

Designkoncept av gjute för W32TS

Kim Berg

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2017



EXAMENSARBETE

Författare: Kim Berg
Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Maskinkonstruktion
Handledare: Harri Krook, Wärtsilä Finland
Stig Pada, Wärtsilä Finland
Kaj Rintanen, Yrkeshögskolan Novia

Titel: *Designkoncept av gjute för W32TS*

Datum: 26.4.2017

Sidantal: 69

Abstrakt

Detta examensarbete är gjort åt Wärtsilä Marine Solutions. Bakgrunden till examensarbetet var att få sänkt tillverkningskostnaderna för Wärtsilä 32TS motorns air wastegate-rör, LT-water-rör och fästkonsol.

Som uppgift var att göra två olika designkoncept av gjutna detaljer för att ersätta den nuvarande svetsade konstruktionen. Målet var att få integrerat alla de tidigare komponenterna genom att göra ett kompakt gjutgods med en enklare konstruktion. Genom detta kunde man även förenkla konstruktionens fastmontering till motorn.

Examensarbetet involverar studier av gjutteknik, gjutmaterial, systemkännedom av motorn och framställning av 3D-modeller för gjutgods i Siemens NX.

Efter att designarbetet slutförts gjordes det utvärderingar och gjutsimuleringar av de färdiga designkoncepten. Detta gjordes för att välja ut det koncept som var bäst av de två möjliga alternativen. Slutligen presenteras designkoncepten och resultaten från gjutsimuleringarna.

Det utvalda designkonceptet kan användas för tillverkning eller som grund för vidareutveckling av den nya gjutna konstruktionen.

Språk: svenska

Nyckelord: 3D-design, Siemens NX, CAD, gjutning, Magmasoft

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Kim Berg
Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Koneensuunnittelu
Ohjaajat: Harri Krook, Wärtsilä Finland
Stig Pada, Wärtsilä Finland
Kaj Rintanen, Yrkeshögskolan Novia

Nimike: *W32TS:n valun muotoilukonsepti*

Päivämäärä: 26.4.2017

Sivumäärä: 69

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Wärtsilä Marine Solutionsille. Opinnäytetyön taustana oli alentaa Wärtsilä 32TS-moottoriin kuuluvan air-wastegate-putken, LT-water-putken ja niiden kiinnikkeen valmistuskustannuksia.

Tarkoituksena oli tehdä kaksi erillistä muotoilukonseptia valetuista osista, jotka tulisi korvata nykyisen hitsatun rakenteen. Tavoitteena oli integroida kaikki aikasemmat osat yhteen kompaktiin valukappaleeseen, jossa on yksinkertainen rakenne. Tällöin konstruktion kiinnittäminen moottoriin voisi myös yksinkertaistaa.

Opinnäytetyö sisältää valutekniikan, valumateriaalien ja moottorin järjestelmien tutkimusta. Työ sisältää myös valukappaleiden 3D-mallinnusta käyttäen Siemens NX:ää.

Kun muotoilukonseptien suunnittelutyö oli tehty, valmiit muotoilukonseptit arvioitiin ja valusimuloitiin. Tämä tehtiin selvittääkseen kumpi kahdesta mahdollisesta konseptista oli parempi vaihtoehto. Työn lopussa muotoilukonseptit ja niiden valusimulointitulokset esitetään.

Valittu muotoilukonsepti voidaan käyttää valmistuksessa tai kehityksen pohjana uutta valettua rakennetta varten.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: muotoilukonsepti, suunnittelutyö, valu

BACHELOR'S THESIS

Author: Kim Berg
Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vasa
Specialization: Mechanical Construction Engineering
Supervisors: Harri Krook, Wärtsilä Finland
Stig Pada, Wärtsilä Finland
Kaj Rintanen, Yrkeshögskolan Novia

Title: *Design Concept of Cast for W₃₂TS*

Date: April 26, 2017

Number of pages: 69

Abstract

This Bachelor thesis has been made for Wärtsilä Marine Solutions. The background for the thesis was to obtain a lower manufacturing cost for air wastegate pipe, LT-water pipe and mounting console for the Wärtsilä 32TS engine.

The purpose was to make two separate design concepts of casted parts to replace the current welded construction. The aim was to integrate all the previous components into a compact casting with a simpler design. This could also simplify the mounting of the construction to the engine.

The thesis involves studies of casting techniques and casting materials, engine system knowledge and the construction of 3D models for castings in Siemens NX.

After the designs were completed, the finished design concepts were evaluated and the cast was simulated. The results were used when choosing the best possible concept of the two alternatives. At the end, results of the design concepts and cast simulations will be presented.

The chosen design concept can be used for manufacturing or as a basis for further development of the new casted construction.

Language: swedish

Key words: casting, design concept, foundry, mold

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Nuvarande konstruktionen	3
1.3.1	Air wastegate pipe.....	5
1.3.2	LT-water pipe.....	6
1.4	Avgränsningar	7
1.5	Företagsbeskrivning	8
1.6	Disposition.....	9
2	Teori.....	10
2.1	Gjutning.....	10
2.1.1	Fördelar och begränsningar med gjutning	11
2.1.2	Gjutmetoder	12
2.1.3	Gjutning i sandform	13
2.1.4	Gjutmodellen och gjutformens delar vid sandformsgjutning	14
2.1.5	Saker att beakta vid konstruktion av ett gjute	15
2.1.6	Gjutmaterial	19
2.2	Jämförelse mellan svetsad och gjuten konstruktion	22
2.3	CAD, CAM, CAE och PDM	24
2.3.1	Siemens NX 9.....	25
2.3.2	Teamcenter 10.....	25
2.4	Gjutsimuleringsprogram	26
2.5	Wärtsilä 32TS	27
2.5.1	Förbränningsluftsystemet.....	28
2.5.2	Exhaust wastegate och Air wastegate	28
2.5.3	Kylvattensystemet.....	29
3	Metod	30
3.1	Möten	30
3.2	Krav på design	32
3.3	Val av tillverkningsteknik	34
3.4	Materialval	34
3.5	Design av 3D-modell i Siemens NX.....	36
3.5.1	Allmänt tillvägagångsätt för skapande av 3D-modell i Siemens NX.....	37
3.5.2	Uppbyggnad av 3D-modeller för designkoncepten.....	39
3.5.3	Draft Analysis	42

3.5.4	Wave Geometry Linker.....	43
3.6	Gjutsimuleringar.....	44
4	Resultat	45
4.1	Designkoncept nr. 1.....	45
4.2	Designkoncept nr. 2.....	49
4.3	Utvärdering av designkoncepten.....	52
4.4	Resultat av gjutsimuleringarna.....	52
5	Diskussion.....	61
5.1	Vidareutveckling.....	63
5.2	Sammanfattning.....	65
6	Källförteckning.....	66

Centrala begrepp

Här beskrivs olika förkortningar och begrepp som används i detta examensarbete. Samma ord kan ha någon annan betydelse i andra sammanhang.

3D-modell	Virtuell tredimensionell modell av komponent framställd med CAD-program. Modellen används för tillverkning och visualisering.
AWG	<i>Air wastegate</i> (eng). Luft wastegate.
Bearbetningsmaskin	Maskin för bearbetning av råvarumaterialdelar som t.ex. stålrör, flänsar, profiler, gjutgods etc. Vanliga bearbetningsmaskiner är t.ex. svarv och fräs.
Compressor surge	<i>Compressor surging</i> är när lufttrycket efter turbons kompressor är högre än vad kompressorn i sig själv kan fysiskt upprätthålla.
Cylinderbank	Annat ord för <i>cylinderrad</i> .
Design	Beskriver ett föremåls utseende och konstruktion. Kan också beskriva skapandeprocessen från idéstadiet tills att föremålet är färdigt.
Designkoncept	Framtagning av en 3D-modell för en ny <i>design</i> av en komponent eller konstruktion.
Extrudera	Pressa ut en 3D-geometri genom att använda sig av en 2D-profil i form av en sketch.
Fjärilsventil	Ventil för att strypa luftflöde.
Genset	<i>Generating set</i> (eng). Förbränningsmotorndriven generator för framställning av elenergi.
Gjutgods	Föremål som är framställt genom gjutning.

Hotspot	Värmekoncentration.
Isometrisk	<i>Isometrisk projektion</i> . Grafisk projektion för att visa tredimensionellt föremål i två dimensioner. Används bl.a. i tillverkningsritningar.
Komponent	Byggdel för motor.
Laddluft	Luft som blivit komprimerad av motorns turbo.
Laddtryck	Lufttrycket som uppstår vid kompression av laddluften.
LNG	<i>Liquefied natural gas</i> (eng). Flytande naturgas.
LT-water	<i>Low temperature water</i> (eng). Lågtemperatur kylvatten. Kylvattnet som cirkulerar i den krets med lägre temperatur av W32 motorns kylsystem.
Mesh	Beräkningsnätverk. Nätverk av kuber eller tetraeder som delar in en geometri i sektioner för beräkningar av t.ex. finita elementmetoden eller finita differensmetoden
R&D	<i>Research and development</i> (eng). Forskning och utveckling.
V-motor	Typ av förbränningsmotor som har två cylinderrader placerade i vinkel mot varandra.
W32	Modellbeteckning för <i>Wärtsilä 32</i> förbränningsmotor.
Wastegate	Ventil för begränsning av turbons laddtryck.

1 Inledning

Detta examensarbete är gjort åt *Product Group W32* som hör till *Wärtsilä Marine Solutions* och är lokaliserad vid Wärtsiläs motorfabrik i Vasa. Examensarbetet handlar om att göra två nya *designkoncept* av en konstruktion som för tillfället är ihopsvetsad bestående av många olika bearbetade delar. Designkoncepten skall bestå av 3D-modeller för en eller flera gjutna komponenter för att ersätta den tidigare konstruktionen.

Konstruktionen som ska designas om är ett LT-water-rör och ett air wastegate-rör med tillhörande fästkonsol. Motorn var denna konstruktion används är en tvåstegs-turboladdad *Wärtsilä 32-motor (W32TS)*, konstruerad för användning vid kraftverk.

Efter att designarbetet är gjort så väljs det lämpligare av de två designkoncepten ut. Valet baserar sig på utlåtanden av experter inom gjutning och turbosystem samt resultat från gjutsimulering av 3D-modellerna i datorprogrammet Magmasoft. Det designkoncept som blir valt som slutgiltig design i detta examensarbete kan användas som design för det nya gjutet eller eventuellt bli modifierat och vidareutvecklat.

1.1 Bakgrund

Orsaken till varför det blev Wärtsilä som uppdragsgivare för mitt examensarbete beror på tidigare sommarjobb som utförts vid Wärtsilä hos denna enhet under sommaren 2016. När sommarjobbet började närma sig sitt slut så började vi med min chef och andra från avdelningen diskutera möjligheten för utförande av ett examensarbete. Detta resulterade slutligen i ett antal olika förslag på examensarbeten, varpå det från företagets sida utvaldes med godkännande från egen del ut det arbete som var mest lämpligt och erbjöd tillräckligt med utmaningar.

Examensarbetet som togs emot av Wärtsilä handlar om att designa om en svetsad konstruktion till gjutna komponenter. Designen kunde göras som ett enda gjutgods var alla komponenter är integrerade, ifall det vore möjligt att utföra. Arbetet utförs genom att göra 3D-modeller av designkoncept för olika lösningar på en ny design.

Den nuvarande konstruktionen är en sammanställning av stålrör och flänsar som är svetsade ihop. Konstruktionens flänsar bearbetas efter att rören och flänsarna blivit svetsade ihop.

Detta orsakar att konstruktionen blir en dyr kostnad jämfört med vilket man kunde uppnå med en serieproducerad konstruktion i form av en eller två gjutna komponenter.

Huvudorsaken till varför tillverkningskostnaderna för de nuvarande konstruktionerna varit så höga beror på valet av tillverkningsteknik. Genom att göra en gjuten konstruktion kunde man även minska möjliga fel som kan uppstå vid tillverkningen. Detta p.g.a. att man minskar monterings och bearbetningsåtgärder. Dessutom elimineras behovet av svetsning.

Arbetet handlar om att ta fram en mer ekonomisk och enklare lösning av konstruktionen i form av ett gjute. Detta innebär analysering av var på motorn konstruktionen är placerad och vilka krav denna plats ställer på den nya designen. Andra saker som bör beaktas är hur hela helheten med tillhörande komponenter är ihopmonterade, samt hur de samspelar vid motorns drift och vad själva komponenternas huvuduppgift i motorn är. När man analyserat dessa faktorer kan man börja planera hur man kunde utföra själva designen.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att ta fram *två olika designkoncept för gjutna komponenter* som kunde ersätta den svetsade konstruktionen. Designkoncepten görs som 3D-modeller i Siemens NX 9.

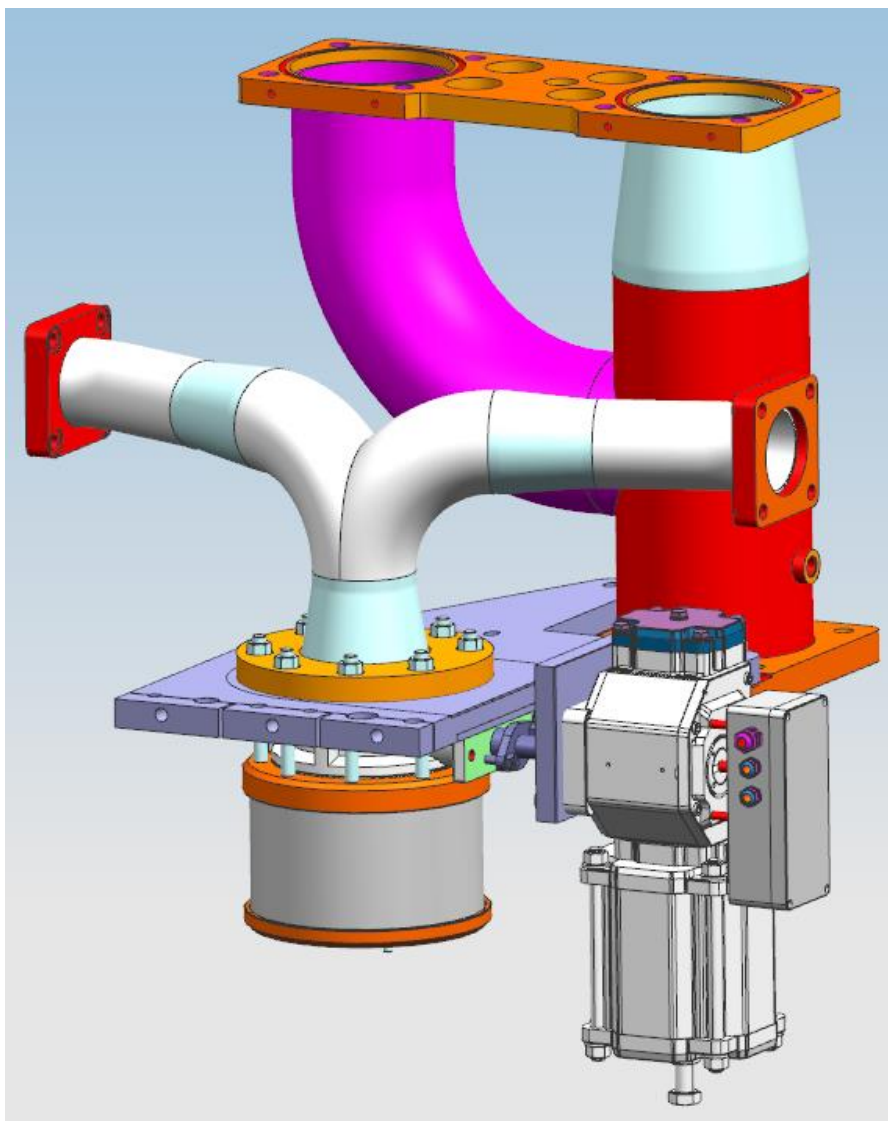
Konstruktionen som består av LT-water-rör, air wastegate-rör och fästkonsol är monterade nära intill varandra på motorn och kunde därför eventuellt integreras med varandra genom att forma ett enda gjutgods. De mål som gäller för designkoncepten kan summeras genom följande punkter.

- Undersöka möjligheten av att göra den nuvarande konstruktionen till två gjutna komponenter. Det skulle ses som mest fördelaktigt att konstruktionen gjordes i ett enda gjutgods ifall det är möjligt att utföra med tanke på gjutning och krav som ställs på designkoncepten.
- *Förenkla konstruktionens fastmontering till resten av motorn* och därmed kunde man minska åtgående tid för monteringen.
- *Göra konstruktionen enklare.*

1.3 Nuvarande konstruktionen

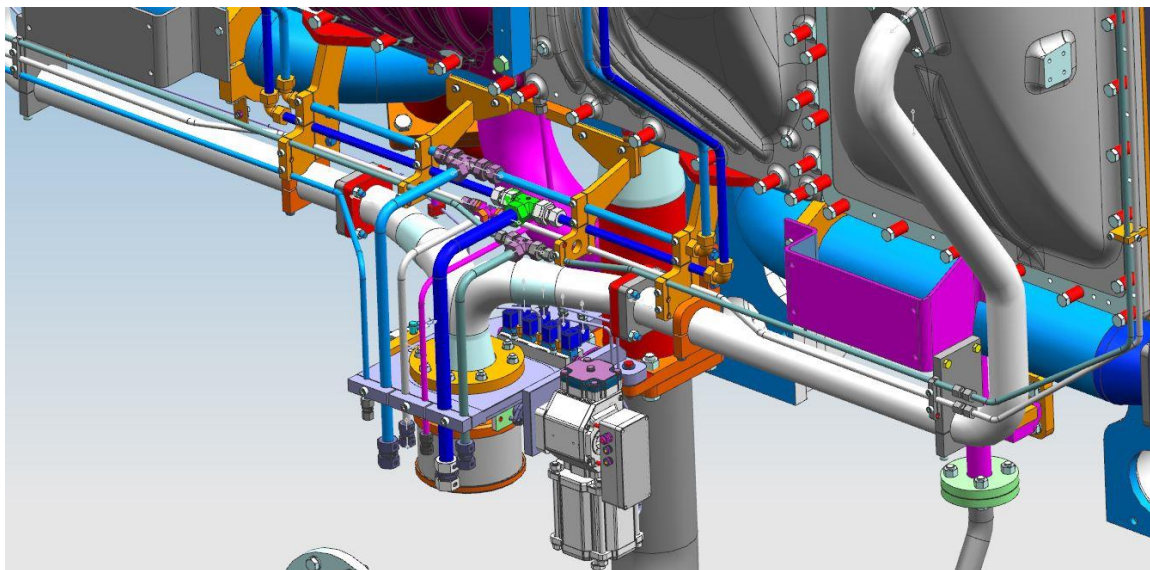
Den nuvarande konstruktionen består av två olika svetsade rörsystem av stål. Dessa rörsystem är två från varandra separata konstruktioner. Den första delkonstruktionen som designarbetet berör är turbosystemets *Air wastegate*-rör (AWG). Den andra delkonstruktionen är ett *kylvattenrör* (LT-water-rör). Bägge konstruktionerna är fastmonterade i en fästkonsol som är en bearbetad och svetsad platta av stål. Fästkonsolen fungerar även som monteringspunkt för andra närliggande komponenter.

Den konstruktion som examensarbetet berör syns som en sammanställning i figur 1. Fjärilsventil med dess tillhörande ställdon och ljuddämpare är med i bilden för demonstrationssyfte.



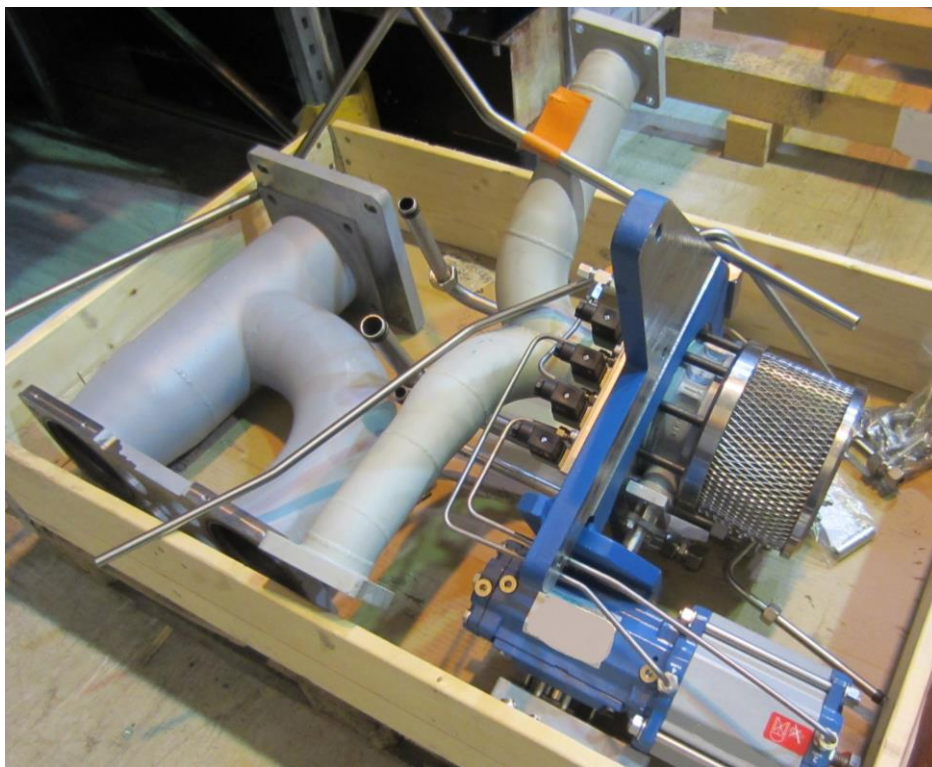
Figur 1. Nuvarande konstruktion i NX.

Figur 2 nedan visar en 3D-sammansättning i Siemens NX med den nuvarande konstruktionen och några av de närliggande komponenterna.



Figur 2. Nuvarande AWG-rör och LT-water-rör med fästkonsol.

Figur 3. nedan visar en bild av den nuvarande konstruktionens komponenter som används. Till vänster är LT-water-röret. Till höger syns konstruktionen med AWG-rör och fästkonsol som är monterad ihop med fjärilsventil, ställdon, ljuddämpare och mindre komponenter.

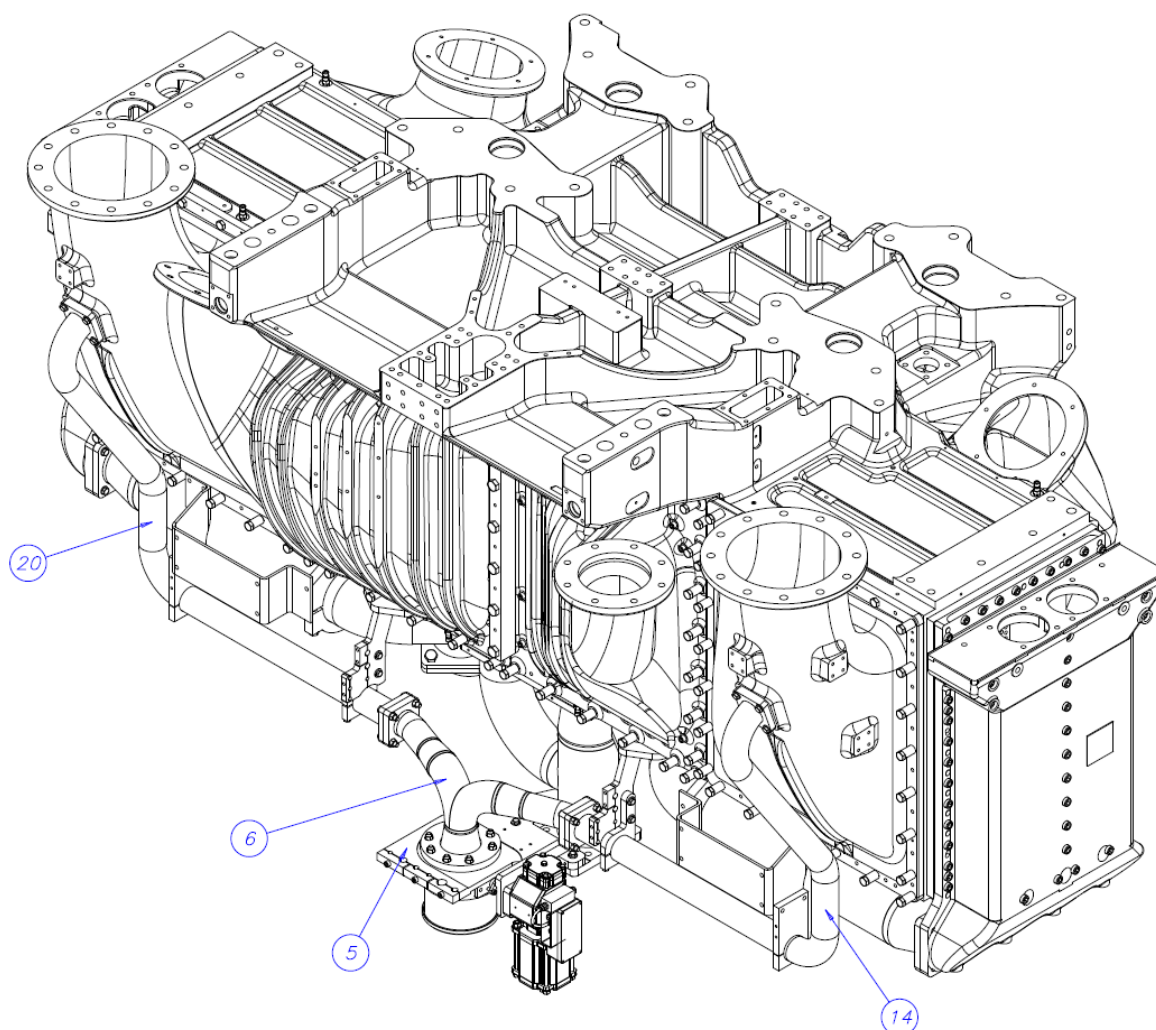


Figur 3. Foto av nuvarande konstruktionens komponenter.

