 koneistusalan ammattilaista. Joensuun CNC-Machining Oy:llä on tavoitteena olla asiakkaan ensisijainen valinta metalliteollisuuden alihankintatuotteiden ja palveluiden toimittajana. Yrityksen liikevaihto vuonna 2017 oli noin 3 miljoonaa euroa.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön aiheena on koneistuskiinnittimen suunnittelu pöytätyyppiselle avaruskoneelle. Työn tavoitteena on suunnitella yhteinen koneistuskiinnitin viidelle erilaiselle metsäkoneen puskulevyille. Kyseisen koneistuskiinnittimen avulla kappaleiden asetusaikaa saadaan pienennettyä sekä koneistuksen tuottavuutta kasvatettua. Työssä perehdytään myös koneistuksesta johtuvaan värähtelyyn, joka on seurausta tämänhetkisestä koneistuskiinnityksestä.

Opinnäytetyö koostuu teoriasta, lähtötietojen kartoittamisesta, suunnitteluprosessista ja tulosten tarkastelusta. Teoriassa käsitellään avartamisen perusteita, markkinoilla olevia koneistuskiinnittämiä sekä ratkaisuja, joilla voidaan vähentää jyrksinnässä ja avartamisessa syntyvää värähtelyä.

2 Avartaminen

2.1 Avartamisen periaate

Avartaminen on työstömenetelmä, jossa esimerkiksi esikoneistetuista rei'istä valmistetaan tarkkamittaisia ja hyväpintaisia sovitereikiä. Menetelmää kutsutaan myös aarporaamiseksi. Yleensä avarruskoneella eli aarporalla työstetään suuria työkappaleita, kuten sylinteriryhmien tarkkoja reikiä tai paperikoneiden runkoja. [2, 310.]

Avarrettavien, eli vaatimuksiltaan tarkkojen reikien koneistuksen työkaluna käytetään yleensä yksi- tai moniteräistä avarrinta. Avarrin voi olla tarkoitettu joko esikoneistamiseen eli rouhimiseen tai viimeistelyyn. Koneistuksen aikana avarruskoneessa käytetään samoja työkaluja kuin jyrksinnässä tai porauksessa, joten työstötapahtuma muistuttaa huomattavasti jyrksintää ja jyrsinkoneella poraamista. Avarruskone mahdollistaa myös ulkopuolisen pyörähdyspinnan lastuamisen, jolloin terä pyörii paikallaan olevan työkappaleen ympäri. [2, 310.]

2.2 Konetyypit

Avarruskoneissa työkalu kiinnitetään karalle samalla tapaa kuin jyrsinkoneessa. Erona yleisimpään pystykarajyrsimiseen on kuitenkin se, että avarruskoneen kara on asennettu vaakatasoon. Avarruskoneen pyörivä kara liikkuu moottoreiden avulla johteita pitkin niin aksiaali- kuin pystysuunnassa. [2, 310].

Vaakakaraiset avarruskoneet voidaan jaotella kahdella tavoin: pöytätyypisiin (kuva 1) sekä lattiatyypisiin (kuva 2) koneisiin. Jaottelu muodostetaan kappaleen kiinnitystavan mukaan. Pöytätyyppiset koneet ovat lattiatyypisiä koneita pienempiä ja niiden pitkittäissuunnan eli x-suunnan työstöliike saadaan aikaan pöytää liikuttamalla, kun taas lattiatyypisessä koneessa työstöliike tapahtuu avarruskoneen tornia liikuttamalla. [3, 203].

Nykyaikaiset avarruskoneet varustellaan yleensä kulmapäällä tai erikoiskaralla, jotka mahdollistavat vinojen tasojen ja reikien koneistuksen. Tämän lisäksi nykyaikaiset avarruskoneet ovat numeraalisesti ohjattuja ja automaattisella työkalunvaihtajalla varusteltuja. [2, 310–311; 3, 203]. Automaattinen työkalunvaihtaja on nähtävissä kuvassa 1.

Pöytätyypiset koneet voidaan jakaa ristipöytätyypisiin tai höylätyypisiin koneisiin. Ristipöytätyyppinen avarruskone eroaa höylätyypisestä avarruskoneesta siten, että z-akselin eli karan aksiaalisuuntainen työstöliike saadaan aikaan tornia liikuttamalla, kun taas ristipöytätyypisessä työstöliike hoidetaan pöytää liikuttamalla tornin pysyessä paikoillaan. Esimerkiksi kuvassa 1 näkyvässä pöytätyypisessä avarruskoneessa pyörivä pöytä mahdollistaa kappaleen koneistuksen useammalta sivulta samalla kiinnityksellä. [2, 310.]



Kuva 1. TOS Varndorf -merkkinen pöytätyyppinen avarruskone (Kuva: Con-tos Oy).

Lattiatyyppisillä avarruskoneilla pitkittäissuunnan työstöliike eli x-akselin liike voi olla yli 10 metriä, joten lattiatyyppin avarruskoneita käytetään yleensä suurien prosessikoneiden runkojen koneistamiseen. Lattiatyyppisessä avarruskoneessa (kuva 2) koneistettavat työkappaleet kiinnitetään valurautalaatoista kootulle tasolle. Tason keskelle on saatavilla myös pyörivä pöytä, tai asiakas voi valita sorvauspöydän toiveidensa mukaan. Pylväiden korkeudet vaihtelevat kolmesta kuu-teen metriin, millä saadaan aikaan pystysuuntainen työstöliike. [3, 203.]



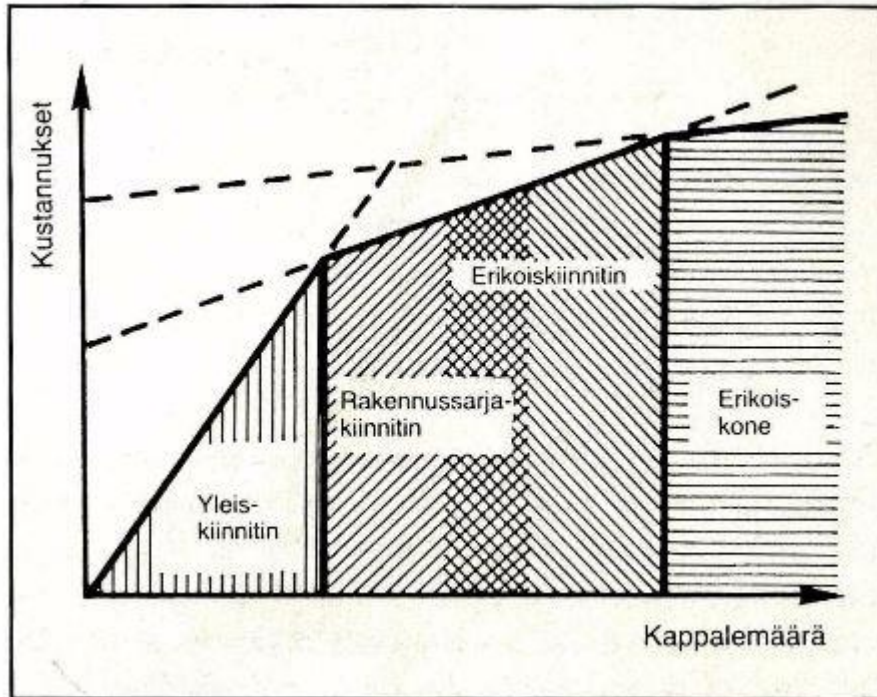
**Kuva 2. TOS Varndorf -merkkinen lattiatyyppinen avarruskone (Kuva: Con-
tos Oy).**

3 Koneistettavan työkappaleen kiinnittäminen

Koneistettavat työkappaleet pyritään kiinnittämään eli asemoimaan kolmen tason mukaisesti, 3-2-1-menetelmää apuna käyttäen. Asemoinnilla tarkoitetaan työkappaleen saattamista oikeaan asemaan työstöä, hitsausta tai kokoonpanoa varten. Yleensä kappale asemoidaan siten, että työstettävä sivu on syöttöliikkeen suuntainen. Asemointipintoina voidaan käyttää esimerkiksi esikoneistettuja tai koneistamattomia tasopintoja. Tällaisia pintoja ovat lähinnä taso-, lieriö-, ympyräkartiota tai pallopinta sekä niiden yhdistelmät. [4, 85; 5, 8].

Työkappaleen kiinnityksen pohjana voidaan käyttää työstökoneen pöytää, mutta markkinoilla on myös kappaleen vaihtoa nopeuttavia vaihtoehtoja, kuten *aputasoja*, *paletteja* ja *matriisipöytiä*, jotka mahdollistavat toisen kiinnityksen tekemisen sillä aikaa, kun ensimmäistä koneistetaan. *Aputasolle* on mahdollista valmistella toinen asetus, eli työkappaleen kiinnitys, työstöaikaa tuhlaamatta. Ensimmäisellä aputasolla olevan työkappaleen koneistuksen ollessa valmis, voidaan toinen aputaso vaihtaa työstökoneen pöydälle. *Paletteja* taas käytetään automaattisessa kappaleen vaihdossa. Yleensä puhutaan palettiradasta, joka varustellaan automaattisella paletinvaihtajalla. Paletti toimii vaihtopöytänä, joka asemoituu tarkasti työstökoneeseen pohjassa olevien paikotuselementtien avulla. Paikotuselementtien avulla työstökoneen nollapisteet pysyvät samana, vaikka koneistettavat osat vaihtuvat. *Matriisipöytä* on erillinen taso, johon on koneistettu asemoinnin mahdollistavat sovitereiät, T-urat tai kierteet. Matriisipöytä voidaan kiinnittää joko palettiin tai työstökoneen pöydälle. Vaihdon mahdollistava järjestelmä lisää tuottavuutta, sillä työstökoneen tuottava aika ei vähene, kun toista asetusta voidaan alkaa tehdä yhtä aikaa koneen vielä työstäessä ensimmäistä asetusta. [4, 121.]

