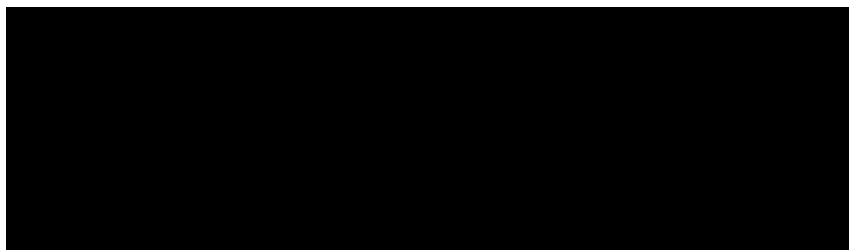




# **Tuotekehitys Hokki ketju**

Mikko Koskinen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2013  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Koneautomaatio  
MIKKO KOSKINEN  
Tuotekehitys Hokki ketju

Opinnäytetyö 30 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Huhtikuu 2013

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tuotekehitystyö vanhan tuotteen osaan. Tuotekehitys työhön on ollut monivuotinen tarve, johtuen valmistuskustannuksien aiheuttamasta kilpailukyvyttömyydestä markkinoilla. Työ aloitettiin kehittämällä vanhaa mallia uuteen muotoon, lisäksi tarkoituksena oli kehittää uusi valmistustapa vanhan tilalle. Mallinnuksia tehdessä huomioitiin lujuuslaskelmin uuden mallin kestävyys, joskin hyvin suuntaa antavan karkeasti. Työssä vertailtiin myös valmistusmateriaalia ja löydettiin markkinoilta hyvin soveltuva valumateriaali ADI valurauta. Lisäksi vertailtiin valu- ja taontatekniikkoja ja niiden soveltuvuutta uusiin malleihin. Pohdinnan alle otettiin myös kokoonpano vaihe ja uuden hokin soveltuminen.

Uusista mallinnoista tehtiin tarjouskyselyitä, joiden perusteella mallin arvioidulla hinnalla määriteltiin yrityksen hintalaskurilla hokki ketjun kokonaiskustannukset ja niiden perusteella tehtiin päätelmät hokin kannattavuudesta. Työn päämääränä oli löytää kustannustehokas hokki muotoilun, valmistustekniikan ja kokoonpanon kannalta, jotta voitaisiin lanseerata vanha tuote takaisin markkinoille. Työn lopputuloksena pystyttiin määrittelemään, että alkuperäinen hokki oli yllättävän kilpailukykyinen ja kustannustehokas verrattuna uusiin muotoiluun, joten lopulta työ osoittautui selvitystyöksi, jolla määriteltiin hokki vaihtoehtojen kannattamattomuus.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Mechanical and Production Engineering  
Automation

MIKKO KOSKINEN  
Production development Skidder ring chains

Bachelor's thesis 30 pages, appendices 3 pages  
April 2013

---

Thesis deals with product development in part of old product. Thesis main goal was develop big ring chain's big ring part towards cheaper and better modeling. Work included modeling new design's which were compared at old model. Modeling ended up with two new designs. New designs were taken another round of modeling and this time models strengthen and weight were calculated.

Thesis also compered different producing methods mainly between casting and forging and there suitability of ring part's producing. Casting was more suitable than forging because of the parts figure. Also there had been conversations about using ADI cast material in this product and it was also first solution which were given by the supplier.

Final design were sent to the supplier and they gave there estimated producing price. Given price were used to calculate estimated manufacturing and selling price for the whole product. Calculations showed that new model and its manufacturing at ADI cast cost were actually bigger than original model. Final judgment was that new model was too expensive.

---

Key words: skidder rings, tag chains, product development

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	Hokki ketju matto.....	7
3	Hokin muoto.....	8
3.1	Soikea hokki.....	9
3.2	X-hokki.....	10
4	Valmistustapojen vertailu.....	11
4.1	Taonta.....	11
4.1.1	Edut ja haitat.....	11
4.1.2	Mahdollisuudet ja ongelmat.....	12
4.2	Valu.....	12
4.2.1	Edut ja haitat.....	13
4.2.2	Mahdollisuudet ja ongelmat.....	13
5	Rakenne ja hokin kiinnitys ketjussa.....	14
5.1	Vanhan hokin kiinnitys.....	14
5.1.1	Ongelmat uusien hokki mallien kiinnityksessä.....	14
5.1.2	Ratkaisumallit.....	15
6	Hokin valmistusprosessi.....	17
6.1	Vanha hokki malli.....	17
6.2	Uudet hokki mallit.....	19
6.2.1	X- malli hokki.....	19
6.2.2	Soikea malli.....	19
7	Lujuuslaskenta.....	20
7.1	Lähtökohdat.....	20
7.2	Laskenta.....	20
7.3	Laskelmat.....	21
7.4	Tulos.....	23
8	Kustannukset.....	24
8.1	Taulukon käyttö ja toimintaperiaate.....	24
8.2	Tarjoukset.....	24
8.3	Kustannusten vertailu.....	25
8.4	Varasto kustannukset.....	25
9	Pohdinnat.....	26
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET.....	28
	Liite 1. Voima kuvaajat 1/3.....	28

**ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)**

hokki	Liukueste elementti ketjumattoon, joka koostuu metalli renkaasta ja nastoista.
purse	Hitsaamisessa tai muussa sulanmetallin työstö vaiheessa syntyvä ylimääräinen metalli kappaleen päällä.
ADI	Suomessa kehitetty seoste valumateriaali jonka ominaisuudet ovat vertailukelpoisia teräksiin.
keerna	Valamisessa käytettävä irtonainen muotin osa.
ketjumatto	Runko liukuesteketjuun, asetetaan renkaan päälle ja kiristetään sivuketjuilla

## 1 JOHDANTO

Lähtökohdat työlle oli saada aikaiseksi kustannuskestävä vaihtoehto nykyiselle hokki mallille, koska nykyisen hokin valmistus ei ole kannattavaa. Työn tarkoituksena on suunnitella uusi malli, jonka suunnittelussa huomioidaan helppo koonti ja vaihdettavuus maastossa. Lisäksi mallin on tarkoitus olla mahdollisimman yksinkertainen valmistaa. Yksinkertaisella valmistuksella haetaan säästöjä, samoin kuin materiaalin vähentämisellä ja oikealla valmistusmateriaalilla. Valmistusmateriaalissa katse käännettiin heti alusta asti valuihin ja tarkemmin ADI materiaaliin. Materiaalin soveltuvuutta selvitettiin ja verrattiin alkuperäiseen sekä taottuihin ratkaisuihin. Valmistustekniikoista tehtiin vertailua ja haettiin niiden etuja, haittoja, mahdollisuuksia ja ongelmia.

Muotoilulla yritettiin saada hokin rakennetta uudenaikaiseksi ja erottuvaiseksi. Tärkein tavoite oli kuitenkin saada kettingin kiinnitys yksinkertaistettua ja materiaalin käyttö optimoiduksi. Uudesta hokista tehtiin lisäksi lujuuslaskelmia, joilla määritettiin uuden muotoilun kestävyyttä. Lopullisesta mallista tehtiin tarjouskyselyitä, joiden perusteella laskettiin mallin valmistuksen kannattavuus.

## 2 Hokki ketju matto

Hokki ketjumattojen yleisin käyttökohde on juontokoneiden renkaiden päällä pehmeissä maastoissa tai huonoissa keli olosuhteissa. Ketjun tarkoitus on suojata koneen renkaita ja luoda kitkaa renkaan ja maan välissä paremman pidon saavuttamiseksi. Silloin tällöin hokki ketjuja voi tulla vastaan myös kaato- ja kuormakoneissa, mutta pääasiallisesti ketjujen käyttö rajoittuu juontokoneisiin. Ketjujen käyttö on yleistä Pohjois-Amerikassa ja Venäjällä, joissa koneita yleisesti käytetään, Euroopassa mallin esiintyminen on harvinaista. Alla kuva joka havainnollistaa ketjujen käyttöä käyttöympäristössään.



