



JANI AALTONEN

Adapterin valmistusprosessi

KONETEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA
2021

Tekijä(t) Aaltonen, Jani	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2021
	Sivumäärä 38	Julkaisun kieli suomi
Julkaisun nimi Adapterin valmistusprosessi		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
<p>Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella toimiva valmistusprosessi, jota voidaan hyödyntää pistehitsausrobotin adapterin valmistuksessa Luvata Pori Oy:n konepajalla. Adapteri oli uusi tuote, jota ei ennen ollut valmistettu Luvata Pori Oy:n tuotannossa. Työn tarkoituksena oli saada mahdollisimman toimiva ja tehokas valmistusprosessi, jossa on tuotannon työntekijöiden keskuudessa yhtenäiset valmistusmenetelmät laadun varmistamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyössä käytiin läpi suunnittelun kannalta merkityksellisiä aiheita toimivan lopputuloksen saavuttamiseksi. Merkityksellisimpinä valmistusvaiheina voidaan nostaa adapterin taivuttimen ja NC-jyrsinkoneen aputyökalujen suunnittelu ja valmistaminen.</p> <p>Opinnäytetyössä esiteltiin valmistusprosessin työkalujen valmistukseen käytettävät menetelmät ja konekanta. Työssä esiteltiin kaikki työkalujen osat ja niiden valintaperusteet.</p> <p>Työssä esiteltiin myös lopputuotteen toimintaperiaate ja siihen käytettävän materiaalin valintaperusteet.</p> <p>Pääasiallisena suunnittelutyökaluna työkaluille käytettiin Solidworks- ohjelmistoa, jolla suunniteltiin adapterin valmistukseen tarvittavat työkalujen osat ja osakokoonpanot.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> pistehitsaus, adapteri, suunnittelu, valmistusprosessi, teollisuus</p>		

Author(s) Aaltonen, Jani	Type of Publication Bachelor's thesis	Date November 2021
	Number of pages 38	Language of publication: finnish
Title of publication Adapter manufacturing process		
Degree program Mechanical Engineering		
<p>The subject of this thesis was to design functional manufacturing process that can be utilized in the manufacture of resistance spot welding robot adapter at Luvata Pori Oy's machine shop. The adapter was a new product that had not previously been manufactured by Luvata Pori Oy. The purpose of the work was to obtain the most efficient and effective manufacturing process possible, with uniform manufacturing methods among production workers to ensure quality.</p> <p>The thesis covered topics relevant to the design in order to achieve a functional end result. The most significant manufacturing steps are the design and manufacture of adapter bender and NC milling machine auxiliary tools.</p> <p>The methods and machinery used in the manufacture of tools for the manufacturing process were presented in the thesis. All parts of the tools and their selection criteria were presented in the work.</p> <p>The work also presented the operating principle of the final product and the selection criteria of the material used for it.</p> <p>Solidworks software was used as the main design tool for the tools which designed the tool parts and component assemblies needed to manufacture the adapter.</p>		
<u>Key words</u> resistance spot welding, adapter, planning, manufacturing process, industry		

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 TOIMEKSIANTAJA	6
3 PISTEHITSAUS	7
3.1 Elektrodinpidin eli adapteri	8
4 MATERIAALIT	9
4.1 Adapterin materiaali	9
4.2 Taivutustyökalun materiaalit	10
4.2.1 Nuorrutusteräs 42CrMo4	11
4.2.2 Uddeholm Sverker 21	11
5 VALMISTUSMENETELMÄT	11
5.1 Jyrsintä	12
5.2 Tasohionta	12
5.3 Sorvaus	12
5.4 NC-työstö	12
5.5 Karkaisu	13
5.6 Erkautuskarkaisu	13
6 TAIVUTUSTYÖKALUN SUUNNITTELU JA VALMISTUS	14
6.1 Suunnittelu	14
6.2 Luvatan konepajalla valmistetut komponentit	18
6.2.1 Alamuotti	18
6.2.2 Ylämuotti	20
6.2.3 Yläpohja	21
6.2.4 Tuki	23
6.2.5 Tuki 2	25
6.3 Ostetut komponentit	26
6.4 Kokoonpano	26
6.5 Toiminta	28
7 ADAPTERIN VALMISTUS	29
7.1 NC-sorvaus	30
7.2 Taivutus	31
7.3 Erkautuskarkaisu	35
7.4 NC-jyrsintä ja viimeistely	35
8 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella Luvata Pori Oy:n konepajalle pistehitsausrobotin adapterin valmistukseen vaadittava valmistusprosessi. Valmistusprosessi käsittää adapterin valmistamiseen tarvittavien työkalujen suunnittelun, niiden valmistamiseen tarvittavien dokumenttien laatimisen ja oikean toimintamallin, kuinka valmistettuja työkaluja tulisi käyttää. Adapteri on tuotteena Luvata Porille uusi eikä vastaavaa tuotetta ole yrityksen tuotannossa ennen valmistettu. Näin ollen tuotteen valmistusprosessissa tarvittavista työkaluista ja niiden käytöstä ei yrityksellä myöskään ollut aiempaa kokemusta. Adapteri koneistetaan ja taivutetaan kupariseoksisesta lieeriöaihiosta, joka on Luvata Pori Oy:n valmistama ja joka toimitetaan sahattuna Luvata Pori Oy:n konepajalle.

Suunniteltavia työkaluja valmistusprosessiin ovat adapterin taivutintyökalu ja leuat NC – jyrskoneeseen adapterin jyrskintävaiheen kiinnitystä varten. Haasteina taivutuksessa ja koneistuksessa on kappaleen haasteellinen muoto ja kupariseokseksi kova adapterin materiaali.

Pyrkimyksenä työssä on tuottaa toimiva valmistusprosessi, jota työn tilaaja (Luvata Pori Oy) voi jatkossa hyödyntää adapterin tuotannossa. Tuotteen valmistusprosessi pyritään jalostamaan sellaiseksi, että tuotteen valmistaminen on mahdollisimman tehokas, turvallinen ja edullinen kuitenkin siten, että tuotteen laatu vastaa loppuasiakkaan vaatimaa tasoa.

Opinnäytetyössä käsitellään erilaisia adapterin ja sen valmistamiseen käytettävien työkalujen valmistamiseen liittyviä menetelmiä sekä työkalujen suunnittelussa käytössä ollutta 3D-mallinnusta.

2 TOIMEKSIANTAJA

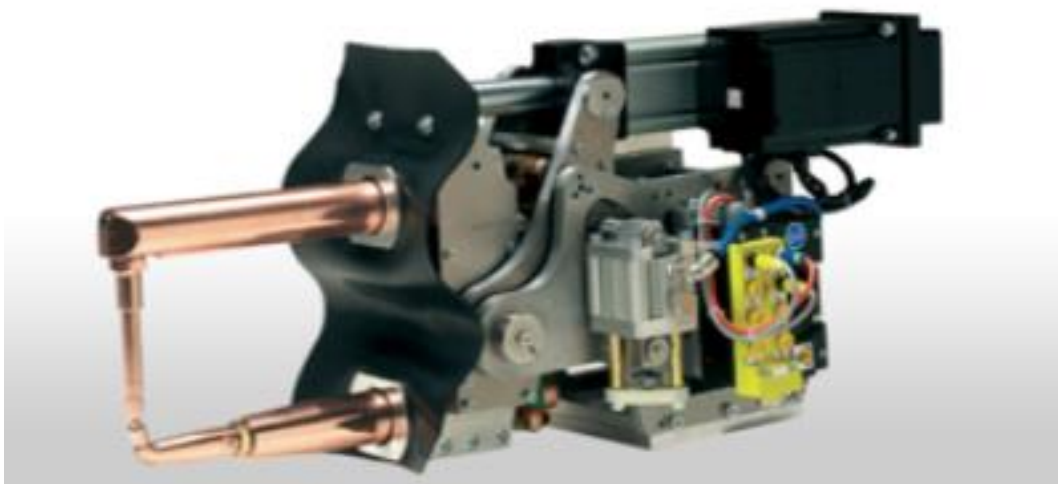
Työn toimeksiantaja on Luvata Pori Oy, joka on Porissa toimiva kuparituotteita valmistava yritys. Se on yksi Porin alueen suurimmista teollisuuden työnantajista työllistäten noin 350 henkilöä. Luvata Pori Oy valmistaa laajan valikoiman eri kuparituotteita maailmanlaajuisesti monille toimialoille. Yli 90 prosenttia sen 40 000 tonnin vuosittaisesta tuotannosta menee vientiin. Luvata on Mitsubishi Materials Corporationin konserniyhtiö. Luvatan pääkonttori sijaitsee Porissa. (Luvatan www-sivut 2021.)

Luvata Pori Oy:n tuotteisiin kuuluvat mm. hitsaustuotteet, johdinputket, putket, sup-
rajohteet, anodit, profiilit ja tangot. Luvata valmistaa tuotteita muun muassa uusiutu-
viin energioihin, terveydenhuoltoon, autoteollisuuteen ja kulutustuotteisiin. (Luvata
Pori Oy:n intranet 2021.)

3 PISTEHITSAUS

Pistehitsauksessa hitsaukseen tarvittava lämpö tuotetaan vastuslämpönä hitsattavaan kohtaan. Hitsattavat pinnat liitetään toisiinsa sähkövirran ylimenovastuksen avulla, joka kuumentaa hitsattavat pinnat osittain sulamislämpötilaan. Kun kappaleet puristetaan yhteen, tapahtuu osittain sulaneiden ja pehmenneiden kohtien yhteenliittyminen. Kupariseoksesta valmistetut elektrodit toimivat hitsauskoneen puristavina osina niiden hyvin sähköä ja lämpöä johtavien ominaisuuksien takia. Elektrodien väliin sijoitettuihin hitsattaviin kappaleisiin kohdistuu matalajännitteinen sähkövirta, joka tuottaa kappaleisiin lämpöä. Lämpötila ylittää kappaleiden sulamispisteen, kun sähkövirran voimakkuus, virta-aika ja puristusvoima on säädetty sopivaksi. Hitsauskoneen elektrodeja voidaan jäähdyttää vedellä. Jähmettyvä hitsi jäähtyy jälkipuristusaikana, jolloin hitsiin saavutetaan riittävä lujuus. Tämän jälkeen elektrodit irtoavat hitsattavista kappaleista ja hitsi on valmis. Pistehitsaus on nopea ja yleisesti vähän energiaa vievä hitsausmuoto ja siksi sitä käytetään paljon ohutlevyliitosten valmistuksessa. Tästä syystä pistehitsaus on esimerkiksi auto-, elektroniikka- ja kodinkoneteollisuudessa paljon käytetty hitsimuoto. Pistehitsausta käytetään myös paljon LVI- ja rakennuspeltialoilla. (Lepola, P. & Makkonen M. 2005, 255.)

