



Alumiinisen hihnatelineen suunnittelu dieselmoottoriin

Antti Kellokoski

OPINNÄYTETYÖ
Tammikuu 2022

Älyteollisuuden automaattioratkaisut

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Älyteollisuuden automaatoratkaisut

Kellokoski, Antti:
Alumiinisen hihnatelineen suunnittelu dieselmoottoriin
AGCO Power Oy

Opinnäytetyö 37 sivua, joista liitteitä 9 sivua
Tammikuu 2022

AGCO Power Oy on Nokian Linnavuoressa sijaitseva dieselmoottoritehdas, jonka emoyhtiö on AGCO Corporation. Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin AGCO Power dieselmoottoria, jota tullaan käyttämään maatalousapplikaatiossa. Dieselmoottorien lisäksi AGCO Power valmistaa dieselgeneraattoreita ja – pumppuja, hammaspyöriä sekä – vaihteistoja.

Tämä opinnäytetyö keskittyi dieselmoottorin etupäähän ja siellä sijaitsevaan hihnalinjaan, joka pyörittää moottorin apulaitteita, kuten laturia, vesipumppua sekä ilmastoinnin kompressoria. Kaikki apulaitteet ja hihnalinjaan kuuluvat taittopyörät sekä hihnankiristin kiinnitetään hihnatelineeseen.

Opinnäytetyössä käydään läpi asiakassovellukseen tarkoitetun alumiinivaletun hihnatelineen suunnitteluprosessi alusta loppuun, alkaen kappaleen mallinnuksesta, päättyen moottoriin asennettuun valmiiseen kappaleeseen. Hihnatelineen suunnittelussa pyrittiin huomioimaan kappaleen asennettavuus sekä huollettavuus. Pääosin suunnittelua ohjasi kuitenkin kappaleen valmistettavuus, hinta sekä paino. Aikaisemman kehitysvaiheen hihnateline on valmistettu valuraudasta, joten alumiini oli luonteva ratkaisu paino-ongelmaan. Suunnittelun apuna käytettiin virtuaalista validointia, jonka hoiti AGCO Powerin simulointijaos. Kappaleelle tehtiin moodilaskenta sekä rakenteellinen analyysi kappaleen lujuudesta. Lisäksi kappaleen suunnittelussa oli mukana valimo sekä muottivalmistaja, jotka ohjeistivat kappaleen valmistusteknisissä asioissa.

Materiaalin vaihtaminen valuraudasta alumiiniin vaikutti myönteisesti kappaleen painoon sekä kustannuksiin. Ensimmäisten testialujen perusteella huomattiin koneistusvaiheessa huokoisuutta joidenkin kierrereikien kohdalla, ongelma pystyttiin osittain ratkaisemaan muuttamalla valuaineksen syötön nopeutta sekä paineenpitoaika. Myöhemmin kappaleen designiin tehtiin muutos, jolla huokonen saatiin siirrettyä pois kierrereiän kohdalta. Hihnatelineen asennettavuudesta saatiin positiivista palautetta asentajilta.

Opinnäytetyön liitteet ovat salassa pidettäviä.

Asiasanat: suunnittelu, alumiini, painevalu, dieselmoottori

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Automation in smart industry

Kellokoski, Antti:

Design Process of an Aluminium Casted Belt Bracket

Master's thesis 37 pages, appendices 9 pages

January 2022

AGCO Power Oy is a diesel engine factory located in Linnavuori, and its parent company is AGCO Corporation. This thesis deals with an AGCO Power's diesel engine that is going to be used in an agricultural application. Along with diesel engines, AGCO Power produces diesel generators and pumps, gears and gear-boxes.

This thesis focuses on the front side of the diesel engine, more precisely on the belt drive, which rotates all the accessories such as an alternator, water pump and air-conditioner's compressor. All accessories, idlers and belt tensioner are fixed on the belt bracket.

The thesis reviews the design process of an aluminum casted belt bracket for a customer application, starting from the 3D-modeling and ending to the installed part on the engine. In the previous development stage the bracket was made from cast iron, so changing the material to aluminum was a natural solution to the weight problem. Changing the material from cast iron to aluminum had a positive effect on the weight and cost of the part. There were no problems with the installation of the part and it got positive feedback from the assembly line, exceeding the set expectations for this process.

The appendices of this master's thesis are confidential.

Key words: design, aluminum, pressure die casting, diesel engine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Taustaa	6
2	YRITYS JA TYÖN TAVOITTEET	7
2.1	AGCO-konserni.....	7
2.1.1	AGCO Power Oy	8
2.2	Tavoitteet	9
2.2.1	Painon ja kustannusten alentaminen.....	9
2.2.2	Helppo asennettavuus.....	10
3	TEORIA	11
3.1	Valmistus	11
3.1.1	Valaminen, painevalu	11
3.1.2	Kappaleen valmistettavuus, muotti.....	15
3.1.3	Koneistuksen suunnittelu, kiinnitys.....	16
3.1.4	Kierteiden mitoittaminen alumiinissa, AlSi9Cu3(Fe).....	17
4	TYÖMENETELMÄT	20
4.1	Simulointi	20
4.1.1	Lähtötiedot.....	20
4.1.2	Raportti, hyväksyntäkriteerit	22
4.2	3D-suunnittelu.....	24
4.2.1	Lähtötiedot.....	24
4.2.2	Mallintaminen	25
4.3	Laadunvalvonta.....	26
4.3.1	DFMEA, Riskiarviointi.....	27
4.4	Huollettavuus asiakasnäkökulmasta	28
5	TULOKSET	29
6	POHDINTA	30
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	33
	Liite 1. 3D-Skannaus (AGCO Power, 2021).....	33
	Liite 2. Reikäkuvion mittaus (AGCO Power, 2021)	34
	Liite 3. DFMEA-taulukko (AGCO Power, 2021)	35
	Liite 4. Simulointiraportti (AGCO Power Oy).....	36

LYHENTEET JA TERMIT

CAD	Computer Aided Design
DFMEA	Design Failure Mode and Effect Analysis
FEMFAT	Finite Element Method Fatigue
PLM	Product Lifecycle Management
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
VDI	Verein Deutscher Ingenieure (Saksalaisten insinöörien yhdistys)

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Tämä opinnäytetyö käsittelee asiakassovellukseen tarvittavan hihna – ja apulaisetelineen suunnitteluprosessia. Suunniteltava hihnateline sijoittuu dieselmoottorin etupäähän ja toimii kiinnitystelineenä hihnalinjan komponenteille. Aikaisemmassa kehitysvaiheessa hihnateline valmistettiin valuraudasta, joten painon alentamiseksi teline täytyi suunnitella uudelleen alumiinista. Tavoitteena oli painon sekä kustannusten alentaminen. Tästä johtuen uuden telineen suunnittelussa pyrittiin designiin, joka mahdollistaa painevalun alumiinista.

Aikaisemman kehitysvaiheen valurautainen hihnateline koettiin liian painavaksi ja koneistettavien pintojen takia kappaleen hinta oli korkea. Hihnatelineeseen kiinnittyvien komponenttien kiinnityspinnat sekä sylinteriryhmään kiinnittyvä pinta täytyi koneistaa suoriksi, sillä valuraudan rakenteen vuoksi valupintojen pinnanlaatu ei ole hyvä. Kun kappale valmistetaan käyttäen painevalettua alumiinia, koneistettavien piirteiden määrä vähenee merkittävästi. Painevaletun kappaleen pinnanlaatu on riittävän hyvä hihnalinjan komponenteille sellaisenaan, joten tarvitaan ainoastaan porauksia.

Tässä opinnäytetyössä selvitetään painevaletun alumiinin vaikutukset kappaleen painoon ja kustannuksiin sekä vertaillaan näitä edellisen kehitysvaiheen valurautaiseen kappaleeseen. Opinnäytetyössä käydään myös läpi painevalutekniikkaa, 3D-mallinnusta, simulointia sekä ruuvien mitoittamista VDI 2230 – suunnitteluohjeen mukaisesti. Lukemisen selkeyttämiseksi teoria ja käytäntö on yhdistetty samaan osioon.

2 YRITYS JA TYÖN TAVOITTEET

2.1 AGCO-konserni

AGCO on kansainvälinen markkinajohtaja maatalouskoneiden suunnittelussa, valmistuksessa ja jakelussa. Konsernin kattavaan valikoimaan kuuluu traktoreita, puimureita, heinäkoneita, ruiskuja, rehukoneita, maanmuokkauskoneita, työkooneita ja viljanvarastointi- ja proteiinintuotantojärjestelmiä. 3100 itsenäistä jälleenmyyjää ja jakelijaa yli 140 maassa takaavat varaosien saatavuuden.

