

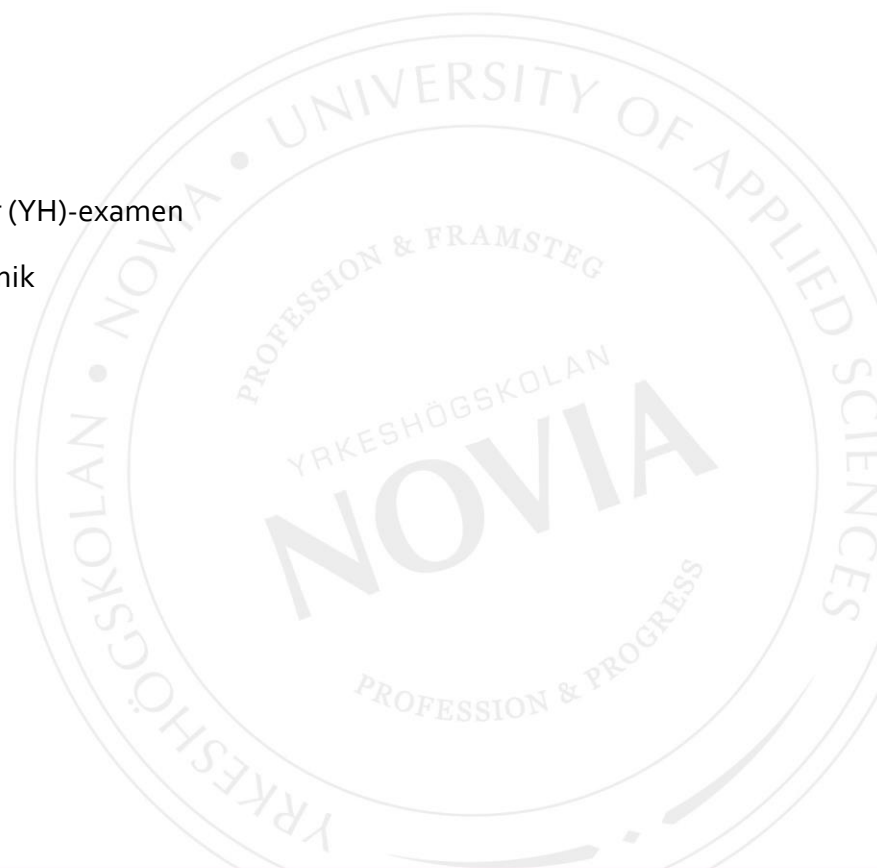
Konceptdesign för isklassade propellrar

Robin Backman

Examensarbete för ingengör (YH)-examen

Maskin- och Produktionsteknik

Vasa 2020



EXAMENSARBETE

Författare: Robin Backman

Utbildning och ort: Maskin- och Produktionsteknik, Vasa

Inriktningsalternativ: Maskinkonstruktion

Handledare: Kaj Rintanen, Markus Asplund & Björn Björklund

Titel: *Konceptdesign för isklassade propellrar*

Datum 21.4.2020

Sidantal 46

Bilagor 13

Abstrakt

Detta examensarbete har utförts i samarbete med Steelprop Finland Ab Oy i Jakobstad. Företaget tillverkar och underhåller propellrar i Duplex rostfritt stål till små- och medelstora båtar. Steelprop Finland Ab Oy utför även service på båtar av alla slag och även mindre fartyg.

Syftet med examensarbetet var att dimensionera och konstruera en BUP-propeller som lämpas för is-klass (1A). En BUP-propeller är en propeller med fast stigning och löstagbara blad, fastsättningen bör vara av egen design och klara av de kriterier som klass 1A följer.

Examensarbetet koncentrerades på att dimensionera och konstruera ett propellerkoncept som klarar av isklassen (1A). För att utföra detta krävs fakta om isklassdimensionering, propellerdimensionering och hållfasthetsberäkning. Flera propellerkoncept eller bladfastsättningskoncept utfördes och den bästa av dessa valdes ut. Examensarbetet innehöll inte tillverkning av propellrar eller ritningar för propellrar, endast koncept och dimensionering.

Resultatet blev en 3D-modell av det koncept som ansetts vara den bästa och uppfyller uppdragsgivarens krav. I resultatet visades också FEM-analyser, propellerberäkningar och is-klassberäkningar som krävs för is-klass (1A).

Språk: svenska

Nyckelord: FEM, konstruktion, propeller, tillverkning, båt,

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Robin Backman

Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Konesuunnittelu

Ohjaaja: Kaj Rintanen, Markus Asplund & Björn Björklund

Nimike: Konseptisuunnittelu jääluokan potkureille

Päivämäärä 7.12.2020

Sivumäärä 46

Liitteet 13

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Steelprop Finland Ab Oy:n kanssa Pietarsaassa. Yritys valmistaa ja huoltaa ruostumattomasta teräksestä valmistettuja Duplex-potkureita pienille ja keskisuurille veneille. Steelprop Finland Ab Oy huoltaa myös kaikenlaisia veneitä ja jopa pienempiä aluksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli mitoittaa ja rakentaa jääluokkaan (1A) sopiva BUP-potkuri. BUP-potkurissa on kiinteä nousu ja irrotettavat terät. Kiinnityslaitteen pitäisi olla suunniteltuna itse ja noudattaa 1A-luokan kriteerejä.

Opinnäytetyö keskittyi mitoittamaan ja rakentamaan potkurikonseptin, joka myös soveltuu jääluokkaan (1A). Tämän suorittamiseksi tarvittiin tietoja jääluokan mitoituksesta, potkurin mitoituksesta ja lujuuden laskemisesta. Suoritettiin useita potkurikonsepteja ja terän kiinnityskonsepteja, joista paras valittiin. Opinnäytetyö ei sisältänyt potkurien tai niiden piirustusten valmistusta, ainoastaan käsitteitä ja mitoitus.