Pistehitsauksessa käytettävä sähkövirta on verkkovirtaa, joka virtalähteessä muutetaan hitsaukseen sopivaksi matalajännitteiseksi sähkövirraksi. Virtalähteet voivat olla joko, muuntajakoneteollisia, josta saatavaa vaihtovirtaa ei ole muunnettu verkkovirrasta, tai invertterikoneteollisia, joista saatavaa tasavirtaa voi olla alempi kuin vaihtovirtakoneissa. Hitsattaessa hitsauskoneen (Kuva 1.) rakenne vaikuttaa käytettäviin parametreihin. Hitsausvirtaa alentavina tekijöinä toimivat suuri kitapinta-ala ja suuri ferriittisen kappaleen koko. Kitasyvyyden ja varsivälin mukaan lasketaan kitapinta-ala ($A = \text{kitasyvyys} \times \text{varsiväli}$). (Lepola, P. & Makkonen M. 2005, 257.)



Kuva 1. Pistehitsauskone. (Luvata Pori Oy:n aineistot 2021.)

3.1 Elektrodinpidin eli adapteri

Opinnäytetyön aiheena oleva adapteri (Kuva 2.) on hitsausrobotissa oleva varsi, johon elektrodi kiinnitetään. Adapteria voidaan kutsua myös elektrodinpitimeksi sen käyttötarkoituksen perusteella. Adapterin päätarkoitus hitsauskoneessa on johtaa sähkövirta ja lämpö sen kärjessä sijaitsevalle hitsauselektrodille. Tästä syystä myös elektrodinpidin on valmistettu kupariseoksesta. Lisäksi adapterin tarkoituksena on jäähdyttää hitsauselektrodi ja hitsi. Adapterin sisällä olevassa vesikanavassa virtaa hitsauksen aikana vettä, joka jäähdyttää elektrodimateriaalin. Elektrodin otsapinta puolestaan jäähdyttää hitsattavien levyjen pintoja, jolloin hitsisulan jäähmettyminen nopeutuu. (Lepola P. & Makkonen M. 2005, 258.)

Adaptoreita on olemassa malliltaan ja tyypiltään eri käyttötarkoitukseen sopivia. Yhteen hitsattavat kappaleet voivat sijaita monenlaisissa erilaisissa paikoissa, jolloin adapterin muoto määrittää sen pääsyn eri hitsauskohteisiin.



Kuva 2. Pistehitsauskoneen adapteri. (Luvata Pori Oy:n aineistot 2021.)

4 MATERIAALIT

4.1 Adapterin materiaali

Adapterin materiaalina on CuNiSiCr eli Kova® seos, joka on valmistettu kuparista, nikkelistä, piistä ja kromista. Kova on berylliumvapaa saostuva seosmetalli, jolla on keskikorkea sähkön- ja lämmönjohtavuusominaisuudet (Kuva 3.). Sitä on helppo työstää ja muotoilla ja kovuuden takia sillä on pitkäaikainen käyttöikä. (Luvatan www-sivut 2021.)

KOVA properties

Products made from bar

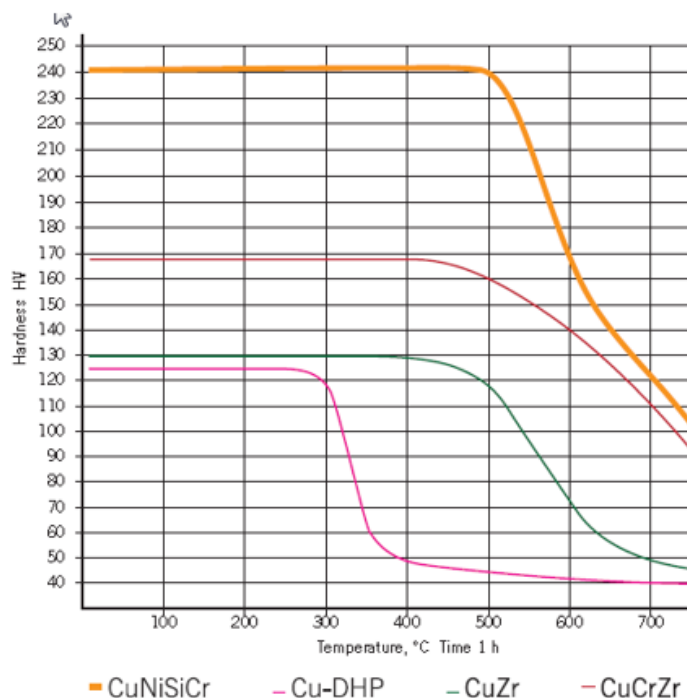
Diameter range: 16-70mm

Hardness:

- HRB >95 HV > 240,

Electrical conductivity:

- 39-40% IACS



Kuva 3. Taulukko kupariseoksien ominaisuuksista. (Luvata Pori Oy:n aineistot 2021.)

Kova® seos valikoitui adapterin materiaaliksi juuri sen sähkönjohtokyvyn ja kovuuden takia. Kovuus on ominaisuutena hyödyllinen, kun adapteria käytetään sen päähän asennettävien vaihdettavien elektrodien kanssa. Adapterin ei ole tarkoitus kulua käytettäessä, vaan sen on tarkoitus kestää ilman suurta kulumista käyttökohteessaan.

4.2 Taivutustyökalun materiaalit

Adapterin valmistuksessa käytettävien työkalujen materiaalit valittiin niiden käyttötarkoituksen mukaan. Työkalumateriaalit tuli olla iskunkestäviä ja kovaksi karkaistavia, jotta ne kestäisivät toistuvia työliikkeitä suurilla voimilla ilman kulumispintojen

vaurioitumista. Myös kappaleiden koneistettavuus ja työkalujen yhteensopivien osien mittatarkkuus tuli ottaa huomioon materiaalivalinnoissa.

4.2.1 Nuorrutusteräs 42CrMo4

Nuorrutusteräs 42CrMo4 on kromi- ja molybdeeniseosteinen nuorrutusteräs, joka soveltuu suurille ja keskikokoisille kappaleille. Nuorrutusteräs soveltuu lujuutta ja sitkeyttä vaativille kappaleille, joten sitä käytetään paljon koneenrakennuksessa, ajoneuvoteollisuudessa, akseleiden, karojen sekä hammas- ja ketjupyörien valmistuksessa. Tämä teräslaatu on nuorrutettu SFS-EN 10083-1 tai SEW 550 mukaisesti. 42CrMo4 myötöraja on $390 \text{ N/mm}^2 - 900 \text{ N/mm}^2$ materiaalin vahvuudesta riippuen. (STEN:n www-sivut 2021.)

4.2.2 Uddeholm Sverker 21

Runsasseosteinen Uddeholm Sverker 21 on työkaluteräs, jolla on hyvät kulumiskestävyysominaisuudet kylmätyösovelluksissa. Kyseinen teräs on myös helposti läpikarkeveva ja sillä on myös hyvä mitanpysyvyys karkaisussa. Tämän teräksen vahvuudet ovat sen mekaanisten ominaisuuksien takia työstömateriaalien puristus, ohuiden työstömateriaalien meisto sekä erilaiset tuki- ja kiinnityslevyt. Uddeholm Sverker 21 teräksen laatu on lähellä standardia W.No.1.2379 ja se on Premium luokan teräs. (Uddeholmin www-sivut 2021.)

5 VALMISTUSMENETELMÄT

Valmistusmenetelmät osiossa käsitellään kaikki Luvata Pori Oy:n konepajalla käytetyt menetelmät, jotka tarvittiin adapterin ja sen työkalujen valmistamiseen. Luvatan konepaja on erikoistunut työkalujen valmistamiseen, joten oli luontevaa teettää valmistus konepajan omissa tuotantotiloissa.

5.1 Jyrsintä

Lastuavaa työstömenetelmää, jossa pyörivä, tyypillisesti monihampainen työkalu irrottaa lastuja työstettävästä työkappaleesta kutsutaan jyrsinnäksi. Työstettävä kappale kiinnitetään esimerkiksi jyrsinkoneen pöytään, joka suorittaa työstöliikkeen. Jyrsinterä, joka on pyörivä työkalu, suorittaa lastuamisen. Eri jyrsinkonetyyppejä ovat polvimaiset, runkomalliset ja erikoisjyrsinkoneet. (Maaranen 2004, 173.)

5.2 Tasohionta

Työstömenetelmää, jossa tasaisia ja suoria pintoja hiotaan erilaisilla tasohiomakoneilla, sanotaan tasohionnaksi. Erilaiset suorat ja laattamaiset koneenosat ja karkaistut työvälaineet ovat tyypillisesti tasohiontaa vaativia kappaleita. Tasohiomakoneissa on edestakaisin liikkuva tai pyöreä pöytä ja niitä on kahta perustyyppiä: vaakakaraisia, joissa hiominen tapahtuu laikan kehäpinnalla, ja pystykaraisia, joissa hiominen tapahtuu laikan otsapinnalla. Tyypillisesti tasohionnassa on kyseessä viimeistelyhionta. Tällöin pyritään työstettävän kappaleen hyvään pinnanlaatuun ja mittatarkkuuteen. (Maaranen 2004, 78.)

5.3 Sorvaus

Sorvaaminen on lastuava työstömenetelmä, jossa valmistetuilla kappaleilla on tavallisesti pyöreä muotoinen poikkileikkaus. Työstettävät kappaleet ovat siis pyörähdyskappaleita. Sorvattaessa työstettävä kappale kiinnitetään sorvissa esim. istukkaan, jossa kappale saadaan pyörivään liikkeeseen. Työkaluna sorvissa on sorvin teräkelkkaan kiinnitetty terä, joka suorittaa asetus- ja syöttöliikkeen. Työkalu irrottaa lastut työstettävästä kappaleesta. (Maaranen 2004, 96.)

5.4 NC-työstö

Manuaali- ja NC- työstökoneen ero on ohjaustapa. Manuaalikoneen ohjaajana toimii ihminen ja NC- työstökoneetta ohjaa tietokone. NC-työstökone vaatii ohjelmoijan laatiman työstöohjelman ennen työstämistä. Työstöohjelma (NC-ohjelma) tallennetaan

työstökoneen muistiin, josta ohjelma voidaan lukea työkappaleen valmistamiseksi. NC-työstökoneessa toimintoja ohjaa ohjausyksikkö ja kaikki toiminnot toteutuvat automaattisesti ohjelman mukaisesti. Työstöohjelmaan määritetään mm. työstössä käytettävät työvälineet (terät), työstöarvot, työstöjärjestykset ja liikeradat. (Maaranen 2004, 249.)

5.5 Karkaisu

Karkaisun tarkoituksena on lujittaa terästä. Teräskappale karkaistaan kuumentamalla se ensin austeniittialueelle ja tämän jälkeen se jäähdytetään nopeasti upottamalla se joko veteen tai öljyyn. Jäähdytyksen jälkeen teräksestä tulee kova, mutta hauras. Kappaleen sitkeys palautetaan päästämällä eli hehkuttamalla sitä heti jäähdytyksen jälkeen. Karkaisun ideana on saada teräs martensiittiseen rakenteeseen. Jäähdytyksessä teräs muuttuu martensiitiksi eikä se ehdi hajaantua ferriitiksi. Hiiliteräksen karkaisulämpötila on yli 800 °C ja päästölämpötila 150...300. (Kivivuori 2019, 78.)