Pieniä sarjoja koneistettaessa käytetään yleensä standardisoituja yleiskiinnittimiä, kuten tarkkuusruuvipuristinta tai kiinnityssarjoja, kun taas suuria kappalemääriä varten on edullisempaa valmistaa erikoiskiinnitin. Kuvasta 3 voidaan nähdä erilaisten kiinnittimien käytön kustannuksien kasvu suhteessa työstettävien kappaleiden lukumäärään. [5, 7.]



Kuva 3. Kappalemäärään perustuva kiinnittimen valinta [5, 7].

3.1 Koneistuskiinnittimen vaatimukset

Koneistuskiinnittimen päätarkoitus on pitää koneistettava työkappale paikallaan koneistuksen ajan sekä ottaa vastaan lastuamisesta syntyvät voimakomponentit ja momentit. Lisäksi kiinnittimen tehtävänä on paikoittaa työkappale toistuvasti samaan asentoon työstökoneessa, koneistustyökaluun nähden. Hyvän kiinnittimen avulla on mahdollista käyttää optimaalisia työstöarvoja, jolloin koneistusaika ja tuottavuus pysyvät halutulla tasolla. Hyvä kiinnitin minimoi inhimilliset virheet työkappaleen vaihdossa ja sen voimat ovat riittävät varmaan kiinnitykseen, mutta eivät kuitenkaan niin suuret, että siitä aiheutuisi kappaleeseen muodonmuutoksia. [5, 7.]

Koneistuskiinnittimeltä vaaditaan lisäksi paljon ominaisuuksia, kuten pitkäikäisyyttä ja helppokäyttöisyyttä. Sen on myös oltava turvallinen paikalleen asennettaessa. Koneistuskiinnitintä suunniteltaessa on huomioitava, että kiinnitin mahdollistaa koneistuksen mahdollisimman monelta suunnalta. [5, 7.]

Koneistettavan työkappaleen puutteellinen kiinnitys voi aiheuttaa käytettävän terän vaurioitumista, mittatarkkuuden kärsimistä sekä pahimmillaan aiheuttaa vakavan työturvallisuusriskin kappaleen irrotessa kiinnityksestään. Lisäksi työkappaleen puutteellinen kiinnitys voi johtaa kappaleen liikahtamiseen koneistuksen aikana, jolloin työkappaleesta tulee usein käyttökelvoton. [2, 190.]

3.2 Koneistuskiinnittimen vaikutus tuotantoon

Koneistuskiinnittimet vaikuttavat oleellisesti tehokkaaseen työstöön sekä kappaleiden läpimenoaikaan. Koneistettavien kappaleiden asetusajan nopeutuessa, sekä yksinkertaistuessa lyhennetään myös työstökoneen tuottamatonta aikaa. Koneistuskiinnittimiltä toivotaan muunneltavuutta erilaisten kappaleiden työstössä, mutta yleensä kiinnittimet suunnitellaan ja valmistetaan yhtä ainoata tuotetta varten. [3, 244.]

Uuden työstökoneen hankintaan kuuluu kiinteästi uusien kiinnittimen suunnittelu ja valmistus, sillä koneen mukana hankitaan vaan peruskiinnittimet. Erilaisten työkappaleiden kiinnityksissä kiinnittimiltä vaaditaan muunneltavuutta. Kiinnittimiä voidaan valmistaa tuoteperhekohtaisesti, mutta yleensä ne suunnitellaan yhtä tuotetta varten. Tuotannonohjauksen ja kokoonpanon kannalta olisi kannattavampaa pyrkiä käyttämään ryhmäkiinnittimiä, jotka suunnitellaan niin, että saman kokoonpanoryhmän osat koneistetaan samalla kiinnittimellä. Tällöin estetään yksittäisten osien puuttuminen kyseisestä kokoonpanosta. [3, 244.]

Sarjatyöhön suunniteltuja koneistuskiinnittimiä käyttämällä saavutetaan kaikkien koneistettavien kappaleiden välille samat mitat ja varmistetaan samanlainen laatu kaikille osille. Erikoiskiinnittimillä mahdollistetaan tehokas ja hyvä työkappaleiden kiinnittäminen, jolloin tehokas koneistaminen on mahdollista. Erikoiskiinnitin myös mahdollistaa koneistuksen useilta eri suunnilta samalla kiinnityksellä, mikä vähentää kappaleiden asetusaikaa, mikäli koneistusta vaaditaan eri suunnilta. [4, 86-87.]

3.3 Kiinnittimet

Jyrsin- ja avarruskoneisiin on saatavilla erilaisia kulmapöytiä ja kiinnitystorneja, jotka mahdollista työkappaleiden kiinnityksen 90 asteen kulmassa pöytään nähden. Myös kulmapöydät ja tornit on koneistettu niin, että niissä on työkappaleen kiinnityksen ja asemoinnin mahdollistavat T-urat, kierteet tai sovitereiät. Jyrsinnässä ja avartamisessa työkappaleen tavallisimmat kiinnitystavat ovat kiinnittäminen: 1) tarkkuusruuvipuristimeen, 2) V-kappaleeseen, 3) jakolaitteeseen ja 4) pyöröpöytään. [2, 190.]

Edellä mainittujen lisäksi työkappaleen kiinnitys voidaan tehdä työstökoneen pöydälle käyttämällä erilaisia standardisoituja asemointi-, tuki- ja kiinnityselementtejä (kuva 4.). Kyseisten elementtien avulla tehty työkappaleen kiinnitys voidaan purkaa uudeksi kiinnittimeksi koneistuksen jälkeen. Yksi standardisoitu kiinnitin on tarkkuusruuvipuristin, jota käytetään yleensä yksittäisille, eritoten säännöllisen muotoisille pienehköille työkappaleille. Puristimeen on saatavilla myös vaihdettavia lisäleukoja, jotka voidaan koneistaa ennen varsinaisen työkappaleen koneistusta, jolloin varmistetaan asemointipinnan tarkkuus työstökoneen koordinaatioon nähden. [4, 123.]

Nykyään konepajojen tuotannon automatisointiasteen kasvaessa myös työkappaleiden käsittelyn ja kiinnittämisen automatisoinnin tarve kasvaa. Suursarjatuotannossa automatisointi on toteutettu käyttämällä laitetoimisia erikoiskiinnittimiä, esimerkiksi paletteja, joita sovelletaan kappaleiden koneistuksen lisäksi myös kappaleiden käsittelyyn. [5, 7.]

Erikoiskiinnittimet soveltuvat vain niiden kappaleiden kiinnittämiseen, jota varten ne on suunniteltu. Erikoiskiinnitintä käytetään silloin, kun kappaleen muodot eivät mahdollista kiinnitystä tavallisten manuaalisten kiinnitinelementtien avulla, tai kun työkappaleiden koneistaminen on kannattavampaa suurempana eränä kuin yksitellen. Erikoiskiinnittimen avulla koneistettavalle työkappaleelle saadaan aikaan tukevampi ja avoimempi rakenne, kuin olisi mahdollista saavuttaa käyttämällä pelkkiä standardielementtejä. Erikoiskiinnittimen runko voi olla koneistettu, vallettu tai hitsattu, eikä sitä pureta käytön jälkeen. Työkappaleen asemointiin sekä kiinnitykseen käytetään kuitenkin yleensä edullisia standardiosia. [4, 123.]

3.3.1 Kiinnitinelementit

Käytössä olevat kiinnitinelementit voidaan jakaa niiden kiinnitysvoiman tuottotavan mukaisesti joko itsetoimisiin, manuaalisiin tai laitetoimisiin kiinnittimiin:

Itsetoimisissa kiinnittimissä kiinnitysvoima syntyy joko työkappaleen painon ja painovoiman, työstöstä johtuvien voimien tai adheesio-avulla.

Manuaaliset kiinnittimet (kuva 4.) ovat standardisoituja ja yleisimmin käytössä olevia kiinnittimiä, käyttövarmoja ja edullisia. Tällaisia kiinnittimiä ovat esimerkiksi pultit, mutterit, kiilat ja kiinnitysraudat. Kiinnitysrautoja käytetään muun muassa silloin, kun kiinnityspultilla ei pystytä vaikuttamaan suoraan työkappaleeseen.



Kuva 4. Manuaaliset kiinnittimet (Kuva: Tanreco Oy).

Laitetoimiset kiinnittimet toimivat yleensä joko hydraulikalla tai pneumatiikalla. Lisäksi on olemassa magneettisia sekä sähkömekaanisia kiinnittimiä, joita käytetään kuitenkin vain erikoistapauksissa. Laitetoimiset kiinnittimet joutuvat työstökoneessa alttiiksi leikkuunesteelle ja muille epäpuhtauksille, minkä takia ne vaativat säännöllistä huoltoa. Laitetoimisien kiinnittimien hyvinä puolina voidaan pitää käyttövarmuutta, samanaikaisuutta, nopeutta sekä työkappaleeseen kohdistuvaa tasaista kiristystä. Tällainen on esimerkiksi kuvassa 5. näkyvä hydraulinen kääntökiinnitin. [5, 7—17.]



Kuva 5. Hydraulinen kääntökiinnitin (Kuva: Oinonen Oy).

4 Jyrsinnässä ja avartamisessa syntyvät värähtelyt

Koneistuksessa syntyvät värähtelyt voidaan jaotella joko vapaisiin tai pakotettuihin värähtelyihin. Vapaassa värähtelyssä järjestelmään eivät vaikuta ulkoiset voimat, vaan värähtely tapahtuu yhdellä tai useammalla ominaistajuudella. Pakotetussa värähtelyssä ulkoinen heräte määrää värähtelyn taajuuden. Heräte voi olla esimerkiksi työstökoneen rakenne tai jokin sen osien ominaisuus, kuten epätasapaino. Herätteen taajuuden ollessa sama jonkin järjestelmän ominaistajuuden kanssa joutuu järjestelmän rakenne resonanssiin. Kasvattaessaan värähtelyn amplitudia resonanssi voi vaurioittaa järjestelmän rakennetta ja työkappaleen kiinnityksen ollessa puutteellinen, mikä liikuttaa työstettävää kappaletta. Värähtelyalttius lisääntyy lastuamisvoimien kasvaessa. [6, 706—717.]