Tuloksena on 3D-mallikonsepti, jota pidettiin sopivimpana ja joka vastasi myös asiakkaan kaikkia vaatimuksia. Tulos sisältää myös FEM-analyysit, potkurilaskelmat ja jääluokan (1A) edellyttämät laskelmat.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: FEM, rakenne, potkuri, valmistus, vene,

BACHELOR'S THESIS

Author: Robin Backman

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa

Specialization: Mechanical construction

Supervisor: Kaj Rintanen, Markus Asplund & Björn Björklund

Title: Concept Design for Ice Class Propellers

Date 7.12.2020

Number of pages 46

Appendices 13

Abstract

This bachelor's thesis has been carried out in collaboration with Steelprop Finland Ab Oy in Jakobstad. The company manufactures and maintains propellers in Duplex stainless steel for small and medium-sized boats. Steelprop Finland Ab Oy also performs service on boats of all kinds and even smaller vessels.

The purpose of the project was to dimension and construct a BUP-propeller suitable for ice class (1A). A BUP-propeller is a propeller with a fixed pitch and detachable blades, the attachment should be of its own design and meet the criteria that class 1A follows.

The bachelor's thesis was concentrated on dimensioning and constructing a propeller concept that can handle the ice class (1A). To perform this, facts about ice class dimensioning, propeller dimensioning and strength calculation are required. Several propeller concepts or blade attachment concepts were performed and the best one of these was selected. The bachelor's thesis did not include the manufacturing of propellers or drawings for propellers, only concepts and dimensioning.

The result was a 3D-model concept that was considered to be the most fitted and also met all the client's requirements. The result also contained FEM-analyses, propeller calculations and ice class calculations required for ice class (1A).

Language: swedish

Key words: FEM, mechanical construction, propeller,
manufacturing, boat,

Innehållsförteckning

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Inledning..... | 1 |
| 1.1 | Företagsbeskrivning | 1 |
| 1.2 | Produkter | 2 |
| 1.3 | Bakgrund | 2 |
| 1.4 | Syfte | 4 |
| 1.5 | Avgränsning..... | 4 |
| 1.6 | Disposition | 4 |
| 2 | Teori | 5 |
| 2.1 | Båt propellerns uppbyggnad | 5 |
| 2.2 | Propellerns funktion | 7 |
| 2.3 | Materialval..... | 9 |
| 2.3.1 | Duplex..... | 10 |
| 2.4 | Konstruktionsdimensionering..... | 11 |
| 2.5 | Hållfasthets dimensionering..... | 13 |
| 2.5.1 | Dragbelastning..... | 13 |
| 2.5.2 | Tryckbelastning..... | 14 |
| 2.5.3 | Skjuvbelastning | 14 |
| 2.5.4 | Böj belastning..... | 14 |
| 2.5.5 | Vridning..... | 14 |
| 2.6 | Tillverkningsmetoder | 15 |
| 2.6.1 | Gjutning | 15 |
| 2.6.2 | Svetsning..... | 18 |
| 2.6.3 | Skärande bearbetning..... | 20 |
| 2.7 | Klassningssällskap | 22 |
| 2.8 | Korrosion..... | 23 |
| 2.9 | Produktutveckling och modellering | 24 |
| 2.9.1 | CAD-modellering..... | 24 |
| 2.9.2 | Finita elementmetoden (FEM) | 25 |
| 2.10 | Produktutvecklingsmetoder..... | 26 |
| 2.10.1 | Brainstorming..... | 26 |
| 2.10.2 | Konceptutveckling..... | 26 |
| 3 | Metodik | 28 |
| 3.1 | Intervjuer..... | 28 |
| 3.2 | Kravlista..... | 29 |
| 3.3 | Modellering..... | 30 |
| 3.4 | Konceptsällning matris | 31 |
| 3.5 | Val av Konceptmodell..... | 31 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|---|
| 3.6 | Propeller dimensionering | 32 |
| 3.7 | FEM-analys | 33 |
| 4 | Resultat | 34 |
| 4.1 | Koncept 1..... | 34 |
| 4.2 | Koncept 2..... | 35 |
| 4.3 | Koncept 3..... | 35 |
| 4.4 | Koncept 4..... | 36 |
| 4.5 | Koncept 5..... | 37 |
| 4.6 | Konceptval | 37 |
| 4.7 | Propellerns dimensioner..... | 38 |
| 4.8 | Is-klassning..... | 39 |
| 4.9 | FEM-analys | 40 |
| 4.9.1 | Analys av bladet | 40 |
| 4.9.2 | Analys av fastsättning..... | 41 |
| 4.10 | Slutligt resultat..... | 42 |
| 4.11 | Fortsatt utveckling | 43 |
| 5 | Diskussion..... | 43 |
| 6 | Litteraturförteckning..... | 45 |
| 7 | Bilagor..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.1 | Bilaga 1: FEM-Analys case 1..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.2 | Bilaga 2: FEM-Analys case 2..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.3 | Bilaga 3: FEM-Analys case 3..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.4 | Bilaga 4: FEM-Analys case 4..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.5 | Bilaga 5: FEM-Analys case 5..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.6 | Bilaga 6: FEM-Analys FB 50% | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.7 | Bilaga 7 FEM-Analys FB 60% | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.8 | Bilaga 8 FEM-Analys FB 100%..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.9 | Bilaga 9 FEM-Analys FF 50%..... | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.10 | Bilaga 10 FEM-Analys FF 100% | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.11 | Bilaga 11 FEM-Analys stödytor | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.12 | Bilaga 12 FEM-Analys Material/Mesh .. | Fel! Bokmärket är inte definierat. |
| 7.13 | Bilaga 13 Is-Klassning | Fel! Bokmärket är inte definierat. |

1 Inledning

Ett examensarbete är det avslutande skedet för ingenjörstudierna. Examensarbetet skall innehålla sådana arbetsuppgifter som en ingenjör blir utsatt för i arbetslivet. Min arbetsgivare för detta examensarbete är Steelprop Finland Ab Oy i Jakobstad, där man utför propellertillverkning och båtunderhåll för båtar i nästan alla storlekar.

