

MOOTTORIPYÖRÄN TAKAHAARUKAN UDELLEENSUUNNITTELU



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Konetekniikka, Insinööri (AMK), Riihimäki

2021

Ville Hällfors

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Buell XB 12 SS-moottoripyörän takahaarukka uudelleen siten, että se sopisi paremmin kiihdytysajoon. Kiihdytysajo on yksi moottoriurheilun muodoista. Alkuperäinen takahaarukka on tehtaan jäljiltä melko lyhyt, joten täyskaasukiihdytyksissä moottorin virityksasteen noustessa, moottoripyörän etupää pyrkii nousemaan pystyyn. Tämä aiheuttaa vaaratilanteita ja huonompia kilpasuorituksia varttimaililla. Takahaarukan uudelleensuunnittelulla ja sen valmistamisella pyritään parantamaan moottoripyörän hallittavuutta, ja sitä kautta minimoimaan vaaratilanteiden mahdollisuuksia. Paremman hallittavuuden myötä myös varttimailin ajat paranevat.

Takahaarukan uutta muotoa, sekä uusia mittoja ja massaa mietittiin siltä pohjalta, etteivät ne vaikuttaisi juurikaan moottoripyörän normaaliin päivittäiseen käyttämiseen. Uuden haarukan muotoja suunniteltiin Inventor-ohjelmalla, joka on 3D-suunnitteluun tarkoitettu tietokoneohjelma. Suunnittelussa kiinnitettiin huomiota myös takahaarukan säätömahdollisuuksiin, sillä rata- ja keliolosuhteet ovat vaihtelevia. Myös materiaalin valintaa pohdittiin tarkkaan, sillä uudesta takahaarukasta haluttiin mahdollisimman kevyt ja kestävä. Suunniteltua takahaarukkaa tarkasteltiin lopuksi Inventor-ohjelman FEM-analyysin avulla. Analyysin perusteella, suunniteltu rakenne kestää hyvin siihen kohdistuvat jännitykset.

Avainsanat Moottoripyörä, takahaarukka, hitsatut alumiinirakenteet

Sivut 28 sivua ja liitteitä 0 sivua

ABSTRACT

The purpose of this thesis project was to re-design the swingarm of the Buell XB 12 SS motorcycle so that it would be better suited for drag racing. Drag racing is one of the forms of motorsports. The original swingarm is quite short from the factory, so in full gas acceleration, and due to the increased power of the engine, the front end of the motorcycle tends to rise upright, causing incidents, as well as bad performance when it comes to quarter mile races. By re-designing and manufacturing the swingarm in this project the aim was at improving the handling of the motorcycle, and thus minimizing the possibility of incidents. As a result of better handling, the quarter mile times will also be improved.

The new form of the swingarm, as well as the new dimensions and the mass were thought not to affect the normal daily use of the motorcycle. The form of the new swingarm was designed with the Inventor software for 3D design. In the design, attention was also paid to the adjustment possibilities of the swingarm, as the track and weather conditions are variable. Also, the choice of material was carefully considered as we wanted the new swingarm to be as light and durable as possible. The planned swingarm was finally viewed through the FEM analysis of the Inventor program. According to FEM analysis, the planned structure withstands well the stresses directed to it.

Keywords Motorcycle, swingarm, welded aluminium structure

Pages 28 pages and appendices 0 page

Sisällys

Termistö

1	Johdanto	1
2	Paranneltavan takahaarukan rakenne	2
3	Materiaalitekniikka	3
3.1	Alumiini ja alumiiniseokset	3
3.2	Alumiinin hitsaaminen	4
3.2.1	TIG-hitsaus.....	7
3.2.2	MIG-hitsaus	8
3.3	Alumiinirakenteen suunnittelu ja DFMA	10
4	Moottoripyörän dynamiikka	12
5	Parannellun haarukan suunnittelu	16
5.1	Suunnittelu/Mallinnus	17
5.2	Palkista ja pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltu haarukka	18
5.3	Pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltuja haarukkamalleja	19
5.4	Osin valumenetelmällä valmistettavia palkkihaarukkamalleja	21
6	Laskelmia	22
7	Pohdinta	25
	Lähteet.....	27

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1.	Buell XB alkuperäinen takahaarukka.	2
Kuva 2.	Alumiinin taulukkoarvoja (Valtanen, 2007, s. 359).	5
Kuva 3.	Alumiinin hyvät ja huonot ominaisuudet (Raaka-ainekäsikirja 5, 2002, s. 12). ...	5
Kuva 4.	MIG-hitsausmenetelmän periaate (Salmikangas, 2015).	9
Kuva 5.	Etujättö (Ahonen & Kaivola, 2006).	13
Kuva 6.	Etujätön vaikutuksia ajettavuuteen (Ahonen & Kaivola, 2006).	14
Kuva 7.	Erilaisia t-kappaleiden kulmia (AME Chopper Products, n.d.).....	15
Kuva 8.	Parannellun haarukan pyöröputki/palkkiprofiilimalli.....	19
Kuva 9.	Pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltu malli erillisellä öljysäiliöllä.	20
Kuva 10.	Toinen pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltu malli.	20
Kuva 11.	Osin valamalla valmistettavaksi suunniteltu yksinkertaisempi malli.	21

Kuva 12. Osin valamalla valmistettavaksi suunniteltu malli erillisellä öljytankilla.....	22
Kuva 13. Esimerkkikuva aikakortista.	23
Kuva 14. FEM-analyysin Von Mises-grafiikka.	24
Kuva 15. FEM-analyysin maksimi jännityspiikki kohdistui hitsausseuraan.	25

Termistö

Buell	Yhdysvaltalainen moottoripyörämerkki, jonka tekniikka perustuu Harley-Davidsonin tekniikkaan.
Chopper	Moottoripyörien rakentelun tyyliä, jolle ominaisena piirteenä on muun muassa pitkä etuhaarukka.
DFMA	Design For Manufacturability and Assembly, valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu.
FEM	Finite Element Method, tietokoneavusteinen lujuuslaskenta.
Keuliminen	Etenkin voimakkaasti kiihdytettäessä esiintyvä ilmiö, jolloin moottoripyörän etupyörä nousee ilmaan.
Kiihdytysajo	Eng. drag racing, moottoriturheilun muoto, jossa tavoitteena on kiihdyttää ajoneuvo paikaltaan mahdollisimman nopeasti 1/4 (402m) tai 1/8 (201m) mailin päässä olevaan maaliin.
Takahaarukka	Moottoripyörän rungon takaosa, johon muun muassa takarengas kiinnitetään.
TIG/MIG	Kaasukaarihitsausmenetelmiä

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja mallintaa Buell XB 12 SS-moottoripyörän takahaarukka uudelleen siten, että se toimisi paremmin kiihdytysajokäytössä. Tuotteelle on selkeä tilaus, sillä moottoripyörän lyhyen akselivälin ja lisääntyvän tehon myötä täyskaasukiihdytyksiä on käytännössä mahdoton tehdä ilman, ettei keula nousisi pystyyn. Valmista mallia on myös tarkoitus tarkastella FEM-analyysin avulla, jolloin saadaan selville ne kohdat, joihin kohdistuu eniten rasitusta. Alkuperäisestä takahaarukasta saatujen mittojen perusteella luodaan 3D-malli, jonka pohjalta suunnitellaan kokonaan uusi takahaarukka. Työssä pyritään huomioimaan valmistusystävällisen suunnittelun periaatteet, sekä valmiin osan modulaarisuus. Myös materiaalin valinta on tärkeässä roolissa, sillä tavoitteena on kestävä ja mahdollisimman kevyt osa. Lopullisena tavoitteena on valmistaa suunnitelman pohjalta fyysinen osa, jonka toimintaa voitaisiin tarkastella oikeissa kilpaolosuhteissa maailmantilanteen niin salliessa.

Takahaarukan pituus on avainasemassa, kun harrastetaan kiihdytysajoa moottoripyörällä. Mitä pidempi takahaarukka on, sen edempänä on painopiste. Kun painopiste on edempänä, ei edellä mainittua keulimisefektiä esiinny yhtä herkästi kuin vakiomallisella haarukalla varustetussa moottoripyörässä.

Kiihdytysajon ideana on kiihdyttää ajoneuvo paikaltaan mahdollisimman nopeasti 402 metrin (1/4 mailin) tai 201 metrin (1/8 mailin) päässä olevaan maaliin. Tämä vaatii kiihdytyksen täydellä kaasulla, joka taas aiheuttaa yleensä moottoripyörän etupään pystyyn nousemista, eli keulimista, mikäli takarengaalla riittää pitoa. Jos pitoa ei ole riittävästi, takarengas rupeaa yleensä sutimaan. Silloin on mahdollista, että moottoripyörän takapää lähtee kampeamaan jommallekummalle sivulle radan pinnan kaltevuudesta tai moottoripyörän/kuljettajan painopisteestä riippuen. Molemmissa tapauksissa vaaditaan kuljettajalta nopeita toimia, jotta tilanne ei johtaisi kaatumiseen.

2 Paranneltavan takahaarukan rakenne

Takahaarukan rakenne on varsin yksinkertainen. Nykyisissä moottoripyörissä takahaarukka on erillinen rakennelma, joka liitetään varsinaiseen moottoripyörän runkoon yleisimmin ruuviliitoksella. Takahaarukka voi myös olla perinteisistä polkupyöristä tuttuun tyyliin osana varsinaista runkoa. Tällöin puhutaan moottoripyörämaailmassa ns. jäykkäperästä, johtuen puuttuvasta jousituksesta.

Buell XB 12-moottoripyörän alkuperäinen takahaarukka on varsin toimiva jokapäiväisessä käytössä. Lyhyestä akselivälisestä johtuen moottoripyörä on helppo hallittava niin kaupunkiolosuhteissa kuin mutkateillä. Haarukka on valmistettu alumiinista valamalla ja hitsaamalla. Öljysäiliö on integroitu haarukan sisälle, ja haarukan oikealla puolella on irrotettava pala, joka helpottaa toisiovedon remmin vaihtamista.

Haarukan lyhyen rakenteen vuoksi moottoripyörä on kuitenkin äärimmäisen herkkä keulimaan etenkin täyskaasulla tehtävissä kiihdytyksissä. Myös myöhemmin toteutettava moottorin virityksasteen nostaminen tulee aiheuttamaan osaltaan moottoripyörän etupään levottomuutta.

