

MAATALOUSLAITTEEN PALKKIRAKENTEIDEN TUOTEKEHITYS



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Konetekniikka, Riihimäen kampus

Kevät, 2021

Erkka Kahela

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Tume-Agri Oy:lle, joka on Turengissa sijaitseva maatalouslaitevalmistaja. Työn tarkoituksena oli kehittää Jyräkombi-kylvölannoittimen palkkirakenteita hyödyntämällä putkilaseria valmistusmenetelmänä kokoonpanon ollessa yhä tehtävissä tehtaan omilla koneilla ja laitteilla. Kuinka vanhat ja uudet versiot palkkirakenteista, joita on kolme, valmistetaan, esitetään tässä opinnäytetyössä.

Työ aloitettiin keräämällä tietoperustaa putkilaserista, jotta kyettiin ymmärtämään kyseisen valmistusmenetelmän mahdollisuudet ja rajoitukset. Tärkeänä työn osana oli kokoonpanon helpottaminen ja yhdellä kerralla onnistuminen, joten DFMA-periaatteiden kertaus oli oleellinen osa kehitystyön prosessin aikana.

Valitsemalla putkilaser uudeksi valmistusmenetelmäksi saatiin tuotteiden kokoonpanosta vähennettyä osien, nimikkeiden ja hitsaussauman määrää, sekä kokoonpanoa helpotettiin, millä saatiin kustannussäästöä laitteiden valmistukseen. Lisäksi vanhojen osien piirteiden optimoinnilla pystyttiin eliminoimaan ylimääräisiä nimikkeitä kokoonpanosta.

Palkkirakenteiden kokoonpanoista saatiin yhteensä vähennettyä osia 17, nimikkeitä 16 ja hitsaussaumaa noin 8700 mm.

Avainsanat DFMA, putkilaser, suunnittelu, tuotekehitys

Sivut 43 sivua

ABSTRACT

This thesis was commissioned by Tume-Agri Oy which is an agricultural machinery manufacturer based in Turenki. The purpose of this work was to develop the beam structures of Jyräkombi combined seed and fertilizer drill by utilizing a laser tube cutting machine as a manufacturing method while the assembly could still be conducted with the current machines and equipment of the factory. In this thesis it is presented how the old and new versions of the beam structures are manufactured.

To understand the possibilities and limitations of laser tube cutting machines the work began by gathering a knowledge basis on the manufacturing method. An important part of the work was the simplification and successful assembly of the structures with first attempt. Thus, recalling the DFMA principles was an essential part of the development process.

By choosing a laser tube cutting machine as the new manufacturing method the number of required parts and the length of the weld seam was reduced and the assembly was simplified. With these changes the manufacturing cost savings were increased. In addition, additional individual items were eliminated by optimizing the features of the older parts. From the assemblies of the beam structures the number of parts was reduced by 17, the individual items by 16 and the length of the weld seam by approximately 8700 mm.

Keywords DFMA, laser tube cutting machine, design, product development

Pages 43 pages

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Valmistus- ja kokoonpanostävällinen suunnittelu	1
2.1	Design for Manufacturing	2
2.2	Design for Assembly.....	3
2.3	Design for Manufacturing and Assembly.....	3
3	Putkilaser valmistusmenetelmänä	5
3.1	Monet operaatiot yhdellä prosessilla	5
3.2	Kokoonpanon helpottaminen	6
3.3	3D Leikkaus.	9
3.4	Erikoisten putkimuotojen leikkaus.....	9
4	Kehitettävät palkkirakenteet.....	10
4.1	Sivutuet	12
4.2	Vetolaite.....	14
5	Uudelleen suunnitellut palkkirakenteet.....	18
5.1	Sivutuet	19
5.2	Vetolaite.....	26
6	Prototyypit.....	30
6.1	Sivutuet	30
6.2	Vetolaite.....	35
6.3	Prototyyppien muutokset	37
7	Päätelmä.....	40
7.1	Tulos.....	40
7.2	Oma arviointi.....	41
	Lähteet.....	43

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Tume-Agrin Jyräkombi 3000 Star XL (Tume-Agri, n.d.).	1
Kuva 2. Tuotteiden valmistuskustannukset (Laakko ym., 1998, s. 195).	2
Kuva 3. DFMA-prosessi (Laakko ym., 1998, s. 185).	4
Kuva 4. TruLaser Tube 7000 fiber (Trumpf, n.d.-a).	5
Kuva 5. Monet operaatiot yhdellä kertaa (BLM Group, 2020a).	6

Kuva 6. Kohdistusavut (Trumpf, n.d.-b).....	7
Kuva 7. Putkien välinen kysiliitos (Trumpf, n.d.-b).....	7
Kuva 8. Kulmaan leikatut särmät (Trumpf, n.d.-b).....	8
Kuva 9. Taivutusliitos (Trumpf, n.d.-b).	8
Kuva 10. Viisteiden teko putkilaserilla (BLM Group, 2021).....	9
Kuva 11. Erikoisprofiili putkilaserilta (BLM Group, 2020b).	10
Kuva 12. Oikea sivutuki.....	11
Kuva 13. Vasen sivutuki.	11
Kuva 14. Vetolaite.....	12
Kuva 15. Pidempi putki jatkeen sisällä.	13
Kuva 16. Osittain avoin pohja vasemmassa sivutuessa.	14
Kuva 17. Keskipalkin etupääty.....	15
Kuva 18. Sivupalkki.	15
Kuva 19. Reikälevyt sivupalkeissa.....	16
Kuva 20. Leikkauskuva palkkien yhdyskohdasta.	16
Kuva 21. Palkkien välillä tukilevyt.....	17
Kuva 22. Leikkauskuva vetolaitteen etupäädystä.	18
Kuva 23. Taipeen leikkaus.	19
Kuva 24. Putki taivutettuna.	20
Kuva 25. Uusi sylinterikorva.	21
Kuva 26. Sivutuen pääty.	21
Kuva 27. Uudet tukilevyt.	22
Kuva 28. Piirteet merkkkausviivoja varten.....	23
Kuva 29. Hydrauliiikan asennuksen piirteet.....	24
Kuva 30. Uuden laakeriputken kokoonpano.	24
Kuva 31. Uusi oikea sivutuki.	25
Kuva 32. Uusi vasen sivutuki.	26
Kuva 33. Uusi keskipalkki.....	27
Kuva 34. Uusi sivupalkki.	28
Kuva 35. Sivupalkin pääty mallinnettuna.	28
Kuva 36. Uusi kiinnityksen reikälevy.	29
Kuva 37. Uusi vetolaite.	30

Kuva 38. Päätylevy putken ulkopinnan tasalla.	31
Kuva 39. Seinämän lommahdus.	32
Kuva 40. Taipeen leikkuun tulos.	33
Kuva 41. Purse laserleikkuusta.	34
Kuva 42. Sivutuet kokoonpantuna.	34
Kuva 43. Sivupalkin päädyn leikkuun tulos.	35
Kuva 44. Purse kiinnitysreiässä.	36
Kuva 45. Purse kohdistuslovesta.	36
Kuva 46. Vetolaite kokoonpantuna.	37
Kuva 47. Levyssä tila hitsisaumalle.	38
Kuva 48. Putkilaser seuraa sinisellä korostettua rataa viisteen kulmassa.	38
Kuva 49. Mallinnettu leikkuun tulos.	39
Kuva 50. Taivekohdan muutos.	39
Kuva 51. Kiinnitysreiän leikkuun aloituskolo.	40

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on Tume-Agri Oy:n toimeksiantona kehittää Jyräkombi-kylvölannoittimen (Kuva 1) palkkirakenteiden valmistusta hyödyntäen putkilaserialuomitusmenetelmänä. Putkilaser luomitusmenetelmänä sekä kehitettävät osat, joita on kolme, on esitetty tässä työssä. Kehitetyt versiot rakenteista tulee olla kokoonpantavissa tehtaalla nykyisillä luomitusmenetelmillä sekä sopia asennettaviksi nykyiseen laitteeseen. Tavoitteena tuotekehityksellä on kokoonpanon helpottaminen sekä kokoonpanon osien määrän vähennys, jolloin hitsauksen, särmäyksen ja varastoitavan materiaalin määrä vähenee.

Kuva 1. Tume-Agrin Jyräkombi 3000 Star XL (Tume-Agri, n.d.).



2 Valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu

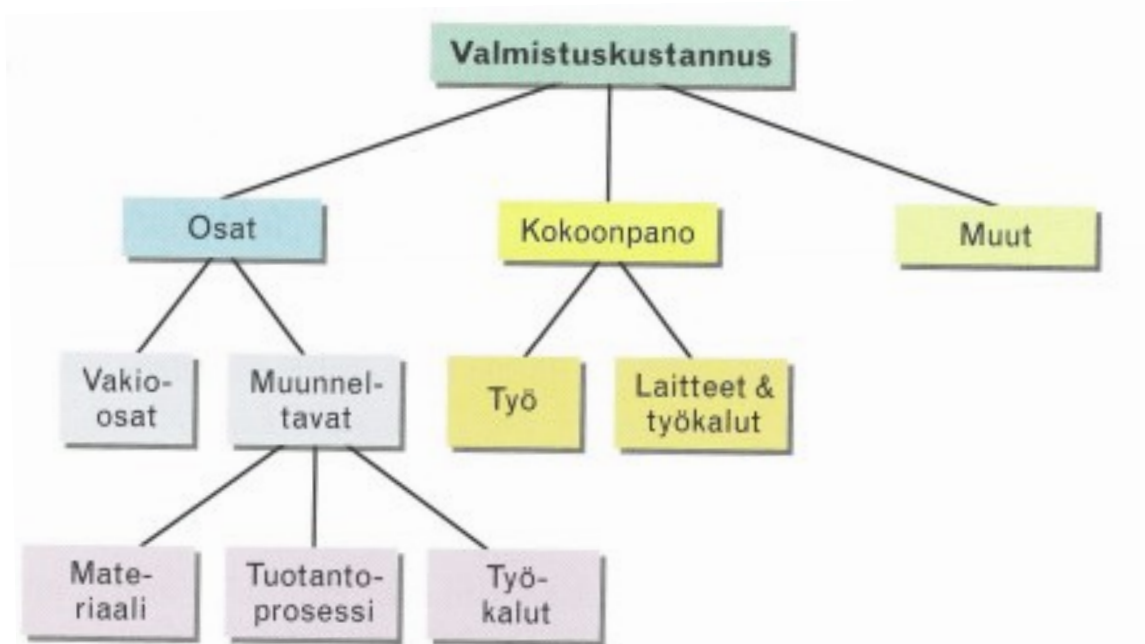
Yli 70 % lopullisen tuotteen valmistuskustannuksista muodostuu suunnittelutyön aikana tehdyistä päätöksistä (Boothroyd ym., 2011, s. 7). Perinteisellä ”over-the-wall” -

suunnittelutavalla, jossa suunnitteluosasto tekee tuotteen suunnitelmat ja tuotanto vastaa valmistuksesta, voi muodostua tuotannolla ongelmia, koska he eivät olleet mukana suunnitteluprosessissa. Tästä voi aiheutua suunnitelmien muutoksia pidentäen suunnittelu-aikaa, suurentaen valmistuskustannuksia ja heikentäen laatua. Näistä syistä valmistusystävällisyys on otettava huomioon koko suunnitteluprosessin ajan. (Laakko ym., 1998 s. 184; ks. myös Boothroyd ym., 2011, s. 8)

2.1 Design for Manufacturing

Tuotteiden valmistuskustannukset voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään kuvan 2 mukaisesti. Valmistusystävällisellä suunnittelulla, design for manufacturing (DFM), pyritään valmistettavista osista aiheutuvien kustannusten minimointiin ymmärtämällä, kuinka osat valmistetaan ja osaamalla hyödyntää valmistuksen standardeja. Esimerkkejä ylimääräisistä kustannuksista yksittäiselle osalle ovat toiminnalle tarpeettomat piirteet ja tiukat toleranssit, joita yritetään karsia DFM-periaatteilla. Samalla pyritään vähentämään tuotteen osien määrää toiminnallisuuden pysyessä samana. Oikean valmistusmenetelmän valinnalla pystytään kasvattamaan osien valmistuksen tehokkuutta ja määrää sekä vähentämään ylimääräiset lisäprosessit ja -työkalujen tarve. (Laakko ym., 1998, s. 186)

Kuva 2. Tuotteiden valmistuskustannukset (Laakko ym., 1998, s. 195).



2.2 Design for Assembly

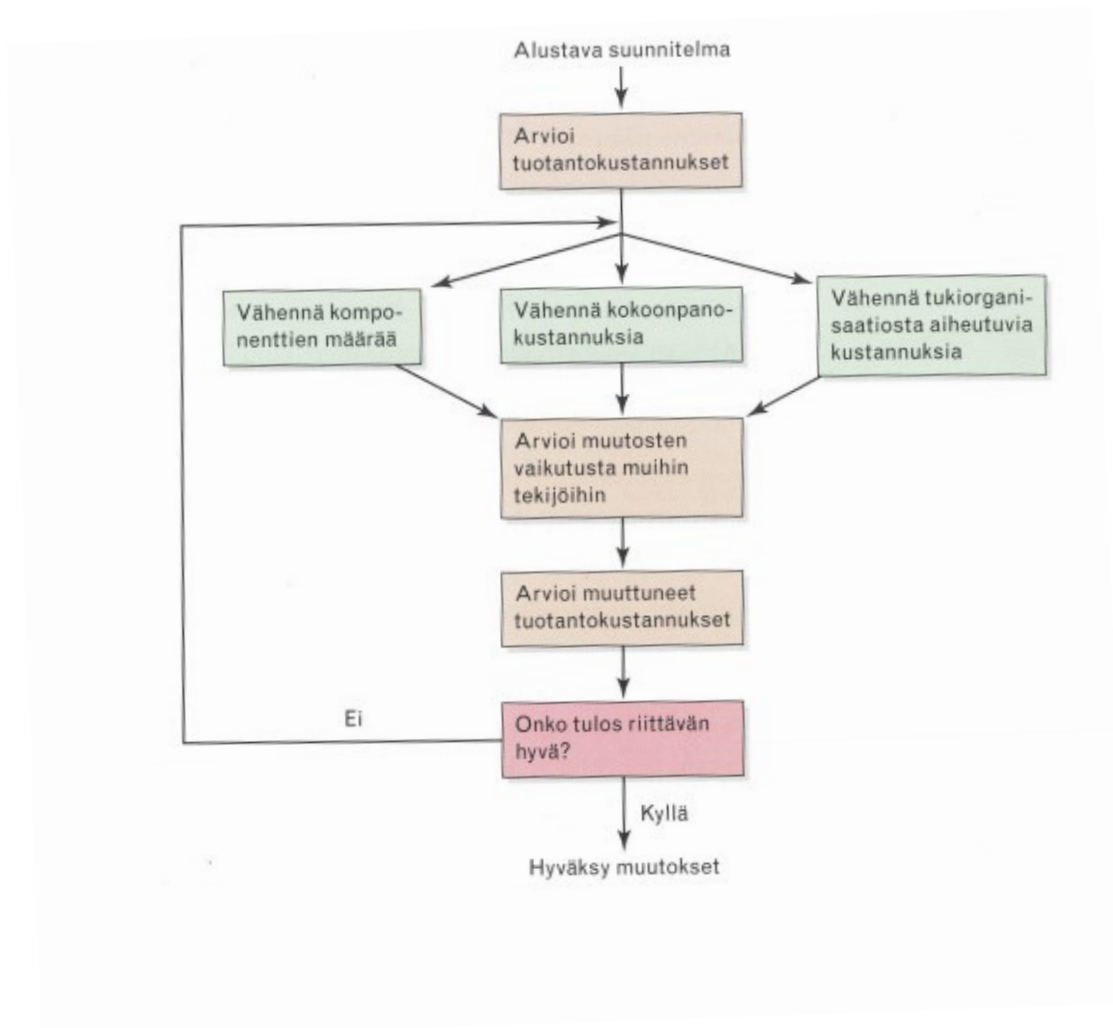
Kokoonpanoystävällisellä suunnittelulla, design for assembly (DFA), pyritään vähentämään tuotteen kokoonpanosta aiheutuvia kustannuksia. Kustannusten vähentäminen perustuu osien määrän minimointiin ja osien käsittelyyn, asettelun sekä kiinnityksen helppouteen. Osien käsittelyn helpottaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi suunnittelemalla kappale symmetriseksi, jolloin osan asennus väärin on mahdotonta. Osien asettelun helpottaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi suunnittelemalla liitettäviin osiin ohjaavat piireet, jotta osat kohdistuvat asennuskohtaan. Kiinnityksen kustannuksia pystytään esimerkiksi vähentämään käyttämällä napsautusliitosta ruuvi-mutteriliitosten sijaan. (Laakko ym., 1998, s. 187; Boothroyd ym., 2011, ss. 74–78)

Boothroyd ym. (2011, ss. 74–78) antavat ohjeita kokoonpanon helpottamiselle, mutta muistuttavat, ettei ohjeilla ole tärkeysjärjestystä. Osien eliminoinnin vaikutusta on analysoitava myös valmistettavuuden kannalta (Laakko ym., 1998, s. 187).