Sommaren 2019 jobbade jag på Steelprop och under denna tid diskuterades möjligheterna för att utföra examensarbete på propellertillverkningsavdelningen.

Företaget är sedan tidigare bekant för mig, då jag tidigare har arbetat inom produktionen under ett flertal tillfällen sedan år 2016. Detta kommer att hjälpa mig betydligt inom detta arbete, då företags produkter och tillverkningsmetoder är för mig tidigare bekant.

Arbetet som tilldelades mig var att se över den nuvarande tillverkningsmetoden för propellrarna och undersöka ett eventuellt nytt och lättare sätt att tillverka propellrar av större kaliber från 30" uppåt. Detta anses vara nödvändigt eftersom den nuvarande tillverkningsprocessen anses vara för dryg när propellrarna kommer till en viss storlek och eftersom efterfrågan på större propellrar ökat.

1.1 Företagsbeskrivning

Steelprop Ab Oy är ett företag som har verksamhet på Alholmen i Jakobstad. Företaget har specialiserat sig på tillverkning av skräddarsydda båtpropellrar i rostfritt Duplex-stål som är mycket mera slitåligt än vanligt rostfritt stål. Eftersom propellrarna är gjorda i Duplex går de alltid att reparera. Företaget har även specialiserat sig på båtunderhåll.

Företagets grundare Markus Asplund och Björn Björklund började båda sina karriärer inom propellertillverkning på 90-talet på Rolls-Royce Marin i Karleby där deras läromästare Fjalar Åkerblom arbetade som förman. Fjalar har jobbat med propellrar och propellerberäkningar allt sedan 70-talet. Fjalar Åkerblom började tillverka propellrar hemma i garaget och flyttade sedan till Aluminiavarvet FF-Jet som blev uppköpt av Rolls-Royce på 2000-talet. 2008 startade tillverkningen av Steelcraft-propellern av Björn Björklund och Markus Asplund. När företaget började sin propellertillverkning blev Fjalar Åkerblom den naturliga mentorn. 2012 bildades företaget Steelprop Finland Ab Oy och tog över tillverkningen. 2017 flyttade företaget in på sin nuvarande plats på Alholmen i Jakobstad.

1.2 Produkter

Som tidigare nämnts tillverkas propellrar med eventuella tillbehör av Steelprop i Jakobstad. Steelcraft propellrar är avsedda för alla typer av axelbåtar som t.ex. snabbgående färjor, räddningsbåtar, större fritidsbåtar och lyxyachter. Dessa propellrar är skräddarsydda individuellt till varje enskild båt effektiverad bränsleförbrukning, fart och komfort. Dessa propellrar är tillverkade med avsikt att få ut båtens maximala potential.

Steelcraft-propellrar är tillverkade utav Duplex-stål. Ett stål som är ca 2 gånger starkare än vanlig rostfritt stål. Tack vare detta material blir propellern både mera slitstark och hållbar. Att använda sig av Duplex-stål ger även propellern ett optimalt slagtalhet, detta betyder att propellern alltid går att reparera och vid eventuellt motorbyte går propellerns stigning att ändras utan någon större märkbar förändring på propellerns hållfasthet.

1.3 Bakgrund

Detta examensarbete utförs i samarbete med Steelprop Finland AB/Oy i Jakobstad. Idén till examensarbetet uppstod under sommaren 2019, när olika varianter för examensarbeten diskuterades. Ledningen på Steelprop kom överens om att eftersom efterfrågan på företagets propellrar som är större än 30" har ökat och tillverkningstiden inte är speciellt konkurrenskraftig, så bör tillverkningsprocessen ses över.

Tillverkningsprocessen ser för tillfället ut på följande sätt:

- Riktning av blad i hydraul press
- Mätning av bladdelning
- Fastsättning av blad
- Svetsning
- Kontrollering av stigning (korrigering om nödvändigt)
- Slipning och polering
- Balansering
- Stämpling och dokumentering

Efter att ha granskat propellrarnas tillverkningsprocess konstaterades det att själva riktningen av propellrarnas stigning tog största delen av tillverkningstiden. Riktningen av propellarna utförs för tillfället för hand med gasbrännare och slägga. Så länge man håller sig till små diametrar är riktningen inget större problem och tillverkningen sker relativt smärtfritt. Riktningen av propellarna blir extremt mycket svårare när propellarna blir större än 30". Problemet med riktningen ligger i propellrarnas styrka, d.v.s. materialet. Problemet uppstår efter svetsningen eftersom hubben är så liten och bladen så stora, i förhållande till navet drar sig bladen fruktansvärt mycket under svetsningen. Detta går att lindra med att svetsningen sker i en viss ordning, men stora propellrar kräver större svetsfog och Duplex-stålet ger inte lätt vika p.g.a. materialets slagthållhet. I teamet kom man fram till att riktningen skulle underlättas betydligt om man kunde använda sig av endast hydraul pressen vid riktningstillfället. Men detta är lättare sagt än gjort eftersom Steelcraft-propellrar är så kallade "fixed pitchpropeller" en propeller med fast stigning, så finns det inget utrymme för pressning med hydraul press efter att propellerbladen blivit fastsvetsade. Genom att ändra på propellerns uppbyggnad till en så kallad "BUP-Propeller" eller "Built-UP Propeller" alltså en fixed pitchpropeller med löstagbara blad kunde man pressa ett blad åt gången vid riktning och på så vis få en betydligt underlättad tillverkningsprocess. Med en BUP-Propeller medföljer också andra fördelar som t.ex. enklare transport och hantering jämfört med en fixed pitchpropeller och även underlättning vid reparationstillfällen då endast bladen bör demonteras och skickas på reparation.



