

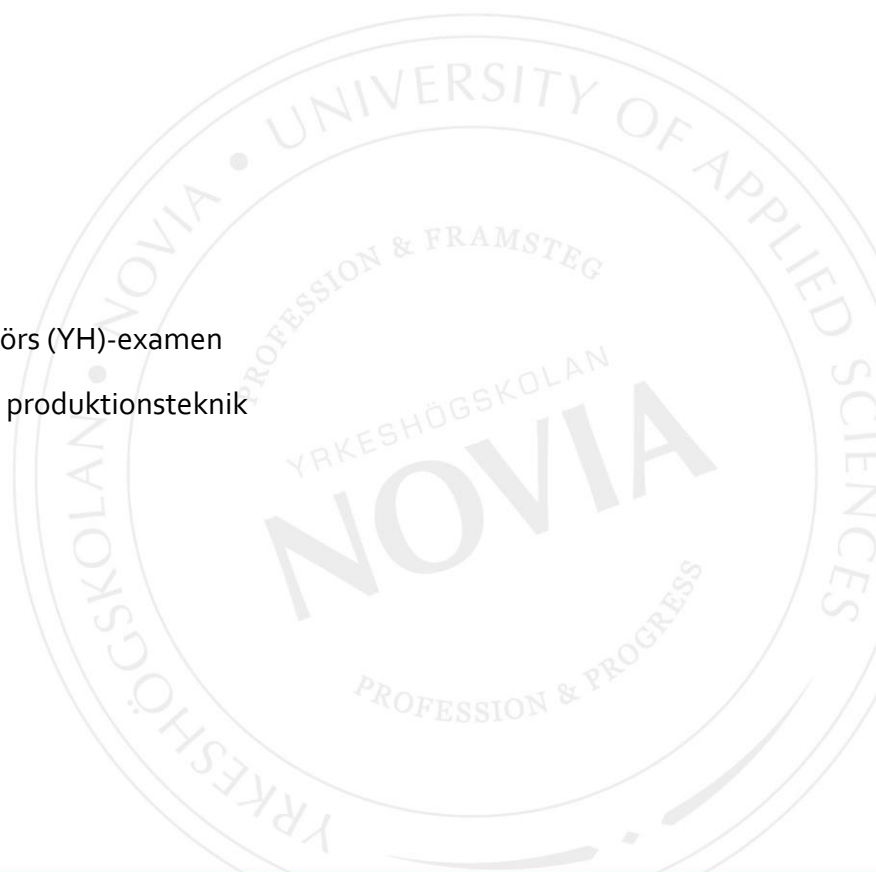
# Konstruktion av serviceverktyg för reparation av intag till vattenjetaggregat

Daniel Skullbacka

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningen Maskin- och produktionsteknik

Vasa 2017



## EXAMENSARBETE

Författare: Daniel Skullbacka

Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktningsalternativ: Maskinkonstruktion

Handledare: Anders Valkeinen (Rolls-Royce) och Kenneth Ehrström (Novia)

Titel: *Konstruktion av serviceverktyg för reparation av intag till vattenjetaggregat*

---

Datum 19.4.2017

Sidantal: 59

---

### Abstrakt

Detta examensarbete utfördes på uppdrag av Rolls-Royce Oy Ab i Karleby. Företaget tillverkar och underhåller vattenjetaggregat för små- och medelstora båtar. Rolls-Royce Oy Ab är en del av marindivisionen hos det globala företaget Rolls-Royce plc.

Syftet med examensarbetet är att konstruera serviceverktyg som skall kunna användas under reparationer av intagsrör hos två olika aggregatsmodeller. Reparationerna innebär att byta ut en bit av intagsröret hos aggregat som blivit skadat av oxidering. Dessa nya serviceverktyg konstruerades utgående från ett tidigare använt serviceverktyg som var anpassad för en annan specifik aggregatsmodell.

Arbetet avgränsades så att det endast kom att innehålla konstruktion av serviceverktygens svetsfixturer. För att kunna konstruera dessa svetsfixturer krävdes det att de detaljer som byts ut på de skadade vattenjetaggregaten först konstrueras. Den svetsfixtur som tidigare använts analyserades med hjälp av finita elementmetoden, och med hjälp av resultaten från dessa analyser konstruerades de nya svetsfixturerna. Detta utfördes genom att modellerna av de nya fixturerna analyserades med finita elementmetoden, och justerades därefter så de hade samma egenskaper som den tidigare använda svetsfixturen.

Resultatet blev 3D-modeller av svetsfixturerna samt de delar som ersätter de skadade delarna under reparationerna. I arbetet beräknas också säkerhetskoefficienterna vid svetsfixturernas lyftpunkter. Slutligen presenteras även en jämförelse mellan de olika svetsfixturernas egenskaper.

---

Språk: svenska

Nyckelord: FEM, konstruktion, svetsfixtur, vattenjetaggregat

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Daniel Skullbacka

Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Konesuunnittelu

Ohjaajat: Anders Valkeinen (Rolls-Royce) ja Kenneth Ehrström (Novia)

Nimike: *Vesisuihkulaitteiden imukanavan korjaukseen tarkoitettun huoltotyökalun suunnittelu*

---

Päivämäärä 19.4.2017

Sivumäärä: 59

---

### Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Rolls-Royce Oy Ab:lle Kokkolassa, ja siellä valmistetaan ja huolletaan pienien ja keskisuurien veneiden vesisuihkulaitteita. Rolls-Royce Oy Ab kuuluu maailmanlaajuisen yrityksen Rolls-Royce plc:n Marine-osastoon.

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella huoltotyökaluja, joita voidaan käyttää imuputken korjaustoimintaan kahdella eri vesisuihkulaitemallilla. Korjauksien tarkoitus on korvata imuputkessa oleva pala, joka on vaurioitunut hapetuksen takia. Uudet huoltotyökalut tehtiin aikaisemmin käytetyn ja toiseen vesisuihkulaitemalliin suunnitellun huoltotyökalun pohjalta.

Työ rajoitettiin niin, että se sisälsi vain huoltotyökalujen hitsauskiinnikkeiden suunnittelu. Ne osat jotka korvaavat imuputken vaurioituneet osat, suunniteltiin ensin, ja sen jälkeen hitsauskiinnikkeiden suunnittelu alkoi. Aikaisemmin käytetty hitsauskiinnike analysoitiin käyttämällä elementtimenetelmää, ja näiden analyysien tulosten avulla rakennettiin uudet hitsauskiinnikkeet. Uusien hitsauskiinnikkeiden mallit analysoitiin elementtimenetelmällä, ja säädettiin niin, että niillä oli samat ominaisuudet kuin aiemmin käytetty hitsauskiinnike.

Tuloksena oli 3D-malleja hitsauskiinnikkeistä ja niistä osista, jotka korvaavat vaurioituneet osat. Työssä lasketaan myös turvallisuuskertoimet hitsauskiinnikkeiden nostopisteillä. Lopuksi esitellään myös vertailun hitsauskiinnikkeiden ominaisuuksista.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: FEM, suunnittelu, hitsauskiinnike, vesisuihkulaite

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Daniel Skullbacka

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering

Specialization: Mechanical Construction Engineering

Supervisor(s): Anders Valkeinen (Rolls-Royce) and Kenneth Ehrström (Novia)

Title: *Construction of Service Tool for Repair of Inlet to Waterjet Unit*

---

Date 4/19/2017

Number of pages: 59

---

### **Abstract**

This Bachelor's thesis work was done on behalf of Rolls-Royce Oy Ab in Kokkola which manufactures and maintains waterjet units for small and middle sized vessels. Rolls-Royce Oy Ab is a part of the marine division of the global company Rolls-Royce plc.

The purpose of this thesis work was to construct a service tool that was going to be used under the repair of the intake pipe on two different models of waterjet units. The repair consists of replacing a piece of the inlet pipe of the unit that has been damaged due to oxidation. The constructions of these new service tools were based on a previously used service tool that was made for one specific model of waterjet unit.

The work was restricted so that it only came to include the construction of welding fixtures for the service tools. To be able to construct these welding fixtures, it was first required that the parts that are being replaced on the damaged waterjet units to be constructed first. The previously used welding fixture was analyzed using the finite element method, and using the results of these analyzes the new the new welding fixtures were constructed. This was done by analyzing the models of the new fixtures with the finite element method, and then adjusting them so they had the same properties as the previously used welding fixture.

The result was 3D models of the welding fixtures and the parts that replaces the damaged parts during repairs. The work also calculated safety coefficients of both the welding fixtures different lifting points. Finally, a comparison of the different properties of the welding fixtures was also presented.

---

Language: Swedish

Key words: FEM, construction, welding fixture, waterjet unit

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Företagsbeskrivning .....	1
1.1.1	Produkter.....	3
1.2	Bakgrund .....	5
1.3	Syfte .....	5
1.4	Avgränsning.....	6
1.5	Disposition.....	6
2	Teori .....	6
2.1	Ett vattenjetaggregats uppbyggnad .....	7
2.2	Materialval .....	8
2.2.1	Stål.....	9
2.2.2	Aluminium.....	11
2.3	Konstruktionsdimensionering.....	12
2.3.1	Dimensionering med hänsyn till hållfasthet.....	14
2.4	Tillverkningsmetoder .....	16
2.4.1	Svetsning.....	16
2.4.2	Deformationer vid svetsning.....	17
2.4.3	Minimering av svetsdeformation .....	18
2.4.4	Svetsfixtur.....	19
2.5	Klassningssällskap .....	20
2.6	Korrosion.....	21
2.7	Datorbaserad modellering och produktutveckling.....	22
2.7.1	CAD-modellering.....	22
2.7.2	Omvänd ingenjörskonst.....	22
2.7.3	Finita elementmetoden .....	23
2.8	Arbetsprocess under tidigare reparation .....	23
3	Metodik .....	25
3.1	Krafter på fixtur .....	26
3.2	Modellering av existerande verktyg .....	26
3.3	FEM-analys av existerande verktyg .....	27
3.3.1	Fixturens vridstyvhet.....	27
3.3.2	Fixturens skjuvstyvhet .....	30
3.3.3	Fixturens dragstyvhet.....	32
3.3.4	Fixturens böjstyvhet.....	33
3.4	Önskemål .....	36

3.5	Kravlista.....	37
3.6	Utformning av nya fixturer.....	38
3.6.1	Intagsinsatser.....	38
3.6.2	Svetsfixturer.....	40
4	Resultat.....	42
4.1	A45 svetsfixtur.....	42
4.1.1	Monteringsfläns.....	42
4.1.2	Axelfläns.....	43
4.1.3	Stödvinkel.....	44
4.1.4	Säkerhetsfaktor vid lyft.....	45
4.2	A50 svetsfixtur.....	49
4.2.1	Monteringsfläns.....	49
4.2.2	Axelfläns.....	50
4.2.3	Stödvinkel.....	51
4.2.4	Säkerhetsfaktorer vid lyft.....	51
4.3	Jämförelse av styvhet och vikt mellan svetsfixturer.....	53
4.4	Fortsatt utveckling.....	56
5	Diskussion.....	57
6	Källförteckning.....	59

## Figurförteckning

Figur 1. Vy över Rolls-Royce fabriksområde i Karleby. (Granholm, 2008).....	2
Figur 2. Verksamhetsområden inom Rolls-Royce plc.....	3
Figur 3. Bild av två 56A3 vattenjetaggregat som tillhör stålserien. (Rolls-Royce, 2008) .....	4
Figur 4. Ett vattenjetframdrivningssystem's huvudbeståndsdelar.....	7
Figur 5. Jämförelse mellan hållfastheten för kolstål och aluminium. ....	12
Figur 6. Kraftbelastningar i en axel som resulterar i belastningsdeformationer. ....	14
Figur 7. Förenklad bild av en MIG/MAG-svets. (Lepola & Makkonen, 2004).....	17
Figur 8. Olika deformationstyper som orsakats av svetsvärme. (Mattson, S., 2001)...	18
Figur 9. Beskrivning av reparationsprocessens fem arbetsskeden. ....	24
Figur 10. Modell av den existerande fixturen.....	27
Figur 11. Låsningar och krafter vid analys av vridstyvhet. ....	28
Figur 12. Vridning av fixturen vid simulering. ....	29
Figur 13. Låsningar och kraften vid analys av skjuvstyvhet.....	30
Figur 14. Deformation på grund av skjuvning hos fixturen. ....	31
Figur 15. Låsningar och krafter vid analys av dragstyvhet. ....	32
Figur 16. Deformation i fixturen på grund av dragande kraft.....	33
Figur 17. Intagsinsatsens massa och tyngdpunkt. ....	34
Figur 18. Låsningar och krafter vid analys av nedböjning. ....	35
Figur 19. Deformation på grund av gravitationskraft. ....	35
Figur 20. Beräkning av intagsinsatsens svetsfogs förflyttning. ....	36
Figur 21. Intagsinsats till aggregat A45.....	39
Figur 22. Lyftpunkternas positioner. ....	41
Figur 23. Skruvbara lyftöglor av olika storlekar.....	41
Figur 24. A45 svetsfixturens monteringsfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån. ....	43
Figur 25. A45 svetsfixturens axelfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån. ....	44
Figur 26. A45 svetsfixturens stödvinklar, till vänster den vanliga och till höger den förberedd för lyftinsats.....	45
Figur 27. max belastning av lyftögla.....	46
Figur 28. Masscentrum för intagsinsats fastmonterad på fixtur.....	49
Figur 29. Fixturens masscentrum. ....	49
Figur 30. A50 svetsfixturens monteringsfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån. ....	50
Figur 31. A50 svetsfixturens axelfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån. ....	50
Figur 32. A50 svetsfixturens stödvinklar, till vänster den vanliga och till höger den förberedd för lyftinsats.....	51
Figur 33. Masscentrum för svetsfixtur och intagsinsats ihop bultade.....	53
Figur 34. Masscentrum för A50 svetsfixtur. ....	53
Figur 35. Diagram över svetsfixturernas styvheter.....	54
Figur 36. Diagram över totala nedböjningar vid intagsinsatsernas rörfogar samt svetsfixturernas polära vinkelförändring per vridmomentsbelastning.....	55
Figur 37. De olika detaljernas vikter. ....	56

## Ordlista

Här under finns en förteckning på ord och förkortningar som påträffas i detta examensarbete.

- A45: Rolls-Royce A-serie vattenjetaggregatsmodell vars intagskanalsdiameter är 450mm.
- A50: Större version av A45 vattenjetaggregatsmodell med en intagskanalsdiameter på 500mm.
- A56: Större version av vattenjetaggregatsmodellen A50, och har en intagskanalsdiameter på 560mm.
- Akter: En båts, ett fartygs eller skepps bakre del.
- CAD: Förkortning av orden Computer-aided design, ett datoriserat hjälpmedel för design.
- CAE: Förkortning av orden Computer-aided engineering, ett samlingsnamn för datoriserade verktyg som används vid konstruktion.
- FEM: Finita elementmetoden, en numerisk metod för att lösa differentialekvationer med hjälp av datorer. Används ofta vid datoriserad hållfasthetsanalys.
- MAG: Förkortning av orden Metal Active Gas, är en svetsmetod som ofta används vid svetsning av stål.
- MIG: Förkortning av orden Metal Inactive Gas, är en svetsmetod som mycket ofta används vid svetsning av aluminium.
- NX: Ett konstruktions- och analysprogram som utvecklats av bolaget Siemens PLM Software.
- SOLAS: En internationell konvention som reglerar många aspekter av sjöfarten för säkerhet för människoliv till sjöss.
- Torrdocka: En anordning för att torrsätta ett fartygs undre, annars vattenbelagda, yta.



# 1 Inledning

Examensarbetet är det sista och avslutande skedet i ingenjörstudier. Detta arbete skall bestå av sådana skeden som en ingenjör blir utsatt för i sitt arbete. Min arbetsgivare för detta arbete är Marine Service avdelningen på företaget Rolls-Royce Oy Ab i Karleby, där tillverkning och underhåll av vattenjetaggregat för små- och medelstora båtar sker.

Sommaren 2016 arbetade jag på den tidigare nämnda avdelningen. Under denna tid diskuterades angående möjligheten att utföra mitt examensarbete på denna avdelning. Marine Service avdelningens verksamhet går ut på att sköta om underhåll för vattenjetaggregat i form av bland annat teknisk support, reservdelar och kringresande serviceingenjörer.

Företaget är för mig sedan tidigare bekant, då jag arbetat inom produktionen under ett flertal tillfällen sedan år 2011. Detta tror jag är en stor fördel inför detta arbete, då produkten och produktionsmetoderna är för mig bekanta.

Arbetet som jag blev tilldelat var att fortsätta planeringen av ett serviceverktyg som en av företagets konstruktörer arbetat med innan dennes pensionering. Verktøget har planerats, tillverkats och använts på en aggregatstyp, och nu önskar arbetsgivaren att kunna utföra samma arbete på ytterligare två aggregatsstorlekar. Detta arbete kommer att innefatta konstruktion av komponenter till dessa serviceverktyg för användning på dessa två aggregatsstorlekar med det existerande verktyget som bas.

## 1.1 Företagsbeskrivning

Rolls-Royce Oy Ab är ett bolag som har verksamhet i Karleby och Raumo. Dess moderbolag heter Rolls-Royce Holdings plc som har sitt huvudkontor i London, Storbritannien. I Karleby tillverkas vattenjetaggregat, och i Raumo roderpropellrar.

Verksamheten i Karleby började år 1978 under namnet Ab Alumina Varvet Oy. Som namnet antyder var företagets ursprungliga produkt aluminiumbåtar. I början av 1980-talet fick bolaget i uppdrag av finska marinen att ta fram två landstigningsbåtar med vattenjetdrift. Ett

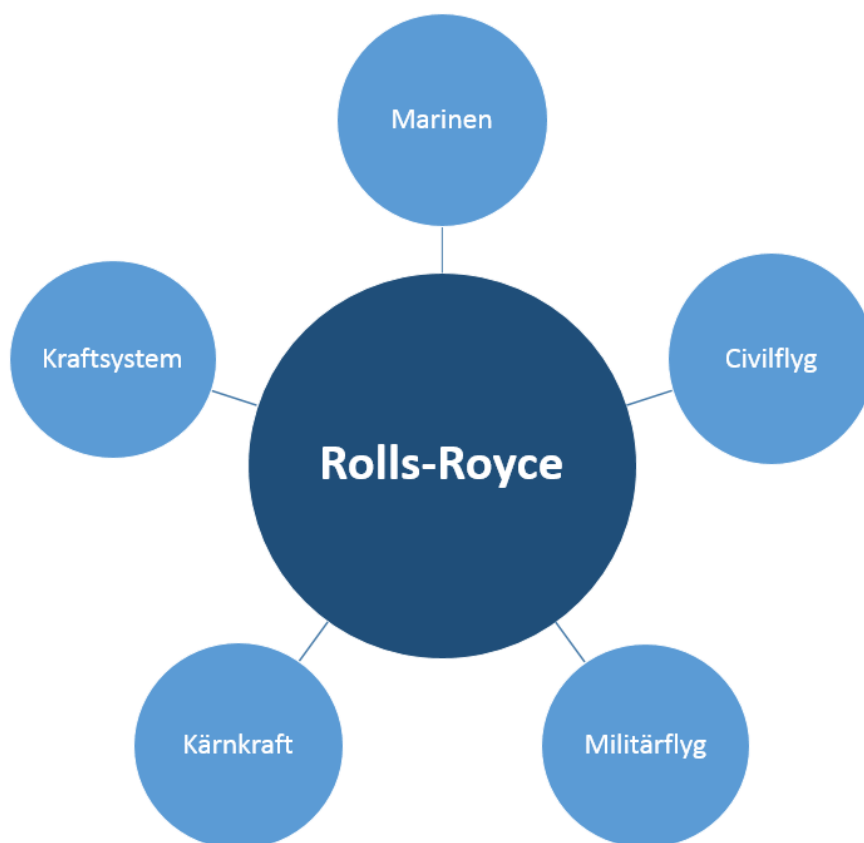
intresse för detta framdrivningssystem, som fungerar med rekylkraften från en vattenstråle, väcktes i bolaget och utvecklingen av ett eget aggregat påbörjades. De första båtarna, som var av Uisko-typ, började levereras med det egna aggregatet år 1985.

I mitten av år 1991 omstrukturerades verksamheten, och man specialiserade sig på att endast tillverka vattenjetaggregat. Bolaget fick på samma gång ett nytt namn, FF-jet Ltd Ab. År 1992 blev den svenska tillverkaren av stora vattenjetaggregat Kamewa intresserad av bolaget, och man ingick ett samarbetsavtal om försäljning av FF-jets produkter på världsmarknaden. Samarbetet gick bra och år 1994 såldes alla aktier i FF-jet till Kamewa. Kamewa, som tillverkade större vattenjetaggregat än FF-jet, var då ett dotterbolag till engelska Vickers Ab. Rolls-Royce, som är en stor tillverkare av bland annat jetmotorer för flygplan, hade år 1999 intresse att stärka sin position på den marina marknaden, och valde då att köpa Vickers. Då registrerades bolaget Rolls-Royce Oy Ab, dit Karleby fabriken samt propelleraggregat fabriken i Raumo hör. Enheten i Karleby har idag ca. 85 anställda.