5.6 Erkautuskarkaisu

Erkautuskarkaisu perustuu dislokaatioiden liikkeiden vaikeuttamiseen kappaleen liuutasossa siihen ulottuvien erkaumien ja vieraiden etomien avulla, jotka ovat liuenneet kiteeseen. Erkautuskarkaisu soveltuu alumiiniseosten, kuparin ja kupariseosten lämpökäsittelymuodoksi. (Kivivuori 2019, 290.)

Erkautuskarkaisu käsittää:

- Liuoshehkutuksen, jossa metallia hehkutetaan, kunnes faasit ovat liuenneet liuokseen.
- Sammutuksen, jossa liuos jäähdytetään esimerkiksi vedellä tarkoituksena saada liuos huoneenlämpöön ylikyllästeinä.
- Erkautus, jossa kappaletta hehkutetaan huoneenlämpötilan yläpuolella, jotta ylikylläinen jähmeä liuos hajaantuu diffuusion avulla. Näin karkaistavaan

kappaleeseen muodostuu erkaumia, jotka vaikeuttavat dislokaatioiden liikettä. Erkaumat kappaleessa kohentavat metallin kovuutta. (Kivivuori 2019, 290.)

Esimerkiksi kuparin, nikkelin ja piin seosta voidaan lujittaa erkautuskarkaisulla. Tämä perustuu siihen, että tällaisen kupariseoksen faasisuhteet johtuvat lämpötilasta. Nikkelin ja piin muodostaman yhdisteen, nikkelisilidoksen liukoisuus seoksen perusrakenteeseen kasvaa lämpötilan kasvaessa. Nostettaessa lämpötilaa huoneenlämmöstä yli 800 °C – asteeseen, kaikki Ni₂Si-faasi on liuonnut α-faasiin. Kun materiaali jäädytetään nopeasti huoneenlämpöön, voidaan se nikkeli- piin määrä saada jäämään matriisiin, joka matriisissa oli yli 800 °C lämpötilassa. Jäähdytyksen jälkeen materiaalia voidaan kylmämuovata ja se on silloin pehmeää. Tätä käsittelyä kutsutaan liuotuskäsittelyksi. Jos materiaalia kuumennetaan matalassa lämpötilassa, materiaalia voidaan lujittaa, koska siihen muodostuu hyvin pieniä erkaumia. Tämä johtuu siitä, että erkaumat vastustavat dislokaatioiden liikettä, jolloin metallin muovautuminen vaikeutuu. (Kivivuori 2019, 295.)

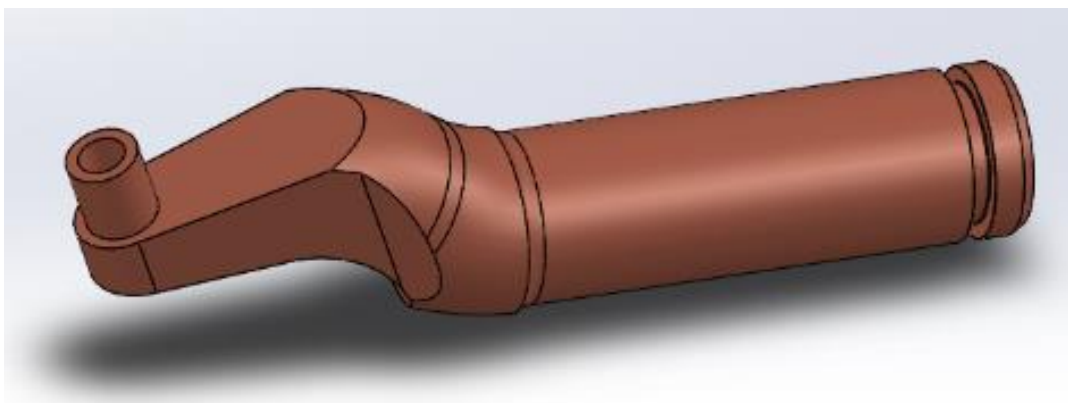
6 TAIVUTUSTYÖKALUN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Adapterin valmistamiseen tarvittiin taivutustyökalu oikeanlaisen muodon saavuttamiseksi. Koska malli oli uusi, ei vastaavanlaista työkalua ollut ennestään työn tilaajan työkaluvalikoimassa. Markkinoilta saatavien taivuttimien kustannukset olisivat nousseet suhteellisen suuriksi, joten taivutin päätettiin suunnitella ja valmistaa konepajan tuotantotiloissa. Myös taivutuksen uniikki muoto vaikutti päätökseen oman taivuttimen valmistamisesta.

6.1 Suunnittelu

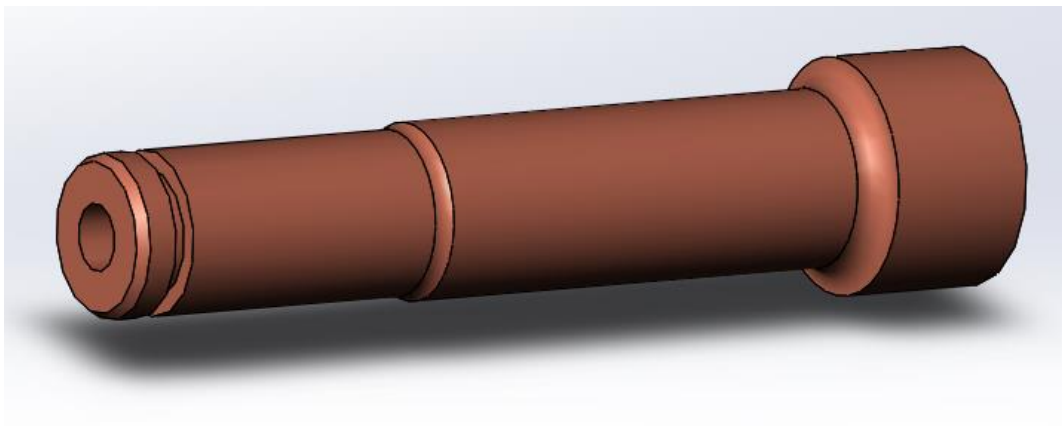
Suunnittelun lähtökohtana oli asiakkaan tilauksesta mallinnetun adapterin taivutusmuodon aikaansaaminen teknisen piirustuksen mukaiseksi. Suunnittelutyö aloitettiin tekemällä 3D-malli tavoitteena olevasta valmiista adapterista (Kuva 4.). Valmiin 3D-

mallin pohjalta päätettiin, minkälaiseksi kappale sorvataan ennen taivutusta. Huomioitavana oli riittävä sorvausmitta kappaleen ulkohalkaisijan osalta pituussuunnassa, jotta taivutukselle ja jyrksinnälle jäisi riittävästi materiaalia kappaleen valmistamiseksi.

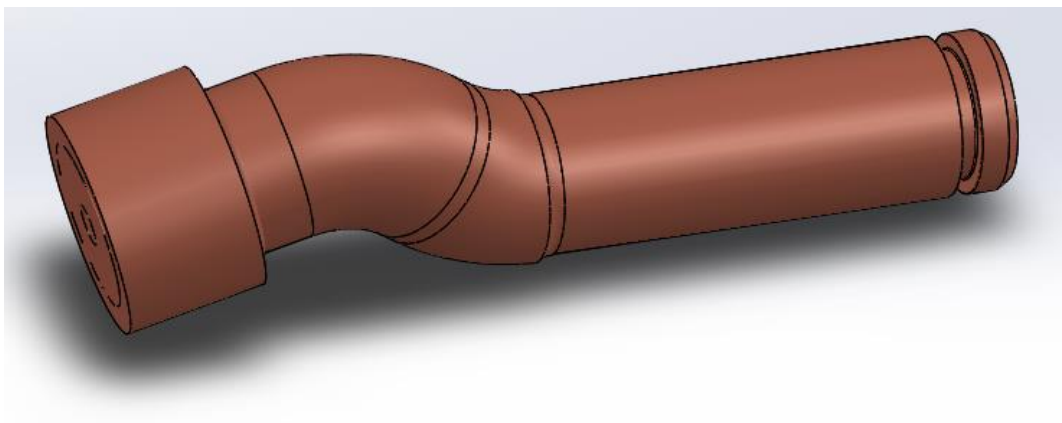


Kuva 4. 3D-malli adapterista.

Ennen taivuttimen komponenttien suunnittelua oli mallinnettava adapterista 3D-mallit ennen taivutusta (Kuva 5.) ja taivutuksen jälkeen (Kuva 6.). Näiden mallien ja perusteella pystyttiin taivuttimen komponentit suunnittelemaan siten, että valmiin taivuttimen liikkeet ja toiminta olisivat mahdollisia toteuttaa. Ongelmana taivuttimen toiminnan kannalta olivat sen suhteellisen pieni koko sen komponentteihin ja taivutettavaan kappaleeseen nähden. Taivuttimen komponentit piti suunnitella siten, että taivutuksen aikana taivutettavan adapterin mikään osa ei ota taivuttimen komponentteihin kiinni väärässä kohdassa ja näin purista adapteria väärään muotoon.

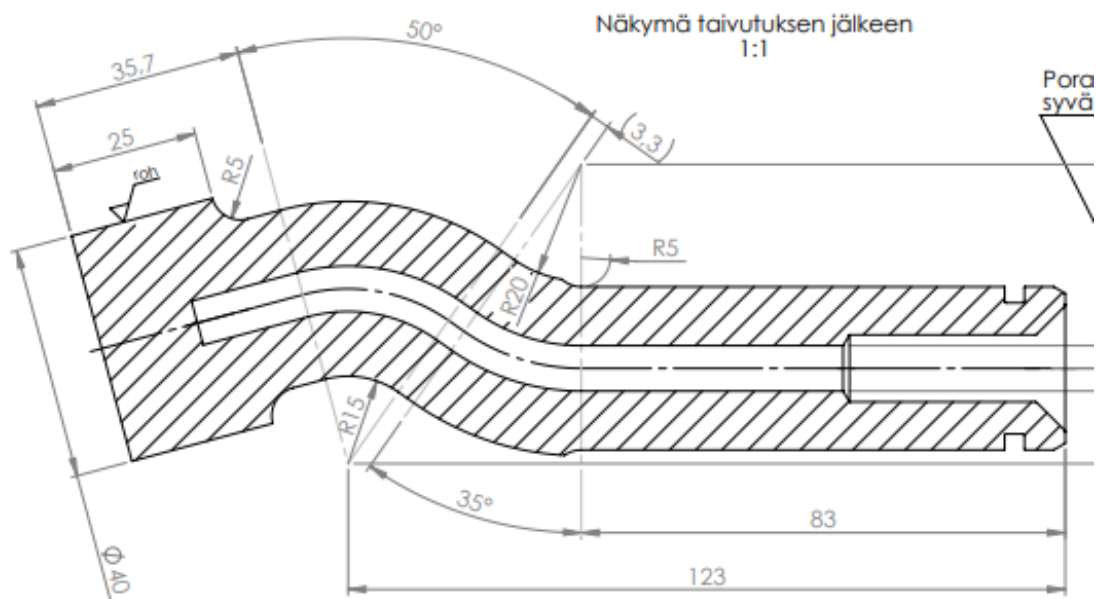


Kuva 5. Adapterin sorvattu 3D-malli ennen taivutusta.



Kuva 6. 3D-malli taivutetusta adapterista.