2.3 Design for Manufacturing and Assembly

Valmistus- ja kokoonpanoystävällisellä suunnittelulla, design for manufacturing and assembly (DFMA), pyritään saavuttamaan tuotteelle mahdollisimman edullinen tuotanto. DFMA-suunnittelu sisältää sekä DFM- että DFA-periaatteet. Parhaan suunnittelun tulokseen päästäänkin, kun näitä kahta käsitellään työn aikana samaan aikaan, sillä suunnittelupäätökset vaikuttavat toisiinsa DFM ja DFA näkökulmista. DFMA-prosessi on iteratiivinen, jolloin prosessi voidaan käydä läpi niin monta kertaa, kunnes lopputulokseen ollaan tyytyväisiä (Kuva 3). Prosessia voidaan käyttää kehitysvaiheessa olevalle tuotteelle tai jo tuotannossa olevalle tuotteelle, jota halutaan kehittää. (Laakko ym., 1998, ss. 186–186)

Kuva 3. DFMA-prosessi (Laakko ym., 1998, s. 185).



Laakko ym. (1998, s. 188) listaavat DMFA-prosessin tavoitteet kymmeneen pääsääntöön:

- osien määrän minimointi
- kokoonpanossa toisiinsa asemoitavien pintojen määrän minimointi
- top-down suunnittelun käyttö
- osien paikalleen tuomisen helpotus
- osien yhteensopivuuden maksimointi
- osien symmetrian maksimointi
- osien käsiteltävyyden optimointi
- erillisten lukituselementtien välttäminen
- itse lukittuvien osien käyttö
- modulaarisen suunnittelun käyttö

3 Putkilaser valmistusmenetelmä

Automaattinen putkilaserprosessi alkaa 3D-CAD-piirustuksesta. Ensimmäinen vaihe on tuoda CAD-malli (esim. .stp- tai .igs -tiedostona) laserin ohjelmistolle ja käyttää mallia tuottamaan automaattisesti laserin leikkuuradat. Leikkuurata muutetaan sen jälkeen automaattisesti putkilaserin koodiksi, jota se tarvitsee työstääkseen osan. (Arendas, 2007; ks. myös SSC Laser Cutting, n.d., s.3)

Kun leikkuukoodi on luotu, seuraava vaihe on lastata koneeseen putkea. Putket mitataan automaattisesti ja syötetään kiertoistukkaan, joka syöttää putkea lineaarisesti ja samalla pyörittää putkea lasersäteen alla. Valmis osa vapautetaan leikkuun jälkeen putkilaserista (Kuva 4). (Arendas, 2007)

Kuva 4. TruLaser Tube 7000 fiber (Trumpf, n.d.-a).

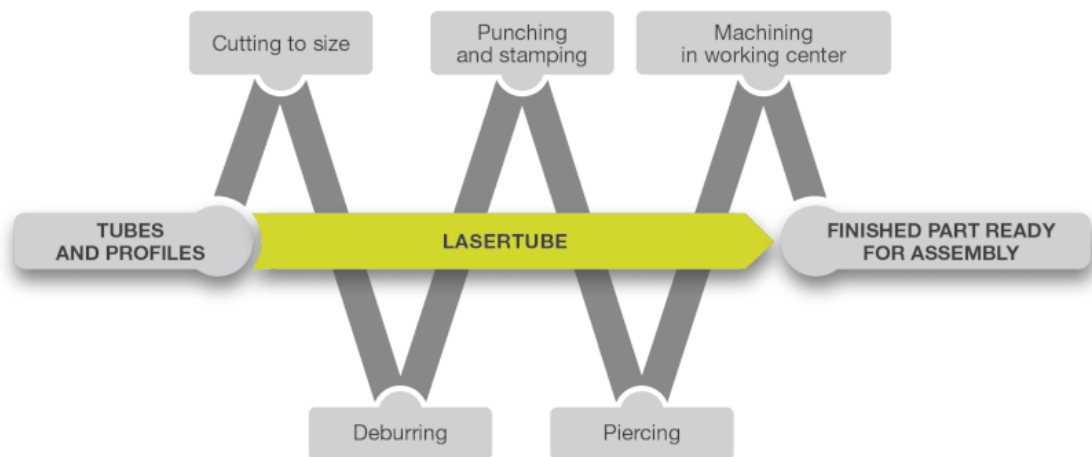


3.1 Monet operaatiot yhdellä prosessilla.

Varman liitoksen teko muihin osiin vaatii putkeen reikien, aukkojen sekä geometrian leikkuuta ja koneistamista. Kun putkiosia suunnitellaan DFM-periaatteiden mukaisesti ja mietitään valmistusmenetelmää, putkilaserteknologiaa hyödyntämällä voidaan korvata

aiemmat vaaditut koneistusprosessit (sahaus, poraus jne.) yhdellä laserleikkuuoperaatiolla (Kuva 5). Jotkin putkilaserkoneet on myös varustettu kierteitysjärjestelmällä, jolla saadaan putken seinämään kierrereivät muun leikkuuprosessin aikana. (BLM Group, 2020a)

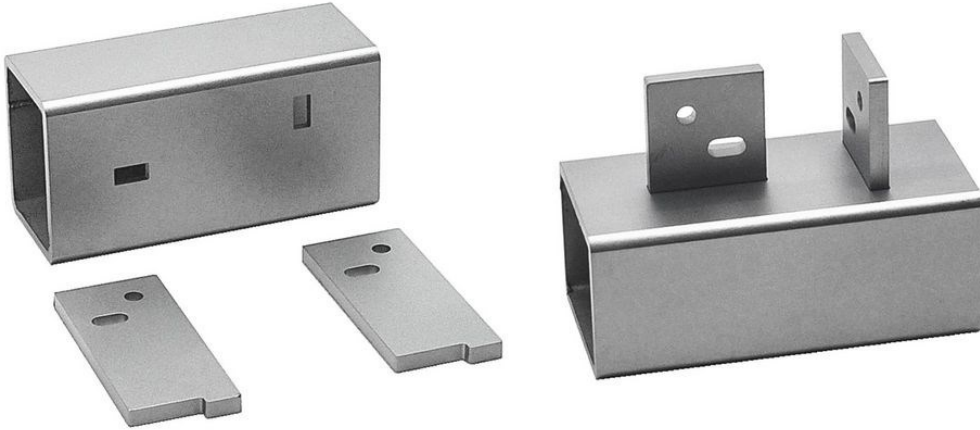
Kuva 5. Monet operaatiot yhdellä kertaa (BLM Group, 2020a).



3.2 Kokoonpanon helpottaminen

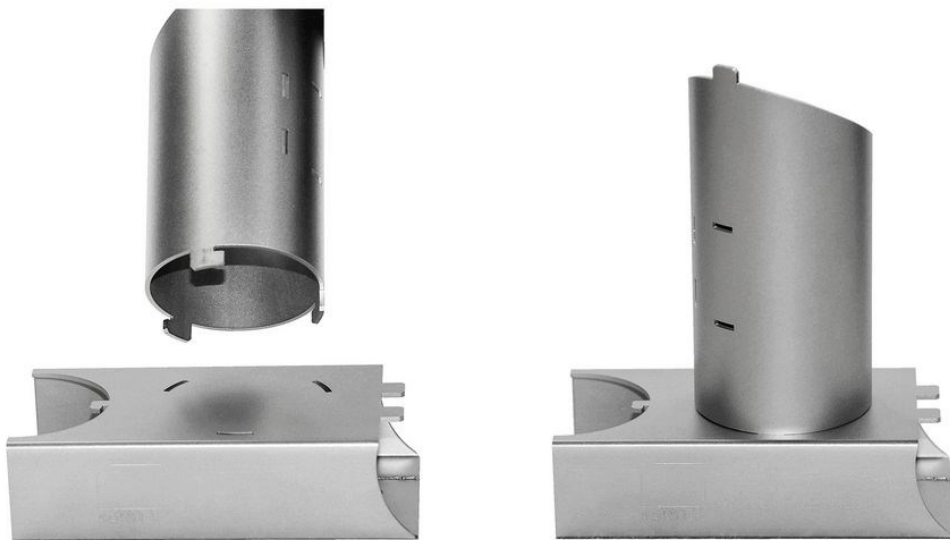
Tässä luvussa käydään joitakin DFMA-periaatteiden mukaisia piirteitä, joita putkilaserilla on tehtävissä. Kohdistusulokkeiden ja vastaavien aukkojen leikkuulla helpotetaan kappaleiden sijoittamista, kohdistusta ja mitoittamista sekä jopa eliminoidaan jigien käyttö (Kuva 6) (SSC Laser Cutting, n.d., s. 5; Trumpf, n.d.-b).

Kuva 6. Kohdistusavut (Trumpf, n.d.-b).



Putkien välisen liitoksen tekemiseen tarvittavien kiinnikkeiden käytöltä voidaan välttyä, jos putkiin suunnitellaan kohdistuskynsiä ja -aukkoja (Kuva 7). Samalla jatkoliitosta varten osat ovat helpommin kohdistettuna oikeaan paikkaan. (Trumpf, n.d.-b)

Kuva 7. Putkien välinen kynsiliitos (Trumpf, n.d.-b).



Kulmaliitoksien tekemiseen tarvittavien lisätöiden kustannuksia voidaan vähentää käyttämällä tarkasti kulmaan leikatuilla särmillä (Kuva 8) (Trumpf, n.d.-b). Mahdollisuutena on myös leikata putki niin, että tietystä kohdasta jätetään jäljelle vain yksi sivu, josta putkea pystytään taivuttamaan. Pyöreä ulkoreuna mahdollistaa uuden valikoiman osia ja suunnitelmia käyttämällä vain yhtä osaa (Kuva 9) (Trumpf, n.d.-b).

Kuva 8. Kulmaan leikatut särmät (Trumpf, n.d.-b).



Kuva 9. Taivutusliitos (Trumpf, n.d.-b).



3.3 3D Leikkaus.

Mahdollisuutena putkilaserleikkuulla on kallistaa leikkuupäätä, jolloin lasersäde osuu putken pintaan viistosti jopa 45 asteteen kulmassa (Kuva 10). Tämä on erityisen hyödyllistä, koska tällä tavoin putken särmään saadaan tarkasti tehtyä viisteet hitausrailoksi ilman erillistä koneistusta. (BLM Group, 2021; ks. myös SSC Laser, n.d., s. 3)

Kuva 10. Viisteiden teko putkilaserilla (BLM Group, 2021).



3.4 Erikoisten putkimuotojen leikkaus

Kuten standardiprofiileilla, erikoisprofiilien käyttö helpottuu, kun valmistuksen operaatiot saadaan kerralla tehtyä tai kokonaan vältettyä (Kuva 11). Lisäetuina erikoisprofiilin käytöllä on, että yhdellä osalla saadaan haluttu rakenteen muoto tai yhtä osaa voidaan käyttää usean eri rakenteen osana monimuotoisen poikkileikkauksen ansiosta. (BLM Group, 2020b)

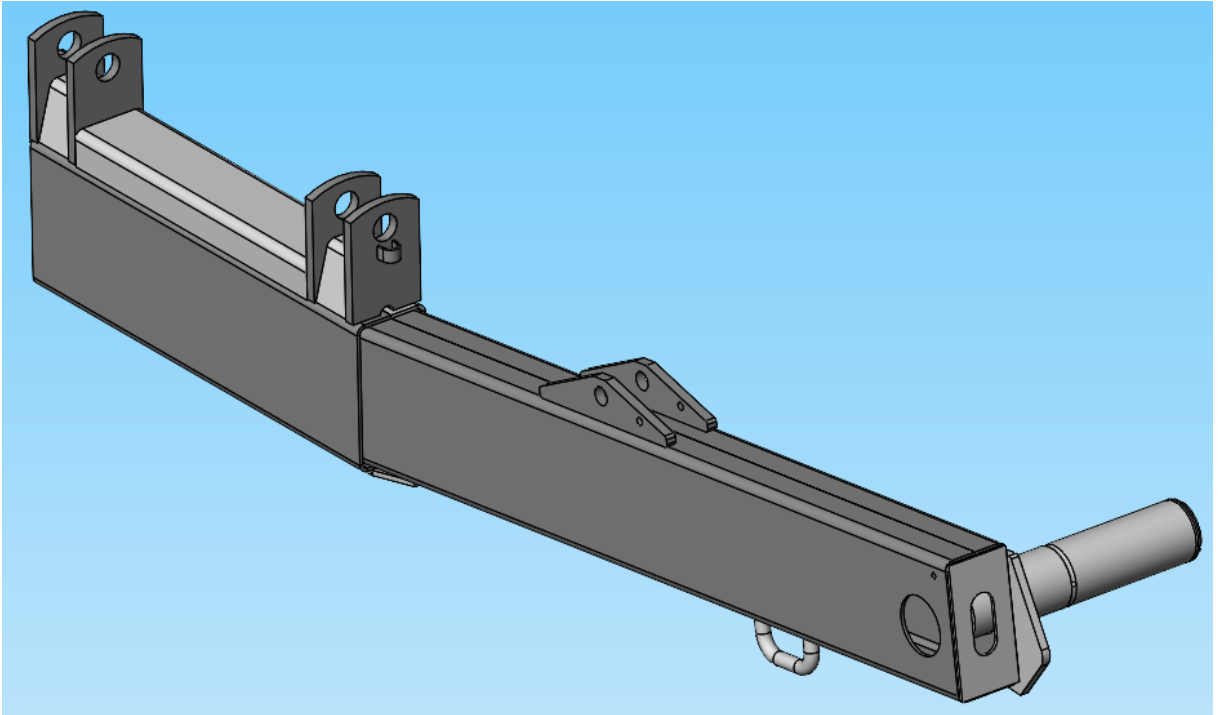
Kuva 11. Erikoisprofiili putkilaserilta (BLM Group, 2020b).



