



SAVONIA

Kääntöniveleen valmistus

Sami Mähönen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Sami Mähönen			
Työn nimi Kääntönivelen valmistus			
Päiväys	9.5.2013	Sivumäärä/Liitteet	42
Ohjaaja(t) lehtori Pertti Kupiainen, koulutus- ja kehittämisspäällikkö Timo Lipponen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sami Mähönen/Componenta Oyj, Savon ammatti- ja aikuisopisto			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella ja valmistaa kääntönivel opinnäytetyöntekijän omavalmistaiseen pienkaivuulaitteeseen. Työssä tarkasteltiin vaihtoehtoisia rakenteita suunnittelun ja valmistuksen kannalta. Kääntönivelen suunnittelun pohjana oli jo osittain valmisteilla oleva kaivuulaitte omavalmistaiseen pienkuormaajaan.</p> <p>Kääntönivelen tuotesuunnittelussa kiinnitettiin huomiota valmistusmenetelmien mahdollisuuksiin sekä rajoitteisiin. Tuotesuunnittelun työkaluna mallinnuksessa käytettiin SolidWorks-ohjelmaa. Kääntöniveleen laadittiin perusgeometria, jonka perustana mallinnettiin sekä valukappale että hitsattu levyrakenne.</p> <p>Kääntönivel valmistettiin yhteistyössä Componenta Suomivalimo Oy:n kanssa Iisalmessa. Kääntönivel valettiin pallografiittivaluraudasta käsikaavaten kertamuottimenetelmällä. Koneistus toteutettiin Savon ammatti- ja aikuisopistolla Siilinjärvellä. Lopputuloksena saatiin toimiva kaivuulaitteen osa sekä kokemusta tuote- ja valmistussuunnittelusta.</p>			
Avainsanat kääntönivel, suunnittelu, valaminen			
Julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering and Production Technology			
Author(s) Sami Mähönen			
Title of Thesis Manufacturing of a Swing Bracket			
Date	9 May, 2013	Pages/Appendices	42
Supervisor(s) Mr Pertti Kupiainen, Lecturer and Mr Timo Lipponen, Education and Development Manager			
Client Organisation/Partners Sami Mähönen/Componenta Oyj, Savon ammatti- ja aikuisopisto			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this project was to design and manufacture a swing bracket to a mini excavator manufactured by a student.</p> <p>Alternative structures were examined for the design and fabrication. A self-produced mini-excavator loader was used as a basis for designing. Attention was paid to the opportunities and limitations of manufacture. SolidWorks software was used as a design tool for modeling. A basic geometry was made for the swing bracket. It was then used for modeling the casting product as well as the welded plate structure. The swing bracket was manufactured in cooperation with Componenta Foundry Finland Oyj Iisalmi. It was cast hand packed in a ductile iron mold to form a sand moulding. Machining was carried out in Savo Vocational Institute in Siilinjärvi.</p> <p>As a final result there was a functional part of the excavator, as well as experience in product design and manufacturing.</p>			
Keywords swing bracket, design, casting			
public			

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty keväällä 2013 Iisalmessa. Opinnäytetyön ohjauksesta haluan kiittää lehtori Pertti Kupiaista sekä Koulutus- ja kehittämispäällikkö Timo Lipposta. Kiitän myös projektissa mukana ollutta Componenta Oyj:n henkilökuntaa, erityiskiitokset DI Petri Lyyrälle, insinöörit Ilkka Joenaholle ja Tuomo Lehtokummulle sekä sulattaja Vesa Isoaholle. Componenta Oyj:n panos oli ratkaiseva valitun toteutustavan onnistumisessa. Kiitokset myös Savon ammatti- ja aikuisopiston henkilöstölle, erityisesti lehtori Pertti Lappalaiselle koneistukseen liittyvistä tiedoista sekä koneistusten onnistumisista. Kiitän myös läheisiä ja ystäviä tuesta ja neuvoista.

Iisalmessa 9.5.2013

Sami Mähönen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	YHTEISTYÖKUMPPANIT	9
3	RAKENNE JA KONEET	11
3.1	Kääntönivel	11
3.2	Perusrakenne	11
3.3	Valmistus	11
3.4	Peruskone	12
3.5	Kaivuulaite	13
4	SUUNNITTELU	14
4.1	Yleisperiaatteet	14
4.2	Kääntönivelen suunnittelu	14
4.3	Tyvipuomin nostosylinterin valinta	14
4.4	Nivelpisteet ja korvakevälit	15
4.5	Käännön geometria	15
4.6	Käännön korvakkeet	16
4.7	Kuormitussimulaatio	16
4.8	Materiaalivalinta	18
5	VALETTU RAKENNE	19
5.1	Suunnittelu	19
5.2	Muodot	20
5.3	Valumenetelmät	20
5.4	Valumallit	21
5.5	Malli	21
5.6	Valunivelen materiaali	22
5.7	Suunnittelu ja mallinnus	22
5.8	Mallin valmistus	26
5.9	Kaavaus ja valaminen	28
5.10	Koneistus	33
5.11	Pintakäsittely	35
6	HITSATTU RAKENNE	36
6.1	Levyrakenteisen nivelen materiaali	36
6.2	Suunnittelu	36
6.3	Mallinnus	37

6.4 Osavalmistus.....	37
6.5 Hitsaus.....	38
6.6 Koneistus.....	40
6.7 Pintakäsittely	40
7 YHTEENVETO.....	41
LÄHTEET.....	42

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on kääntönivelen suunnittelu ja valmistus. Idea opinnäytetyöhön lähti tarpeesta suunnitella omavalmistaiseen kaivuulaitteeseen nivel, jonka varassa kaivuupuomisto kääntyy. Kaivuulaitteen ohella myös peruskone on omavalmistainen, joten liityntäpintana samalla toimivan nivelen oma suunnittelu ja yksittäisvalmistus ovat luonnollisia jatkumia.

Työssä suunnitellaan aluksi valmisteilla olevaan kaivuulaitteeseen sopiva nivelen geometria, jolla saavutetaan kaivuupuomistolle halutut kuormitettavuudet sekä ulottuvuudet. Tämän jälkeen mallinnetaan alustavaa muotoa ja ainevahvuuksia. Mallinnuksen työkaluna käytetään SolidWorks-suunnitteluohjelmaa. Alustaville muodoille tehdään lujuusmitoitusta sekä SolidWorks X-press Simulaatiolla että käsin laskemalla.

Componenta Oyj:n yhteistyön johdosta kääntönivel suunnitellaan ensisijaisesti valmistettavaksi valamalla, joten työssä käsitellään yleisesti valamiseen liittyviä seikkoja sekä tarkastellaan kääntönivelen mallin suunnittelun ja valmistamisen keskeisiä kohtia. Mallinnetusta nivelestä valmistetaan käsityönä puinen valumalli, joka käsikaavataan tuorehiekkamuottiin. Nivelen valmistus suoritetaan valamalla pallografiittivaluraudasta kertamuottimenetelmällä valos, joka puhdistetaan, koneistetaan ja pintakäsitellään.

Vertailun vuoksi nivel suunnitellaan myös levyosana toteutettavaksi hitsattavaksi rakenteeksi. Hitsattava nivel suunnitellaan mallinnuksineen ja valmistussuunnitteluneen. Opinnäytetyössä tullaan esittämään tuotteen vaihtoehtoisen valmistustavan eroja tuotesuunnittelussa. Opinnäytetyössä ei julkisteta mittapiirroksia eikä laskelmia.

2 YHTEISTYÖKUMPPANIT

Merkittävin yhteistyökumppani työssä oli iisalmelainen Componenta Finland Suomivalimo Oy. Componenta Oyj on merkittävä eurooppalainen valuratkaisujen toimittaja. Componenta toimii tärkeimmillä markkina-alueilla toimittaen ratkaisuja suunnittelusta komponentteihin. Toiminta perustuu asiakkaiden toimialan tuntemukseen ja vahvaan suunnittelu-, valu- ja koneistusosaamiseen sekä Componentan arvoihin ja kestävään kehitykseen. Asiakkaita ovat ajoneuvojen sekä eri teollisuudenalojen koneiden ja laitteiden valmistajia, jotka ovat omien toimialojensa markkinajohtajia ja maailmanlaajuisia toimijoita. Componentan liiketoimintaa on rauta- ja alumiinivalukomponenttien ja niistä koostuvien ratkaisujen suunnittelu ja valmistus ajoneuvoihin, maatalous- ja työkoneisiin sekä koneenrakennusteollisuuteen.

Kaivuulaitteen puomistoa suunniteltiin jo syksyllä 2012, jolloin tehtiin alustavia tiedusteluja mahdollisen valukappaleen valmistamiseksi. Suomivalimo lähti heti alusta alkaen yhteistyöhön kääntönivelen valmistamiseksi. Yhteistyö kääntönivelen valmistussuunnitteluun alkoi tiedon keruulla, edeten valumallin suunnittelun opastukseen ja sitä kautta käytännön toimien tarkasteluun aina kaavauksesta valuprosessiin ja viimeistelyyn saakka. Yhteyshenkilönä projektissa toimi kehityspäällikkö diplomi-insinööri Petri Lyyra. Hän organisoi kappaleen valmistuksen ja antoi tietoa sekä kirjallista materiaalia.

Valukappaleen suunnitteluun sekä mallin valmistukseen liittyviä neuvoja saatiin insinööri Ilkka Joenaholta ja insinööri Tuomo Lehtokummulta. Kaavaukseen sekä valamiseen liittyviä yksityiskohtia saatiin valimohenkilökunnalta. Erityisesti sulattaja Vesa Isoaho opasti seostukseen ja sulaan liittyvissä yksityiskohdissa. Yhteistyö oli ensisijaisen tärkeä projektin onnistumisen kannalta jo siinäkin mielessä, että näin voitiin todentaa suunnittelutyön onnistuminen konkreettisenä tuotoksena.