Taivuttimessa saavutettava muoto on adapterin taivutus piirustuksen mukaisiin kulmiin (Kuva 7.). Erityisen haasteelliseksi taivuttamisesta tekee kappaleen vastakkaisten taivutuskulmien toteutus ilman, että adapterin halkaisijaltaan 7,8 mm sisäreikä tai ulkopinnan sorvattu muoto ei muokkaantuisi ovaalin muotoiseksi tai muuten muotovirheiseksi. Lisäksi kuparin materiaalin tuomat venymisominaisuudet olisi minimoitava taivutuksessa kappaleen muodon säilyttämiseksi.



Kuva 7. Adapterin taivutettavat kulmat (Luvata Porin aineistot 2021.).

Taivutustyökalun suunnittelu toteutettiin Solidworks 3D – mallinnusohjelmistolla, jota käytetään yleisesti toimeksiantajan suunnittelutehtävissä komponenttien suunnittelussa, teknisten piirustusten ja osakokoonpanojen tekemisessä. Tekniset piirustusten tekemisessä pyrittiin mahdollisimman selkeisiin ja yksityiskohtaisiin lopputuloksiin, jotta niiden informaatio välittyisi mahdollisimman tarkasti tuotannon työntekijöille, eikä tuotantovirheitä pääsisi tapahtumaan. Taivutettavan kappaleen tarkat nimellismittat ja haasteellinen taivutuskulma määrittivät taivutustyökalulle tarkat toleranssit.

Rajoittavia tekijöitä taivuttimen suunnittelussa olivat adapterille määritetyt koko ja muoto sekä pinnanlaatu adapterin varsiosassa. Taivuttimessa tuli huomioida, ettei taivutusvaiheessa adapterin sorvattuun pintaan tule kolhuja tai muita jälkiä, joiden takia laatuvaatimukset eivät täytyisi. Taivuttimen voimanlähteenä käytettiin konepajan olemassa olevaa hydraulikkapuristinta. Taivuttimeen ei ollut tarpeellista asentaa omaa puristusvoimanlähdettä lisäkustannusten välttämiseksi.

Liikkeenä taivutuksessa oli ylämuotin alas puristus alamuottia vasten hydraulikkapuristimen avulla. Puristin on suunniteltu huomattavasti tätä työtä voimaa vaativampia puristuksia varten, joten sen puristusvoima oli riittävä. Palautusliike suunniteltiin to-

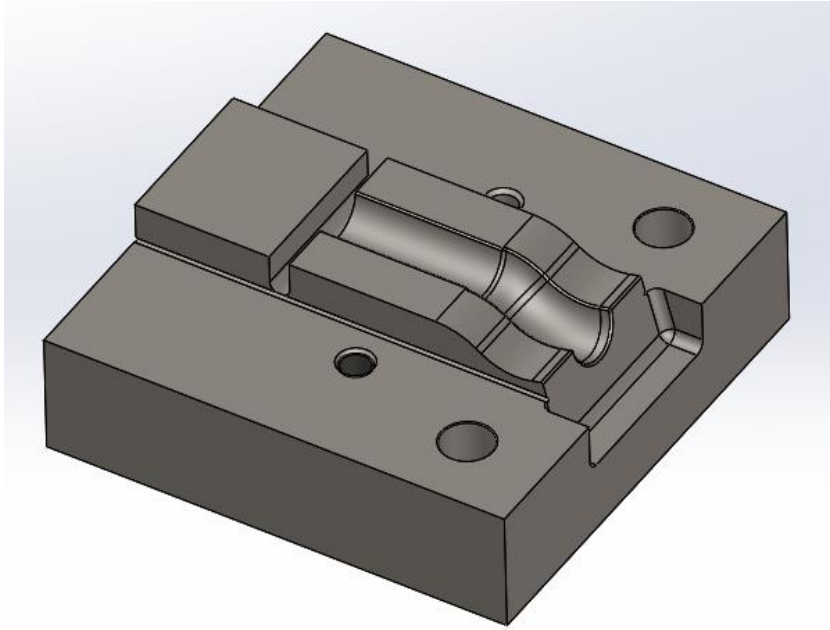
teutettavaksi takaisin yläasentoon jousivoiman avulla. Valmiita ostettavia komponentteja tähän tarkoitukseen on markkinoilla runsaasti, joten jousivoiman käyttöön oli helppo päätyä. Toimivuuden kannalta huomioitavaa suunnittelussa oli muottien liikkeiden suoruuden varmistaminen. Tämän osalta muottien ohjaus toteutettiin ohjausholkkien ja ohjauspylväiden avulla.

6.2 Luvatan konepajalla valmistetut komponentit

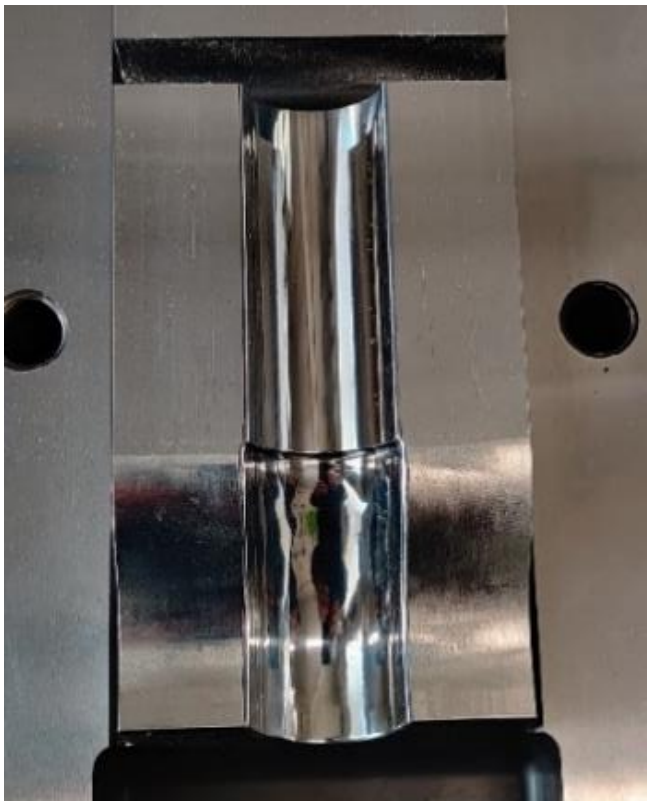
6.2.1 Alamuotti

Alamuotin suunnittelu aloitettiin 3D-mallin (Kuva 8.) tekemisestä. Periaatteena taivuttimen toiminnassa oli, että alamuottiin mallinnetaan taivutettavan adapterin muoto, jota vasten adapteri puristetaan.

Taivuttimen alamuotti päätettiin valmistaa Uddeholm Sverker 21 teräksestä, joka on helposti läpikarkaistava kylmätyöteräs edellä mainittujen ominaisuuksien perusteella. Alamuotin tarkoituksena on yhdessä ylämuotin kanssa taivuttaa adapteri oikeaan muotoon. Alamuottiin oli valmistettava adapterin taivutuskulmat ja muotoura, johon adapteri oli sorvattu. Alamuotin uraa suunniteltaessa, oli uran pinnan Ra-arvo määriteltävä 0,4 tarkuuteen, jottei muotista välittyisi taivutuksen aikana ylimääräisiä muotovirheitä. Alamuotissa piti huomioida kappaleen paikoitus, jota varten siihen tehtiin seinämä, jota vasten adapteri asetettiin. Ohjaintapeille suunniteltiin halkaisijaltaan 25 mm H7 ohjausreiät ylämuotin ohjautuvuuden varmistamiseksi ja niiden liittämistä varten kutistusliitoksella. Alamuotin muoto jyrsittiin Mikron MILL E 700u 5-akselisella NC-jyrsinkoneella. Jyrsinnan jälkeen alamuotti karkaistiin HRC 50 kovuuteen. Tämän jälkeen ohjauspinnat ja tasot hiottiin tasohiomakoneella. Adapterille jyrsitty ura (Kuva 9.) kiillotettiin käsihiomalla pinnankarheuteen Ra 0,4.



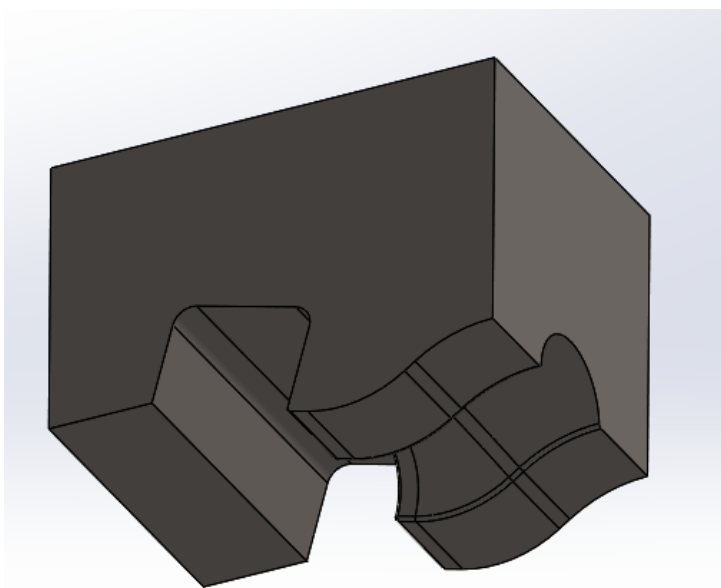
Kuva 8. 3D-malli alamuotista.



Kuva 9. Alamuotin kiillotettu ura.

6.2.2 Ylämuotti

Ylämuotin suunnittelu aloitettiin tekemällä 3D-malli (Kuva 10.) komponentista. Ylämuotin tarkoitus taivuttimessa on taivuttaa adapteri oikeaan taivutuskulmaan puristamalla se hydraulikkapuristimella alamuottia vasten adapterin jäädessä ylämuotin ja alamuotin väliin. Tämän vuoksi ylämuotin suunnittelussa piti huomioida sen riittävä vahvuus, ettei ylämuotti itsessään anna myöden taivutuksen aikana. Ylämuotti suunniteltiin kiinnitettäväksi yläpohjaan ruuvikiinnityksellä, jonka vuoksi siihen mallinnettiin kaksi M12 kierrereikää. Tämän lisäksi piti varmistaa ylämuotin suoruus alamuottiin nähden. Tämä toteutettiin halkaisijaltaan 12 mm ohjaintapeilla, jotka hankittiin ostamalla. Ohjaintappien valmistaja antoi sovitteeksi h7 toleranssin, jonka katsottiin olevan riittävä suoruuden varmistamiseksi. Ylämuottiin mallinnettiin ohjaintapeille $\varnothing 12$ mm ja 30 mm syvät ohjausreiät ohjaintappien sovitteeksi.