Koneistuksen aikana ilmenevät värähtelyt vaikuttavat suoraan työstettävän kappaleen mittatarkkuuteen, pinnanlaatuun sekä työkalun keston. Myös työkalun teräpalat kuluvat huomattavasti nopeammin värähtelyn aikana, mikä voi johtaa teräpalan lohkeamiseen ja sitä kautta työkalun rikkoutumiseen. Lisäksi värähtelyt ja värinät aiheuttavat melua, mikä vähentää työviihtyvyyttä ja on myös työturvallisuusriski. [6, 707.]

Jyrsinnässä syntyvät värähtelyt voivat johtua seuraavista asioista:

- työkalun puutteellinen kiinnitys
- työkalun vialliset teräpalat
- työkappaleen puutteellinen kiinnitys
- aksiaalisuunnassa heikko työkappale
- työkalun liian pitkä vapaapituus
- epätasainen pöytäsyöttö
- liian suuret työstöarvot ja lastun paksuus
- kulmajyrsintä heikolla karalla
- värinäa nurkkia koneistettaessa.

Avartamisessa syntyvät värähtelyt voivat johtua edellä mainituista kahta viimeistä kohtaa lukuun ottamatta. [7.] Koneistuksessa syntyvät värähtelyt voivat olla seurausta myös lastunmuodostuksen häiriöistä, jotka johtuvat materiaalin epähomogeenisuudesta sekä työkalun ja työstettävän kappaleen pinnan välisen kitkan vaihteluista. [6, 707.]

5 Kiinnittimen suunnittelu

Kiinnittimen suunnittelussa käytin Solidworks-ohjelmaa, joka on ranskalaisen Dassault Systèmes –ohjelmistotalon kehittämä CAD-ohjelma. Suunnittelussa käytetty ohjelmistoversio oli vuoden 2016 professional-versio. Markkinoilla on tarjolla muita samankaltaisia suunnitteluohjelmia kuten Pro-e, Vertex ja Inventor.

Kiinnitin on mallinnettu suunnitteluohjelmalla jokaista osaa myöten. Näin voitiin minimoida mahdolliset suunnitteluvirheet, eikä kallista työstökoneen tuottavaa aikaa mennyt hukkaan.

5.1 Lähtötilanne

Kiinnittimen ideoinnissa lähdin liikenteeseen siitä, miten nykyinen kiinnitys oli toteutettu ja miten sitä voisi parantaa. Nykyinen puskulevyn kiinnitys koneistamista

varten on toteutettu neljällä kiinnityselekillä, joita käytetään M20-ruuveilla (kuva 6).

Jokaisen puskulevymallin aisojen alle joudutaan asettamaan 60 mm:n paksuiset aluspalat, jotka nostavat levyn irti avarruskoneen pöydästä. Puskulevyn nostaminen pöydän pinnasta on välttämätöntä avarruskoneen Y-akselin rajapisteiden takia.

Kiinnitykseen ja asemointiin on valmistettu jo erillisiä erityiskiinnittimiä yhdistelemällä valmiita kiinnityselementtejä. Ennen varsinaista koneistusta, nämä erityiskiinnittimet joudutaan asemoimaan työstökoneen pöydälle, metrimittaa apuna käyttäen. Tämä lisäsi työstökoneen tuottamatonta aikaa koneistusasetuksen tekovaiheessa, varsinkin kokemattoman koneistajan tehdessä asetusta. Kiinnittimiä joutuu myös etsimään asetusta tehdessä eri puolilta tuotantohallia, sillä niitä lainataan muihin kiinnityksiin toisille työstökoneille.

Puskulevyt pyritään asemoimaan työstökoneen keskelle mahdollisimman suoraan työstökoneen koordinaatistoon nähden. Puskulevyn ollessa asetettu, sekä kiinnitetty mahdollisimman tarkasti suoraan, varmistetaan sen suoruuus ja koneistusvarat vielä työstökoneen omalla nollapistetyökalulla eli probella.

Puskulevyjen koneistuksessa tuottavuuden parantamiseksi, sekä tuotteen läpimenoajan lyhentämiseksi on kannattavaa suunnitella erityiskiinnitin. Erityiskiinnitin, jossa kaikki kiinnityselementit olisivat valmiina paikoillaan ja mahdollistaisi jokaisen puskulevymallin koneistuksen.

Nykyistä kiinnitystä ja koneistusta seuratessa sain hyvän kuvan siitä, mitkä nykyisessä vievät mielestäni liian paljon aikaa, sekä missä kohdassa voisi saada puskulevyn asemointia nopeammaksi sekä toistotarkemmaksi. Tällaisia asioita olivat puskulevyn asemointi suoraan työstökoneen koordinaatistoon nähden, sekä koneistusohjelman nollapisteiden ottaminen ja säätäminen kohdalleen. Yhteensä tähän kului ilman koneistuskiinnitintä noin puoli tuntia, joka vuositasolla kasvaa melko suureksi menoeräksi. Koneistajien mukaan puskulevyn asetusnopeus riippuu myös hitsauksen tarkkuudesta, vaikka hitsauksessa käytetään puskulevyjen hitsaukseen tarkoitettua hitsauskiinnitintä.

5.2 Värähtelyn mittaus

Puskulevyn koneistuksessa syntyvät värähtelyt mitattiin nykyisellä kiinnityksellä koneistettaessa Karelia-ammattikorkeakoulun koneistusvärähtelyiden mittaukseen suunnitellulla laitteistolla, joka koostuu seuraavista komponenteista:

- 1 kpl kolmeakselinen kiihtyvyyssanturi (IEPE)
- 24-bittinen mittakortti (National Instruments)
- Wlan-tiedonsiirtomoduli
- Wlan-tukiasema
- singaalijohtimet.

Mittaustulosten analysointiin sekä tiedonkeruuseen käytössä oli LabView-ohjelma.



Kuva 6. Värähtelyn mittaus alkuperäisellä kiinnityksellä (Kuva: Kari Mönkönen).

Mittauksessa saatiin selville suurimpien värähtelyiden tapahtuvan koneistettaessa aisojen päätylaippoja tasaiseksi, eikä korvakoiden esikoneistuksessa. Korvakon koneistuksessa käytetään jo nykyiselläänkin kevytleikkuisia jyrssinterää, jonka ansiosta värähtely osoittautui luultua pienemmäksi. Koneistuksessa syntyvä meluhaitta johtuu korvakon rakenteen päästessä värähtelemään.

5.3 Puskulevyn käyttö ja koneistus

Puskulevyä käytetään nimensä mukaisesti ajokoneen keulassa tasaamaan epätasaisuuksia metsäkoneen edestä. Sen käyttö tapahtuu kahdella hydraulisylinterillä, joita ohjataan metsäkoneen ohjaamossa sijaitsevista hallintalaitteista. Suomessa puskulevyn käyttö on aika vähäistä, mutta muualla maailmassa puskulevyjä käytetään haastavan maaston takia (kuva 7), sillä se toimii puskemisen lisäksi mäkisessä maastossa myös metsäkoneen jarruna.



Kuva 7. John Deere -kuormatraktori (Kuva: Agri Expo).

Kaikki puskulevymallit lukuun ottamatta yhtä harvinaisempaa mallia noudattavat samaa rakennekaavaa ja ne valmistetaan hitsaamalla teräslevyleikkeistä, sekä putkipalkeista valmistetuista osista.

Puskulevyn pääkomponentteja ovat kaksi aisapalkkia, puskemiseen tarkoitettu levyosa, sekä korvakot. Valmis puskulevy asennetaan kuvassa 8 näkyvällä tavalla sitä käyttäviin hydraulisylintereihin, sekä metsäkoneen eturunkoon asennettuihin palkkeihin.



Kuva 8. Asennettu puskulevy (Kuva: Janne Mourujärvi).

Volyymipuskulevyjen koneistus koostuu päätylaippojen tasopintojen koneistuksesta, joiden jälkeen tasopinnalle koneistetaan mallista riippuen tietty määrä M20-kierrereiä asennusta varten. Näiden lisäksi puskulevystä koneistetaan siihen hitsatut korvakot tarkoiksi soviterieiksi, sekä tappien lukitusta varten M12-kierrereiät.

Harvinaisemman puskulevymallin päätylaipat on korvattu holkeilla, jotka koneistetaan tarkoiksi soviterieiksi siihen tulevia akseleita varten. Myös tämä puskulevymalli asennetaan samalla periaatteella aisoista metsäkoneen runkoon ja hydraulisylintereihin sen korvakoista. Kyseinen puskulevymalli on aika harvinainen,

joten sen asemointi koneistuskiinnittimeen on toissijainen volyymimallien jälkeen. Vanhempia harvinaisempia puskulevymalleja koneistetaan varaosatoimituksiin.

Puskulevyt koneistetaan avarruskoneella yhdellä kiinnityksellä valmiiksi asti, koska koneistusteranssit vaativat täyttyäkseen pyörivän työstöpöydän. Puskulevy on rakenteeltaan sen verran isokokoinen, että se ei mahdu tavalliseen jyr-sinkoneeseen, eikä sen koneistaminen tavallisella pystykaraisella jyr-sinkoneella olisi mahdollista.