Figur 1. Vy över Rolls-Royce fabriksområde i Karleby. (Granholm, 2008)

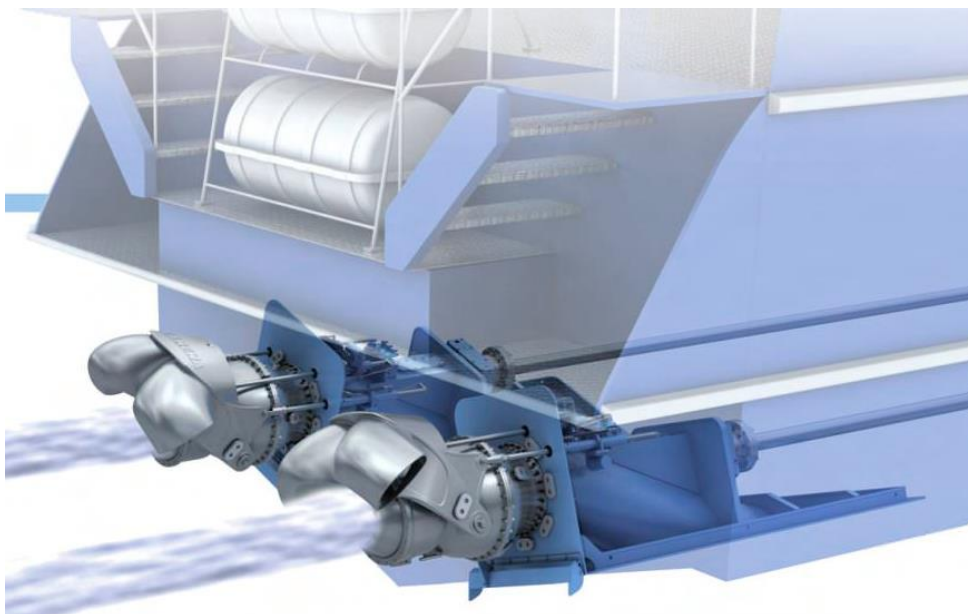
Bolaget Rolls-Royce Oy Ab hör till affärsområdet Rolls-Royce Marine, som i sin tur är en del av det globala företaget Rolls-Royce plc. Karleby enhetens fabriksområde kan beskådas i figur 1. (Granholm, 2008, s. 6–8)



Figur 2. Verksamhetsområden inom Rolls-Royce plc.

### 1.1.1 Produkter

Som nämnts tidigare i kapitlet tillverkas olika typer av vattenjetaggregat av Rolls-Royce i Karleby. Dessa aggregat är avsedda för bland annat mindre snabbgående färjor, räddningsbåtar och militära manskapsbåtar. Aggregaten som finns i produktion idag är indelade i två olika serier, stål- och aluminiumserien. Aluminiumserien har som namnet antyder en stor del av komponenterna tillverkade av aluminium, och dess pump är av axial typ. Stålserien har däremot många komponenter tillverkade av rostfritt stål, samt att pumpen är av mix typ vilket är en blandning mellan axiell- och centrifugal pump typ. (Rolls-Royce, 2015, s. 85–90)



Figur 3. Bild av två 56A3 vattenjetaggregat som tillhör stålserien. (Rolls-Royce, 2008)

Arbetsprincipen för ett vattenjetaggregat är att en pump suger in vatten genom ett inlopp under båten. Pumpen trycksätter vattnet, varefter det släpps ut från aggregatet med en hög hastighet. Båtens drivande kraft beskrivs av Newtons tredje lag, det vill säga reaktionskraften som uppstår när vattnet från pumpen släpps ut i en stråle. Med hjälp av ett styrmunstycke kan man styra strålen till höger och vänster, och på detta sätt få båten att svänga. Vid inbromsning och backningsrörelse används en backskopa, som riktar strålen framåt. (Molland, 2011, s. 356)

Vattenjetdrift har jämfört med propellerdrift ett antal för- och nackdelar. Under nämns de huvudsakliga.

Fördelar:

- Bättre verkningsgrad i högre hastigheter
- Kan användas i grunda vatten
- Mindre ljud och vibrationer
- Bättre manövrerbarhet

Nackdelar:

- Pumpen skadas om föremål sugts in
- Upptar mera utrymme inne i båten
- Reparationer kan bli kostsamma

(Gokarn & Ghose, 2004, s. 421)

## 1.2 Bakgrund

Detta examensarbete utfördes i samarbete med Rolls-Royce i Karleby. Iden till examensarbetet framkom under sommaren 2016, när alternativ för olika examensarbetsämnen diskuterades. Till Rolls-Royce Marine Service-avdelning tas det emot feedback och olika reparationsförfrågningar för olika sålda produkter. En sådan förfrågning som mottagits är reparation av skadade intagskanaler. Dessa skador framkommer oftast på äldre aggregat som har något sämre motstånd mot oxidering än de aggregat som är i produktion idag. Tidigare har endast en intagskanalsreparation utförts av avdelningens serviceteam. Vid denna reparation byttes den skadade delen av intagskanalen ut mot en ny, och den nya delen var då försedd med uppdaterade oxidationsskydd för att förebygga framtida angrepp.

Då det existerande verktygets komponenter är anpassade för användning på endast en aggregatsstorlek, krävdes det för att kunna utföra liknande reparationer på andra aggregatstolekar att nya verktyg konstruerades. Dessa verktyg kunde då konstrueras utgående från det existerande verktyget för att bibehålla dess funktion. Vissa komponenter i det existerande verktyget har konstruerats så de går att använda på andra aggregatstolekar, så dessa krävde ingen vidare utveckling för att kunna användas i de framtida verktygen.

## 1.3 Syfte

Huvudsyftet med examensarbetet är att konstruera komponenter i form av svetsfixturer till två stycken reparationsverktyg. Dessa svetsfixturer bör konstrueras utgående från ett tidigare använt verktyg av annan storlek. Reparationsverktygen används när en specifik del av vattenjetaggregatets intag har utsatts för oxidation, och bör bytas ut mot en ny. En liknande reparation har utförts tidigare av avdelningen på ett äldre fartyg, där resultatet blev mycket tillfredställande. På grund av detta blev det beslutat att ett liknande verktyg bör konstrueras,

så att en likadan reparation går att utföra på ett antal andra aggregatstorlekar som finns i drift hos kunder.

## **1.4 Avgränsning**

Detta examensarbete kommer endast att koncentrera sig på att dimensionera och konstruera reparationsverktygets svetsfixturer för två vattenjetaggregatsmodeller. För att kunna utföra detta krävs det att detaljerna som fixturerna skall fixera under svetsning också konstrueras. Dimensionerna på både svetsfixturerna och intagsinsatserna, som fästs i fixturerna, är långt bestämda från aggregaten som repareras. Till arbetet hör inte att dimensionera svetsförbanden i svetsfixturerna, och inte heller att tillverka ritningar och manualer för fixturerna.

## **1.5 Disposition**

I dispositionen beskrivs vad olika kapitel i examensarbetet innehåller i korthet.

Kapitel 1 innehåller en beskrivning av uppdragsgivaren och deras produkter samt en kort presentation av själva examensarbetet. Presentationen innehåller bland annat bakgrunden till arbetet, vad dess syfte är och hur mycket examensarbetet omfattar.

Kapitel 2 redogör vilken teoretisk bakgrund arbetet har. Denna teoridel innefattar bland annat konstruktionsdimensionering, tillverkningsmetoder och datorbaserad modellering.

Kapitel 3 beskriver vilka metoder och arbetssätt som använts under arbetet.

Kapitel 4 innehåller en presentation av resultatet som examensarbetet har uppnått.

Kapitel 5 ger en sammanfattande diskussion över hela arbetet, hur arbetet har framskridit och vilka delmoment som kunde ha utförts på ett bättre sätt.

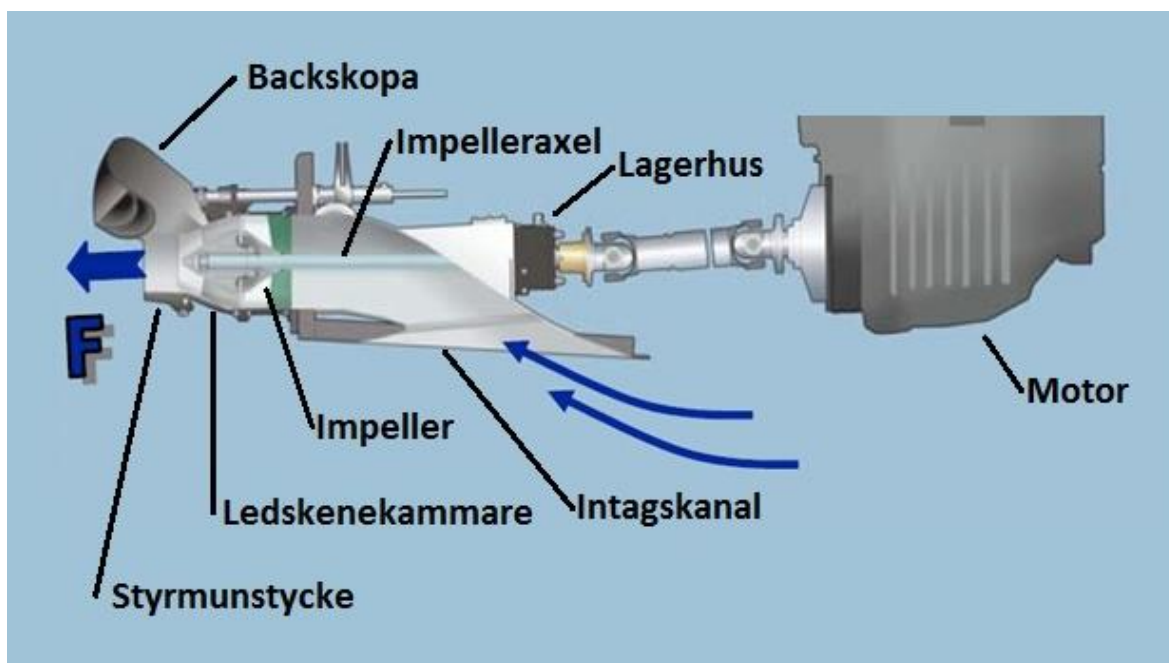
## **2 Teori**

I detta kapitel redovisas den teori som använts under detta examensarbete för att komma fram till det slutliga resultatet. Denna teori handlar om bland annat materialegenskaper, konstruktionsdimensionering och tillverkningsmetoder.

## 2.1 Ett vattenjetaggregats uppbyggnad

Vattenjetaggregatets historia kan påträffas så tidigt som år 1661, då Thomas Toogood och James Hayes fick patent för en konstruktion som kan liknas ett vattenjetaggregat. Det finns dock inga tecken på att denna patenterade konstruktion blev använd i praktiken.

Det är inte förrän modern tid som vattenjetaggregaten fått fotfäste som ett framdrivningsalternativ för båtar och fartyg. På fartyg har det endast på senare tid börjat användas vattenjetaggregat som framdrivningssystem, där aggregaten kan ha en intagsdiameter på upptill 2m var. På mindre båtar är det vanligt att ett enkelt vattenjetaggregat installeras, medan det inte är ovanligt att större fartyg kan förses med fyra individuella vattenjetaggregat.



Figur 4. Ett vattenjetframdrivningssystemets huvudbeståndsdelar.

I figur 4 visas ett traditionellt vattenjetaggregats huvudbeståndsdelar samt en inkopplad kraftkälla i form av en förbränningsmotor. I figuren saknas det hydrauliska styrsystem som används för svängnings- samt backningsmanöver. Till följande redovisas de olika beståndsdelarnas funktion.

- Intagskanal, tillgodoser aggregatets pump med vatten, som tas från båtens undersida.

- Impeller, bildar tillsammans med dess impellerhus och ledskenekammare vattenjetaggregatets pump. Det är här vattnet får sin rörelseenergi som skapar framdrivning åt båten.
- Ledskenekammare, har i uppgift att strypa samt få bort den rotation i vattenstrålen som den roterande impellern inducerat.
- Styrmunstycke, när vattenstrålen pumpas ut kan man med hjälp av styrmunstycket rikta strålen till höger och vänster, och på detta sätt få båten att svänga.
- Backskopa, i nedfällt läge riktas vattenstrålen framåt och båten bromsar. När nedfälld till ungefär hälften står båten stilla.
- Impelleraxel, överför roterande kraft mellan motoranslutning och impeller, samt överför den framåtdrivande kraften från impellern till lagerhuset. Upplagrad i ledskenekammare och lagerhus.
- Lagerhus, överför den roterande impellerns framåtdrivande kraft till intagskanalen och båtskrovet.
- Motor, kraftkälla för vattenjetaggregatet. Vanligen en förbränningsmotor av diesel-typ.

(Carlton, 2007, s. 357–364)

## 2.2 Materialval

Ett av de viktigare besluten som görs när en produkt tas fram, är valet av tillverkningsmaterial. Därför bör både konstruktören och designern ha kunskaper och förståelse för de olika materialens egenskaper, tillverkning, värmebehandling och lämpliga användningsområden. Inom materialutvecklingen sker en intensiv utveckling, både inom lastbärande konstruktionsmaterial samt funktionella material för bland annat elektronikindustrin. Stål är materialet som används mest globalt, men användningen av aluminiumlegeringar och polymera material ökar kraftigt.

Både produktens geometriska form och produktionsprocess är starkt kopplad till materialvalet. Produktionsprocessen innefattar komponenttillverkning samt fogning och montering. På grund av detta kommer materialvalet in tidigt i konstruktionsprocessen. En



komponents olika belastningar är ofta (till exempel vid rörliga dynamiska system) beroende av både geometri och materialtyp. Olika materialegenskaper påverkas av tillverkningsmetoden, vilken även väljs beroende på seriestorleken.

När konstruktionsmaterial väljs bör en kravprofil ställas upp, där en mängd olika aspekter kan vägas in som exempelvis:

- Produktens funktion
- Produktens livscykel
- Produktionsvolym
- Materialegenskaper
  - Passiva, bevarande
    - påverkan av yttre miljö
  - Aktiva, funktionella
    - mekaniska egenskaper, ”hållfasthet”
  - Tillverkningspåverkande
    - seriestorlek
  - Kvalitetspåverkande
    - livslängd.

(Johansson, et al., 2013, s. 363–368)

### 2.2.1 Stål

På grund av goda mekaniska egenskaper, lågt pris, goda fognings- och formningsmöjligheter är stål det dominerade konstruktionsmaterialet på marknaden. Återvinningen av stål genom omsmältning och skrotbaserad stålframställningen är etablerad sedan länge. Materialet stål består av järn som har en kolhalt under 1,6% samt olika legeringsämnen. När kolhalten ökas i ett olegerat kolstål fås en ökad hårdhet, sträckgräns, brottgräns och tyvärr sprödhet. Vid utveckling av nya ståltypen är utmaningen att använda legeringsämnen samt

värmebehandling för att upprätthålla stor seghet vid hög stäck- och brottgräns. (Johansson, et al., 2013, s. 363–370)

Det finns två olika system att beteckna stålen, genom att använda ett alfanumeriskt stålnamn eller ett numeriskt stålnummer. Här kommer dock att beskrivas beteckning med stålnamn, då detta system är vanligast. Detta system är standardiserat enligt EN-10027-1.

Detta stålnamn är uppdelad i två grupper. Dessa två grupper är:

- Grupp 1, beskriver stålets användningsområde och egenskaper
- Grupp 2, beskriver stålets kemiska sammanställning.

Vidare kommer endast beteckningarna i grupp 1 av stålnamnet behandlas här, då dessa beteckningar är mest intressanta i vårt sammanhang. För att definiera ett material behövs både standard- samt materialbeteckning. Till följande förtydligas hur ett material kan definieras.

Tabell 1. Exempel på materialbeteckning.

Standardbeteckning	Stålnamn
SFS-EN 10025-2:2004	S275J2

I tabell 1 visas ett stålmaterials beteckningar. I den första rutan visas standarden vilket stålet i fråga uppfyller samt hur materialbeteckningen är uppbyggd. Den där påföljande rutan innehåller stålnamnet. Detta består av en bokstav samt ett värde för någon egenskap som är definierad i standarden. De sista tecknen i stålnamnet anger en egenskap också den definierad i standarden. I detta exempel betyder följande beteckningar i stålnamnet S275J2:

- S anger att stålet är ett konstruktionsstål (från engelskans structural steel)
- 275 anger att stålets minsta värde för den övre sträckgränsen är 275MPa när materialet tjocklek är upp till 16mm.
- J2 anger att materialet uppfyller slagprovningens kravet att ta upp 27 Joule energi vid -20 °C enligt Charpy-V.

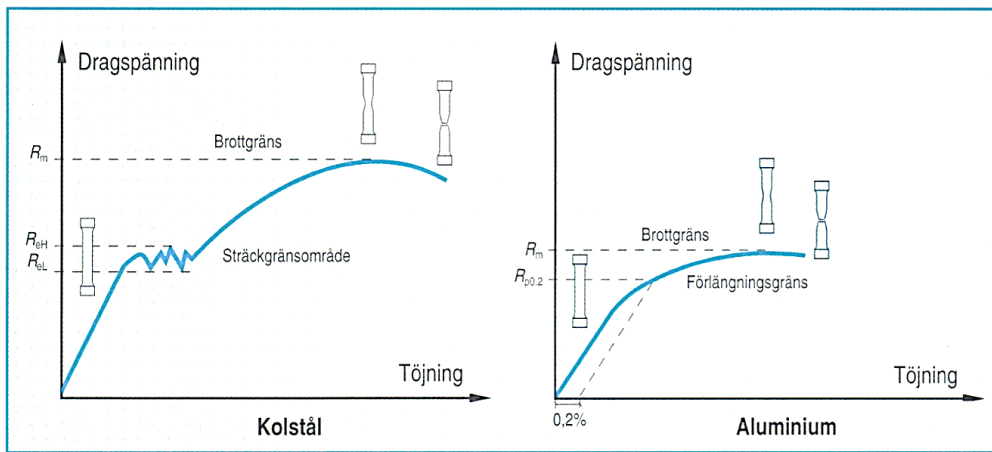
(Olsson, 2007, s. 19–21)

### 2.2.2 Aluminium

Aluminium är en metall som har en kombination av många goda egenskaper och är därför efter stål den mest använda metallen. De mest viktiga egenskaperna för aluminium är:

- Låg vikt
- God styrka och hållfasthet
- God korrosionshårdighet
- Hög ledningsförmåga
- Konstruktionsvänligt
- Lättbearbetat
- Lätt att foga
- Ekonomisk produktionsteknik
- Lätt att återanvända.

En mängd olika egenskaper kan tas fram ur aluminiummaterialen genom tillsatser av olika legeringsämnen. Dessa legeringar av aluminium delas efter användningssätt upp till plastiska legeringar och gjutlegeringar. De plastiska legeringarna används för bland annat strängpressade profiler, smiden, plåt och folie. Gjutlegeringar används, som namnet antyder, till gjutgods. Materialen i bägge dessa legeringsgrupper blir igen uppdelade utifall de är härdningsbara eller inte. Till gruppen plastiska legeringar hör även olegerat aluminium, det vill säga rent aluminium, som används inom bland annat elektronik- och livsmedelsbranschen.



Figur 5. Jämförelse mellan hållfastheten för kolstål och aluminium.

Aluminium-magnesiumlegeringar ingår i gruppen plastiska icke härdbara legeringar. De kännetecknas av en god kombination av hållfasthet och formbarhet, bra svetsbarhet samt bra korrosionsbeständighet, framförallt i marin miljö, varför de är vanliga inom skeppsbyggnadsindustrin. (Mattson, 2001, s. 6–163)

I figur 5 kan ses en jämförelse mellan hållfasthetens karaktärer hos kolstål och aluminium vid ett dragprov. Från den kan konstateras bland annat att aluminium saknar en tydlig sträckgräns, vilket kolstål generellt har.

### 2.3 Konstruktionsdimensionering

När en konstruktion skall dimensioneras, alltså dess mått, former och material bestämmas, bör detta göras utgående från att undvika funktionsnedsättningar och skador under konstruktionens livslängd. Traditionellt har ofta dimensionering likställts med hållfasthetsdimensionering, vilket är förståeligt eftersom det är ett primärt intresse att konstruktionen ska hålla. (Olsson, 2015, s. 9)

Vid hållfasthetsdimensionering bör man besluta vilken skade- eller brottmekanism som är dimensionerande. De dimensionerande skade- eller brottmekanismerna kan vara:

- Plasticering vid statisk belastning, det vill säga dimensionering med avsikt på materialets sträckgräns. Detta är ett av de vanligaste fallen för metalliska föremål. Vanligen har man en säkerhetsmarginal till brott efter att sträckgränsen uppnåtts i något av konstruktionens spänningsområden. Man kan då visuellt notera en flytning i konstruktionen, och vidta åtgärder.