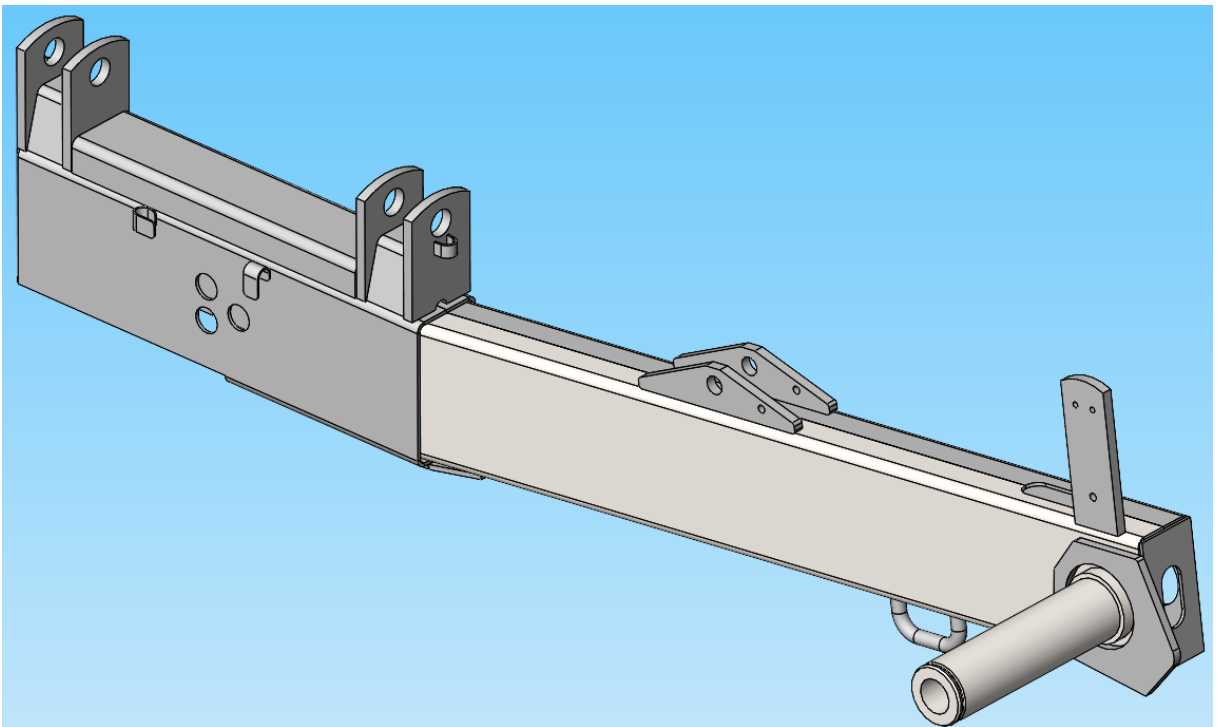
4 Kehitettävät palkkirakenteet

Kehitettävänä kohteina ovat kylvölannoittimen sivutuet (Kuvat 12 ja 13) sekä vetolaite (Kuva 14). Tässä luvussa esitetään, miten vanhat versiot valmistetaan ja mitkä ovat niiden erityispiirteitä.

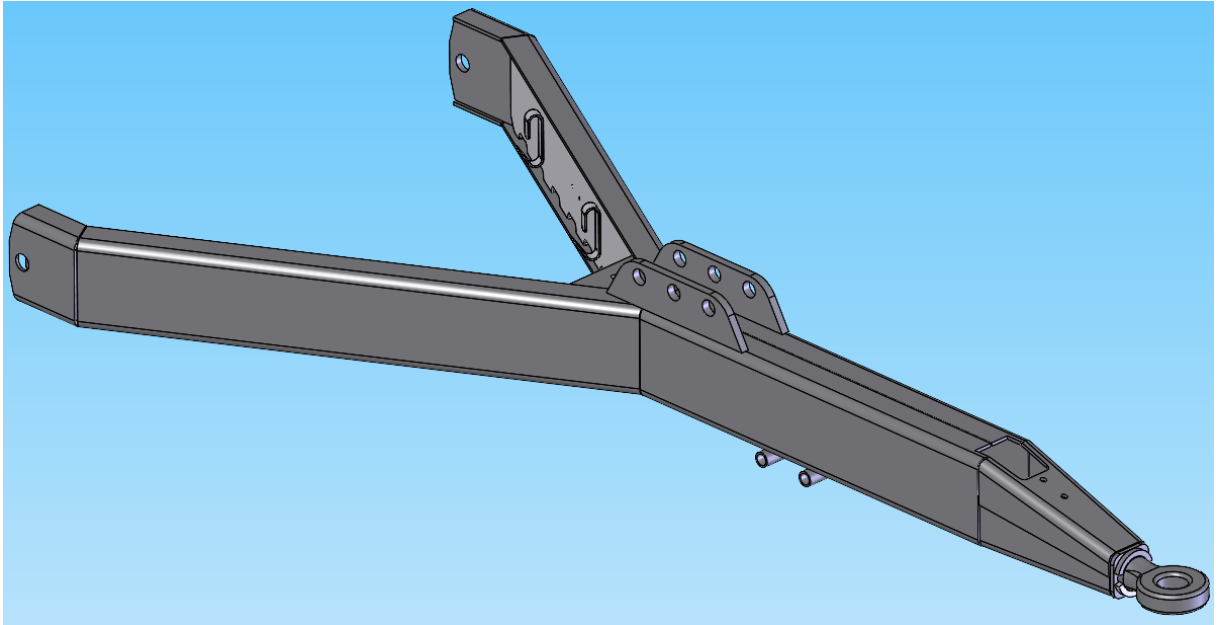
Kuva 12. Oikea sivutuki.



Kuva 13. Vasen sivutuki.



Kuva 14. Vetolaite.

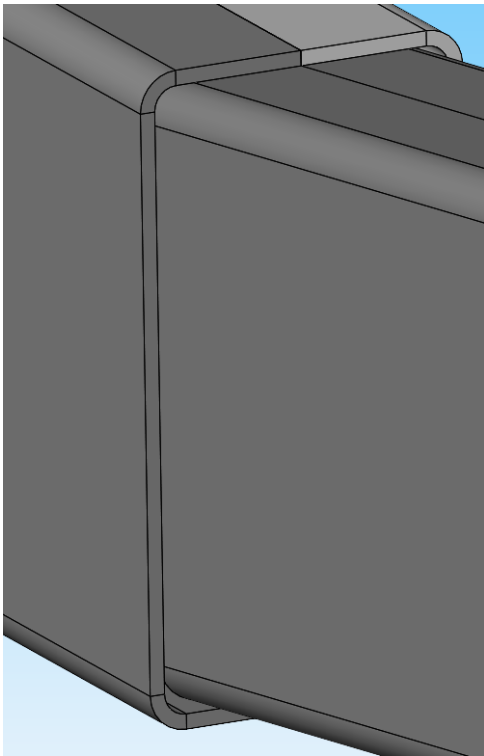


4.1 Sivutuet

Yhteensä vanhassa oikeassa sivutuessa kokoonpantavia osia on 21 kappaletta ja nimikkeitä 15. Vanhassa vasemmassa sivutuessa osia on 24 kappaletta ja nimikkeitä 18. Suurin osa osista ovat laserleikattuja levyjä, mutta sivutuissa on myös yksi sorvattava osa ja yksi taivutettu umpitanko-osa. Materiaalina kaikilla levyosilla on kuumavalssattua rakenneterästä, sorvausosalla ainesputkea ja umpitanko on kuumavalssattua pyörötankoa.

Palkkirakenne valmistetaan hitsaamalla kaksi U-profiiliksi särmättyä levyä laipoistaan toisiinsa muodostaen suorakaideputken, joka asetetaan toisen suorakaideputken sisään, joka myös valmistetaan hitsaamalla kaksi särmättyä levyä toisiinsa, ja lopulta hitsaamalla nämä toisiinsa oikeassa kulmassa (Kuva 15). Tähän palkkirakenteeseen hitsataan loput kokoonpanon osat. Kokoonpanon jälkeen sivutuet jauhemaalataan.

Kuva 15. Pidempi putki jatkeen sisällä.



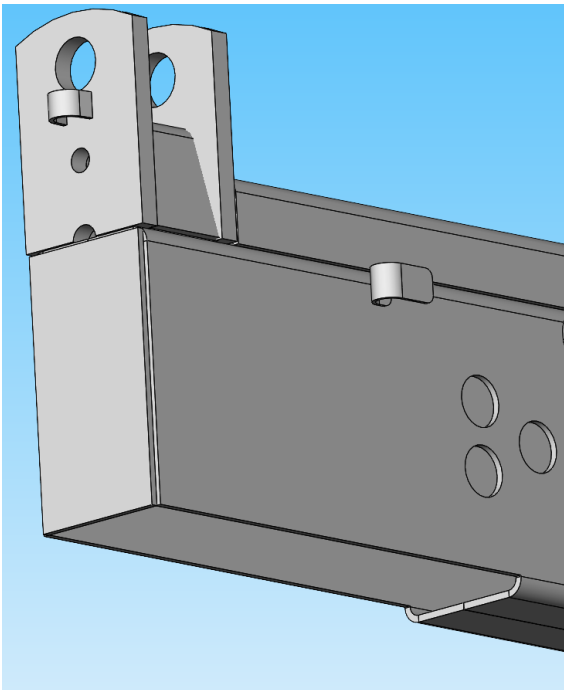
Kiinnityskohtina molemmilla sivutuilla ovat palkin etuosassa sorvattava laakeriputki, keskivaiheilla kaksi korvalevyä sylinterille sekä takaosassa neljä korvalevyä takapyörästäön kanssa (Kuvat 12 ja 13). Takaosan korvalevyistä taaimmaisessa on yksi ylimääräinen reikä lisäten yhden nimikkeen lisää kokoonpanoon (Kuva 16). Takapyörästäö liitetään korvalevyihin tappi-sokkaliitoksella, jonka sokan pitimeksi etummaiseen ja taaimmaiseen korvalevyyn hitsataan lukituskaaret (Kuva 16).

Takaosan korvalevyjen välille hitsataan särmättyjä levyosia korvalevyjen tuentaa varten. Palkin pohjaan taivekohtaan hitsataan vahvikelevy sekä Jyräkombin kuljetusta varten taivutettu umpitanko-osa. Laakeriputken kohdalla palkin etuosaan hitsataan reiällinen levy, jotta laakeriputkelle saadaan kestävä hitsi aikaiseksi. Palkin päätyihin hitsataan levyt, jotka ovat keskenään myös erilaiset (vrt. kuva 13 ja kuva 16).

Oikeassa sivutuessa erityispiirteenä on palkin päässä ulkoreunalla reikä voimansiirron komponenteille. Täten kehitetyssä oikeassa sivutuessa on myös oltava tilaa. Laakeriputket ovat keskenään myös erilaiset, koska oikeanpuoleisessa voimansiirron osia sovitetaan putken sisään, mutta vasemmanpuoleinen vain asennetaan Jyräkombin runkoon kiinni.

Vasemman sivutuen sisällä johdetaan hydraulikkajohtoja, joille on reiät palkin päällä etuosassa yksi sekä takana palkin sivussa kolme. Ylimääräisinä osina vasempaan sivutukeen hitsataan etuosaan kiinni hydrauliiikan kolmitieventtiilille kiinnitystä varten levy sekä taakse sisäpinnalle hydraulikkajohdoille pidikkeet. Johtojen asennusta varten vasemman sivutuen pohja on osittain avoin (Kuva 16).

Kuva 16. Osittain avoin pohja vasemmassa sivutuessa.

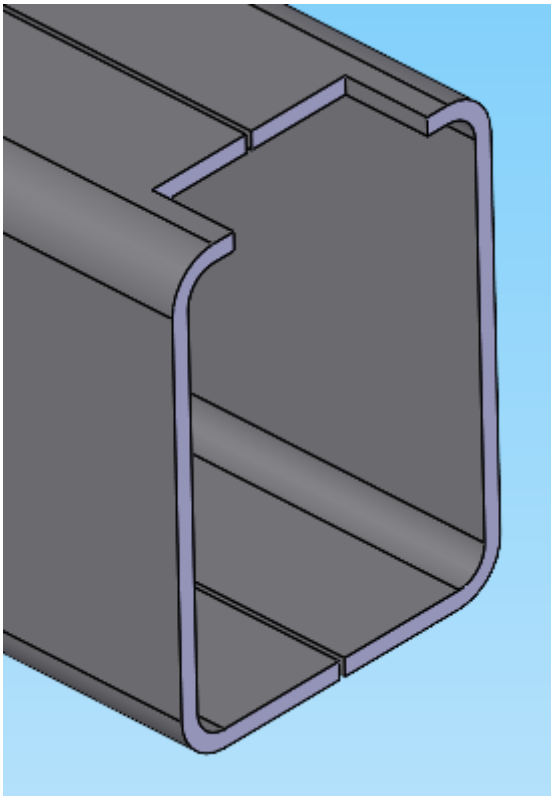


Näistä erityispiirteistä johtuen pelkästään levyistä, jotka muodostavat palkit, muodostui seitsemän eri nimikettä. Ainoastaan oikean sivutuen suuremman putken särmätyt levyt ovat keskenään samanlaiset.

4.2 Vetolaite

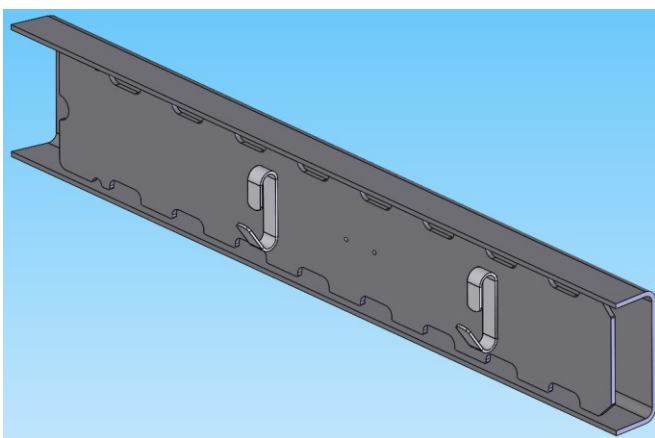
Yhteensä vanhassa vetolaitteessa kokoonpantavia osia on 32 kappaletta ja nimikkeitä 19. Keskipalkki valmistetaan hitsaamalla standardin SFS-EN 10162 mukaiset U-profiilit laipoista toisiinsa. Profiilit ovat peilikuvia toisistaan, kun niiden etupäätyyn leikataan lyhyet lovet tehden profiileista eri nimikkeet (Kuva 17). Hitsatun keskipalkin pohjalle hitsataan kaksi putkiosaa, jotka toimivat Jyräkombin loppukokoonpanossa asennettavan tukijalan saranaputkina (Kuva 14).

Kuva 17. Keskipalkin etupääty.



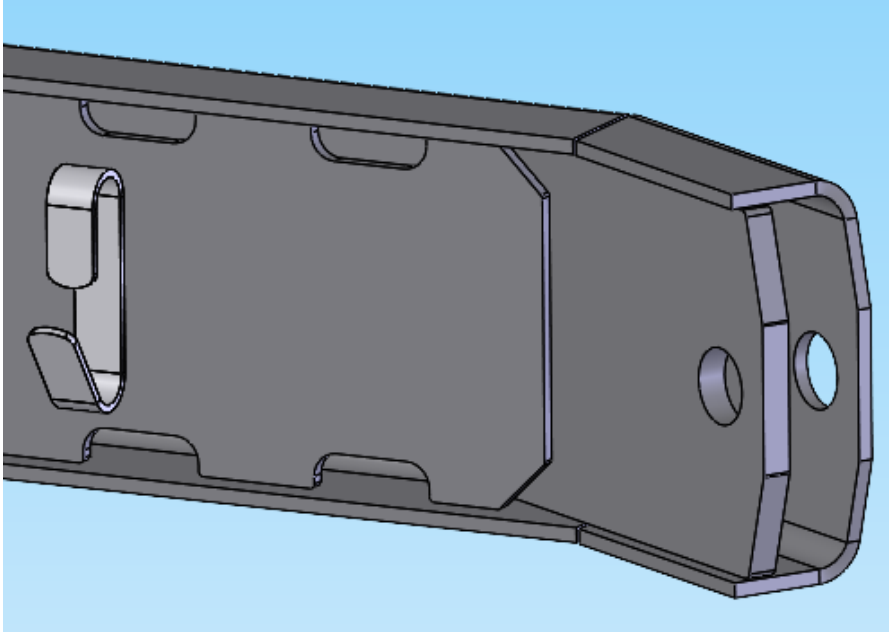
Sivupalkit valmistetaan U-profiilista ja laserleikatusta tukilevystä, joka hitsataan U-profiilin laippojen väliin (Kuva 18). Tukilevyyn hitsataan pitimiä, joilla voidaan kannatella sähköjohtoja Jyräkombin ja traktorin välillä.