(Inside AGCO, 2022.)

AGCO sai alkunsa yrityskauppojen myötä, kun Deutz Allis ostettiin saksalaiselta Kloeckner-Humboldt-Deutz AG:lta vuonna 1990. Tästä lähtien AGCO on kasvanut kansainväliseksi maatalouskonevalmistajaksi organisaatiollisen kasvun sekä lukuisten yritysostojen kautta. Valtran traktoriliiketoiminnan AGCO osti vuonna 2004 ja tähän kuului myös Sisu Dieselin moottoritehdas Linnavuoressa. (AGCO Power verkkosivut, 2022.)

AGCO – konsernin neljä ydinmerkkiä: Challenger, Fendt, Massey Ferguson sekä Valtra vastaavat konsernin asiakkaiden erilaisiin tarpeisiin alkaen pientilojen käyttöön sopivista pienempi tehoisista traktoreista aina suuritehoisiin, uusinta tekniikkaa sisältäviin koneisiin, joita tarvitaan suuremman mittakaavan maataloustuotannossa. AGCO:n tavoite on tuottaa maanviljelijöille suunnattuja kestäviä ratkaisuja ruokkimaan maailmaamme ja toimia luotettavana kumppanina maatalouden älykkäissä viljelyratkaisuissa.

(Inside AGCO, 2022.)

2.1.1 AGCO Power Oy

Opinnäytetyön kirjoitusaikaan Nokian Linnavuoressa sijaitseva dieselmoottori-tehdas on toiminut jo 80 vuoden ajan. Tehdas on toiminut 1940-luvulla lentomoottorien korjaustyön ytimenä. Seuraavina vuosikymmeninä tehtaalla valmistettiin muun muassa Valmetin bensiinimoottoreita sekä aloitettiin traktorikäyttöön tarkoitettun kolmisylinterisen dieselmoottorin kehitys. (AGCO Power verkkosivut, 2022.)

AGCO – konsernin yritysostojen mukana siirtyi myös Linnavuoressa sijaitseva Sisu Diesel osaksi suurempaa konsernia vuonna 2004, myöhemmin vuonna 2008 Sisu Dieselin nimi vaihtui AGCO SISU POWERiksi. Vuonna 2012 yrityksen liiketoiminta integroitiin tiiviimmin konsernin ydinliiketoimintaan, jolloin nimi vaihtui nykyiseksi AGCO Poweriksi. (AGCO Power verkkosivut, 2022.)

AGCO Powerin diesel moottoreihin luottavat monet työkonevalmistajat, vuonna 2021 Linnavuoressa valmistettiin noin 28000 dieselmoottoria. Linnavuoressa työskentelee noin 750 henkilöä. (AGCO Power verkkosivut, 2022.)

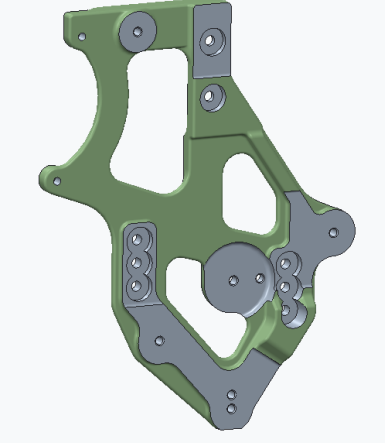
2.2 Tavoitteet

2.2.1 Painon ja kustannusten alentaminen

Tarve materiaalin vaihdokseen tuli moottorin kokonaispainon kasvusta, etupäässä sijaitseva teline oli helppo kohde painonvähennystä ajatellen. Kappaleen useat koneistuspiirteet ohjasivat tämän suunnitteluprosessin aloittamista.

Uuden telineen suunnittelun tavoitteena oli alentaa kappaleen kustannuksia sekä painoa. Taulukosta (Taulukko 1) nähdään aikaisemman kehitysvaiheen kappaleen paino sekä hinta. Taulukossa näkyvä kappale on valmistettu GJL-250 valuraudasta käyttäen hiekkamuottia, harmaalla näkyvät pinnat ovat koneistettavia piirteitä ja vihreät pinnat ovat valupintoja.

TAULUKKO 1. Aikaisemman kehitysvaiheen kappaleen paino ja hinta

<p>Materiaali: GJL-250 Valurauta</p>	
<p>Paino: 6,54 Kg</p>	
<p>Hinta: 27,91 €</p>	

2.2.2 Helppo asennettavuus

Suunnittelussa tuli ottaa huomioon kappaleen asennettavuus tuotantolinjalla. Aikaisemman kehitysvaiheen telineen kanssa raportoitiin yksi ongelma asennuksessa (Kuva 1), viereiseen telineeseen kiinnittyvää nostokorvaketta ei saatu kierrettyä paikoilleen. Tämä korjattiin hiomalla telineen kulmaan pieni viiste. Useat väistöt tehtiin valurautaisessa kappaleessa koneistamalla, mutta alumiinisen designissa pyrittiin integroimaan väistöpiirteet jo valuun. Näin vähennettiin kappaleen valmistuksessa tarvittavien koneistuspiirteiden määrää.



KUVA 1, Nostokorvakkeen törmäys (AGCO Power, 2022)

Hihnatelineeseen asennetaan Linnavuossa taittopyörät sekä hihnankiristin, tässä applikaatiossa apulaitteiden sekä hihnan asennus jää asiakkaalle.

3 TEORIA

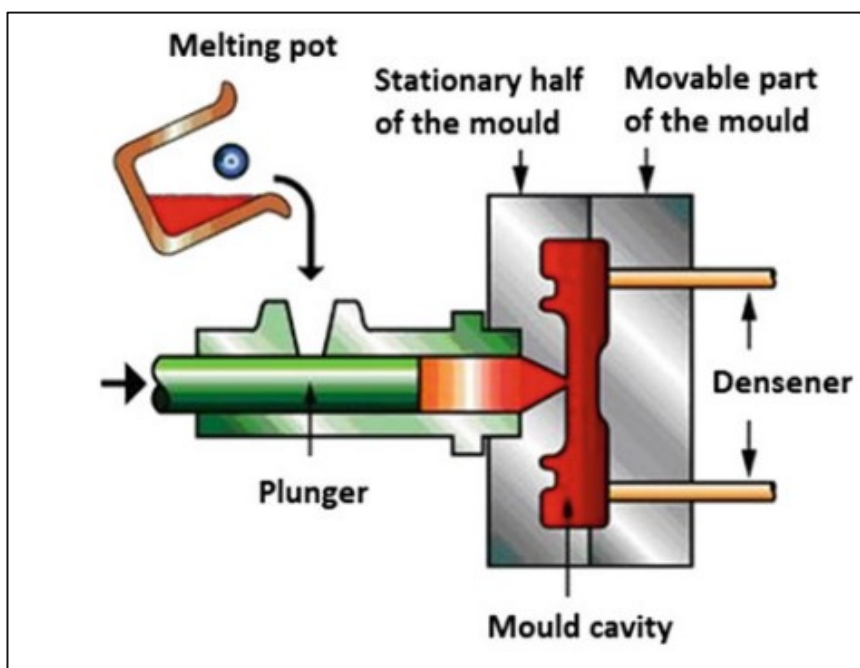
3.1 Valmistus

Kappaleessa käydään läpi painevalun sekä muottisuunnittelun perusteita. Samalla käydään läpi koneistuskiinnittimen suunnittelua ja kierteiden mitoitusta alumiinissa VDI 2230 – suunnitteluohjeen mukaisesti.

3.1.1 Valaminen, painevalu

”Valaminen on muodonantomenetelmä, jossa haluttu tuotteen muoto saadaan aikaan sulattamalla käytetty tuotteen raaka-aine, viemällä sula muottiin ja antamalla sen jäähmettyä muotissa.” (Meskanen, 2021, 1.)