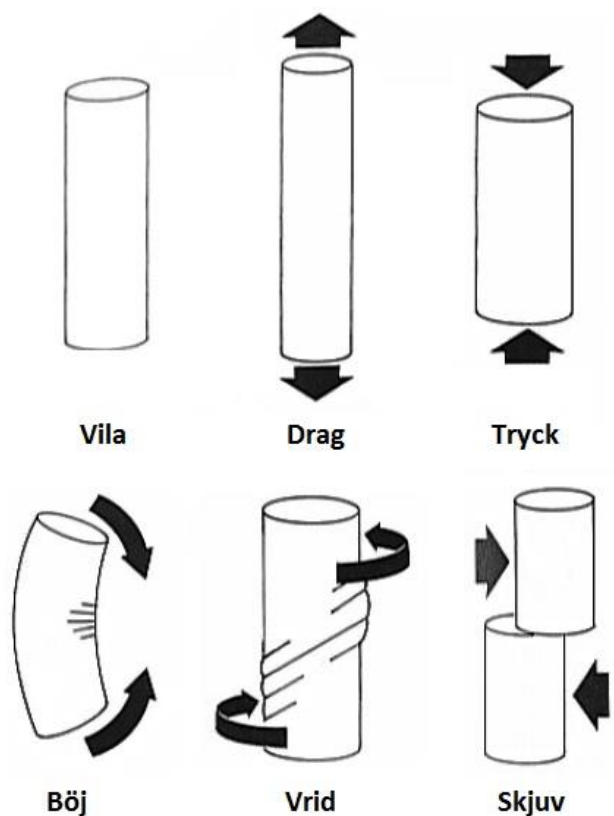
- Instabilitet: knäckning, buckling eller vippning vid statisk belastning av konstruktionen. En typ av instabilitet i balkar och plåtar som innebär plötsligt kollaps.
- Utmattning är ett typ av brott som uppstår när ett material utsätts för dynamisk belastning med lastnivåer under dess sträckgräns.
- Sprödbrott är ett brott som är beroende av materialets kritiska brottseghet samt temperatur. Måste tas i beaktande när spröda material används (tex. keramiska material) eller när konstruktionen utsätts för mycket låga temperaturer.
- Krypning och varmhållfasthet, ett fenomen när ett material, som är utsatt för belastning, kommer en ökande töjning att uppstå. För metaller uppstår krypning vid höga temperaturer.
- Abrasiv, slitande nötning. Uppstår när två ytor samverkar med varandra bland annat i upplagringar. Den slitande nötningen minskar ofta när hårdare material väljs till ytorna, då dessa vanligen har högre nötningstillstånd.
- Erosion, nötning från partiklar. Uppstår när partiklar från vätskor eller gaser omströmmar en solid komponent, till exempel en impeller eller propeller.
- Kavitation, kan uppstå vid vätskeströmning över en komponents yta. Om ytan är så formad att en trycksänkning uppstår, kan gasbubblor bildas som sedan imploderar när trycket normaliseras. Dessa implosioner bildar tryckstötter som utmattar ytan. Kavitation kan uppstå på ett propellerblads sug sida.
- Korrosion är kemiska angrepp på materialet från de omgivande medierna. Angreppen uppstår ofta i spalter, fasgränser och korngränser. Ifall metaller som har olika elektrokemiska potentialer kombineras, leder detta till ökat korrosionsangrepp.

Utöver dimensionering för hållfasthet, eller styrka som det också kan kallas, kan man även dimensionera för bland annat styvhet. Då dimensionering för styrka utgår från att konstruktionen inte får gå sönder, utgår dimensionering för styvhet från att konstruktionen, under last, inte får deformeras så mycket så dess funktion äventyras. När en konstruktion dimensioneras för styvhet bör noteras att formförändring genom elastisk deformation beror både av formen på det spänningsutsatta området samt materialets elasticitets modul. Materialets hållfasthet påverkar dock inte deformationen, så ett välutformat tvärsnitt bör

utformas när höghållfasta stål används, för att uppnå tillräcklig styvhet. (Johansson, et al., 2013, s. 405–413)

### 2.3.1 Dimensionering med hänsyn till hållfasthet

Vid dimensionering för styvhet bör olika metoder användas för att motverka deformation i konstruktionen. Dessa dimensioneringar är relativt specifika för vilken typ av belastning konstruktionen kommer att utsättas för. I figur 6 visas en axels deformationer som uppstår vid olika belastningar.



Figur 6. Kraftbelastningar i en axel som resulterar i belastningsdeformationer.

#### Dragbelastning

Det behövs minst material när en konstruktion endast kommer att belastas genom dragning, jämfört med några av de andra belastningar. Detta eftersom hela materialet utnyttjas lika mycket. Styvheten vid denna belastning ökas bland annat genom att öka materialtjockleken i konstruktionen. Tvärsnittet utsätt här för dragspänningar.

## **Tryckbelastning**

När en konstruktion belastas av tryck uppför den sig relativt likadant som vid dragbelastning, förutom att tvärsnittet utsätts för tryckspänningar. Instabilitetsfenomen, i form av knäckning, buckling och vippning, blir en begränsande belastningsfaktor ifall konstruktionen går mot högre materialutnyttjande och mera avancerande konstruktionsutformningar. En typisk konstruktion som detta bör tas i beaktning för är pelare, då dessa ofta gärna görs så smala som möjligt för att spara utrymme. De egenskaper som inverkar på hur mycket last en pelare klarar av är tvärsnitt, pelarlängd, infästning, sträckgräns och elasticitetsmodul. Också ofullkomligheter i tillverkningen av pelaren har stor betydelse, som exempelvis initialkrokighet, avvikelse i tvärsnittsgeometri och restspänningar.

## **Böj belastning**

När en balk med symmetriskt tvärsnitt utsätts för böjning i dess elastiska område, får den en spänning linjärt beroende av avståndet till dess tyngdpunktsaxel. Böjstyvheten bestäms således av de kraftupptagande ytornas avstånd till sektionens tyngdpunkt upphöjt till två. Således kan man genom att flytta bärande områden i en balks tvärsnitt längre från dess tyngdpunkt, och på detta sätt få till stånd en balk som är både lättare och styvare. Vid denna typ av optimering av tvärsnittet bör man dock ta beaktning spänningshöjningar i de bärande områden samt buckling och vippning ifall man arbetar med stora tunna plåtfält. Tvärsnittet utsätts främst av drag och tryckspänningar, men vid kortare sektionlängder även skjuvspänning.

## **Vridning**

För att få en konstruktion att uppta vridande moment använder man sig av olika typer av profiler i olika utföranden. Att profilen har ett slutet tvärsnitt är av stor betydelse för att få stor vridstyvhet. Ifall profilens ena ändfläns inte är inspänd uppstår främst skjuvspänningar i tvärsnittet, och ifall det är inspänd uppstår utöver skjuvspänning också en betydande drag- och tryckspänning i profilens tvärsnitt. Man kan på detta sätt öka vridstyvheten i profilen genom att begränsa vridningen i profilens ändfläns, även kallar välvning. (Olsson, 2007, s. 43–52)

## Skjuvbelastning

Ifall en detalj blir utsatt för drag- respektive tryckbelastning på vardera sidan av ett plan, uppstår en skjuvbelastning utefter detta plan. Ifall denna detalj är tillverkad av ett elastiskt material, kommer detaljen på grund av skjuvspänningar deformeras mellan de områden belastningarna induceras. Skjuvstyvheten, som motverkar deformation under skjuvbelastning, ökas bland annat genom att öka arean på tvärsnitten mellan dessa området. (Nash & Potter, 2010, s. 27–28)

## 2.4 Tillverkningsmetoder

När en detalj skall tillverkas, krävs det ofta att ett grundämne omformas och/eller sammanfogas med ett annat grundämne. I detta kapitel nämns några olika metoder för att åstadkomma detta.

### 2.4.1 Svetsning

Definitionen för ordet svetsning är att sammanfoga olika arbetsstycken utan användning av separat bindemedel och på sådant sätt få metallens partiklar eller plastens molekyler att bindas samman, och på detta vis bildas ett fast förband. Det finns en mängd olika svetsmetoder, dessa indelas i två huvudgrupper:

1. Smältsvetsning
2. Trycksvetsning

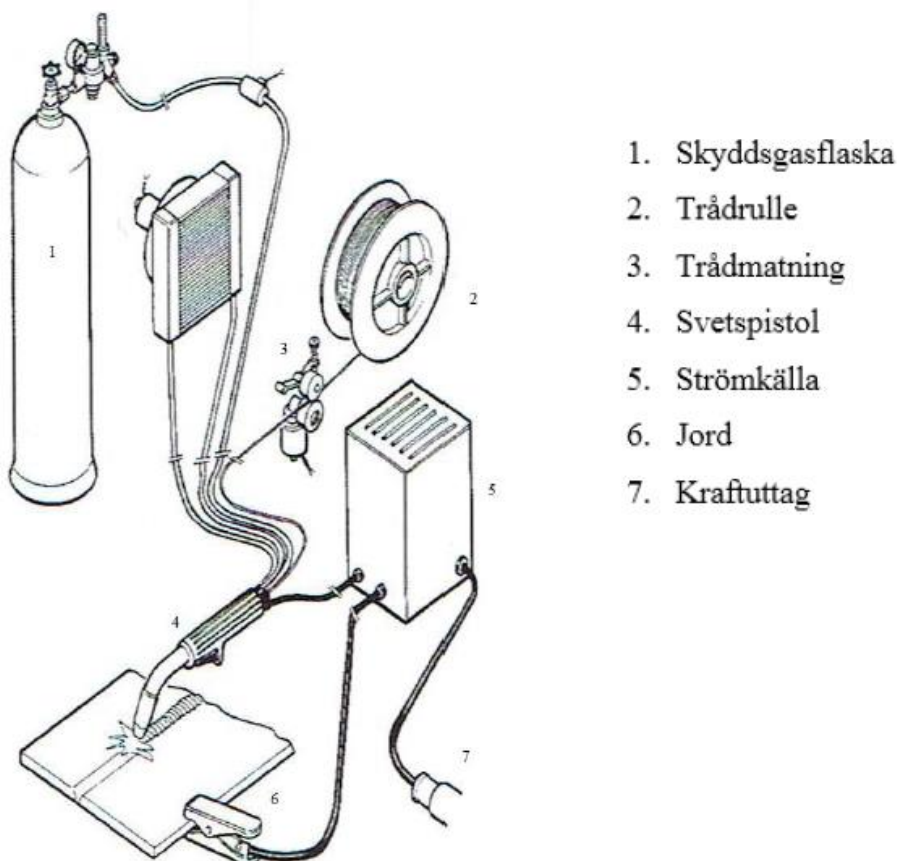
Smältsvetsning går ut på att förbandsytorna på de arbetsstycken som skall sammanfogas genom svetsning uppvärms till smälttemperaturen. När ytorna uppnår smälttemperaturen smälter dessa samman utan hoppresning. Denna typ av svetsning kan utföras med tillsatsämne eller utan. Till smältsvetsning hör bland annat MIG/MAG-svetsning.

Vid trycksvetsning används inget tillsatsämne vid sammanfogningen. Vid svetsning med denna metod upphettas förbandspunkternas ytor till en temperatur som gör ytornas material klibbigt, varefter de pressas samman med en viss kraft så ett fast förband bildas. Till trycksvetsning hör bland annat punktsvetsning.

MIG/MAG-svetsning är en svetsmetod som anses halvautomatisk, då tillsatsämnet under svetsning matas fram automatiskt till svetspunkten där svetsprocessen skyddas av en skyddsgas (se figur 7). I svetspunkten brinner en ljusbåge mellan tillsatsämnestråden och



grundmaterialet. Denna ljusbåge smälter samman tillsatsämnet och grundmaterialet. Skillnaden mellan MIG- och MAG-svetsning är främst deras skyddsgaser. Vid MIG-svetsning används en inert skyddsgas som inte reagerar. Som inerta gaser används ädelgaser som till exempel argon. Vid MAG-svetsning använder man sig istället av en aktiv gas. Denna aktiva gas är vanligen en blandning av argon och koldioxid eller argon och syre. MAG-svetsning används främst vid svetsning av stål, medan MIG-svetsning används för svetsning av andra metaller som till exempel titan, koppar och aluminium. (Lepola & Makkonen, 2004, s. 126–135)



*MIG/MAG-svetsningens princip.*

Figur 7. Förenklad bild av en MIG/MAG-svets. (Lepola & Makkonen, 2004)

#### 2.4.2 Deformationer vid svetsning

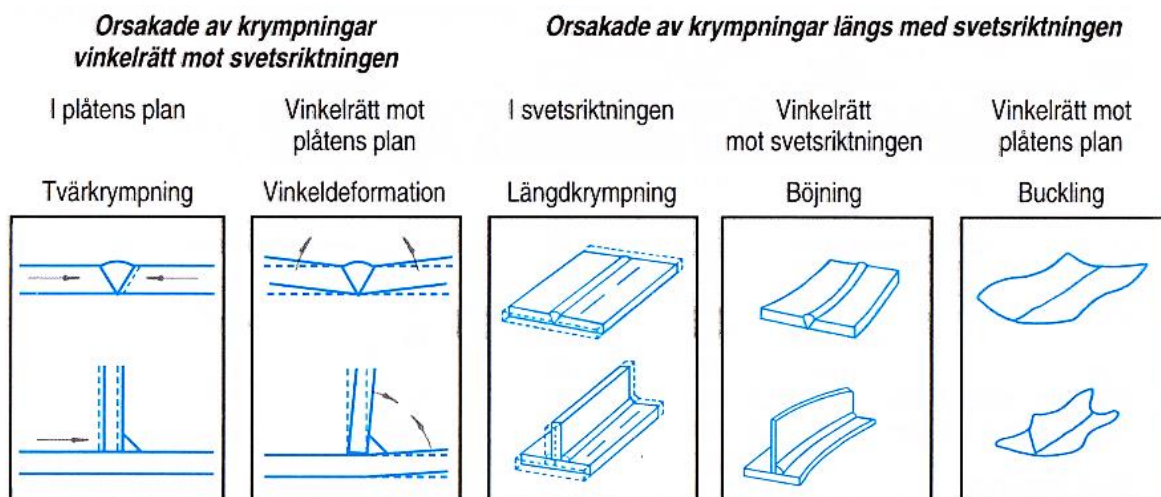
När ett metallföremål sammanfogas genom smältsvetsning, uppstår det alltid krympningar i både svetsen och grundmaterialet. Det finns två orsaker till detta fenomen. Den första orsaken är när svetsen svalnar uppstår det en stelningskrympning i smältan, vilket minskar svetsens volym med ungefär 7%. Som andra orsak är sammandragningar hos det uppvärmda

grundmaterialet, vilket orsakar lokalt plastisk deformation. Följden av dessa sammandragningar är deformationer i konstruktionen.

Krympningar kan särskiljas i tre typer:

- Tvärkrympning
- Vinkeldeformation
- Längdkrympning

Dessa olika krympningar effekter på konstruktioner visas i figur 7. (Mattson, 2001, s. 435–436)



Figur 8. Olika deformationstyper som orsakats av svetsvärme. (Mattson, S., 2001)

### 2.4.3 Minimering av svetsdeformation

De formförändringar som sker vid svetsning av aluminium är cirka tvådubbla jämfört vid svetsning av olegerat stål. Utöver detta är krympningarnas storlek beroende av materialtjocklek, svetsmetod, fog typ och tillförd värmeenergi. Dessa deformationer kompenseras vanligtvis genom materialtillägg, användning av svetsfixturer och en genomtänkt svetsplan.

Högproducerande svetsmetoder med låg sträckenergi bör väljas för att minimera deformationen i svetsfogarna. MIG-svetsning är därför att föredra framför TIG-svetsning.

En svetsplan består av en kombination av krav för att få önskvärd inträngning och svetsutseende med optimal svets hastighet. För att uppnå alla ställda krav bör en kvalificerad svetsplan provas ut både teoretiskt och praktiskt. Planeringen av denna svetsplan kräver stor noggrannhet, bland annat svetsföljd, svets häftningar, objektets fastspänning i fixturen med avseende på svetssegenspänningar och deformationer. Desto bättre man kan förutse svetsningens värmepåverkan, ju mindre rikttningsarbete efter svetsningen krävs. Följande punkter bör därför tas i beaktan.

- Högproducerande svetsmetoder med låg sträckenergi bör användas.
- Högsta möjliga svets hastighet bör användas.
- Plåtarna bör kunna röra sig fritt i sitt plan.
- Fixturer som ger jämn kylning bör användas.
- Gör materialtillägg.
- Svetsa så lite som möjligt.

(Mattson, 1997, s. 14–15;42–43)

#### **2.4.4 Svetsfixtur**

En fixtur är en anordning för uppspänning av detaljer. Ofta kan en fixtur vara konstruerad så att ett verktyg kan monteras fast och således ett arbetsskede utföras vid tillverkning av detaljen. I vissa fall konstrueras fixturen så att den kan monteras fast på en större konstruktion, så att arbetet kan utföras. Sällan blir en detalj tillverkad, flyttad, monterad eller inspekterad utan att en fixtur används. En fixtur skiljer sig från andra verktyg genom att den är konstruerad för uppspänning av en specifik detalj under ett specifikt arbetsskede. Fixturer, oavsett av typ, har någon typ av ram eller bas som håller resten av komponenterna. Mycket omtanke bör ges när denna ram blir konstruerad så den blir tillräckligt stark och tillräcklig stabilitet erhålls. En tumregel är att om den inte ser tillräcklig stark ut, så är den inte det heller. Mera förstärkningar bör då tillsättas. Erfarenhet hjälper till vid denna analys.

Komponenterna blir fastmonterade i fixturen, varefter de blir sammanfogade genom svetsning. Fixturer som används vid svetsning utsätts då för en stor mängd värme. Slutligen lösgörs den färdiga detaljen från fixturen. Ett av de större problemen vid svetsning är att metall har en tendens att expandera, komprimera, vrida sig samt göra andra rörelser när den

blir utsatt för värme vid svetsning. Ifall svetsfixturen inte är tillräckligt stark, kan dessa rörelser inte bara deformera detaljen utan också själva fixturen. Detta problem blir större varefter svetsvärmen ökar samt när detaljens svetsade komponenter blir tjockare. Genom att använda mera hållfasta material till fixturens konstruktion kan problemet mildras. Deformation vid enskilda komponenter kan minskas genom styvare uppspanning. (Campbell, 1994, s. 1–9)

När två aluminiumplåtar sammanfogas genom svetsning uppstår det förutom spänningar långsmed svetsen också spänningar vinkelrätt mot svetsen. Dessa vinkelräta spänningar leder till rörelse framför svetsbrännaren i både höjd- och sidled. För att hålla dessa rörelser inom rimliga gränser används ofta fixturer. Sådana skall vara konstruerade så att plåtarnas rörelse hindras. För att minska risken för sprickor i svetsen bör inte plåtarnas rörelse hindras i alla plan. (Mattson, 2001, s. 440–441)

## 2.5 Klassningssällskap

Vid frakt med sjöfart kräver fraktaren samt försäkringsgivaren en försäkran att fartyget samt dess utrustning uppfyller kraven för att klara av den erfordrade resan. För att uppmärksamma riskerna för fraktaren och försäkringsgivaren började det första klassningssystemet skapas för över 200 år sedan. Under denna period har tillförlitliga organisationer skapats för att utföra första samt fortlöpande inspektioner av fartyg så deras klassning kan uppskattas samt upprätthållas. SOLAS är en internationell konvention för säkerhet av människoliv till havs som fick sin grund efter fartyget Titanics förlisning. Ansvar för att ett fartyg uppfyller konventionens regler ligger på den nation som det går i flagg under. SOLAS konventionen säger att ett fartyg bör konstrueras så alla hållfasthets-, mekaniska- och elektriska krav uppfylls ett av hemmanationen godkänt klassningssällskap. Generellt godkänner nationer klassningssällskap istället för att upprätthålla liknande nationella standarder. Det finns globalt över 50 olika klassningssällskap, av dessa är de största bland annat:

- American Bureau of Shipping (ABS), USA
- Bureau Veritas (BV), Frankrike
- Det Norske Veritas (DNV), Norge
- Germanischer Lloyd (GL), Tyskland
- Lloyds Register (LR), Storbritannien

- Nippon Kaiji Kyokai (Class NK), Japan
- Russian Maritime Register of Shipping (RS), Ryssland.