Figur 1. Exempel på BUP-Propeller (Wärtsilä, 2020)

1.4 Syfte

Huvudsyftet med detta examensarbete är att dimensionera och konstruera en egen BUP-propeller. Till arbetet hör att ta fram en egen fastsättning för bladen och denna fastsättning bör klara av vinterförhållanden upp till isklass (1A) hållfasthetskraven ställs främst på fastsättningen eftersom bladen absolut inte får lossna, propellerbladen får å andra sidan böjas till viss del eftersom propellrarna kommer bli tillverkade i Duplex-stål och bladen klarar av att bli riktade tillbaka många gånger utan att någon märkbar förlust i hållbarheten förekommer. Hubben bör hållas så liten som möjligt för att förhindra att propellerns bladtäckningsarea inte reduceras allt för mycket, eftersom när hubbens diameter blir större åker bladen längre ifrån varandra och teckningsarean blir på så vis mindre.

1.5 Avgränsning

Examensarbetet kommer endast att koncentrera sig på att dimensionera och konstruera ett propellerkoncept som klarar av isklassen (1A). För att utföra detta krävs fakta om isklassdimensionering, propellerdimensionering och hållfasthetsberäkning. Flera propellerkoncept eller bladfastsättningskoncept kommer att göras och det bästa konceptet kommer användas. Till arbetet hör inte att konstruera och dimensionera rikttningsverktyg för bladen även om detta nämnts i tidigare kapitel. Till examensarbetet hör inte heller att tillverka ritningar för propellrar endast koncept och dimensionering.

1.6 Disposition

I dispositionen tar man upp vad olika kapitel i examenarbetet handlar om i korthet.

Kapitel 1 innehåller en kort presentation av examensarbetet som innehåller bland annat bakgrund till arbetet, vad syftet med examenarbetet är och hur mycket det omfattar. Kapitlet innehåller även uppdragsgivarens beskrivning av examensarbetet och en inblick i deras produkter.

Kapitel 2 redogör arbetets teoretiska bakgrund. Teoridelen innehåller bland annat konstruktionsdimensionering, tillverkningsmetoder och 3D-modellering.

Kapitel 3 beskriver vilka arbetssätt och metoder man använt sig av i arbetet.

Kapitel 4 innehåller examensarbetets resultat och presentation.

Kapitel 5 ger en sammanfattad diskussion över hela examensarbetet, hur man framskridit i arbetet och vilka delmoment i arbetet som kunde ha utförts på bättre sätt eller smidigare.

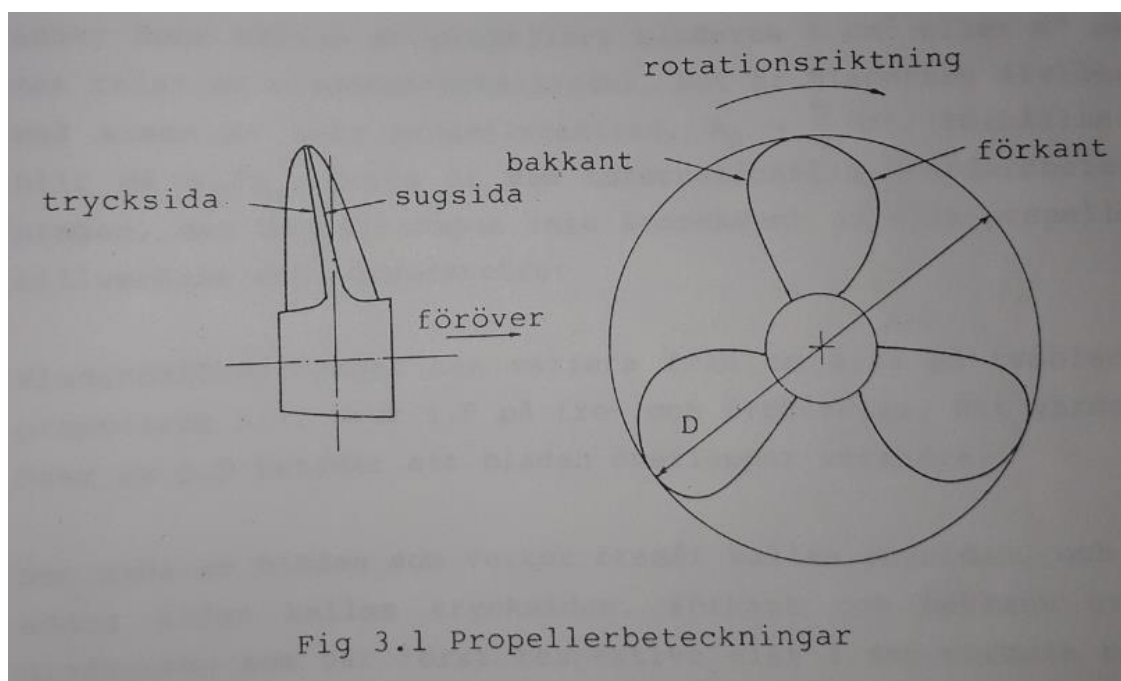
2 Teori

I detta kapitel tar man upp teorin som använts under detta examenarbete för att komma fram till det slutliga resultatet. Denna teori innehåller bland annat materialegenskaper, konstruktionsdimensionering och tillverkning.