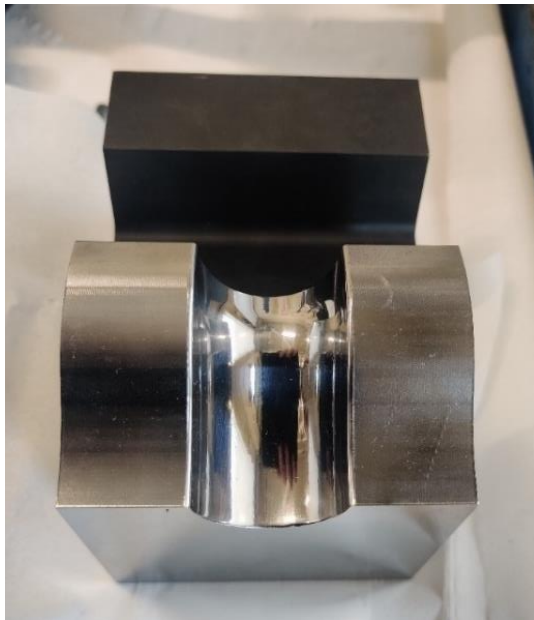


Kuva 10. 3D-malli ylämuotista.

Ylämuotti valmistettiin Uddeholm Sverker 21 kylmäyöteräksestä alamuotin tavoin Mikron MILL E 700u 5-akselisella NC-jyrsinkoneella jyrsien. Ylämuottiin jyrsittiin adapterin muodolle sopiva ura (Kuva 11.), joka hiottiin pinnanlaadultaan Ra-arvoltaan

0,4 tarkkuuteen, jotta vältettäisiin muotista tuotteeseen tulevat muotovirheet. Muotouran lisäksi ylämuottiin oli jyrkittävä ura, jotta adapterin varsiosa ei ottaisi kiinni ylämuottiin taivuttimen ollessa ala-asennossa.

Ylämuotin olisi kestävä toistuvia taivutuksia, joka piti huomioida suunnittelussa. Tästä johtuen ylämuotti karkaistiin HRC 50 kovuuteen toistuvien taivutusten tuottaman kulutuksen ehkäisemiseksi. Karkaisun jälkeen suorat kosketuspinnat muihin komponentteihin hiottiin tasohiomakoneella suoruuden varmistamiseksi. 3D-mallintamisen jälkeen ylämuotista laadittiin tekninen piirustus valmistamista varten.

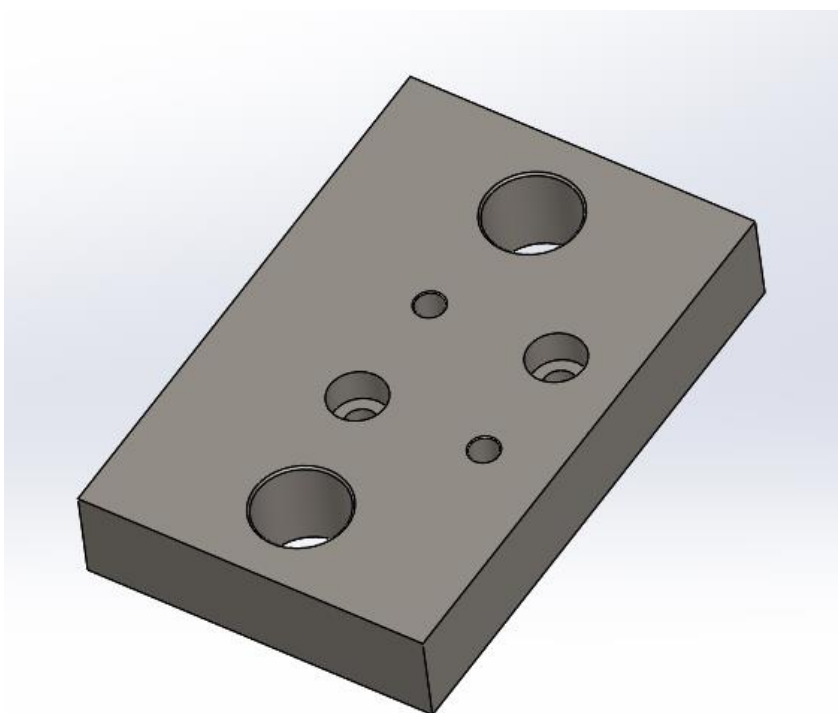


Kuva 11. Ylämuotin kiillotettu ura.

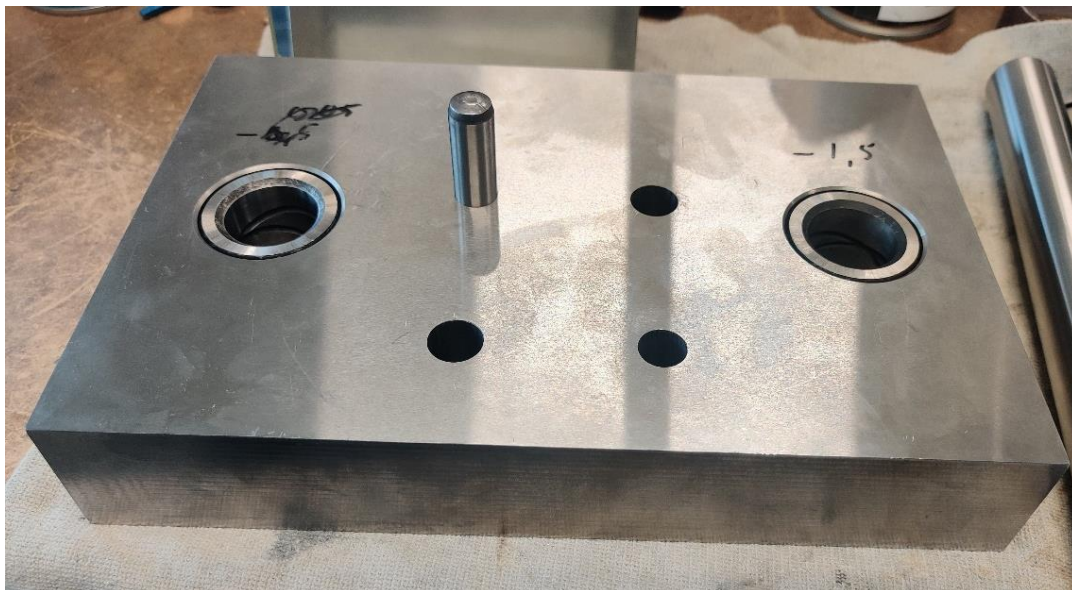
6.2.3 Yläpohja

Yläpohjan suunnittelu aloitettiin mallintamalla 3D-malli komponentista (Kuva 12.). Yläpohja on taivuttimessa osa, joka suunniteltiin painettavaksi puristimella alas ja johon ylämuotti on kiinnitetty pulteilla. Suunnittelun lähtökohtana oli, että yläpohjan on ohjauttava suorassa ylhäältä alas suunnassa adapteria taivutettaessa. Tämä lähtökohta huomioiden yläpohjan liikkeen ohjautuminen toteutettiin ohauspylväiden ja ohjausholkkien avulla. Yläpohja ohjautuu kahden ohjauspylvään mukaan oikeaan linjaan alamuottiin nähden. Yläpohjaan suunniteltiin halkaisijaltaan 38 mm läpäreiät,

joissa on H7 toleranssi. Ohjausholkit kiinnitettiin kutistusliitoksella läpireikiin (Kuva 13.) ohjaamaan yläpohjaa. Ohjausholkit ovat sovitettu 38 mm ohjauspylväiden toleranssille H8, jolloin yläpohja ohjautuu muottien suhteen suoraan taivutuksen aikana. Holkit suunniteltiin asennettaviksi yläpohjaan kutistusliitoksen avulla. Yläpohjan ohjautuvuus ylämuottiin varmistettiin halkaisijaltaan 12 mm ohjaintappien avulla, joita varten yläpohjaan tehtiin kaksi tarkkudeltaan toleranssin H7 reikää. Yläpohja kiinnitettiin ylämuottiin kuusiokolopulteilla, jolle porattiin reiät ja upotukset ruuvien kantoja varten.



Kuva 12. 3D-malli yläpohjasta.

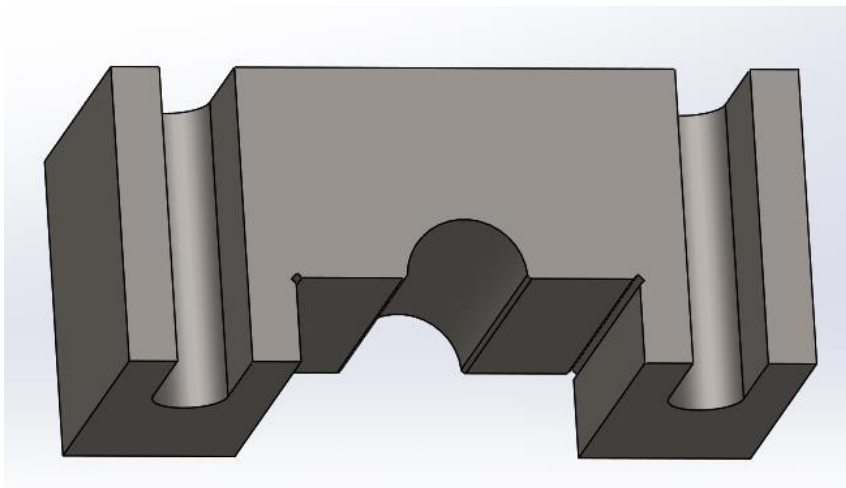


Kuva 13. Viimeistelyt yläpohja, ohjausholkit ja ohjaintappi.

Yläpohja valmistettiin 42CrMo4 nuorrutusteräksestä. Yläpohjan koneistus toteutettiin Mikron MILL E 700u 5-akselisella NC-jyrsinkoneella jyrsien, jonka jälkeen tasopinnot hiottiin tasohiomakoneella. Yläpohjaa ei katsottu tarpeelliseksi karkaista, koska sen kulutuspinnot eivät joudu muottien kaltaiselle rasitukselle taivuttimen käytössä. Yläpohjasta laadittiin tekninen piirustus valmistusta varten.

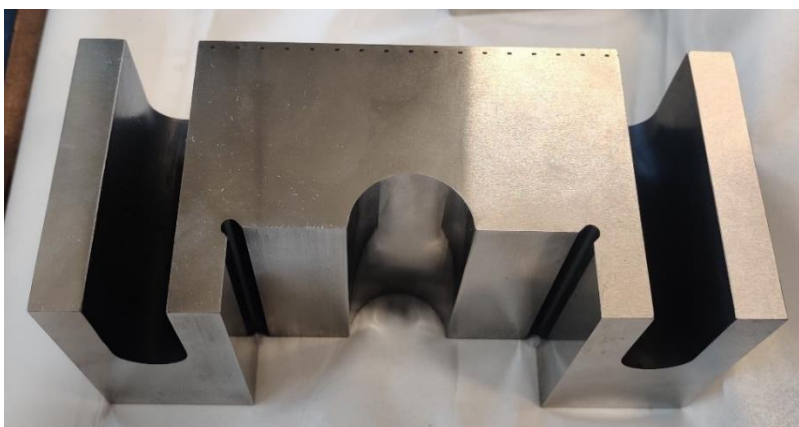
6.2.4 Tuki

Tuen suunnittelu aloitettiin 3D-mallin (Kuva 14.) tekemisestä. Tuen tarkoituksena on tukea adapterin varsiosaa taivutuksen aikana. Tätä tarkoitusta varten tukeen suunniteltiin adapterin varren sorvausmittaan $\varnothing 28$ mm sopiva ura. Tuki painetaan pultiliitoksella alamuottiin, jolloin tuen ja alamuotin väliin jäävä adapteri lukittuu taivuttimeen taivutuksen ajaksi. Tuen sivuille suunniteltiin kaksi 17,5 mm uraa tuen kiinnitystä varten. Uriin päädyttiin reikien sijaan, koska niiden katsottiin edesauttavan adapterin vaiputtamista taivuttimen kiinnityksestä taivutuksen jälkeen.