Klassningssällskapen publicerar egna regler och förordningar som skall uppfyllas för att ett fartyg skall få en godkänd klassning. För att upprätthålla fartygets klassning bör besiktningar utföras regelbundet.

När ett fartyg behöver reparationer vid skadade områden i till exempel skrovet, måste reparationen uppfylla kraven som klassningssällskapet kräver. Ofta utförs en reparationsinspektion av ett respektive klassningssällskap utsedd inspektör under själva reparationen eller snarast efter reparationen. (Eyres, 2007, s. 35–41)

## 2.6 Korrosion

Det är ett naturligt fenomen att nästan alla metaller reagerar på sin omgivning. Denna oftast elektrokemiska reaktion resulterar i en korrosionsprodukt som ofta består av ett ämne som har väldigt lika kemisk sammansättning som grundmineralen. Metallerna strävar alltså till att brytas ner till en stabilare förening, mera lik den grundmineral den framställdes ifrån. (Eyres, 2007, s. 309)

Aluminium har en mycket bra korrosionshårdighet, vilken i många fall är bättre i oskyddat tillstånd än vad andra material har med korrosionsskydd pålagt. Denna höga korrosionshårdighet uppstår på grund av att ett mycket tunt oxidskikt bildas spontant på metallens yta. Detta oxidskikt är tätt och starkt sammanhäftande med den underliggande aluminiummetallen. Vid fuktiga och varma miljöer ökar oxidskiktets tillväxthastighet och tjocklek innan korrosionen avstannar. Det är dock viktigt att komma ihåg att aluminium är en oädel metall, vilket innebär att aluminium inte konstrueras i direkt kontakt med andra metaller. De vanligaste korrosionstyperna som aluminium utsätts för är:

- Grop- eller punktfrätning, den vanligast korrosionsformen. Uppstår när det skyddande oxidskiktet punktvis genomfräts, varefter oxidskiktet bildas igen. Dessa angrepp är i regel små och självhämmande, vilket sker långsamt i vatten och snabbare i luft. Denna frätning förebyggs genom ytbehandling av metallen genom till exempel målning eller anodisering.
- Galvanisk korrosion, uppstår när två olika metaller kommer i kontakt med varandra under samtidig närvaro av elektrolyt. Under denna process påverkas den oädlaste

metallen i denna kombination, vilken korroderar. Denna korrosion är vanlig på den delen av ett fartygsskrov som är under vattenytan, där aluminium ofta är den oädlaste konstruktionsmetallen. Korrosionen förebyggs där ofta genom katodiskt skydd. Genom att montera fast offeranod tillverkade i metaller oädlare än aluminium, ofta zink, korroderar dessa offeranod, men inte de andra metallerna i dess anslutning. (Matsson, 1997, s. 77–79)

## **2.7 Datorbaserad modellering och produktutveckling**

Modellering av olika resultat under utvecklingsprocessen av en produkt är en nödvändighet för att kunna analysera och simulera huruvida resultatet uppfyller kraven som ställts på produkten. Dessa framtagna modeller är nödvändiga för att effektivt kunna kommunicera angående produktutvecklingsresultat med andra aktörer inom innovationsprocessen, till exempel när produkten skall tillverkas.

### **2.7.1 CAD-modellering**

CAD, som står för computer-aided design, är ett system som utvecklades ursprungligen för att med datorhjälp ersätta det manuella skapandet av tvådimensionella ritningar som då gjordes med ritbräda. Med dessa stödsystem kunde ritnings arbetet göras betydligt effektivare. När datorernas kapacitet ökade med tiden kunde även CAD-systemens geometrihantering ökas från tvådimensionella till tredimensionella modeller. Med dagens CAD-system har man möjlighet att skapa både statiska tredimensionella modeller som har fast dimensioner samt parametriserade modeller med parametersatta dimensioner vilka kan styras med olika parametervärden. Med den senare modellen kan dimensionerna till exempel styras från en annan ritning, så när denna justeras ändras också den andra ritningen.

### **2.7.2 Omvänd ingenjörskonst**

Omvänd ingenjörskonst, på engelska Reverse engineering, är en metod för utveckling som innebär analysering av en befintlig komponents, systems eller produkts geometri, material och funktion, och sedan använda denna information under annan utveckling. Som utgångspunkt har man en isärplockad fysisk detalj. Denna metod används även i produktutvecklingsprocesser när en CAD-modell skapas utgående från en fysisk modell, ifall den ursprungliga formgivningen gjorts med en fysisk modell, till exempel i bilindustrin används lermodeller vid framtagning av bilarnas grundformer. Metoden används även vid modellering av äldre produkter som saknar ritningar och dokumentering. Utöver detta

används metoden också vid analys av konkurrenternas produkter med hjälp av digitala hjälpmedel ur egenskaps- och prestanda synvinkel. Metoden innebär alltså inte direkt kopiering av produkter, utan används för att förstå hur produkten konstruerats genom en systemisk analys bakvägen.

### **2.7.3 Finita elementmetoden**

För att undvika dyra laboratorieprovningar av fysiska prototyper under en produkts utvecklingsprocess väljs allt oftare att göra en konceptutvärdering av virtuella prototyper med hjälp av datorer. Denna process kallas CAE-simulering, där CAE står för computer-aided engineering. En väl etablerad numerisk metod för att utföra konceptutvärderingar med är finita elementmetoden (FEM). Denna metod används för att lösa fältproblem genom diskretisering av modellens struktur (geometri) till finita (ändliga) element som har förutbestämda egenskaper. Den dominerande användningen av FEM-metoden är främst vid linjärelastiska problem under hållfasthetsanalyser. Metoden går dock också att använda vid andra typer av analyser.

Modellen man använder sig av vid FEM-analys utgår vanligen från den framtagna CAD-modellen. Denna modell förenklas om möjligt för att minska beräkningstiden innan den delas upp i elementdelar, meshar, samt väljer elementtyp.

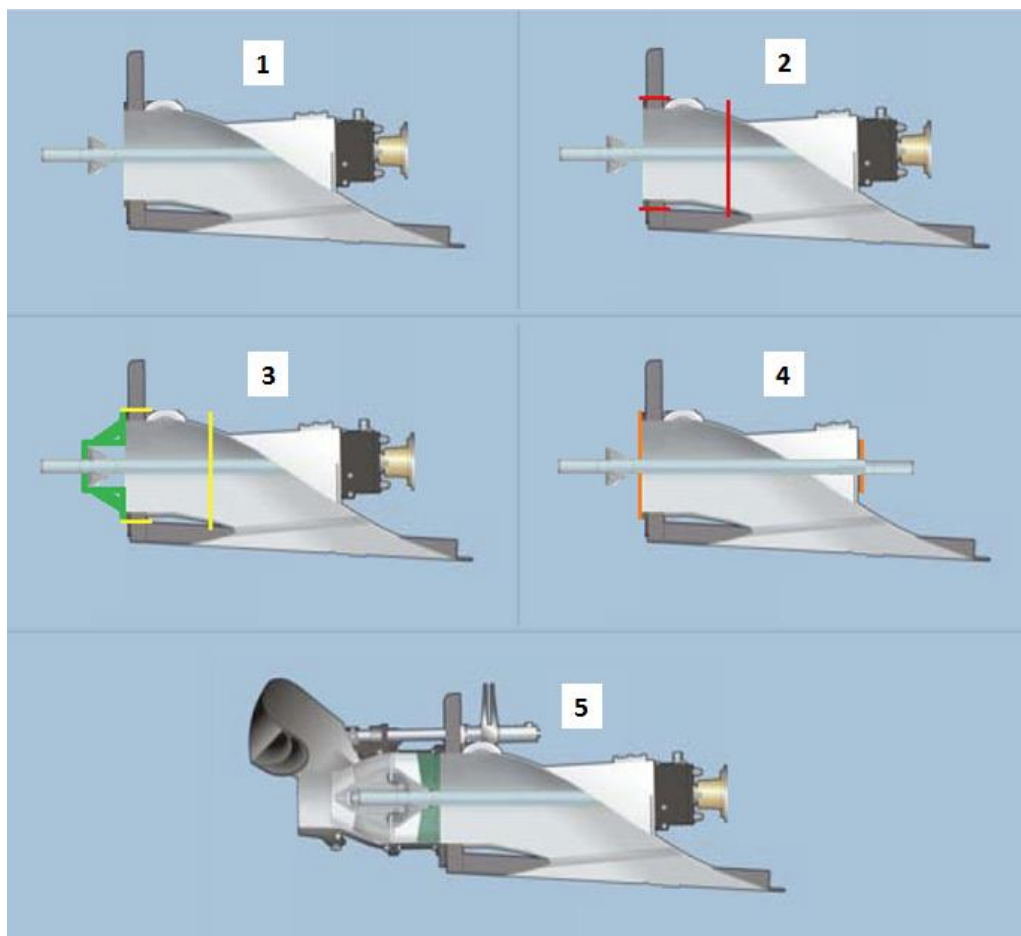
(Johansson, et al., 2013, s. 501–553)

## **2.8 Arbetsprocess under tidigare reparation**

Före reparationen kan genomföras krävs det ett visst antal förberedande moment. Dessa moment är mycket beroende av fartygstypen som reparationen bör utföras på. Momenten består av bland annat:

- Fartyget bör tas upp ur vattnet. Detta på grund av att ungefär halva aggregatet är under vattenytan när fartyget är stillastående, vilket gör det omöjligt att arbeta på det. Mindre båtar kan oftast lyftas upp ur vattnet, medan större fartyg kräver användning av torrdocka.
- Fartyget bör förses med någon form av fixerande anordning för dess vattenjetaggregats impelleraxel, då den under reparationsprocessen inte kan vara fixerad vid de punkter där den vanligen är.

Själva arbetsprocessen för reparation av ett skadat intag kan delas upp i fem arbetsskeden. Dessa arbetsskeden beskrivs till följande något förenklat.



Figur 9. Beskrivning av reparationsprocessens fem arbetsskeden.

I figur 9 visas de olika arbetsskeden vid intagsreparation. Under är en lista på vad dessa arbetsskeden innefattar:

1. Vattenjetaggregatet monteras ner. Kvar fastmonterad på fartyget lämnas impelleraxeln, lagerhuset samt själva intaget.
2. Den korrosionsskadade delen av intagsröret tas bort genom fräsning i gaveln och sågning vid röret (vid de röda strecken).
3. En ny intagsinsats passas in och hålls på plats utgående från impelleraxeln med svetsfixturen (grönfärgad i figuren) under svetsning. Svetsarnas positioner markerade med gul färg i figuren.



4. Efter svetsning lösgörs svetsfixturen samt lagerhuset och både monteringsringen och lagerhusflänsen, som är markerade orangea i figur 9, planas utgående från impelleraxeln så dessa blir parallella och har korrekt avstånd från varandra. Ytorna ytbehandlas därefter.
5. Vattenjetaggregatet monteras ihop på vanligt vis.

Som kan konstateras från dessa fem arbetsskeden krävdes det flera olika verktyg för att utföra reparationen. De specialtillverkade verktyg som hade blivit konstruerade inför denna reparation var:

- Fräsverktyg som möjliggjorde att kunna fräsa loss den gamla monteringsringen från fartygets akterspegel. Detta fräsverktyg centrerades efter impelleraxeln för att den nya monteringsringen skulle följa samma axellinje. Användes i arbetsskede 2.
- Svetsfixtur som möjliggjorde positionering av en ny insats bestående av monteringsring och intagsrör. Även denna centrerades av impelleraxeln. Användes i arbetsskede 3.
- Kylfläns som användes efter att intagsröret blivit sammanfogat, och monteringsringen skulle svetsas fast i fartygets akterspegel. Vid denna svetsning monterades svetsfixturen ner och kylflänsen positionerades istället fast på monteringsringen. Flänsen mottog värme- samt svetsspänningar under svetsningsprocessen, och detta bidrog till att monteringsflänsens form inte deformerades. Användes i arbetsskede 3.
- Fräsverktyg för planing av både monteringsringen samt lagerhusets fläns. Fräsverktyget för låsfräsning av monteringsringen var konstruerat så det även kunde användas till denna operation, men lagerhusets fläns krävde ett eget fräsverktyg. Användes i arbetsskede 4.

### **3 Metodik**

I detta kapitel presenteras de olika metoderna som använts för att komma fram till de slutgiltiga resultaten. Arbetet började med att utreda det tidigare verktygets funktion och krav. Verktygen blev modellerade och simulerade med programmet Siemens NX 10.0.

### 3.1 Krafter på fixtur

När intags insatsen svetsas fast i det resterande intaget kommer svetsspänningar påverka de närliggande komponenterna. Av dessa komponenter kommer svetsfixturen, som begränsar intagsinsatsens rörelse, utsättas för stora krafter. Dessa krafter kan ha olika riktningar och storlekar, vilka fixturen måste motverka så deformationen på insatsens monteringsfläns minimeras. De största krafterna som monteringsflänsen överför till svetsfixturen är:

- Tryckkraft, under svetsprocessen induceras värmeenergi i grundmaterialen, vilket medför att dessa expanderar. Svetsfixturen blir således belastad med en tryckande kraft, då den begränsar monteringsflänsens rörelse utåt.
- Skjuvkraft, ifall svetspalten mellan intagsinsats och intag är ojämnt, blir svetsspänningarna högre där spalten är större. Denna ojämna spänningsfördelning medför att svetsfixturen utsätts för en skjuvande kraft, då monteringsflänsen radiella förskjutning begränsas.
- Vridmoment, när en fog svetsas bildas spänningar som drar ihop fogen i svetsriktningen. Ifall fogar svetsas i samma riktning runt intagsröret kommer monteringsflänsen att vridas. Denna vridning begränsar svetsfixturen, varvid den utsätts för ett vridmoment.
- Dragkraft, när svetsarna stelnar i fogen sker en tvärkrympning hos dessa. Denna tvärkrympning drar monteringsflänsen inåt, vilket belastar svetsfixturen med en dragande kraft.

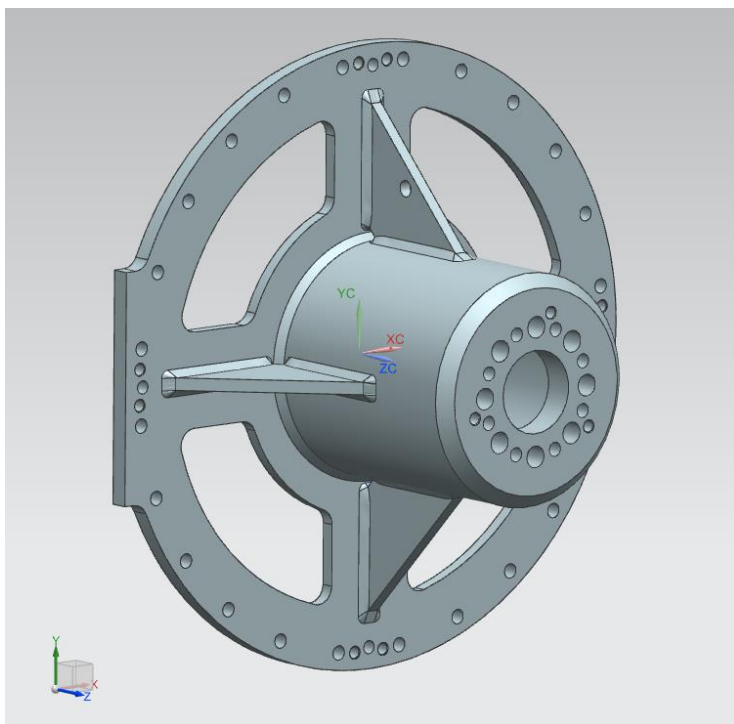
Utöver belastningar på svetsfixturen på grund av svetsning finns även andra belastningar som påverkar svetsfixturen. Av dessa tas i beaktan:

- Böjmoment, innan intagsinsatsen svetsas fast i intaget kommer det att hänga fastbultat i svetsfixturen. I detta scenario böjer sig svetsfixturen neråt på grund av insatsens tyngd och tyngdpunkt. Svetsfixturen utsätts då för en böjbelastning.

### 3.2 Modellering av existerande verktyg

På grund av att det existerande verktyget ursprungligen blivit konstruerat och modellerat med programmet Autocad, var det nödvändigt att modellera upp det igen i det program som används till detta examensarbete, det vill säga Siemens NX 10.0. När fixturen var modellerad

i 3D, som visas i figur 10, blev det lättare att förstå hur den hade planerats ur hållfasthets- samt tillverkningsynpunkt. Modellen krävdes även för att analysera de styvheter som är vitala för denna fixturs funktion. Inledningsvis ritades fixturens samtliga detaljer, varefter dessa sammanställdes till en sammanställning av fixturen. Till denna sammanställning blev även svetsar tillsatta, av samma storlekar som på den fysiska fixturen. Utöver denna fixtur blev även intagsinsatsen modellerad i NX, som även den var planerad i Autocad. Vissa standardkomponenter fanns färdiga som modeller skapade i NX, så dessa kunde användas direkt i sammanställningen av intagsinsatsen.



Figur 10. Modell av den existerande fixturen.

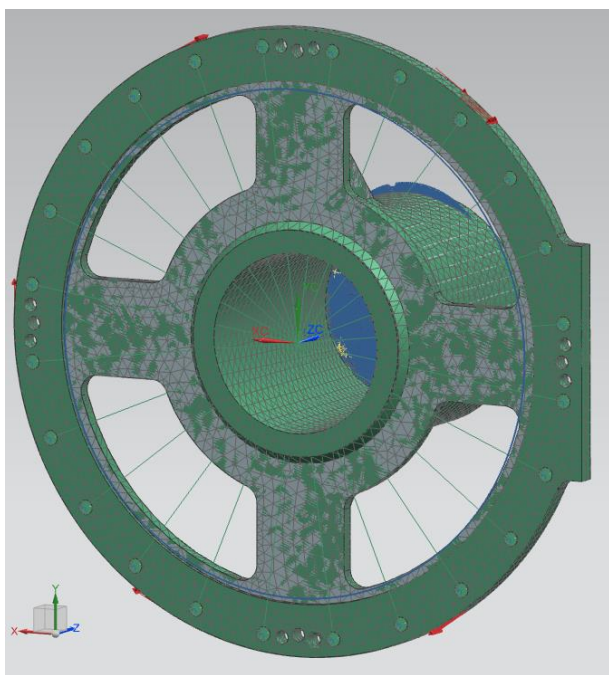
### 3.3 FEM-analys av existerande verktyg

Då det existerade verktyget fungerat väl under användning, valdes det att analysera dess hållfasthet och styvhet grundligt genom simulering med finita elementmetoden (FEM). De styvheter som var mest intressanta ur svetsspänningssynpunkts var vridstyvhet, böjstyvhet, dragstyvhet samt skjuvstyvhet. Det krävdes stor omtanke vid val av modellens låsningar och krafter samt deras positioner när den simulerades för att få tillförlitliga resultat.

#### 3.3.1 Fixturens vridstyvhet

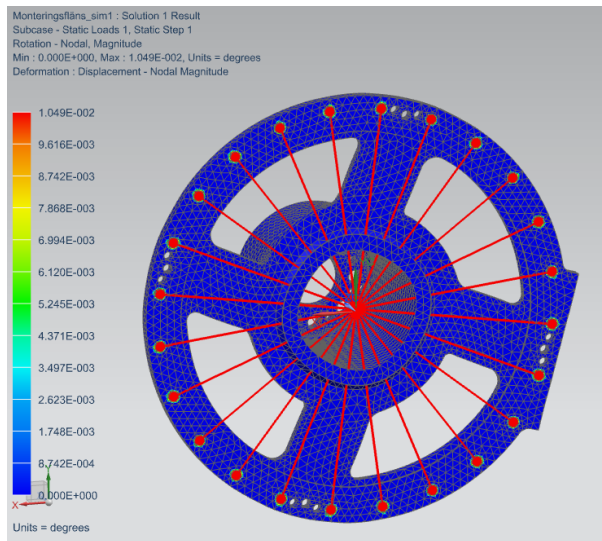
Den första FEM-analysen som utfördes på fixturen var strukturerad så dess vridstyvhet kunde konstateras. Fixturen var tillverkad i stålmaterialen S235JRG2 och S355J2G3, så

materialet vid simulering valdes ur programmets materialbibliotek till "Steel" då endast materialets elasticitetsmodul är intressant. Detta på grund av att fixturen antas vara konstruerad för styvhet, och inte hållfasthet, och spänningarna i materialet går därför inte upp till materialets sträckgräns. Efter ett antal simuleringar med olika låsningar och krafter som gav olika resultat kunde slutligen ett koncept för låsningar och krafter tas fram som gav de eftersträvade resultaten. Under denna process togs en del nödvändiga antaganden för analysens randvillkor. Inledningsvist låstes flänsen som skall bultas fast i impelleraxeln fast i tre frihetsgrader (x, y, och z), varefter fokusen svängdes till flänsen som intagsinsatsen monteras fast på. Formförändringarna på de yttre delarna av denna fläns var inte intressanta, så dessa motverkades genom att låsa bulthålen ihop med varandra samt att låsa flänsens rörelse i z-riktning. Elementen som användes för att låsa bulthålen var av typen "RB2", som är ett 1D element som motsvarar ett stag vilket varken går att dra ut eller trycka ihop. Bulthålen låstes samman med en gemensam nod som var placerad i flänsens centrum. Denna nod blev även låst i x- och y-riktning för att undvika att fixturen böjs. Efter detta applicerades ett vridmoment av storleken 10kNm på flänsens yttre diameter. Vridmomentet var av denna storlek för att få en märkbar vridning i fixturen. I figur 11 syns låsningarna markerade i blått och vridmomentet i rött.