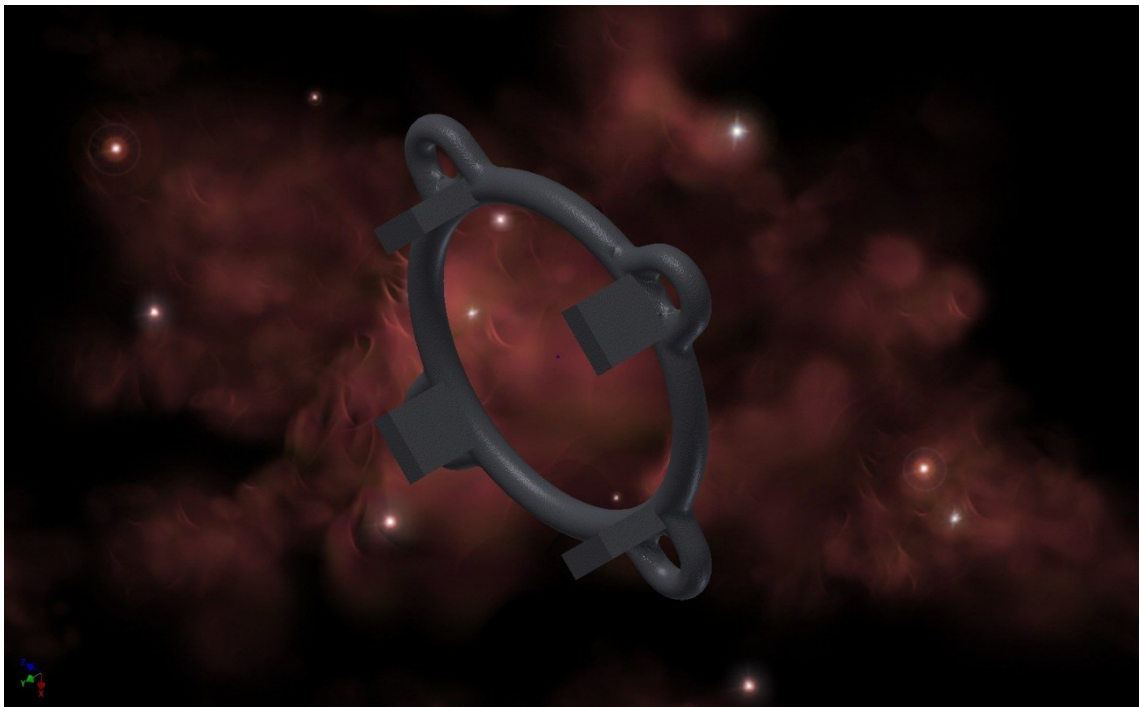
Kuva 2-1 John Deere juontokone tupla hokki ketjuilla (John Deere: Skidders 2013)

### 3 Hokin muoto

Yleinen hokin muoto on rengas, johon on hitsattu kiinnityslenkit ja pitopalat. Pyöreän muodon edut on kappaleen hyvä rasituskestävyys sivuttaisille voimille. Muoto on lisäksi yksinkertainen valmistaa ja toimiva käyttöolosuhteissaan.

Muodon ongelma leveän pyörän kohdalla muodostuu siihen, että rinkulan kokoa ei voi suurentaa äärettömästi, johtuen muodon kestävyuden hyödyn menettämisen ja suuren keskiöreiän aiheuttaman renkaan vaurioherkkyyden takia. Pyöreää rinkulaa voidaan leveällä pyörällä käyttää laittamalla renkai rinnakkain, jolloin peitetään renkaan pintaa suuremmalta alalta, mutta ratkaisu ei lisää kitkan määrää. Huonona puolena lisäämisellä on renkaiden määrän lisääntyminen pyörän kehällä, lisäten kustannuksia. Kapealla pyörällä sen sijaan ympyrän koon lisääminen aiheuttaisi tilanteen, jossa hokin reunat olisi pyörän reunoilla ja näin ollen eivät toisi suojaa ja pitoa pyörälle. Näin saataisiin kyllä tilanne, jossa yksittäinen hokki peittäisi pidemmältä alueelta pyörän kehää ja hokkien määrä vähentyisi.

Ympyrämuotoisen hokin etu on sen asettuminen renkaan pinnalle ilman että täytyy ottaa huomioon pinnan kaarevuussädettä, koska se asettuu renkaan pintaan johtuen rengasmuodon geometriasta. Ympyrämuotoisen hokin valmistaminen on näin ollen halvempaa yksinkertaisen muodon vuoksi.



Kuva 3-1 Rengashokki

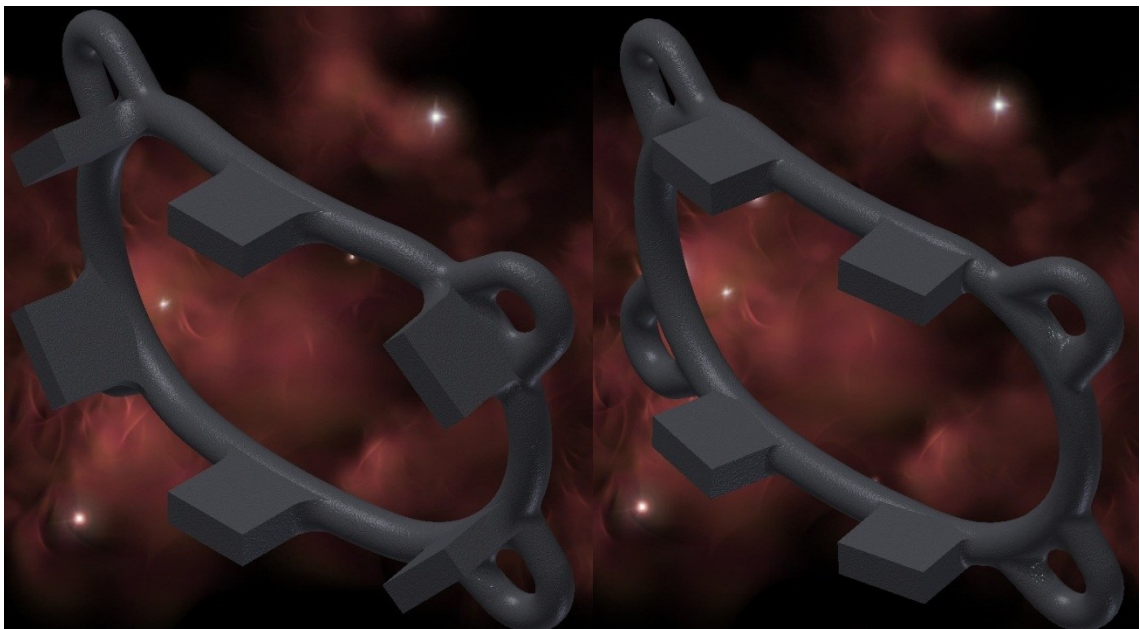


### 3.1 Soikea hokki

Hokien määrä voidaan vähentää soikealla muodolla, jolloin yksi hokki korvaisi kaksi pyöreää hokkia leveysuunnassa. Leveässä hokissa suurella pyörällä täytyy ottaa huomioon pyörän pinnan kaarevuussäde, jotta saadaan hokki koko pinnaltaan rengasta vasten. Kaarevuuden ongelma on se, että yksittäinen hokki malli ei sovellu jokaiseen pyöräkokoon, vaan hokkeja täytyy näin ollen valmistaa monilla eri säteillä.

Sopivan kaarevuussäteen hakemisessa täytyy ottaa huomioon halutun pyörän pinnan kaarevuuden säde arvo, joka 30,5x32 koon pyörällä mitaamalla saatiin noin 820 - 850 mm. Kaarevuussäteen huomioon ottaminen mahdollistaa myös hokin paremman istuvuuden pyörälle.