Kuva 18. Sivupalkki.



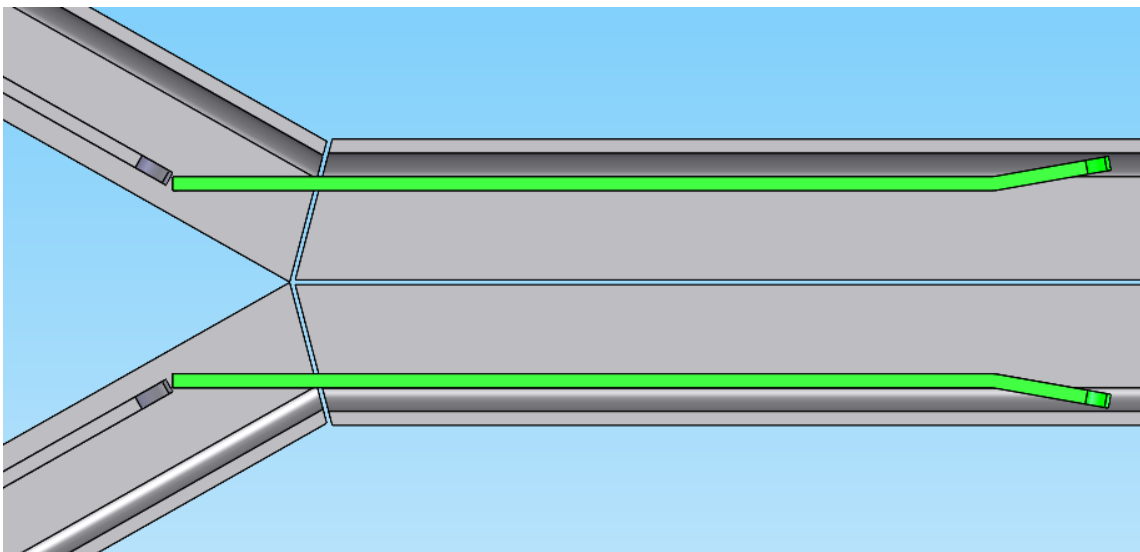
Sivupalkin takapäättyyn hitsataan lyhyt jatke, joka on kiinnityskohtana Jyräkombiin (Kuva 19). Ulompi reikälevy on laserleikattu levy, joka särmättään U-profiiliksi, jonka laippojen väliin hitsataan toinen reikälevy.

Kuva 19. Reikälevyt sivupalkeissa.



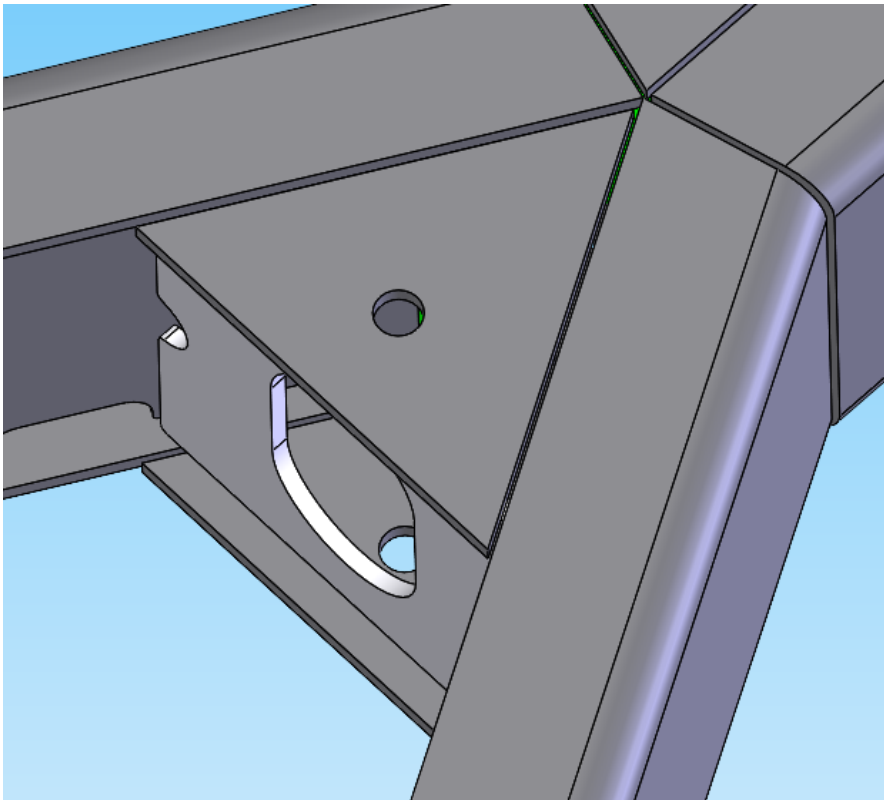
Kuvan 20 leikkauksessa näytetään palkkien yhdyskohta. Yhdyskohdassa keskipalkkiin hitsataan tukilevyt (vihreällä) ja päättyyn hitsataan sivupalkit.

Kuva 20. Leikkauskuva palkkien yhdyskohdasta.



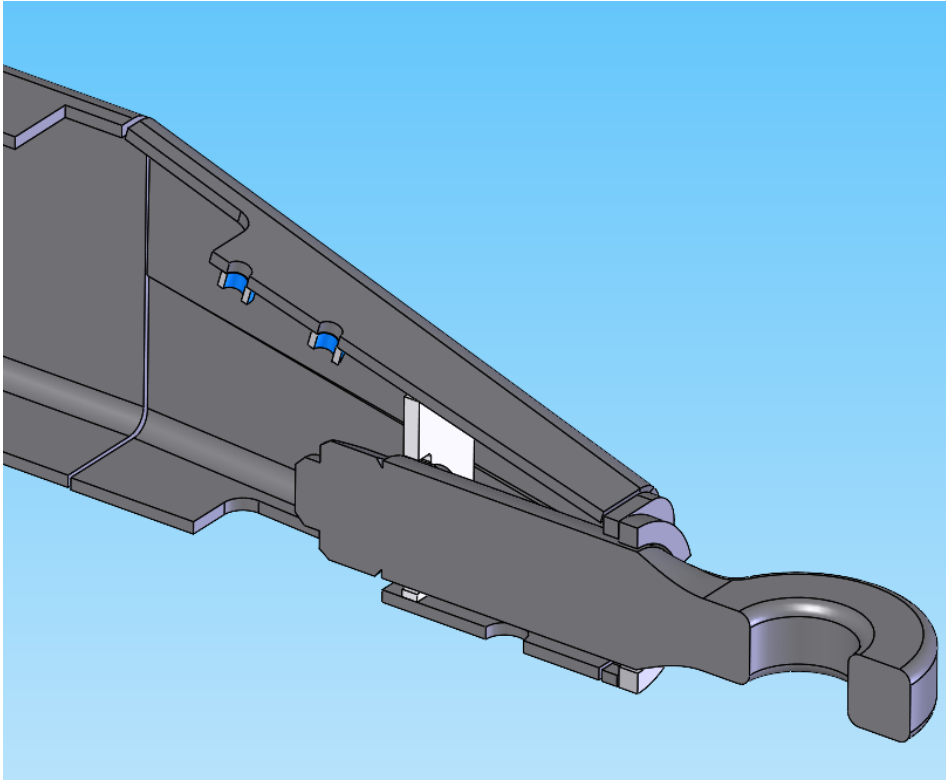
Tähän palkkien yhdyskohtaan, sivupalkkien välille, hitsataan kulmapalat tukemaan palkkeja sivusuunnassa (Kuva 21). Pystylevyssä on aukko sähköjohdoille Jyräkombin ja traktorin välille, jolloin johdot voidaan johtaa palkin sisäpuolella. Vetolaitteen päälle hitsataan toista kiinnityskohtaa varten reikälevyt (Kuva 14). Tähän kiinnitetään tappi-sokkaliitoksella vanttiruuvi tai aisasylinteri, joiden toinen pää kiinnitetään Jyräkombiin.

Kuva 21. Palkkien välillä tukilevyt.



Keskipalkin etupäättyyn hitsataan vetosilmukan kiinnitystä varten kotelomainen jatke (Kuva 22), jonka yläpinnalla on aukko sähköjohdoille sekä reiät hitsattaville muttereille, joilla kiinnitetään sähköjohtojen jatkopidin vetolaitteeseen kiinni Jyräkombin loppukokoonpanossa. Jatkeen päättyyn hitsataan vetosilmukan holkki, pääty- ja tukilevyt sekä rengasmaiset palaset, jotka estävät silmukan pyörimistä. Alapinnalla olevasta aukosta jatkeeseen asennetaan vetosilmukka, kun holkki on hitsattu paikalleen.

Kuva 22. Leikkauskuva vetolaitteen etupäädystä.



5 Uudelleen suunnitellut palkkirakenteet

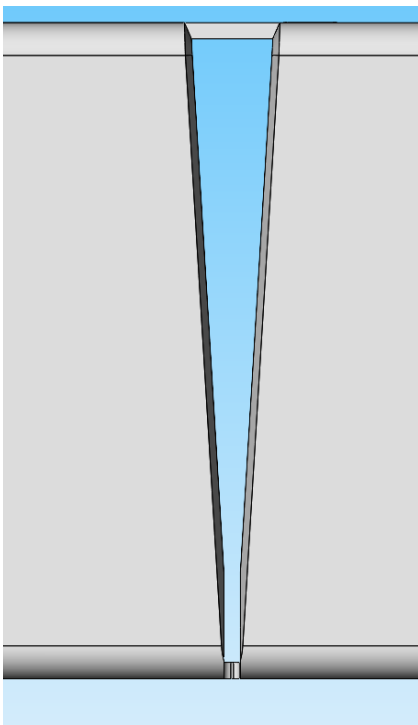
Kehitystyön tavoitteena on kokoonpanon helpottaminen sekä kokoonpanon osien määrän vähennys, josta saadaan säästöä hitsauksen, särmäyksen ja varastoitavan materiaalin määrän vähentymisestä. Kehitettyjen rakenteiden ehtona on, että ne ovat asennettavissa nykyisiin laitteisiin eli kiinnityskohtien on pysyttävä samoina.

Kokoonpanossa osien määrä sekä niiden käsittely, asettelu ja kiinnitys ovat kokoonpanon muodostuvien kustannusten päätekijät (Boothroyd ym., 2011, s. 81). Täten DFMA-periaatteet tulisivat olla harkinnassa koko suunnitteluprosessin ajan (Boothroyd ym., 2011, s. 73). Tässä luvussa esitetään, miten kokoonpanoystävällisempiin palkkirakenteisiin päädyttiin.

5.1 Sivutuet

Sivutukien osien määrä saadaan minimoitua, jos ne olisivat valmistettu yhdestä putkesta. Samalla vähennettyä hitsisaumaa noin 3200 mm. Luvussa 2.2 esitetään, kuinka oikeanlaisella putkilaserleikkuulla voidaan myös taivuttaa suorakaideputkea haluttuun kulmaan, mitä periaatetta halutaan hyödyntää uusien palkkien valmistuksessa. Kuvassa 23 näytetään, kuinka palkin taivekohta suunniteltiin leikattavaksi, jotta seitsemän asteen taivutus onnistuisi. Leikkuusärmille suunniteltiin myös viisteet hitsausrailoksi, jotka pystytään leikkaamaan putkilaserilla. Taipeen kohdalle palkin pohjalle hitsataan yhä vahvikelevy putken taivutuksen ja hitsauksen jälkeen.

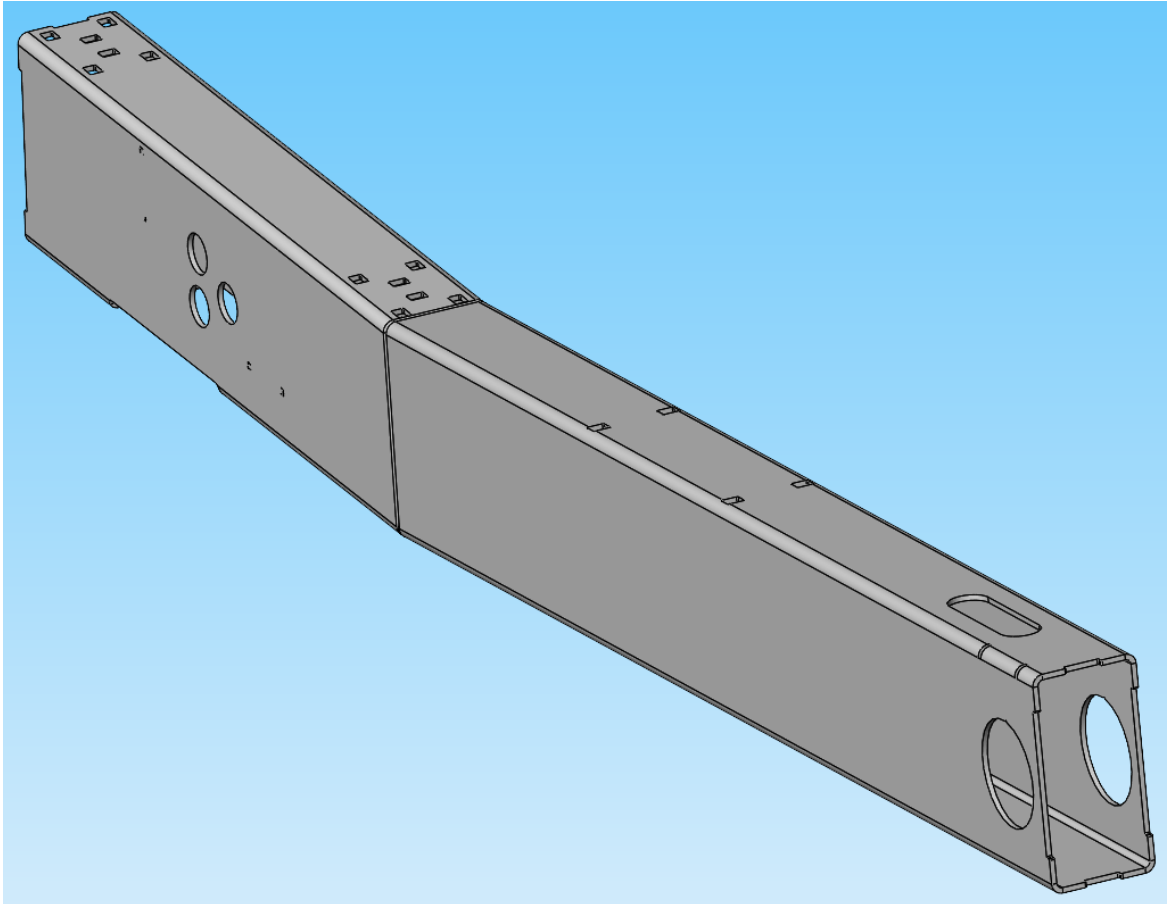
Kuva 23. Taipeen leikkaus.