Metallin painevalaminen mahdollistaa mittatarkkojen kappaleiden valamisen vähentäen kappaleen jälkikäsittelyn tarvetta. Painevaletuille kappaleille ominaista ovat korkea mittatarkkuus, hyvä pinnanlaatu, ohuet seinämät sekä erittäin hyvät mekaaniset ominaisuudet. Menetelmässä sula metalli syötetään suurella nopeudella korkeassa paineessa moniosaiseen muottiin. (Ružbarský J. 2019, 1)



KUVA 2. Painevalun pääkomponentit (Ružbarský J. 2019)

Hihnatelineen muotti on kaksiosainen (Kuva 2). Muotissa on niin sanottu kiinteä ja liikkuva osuus. Sula metalliaineesyötetään noin 200 baarin paineella kiinteän muotin puolelta. Kun muotti on täynnä, nostetaan painetta pitovaiheessa lähes 300 baariin asti. Pitovaiheen jälkeen muotti aukaistaan liikkuvan osuuden avulla ja valmis kappale irrotetaan työntötappien avulla. Valmis kappale siirretään sivuun robotin avulla (Kuva 3). Tämän jälkeen muotin puolikkaisiin suihkutetaan puhdistusainetta, joka samalla voitelee muotit seuraavaa kappaletta varten. Muotin kestoikä on noin 80.000 kpl, jonka jälkeen muotit vaihdetaan. Muottien kuluminen näkyy mittavirheinä valukappaleessa.



KUVA 3. Painevalukone, takana robotti.

Painevalu voidaan jakaa kolmeen työvaiheeseen:

1. Syöttökammion esitäyttö

- a. Kammio täytetään sulalla valuaineksella, tämän jälkeen mäntä lähtee liikkeelle ja valuainesta syötetään hitaalla nopeudella muottiin. Mäntän liikuttua kammion syöttöpisteen ohi sen nopeus kasvaa.

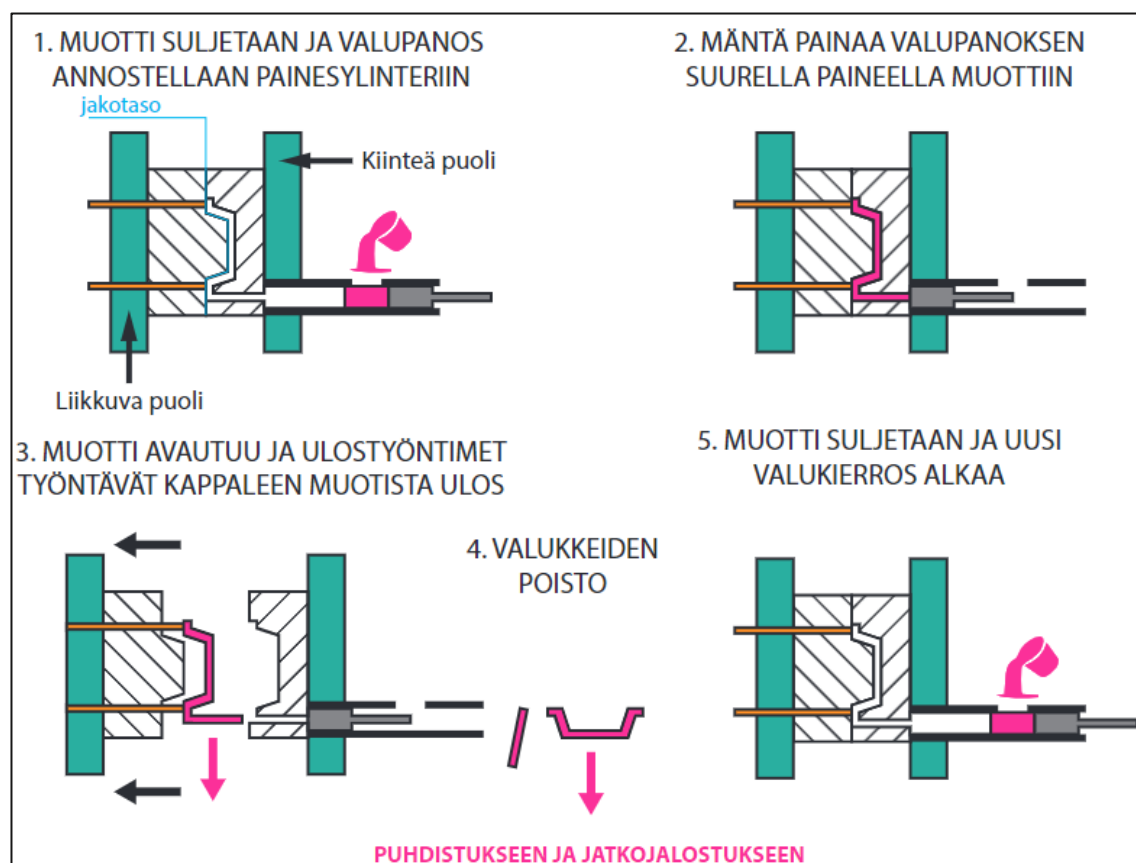
2. Muotin täyttö

- a. Valuaineen saavuttua muotin syöttökanaviin, nostetaan syöttönopeutta sekä painetta noin 200 baariin. Tässä vaiheessa valuaines täyttää muotin tasaisella nopeudella.

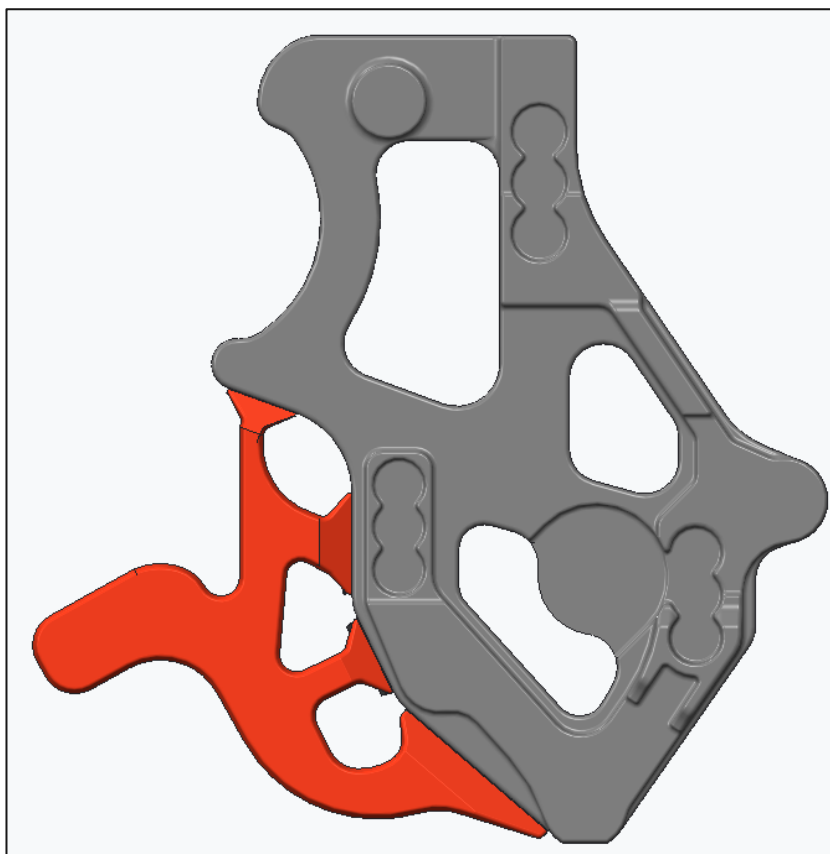
3. Paineistus

- a. Muotin täytyttyä painetta nostetaan noin 300 baariin, niin sanotun loppupitovaiheen ajaksi. Tällä vaiheella on suuri vaikutus kappaleen pinnanlaatuun sekä kutistumiseen.

(Ružbarský J. 2019, 16)



KUVA 4. Painevalumenetelmän vaiheet. (Valuatlas, 2014, 28)



KUVA 5. Valuaineksen syöttökanavat.

Valimon tekemien valusimulointien perusteella mitoitetaan kappaleen syöttökanavat (Kuva 5). Valusimulaatiossa tarkastellaan muotin täyttymistä ja tästä nähdään myös huokosten muodostuminen. Tarkastelun tulosten perusteella pystytään muokkaamaan valukappaleen geometriaa sekä valun parametreja. Parametreja ovat esimerkiksi sulan valuaineksen syöttöpaine ja –nopeus sekä loppupitovaiheen paine. Valmiista valukappaleesta poistetaan syöttökanavat sekä siirretään jakotasolle jäänyt ylimääräinen valuaines pois. Tämän jälkeen kappale siirretään koneistukseen.