Toinen yhteistyökumppani oli Savon koulutuskuntayhtymä (Sakky). Kääntönivelen koneistusta varten etsittiin lähialueen oppilaitoksilta soveltuvaa työstökoneetta. Savon koulutuskuntayhtymän Savon ammatti- ja aikuisopistolta Siilinjärveltä löytyi työhön soveltuvin työstökeskus. Kääntönivelen koneistuksen suoritti kaksi aikuisopiskelijaa osana opintojaan ja työtä valvoi lehtori Pertti Lappalainen. Pertti Lappalainen opasti valmistussuunnittelussa koneistuksen vaatimuksiin liittyvissä seikoissa. Koneistus suoritettiin opiskelijatyönä.

Savon koulutuskuntayhtymä (Sakky) perustettiin elokuussa 2003. Toimipisteitä Sakkylla on Iisalmessa, Siilinjärvellä (3), Kuopiossa, Muuruvedellä, Suonenjoella ja Varkaudessa. Koulutustarjonta on laajaa sisältäen ammatillisen koulutuksen lisäksi myös lukio-opetusta.

3 RAKENNE JA KONEET

3.1 Kääntönivel

Kääntönivel on kaivuulaitteen osa, jolla kaivuupuumistoa liikutetaan sivu- ja pystysuunnassa. Kääntönivel on nivelöity pysty akselin suunnassa koneeseen ja nivelen kääntö tapahtuu hydraulisynterillä koneen rungosta kääntönivelen käännön sylinterikorvakkoon. Puomiston pystysuuntaisen liikkeen suorittaa hydraulisynteri kääntönivelen nostosylinterikorvakon ja tyvipuomin nostosylinterikorvakon välillä.

3.2 Perusrakenne

Kääntönivelen rakenne on paljolti samanlainen useimmissa kaivinkone- tai kaivuulaitetyypeissä; toiminnassa on oleellinen ero ns. ympäripyörivien kaivinkoneiden ja ns. traktorikaivurien välillä. Ympäripyörivissä kaivinkoneissa käännön nivelen tehtävänä on toimia ns. tyvikääntönä. Tyvikääntö sallii kaivutyön koneen normaalista kaivuulinjasta poiketen, esimerkiksi seinänvierustoja pitkin. Sen kokonaiskääntökulma on tyyppillisesti noin 90–140° (Yanmar). Traktorikaivureissa kääntönivel toteuttaa varsinaisen kaivuulaitteen puomiston kokonaiskäännön, jolloin käännön kulma on jopa 180° (Kubota).

Kääntönivelelle muodostuvia kuormituksia on samanaikaisesti useita. Kuormitukset riippuvat esimerkiksi kaivuusuunnasta sekä kauhan ja puomiston asennosta. Ne ovat pääsääntöisesti dynaamisia ja tyypiltään epäsäännöllistä vaihto- ja tykytyskuormitusta. Vaihtokuormitus muodostuu toistuvasta veto- ja puristusjännityksistä, esimerkiksi kaivettaessa. Tykytyskuormaa muodostuu käytettäessä esimerkiksi poravasaraa asfaltin tai betonin rikkomiseen.

3.3 Valmistus

Kääntöniveleitä valmistetaan hitsaamalla koottuna levyrakenteena, valamalla yhtenäisen rakenne tai ruuviliitoksin koottuna useammasta komponentista. Kevyissä kaivuulaitteissa kääntönivelten rakenteellista lujuutta ei välttämättä ole tarkasteltu kriittiseltä kestävyydeltään. Tämä johtuu mm. rakenteen kevyestä kokonaiskuormitettavuudesta sekä alhaisesta hydraulikan tehosta, jolloin rakenteesta muodostuu riittävän luja jo

kevyilläkin rakenneteräsainevahvuuksilla. Kääntöniveleen rakenteen lujuuden kriittisen tarkastelun merkitys kasvaa puomiston koon ja hydraulikan tehon kasvaessa. Puomiston koon kasvaessa kokonaisvoimat kertautuvat huomattavasti ja hetkelliset kuormat voivat olla todella suuria.

3.4 Peruskone

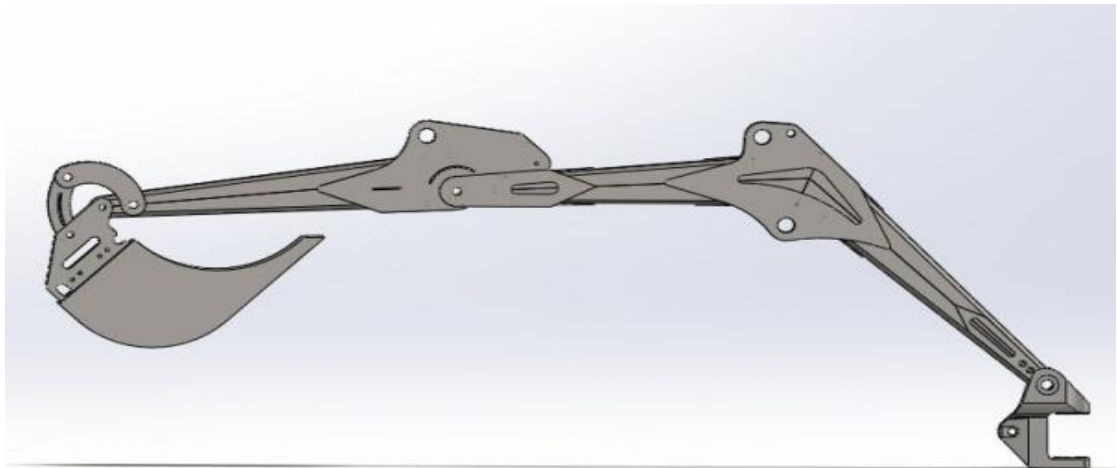
Suunniteltava ja toteutettava kääntönivel tulee painoluokaltaan alle 1000 kg:n koneeseen (kuva 1). Kone on pienkuormaajatyypinen ja omavalmisteinen. Koneen hydraulikan maksimi paine on 150 bar ja kapasiteetti 8 l / min / 1500 rpm. Koneen kiinnityspintana kaivuulaitteen kääntöniveleen on koneen trukkihaarukkarunko, johon kaivuulaite kiinnitetään lukitustapeilla, vaihtoehtoisesti koneen oikealle tai vasemmalle puolelle. Kaivuulaite on mahdollista kiinnittää koneeseen myös taakse erillisen sovitelevyn välityksellä. Sen ohjaus toteutetaan erillisen telineen varaan sijoitetulla venttiilipöydällä. Kaivuulaitteen tukijalat ovat mekaaniset ja kiinni trukkihaarukkarungossa edessä sekä sovitelevyissä takana.



KUVA 1. Omavalmisteinen pienkuormaaja (Sami Mähönen 2013)

3.5 Kaivuulaite

Kaivuulaite (kuva 2) on omavalmisteinen, särmätyistä profiileista muodostuva palkkirakenne, jonka keskeiset hydraulikomponentit, laakerit ja tapit ovat standardiosia. Kaivuulaitteen perusmalliin haettiin suuntaviittoja teollisesti valmistetuista suuremmista kaivuulaitteista. Kaivuulaitteen kevyt ja luja rakenne on optimoitu valmistuksellisuuden kustannuksella, joten rakenteessa on saavutettu painonsäästöä pelkästään jo ainevahvuuksien optimoinnilla. Kaivuulaite on työkunnossa kokonaispainoltaan ilman kauhaa noin 200 kg. Puomiston maksimiulottuma eteen on noin 2,8 m, ylös 2,5 m ja alas 2,3 m. Puomiston kokonaiskäntymäkulma on 130°.



KUVA 2. Kaivuulaite

4 SUUNNITTELU

4.1 Yleisperiaatteet

Tuotteen suunnittelu sisältää paljon erilaisia sääntöjä ja muuttujia, jotka vaikuttavat lopputuloksen onnistumiseen. Säännöt ja muuttujat ovat jokseenkin tuotekohtaisia tuotteiden, käyttötarkoitusten ja ominaisuuksien mukaan. Yleisimpiä valmistussuunnittelun yleisperiaatteita ovat kuitenkin seuraavat:

- Vältä oikea- ja vasenkätisiä osia.
- Käytä hyväksi symmetriaa suunnittelussa.
- Käytä yleismallin kiinnittimiä.
- Suunnittele valmistettavuus standardoiduille koneille ja työkaluille.
- Vältä liian tiukkoja toleranssivaatimuksia.
- Käytä materiaaleissa standardimittoja.
- Pyri suunnittelemaan tuotteen koneistus yhdellä asetuksella.
- Valitse tuotteen elinkaarelle ja ominaisuuksille optimaalisin materiaali.

Suunniteltaessa erilaisia tuotteita joudutaan yleensä tekemään kompromisseja eri periaatteiden välillä ja nostamaan jokin ominaisuus tai vaatimus tuotteen käyttötarkoituksen, valmistuksen tai jonkin muun suhteen tärkeimmäksi tekijäksi.

4.2 Kääntönivelen suunnittelu

Suunnittelussa käytettiin työkaluna SolidWorks 2012 -ohjelmistoa. Kääntönivelen osuus suunnittelussa alkoi kaivuulaitteen perusgeometrian vaatimien nivel- ja tukipisteiden määrittämisellä. Pisteiden sijainti vaikuttaa puomiston ulottumaan sekä voimaan. Nivelpisteiden määrittämisessä oli huomioitava myös päätös käyttää vakiomitaisia ja -kokoisia hydraulisylintereitä.

4.3 Tyvipuomin nostosylinterin valinta

Tyvipuomin nostosylinterin alustava valinta tehtiin arvioimalla kaivuulaitteen kuormitus puomiston ollessa suorana (2,57 m). Kaivuulaitteen omapaino, kauha ja maaines kauhassa muodostivat kokonaiskuormaa arviolta noin 260 kg eli noin 2,55 kN. Tyvipuomin nostosylinterin kuormitus on puomi suorana noin 12,11 kN. Peruskoneen hydrauliiikan maksimipaine on 150 bar ja sylinterin hyötysuhde $\eta = 0,9$, joten sylinte-

rinhalkaisijaksi riittäisi 35 mm. Pelkkä nostovoima ei riitä, vaan voimaa vaaditaan myös kaivamiseen. Vertailukohteina olleissa, hieman isommissa koneissa kaivuuvarren voima liikkuu 8-10 kN:n välillä. (Tekniikan kaavasto 2008, 17, 93, 99.)