1.3.1 Air wastegate pipe

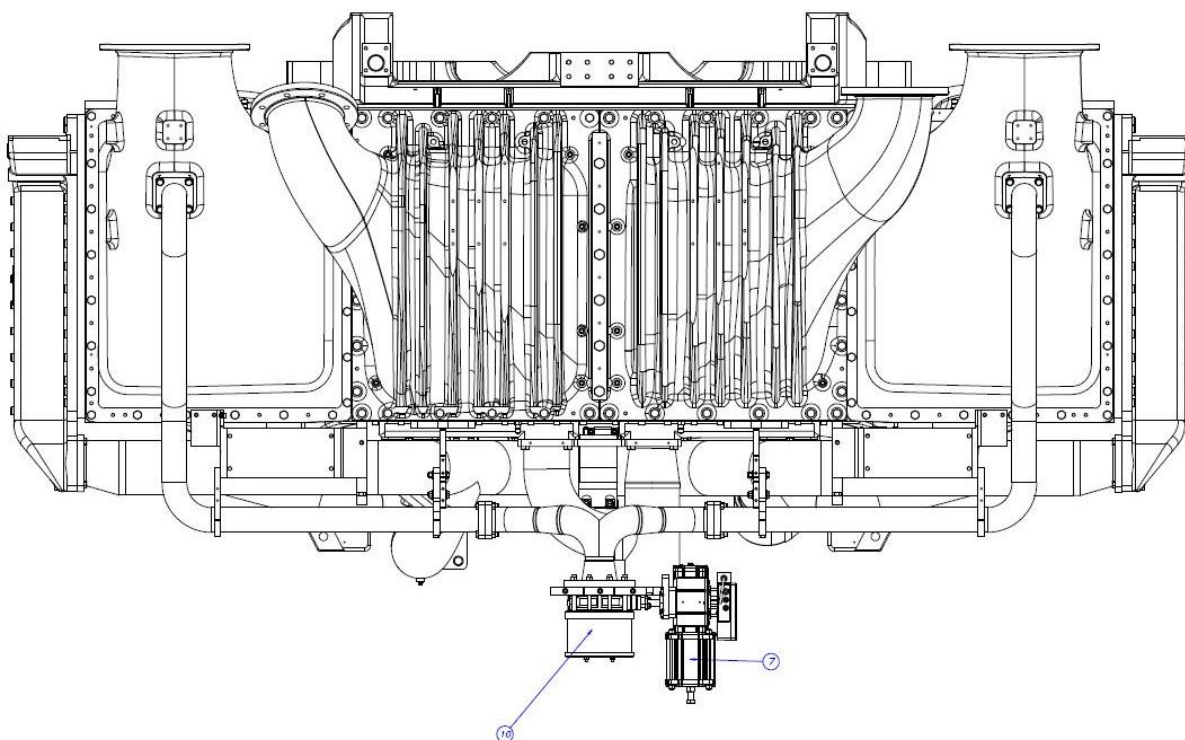
Air wastegate systemet börjar med två långa stålrör som är fastmonterade i turbosystemets laddluftkanal, ett rör per cylinderbank. Rören går separat från de olika cylinderbankarnas laddluftkanaler som ligger högre upp på motorn. Dessa stålrör är fastmonterade med flänskopplingar i stål i den nedre änden till AWG-röret.

Figur 4 nedan visar en ritning av motorns laddluftkylarpaket var låg- och högtrycksturbon med tillhörande utrustning är monterade. Här syns det svetsade AWG-röret (komponent nr. 6) vilket är det rörsystem som sammanfogar de två långa stålrören (komponent nr. 14 och 20) som kommer från laddluftkanalerna. AWG-röret fungerar som en kollektor för att sammankoppla stålrören till Air wastegaten. Komponent 5 är fästkonsolen för AWG-rör, AWG, LT-water-rör och närliggande komponenter.



Figur 4. Isometrisk sammanställningsritning av AWG-konstruktion.

Figur 5 visar frontvyn från samma sammanställningsritning som i Figur 4. Komponent nr. 10 är en cylinderformad ljuddämpare för AWG:n. Komponent nr. 7 är AWG-ställdonet.

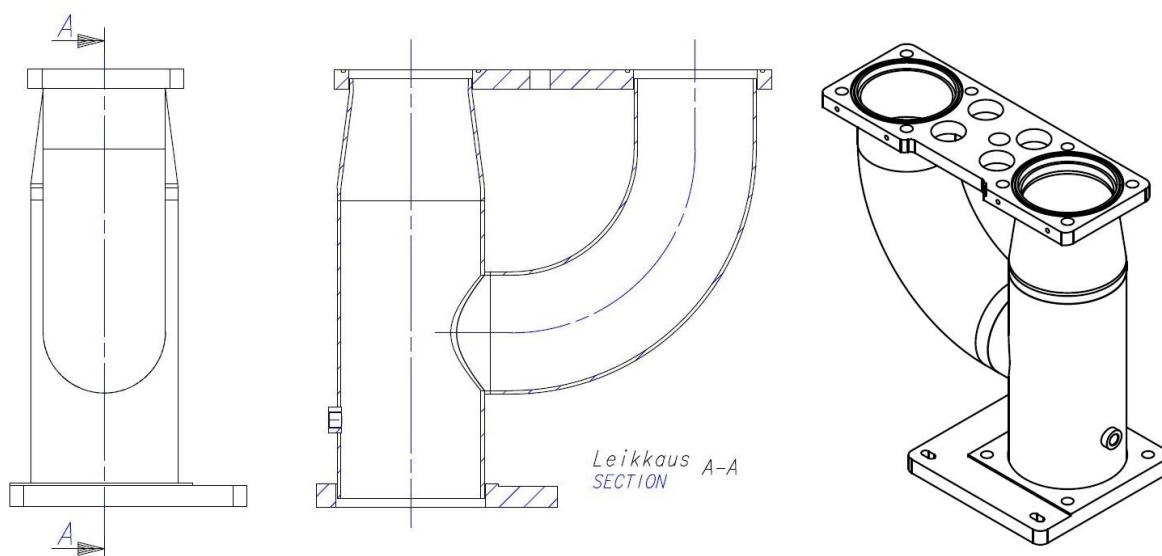


Figur 5. Frontvy ur sammanställningsritning av AWG-konstruktion.

1.3.2 LT-water pipe

Low temperature water pipe som även kallas *LT-water pipe* (LT-water-rör) är det kylvattenrör som examensarbete berör. Denna konstruktion är gjord av bearbetade stålrör som är sammansvetsade med flänsar i ändorna. LT-water-röret är fastsatt i den övre änden till två kylvattenkanaler. Konstruktionen består av två rör som tillsammans utgör ett enda uttag som är svetsat ihop med en fläns i nedre änden. Denna fläns fungerar som en flänskoppling till ett stålrör som fortsätter vidare ut i kylvattensystemet.

I figur 6 ser man en del av en bearbetningsritning för LT-water-röret.



Figur 6. Ritning för bearbetat LT-water-rör.

1.4 Avgränsningar

Uppgiften i detta examensarbete är framtagning av ett nytt designkoncept av den konstruktion som består av AWG-rör, LT-water-rör och fästkonsol.

Vid design av den nya konstruktionen bör omgivande utrustning och konstruktioner beaktas på så sätt att de kan ändras utan att det medför vidare problem. Dock ingår det inte i examensarbetet att omkonstruera utrustning och konstruktioner i närheten för att passa in med den nya gjutna konstruktionen.

Designarbetet skall göras i CAD-programmet *Siemens NX 9* genom att göra *3D-modeller* av den nya gjutna konstruktionen. Designkonceptet skall i framtiden möjligtvis ersätta den nuvarande svetsade konstruktionen.

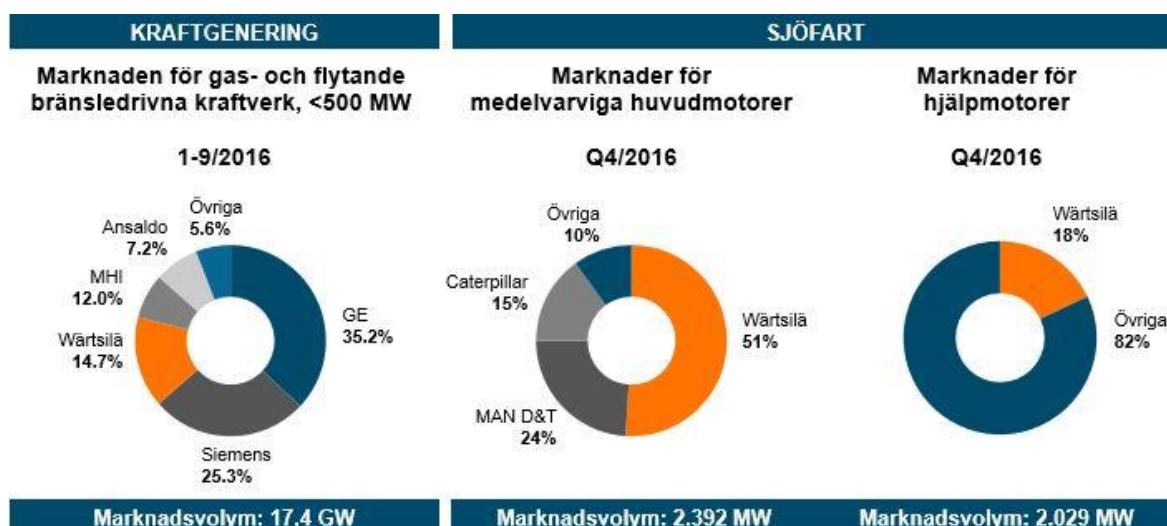
För att den nya konstruktionen skall ha tillräckligt god hållfasthet bör den dimensioneras enligt Wärtsiläs interna standarder och vad som är rekommenderat inom allmänna riktlinjer för konstruktion av gjuten. De färdiga designkoncepten skall genomgå gjutsimulering i datorprogrammet *Magmasoft*.

Med tanke på val av designen för den nya konstruktionens kanaler för kylvatten och AWG så har riktlinjer blivit angivna för designen. Dessa riktlinjer beskrivs i kapitel 3.2 *Krav på design*.

Min del i detta arbete som handlar om att ta fram två designkoncept innehåller inte hållfasthetsberäkningar i form av Finita element simuleringar. Dessa är dock nödvändiga i senare skede av konstruktionsarbetet för att kunna analysera konstruktionens hållfasthet och därefter eventuellt göra förbättringar av designen.

1.5 Företagsbeskrivning

Wärtsilä Oyj Ab är en finsk industrikoncern som är världsledande inom leverans av avancerad teknologi och kompletta livscyckellösningar för energi- och marinmarknaden. Det som ofta kännetecknas med Wärtsilä är de stora dieselmotorerna som de tillverkar. Dessa motorer utgör en stor del av de produkter och tjänster som företaget gör (figur 7).



Figur 7. Wärtsiläs marknadsandelar vid slutet av det tredje kvartalet år 2016 (Wärtsilä u.å.)

Wärtsilä har cirka 18000 anställda på över 200 verksamhetsställen och i över 70 länder i världen. Wärtsilä hade år 2016 en omsättning på 4,8 miljarder euro.

Wärtsilä är uppdelat i tre större segment som består av:

- *Marine Solutions* som koncentrerar sig på att erbjuda produkter för kunder inom marinindustrin, oljeindustrin och gasindustrin.

- *Energy Solutions* levererar ultraflexibla kraftverk som är baserade på stora förbränningsmotorer och solseller. Energy Solutions levererar även terminaler och distributionssystem för LNG.
- *Services* är till för att stöda Wärtsiläs kunder under hela livscykeln för installationerna. Detta görs genom att man har tjänster för att optimerar prestandan och verkningsgraden men även kompletta reservdels och drifttjänster.

(Wärtsilä u.å.)

1.6 Disposition

Detta kapitel är till för att få en överblick vad de olika kapitlen i detta examensarbete koncentrerar sig på och en redogörelse av innehållet.

1. *Inledning*. I detta kapitel beskrivs det varför examensarbetet utförs och vad dess syfte är. Den nuvarande konstruktionen beskrivs och man kan läsa om vad som varit det som orsakat syftet till arbetet. Här genomgås även examensarbetets avgränsningar och en kort sammanfattning om företaget fås.
2. *Teorikapitlet* ger grundläggande teori för att lättare förstå vad som konkret har gjorts i examensarbetet och varför man använt en viss metod.
3. *Metod* beskriver de tillvägagångsätt och metoder som använts vid utförande av detta examensarbete. Här beskrivs även vissa faktorer som påverkat utförandet av arbetet. Kapitlet innehåller även beskrivning av CAD-modelering i NX.
4. I kapitlet *Resultat* får man se resultaten av bägge designkoncept som gjorts. Kapitlet innehåller även utvärderingar och resultat från gjutsimuleringarna av designkoncepten.
5. Det sista kapitlet är *Diskussion* var det beskrivs hur examensarbetet har i sin helhet lyckats genom en sammanfattning. Här finns även genomgång om hur det erhållna resultaten blev. Kapitlet innehåller även förslag på vidareutveckling av det slutliga designkonceptet.

2 Teori

I detta kapitel genomgås grundläggande teori för att kunna förstå sig på de viktigaste sakerna som man bör veta vid konstruktion av ett gjute och vad det innebär vid val av gjutteknik och materialval. Teorikapitlet behandlar också de datorprogram och system som använts för designarbetet. Slutligen presenteras motorn och dess system som de berörda konstruktionerna tillhör.

2.1 Gjutning

Detta kapitel beskriver vad gjutning är och vad som är det viktigaste man bör tänka på när man skall konstruera ett gjute. I kapitel 2.1.6 *Gjutmaterial*, beskrivs olika gjutmaterial. Innehållet begränsar sig till gjutning av metaller.

Man vet att gjutning hör till en av de äldsta industriella tillverkningsteknikerna. Det berättas redan i bibeln om hur man gjutit en bronskopp med en massa på 45 ton åt kung Salomon. Det har blivit gjutet olika prydnads och bruksföremål redan så tidigt som 2000 år fKr.

Tidigare har man gjort gjutformarna i någon sorts vax som sedan blivit belagda med eldfasta material. Dessa eldfasta material har då fått fungera som själva gjutformen vid gjutningen. I det nästa steget smälte man bort vaxet för att få ett tomrum att utföra själva gjutningen i. (Pohjalainen K., 1997, 5)

Med gjutning kan man i ett stycke tillverka delar med komplicerade geometrier. Detta utförs genom att man håller upphettad flytande metall i en gjutform som ser ut som ett negativ på insidan av den del som man vill gjuta. Efter att man hållt den flytande metallen i gjutformen så stelnar metallen och småningom övergår till fast form. Genom detta tillformas den gjutna detaljen man strävar efter.

För att utföra gjutning använder man sig av olika gjutformar: engångsformar och flegångsformar. Engångsformarna är de som används bl.a. vid traditionell sandgjutning. Formarna är ofta delade, dock finns det också odelade formor t.ex. engångsformar av vax som används vid precisionsgjutning. Det går att bilda hålrum i gjutet genom att tillsätta s.k. kärnor in i gjutformen. Dessa kärnor har samma utformning som det hålrum man önskar att få i gjutgodset.

Själva modellen är den del som föreställer det objekt man vill gjuta. Modellen kan också vara av både engångstyp och flergångstyp. En engångstyp av modellen är oftast gjord av vax för att bilda en keramisk modell som sedan smälts bort före gjutningen. Det vanligare är att man använder sig av en modell av flergångstyp gjord av t.ex. plast-, trä- eller metall. Detta används bl.a. vid sandformsgjutning som är en av de vanligaste gjutmetoderna. (Johannesson , Persson & Pettersson 2013, 465)

Typiska detaljer som är gjorda genom gjutning är t.ex. motorkomponenter, bildelar och andra fordonsdelar, armaturer i ABB robotar etc. Gjutna komponenter finns även i hushållet i form av t.ex. vissa stekpannor, äldre spisplattor och grytor. (Novia u.å. 4)

”Det är värt att notera att i princip alla metalliska produkter har genomgått en gjutnings- och steltningsprocess någon gång under tillverkningen (undantag är vissa produkter tillverkade av järnsvampspulver eller genom förångning och kondensation).” (Jarfors, et.al. 2000, 24)

2.1.1 Fördelar och begränsningar med gjutning

Gjutning är den metod av tillverkningsteknik som har kortaste vägen från smält metall till färdig komponent. Med tanke på den energiförbrukning som gjutning kräver så är det en mycket förmånlig typ av tillverkningsteknik.

Gjutning som tillverkningsteknik har relativt små krav på den gjutna komponentens massa och storlek. Val av gjutning som tillverkningsteknik erbjuder en bra tillformningsfrihet. Med tanke på utnyttjandegrad av metallråvaran så har man stor fördel av den tillformningsfrihet som formningen av gjutna komponenter erbjuder. Detta går att utnyttja genom att man kan dimensionera kritiska mått som t.ex. specifika väggjocklekar mot den belastning som de utsätts för. Genom detta kan man variera materialjocklek i komponenten och optimera komponentens massa/hållfasthets förhållande. Gjutning medför en möjlighet att använda sig av väggjocklekar upp till 400 mm med en materialegenskap som är jämnt fördelad i materialets alla riktningar.

Dagens bearbetningsmaskiner erbjuder bra fastsättning av invecklade komponenter och därmed är det fördelaktigt att använda sig av enbart en gjuten detalj ifall det är möjligt istället för tidigare flertal ihopmonterade komponenter som har format den slutliga komponenten. Genom att använda denna möjlighet så görs bearbetningen med endast en fastsättning av den

komponent som skall bearbetas och därmed är bearbetningskostnaderna lägre. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 10)

Gjutna komponenter har också fördelen med att de har god dämpning av vibrationer samt goda utmattningsegenskaper. (Johannesson, et.al. 2013, 485)

Som möjliga begränsningar med gjutning som tillverkningsteknik kan man se behovet av en flergångs gjutform och eventuella behovet av en gjutmodell. Detta orsakar en återbetalningstid för komponenten som skall tillverkas. Detta betyder m.a.o. att det behövs oftast tillverkas ett flertal komponenter för att det skall vara lönsamt. Behovet av gjutmodell och flergångs gjutform har dock minskat med vissa gjutmetoder p.g.a. av att man nuförtiden kan i vissa fall direkt bearbeta gjutformen och flergångs formen m.h.a. bearbetningsmaskin som använder sig av CAD/CAM-teknik. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 10)

Vid tillverkning av gjutna komponenter finns det en risk att man får inneslutna materialdefekter i gjutgodsen som eventuellt kan påverka hållfastheten negativt. En annan sak som krävs av en gjuten komponent är efterbehandling i form av att man rensar gjutgodset på t.ex. gjutskägg och att det krävs en bearbetning av montageytor och hål etc. (Johannesson, et.al. 2013, 485)

2.1.2 Gjutmetoder

Som med många andra tillverkningsmetoder kan man utföra gjutning på flera olika sätt. Här beskriv de mest kända metoderna av gjutning.

Som redan beskrivits i kapitel 2.1 *Gjutning* så kan vi konstatera att det finns två olika huvudtyper av gjutning. Dessa är gjutning med permanent form och gjutning med engångs form.

De mest kända gjutmetoder var man använder sig av en permanent form är centrifugal gjutning, kokillgjutning, pressgjutning och stränggjutning. I bästa fall kan en permanent gjutform hålla 50.000-200.000 gånger innan den bör bytas ut.

Gjutmetoder var man använder engångs form är sandformsgjutning, gipsformsgjutning och gjutning i keramisk form. Precisionsgjutning och keramiska metoder som motsvarar precisionsgjutning är också gjutmetoder med engångs form. (Valuatlas u.å.)

Följande kapitel *2.1.3 Gjutning i sandform* behandlar mer ingående den gjutmetod som skulle användas för att gjuta de designkoncept som blivit designade i detta examensarbete.

2.1.3 Gjutning i sandform

Gjutning i sandform är den metod av gjutning som designkoncepten i detta examensarbete är konstruerade för. Denna metod lämpar sig bra för det materialval (se kapitel *3.4 Materialval*) som gjorts för koncepten. Sandgjutning är också en metod som lämpar sig för små serier p.g.a. att kostnaderna för tillverkningen av modell och gjutform är låga. Sandgjutning är valet av gjutmetod för detta arbete, därför behandlas denna metod mer ingående.

Sandformsgjutning har använts i flera tusen år och är också den mest använda metoden för gjutning. Som namnet redan berättar så baserar sig metoden på att man har en engångs gjutform gjord av sand. Vid sandformsgjutning tillverkas gjutformen på så sätt att man har en färdig modell av den detalj som skall gjutas, samt tillhörande inlopp och gjutkanal. Denna modell med inlopp och gjutkanal packas in i sand. Genom detta bildas en sandform bestående av två formhalvor. Sanden är sammanfogad med bindemedel för att sanden skall hållas sammansatt under hela formtillverknings- och gjutprocessen.

Orsaken till varför man gör sandformen i två olika formhalvor är att man skall kunna öppna sandformen och ta bort modellen utan att formen går sönder. När formtillverkningsprocessen är färdig så öppnar man sandformen och modellen blir borttagen. Nu har man fått två färdiga formhalvor. Som näst sätts formhalvorna ihop och det hålrum som tidigare varit fyllt av modellen är nu tomt vilket bildar formhåligheten vart man håller smält metall under själva gjutprocessen. Den smälta metallen hålls in genom gjutkanalen via inloppet och därmed fylls formhåligheten av metall. När metallen har stelnat slår man sönder sandformen och den gjutna komponenten kan tas lös ur formen. (Jarfors, et.al. 2000, 151)

Man kan använda sandformsgjutning som gjutmetod för de flesta metaller och dessa kan göras i mycket stora detaljer. Ett typiskt exempel på en sandgjuten komponent är motorblock till förbränningsmotorer. (Johannesson, et.al. 2013, 465)

I kapitlet *4.4. Resultat av gjutsimuleringarna* beskrivs det vilken typ av sand och bindemedel som används för simuleringar av gjutningen i datorprogrammet Magmasoft.

2.1.4 Gjutmodellen och gjutformens delar vid sandformsgjutning

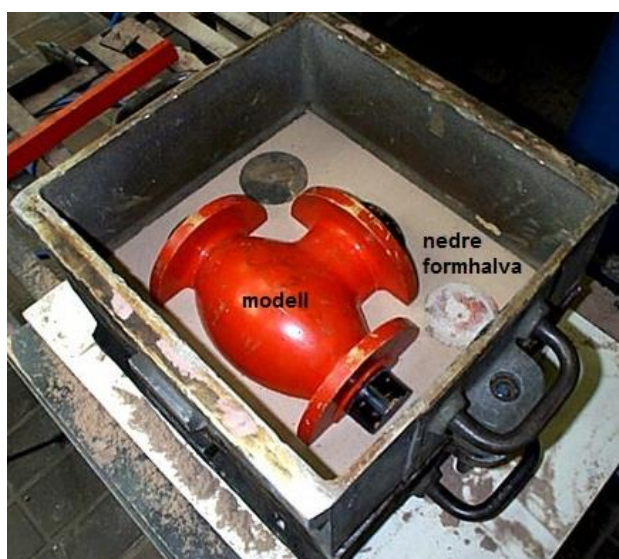
För att få en bättre förståelse om hur gjutformen vid sandformsgjutning är konstruerad så beskrivs dess delar och uppbyggnad i detta kapitel.

Gjutmodellen eller *modellen* som den oftast kallas är en kopia av hur man vill att den färdigt gjutna komponenten skall se ut. Modellen används för att tillverka gjutformen så som det beskrivits i kapitel 2.1.3 *Gjutning i sandform*. Modellen är gjord av trä, metall eller plast.

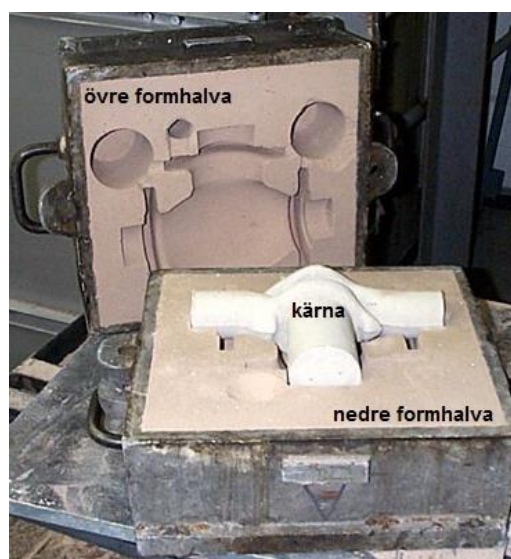
Gjutformen är den färdiga formen vart man håller den smälta metallen under gjutprocessen. Formen är tillverkad av två formhalvor som beskrivits i kapitel 2.1.3 *Gjutning i sandform*. Formhåligheten i gjutformen är till för att forma den gjutna komponenten. Komponenterna som skall gjutas är sällan helt solida, utan innehåller också hålrum som måste göras i gjutformen. Dessa hålrum gör man med s.k. kärnor som har samma form som hålrummet.