5.4 Esisuunnittelu

Uusi koneistuskiinnitin oli tarkoitus toteuttaa siten, että jokaisen tuotannossa olevan puskulevymallin kiinnitys ja koneistus tulisi onnistua samalla kiinnittimellä. Lisäksi puskulevyn korvakoiden koneistamisessa syntyvää värinää tai sen aiheuttavaa melua tulisi saada vähennettyä. Puskulevyjen asemointiin, sekä koneistuksen nollapisteiden ottamiseen kuluva aikaa tulisi myös saada vähennettyä. Kiinnittimeen valmistettavien komponenttien materiaaleiksi sovimme S355-teräksen.

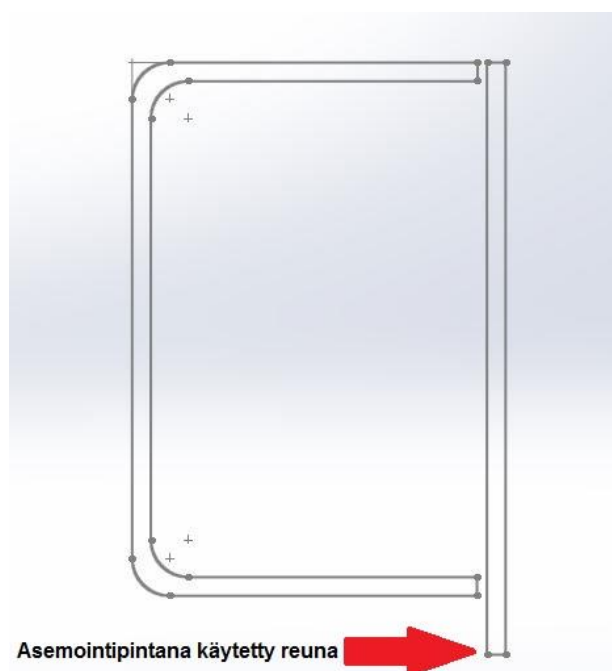
Puskulevyjen asemointia työstöpöydälle ei muutettu alkuperäisestä asemoinnista, sillä sen koneistaminen on mahdotonta muissa asennoissa. Myöskään koneistuksissa syntyviä lastuamisvoimia ei huomioida, sillä ne ovat niin pieniä verrattaessa niitä kiinnitysvoimien sekä puskulevyn painon kanssa. Puskulevy pysyy työstöpöydällä jo oman suuren massan ansiosta, verrattaessa sitä koneistuksissa syntyviin lastuamisvoimiin. Kiinnitinelementit varmistavat puskulevyn pysymisen paikallaan sen rakenteen painopisteestä aiheutuvan momentin johdosta. Puskulevyn ja kiinnittimen kiinnitysvoimat on laskettu luvussa 6.1.

5.5 Varsinainen suunnittelu

Varsinaisessa suunnittelussa aloitin 3D- mallintamisen avarruskoneen pöydästä, jolle koneistuskiinnitin valmistetaan. Näin koneistuskiinnittimen asemointi ja kiinnitys pöydälle on helpompi suunnitella. Työstökoneen pöydän malli auttaa myös yritystä tulevissa kiinnitinsuunniteluissa.

Pöydän ollessa mallinnettu lisäsin sen keskilinjän mukaisesti kaikkien volyympuskulevyjen 3D- mallit. Näin oli helpointa lähteä suunnittelemaan puskulevyjen alle tulevia vastekappaleita, jotka toimivat asemointipintoina työstökoneen Y- akselin suhteen. Avarruskoneen työstökoordinaatiston akselit on merkattu kuvaan 19.

Koneistusvärähtelyiden vähentämiseksi puskulevyt olisi hyvä tukea mahdollisimman suurelta pinnalta Y-akselin suunnassa. Näin saataisiin vaimennettua koneistuksesta johtuvia värähtelyitä kiinnittimen avulla. Koneistuspiirustukseen on annettu 1 mm:n kohtisuoruustoleranssi puskulevyn aisojen alapinnan levyleikkeen reunasta koneistettavien laippojen pintaan, joten asemointi puskulevyn rungossa olevista putkipalkeista ei onnistu. Y-akselin asemointipintoina käytin kuvassa 9 näkyvää aisapalkin levyleikkeen reunaa.



Kuva 9. Aisapalkin poikkileikkaus (Kuva: Janne Mourujärvi).

Aisapalkkeja voisi tukea esimerkiksi jousikuormitteisilla kumitassuilla, jotka tukisivat puskulevyn aisoja nykyistä kiinnitystä paremmin. Tukeminen laajemmalla pinnalta vaimentaisi rungon värähtelyä ja näin ollen koneistuksesta syntyvää melua. Kumitassut olisi kuitenkin hankala toteuttaa niin, että ne olisivat muunnettavissa jokaisen mallin mukaan. Lisäksi koneistuksessa irtoavat lastut vaikeuttaisivat jousien toimintaa.

Jokainen puskulevy on asemoitu nykyisessä kiinnityksessä 60 mm:n paksuisia korokepaloja vasten avarruskoneen Y-akselin rajapisteiden takia, joten tämä oli otettava koneistuskiinnittintä suunniteltaessa huomioon.

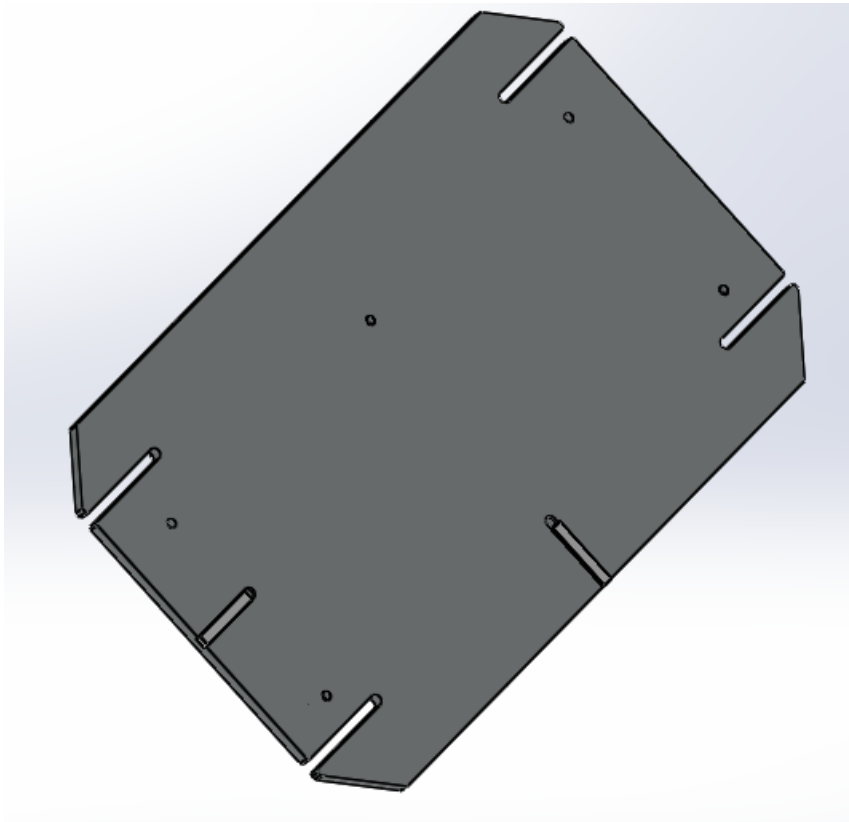
5.6 Pohjalevy

Koneistuskiinnittimen varsinainen suunnittelu alkoi pohjalevystä. Pohjalevy nostetaan työstökoneen pöydälle ja se toimii alustana, johon varsinaiset puskulevyn koneistukseen tarvittavat kiinnityselementit kiinnitetään. Pohjalevyn muodon määrittävät avarruskoneen pöydän muodot, sekä leveimmän puskulevymallin leveys. Leveimmän puskulevyn ja pöydän leveyden ero on niin pieni, joten pohjalevystä suunniteltiin koko avarruskoneen pöydän levyinen. Pohjalevyn muodon perusteella koneistajan on myös helpompi päätellä, miten kiinnitin tulee asennoida ja kiinnittää pöydälle. Kiinnittimeen kaiverretaan varmistukseksi työstökoneen pöydän sivulla olevat numerot.

Työstökoneen pöytää vasten tulevaan pohjalevyn alapintaan koneistetaan kaksi kiilauraa. Kiilaurat ovat 90 asteen kulmassa toisiinsa nähden työstöpöydän kiilaurien mukaan. Kiilojen avulla kiinnitin tulee aina samalle paikalle työstökoneen pöydälle. Kiilaurien leveydeksi määräytyi pöydässä olevien valmiiden kiilaurien mukaan 22 mm. Pituudeksi kiiloille tuli 150 mm, sillä lyhyet kiilat eivät paikoita levyä riittävän tarkasti.

Kiinnittimen kiinnittämistä pöytään varten suunniteltiin pöytälevyn polttoaihioon kiinnitysruuveille urat, joista valmis koneistuskiinnitin kiinnitetään työstökoneen pöytään. Avarruskoneen pöydässä on valmiiksi 22 mm:n levyiset urat M20- ruuveja varten, joten urien leveydeksi tuli 22 mm. Kiinnittimen tulisi käydä yrityksen

isommalle pitkäjyrsinkoneelle, joka toimii höylätyyppisen avarruskoneen tavoin. Kiinnityspulttien urien pituutta lisäämällä, sekä toisen kiilan irrottamisella kiinnitin käy myös pitkäjyrsinkoneelle. Tämä mahdollistaa puskulevyjen koneistuksen myös silloin, kun pienempi avarruskone on huollossa tai rikki.



Kuva 10. Koneistuskiinnittimen pohjalevy (Kuva: Janne Mourujärvi).

Koneistajien toiveita kuunnellen kiinnittimen nostaminen kolmesta pisteestä toteutettiin suunnittelemalla pohjalevyyn M20-kierteet. Näihin asennetaan valmiit standardisoidut nostolenkit, joista kiinnitin saadaan nostettua pöydälle työpaikanostimen avulla. Yrityksellä on suunnitteilla isommille erityskiinnittimille liikutteluun tarvittava vaunu, johon kiinnitin saadaan nostettua pystyyn käyttämällä kahta reunimmaista lenkkiä.