2.1 Båtpropellerns uppbyggnad

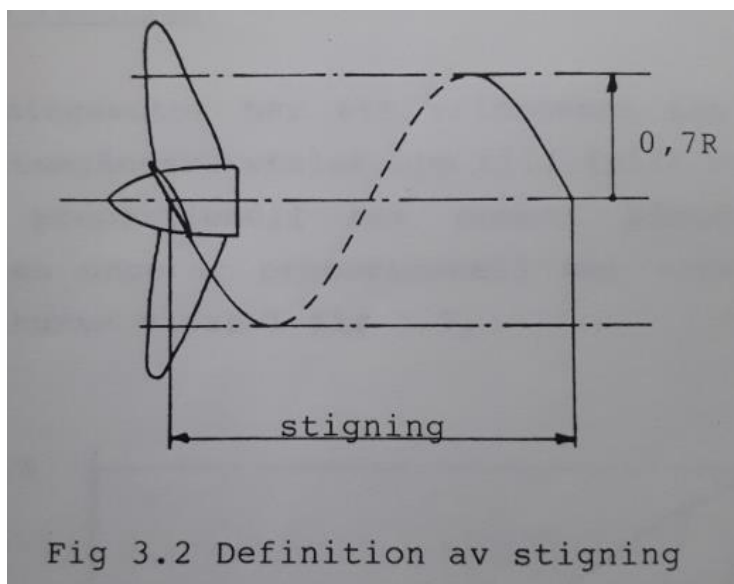
En marin propeller består av ett nav med ett antal blad, från 2 på små båtar med utombordsmotorer och på segelbåtar, till 5, eller 7 på fartyg med hög motoreffekt som containerfartyg, krigsfartyg och tankfartyg. De flesta motorbåtar har för det mesta 3 blad men 4 och även 5 bladiga propellrar kan förekomma.

Vad diametern (D) på en propeller är behöver ingen närmare förklaring, möjligen att diametern för en propeller mäts från propellercentrum till en bladspets.



Figur 2. Propellerbeteckningar (Tornbald, 1990)

En propellers stigning har tekniska beteckningen P (från engelskans "pitch"). Stigningen för en propeller definieras sig som den sträcka propellern skulle kunna skruva sig in i t.ex. lera när propellern roterat ett varav, man kan jämföra detta med stigningen för gängan på en bult eller skruv. Propellerns stigning definieras av den stigning som propellern har på $0.7 \times$ radien, detta går att mäta direkt på propellern med kordinatmätmaskin eller stigningsmallar.



Figur 3. Definition av stigning (Tornbald, 1990)

En propeller kan ha mer eller mindre breda blad, dvs större eller mindre bladarea. Bladarean definieras som den totala arean av ena sidan av propellerns samtliga blad och har den tekniska beteckningen A_e . Man brukar tala om bladareaförhållande, detta är förhållandet mellan propellerns totalt bladarea och arean för hela propellerskivan, dvs cirkelarean från propellerns diameter, $A_0 = \pi/4 * D^2$. Den internationella standardbeteckningen för detta är A_e/A_0 . Trots av den internationella standarden tillämpas den inte konsekvent av alla propellertillverkare eller -leverantörer.

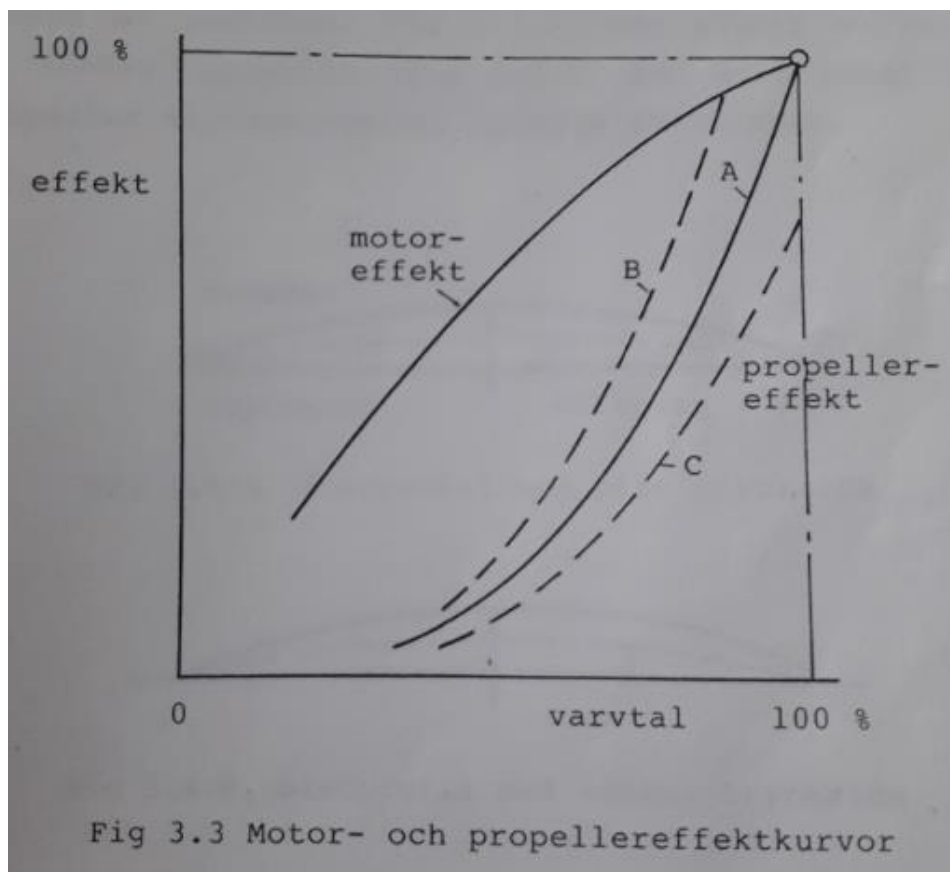
Bladareaförhållande kan variera från ca 0,25 på tvåbladiga propellrar till över 1,0 på tre- och fyrbladiga propellrar. Ett värde större än 0,9 betyder att bladen börjar överlappa varandra.