Kuva 1. Buell XB alkuperäinen takahaarukka.



3 Materiaalitekniikka

Tässä opinnäytetyössä paranneltavan/uudelleen valmistettavan takahaarukan materiaaliksi valittiin alumiini. Valmistusmateriaalina se on kevyt, helposti muokattavissa, kestävä ja kohtuullisen halpa hankintahinnaltaan. Asiaan vaikutti myös se, että alkuperäinen takahaarukka ja moottoripyörän runko ovat alumiinia, eikä materiaaleja haluttu ruveta sekoittamaan.

3.1 Alumiini ja alumiiniseokset

Alumiini on kolmanneksi yleisin alkuaine. Se on myös maankuoressa esiintyvistä metalleista yleisin. Alumiini, jota maankuoressa esiintyy, ei ole kuitenkaan puhdasta, vaan se koostuu erilaisista yhdisteistä. Runsaasta esiintymisestä huolimatta, alumiinia on käytetty teollisiin tarkoituksiin vasta vähän aikaa. Esimerkiksi rakennusteollisuutta ajatellen, alumiini on kohtuullisen uusi tulokas verrattuna rautaan, lyijyyn tai eri kupariseoksiin. (Nurmilaukas, 2016, s. 12)

Alumiinin saavuttama suosio rakennusmateriaalina johtuu paljolti sen hyvistä ominaisuuksista. Kyseisten ominaisuuksien ansiosta alumiini pystyy kilpailemaan koko ajan paremmin muiden, perinteisempien valmistusmateriaalien, kuten teräksen kanssa. Alumiinin hyviä ominaisuuksia on muun muassa sen tiheys. Alumiinin tiheys on kolmasosa teräksen tiheydestä, eli $2,7 \text{ kg/dm}^3$. Eri alumiiniseosten murtolujuus vaihtelee 70–700 MPa välillä. Alumiiniseoksista lujimmat ovat lujuudeltaan verrattavissa lujiin rakenneteräksiin. (Nurmilaukas, 2016, s. 12). Alumiinin hyviin ominaisuuksiin kuuluu myös sen haurastumattomuus alhaisissa lämpötiloissa. Se säilyttää sitkeysominaisuutensa erinomaisesti vaikka lämpötila olisikin alhainen (Dwight, 2002, s. 23). Tästä syystä esimerkiksi nestekaasusäiliöiden rakenteiden valmistusmateriaalina käytetään hyvin paljon alumiinia.

Alumiinilla on myös erinomainen korroosionkestävyys. Erinomainen korroosionkestävyys johtuu sen pintaan muodostuvasta oksidikerroksesta, joka suojaa alumiinia tehokkaasti. Oksidikerros muodostuu hapen kanssa reagoinnin yhteydessä suhteellisen nopeasti. Tästä

johtuen monissa tapauksissa alumiinirakenteita ei tarvitse erikseen pinnoittaa. Näin säästyään myös pinnoitteen huoltotoimenpiteiltä ja/tai uusimiselta. (Dwight, 2002, s. 23).

Kuten aiemmin mainittua, alumiini on helposti muokattavissa oleva metalli. Se on perusominaisuuksiltaan suhteellisen pehmeää ja sitkeää. Sen kimmomoduuli on pieni. Kyseisten ominaisuuksien ansiosta alumiinia pystytään pursottamaan erilaisiksi profiileiksi, sitä voidaan valssata ohueksi levyksi, ja myös syvävetämään erilaisiin muotoihin. Edellä mainittujen lisäksi alumiinia on helppo muokata taivuttamalla. Myös meille kaikille keittiöstä tuttu folio on valmistettu alumiinista. Alumiinin työstäminen ja hitsaaminen onnistuvat myös mukavasti seoksesta riippuen. Etenkin pursottamalla valmistetut alumiiniprofiilit mahdollistavat uusien vaihtoehtojen käytön rakenteita suunniteltaessa, verrattuna esimerkiksi perinteisempiin teräsmateriaaleihin (Dwight, 2002, s. 23). Kierrätettävyys on myös merkittävä tekijä alumiinin elinkaarta tarkastellessa. Kierrätysprosessissa energiantarve on vain 5 % primäärialumiinin valmistusprosessin vaatimasta energiasta. (Raaka-ainekäsikirja 5, 2002, s. 11).

3.2 Alumiinin hitsaaminen

Alumiinin hitsaamista ajatellen, sen tärkeimpiin ominaisuuksiin luetaan muun muassa lämmönjohtokyky, lämpölaajeneminen ja sulamispiste. (Nurmilaukas, 2016, s. 19) Alla olevista taulukkokuvista 2 ja 3, nähdään alumiinin lukuarvoja, sekä sen hyviä ja huonoja ominaisuuksia.

Kuva 2. Alumiinin taulukkoarvoja (Valtanen, 2007, s. 359).

Tiheys, (g/cm ³)	2,70
Murtolujuus (MPa)	60 - 570
Lämpölaajenemiskerroin (1/°C)	23,8 x 10 ⁻⁶
Lämmönjohtokyky (W/(K·m))	220
Sulamispiste (°C)	660
Kimmomoduuli (MPa)	70 000

Kuva 3. Alumiinin hyvät ja huonot ominaisuudet (Raaka-ainekäsikirja 5, 2002, s. 12).

+	-
- pieni tiheys, 1/3 teräksen tiheydestä	- pieni kimmomoduuli, 70 000 MPa, 1/3 teräksen kimmomoduulista
- hyvä korroosionkesto	- huono kulumiskestävyys
- riittävä lujuus R _m =70-700 MPa	- naarmuuntumisherkyys
- helppo muokattavuus ja muovattavuus	- matala kuumalujuus
- hyvä hitsattavuus	- pieni virumislujuus
- hyvä sähkönjohtavuus	- pieni väsymislujuus
- hyvä lämmönjohtavuus	
- hyvä pintakäsiteltävyys	
- epämagneettisuus	
- sitkeys myös matalissa lämpötiloissa	
- myrkyttömyys	
- taloudellisuus, kierrätettävyys	

Alumiinia hitsataan pääsääntöisesti kaasukaarihitsausmenetelmillä. Näistä MIG-hitsausmenetelmä on kaikkein yleisin. Myös TIG-hitsausmenetelmää käytetään suhteellisen paljon. TIG-hitsausmenetelmän käyttöä rajoittaa kuitenkin muun muassa pienempi hitsausnopeus, ja pienempi hitsiaineentuotto jos sitä verrataan MIG-hitsaukseen. Tästä syystä TIG-hitsausmenetelmä on käytössä pääasiassa pienemmissä tuotantoerissä. Myös

korjaushitsauksessa ja ohuempien materiaalien, kuten ohutlevyn hitsauksessa TIG-menetelmä on yleisesti käytössä. (Mathers, 2002, s. 97). Muitakin alumiinin hitsausmenetelmiä löytyy, mutta rajaan tässä opinnäytetyössä menetelmät kahteen edellä mainittuun, yleisimmin käytettyihin menetelmiin.

Kun alumiinin hitsausta suoritetaan kummalla tahansa edellä mainitulla menetelmällä, on syytä huolehtia hitsattavien pintojen huolellisesta puhdistamisesta ennen hitsausprosessin aloittamista. Alumiinin hitsausprosessin kannalta ehkä haitallisin epäpuhtaus on vety. Vetyä esiintyy muun muassa kosteuden yhteydessä, sekä öljyisillä ja rasvaisilla pinnoilla. Vetyä kertyy nopeasti alumiinioksidiin sen huokoisuuden takia. Kaikenlaisissa alumiiniseoksissa esiintyvän, (Al_2O_3) oksidin sulamispiste on korkea. Oksidi ei sula hitsausprosessissa, ja siten se voi aiheuttaa virheitä hitsiin. Virheet voidaan välttää kun oksidit poistetaan hitsauskohteesta ennen varsinaisen hitsauksen aloittamista. Myös epäpuhtaudet, kuten öljy, rasva ja kosteus tulee poistaa huolellisesti virheettömän hitsin aikaansaamiseksi. Puhdistus suoritetaan yleensä kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa pinnoilta poistetaan rasva ja muut epäpuhtaudet. Niiden poistamiseen sopii hyvin esimerkiksi asetonilla tai alkoholilla kostutettu liina, jolla pinnat pyyhitään. Toisessa vaiheessa alumiinin oksidit poistetaan mekaanisesti, esimerkiksi rosteriharjan avulla. Oksidit voidaan kohteesta riippuen puhdistaa myös hiekkapuhaltamalla tai hiomalla. Oksidien poiston jälkeen hitsauksen pitäisi tapahtua viimeistään noin tunnin tai kahden kuluttua. Tämä siksi, että alumiinin pintaan alkaa muodostumaan uutta oksidikerrostumaa välittömästi poiston jälkeen. (Oy Linde Gas Ab, n.d.).

Hitsauslisäaineen valintaan täytyy kiinnittää myös huomiota, sillä kemialliselta koostumukseltaan oikeanlainen lisäaine edesauttaa hitsin onnistumista. Lujuudeltaan ja korroosionkestävyydeltään paras lopputulos saavutetaan vain oikeilla lisäainevalinnoilla. (Oy Linde Gas Ab, n.d.).

3.2.1 TIG-hitsaus

TIG-hitsaus on toinen tässä opinnäytetyössä pintapuolisesti esiteltävistä kaasukaarihitsausmenetelmistä. Kyseisessä menetelmässä valokaari palaa sulamattoman volframielektrodin, ja hitsattavan kappaleen välissä. Suojakaasu ympäröi prosessia suojaten hitsisulaa ja elektrodin kärkeä hapettumiselta. TIG-hitsausmenetelmällä voidaan hitsata joko lisäaineella tai ilman. Lisäaineen syöttö hitsausprosessin aikana tapahtuu yleensä käsin lisäainelankaa valokaarta kohti syöttäen. Alumiinin hitsauksessa käytössä on pääsääntöisesti vaihtovirta. Tätä voidaan kutsua kompromissiksi johtuen siitä, että vaihtovirralla hitsattaessa valokaaren puhdistusvaikutus alumiinioksidin suhteen on riittävä, eikä elektrodi ylikuumene niin helposti. (Nurmilaukas, 2016, s. 30). Jos hitsausvirtaa pulssitetaan, lämmöntuonnin hallittavuus paranee. Sen myötä myös hitsisulan suuruus ja tunkeuma ovat paremmin hallittavissa. (Mathers, 2002, s. 97).