Kaivuuvarren vaadittavaksi voimaksi määriteltiin noin 5 kN, jonka perusteella laskettiin vaadittava sylinterin varren poikkipinta-ala. Laskujen perusteella valittiin sylinteriksi halkaisijaltaan 60/30 mm. Nostovoima kärjestä, puomisto ojennettuna on noin 8 kN. Maksimi kaivuuvarren voima kärjestä, puomisto ojennettuna on noin 5,9 kN. (Tekniikan kaavasto 2008, 17, 93, 99.)

4.4 Nivelpisteet ja korvakevälit

Kaivuulaitteen puomiston suunnittelun edetessä olivat kääntönivelen nivelpisteiden ja sylinterien kiinnityskohtien etäisyydet määritetty. Seuraavaksi suunniteltiin tyvipuomin nivelpisteen holkin vaatiman leveyden mukainen korvakeväli. Korvakevälin mitoituksen määrää tyviholkin leveys, jonka mitta muodostuu tyvipuomin ja sen vahvikkeiden yhteisleveydestä hitsien kera. Tyvipuomin nostosylinterikorvakkeen korvakevälin mitoitus jätettiin tässä vaiheessa osittain avoimeksi, huomioiden mitoituksen vaikutus valmistettavuuteen ja lujuuteen.

4.5 Käännön geometria

Suunnittelussa oli vuorossa kääntönivelen käännön geometria sekä saavutettava kääntövoima ja nopeus eri asennoissa. Käännön tapahtuessa suoraan sylinterillä ilman hammastankoa tai muuta vastaavaa voimanvälitystä, muuttuu sylinterin vipuvoima oleellisesti puomiston ollessa eri asennoissa. Käännön vaatimaa voimaa arvioitiin kaivuulaitteen ollessa keskiasennossa, puomisto ojennettuna kallellaan noin 30°. Sylinterin tulisi tällöin jaksaa kääntää puomistoa kumpaankin suuntaan. Laskuista saatujen tulosten perusteella sylinterikooksi valittiin 60/25 mm. Suurin käännön vääntömomentti ojennetulla puomilla on noin 2,7 kN ja pienin noin 2,3 kN. (Tekniikan kaavasto 2008, 17, 93, 99)

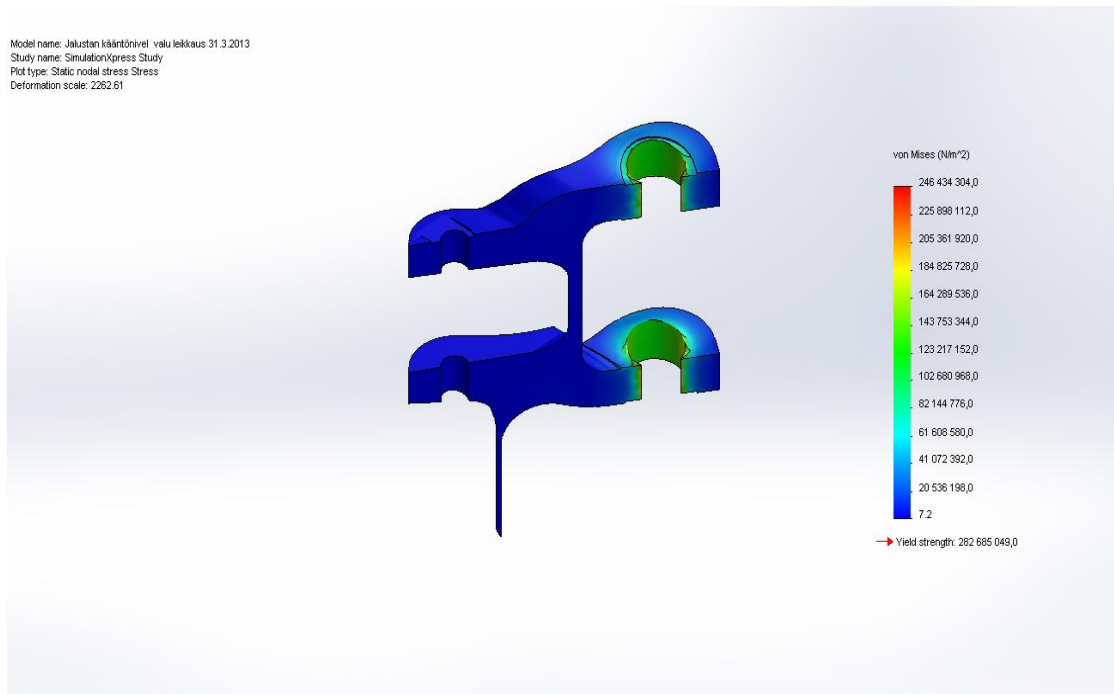
4.6 Käännön korvakkeet

Käännön nivelpisteen ja sylinterin määrittelyn jälkeen määritettiin käännön korvakkeille riittävä poikkileikkaus ja alustava muoto laskemalla suurin taivutusjännitys, jonka valittu ohjaussylinterin voima aiheuttaa. Sallittuina materiaalin jännitysarvoina pidettiin alustavasti S355 teräslaadun arvoja. Käännön minimi korvakeväli muodostui käännön sylinterin varren vahvuudesta, lisättynä 5 mm:n välyksellä. (Tekniikan kaavasto 2008, 17, 93, 139, 140.)

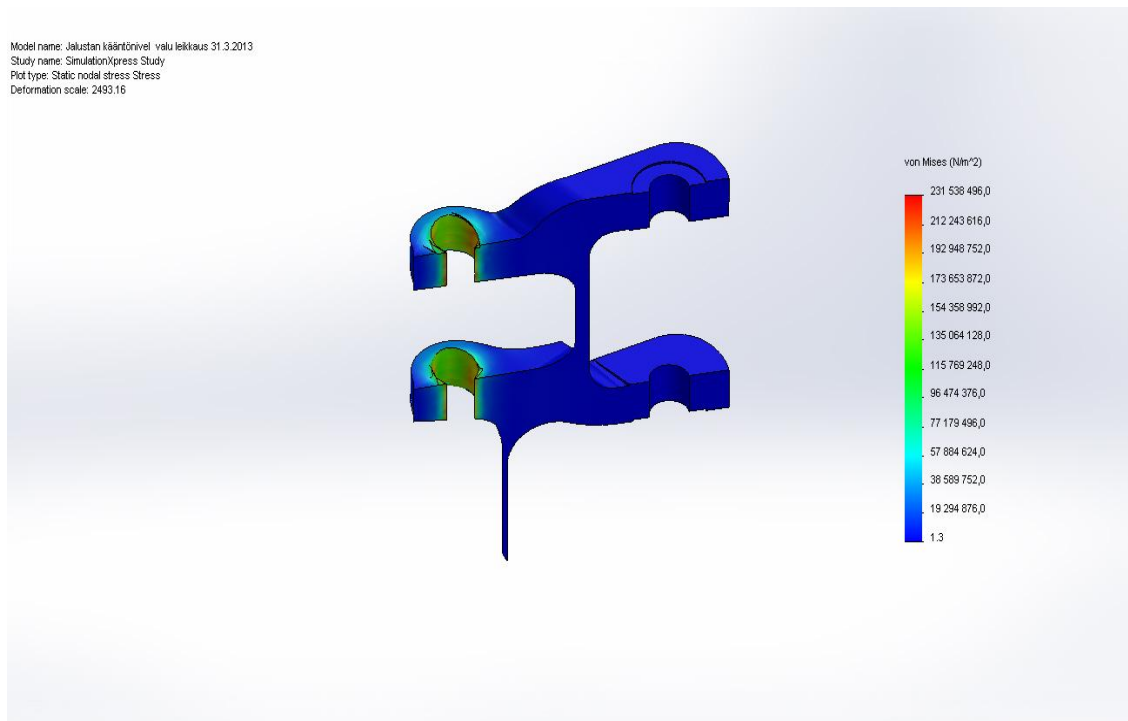
Tässä vaiheessa oli kääntöniveleen jo alustavasti hahmoteltu perusmuotoja ja ainevahvuuksia. Määrityksessä otettiin huomioon kääntönivelpisteen pystykorvakevälin perusgeometrian vaatima nivelen kokonaiskorkeus sekä trukkisovitteen aukon koko. Peruskoneen kiinnityspintana toimivaan trukkisovitteeseen suunniteltiin samalla kiinnityslevy, johon kääntönivel on nivelöity pystysuunnassa.

4.7 Kuormitussimulaatio

Kaivuulaitteen suunnitellun kuormitettavuuden perusteella määritettiin peruskuormitussuunnat ja arvot, joiden perusteella SolidWorksin SimulationXpress-työkalulla simuloitiin nivelen yläkorvakeeseen (kuva 3) ja alakorvakeeseen (kuva 4) kohdistuvaa kuormaa. Mitoitusperiaatteena käytettiin mitoitusta väsymisrajaan asti nelinkertaisella varmuudella, jolloin nivelen kestoikä muodostuu äärettömän pitkäksi. Nivelen ainevahvuuksille ja muodoille haettiin rajoja mallintamalla ja simuloimalla useita erilaisia vaihtoehtoja.