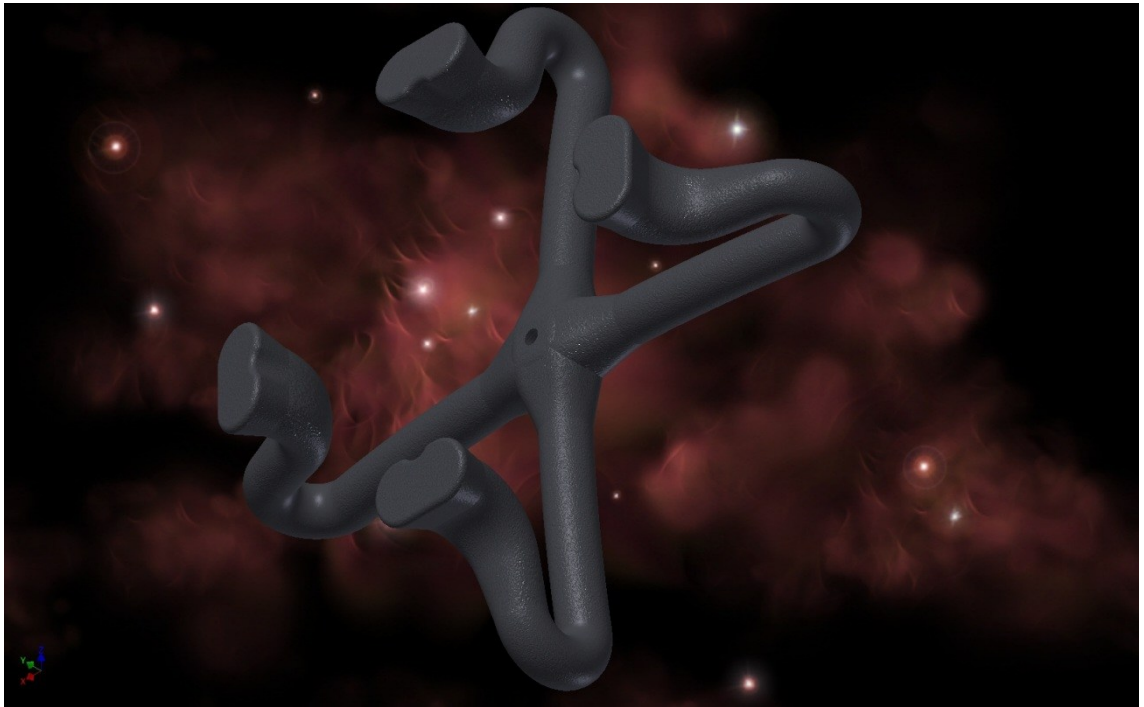
Leveässä hokissa tulee pitopalojen asettelu ja määrä kyseeseen. Kiinnitys kannattaa leveässäkin hokissa laittaa viistokulmassa sivuilta kiinni, jolloin hokki tulee kiinni sekä sivuttais- että pituussuunnassa. Soikean hokin valmistamisessa valamalla ongelmaksi muodostuu sopivan kiinnitysmenetelmän ratkaisu. Ratkaisu vaihtoehtoja on erilaiset pulttikiinnitykset ja muotokoukut, mutta niissä on ongelmana, joko ylimääräinen koneistus tai kappaleen painon lisääntyminen ja näin ollen tuotanto kustannusten kasvaminen.



Kuva 3-2 Ovaalihokki vaihtoehtoja

### 3.2 X-hokki

X-mallisessa hokissa pyörän kaarevuuden huomioon otto tulee eniten kyseeseen, koska hokki muuten heiluu pyörän keskikohdan päällä ja näin ollen ketju ei asetu. X-mallin etuna on pyörän keskikohdan peitteisyys eli se suojaa pyörää keskeltä paremmin kuin rengas malli hokki, joskin sivut jäävät huonommin suojatuiksi. X-mallin suunnittelussa huomion arvoista on sen mahdollistama kiinnittyminen ketjuun ilman erillisiä kiinnityskorvia koska muoto toimii itsessään kiinnikkeenä. Tämä ratkaisu vähentää painoa ja yksinkertaistaa muotoa ja lisäksi helpottaa ketjun koontia, koska hokki pujotetaan valmiiseen ketjuun. X-mallin ongelma on valumuotin suunnittelussa, koska muoto aiheuttaa ongelman muotin avattavuudessa.



Kuva 3-3 X Hokki malli

## 4 Valmistustapojen vertailu

Vanha hokki on valmistettu moniosaisesti, jolloin valmistuskustannukset kasvavat, koska työvaiheiden ja tekijöiden määrä lisää kustannuksia. Työvaiheet koostuvat renkaan taivuttamisesta valamisesta tai polttoleikkaamisesta, hitsaamisesta ja karkaisusta. Osa näistä vaiheista olisi mahdollista automatisoida, joka laskisi valmistus kustannuksia. Ongelmaksi muodostuu kappaleiden rajallinen menekki, jolloin automatisointi kulut jäävät liian suuriksi yksittäistä hokkia kohden. Ongelman ratkaisuksi pohdittiin kahta yhden työstö vaiheen vaihtoehtoa, joilla laskettaisiin kustannuksia. Mahdollisia työstö vaihtoehtoja olisi valaminen ja taonta, joissa molemmissa on hyvät ja huonot puolensa. Molempien suurin huono puoli on, että valmistustekniikat vaativat ulkopuolisen valmistajan, joka aiheuttaa kustannuksien nousua ja riippuvuutta ulkopuolisesta tekijästä.

### 4.1 Taonta

Taonta on prosessi, jossa kuuma teräsaiho eli tae asetetaan kahden muotin väliin, joita isketään yhteen eli taotaan. Nykypäivänä on myös yleistynyt tekotapa, jossa umpinaiseen muottiin syötetään ainesosat jauheena jonka jälkeen muotti lämmitetään kunnes jauhe muuttuu sulaksi. Tämä sula annetaan hieman jähmettyä, jolloin takominen aloitetaan. Jauhetaonnan rajallisuus on se toimivuus vain pienillä kappaleilla. Taonta jaetaan kahteen ryhmään avotaontaan ja muottitaontaan. Avotaonta liittyy lähinnä koristetaontaa nykypäivänä. Muottitaonta on nykypäivän sarjatuotanto sovellus, jossa kappaletta taotaan vaihe vaiheelta eri muoteissa kohti lopputulosta. Muottitaonnassa voidaan käyttää kahta eri vaihtoehtoa eli avointa muottia ja suljettua muottia. Näiden ero on siinä, että suljetussa muotissa ei synny purseita, jotka leikattaisiin pois ja näin ollen säästetään materiaalia ja nopeutetaan prosessia. Taonnassa materiaalin hilarakenne muuttuu kuitumaiseksi taonnan poikkisuunnassa eli rakennesuunnassa. Tämä muokkautuminen luo kappaleen rakenteen lujuusominaisuuksien muuttumisen. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki & Sihvonen 1985, 359- 369)

#### 4.1.1 Edut ja haitat

Taonnassa etuina on kappaleen yhtenäinen rakenne, joka pienentää murtumien muodostumista ja näin ollen lisää kappaleen lujuutta jopa 20 %. Yhtenäisen rakenteen hyvänä puolena verrattuna valuihin on myös valuvirheiden välttäminen, koska taonnan aikana

mahdolliset raaka-aineen virheet tasoittuvat rakenteeseen ja samoin myös käy kuona-aineiden, joita muutenkaan nykypäivän metalleissa ei enää merkittävässä määrissä esiinny.

Haittapuolia taonnassa on sen toimimattomuus osalle materiaaleista. Suurempi ja merkittävämpi ongelma on, että taonta luo lujuutta vaan tietyssä suunnassa ja saattaa jopa heikentää rakennetta päinvastaisessa suunnassa, johtuen taonnan aikana tapahtuvista muutoksista materiaalissa. Lujuuden muuttuminen vain tietyssä suunnassa aiheuttaa vaatimuksia kappaleen muotoilusuunnittelussa, koska lujittumien täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Lisäksi taonta aiheuttaa mekaanisen rasituksen takia sisäisiä repeytymiä, jotka voidaan hallita oikeilla tekniikoilla.

Huomioon täytyy ottaa myös taonnan teko kuumana, joka vaatii kalliimmat muotit ja lisäksi taonnan jälkeiset lämpökäsittelyt, joilla saavutetaan lopulliset lujuusarvot. (Ihalainen ym. 1985, 359- 369)

#### **4.1.2 Mahdollisuudet ja ongelmat**

Kyseessä yksinkertainen prosessi, jossa saavutettaisiin edullinen ja kestävä lopputulos. Huonona puolena alussa on suuret muottikustannukset, jotka suuremmissa erissä laskisivat merkittävästi. Suurin ongelma on kappaleen muodon soveltuminen taontaan ja lisäksi kappaleen jälkikäsittelyt, kuten koneistus ja lämpökäsittelyt. (Ihalainen ym. 1985, 359- 369.)

## **4.2 Valu**

Valaminen on prosessi, jossa metalli sulatetaan, puhdistetaan, seostetaan halutuilla lisäaineilla ja tämän jälkeen kaadetaan muotoiltuun muottiin. Jäähdyttämisen jälkeen muotista saadaan ulos valmis tai lähes valmis kappale. Valaminen on yksinkertainen ja tehokas valmistusmenetelmä ja sovellettavissa hyvin sarjatuotantoon kestumotteja käyttäen. Valaminen ei yleensä vaadi suuria jälkitoimenpiteitä, mutta valuille on mahdollista tehdä lämpökäsittelyjä, koneistuksia ja jopa hitsaamisia. (Forging: Forging facts 2013, Valuatlas: Oppimateriaali 2013)

#### 4.2.1 Edut ja haitat

Valuilla saadaan aikaiseksi kevyt ja kestävä rakenne verrattuna hitsattuun rakenteeseen. Valun rakenne on myös vertailukykyinen taottuun, koska valurakenteessa lujuus on samankaltainen kaikkiin suuntiin. Ongelmana on valun rakenteen epätasaisuus verrattuna taottuun rakenteeseen, joskin nykypäivänä epätasaisuus on vähäistä, koska valuprosessi hallitaan todella hyvin. Lisäksi valun rakennetta voidaan tasoittaa jälkilämpökäsittelyillä. Valamisen etuina on myös materiaalin räätälöitävyys lisäaineilla, joilla luodaan halutunlainen yhdistelmä. Valuilla on myös hyvä värähtelyn vaimennuskyky, minkä ansiosta kappaleella on pidempi käyttöikä.