TIG-hitsauksen etuina ovat muun muassa (Lukkari, 2001, s. 101–102):

- sulan ja tunkeuman hyvä hallittavuus
- hitsaus ilman lisäainetta
- mahdollisuus pienempien hitsausvirtojen käyttöön, ja siten myös ohuempien ainevahvuuksien hitsaamiseen
- valokaaren pintapuhdistuskyky
- hitsin siisti ulkonäkö ja hyvä laatu
- roiskeettomuus

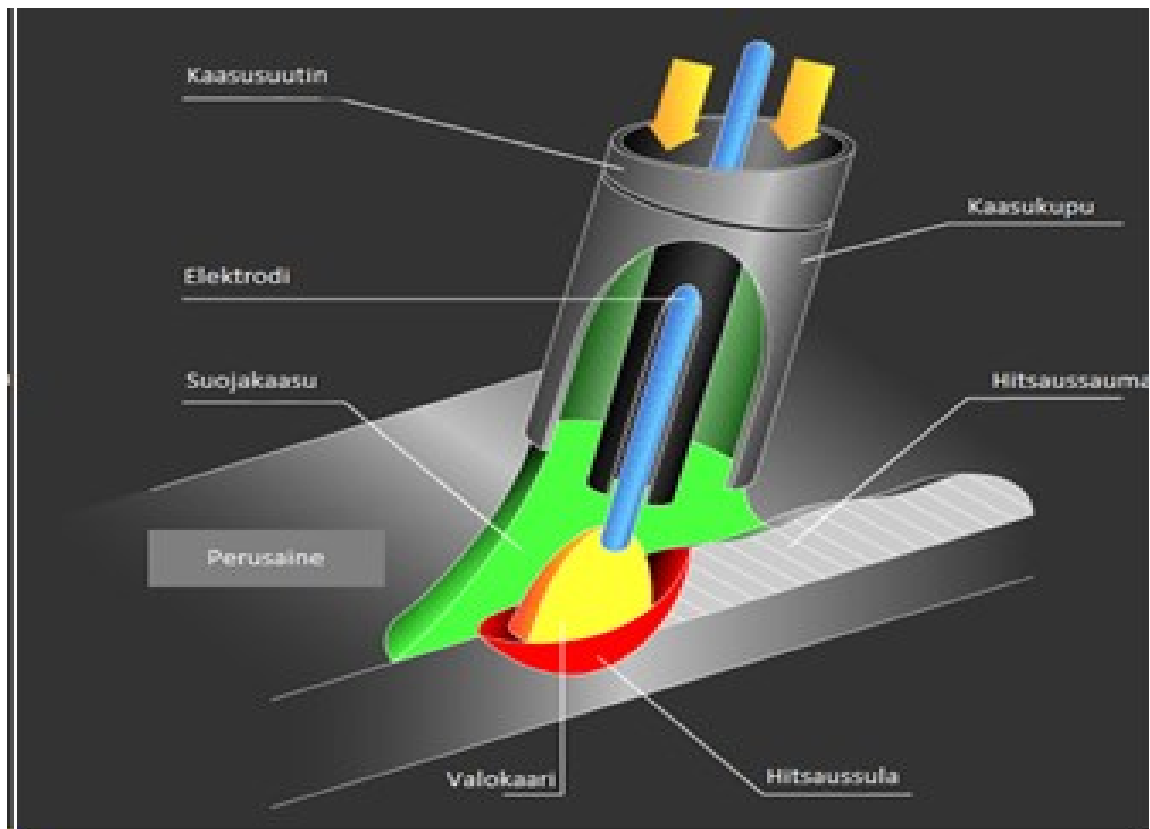
Haittoina ovat muun muassa (Lukkari, 2001, s. 101–102):

- pienempi tuottavuus, jonka takia hidasta täytetään suurempia railoja
- lämmöntuonti, joka on suhteellisen suurta
- suuren lämmöntuonnin johdosta suuret muodonmuutokset

3.2.2 MIG-hitsaus

MIG-hitsausmenetelmä perustuu valokaareen, joka palaa suojakaasun ympäröimänä hitsauslangan, ja hitsattavan kappaleen välissä. MIG-menetelmällä hitsattaessa, käytössä on hitsauspistooli. Hitsausvirta syötetään hitsauslankaan pistoolissa, johon langansyöttölaite syöttää uutta lankaa sitä mukaan, kun jo sulanut lanka on siirtynyt valokaaren läpi hitsisulaan. MIG-hitsausmenetelmässä käytössä on tasavirta. Tasavirtaa käytettäessä elektrodi on kytkettynä positiiviseen napaan. Positiiviseen napaan kytkemisen myötä, alumiinioksidin puhdistuskyky on hyvällä tasolla. Hitsausvirtaa voidaan myös pulssittaa. Pulssituksen myötä saavutetaan hallitumpi lämmöntuonti. Hallitumman lämmöntuonnin myötä ainevahvuudeltaan ohuempien materiaalien hitsaaminen helpottuu. Kyseistä menetelmää kutsutaan pulssi-MIG-hitsaukseksi. Pulssi-MIG-hitsausmenetelmä on yleistynyt esimerkiksi alumiinisten ohutlevyjen hitsaustöissä. Menetelmä on varteenotettava vaihtoehto TIG-hitsaukselle, sillä se on hitsausnopeudeltaan 2–3 kertaa nopeampi. Tämä tarkoittaa pienempää lämmöntuontia, ja sitä mukaan pienempiä muodonmuutoksia. (Lukkari, 2001, s. 119–121).

Kuva 4. MIG-hitsausmenetelmän periaate (Salmikangas, 2015).



MIG – hitsausmenetelmän etuina ovat muun muassa (Lukkari, 2001, s. 119–121):

- tehokkuus ja tuottavuus
- valokaaren hyvä pintapuhdistuskyky
- mekanisoitavuus
- asentohitsaamisen parempi onnistuminen asennosta riippumatta
- edullinen laitteisto

3.3 Alumiinirakenteen suunnittelu ja DFMA

Kun suunnitellaan alumiinirakennetta, täytyy ottaa huomioon valmistuksessa käytettävä perusmateriaali, sekä sen ominaisuudet. Myös materiaalin muoto merkitsee, kuten myös lopullisen rakenteen kokoonpanossa tarvittavat yksityiskohdat. Tässä opinnäytetyössä suunniteltavan rakenteen, eli takahaarukan liitosmuoto on hitsaaminen. Suunnittelijan kartoittaessa mahdollisia valmistusmateriaaleja, saattaa eri alumiiniseosten suuri määrä aiheuttaa päänvaivaa. Jotta lopullisesta rakenteesta saataisiin mahdollisimman toimiva, on suunnitteluvaiheessa oltava tiedossa materiaaliin liittyvät eri ominaisuudet. Niiden lisäksi materiaalin käyttäytymiseen liittyvät tekijät on otettava huomioon. Standardista SFS-EN 755-2:2008. *Alumiini ja alumiiniseokset, pursotetut tangot, putket ja profiilit, osa 2, mekaaniset ominaisuudet* löytyy 57 kappaletta eri alumiiniseoksia. Lisäksi standardista SFS-EN 485-2: *Alumiini ja alumiiniseokset levyt ja nauhat. Osa 2: Mekaaniset ominaisuudet* löytyy vielä 47 erilaista seosta. Edellä mainituista materiaaleista löytyy siis arviolta sata erilaisilla seoksilla ja käsittelyillä toteutettua valmistusmateriaalia. Standardeissa esiintyvistä materiaaleista osa on harvoin käytettyjä. Koska harvoin käytettyjen materiaalien menekki on pieni, niiden saatavuuden kanssa voi olla ongelmia. Pienien valmistuserien takia myös hinnat ovat yleensä melko kalliita. (Nurmilaukas, 2016, s. 37).

Kun rakennetta aletaan suunnittelemaan, on tiedostettava ne ominaisuudet, joita valmistusmateriaalilta edellytetään. Esimerkkinä olkoon vaikkapa tietyt lujuusominaisuudet, ja se, että ovatko ne välttämättömiä. Tullaanko lopullinen kokoonpano toteuttamaan hitsaamalla, tai sisältääkö rakenne hitsisaumoja? Valmistetaanko rakenne levyistä vai esimerkiksi pursotetusta profiilista? Entä millainen on materiaalien saatavuus? Täytyykö materiaali olla muokattavissa? Listaa voisi jatkaa loputtomiin, ja siksi on tärkeää tiedostaa välttämättömät ominaisuudet heti suunnitteluprosessin alussa sen helpottamiseksi.

Koska alumiini on materiaalina helposti muovattavissa oleva, saa suunnittelija vapaammat kädet esimerkiksi käytettävän profiilin muotoa ajatellen. Alumiiniseosten pursotus mahdollistaa myös erikoisempien profiilien käytön, sillä sopivia muotoja voidaan suunnitella jopa tapauskohtaisesti. Pursotus on myös kustannuksiltaan melko edullista. Valmistajilta löytyy yleensä yksinkertaisempia, enemmän käytettyjä profiileja valmiina. Tällä on pyritty pitämään niiden saatavuus hyvänä.

Valmistus- ja kokoonpanoystävällisen suunnittelun (DFMA) periaatteita on monia. Koska tämä opinnäytetyö käsittelee hitsattua alumiinirakennetta, keskitymme seikkoihin, joita tulisi ottaa huomioon valmistus- ja kokoonpanoystävällisen suunnittelun osalta hitsatuissa rakenteissa.