Kärnorna är oftast tillverkade av samma material som själva gjutformen d.v.s. sand med någon sorts bindemedel för att hålla sanden samman. Kärnorna måste kunna fastmonteras i formhalvorna före man sätter fast gjutformen inför gjutning. Kärnorna bör även gå att ta bort efter att man gjutit färdigt, detta bör även beaktas vid design av den gjutna komponenten.

Figur 8 nedan visar en gjutmodell som är placerad på partytan. I figuren syns också den nedre formhalvan. I figur 9 syns en öppnad gjutform med kärnan liggandes i den nedre formhalvan. Ytan som syns mellan formhalvorna bildar partytan för gjutet. I figur 9 är gjutmodellen borttagen.



Figur 8. Gjutmodell och nedre formhalva (Valuatlas u.å)

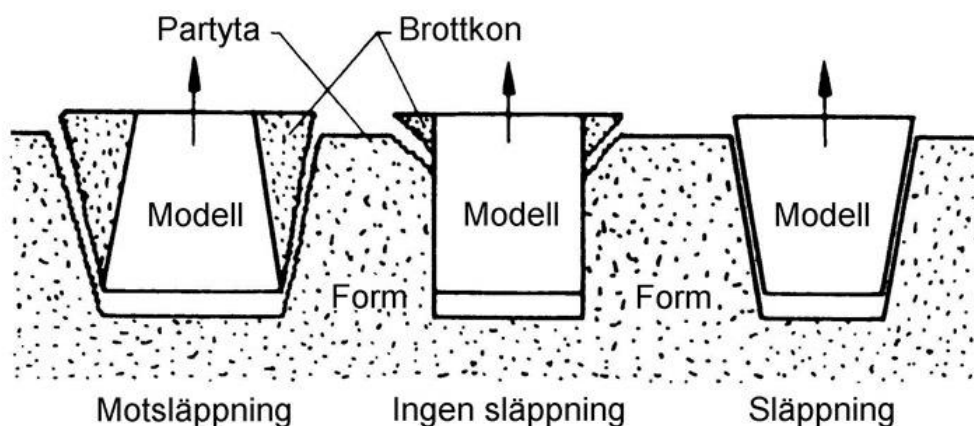


Figur 9. Formhalvor och kärna (Valuatlas u.å.)

2.1.5 Saker att beakta vid konstruktion av ett gjute

När man designar en gjuten konstruktion bör både gjutmetoden och gjutlegeringen vara anpassad för konstruktionen för att man skall uppnå en så bra och förmånlig detalj som möjligt. De saker som man bör speciellt beakta vid design av konstruktionen är följande:

- *Kostnaden för behövlig utrustning.* Vid tillverkning av gjutna detaljer med engångsform i korta serier så är kostnaden för modeller och kärnor en mycket betydande del av den totala kostnaden.
- *Släppningar för den gjutna detaljen.* Både gjutformen och kärnan är tillverkade av sand. För att dessa inte skall skadas vid isärtagningen av gjutformen under tillverkningsprocessen, måste modellen förses med släppningar.



Figur 10. Förklaring av släppning (Svenska Gjuteriföreningen u.å.)

Släppningarna görs vid 3D-design oftast genom justering av ytans släppningsvinkel i grader ($^{\circ}$). Om man har en släppningsvinkel på gjutmodellens yttre yta som är 2° så bör den inre ytans släppningsvinkel vara 4° , dvs. dubbelt så stor som den yttre ytans. Dock är det mer vanligt att man vid gjuterier gör släppningarna för modellen genom att mäta ytans släppningsnedhet i millimeter. Det som gäller generellt är att släppningar för en yta med en höjd under 180 mm ges i grader medans släppningar över 180 mm ges i millimeter. Släppningar för en yta som är över 1000 mm hög mäts också i millimeter men dessa är inte inkluderade i tabellerna (tabell 1 och 2).

Tabell 1. Släppningsvinklar i grader enl. SFS 3307.

Höjd >	0	10	18	30	50	80	120
(mm) ≤	10	18	30	50	80	150	180
Släppning min (°)	6,00	4,00	2,50	2,00	1,50	1,00	0,75

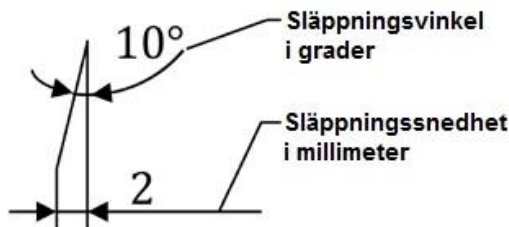
(Pohjalainen K. 1997, 15)

Tabell 2. Släppningssnedhet i millimeter enl. SFS 3307.

Höjd >	180	250	315	400	500	630	800
(mm) ≤	250	315	400	500	630	800	1000
Släppning min (mm)	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	7,0

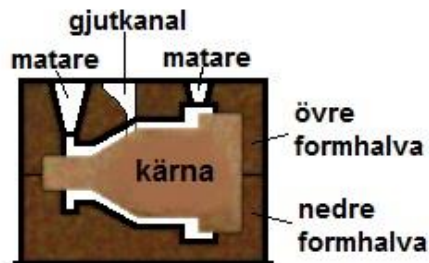
(Pohjalainen K. 1997, 15)

Figur 11 nedan klargör begreppen släppningssnedhet och släppningsvinkel samt hur de mäts.

**Figur 11. Begreppen släppningsvinkel och släppningssnedhet förklarade (Valuatlas u.å.)**

- *Partning.* För att hålla modell- och formkostnaderna låga bör man designa en partlinje som ligger i samma horisontalplan, i detta fall kallas det för partyta (även kallat delningsplan). Dock krävs det i vissa fall att man gör en bruten partlinje vilket resulterar oftast i högre modell- och formkostnader.
- *Gjutformens storlek och dess hållfasthet.* Vid sandformsgjutning bör man beakta den relativt låga hållfastheten för gjutformarna och kärnorna. Ifall gjutformens väggar är för tunna kan de lätt skadas vid isärtagning av formen.

- *Kärnorna.* För att hålla tillverkningskostnaderna låga bör man alltid eftersträva att designa gjutet med så få kärnor som möjligt. Användning av kärnor försämrar också måttnoggrannheten. Dock går måttnoggrannhetsfelen att förminska genom att ge kärnorna så bra styrning som möjligt genom att ha bra förankring i gjutformen.



Figur 12. Gjutform och kärna. (Valuatlas u.å.)

Figur 12 visar en gjutform som är monterad ihop med kärna, redo för gjutning. Kärnan får sitt stöd via dess ändor från formhalvorna.

- *Smältans strömning vid gjutning.* När man designar ett gjute bör man tänka på att göra modellen på så sätt att den smälta metallen inte hinner stelna under gjutförloppet innan att hela sektionen är fylld. Detta kan undvikas genom att beakta utformningen av gjutgodset med att undvika långa tunnväggiga sektioner, tvära krökar och riktningsförändringar.
- *Stelningskrympning och porositeter.* De flesta gjutmetaller krymper när metallen övergår från flytande form till stelnad. Metallerna krymper även efter att smältan har stelnat.

För att undvika att det bildas sugningar eller porer p.g.a. krympning i gjutstycket så bör man ha t.ex. matare (figur 12) som är placerade på de delar av gjutgodset som stelnar till sist, dessa matare tillför kompenserande smälta under stelningen. Genom att designa gjutet med en så jämn genomgående godstjocklek som möjligt så minimeras behovet av matare.

Det finns även s.k. kylkroppar av metall (kyljärn) som går att placera i gjutformen. Dessa kylkroppar gör att avsvälningen av ett område sker snabbare, med detta kan man få minskat porositeten för specifika områden på gjutgodset.

- *Svalningskrympning.* När det gjutna stycket svalnar från gjuttemperatur till rumstemperatur så krymper gjutstycket. Krympningen kan orsaka spänningar och även sprickor i gjutet. Detta bör beaktas vid design av gjutet genom att forma det på ett sådant sätt att temperaturen sjunker maximalt jämligt i hela gjutstycket.
- *Behov av efterbehandling.* Man bör utforma detaljen på ett sådant sätt att man minimerar rensningsarbete. Med rensningsarbete menas borttagning av gjutskägg (grader), ingjutningssystem, ojämnheter, fastbränd sand, kärnarmeringar och matare.
- *Bearbetning av detaljen.* Behovet av bearbetning av gjutstycket bör beaktas redan vid design av gjutet. Med detta menas t.ex. att man gör monteringspunkter på godset för fastspänning i fräs eller svarv. Man bör även beakta bearbetningsmånen av bearbetade ytor på gjutgodset genom att ha några millimeter extra godstjocklek på det obearbetade gjutet än vad som önskats för den färdiga komponenten.
- *Ingjutning av t.ex. rör och förstärkningar.* Val av gjutning som tillverkningsteknik medför fördelen med att kunna gjuta in detaljer som rör, förstärkningar (t.ex. strävor) och komponenter såsom bussningar och magneter i gjutgodset.
- *Konstruktionens hållfasthet.* Även med tanke på hållfasthet så är gjutning som tillverkningsteknik fördelaktigt i vissa fall. Detta p.g.a. att man kan utnyttja formningsfriheten som gjutning erbjuder i form av att göra godset tjockare på vissa ställen i gjutstycket för att förstärka det. Man kan även designa skilda förstävningar i gjutet.

(Jarfors, et.al. 2000, 144-150)

2.1.6 Gjutmaterial

För att få en bättre förståelse om vilka typ av material som används vid gjutning så har det här framtagits en sammanfattning av de vanligaste material som används. Detta kapitel om gjutmaterial begränsas till gjutlegeringar som används för att tillverka gjutgods av metall.

I tabell 3 nedan kan det ses i vilka materialklasser de vanligaste använda gjutlegeringarna är uppdelade i.

Tabell 3. Gjutlegeringar och deras materialklasser.

Materialklass	Tungmetaller	Lättmetaller	Gjutjärn	Gjutstål
	Ickejärn-legeringar		Järn-kol-legeringar	
Legeringstyp	Koppar-legeringar	Aluminium-legeringar	Gråjärn	Olegerat
	Mässing	Magnesium-legeringar	Kompakt-grafitgods	Låglegerat
	Brons	Titan-legeringar	Segjärn	Höglegerat manganstål
	Rödgoods		Aducerjärn	Rostfritt och värmebeständigt gods
	Zink-legeringar		Vitt gjutjärn	
	Blylegeringar			

(Jarfors, et.al. 2000, 137)

Vid gjutning är de mest använda gjutmaterialen gråjärn och segjärn. Tabell 4 nedan visar produktionen av gjutjärn och gjutstål i Finland och CAEF medlemsländerna (Europeiska gjuteriförbundet) år 1998.

Tabell 4. Produktion av gjutjärn och gjutstål år 1998.

Gjutmetall	CAEF		Finland	
	1000 ton	Andel (%)	1000 ton	Andel (%)
Gråjärn	6446	58,0	59,3	48,4
Segjärn	3870	34,8	44,5	36,3
Gjutstål	648	5,8	18,9	15,4
Aducerjärn	143	1,3	-	-
Järn- och stål gjute totalt	11107	100,0	122,6	100,0

(Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 56)

Baserat på vad som blivit bestämt i kapitel 3.4 *Materialval*, ses det som fördelaktigt att göra en mer ingående beskrivning av gråjärn och segjärn.

Gråjärn eller "gray cast iron" (eng.) är det mest använda gjutmaterialet inom maskinkonstruktion. Materialbeteckningen för gråjärn är "GJL" och en mer noggrann beteckning av vilken typ av gråjärn det är i frågan är t.ex "EN-GJL-250" där L står för gråjärn.

Gråjärnet har många goda egenskaper bl.a. billigt, god gjutbarhet och skärbarhet, goda glidegenskaper och dämpningsförmåga samt en bra värmebeständighet. Gråjärn har även en måttlig korrosionsbeständighet och hållfasthet. Dessa egenskaper har bidragit till att gråjärn är så mycket använt. Till gråjärnets svagheter hör en aning sämre seghet och dålig genomförbarhet för skarvsvetsning. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 56-57)

Det som definierar ett gjutjärn är att legeringen vanligen innehåller mer än 2 % kol (C). Oftast ligger kolhalten runt 2,5-4,0 % i de material man använder. Det som kännetecknar gråjärnet är att det innehåller endast järn (Fe) och kol (C) i form av grafit. Kolinnehållet för en gråjärnslegering brukar oftast ligga mellan 2,9-3,6 %. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 101)

Man kan genom att tillsätta olika legeringselement modifiera grafiten, gråjärnet innehåller i olegerat tillstånd oftast silicium (Si), mangan (Mn), fosfor (P) och svavel (S). (Jarfors, et.al. 2000, 132)

Segjärn ”GJS”, som på engelska har många använda namn bl.a. spheroidal graphite cast iron, sg-iron, ductile iron eller nodular iron är en relativt ny gjutmetall, den första patenten för framställning av segjärn beviljades år 1938. I Finland började man tillverka segjärn före mitten av 50-talet. Segjärnets tillverkning har ökat mycket kraftigt de senaste årtiondena och har ersatt gråjärnet med stor procentandel av tillverkningsvolymerna. Man tror att segjärnet kommer bl.a. att ersätta gjutstålet i framtiden. Segjärnet har bl.a. ersatt stora mängder stålsmidan, det har visat sig att 90 % av Tysklands bilindustris vevaxlar var gjutna av segjärn år 1998.

Till segjärnets goda egenskaper hör bl.a. dess lägre smälttemperatur (gäller även alla andra gjutjärn) vilket betyder lägre energiförbrukning vid gjutningen. Materialets struktur ger segjärnet en förbättrad dämpningsförmåga, glidförmåga och skärbarhet jämfört med gråjärnets. Jämfört med gjutstål så är dessa egenskaper betydligt bättre hos segjärn. Segjärn erhåller även bättre mekaniska egenskaper utan värmebehandling av materialet jämfört med gjutstål som alltid behöver värmebehandling. Segjärnet har även en betydligt bättre förmåga för plastisk deformation vilket gråjärnet saknar nästan helt.

Det som i vissa fall begränsar användningen av segjärn är dess sämre svetsbarhet vid skarvning jämfört med vad gjutstål har. Segjärnets tillverkning är även aningen mer utmanande än gråjärnets, detta är även något man bör beakta vid design av ett gjute av segjärn. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 100)

Segjärnet skiljer sig från gråjärnet med en aning högre kolhalt på ca. 3,4-3,8 % (jämfört 2,9-3,6 % för gråjärn). Kolhalten stiger med förminskning av den gjutna detaljens vägg tjocklek. Segjärn har lägre halter av mangan, svavel och fosfor än gråjärn. (Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 100-103)

2.2 Jämförelse mellan svetsad och gjuten konstruktion

I detta kapitel görs det en jämförelse mellan svetsad och gjuten konstruktion. Här beskrivs de olika tillverkningsteknikernas för- och nackdelar samt tillverkningsmetodernas egenskaper som de medför till den färdiga konstruktionen.

Till följande görs en jämförelse mellan gjutna och svetsade komponenter (tabell 5). För att jämförelsen skall vara så objektiv som möjligt ställs följande krav på de konstruktioner man jämför:

- Beaktning av den specifika tillverkningsteknikens särdrag beaktas så jämsidigt som möjligt för bägge metoderna.
- Man använder sig av material med likadana mekaniska egenskaper och andra egenskaper som kan påverka resultatet.
- Komponentens storlek och utformning är sådan att den kan tillverkas med båda metoderna.
- Man beaktar behovet av verktygs-, tilläggs- och hjälputrusning och vad det orsakar med tanke på kostnader.

Tabell 5. Jämförelse mellan gjutna och svetsade komponenter.

Komponentens egenskap	Tillverkningsbarhet		Anmärkningar
	Gjuten	Svetsad	
1. Tillämpning för serieproduktion	bra	måttlig	Automatsvetsning
2. Komponentens storleksbegränsningar	måttliga	små	Svetsning lämpar sig för de största konstruktionernas tillverkning
3. Tillverkning av invecklad komponent	lätt	måttlig	Svetsning kräver förenkling av utformningen
4. Möjlighet för industriell tillformning	goda	måttliga	Gjutning ger en stor tillformningsfrihet
5. Val av materialtjocklek med beaktande av belastningen	bra	måttlig	Svetsning tillför begränsning på materialtjockleken
6. Dämpningsförmåga	bra	dålig	Beror väsentligen på elasticitetsmodulen
7. Stora komponenters noggrannhet	bra	bra	
8. Små komponenters noggrannhet	bra	dålig	Precisionsgjutning
9. Specialmetallens användningsmöjlighet	bra	måttliga	Svetsning lämpar sig inte för alla metaller
10. Den tillverkade komponentens felfrihet	måttlig	bra	Gjutgods kräver god kvalitetsssäkring
11. Homogenisk mikrostruktur	måttlig	dålig	Värmebehandling förbättrar strukturen, görs alltid åt stålgjute
12. Komponentens restspänning	varierande	måttliga	Avspänningsglödning
13. Färdiga komponentens reparations- och ändringsbarhet	varierande	bra	Gjutstål bra, gjutjärn dålig
14. Genombrottsid	måttlig	kort	Tillverkningstiden för gjutmodell och flergångsform är lång

(Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001, 11)

2.3 CAD, CAM, CAE och PDM

Detta kapitel förklarar vad CAD, CAM, CAE och PLM står för. Dessa förkortningar förekommer ofta inom produktutveckling och är vardag för en maskinkonstruktör.

CAD står för *Computer Aided Design*. CAD-program är mjukvaruprogram för datorer som man gör ritningar och 3D-modeller med. Från första början var CAD till för att göra tekniska beräkningar och simuleringar. Programmen vidareutvecklades och under 1970-talet började man göra FEM-beräkningar. Under 1990-talet börjades CAD användas för framställning av 3D-modeller. De senaste decennierna har man börjat få integrerat simulerings och ritningsprogrammen till ett enda program. (Johannesson, et.al. 2013, 501)

Det finns många CAD-program men de mest typiska CAD-programmen som är mycket använda och kända inom maskinkonstruktion i både Finland och hela världen är:

- *AutoCAD*, Autodesk
- *Inventor*, Autodesk
- *I-deas*, Siemens PLM Software
- *Siemens NX*, Siemens PLM Software
- *Solidworks*, Dassault Systèmes

CAM, *Computer Aided Manufacturing* är generering av program för styrning av NC-styrda bearbetningsmaskiner. CAM-programmet bildar en s.k. G-kod genom att analysera modellen som blivit designad i ett CAD-program. CNC-koden bestämmer hur bearbetningsmaskinen skall bearbeta råvarobiten som är fastmonterad i maskinen. (Siemens PLM Software u.å.)

CAE, *Computer Aided Engineering* inkluderar mjukvaruprogram som är framställda för simulering av finita element analys (Finite Element Analysis, FEA), flödesberäkning (Computational Fluid Analysis, CFD) och stelkroppsmodellering (Multi Body Dynamics, MBD) med mera. (Siemens PLM Software u.å.)

PDM står för *Product Data Management* och är även kallad *PLM (Product Lifecycle Management)*. Detta är en metod för hantering av produkter och information under produkternas livscykel. Med val av rätt PDM-system har tillgång till produkternas data och information under produktutvecklings-, tillverknings-, och driftstadiet (PLM). PDM-system används även för att integrera informationsflöde som t.ex. ritningar och 3D-modeller mellan program. (Siemens PLM Software u.å.)

2.3.1 Siemens NX 9

Det verktyg som har blivit använt för att göra de två designkoncept för detta examensarbete är Siemens NX 9.

Siemens NX 9 är en version av Siemens NX som lanserades i oktober 2013. NX är ett avancerat CAD/CAM/CAE mjukvaruprogrampaket. NX och Teamcenter (kapitel 2.3.2 *Teamcenter 10*) var ursprungligen framtaget av Unigraphics men har hört under Siemens PLM Software sedan 2007.

NX används för 3D-design, konceptdesign och även dokumentation. Programmet går att använda för simuleringar med Finita Elementmetoden (FEM) och att göra kompletta produktionslösningar för verktyg, bearbetning och kvalitetskontroll. Unikt med NX är möjligheten att använda sig av *Synchronous Modeling* vilket innebär att man kan göra ändringar på den färdiga 3D-modellen efteråt utan att påverka tidigare funktioner i historieträdet.

(Siemens PLM Software u.å.)

2.3.2 Teamcenter 10

Inom Wärtsilä används för tillfället Teamcenter 10 synkroniserat med Siemens NX 9. Detta har utnyttjats bl.a. för att få tillgång till 3D-modeller som behövs för att planera designkoncepten för detta examensarbete.

Teamcenter 10 är en version av Teamcenter som är ett PLM-program (Product Lifecycle Management) för hantering av en produkt och dess information. Teamcenter 10 används för att ha en gemensam samlingsplats för information, ritningar, 3D-modeller, dokument och

anvisningar för de anställda som har behov av att ha tillgång till detta. (Siemens PLM Software u.å.)

2.4 Gjutsimuleringsprogram

Simulering av gjutgods är nuförtiden en del av konstruktionsprocessen när man designar gjuten. Genom simulering av gjutprocessen kan man få fram mycket information såsom bl.a. möjliga problem med godset som kan uppstå vid gjutningen. Genom att upptäcka problem före man gör gjutmodellen och gjutformarna kan man undvika problemen genom att i förhand eliminera dem. Detta kan göras oftast genom att ändra geometrin för modellen, eller eventuellt tillsätta matare eller kylkroppar till gjutformen.

Vid simulering av gjutgods kan man använda sig av FDM (Finita Differensmetoden) eller FEM (Finita Elementmetoden). Man kan göra formfyllnadssimuleringar och stelningssimuleringar. (Novia u.å. 120) Dessa simuleringar görs av ett datorprogram som beräknar miljontals ekvationer beroende på de parametrar man givit programmet.

Magmasoft är det simuleringsprogram som har använts i detta examensarbete. Magmasoft är en simuleringsmjukvara gjord av Magma GmbH. Magma är ett marknadsledande företag inom simuleringsprogram för gjutning, Magmasoft har flest programlicenser i bruk. (Novia u.å. 122) Företaget grundades 1988 i Tyskland och har mer än 200 anställda.

MAGMA⁵ är den nyaste versionen av simuleringsprogrammet Magmasoft. Genom simulering av gjutgods i programmet får man en bättre förståelse av gjutformens fyllnad, stelning och kylning. Programmet kan även förutspå den gjutna komponentens mekaniska egenskaper, termiska spänningar och förvriddningar som kan uppstå. (Magma u.å.)

2.5 Wärtsilä 32TS

Detta kapitel beskriver i korthet den motortyp var konstruktionen som detta designkonceptarbete behandlar är monterad på. I de tre påföljande underkapitlen 2.5.1, 2.5.2 och 2.5.3 beskrivs det mer ingående om de system som konstruktionen hör till.

Wärtsilä 32TS är namnet för Wärtsiläs tvåstegs-turboladdade version av den kända W32 dieselmotorn. Motorn är en medelvarvig 4-takts dieselmotor med tvåstegs turboladdning, optimerad för extrema omgivande förhållanden.

Huvudinformation:

- 20 cylindrig V-motor
- 4-takts dieselmotor. Motorn har tvåstegs-turboladdning med laddluftkylning och direktinsprutning. Motorn är utrustad med 4st. turboladdare, monterade på motorn.
- Cylinderdiameter: 320 mm, Slaglängd: 400 mm.
- Motorvarvtal: 720 rpm eller 750 rpm.

(Wärtsilä Marine Solutions (Wärtsilä MS) 2016)



Figur 13. Genset med Wärtsilä 32TS motor. (Wärtsilä u.å.)

2.5.1 Förbränningsluftsystemet

En förbränningsmotor behöver luft för att kunna fungera. Förbränningsluftsystemet på Wärtsilä 32 motorn är systemet för tillförsel av luft till motorn. Systemet har också funktioner för strypning av luftflödet. I vissa extremt kalla förhållanden (arktiska) var motorns insugsluft har högre densitet än i normala förhållanden kan den kalla luften påverka turbons funktion p.g.a. att turbons kompressor arbetar utanför dess specifikt angivna användningsområde. Detta kan orsaka oönskade egenskaper såsom att cylindrarnas förbränningstryck ökar och att s.k. ”compressor surging” uppstår.

Vid start av motorn och vid låga belastningar i arktiska förhållande finns det en risk att man överkyler motorn p.g.a. att insugsluftens temperatur är under 0 °C efter turbons kompressor. (Wärtsilä MS 2016)

2.5.2 Exhaust wastegate och Air wastegate

För att undvika dessa oönskade egenskaper som nämnts i kapitel 2.5.1 *Förbränningsluftsystemet* så har man använt sig av s.k. *exhaust wastegate* (EWG) och *air wastegate* (AWG) på vissa motorer. Behovet att använda sig av dessa wastegates varierar beroende på motorns användningsförhållande och vad motorn används för.