Haittoina valuilla on valuvirheiden mahdollisuus, jotka pystytään kuitenkin eliminoidaan tehokkaasti oikeilla tekniikoilla. Valuilla on myös hieman heikommat vetolujuusarvot verrattuna taottuihin kappaleisiin poikkeuksena ADI materiaali, jolla on lähes ylivertaiset ominaisuudet yhdistelmänä yksinkertaista valmistusprosessia ja mekaanisia ominaisuuksia. (Forging: Forging facts 2013, Valuatlas: Oppimateriaali 2013)

#### 4.2.2 Mahdollisuudet ja ongelmat

Valun etuina on nopea valmistus raaka-aineesta suoraan valmiiseen tai lähes valmiiseen tuotteeseen. Valutekniikoiden myötä myös etuina on todella vapaa muotoilun käyttö, joskin valaminen prosessina aiheuttaa tiettyjä huomioon otettavia rajoitteita muotoon. Vaikeampien muotojen valaminen vaatii monimutkaisemman muotin ja keernoja, joiden valmistaminen maksaa enemmän ja käyttö uudelleen sarjatuotannossa voi olla mahdollonta. Laadun tasaisuus on merkitsevin ongelma valuissa, joskin nykypäivänä aika hyvin kontrolloitavissa. Ongelmia aiheuttaa myös tiettyjen muotojen jälkityöstäminen koneistamalla, joskin koneistus tulee kyseeseen lähes kaikilla valmistusmenetelmillä. ADI valun lisäongelmana on myös sen vaatima jälkilämpökäsittely, jolla saadaan ADI:n ominaisuudet esiin. (Forging: Forging facts 2013, Valuatlas: Oppimateriaali 2013)

## 5 Rakenne ja hokin kiinnitys ketjussa

Hokin muoto määräytyy osin kokonaisuuden kannalta, vaikka toisaalta kokonaisuus rakentuu hokin ympärille. Ketjujen rakenne on lähes samankaltainen kaikissa malleissa. Pyörän pinnalle asetetaan karkaistu kettinkimatto eli runko osa varustettuna, joko nastoilla tai nastattomana eri kuvioissa. Pintaketjumatto sidotaan karkaisemattomilla sivuketjuilla. Ketjumatto yhdistetään yhteen yhdestä saumavälistä ja samasta kohdasta tehdään myös maton kiristys pyörälle pysyväksi.

### 5.1 Vanhan hokin kiinnitys

Hokki kiinnittyy perinteisessä mallissa kettinkiin hitsattavilla korvakkeilla. Hitsausvaiheessa korvakkeen sisälle jätetään halutun pituinen ketju, jolla hokki kiinnittyy ketju-runkoon. Toinen vaihtoehto on, että ketjun lenkki hitsataan yhteen asettaen ensin lenkki hokin korvakkeen sisälle. Tämänkaltaisessa ratkaisussa on monia ongelmia valmistusvaiheessa ja käytön aikana, mikäli hokin kiinnitysketju katkeaa tai hokki vaurioituu.

#### 5.1.1 Ongelmat uusien hokki mallien kiinnityksessä

Valmistusvaiheen suurimmat ongelmat aiheutuvat uuden hokin karkaisusta, hokissa oleva valmiiksi karkaistu ketju ei saisi karkaistua uudelleen, koska silloin hävitään ketjun sitkeydessä liikaa. Lisäksi ketjun asentaminen valuvaiheessa hokkiin on mahdotonta. Ratkaisuna näihin on ketjun koontihitsaus vasta kokoonpanovaiheessa. Kokoonpano vaiheessa ainoa mahdollinen hitsaustapa olisi lenkin käsin hitsaaminen, joka vie liikaa aikaa, on hankalaa ja luo liikaa kustannuksia.

Toinen ongelma muodostuu kettujen käyttäjille, mikäli hokki tai kiinnitysketju vaurioituu. Umpinaisen muodon korjaaminen vaatii työkaluja ja lisäksi sen korjaaminen esimerkiksi hitsaamalla on hankalaa, koska monia materiaaleja varsinkin karkaistuina on lähestulkoon mahdotonta hitsata. Yhtenä nopeana vaihtoehtona olisi sakkeliä käyttäminen, mutta niiden ongelmana on huono kestävyys ja toimivuus, lisäksi ne voivat aueta kesken käytön.

Yllämainitut syyt aiheuttavat paineen suunnitella hokki niin, että sen kiinnitys olisi helpommin avattavissa. Avaamismekanismeilla yksinkertaistettaisiin ketjun kokoamista,

vältettäisiin ylimääräiset karkaistumiset ja mahdollistettaisiin ketjun huolto metsässä. Avausmekanismeja tai avonaisia koukun muotoisia kiinnityslenkkejä on kehitetty, mutta niissä on omat ongelmansa, lähinnä mekanismin tuoma lisäpaino ja koneistuksen tarve valmistaessa.

### 5.1.2 Ratkaisumallit

Kiinnityskorvakkeiden korvaaminen muulla kiinnityksellä lähti vanhojen kehitettyjen mallien pohjalta tehdä muotosulkeinen, joka toimisi ilman lisäosia. Samalla ajatuksena oli myös jos muotosulkeinen saataisiin sisällytettyä itse hokkin muotoon. Työn aikana tuli kehiteltyä erilaisia koukku muotoja, joihin kettingin voisi pujottaa niin, että se ei pääsisi itsestään pois. Kaikkien koukku muotojen ongelmana on niiden heikkous, koska ne on pakko tehdä ohutseinämaisinä, jotta kettingin voisi pujottaa niihin. Toinen ongelma on hokkien valmistuksen hankaluus, oli valmistusprosessi sitten valaminen tai taonta. Edellä mainituista syistä koukku ajatuksesta jouduttiin luopumaan. Koukku ajatuksen tuloksena yhdessä mallissa päädyttiin kiinnittämään pultilla kettinki hokkiin. Pulttikiinnityksen hyvä puoli on sen helppo koonti valmistuksessa ja vaihdettavuus metsäolosuhteissa. Ongelmana pulttikiinnityksessä on pultin kärsiminen käytössä, vaikka pultti onkin suojattu hokin sisään, kuten näemme kuvassa 4. Lisäksi pulttikiinnitys vaatii koneistusta valmistuksessa, joka lisää kustannuksia.



Kuva 5-1 Pulttikiinnitysmalli

Toinen ratkaisu on x mallinen hokki, jossa ketju pujotetaan itse hokkiin, jolloin vältetään ylimääräisiltä kiinnitysosilta tai kiristimiltä. Mallin hienous on siinä, että kettinki pujotetaan tietyssä poikkeavassa asennossa hokkiin, jolloin varmistutaan siltä, että hokki ei putoa omia aikojaan paikoiltaan. Huonompi puoli ratkaisussa on sen vaatimat renkas lenkit, joiden valmistus ja koonti lisäävät koko ketjun hintaa merkittävästi.