Den sidan av bladen som vetter framåt i förhållande till båten kallas sugsidan och den andra kallas trycksidan. Framkant och bakkant är kanterna på bladen som går först respektive sist i den normala rotationsriktningen.

En propeller kan vara höger- eller vänstergängad. En hörgängad propeller roterar medurs sett bakifrån båten vid gång framåt. (Tornbald, 1990)

2.2 Propellerns funktion

En förbränningsmotors vridmoment är nästan konstant från tomgångsvarvtalet upp till fullt varvtal. Eftersom effekten är proportionell mot moment gånger varvtal blir motoreffekten ungefär proportionell mot varvtalet. En sådan motoreffektkurva kan ses nedan i figur 4.

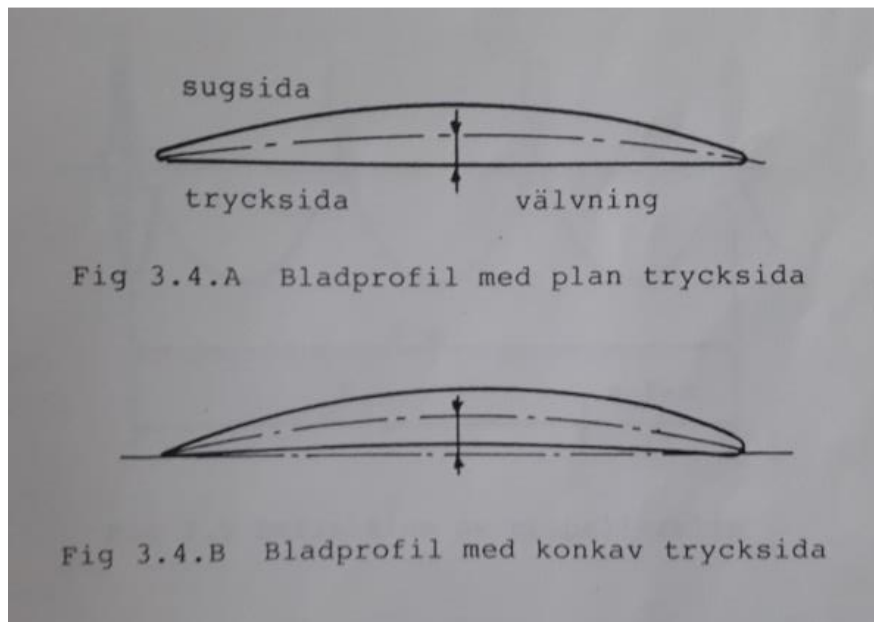


Figur 4: Motor- och Propellereffektkurvor (Tornbald, 1990)

Propellerns absorberade effekt följer en helt annan kurva. Denna effekt är proportionell mot varvtalet upphöjt i tredje och med betäckningen P_b före effekten får man att $P_b = \text{konstan} * n^3$. Detta är den så kallade propellerlagen. Även denna visas i bild 2 som kurva A. Om propellern blir rätt dimensionerad går kurvan genom punkten för 100% motoreffekt vid 100% varvtal. Om propellern är för stor eller för styv som man säger får man kurva B. Kurva B skär motorgränskurvan vid ett lägre varvtal än 100%. Alltså man kan inte få ut full effekt och ökar också risken för att överbelasta motorn. Om propellern å andra sidan blir för liten eller "lätt" får man kurva C. Där man uppnår 100% varvtal men inte 100% effekt och då ökar risken för att övervarva motorn.

För det mesta kan man konstatera två till utseende likadana propellrar är olika styva. Detta kan bero på skillnad i profilvälvning. Standardpropellrar dimensionerade för måttliga

effekter har för de mesta profiler med rak trycksida (baksidan), dvs bladets trycksida är en skruvyta. Profilvävningen blir då ca halva maximala tjockleken av profilen, figur 5 övre bilden. En propeller med större välvning får en konkav trycksida, figur 5 nedre bilden. Utav detta kan man konstatera att den propeller som är styvast är den med mest välvning.



Figur 5. Olika typer av bladprofiler (Tornbald, 1990)

För givna värden av effekt, varvtal och fart bestäms den korrekta välvningen med hjälp av en komplicerad beräkning, en så kallad cirkulationsberäkning.

En propellers slip, uttalas [slipp] är skillnaden mellan den teoretiska sträckan en propeller kan "skruva" sig fram under en viss tid och den verkliga sträckan den egentligen tar sig fram genom vattnet under samma tid. Denna sträcka dividerat med den teoretiska sträckan ger propellerns slip (s).

- Teoretiska sträckan: $P * n$
- Verkliga sträckan: Va
- Slipen: $S = \frac{P*n - Va}{P*n}$

Observera att slipen beräknas med Va , vattenhastigheten genom propellern. Det kan förekomma att slipen beräknas på båtens fart V , men då beaktar man inte medströmmen.