Exhaust wastegaten styr turbons rotationshastighet genom att vid behov leda avgaser förbi turbons turbinhjul. Med detta kan man minska laddtrycket till motorn och därmed kan man förhindra att motorns cylindertryck stiger för högt.

Air waste gate:n fungerar på sådant sätt att den släpper ut laddluft från charge air receivern till atmosfären. Detta är en annan metod av att reducera laddtrycket till motorn. (Wärtsilä MS 2016)

2.5.3 Kylvattensystemet

På grund av att förbränningsmotorn producerar överskottsvärme så måste värmen ledas bort från motorn på något sätt. Detta är oftast utfört genom luftkylning eller vätskekylning med oljekylning som komplement.

I Wärtsilä 32 motorn använder man sig av vätskekylning och oljekylning. Vätskekylningen utförs med vatten som kylmedium. Kylvattensystemet är uppdelat i två olika kylvattenkretsar.

LT-water pipe som designarbetet i detta examensarbete berör är en del av motorns kylvattensystem. Motorns kylvattensystem är uppdelat i en högtemperatur- och lågtemperaturkrets (*high temperature (HT) & low temperature (LT)*).

”HT-vattnet koler cylinderfodren, cylinderlocken och laddluftkylarens första steg. LT-vattnet koler laddluftkylarens andra steg och motoroljan.” (Wärtsilä MS 2016)

(Wärtsilä MS 2016)

3 Metod

Detta kapitel beskriver de tillvägagångssätt som använts vid utförande av examensarbetet.

Arbetet har involverat en stor del designarbete i Siemens NX. Detta är från tidigare ett bekant datorprogram tack vare kurser i skolan och sommarjobb vid Wärtsilä som involverat användning av programmet.

Först genomgås förberedelser som gjorts före examensarbetet påbörjades. Kapitlet beskriver också vilka saker som materialval och val av tillverkningsteknik baserats på. Senare beskrivs de tillvägagångssätt som använts vid design av 3D-modellerna för designkonceptet. Slutligen beskrivs det hur man gör gjutsimuleringar för att analysera designen som gjorts.

3.1 Möten

Möten har varit en viktig sak i detta examensarbete. I dessa möten har det diskuterats över vad arbetet skall involvera samt vilka krav som ställs på designen. Mer om *krav på design* i nästa kapitel (3.2). Genom vidare möten har arbetets olika delmoment kunnat konstateras utförda och därmed har arbetet fortsatt till följande steg. De som har deltagit i dessa möten är jag, min chef och mina två handledare för examensarbetet. Här nedan beskrivs i korthet vad mötena har behandlat:

- *Första mötet* hölls 9.9.2016. I det första mötet gjordes en grundligare genomgång av vad examensarbetet skulle innehålla. I mötet gjordes det upp bl.a. arbetets begränsningar i form av olika arbetsmoment och vad som skulle beaktas när de nya designkoncepten planerades. I detta möte bestämdes kraven på designkoncepten (kapitel 3.2).

Det som bestämdes var att det skulle göras minst två olika alternativa designkoncept på gjutna komponenter för ersättning av den befintliga svetsade konstruktionen. Det som sågs som mest fördelaktigt var att man skulle på något sätt försöka få integrerat alla de delar av konstruktionen som arbetet behandlar till ett enda gjutgods. Dock visste inte någon ännu i detta skede ifall detta var möjligt att utföra. Detta kunde eventuellt ha orsakat att man gjorde gjutprocessen med konstruktion av gjutform och tillhörande saker oerhört svårt eller dyrt att utföra.

- *Andra mötet* hölls 1.12.2016. I detta möte gick man igenom de resultat som hittills åstadkommit. I detta skede hade det gjorts ett flertal halvfärdiga 3D-modeller för att pröva olika möjligheter på den nya designen. Dessa halvfärdiga 3D-modeller hade fungerat som en grund för den 3D-modell på ett nästan färdigt gjute som i mötet presenterades. Denna 3D-modell bestod endast av ett gjutgods som innehöll alla delar som den nuvarande svetsade konstruktionen bestod av. Konstruktionerna var nu integrerade till ett kompakt gjute med runda former på kylvatten och luftkanalerna. Det hade m.a.o. åstadkommit en nästan färdig 3D-modell på ett koncept till den nya konstruktionen. Det verkade dessutom som att det var möjligt att utföra designen med att integrera alla delar från den tidigare svetsade konstruktionen till ett enda gjutgods. Dock fanns det små detaljer som inte hade hunnit bli beaktade i 3D-modellen ännu som krävde vidareutveckling.

Nu kunde det konstateras att det var möjligt att göra den nya konstruktionen till ett gjutgods med alla tidigare svetsade delar integrerade till endast en gjuten komponent.

Under mötets lopp diskuterades det vidare om hur man kunde eventuellt göra ett annat designkoncept med allt integrerat till ett enda gjutgods. Detta var nödvändigt p.g.a. av att avgränsningarna som gjorts för examensarbetet krävde att det skulle göras två olika alternativ av det nya designkonceptet. Därmed bestämdes det att ett helt nytt designkoncept skulle göras. Denna variant kunde designas med inslag av att använda sig av mera vinkelräta former på kanalerna. Dock krävdes det att befintliga designkonceptet färdigställdes före följande påbörjades.

- *Tredje mötet* hölls fredagen den 13.1.2017. Nu presenterades det två olika alternativ för det nya gjutna designkonceptet. Båda varianterna var gjorda som ett enda gjutgods med alla tidigare delar av den svetsade konstruktionen integrerade till en enda komponent. Koncepten utvärderades och kunde konstateras vara färdiga för vidare processer. Som näst bestämdes att Wärtsiläs gjutexpert från R&D avdelningen skulle få kommentera och göra simuleringar i gjutsimuleringsprogrammet MagmaSoft. Dessutom skulle han få välja vilken av de två olika modellerna av designkoncepten som var bäst med tanke på gjutbarhet och hade lägst tillverkningskostnader

Det skulle även höras med en annan expert som har erfarenhet inom gjutning som skulle se på koncepten och ge ett utlåtande. För att säkerställa att utformningen på AWG-kanalerna inte orsakade störningar i flödet skulle en expert på turbosystemet

från R&D få se på formen av kanalerna och ta ställning till ifall det fanns behov av att göra ändringar i designen.

I detta skede kunde den praktiska delen i form av konstruktion av 3D-modeller för designkoncepten konstateras vara färdigt. Dock fanns det eventuellt behov av finjustering av det designkoncept som väljs som slutgiltig konstruktion.

3.2 Krav på design

I detta kapitel tas det upp vilka krav som ställts på de nya designkoncepten. Dessa krav har hjälpt att framta designen som slutligen gjorts. Kraven har även begränsat möjligheter hur man kunnat utföra designen på designkoncepten. Begränsningarna har varit nödvändiga för att inte påverka omgivande utrusning och konstruktioner för mycket. Kraven ställs även för att den nya konstruktionen skall uppfylla samma eller även bättre funktion än tidigare.

Dessa krav blev beslutade att skulle gälla för designkoncepten:

- Designkoncepten skall göras i Siemens NX 9
- Vara så billigt som möjlig att tillverka. Detta betyder i praktiken att minimal mängd av kärnor används till gjutet samt så lite användning av material som möjligt.
- Gjutna komponenterna skall vara av Segjärn (GJS) för att uppfylla Wärtsiläs interna standarder för gjutna komponenter av dessa slag, eventuellt kunde Gråjärn (GJL) användas. Det skulle utredas vad som krävs av materialet.
- Fästkonsolen skall helst vara integrerad i gjutet.
- 3D-modellerna skall designas som gjutna komponenter som kräver bearbetning efteråt. Detta innebär att man bör beakta behov av släppningsvinklar, bearbetningsmån och toleranser som gäller för gjutgoods med dessa dimensioner.
- Det vore fördelaktigt ifall man fick integrerat en fästpunkt för närliggande solenoidventiler till gjutet.
- Fästpunkterna för flänsarna till gjutet skall uppfylla Wärtsiläs interna standarder.

LT-water-rör delen av gjutet skall uppfylla dessa krav:

- Fästen för kylvattenröret skall hållas vid befintliga platser, eventuellt kunde man flytta på den nedre flänsens fästpunkt. Användning av bultar med samma gängdiameter skall vara möjligt.
- Flödesarean för LT-water kanalerna får inte minskas märkbart.
- LT-water kanalen skall ha ett uttag för en givare.
- LT-water kanalerna skall tåla provtryckning till det tryck som står i Wärtsiläs standard för komponenter i denna kategori.

AWG-rör delen av gjutet skall uppfylla dessa krav:

- AWG-kanalerna skall ha så symmetriska former som möjligt när man t.ex. jämför kanalen som kommer från de olika cylinderbankarna. Dessutom skall tvärsnittet på kanalernas flödesarea inte avvika märkbart från tidigare.
- Det skall finnas ett integrerat infästningsöra för AWG-ställdonet eller eventuellt vara möjligt att montera ett fäste för ställdonet.
- AWG-kanalerna skall tåla provtryckning till det tryck som står skrivet i Wärtsiläs interna standard för komponenter i denna kategori.

3.3 Val av tillverknings teknik

Val av tillverknings teknik grundar sig på erfarenhet av de personer som varit involverade i problemen som man haft med den nuvarande konstruktionen. Man vet med erfarenhet att en serie med gjutna komponenter blir i slutändan ett mer ekonomisk alternativ jämfört med en svetsad konstruktion. Dock krävs det en serie med flera gjuten för att detta skall uppfyllas.

I *kapitel 2.2* finns det en *Jämförelse mellan svetsad och gjuten konstruktion*. Utifrån innehållet i *kapitel 2.2* (tabell 5) kan man från jämförelsen konstatera att gjutning är föredraget ifall det är möjligt att utföra. Man bör i detta fall kunna acceptera en aningen längre genombrotts tid än för en svetsad konstruktion. En sak som dock bör beaktas är ifall den färdiga komponentens aningen sämre reparations- och ändringsbarhet kan bli ett problem vid val av gjutjärn som material vid gjutning.

Genom att välja gjutning som den nya tillverknings tekniken underlättar man möjligtvis också monteringsarbetet ifall man kan göra gjutet till en enda komponent som är lätt att montera.

Fördelen med att välja gjutning som tillverknings teknik är fördelaktigt också menar Johansson J. (enligt Johannesson, et.al. 2013, 458) som skriver: *”Ofta kombineras olika tillverkningsmetoder: ett gjutet eller smitt ämne bearbetas skärande till slutliga toleranser och bearbetas genom borrar och gängning. Det är ofta gynnsamt att välja en tillverkningsmetod som minimerar eller eliminerar efterföljande bearbetning.”*

3.4 Materialval

Vid val av material för ett gjutgods är det många saker som kan påverka materialvalet. Man bör ta noga reda på den gjutna detaljens användningsområde och vilka egenskaper som man önskar av materialet. Gjutmetoden spelar också en roll i materialvalet. Med detta kan man börja avgränsa sitt materialval. Genom värmebehandling av gjutet kan man förändra och även förbättra materialets egenskaper. Detta är nödvändigt speciellt vid gjutning av gjutstål.

Gjutjärn såsom gråjärn och segjärn är typiska materialval för maskindelar, rör och bildelar etc. Dessa har båda god gjutbarhet men skiljer sig annars en del från varandra. Både gråjärn och segjärn är mycket använda material (tabell 4) även för delar till Wärtsiläs motorer och är bra startpunkter för val av material till den typ av komponenter som detta examensarbete

behandlar. Med orsak av detta beskrevs båda materialen mer ingående i kapitel 2.1.6 *Gjutmaterial*.

I gjuten av denna typ använder man sig oftast av segjärn eller gråjärn som material. Val av material grundar sig på vad som står föreskrivet i Wärtsiläs interna standard för gjutna komponenter som är i kontakt med AWG-kanalens tryck.

Som material för detta gjute väljs *segjärn EN-GJS-500-14*. Detta p.g.a. av att laddtrycket i AWG-kanalen orsakar ett stort tryck mot gjutgodsets väggar och därför krävs det ett tåligt material. Segjärn EN-GJS-500-14 har en smältpunkt på 1350 °C och en kolhalt (C) som ligger på 3,6 %. Materialet innehåller även 0,5 % koppar (Cu). Detta är den specifika data för materialet som använts vid gjutsimuleringarna av designkoncepten för gjutgodsen (kapitel 4.4. *Resultat av gjutsimuleringarna*).

Materialvalet har även blivit bekräftat av Olli Eronen, Wärtsilä R&D (E-post 2.11.2016):

"I AWG-röret bör det användas Segjärn EN-GJS-500-14 som material. Detta p.g.a. laddtrycket som röret utsätts för. Gråjärn (GJL) håller inte riktigt bra tryck. Segjärnets (GJS) hållfasthet-, seghets- och utmattningsegenskaper är bättre än gråjärnets. Ifall komponenten skulle vara tillverkad av gråjärn och av någon orsak skulle gå sönder kan den orsaka en explosion som kan liknas med avfyrning av en handgranat."

Val av material för gjutformen och kärnorna för detta gjute är kiseldioxidsand med furan som bindemedel. Kiseldioxid (SiO_2) är en förening av kisel och syre med en hög smältpunkt på 1720°C. Furan ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}$) är en kemisk förening som är i vätskeform vid rumstemperatur. Modellen för gjutformen skulle i detta fall tillverkas av plast.

3.5 Design av 3D-modell i Siemens NX

Designen av 3D-modellerna för designkoncepten gjordes i Siemens NX 9. Detta är ett mycket bra och avancerat program för framtagning av 3D-modeller, dock krävs det viss inlärningsperiod för att användaren skall hantera programmets olika verktyg smidigt och att lära sig göra parametriska 3D-modeller.

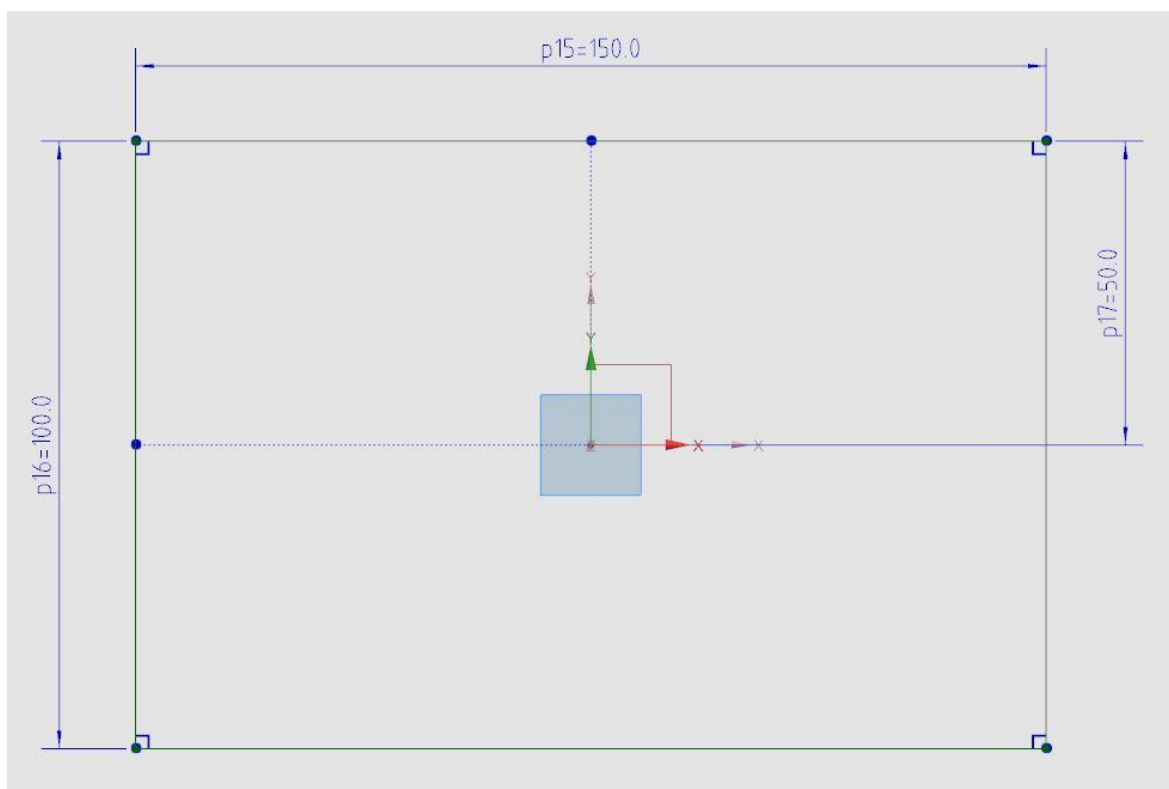
Före 3D-modellerna av de slutgiltiga koncepten gjordes i NX så skissades det alternativ av olika lösningar av designen. Först gjordes 3D-modellerna så enkla som möjligt för att se ifall man skulle stöta på större problem varefter det tillsattes mindre funktioner.

När själva designen gjordes i NX strävades det hela tiden till att det lätt skulle gå att ändra på huvudmått på 3D-modellen efteråt, utan att modellen kraschade. Detta görs genom att noga välja i vilken ordningsföljd man gör de olika funktionerna för att skapa 3D-geometrin. Det är även viktigt att välja rätt typ av funktion i NX som går lätt att definiera om efteråt ifall man vill t.ex. ändra ett huvudmått på något.

3.5.1 Allmänt tillvägagångsätt för skapande av 3D-modell i Siemens NX

Normalt görs 3D-design i NX genom att man ritar upp den form man önskat i ett 2D-plan t.ex. i form av en sketch (se figur 14). Man går vidare från detta genom att t.ex. extrudera eller rotera sketchen, detta bildar nu en 3D-kropp (figur 15). Både sketchen och extruderingen är s.k. funktioner i NX. Genom detta går det att bilda mycket avancerade 3D-modeller.

Figur 14 visar hur en sketch av en rektangel är gjord i NX. Sketchen är fullt definierad med alla mått som behövs, måtten är angivna i millimeter. Prickarna med de streckade linjerna är s.k. *midpoint constrains* medans hörnen är definierade som vinkelräta med märkningarna som syns. Hela sketchen har ett koordinatsystem som dess mittpunkt, koordinatsystemets Y- och X-axlar syns i centrum av sketchen. Denna sketch bildar ett rätblock genom extrudering som syns i Figur 15.



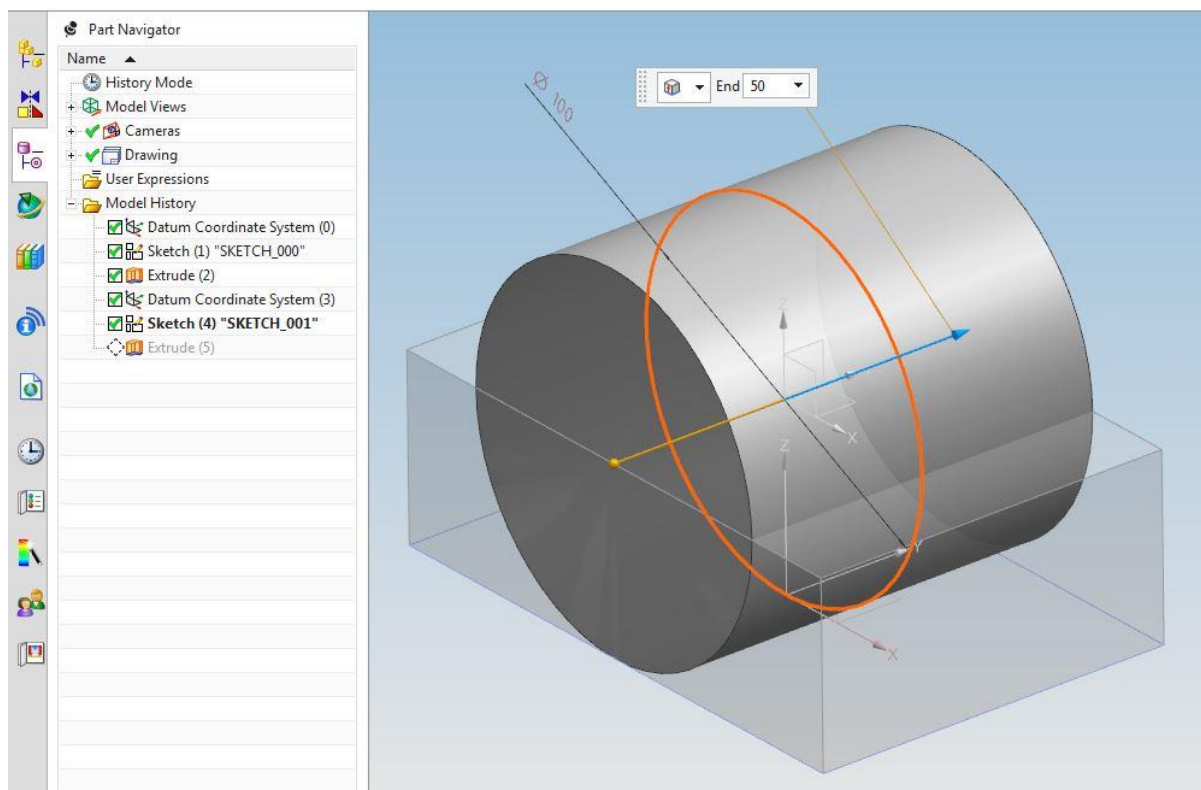
Figur 14. Enkel sketch i NX.

NX har en mycket stor samling av olika verktyg för att underlätta arbetet för uppbyggnad av olika former. När man tillsätter dessa *funktioner* bildar NX ett historietråd (*model history*) var funktionerna visas som en stapel med den första funktionen man gjort högst upp och den

senaste funktionen lägst ner i stapeln. Det är möjligt att justera parametrar såsom mått och former på sketcher i historieträdet även efteråt, men detta bör man göra endast ifall man har gjort modellen parametrisk eller har full koll på hur man påverkar modellen. Ifall man inte respekterar detta kan geometrin på modellen förstöras. Det är även möjligt att flytta funktionerna framåt och bakåt i historieträdet ifall man inte rubbar funktionernas beroende av varandra.

Genom att rita individuella sketcher kopplade till individuella koordinatsystem bildar man lätt en modell som det går smidigt att ändra på parametrar efteråt utan att modellen förstörs.

I figur 15 nedan syns till vänster det s.k. *historieträdet* (Model history). Till höger syns geometrin man skapat. Geometrins utplaceringspunkter är definierade av två koordinatsystem. Dessa har vardera en sketch som bildar en kropp genom extrudering. *Extrude (5)* är aktivt i historieträdet. *Extrude (5)* är kopplat till *Sketch (4)*, vilket är en sketch i form av en cirkel som är beroende av koordinatsystem nr. 2 (*Datum coordinate system (3)*) i historieträdet.

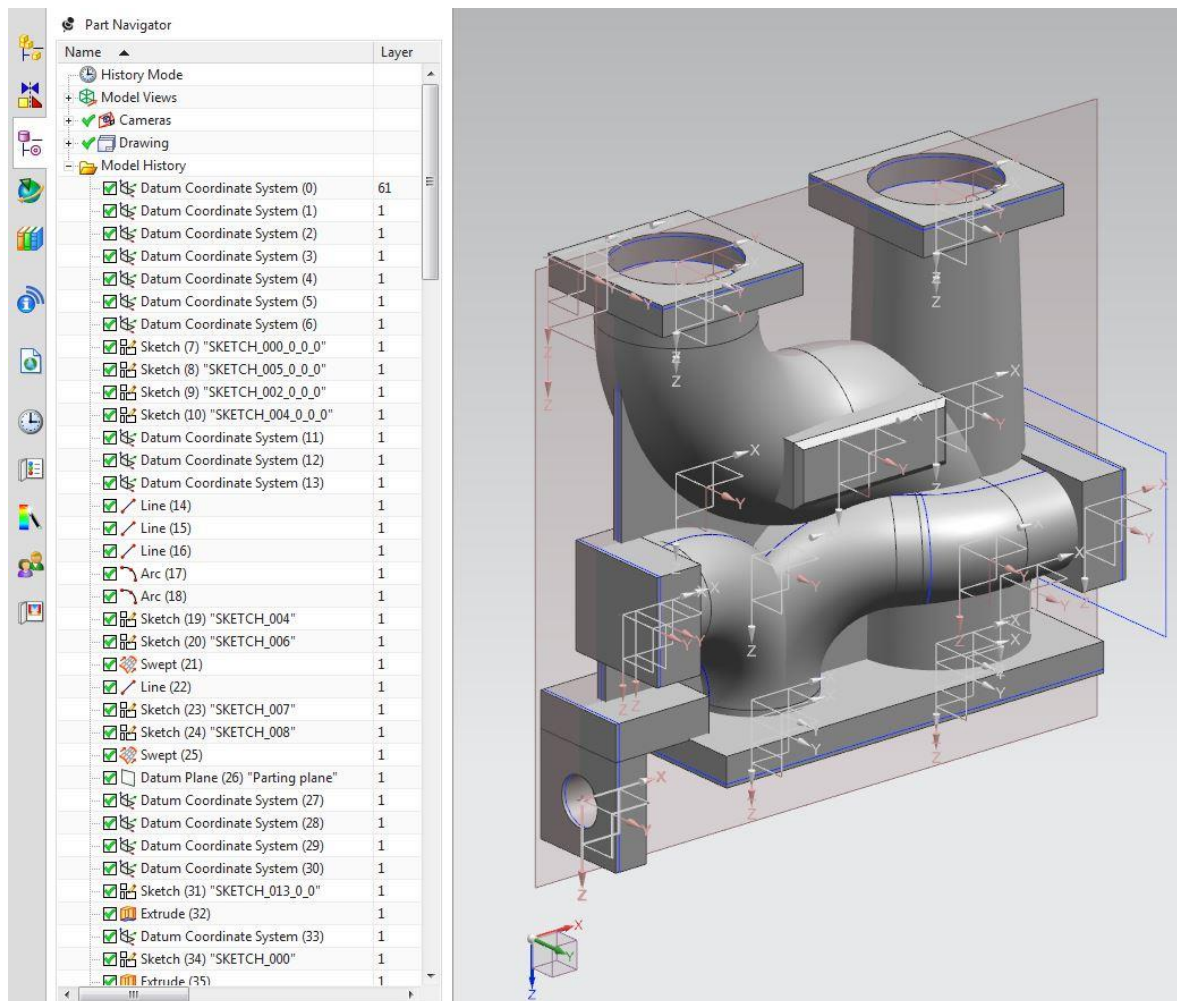


Figur 15. Extrudering av sketch i NX.