KUVA 3. Yläkorvakkeen kuormitussimulaatio



KUVA 4. Alakorvakkeen kuormitussimulaatio

4.8 Materiaalivalinta

Perusgeometrian ja kuormitusten määritysten valmistuttua alkoi pohdinta sopiviksi materiaalivaihtoehdoiksi. Lähtökohtana oli välttää erikoislujia materiaaleja sekä erikoistyömenetelmiä kustannusten pitämiseksi maltillisina. Alustavat materiaalivaihtoehdot jo kuormituslaskuissa olivat EN-GJS-500–14 (Componenta) sekä Ruukki Laser 355 MC (Ruukki), joiden lujuudelliset ominaisuudet on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. Materiaalit ja ominaisuudet (Sami Mähönen 2013)

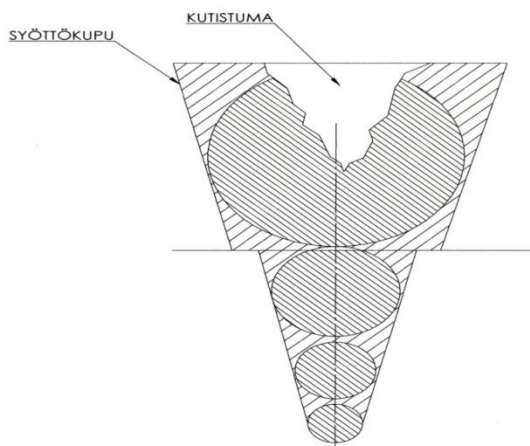
Materiaali	Murtolujuus R_m MPa N/mm ²	Myötölujuus R_{eH} *Venymäraja $R_{p0,2}$ N/mm ²	Murto- venymä %
Ruukki Laser 355 MC	430–530	355	20
EN-GJS-500–14	500	*400	14

5 VALETTU RAKENNE

Yleisesti monimutkaiset teräsrakenneosat valmistetaan erilaisista metalliseoksista valamalla. Valamalla saavutetaan yleensä rakenne, jossa ei ole juurikaan sisäisiä jännityksiä tai liitosvirheitä eri muotojen välillä. Tuotteen valmistaminen valamalla vaatii kuitenkin huomioimista jo valmistussuunnittelun alkuvaiheessa. Valamalla valmistettavaan tuotteeseen suunnitteluvirheiden korjaaminen tai muutosten tekeminen on kokonaisuutena yleensä hankalampaa kuin esimerkiksi hitsaamalla, koneistamalla tai särmäämällä valmistettavan tuotteen.

5.1 Suunnittelu

Valamalla valmistettavan kappaleen suunnittelussa on huomioitava sen valmistettavuus. Kappaleesta voi suunnitella hyvinkin monimutkaisen ottaen huomioon, että sulan metallin jähmettymisen tulisi alkaa syöttökuvusta kauimpana olevasta kohdasta ja pystyä etenemään kohti syöttökupua. Metallin kutistuminen jähmettyessään, jolloin syöttökupua luovuttaa sulaa metallia aina täyttyneen muotin jähmettymiseen saakka. Kyseessä on suunnatun jähmettymisen periaate, jossa valetun rakenteen muodot ja vahvuudet pyritään suunnittelemaan siten, että valetun seinämän koko kasvaa lähestyttäessä syöttökupua. Suunnittelussa voidaan käyttää esimerkiksi Heuvers'n ympyrämenetelmää (kuva 5), jossa kappaleen poikkileikkaukseen mallinnetaan ympyröitä, joiden tulee kasvaa syöttökupua kohti. (Valuatlas.)



KUVA 5. Heuvers'n periaate

Ainevahvuuksien suuret paikalliset vaihtelut rakenteessa aiheuttavat myös riskejä valun onnistumiselle. Suuri ainekeskittymä voi toimia tavallaan syöttökupuna viereiselle ohuemmalle ainevahvuusalueelle, joka jähmettyessään "imee" sulaa metallia ainekeskittymästä. Suuremman ainevahvuuden alueella on riski huokosiin, jos korvaavaa sulaa ei saada syötettyä tilalle. (Valuatlas.)

Sulan metallin kutistuminen aiheuttaa myös huomioitavaa mitoitusten suunnittelussa, koska valuraudalla se voi olla 1 % ja valuteräksillä jopa liki 3 %. Valuraudan kutistuma on kuitenkin yleisesti pienempi kuin muiden metallien, koska valuraudassa grafiitti erkaantuu metallin ollessa vielä sulana. Erkaantuneena grafiitti ottaa monta kertaa suuremman tilan kuin rautaan liunneena ja kompensoi näin rautaisen perusaineen kutistuman. Perusrakennetta mallinnettaessa on huomioitava riittävät työvarat. (Valuatlas.)

5.2 Muodot

Valamalla valmistettavan kappaleen suunnittelussa on huomioitava myös mm. jakopinta, jakotaso, päästöt, ainevahvuudet, työvarat sekä pyöritykset. Jakopinta tarkoittaa pintaa, josta kappale "halkaistaan" vähintään kahteen osaan. Jakopintojen suunnittelu jo mallinnusvaiheessa on oleellista, koska jakopinta vaikuttaa kappaleen lopulliseen muotoon. Suora jakopinta on yleensä edullisin vaihtoehto valmistaa. Jakotason valinnassa kannattaa yleensä hyödyntää mallin luonnollisia päästömuotoja eli kiilavia pintoja. Jakotasoksi kannattaa pyrkiä valitsemaan pinta, jolla päästään mahdollisimman matalaan kehäkokoon. Jakotason tulisi olla suora mielellään yhdessä tasossa, jolloin yleensä vältetään irtokeernojen käytöltä. Keernat ovat mallin sisään muodostuvien onteloiden malleja, jotka rikotaan valamisen jälkeen. (Valuatlas.)

Pintojen päästömuodot ovat yksinkertaisimpia keinoja valumallin poistamiseksi muotista. Päästöpintojen sijasta voidaan käyttää myös moniosaisia purettavia malleja, jotka vaativat suuremman panostuksen jo mallin tekovaiheessa sekä myöhemmin muotin teossa. (Valuatlas.)

5.3 Valumenetelmät

Valumenetelmät jaetaan muotin käyttökertojen perusteella kerta- tai kestopuottimenetelmiin. Kertamuottimenetelmän kaavauksessa muotit valmistetaan esimerkiksi

muottihiekasta, keraamista tai kipsistä valumallien avulla. Muotit hajotetaan aina valun jälkeen. Moniosainen kertamuotti sisältää useita jakopintoja. Täyskaavattu kertamuotti ei sisällä jakopintoja. Kestomuottimenetelmässä muotit ovat yleensä terästä, keraamia tai grafiittia. Kestomuottien tyypillinen ominaisuus on niiden avattavuus, jotta valettu kappale saadaan pois muotista. (Valuatlas.)

5.4 Valumallit

Valumallit voivat olla joko luonnollisia malleja tai keernamalleja. Luonnollisen mallin tunnuspiirteitä ovat mm., että siinä ei ole keernoja ja se on identtinen valukappaleen kanssa lukuun ottamatta mittasuhdetta, joka on valussa tapahtuvan kutistuman verran suurempi. Keernamallit ovat yleensä mallin sisään muodostuvien onteloiden malleja, jotka rikotaan valamisen jälkeen. Yksittäisiä kappaleita valmistettaessa voidaan käyttää edullisia kertamalleja, joita valmistetaan esimerkiksi polystyreenivaahdosta työstämällä. Kertamallit soveltuvat myös sarjavalmistusten, monimutkaisten kappaleiden valmistukseen, jossa itse malli tai sen osa valmistetaan vaahdottamalla polystyreeniä muottiin. Kertamallia käyttämällä ei päästöpinnoja yleensä tarvitse huomioida, koska tällainen malli jätetään muottiin, jolloin se palaa pois sulan metallin tieltä. Kyseessä on niin sanottu täyskaavaus, jossa muotti koostuu yhdestä kehästä. (Valuatlas.)

5.5 Malli

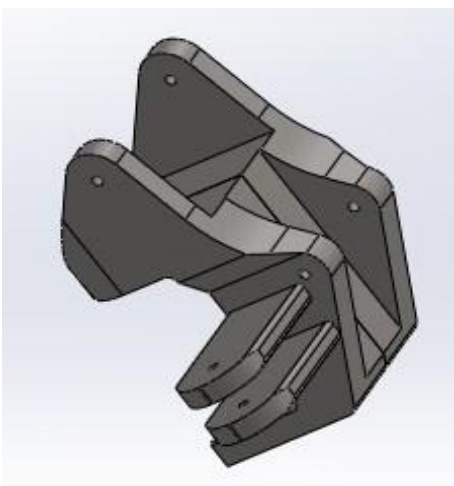
Kestomalli valmistetaan yleensä puusta, muovista tai vastaavasta helposti muokattavasta mutta lujasta materiaalista. Mallin materiaaliksi on kehitelty myös erilaisia muovi-puuseoksia, joiden muokattavuus, rakenne ja pinnanlaatu ovat perinteistä puuta parempia. Valumalleja valmistetaan niin käsityönä kuin koneellisestikin. Viimeisimpänä innovaationa lienee 3D-skannaus, jolla saadaan lyhyessä ajassa edullisesti viimeistelyltään valmis malli. Valumallissa on tärkeää sen muotojen säilyvyys ympäröivän kaavaushiekan paineessa. Mallin päästöpinnojen täytyy toimia hiekan puristuksessa, koska muuten mallin poistaminen muotista ehjänä ei onnistu. Mallia suunniteltaessa myös irto-osien liukutasojen ja hellitysten suunta on huomioitava. (Valuatlas.)

5.6 Valunivelen materiaali

Kääntönivelen materiaaliksi valittiin käyttötarkoitukseen erittäin sovelias liuoslujitettu ferriittinen EN-GJS-500–14 -pallografiittivalurautalaatu. Liuoslujitettujen GJS-450–18, GJS-500–14 ja GJS 600–10 -laatujen rautojen mikrorakenne on valutilassa täysin ferriittinen. Uudet rautalajit ovat runsaammin piillä seostettuja kuparin ja mangaanin sijaan. Liuoslujitetut laadut ovat erittäin sitkeitä, väsymiskestäviä ja hyvin koneistettavia sekä myös hitsattavissa. Yksifaasisen mikrorakenteen ansiosta esimerkiksi kovuus pystytään vakioimaan. Myötö- ja murtolujuussuhde on korkeampi kuin ferriittis-perliittisten GJS-laatujen. Liuoslujitetuilla laaduilla ei ole pinnankarkenevuutta ja niiden kulumiskestävyys on hieman pienempi verrattuna perinteisiin GJS-laatuihin. Käyttökohteina ovat erilaiset koneistettavat koneenosat kuten laakeripukit, pyörännavat ja erilaiset kotelot. (Rousku, 2010.)

5.7 Suunnittelu ja mallinnus

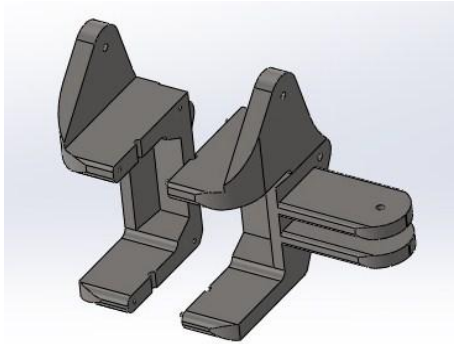
Kääntönivelen suunnittelussa ja mallinnuksessa kasvatettiin perusgeometrian ympärille perusmuotoja (kuva 6), jotka vastaisivat nivelpisteiltään ja otsapinnoiltaan puomistoon, sylintereihin ja kiinnityslevyyn.