## 6 Hokin valmistusprosessi

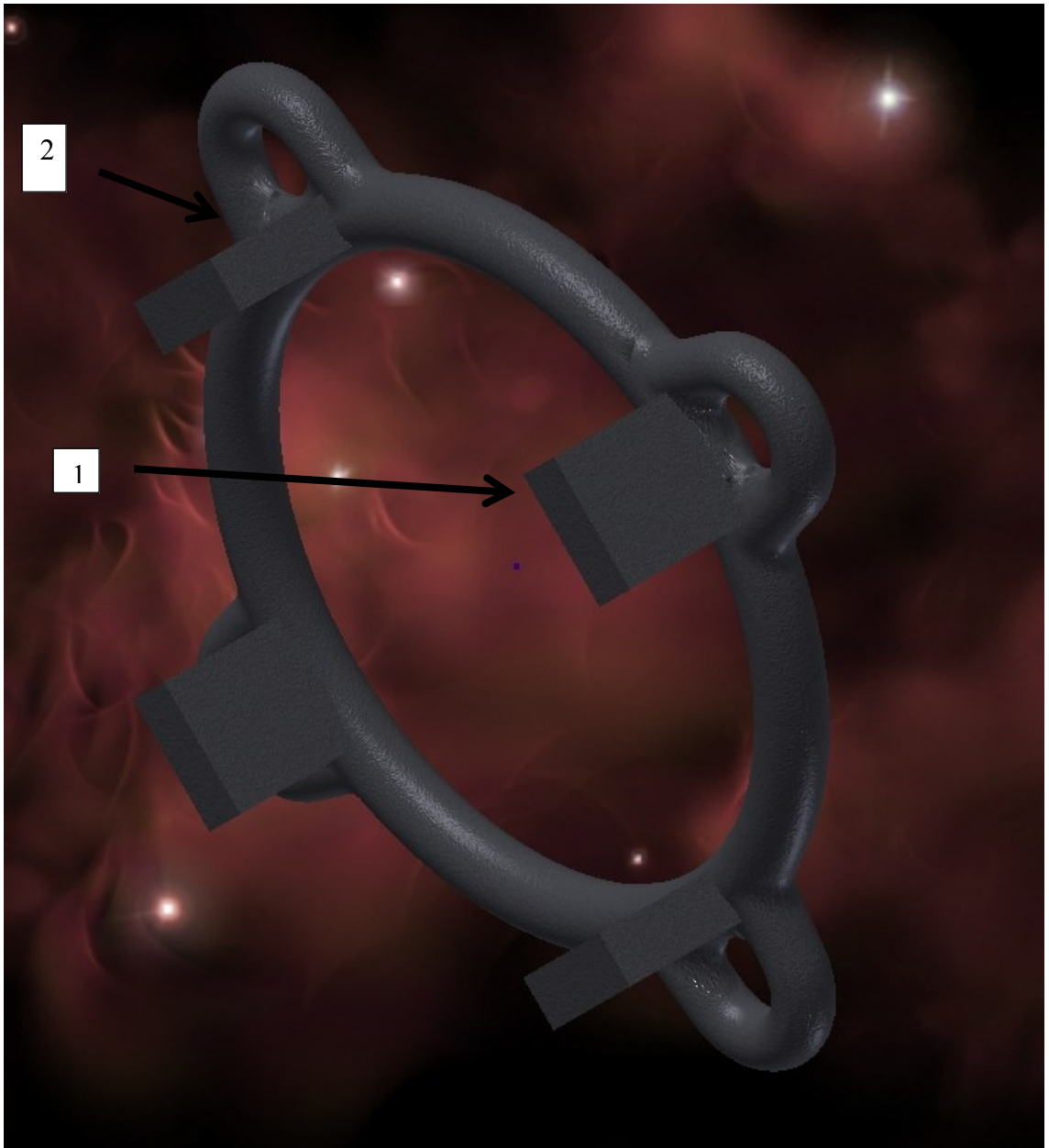
### 6.1 Vanha hokki malli

Vanhaa hokki mallia on valmistettu kahdella tavalla, joissa kummassakin loppukoonti on tehty valokaari hitsaamalla. Vanha hokin koonti on aloitettu tekemällä teräsrenkas taivuttamalla rengas terästangosta. Terästanko tilataan spiraalille taivutettuna, josta leikataan määrämittäisiä pätkiä, joka lopputaivutetaan ensin siten, että tangon päät ovat samalla tasolla ja sitten taivutetaan päät yhteen tangonpätkän näin ollen muodostaen renkaan. Mikäli on kyseessä uiva hokki, niin ennen yhteentaivuttamista renkaalle pujotetaan neljä ketjunpätkää, joilla hokki kiinnitetään myöhemmin sivuketjuihin. Yhteentaivuttamisen jälkeen hokki leimu hitsataan yhteen saumakohdasta. Leimuhitsaus on prosessi, joissa päittäisliitoksen kohta lämmitetään ensin sähköän avulla saavutetuilla valokaarilla. Kun kappale saavuttaa sulamislämpötilan tehdään nopea yhteen puristus liike eli tyssäys. Samaa prosessia käytetään kettingin valmistuksessa. (Esab Suomi: Hitsaus ja leikkaus leimuhitsaus 2013.)

Toinen mahdollisuus on valaa suoraan teräksestä renkaita. Tämä valmistustyyli mahdollistaa saumattoman renkaan etunaan parempi kestävyys yhtenäisen rakenteen ansiosta. Uivan renkaan kiinnitys on hankalampi toteuttaa tässä mallissa, joten yleensä tähän malliin hitsataan kiinnityskorvakkeet.

Renkaaseen tämän jälkeen hitsataan pitopala korvakkeet eli teräksiset nelikulmaiset palat kuvassa 5 kohta 1. Tämän jälkeen riippuen hokin mallista, onko uiva vai kiinteä hokki, hitsataan kiinnityskorvakkeet, jotka ovat teräsrenkaiden puolikkaita. Kiinnityskorvakkeihin pujotetaan kiinnityskettinkilenkit ja tämän jälkeen puolikkaat hitsataan korvakkeiden kohdalle renkaaseen, kuten voi nähdä kuvasta 5 kohdasta 1.

Hokki pintakarkaistaan kokoamisen jälkeen tyytetyksarkkaisulla, jolloin saadaan pintaan kova kulutuskestävä kerros ja silti säilytetään sisäinen sitkeys. Sama käsittely tehdään myös liukuesteketjulle yleensä, joten tämä vaihe tapahtuu alkukoonnin jälkeen yhtenäisenä ketju mattona.



Kuva 6-1 Rengashokki

## **6.2 Uudet hokki mallit**

Uuden hokin suunnittelussa ideana oli tarkoitus selvittää, miten hokin voisi valmistaa yhtenä vaiheena ja näin ollen säästää valmistuskuluissa. Tarkoituksena oli tarkastella valamista ja taontaa, joissa molemmissa on omat etunsa ja haittansa. Suurin ongelma näissä ratkaisuissa on se, miten kettinki saadaan kiinni hokkiin, koska sitä ei voida pujoittaa missään valmistusvaiheessa hokkiin. Tämä aiheutti kokotyön aikana ongelmaa, koska usealla ratkaisulla ongelmana oli, joko mallin kestävyys, ketjun kiinnitys renkaaseen ja sen pysyvyys kiinni tai kyseisen muodon valmistuskelpoisuus. Lopputuloksena päädyttiin kahteen erilaiseen hokki vaihtoehtoon monien muotoilujen jälkeen. Kummasakaan mallissa hokin taonta ei tule kyseeseen johtuen hokkien muotoilu ratkaisuista.

### **6.2.1 X- malli hokki**

X-mallin hokkissa käytetään muotosulkeista rakennetta lenkin kiinnitykseen. X-mallin rakenne on siis yksinkertainen ja näin ollen helpompi valun kannalta. Ongelma X-mallissa on sen valumuotin valmistus jakopinnan asettelun takia. Jakopinnan asettelulla on merkitystä paljon, koska väärin suunniteltuna jakopinta voi estää muotin avaamisen ja uudelleen käytön. X-mallissa tämä ongelma tulee vastaan, koska mallin muotoilu estää kaikki mahdolliset sovellukset yksinkertaisella jakopinnalla. Jakopintojen suuri määrä taas tulee kalliiksi, joten X-malli jouduttiin jakamaan kahdeksi erilliseksi osaksi. Tämä mahdollisti muotin teon yhdellä jakopinnalla ja näin saavutettiin avattava muotti, mutta joudutaan käyttämään keernoja valamiseen ja mahdollisesti koneistusta, jotta puoliskot saadaan liitettyä yhteen. Lisäksi muotteja tarvitaan tupla määrä eli neljä, mikä lisää kustannuksia. Puoliskojen liittäminen aiheuttaa myös lisäkysymyksen, miten kiinnityskohta kestää hokkiin kohdistuvat voimat. Keskikohdasta puoliskojen liittämiseen päädyttiin käyttämään muotosulkeisen ja kiinnityspultin tai niitin yhdistelmää.

### **6.2.2 Soikea malli**

Soikean malli on valmistuksellisesti haasteellinen, koska sen muotoilu aiheuttaa myös jakopinnan asetteluun kysymyksiä. Lisäksi soikeassa mallissa kettingin kiinnityskohta tulee aina haasteelliseksi toteuttaa valmistustavasta riippumatta.

## 7 Lujuuslaskenta

Työssä tehdyn lujuuslaskelman tarkoituksena oli vain toimia suuntaa antavana ohjearvona kappaleen mallinnuksessa. Tämän vuoksi lujuuslaskentaa ei tehty kuin yhteen välittuun malliin ja sittenkin vain yksinkertaistettuna mallina. Lujuuslaskenta oli tarkoitus alussa tehdä FEM -laskenta ohjelmalla ja sen antamista tuloksista päättelemällä, jolloin olisi saatu tarkemmat tulokset ja tätä kautta kappaleen muotoilu olisi saatu tarkemmaksi ja paino pienemmäksi. Kyseistä laskentaohjelmaa ei päästy käyttämään, joten laskenta päätettiin tehdä käsin. Vaikutus rakenne vahvuuteen saatiin, mutta rakenne jäi raskeammaksi kuin tarkemmalla laskennalla. Ohjelmistolaskennalla olisi saavutettu tarkemmat arvot ja näin ollen kevyempi rakenne. Mikäli kappale olisi mennyt valmistukseen, niin kappaleelle aiotaan teettää viralliset laskelmat, jossain suunnittelutoimistossa.