3.5.2 Uppbyggnad av 3D-modeller för designkoncepten

Vid skapande av 3D-modellerna för designkoncepten i NX har det försökts att alltid eftersträva konstruktionen av 3D-geometrierna med så få antal funktioner som möjligt. Med detta uppnår man en bättre struktur i historieträdet och det är lättare att modifiera modellerna efteråt.

Först gjordes huvudmåttan och de största detaljerna som 3D-geometrier (figur 16).

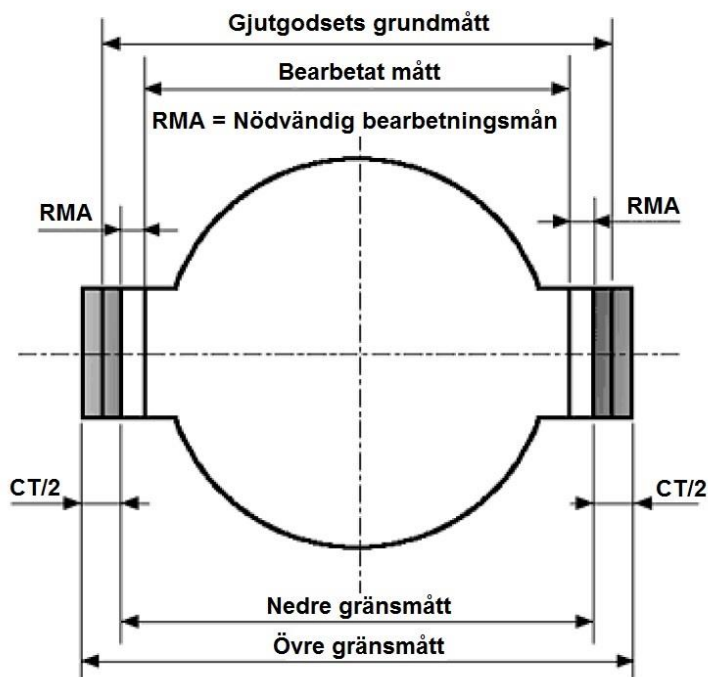


Figur 16. Grundgeometrin för designkoncept nr. 1 utan mindre detaljer.

Som man kan se i historieträdet ovan (figur 16) så har modellfilen många koordinatsystem. Detta är till för att man skall kunna flytta de största 3D-geometrierna individuellt när man justerar huvudmåttan.

3D-modellerna gjordes med de huvudmått som de skulle ha efter att man har bearbetat gjutgodset. Slutligen lades det till bearbetningsmån i forma av att göra flänsarna och fästpunkterna som skall bearbetas tjockare (figur 17).

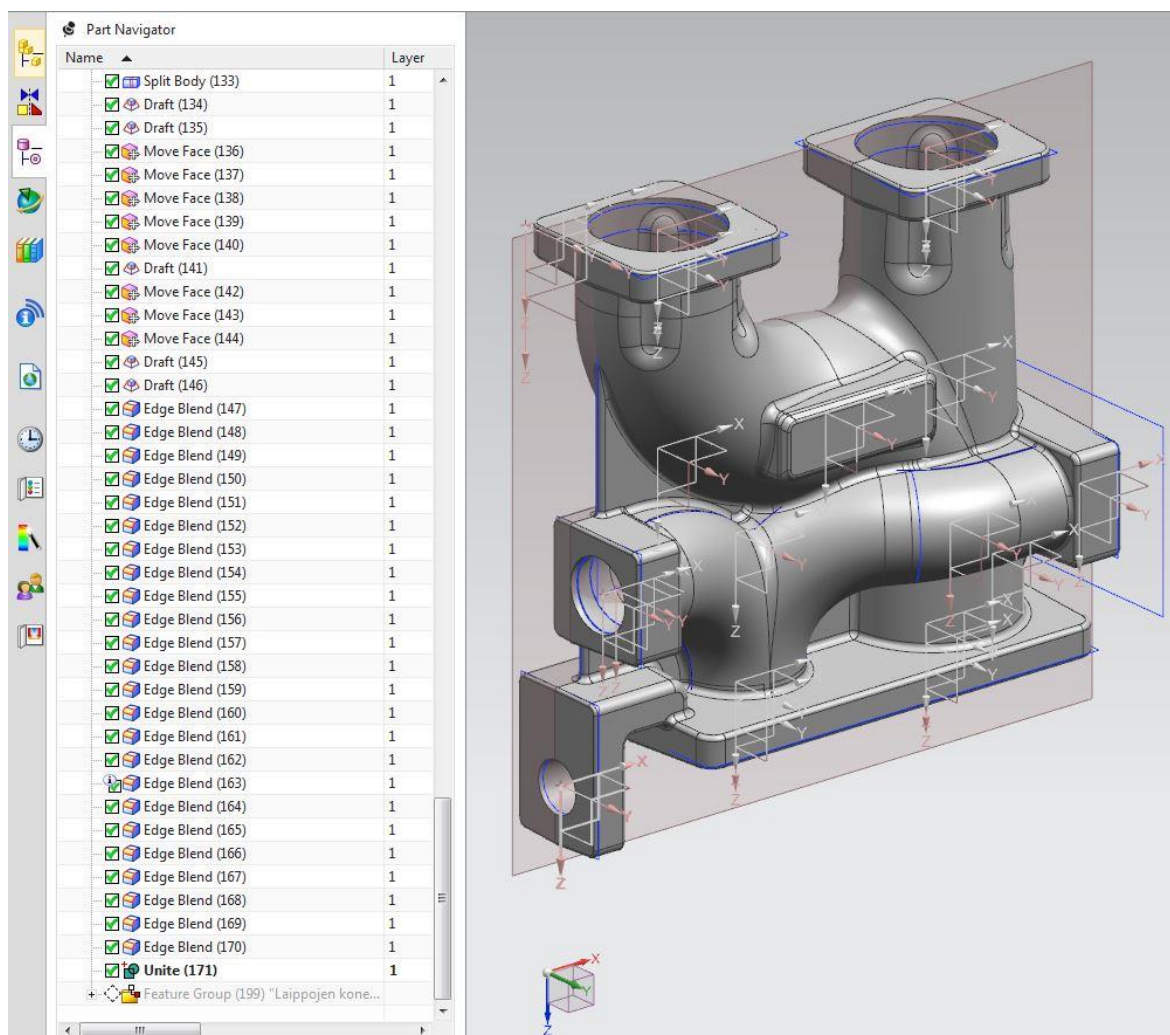
Bearbetningsmånen väljs utgående från standarden ISO 8062 som innefattar 16 st. CT-toleransgrader. Standarden tillämpas beroende på vilka mått man har på gjutgodset. Toleransen för gjutgodset välj ut ur tabeller genom beaktande av vilka huvudmått man har på gjutgodset.



Figur 17. Beskrivning av bearbetningsmån för gjutgods (Valuatlas u.å.)

Som näst när grunden för gjutgodset är färdigt så görs släppningarna för gjutet. NX har färdigt inbyggda funktioner för att justera släppningsvinklar för ytor. Efter att släppningarna är gjorda gör man rundningar av hörn och kanter.

Det röda transparenta planet som syns i figur 16 och 18 är partytan som gjorts för att lättare hålla reda på om man får negativ släppning på något ställe i gjutgodset.



Figur 18. Färdig 3D-modell för designkoncept nr. 1

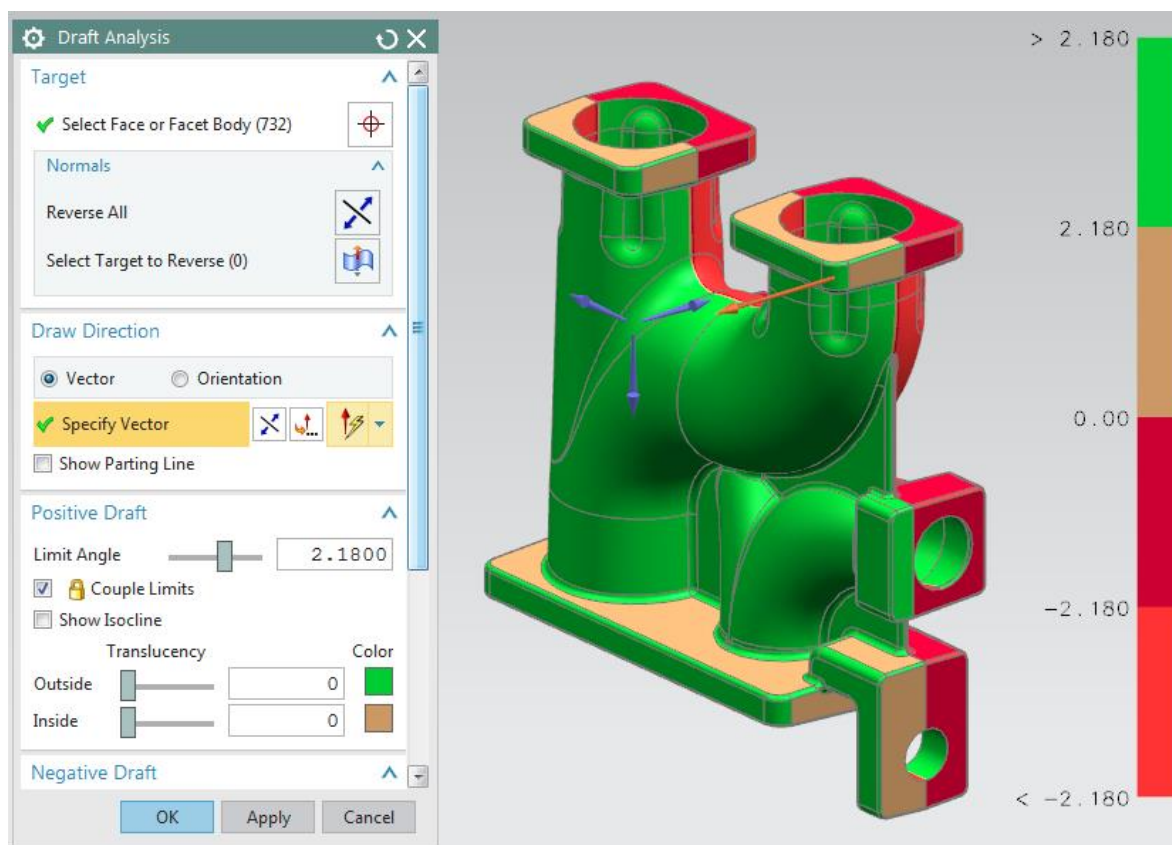
Båda de designkoncept som konstruerats har 12 mm vägg tjocklek på de ställen som det varit möjligt att ha det på. Måttet för vägg tjockleken är baserat på minimivägg tjocklek för gjutet enligt standard och vad som är lämpligt ur hållfasthetssynpunkt. Jämntjocka väggar görs även för att få ett jämntjockt gjute utan onödiga hotspots vid gjutningen. Dessutom sparar man pengar genom att inte använda onödigt mycket material där det inte är nödvändigt.

3.5.3 Draft Analysis

Draft Analysis är ett analyseringsverktyg som är inbyggt i NX. Verktöget kan användas för att analysera en 3D-modell av ett gjutgods för att säkerställa sig av att man gjort släppningar för gjutet på alla de ställen som det är nödvändigt.

Man använder verktöget efter att släppningarna är gjorda i NX. I detta fall har det valts att partytan får vara utgångspunkt för analysen. Verktöget färgsätter geometrin enligt en justerbar skalan för släppningsvinklarna (figur 19).

Figur 19 visar hur större delen av gjutets baksidan har släppningsvinkel $>2.18^\circ$ enligt skalan, medans flänsarna är beigefärgade för att indikera en släppningsvinkel på $<2.18^\circ$. Flänsarna är gjorda med 2° släppning.



Figur 19. Draft Analysis i NX

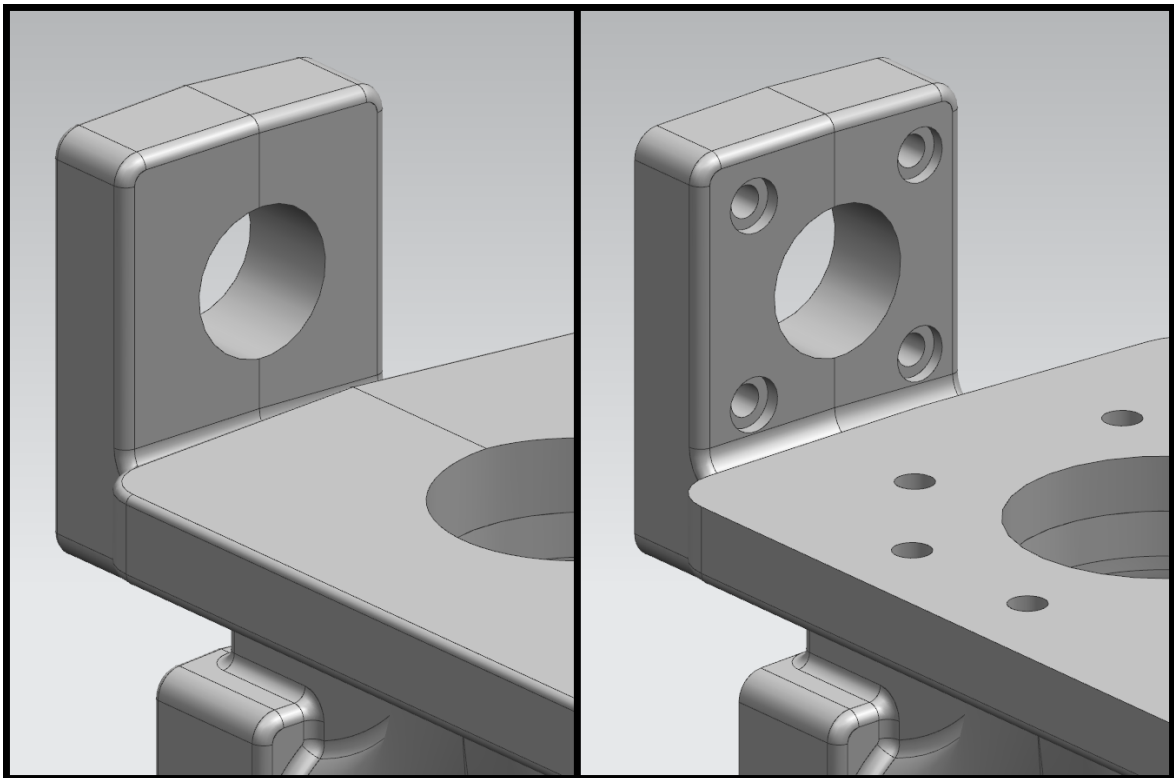
Detta verktyg har använts för att kontrollera att gjutgodset har blivit designat utan negativa släppningar (motsläppning). Verktöget underlättar upptäckandet av negativ släppning och är mycket användbart när man arbetar med design av gjutgods i NX.

3.5.4 Wave Geometry Linker

Wave Geometry Linker är ett bra sätt att behålla 3D-modellen för ett ”rått gjutgods” synkroniserat till 3D-modellen av det bearbetade gjutgodset.

Wave geometry linkern fungerar i detta fall med att man kopierar geometrin associativt från en komponent och linkar det till en annan komponent. Ändringar som görs på den ursprungliga komponenten ändras automatiskt hos den kopierade. Ändringar som görs på den kopierade komponenten påverkar inte den ursprungliga.

Genom att använda detta när man arbetar med bearbetade gjutgods i NX kan man ha en skild 3D-modellfil för det bearbetade gjutgodset. Detta är praktiskt p.g.a. av att ändringar på det råa gjutgodset påverkar det bearbetade gjutgodset, medans ändringar på bearbetningarna inte påverkar det råa gjutgodsets geometri.



Figur 20. 3D-modell av rått gjutgods och bearbetat gjutgods

För att gjuteriet skall få en 3D-modellfil som inte innehåller bearbetningar så har det gjorts en separat fil med en 3D-modell var bearbetningarna är gjorda för gjutgodset. I figur 20 kan man se det råa gjutgodset till vänster medans den ”Wave-linkade” 3D-modellen som används för bearbetningen till höger.

3.6 Gjutsimuleringar

För att få en bättre bild om gjutbarheten av designkoncepten som gjorts, utfördes det simuleringar i datorprogrammet Magmasoft. Genom att göra detta kan man upptäcka eventuella problem med gjutet och göra förbättringar av 3D-modellen för gjutet före man tar kontakt med gjuteriet. Simuleringarna gjordes med hjälp av Wärtsiläs egna gjutexpert på R&D-avdelningen.

Simuleringsprocessen börjar med att man överför 3D-modellfilen som gjorts med ett CAD-program över till Magmasoft (i detta fall Siemens NX 9). Användaren får själv välja material på gjutgodset, gjutformen och kärnorna. 3D-modellen konverteras till en *mesh* som är ett beräkningsnätverk indelade i kuber. Antalet kuber rör sig oftast av miljoner till antalet.

Denna mesh formar nu geometrin av den ursprungliga 3D-modellen i Magmasoft. Programmet kan nu beräkna skilt hur varje kub påverkas under gjutprocessen och därför erhålls det ett mycket exakt resultat genomgåendes i gjutgodset alla områden.

Resultatet man får ut från Magmasoft är beroende på hur noggrant resultat som användaren vill ha. Resultatets noggrannhet påverkar tiden som krävs för beräkning, en enklare simulering tar några minuter medans en mer avancerad simulering med mycket noggrant resultat kan ta en hel arbetsdag. Genom att göra en enkel simulering får man oftast relativt tillförlitliga resultat för gjutgodsets porositeter, hotspots och uppskattade mekaniska egenskaper som t.ex. hur draghållfastheten är fördelad i gjutgodset. Resultaten går att få i både text- och bildform. Man kan även få ut ett videoklipp på hur stelningsförloppet sker.

Ifall man efter erhållet resultat märker något problem kan man i Magmasoft göra nya simuleringar. När man gör en ny simulering kan man försöka eliminera felet med att tillsätta en *matare* eller t.ex. en *kylkropp*. Detta kan göras direkt i Magmasoft utan att göra några ändringar på den ursprungliga 3D-modellen som gjorts i Siemens NX eller något annat CAD-program. Användaren kan själv välja storlek eller standardtillverkad typ av matare. Mataren kan fritt placeras ut på modellen, samma gäller kylkroppen som kan ritas ut var som helst på modellen.

När man erhållit ett resultat och vill använda detta för vidare analysering av gjutgodset kan man som nästa steg göra t.ex. FEM-simuleringar. För att kunna göra en FEM-simulering av godset bör man använda sig av den mesh som man gjort i Magmasoft. Processen går ut på att man använder sig av den *kubiska-mesh* som Magmasoft genererat samt erhållna resultat från gjutsimuleringarna. Som näst överförs den *kubiska-beräkningsmeshen* och de erhållna

materialegenskaperna från gjutgodsets gjutsimuleringsresultat över till ett FEM-beräkningsprogram. FEM-programmet gör nu en egen *tetraeder-mesh* med de erhållna specifika materialegenskaperna som är uppdelade i noderna. Nu kan man använda sig av de egenskaper som det specifika gjutgodset har för vidare analysering av gjutgodsets egenskaper. Typiska program som används till dessa FEM-simuleringar är *FEMFAT* och *Abaqus FEA*.

4 Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten som framkommit av examensarbetet. De två designkoncept som gjorts presenteras och det görs en genomgång av deras fördelar och eventuella nackdelar.

Kapitlet innehåller också resultat av gjutsimulering av designkoncepten samt vad som erhållits som feedback av experter som åhörts.

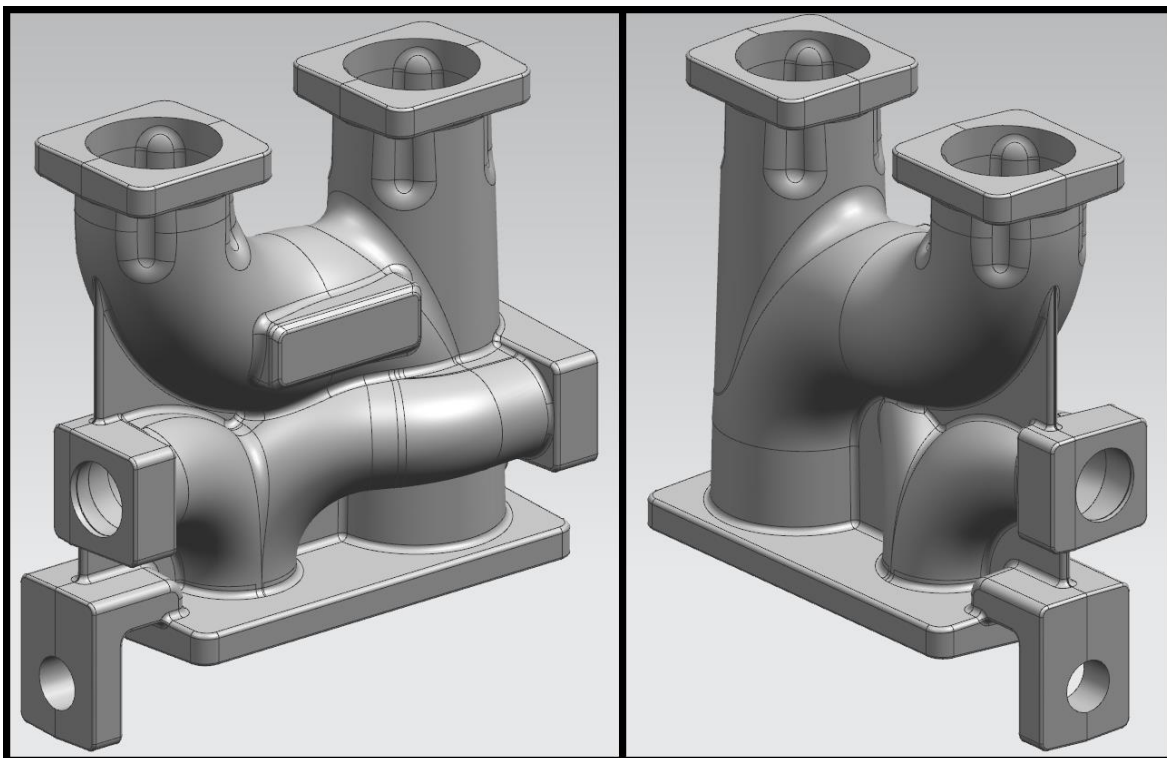
4.1 Designkoncept nr. 1

Det första designkonceptet som gjordes i NX är inspirerad av den nuvarande designen av svetsade rör genom att det försökts bibehålla den runda rörprofilen på kanalerna till AWG samt kylvattenrören. Utifrån original design på konstruktionen så har det flyttats på AWG rörens flänsar. Själva AWG-ventilens fästpunkt har flyttats och även roterats 180 °.

Detta är den variant som har mindre massa av de två designkoncept som gjorts, vikten på detta gjutgods är 92 kg. Kanalernas ingångar för AWG:n har samma diameter som den nuvarande konstruktionen har. Kylvattenkanalerna har samma diameter som de ingångar de är kopplade till för att inte orsaka strypning av flödet.