Kun hitsaaminen suoritetaan manuaalisesti käsin, on tällöin suurin kustannuserä pääsääntöisesti työaika, joka voi olla jopa 80% kokonaiskustannuksista. Tämän takia hitsausprosessin sujuvuuteen tulisi erityisesti kiinnittää huomiota. Prosessin sujuvuuteen taas voidaan vaikuttaa hyvällä suunnittelulla. DFMA-periaatteiden mukaan suunnitellussa rakenteessa on mahdollisimman vähän hitsejä. Välttämättömät hitsit tulisi voida hitsata samassa asennossa, jotta työ olisi mahdollisimman sujuvaa. DFMA-periaatteiden mukaan hitsiliitos on aina sekä kustannus-, että riskitekijä (Piironen, 2013, s. 40). Tästä syystä sekä hitsien, että kokoonpanon osien määrä pitäisi saada niin vähiin kuin mahdollista. Hyvä keino hitsien ja kokoonpanon osien vähentämiseen on käyttää taivutuksia aina kun siihen on mahdollisuus. Rakenteen kannalta välttämättömät hitsit tulisi sijoittaa paikkoihin, jossa jännitykset ja siirtymät ovat mahdollisimman pieniä. Hitsiin jää aina jonkin verran vetojännitystä. Vetojännitys ja lämpö pyrkivät aiheuttamaan rakenteeseen ei toivottuja muodonmuutoksia. Muodonmuutoksiin pystytään vaikuttamaan esimerkiksi hitsin sijoittelulla, hitsausjärjestyksellä, hitsin koolla ja muodolla (Piironen, 2013, s. 40). Yksi hitsausliitoksen toteutuksen kannalta tärkeimpiä huomioon otettavia seikkoja on luonnollisesti luoksepäästävyys. Hitsauskokoonpanoa suunnitellessa on syytä miettiä, millä hitsausmenetelmällä hitsit toteutetaan. Myös taloudellinen näkökulma on otettava huomioon, eli onko hitsin toteutus ylipäättään taloudellista, ja onko se riittävän nopea menetelmä tuotantoa ajatellen. Mikäli hitsaus toteutetaan robotin avulla, ongelmaton luoksepäästävyys on välttämättömyys. Käsin hitsattaessa liikkumavarat ovat joustavampia, mutta silloinkin hitsaajan ergonomiaseikat on otettava huomioon. (Nurmilaukas, 2016, s. 51). Kokoonpanon osien paikoituksen suhteen suunnittelu on järkevää tehdä niin, että osat olisivat itsepaikoittuvia. Näin välttyään parhaiten mahdollisilta mitta- ja paikoitusvirheiltä.

Liitostyypit, jotka suunnittelijan on hyvä tunnistaa (Piironen, 2013, s. 40):

- voimaliitos (liitos välittää kuormat)
- kiinnityслиitos (leikkauskuormitus, osat pysyvät kiinni toisissaan)
- sideliitos (rakenteiden eri tukiosien liitokset)
- varusteluliitos (erilaiset varusteet, mm. hydrauliiikka, sähkö ja putkikiinnikkeet)

Kun hitsausta lähdetään suunnittelemaan, olisi hyvä ottaa huomioon viisi pääkohtaa, jotka ovat: materiaali ja sen valinta, hitsien koot ja mitat, railo- ja liitostyypit, valmistettavuus, sekä vaatimukset, jotka hitsille on asetettu (Piironen, 2013, s. 40). Olisi hyvä pyrkiä mahdollisuuksien mukaan siihen, että yhteen hitsattavien kappaleiden ainevahvuudet olisivat lähes samoja. Myös pitkiä, yhtenäisiä hitsausaumoja tulisi välttää mahdollisuuksien mukaan, koska ne lisäävät suurien muodonmuutosten riskiä. Lyhyemmät katkohitsit ovat suositeltavampia, sillä muodonmuutokset ovat tällöin pienempiä.

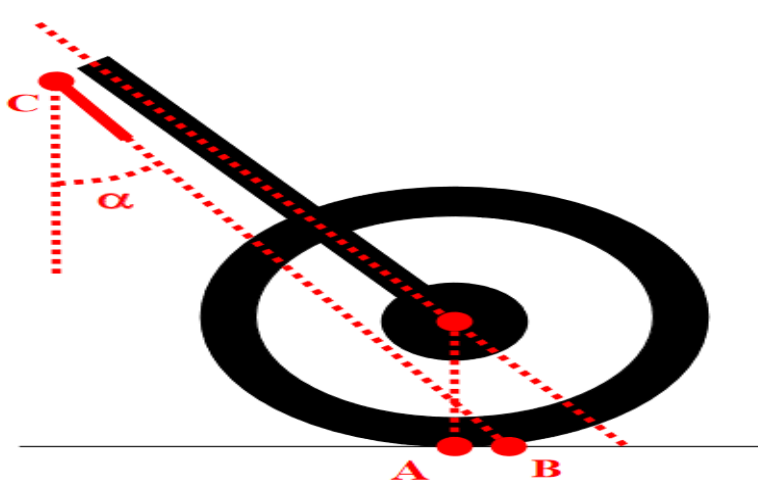
4 Moottoripyörän dynamiikka

Tässä osiossa käsitellään pintapuolisesti moottoripyöräilyn ajogeometriaa. Ensinnäkin on todettava, että tekeepä moottoripyörälle mitä tahansa rakenteellisia muutoksia, niin aina tulee huomioida muutosten vaikutus ajogeometriaan. Jos moottoripyörän ajogeometria on virheellinen, voi moottoripyörällä ajaminen olla pahimmassa tapauksessa jopa hengenvaarallista, johtuen huonosta hallittavuudesta.

Useimmiten moottoripyörän rakentelussa törmää sen etupäätä koskeviin muutoksiin, jotka ovat yleinen näky esimerkiksi chopper-tyyliin rakennelluissa moottoripyörissä. Chopperille ominaista on pitkä etuhaarukka. Sen myötä myös akseliväli kasvaa, ja painopiste on melko takana verrattuna vakion mallisella etuhaarukalla varustettuun moottoripyörään. Niin kutsutuissa chopper-pyörissä takapainoisuus ei haittaa, sillä yleensä niiden moottorit ovat melko vakiokuntoisia, ja niiden käyttötarkoitus on enemmänkin hiljaiseen ajamiseen ja maisemista nauttimiseen. Moottoripyörän etupään muutoksia tehdessä tulee huomioida

erityisesti kaksi tärkeää seikkaa. Näitä ovat ohjauskulma, jota kutsutaan usein myös keulakulmaksi, sekä etujättö. Etujättö on yksi tärkeimpiä tekijöitä moottoripyörän hyvän hallittavuuden kannalta. Kuva 5 esittää etujättöä, joka on siis pisteiden **A** ja **B** välinen etäisyys. Kulma **Alfa** kuvaa ohjausakselin kulmaa, ja piste **C** rungon emäputken yläpäätä. Kuvassa 5 näkyy myös keulaputket, joiden alapäähän eturenkaan akseli kiinnitetään.

Kuva 5. Etujättö (Ahonen & Kaivola, 2006).



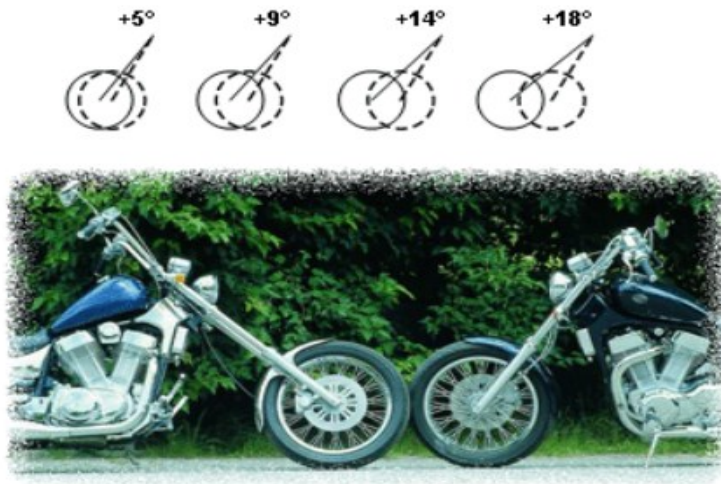
Etujätön mitan tulisi olla noin 50–150 mm, jotta moottoripyörän hallittavuus säilyisi hyvänä (Ahonen & Kaivola, 2006). Jos etujätön mitta on pieni, moottoripyörä on ajettavuudeltaan suhteellisen ketterä. Kuitenkin liian pieni tai negatiivinen etujättö aiheuttaa sen, että moottoripyörästä tulee epästabili ja jopa hengenvaarallinen suuremmilla nopeuksilla kuljettaessa. Tämä johtuu siitä, että jätön ollessa negatiivinen, eturenkas pyrkii ikään kuin kaatumaan moottoripyörän alle (Ahonen, 1999). Jättö on negatiivinen, jos kuvassa 5 piste **B** olisi pisteen **A** takana. Jos etujättö on liian suuri, on moottoripyörä kovemmissa nopeuksissa ylivakaa, mutta hitaissa nopeuksissa hyvinkin raskas hallittava (Ahonen, 1999). Kuvasta 6 nähdään etujätön vaikutuksia moottoripyörän ajettavuuteen.

Kuva 6. Etujätön vaikutuksia ajettavuuteen (Ahonen & Kaivola, 2006).

	Negatiivinen etujättö	Sopiva etujättö	Liian pitkä etujättö
Nopeus 0-20 km/h	Jäykkä ohjaus eli ikään kuin aliohjaa. Tangon kääntäminen nostaa runkoa, tämä keskittää ohjausta.	Ohjaus kevyt ja neutraali. Maavara laskee vähän ohjauksen ääriasennossa.	Yliohjaa. Ohjaus kolahtaa tankkiin pysäköidessä ja runko laskee voimakkaasti.
Nopeus 20-40 km/h	Ohjaus pidettävä ajosuunnassa käsivoimin. Yhdellä kädellä ei juuri uskalla ajaa. Kuin ajaisi yksipyöräisellä.	Ohjaus kevyt ja neutraali, myös ilman käsiä ajaminen luonnistuu hyvin. Jätön pituudella ei juuri vaikutusta.	Ohjaus tuntuu melko normaalilta, mutta on äkkiväärä; ensin ei tahdo kääntyä ja sitten on menossa nurin.
Nopeus 40+ km/h	Ohjaus ei itsestabiloi, pyörä värähtelee. Voi lingota kuskin ja pyörän ennalta arvaamattomaan suuntaan.	Lyhyellä jätöllä ohjaus herkkä ja nopea, pitkällä vakaa. Vastaohjaus ja kaarreajo toimii odotetusti.	Hyvin raskas ajaa, saattaa esiintyä voimakkaita värinöitä, vastaohjaus vaatii hartiavoimia. Ajettavissa.