### 7.1 Lähtökohdat

Laskennan helpottamiseksi täytyy alussa tehdä muutamia oletuksia, jotta saadaan laskentaperusteet. Ensinnäkin täytyy määrittää kappaleeseen kohdistuvat voimat tarkastelemalla kappaleen käyttöä. Tarkastelun tuloksena merkitsevin voima oli koneen vetokyky, joten se määriteltiin koneen tiedoista. Voima jakaantuu normaalisti koneen kaikille renkaille vetolukkojen ansiosta, joskin pahimmassa tilanteessa koko voima olisi yhden renkaan päässä, mikä oli ensimmäinen oletamus laskentaa tehdessä. Todellisessa tilanteessa maata vasten olisi ainakin kaksi hokkia, mutta laskennan kannalta oletetaan, että vain yksi hokki välittäisi koko voiman. Hokeissa on parhaimmillaan 4 kärkeä maata vasten siirtämässä voimaa, joiden kesken voidaan olettaa voiman jakaantuvan tasan. Toinen tärkeä määritys on hokin heikoimman kohdan arviointi, mihin laskenta kannattaa suorittaa. Hokki muotoilusta päätellen heikoin kohta x-mallissa olisi kaartuvakohta, josta hokki tulee ketjuun kiinni. Lisäksi tarkasteltiin keskikohtaa toisena heikkona kohtana.

### 7.2 Laskenta

Laskenta tarvitaan vielä koneen maksimivoima, kappaleen rakenteen ominaisarvot ja voimien kohdistumis-suunnat. Koneen maksimivoimana käytetään 190 kN joka saatiin esimerkkinä toimivan John Deeren juontokoneen tiedoista. (John Deere: Skidders 2013) Materiaalin ominaisuusarvot otettiin Valuatlaksen sivuilta materiaalille ADI EN GSI

1200, jolla murtolujuus on 1200 N/mm<sup>2</sup>, myötöraja 850 N/mm<sup>2</sup> ja murtovenymä 2 %. (Valuatlas: Oppimateriaali 2013) Muita arvoja ADI:lle ei ole saatavissa johtuen osittain materiaalin eroista muihin valurautoihin ja materiaalin vähäisestä käytöstä eri sovelluksissa.

Voimien kohdistuu hokissa kolmeen suuntaa, mutta suurin voima on koneen vetokyky 190 kN, joka kohdistuu hokin kärkiin 45 asteen kulmassa, johtuen hokin asettelusta renkaalle. Lisäksi hokkiin kohdistuu sivuttaissuuntaisia voimia, joiden vaikutus on aika vähäinen ja koneen painosta johtuva voima.

Laskennassa tärkeimpänä pidetään siis vetovoimasta johtuvia voimia ja niiden vaikutusta. Varmuusluvun käyttö oli myös aiheellista, koska sillä saadaan otettua huomioon mahdolliset laskuvirheet, rakenteenvaihtelut, kuormitusolosuhteiden vaihtelevuus, kuluminen ja valmistustarkkuudet. Tässä tapauksessa lähtötilannetta oli yksinkertaistettu mahdollisimman paljon, joten käytettiin suurempaa varmuuslukua. Lähtökohdat ottavat osittain huomioon varmuusluku tekijä eli lopullisen luvun ei tarvitse niin suuri, koska todelliseen tilanteeseen verrattuna voima jakaantuu monelle hokille eli varmuusluvuksi riittää noin kaksinkertainen varmuus.

### 7.3 Laskelmat

$$F_1 = 36kN \quad L_1 = 120mm \quad F_2 = 36kN \quad L_2 = 220mm$$

$$R_e = 850 \frac{N}{mm^2}$$

$$\rightarrow A_x - F_1 = 0 \rightarrow A_x = F_1 \rightarrow A_x = 33,6kN$$

$$\curvearrowright M_A - F_1 * L_1 = 0 \rightarrow M_A = F_1 * L_1$$

$$M_A = 33,6 * 10^3 N * 120 mm = 4,032 * 10^6 Nmm$$

$$M_t: |M_{tmax}| = |M_A| = 4,032 * 10^6 Nmm$$

$$S_z = A * y_0 = \frac{\pi * D^2}{8} * \frac{4 * D}{6 * \pi} = 2250 Nmm^3$$

$$\sigma_{x1} = \frac{M_t}{w_z} = \frac{|M_A|}{w_z}$$

$$w_z = \frac{\pi}{16} * D^3 = \frac{\pi}{16} * 30mm^3 = 5301,44mm^3$$

$$\sigma_{x1} = \frac{4,032 * 10^6 Nmm}{5301,44 mm^3} = 760,548 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{xy\max} = \frac{Q_{\max} * S_z(y=0)}{I_z * D}$$

$$Q_{\max} = F_1$$

$$I_z = \frac{\pi}{32} * D^4 = \frac{\pi}{32} * 30^4 = 79521,6 mm^4$$

$$\tau_{xy\max} = \frac{33,6 * 10^3 N * 2250 Nmm^3}{79521,6 mm^4 * 30 mm} = 31,69 \frac{N}{mm^2}$$

$$Q = -F_2 \rightarrow Q = -33,6 kN$$

$$T = F_2 * L_1 = 33,6 * 10^3 N * 120 mm = 4032 * 10^6 Nmm$$

$$M_{az} = F_2 * L_2 = 33,6 * 10^3 N * 220 mm = 7,392 * 10^6 Nmm$$

$$\sigma_{xy} = \frac{M_{AZ}}{w_z} = \frac{7,392 * 10^6 Nmm}{5301,44 mm^3} = 1394,34 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{wert} = \sqrt{\sigma_{x2}^2 + 4 * \tau_{xy\max}^2} = \sqrt{1397,34 \frac{N}{mm^2}^2 + 4 * 31,69 \frac{N}{mm^2}^2} = 1395,78 \frac{N}{mm^2}$$

$$n = \frac{R_e}{\sigma_{wert}} = \frac{850 \frac{N}{mm^2}}{1395,78 \frac{N}{mm^2}} = 0,61$$

Vastaavat luvut materiaalivahvuuden ollessa 40mm

$$S_z = 5333,33 mm^3$$

$$w_z = 12566,4 mm^3$$

$$I_z = 251327 mm^4$$

$$\tau_{xy\max} = 17,83 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{xy} = 588,237 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{wert} = 589,316 \frac{N}{mm^2}$$

$$n = \frac{850 \frac{N}{mm^2}}{589,316 \frac{N}{mm^2}} = 1,44$$

Laskelmien kohdistumissuunnat ja voimakuviot on esitelty liitteessä 1.

## 7.4 Tulos

Laskenta osoitti, että alkuperäinen arvio materiaali vahvuudesta on aika lähellä oikeata. Varmuusluku oli lähellä ykköstä, mikä on aika riskialtista, yleensä varmuusluvun arvolla tavoitellaan yli kolmosta. Lisälaskennalla osoitin, että kappaleen halkaisijan materiaali vahvuus pitäisi kasvattaa 40 millimetriin, jotta saavutettaisiin varmuusluvuksi tavoiteltu kaksi ja kestävyys kannalta turvallisempi alue. Laskelmista voi lisäksi todeta, että ne ovat todella suuntaa antavia ja eivät välttämättä täysin kerro totuutta hokin kestävydestä.

## 8 Kustannukset

Työn tavoitteena oli saada aikaiseksi hokkin muotoilu ja valmistustapa, joilla saataisiin hokkiketjujen valmistaminen kannattavaksi. Ketjuparin hinta määräytyy markkinoiden mukaan ja siinä täytyy ottaa huomioon, kuinka paljon myyntiportaan tekijät haluavat katetta, joista laskemalla voidaan määrittää ketjuparin suurin valmistushinta. Valmistuskustannukset tietäen voidaan yksittäisille osille määrittää niiden osahinnat ja näin ollen voidaan määrittää, mitä yksittäinen osa saa maksaa enimmillään.

Kustannuslaskelmien helpotukseksi on tehty laskuri, jolla voidaan ensin määrittää ketjuparin hinta osatekijöiden summana, ottaa huomioon kurssivaihtelut ja laskea, mitä yksittäinen hokki saisi maksaa enimmillään. Toisinpäin kääntäen voidaan määrittää, mitä ketjuparin markkinahinnan pitäisi olla, jotta valmistus olisi kannattavaa.