Figur 11. Låsningar och krafter vid analys av vridstyvhet.

När en lösning fått från simuleringen kunde denna analyseras för att få fram fixturens vridstyvhet. Lösningen som framförs i figur 12 visar fixturens sammanlagda vridningsvinkel i enheten grader vid denna simulering.



Figur 12. Vridning av fixturen vid simulering.

För att få fram ett värde på vridstyvheten användes formeln:

$$\alpha = \frac{M_v * l}{G * I_p} \quad (1)$$

(Valtanen, 2013, p. 274)

I denna formel beskriver symbolerna följande saker:

$\alpha$  = vinkelförändring (i radianer)

$M_v$  = applicerat vridmoment

$l$  = längd på detaljen som deformation sker

$G * I_p$  = beskriver vridstyvhet, vilket är en sammansättning av skjuvmodul och polärt yttröghetsmoment.

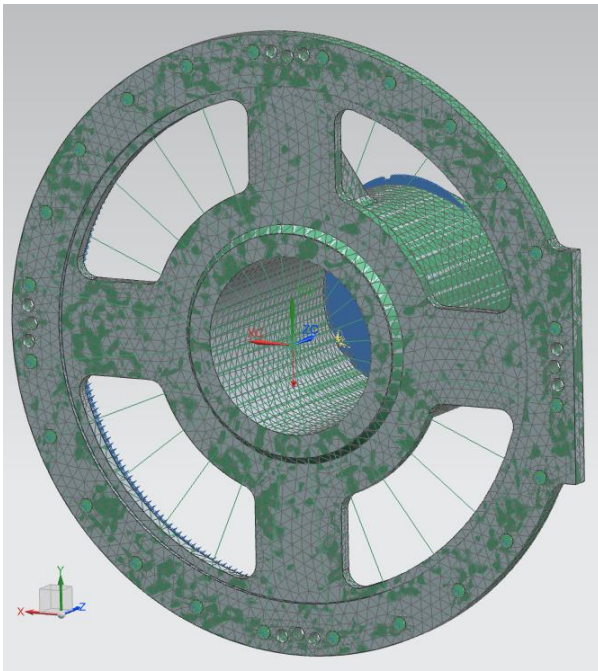
I detta fall bryts vridstyvheten ut ur formeln, och beräkningen blir då:

$$G \cdot I_p = (10000 \text{ Nm} \cdot 0,2898 \text{ m}) / ((0,01049^\circ \cdot 2 \cdot \pi) / 360^\circ) = 15828710 \text{ Nm}^2 \text{ (~}15,8 \text{ MNm}^2\text{)}$$

Detta värde beskriver ett medelvärde för fixturens vridstyvhet längs dess längd, och man bör beakta att komponenterna i fixturen bidrar med olika mycket vridstyvhet.

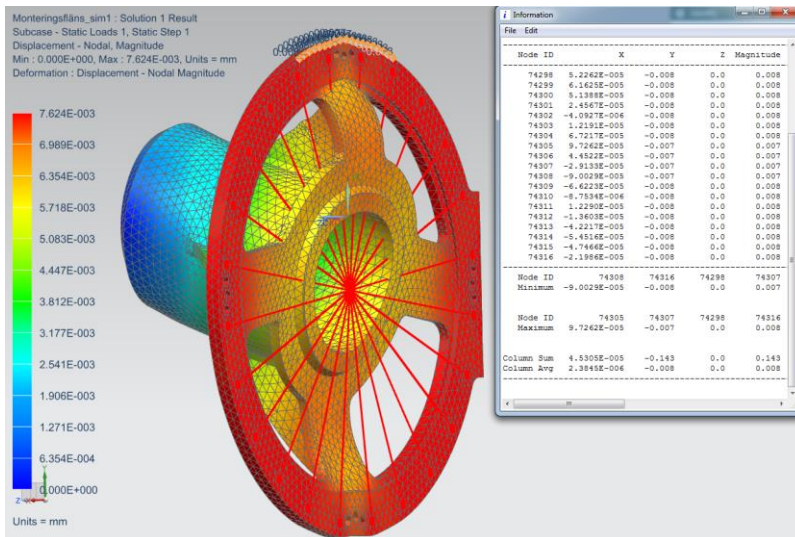
### 3.3.2 Fixturens skjuvstyvhet

När skjuvstyvheten analyserades hos fixturen återanvändes många låsningar från vridstyvhets simuleringen. Låsningarna hos flänsen som skall bultas fast i impelleraxeln, z-låsningen för intagsinsatsens monteringsfläns samt låsningen av dess bulthål ändrades inte. Låsningen för den nod som sammankopplar bulthålen togs dock bort, och en kraft på 10kN tillsattes denna nod i riktningen y- (se figur 13).



Figur 13. Låsningar och kraften vid analys av skjuvstyvhet.

Den resulterande deformationen från simuleringen analyserades för att få fram ett värde att använda vid dimensionering av de nya fixturerna. I figur 14 visas analyseringen av skjuvningen med FEM analys.



Figur 14. Deformation på grund av skjuvning hos fixturen.

Vid beräkning av skjuvstyvhets kan Hookes lag användas för att få ett enkelt jämförbart värde. Hookes lag kan beskrivas som:

$$F = k * x \quad (2)$$

(Valtanan, 2013, p. 169)

I denna formel beskriver symbolerna följande:

F = kraft

k = styvhet

x = förflyttning.

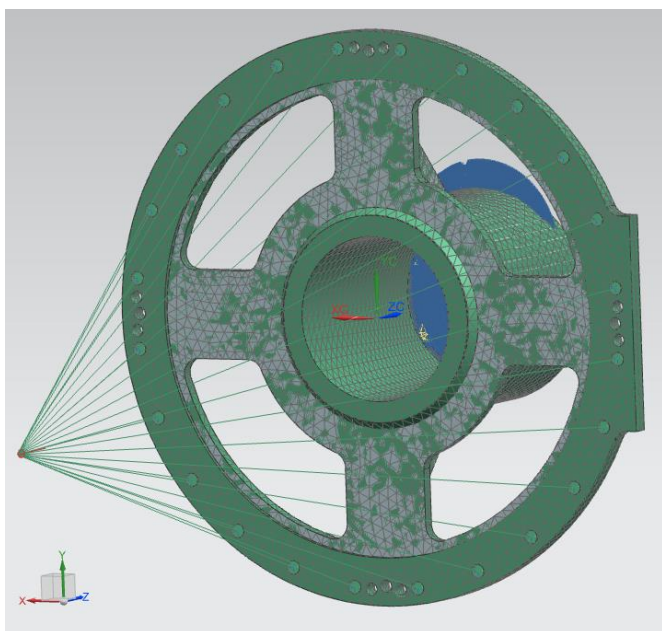
När styvheten k bryts ut ur formeln ser beräkningen ut som följande:

$$k = 10000\text{N} / 0,007518\text{mm} = 1330221\text{N/mm} (\sim 1,33\text{MN/mm})$$

### 3.3.3 Fixturens dragstyvhet

På grund av att styvheterna vid drag och tryck är nästan identiska, så valdes att endast analysera fixturen när den utsätts för en dragande kraft. Detta för att en av fixturens viktigare funktioner är att motverka de tvärgående krafterna när intagsinsatsen blir fastsvetsad.

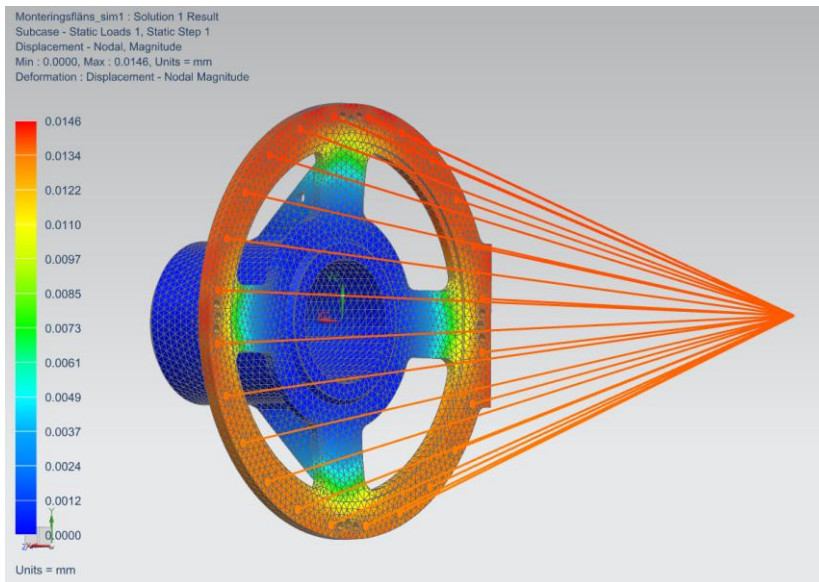
Vid simulering av dragstyvheten blev endast flänsen som bultas fast i impelleraxeln och bulthålens delning låsta. Bulthålen är sammankopplade till en nod som är placerad 1 meter framför flänsen. Kraften på 10kN blev även applicerad i denna nod. I figur 15 visas de slutliga låsningarna samt den dragande kraften.



Figur 15. Låsningar och krafter vid analys av dragstyvhet.

Utgående från dessa randvillkor simulerades detaljen mot dragstyvhet, och lösningen som kom från denna analyserades sedan. Resultatet från FEM-analysen visas i figur 16.





Figur 16. Deformation i fixturen på grund av dragande kraft.

Vid analysering av dragstyvheten användes ett liknande tillvägagångssätt som vid analys av fixturens skjuvstyvhet. Formeln som användes var därför följande:

$$F = k * x \quad (3)$$

(Valtanen, 2013, p. 169)

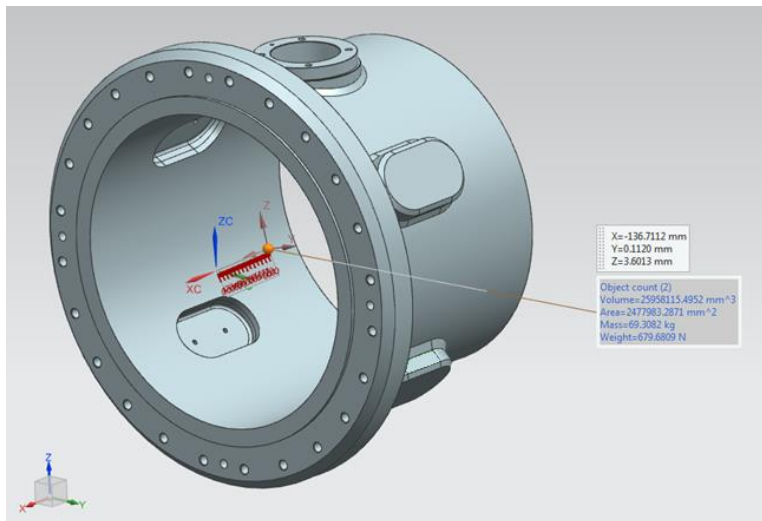
Styvheten  $k$  löstes ut ur formeln och beräkningen av denna blev då:

$$k = 10000\text{N} / 0,01368\text{mm} = 730702\text{N/mm} (\sim 730,7\text{kN/mm})$$

### 3.3.4 Fixturens böjstyvhet

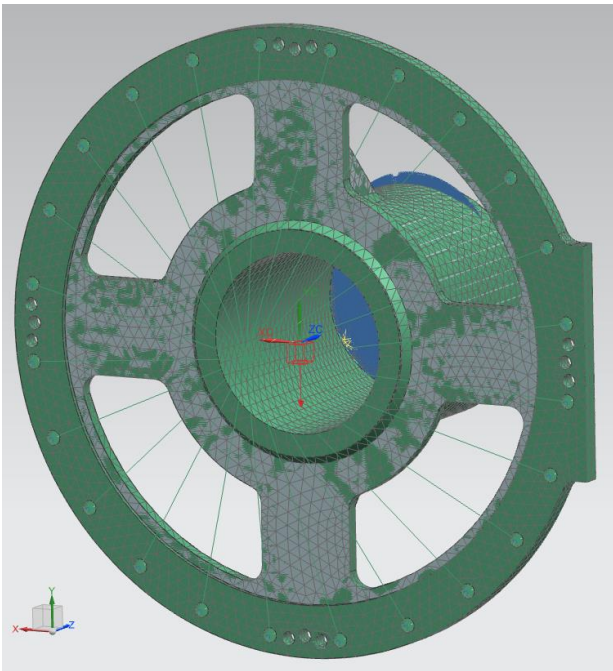
Fixturens böjstyvhet analyseras genom att simulera fixturens beteende när intagsinsatsen, som inte är fastsvetsad, är fastsatt i den och fixturen i sin tur är fastsatt i impelleraxeln. Denna analysering började med att få fram kraften som intagsinsatsen påverkar fixturen med.

Utgående från modellen som ritats i NX kunde intagsinsatsens massa samt dess tyngdpunkt fås direkt beräknat med programmet. Detta visas i figur 17.



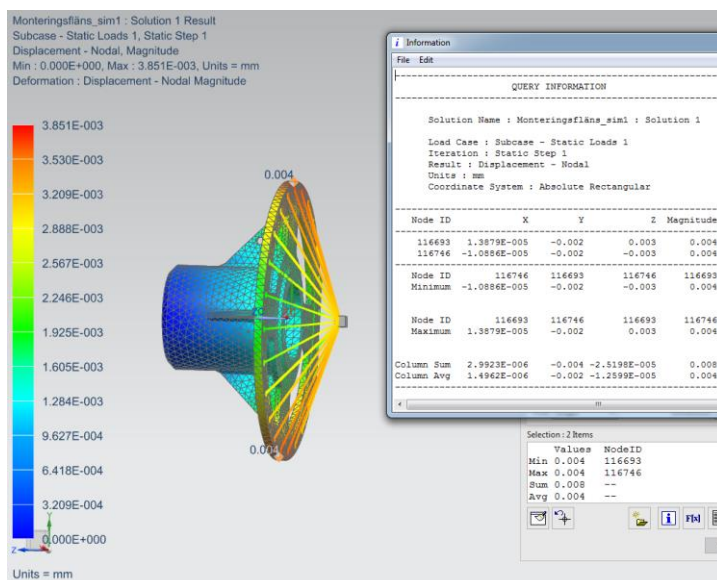
Figur 17. Intagsinsatsens massa och tyngdpunkt.

När intagsinsatsens massa och tyngdpunkt var bekanta, kunde dessa adderas till fixturen. Detta gjordes genom att skapa en nod där intagsinsatsens tyngdpunkt är när den är fastmonterad i fixturen. Denna nod kopplades samman med bulthålen genom att använda elementen RB2. En punktmassa blev tillsatt i denna nod som var av samma massa som intagsinsatsen. Fixturen blev sedan låst i flänsen som blir monterad fast i impelleraxeln och en gravitationskraft tillsattes för att påverka både fixturen och intagsinsatsens punktmassa (se figur 18).



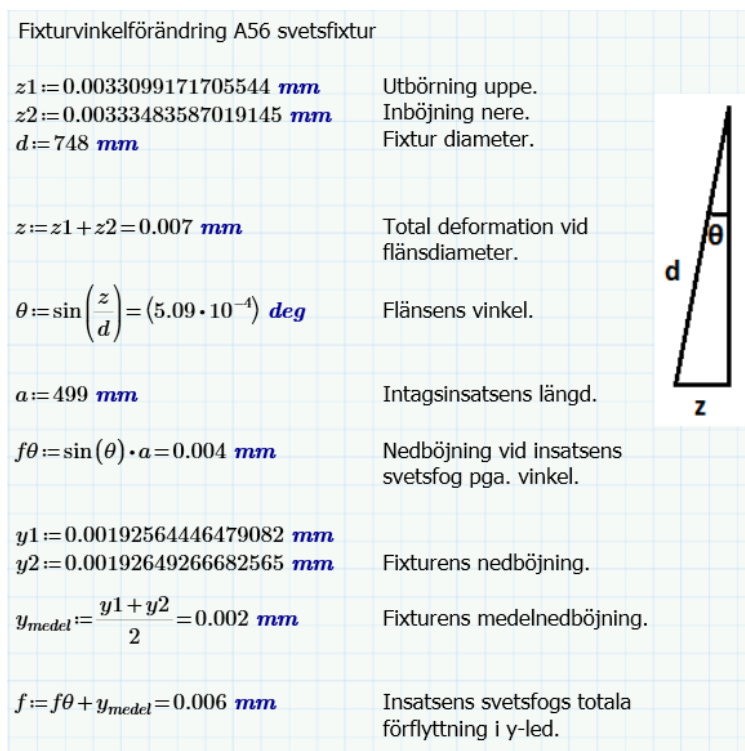
Figur 18. Låsningar och krafter vid analys av nedböjning.

Analyseringen av denna simulering kunde göras på ett flertal sett beroende på vad man var intresserad av för resultat. Det som konstaterades som det mest intressanta var förflyttningen av intagsinsatsens svetsfog på grund av nedböjning. Figur 19 visar analyseringen av FEM-analysen.



Figur 19. Deformation på grund av gravitationskraft.

I denna analys antas att intagsinsatsen inte deformeras när den hänger i fixturen. Genom att analysera förflyttningen hos noderna högst upp och längst ner på den större flänsen hos fixturen kunde, genom att använda enkel trigonometri, intagsinsatsens svetsfogs förflyttning fås fram. Denna beräkning, som visas i figur 20, utfördes med programmet Mathcad Prime 3.1.



Figur 20. Beräkning av intagsinsatsens svetsfogs förflyttning.

### 3.4 Önskemål

I början av arbetsprocessen intervjuades den person (personlig kommunikation med äldre serviceingenjör 19.12.2016) som använt den existerande svetsfixturen. Under denna intervju framkom en del egenskaper som kunde förbättras på de kommande svetsfixturerna. Dessa egenskaper var:

- Lyftmöjligheter, den tidigare använda svetsfixturen var endast utrustad med en lyftschackel placerad ovanför svetsfixturens tyngdpunkt. Detta gjorde att man var tvungen att för hand lyfta intagsinsatsen på plats, innan den kunde monteras fast på svetsfixturen.

- Rostskydd, då denna typ av reparation utförs på båtar som är tagna i bruk, blir dessa ofta upptagna nära havet för reparation. Denna miljö medför mycket aggressiv korrosion på ståldetaljer utan rostskydd.

### 3.5 Kravlista

För att underlätta konstruktionsprocessen upprättades en enkel kravlista, se i tabell 2, över de kriterier som konstaterats vara intressanta för svetsfixturerna. Utifrån dessa kriterier kunde fixturerna börja konstrueras. Kriterierna delades upp i fyra huvudgrupper som är viktiga för fixturenas framställning och funktion. Därtill är kriterierna markerade ifall de är vitala (krav) för fixturerna eller bara fördelaktiga (önskemål).

Tabell 2. Kravlista för svetsfixturer.