Nostolenkeiksi kävisi kiinnittimen painon suhteen pienemmätkin M16-kierteillä olevat lenkit, mutta M20-malli on todettu toimivammaksi suurempien silmukoiden ansiosta. Lenkin kierreosa määritteli pohjalevyn paksuudeksi 25 mm. Ohuempi

levy olisi riittänyt jäykkyyden ja taipuman puolesta, mutta kiinnittimen tulee olla tarpeeksi jäykkärakenteinen mahdollisen pohjapinnan koneistuksen jälkeen. Jokaisesta puskulevystä otetaan jatkossakin omat nollapistet, joten pohjapinnan koneistusta en näe tarpeelliseksi, ellei kokoonpanossa hitsattavat osat aiheuta isoja vääntymiä pohjalevyyn.

5.7 Vasteet

Vastekappaleet toimivat eri puskulevymallien asemointipintoina. Ne tukevat puskulevyjä samalla tavalla kuin nykyisessä rakennettavassa kiinnityksessä. Niihin on lisäksi koneistettu kiinnitystä varten tarvittavat kierrereiät, sekä väistöt hitsisaumoja varten. Jokainen puskulevymalli asemoidaan kiinnittimeen kolmen tason suhteen.

5.7.1 Etuvaste

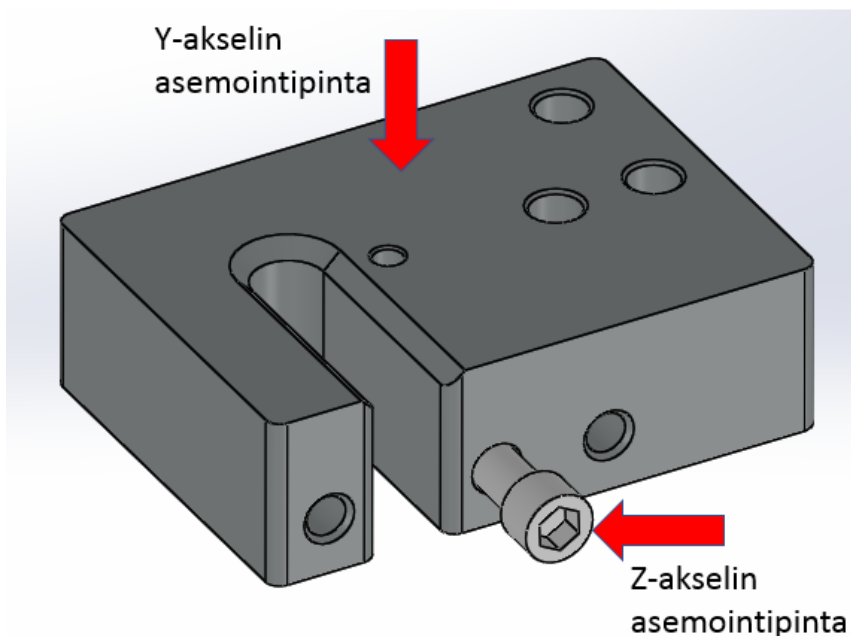
Volyymimallin puskulevyt on aiemmin asemoitu Z-akselin suunnassa niiden kuvassa 11 näkyvistä aisojen päihin hitsatuista laipoista. Laippojen koneistamaton takapinta tulee kahta M16-ruuvien kantaa vasten. Asemointi pultteja vasten toimii kaikilla laippakiinnitteisillä puskulevyillä.



Kuva 11. Puskulevyn paikoitus Z-akselin suunnassa (Kuva: Janne Mourujärvi).

Puskulevyjen koneistuskiinnittimen etureunaan suunnittelin kiinteät aluspalat, joiden etupintaan koneistetaan kuvassa 12 näkyvät M16-kierrereiät. Kierteiden paikat määräytyivät aisojen päissä olevien laippojen mittojen mukaan. Kierrereikien viereen koneistetaan varalle kaksi samanlaista kierrettä, joiden avulla harvinaisemmat varaosapuskulevymallit saadaan asemoitua Z-akselin suunnassa suoraan.

Kierteisiin asennetaan 70 mm:n pituiset M16-ruuvit, joiden kanta jää noin 40 mm irti aluspalan etupinnasta. Ruuvit säädetään muttereiden avulla tai vaihtoehtoisesti ne koneistetaan saman pituisiksi. Ruuveja ei tarvitse irrottaa koneistuksen jälkeen, vaan ne toimivat kiinteinä asemointipintoina. Keskimmäiseen kierteeseen asennetut ruuvit mahdollistavat jokaisen laippakiinnitteisen puskulevymallin asemoinnin Z-akselin suunnassa. Puskulevyn rakenne on symmetrinen katsottaessa sitä aisapalkkien keskilinjasta, joten toisen puolen aisapalkille käy etuvasteesta peilikuva.



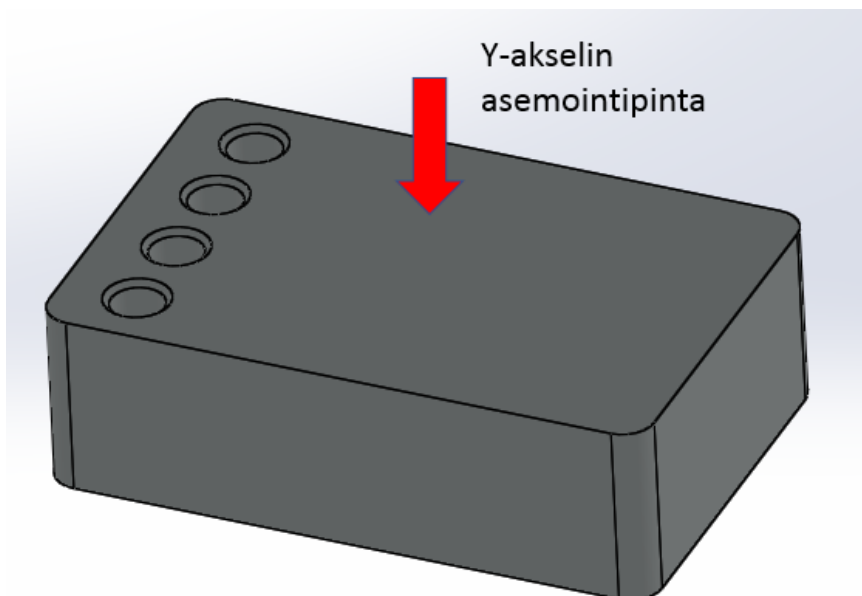
Kuva 12. Etuvaste (Kuva: Janne Mourujärvi).

Yhteen volyymipuskulevymalliin on hitsattu koneistettavan pätylaipan taakse kolmion muotoinen teräslevy vahvikkeeksi. Vahvikkeet eivät olleet 3D-mallin mukaan hitsattu symmetrisesti samoille paikoille, vaan toinen niistä on hitsattu 10

mm:ä sivummalle aisapalkista mitattaessa. Vahvikkeelle ja sen hitsisaumoja varten etuvasteeseen suunnittelin kuvassa 12 näkyvän kolon. Etuvasteen Y-akselin suuntaiseen pintaan suunnittelin kolme M20-kierrereikää kiinnityslestejä käyttäviä ruuveja varten. Keskelle etuvasteen yläpintaa koneistetaan M10-kierrereikä harvinaista varaosapuskulevymallia varten.

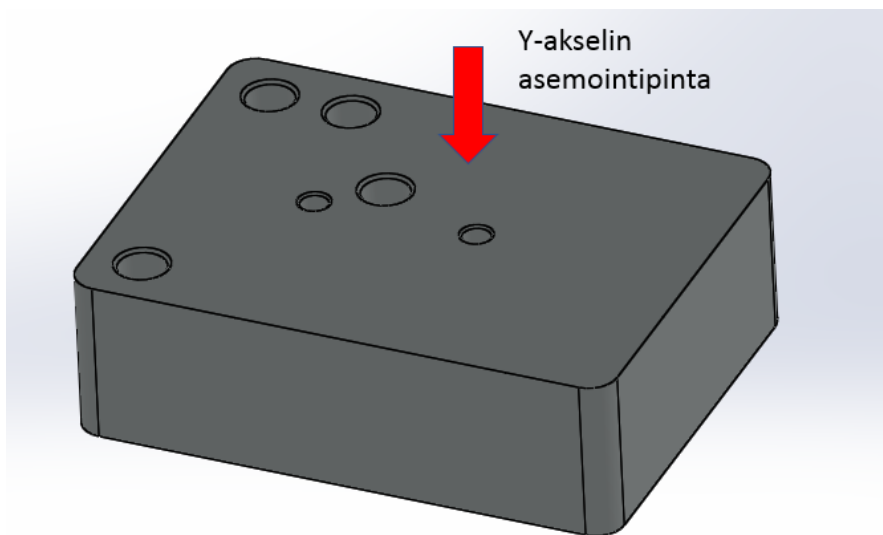
5.7.2 Takavasteet

Koneistuskiinnittimen puoliväliin suunnittelin vastepalat lyhytaisaisille puskulevyille (kuva 13). Takavastepalat asemoivat lyhytaisaiset puskulevymallit Y-akselin suhteen etuvasteen tavoin. Niihin koneistetaan neljä kappaletta M20-kierteitä, joilla mahdollistetaan puskulevyn kiinnitys siltä kohdin puskulevyn aisaa. Puskulevyn kiinnittämistä varten riittäisi yksi kierre, mutta on helpompi koneistaa irtonaisena kierrereiät varalle. Näitä vastepaloja tarvitaan neljä kappaletta kiinnittimen keskivaiheelle uuden puskulevymallin tullessa tuotantoon.