Etujättöä voidaan säätää muun muassa t-kappaleilla. T-kappale on moottoripyörän keulan osa, joka kiinnitetään rungon emäputken sisälle, ja johon kiinnittyy moottoripyörän keulaputket. T-kappaleita valmistetaan erilaisilla, edellä mainittujen kiinnityskohtien välisillä kulmilla. Eli jos t-kappaleen kulma on väärä emäputkeen nähden, on etujättökin pielessä. Kuvassa 7 esitellään erilaisia t-kappaleiden kulmia, ja niiden vaikutusta moottoripyörän etupään ulkonäköön.

Kuva 7. Erilaisia t-kappaleiden kulmia (AME Chopper Products, n.d.).



Omien kokemusteni perusteella, ajogeometriaan vaikuttavat monet tekijät. Näitä tekijöitä ovat muun muassa iskunvaimennus, kallistus- ja maavara, renkaiden koko, akseliväli, painopiste jne.

Moottoripyörän takapäähän tehtävät rakenteelliset muutokset, joihin olen itse törmännyt rakentelu-, ja kilpailu-urani aikana, ovat yleisemmin takahaarukan pidennyksiä ja/tai levityksiä. Haarukan levityksiä tehdään pitkälti siksi, että käytettävä takarengas voisi olla leveämpi. Tämä on lähinnä ulkonäöllisistä syistä tehtävä muutos, ja levityksen myötä takarengas saattaa olla jopa 330mm leveä. Reilusti vakiomallia leveämpi rengas vaikuttaa luonnollisesti moottoripyörän käyttöön mutkaisilla teillä, ja parhaat kaarreajo-ominaisuudet saatetaan menettää sen myötä.

Takahaarukan pidennyksiä nähdään useimmiten kiihdytysajoon muokatuissa moottoripyörissä. Mitä pidempi takahaarukka on, sitä edempänä on painopiste. Kun painopiste on edempänä, ei keulimista esiinny yhtä herkästi kuin vakiomittaisella haarukalla varustetulla moottoripyörällä ajettaessa esiintyisi. Takahaarukan pidentäminen vaikuttaa moottoripyörän kaarreajettavuuteen hiukan samalla tavalla kuin pidempi etuhaarukka. Eli toisin sanoen, kun akseliväli on pidempi, kaarreajo-ominaisuudet ovat heikommat. Suoraan

ajettaessa pidempi akseliväli taas vakauttaa moottoripyörää ja sen kulkua, edellyttäen että rakennemuutokset on tehty oikeaoppisesti.

Aina kun moottoripyörän rakennetta lähdetään muokkaamaan, on muistettava että ajogeometria muuttuu. Tästä syystä muutokset tulee tehdä oikeaoppisesti siten, että ajo-ominaisuudet säilyvät, eikä moottoripyörä muuttuisi ajettavuudeltaan hengenvaaralliseksi.

Kun moottoripyörään tehdään esimerkiksi runkoa tai tekniikkaa koskevia muutoksia, voidaan se joutua muutoskatsastamaan. Muutoskatsastusta koskevaa tietoa löytyy lisää esimerkiksi Traficom (<https://www.traficom.fi/fi/liikenne/tieliikenne/muutoskatsastus>) tai Finlexin (<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920332>) websivuilta.

5 Parannellun haarukan suunnittelu

Työ aloitettiin ideoimalla ja selvittämällä alkuperäisen haarukan tärkeimpiä mittoja. Mitoituksen kannalta tärkein tieto on takahaarukan kiinnityspiste. Lisäksi iskunvaimentimen ja taka-akselin kiinnityskohdat otettiin huomioon, jotta saatiin jonkinlainen kuva noiden kolmen edellä mainitun pisteen suhteesta toisiinsa. Uuden haarukan tuli olla noin 100-200mm pidempi kuin alkuperäinen. Leveyttä ei nähty tarpeelliseksi muuttaa, sillä nykyinen leveys toimii erinomaisesti, ja mahdollistaa 200mm leveän takarenkään käytön. Tuota leveämpi rengas ei tuo merkittävää etua kilpailutilannetta ajatellen, ja niiden saatavuus on huomattavasti heikompaa. Lopullisessa suunnitelmassa iskunvaimentimen alakiinnityskohtaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan kolmiportaisesti. Myös taka-akselin kiinnityskohtaa voidaan säätää erillisillä säätöpaloilla. Palojen avulla akselin kiinnityskohtaa voidaan muuttaa pituussuunnassa 100mm. Tämä vaikuttaa suoraan moottoripyörän mahdolliseen keulimiseen täyskaasulähdössä. Takahaarukka pyrittiin suunnittelemaan niin, että se olisi mahdollisimman modulaarinen, jolloin eri säädöt olisivat helppoja, ja että samaa perusmallia voitaisiin hyödyntää myös muunkin merkkisissä moottoripyörissä haarukan ja iskunvaimentimen kiinnitystä muokkaamalla. Alkuperäisessä haarukassa ollutta, toisiovedon remmin vaihtamista helpottavaa irtopalaa, ei uudelleen suunniteltuihin haarukkamalleihin sisällytetty, sillä toisiovento on tarkoitus toteuttaa ketjulla.

5.1 Suunnittelu/Mallinnus

Kun ideointi ja mittaaminen oli saatu päätökseen, uutta haarukkaa ryhdyttiin mallintamaan Inventor-ohjelmalla. Ensin mallinnettiin ns. rautalankamallit, jonka jälkeen ryhdyttiin miettimään eri valmistusmenetelmien mukaisia malleja. Osa malleista oli osin valumenetelmin ja osin palkkiprofiilista valmistettavia, osa sekä profiilista että putkesta, ja osa pelkästä putkesta valmistettavia.

Osin valumenetelmin palkkiprofiilista valmistettavan haarukkamallin etuna olisi se, että öljysäiliö pystyttäisiin mahdollisesti integroimaan haarukan sisälle, aivan kuten alkuperäisessäkin haarukassa oli tehty. Myös muotoilu olisi valumenetelmin valmistettavissa osissa hiukan vapaampaa. Valaminen vaatisi kuitenkin ulkopuolisen valmistajan käyttämistä, joten kulujen minimoimiseksi siitä päätettiin luopua.

Putkesta, sekä putkesta ja palkista valmistettujen takahaarukoiden etuna olisi helpompi valmistettavuus ja muokkaaminen. Myös valmistuskustannukset olisivat pienemmät, kun esimerkiksi hitsaus- ja taivutustyöt pystyttäisiin suorittamaan itse. Öljysäiliön integroiminen putkesta, tai putkesta/palkista valmistettuun, yksinkertaisempaan haarukkamalliin ei ole mahdollista. Tästä johtuen öljysäiliöstä päätettiin suunnitella kyseisissä malleissa erillinen. Ratkaisu vaikuttaa myös osaltaan rakenteen modulaarisuuteen.

Lopullinen rakenne tullaan toteuttamaan näillä näkymin pyöröputkesta ja profiilipalkista. Materiaaleiksi valittiin EN-AW 6063 T6 alumiinista valmistetut, vakiomittaiset profiilit niiden hyvän saatavuuden varmistamiseksi. Valitun EN-AW 6063 T6 alumiiniseoksen myötölujuus on minimiarvoltaan 190 MPa, ja murtolujuus minimiarvoltaan 230 MPa (Alumeco Group, n.d.). Kyseisten arvojen katsottiin riittävän tässä tapauksessa mukavasti. Putkirakenne tullaan valmistamaan PP 50 x 4mm pyöröputkesta. Palkkirakenne toteutetaan taas SP 80 x 60 x 4mm suorakaideprofiilista. Sekä haarukan, että iskunvaimentimen kiinnityspisteet valmistetaan alumiinikappaleesta koneistamalla, jonka jälkeen ne liitetään hitsaamalla varsinaiseen haarukkaan. Kokoonpano tullaan toteuttamaan pääsääntöisesti sekä TIG-, että MIG-hitsausmenetelmiä käyttäen. Koska tavoitteena ei ollut varsinaisesti moottoripyörän

keventäminen, uudelleen suunniteltu haarukkamalli tulee olemaan melko lailla saman painoinen kuin alkuperäinenkin haarukka.

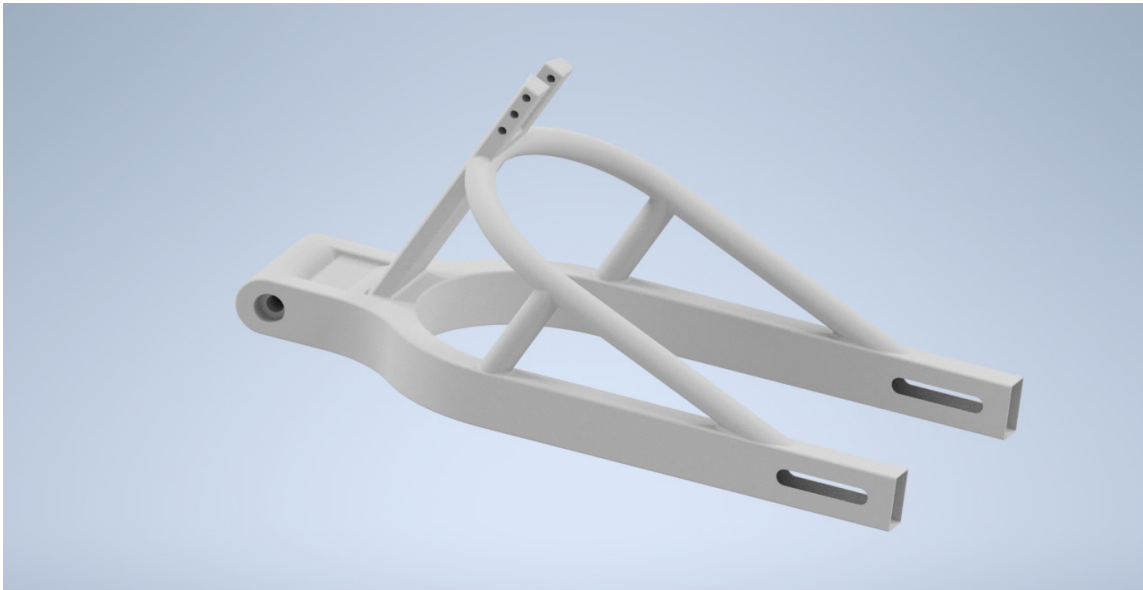
Erilaisia haarukkamalleja suunniteltiin Inventor-ohjelmalla kymmenen kappaletta. Osin valumenetelmin valmistettavia palkkiprofiilimalleja näistä oli kaksi kappaletta. Pelkästä pyöröputkesta valmistettavia malleja oli kolme kappaletta, ja sekä pyöröputkesta että palkista valmistettavia viisi. Putkesta ja palkista valmistettavat mallit miellyttivät omaa silmää, ja niiden valmistus- ja kokoonpanoystävällisyys oli parempaa luokkaa kuin pelkästä pyöröputkesta valmistettavissa malleissa johtuen siitä, että esimerkiksi taka-akselin kiinnityskohta olisi hankalampi toteuttaa pyöreään materiaaliin. Haarukan rakenteen jäykistämiseksi suunnitellut tuet ovat sen sijaan helpompi taivuttaa muotoonsa putkesta kuin profiilista.