Kuva 14. 3D-malli tuesta.

Taivuttimen tuki valmistettiin Uddeholm Sverker 21 teräksestä. Tuen muoto jyrättiin 5-akselisella NC-jyrsinkoneella. Jyrsinnan jälkeen tuki karkaistiin HRC 50 kovuuteen. Tuen kosketuspinnat taivuttimen alamuottiin ja ylämuottiin viimeisteltiin tasohiomalla pinnanlaatuun Ra 0,63 ja tuen keskelle jäävä pyöreä ura (Kuva 15.), johon adapterin varsi kiinnitetään taivutuksen ajaksi, kiillotettiin Ra 0,4 pinnanlaatuun. Tuen suoruus piti varmistaa alamuottiin nähden, jotta tuen adapterin varrelle valmistettu ura olisi riittävän suorassa alamuottiin nähden. Lopuksi tuesta laadittiin tekninen piirustus valmistusta varten.



Kuva 15. Viimeistelty tuki.

6.2.5 Tuki 2

Toinen taivuttimen tuki valmistettiin 42CrMo4 nuorrutusteräksestä. Tuki 2 komponentin tehtävänä on taivuttaa adapterin kärkiosa vaadittuun 50° kulmaan. Tuki 2 vastaanottaa puristimesta välittyvän ylhäältä alaspäin kohdistuvan voiman ja sen muotoon jyrskitty ura ohjaa adapterin piirustuksen mukaiseen kulmaan. Tuki 2 kiinnitettiin ruuvipuristimilla alamuottiin taivutuksen ajaksi.

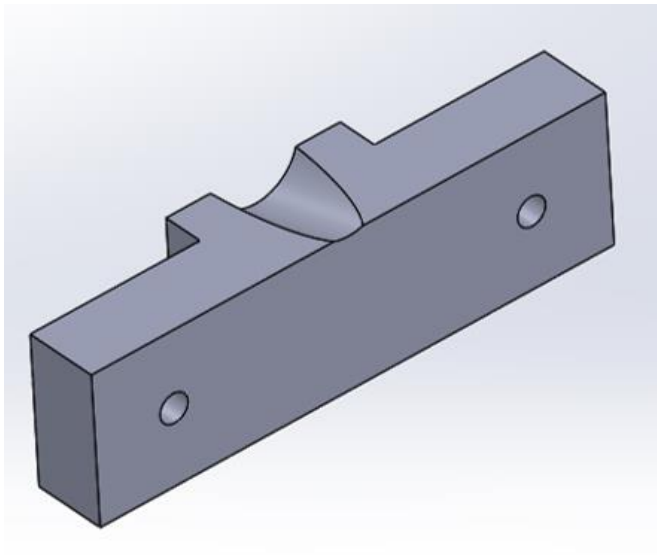
Tuesta 2 suunniteltiin työn aikana 2 eri versiota. Ensimmäisen version taivutuspinna, joka taivuttaa kappaleen 50° kulman, oli suora (Kuva 16.). Tästä johtuen taivutettava pehmeä kupariseos painui kappaleen pästä kasaan ja aiheutti vajaan kulman adapteriin sen taivutusvaiheessa. Lopputuloksen perusteella päätettiin suunnitella tuesta 2 uusi versio.



Kuva 16. Alkuperäinen tuki 2.

Tuen 2 toisesta versiosta (Kuva 17.) suunniteltiin vahvempi ja jossa tuen alaosa on samalla tasolla alamuotin kanssa. Tällöin puristimesta välittyvä voima kohdistuu puristimen pöytäan eikä taivuta tukea 2. Samalla tukeen suunniteltiin adapterin raakapintaan halkaisijaltaan 40 mm ura, joka on 14° kulmassa vaakatasoon nähden. Tällöin

taivutuskulma olisi mahdollisimman lähellä haluttua 50° kulmaa. Tuki 2 jyrsittiin Mikron MILL E 700u 5-akselisella NC-jyrsinkoneella.



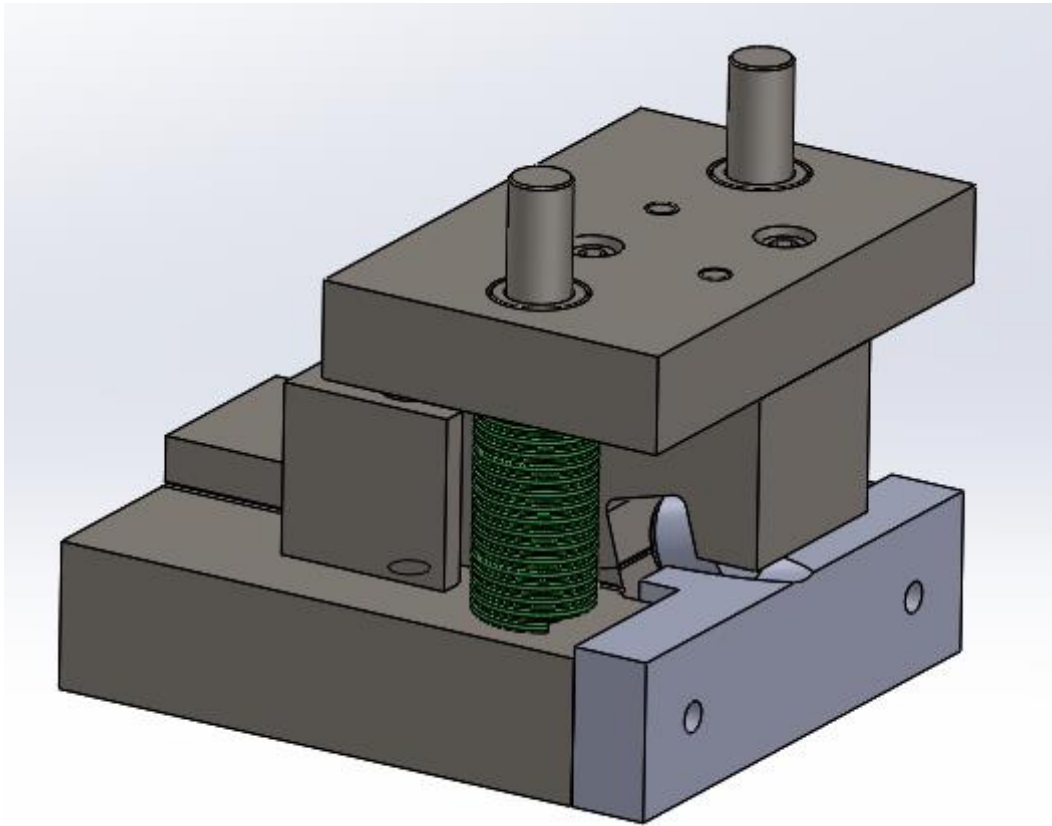
Kuva 17. 3D-malli tuesta 2.

6.3 Ostetut komponentit

Osa taivuttimen komponenteista hankittiin ostamalla. Hankintaperusteina olivat markkinoilla valmiina tilattavissa olevat tuotteet, eikä niitä kannattanut valmistaa konepajan omissa tuotantotiloissa. Hankittaviin komponentteihin kuuluivat ohjauspylväs (SFS-Ø25x220), ohjaintappi (Ø12 m6), ohjausholkki (SFS-Ø25x40), järjestelmäjouset (Meusburder : E1541/50x139).

6.4 Kokoonpano

Mallinnetuista komponenttien 3D-malleista laadittiin osakokoonpano (Kuva 18.) Solidworks-ohjelmalla, jossa taivuttimen toimivuus simuloitiin Interference Detection-toiminnolla. Tällä toiminnolla pystytään simuloimaan esimerkiksi mahdolliset komponenttien törmäykset. Kokoonpanon perusteella pystyttiin tekemään komponentteihin muutoksia, kun havaittiin taivuttimen toimintaan liittyviä virheitä tai epäkohtia.



Kuva 18. 3D-malli valmiista kokoonpanosta.

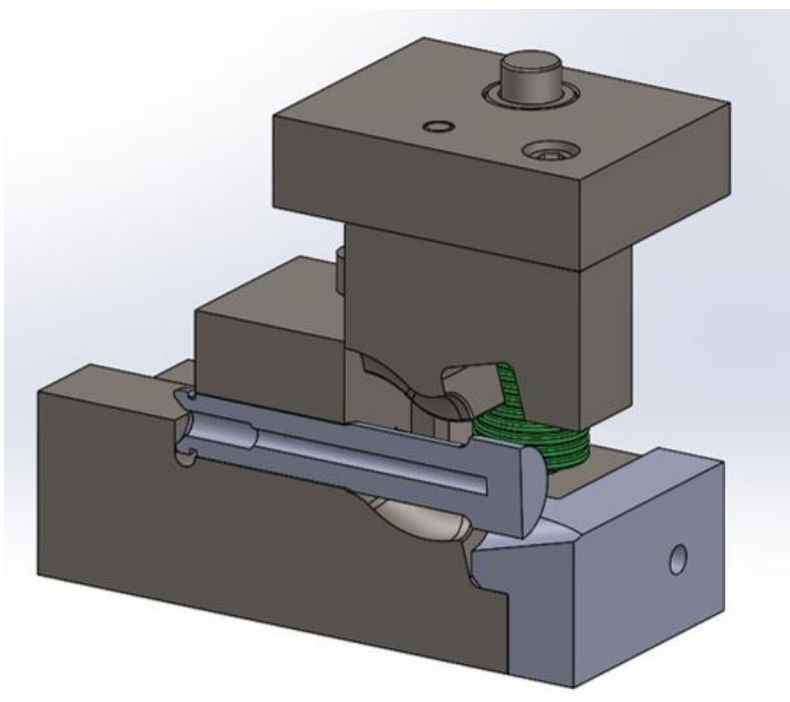
Taivuttimen kokoonpano toteutettiin suunniteltujen kokoonpanokuvien perusteella. Kokoonpanon ensimmäinen vaihe oli ohjauspylväiden liittämisen alamuottiin. Tämä toteutettiin kutistamislitoksella, jolloin alamuottia kuumennettiin uunissa sen 25 mm reikien laajentamiseksi. Laajentuneisiin reikiin asetettiin ohjauspylväät, jotka painettiin reiän pohjaan saakka. Alamuottiin nähden pystyyn kiinnitettyihin ohjauspylväisiin voitiin asettaa palautusjouset niiden ympärille.

Taivuttimen yläpohjan kiinnitys ylämuottiin toteutettiin ruuvikiinnityksellä. Ruuvien lisäksi ylämuotin suoruus varmistettiin ohjaustappien avulla, joita varten sekä ylämuottiin, että yläpohjaan koneistettiin \varnothing 12 mm reiät.