KUVA 6. Perusmuoto

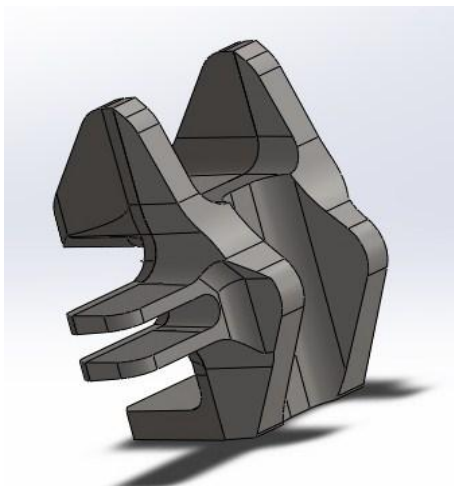
Seinäma- ja ainevahvuuksia asetettiin osittain liitospintojen rajoitteiden ja kokemuksen perusteella. Perusulkomuodon valmistuttua 3D-mallille tehtiin kuormitussimulaatioita, joiden perusteella varmistettiin ainevahvuudet. Perusmuotoisen nivelen jako-

pintaa hahmoteltiin aluksi pitkittäissuuntaiseksi (kuva 7), mutta se todettiin kaavauksen kannalta epäedulliseksi.



KUVA 7. Perusmuoto pitkittäisellä jakopinnalla

Jakopinta käännettiin poikittain pystysuunnassa ja perusmuotoon lisättiin pyöristyksiä. Valmistuneeseen perusgeometriaan ja ulkomuotoon lisättiin valukappaleelle tunnusomaisia piirteitä ja edullisia muotoja, jotka parantavat kokonaislujuutta eri muotojen liittyessä juohevasti toisiinsa (kuva 8).

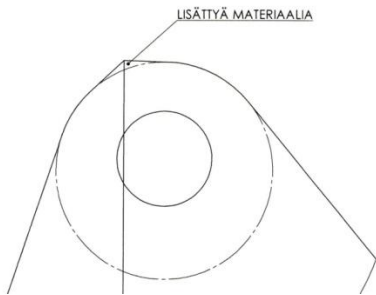


KUVA 8. Lisättyä muotoa ja poikittainen jakopinta

Ainevahvuuksia suunniteltiin myös valettavuuden ehdoilla. Kääntönivelessä paino ei ole kriittisin tekijä, joten rakennetta suunniteltaessa voitiin käyttää suunnatun jähmetymisen periaatetta eli Heuvers'n ympyrämenetelmää (kuva 5). Menetelmässä rakenne supistuu etäännyessä syöttökuvusta, jolloin sula metalli alkaa jähmettyä etäisimmästä pisteestä saaden lisää materiaalia jähmettyessään kutistuvaan alueeseen.

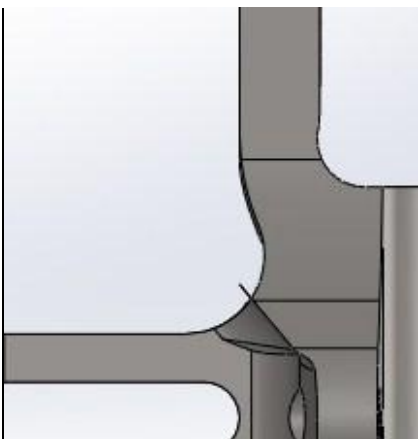
Kääntönivelen keskiosasta muodostettiin noin 15 mm alkuperäistä paksumpi rakenne parantamaan valun kokonaislaatua ja muodostamaan mahdollisen aineskeskittymän vähemmän kriittiselle alueelle.

Jakopinnan edullisinta sijaintia tarkasteltiin jo perusmuotoja laadittaessa ja samalla mietittiin mallin valmistusta. Mallin materiaaliksi oli alustavasti suunniteltu 15 mm:n vahvuista vaneria, joten jakopinnaksi tässä vaiheessa valittiin nivelen kääntöhaarukan sisäosan pystypinnan kohtisuora pinta 15 mm etäisyydeltä. Jakopinnan sijainnin takia kasvatettiin tyvipuomin nivelpisteen pyöreää ulkomuotoa (kuva 9) jakopinnasta poispäin supistuvaksi.



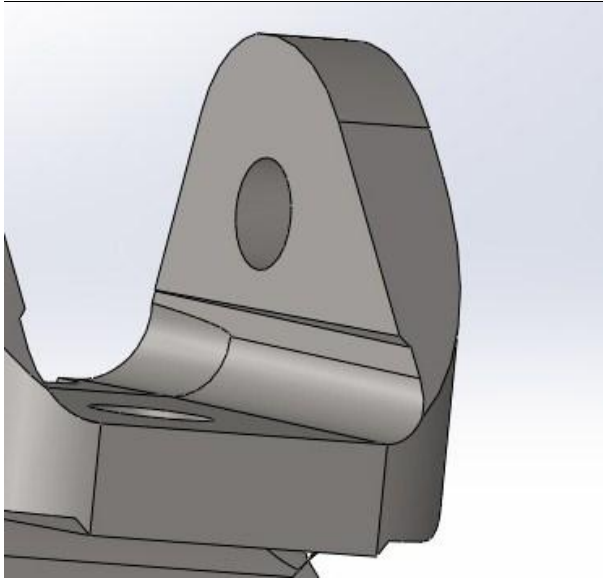
KUVA 9. Ulkopinnan kasvatus

Kääntöhaarukan pystypinta mallinnettiin suoraksi helpottamaan koneistuksen vaatimaa kiinnitystä ja perusasemointia. Pystypinta oli ainut kohtisuora pinta mihinkään koneistussuuntaan. Käännön sylinterikorvakkeen yläpuolelle mallinnettiin hoikennus (kuva 10). Hoikennuksella vähennettiin ainekeskittymää ja imuvirheen riskiä muotojen risteyskohdassa.

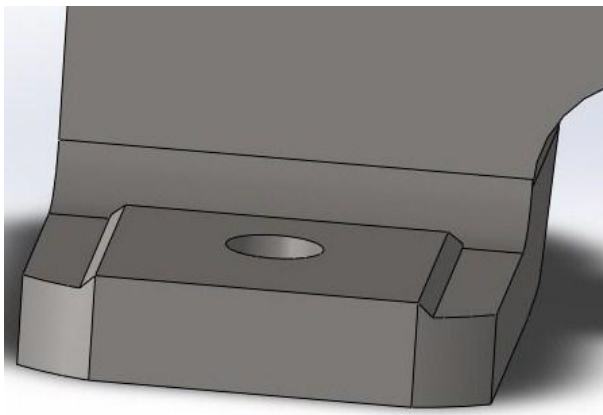


KUVA 10. Hoikennus profiilissa

Otsapintojen koneistusten vaatimat työvarat otettiin huomioon lisäämällä materiaalia mallintaen olakkeet tyvipuomin nivelpisteen koneistettaville sisäotsapinnoille (kuva 11) ja kääntöhaarukan koneistettaville sisäotsapinnoille (kuva 12). Olakkeiden ja perusmuotojen liitospinnat pyöristettiin ja kaikki pinnat mallinnettiin kiilaviksi.



KUVA 11. Tyvipuomin koneistettava otsapinta



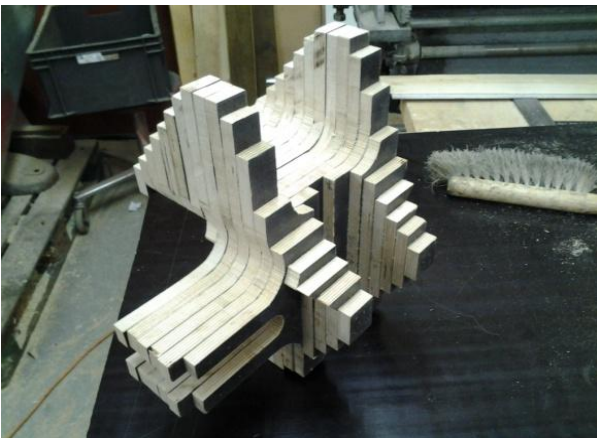
KUVA 12. Nivelhaarukan koneistettava otsapinta

5.8 Mallin valmistus

Kääntönivelen valumallin toteutusta suunniteltiin jo nivelen perusmallinnusvaiheessa. Tavoitteena oli valmistaa malli itse, joten käyttökelpoisin materiaalivalinta oli puu. Suunniteltaessa mallin valmistusta sekä jakopintaa huomattiin vanerin käyttökelpoisuus materiaalina. Optimaalinen jakopinta muodostui 15 mm:n etäisyydelle nivelen sisäpinnasta, joten käyttämällä samanvahvuista vaneria, voitiin mallin osien lukumäärä pitää minimissä eli kahdessa.

SolidWorks-ohjelmalla laadittiin nivelestä paperikuvia, joista nivelen muoto saatiin jäljennettyä vanerille. Mallin muotojen siirtämiseksi materiaaliin nivelen 3D-mallista otettiin leikkaukset jakotasosta alkaen 15 mm välein. Leikkauskuvat tulostettiin A3-paperille luonnollisessa koossa (1:1) ja jäljennettiin piirtämällä ne filmivanerille. Osat numeroitiin, minkä jälkeen ne leikattiin vanesahalla erillisiksi paloiksi. Mallin osien jakopinnan sisä- ja ulkopuolen ensimmäiset levyosat liitettiin ruuveilla yhteen. Seuraavaksi levyihin porattiin kohdistustappien vaatimat tarkat reiät, minkä jälkeen levyt irrotettiin toisistaan. Mallinpuolikkaat koottiin erikseen ja osat kiinnitettiin toisiinsa liiman ja viimeistelynaulaimen avulla. Kokoonpanossa seurattiin mittapiirustuksen asetekulmien perusteella kerrosten asemointia edellisiin kerroksiin.