### 8.1 Taulukon käyttö ja toimintaperiaate

Kyseessä on ihan perus Excel-taulukko, jossa syötetään tekijät riveilleen ja rivitiedot lasketaan yhteen. Tämän jälkeen taulukkoon määritellään tämän hetkinen markkinahinta hokkiketjulle ja näin saadaan taulukon alimmalta riviltä yksittäisen hokin suurin valmistuskustannus. Lisäksi taulukolla voidaan nähdä hinnat Yhdysvaltojen ja Kanadan dollareina. Toisella välilehdellä määritettiin ketjun valmistuksen osittaiskustannukset valmistuspaikkoihin jaettuna, mikäli ketju tehtäisiin tehtaalla. Tämän välilehti tarjosi vertailupohjan vanhan hokin valmistuksen kustannuksiin ja kertoo ketjuparin loppuhinnan ennen tehtaalla valmistettuna. Työssä taulukko ja uudet kustannukset jouduttiin jättämään pois salassapidon takia.

### 8.2 Tarjoukset

Työn yhtenä osana oli tarjousten pyyntö suunnitelluista malleista halutulla valmistustavalla ja valmistusmateriaalille. Eri valmistajien selvitys valu puolella oli helppoa, koska johtuen materiaali valinnasta määrä on rajoittunut. Suomessa ei toimi kuin muutama valimo, joka valmistaa ADI materiaalia ja tiedossa oli jo työn alussa, että niiden hinnat ovat kilpailukyvyyn ulkopuolella. Tarjouksia haettiin alihankintamessuilta, joiden tarjonta valualalla oli todella huono. Yksi alan yritys kuitenkin löytyi, mikä oli valmiina heti tekemään tarjouksia ja kehitysehdotuksia. Yhteistyönä kehiteltiin muutamien vaihtoehtojen valmistettava muoto ja suunnitelmasta saatiin suuntaa antava hinta-arvio.



Tarjouksissa pohjatietoina käytettiin kappaleen muotoilua, Inventor 3D-suunnittelu ohjelman materiaalikirjaston määrittystä kappaleen painosta ja mahdollista vuosittaista menekkiä eli noin 1000 kappaletta hokki elementtejä. Pohjatietojen perusteella saatiin hokin hinnaksi kolminkertainen alkuperäiseen verrattuna riippuen hieman muottien valmistuskustannuksista.

### **8.3 Kustannusten vertailu**

Kustannuksien vertailu pohja on saatu vanhan tuotteen markkinahinnan ja valmistushinnan perusteella. Hintaan vaikutti kappaleen valmistuspaikka eli oliko hokki tilattu alihankkijalta vai valmistettu itse, mutta heitto oli varsin pieni. Uusien hokkien hintaarviota oli kolminkertainen alkuperäiseen kappaleelta ja tätä hintaa käyttäen laskurissa kokonaishinnaksi ketjuparille muodostuu lähes kaksinkertainen summa alkuperäiseen verrattuna. Tämän lisäksi x-malli vaatisi vielä kokoonpano puolella pieniä koontirenkaita, joiden kustannus lisäisi noin 12,5 % hokin hintaa, mikä aiheuttaisi lisä korotuspaineen mattoa kohden.

### **8.4 Varasto kustannukset**

Hokkien teossa täytyy ottaa huomioon myös varastointi, koska hokkeja täytyy tilata kerrallaan tietty määrä noin kontillinen ja menekki on rajallista. Kustannukset otettava huomioon siksi, että ne syövät investointi varoja ja lisäksi kyseinen määrä vaatii vielä säilytys tilan. Näiden kustannuksien arviointi jätettiin huomiotta työssä, koska kävi selväksi jo aikaisemmassa vaiheessa, että hokkien valmistuskustannukset ovat huomattavasti liian korkeat.

## 9 Pohdinnat

Työ osoitti lopulta vanhan mallin vertailukyvyyn uusiin malleihin nähden. Vanhan mallin valmistusratkaisu osoittautui kilpailukykyisemmäksi, vaikka monimutkainen onkin. Ongelmaksi valuissa ja taonnoissa muodostuu kappaleen muoto ja kiinnitettävyyys muuhun konstruktion. Kiinnityksessä varsinkin ongelmaksi tuli koneistuksen tarve, joka olisi nostanut kappaleen hintaa ja muuten muotoilu vaihtoehdot jäivät vähiin. X-malli oli tässä suhteessa hieno muotoilu, mutta sen ongelmaksi tuli melkein heti taonnan mahdottomuus ja valamisessakin tarve monimutkaiseen muottiin tai jakamiseen kahteen eri osaan, jotka yhdistetään valun jälkeen. Valun valmistuksen monimutkaisuus aiheutti sen, että hinta nousi taas kerran liian suureksi. Ainoaksi ratkaisuksi jää, joko hokki ketjujen poistaminen tai tuottaminen muualla tuoteperheeseen.

Lujuuslaskennat työssä olivat suuntaa antavia ja lähinnä varmistuslaskentana X-malli hokin kestävyysrasituskohdasta. Toiseen malliin lujuuslaskentaa ei sovellettu, koska ovaali malli oli niin lähellä alkuperäistä mallia, että arvioitiin sen kestävä pyöreän mallin mukaisesti. Lisäksi mallin kustannusarvio oli niin suuri, että malli hylättiin jo aiemmin, joskin lujuuslaskennalla mallista olisi voitu saada muutama kilo pois, mutta se ei olisi olennaisesti auttanut. Työn alunperäisenä tarkoituksena lujuuslaskennoissa olisi ollut käyttää mallinnusohjelman FEM-laskenta moduulia, mutta kyseistä moduulia ei päästy käyttämään ja näin ollen laskenta suoritettiin käsin laskemalla. FEM-laskennan käytöllä olisi saatu muotoilulla kappaleiden painosta muutamia kiloja pois optimoimalla muotoa, mutta koska kustannukset olivat niin suuret, että kyseiset kilot eivät olisi merkittävästi vaikuttaneet.

Työn osoittautui tehdessä hankalaksi ja vaati käyttämään opetettuja menetelmiä tulosten saamiseksi. Haasteelliseksi työn teki oman luovuuden puute uusien mallien ideoinnissa, lisäksi kokemattomuus ja oppien puute kehitystyö luonteisissa projekteissa. Haasteen loi alkuperäisen hokin hyvä rakenne ja lopulta yllättävän edullinen ja ketjun tekoon sopeva tuotantotapa. Työn opetti näin ollen aika paljon tuotteen kehitystyöstä ja miten yhden osan muutos saattaa aiheuttaa suuria muutostarpeita ja näin ollen lisää kustannuksia kokonaisuudessa. Hokki-projektin parhaimpia oppimiskokemuksia on lujuuslaskelmien sisäistäminen ja käyttö käytännön työssä. Työ osoittautui lopulta selvitystyöksi, jossa hokkien valmistaminen todettiin kannattamattomaksi, mikä on suunnittelun arkipäivää.

## LÄHTEET

John Deere 2013. Skidders. Luettu 27.03.2013

[http://www.deere.com/en\\_US/docs/non\\_current/skidders/Skidder.pdf](http://www.deere.com/en_US/docs/non_current/skidders/Skidder.pdf)

Esab Suomi 2013. Hitsaus ja leikkaus leimuhitsaus. Luettu 27.03.2013

<http://www.esab.fi/fi/fi/education/processes-flash-butt.cfm>

Ihalainen E., Aaltonen K., Aromäki M. & Sihvonen P. 1985. Valmistustekniikka 487 5. uudistettu painos. Espoo: Otatieto. Alkuperäinen teos 1985.

Forging 2013. Forging facts. Luettu 27.03.2013 <https://www.forging.org/forging-facts>

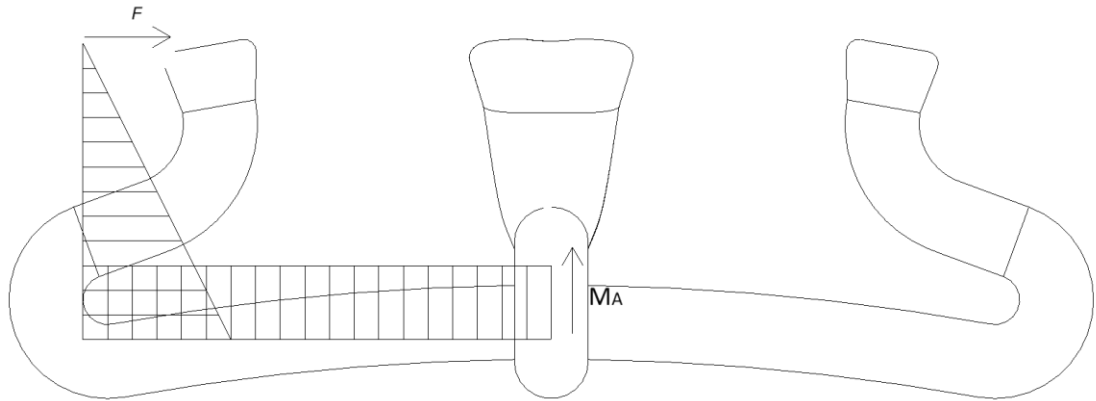
Valuatlas 2013. Oppimateriaali. Luettu 27.03.2013