Kuva 13. Lyhyt aisaisen puskulevymallin vastepala (Kuva: Janne Mourujärvi).

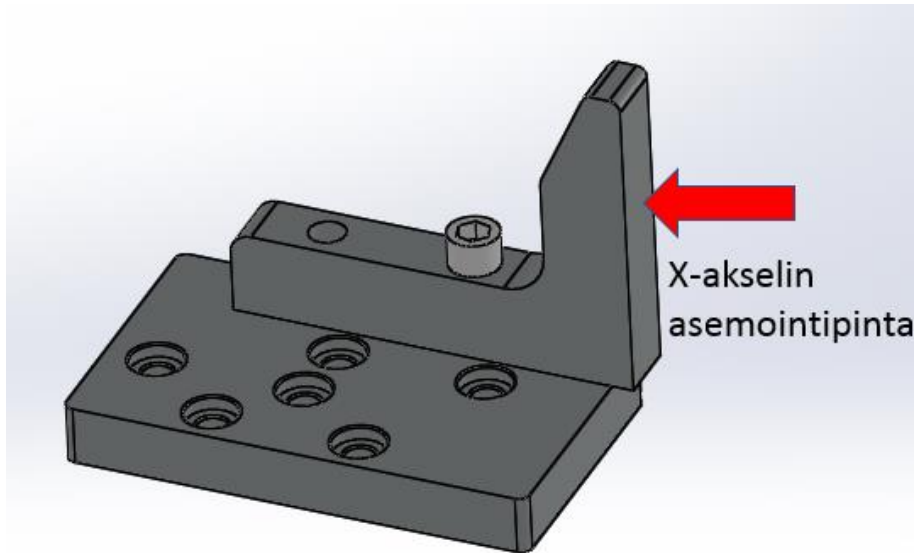
Pitkäaisaisia puskulevymalleja varten suunnittelin kuvan 14 mukaiset vastepalat kiinnittimen takareunaan. Ne mahdollistavat pitkäaisaisien puskulevyjen paikoituksen Y-akselin suhteen samalla tavoin, kuin kuvan 13 vastepalat. Y-akselin suuntaiselle pinnalle koneistetaan M20-kierrereiät kiinnitysrautoja käyttäviä ruuveja varten. Varaosapuskulevyt ovat myös pitkäaisaista mallia, joten näihin koneistetaan kaksi M10-kierreleikää niiden asemointia varten.



Kuva 14. Pitkäaisaisen puskulevymallin vastepala (Kuva: Janne Mourujärvi).

5.7.3 X-akselin vaste

Suurin osa puskulevymallien aisoista on suunniteltu eri leveydelle, joten X-akselin suuntaisesta vasteesta tuli tehdä säädettävä eri mallien suhteen. Vasteeksi suunnittelin irrotettavan kuvassa 15 näkyvän suorakaiteen muotoisen vasteen, joka kiinnitetään vähintään yhdellä M16-ruuvilla sille suunniteltuun omaan pohjalevyyn. Vaste asemoi puskulevyn sen toisen aisapalkin sisäpinnasta. Vasteen pohjaan koneistetaan kahdelle yrityksen käyttämille paikoitusnastoille paikat, joiden avulla vaste asemoituu pohjalevyyn kiinnitettäessä.

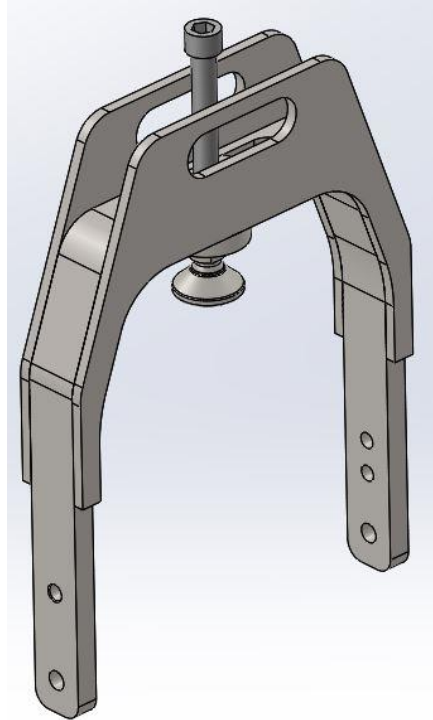


Kuva 15. X-akselin vaste (Kuva: Janne Mourujärvi).

Vasteen pohjalevyyn koneistetaan jokaisen puskulevyn paikoituskohdat ja puskulevymallin merkintä. Merkinnän avulla koneistaja voi helposti valmistella kiinnittimen ennen puskulevyn kiinnittämistä. Puskulevystä tullaan jatkossakin ottamaan koneistuksen alkaessa omat koneistuksen nollapisteet.

6 Puskulevyn kiinnittäminen

Puskulevyjen kiinnittämiseen ideointivaiheessa oli kiinnittäminen aisojen päästä käännettävällä U-muotoisella kiinnikeraudalla (kuva 16), joka tukisi puskulevyä kolmesta eri suunnasta kolmella eri pultilla. Kiinnitystä varten olevien pulttien päihin olisi kiinnitetty yrityksen muissakin kiinnittimissä olevat ”tassut”, jotka toimivat kiinnityspintoina. Kiinnike nostettaisiin puskulevyjen aisojen etupuolelle aina puskulevyn nostamista ja asemointia varten ja käännettäisiin ylös paikoilleen, kun puskulevy on asemoitu kohdalleen. Tämän jälkeen kolme pulttia kiristettäisiin vuorotellen paineilmakäyttöisellä mutterinvääntimellä.



Kuva 16. Käännettävä kiinnityselementti (Kuva: Janne Mourujärvi).

Kiinnikkeen valmistaminen niin jäykäksi, että se kestäisi M20-kiristysruuvien tuottaman voiman, toi haasteita. Lisäksi sivuille oli tarkoitus asentaa kaksi M16-ruuvista rakennettua kiinnitinelementtiä, jotka tukisivat puskulevyä aisojen sivuilta. Kiinnikkeen perusrakenteesta suunnittelin mahdollisimman kevyen niin, että sivuille tuleville M16-ruuveille jäisi tarpeeksi materiaalia kierteitä varten.

Tarpeeksi jäykkä rakenne kuitenkin S355-teräksestä valmistettuna painaisi noin 15 kilogrammaa. Tämä olisi liikaa käsin nostettavaksi ottaen sen huomioon, että kiinnittämisen pitäisi olla nopeampaa, tukevampaa ja mieluisempaa koneistajalle. Kiristysruuviksi kävisi voiman puolesta pienempikin M16-ruuvi, mutta ”vapaapituuden” kasvaessa niin suureksi on vaarana ruuvien nurjahtaminen.

Käännettävän kiinnitysraudan etuina olisi ollut puskulevyn tukeminen kolmesta suunnasta, joka vähentäisi koneistusvärähtelyistä syntyvää melua. Tämän kiinnikemallin jatkosuunnittelun päätin kuitenkin hylätä, sillä se painoi liikaa eikä tuonut mielestäni riittäviä etuja.

Käännettävän kiinnityselementin valmistusmateriaaliksi mietin myös alumiinia, mutta se jäi vain ajatustasolle, sillä kiinnikkeistä olisi tullut liian kalliita valmistaa.

Lisäksi opinnäytetyön alussa sovimme komponenttien valmistusmateriaaleiksi S355-teräksen.

Puskulevyn kiinnittämisen vaihtoehtona oli myös kiinnike, joka tukisi puskulevyn aisaa kahdesta pisteestä yhtä pulttia kiristämällä. Rakenteesta olisi tullut kuitenkin liian painava koneistajalle rakennettaessa se S355-teräksestä.

Nykyisessä kiinnityksessä jokainen puskulevymalli on kiinnitetty pöytään neljällä kiinnitysraudalla, joita käytetään M20-ruuveilla (kuva 6). Päädyin samaan ratkaisuun pitkän pohdinnan jälkeen. Kiinnitysrautoja varten koneistuskiinnittimeen valmistetaan kuvassa 18 näkyvät määrämittaiset putket, jotka ovat välttämättömät rautakiinnityksessä. Putkien pituudet määräytyivät puskulevyn aisojen yläpinnan mukaan.

Kiinnitysraudat ovat tässä tapauksessa nopeampia käyttää, sillä niitä ei tarvitse purkaa koneistuksen jälkeen. Kiinnitysrautoja käyttäviin ruuveihin asennetaan rautoja keventävä jousi. Jousi kannattelee kiinnitysrautaa ylhäällä, sen ollessa kuormittamaton. Puskulevy kiinnitetään rautoja käyttäviä ruuveja kiristämällä ensin kevyesti lähellä oikeaa kohtaa. Näin saadaan tarvittaessa levyä vielä liikutettua massavasaran avulla. Virallinen kiristys tehdään paineilmatoimisella mutterivääntimellä vasta, kun levy on oikealla kohdalla.