Kokoonpanovaiheessa mallinpuolikkaat olivat karkeita näköiskappaleita, joiden muodoissa oli porrastuksia 15 mm välein. Mallinpuolikkaat liitettiin yhteen (kuva 13) tilapäisesti ruuveilla ja kohdistustapeilla pintojen porrastusten hiomista sekä mittojen ja muotojen tarkastelua varten. Hiotun perusmallin (kuva 14) koneistettaviin otsapintoihin kiinnitettiin niiteillä ja liimalla vaneripalat (kuva 15).



KUVA 13. Mallin puolikkaat liitettynä (Sami Mähönen 2013)



KUVA 14. Puuvalmis perusmalli (Sami Mähönen 2013)



KUVA 15. Lisätyt otsapintojen palat (Sami Mähönen 2013)

Viimeistely suoritettiin kittaamalla 2k-polyesterikitillä kolot ja pyöristämällä vaneripalojen reunat, minkä jälkeen viimeistelyhionta suoritettiin karkeudella 240. Hiottu malli pintakäsiteltiin 2k-polyuretaanimaalilla käyttäen märkämaalausmenetelmää. Pintakäsittely suoritettiin hajotusilmaruiskulla ruiskuttaen useita ohuita kerroksia välihaihduttaen kerrosten välillä. Pintakäsittely malli (kuva 16) pinnoitettiin vielä ennen muottiin kaavausta siveltävällä alumiinipastalla, jonka avulla malli irtoaa muotista helpommin.



KUVA 16. Pintakäsitelty malli (Sami Mähönen 2013)

5.9 Kaavaus ja valaminen

Kääntöjalustan mallin kaavaus aloitettiin asettamalla mallin yläpuolikas teräslevylle lattiatasoon (kuva 17). Mallin ympärille asetettiin kaavauskehys ohjaustappien puolikkaiden, jakokanavan, kaatokanavan ja kaatoaltaan malli. Tämän jälkeen kehykseen alettiin laskea hiekkaa. Kaatokanavan mallin päälle sijoitettua kaatoaltaan mallia tuettiin käsin hiekanlaskun ajan.



KUVA 17. Mallin yläpuolikas teräslevyä vasten (Sami Mähönen 2013)

Hiekanlaskun yhteydessä kaasukanavien mallina toimineita teräsputkia pyöritettiin muodostaen ylöspäin aukeavaa kartiomaista kanavaa. Muottihiekkaa tiivistettiin hie-

kanlaskun yhteydessä ja muotin yläpinta oikaistiin latalla. Yläpuolikkaan mallin muotin kuivuttua noin puoli tuntia, kaavauskehys nostettiin nosturilla ilmaan ja käännettiin ylösalaisin lattialle. Käännettyyn kaavauskehukseen lisättiin toinen kehys päälle, jonka jälkeen asetettiin mallin alapuolikas tapeilla kohdistaan mallin yläpuolikkaaseen. Seuraavaksi asetettiin alamuotin ohjaustappien mallien puolikkaat kohdistaan ylämuotin ohjaustappien malleihin (kuva 18) ja muotin yläpinta oikaistiin latalla. Kaavauskehys jätettiin kovettumaan noin tunniksi, jonka jälkeen kehykset erotettiin toisistaan nosturilla ja mallien puolikkaat poistettiin muoteista. (kuva 19).

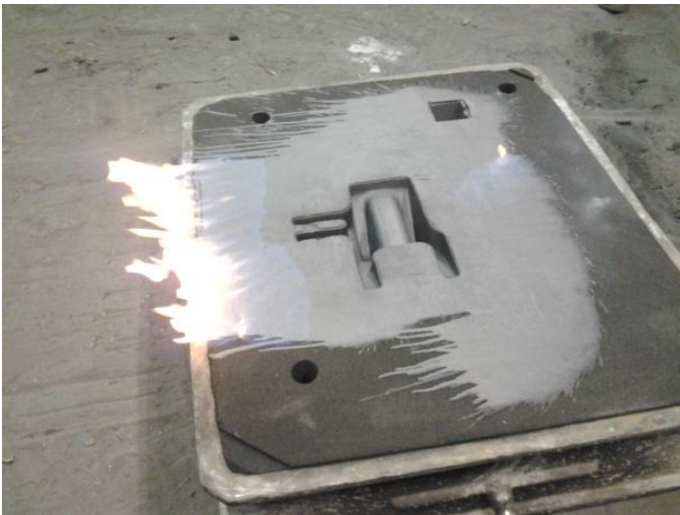


KUVA 18. Mallin alapuolikkaan kaavaus (Sami Mähönen 2013)

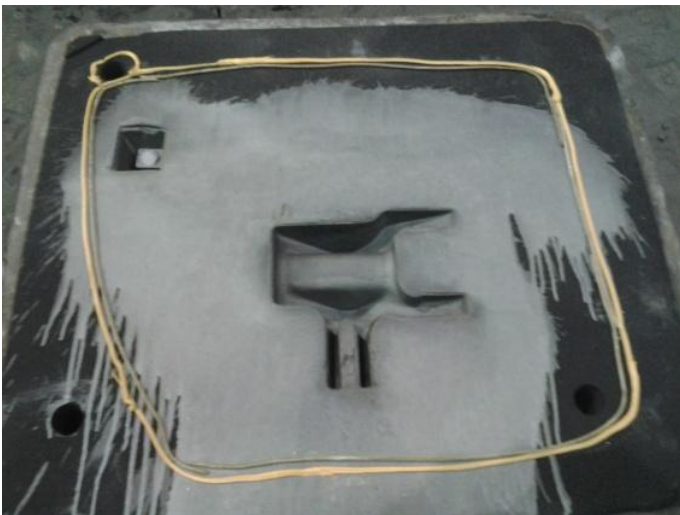


KUVA 19. Mallinpuolikkaan poistoa (Sami Mähönen 2013)

Muotteihin työstettiin sisäänmenokanavat, jonka jälkeen muottien sisäpinnat peitostettiin tulenkestävällä aineella estämään sulan metallin tunkeutumista hiekkaan ja parantamaan valoksen pinnanlaatua. Peitostus suoritettiin sivelemällä tulenkestävää nestemäistä ainetta ja kuivaamalla peitostusaine ensin paineilmalla ja sitten tulella (kuva 20). Peitostettuihin mallinpuolikkaisiin asennettiin varsinaiset ohjausholkit ja jakopintojen väliin tahnamainen tiivistenauha sekä keernaliima. Muotin kaatokanavaan asetettiin ympypäyspala, joka on sulan valuraudan palloutumista edistävää ainetta sisältävä kappale (kuva 21). Valmiit mallinpuolikkaat yhdistettiin ja lukittiin salvoilla. Valmis malli kuljetettiin nosturilla valupaikalle, jossa se asetoitiin vaakatasoon ja lisättiin sen päälle noin 1200 kg paino.



KUVA 20. Peitostusaine on kuivamassa (Sami Mähönen 2013)



KUVA 21. Mallinpuolikkaan tiivistys ja lisääaine (Sami Mähönen 2013)

Valaminen aloitettiin esivalmisteluilla, johon liittyi mm. sulan metallin lämpötilan tarkkailu ja kuonan poisto (kuva 22). Kuonaa poistettiin senkasta lisäämällä ensin kuonansidontapulveria ja kaapimalla sitten sulan pinnalle muodostunutta kuonaa pois. Lämpötilanmittaus suoritettiin senkasta vielä välittömästi ennen sulan kaatoa.



KUVA 22. Lämpötilan tarkkailua (Sami Mähönen 2013)

Kaatokanavan suulle asetettiin ohutlevypalanen juuri ennen sulan kaatoa (kuva 23). Tämä tehtiin siksi, että muotissa mahdollisesti ollut alkoholipohjainen peitosteen ohennejäämä pääsisi haihtumaan. Ohutlevypalasen tehtävänä oli tukkia kaatoaukkoa hetken, kunnes kaatoallas täyttyy. Kaatoaltaan täytyminen ennen sulan virtaamista muottiin minimoi senkasta vielä kaatohetkellä irtoavien kuona-aineiden joutumista muotin sisään, koska kuona-aineet jäävät kaatoaltaan pinnalle.



KUVA 23. Kaatokanavan sulkeminen (Sami Mähönen 2013)

Sulan kaato suoritettiin kahden valajan yhteistyöllä siten, että toinen ohjasi valusenkan korkeutta ja suuntaa nosturilla, jolloin toinen suoritti varsinaisen sulan kaatamisen muottiin säätämällä senkan kallistuskulmaa (kuva 24).



KUVA 24. Sulan kaato (Sami Mähönen 2013)

Jähmettynyt valos poistettiin muotista noin kahdeksan tunnin jälkeen valamisesta. Muotin purku alkoi irrottamalla muottikehät toisistaan nosturilla, jonka jälkeen ylemmän kehään jäänyt valos irrotettiin muotista painamalla trukinpiikit muottihiekan läpi rikkoen muotin. (kuva 25).



KUVA 25. Muotin purku (Sami Mähönen 2013)

Tämän jälkeen muotista jäljelle jäänyt osa rikottiin valoksen ympäriltä ja esiin tulleesta valoksesta katkaistiin lyömällä kaasukanavat sekä sisäänmenokanavat, joissa oli kiinni jakokanava, kaatokanava ja kaatoallas (kuva 26). Valos asetettiin sinkokaappiin puhdistettavaksi muottihiekasta ja pienimmistä purseista, jonka jälkeen siitä työstettiin hiomakoneella pois purseet sekä kanavistojen jättämät muotopoikkeamat.



KUVA 26. Irrotettu valos (Sami Mähönen 2013)

5.10 Koneistus

Kääntöjalan koneistusta varten suunniteltiin ja valmistettiin kiinnitin (kuva 27), joka mahdollisti kaikkien reikälinjojen koneistuksen yhdellä kiinnityksellä. Kiinnityspinnaksi valittiin nivelen kääntöhaarukan sisäosan pystypinta, joka oli kohtisuorapinta useaan koneistussuuntaan. Kiinnittimen suunnittelussa haasteeksi muodostui kappaleen epätasainen valupinta. Kiinnittimeen suunniteltiin neljä pistemäistä kiinnityspintaa, joista kaikki olivat säädettäviä. Tämä mahdollisti kappaleen kohtisuoran asemoinnin säädön kiinnittimeen valupinnan mukaan. Kappaleen kiinnitys kiinnittimeen suunniteltiin lestirautatyypisästi ruuvikiinnitteiseksi.