<http://www.valuatlas.fi/oppimateriaalit.php>

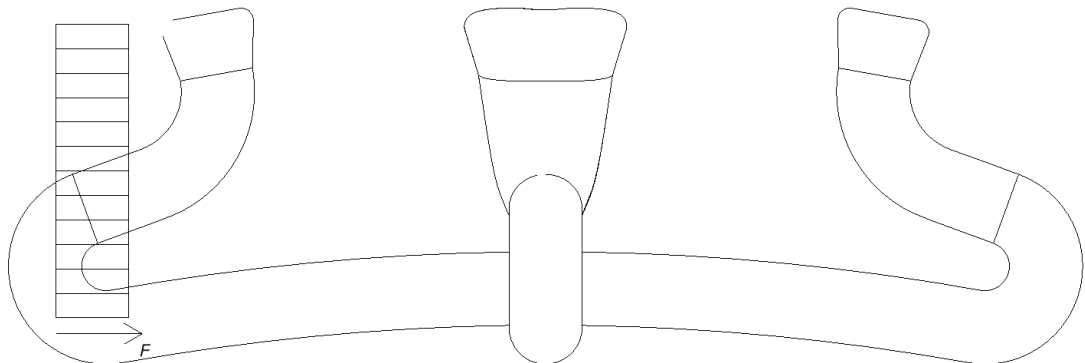
# LIITTEET

## Liite 1. Voima kuvaajat

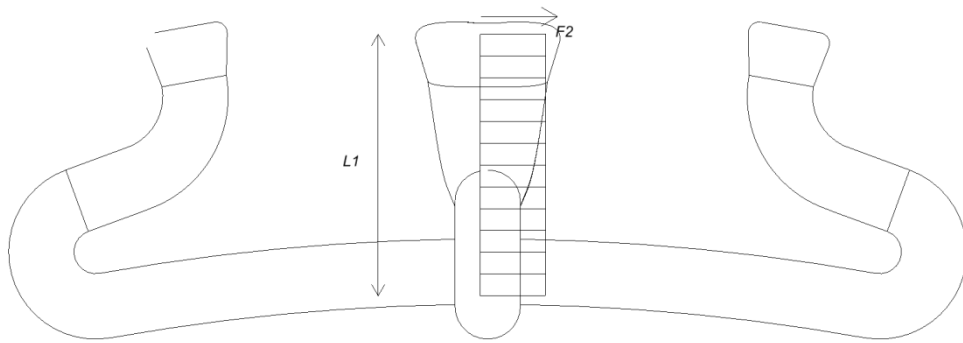
1/3



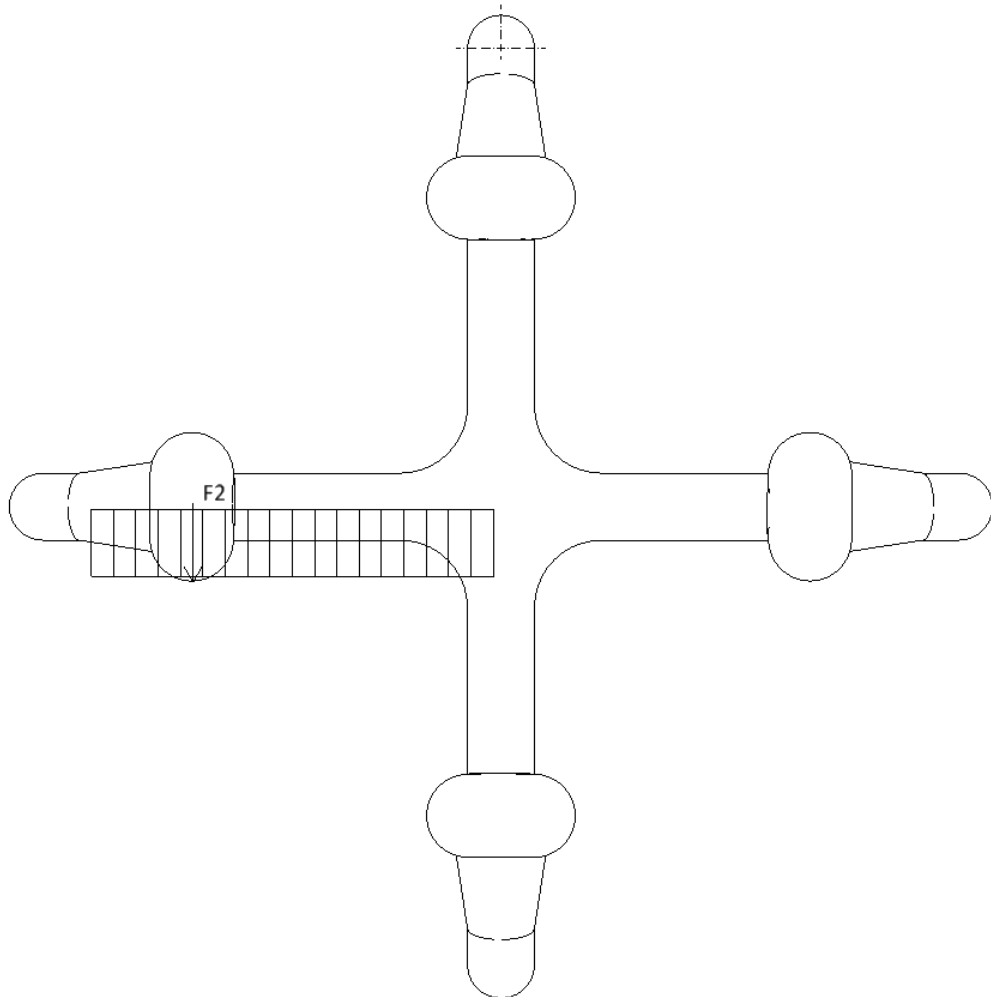
$F_1$  Voiman  $M_A$  kuvaaja



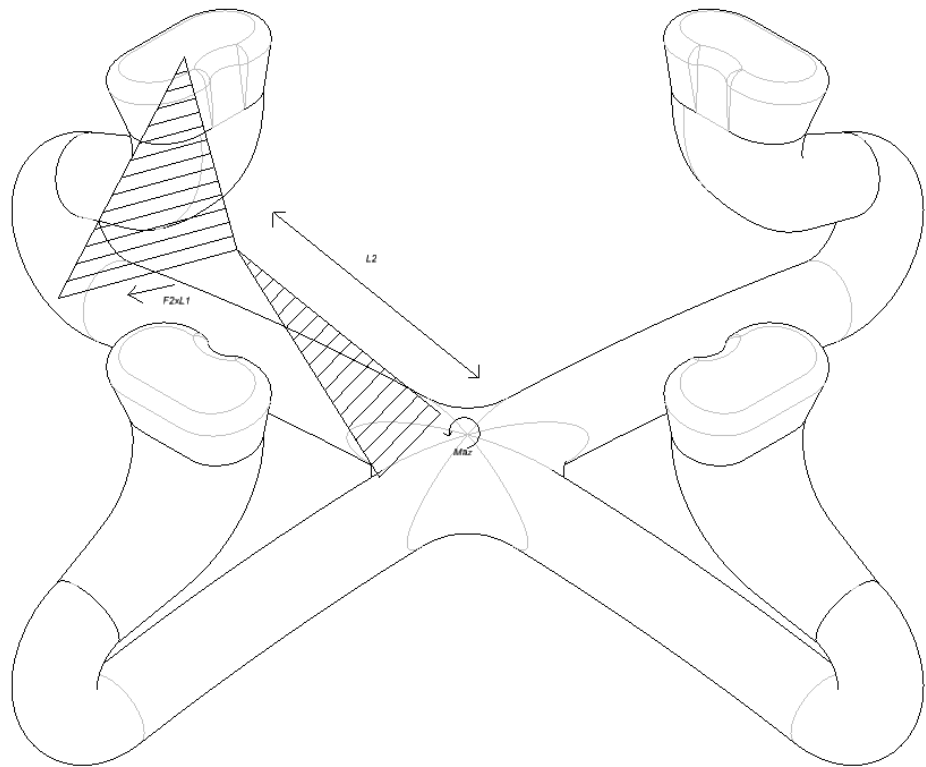
$F_1$  Voiman  $Q$  kuvaaja



$F_2$  Voiman Q arvoksi tulee  $-F_2$



$F_2$  Voiman T voimakäyrä



$M_{az}$  voiman kuvaaja