Värdet på Slipen är normalt 15–30%, lägst på snabba lättdrivan båtar, högst på båtar som går vid ett lågt maximalt fart/längd-förhållande. (Tornbald, 1990)

2.3 Materialval

Val av material är ett av de viktigaste beslut man gör när man tar fram en ny produkt. Konstruktören och designern bör därför ha en förståelse för materialet eller materialens egenskaper, tillverkning, värmebehandling lämpliga arbetsområden. Materialutvecklingen har en väldig ihållande utveckling bland annat inom belastningståliga konstruktionsmaterial samt ändamålsenliga material inom elektronikindustrin. Det material som används mest globalt är stål, även om användningen av material som aluminium och plast har en kraftig ökning på marknaden.

Produktens geometriska form samt tillverkningsprocessen går hand i hand med materialvalet. Tillverkningsprocessen omfattar komponenttillverkning samt fogning och montering. På grund av det som nämndes ovan är materialvalet redan tidigt i konstruktionsprocessen en viktig faktor. Olika sorts belastningar på komponenterna är ofta beroende på komponentens material och geometri. Materialvalet påverkas också av vilken tillverkningsmetod man kommer använda sig av och tillverkningsmetoden väljs för det mesta enligt seriernas storlek.

När man väljer konstruktionsmaterial bör en kravprofil användas, där en rad olika aspekter kan vägas in som t.ex.:

- Produktens livscykel
- Produktens funktion
- Produktionens volym
- Materialegenskaper
 - Miljöpåverkan
 - Seriens storlek
 - Hållfasthet
 - Livslängd

(Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

2.3.1 Duplex

Duplexstål tillhör materielgruppen rostfritt- och syreressistent stål och har en mycket hög styrka och är jämförbart med stål i de högre hållfasthetsklasserna. Duplex delas upp i grupper från ”*mager*” till ”*hyper*”. Det som ger duplexstål sin karaktär är materialets balans mellan austenit- och ferrit- fasstrukturer (förhållande 50:50). Därmed består Duplex av en högre kromhalt än det rena austenitiska stålet och av en lägre nickelhalt än andra produkter som är nickelbaserade. Detta bidrar till att ge duplexstålets höga hållfasthet och ger stålet dess stabilitet. Stålet är väldigt korrosionsbeständigt och har utmärkta mekaniska egenskaper. Mekaniskt sett är duplex är duplex stål magnetiskt, med en mycket högre flytspänning än austenitiska och ferritiska stål. Detta innebär att duplexstål är även lämpligt för stora konstruktioner där godstjockleken kan reduceras i jämförelse till austenitstål. Med detta sagt får man ett mera korrosionsbeständigt stål och lite lättare konstruktion, och håller sig ändå på samma prisklass. Nackdelen med duplexstål är att den mekaniska bearbetningen försvåras och att även en rik för intermetalliska faser (Cr-MO,Cr-Fe) kan skapas under svetsprocessen. Denna risk stiger i takt med att ett materials krom (Cr) och molybden (MO) halt stiger.

Produkter som skruvar, brickor, kättingar, axlar och propellrar blir särskilt slitstarka när de tillverkas i duplexstål. Konstruktionsdimensionering

Duplex har standardbeteckningen EN-1.4662

2.4 Konstruktionsdimensionering

När man dimensionerar en konstruktion alltså när konstruktionens form, material och mått bestäms bör dessa faktorer göras utifrån att undvika funktionsnedsättning och skador som kan förekomma under produktens livslängd. Man förknippar ofta dimensionering med hållfasthetsdimensionering och detta kan vara förståeligt eftersom den huvudsakliga idén med dimensionering är att konstruktionen skall hålla. (Olsson, 2015, s.9)

När man beräknar hållfasthet bör man bestämma vilken brottmekanism som man dimensionerar mot. Dessa olika brottmekanismer kan vara:

- **Plasticering:**

Med plasticering menas dimensionering med avsikt på materialet sträckgräns. För föremål i metall är detta en av de vanligaste fallen. När man pratar om metalldimensionering använder man sig vanligen av en säkerhetsfaktor eller en marginal till brott efter man uppnått sträckgränsen i något av den metalliska konstruktionens spänningsområden. På detta vis kan man då observera en så kallad ”flytning” i konstruktionen och där vidta åtgärda saken.

- **Utmattning:**

När ett material utsätts för utmattning är när den utsätts för en dynamisk belastning under en längre tid med lastnivåer under materialets sträckgräns.

- **Instabilitet:**

Med instabilitet talar man om knäckning, vippning eller buckling som sker under statisk belastning av ett material eller konstruktion.

- **Sprödbrott:**

Ett brott som är beroende av ett materials kritiska brottseghet och temperatur. Denna typ av brott måste beaktas om man använder sig av keramiska material eller om produkten utsätts för låga temperaturer.

- **Abrasiv nötning:**

Denna typ av nötning uppstår när två ytor gnider mot varandra. Man kan minska den slitande nötningen om man väljer hårdare material till dessa ytor, eftersom dessa material oftast är mycket mera slittåliga.

- **Krypning, varmhållfasthet:**

Detta är när ett material som utsätts för belastning får en ökande töjning, för metaller sker detta vid höga temperaturer.

- **Kavitation:**

Kavitation sker vid vätskeströmning över en komponents yta. Om komponentens yta är formad så att en så kallad ”trycksänkning” uppstår, bildas bubblor som imploderar efter att trycket normaliserats. När bubblorna imploderar bilas små tryckstötter som utmattar materialets yta. Hos propellrar, pumphjul och impellrar kan kavitation förekomma på bladens sug sida, för en propeller är detta på den sida av propellern som blickar mot fören.