Valumenetelmällä valmistamalla saataisiin osiin hieman vapaampia muotoja, ja esimerkiksi öljysäiliö voitaisiin mahdollisesti integroida haarukan sisälle, kuten aiemmin mainittua. Myös ulkonäköseikat miellyttävät omaa silmää kyseisessä mallissa. Tässä tapauksessa jouduttaisiin kuitenkin turvautumaan ulkopuoliseen valmistajaan, ja siten kustannukset nousisivat turhan korkeiksi. Ideana on kuitenkin valmistaa haarukka omin voimin omalla tallilla mahdollisimman huokeasti.

5.2 Palkista ja pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltu haarukka

Palkista ja putkesta valmistettavia haarukkamalleja jalostettiin pisimmälle, ja yksi kyseinen malli päätettiin myös toteuttaa. Tähän päädyttiin pitkälti ulkonäköseikkojen ja valmistettavuuden takia. Palkista saadaan muotoiltua melko mukavasti varsinainen haarukka, ja tukirakenteet saadaan väännettyä putkesta omalla tallilla. Myös mahdolliset koneistukset onnistuvat käytettävissä olevilla koneilla. Öljysäiliö tullaan valmistamaan erilliseksi, ja sen yhteyteen sijoitetaan mahdollisesti toinen öljypumppu, jotta öljynkierto riittäisi moottoripyörän ahtamisen yhteydessä.

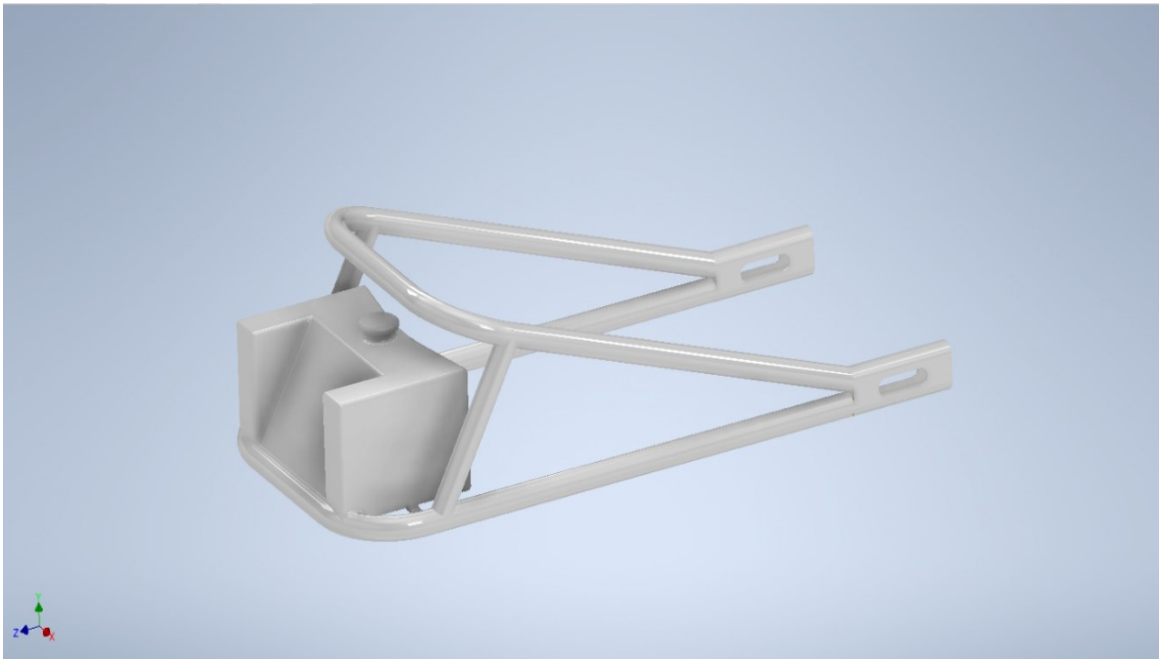
Kuva 8. Parannellun haarukan pyöröputki/palkkiprofiilimalli.



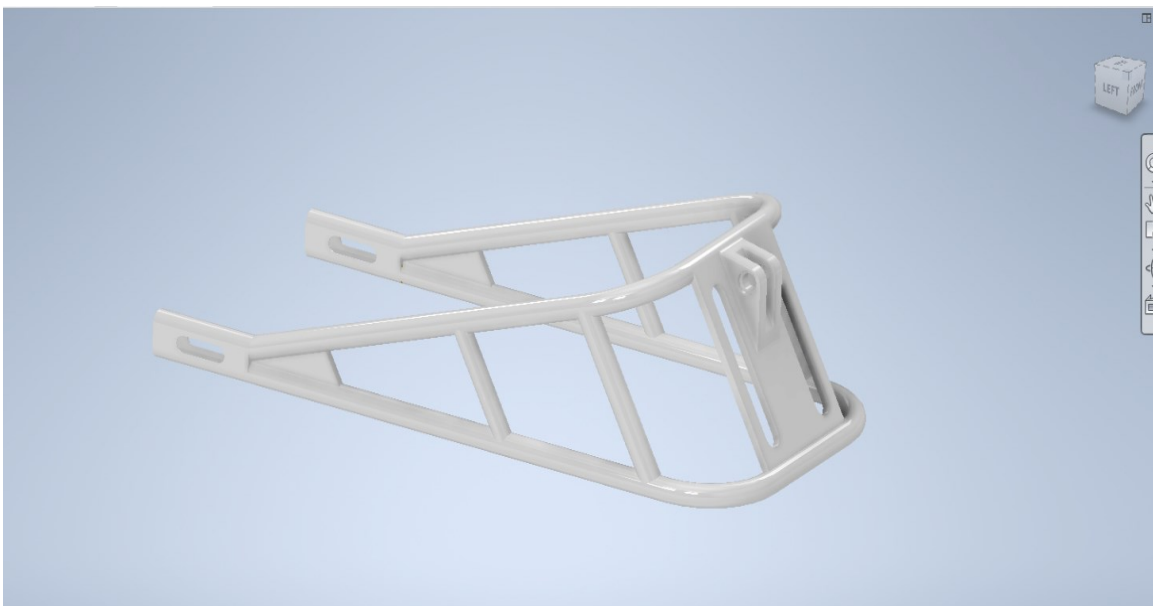
5.3 Pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltuja haarukkamalleja

Syyt miksi pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltua takahaarukkaa ei jalostettu aivan yhtä pitkälle kuin palkista ja putkesta valmistettavaa, olivat pitkälti vain ulkonäöllisiä. Kuvassa 9 esiintyvä, suhteellisen hennon näköinen putkesta suunniteltu haarukka ei mielestäni oikein istu palkkirunkoiseen moottoripyörään. Kyseinen haarukka on kuitenkin suhteellisen kevyt, mikä luettakoon sen hyväksi puoleksi. Kuvassa 10 oleva esimerkkimalli on jo ulkonäöllisesti mukavamman näköinen, ja kyseinen malli tullaankin näillä näkymin valmistamaan tulevaisuudessa toisen projektin yhteydessä. Putkesta valmistaminen olisi hyvinkin varteenotettava vaihtoehto omaankin moottoripyörään, etenkin jos se olisi putkirunkoinen.

Kuva 9. Pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltu malli erillisellä öljysäiliöllä.



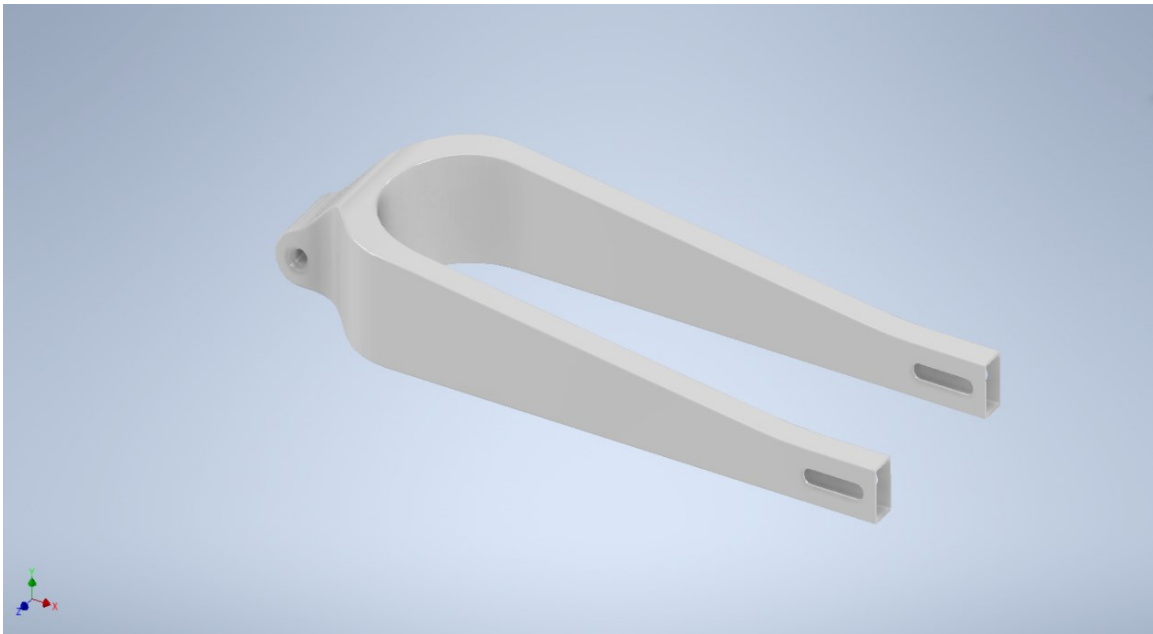
Kuva 10. Toinen pyöröputkesta valmistettavaksi suunniteltu malli.