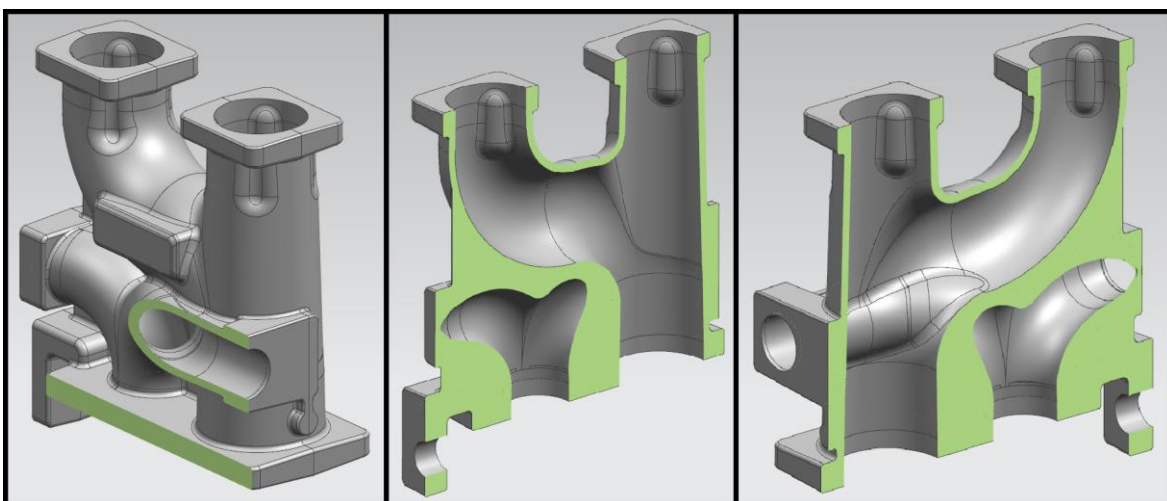
Resulterade blev en kompakt 3D-modell av designkonceptet. Partlinjen är rak genomgåendes i gjutet och formar en obruten partyta. Gjutet är konstruerad så att det går att gjutas med endast två separata kärnor och med en lös kärnbit för AWG-monteringsörat. Denna 3D-modell var tidskrävande och utmanande att göra. Detta p.g.a. att de runda formerna på gjutets yttre sida i närheten av partytan bidrog till negativ släppning som måste elimineras för att det skall kunna gjutas.

I figur 21-24 presenteras bilder av de 3D-modeller som gjorts i NX. Figur 21 och 22 visar enbart konceptet medans figur 23 och 24 är det bearbetade gjutgodset fastmonterat i motorn med en del av omkringvarande utrusning aktiva.

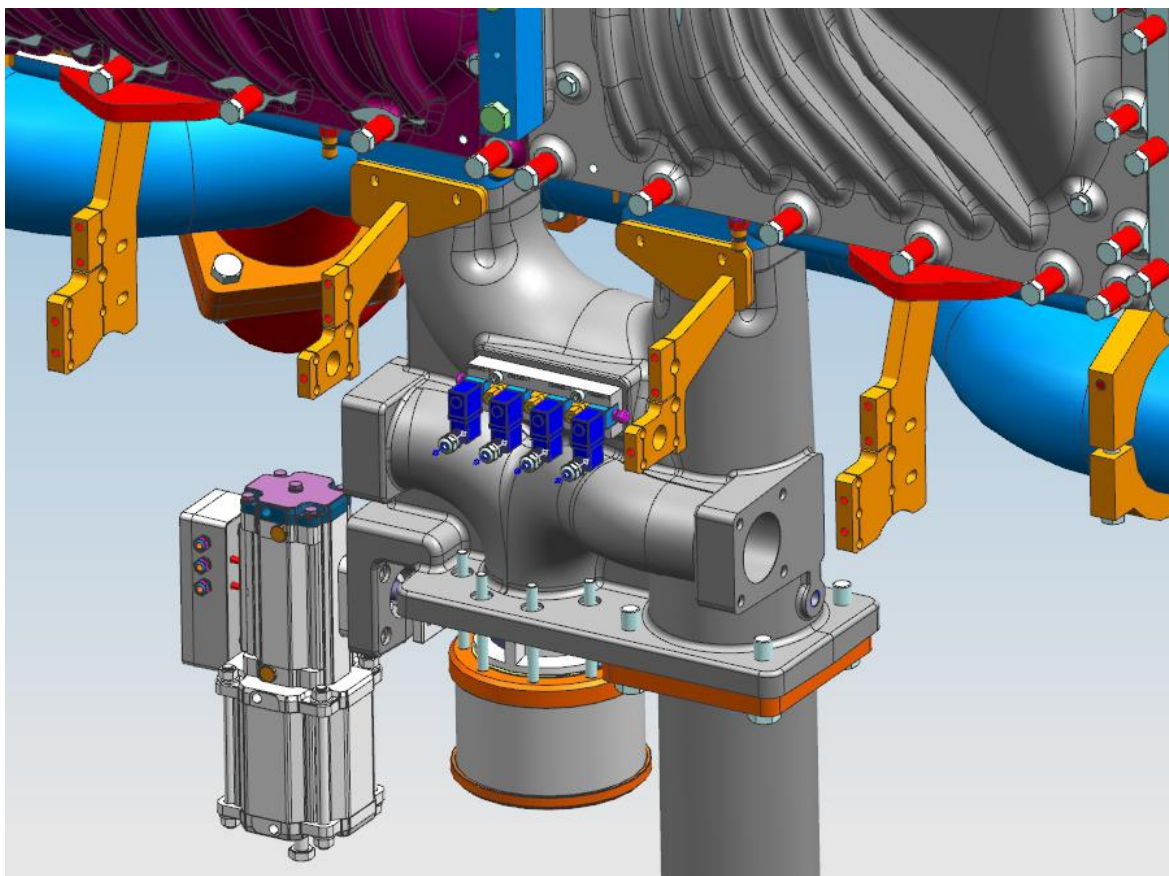


Figur 21. Designkoncept nr. 1

Figur 22 visar genomskärningar av designkoncept nr. 1 för att man skall få en bättre bild av hur kanalernas utformning är förverkligad.



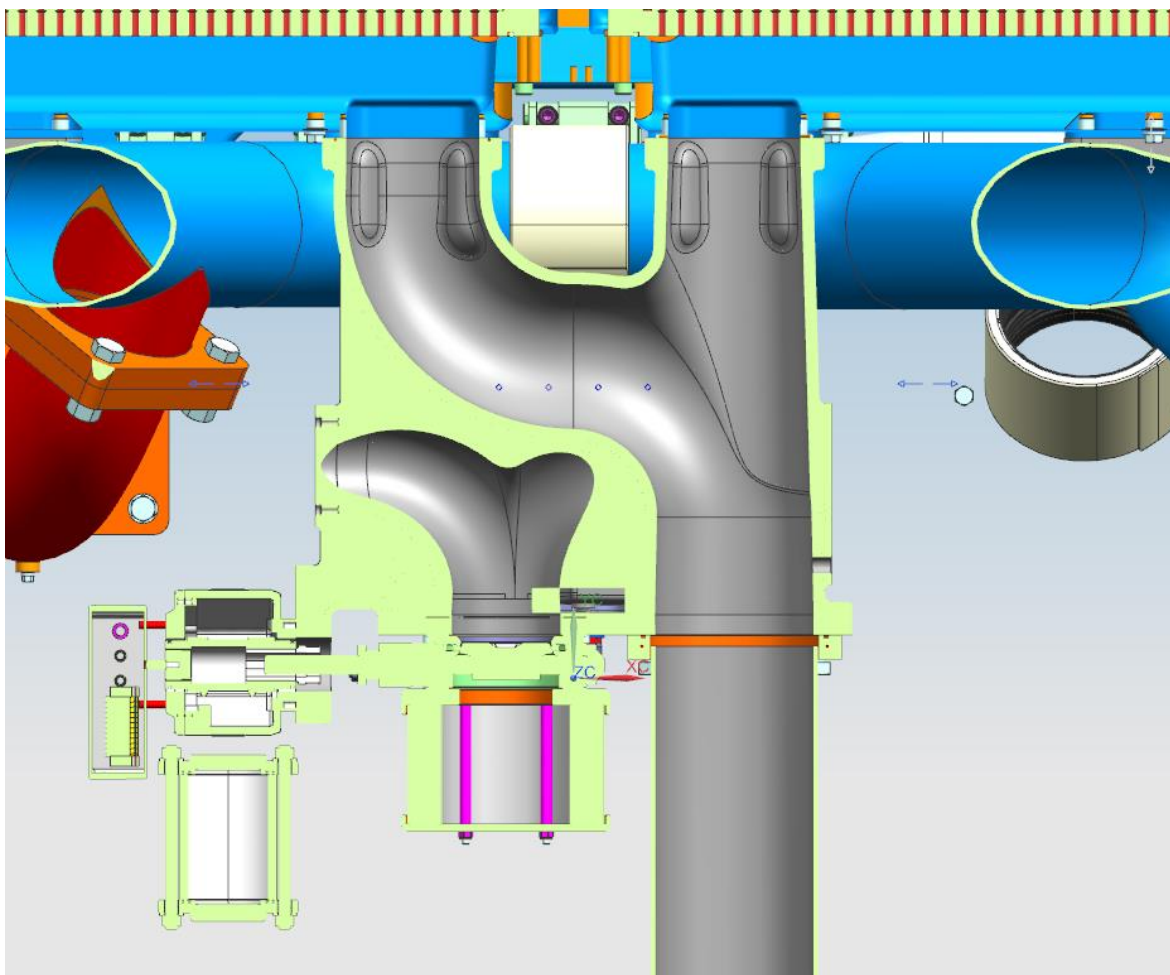
Figur 22. Genomskärning av designkoncept nr. 1



Figur 23. 3D-sammansättning för bearbetat designkoncept nr. 1

Figur 23 visar 3D-sammansättning av det bearbetade designkoncept, här syns även hur AWG:n har flyttat plats som kan jämföras med figur 1. Ur sammansättningen fattas ett flertal komponenter.

I figur 24 ser man en genomskäring av konstruktionen med centrum av kylvattenkanalen som skärplan. I övre änden syns kylaren och i nedre änden är ett kylvattenrör. Utformningen för AWG-kanalerna kan ses från kärnan till gjutformen i figur 41 (kapitel 5.2 *Vidareutveckling*).



Figur 24. Genomskäring av 3D-sammanställning för designkoncept nr. 1

4.2 Designkoncept nr. 2

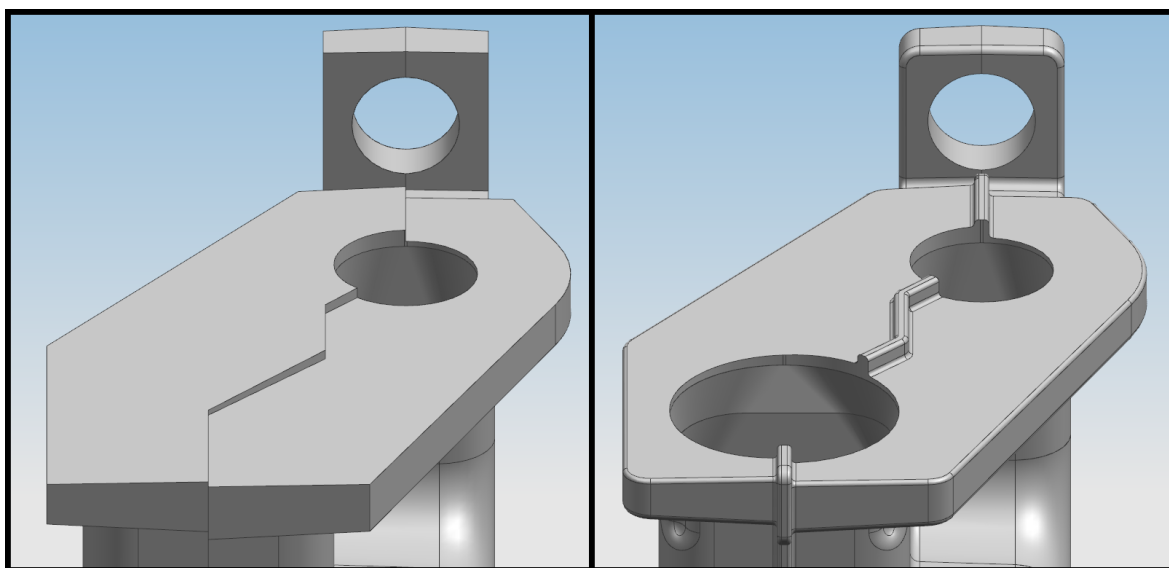
Hos 3D-modellen för det andra designkonceptet har det eftersträvats en design med mera kantiga former för att lättare kunna planera var partlinjen skulle placeras och att lättare kunna göra släppningsvinklarna för gjutgodset. AWG-kanalerna på detta designkoncept är aningen större än designkoncept nr. 1 på grund av den kantigare designen.

Detta designkoncept av gjutgodset väger 115 kg vilket är den med större vikt av de två designkoncept som gjorts. Även i detta koncept är AWG-ventilens monteringspunkt roterad 180 ° och flyttad.

Gjutet har en bruten partlinje. Detta gjute har också en mycket mer invecklad partlinje och är bredare utifrån partytan sett vilket också resulterar i en djupare gjutform.

När man gjort släppningsvinklarna i NX för denna 3D-modell resulterar det i att vissa ytor som släppningarna gjorts för blir förhöjda olika mycket intill partlinjen och orsakar skarpa kanter. Detta sker p.g.a. att ytorna som man gör släppningarna för inte har partlinjen i centrum av ytan på alla områden.

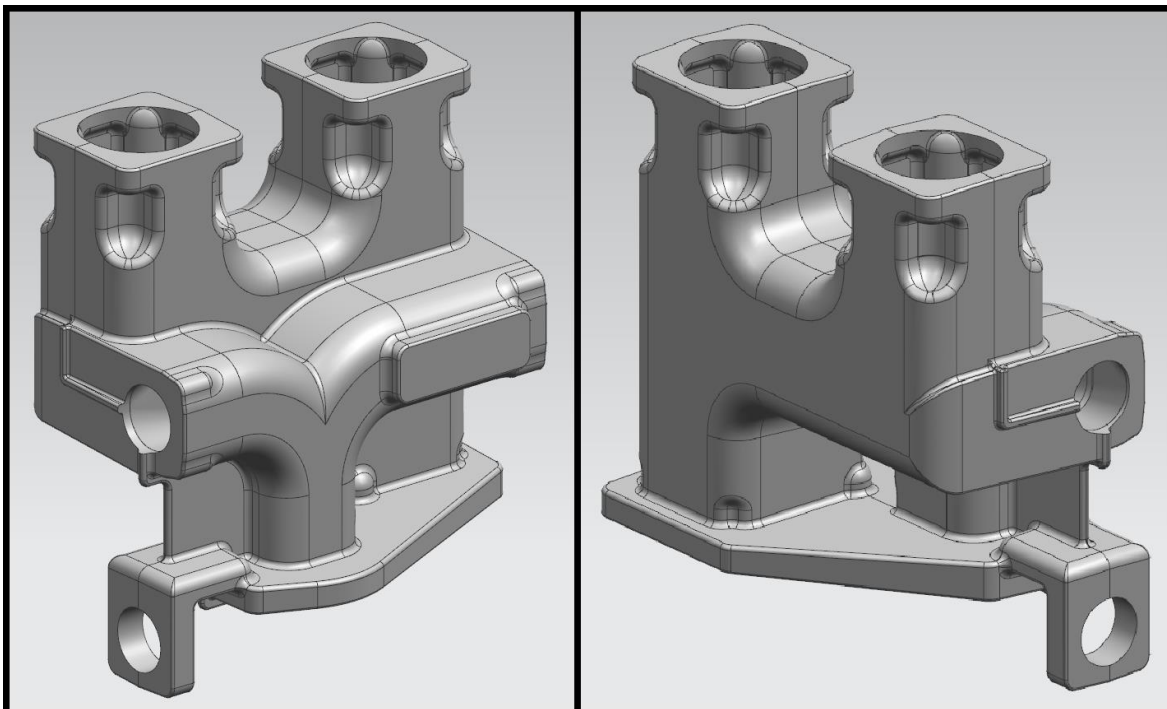
För att få bort dessa skarpa kanter har det gjorts förhöjningar i mitten av de utsatta ytorna för att täcka de olika höga kanterna. I figur 25 ser man på vänster sida modellen utan förhöjning och till höger syns rundningar på hörn och kanter som senare gjorts.



Figur 25. Detalj av designkoncept nr. 2

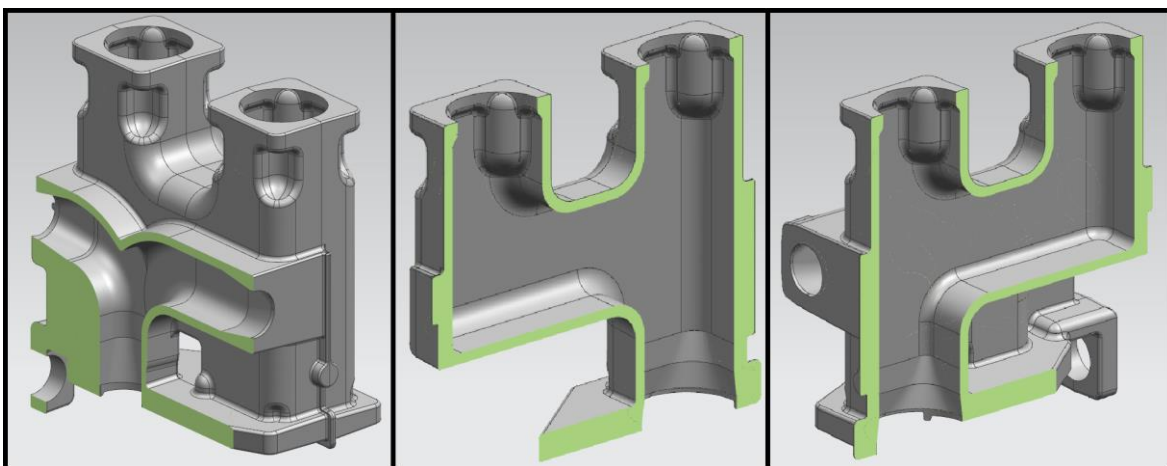
Förhöjningarna tas bort från gjutgodset på de ställen där de är i vägen. Detta sker i samband med att man efterbearbetar de ytor var förhöjningarna sitter.

I figurerna 26-29 presenteras designen för designkoncept nr. 2.

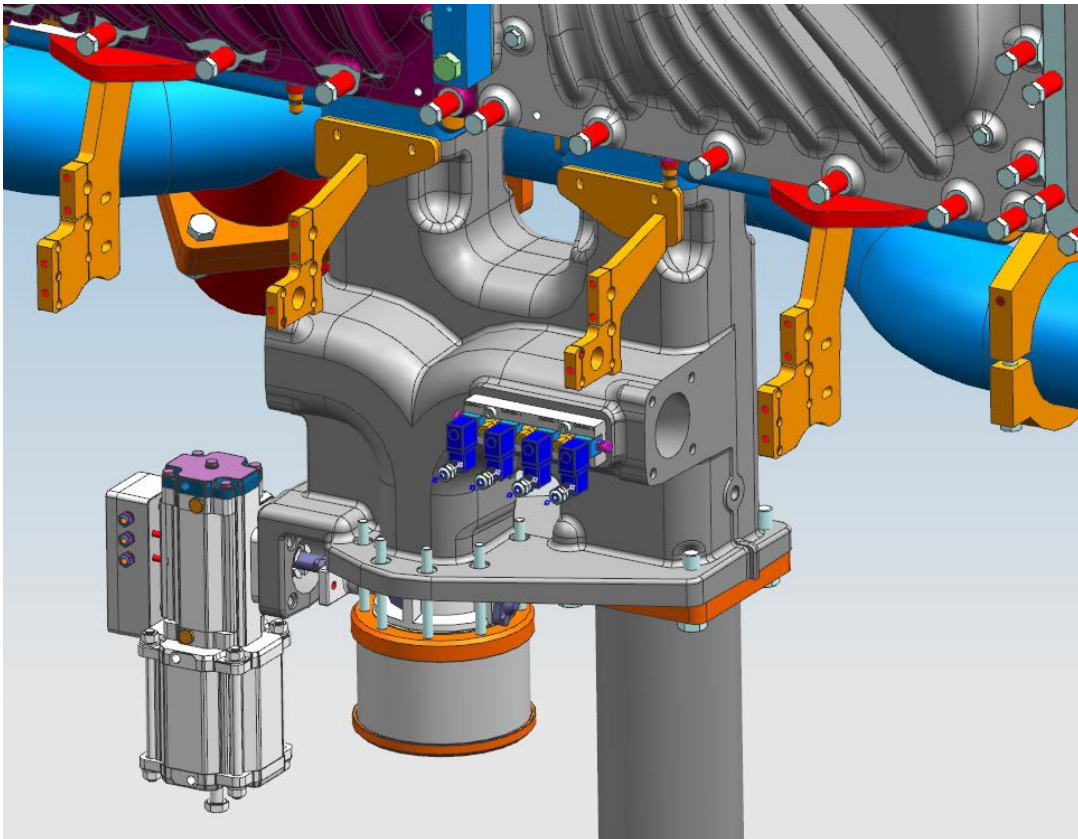


Figur 26. Designkoncept nr. 2

Figur 27 visar genomskrningar av designkonceptet. Till vänster har det använts centrum av AWG-kanal som skärplan, medans till höger har centrum av LT-water kanal använts som skärplan.

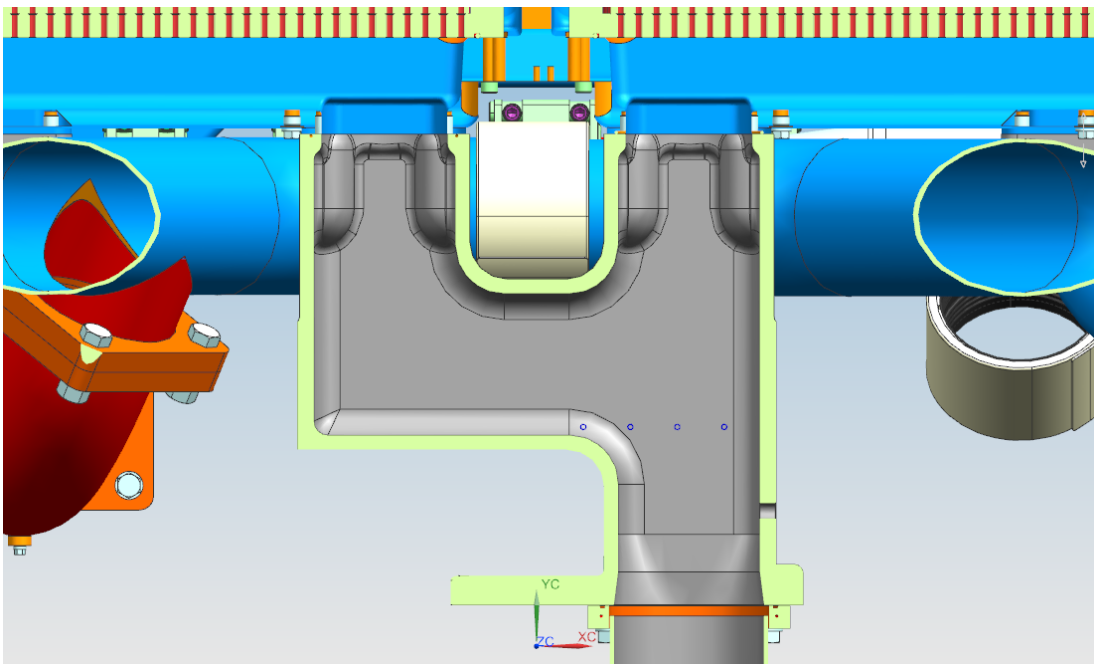


Figur 27. Genomskrning av designkoncept nr. 2



Figur 28. 3D-sammanställning för bearbetat designkoncept nr. 2

Figur 28 och 29 visar det bearbetade gjutet som är fastmonterat i motorn. Alla omgivande komponenter är inte med i sammanställningen som syns.



Figur 29. Genomsnitt av 3D-sammanställning för designkoncept nr. 2

4.3 Utvärdering av designkoncepten

Efter att båda 3D-modellerna på de nya designkoncepten var färdiga fick de från Wärtsilä utsedda experter inom gjutning och turbosystemet göra utvärderingar av designkoncepten. Utvärderingarna av koncepten gav en positiv feedback. Koncepten ansågs vara kompakta gjuten med en jämn materialtjocklek och relativt naturliga former.

Som tidigare beslutats så var gjutexpertens uppgift att välja den modell av designkoncepten som var enligt honom bättre med tanke på gjutning och hade lägst tillverkningskostnader. Detta resulterade i att designkoncept nr. 1 blev vald som det lämpligaste alternativet.

Valet av designkoncept nr. 1 begrundar sig på att gjutet har en simplare partlinje vilket gör att gjutformen är betydligt billigare att tillverka. Dessutom har gjutgodset ca 20 % mindre massa än designkoncept nr. 2 vilket gör att godset kräver mindre material vid tillverkningen, detta resulterar i att man sparar in pengar.

Wärtsiläs expert på turbosystem gjorde en utvärdering av AWG-kanalernas utformning i designkoncept nr. 1 för att säkerställa sig av att det inte skulle orsaka problem för luftflödet till AWG-ventilen. Som resultat av detta kunde det konstateras att det inte skulle medföra några problem hur utformningen av dessa kanaler gjorts.