Yläpohja ja siihen kiinnitetty ylämuotti asetettiin ohjauspylväisiin yläpohjaan asennettujen ohjausholkkien avulla. Ohjausholkit olivat sovitettuja ohjauspylväisiin, jolloin yläpohjan ja ylämuotin oli mahdollista liikkua suoraan alas alamuottiin nähden.

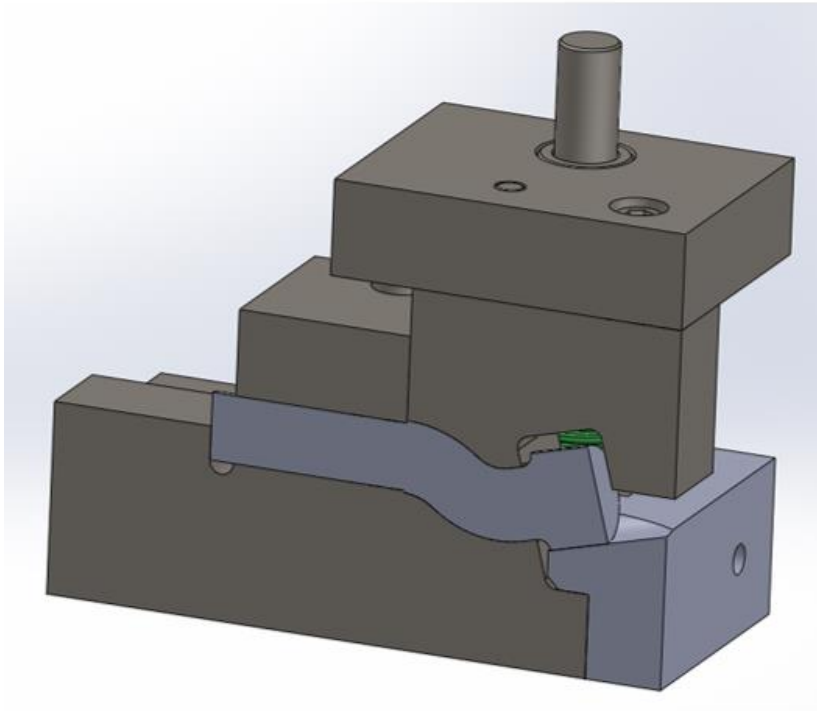
6.5 Toiminta

Taivutin suunniteltiin toimimaan hydraulikkapuristimen avulla. Sorvattu kappale asetetaan alamuotin ja tuen väliin niihin jyrskytyjen adapterin varren muotoisiin uriin ja sorvatun kappaleen varsiosan reikäpuoli asetetaan taivuttimen alamuottiin sitä varten jätettyä seinämää vasten (Kuva 19.) Adapteri lukitaan puristamalla se tuen avulla ruuviliitoksella alamuottiin.



Kuva 19. Leikkauskuva taivuttimesta sen ollessa yläasennossa.

Taivutus suoritetaan puristamalla hydraulikkapuristimen sylinterillä yläpohjan päältä yläpohjaa ja siihen kiinnitettyä ylämuottia alaspäin. Kun puristimen painin painetaan alas, taivuttimen ylämuotti liikkuu yläpohjan mukana ohjaustankojen ohjaamana vasten alapohjaa, taivuttaen muottien väliin asetetun adapterin muottien mallin mukaiseen muotoon (Kuva 20.).



Kuva 20. Leikkauskuva taivuttimesta sen ollessa ala-asennossa.

Nostettaessa painin ylös, taivuttimen jouset nostavat muotit erilleen toisistaan. Taivutettu adapteri voidaan poistaa taivuttimesta avaamalla ruuvit ja vapauttamalla tuki alamuotista ja nostamalla taivutettu adapteri pois taivuttimesta.

7 ADAPTERIN VALMISTUS

Adapterin valmistus aloitettiin halkaisijaltaan 40 mm vahvasta kuparitangosta, joka valmistettiin ja sahattiin Luvata Porin tuotantotiloissa ennen toimitusta konepajalle. Itse adapterin valmistukseen konepajalla kuului neljä erillistä työvaihetta: sorvaus, taivutus, erkautuskarkaisu ja jysintä. Kaikki neljä työvaihetta pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman tehokkaasti konepajan muuta koneistustyöjärjestystä häiritsemättä.

7.1 NC-sorvaus

Adapterin sorvaustyövaihe toteutettiin Luvatan konepajan Okuma GENOS L300E-M NC- sorvilla. NC- sorvi osoittautui tehokkaammaksi vaihtoehdoksi manuaalisorviin verrattuna sen ohjelmoitavuuden ja nopeamman asetusajan vuoksi, kun sorvattavana oli 20 kappaleen sarja. NC-sorvin käyttöä puolsi myös suunnitelmat, että kappaleita tuotettaisiin tulevaisuudessa lisää, joten valmiiden asetusmallien tekeminen automaattikoneelle oli edellytys tehokkaalle tuotannolle tulevaisuudessa.

Luvata Pori Oy:n konepajalla on pitkät perinteet haasteellisten kuparituotteiden tuotannossa, joten käsitys adapterin sorvaamisesta tavoitteelliseen piirustuksen mukaiseen mittaan oli olemassa ennen työn aloittamista. Oikeiden työstöarvojen hakemiseen ei siis tarvinnut käyttää tutkimusaikaa.

Adapterin sorvaus toteutettiin teknisen piirustuksen perusteella, joka laadittiin sorvaustyövaihetta varten. Adapterin sorvaaminen aloitettiin $\varnothing 40$ mm kuparitangon pään oikaisulla ja adapterin uran puoleisen pään sorvaamisella oikeaan muotoon. Oikaisun jälkeen oikaistuun päähän porattiin keskiöporalla aloitusreikä $\varnothing 7,8$ mm pitkä 152 mm reiän porausta varten. Poraamalla aloitusreikä varmistetaan, että pitkä pora ei taivu poraamisen alkaessa ja poraa reikää vinoon, vaan aloitusreikä ohjaa poran suoraan pyörähdyskappaleen keskiöön. $\varnothing 7,8$ mm reikä porattiin pitkällä läpijäähdytteisellä kovametalliporalla. Läpijäähdytteinen pora mahdollisti sorvin emulsionesteen kulkeutuksen porattavaan reikään ohjaamalla syntyneet lastut ulos reiästä. Läpijäähdytteisessä porassa poran sisällä kulkevat vesikanavat ohjaavat työstökoneen jäähdytyskanavista vettä läpi poran samalla jäähdyttäen sitä. $\varnothing 7,8$ mm reiän poraus suoritettiin työstöarvoilla $v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} = \frac{7,8 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 1300 \text{ 1/min}}{1000} \approx 32 \text{ m/min}$, jossa on v on leikkuunopeus [m/min], n on karan pyörimisnopeus [1/min] ja D on poran halkaisija (mm).

Tämän jälkeen sorvattiin sisäSORVAUSTERÄLLÄ $\varnothing 11,5$ mm osa ja viiste adapterin reikäosaan. Adapterin reikäosan työstön jälkeen sorvauksessa voitiin käyttää apuna kärkipylkkää kappaleen ulkopinnan sorvauksen apuna. Kärki pylkkää apuna käyttäen sorvattiin ulkohalkaisijat $\varnothing 30$ mm, $\varnothing 28$ mm ja adapterin päähän ulkohalkaisijaan 3,4 mm leveä ura. Kärkipylkkää käytettiin tukemaan kappaletta sorvauksen aikana, jolloin

vältetään väreilevä pinta työstettävään kappaleeseen. Adapterin ulkopinnan sorvaus toteutettiin työstöarvoilla $v = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} = \frac{40 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 700 \text{ 1/min}}{1000} \approx 88 \text{ m/min}$, jossa v on leikkuunopeus [m/min], n on karan pyörimisnopeus [1/min], ja D [mm] on työstettävän kappaleen halkaisija [mm].

Kappaleen sorvausvaiheessa päästiin tavoiteltuun lopputulokseen, joka vastasi täysin kappaleen valmistusprosessin suunnitelmaa. Kappaleen mitat olivat teknisen piirustuksen mukaiset, eikä kappaleessa havaittu muotovirheitä (Kuva 21.).



Kuva 21. Adapteri sorvaamisvaiheen jälkeen.

7.2 Taivutus

Adapterin taivutus toteutettiin suunnitellusti taivuttimen ja hydraulikkapuristimen avulla. Taivutin asetettiin hydraulikkapuristimen teräslevyn päälle, jonka päällä puristaminen oli tarkoitus suorittaa. Taivutin kohdistettiin puristimen rungolle, niin että puristimen sylinterin alaosa oli mahdollisimman keskellä taivuttimen yläpohjan päällä. Taivuttimen yläpohjan päälle asetettiin teräsputken kappale ohjauspylväiden väliin, jotta hydraulikkapuristimen sylinteri ei painaisi ohjauspylväitä alaspäin (Kuva 22.). Puristimen sylinteriä painettiin vasten teräsputkea, jonka avulla puristusvoima välittyi taivuttimen yläpohjaan painaen taivutinta alaspäin. Taivutinta puristettiin ylämuotti vasten alamuottia suunnitelman mukaisesti.



Kuva 22. Taivutin asetettuna hydraulikkapuristimelle.

Ensimmäiset taivutukset toteutettiin ilman sorvatus reiän täyttämistä täyteaineella. Kolmesta ensimmäisestä taivutuksesta kaksi onnistui toivotulla tavalla ilman karkeita muotovirheitä. Yhdessä taivutetussa kappaleessa kuitenkin havaittiin, että adapteriin sorvattu $\varnothing 7,8$ mm reiän muoto ei ollut säilynyt riittävän pyöreänä. Adapterin pää sahattiin irti ja tutkimalla taivutettua kappaletta todettiin reiän muodon olevan ellipsin muotoinen taivutuksen vaikutuksesta. Mitattaessa taivutettu reikä todettiin olevan 6,4 mm kapeimmasta kohdastaan vaaditun 7,8 mm sijasta.

Reiän elliptisyyden ehkäisemiseksi adapterin reikä täytettiin hienolla täytehiekalla taivutuksen ajaksi. Adapterin porattu $\varnothing 7,8$ mm reikä täytettiin koko mitaltaan ja adapterin pää tukittiin kuparista sorvatulla tulpalla hiekan valumisen estämiseksi. Lopputuloksena elliptisyys korjaantui pyöreämmäksi kapeimmasta kohdasta 1,1 mm matkan täyteaineen käytön avulla.

Taivutuksessa todettiin taivuttimen alkuperäisen Tuki 2 komponentin painavan kappaleen koneistamatonta kärkeä kasaan haitaten taivutusta. Todettiin, että Tuki 2 komponentin suorapinta, joka taivuttaa adapterin 50° kulman, aiheuttaa adapterin kärki-osaan painauman, jonka johdosta taivutettu kulma jää vajaaksi tavoitellusta kulmasta (Kuva 23.). Tämän korjaamiseksi suunniteltiin uusi Tuki 2 komponentti, jonka taivutettava pinta on $\varnothing 40$ mm aihiolle pyöreään muotoon ja 14° kulmaan vaakatasosta jyrskitty muoto.



Kuva 23. Taivutuksen voimasta kasaan painunut adapterin kärki.