Yläpinnalle jätetään leikkuussa ohut kannas antamaan vääntöjäykkyyttä putkelle, jotta se ei vaurioituisi kuljetuksessa. Tämä kannas leikataan tehtaalla pois ennen taivutusta (Kuva 24) ja hitsausta. Kuvassa 24 näkyy, kuinka palkin päälle hitsattavien levyosien paikoittamista helpotetaan kohdistusaukoilla, jotka ovat helposti leikattavissa putkilaserilla. Palkki toimii myös sekä oikean- että vasenkätisenä, mikä on yksi DFM-suunnittelun periaatteita (Hietikko, 2008, s. 157), kun samaan palkkiin suunniteltiin vasemman tukivarren ylimääräiset

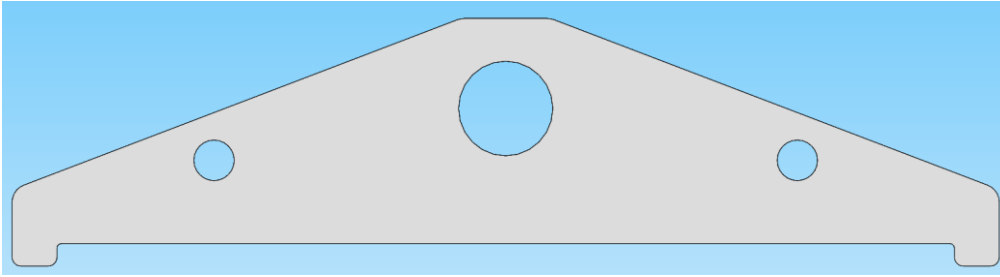
hydrauliikan aukot ja reiät. Uudella ratkaisulla saadaan nimikkeitä vähennettyä kokoonpanosta ja yrityksen tietojärjestelmästä kuusi kappaletta.

Kuva 24. Putki taivutettuna.



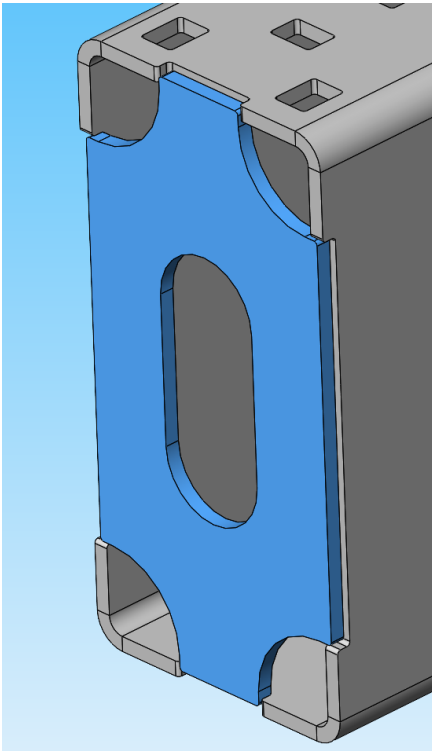
Palkin päälle hitsattaviin levyosiin tehtiin muutokset siten, että niissä on tulevaisuudessa kohdistusulokkeet. DFA-ohjeiden (Boothroyd ym., 2011, s. 74) mukaisesti osat ovat helposti asetettavissa paikoilleen, kun niiden ulokkeissa on pyöristykset ja runsas välys aukkojen välillä. Ohjeiden perusteella levyjen symmetrisyys säilytettiin tai lisättiin, jotta ne olisivat mahdollisimman helposti käsiteltävissä ja väärin päin asettelu olisi mahdotonta. Esimerkiksi palkin keskivaiheen sylinterikorvat (Kuva 25), jossa oli vain yksi pieni reikä isomman lisäksi, oli mahdollisuus, että korvalevy asennettiin väärin päin palkkiin. Samalla taaimmainen takapyörästä kiinnityksen korvalevy (Kuva 16, luku 4.1) korvattiin samanlaisilla levyillä kuin muutkin korvalevyt sillä ylimääräinen reikä on toiminnan kannalta turha ja nimikkeitä saadaan vähennettyä jälleen yhdellä.

Kuva 25. Uusi sylinterikorva.



Koska palkin päädyt ovat samasta putkesta, voidaan päätyihin hitsata kiinni samanlainen levy (Kuvassa 26 sinisellä) vähentäen yhden nimikkeen kokoonpanosta. Kohdistamista helpotetaan putkeen leikatuilla syvennyksillä. Lisäetuna tällä ratkaisulla on myös hitsisauman vähentyminen sekä saadaan palkin päätyihin vedervalutusreiät, jotka on tehtävä rakenteeseen tehtaan maalaamon pesuveden pois johtamiseksi (Piironen, 2013, s. 51).

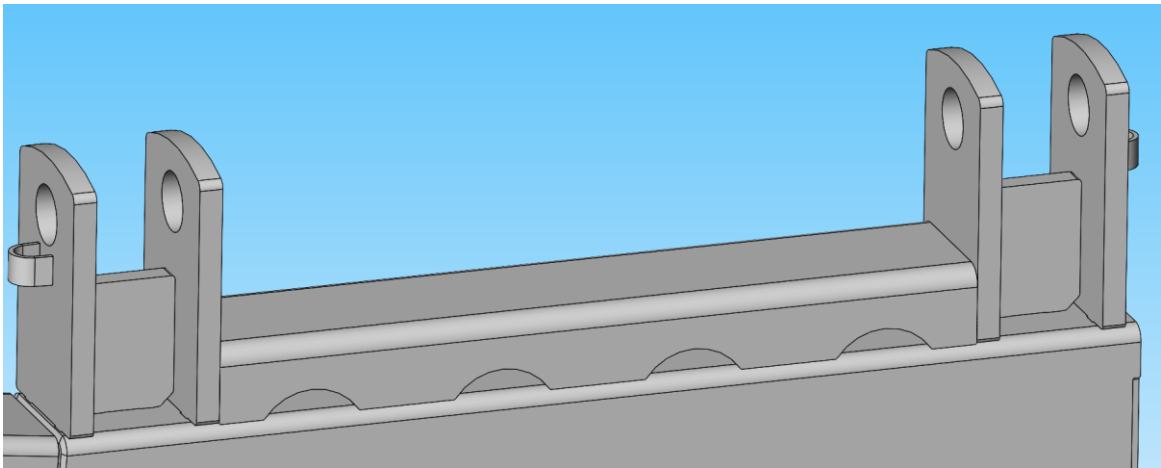
Kuva 26. Sivutuen pääty.



Vanhoissa sivutuissa takakorvalevyjen välillä olevia särmämällä valmistettuja tukilevyjä (Kuvat 12 ja 13, luku 4) korvattiin laserleikatulla levyllä (Kuva 27), jotta ne olisivat mahdollisimman yksinkertaisia (Swift & Booker, 2013, s. 411) taivutettujen levyjen sijaan.

Pidempi särmätty tukilevy toimii samalla käyttäjälle askelmana, joten särmätystä ratkaisusta ei luovuttu. Vanhassa sivutuessa kotelomainen rakenne hitsauksen jälkeen estää jauhemaalauksessa kappaleen puhdistamista ja kuumentamista sisäpinnoilta, jotta maali sulautuisi pinnoille kunnolla (Piironen, 2013, s. 51). Näistä syistä astintasona toimivaan levyosaan suunniteltiin aukotuksia maalauksen helpottamiseksi (Kuva 27).

Kuva 27. Uudet tukilevyt.



Myös pohjaan hitsattavan umpitangosta tehdyn lenkin paikannusta haluttiin helpottaa.

Ratkaisussa päädyttiin hyödyntämään putkilaseria, joka tekisi putkiin vain kevyet merkkau sviivat, joiden väliin lenkki asetetaan ja hitsataan paikoilleen (Kuva 28).

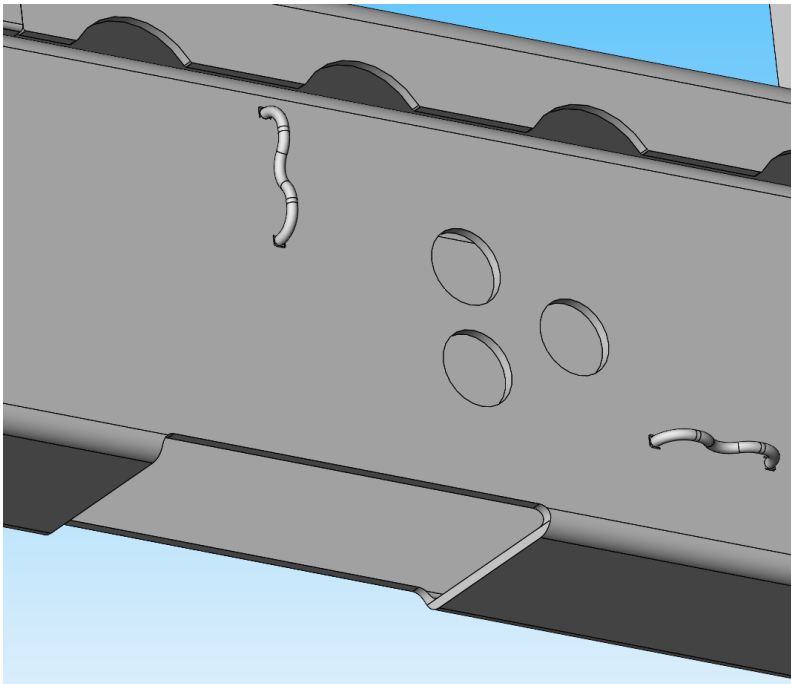
Valmistuskuvissa on tehtävä selväksi, että näitä mallinnettuja piirteitä ei leikata laserilla läpi vaan tehdään pienemmällä teholla viivat.

Kuva 28. Piirteet merkkauksiin varten.



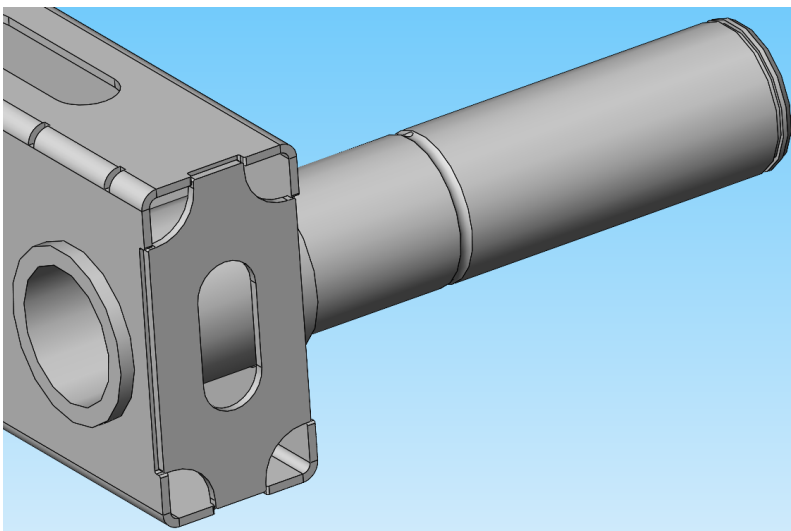
Vasemman sivutuen hydraulikkajohtojen asennuksen pohjan aukko leikataan kokonaan auki putkilaserilla (Kuva 29). Sivutuen hydraulikan kiinnittimet palkin sivulle päätettiin vaihtaa toisenlaiseen osaan, jota käytetään myös toisissa Tume-Agrin valmistamissa laitteissa, jolloin vanhat kiinnittimet saadaan poistettua varastosta kokonaan. Korvaavaksi osaksi löydettiin kuvan 29 ohuet taivutetut tangot, jotka hitsataan palkin kylkeen. Hydraulikkaletkut voidaan Jyräkombin loppukokoonpanossa kiinnittää näihin kiinnikkeisiin nippusiteillä nopeasti. Kuten pohjaan hitsattavalle lenkille, näiden paikoituksen helpottamiseksi tehdään merkkauksiin varten putkilaserilla.

Kuva 29. Hydrauliiikan asennuksen piirteet.



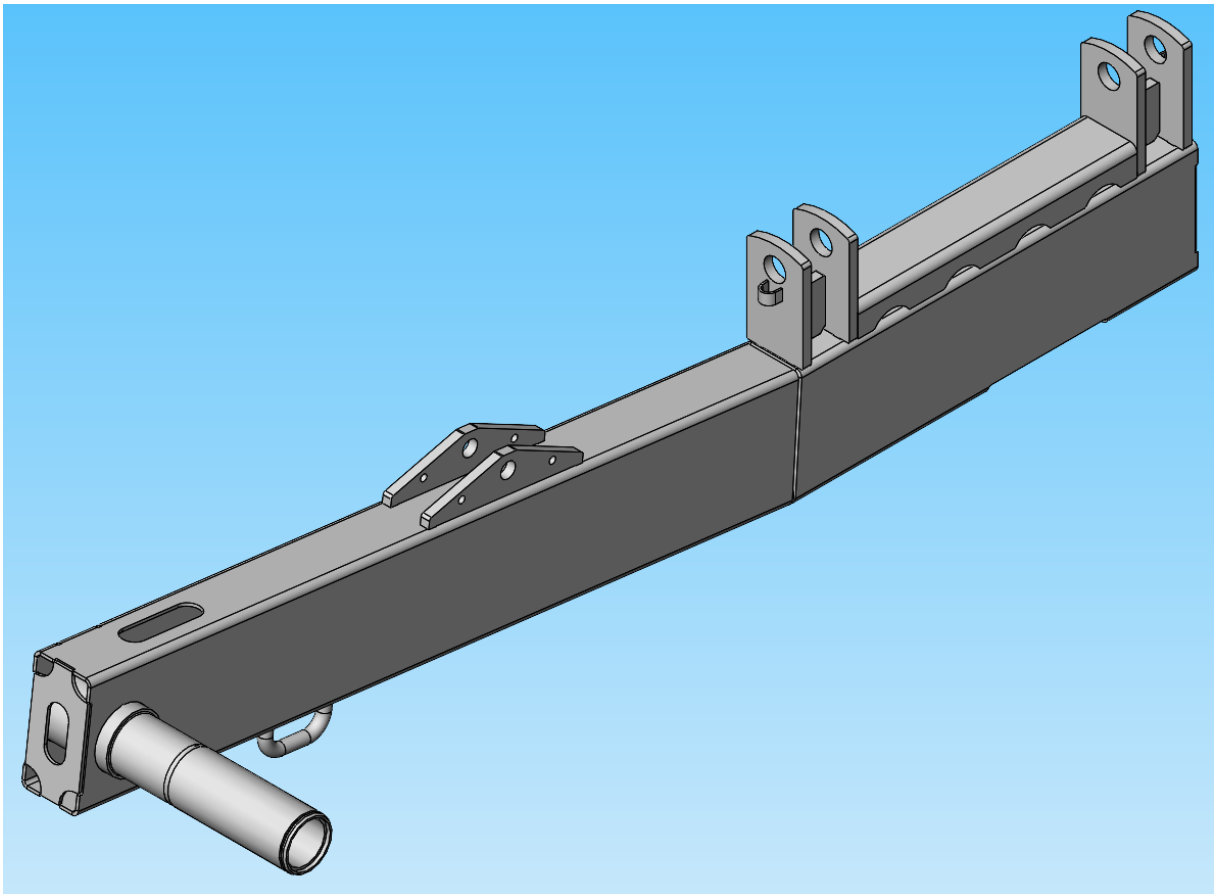
Laakeriputkia kehitettiin hitsattaviksi uusissa sivutuissa palkin ulkopinnoille (Kuva 30), jolloin vanhojen sivutukien laakeriputkien kohdalla ollut ylimääräinen levy voidaan poistaa kokoonpanosta. Kehitetyt laakeriputket toimivat asennettavaksi sekä oikean- että vasemmankätiseen sivutukeen eivätkä vaadi Jyräkombin loppukokoonpanolle muutoksia, kun oikeanpuoleisen sivutuen sivulle ja laakeriputken läpi asennetaan voimansiirron komponentteja.