3.1.2 Kappaleen valmistettavuus, muotti

Kappaleen geometrialla on merkittävä vaikutus valamisen kustannuksiin, näin ollen hankalat muodot nostavat valukustannuksia. Suunnitteluvaiheessa tulee pyrkiä mahdollisimman yksinkertaisiin ja helposti valettaviin muotoihin. Ongelmallisia valumuotoja ovat esimerkiksi:

- Syvät ja kapeat reiät
- Korkeat ja kapeat muodot
- Ulokkeet, joissa ei ole ilmanpoistoa

(Fredriksson S., Höök T. & Nykänen S. 2014, 11)

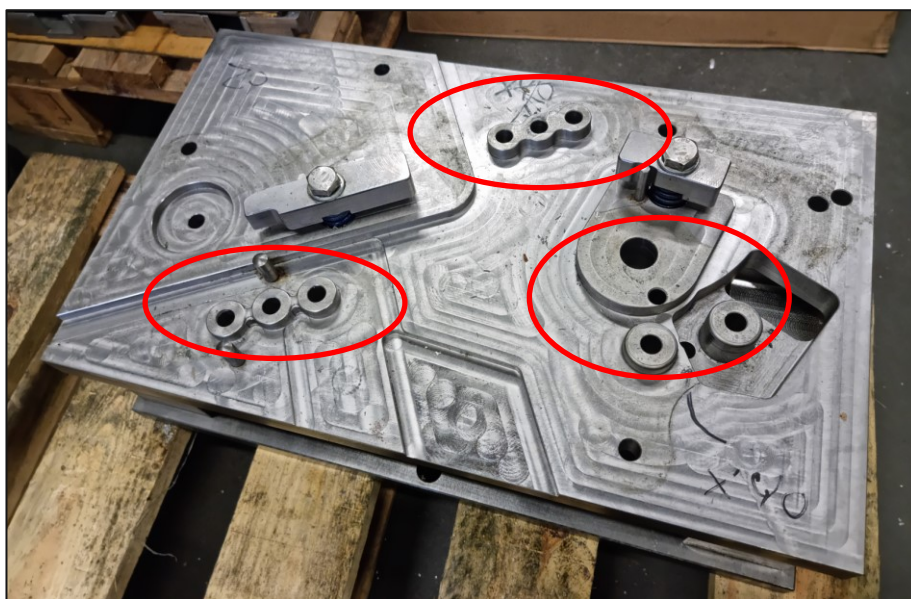
Muotin suunnittelussa täytyy huomioida kappaleen kutistuminen ja muottipesiä tulee skaalata kutistumakertoimen verran suuremmiksi. Kertoimen suuruus riippuu muotti – ja valumateriaalista sekä valumenetelmästä. Tyypillisesti kesto-
muottivalujen kutistumat ovat 0,4–0,8 % luokkaa. (Fredriksson S., Höök T. & Nykänen S. 2014, 9). Tämän kappaleen kohdalla valmistajan ilmoittama kutistuminen on 0,5 %.



KUVA 6. Kaksiosaisen muotin liikkuva puoli (Muottivalmistaja, 2021)

3.1.3 Koneistuksen suunnittelu, kiinnitys

Kappaleen koneistukseen tarvittava koneistuskiinnike paikoittaa kappaleen XY-suunnassa kuvassa (Kuva 7) näkyvien tappien avulla. Z-suuntaan kappale lukitaan jousikuormitteisilla pitimillä (Kuva 8). Porattavat piirteet tuetaan vastakkaiselta puolelta, ympyröidyillä alueilla on näitä tukipintoja. Jousikuormitteiset pidikkeet on sijoitettu toleroitujen piirteiden lähetyville estämään koneistusprosessin värinöiden aiheuttamien mittavirheiden syntymistä.



KUVA 7. Koneistusjigi



KUVA 8. Z-suunnan jousikuormitteinen pidike toleroidun piirteen lähellä.

3.1.4 Kierteiden mitoittaminen alumiinissa, AISi9Cu3(Fe)

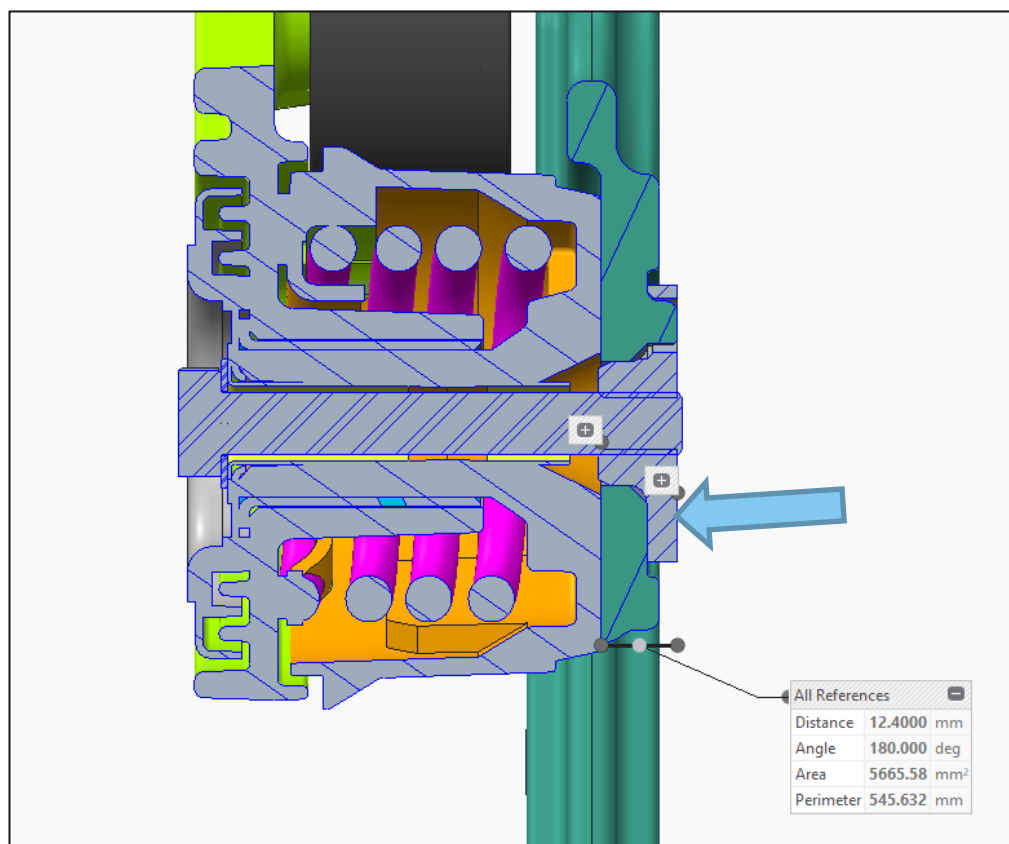
Telineeseen liittyvien komponenttien kiinnitykseen käytetään M10 – ruuveja, joiden lujuusluokka on 8.8. Kierteiden mitoittamiseen käytettiin VDI 2230 – suunnitteluohjetta, jonka mitoitusohjeiden sekä arvojen pohjalta on luotu suunnittelijoille Excel-pohjainen laskentataulukko.

Taulukossa (Taulukko 2) nähdään sinisellä syötetyt arvot sekä vihreällä vaadittu minimipituus kierteelle lujuusluokittain. Materiaalin AISi9Cu3(Fe) ominaisuudet on tarkistettu FEMFAT-tietokannasta, josta saadaan materiaalin leikkauslujuuden arvoksi 180Mpa. Toinen syöttöarvoista määrittää kierteen ympärillä olevan materiaalin halkaisijan. Halkaisijan tulee kuitenkin olla vähintään 1,4 kertaa halkaisija, näin saadaan VDI 2230 standardin mukainen tulos. Tässä tapauksessa materiaalia on yli 1,9 kertaa kierteen halkaisija. $10 \text{ mm} \times 1,9 = 19,00 \text{ mm}$. Joten yli 19 mm syötetty arvo ei vaikuta lainkaan laskentatulokseen. Viimeinen syötettävä arvo on ruuvin koko. Laskentataulukosta löytyy vakio – sekä hienokierteiset vaihtoehdot.

TAULUKKO 2. AISi9Cu3(Fe) laskentataulukko. AGCO Power sis. dokumentti

Designation	Symbol	Unit	Value		
Shear strength of the internal thread (nut)	τ_{BM}	MPa	180	AISi9Cu3(Fe)	
Equivalent diameter of the material around the internal thread	s	mm	20,00		
Thread type			M10x1,5 (std)		
Bolt grade			8.8	10.9	12.9
Strength ratio	R_S		0,48	0,40	0,34
Total length of thread engagement	m_ges_min	mm	14,39	17,22	20,06

Laskentataulukosta nähdään, että AISi9Cu3(Fe) – materiaali tarvitsee 8.8- lujuusluokan ruuville vähintään 14,39 millimetriä kierrettä. Aikaisemmassa kehitysvaiheessa teline oli valurautaa, jossa sallittiin pienempi kierrepituus. Alla olevasta kuvasta nähdään, että telineessä on 12.40 mm materiaalia kierteen alueella, eli laskentataulukon mukaan tämä ei ole riittävä kierrepituus 8.8 – lujuusluokan ruuville. Alumiinisen telineen kanssa joudutaan tästä syystä käyttämään teräksistä kierreholkkia (Kuva 9), jonka avulla saadaan kiristettyä kuvassa vasemmalla näkyvä hihnankiristin VDI:n suunnitteluohjeen mukaiseen momenttiin.