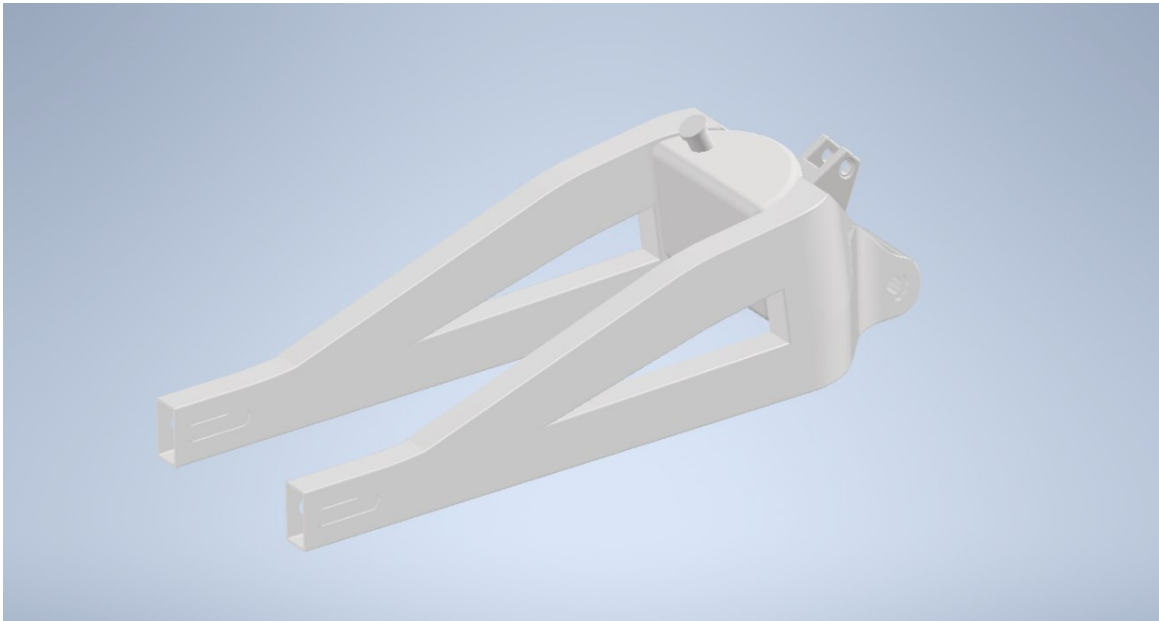
5.4 Osin valumenetelmällä valmistettavia palkkihaarukkamalleja

Osin valumenetelmällä valmistettava takahaarukka otettiin suunnitelmiin lähinnä mielenkiinnosta, eikä mallia pohdittu mallinnusvaihetta pidemmälle. Jo alusta asti oli melko selvää, ettei kyseistä haarukkamallia ryhdytä toteuttamaan ainakaan tällä hetkellä, sillä valuosien valmistamiseen tarvittaisiin ulkopuolista toimijaa. Tulevaisuudessa tämä vaihtoehto voisi kuitenkin olla mahdollinen, sillä palkkimalli miellyttäisi omaa silmää, ja valamalla saataisiin muun muassa integroitua öljysäiliö haarukan sisälle, kuten alkuperäisessäkin haarukassa. Integroidun öljysäiliön etuna on siistimpi ulkonäkö, ja se ettei öljysäiliölle tarvitse etsiä paikkaa muualta. Osin valumenetelmin valmistettavassa haarukkamallissa on kuitenkin valamiseen liittyviä rajoitteita. Esimerkiksi onttoja rakenteita voisi olla vaikea toteuttaa valamalla. Nämä seikat otetaan tulevaisuudessa huomioon, mikäli kyseinen malli päättyy joskus toteutettavien joukkoon.

Kuva 11. Osin valamalla valmistettavaksi suunniteltu yksinkertaisempi malli.



Kuva 12. Osin valamalla valmistettavaksi suunniteltu malli erillisellä öljytankilla.



6 Laskelmia

Moottoripyörään vaikuttavia voimia ovat kiihdytyksestä, jarrutuksesta ja kaarreaajosta johtuvat voimat. Tämän opinnäytetyön aiheen johdosta voimien selvittäminen rajataan kiihdytyksestä syntyviin voimiin, sillä moottoripyörän tulevaa käyttötarkoitusta silmällä pitäen, kaarreaajosta tai jarrutuksista syntyviä voimia on suhteellisen vähän.

Laskelmat ja FEM-analyysi tehtiin vanhan aikakortin tulosten perusteella. Aikakortti on paperilappunen, joka tulostetaan ajanottoimistossa kiihdytysajosuorituksen jälkeen. Kyseisestä kortista selviää reaktioaika, 60, 330, 660 ja 990 jalan väliajat ja joissain tapauksissa 1/8 mailin (660 jalan) nopeus, sekä koko 402,33 metrin suorituksen loppuaika ja -nopeus.

Kuva 13. Esimerkkikuva aikakortista.

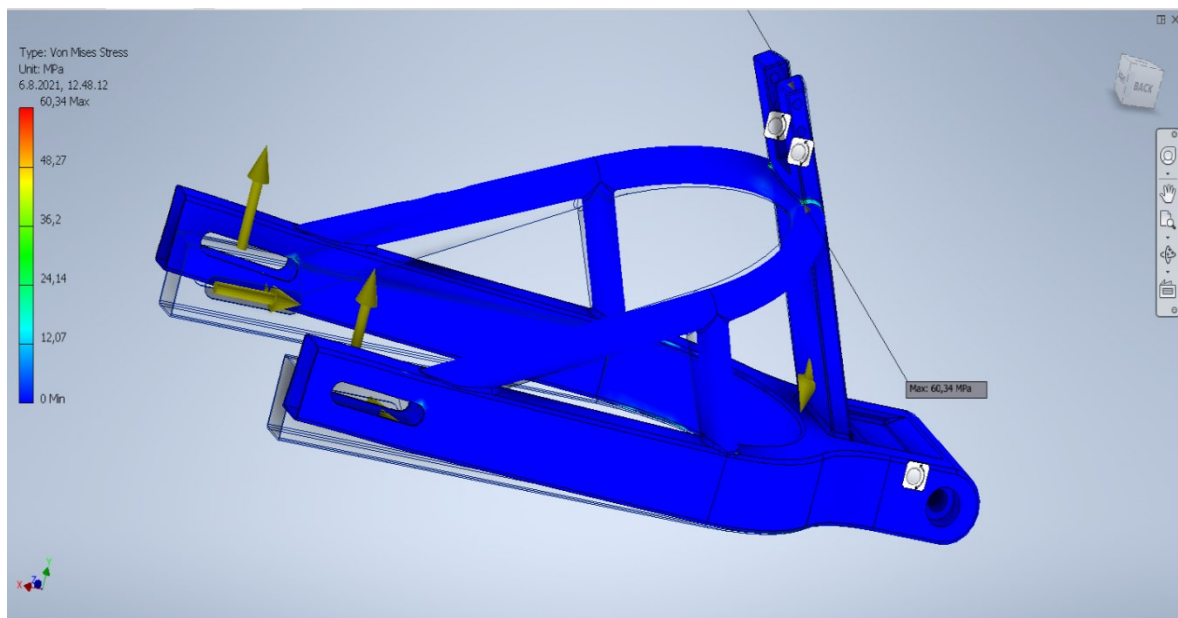
15,220 s	<input type="checkbox"/> Hylätty	660ft	10,902 s								
0,000 s	<input checked="" type="checkbox"/> Punavalot	990ft	13,157 s								
21,0 °C Kosteus 54 % hpa abs/rel 0,0 / 986,3											
öt (lajittelu / eliminaattori / testi)			3 kp								
T	Rata	ET	Nopeus	Reak	Puna	60ft	330ft	660ft	990ft	Hyl	Dial-in
<input type="checkbox"/>	2	15,220	180,63	0,000	<input checked="" type="checkbox"/>	5,018	8,247	10,902	13,157	<input type="checkbox"/>	0,000
<input type="checkbox"/>	2	12,032	179,82	0,873	<input type="checkbox"/>	1,950	5,106	7,732	9,965	<input type="checkbox"/>	0,000
<input type="checkbox"/>	2	12,624	175,52	1,183	<input type="checkbox"/>	2,103	5,363	8,159	10,492	<input type="checkbox"/>	0,000

Laskelmia tehdessä keskityttiin koko suorituksen aikoihin ja nopeuksiin, vaikka suurimmat kiihdytyksestä johtuvat voimat syntyvät luonnollisesti suorituksen alussa. Laskelmat tehtiin yksinkertaisella kaavalla $F = m \cdot a$. Koko massan (m) päätelin olevan 290 kilogrammaa. Moottoripyörän märkäpaino on noin 200 kilogrammaa, riippuen siitä kuinka paljon tankissa on polttoainetta. Keskimäärin suorituksissa polttoainetta on noin puoli tankillista, eli kahdeksan litraa. Itse painan vaihtelevasti 85–90 kilogrammaa. Laskelmassa käytin arvoa 90 kilogrammaa.