KUVA 27. Koneistuskiinnitin (Sami Mähönen 2013)

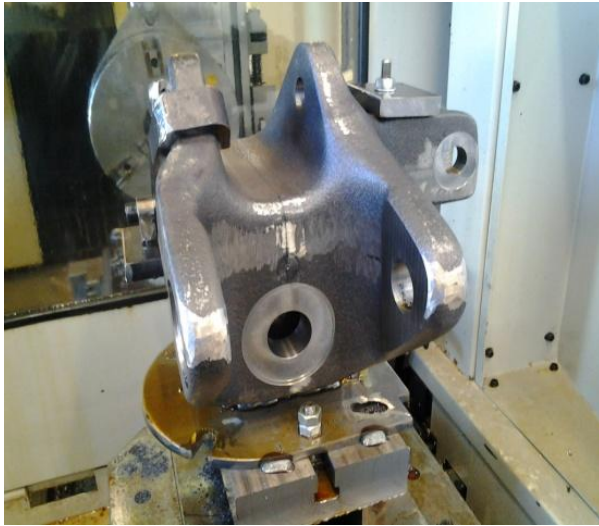
Koneistus suoritettiin Mitsui Seiki HS3F -merkkisellä vaakakaraisella työstökeskuksella, jossa on kaksi 400 * 400 palettia. Paletti vaihdetaan manuaalisesti vapauttamalla paletin lukitus ja siirtämällä paletti kiinnitysalustaan. Kappaleen koneistusta varten kappale kiinnitettiin kiinnittimellä palettipöytään, joka kääntyy pysty akselinsa ympäri (kuva 28).



KUVA 28. Kiinnitin palettipöydässä (Sami Mähönen 2013)

Paletin käännön tarkkuus on yksi aste, joka riittää mahdollistamaan saman reikälinjan koneistuksen kappaletta kääntämällä. Ensimmäiseksi kappaleelle etsittiin porauslinja koneen akselin liikesuuntaiseksi. Tämän jälkeen koneistuskiinnittimen ruuvilukitus varmistettiin muutamilla lyhyillä kiinnityshitseillä ja määritettiin kappaleelle kääntökeskipiste sekä reikien suhde kääntöpisteeseen. Linjat ja kääntöpisteet määritettiin x-tasossa. Y-taso kappaleeseen määritettiin ennalta määritetystä nollatasosta. Määrittämissä käytettiin työstökoneen työkalupitimeen kiinnitettyä 3D-mittalaitetta.

Reikien koneistus aloitettiin poraustyökierrolla ja viimeisteltiin ympyräinterpolaatioliikkeillä, joiden askelpituus on noin kolme tuhannesosamillimetriä. Otsapinnat jysittiin poterojyrsinnällä porrastetusti. Rouhintakoneistukset tehtiin vaihtopalallisella varsijyrsimellä ja viimeistelytyökierrot ajettiin täyskovametallisella jysintapilla. Reikien mittatarkkuus oli noin kaksi sadasosamillimetriä ja pinnanlaatu hyvä (kuva 29). Rouhinnassa leikkuunopeudet olivat noin 180 m / min ja viimeistelyssä noin 120 m / min. Leikkuunesteenä käytettiin 5 % emulsiota.



KUVA 29. Nivel koneistettuna (Sami Mähönen 2013)

5.11 Pintakäsittely

Pallografiittivaluraudan korroosiokestävyys on hyvä, joten pintakäsittelyn ensisijainen tarkoitus on luoda viimeistely ja yhdenmukainen ulkonäkö kaivuulaitteelle. Valetun kappaleen pinta oli sinkopuhalluksen ja purseiden hionnan jälkeen sopivan karkea ja hilseetön pintakäsiteltäväksi. Kappale päätettiin kuitenkin koneistaa ennen pintakäsittelyä.

Koneistuksessa valun pinta altistuu rasvoille ja suoloille, jotka heikentävät pinnoitteen tarttumista metalliin. Pintakäsittely aloitetaan esikäsittelyllä, jossa rasvanpoistopesulla koneistuksessa ja muussa käsittelyssä muodostuneet epäpuhtaudet poistetaan. Pesty kappale suojataan koneistetuilta pinnoiltaan teipillä, minkä jälkeen pintakäsittely suoritetaan märkämaalausmenetelmällä. Nivel pintakäsitellään 2K-polyuretaanimaalilla, jossa on korroosionestopigmentejä. Välineinä pintakäsittelyssä käytetään hajotusilmaruiskua 1,5 mm suuttimella.

6 HITSATTU RAKENNE

Hitsatut rakenteet ovat yleisiä konesuunnittelussa. Hitsaamalla erilaisista levy- ja putkiosista saadaan aikaan monimutkaisia ja lujia rakenteita. Hitsaamalla valmistettavan rakenteen etuja ovat mm. tuotteen muutokset yksittäisiä komponentteja muuttamalla. Hitsatun rakenteen haittapuolia ovat erilaiset jännityskeskittymät sekä epäjatkuvuuskohdat. Hitsatun rakenteen muodoille asettaa rajoitteita esimerkiksi särmäykset.

6.1 Levyrakenteisen nivelen materiaali

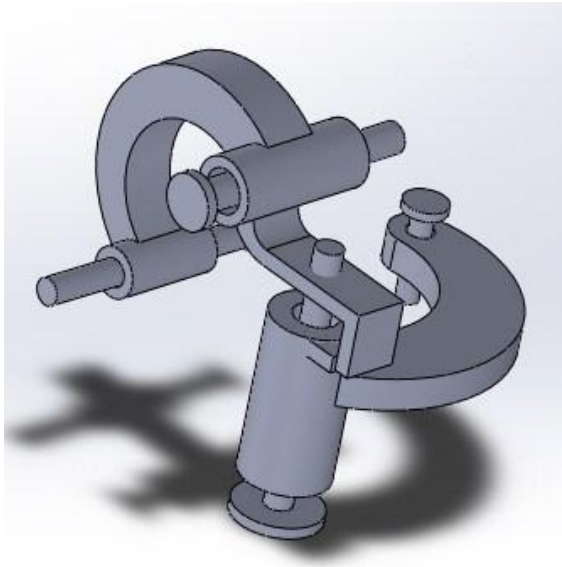
Levyrakenteisen kääntönivelen materiaaliksi valittiin Ruukin laser 355MC -laatu, koska kyseinen teräs on termomekaanisesti valssattua (M) ja kylmämuovattavaa (C) rakenneterästä. Laser-laadun teräkset ovat särmättävyydeltään erinomaisia. Särmäyksen minimi sisäsäde on pienempi kuin perinteisten rakenneterästen. Taivutuskulman palautuma on vähäistä pienen jäännösjännityksen ja tasaisen takaisinjouston ansiosta. Hitsattavuus on erinomainen kaikilla hitsausmenetelmillä ja lämmöntuonti-alue on erittäin laaja. Työlämpötilaa ei tarvitse nostaa tavallisissa konepajaolosuhteissa. (Ruukki.)

6.2 Suunnittelu

Suunnittelussa pyrittiin yksinkertaiseen levyrakenteeseen, joka on valmistettavissa yleisillä konepajatyövälineillä. Tarkoituksena oli välttää liian tarkkoja sovitteita sekä erikoistyökalujen käyttöä. Nivelen rakenteen tuli olla sellainen, että mahdollisten levyosien leikkausten mittaheitot saattoi kompensoida hyvällä konepajaosaamisella. Nivelen valmistuksen suunnittelussa tuli hyödyntää osien leikattuja esireikiä osien asemoimiseksi hitsausta varten. Hitsaussaumojen sijoitusten tuli mahdollistaa kokoonpanohitsaus pyörityslaitteessa tai vastaavassa hitsaamalla komponentit yhteen samassa jigissä. (Jigi on laite, jolla mm. kappaleita asemoidaan toisiinsa käyttäen jigien vastinpintoja.)

Tavoitteena oli saada aikaan yksinkertainen rakenne, jonka vaatima koneistus liittyisi vain reikien tekoon. Tällaisen rakenteen saavuttamiseksi tuli suunnitella myös jigijä (kuva 30), joilla rakenteesta saataisiin riittävän mittatarkka hitsaamalla. Nivelen reikälinjojen otsapintojen mittatarkkuusvaatimus suoruuden ja välimitan suhteen oli noin 1

mm, joka on saavutettavissa oikealla hitsausjärjestyksellä sekä jigien ja kiinnittimien käytöllä.



KUVA 30. Jigejä

6.3 Mallinnus

Kääntönivelen mallinnuksessa määritettiin ensin käytettävät levyvahvuudet ja eri osien materiaalit. Erilaisia vaihtoehtoja hahmoteltiin, mutta ongelmaksi muodostuivat särmäysten vaatimukset materiaalin ja särmäystyökalujen suhteen. Särmäysten väli- en minimi mittavaatimus oli huomattavasti suurempi kuin profiilista muodostuva sär- mäysten väli. Pystykäännön haarukan särmäys yhdestä kappaleesta ei mahdollista- nut haarukan välimitan mahdollista korjausta, joten se päätettiin tehdä kahdesta kap- paleesta. Särmäysten sijainnit ja kulmat rajoittivat tyvipuomin nostosylinterin korvak- keen otsapintojen toteutuksia. Rakenteeseen suunniteltiin nostosylinterin korvakolle ainesputkesta holkit, joiden otsapintojen tarkkuudessa konesahauslaatu oli riittävä.

6.4 Osavalmistus

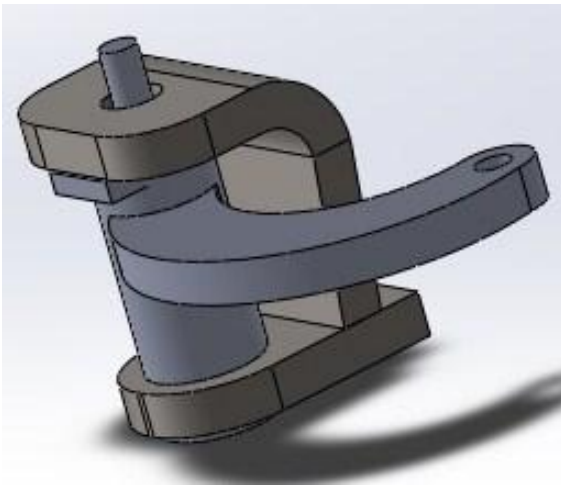
Kääntöniveltä ei levyosista konkreettisesti toteutettu, joten osavalmistuksen, hitsauk- sen, koneistuksen ja pintakäsittelyn osuus on esitetty suunniteltuna tuotoksena. Opinnäytetyö ei sisällä täydellisiä piirustuksia.