KUVA 9, Kierreinsertti sekä telineessä olevan kierteen maksimimitta.

Valurautaisen telineen kierteiden mitoituksessa käytettiin SFS-EN 1651-standardin arvoja EN-GJL-250 valuraudalle (Kuva 10). Laskentataulukkoon tarvittava leikkauslujuuden arvo on 290MPa. VDI 2230 – suunnitteluohjeen mukaan valurautainen teline tarvitsi vähintään 10,72 mm kierrettä 8.8-lujuusluokan ruuville (Taulukko 3).

Table A.1 — Mechanical properties in cast samples with 30 mm as-cast diameter

Characteristic	Symbol	SI-unit	Material designation ^a					Bibliographical references
			EN-GJL-150 (5.1200)	EN-GJL-200 (5.1300)	EN-GJL-250 (5.1301)	EN-GJL-300 (5.1302)	EN-GJL-350 (5.1303)	
			ferritic/ pearlitic		pearlitic			
Tensile strength	R_m	MPa	150 to 250	200 to 300	250 to 350	300 to 400	350 to 450	
0,1% proof strength	$R_{p0,1}$	MPa	98 to 165	130 to 195	165 to 228	195 to 260	228 to 285	[6]
Elongation	A	%	0,8 to 0,3	0,8 to 0,3	0,8 to 0,3	0,8 to 0,3	0,8 to 0,3	[7]
Compression strength		MPa	$3,40 \times R_m$	$3,18 \times R_m$	$3,01 \times R_m$	$2,87 \times R_m$	$2,75 \times R_m$	[8]
0,1% compression proof strength		MPa	195	260	325	390	455	[6]
Bending strength		MPa	$1,82 \times R_m$	$1,73 \times R_m$	$1,66 \times R_m$	$1,60 \times R_m$	$1,54 \times R_m$	[8]
Shear strength		MPa	170	230	290	345	400	[8]
Torsional strength		MPa			$1,36 \times R_m$			[8]
Modulus of elasticity ^b	E	GPa	78 to 103	88 to 113	103 to 118	108 to 137	123 to 143	[9]
Poisson's number	ν	—	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	[7]
Bending fatigue strength		MPa			$0,46 \times R_m$			[8]
Fatigue limit under reversed tension-compression stresses		MPa			$0,34 \times R_m$			[8]
Torsional fatigue strength		MPa			$0,38 \times R_m$			[8]
Fracture toughness	K_{Ic}	MPa.m ^{1/2}	12	17	20	19	17	[10]

NOTE 1 MPa is equivalent to 1 N/mm²

^a When there are special requirements relating to machinability or magnetic properties, then EN-GJL-100 (5.1100) is used. The required properties can be obtained by means of a structure-changing heat-treatment process. EN-GJL-100 (5.1100) is not cited here.

^b Depends on the quantity and form of the graphite as well as on the loading. The tension-elongation-curve of grey cast iron is non linear. The modulus of elasticity is the tangent line at the origin of the tension-elongation-curve.

KUVA 10, Valurautojen ominaisuuksia (SFS-EN 1561:2011, 19)

TAULUKKO 3. GJL-250 Laskentataulukko 8.8 – lujuusluokan ruuville.

Designation	Symbol	Unit	Value
Shear strength of the internal thread (nut)	τ_{BM}	MPa	290
Equivalent diameter of the material around the internal thread	s	mm	20,00
Thread type			M10x1,5 (std)
Bolt grade			8.8
Strength ratio	R_S		0,77
Total length of thread engagement	m_ges_min	mm	10,72

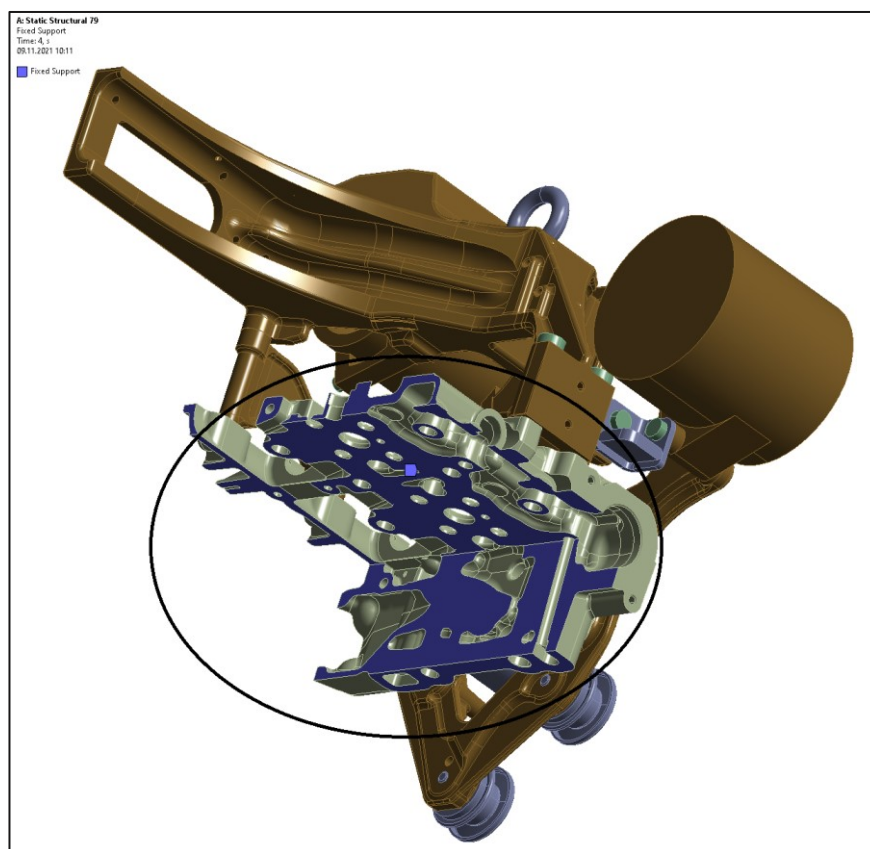
4 TYÖMENETELMÄT

4.1 Simulointi

Kappaleessa käydään läpi hihnatelineen simulointiprosessia, sekä simulointiraporttia. Tämä osio käydään pääpiirteittäin läpi. Simuloinnin on tehnyt AGCO Powerin simulointijaos.

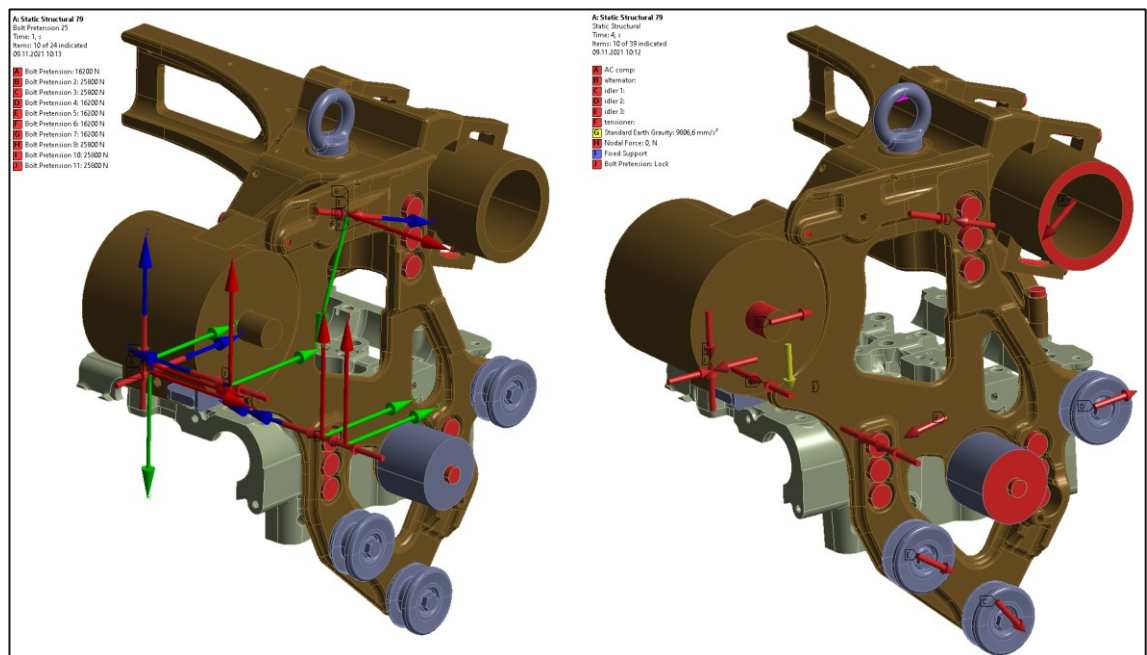
4.1.1 Lähtötiedot

Simulointia varten täytyy määritellä rajaehdot (Kuva 11). Esitetyt violetit pinnat ovat sylinterikannen leikkaukseen määriteltyjä kiinteitä tukipintoja. Tällä tavoin sylinterikansi toimii paikoituselementtinä, johon kaikki muut komponentit voidaan paikoittaa. Sylinterikanteen kiinnittyy hihnateline, sekä ylempi apulaiteteline. Ylemmässä apulaitetelineessä on myös moottorin nostoa varten irrotettava nostokorvake.