6.1 Kiinnitysvoimat

Puskulevyn kiinnitykseen sekä kiinnittimen kiinnitykseen tarvittavat voimat voidaan ratkaista soveltamalla momenttikaavaa $M = F \cdot l$, jossa

M = momentti

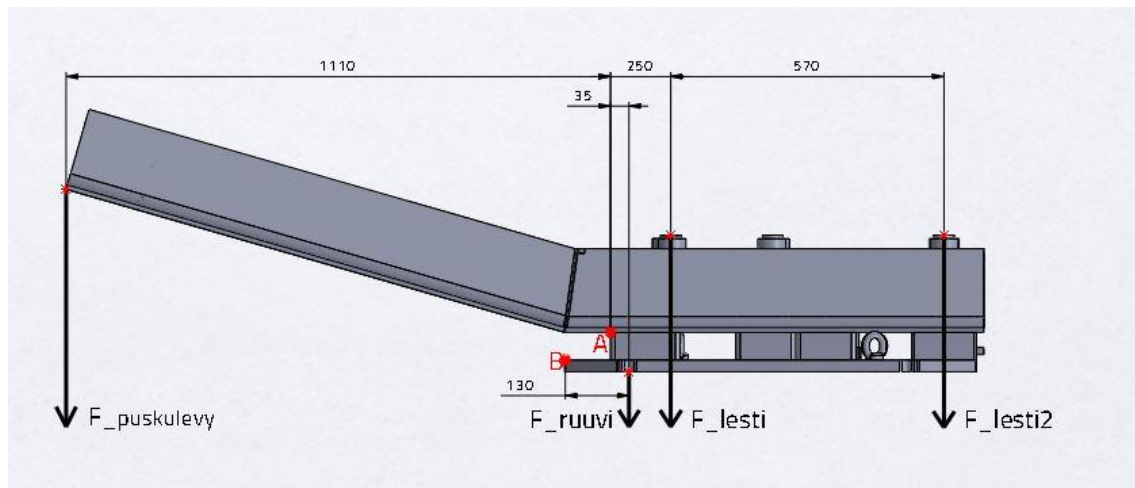
F = voima

l = matka, jolla voima vaikuttaa momenttipisteestä.

Laskennassa käytin kahta eri pistettä, jonka mukaan puskulevyn kiinnittimestä ulkopuolelle jäävästä painosta aiheutuva voima tuottaa momentin. Ulosjäävän painon aiheuttama voima on kumottava toisesta voimasta aiheutuvalla momentilla, eli tässä tapauksessa kiinnityslestillä tai kiinnitinelementtiä käyttävän ruuvin aiheuttamalla voimalla.

Kiinnitysvoimia laskettaessa käytin painavinta sekä pisimmillä aisoilla olevaa puskulevymallia, joka painaa noin 400 kiloa ja aiheuttaa kiinnittimille suurimmat rasitukset. Voima on laskennassa kohdistettu puskulevyn ulosjäävälle osalle, vaikka todellisuudessa kiinnittimen päällä olevat aisat sekä kiinnittimen oma massa keventävät ulosjäävän voiman aiheuttavaa rasitusta. Näin saadaan laskentaan varmuuskerrointa sen lisäksi, että kiinnitysruuvien voimat jakautuvat vielä kahdelle ruuville.

Isoimmat laskennalliset voimat tulevat kuvassa 18 näkyville F_{ruuvi} -, sekä F_{lesti} - voimille, joiden mukaan kiinnitysruuvit on mitoitettu. Laskuissa ei oteta huomioon niitä voimia, jotka aiheutuvat koneistuskiinnittimen massasta, sekä puskulevyn aisoista, jotka ovat kiinnitettyinä koneistuskiinnittimeen.



Kuva 18. Kiinnitykseen kohdistuvat voimat (Kuva: Janne Mourujärvi).

Kiinnittimen kiinnitysruuvien voima (F_{ruuvi}) lasketaan momenttipisteen M_b :n kautta seuraavalla tavalla:

$M_b = F_{puskulevy} * 1.015m - F_{ruuvi} * 0.13m = 0$, joka kääntyy seuraavaan muotoon, kun kaavaan sijoitetaan tiedossa olevat arvot.

$$F_{ruuvi} = \frac{400kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.015m}{0.130m} = 30638 \text{ N}$$

Tulos huomioi jo varmuuskertoimeksi 2, sillä puskkulevyn kuormasta aiheutuva rasitus jakautuu kahdelle ruuville. Pienin mahdollinen kiinnitysruuvi on taulukon 1 mukaan 10.9- lujuusluokasta M10- tai 8.8- lujuusluokasta M12-ruuvi. Valmis kiinnitin kiinnitetään työstöpöydälle M20-ruuveilla, kuten muutkin avarruskoneessa käytettävät kiinnittimet.

Kiinnitysrautaa käyttävä ruuvi mitoitetaan momenttipisteen M_a :n kautta samalla periaatteella, kuin kiinnittimen kiinnitysruuvi.

$M_a = F_{ruuvi} * 1.11m - F_{lesti} * 0.25m = 0$, joka kääntyy seuraavaan muotoon, kun kaavaan sijoitetaan tiedossa olevat arvot.

$$F_{ruuvi} = \frac{400kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.11m}{0.25m} = 17423 \text{ N}$$

Kiinnitysrautaa käyttäväksi ruuviksi kelpaisi laskennan ja taulukon 1 mukaan 8.8- lujuusluokan M8-ruuvi, mutta huomioon ei oteta kummassakaan laskennassa koneistuksen tuomia rasituksia. Rautoja käyttäviksi ruuveiksi suunnittelin M20-ruuvit, siten koneistajan ei tarvitse vaihtaa välillä työkalua.

Taulukossa 1 näkyy eri lujuusluokan esikiristysvoimat, jotka saadaan aikaan taulukon oikeassa reunassa näkyvillä ruuvien kiristysmomenteilla.

Koko	Lujuusluokka	Esikiristysvoima F_M (kN) μ_G					Kiristysmomentti M_A (Nm) μ_K				
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16
M4	8.8	4,4	4,2	4,1	3,9	3,7	2,2	2,5	2,8	3,1	3,3
	10.9	6,4	6,2	6,0	5,7	5,5	3,2	3,7	4,1	4,5	4,9
	12.9	7,5	7,3	7,0	6,7	6,4	3,8	4,3	4,8	5,3	5,7
M5	8.8	7,2	6,9	6,6	6,4	6,1	4,3	4,9	5,5	6,1	6,5
	10.9	10,5	10,1	9,7	9,3	9,0	6,3	7,3	8,1	8,9	9,6
	12.9	12,3	11,9	11,4	10,9	10,5	7,4	8,5	9,5	10,4	11,2
M6	8.8	10,1	9,7	9,4	9,0	8,6	7,4	8,5	9,5	10,4	11,2
	10.9	14,9	14,3	13,7	13,2	12,6	10,9	12,5	14,0	15,5	16,5
	12.9	17,4	16,7	16,1	15,4	14,8	12,5	14,5	16,5	18,0	19,5
M8	8.8	18,5	17,9	17,2	16,5	15,8	18	21	23	25	27
	10.9	27	26	25	24	23	26	30	34	37	40
	12.9	32	31	30	29	27	31	35	40	43	47
M10	8.8	30	29	28	26	25	36	41	46	51	55
	10.9	44	42	40	39	37	52	60	68	75	80
	12.9	50	49	47	45	43	61	71	79	87	94
M12	8.8	43	42	40	39	37	61	71	79	87	94
	10.9	63	61	59	56	54	90	104	117	130	140
	12.9	74	71	69	66	63	105	121	135	150	160
M16	8.8	81	78	75	72	70	145	170	195	215	230
	10.9	119	115	111	106	102	215	250	280	310	340
	12.9	139	134	130	124	119	250	300	330	370	400

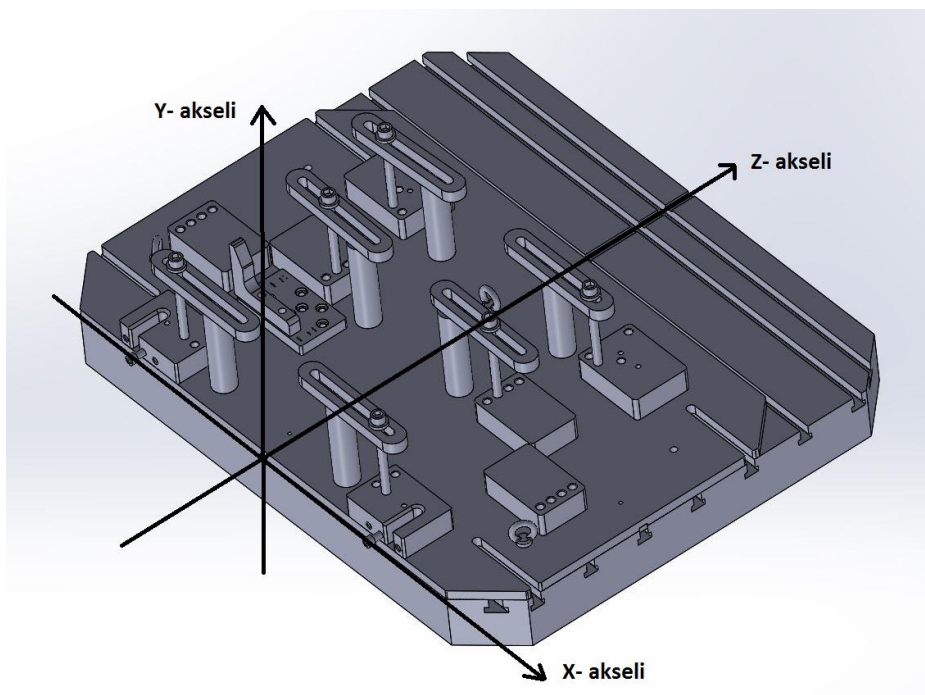
Taulukko 1. Ruuvien esikiristysvoimat ja esikiristysmomentit M4 – M16 kier-teille.

7 Tulokset

Koneistuskiinnittimen osat tallennettiin dxf-tiedostomuotoon polttoaihioiden ti-lausta varten. Jokaisesta koneistuskiinnittimeen valmistettavasta osasta tehtiin liitteenä olevat valmistuspiirustukset, joiden avulla osat valmistetaan yrityksen omassa tuotannossa. Osien suunnittelussa on huomioitu se, että ne pyritään ko-neistamaan valmiiksi irto-osina.