Kun levyosien mittatarkkuusvaatimukset olivat noin 2 mm, leikkeet suunniteltiin val- mistettavaksi polttoleikkaamalla. Yleistoleranssina käytettiin termisesti leikatun kap-

paleen työtapaikohtaista toleranssia ISO9013-342, jossa määritetään kohtisuoruus, kaltevuus, pinnan profiilisyvyyden keskiarvon alue ja nimellismittojen sallitut eromitat toleranssiluokittain (Pere 2009, 20–38). Leikkeet hiotaan ja särmätään ennen kokoonpanohitsausta.

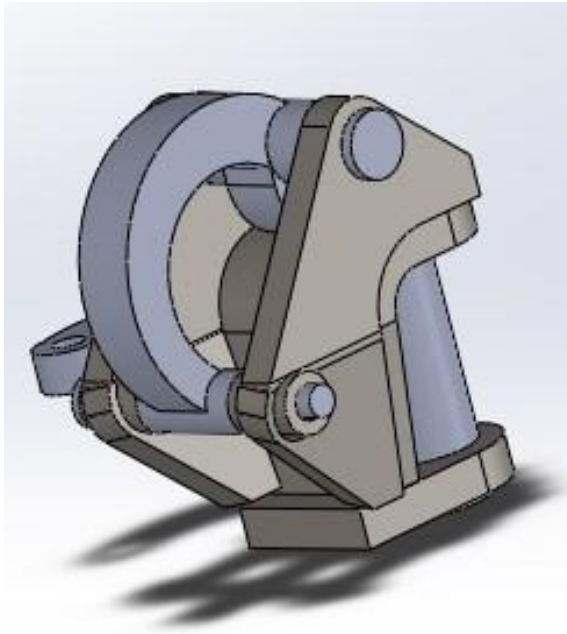
6.5 Hitsaus

Levyosien hitsaus aloitetaan kiinnittämällä pystykäännön haarukan levyosat jigiiin (kuva 32) ja sivusärmien samansuuntaisuus varmistetaan silmämääräisesti. Kääntönivelen pystykäännön otsapintojen suoruus ja välimitta asemoituu jigiholkkia vasten kiristämällä. Pystykäännön osat silloitetaan ja hitsataan ympäriinsä lopullisesti kiinni.



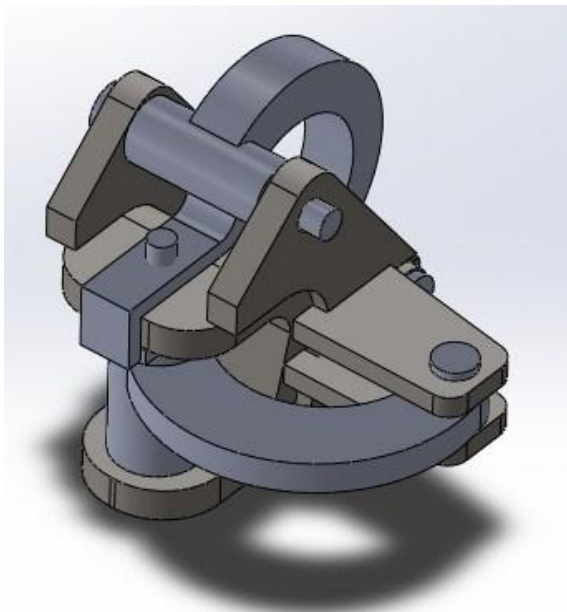
KUVA 32. Pystykäännön silloitus

Hitsattuun pystykäännön osaan asennetaan tyvipuomin korvakelevyt, jotka kiinnitetään tyvipuomin nivelpisteen reijistä jigiiin holkkiin. Korvakelevypaketin kohtisuoruus käännön haarukkaan varmistetaan kiristämällä jigiholkin ruuvi. Seuraavaksi asennetaan tyvipuomin nostosylinterin korvakkeen vaatimat ainesputket jigiiin. Jigiiin ruuvia kiristämällä tyvipuomin nostosylinteriholkit asemoituvat paikoilleen (kuva 33). Holkit silloitetaan ja hitsataan ympäri jigissä. Korvakelevypaketti silloitetaan ja hitsataan ympäriinsä.



KUVA 33. Korvakepaketin silloitus

Nivelen käännön sylinterikorvakkeet kiinnitetään jigiholkkiin esirei'istään ruuvilla linjaten korvakkeen päätysärmät nivelen sivun suuntaisesti (kuva 34). Jigit poistetaan vasta hitsausten jälkeen kappaleen jäähtyttyä.



KUVA 34. Korvakepaketin silloitus

6.6 Koneistus

Levyrakenteisen nivelen koneistusta varten voidaan käyttää soveltaen valunivelen koneistuskiinnitintä, jolloin nivel kiinnittyy kahdella kiristysruuvilla lestirautojen välityksellä kiinnittimen neljään pistemäiseen kiinnityspintaan. Kappale asemoidaan mitaamalla nivelen kääntöpiste pystysuunnassa ja vaakasuunnassa. Koneistuksessa voidaan käyttää pikaterästyökaluja. Vaihtoehtoisesti koneistus voidaan suorittaa myös työkalujyrsinkoneella tai vastaavalla kiinnittäen kappale lestirautoilla ja ruuveilla työpöytään. Kappale on asemoitava uudestaan reikälinjan vaihtuessa. Koneistus voidaan myös suorittaa poraus- ja kalvaustyömenetelmillä.

6.7 Pintakäsittely

Hitsaamalla valmistettava teräslevyrakenne on altis korroosiolle ja vaatii ennen pintakäsittelyä esikäsittelyn. Koneistetut reiät suojataan muovitulpilla, minkä jälkeen kappale suihkupuhdistetaan joko teräsrakeella tai karkealla kvartsihiekkalla puhdistusasteeseen Sa 2,5. Suihkupuhdistettu pinta pestään rasvanpoistopesulla esimerkiksi painepesulla. Pesty pinta kuivataan ja suojaukset tarkastetaan ennen maalausta. Nivel pintakäsitellään esimerkiksi märkämaalaustekniikalla ruiskuttaen hajotusilmaruiskulla. Maalaus suoritetaan vähintään kahteen kertaan haihduttaen kerrosten välillä.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja valmistaa toimiva kääntönivel omavalmisteiseen kaivuulaitteeseen. Työ painottui jo projektin varhaisessa vaiheessa valettavan rakenteen tuote- ja valmistussuunnitteluun, jossa onnistuttiin erinomaisesti. Johdonmukainen kokonaissuunnittelu helpotti valmistussuunnittelun sisältämää puisen valumallin suunnittelua sekä toteutusta. Huolellisesti valmistetulla valumallilla saatiin kaavattua laadukas valumuotti, johon valettiin kerralla onnistunut valos. Koneistuskiinnittimen suunnittelu ja valmistus tuotti yhdessä laadukkaan koneistuksen kanssa asennusvalmiin kääntönivelen.

Valmistusmenetelmien ja niihin liittyvien vaatimusten vertailussa onnistuttiin hyvin. Hitsatun rakenteen tuote- ja valmistussuunnittelu jäi teoria-asteelle, koska jo työn varhaisessa vaiheessa keskityttiin valuosan suunnitteluun ja toteutukseen. Hitsatun rakenteen levyosista laadittiin osakuvat ja hitsauskoonpanokuva. Nivelen valmistussuunnitteluun liittyen suunniteltiin myös hitsausjigit ja työvaiheistukset.

Tätä kirjoitettaessa kääntönivel on pintakäsittelyä vaille valmis ja odottaa kokoonpanoa valmisteilla olevaan kaivuulaitteeseen. Pintakäsittely tullaan suorittamaan vasta kootulle ja koekäytetylle kaivuulaitteelle.

Kaiken kaikkiaan projekti on antanut lisäkokemusta ja lisännyt kiinnostusta laajalaisempaan valmistussuunnitteluun. Työ on tuonut kokemusta sekä valutuotesuunnittelusta että hitsattavan levyrakenteen valmistusmenetelmiin liittyvistä mahdollisuuksista ja rajoitteista.

Konkreettisena tuotoksena valmistunut kääntönivel on laadukkaasti toteutettu prototyyppinen yksittäiskappale, joka todennäköisesti palvelee pienissä harrastepohjaisissa maanrakennushankkeissa todella pitkään.

LÄHTEET

Kubota [yrityksen www-sivu]. [viitattu 18.2.2013]. Saatavissa:

<http://kubota.com/product/L45/L45.aspx>

Ruukki Oyj [yrityksen www-sivu]. [viitattu 14.3.2013] Saatavissa:

[http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut %20- %20kasittelyohjeet/Ruukki-Kuumavalssatut-ter %C3%A4kset-S%C3%A4rm%C3%A4ysohje.ashx](http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kuumavalssatut%20-%20kasittelyohjeet/Ruukki-Kuumavalssatut-ter%C3%A4kset-S%C3%A4rm%C3%A4ysohje.ashx)

Valuatlas [www-sivu]. [viitattu 22.3.2013] Saatavissa:

http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/PN_valun suunnittelu_11.pdf

Yanmar [yrityksen www-sivu]. [viitattu 18.2.2013]. Saatavissa:

<http://www.yanmar.co.jp/en/construction/products/miniExcavator/vio17/dimensions.html>

Rousku, M. 2010. Valunkäytön seminaari [sähköpostiviesti]. [viitattu 11.4.2013] Saatavissa: <http://www.componenta.com/>

Tammertekniikka. *Tekniikan kaavasto* 2008. 6 uudistettu painos. Tampere: Amk-Kustannus Oy

Pere, A. 2009. Koneenpiirustus 1 & 2. Espoo: Kirpe Oy.