KUVA 11. Simuloinnin rajaehdot, ympyröitynä kiinteä elementti

Kuvassa (Kuva 12) vasemmalla on ruuveille määritetyt esikiristysvoimat, jotka on määritelty VDI 2230:n mukaan käyttäen kitkakertoimena arvoa 0,15. Käytettävien ruuvien lujuusluokka on 8.8, joten M8 koon ruuvin esikiristysvoima on 16,2kN ja M10 ruuvin 25,8 kN. Komponenttien voimien suunnat näkyvät oikealla, voimien suuruudet on jätetty esittämättä. Voimien arvot saadaan hinnatoimittajalta ja simuloinnissa käytetään dynaamisia voimia, tällöin pystytään simuloimaan moottorin käytönaikaista kuormitusta. Dynaaminen, tykyttävä kuorma aiheuttaa väsyttävän rasituksen, simuloiden todellista käytönaikana tapahtuvaa rasitusta. Väsymyksen lasketaan hinnavalmistajan antamien minimi -ja maksimiarvojen avulla.



KUVA 12. Ruuvien esikiristysvoimat sekä komponenttien voimien suunnat

4.1.2 Raportti, hyväksyntäkriteerit

Simulointituloksista luodaan suunnittelijoita varten raportti, jonka rakennetta sekä tuloksia käydään seuraavassa listassa läpi.

1. Info

- Päivämäärä
- Simulointiasiantuntija
- Suunnittelija
- Simuloinnin tyyppi sekä käytettävä ohjelmisto
 - Rakenteellinen laskenta ja moodilaskenta, ANSYS R19.2
- Simuloinnin tarkoitus
 - Tarkastaa väsymisen varmuuskerroin, kontaktipaineet sekä jännitykset

2. Käytetty geometria

- Simuloinnissa käytettyjen komponenttien osanumerot sekä komponenttien materiaalit

3. Kuormitukset

- Komponenttien aiheuttamien voimien suuruudet sekä suunnat
 - Hihnavalmistajan arvot
- Ruuvien esikiristysvoimat
 - VDI 2230:n mukaan
- Kuormitustilanteet
 - Esimerkiksi käytetäänkö dynaamisen kuormituksen arvona hihnavalmistajan ilmoittamaa minimiarvoa, maksimiarvoa vaiko keskiarvoa?

4. Rajaehdot

- Tässä tapauksessa sylinterikannen leikattu geometria sekä kontaktien määrittely.

5. Moodilaskenta

- Moodilaskennassa tarkastellaan kappaleen ominaistajuutta, eli millä taajuudella kappale pyrkii värähtelemään. Tavoitteena on saada kappaleen ominaistajuus moottorin värähtelyn herätetaajuuden yläpuolelle. Tähän vaikuttaa kappaleen jäykkyys suhteessa sen massaan.

6. Rakenteellinen laskenta

- Kappaleen jännitykset eri kuormitustilanteissa:
 - Ruuvien esikiristys
 - Hihnavoimien maksimiarvo
 - Tilanne, jossa moottoria nostetaan nostokorvakkeesta

7. Tulokset

- Ominaistaajuudet ylittivät AGCO Powerin hyväksyntäkriteerit
- Väsymisen varmuuskerroin hyväksyttävällä tasolla, mahdolliset parannuskohdat
- Telineeseen liittyvän kierreinsertin kommentit
- Kontaktipaineet hyväksyttävällä tasolla. Joidenkin alueiden kiinnityksessä käytettävä aluslevy tai laipparuuvia

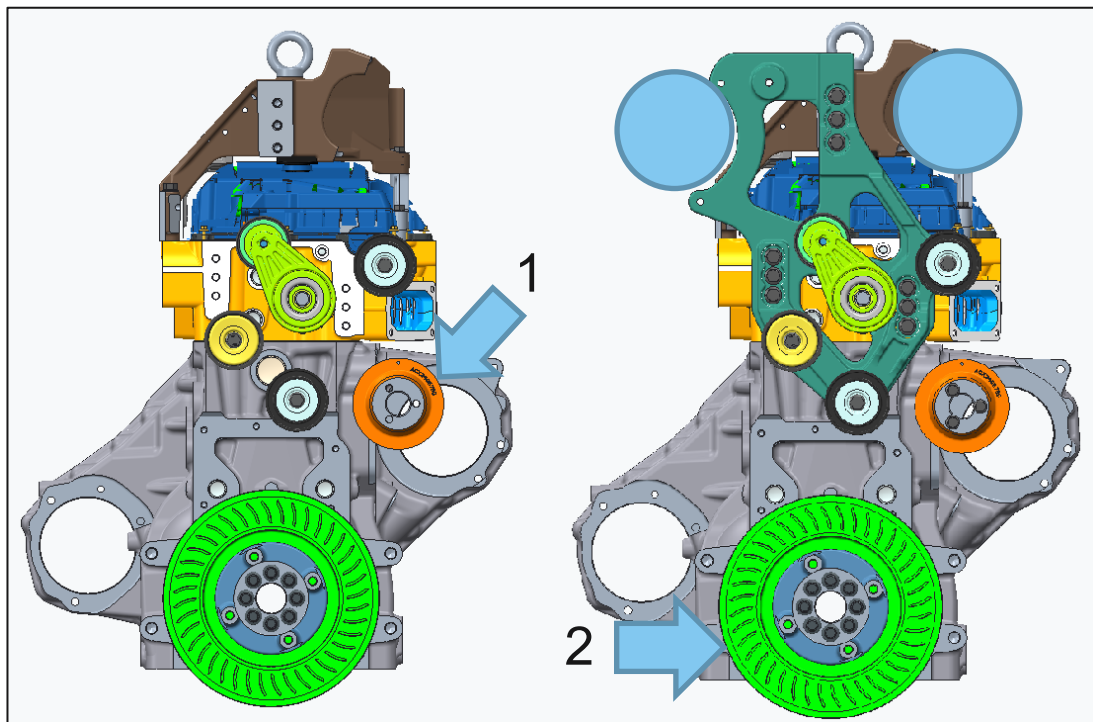
Liitteenä (Liite 4) olevasta simulointiraportista on jätetty ilmoittamatta kappaleen osanumero. Raportissa kohdat 5 ja 6 ovat saman otsikkonumeroinnin alla.

4.2 3D-suunnittelu

AGCO Power käyttää 3D-suunnittelussa PTC:n Creo Parametric – ohjelmistoa, aikaisemmin ohjelmisto tunnettiin nimillä Pro Engineer sekä Wildfire. CAD – ohjelmiston lisäksi käytössä on Windchill PLM-ympäristö.

4.2.1 Lähtötiedot

Mallinnuksen lähtökohtana oli hihnavalmistajalta saatu koordinaatisto komponenttien paikoista. Kuvassa (Kuva 13) esitetyt oranssi sekä vihreä komponentti on sijoitettu AGCO Powerin mukaan. Kuvasta puuttuvien apulaitteiden sijoittelu on asiakkaan päätettävissä. Taittopyörien ja hihnankiristimen paikoitus on saatu hihnavalmistajalta. Hihnatelineeseen kiinnittyvien komponenttien geometriat on toimittanut niiden valmistajat. Kuvassa esitetyt osat 1 ja 2 on AGCO Powerin designia.