Kuva 30. Uuden laakeriputken kokoonpano.

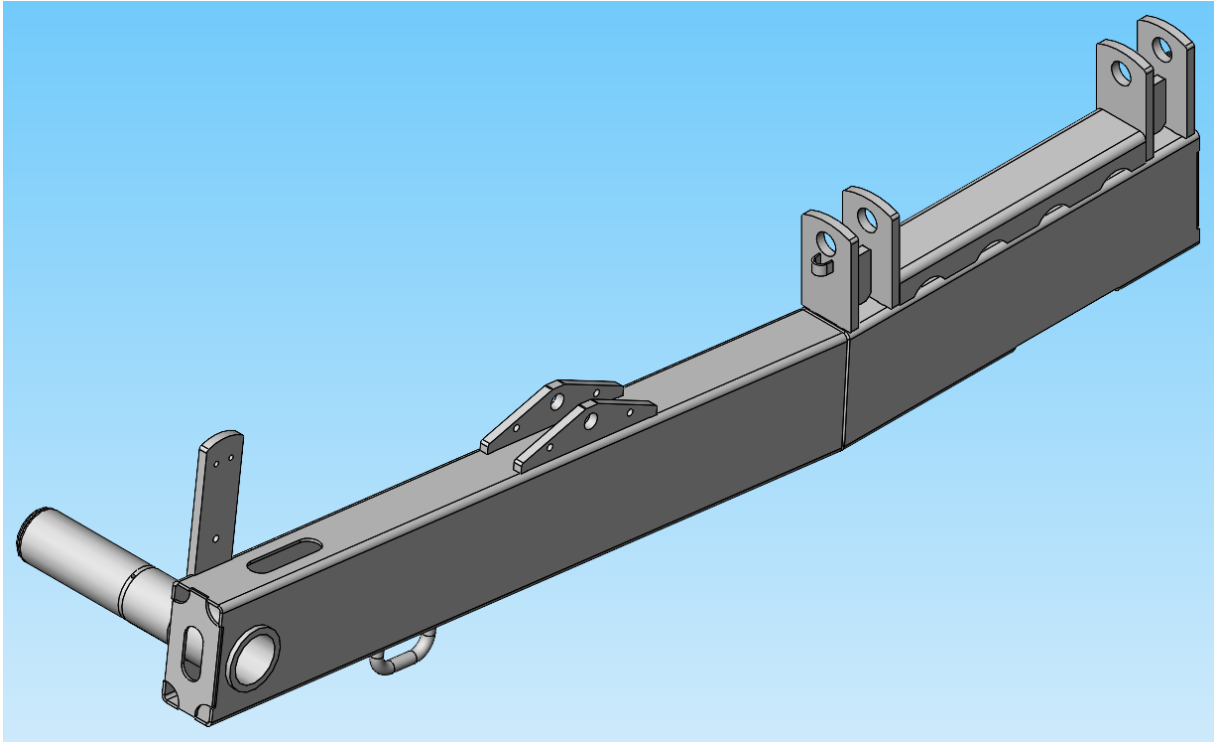


Suunnittelutyön tuloksena on sivutuet, jotka käyttävät samoja osia (Kuvat 31 ja 32). Vasempaan sivutukeen hitsataan ylimääräisinä osina hydrauliiikan kolmitieventtiilin pidin sekä johtojen pitimet. Uudessa oikeanpuoleisessa sivutuessa osien määrä on saatu vähennettyä neljällä kappaleella; nyt nimikkeitä on 10 ja osia 17. Vasemmanpuoleisessa osien määrä on saatu vähennettyä myös neljällä; nyt nimikkeitä on 12 ja osia 20. Yhteensä nimikkeitä vähentyy kokoonpanoista 11, kun mukaan lasketaan hydrauliiikan kiinnittimet, jotka korvattiin lenkeillä, joita käytetään muissakin Tume-Agrin laitteissa. Molemmista sivutuista hitsisauman määrä on vähentynyt noin 4530 mm, josta noin 3190 mm saadaan vähennettyä, kun palkki valmistetaan yhtenäisestä putkesta.

Kuva 31. Uusi oikea sivutuki.



Kuva 32. Uusi vasen sivutuki.



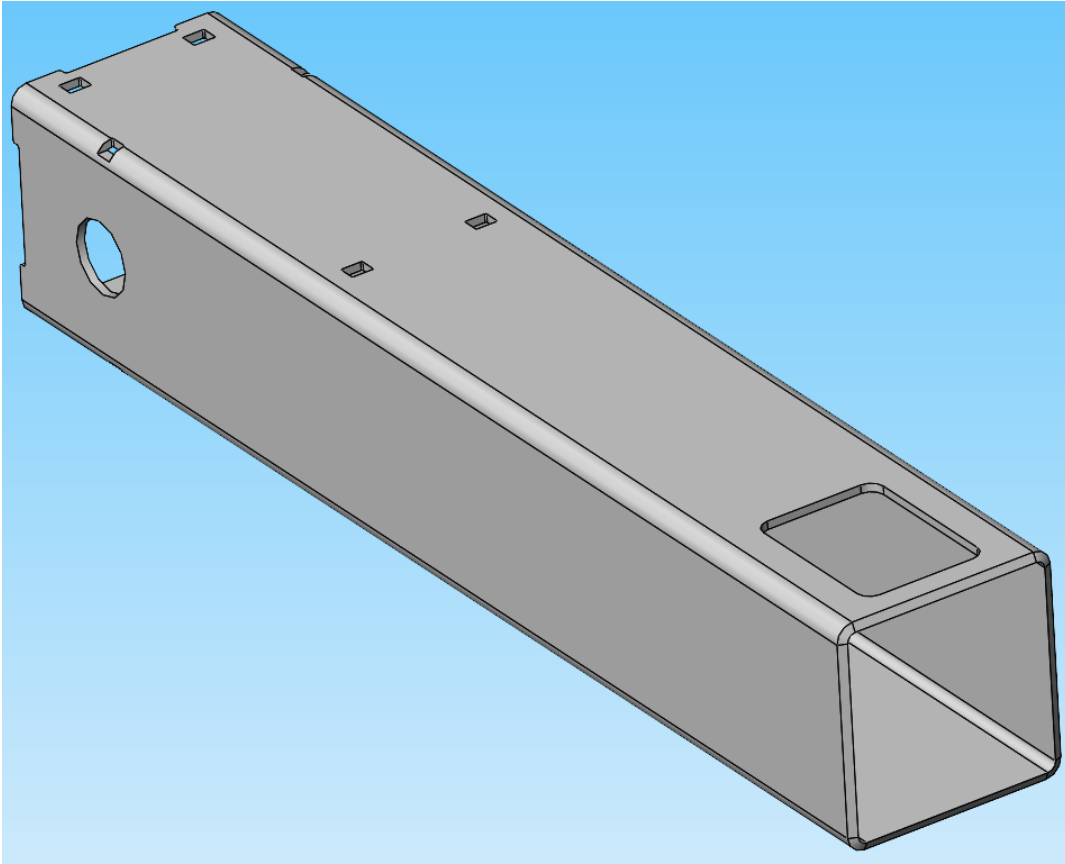
5.2 Vetolaite

Vanhan vetolaitteen hitsamalla valmistetut palkkirakenteet suunniteltiin korvattavaksi putkilaseroksi, jolloin osia voidaan vähentää kokoonpanosta kolmella kappaleella.

Hitsisaumaa keskipalkin valmistukselta saadaan vähennettyä noin 1530 mm. Uusi keksipalkki (Kuva 33) on suhteellisen yksinkertainen putkilaserosa, jossa on kohdistamista helpottavat aukotukset takapäädystä sivutuille, päätylevyille ja päälle hitsattaville reikälevyille.

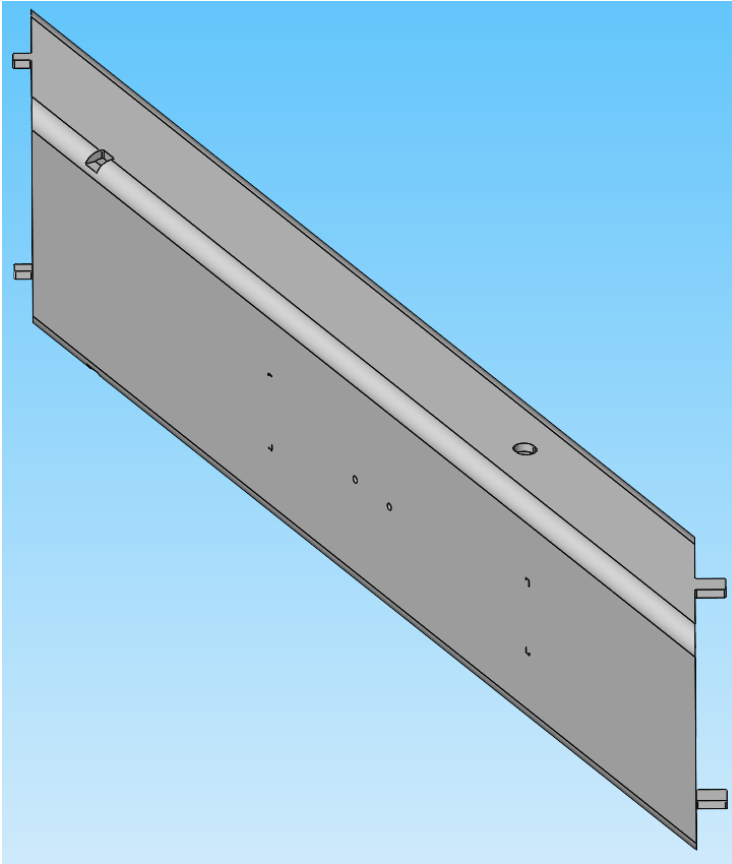
Etupäättyyn leikataan viisteet hitsausrailoksi ja aukko sähköjohdoille. Sivuihin leikataan pyöreät reiät, jotta maalauksessa saadaan sekä pesuvesi että kuuma ilma johdettua myös sivupalkkien sisäpuolelle (Piironen, 2013, s. 51).

Kuva 33. Uusi keskipalkki.



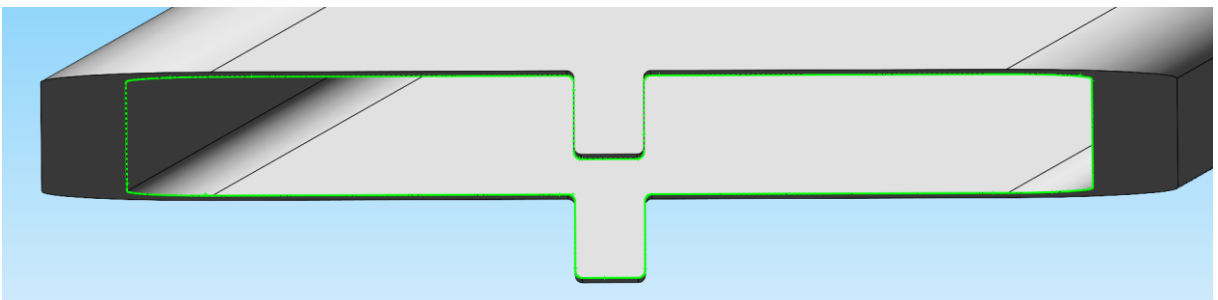
Sivupalkkien valmistuksesta saadaan vähennettyä hitsisaumaa noin 800 mm, kun valmistustavaksi vaihdetaan putkilaser. Uudessa sivupalkissa (Kuva 34) on kohdistusta helpottavat ulokkeet, joiden leveys ja pituus ovat keskenään eri suuruiset, jolloin vältetään, että sivupalkki tulisi hitsattua keskipalkkiin väärin päin, kun väärän päädyn uloke ei mahdu keskipalkin aukkoon. Hitsauksessa hyödynnetään keskipalkin kulmien pyöristystä, jotka muodostavat railon sivupalkkien välille. Keskivaiheilla palkkia on aukotukset mahdollisille lisävarusteille. Sähköjohtojen kannattimet vaihdettiin samanlaisiin osiin kuin sivutukien hydraulikkajohtojen pitimet ja näitä varten tehdään kohdistusviivat putkilaserilla.

Kuva 34. Uusi sivupalkki.



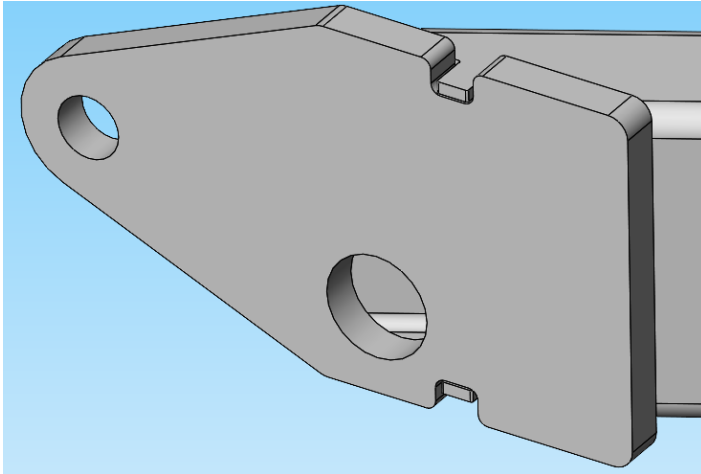
Sivupalkkia suunnitellessa huomioitiin kuinka putkilaser ei leikkaa mallinnetulla tavalla putken päätä, koska leikkuukulma sivupinnoilla on niin suuri, että se on putkilaserilla mahdotonta tehdä (Kuva 35). Käytännössä putkilaser normalisoi leikkuuradan; lasersäde osuu putkeen kohtisuorasti ja oletetusti seuraa kuvassa 35 vihreällä korostettua putken sisäpuolista muotoa, jättäen kuvassa oikeaan reunaan ylimääräistä materiaalia ja poistaa vasemmasta reunasta vastaavan muodon. Luvun 6.2 kuvassa 43 näytetään normalisoidun leikkuun tulos.

Kuva 35. Sivupalkin pääty mallinnettuna.



Vanhojen sivupalkkien takapäädyn reikälevyt korvattiin uusissa yhdellä paksummalla reikälevyllä (Kuva 36) kiinnityspintojen pintapaineen pysyessä tällöin samana. Suunniteltu levy ei ole kokoonpanon kannalta symmetrinen, mutta levyä suunniteltaessa arvioitiin, että maalausprosessin pesuveden pois valuttaminen tehokkaammin on tärkeämpää.

Kuva 36. Uusi kiinnityksen reikälevy.