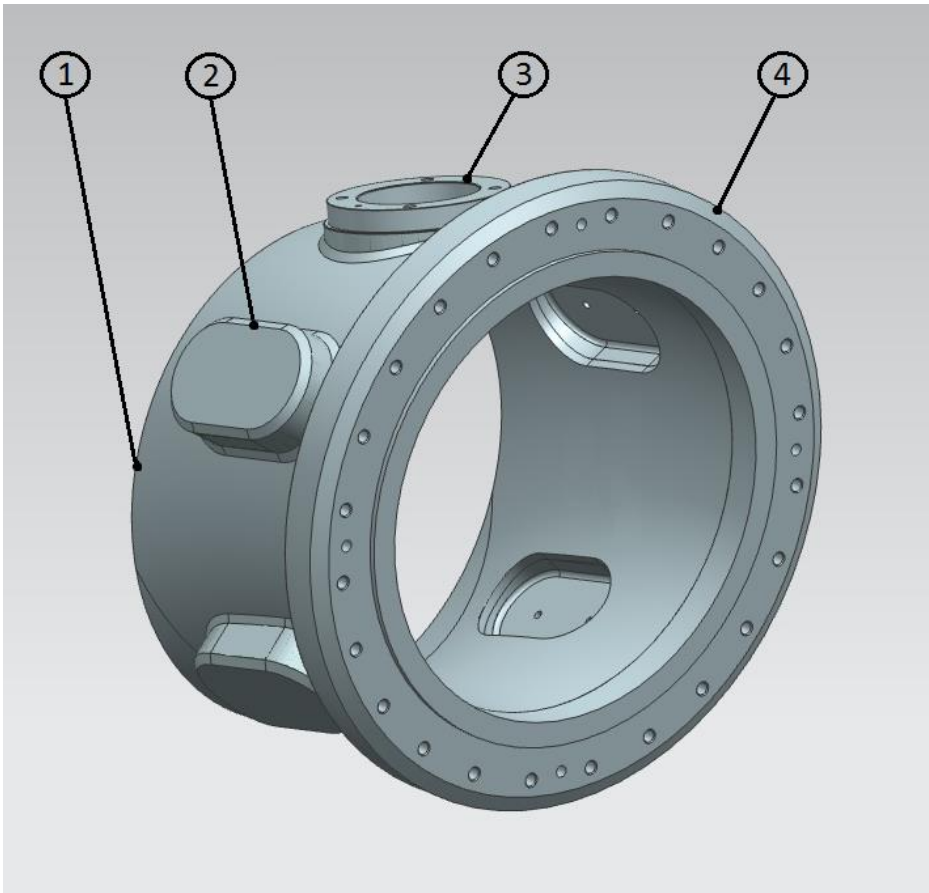
Kriterium	Krav = K Önskemål = Ö
<b>1. Konstruktion</b>	
Säker att använda	K
Stor styvhet mellan flänsar	K
Klara av tyngden av inserten när monterad på impelleraxel	K
Lyftpunkterna klara av att hålla tyngden vid lyft	K
Klara spänningar som uppstår vid fasthäftning av insatsen	K
Plats avsedd för vinkelpositionsmätning	K
Intagsinsats vara monterbar	K
Monterbar på impelleraxeln	K
Två lyftpunkter, ena med insatsen fastsatt och andra utan	Ö
Fixturer använda vissa gemensamma komponenter	Ö
<b>2. Tillverkning</b>	
Tillverkningsbar utan specialverktyg	K
Använda billiga material	Ö
<b>3. Logistik</b>	
Enkelt transporterbar	Ö
Låg vikt	Ö
<b>4. Användning</b>	
Livslängd på minst 10 år	K
Rostbeständig	K
Enkel att använda	K
Ergonomisk vid användning	K
Lätt konstruktion	Ö

### **3.6 Utformning av nya fixturer**

Då fixturer bör konstrueras efter att de detaljer som skall fixeras är konstruerade, blev första skedet i formgivning av fixturena att konstruera intagsinsatserna.

#### **3.6.1 Intagsinsatser**

När intagsinsatsernas dimensioner togs fram, blev den gamla intagsinsatsen noga studerad och jämförd med hur aggregatets intag var utformat innan reparation. Från denna studie kom det fram ställen på insatsen som hade fått mera material än vad intaget hade ursprungligen. Orsaken bakom dessa förändringar konstaterades vara på grund av bland annat krympningar efter svetsning, för att underlätta svetsningen och för att ha tillräckligt med bearbetningsmån vid planfräsning av monteringsflänsen. Då denna intagsinsats hade fungerat bra, valdes det att använda samma materialpåslag till de nya intagsinsatserna. På grund av att det finns formskillnader på intagen som har tillverkats beroende på typen av båt, så togs en form fram på intagsinsatserna som är ”worst case” scenario. Det vill säga att intagsinsatserna är utrustade med fastsättningar för fyra zinkanoder inne i intagsröret, fläns för granskningslucka samt att själva röret är så långt som möjligt. Denna längd är mycket beroende av typen av intag, då det är av intresse att byta så mycket som möjligt av intagsröret. Detta begränsas dock av förstärkningar och annan utrustning inne i båten som gör inpassning och svetsning av den nya intagsinsatsen svår. Som tillverkningsmaterial valdes samma aluminiumlegering som vattenintaget ursprungligen är tillverkat i. Då detta är en generell uppskattning hur intagsinsatserna kan se ut, bör deras passform till intag kontrolleras noga innan reparationsarbetet påbörjas.



Figur 21. Intagsinsats till aggregat A45.

Lista på de olika delarna av intagsinsatsen som visas i figur 21:

1. Intagsrör
2. Offeranodfäste
3. Fastsättningsfläns för granskningslucka
4. Monteringsring

Tillverkningen av dessa intagsinsatser planeras gå till på liknande sätt som när nya intag tillverkas. Röret tillverkas av två formpressade plåthalvor som sammansvetsas. Monteringsringen grovbearbetas till form före den svetsas fast i intagsröret. Slutligen finbearbetas monteringsringens fläns och styrtappshål samt hål för gänginsatser borrar och gängas.

### 3.6.2 Svetsfixturer

Som framkom i tabell 2 i kapitel 3.5 var det önskat att svetsfixturernas komponenter till viss mån skulle kunna användas gemensamt mellan de olika svetsfixturerna för att spara tillverknings-, samt på grund av demonterbarhet, de framtida logistiska kostnaderna. Att dela samma axelfläns mellan de olika svetsfixturerna var ett intressant alternativ som studerades. Detta konstaterades dock inte vara genomförbart på grund av ett antal olika anledningar. De främsta av dessa var:

- Ifall samma axelfläns skulle användas på både A45 och A50 svetsfixturerna skulle möjligheten att utföra något arbete genom urtagningarna i monteringsflänsen, då urtagningarna hos A45 svetsfixturen skulle behöva minskas markant.
- För att få tillräcklig precision och kraftupptagning mellan axelfläns och monteringsfläns behövs någon form av styrning samt låsning. Mest logiskt någon form av styrtapps-konfiguration som både skulle ge precision samt ta upp kraft. Utöver styrtappar skulle även någon form av bindande förband mellan axelfläns och monteringsfläns upprättas, genom exempelvis bultförband. Allt detta skulle skapa ett dyrt och känsligt område hos fixturerna, då en liten skada ger en stor risk för irritation vid arbete samt en stor precisionsminskning hos fixturen.

På grund av dessa orsaker konstaterades det mest gynnsamt att fortsätta konstruera skilda svetsfixturer för båda aggregaten. Någon ekonomisk sparning finns inte heller, då dessa reparationer inte antas utföras tillräckligt ofta för att ta fram så komplicerade konstruktioner som krävs för demonterbarhet.

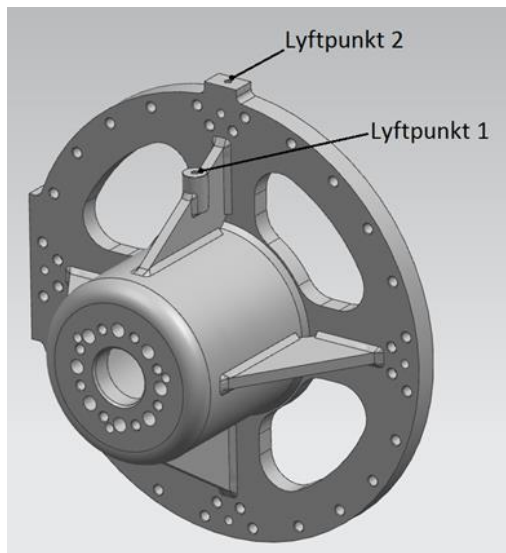
Svetsfixturerna valdes att tillverkas i stål av typen S355J2. Den tidigare svetsfixturen tillverkades delvist av detta material, och materialet är billigt och lättbearbetat. Utöver detta krävdes ett material med hög hållfasthet för att kunna använda fastskruvbara lyfthjälpmiddel vid lyft av fixturerna. För att underlätta tillverkningen ritades om möjligt detaljerna färdigt fasade för att underlätta förberedelserna för svetsning. Svetsmetoden som valdes att använda vid tillverkningen av fixturerna var MAG, då denna metod fungerar bra vid svetsning av den valda ståltypen S355J2. Därtill är svetstypen väl bekant på företaget, ifall tillverkningen där skulle ske. Ett första koncept på dessa fixturer ritades med samma konstruktionsprincip som den gamla fixturen. När detta grundkoncept var ritat analyserades var dess tyngdpunkt var, och var tyngdpunkten var när intagsinsatsen var fastmonterad på den. Utgående från detta kunde lyftpunkterna börja utformas. Rolls-Royce har infört en regel att endast skruvbara



lyftöglor som är roterbara får användas av deras anställda. Marine Service avdelningen använder sig av lyftöglor av fabrikatet RUD VWBG (se figur 22) av olika storlekar. Svetsfixturernas lyftpunkter valdes att konstrueras för lyft med lyftöglor med gängstorleken M10. Dessa antogs ha tillräcklig hållfasthet för de lyftpositioner som de kan utsättas för.



Figur 23. Skruvbara lyftöglor av olika storlekar.



Figur 22. Lyftpunkternas positioner.

Säkerhetsmarginalerna beräknades när fixturerna var färdigt konstruerade och deras massor var bekanta. Det valdes att konstruera två skilda punkter där lyfthjälpmiddel kunde fästas vid lyft. Den ena används när fixturen ensam bör lyftas, se lyftpunkt 1 i figur 23. Den andra lyftpunkten, se figur 23, används när intagsinsatsen är monterad fast på fixturen. Tyngdpunkten när intagsinsatsen är monterad fast på fixturen noterades vara i mitten av fixturens monteringsfläns. Detta gjorde att denna lyftpunkt kunde placeras på övre kanten av denna fläns. Detta medförde ett krav på tjockleken av denna fläns, då lyftögla inte får utsättas för sneda lyft ifall inte hela dess anläggningsyta, som är vinkelrätt mot den gängade skruven, ligger emot lyftinfästningens yta. Från tillverkarens manual kunde det noteras att lyftögla utrustad med M10 gängstorlek har en nyckelvidd på 30mm, så plåttjockleken för fixturens monteringsfläns får inte underskrida detta mått.

Den första lyftpunkten placerades vid en av de stödvinklar som finns mellan fixturens navfläns och monteringsfläns. För att undvika bearbetning av detta svåråtkomliga ställe konstruerades denna lyftpunkts infästning på annat sätt än den första. Stödvinkeln blir utskuren så en axel, som är färdigt preparerad med infästningsgänga för lyftögla, kan svetsas fast i dess mitt. Den del av fixturerna som monteras fast på impelleraxeln konstruerades på samma sätt som det tidigare verktyget. Inledningsvis undersöktes ifall ett rör kunde

användas, som sedan en fläns skulle svetsas fast på för att åstadkomma samma form. Denna lösning konstaterades ha för många arbetsskeden under tillverkningen för att vara ekonomiskt hållbar. Detta främst då dessa fixturer inte kommer att tillverkas i många exemplar. Därför utgicks det från att tillverka denna del av svetsfixturerna av axelmaterial. Storleken av denna axel styrdes av impelleraxelns diameter samt vilka diametrar som axlarna fås från leverantörerna. De hål som ritades in på fixturernas bägge flänsar togs i stort sett direkt från de detaljer som vanligen är monterade på dessa ytor. Det vill säga impellerhuset, som monteras på intagets monteringsfläns, samt impellern, som monteras på impelleraxeln. Några undantag fanns dock. Fixturernas monteringsflänsar utrustades med utdragshål ifall intagsinsatsernas styrtappar skulle ta fast i fixturen. Därtill är impellern utrustad med åtta styrtappshål som tar upp vridmoment, av dessa används endast fyra av fixturerna. Fixturernas resterande fyra styrtappshål konstrueras med större hål, detta för att underlätta monteringen av fixturen på axel. Hållfastheten anses räcka mer än väl från de fyra styrtappar som används för att ta upp vridmoment från svetsning av intagsinsatserna.

## **4 Resultat**

I detta kapitel presenteras de färdigt konstruerade svetsfixturerna samt en styvhetsjämförelse som gjorts genom att analysera fixturernas styvheter med finita elementmetoden (FEM). På grund av fixturernas invecklade former konstruerades de till först grovt utgående från tillverkningsbegränsningar. Fixturerna blev sedan simulerade med FEM, och deras konstruktion ändrades tills de konstaterades ha tillräckligt höga styvheter.

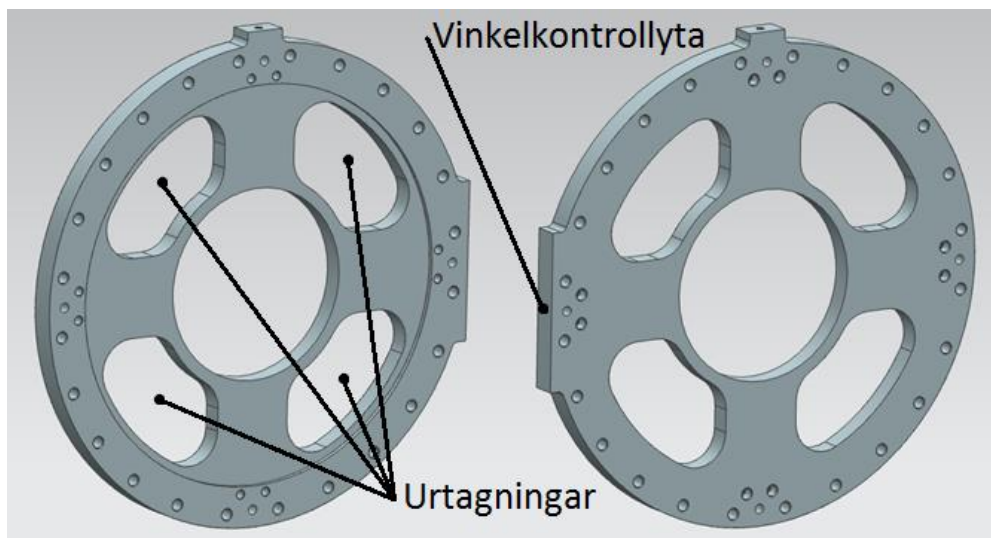
### **4.1 A45 svetsfixtur**

Eftersom de största måttskillnaderna satt mellan aggregaten A56 och A45, valdes det att först konstruera svetsfixturen till A45 aggregatet.

#### **4.1.1 Monteringsfläns**

Utgående från intagsinsatsens fläns fick svetsfixturens monteringsfläns dess grundform. I figur 24 visas den färdigt konstruerade monteringsflänsen. Lika som på den gamla fixturen är även denna utrustad med en stående yta på dess ena sida för vinkelkontroll med vattenpass under montering av intagsinsats. Upptill är denna fläns utrustad med en plan yta samt ett gängat hål för fastsättning av lyfthjälpmiddel i form av en lyftögla. Bägge dessa ytor sticker

ut utanför intagsinsatsens monteringsrings plana yta, men dock inte utanför dess största diameter.



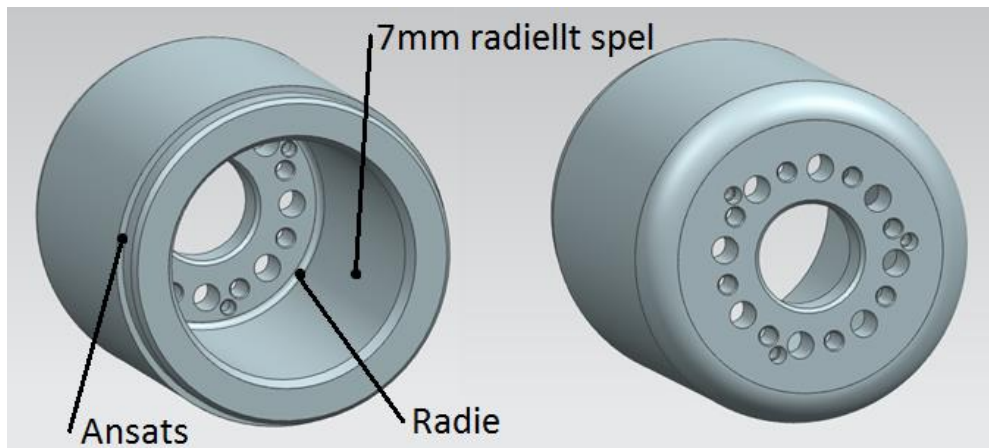
Figur 24. A45 svetsfixturens monteringsfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån.

I flänsen finns även urtagningar för att komma åt skarven mellan intagsinsatsen och intagets rör vid inpassning av insatsen. Dessa urtagningar försöktes hållas minst lika stora som på den gamla svetsfixturen. Storleken på dessa konstaterades efter FEM simuleringar ha stor betydelse för fixturens vridstyvhet. Flänsens tjocklek blev slutligen till 32mm, då den antas tillverkas av en plåt med tjockleken 35mm som är en standardtjocklek. Detta lämnar en arbetsmån på 3mm, vilket kan behövas på grund av deformationer efter svetsning.

#### 4.1.2 Axelfläns

Svetsfixturens fläns som monteras fast på impelleraxeln (se figur 25) konstruerades så den kan tillverkas av en axel med diameter 250mm utan att denna mantelyta behöver bearbetas. Axeln behöver bearbetas så dess slutliga form blir rörformad med en fläns på dess ena ände för fastsättning på impelleraxeln. Impelleraxelns diameter påverkar hur stort hålet bör vara inne i denna detalj. På grund av att det krävdes att denna axelfläns skulle ha mindre diameter än den som fanns på den gamla A56 svetsfixturen, krävdes det mera material för att få liknande styvhet. Med 250mm ytterdiameter blev den slutliga vägg tjockleken på rördelen 37mm. För enklare montering av fixturen på impelleraxel ritades detta hål med 7mm radiellt spel. Detta möjliggjorde att en radie kunde ritas in mellan hålet och flänsen så

spänningsnivån minskades i detta område. Axelflänsens främre kant ritades med en 5mm djup ansats, vilken kan användas vid ihop sättning med monteringsflänsen.



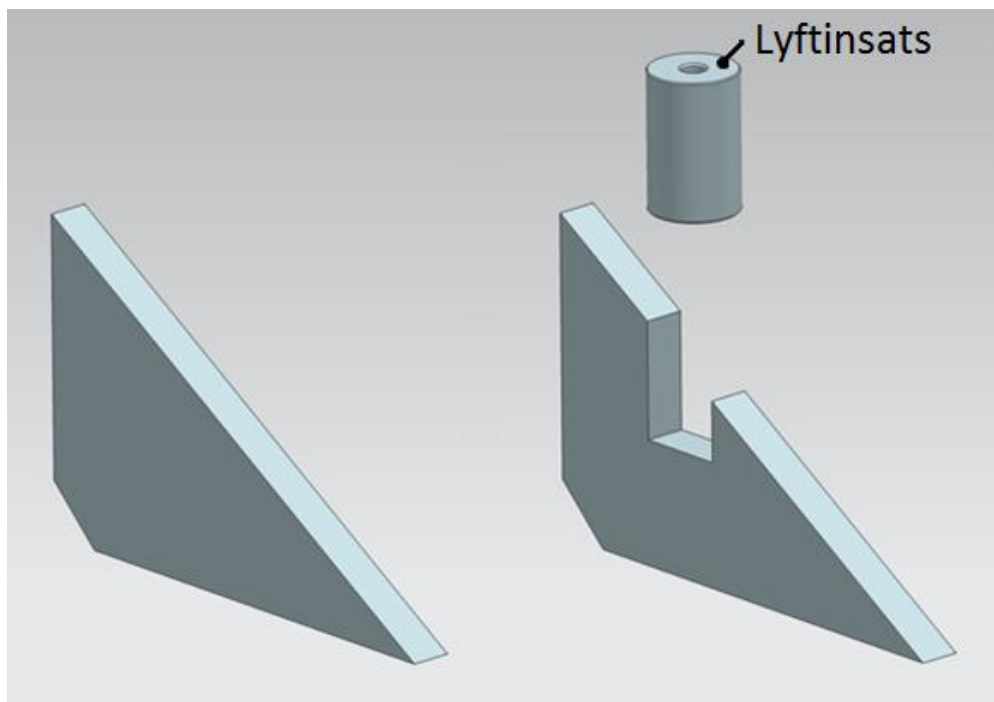
Figur 25. A45 svetsfixturens axelfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån.

Från FEM simuleringar framkom det att svetsfixturens axelfläns yttre diameter påverkade fixturens olika styvheter markant. Genom att studera de analytiska formlerna för olika tvärsnitts yttrögheter kunde det konstateras att detta samband är riktigt. Nackdelarna med att öka denna diameter är dock att vikten ökar samt att höjden på urtagningarna i fixturens monteringsfläns måste minskas för att kunna foga samman dessa komponenter genom svetsning.

### 4.1.3 Stödinkel

Svetsfixturens stödinklar konstruerades inte bara för att öka fixturens styvhet, utan också utgående från behovet att kunna fästa en lyftögla i den övre stödinkeln, som visas i figur 26. Stödinklarna valdes att konstrueras så de kan tillverkas av en plåt med tjockleken

15mm, samt utgående ifrån att fixturen blir försedd med fyra stödvinklar jämnt fördelade rund axelflänsen.