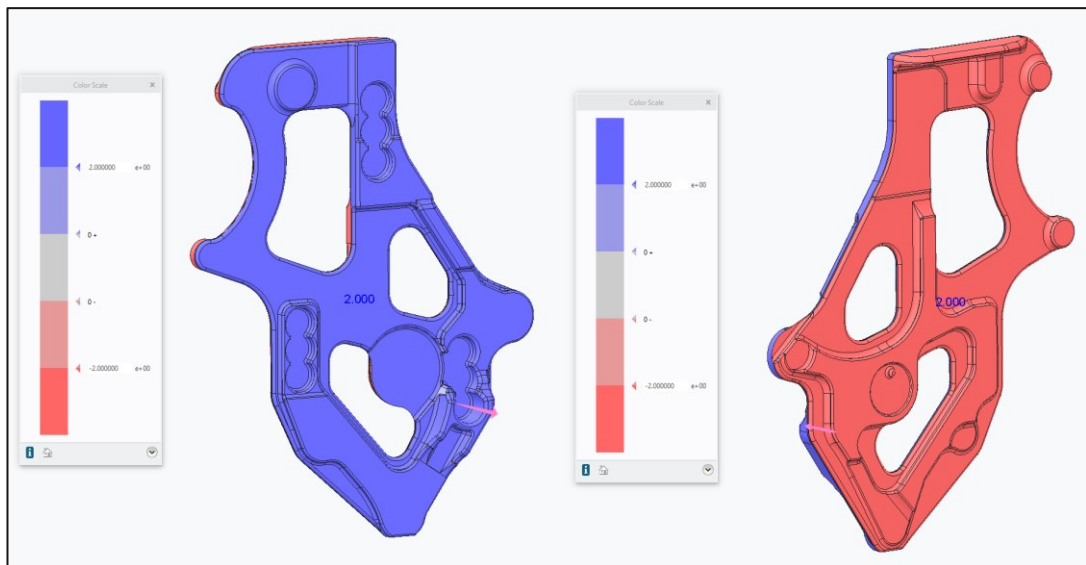


KUVA 13. Vasemmalla lähtötilanne, oikealla lopputuote

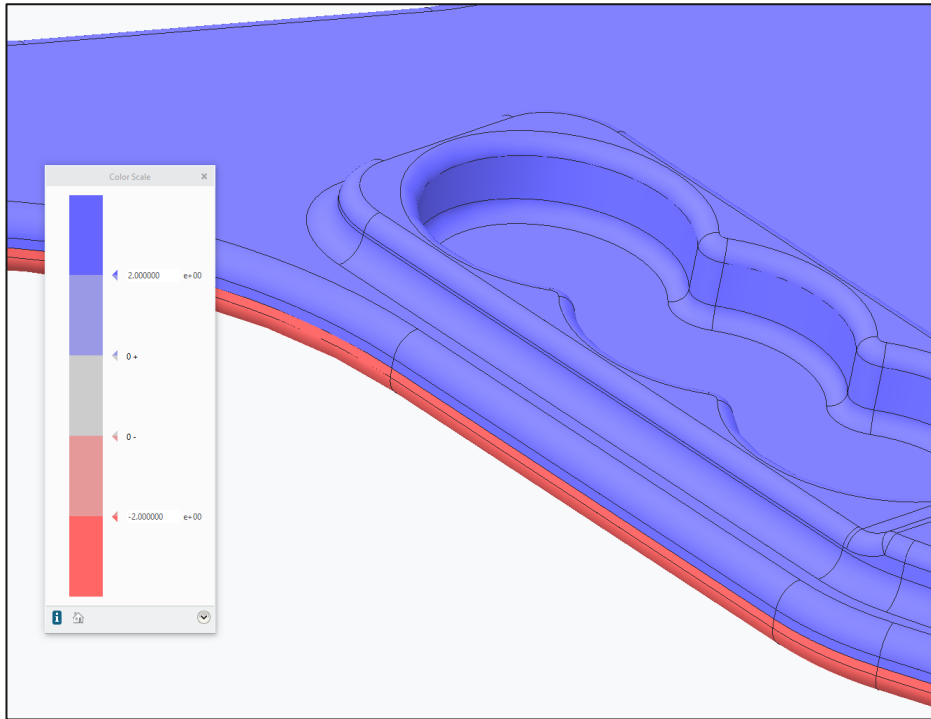
4.2.2 Mallintaminen

Kappaleen geometrian mallinnus aloitettiin hahmottelemalla yksinkertainen levyosa, johon kaikki komponentit kiinnitettiin. Tällä hahmotelmalla suoritettiin ensimmäinen simulointikierrös, josta saatiin hieman viitteitä kappaleen jännityskeskittymistä sekä ominaistaajuudesta. Tämän jälkeen simulointiasiantuntija antoi ehdotukset kappaleen geometrian muutoksista, joiden avulla suunnittelija muokasi kappaletta. Muutamien simulointikierrösten jälkeen kappaleen kestävyys ja ominaistaajuus saatiin hyväksyttävälle tasolle. Tämän jälkeen keskityttiin kappaleen valmistettavuuteen. Se tarkoitti hellitysten eli päästöjen lisäämistä pinnoille. Levymäisen kappaleen jakotaso sijoittui kappaleen puoliväliin (Kuva 15).

Hellitysten tarkoitus on estää jähmettyneen kappaleen tarttuminen valumuotin paikallaan pysyvään puoliskoon. Nämä piirteet ovat kohtisuorassa jakotasoon nähden ja liikkuvan puoliskon liikkeesuuntaisia. Valukappaleen seinämien kallistamista sanotaan hellitykseksi. (Fredriksson S., Höök T. & Nykänen S. 2014, 6)



KUVA 14. Kappaleen hellitykset.



KUVA 15. Kappaleen jakotaso, punaisen ja sinisen rajalla

4.3 Laadunvalvonta

Valmiiden kappaleiden saapuessa Linnavuoreen, käyvät ne läpi laaduntarkastusprosessin. Kappaleille on etukäteen määritetty tehtävät toimenpiteet, nämä prototyyppivaiheen osat tarkastetaan visuaalisesti sekä koordinaattimittauskoneella. Visuaalisen tarkastuksen suorittaa laatuinsinööri. Tyypillisesti katsotaan kierteiden kuntoa, mitataan työntömitalla läpireikien halkaisijoita sekä etäisyyksiä. Perusteellisempi tarkastus tehdään 3D-skannaamalla kappaleen ulkomuoto ja verrataan tätä CAD-ohjelmalla tehtyyn 3D-malliin (Liite 1). Koordinaattimittauskoneella mitataan kappaleen reikien koordinaatit ja näitä verrataan 3D-mallin reikien koordinaatteihin (Liite 2).

Kappaleiden tarkistuksen jälkeen saapunut toimituserä merkitään hyväksytyksi ja palautetaan varastoon odottamaan käyttöä. Mikäli kappaleissa on toleranssiylijätkä tai muita kriittisiä poikkeamia, niin palaute lähetetään toimittajalle. Hylätyt kappaleet menevät kierrätykseen.

4.3.1 DFMEA, Riskiarviointi

DFMEA (Design Failure Mode and Effects Analysis) on riskikartoitus menetelmä tuotteen suunnittelussa. Tämän avulla tunnistetaan mahdolliset vikatilat ja niiden aiheuttajat sekä sen mitä vikatila voi aiheuttaa? Tämä analyysi voidaan tehdä alijärjestelmä - tai komponenttitasolla. Analyysi keskittyy designin parantamiseen, tuotteen turvalliseen ja luotettavaan toimintaan käyttöiän aikana sekä järjestelmään liittyvien komponenttien rajapintoihin. DFMEA ei kiinnitä huomiota kappaleen valmistusvirheisiin. Oletus on, että kaikki komponentit ovat valmistettu vaatimusten mukaisesti. (Carl S. Carlson 2012.)

Generic FMEA Worksheet																	
Item	Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Design Controls (Prevention)	Current Design Controls (Detection)	Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsible Person	Actions Taken	Revised Rankings			
												Target Completion Date	Effective Completion Date	Severity	Occurrence	Detection	RPN
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑧	⑨	⑩	⑪		⑫				

KUVA 16. FMEA taulukko (Carlson 2012)

Riskikartoitukseen voidaan käyttää esimerkiksi kuvan (Kuva 16) mukaista taulukkoa, johon numeroitujen solujen kohdalle syötetään tietoa. Seuraavaan taulukoon on syötetty hihnatelineen DFMEA:sta yksi rivi, eli yksi tarkasteltava vikatila ja sen mahdolliset seuraamukset ongelmanratkaisuihin. Työssä suunnitellun hihnatelineen DFMEA-tilukko on liitteessä 3.

TAULUKKO 4. Hihnatelineen DFMEA tiedot.