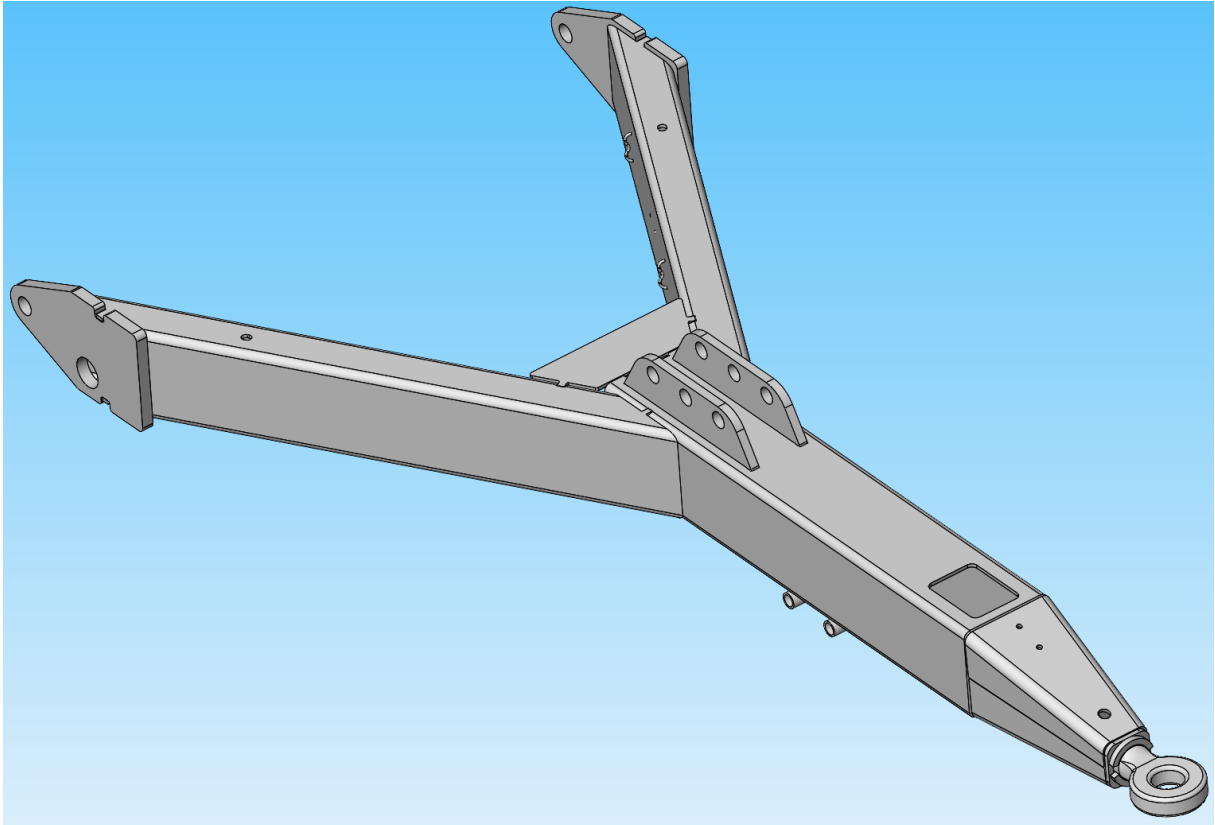
Sivupalkkien väliset tuet korvattiin kohdistusulokkeisilla levyillä, joiden hitsaamisessa hyödynnetään sivupalkkien kulmien pyöristystä railona (Kuva 37). Keskipalkin päättyyn hitsataan aukollinen päätylevy, kuten Jyräkombin sivutukien päätylevyt (Kuva 26, luku 5.1).

Vetolaitteen etupäädyn vetosilmukan jatketta yritettiin kehittää siten, että kotelon kansi muodostaisi jatkeen ylä- ja sivupinnat, mihin hitsattaisiin muut silmukan kiinnitystä vaadittavat levyosat alikokoonpanona ennen jatkeen hitsausta keskipalkin päättyyn. Jatkeen pohjan olisi muodostanut keskipalkin pääty, josta leikattaisiin ylä- ja sivupinnat. Alihankkijalta kyselyn tuloksena osoittautuikin, että kannen pitkät laipat osuisivat levyä särmätessä koneen runkoon kiinni. Tästä syystä jatkeen kokoonpano on samanlainen kuin vanhassakin vetolaitteessa. Uudessa jatkeessa vain muutettiin kotelon särmättyjen levyjen ja kotelon sisäpuolisen levyn äärimittoja sekä reikien paikkaa. Sähköjohtojen pidin loppukokoonpanossa asennetaan paikalleen kierteen muovaavilla DIN 7500 ruuveilla hitsattujen mutterien ja niihin sopivien ruuvien sijaan.

Suunnittelutyön tuloksena uudella vetolaitteella (Kuva 37) osien määrä saatiin vähennettyä yhdeksän kappaletta ja nimikkeitä viisi. Varastosta saadaan vähennettyä yksi nimike lisää,

kun sivupalkkeihin hitsataan kiinnittimet, joita käytetään muissakin Tume-Agrin laitteissa. Hitsisaumaa uudella vetolaitteella on noin 4170 mm vähemmän.

Kuva 37. Uusi vetolaite.



6 Prototyypit

Kehitetyistä sivutuista ja vetolaitteesta valmistettiin prototyypit, minkä tarkoituksena oli varmistaa, että kokoonpano saadaan suoritettua suunnitellusti sekä kerätä palautetta kokoonpanolta asioista, joita voitaisiin parantaa ja korjata (Hietikko, 2008, s. 181). Tässä luvussa esitetään erillisten osien valmistuksessa muodostuneita virheitä, jotka mahdollisesti haittaavat kokoonpanoa, kokoonpanon lopputulos sekä parannusehdotuksia.

6.1 Sivutuet

Putken etupäätyyn leikataan reikä laakeriputken kokoonpanoa varten ja syvennykset päätylevyn asemointia varten. Reiästä putken päätyyn jää vain 12 mm ohut kannas, joka hieman lommahtaa putken sisäpuolelle ja päätylevyn särmä on putken ulkopinnan kanssa

samalla tasalla (Kuva 38). Ilmiö johtuu, kun kyseisellä putken sivulla on putken valmistuksessa tehty hitsisauma. Toiminnan kannalta ilmiöllä ei pitäisi olla merkitystä, mutta jos päätylevyjä tullaan robottihitsaamaan putkeen, hitsin onnistumista tutkitaan tarkemmin.

Kuva 38. Päätylevy putken ulkopinnan tasalla.



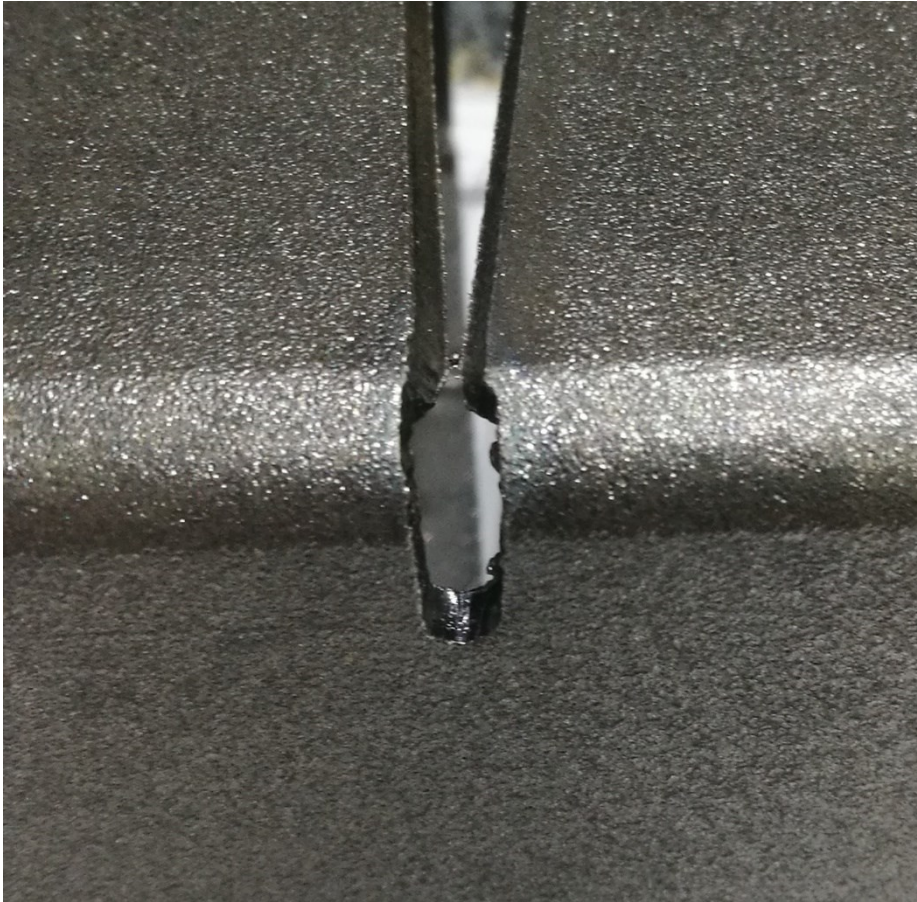
Sama lommahdusilmiö tapahtuu putken hitsatulle seinämälle, kun hydraulikkajohtojen asennusta varten putken pohja leikataan auki (Kuva 39). Tälläkään ei ole merkitystä palkin toiminnan tai kestävyuden kannalta merkitystä, kun aukko oli myös vanhassa sivituessa ja aukosta saadaan yhä hydraulikkajohtoja asennettua paikoilleen.

Kuva 39. Seinämän lommahdus.



Odottamattomasti putkilaser ei leikkaa putken nurkkaa jouhevasti taipeen kohdalla (Kuva 40). Ylimääräinen materiaali saattaa vaatia hiomista, jotta putki pystytään taivuttamaan haluttuun kulmaan ilman ongelmia.

Kuva 40. Taipeen leikkuun tulos.



Sivutukien takakorvalevyjen väliin hitsattavien tukilevyjen yhdelle särmälle on jäänyt purse laserleikkauksesta (Kuva 41). Kyseinen purse saattaa haitata kokoonpanoa siten, että suunniteltua korvalevyjen välistä etäisyyttä ei saada toteutettua ilman purseen pois viilausta. Korvalevyjen oikea etäisyys toisistaan on Jyräkombin takapyörästöön asennuksen kannalta tärkeä mitta.

Kuva 41. Purse laserleikkuusta.



Hitsauskokoontaminen (Kuva 42) onnistuivat suunnitellusti toteuttaen toiminnalliset mitat, mutta yksittäisille osille tehtiin muutoksia, jotta kokoonpanossa osille ei tarvitse tehdä ylimääräisiä toimenpiteitä. Kuten arveltuakin, taivutuksessa putken nurkassa oleva ylimääräinen materiaali (Kuva 40) ottivat toisiinsa kiinni ja haluttua kulmaa ei saatu tehtyä ilman hiomista. Toisen ongelman aiheutti tukilevyjen särmässä oleva purse (Kuva 41), jolloin korvalevyjen välinen suunniteltu etäisyys ei toteutunut ja purseet jouduttiin viilaamaan pois ennen hitsauksia. Kolmantena ylimääräisenä työnä oli, että korvalevyjen välisestä särmätystä levyistä (Kuva 27, luku 5.1) leikattiin kulmista palat pois, jotta korvalevyjen hitsisaumalle olisi tilaa levyjen välillä.

Kuva 42. Sivutuet kokoonpantuna.



6.2 Vetolaite

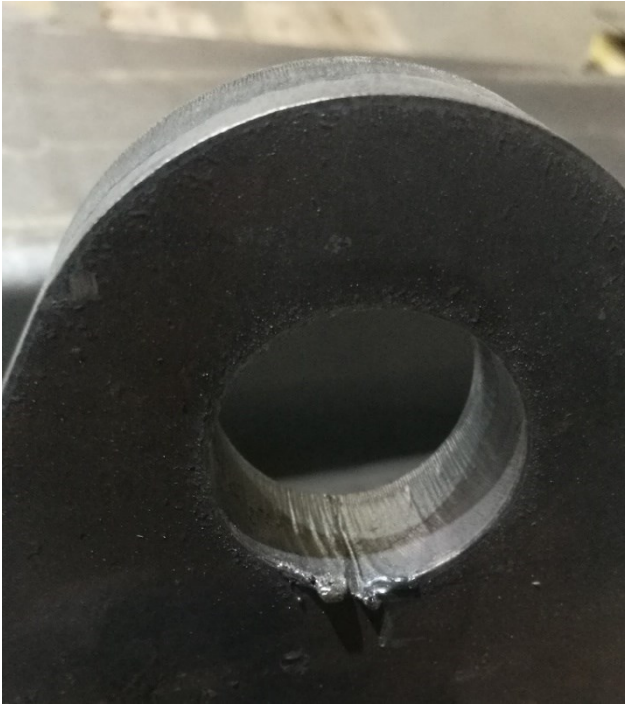
Putkilaser normalisoi sivutukien päätyjen leikkuun (vrt. Kuvat 43 ja 35, luku 5.2). Olettaus normalisoinnin leikkuuradasta oli kuitenkin väärin. Mittaamalla huomattiin, että putkilaser seuraa vaihtelevasti sekä sisä- että ulkopuolista muotoa. Kuvan 43 putken leikkuussa putkilaser on seurannut vasemmalla sivulla putken sisäpuolista muotoa ja oikealla sivulla ulkopuolista muotoa. Putken toisessa päässä leikkuuradat ovat päinvastoin. Vetolaitteita kokoonpantaessa tutkitaan toteutuvatko vetolaitteen toiminnalliset mitat, kiinnityksen reikälevyjen väliset etäisyydet, yksinkertaisesta mallinnuksesta huolimatta.

Kuva 43. Sivupalkin päädyn leikkuun tulos.



Sivupalkkien päätyyn hitsattava reikälevy on 20 mm paksu ja niiden leikkuusta jäi purseet kiinnitysreikään (Kuva 44) ja kohdistusloveen (Kuva 45). Prototyyppejä kokoonpantaessa lovesta viilataan purse pois, jotta reikälevy saadaan sivupalkkiin paikalleen. Jotta kokoonpantu vetolaite saadaan kiinnitettyä Jyräkombiin, viilataan purse pois kiinnitystappia varten.

Kuva 44. Purse kiinnitysreiässä.



Kuva 45. Purse kohdistuslovessa.



Hitsauskokoontaminen (Kuva 46) onnistui suunnitellusti toteuttaen toiminnalliset mitat sivupalkkien päätyjen putkilaserleikkauksen normalisoinnista huolimatta, mutta kiinnityksen reikälevyn kohdistusloven purse viilattiin pois, jotta levy pystyiin asettamaan paikalleen. Samalla kiinnitysreiän purse viilattiin pois ennen vetolaitteen maalausta. Palkkien

kohdistusaukot ja -ulokkeet saivat hyvää palautetta, kun osien asemointi helpottui huomattavasti, varsinkin kun vetolaite kokoonpantiin manuaalisesti.

Kuva 46. Vetolaite kokoonpantuna.

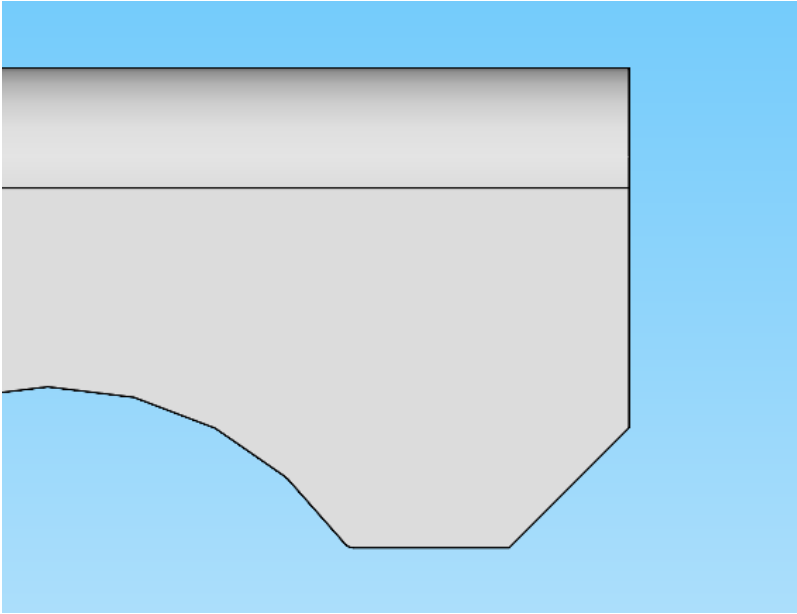


6.3 Prototyyppien muutokset

Tässä luvussa esitetään parannukset, joita osille tehtäisiin, jotta kokoonpano onnistuisi ilman ylimääräistä viilausta, hiomista ja leikkausta. Kuvilla esitetyt parannukset ovat ilman viimeisteltyjä piirteitä, esimerkiksi ilman laserleikkuulevyjen nurkkien pyöristyksiä.