Figur 26. A45 svetsfixturens stödvinklar, till vänster den vanliga och till höger den förberedd för lyftinsats.

Lyftöglans infästning ritades så den kan tillverkas av en axel med diametern 32mm. Denna blir då planad samt försedd med ett gängat hål för fastsättning av lyfthjälpmiddel på dess ena ände. På grund av att denna axel blir infällt och fastsvetsad i den övre stödvinkeln krävs ett ordentligt svetsförband för att hålla ihop dessa. För att åstadkomma tillräckliga svetsar längs axeln valdes det att konstruera stödvinklarnas vinkel något trubbigare än de som finns på den gamla svetsfixturen. Deras höjd blev 115mm och längd 180mm. För att inte vinklarna skall sammanfalla med den kälsvets som planerats mellan fixturens monteringsfläns och axelfläns fasas de 20mm vid deras räta vinklar.

#### 4.1.4 Säkerhetsfaktor vid lyft

Utgående från lyftöglornas säkerhetsanvisningar, som utfärdats av tillverkaren, kunde säkerhetsfaktorn beräknas för de olika lyftpunkterna. I säkerhetsanvisningarna finns rekommenderade minimilängder på fastsättningsgängor för lyftörat. I stål av typen S235 eller bättre var den rekommenderade gänglängden  $1 \cdot \text{gäng ytterdiametern}$ . Det kriteriet uppfylls då hela lyftörats gänglängd används i fixturens lyftpunkter, på grund av att lyftörat måste vara allt inskruvat för att sneda lyft skall få göras. Den största tillåtna lasten enligt

tillverkaren kan ses från figur 27. Från den kan det även noteras att det är stor skillnad hur lyftöglan är positionerad och varifrån lyftkraften kommer.

methode of lifting											
number of strands	1	2	1	2	2	2	2	3 / 4 *	3 / 4 *	3 / 4 *	
inclination angle	0°	0°	90 °	90°	0-45°	45-60°	Un-symm.	0-45°	45-60°	Un-symm	
Factor			1	2	1.4	1	1	2.1	1.5	1	
Type	thread	For the max. total load weight >G< in metric tons, tightened and adjusted to force direction.									
VWBG-V 0,45	M10 / 3/8"	0.9	1.8	0.45 (0.6)	0.9 (1.2)	0.63 (0.84)	0.45 (0.6)	0.45 (0.6)	0.94 (1.26)	0.67 (0.9)	0.45 (0.6)

Figur 27. max belastning av lyftögla.

För att beräkna säkerhetsfaktorn krävdes det att detaljernas vikter var bekanta. På grund av detta ritades svetsar till på fixturen för att dess totala vikt kunde uppskattas. Dimensionering av dessa svetsförband ingår inte i detta arbete, utan de ritas ut något tilltagna med ett a-mått på 7mm. När fixturen var färdigt ritad i NX kunde programmet räkna ut fixturens masscentrum och massa, som kan ses i figur 28. På samma sätt konstaterades masscentrumet för sammanställningen när intagsinsatsen är fastbultad på fixturen, vilket kan ses i figur 28. Säkerhetsfaktorn är ett dimensionslöst tal som visar förhållandet mellan den tillåtna lasten och den verkliga lasten. Detta beräknades med formeln:

$$n = \frac{F_{max}}{F} \quad (1)$$

(Valtanen, 2013, s.278)

I formel 1 beskriver symbolerna följande saker:

n är säkerhetsfaktor

F<sub>max</sub> är största tillåtna tyngd att lyfta med lyfthjälpmidlet

F är tyngden som lyfthjälpmidlet utsätts för vid lyft.

Denna formeln (1) är omvändrad från att beräknas utgående från spänning till tyngd, då detta används oftare inom lyfthjälpmiddel.

Som första beräkning studerades säkerhetsfaktorerna vid lyft rakt uppåt, när detaljerna är positionerade som i figurerna 28 och 29. Detta gav följande resultat:

$$n_{\text{fixtur}} = 900\text{kg} / 95,5\text{kg} = 9,42$$

$$n_{\text{total}} = 900\text{kg} / 137,6\text{kg} = 6,54.$$

Dessa värden är helt tillräckliga, då lyftörat själv har en säkerhetsfaktor på 4. Noteras kan även i figur 29 att masscentrumet inte är mitt i fixturens monteringsfläns, där lyftöglans infästning finns. Förskjutningen är endast 11,3mm vilket inte påverkar lyftets stabilitet nämnvärt. Säkerhetsfaktorerna beräknades även vid lyft när fixturen är liggande, med monteringsflänsen vågrätt, vilket framgår i figur 28. I detta scenario får inte lyftörat belastas med lika stor tyngd som vid lyft i gängans riktning. Dock krävs mindre kraft för att svänga fixturen i lodrätt tillstånd på grund av hävarmseffekten som uppstår när masscentrum är i fixturens mitt. Säkerhetsfaktorerna beräknas då på följande sätt.

Tyngden som lyftörat belastas med av fixturen beräknas med hjälp av två formler:

$$M = r * F \tag{2}$$

$$F = m * g \tag{3}$$

(Jansson, 2011, s. 117–118)

Dessa två formler kan slås samman för att kunna räkna ut denna tyngd.

$$r_1 * m_1 = r_2 * m_2 \quad (4)$$

I denna formel beskriver symbolerna följande saker:

$r_1$  är avståndet mellan fixturens masscentrum och monteringsflänsen yttre radie

$m_1$  är fixturens sammanlagda tyngd

$r_2$  är avståndet mellan fixturens lyftpunkt och monteringsflänsens yttre radie

$m_2$  är tyngd som lyftpunkten belastas med vid lyft.

Denna formel används på följande sätt för att få fram tyngden som lyftörat utsätts för vid lyft:

$$m_2 = (303,1\text{mm} * 95,5\text{kg}) / 522\text{mm} = 55,5\text{kg}$$

Säkerhetsfaktorn blir vid detta lyft då:

$$n_{\text{fixtur,liggande}} = 450\text{kg} / 55,5\text{kg} = 8,11$$

Säkerhetsfaktorn för lyft med intagsinsatsen fastsatt i fixturen, i liggande (monteringsflänsen horisontell) position beräknas på samma sätt:

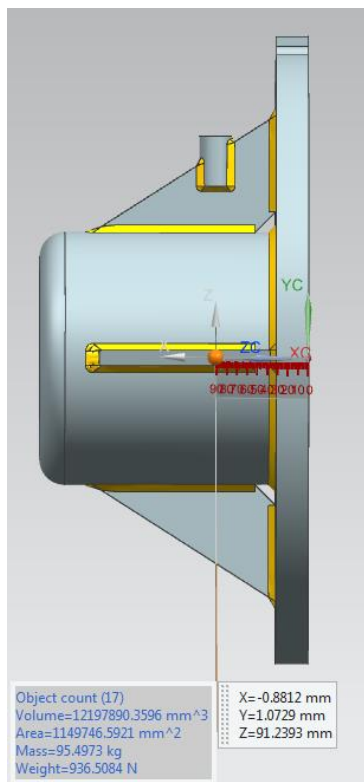
$$m_2 = (330,2\text{mm} * 137,5\text{kg}) / 649,8\text{mm} = 69,9\text{kg}$$

Säkerhetsfaktorn blir då följande:

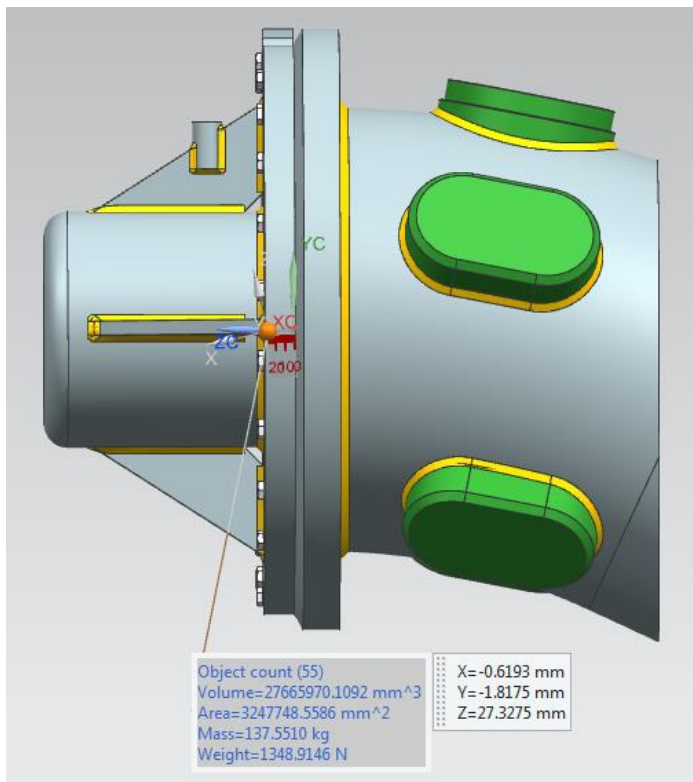


$$n_{\text{total, liggande}} = 450\text{kg} / 69,9\text{kg} = 6,44$$

Också i denna position ansågs lyftöglans kapacitet vara helt tillräcklig.



Figur 29. Fixturens masscentrum.



Figur 28. Masscentrum för intagsinsats fastmonterad på fixtur.

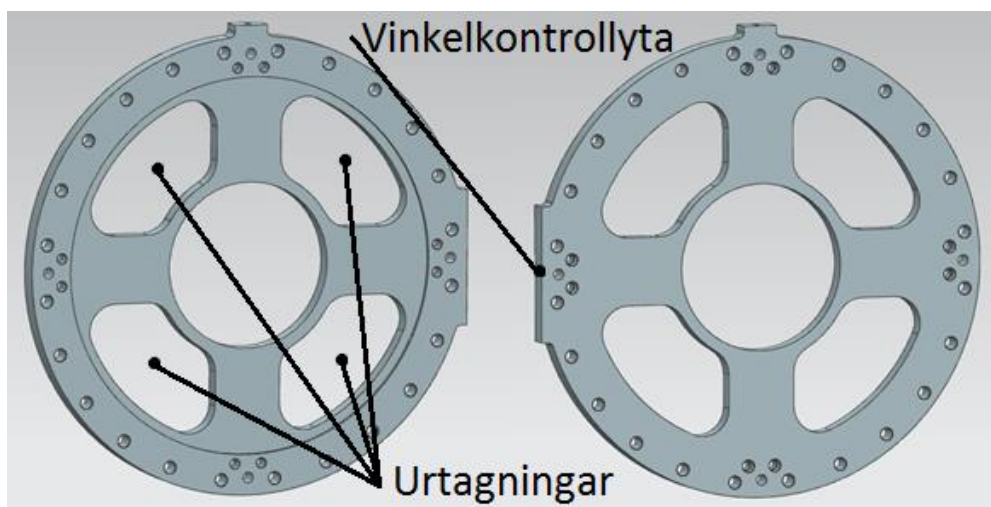
## 4.2 A50 svetsfixtur

Eftersom det valdes att först konstruera A45 svetsfixturen, kunde dess konstruktion relativt enkelt kopieras och justeras i NX så att en grundform fanns som fungerade på A50 aggregatets intagsinsats.

### 4.2.1 Monteringsfläns

Monteringsflänsen för A50 svetsfixturen (se figur 30) dimensionerades även den så den passade ihop med intagsinsatsens monteringsring. Flänsens tjocklek, lyftpunkten ovanpå samt vinkelkontrollytan på dess sida förblev samma som på flänsen till A45 aggregatets svetsfixtur. Denna fläns blev även utrustad med urtagningar för inpassning av intagsinsatsen

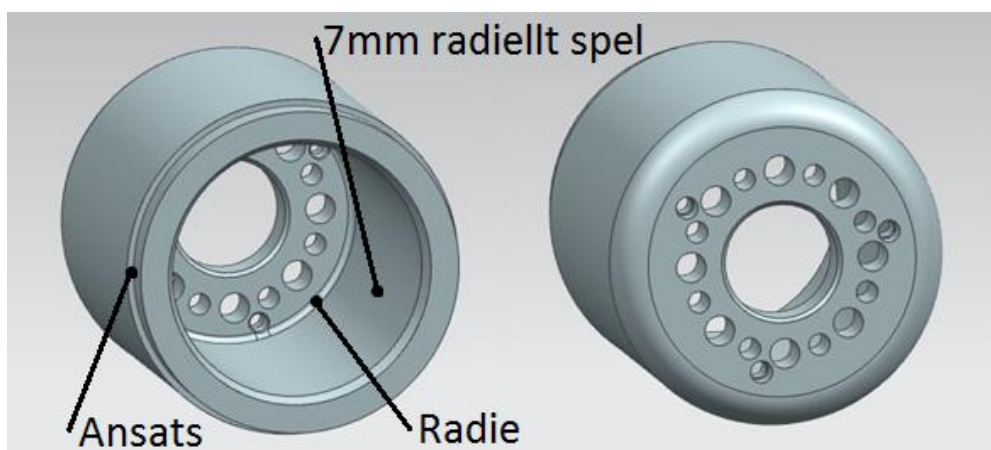
i intaget. Dock kunde dessa urtagningar konstrueras 20mm högre på grund av att utrymmet mellan intagsrörets- och impelleraxelns diameter blev större.



Figur 30. A50 svetsfixturens monteringsfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån.

#### 4.2.2 Axelfläns

Jämfört med axelflänsen på A45 svetsfixturen kunde denna axelfläns konstrueras med en tunnare tjocklek på rördelen, men ändå få liknande styvhet. Detta på grund av att dess större diameter bjöd på bättre materialutnyttjande ur yttroghetsperspektiv. Dess vikt påverkades också av den tunnare rördelen, vilket gjorde att den blev något lättare än A45 axelflänsen, trots dess större format.

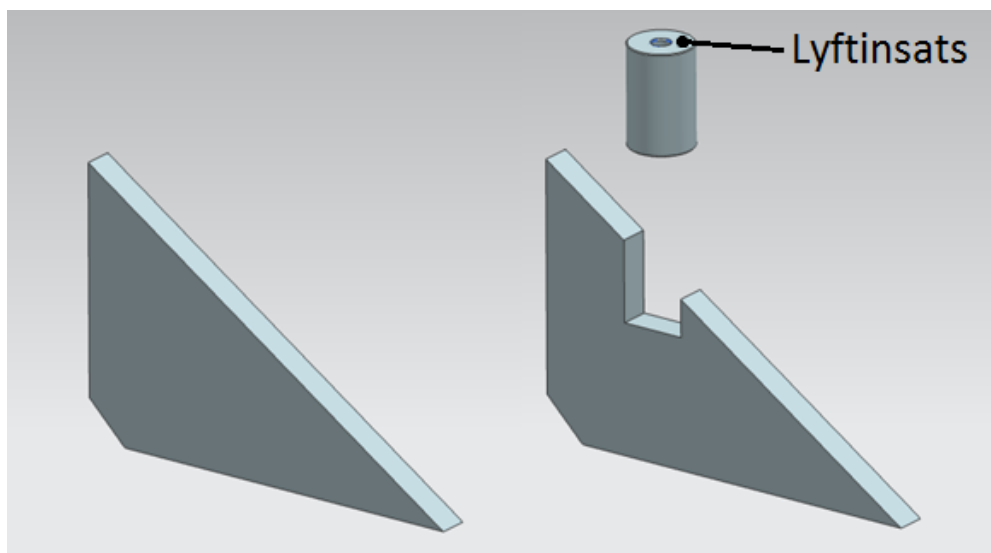


Figur 31. A50 svetsfixturens axelfläns, vy till vänster snett framifrån och till höger snett bakifrån.

Resten av axelflänsen konstruerades på samma sätt som A45 axelflänsen som kan ses i kapitel 4.1.2.

### 4.2.3 Stödsvinkel

Stödsvinklarna konstruerades på liknande vis som stödsvinklarna till A45 svetsfixturen. Lyftöglans infästning återanvändes direkt från A45 svetsfixturen. Detta kunde göras på grund av att A45 svetsfixturens säkerhetsfaktorer vid lyft blev så pass stora, så dessa bör inte bli noterbart mindre av lite extra vikt. De slutliga komponenternas form kan ses i figur 32.



Figur 32. A50 svetsfixturens stödsvinklar, till vänster den vanliga och till höger den förberedd för lyftinsats.

### 4.2.4 Säkerhetsfaktorer vid lyft

Beräkningen av säkerhetsfaktorerna vid lyft för A50 svetsfixturen utfördes på samma sätt som vid beräkning av säkerhetsfaktorerna för A45 svetsfixturen i kapitel 4.1.4. Svetsförbandens storlek uppskattades och ritades in i svetsfixturens sammanställning för att dess totala massa och masscentrum skulle bli bekanta, vilket NX beräknade fram som visas i figur 33. För att beräkna fixturens andra lyftpunkts säkerhetsfaktor krävdes det att intagsinsatsen är monterad fast på fixturen. Detta gjordes i en skild sammanställning i NX, där även fastsättningsbultarna för intagsinsatsen ingick för att få en tillförlitlig massa och masscentrum. Även här utfördes beräkningarna av NX som visas i figur 34.

Säkerhetsfaktorn är ett dimensionslöst tal som visar förhållandet mellan den tillåtna lasten och den verkliga lasten. Samma tillvägagångssätt användes vid beräkning av säkerhetsfaktorerna som vid samma beräkningar i kapitel 4.1.4. Som första beräkning var att få fram säkerhetsfaktorerna vid lyft rakt uppåt, när detaljerna är positionerade som i figurerna 33 och 34. Se formel (1) i kapitel 4.1.4 för den använda formeln i denna beräkning. Resultat vid beräkning blev:

$$n_{\text{fixtur}} = 900\text{kg} / 106,2\text{kg} = 8,47$$

$$n_{\text{total}} = 900\text{kg} / 166,6\text{kg} = 5,40$$

Dessa värden är helt tillräckligt stora, då lyftörat själv har en säkerhetsfaktor på 4. Noteras även i figur 34 att masscentrumet inte är mitt i fixturens monteringsfläns, utan är förskjutet 2,6mm där lyftöglans infästning finns. Denna förskjutning är mindre än samma förskjutning för A45 svetsfixturen, som hade en förskjutning på 11,3mm. Säkerhetsfaktorer beräknades även vid lyft när fixturen är liggande, med monteringsflänsen i vågrätt tillstånd. I figur 27 framgår det att lyftkapaciteten för lyftörat går ner till 450kg vid denna lyftposition. Det krävs dock mindre lyftkapacitet av lyftöglan för att svänga fixturen i lodrätt tillstånd på grund av hävarmseffekten som uppstår när masscentrum är i fixturens mitt. Säkerhetsfaktorerna beräknades genom att använda en tidigare i detta arbete använd formel, se formel (4) i kapitel 4.1.4. Denna sammanlagda formel används på följande sätt för att få fram lyftkapaciteten som krävs av lyftörat vid lyft:

$$m_2 = (340,1\text{mm} * 106,2\text{kg}) / 581,5\text{mm} = 62,2\text{kg}$$

Säkerhetsfaktorn blir vid detta lyft då:

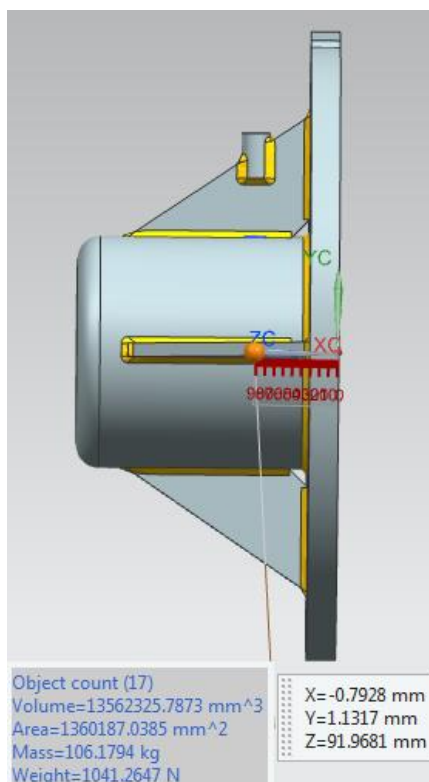
$$n_{\text{fixtur,liggande}} = 450\text{kg} / 62,2\text{kg} = 7,24$$

Säkerhetsfaktorn för lyft med intagsinsatsen fastsatt i fixturen, i liggande (monteringsflänsen horisontell) position beräknas på samma sätt:

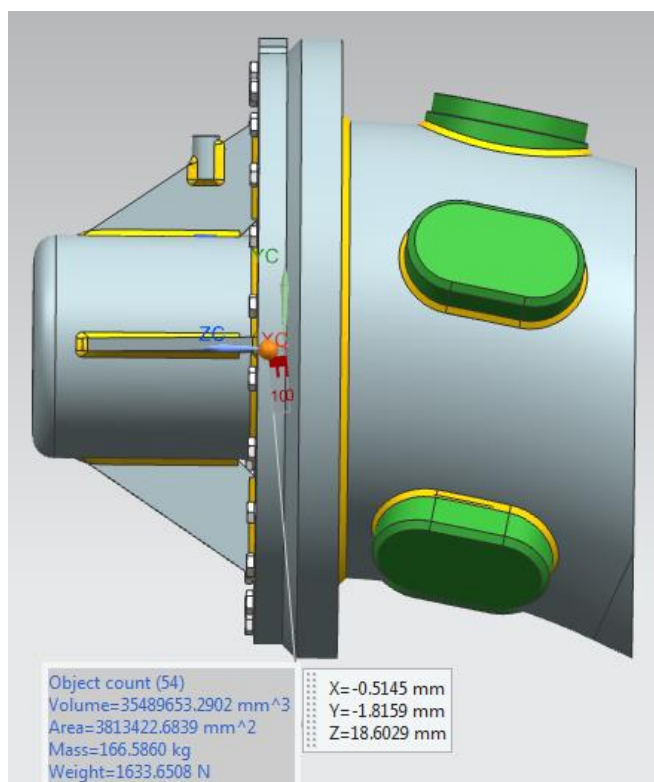
$$m_2 = (349,8\text{mm} \cdot 166,6\text{kg}) / 706,7\text{mm} = 82,5\text{kg}$$

Säkerhetsfaktorn blir då följande:

$$n_{\text{total, liggande}} = 450\text{kg} / 82,5\text{kg} = 5,46$$



Figur 34. Masscentrum för A50 svetsfixtur.