1	Hihnateline (Tarkasteltava kohde)
2	Hihnalinjan komponenttien kiinnitys (Kohteen funktio)
3	Suuntausvirhe (Vikatila)
4	Hihnan suuntausvirhe (Vikatilan seuraus)
5	3 (Vikatilan vakavuus)
6	Väärät geometriset tai mitoitus toleranssit (Vian aiheuttaja)
7	4 (Vian todennäköisyys, ilmaantuvuus)
8	Konseptin tarkistus (Seuranta)
9	2 (Havaitsemisen todennäköisyys)
10	24 (Riskipisteitys, kohdat 5,7 ja 9 kerrottuna yhteen)
11	Toleranssiketjun laskenta (Suositeltu toimenpide)
12	Hihnalaskenta suuntausvirheen maksimiarvoilla (Tehty toimenpide)

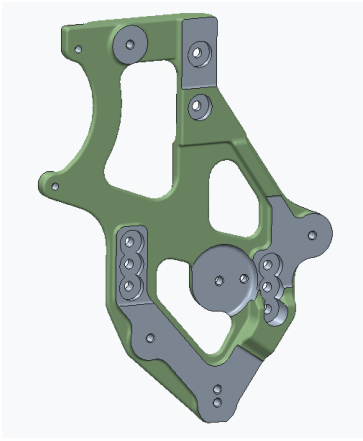
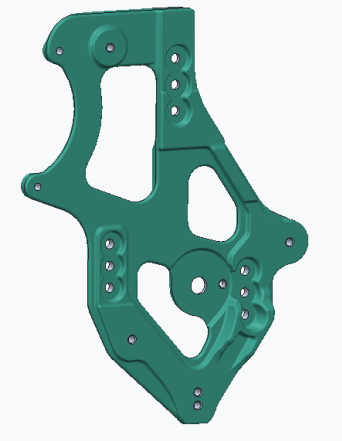
4.4 Huollettavuus asiakasnäkökulmasta

Tavoitteena oli tehdä hihnatelineen ja sen komponenttien asennuksesta mahdollisimman käyttäjäystävällinen. Taittopyyriä sekä muiden komponenttien asentaminen käy helposti, eikä niiden ympärillä ole mitään esteitä. Hihnankiristimen asennuksessa tarvitaan apukäsiä, sillä telineeseen ei ollut mahdollista integroida lukitusmekanismia. Lukitusmekanismin avulla hihnankiristimen olisi voinut lukita huoltoasentoon, jotta hihnan asentaminen olisi onnistunut yhden henkilön voimin. Hihnankiristimen lukitus tuli puheeksi vasta myöhemmin prosessissa, eikä tätä pystytty lisäämään kappaleen valumuottiin. Tästä lisää pohdinta – osiossa.

5 TULOKSET

Ensisijaisena tavoitteena oli kustannusten sekä painon alentaminen, taulukosta (Taulukko 5) näemme vertailun valurautaisen ja alumiinisen hihnatelineen välillä. Alumiinisen hihnatelineen kappalehinta oli 44,8 prosenttia alhaisempi kuin valurautaisen, tässä täytyy kuitenkin huomioida painevaletun kappaleen valumuotin hinta. Muotin hinta on merkittävästi suurempi kuin valurautaisen telineen kanssa käytetty hiekkamuotti. Suuresta hinnasta huolimatta, alumiininen teline maksaa itsensä takaisin painonsäästössä, sillä paino tippui 63,3 prosenttia. Pidemmällä aikavälillä maksaa teline itsensä myös rahallisesti takaisin.

TAULUKKO 5. Valurauta vs. alumiinivalettu hihnateline

		
GJL-250	AISI9Cu3(Fe)	
Hinta: 27,91 €	Hinta: 15,40 €	-44,8%
Paino: 6,54 Kg	Paino: 2,4 Kg	-63,3 %

6 POHDINTA

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin erinomaisesti. Kappaleen yksikköhinta laski lähes 45 prosenttia ja paino aleni vaikuttavat 63,3 prosenttia. Näistä lukemista on tullut positiivista palautetta projektinjohdolta ja asiakkaalta. Hihnatelelineen suunnitteluprosessi on suhteellisen pitkä, vaatien useita simulointikierroksia sekä AGCO Powerin että valimon puolelta. 3D-mallintamisen hyödyt olivat kiistattomat simuloinnin eri vaiheissa mahdollistaen vertailun erilaisten muotojen vaikutuksista simulointituloksiin. Tulevaisuudessa valimon ja suunnittelun yhteistyötä tulisi kehittää simuloinnin analysoinnin suhteen, etenkin tulosten tulkinassa liittyen niiden vaikutuksiin lopputuotteessa. Kaikkea ei kuitenkaan pysty simuloinnillakaan selvittämään. Tämä huomattiin testivalujen tarkastuksessa. Valukappale sahattiin poikki useasta kohdasta, jolloin huomattiin laturin kiinnitysreiän kohdalle muodostunut huokonen kierteen kestävyyskannalta kriittisessä paikassa (Kuva 17).



KUVA 17. Testivaluista löytynyt huokonen

Huokosta kuitenkin pystyttiin pienentämään muuttamalla valuprosessin viimeisen vaiheen pitopainetta sekä – aikaa. Kappaleesta saatiin sen vaatimusten mukainen ja asennettavuudesta saatiin positiivista palautetta asentajilta. Seuraavaan revisioon muokattiin ongelma-alueiden geometriaa ja näiden muotti oli kirjoitus-
hetkellä valmistuksessa.

Seuraavassa kehitysasteessa tullaan toteuttamaan designin harmonisointi, jotta tätä telinettä voidaan käyttää myös toisessa moottorissa. Hihnankiristimen lukitusmekanismi tullaan ratkaisemaan lisäämällä hihnankiristimen runkoon lukituspiirre. Tällöin asentaja voi kääntää kiristimen huoltoasentoon ja asettaa esimerkiksi ruuvimeisselin pitämään kiristintä paikoillaan.

Alumiinivaletun hihnatelineen suunnittelu oli minulle ensimmäisiä kappaleita mitä pääsin suunnittelemaan dieselmoottoriin. Kaiken kaikkiaan prosessi oli mielenkiintoinen ja opettava. Prosessin aikana pääsin tekemään yhteistyötä simulointijaoksen, valimon sekä muottivalmistajan kanssa. Vierailut valimolla ja muottivalmistajalla olivat opettavaisia, kun pääsin käytännössä näkemään nykyaikaisia työmenetelmiä koneistuksessa sekä valimolla hieman perinteisempiä työtapoja. Mielikuvat huonosti valaistuista konepajoista ja hikisistä valimoista jäivät ovelle, sillä muottivalmistajan tilat olivat siistit ja kirkkaasti valaistut. Valimolla oli melkein kylmä, kun tiloja viilennettiin talvella pitämällä ovia auki. Työolosuhteet olivat kohdallaan ja siinä oli niin sanotusti tekemisen meininki.

LÄHTEET

AGCO Powerin verkkosivut, AGCO-konserni. Luettu 11.1.2022

<https://www.agcopower.com/fi/yritys/agco-konserni/>

AGCO:n henkilöstö intranet, "Keitä me olemme". Luettu 11.1.2022

<https://insideagco.agcocorp.com/company/Pages/fi/Who-We-Are.aspx>

Carlson Carl S. 2012. Effective FMEAs. Kirjaan pohjautuva esitelmä New Jersey: John Wiley & Sons. Luettu 12.1.2022. AGCO Power sisäinen dokumentti

Fredriksson S., Höök T. & Nykänen S. 2014. Kestomuottivalun suunnittelun perusteet. <http://www.valuatlas.fi/tietomat/koosteet/kestomuottivalutekniikka/index.html>

Honkavaara T. 2014. Valutuotteiden suunnitteluopas. Valutuoteteollisuus Ry.

<https://www.valuatlas.fi/tietoaineistot/valutuotteiden-suunnitteluopas/>

Meskanen S. 2014. Valimotekniikan perusteet. Valutuoteteollisuus Ry.

https://www.valuatlas.fi/wp-content/uploads/2021/12/vtp_johd_johdanto.pdf

Ružbarský J. 2019. Al-Si Alloys Casts by Die Casting. Sveitsi: Cham Springer

<https://link-springer-com.libproxy.tuni.fi/book/10.1007/978-3-030-25150-5>

Verein Deutcher Ingenieure e.V. 2014. VDI 2230 Systematic calculation of highly stressed bolted joints. Part 1: Joints with one cylindrical bolt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 10.1.2022. AGCO Powerin sisäinen dokumentti.

SFS 1561. 2011. Founding. Grey cast irons. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Luettu 20.12.2021. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>