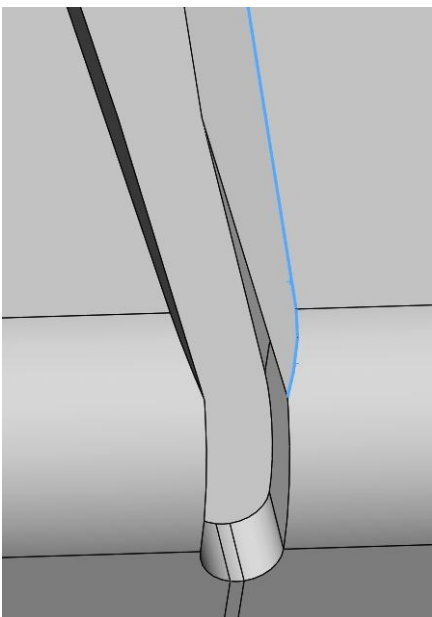
Sivutukien takakorvarevyjen tukilevyjen leikkaus aloitetaan tulevaisuudessa leikkeen yläsärmältä, jolla ei ole kosketuspintaa muihin osiin. Tällöin kokoonpanon kannalta ei ole merkitystä jääkö levyyn purse, mutta maalauksen onnistuminen tarkistetaan kyseisestä kohtaa. Särmätystä korvavälituen kulmista leikataan materiaalia jo laserleikkuussa, jotta korvarevyjen hitsisaumalle on tilaa (Kuva 47).

Kuva 47. Levyssä tila hitsisaumalle.

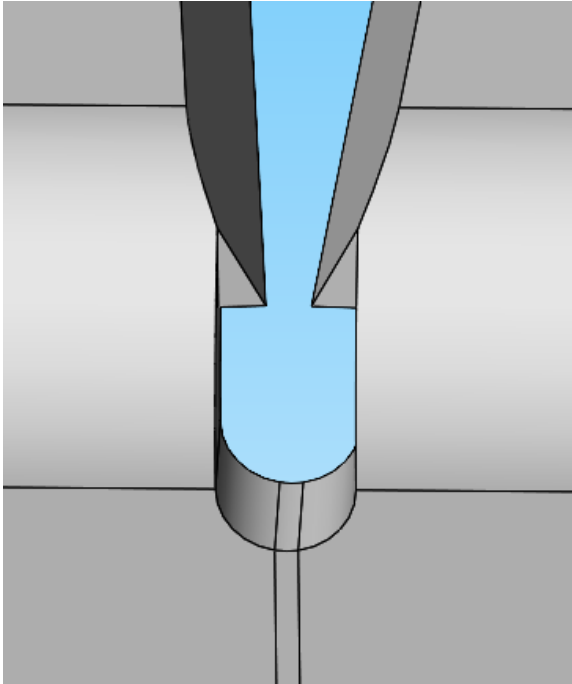


Tutkiessa miksi taivekohtaan jää leikkuussa ylimääräistä materiaalia taivekohdalla putken nurkkaan oivallettiin, että putkilaser seuraa CAD-mallin ulointa piirrettä viisteen mukaisessa kulmassa niin kauan kuin viistettä jatkuu (Kuva 48). Täten leikkuusta jää ylimääräistä materiaalia kuvassa 49 mallinnetulla tavalla (vrt. Kuva 40, luku 6.1), kunnes leikkuu jatkuu taiteen helpotuksen kohdalla kohtisuorana. Alihankkijalta kyselyn tulos myös vahvisti olettamuksen.

Kuva 48. Putkilaser seuraa sinisellä korostettua rataa viisteen kulmassa.

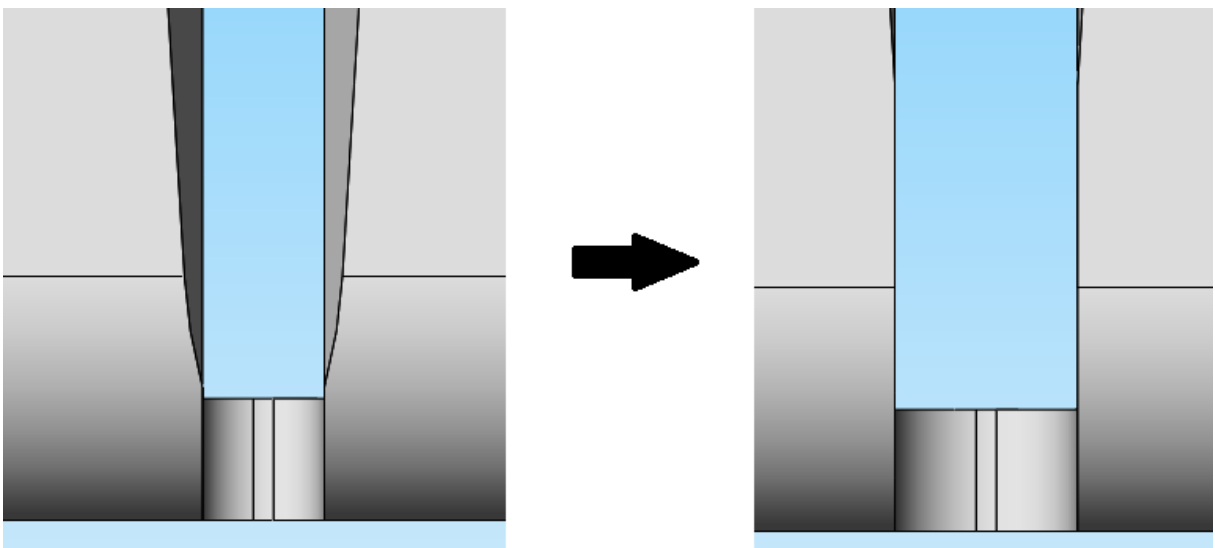


Kuva 49. Mallinnettu leikkuun tulos.



Jotta taivekohta ei kokoonpanossa tarvitse ylimääräistä hiomista, taivutuksen helpotusta levennetään (Kuva 50). Vaikka leikkauksesta jää yhä ylimääräistä materiaalia, ovat niiden etäisyydet suuremmat ja taivutuksessa ei pitäisi tapahtua kontaktia.

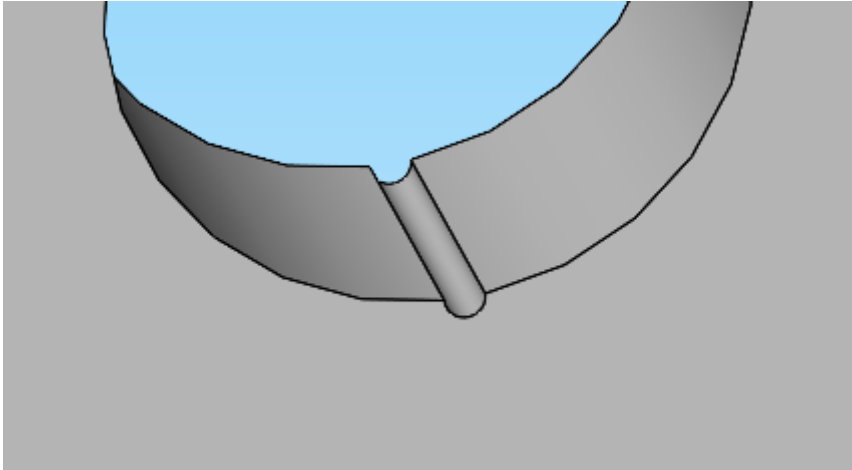
Kuva 50. Taivekohdan muutos.



Vetolaitteen sivupalkkien pätyyn hitsattavien reikälevyn ulkomuodon laserleikkuun aloituskohta selvennetään tulevaisuudessa valmistuspiirustuksiin, että leikkuuta ei saa

aloittaa kohdistuslovién kohdalla. Lovi on ainoa kohta, jossa levyn sárma on kosketuksissa toiseen osaan, joten leikkuu voidaan aloittaa mistá tahansa muualta paitsi lovién kohdalla. Reikälevyn kiinnitysreiälle tehdáán jatkossa kolo, jonka pohjalta leikkaus aloitetaan (Kuva 51). Kolon sijaitsee reián pinnalla, johon ei kuormituksessa muodostu pintapainetta.

Kuva 51. Kiinnitysreián leikkuun aloituskolo.



7 Páätelmä

Tume-Agri Oy:n toimeksiantona oli kehittää Jyrákombi-kylvölannoittimen palkkirakenteita hyödyntámällä putkilaseria valmistusmenetelmána. Tavoitteena uuden valmistusmenetelmán valinnalla oli kokoonpanon nimikkeiden, osien ja hitsausseaman määrán vähentáminen sekä kokoonpanon helpottaminen, millá saadaan kustannussáástöjä laitteiden valmistuksessa.

7.1 Tulos

Káyttámällä DFMA-periaatteita kehitystýön tuloksena uusissa palkkirakenteiden kokoonpanoissa on vähemmän osia, nimikkeitá ja hitsiseamaa. Jokaisen osan suunnittelussa oli tarkasti harkinnassa hitsauskokoonpanon kokoonpantavuus, maalauksen onnistuminen, Jyrákombin loppukokoonpanon onnistuminen sekä kunkin osan valmistusmenetelmä, jotta osat olisivat helposti valmistettavissa.

Sivutuista sekä oikean- että vasemmankätisestä kokoonpanosta saatiin vähennettyä osien määrää neljällä kappaleella. Nimikkeitä kokoonpanosta vähennettiin yhteensä 11, kun molemmissa käytetään samoja osia, joista kahdeksan pystyttiin vähentämään valitsemalla palkkien valmistustavaksi putkilaser. Lukuun ottamatta etupäädyn laakeriputkea osat ovat mahdotonta asetella hitsattavaksi väärin päin. Hitsausaumaa molemmilla uusilla sivutuilla on noin 4530 mm vähemmän vanhoihin verrattuna.

Vetolaitteen kokoonpanosta saatiin vähennettyä osien määrää yhdeksällä kappaleella ja nimikkeitä viidellä, joista kolme pystyttiin vähentämään valitsemalla palkkien valmistustavaksi putkilaser. Ainoa osa, joka olisi väärin hitsattavissa paikoilleen on kiinnityslevy, jossa on epäsymmetrisesti reikä levyn alareunan puolella. Hitsausaumaa uudella vetolaitteella on noin 4170 mm vähemmän vanhaan verrattuna.

Molempien palkkirakenteiden kehitystyö jatkuu yhä tekemällä muutokset erillisiin osiin, jotta kokoonpano onnistuisi ilman ylimääräisiä materiaalin poistoja. Seuraavaksi kokoonpannut prototyypit jauhemaalataan ja testautetaan koekäytössä. Maalauksen onnistuminen tarkistetaan erityisesti teräviltä levyjen särmiltä ja putkien päädyistä. Mikäli maalauksen tuloksena ilmenee ongelmia, mietitään, että voidaanko siihen vaikuttaa jo osien valmistuksessa.

7.2 Oma arviointi

Putkilaserin yleisestä toiminnasta ja käyttötarkoituksesta sai hyvän käsityksen tutkimalla laitteiden valmistajien verkkosivustoja ym. verkkolähteitä. Ongelmia ilmenikin, kun putkilaserin yksityiskohtaisesta käyttäytymisestä ei ollut tietoa, jolloin sivupalkkien taipeen leikkuun tulokseen ei oltu tyytyväisiä tai kuinka olettamus vetolaitteen sivupalkkien päätyjen normalisoinnin leikkuuradoista oli väärin. Tällä kertaa ymmärryksen puute ei haitannut lopputyön tekoa ja tuotteiden kokoonpanoa, mutta tilanne olisi yhtä hyvin voinut olla toisin ja että kokoonpanoa ei saataisi aikaiseksi tai toiminnalliset mitat eivät olisi toteutuneet. Siinä tilanteessa pitäisi suunnitella ja tilata uudet prototyypit lisäten suunnitteluaikaa.

Myöskään laserleikattavien levyosien suunnittelussa ei osattu ottaa kaikkea huomioon. Vaikka laserleikkuu on vakiintunut teräslevyjen leikkuumenetelmäksi, se ei ole täydellinen.

Tässä työssä huomattiin, että leikkuun aloituskohtaan jäi pieniä purseita kappaleisiin, jotka estivät kokoonpanon. Yksinkertaisilla muutoksilla näihin osiin välttyään ongelmilta kokoonpanossa.

Tehty työ sai hyvää palautetta Tume-Agrin puolelta, kun rakenteet ovat monipuolisesti parannettuja. Rakenteiden tarvittavien osien määrä saatiin hyvin optimoitua, kokoonpanon asetusaikoja lyhennettyä ja hitsaustyöhön kuluva aika lyhennettyä huomattavasti. Näistä syistä kehitystyöstä saatiin selkeä parannus palkkirakenteiden valmistuksen kustannuksiin. Kiitosta saatiin myös selkeistä valmistuspiirustuksista sekä kokoonpanon helpottavista piirteistä. Ajankäyttö oli kehitystyön aikana tehokasta, kun ensimmäiseksi suunniteltujen sivutukien prototyypiosat saatiin tilaukseen, pystyttiin suunnittelemaan vetolaitetta tai kirjoittamaan opinnäytetyötä. Kun vetolaitteen prototyypiosat olivat tilauksessa, pystyttiin kehittämään parannuksia sivutukien prototyypiosiin ja kirjoittamaan opinnäytetyötä. Lopulliseen suunnittelutyön tyytyväisyyteen päädytään, kun uusien palkkirakenteiden maalaukset onnistuvat, loppukokoonpanot onnistuvat ja kestävyys kuormituksessa todetaan.

Lähteet

- Arendas, J. (23.10.2007). Designing for laser cutting. *The Fabricator*.
<https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/tubepipefabrication/designing-for-laser-cutting>
- BLM Group. (28.10.2020a). Lasertube applications in the production of industrial vehicles. *BLM Group Blog*. <https://blog.blmgroup.com/lasertube-applications-in-the-production-of-industrial-vehicles>
- BLM Group. (15.9.2020b). Transforming a tube into an innovative value-add solution. *BLM Group Blog*. <https://blog.blmgroup.com/transforming-a-tube-into-an-innovative-value-add-solution>
- BLM Group. (8.3.2021). Advantages and limits of tube 3D laser cutting. *BLM Group Blog*. <https://blog.blmgroup.com/advantages-and-limits-of-tube-3d-laser-cutting>
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. (2011). *Product Design for Manufacture and Assembly* (3. p.). CRC Press.
- Hietikko, E. (2008). *Tuotekehitystoiminta* (1 p.). Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.
- Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J. & Kaikonen, H. (1998). *Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu* (1 p.). WSOY.
- Piironen, T. (2013). *Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen*. Savonia-ammattikorkeakoulu, HitNet.
<http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>
- SSC Laser Cutting. (n.d.). *Design for Tube Laser*. <https://www.ssclaser.co.uk/designing-for-tube-laser.pdf>
- Swift, K. & Booker, J. (2013). *Manufacturing Process Selection Handbook: From design to manufacture*. Elsevier Science & Technology. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=1152638>
- Trumpf. (n.d.-a). *TruLaser Tube 7000 fiber* [kuva].
https://www.trumpf.com/en_SG/products/machines-systems/laser-tube-cutting-machines
- Trumpf. (n.d.-b). *Novices*. https://www.trumpf.com/en_SG/products/machines-systems/laser-tube-cutting-machines/laser-tube-cutting-web-special/novices/
- Tume-Agri. (n.d.). *Jyräkombi 3000 Star XL* [kuva].
<https://tumeagri.fi/site/tuotteet/kylvokoneet/jyrakombi>