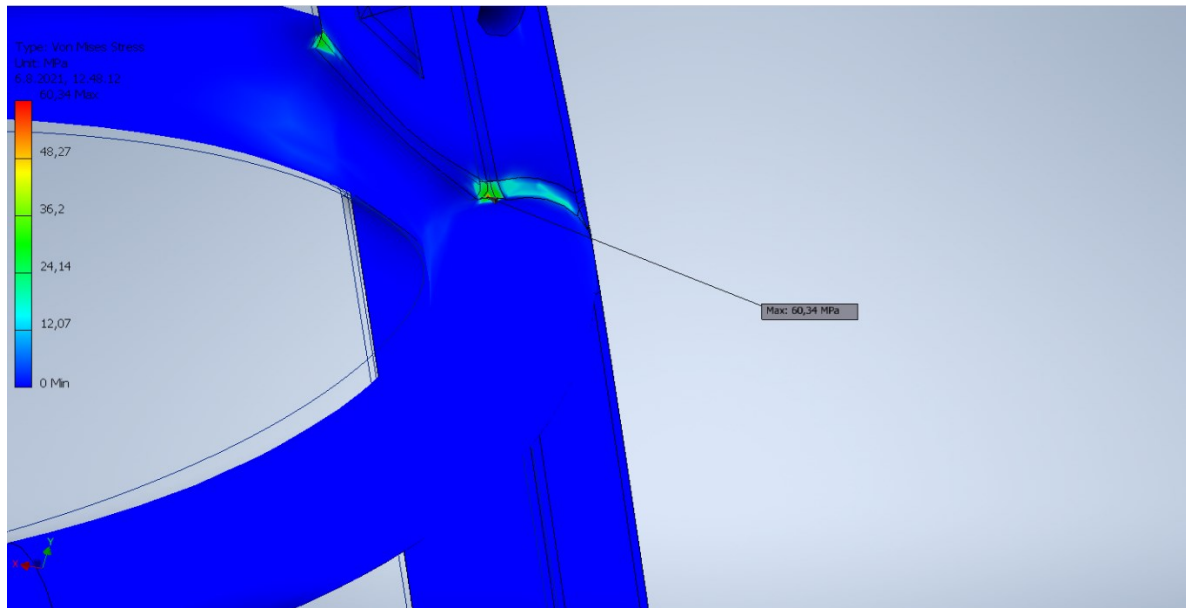
Kiihtyvyyden laskin keskikihtyvyyden kaavalla. Otetaan laskuesimerkkinä yllä olevan aikakortin paras suoritus ¼ maililla, jonka loppunopeus on 179,82 kilometriä tunnissa. Pyörustin ensin 179,82 km/h -> 180 km/h. Sitten muutin kilometrit tunnissa metreiksi sekunnissa. $180 \text{ km/h} \cdot 0,277 = 49,86 \text{ m/s}$. Kun tarvittavat arvot oli muutettu, laskin keskikihtyvyyden kaavalla $(v_1 - v_0)/t$, eli $(49,86 - 0)/12,032 \rightarrow 49,86 \text{ m/s} / 12,032 \text{ s} = \sim 4,14 \text{ m/s}^2$. Tämän jälkeen päästiin kaavaan $F = m \cdot a$, eli $290 \text{ kg} \cdot 4,14 \text{ m/s}^2 = 1200,6 \text{ N}$. Kolmen lähes identtisen suorituksen perusteella laskettu keskimääräinen kiihtyvyydestä aiheutuva voima oli siis noin 1200N. Tätä arvoa käytettiin Inventor-ohjelman FEM-analyysissä. Analyysi tehtiin siten, että merkitsin kiinnityspisteet sekä takahaarukan, että iskunvaimentimen kiinnityskohtiin. Voimat merkitsin niin, että kiihtyvyydestä aiheutuva voima, sekä tukivoima

kohdistuivat suurin piirtein takareenkaan akselin kiinnityskohtaan. Merkitsin myös painovoiman haarukan etuosaan. Voimiksi merkitsin kaikkiin kohtiin edellä mainitun 1200N. Analyysistä selvisi, että valittu rakenne ja materiaali kestävät nuo arvot hyvin. Analyysin mukaan kovin jännityspiikki, 60,34 MPa, kohdistui iskunvaimentimen alapään kiinnityskohdan hitsaussaumaan. Iskunvaimentimen kiinnityskohtaan kohdistuva voima ei välttämättä ole sama kuin renkaan akselin kiinnityskohtaan kohdistuva, mutta laskelma tehtiin koko haarukalle samaa edellä mainittua voimaa käyttäen.

Kuva 14. FEM-analyysin Von Mises-grafiikka.



Kuva 15. FEM-analyysin maksimi jännityspiikki kohdistui hitsaussaumaan.



7 Pohdinta

Opinnäytetyön aiheen mukainen suunnitelma onnistui kohtuullisen mukavasti, ja alkuperäistä haarukkaa saatiin uudelleen suunnittelemalla paranneltua ainakin ”paperilla”. Myös muunlaisia, hyvinkin mielenkiintoisia toteutusratkaisuja saatiin suunnittelupöydälle. Uudelleen suunniteltu haarukka tulee olemaan 200 mm pidempi kuin alkuperäinen. Iskuvaimentimen alapään kiinnityskohtia on kolme. Tämä kolmiasentoinen säätövara mahdollistaa tarvittaessa moottoripyörän takapään maltillisen korkeudensäädön. Takarenkään akselin pituussuuntainen säätövara on noin 100 mm, ja säätäminen tullaan toteuttamaan eri mittaisilla kiinnityspaloilla.

Vaikkei mittojen kasvu vaikuta kovin radikaalilta, niin käytännössä sen varmasti huomaa. Haarukan pituutta ei haluttu kasvattaa liiaksi, sillä moottoripyörää tullaan kuitenkin käyttämään jokapäiväisessä ajossa. Reilusti pidennetty takahaarukka saattaisi toimia loistavasti kilparadalla, mutta muu ajettavuus kärsisi tällöin melkoisesti johtuen kankeammasta käyttäytymisestä esimerkiksi käänöksissä. Valitettavasti fyysistä takahaarukkaa ei ole saatu vielä tähän mennessä valmiiksi, joten käytännön kokemukset puuttuvat ja arviot ovat vain arvioita.

Koska moottoripyörän tehoa on tarkoitus kasvattaa tulevaisuudessa noin 50–100 prosenttia, täytyy haarukkaa tarkastella tuonnempana uudelleen, niin materiaalin kuin rakenteenkin osalta. Tosin suunnitelman mukaisilla materiaalivalinnoilla ei pitäisi tulla minkäänlaisia ongelmia asian suhteen.

Takahaarukan jatkokehitystä ajatellen, alkuperäisen osan skannaaminen helpottaisi ja nopeuttaisi uudelleensuunnittelua. Skannatun ja uudelleensuunnittelun mallin valmistuksessa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi 3D-tulostustekniikkaa. Tällöin muotokieli olisi vapaampi, ja rakennetta optimoimalla saataisiin säästöä sekä painossa, että materiaalikuluisissa. 3D-tulostus valmistusmenetelmänä mahdollistaisi myös öljytankin sijoittamisen haarukan sisälle. Miinuspuolina ovat kuitenkin vielä toistaiseksi metallitulostamisen korkeahko hinta, ja sitä tekevien yritysten vähäinen määrä kotimaassa. Mahdollisissa jatkokehitysmalleissa voisi valmistusmateriaalina käyttää esimerkiksi titaania tai hiilikuitua. Tällöin keveys ja kestävyysominaisuudet olisivat erinomaisella tasolla. Valumenetelmien käyttäminen jatkokehitysmalleja suunniteltaessa kiinnostaa myös, sillä omat kokemukset valutekniikoista ovat melko vähäiset.

Iskunvaimentimen alapään kiinnitystä tullaan vielä pohtimaan varsinaisen työn edetessä. Suunnitelma sisälsi kolme eri kiinnityskohtaa, joiden avulla on mahdollisuus säätää moottoripyörän takapään korkeutta, sekä iskunvaimentimen kulmaa. Periaatteessa kyseiset säädöt voitaisiin hoitaa myös laadukkaalla, säädettävissä olevalla iskunvaimentimella, jolloin tarve osien koneistamiseen vähenisi, ja iskunvaimentimen alapään kiinnitykseen riittäisi vain yksi korvake. Syy miksi suunnitelma sisälsi kolmipisteisen kiinnityskohdan, johtui siitä, että jousitus pyritään näillä näkymin toteuttamaan moottoripyörän alkuperäistä iskunvaimenninta käyttäen.

Lähteet

Ahonen, S. (1999). *Miksi ja miten moottoripyörä kääntyy*.

<http://www.bajahill.net/1999/08/miksi-ja-miten-moottoripyora-kaantyy.html>

Ahonen, S. & Kaivola, R. (2006). *Kopterilaki*. <http://www.mmaf.fi/documents/Kopterilaki-Ajogeometria101.pdf>

Alumeco Group. (n.d.). *Asiantuntemus ja tekniikka. Mekaaniset ominaisuudet*. Haettu 4.8.2021 osoitteesta <https://www.alumeco.fi/asiantuntemus-ja-tekniikka/mekaaniset-ominaisuudet/nelioe-ja-kuusiotangot-pursotetut?s=0>

AME Chopper Products. (n.d.). *Categories. 9° / 14° / 18° Chopper-Kits*. Haettu 10.8.2021 osoitteesta https://ame-chopper-shop.eshop.t-online.de/epages/Store_Shop00490.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/Shop00490/Products/%22KIT%20allgemein%22

Dwight, J. (2002). *Aluminium Design and Construction*. Taylor & Francis e-library.

Lukkari, J. (2001). *Alumiinit ja niiden hitsaus*. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Lukkarinen, J. (2002). *Hitsaustekniikan perusteet ja kaarihitsaus*. Edita Prima Oy.

Mathers, G. (2002). *The welding of aluminium and its alloys*. Woodhead Publishing Ltd.

Nurmilaukas, A. (2016). *Hitsatun alumiinirakenteen suunnittelu*. [Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto].

<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/120259/HITSATUN%20ALUMIINIRAKENTEE%20SUUNNITTELU.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Oy Linde Gas Ab. (n.d.). *Pienoisopas. Alumiinihitsaus*. Haettu 9.9.2021 osoitteesta [https://www.linde-](https://www.linde-gas.fi/fi/images/Linde%20Aluminum%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI_tcm634-122433.pdf)

[gas.fi/fi/images/Linde%20Aluminum%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI_tcm634-122433.pdf](https://www.linde-gas.fi/fi/images/Linde%20Aluminum%20Welding%20Brochure%20105x210%20FI_tcm634-122433.pdf)

Piironen, T. (2013). *Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen*. Savonia-ammattikorkeakoulu.

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/342287/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Raaka-ainekäsikirja 5. (2002). *Alumiinit – Raaka-ainekäsikirja 5*. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Salmikangas, M. (2015). *Hitsausmenetelmät, MIG/MAG-hitsaus*.

<https://matiassalmikangas.wordpress.com/2015/02/24/migmag-hitsaus/>

Valtanen, E. (2007) *Tekniikan taulukkirja*. Genesis-kirjat Oy.