Kiinnittimen komponentit kiinnitetään liitteiden 7 – 9 mukaisesti hitsaamalla pohjalevyyn. Kokoonpano suoritetaan yrityksen omassa hitsauspisteessä, jossa on kasattu yrityksen käyttämiä kiinnittimiä aiemminkin. Hitsisaumoille kohdentuvia rasituksia ei opinnäytetyössä laskettu, sillä hitsauksella varmistetaan komponenttien paikoillaan pysyminen. Hitsisaumoille kohdistuu lähes saman suuruiset rasitukset, kuin kriittisimmille kiinnitysruuveille. Hitsausauman a-mitta on pienimmillään 3 mm, joka riittää laskennallisesti hyvin. Yleensä raskaimmissa kiinnittimissä käytetään a-mittana 5 mm. Kiinnittimet hitsataan ylisuurella varmuudella niin, että rakenteesta tulee mahdollisimman jäykkä ja koneistusvärähtelyitä vaimentava rakenne. Kiinnittimen pohjalevyn pinta voidaan tarvittaessa hitsauksen jälkeen koneistaa tasaiseksi.

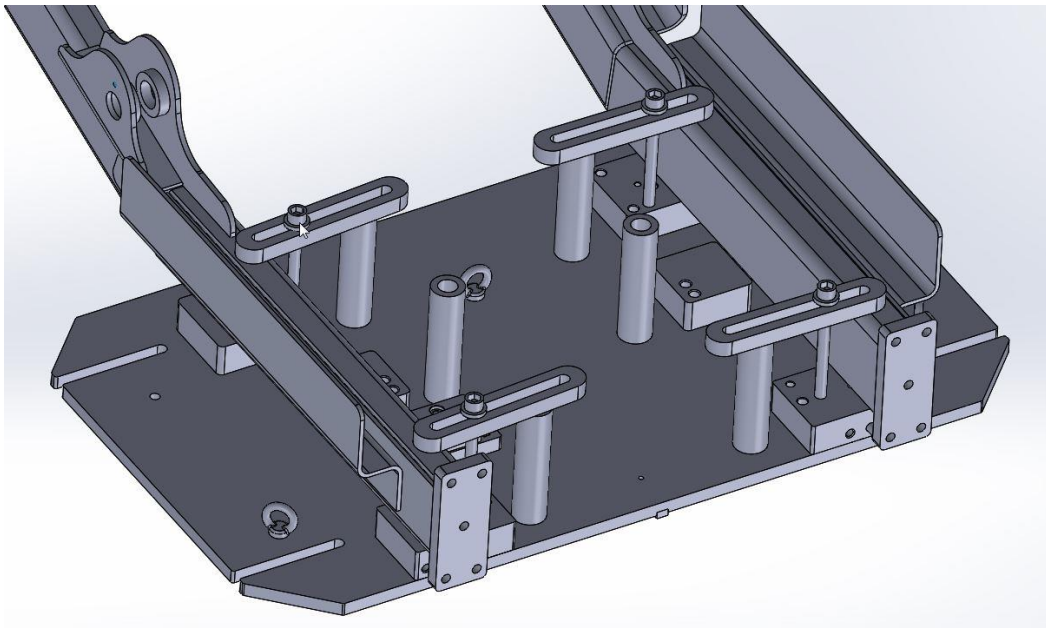
Kiinnittimen kokoonpanoon tarvittavat standardisoidut kiinnitysruuvit, sekä nostolenkit tilataan yrityksen sopimustoimittajalta. Kiinnityslenkkejä joudutaan lyhentämään kierreosalta, pohjalevyn paksuuden ollessa ohuempi kuin kierreosa. Näin nostolenkin kierreosa ei jää kantamaan pohjalevyä sen ollessa työstökoneen pöydällä. Valmis kiinnitin käy kuvassa 19 näkyvällä tavalla avarruskoneen pöydälle. Kiinnitin on mahdollista kiinnittää pöydän 0- tai 180- puolelle. Se käy myös yrityksen käytössä olevalle pitkäjyrsinkoneelle.



Kuva 19. Avarruskoneen työstökoordinaatisto (Kuva: Janne Mourujärvi).

Kuvassa 20 kiinnittimeen on kiinnitetty volyymimalleista se, jota koneistetaan eniten. Verrattaessa kiinnitystä alkuperäiseen (kuva 6), ei kiinnitykseen tule varsinaisia muutoksia. Kiinnityksen muutokset koostuvat lähinnä kiinteistä vastekappaleista, sekä kiinnitysraudoista.

Valmis koneistuskiinnitin mahdollistaa myös varaosamallien koneistuksen pienillä muutoksilla. Varaosamalleja varten on suunniteltu irrotettavat vasteet. Nämä vasteet kiinnitetään ruuveilla, varsinaisten vasteiden päälle. Varaosamalleissa aisapalkit ovat eri kulmissa päätylaippoihin verrattuina, joten jokainen malli vaatii omat tiettyyn astekulmaan koneistetut vastepalat.



Kuva 20. Volyymimallin puskulevy kiinnitettynä koneistuskiinnittimeen (Kuva: Janne Mourujärvi).

8 Yhteenveto

Olen toiminut yrityksessä ennen opinnäytetyötä koneistajana noin puolen vuoden ajan, joten työyhteisö ja yritys olivat minulle ennestään tuttuja. Alkupalaverin jälkeen minulle oli selvää aikataulu, sekä opinnäytetyön aihe ja laajuus. Aiheena opinnäytetyössä kiinnittimen suunnittelun lisäksi oli koneistusvärähtelyt ja niiden vähentäminen.

Opinnäytetyön alkuvaiheessa suoritetusta värähtelymittauksesta kävi ilmi, että värähtelyt korvakoita koneistettaessa eivät olleet suuria. Puskulevyn koneistuksessa syntyi meluhaitta, jota opinnäytetyön kautta haluttiin minimoida. Tämä kuitenkin johtui siitä, että korvakon rakenne pääsi heilumaan, eikä sen varsinaisesta koneistuksesta. Koneistusvärähtelyihin ei paneuduttu niiden mittausta enempää, sillä opinnäytetyön aikataulu venyi tuotannosta johtuvien kiireiden takia. Lisäksi tähän oli jo ennestään kokeiltu ratkaisuja, joita työn edetessä minäkin ehdotin. Mielestäni korvakon valmistusmenetelmää tulisi muuttaa, jos koneistuksesta haluttaisiin minimoida sen rouhinnassa tapahtuva meluhaitta. Kokeilemisen arvoinen tapa olisi jättää korvakon reikä umpinaiseksi, jolloin koneistus tapahtuisi umpiaineeseen. Nyky menetelmällä koneistuksessa ei kuitenkaan laadullisesti ollut mitään ongelmaa.

Koneistuksen laadun varmistamiseksi olisi hyvä, että jokaisen puskulevymallin koneistus tapahtuisi aina samalla tavalla. Suunnitellulla koneistuskiinnittimellä kaikkien tuotannossa olevien koneistus pystyttäisiin toteuttamaan. Tuotteen läpimenoajan lyhentämiseksi olisi kuitenkin hyvä, että puskulevyjä koneistettaisiin sarjassa esimerkiksi viikon puskulevyt kerralla. Näin koneistuskiinnittimen kiinnittämiseen kuluvaa aikaa ei tulisi liikaa.

Aloitin opinnäytetyöni tutustumalla nykyiseen koneistuskiinnitykseen ja keskustelemalla koneistajien kanssa miten nykyistä kiinnitystä voisi parantaa. Varsinaisessa suunnittelu- ja ideointivaiheessa sain apuja yrityksen laatu- ja suunnittelu-päälliköltä Juuso Herraselta.

Opinnäytetyöprosessi sujui kaiken kaikkiaan melko hyvin, mutta aikataulullisesti opinnäytetyö venyi liian pitkälle. Uudelleen tehtäessä aikatauluttaisin opinnäyte-

työni paremmin ja pyrkisin keskittymään siihen ennen muita projekteja. Opinnäytetyön aikana aloitin tuotantoinsinöörin työn, minkä seurauksena aikataulu venyi nyt uuden työtehtävän opettelussa ja sen tuomasta työkuormasta.

Yhteistyö koulun sekä työpaikan ohjaajan kanssa sujui hyvin. Kiinnittimen suunnitelmat hyväksyttiin myös yrityksen sisällä ja kiinnitin valmistetaan pienten muutosten jälkeen. Kiinnittimen käytössä haasteita tuo enää puskulevyn nostaminen kiinnittimeen. Olen tyytyväinen opinnäytetyöhöni, sillä työ on opettanut minulle suunnitteluprosessia käytännössä ja uskon siitä olevan minulle hyötyä tulevaisuudessa.

Lähteet

1. Joensuun CNC-Machining Oy. 2017. [Viitattu 3.4.2017]. Saatavissa: <http://www.cnc-machining.fi/palvelut/>.
2. Maaranen, K. Koneistustekniikat. Porvoo. 2004. 325 s. ISBN 951-0-27156-x.
3. Aaltonen, K. Andersson, P. Kauppinen, V. Koneistustekniikat. Porvoo. 1997. 322 s. ISBN: 951-0-21437-x.
4. Aunio, M. Kettunen, E. Kääriä, H. Niinimäki, M. Riski, P. Työväline-suunnittelu. Helsinki. 1989. Valtion painatuskeskus. 340 s. ISBN 951-861-729-5.
5. MET-julkaisu. Työkappaleen kiinnittäminen FM-järjestelmässä. Helsinki. 1989. Metalliteollisuuden Kustannus Oy. 54 s. ISBN 951-817-422-8.
6. Kalpakjian, S & Schmid, S. Manufacturing engineering and technology. Sixth edition. Singapore. 2010. Prentice Hall. 1295 s. ISBN 978-981-06-81-44-9.
7. Sandvik Coromant. 2017. [Viitattu 3.4.2017]. Saatavissa: <http://www.sandvik.coromant.com/fi-fi/knowledge/milling/troubleshooting/vibration/pages/default.aspx>.
8. Agri Expo. 2018. [Viitattu 6.5.2018]. Saatavissa: <http://www.agriexpo.online/fr/prod/john-deere-forestry/product-181726-58722.html>