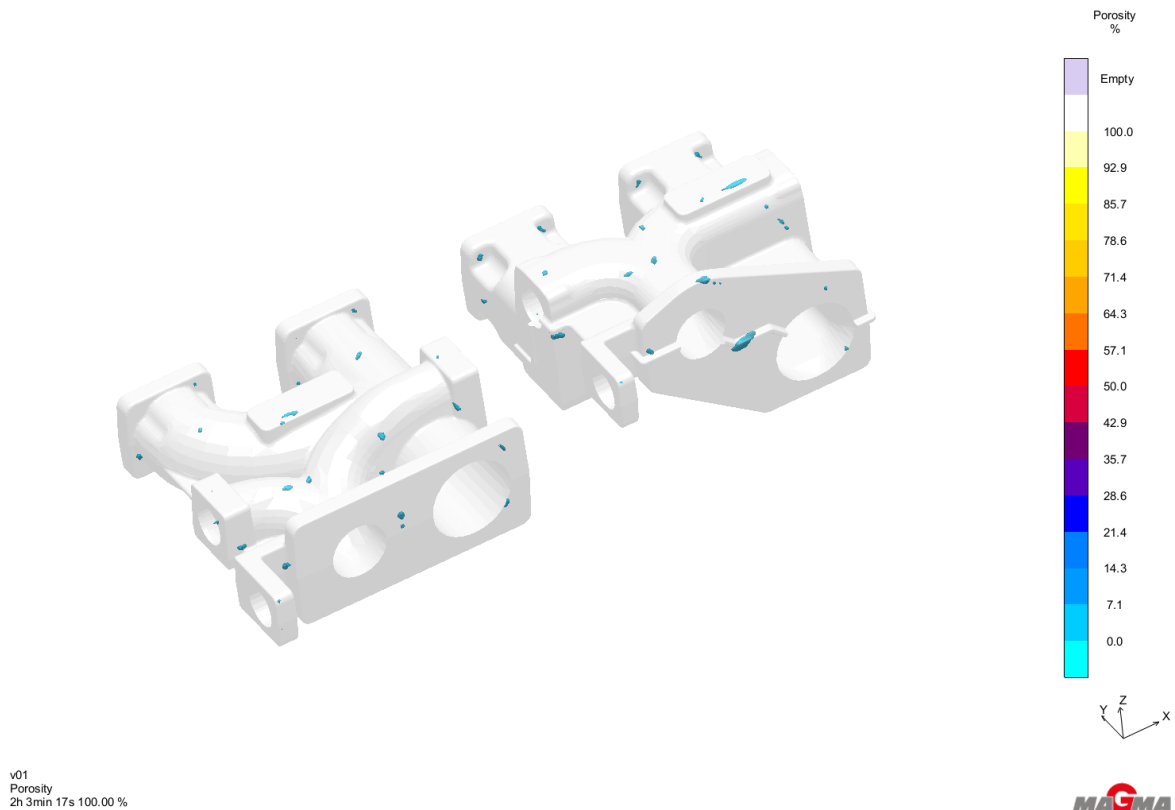
4.4 Resultat av gjutsimuleringarna

Här presenteras de resultat som blivit erhållna från simuleringarna i Magmasoft. Först gjordes en simulering med de två designkoncept som blivit gjorda. Detta gjordes för att kunna jämföra konceptens hotspots och porositeter som eventuellt kunde uppstå i gjutgodsen.

Inför simuleringarna börjades det med att väljas rätt material för gjutet som är *segjärn EN-GJS-500-14* och har en smältpunkt vid 1350 °C. Efter detta gjordes en mesh av 3D-modellen bestående av 1 miljon kuber, detta gjordes för att kunna utföra en noggrann simulering av gjutprocessen.

Som resultat av simuleringen erhöles resultaten i grafisk form. Det kunde nu undersökas hur hotspotsen förekommer, uppkomsten av porositeter och hållfasthetens fördelning i materialet etc.

I figur 30 och 31 är designkoncept nr. 1 placerad till vänster och designkoncept nr. 2 till höger. Den första simuleringen med bägge gjutgodsen gjordes som en simulering var båda godsen gjuts samtidigt. Figur 30 visar gjutsimuleringarnas resultat av porositeter som kan förekomma för båda 3D-modellerna av designkoncepten. De blå kropparna som syns i 3D-modellerna är områden var porositeter upp till 5 % kan uppstå.

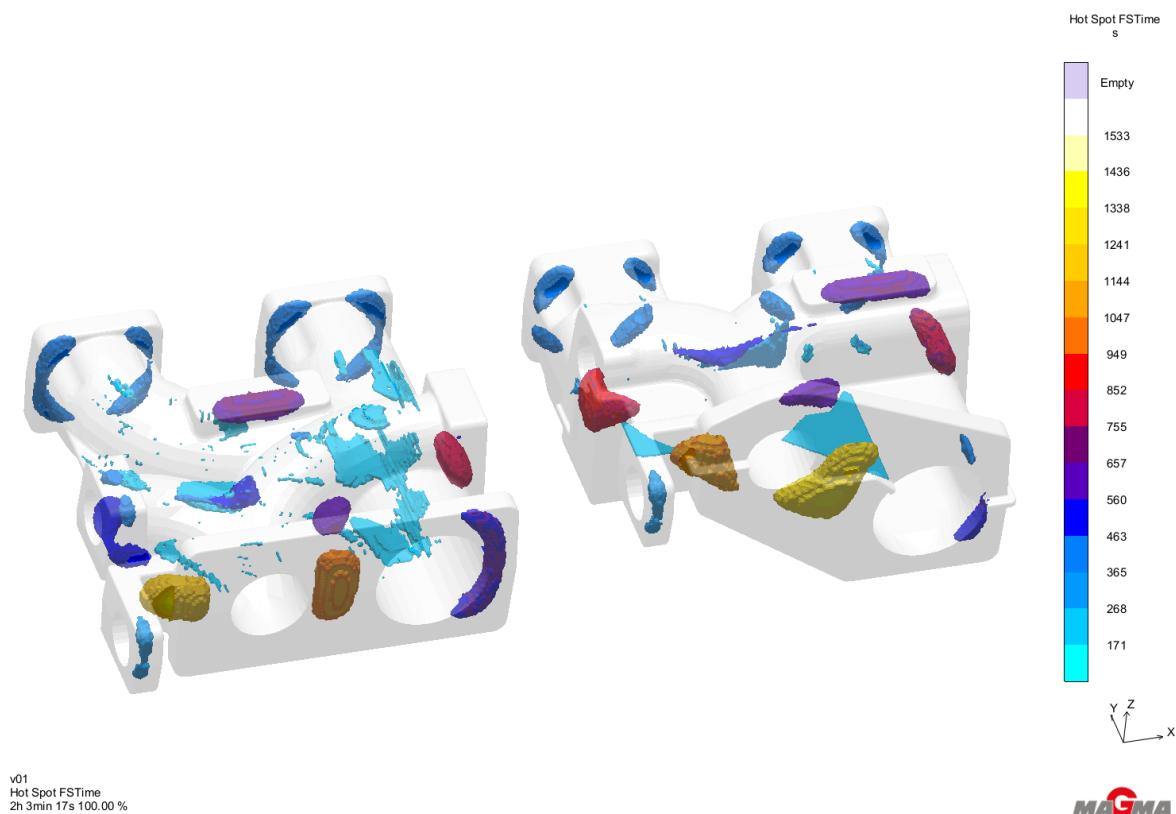


Figur 30. Båda 3D-modellerna för designkoncepten i Magmasoft

Ur bearbetningssynpunkt kan en porositet som syns i figur 30 ignoreras ifall den inte sammanfaller på ett ställe som skall bearbetas. En så liten porositet som är max 5 % är knappt synlig med blotta ögat.

Hotspotsen (figur 31) kan förutsäga var man möjligen kommer att få porositeter i gjutgodset. Dessa förekommer oftast var man har stora materialkoncentrationer. Med tanke på porositeter och hur de påverkar materialhållfastheten så kan man generellt av erfarenhet säga att en porositet på maximalt 5 % inte borde påverka hållfastheten. Detta gäller när porositeten är placerad i materialets centrum av det belastade området, belastningskoncentrationerna uppkommer oftast vid materialets yta där porositeter sällan förekommer.

Figur 31 visar hotspots efter 2 h 3 min för bägge gjutgodsen. Detta är tiden när hela gjutgodset är *stelnat*. De färgade områdena som syns är områden med högre temperatur. Skalan till höger visar hur många sekunder som kommer gå åt ännu för att det färgade hotspotsen har *avsvalnat* helt.

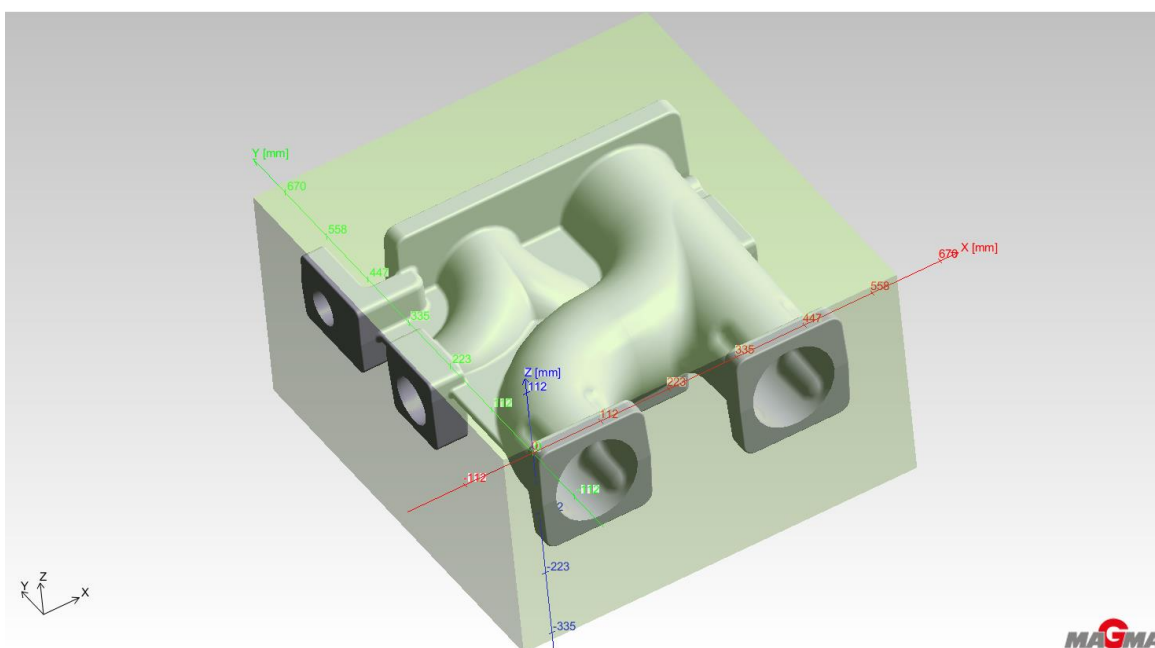


Figur 31. Möjliga hotspot-områden för designkoncepten

Det som stärker valet av designkoncept nr. 1 efter att gjutsimuleringarna gjorts, är resultaten som påvisar att det finns mindre hotspots och porositeter hos gjutgodset.

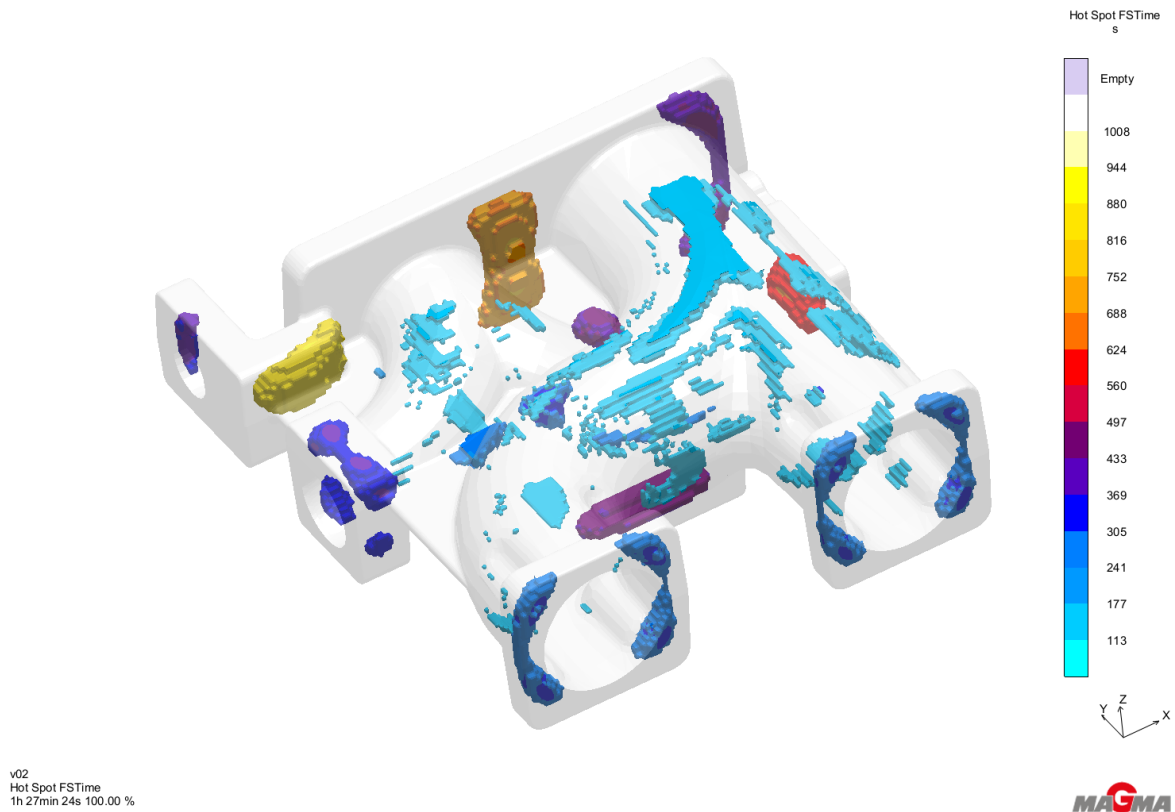
Efter att designkoncept nr. 1 blivit valt till det koncept man ville koncentrera sig på och eventuellt skulle vidareutveckla så gjordes noggrannare simuleringar av 3D-modellen. Man började med att välja hur gjutmodellen skulle placeras vid gjutningen. Man valde att placera gjutmodellen med *framsidan nedåt* i gjutformen. Detta utgående från att man har mindre risk för fastsintring av sand från gjutformen på den nedre delen av gjutgodset.

I figur 32 ser man valet för placering av gjutmodellen i Magmasoft. Framsidan av modellen är placerad nedåt (negativ z-riktning i Magmasoft) vilket gör att simuleringen beaktar detta som att man har modellens främre halva i den nedre gjutformen.



Figur 32. Placering av gjutmodellen i Magmasoft

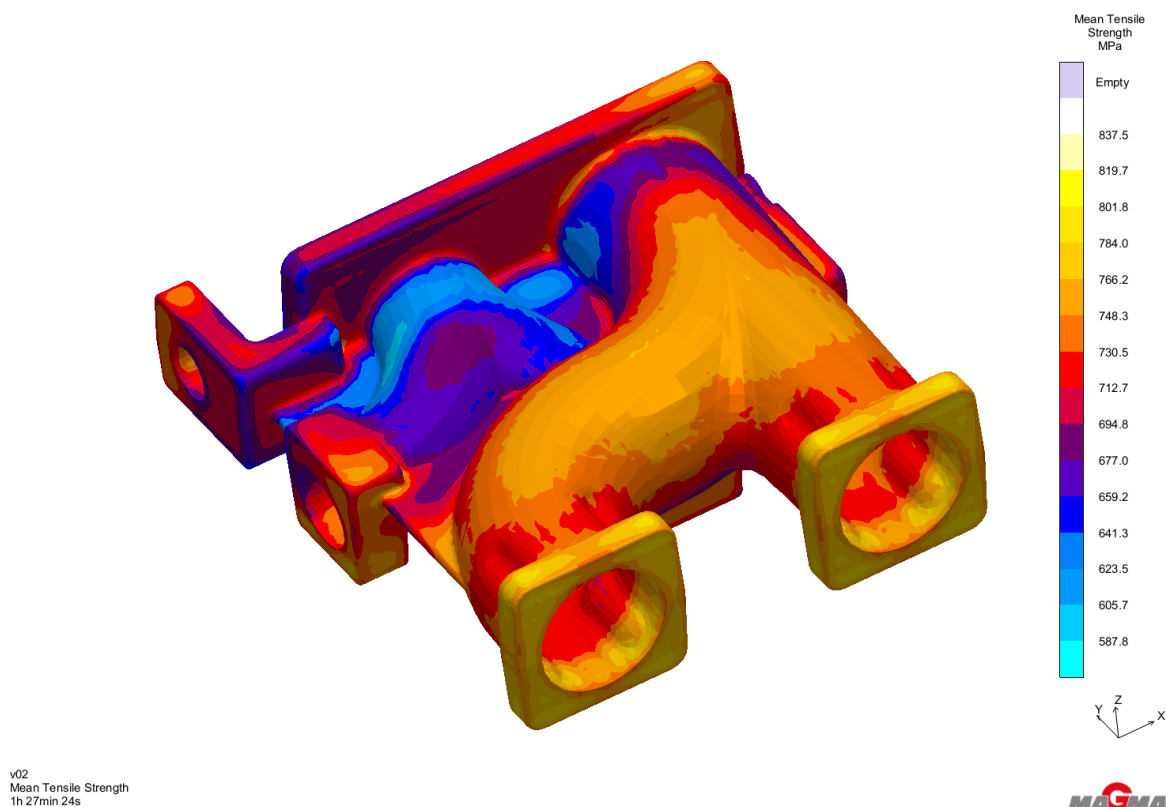
Figur 33 visar resultatet av den individuella simuleringen av designkoncept nr.1 och hur hotspots kunde förekomma vid gjutningen. Resultatet visas vid 1 h 27 min efter ingjutning.



Figur 33. Resultat av möjliga hotspots för designkoncept nr. 1

Hotspots är områden som avsvlnar långsamt. Detta påverkar materialets mikrostruktur och man erhåller olika egenskaper på olika ställen i gjutgodset. Dessa varierande egenskaper såsom ojämnt fördelad draghållfasthet i godset är normala förekomster vid gjutning. Man kan reducera dessa oönskade egenskaper genom värmebehandling av gjutgodset.

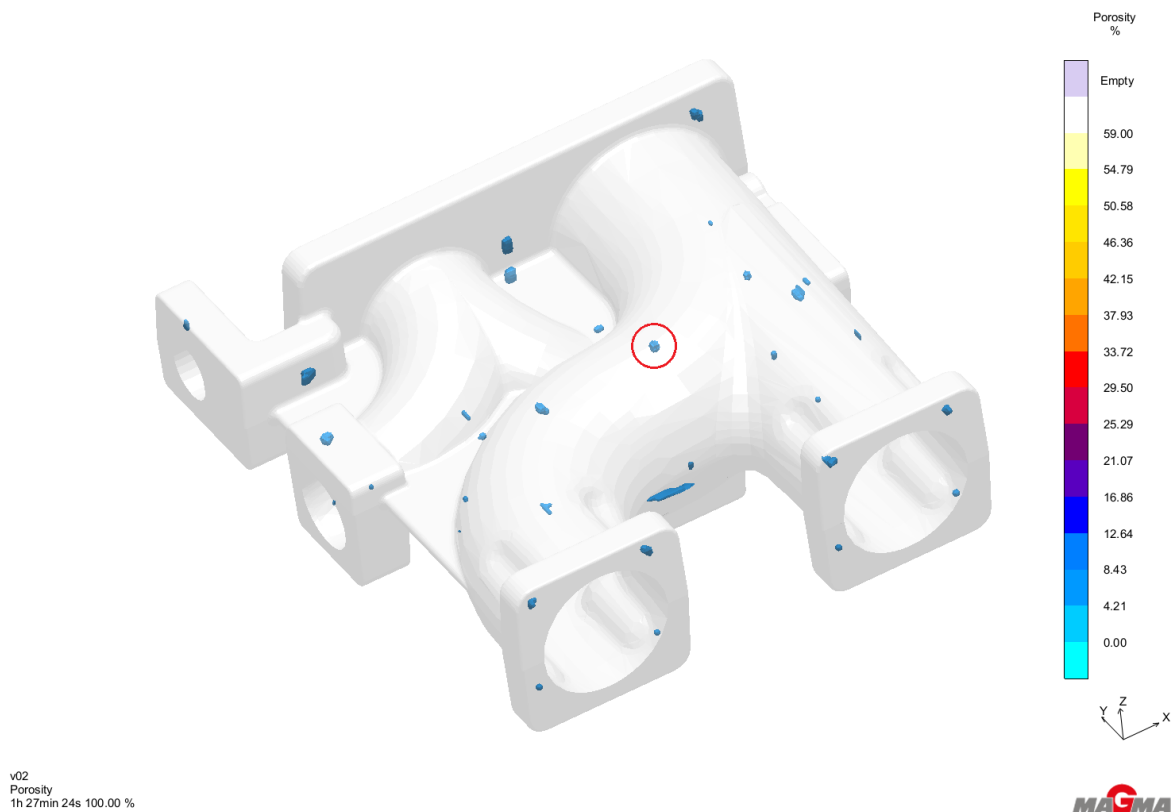
Figur 34 visar hur draghållfastheten i gjutgodset. Till höger syns färgskalan som är i megapascal (MPa), genom detta kan man se hur materialets draghållfasthet i godset är fördelat.



Figur 34. Resultat av draghållfasthetens fördelning i designkoncept nr. 1.

Det som kan konstateras ur figur 34 är att draghållfastheten i gjutgodset har en variation ställvis över 200 MPa. Figuren visar ett stelnat men inte helt avsvanat gjutgods vid 1 h 27 min efter ingjutning. Efter denna tid påverkas inte materialets microstruktur på sådant sätt att det skulle påverka hållfastheten. En hållfasthetsskillnad på 20-30 % i godset är märkbar. Variationerna är helt normala och kan förekomma på kritiska delar såsom cylinderlock etc.

I figur 35 ser man resultat på möjliga porositer som kan uppstå i gjutgodset efter gjutningen. Som demonstration för användning av Magmasoft som verktyg har ett möjligt problemområde märkts med en rund röd cirkel.

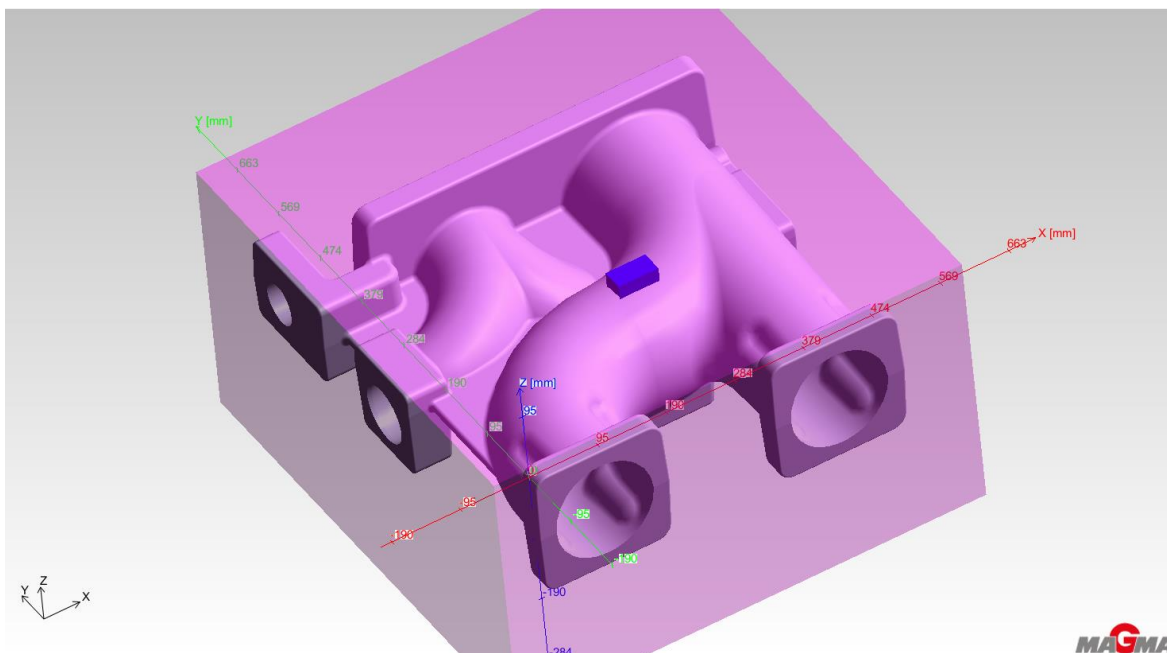


Figur 35. Porositeter i designkoncept nr. 1.