Uusi Tuki 2 versio toimi taivutuksessa paremmin kuin alkuperäinen edesauttaen oikean taivutuskulman saamiseksi tuotteeseen. 40 mm halkaisijalle jyrskitty pyöreä muoto jakoi voiman tasaisemmin adapterin halkaisijalle, jolloin myös kappaleeseen jäävä painauma muotoutui jyrskitylle pinta-alalle vähentäen materiaalin kasaan painumista (Kuva 24.).



Kuva 24. Uusitulla Tuki 2 komponentilla taivutettu adapterin pää.

Tuki 2 havaittiin taivutuksen yhteydessä liikkuvan adapterin puristuksesta johtuvan voiman vaikutuksesta puristimen pöydän suuntaisesti eteenpäin n. 3 mm matkan (Kuva 25.). Tämä tapahtui siitä huolimatta, että Tuki 2 oli liitetty puristuksen ajaksi alamuottiin ruuvipuristimien avulla. Tuki 2 komponentin liikkuminen vaikutti adapterin taivutuskulman toteutumiseen heikentävästi, jolloin kulma jäi vajaaksi tavoittelusta. Uusittu Tuki 2 komponentti vaikutti kuitenkin myönteisesti kuparin painumisesta syntyneeseen ongelmaan, jolloin adapterin taivutuskulma parani edelliseen taivutukseen verrattuna.



Kuva 25. Tuki 2 komponentin siirtymä.

7.3 Erkautuskarkaisu

Karkaisun tarkoituksena oli saada materiaaliin lujuutta asiakkaan käyttötarkoitusta varten. Erkautuskarkaisu toteutettiin konepajan teollisuuskäytössä olevalla sähköuunilla kuumentamalla adapteria 490 °C lämpötilassa kolmen tunnin ajan. Tämän jälkeen kuumennettu adapteri otettiin uunista ja annettiin jäähtyä tasaisesti huoneen lämpötilaan. Tällä erkautuskarkaisulla päästään HV10 asteikolla mitattuna 245 kovuuteen ja sähkönjohtavuudessa 42 % IACS lukemaan.

7.4 NC-jyrsintä ja viimeistely

Adapterin pään jyrsintävaiheen toteuttamisessa piti päättää, millä jyrsinkoneella koneistus tehtäisiin ja kuinka kappale kiinnitettäisiin jyrsinkoneeseen. Tavoitteena oli, että työvaihe toteutettaisiin yhdellä kiinnittämisvaiheella, joka todettiin tehokkaimmaksi ja laadullisesti parhaimmaksi toteuttamistavaksi. Tästä syystä koneistus päätettiin toteuttaa 5-akselisella Mikron MILL E 700u koneistuskeskuksella.

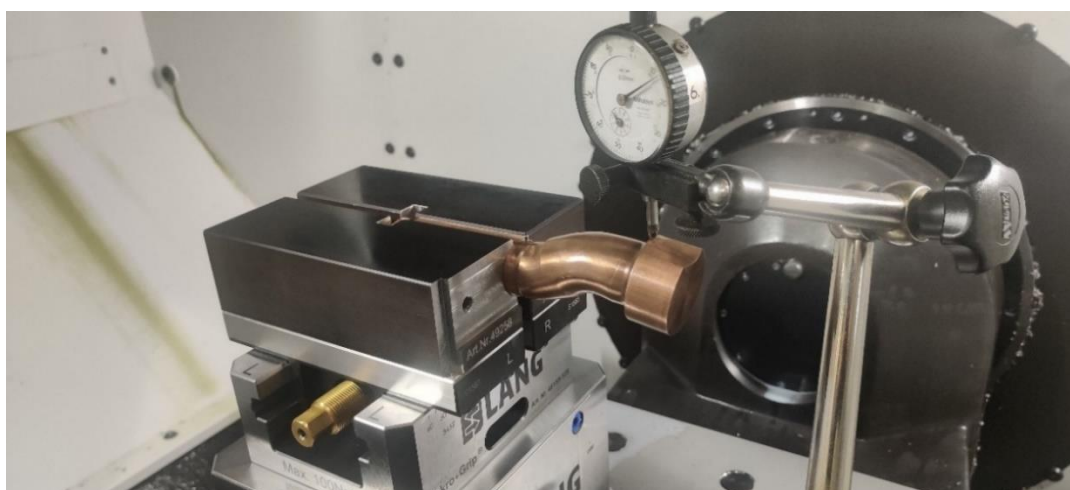
Kiinnityksen toteutuksella oli vaihtoehtona hankkia valmis kiinnityslaite, esimerkiksi istukka, joka soveltuisi adapterin mallisen kappaleiden jyrsintään, tai suunnitella ja valmistaa itse jyrsinkoneeseen käytettävissä olevista leuoista adapterille soveltuva kiinnitin. Kiinnitin päätettiin valmistaa itse valmiista leuka-aihoista jyrsimällä, koska valmiiksi varastossa olleet leuka-aihiot olivat soveltuvia kokonsa puolesta adapterin kiinnitykseen. Kiinnitysleuat jyrsittiin leuka-aihoista, jotka soveltuivat koneistuskeskuksessa jo ennalta käytössä olleeseen ruuvipuristeiseen kiinnityspenkkiin.

Ostetuissa leuka-aihoissa oli valmiina kiinnityspaikat jyrsinkoneen kiinnityspenkkiin, joten sen suunnittelemiseen ei ollut tarvetta. Leukakiinnityksen puolesta puhuivat sen helppokäyttöisyys uutta jyrsittävää kappaletta vaihdettaessa jyrsinkoneeseen, aiemmin hyväksi havaittu modulaarinen leukojen vaihto-ominaisuus uutta työasetusta tehtäessä ja leukojen hintataso.

Leukakiinnityksessä huomioitavaa oli kappaleen paikoitus työstökoneen koordinaatiakseleihin nähden. Työkappaleen tuli olla akseleihin nähden lineaarisesti yhdensuun-

taiset työstöohjelman tekemisen helpottamiseksi. Tästä syystä leukoihin päätettiin jyr-
siä urat jyrstävän adapterin varren mukaisesti. Adapterin varsiosalle suunniteltiin leu-
koihin seinämä tukemaan ja paikoittamaan kappaletta jyrstinnässä. Oikeanpuoleiseen
leukaan suunniteltiin koneistettavaksi kierrereikä ja kaksi ohjauspintaa kappaleen pai-
koittamisen helpottamiseksi suunniteltua paikoituskappaletta varten. Opinnäytetyön
aikana koneistettujen adapterin prototyypin aikana suunniteltua paikoituskappaletta
ei käytetty koneistuksessa.

Yhtenä haasteena adapterin kiinnityksessä jyrstinkoneen leukoihin oli sivusuuntainen
paikoitus suoraan jyrstinkoneen akseleihin nähden. Ensimmäisen prototyypin valmis-
tukseen kiinnityksessä päädyttiin kellottamaan kappale mittakellolla suoraan akselei-
hin nähden (Kuva 26.). 5-akselisessa jyrstinkoneessa koneen pöytä, johon kiinnitys-
penkki on kiinnitetty, saadaan käännettyä minkä akselin suhteen tahansa. Tällöin mit-
takellolla saadaan haettua adapterin korkein kohta 0,01 mm tarkkuudella. Kappaleen
mittaaminen suoritettiin adapterin sorvatus ja taivutetun varren osasta, jolloin mitta-
virhettä kappaleen epätasaisesta raakapinnasta ei tulisi. Kappaleen asettaminen suo-
raan oli tärkeää, jotta seinämäheittoa ei tulisi ohutseinämäiseksi jyrstittävään kappalee-
seen.



Kuva 26. Kappaleen paikoittaminen jyrstinkoneeseen.

Lopputuloksena adapterin jyrstintävaiheen voidaan katsoa onnistuneen. Jyrstinnan
työstöjälki oli laadullisesti tavoitellun tasoinen, eikä kiinnityksestä tai lastujen

iskeymistä jäänyt muotovirheitä (Kuva 27.) Jyrsinnästä kappaleen muotoon jääneet terävät reunat viimeisteltiin käsihiomakoneen avulla.



Kuva 27. Jyrsitty ja viimeistelty adapteri.

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella valmistusprosessi hitsausrobotin adapterille Luvata Pori Oy:n konepajan tuotantotiloihin. Valmistusprosessin oli tarkoitus soveltua sarjassa valmistettavien adapterien tuotantoon. Suunnitteluprosessin oleellisia osioita olivat valmistusprosessiin tarvittavan taivuttimen suunnittelu sekä adapterin jyrsintävaiheeseen tarvittavan kiinnittimen suunnittelu.

Työn lopputuloksen perusteella Luvatan konepajalla on valmiudet valmistaa tasalaa- tuista adapterimallia asiakkaan tarpeisiin. Valmistusmenetelmät ja työkalut soveltuvat pienten sarjojen valmistamiseen. Opinnäytetyön aikana taivutustyökalun kehitystyötä ei kuitenkaan ehditty viemään loppuun. Kehitettävää jäi etenkin taivuttimen muokkaamisessa sen käyttäjälle käytännöllisempään muotoon toiminnan helpottamiseksi. Taivuttimen toiminta oli siltä osin suunnitellun veroinen, että toteutunut taivutus oli lähellä tavoiteltua mittaa.

Kokonaisuutena opinnäytetyön laatiminen oli ammatillisesti kehittävä kokemus, jossa yhdistyivät sekä suunnittelu, että käytännön toteuttaminen. Työn aikana muodostui lukuisia ongelmakohtia, joihin ratkaisun etsiminen kehitti ammatillista osaamistani

suunnittelijana. Opinnäytetyö myös opetti paljon uusia ominaisuuksia metallinmuokkauksesta etenkin kupariseoksen taivuttamiseen liittyen.

Opinnäytetyöhön löytyi riittävästi kirjallista aineistoa tavoitellun lopputuloksen saavuttamiseksi. Myös Luvatan kokenut henkilökunta edesauttoi opinnäytetyön aikaansaamista niin suunnittelun kuin käytännön työvaiheiden toteuttamisen osalta.

LÄHTEET

ESAB www-sivut. 2021. Viitattu 21.8.2021. <https://www.esab.fi/fi/education/blog/pistehitsaus.cfm>

Keinänen T. & Kärkkäinen P. 2009. Konetekniikan perusteet. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy

Kivivuori, S. 2019. Lämpökäsittelyoppi 1. Helsinki: Teknologiatieto Teknova Oy

Lepola, P. & Makkonen M. 2005. Hitsaustekniikat ja teräsrakenteet 1.–3.p. Helsinki: WSOY.

Luvata Pori Oy:n intranet. 2021. Viitattu 20.8.2021.

Luvatan www-sivut. 2021. Viitattu 20.8.2021. <https://www.luvata.com/locations/pori>

Maaranen, K. 2007. Koneistustekniikat. Helsinki: WSOY.

STEN:n www-sivut 2021. Viitattu 15.09.2021. https://www.sten.fi/document/1/27/aea4431/tuote_f8be181_42crmo4.pdf

Uddeholmin www-sivut. 2021. Viitattu 21.8.2021. <https://www.uddeholm.com/finland/fi/products/uddeholm-sverker-21/>