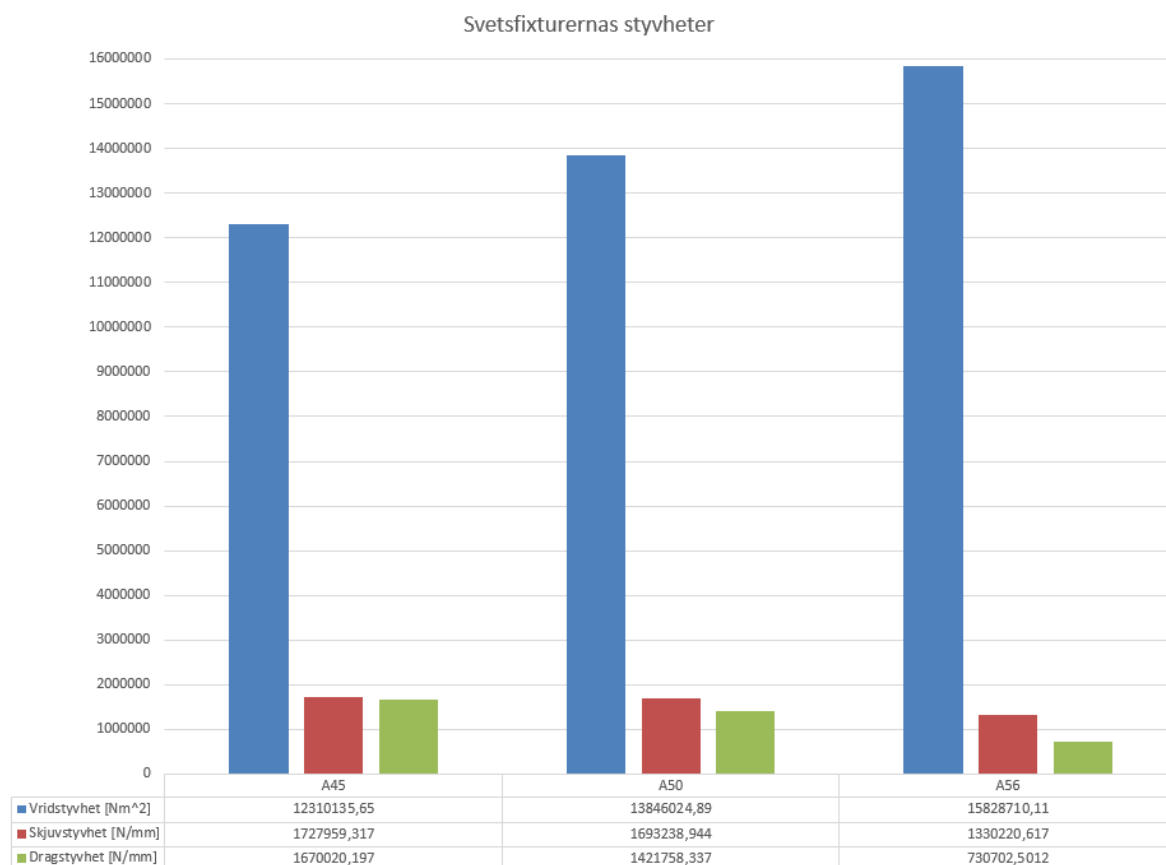


Figur 33. Masscentrum för svetsfixtur och intagsinsats ihop bultade.

Med samtliga dessa säkerhetsfaktorer i beaktning behövs inte lyfthjälpmidlets lyftkapacitet ökas, utan samma lyftögla kan användas som vid lyft av A45 svetsfixturen och intagsinsats.

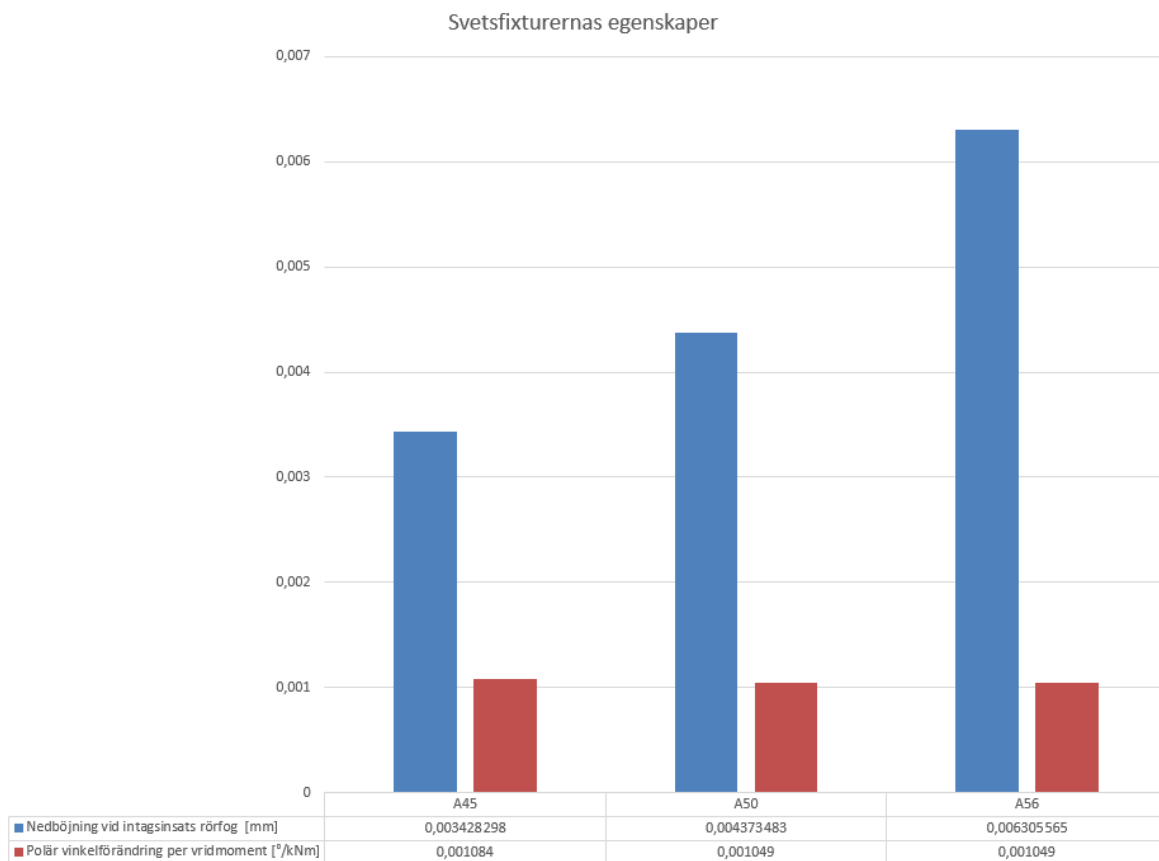
### 4.3 Jämförelse av styvhet och vikt mellan svetsfixturer

Både A45 och A50 svetsfixturerna dimensionerades för styvhet, och denna styvhet jämfördes med styvheten som den existerande A56 svetsfixturen besatte. Simuleringarna med finita elementmetoden (FEM) utfördes med exakt samma metod som vid FEM simuleringar av A56 svetsfixturens styvhet i kapitel 3.3.



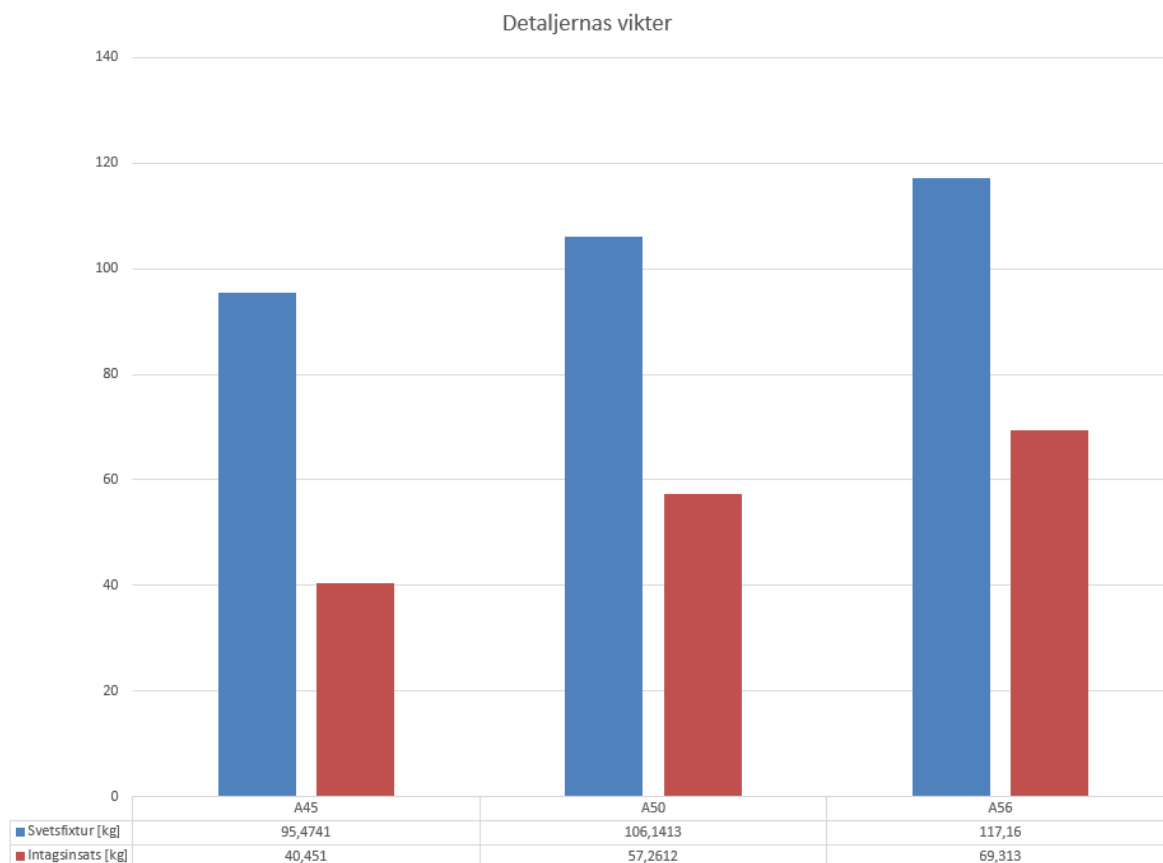
Figur 35. Diagram över svetsfixturernas styvheter.

De olika svetsfixturerna FEM-simulerade styvheter presenteras i grafisk form i figur 35. Den blåfärgade stapeln i diagrammet visar vridstyvheten hos fixturerna. Denna vridstyvhet är en produkt av skjuvmodulen multiplicerad med ytttröghetsmomentet. Detta ytttröghetsmoment skiljer sig kraftigt mellan de olika tvärsnitt som finns på fixturerna, varför det valdes att inte bryta ut detta värde. På grund av att fixturernas längd minskar varefter aggregaten blir mindre, kunde vridstyvheten hos dessa också minskas därefter. Denna minskning framkommer i diagrammet. Svetsfixturerna dimensionerades främst för att uppnå tillräcklig vridstyvhet, då det framkom under simuleringarna att denna styvhet ställde största kraven på materialtjocklek och utformning. När denna dimensionering var utförd konstaterades de andra styvheterna hos de två nykonstruerade fixturerna överskrida styvheterna som den gamla svetsfixturen har.



Figur 36. Diagram över totala nedböjningar vid intagsinsatsernas rörfogar samt svetsfixturernas polära vinkelförändring per vridmomentsbelastning.

I figur 36 visas ett diagram över svetsfixturernas andra egenskaper. Dessa är då den nedböjning som uppstår vid rörskarven mellan intagsinsats och intagsröret när insatsen hänger i svetsfixturen innan den svetsas fast, samt fixturens vridning när den belastas med ett bestämt vridmoment. Nedböjningen minskar kraftigt med de nykonstruerade svetsfixturerna, detta till stor del på grund av att den totala längden är mindre på dessa än på den gamla svetsfixturen. De röda staplarna i diagrammet visar en vinkelförändring som sker längs axellinjen i svetsfixturerna på grund av ett vridmoment, som i detta fall är 1kNm. I beräkningarna av denna vridning användes bland annat de värden på vridstyvheten, som visas i figur 35. Vinkelförändringarna är identiska mellan den nya A50 svetsfixturen och den gamla A56 svetsfixturen. Dock framkommer det att A45 svetsfixturen har en något större vinkelförändring. Denna ökning är inget problem, då detta aggregat har en plåttjocklek på 10mm vid intagsröret, där A50 och A56 aggregaten har en 12mm plåttjocklek. Denna minskning av plåttjockleken medför reducerade spänningar efter svetsning, då mindre storlekar på svetsar krävs vid sammanfogning av intagsröret.



Figur 37. De olika detaljernas vikter.

I figur 37 visas ett diagram på vikter över de olika detaljer som ingår i detta arbete. De blåfärgade staplarna visar de olika svetsfixturenas vikter. Dessa visa att deras vikter reducerats med cirka 11kg när aggregatsstorleken minskats. Intagsinsatsernas vikter visas med de rödfärgade staplarna. Här märks en större viktminskning mellan de olika aggregatstorlekarna. Viktminskningen mellan insatserna för A56 och A50 blev cirka 12kg, medan minskningen av vikten mellan insatserna för A50 och A45 blev hela 17kg. Detta beror på att materialtjocklekarna blir mindre på denna insats jämfört med de andra.

#### 4.4 Fortsatt utveckling

Några uppgifter i detta arbete blev ogjorda på grund av tidsbrist. Denna tidsbrist berodde på att vissa delmoment av arbetet tog längre än planerat, bland annat utvecklingen av finita elementmetodens analys av svetsfixturerna krävde en stor del av tiden som fanns till förfogande för detta arbete. En metod för att förebygga korrosionsangrepp bör också utvecklas. Detta kunde vara exempelvis förzinkning av svetsfixturerna. Dock kräver denna metod att toleranserna ändras så det finns utrymme för en zinkfilm vid hopmontering.



Framtagning av tillverkningsritningar uteblev helt från detta arbete, då det vid denna tidpunkt är oklart var dessa svetsfixturer skall tillverkas. Ifall tillverkningen sker med företagets egna bearbetningsmaskiner finns det vissa detaljer som kan behöva extra material för att en enkel och kostnadseffektiv uppspanning skall kunna ske. Svetsfixturernas svetsar bör också dimensioneras korrekt innan tillverkningen kan påbörjas. Slutligen behöver det även utredas ifall svetsfixturerna behöver provlyftas innan de tas i bruk, då de troligen bör klassas som lyftredskap. Därtill finns det andra detaljer som behöver konstrueras innan dessa verktyg kan användas under servicereparationer, däribland fräsverktyg för planing av anläggningsflänsen för lagerhuset.

## 5 Diskussion

Syftet med detta arbete var att konstruera två stycken svetsfixturer utgående från en tidigare i bruk tagen svetsfixtur för uppdragsgivaren Rolls-Royce Oy Ab i Karleby. Examensarbetet har varit lärorikt och utmanande. Jag har haft fria händer för hur problemen skulle tacklas och det har varit intressant. Det som har underlättat arbetet är mina tidigare arbetserfarenheter inom olika delar av produktionen hos uppdragsgivaren.

Att konstruera och dimensionera svetsfixturerna är något som kräver erfarenhet och noggrannhet ifall de skulle optimeras för liten vikt. De svetsfixturer som konstruerats i detta arbete är konstruerade så de uppfyller samma kriterier som den existerade svetsfixturen. Den svetsfixturen ser ut att ha blivit konstruerad utgående från erfarenhet. Jag misstänker dock att dess styvhet, och därmed vikt, skulle kunna minskas något ifall mer data kunde fås angående spänningar och krafter som den belastas av under användning. Detta kan vara något svårt att få, då det är stora variationer mellan olika reparationsarbeten, vilket medför att olika krafter kommer att uppstå under och efter svetsning.

Det hade underlättat arbetets gång ifall konstruktören till den existerande svetsfixturen inte hade gått i pension, så utvecklingen av de nya svetsfixturerna hade kunnat diskuteras under arbetets gång. En ytterligare sak som försvårade arbetet var att serviceingenjören som använt den existerande svetsfixturen ofta var bortrest på serviceuppdrag, så där var också kontakten inte den bästa. Bägge dessa var dock mycket hjälpsamma när det fanns möjlighet till personlig kommunikation. Trots allt detta är jag nöjd över de slutliga resultaten.

Analyseringen av den gamla svetsfixturen var utmanande, då det är mycket viktigt att man vid de olika FEM simuleringarna hade kontroll över vilka frihetsgrader på modellen som

hade låsts. Det utfördes en stor mängd ”trial and error” försök innan önskat resultat kom. Detta skede hade kunnat utföras snabbare ifall arbetet ifråga studerats noggrannare samt de krafter som svetsfixturen utsätts för under arbete. Vid dimensionering av de nya svetsfixturerna studerades de analytiska formler som definierar styvheter för ett tvärsnitt. Detta underlättade mycket för att uppnå efterfrågade styvheter hos fixturerna.

## 6 Källförteckning

- Campbell, P., 1994. *Basiv Fixture Design*. New York: Industrial Press Inc..
- Carlton, J., 2007. *Marine Propellers and Propulsion*. Cornwall: MPG Books Ltd.
- Eyres, D. J., 2007. *Ship Construction*. Oxford: Elsevier.
- Gokarn, R. & Ghose, J., 2004. i: *Basic Ship Propulsion*. New Delhi: Allied Publishers Pvt Ltd.
- Granholt, O., 2008. i: *Tre årtionden med snabbgående båtar*. Karleby: Art-Print.
- Jansson, N., 2011. *MAOLs TABELLER*. Helsingfors: Schildts.
- Johansson, H., Persson, J.-G. & Pettersson, D., 2013. *Produktutveckling*. Stockholm: Liber AB.
- Lepola, P. & Makkonen, M., 2004. *Svetsning och stålkonstruktioner*. Helsingfors: Utbildningsstyrelsen.
- Mattson, S., 1997. *Goda råd vid aluminiumsvetsning*. Sala: Aluminiumförlaget.
- Mattson, S., 2001. *SIS handbok 12 aluminium*. Stockholm: SIS Förlag AB.
- Molland, A., 2011. i: *The Maritime Engineering Reference Book: A Guide to Ship Design, Construction and Operation*. Oxford: Buttenworth-Heinemann.
- Nash, W. & Potter, M., 2010. *Schaum's Strength of Materials*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc..
- Olsson, C., 2007. *Konstruktionshandbok för svetsade produkter*. Stockholm: Liber AB.
- Olsson, K.-O., 2015. *Maskinelement*. Stockholm: Liber AB.
- Rolls-Royce, 2008. *Kamewa A3*. [Online]  
<http://pdf.directindustry.com/pdf/rolls-royce/brochure-a3-waterjets/22649-359821.html> [hämtat: 31.1.2017].
- Rolls-Royce, 2015. *Marine Products and Systems*. [Online]  
<http://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/marine-product-finder/marine-products-and-systems-catalogue.pdf> [hämtat: 24.1.2017].
- SSAB, 2011. *Plåthandboken - Att konstruera och tillverka i höghållfasta stål*. Borlänge: SSAB.
- Valtanen, E., 2013. *Tekniikan taulukkirja*. Mikkeli: Genesis-kirjat.