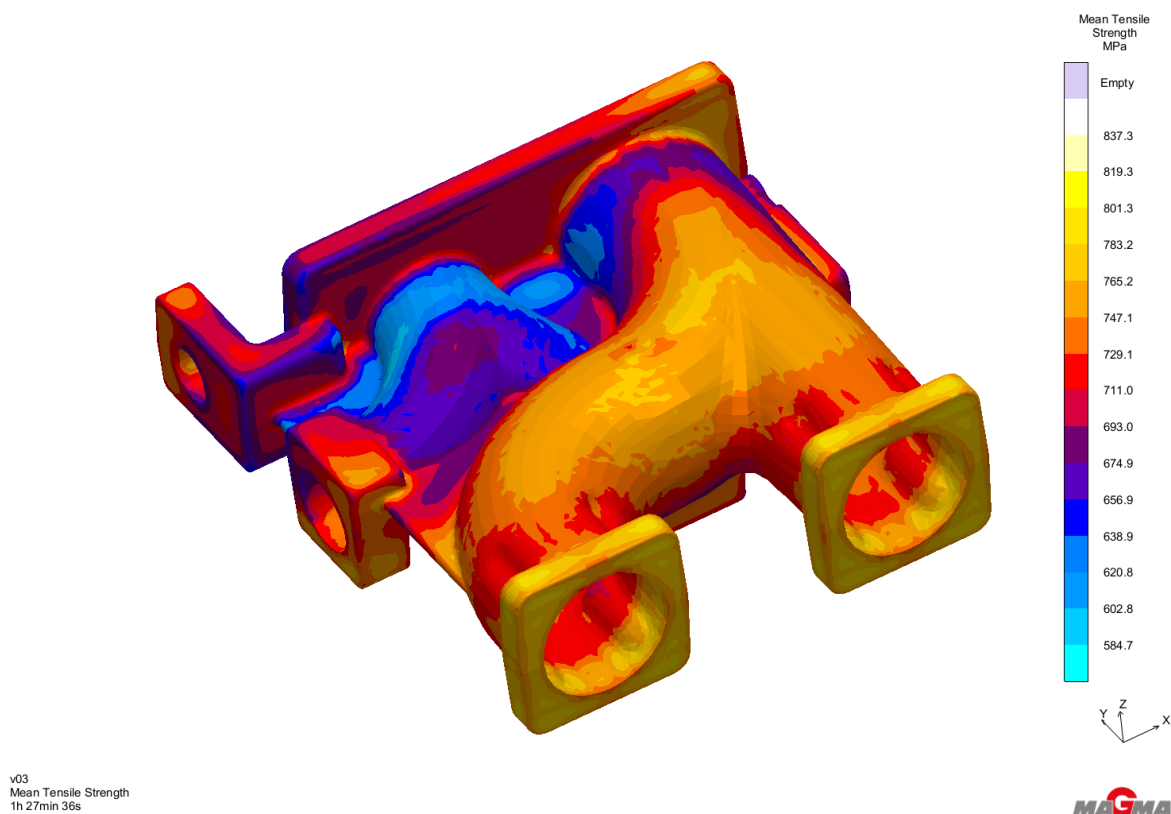
Den utvalda porositet är lokaliserat mitt i en av de gjutna kylvattenkanalerna (figur 35). Denna porositet orsakas för att området är lokaliserad högst upp på gjutgodset och därför inte får ”automatisk materialtillförsel” vid stelningsförloppet. Den automatiska materialtillförseln orsakas av gravitationen. Detta vore inte fallet ifall samma område var lokaliserad lägst ner i gjutformen.

För att eliminera detta eventuella problem kunde det möjligtvis lösas genom att tillföra en *kylkropp* till gjutformen (även kallad *kyljärn*) som för bort värme från det område som kylkroppen är placerad vid och därmed gör att området stelnar snabbare. Genom detta kunde porositeter i området elimineras.

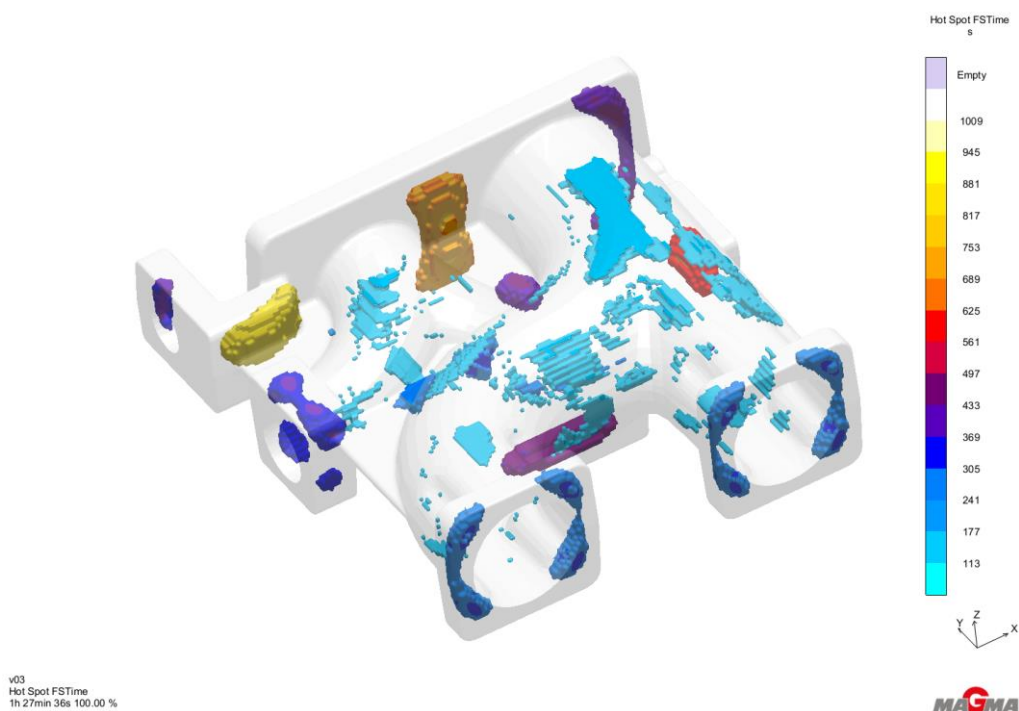
Som näst gjordes simuleringar med en kylkropp. Det blåfärgade rätblocket fungerar som en kylkropp (figur 36). Denna kylkropp lades till i Magmasoft. Resultat från de nya simuleringarna kan ses i Figur 37-39.



Figur 36. Ny simulering av gjutet för designkoncept nr. 1 med en kylkropp.

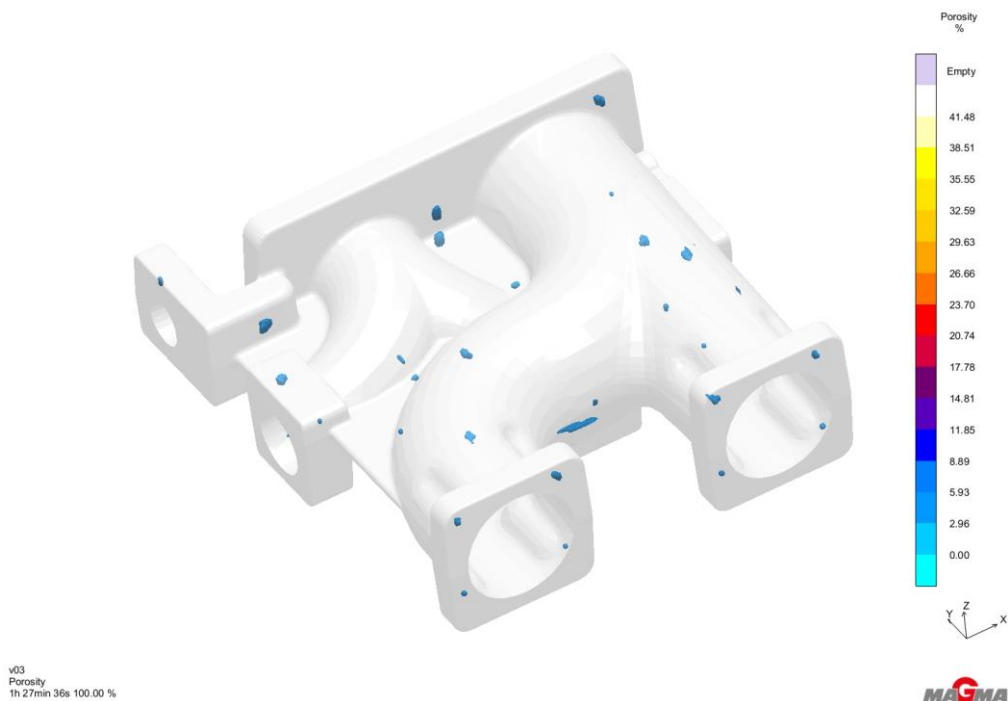


Figur 37. Resultat på draghållfastheten från simulering med kylkropp.



Figur 38. Möjliga hotspots efter simulering med kylkorpp.

Den andra simuleringen som gjorts med en kylkorpp visar att en liten förminskning av hotspots har skett (figur 38). I figur 39 nedan, kan man se resultatet på porositeten efter simulering med kylkorpp i gjutformen. Det som var ett eventuellt problemområde är nu helt eliminerat. Detta kunde åtgärdas utan att göra ändringar på själva 3D-modellen för gjutet.



Figur 39. Resultatet på porositeten efter simulering med kylkorpp.

5 Diskussion

För att få en inblick om hur detta examensarbete har varit att utföra så görs här en reflektion över arbetets gång. Här beskrivs saker som varit utmanande att utföra och eventuellt kunde ha gjorts annorlunda.

Det som var till en början mycket utmanande var framtagning av en ny design för det första designkonceptet. Här försöktes det att designas en så bra lösning baserat på de krav som angivits för konceptet utan att låta sig influeras av den nuvarande konstruktionen. När man börjar förstå sig på gjutteknik samt vilka möjligheter och begränsningar som det medför visar det sig oftast att det inte är så enkelt att konstruera ett nytt gjute som man föreställt sig. Det som medförde vidare utmaning var viljan av att skapa en förbättrad version av den nuvarande konstruktionen.

Vid själva framtagningen av 3D-modellerna i NX var det utmanande att välja en god metod för att skapa en 3D-modell av ett ihåligt gjute med flera kärnor. Det finns i princip ingen regel på hur man skall göra detta. Man kan själv välja det sätt hur man gör håligheter för kärnorna i gjutgodset. Det finns många sätt att få den inre ytan av gjutet att följa den yttre ytan med jämnt avstånd mellan varandra. Detta kan vara en sak som är svår att få parametrisk p.g.a. många invecklade former och påverkande faktorer.

I början när designen på designkoncept nr. 1 planerades, försöktes det ständigt att eftersträva en obruten partyta. Att designa detta gjute med en partyta som var obruten var nästintill omöjligt. Man kan fråga sig om designen på gjutet kunde ha förbättrats på något sätt ifall man inte gått in helt för att eftersträva en obruten partyta. Det visade ju sig slutligen att resultatet för gjutet blev att partlinjen var bruten på två små områden (*5.1 Vidareutveckling*).

Syftet med att göra två olika designkoncept av den nuvarande konstruktionen kan konstateras ha uppfyllts.

Valet av det bästa designkonceptet av de två möjliga blev gjort. Det var heller inte någon tvekan på att vilket av koncepten som var bättre med tanke på gjutning. Det kan även konstateras att den gjutna konstruktionen är mycket enklare än den tidigare. Den nya gjutna konstruktionen består endast av en komponent. Detta är en märkbar förbättring ifrån den nuvarande konstruktionen som består av tre olika komponenter.

Genom att den nya konstruktionen är gjord i form av endast en komponent borde monterings tiden förminskas, det återstår att se om så är fallet. Angående vidare förminskning

av monterings tid verkar det som att tidigare använda tillvägagångsätt skulle fungera som en bra grund. Man kunde montera fast AWG:n med tillhörande delar och solenoidventiler i gjutgodset. Detta skulle sedan monteras fast i motorn som en enda modul. Detta reducerar även tiden för användning av travers vid fastmontering av komponenter till motorn.

Man kan nu konstatera att syftet och de mål som ställts för arbetet är uppfyllda, men för att få en bild om hur man slutligen lyckats med att sänka tillverkningskostnaderna med den nya designen bör detta ännu undersökas. Undersökningen utförs genom att göra en *design-to-cost* beräkning som i princip resultetar i hur många motorer Wärtsilä måste sälja med den gjutna konstruktionen för att hela produktutvecklingsprocessen och verktygsanskaffningskostnaderna etc. har införtjänats.

Från följande punkter kunde man möjligtvis konstatera att man åstadkommit en bra design för att få sänkt tillverkningskostnader av den nuvarande konstruktionen.

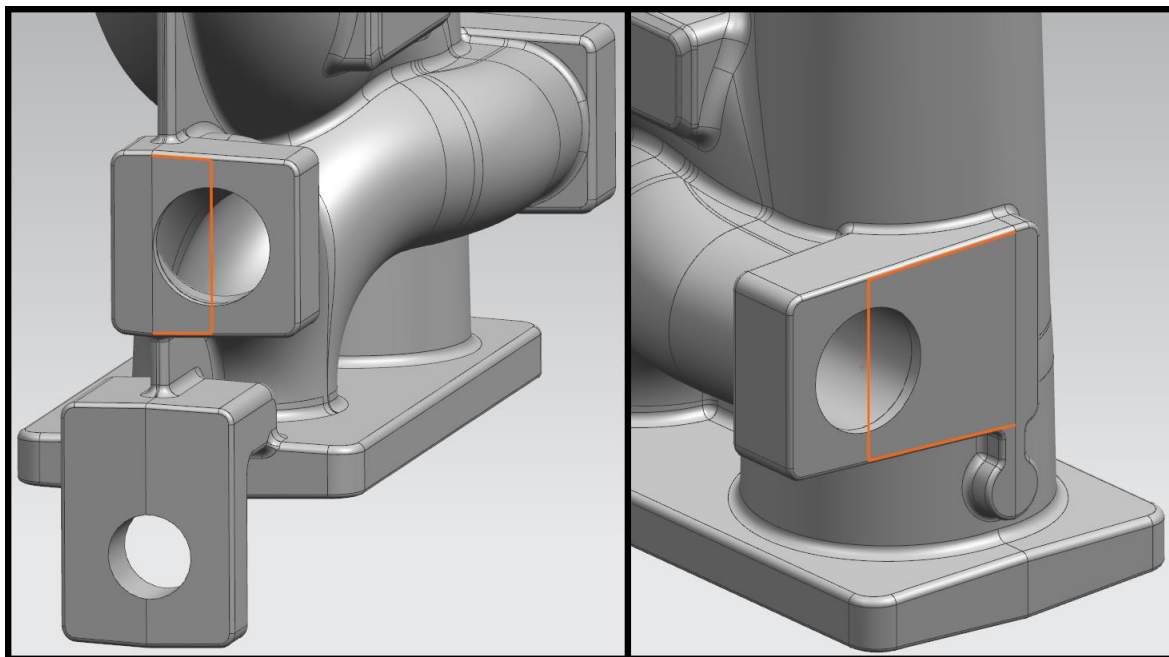
- Tillverkningskostnaderna för att framställning av gjutmodell och gjutform för ett sandformsgjute är relativt låga.
- Gjutsimuleringarna påvisade inte några problem som skulle ha orsakat märkbara ändringar av designen för designkoncept nr. 1.
- Gjutgodset har en kompakt design med relativt liten massa.
- Bearbetning krävs endast av flänsar med tätningssyta samt monteringspunkter för bultar och givare.

5.1 Vidareutveckling

Vidareutveckling av designkoncept nr. 1 vore i första hand att göra små ändringar av 3D-modellens geometri. Konceptet är gjort med en obruten partyta genomgåendes i hela 3D-modellen. Ändringarna vore att flytta partlinjen i de två områden som redan nämnts i kapitel 4.1 *Designkoncept nr. 1*. Genom detta förändras den obrutna partytan till en bruten partlinje.

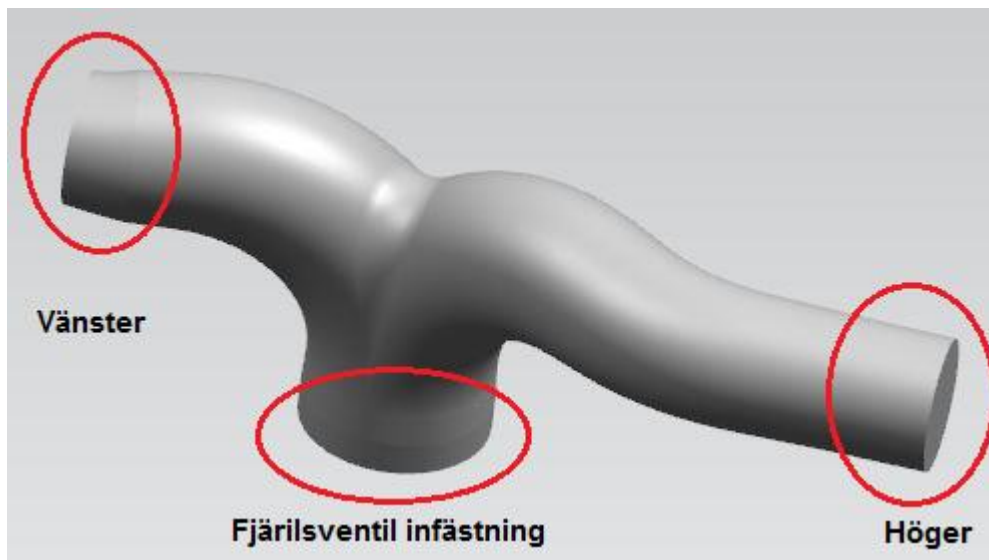
Ändringarna är mycket små och är lätta att göra om i NX, ändringarna ger en stor förbättring av gjutgodsets egenskaper. Själva ändringen skulle vara att partlinjen flyttas hos AWG-kanalens ändflänsar så att partlinjen går genom kanalens mittpunkt.

I figur 40 kan man se att designkonceptet är gjort med en obruten partyta som syns som ett svartfärgat streck som skär ändflänsarna i närheten av deras sidokant. Alternativ till en ny bruten partlinje syns på 3D-modellen i form av orangefärgade linjer.



Figur 40. Alternativ ändring för en bruten partlinje.

Ändringen bidrar till att kärnan för att forma AWG-kanalen får stöd från kärnans alla tre ändor istället för att bara få stöd för infästningsändan för fjärilsventilen till AWG:n (se figur 41). Detta bidrar till en bättre förankring av kärnan och som resultat man får en förbättrad måttnoggrannhet för AWG-kanalernas geometri.



Figur 41. 3D-modell av kärnan för AWG-kanalerna.

Vidareutvecklingen hör inte till detta examensarbete. Dock kommer det att ske efter att examensarbetet är slutfört ifall det blir beslutat att designkonceptet skall användas för tillverkning av den nya konstruktionen.

5.2 Sammanfattning

Slutligen görs här en sammanfattning om hela examensarbetets gång och vad jag lärt mig av detta. Arbetet var utmanande p.g.a. att jag inte haft någon tidigare erfarenhet eller skolning om hur man konstruera ett gjute. Detta orsakade att examensarbetet var mycket lärorikt och jag hoppas ha mer nytta av detta i framtiden. Det som är säkert är att om jag i framtiden får utmaningen att designa ett gjute så kommer jag ha en bra grund och kommer antagligen ta emot utmaningen med även större intresse.

Mina frågor om hur tillvägagångssättet för tillverkning av ett gjute med användning av CAD-program som verktyg är nu klarare. Jag har själv fått genomgå nästan hela processen. Nu återstår det endast att göra hållfasthetsberäkningar, tillverkningsritningar och att ta kontakt med gjuteriet ifall det bestäms från Wärtsiläs sida att de börjar tillverka gjutgodset.

Mina kunskaper inom gjutning har ökat. Jag vet nu bättre vilka saker man bör speciellt beakta vid konstruktion av ett nytt gjute. Mina kunskaper i NX har förbättrats och speciellt förståelsen av hur man designar en 3D-modell av ett gjutgods genom att använda sig av CAD-program har ökat.

Personligen är jag nöjd med att valet av det designkoncept som var bäst blev just designkoncept nr. 1. Detta var det koncept som jag lät mig själv inspireras av mina egna visioner mest av.

Slutligen vill jag tacka Wärtsilä som gav mig möjligheten att utföra detta examensarbete. Från företagets sida vill jag speciellt tacka Kristoffer Sundfors som erbjöd mig arbetet och har följt min process under hela vägen. Jag vill även tacka Stig Pada och Harri Krook som har fungerat som mina handledare för examensarbetet. Stig och Harri har lång erfarenhet av maskinkonstruktion och därför kunnat ge mig goda råd när de rådfrågats.

6 Källförteckning

Jarfors A.E.W., Carlsson T., Nicolescu C-M., Rundqvist B., Keife H. & Eliasson A., 2000. *Tillverkningssteknologi*. (2. uppl.) Lund: Studentlitteratur.

Johannesson H., Persson J-G. & Pettersson D., 2013. *Produktutveckling. Effektiva metoder för konstruktion och design*. (2. uppl.) Stockholm: Liber.

Johansson J., 1990. *Konstruktörens val av produktionsmetoder*. Stockholm: Sveriges Mekanförbund.

Magma (u.å.). [Online] <http://www.magmaoft.de/en/index.html> [hämtat: 3.3.2017]

Metalliteollisuuden Keskusliitto, 2001. *Valuraudat ja valuteräkset. Raaka-ainekäsikirja 2*. (2. uppl.) Tammerfors: Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Novia (u.å.). *Gjutteknik kompendie. Gjutmaterial och gjutmetoder*. Vasa: Novia.

Pohjalainen K., 1997. *Valumallit*. Tammerfors: Tampereen ammattioppilaitos.

Siemens PLM Software (u.å.). [Online] <https://www.plm.automation.siemens.com/en/> [hämtat: 3.3.2017]

Valuatlas (u.å.). *Oppimateriaalit*. [Online] <http://www.valuatlas.fi/oppimateriaalit.php> [hämtat: 14.3.2017]

Wärtsilä (u.å.). Om oss. [Online] <http://www.wartsila.com/sv/om-oss> [hämtat: 17.3.2017]

Wärtsilä Marine Solutions, 2016. *Wärtsilä 32 Product Guide*. [Online] <http://www.wartsila.com/products/marine-oil-gas/engines-generating-sets/diesel-engines/wartsila-32> (uppl. 2/2016) Vasa: Wärtsilä Finland Oy.

Svenska Gjuteriföreningen (u.å.) *Gjuteriteknisk Handbok* [Online] <http://www.gjuterihandboken.se/> [hämtat: 28.3.2017]

Figurförteckning

Figur 1. Nuvarande konstruktion i NX.....	3
Figur 2. Nuvarande AWG-rör och LT-water-rör med fästkonsol.	4
Figur 3. Foto av nuvarande konstruktionens komponenter.	4
Figur 4. Isometrisk sammanställningsritning av AWG-konstruktion.	5
Figur 5. Frontvy ur sammanställningsritning av AWG-konstruktion.	6
Figur 6. Ritning för bearbetat LT-water-rör.	7
Figur 7. Wärtsiläs marknadsandelar vid slutet av det tredje kvartalet år 2016 (Wärtsilä u.å.)	8
Figur 8. Gjutmodell och nedre formhalva (Valuatlas u.å.)	14
Figur 9. Formhalvor och kärna (Valuatlas u.å.)	14
Figur 10. Förklaring av släppning (Svenska Gjuteriföreningen u.å.).....	15
Figur 11. Begreppen släppningsvinkel och släppningsnedhet förklarade (Valuatlas u.å.)	16
Figur 12. Gjutform och kärna. (Valuatlas u.å.)	17
Figur 13. Genset med Wärtsilä 32TS motor. (Wärtsilä u.å.).....	27
Figur 14. Enkel sketch i NX.	37
Figur 15. Extrudering av sketch i NX.	38
Figur 16. Grundgeometrin för designkoncept nr. 1 utan mindre detaljer.....	39
Figur 17. Beskrivning av bearbetningsmån för gjutgods (Valuatlas u.å.).....	40
Figur 18. Färdig 3D-modell för designkoncept nr. 1.....	41
Figur 19. Draft Analysis i NX	42
Figur 20. 3D-modell av rått gjutgods och bearbetat gjutgods	43
Figur 21. Designkoncept nr. 1	46
Figur 22. Genomskärning av designkoncept nr. 1	46
Figur 23. 3D-sammanställning för bearbetat designkoncept nr. 1	47
Figur 24. Genomskärning av 3D-sammanställning för designkoncept nr. 1.....	48
Figur 25. Detalj av designkoncept nr. 2	49
Figur 26. Designkoncept nr. 2	50
Figur 27. Genomskärning av designkoncept nr. 2.....	50
Figur 28. 3D-sammanställning för bearbetat designkoncept nr. 2	51
Figur 29. Genomskärning av 3D-sammanställning för designkoncept nr. 2.....	51
Figur 30. Båda 3D-modellerna för designkoncepten i Magmasoft	53
Figur 31. Möjliga hotspot-områden för designkoncepten	54
Figur 32. Placering av gjutmodellen i Magmasoft	55
Figur 33. Resultat av möjliga hotspots för designkoncept nr. 1	56
Figur 34. Resultat av draghållfasthetens fördelning i designkoncept nr. 1.	57

	68
Figur 35. Porositeter i designkoncept nr. 1.....	58
Figur 36. Ny simulering av gjutet för designkoncept nr. 1 med en kylkropp.	59
Figur 37. Resultat på draghållfastheten från simulering med kylkropp.	59
Figur 38. Möjliga hotspots efter simulering med kylkropp.	60
Figur 39. Resultatet på porositeten efter simulering med kylkropp.	60
Figur 40. Alternativ ändring för en bruten partlinje.	63
Figur 41. 3D-modell av kärnan för AWG-kanalerna.	64

Tabellförteckning

Tabell 1. Släppningsvinklar i grader enl. SFS 3307.....	16
Tabell 2. Släppningssnedhet i millimeter enl. SFS 3307.....	16
Tabell 3. Gjutlegeringar och deras materialklasser.	19
Tabell 4. Produktion av gjutjärn och gjutstål år 1998.	20
Tabell 5. Jämförelse mellan gjutna och svetsade komponenter.	23