- **Korrosion:**

Är ett kemiskt angrepp på materialet från den omgivande miljön. Korrosion sker ofta i fasningar, spalter och runt håligheter. Metaller med olika elektrokemiska förmågor som kombineras leder till ökad risk för korrosion.

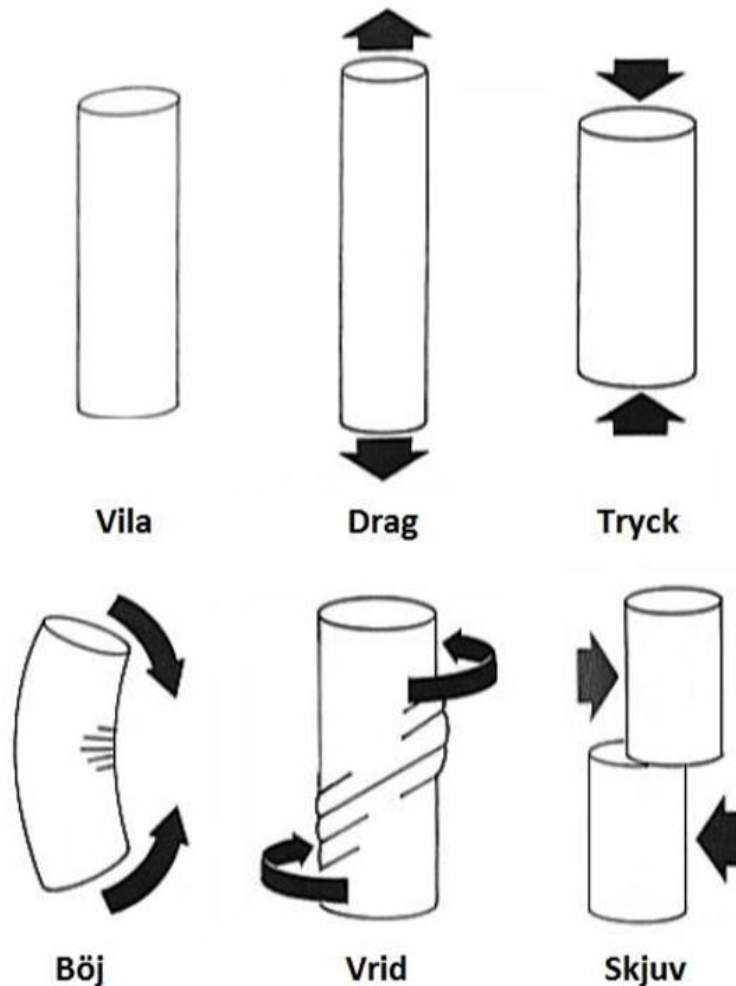
- **Erosion:**

Erosion är en så kallad partikelnötning som uppstår när gas- eller vätskepartiklar strömmar förbi en solid komponent som t.ex. en propeller eller impeller.

Man kan även dimensionera för bland annat styvhet. Med styvhetsdimensionering utgår man från att en kontraktion under last, inte skall deformeras till den grad att den förlorar sin funktion. När man dimensionerar en kontraktion eller en produkt för styvhet bör man beakta att elastisk deformation beror på det spänningsutsatta området och även materialets elasticitets modul. Deformationen påverkas dock inte av materialets hållfasthet, så genom att använda sig av ett välutformat tvärsnitt kan man uppnå tillräcklig styvhet. (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

2.5 Hållfasthets dimensionering

Vid dimensionering för en produkts eller en konstruktions styvhet bör olika metoder användas för att motverka deformation i konstruktionen. Dessa dimensioneringar beror specifikt på vilken slags belastning produkten blir eller kommer att utsättas för. I figuren nedan visas olika typer av belastningar.



Figur 6. Olika typer av belastning på en axel

2.5.1 Dragbelastning

Om konstruktionen kommer att utsättas för dragbelastning behövs det minst material i jämförelse med andra typer av belastningar. Styvheten av denna belastning ökar i förhållande till godsets tjocklek. Denna typ av spänning som materialet utsätts för kallas dragspänning. (Olsson C. , 2007)

2.5.2 Tryckbelastning

Under tryckbelastning uppför sig ett material relativt lika som vid dragbelastning, men här utsätts materialet för tryckspänningar. Med denna typ av belastning uppkommer olika former av instabilitetsfenomen som t.ex. buckling, knäckning och vippning. Dessa fenomen blir en begränsningsfaktor om konstruktionen har hög materialutnyttjande och konstruktionen blir slank. De faktorer som inverkar på materialets förmåga att uppta tryckbelastning är tvärsnitt, längd, infästning, sträckgräns och elasticitetsmodul. (Olsson C. , 2007)

2.5.3 Skjuvbelastning

Om en kontraktion blir utsatt för tryck- och dragbelastning på vardera sidan av ett plan blir den utsatt för skjuvbelastning. Om konstruktionen är tillverkad av ett elastiskt material, kommer materialet på grund av skjuvspänningarna deformeras mittemellan var de olika belastningarna inplaceras. För att motverka deformationen under denna typ av belastning kan man öka tvärsnittsarean mellan de påverkande områdena. (Olsson C. , 2007)

2.5.4 Böjbelastning

Vid böjande belastning av t.ex. en balk som i figur 6 ovan uppstår en kombination av tre olika belastningsfall, tryck- på ovansidan, drag- på undersidan och skjuvbelastning mellan balkens undre och övre del. Böjstyvheten bestäms utifrån avståndet till balkens tyngdpunkt och av de kraftupptagande ytornas avstånd till sektionens tyngdpunkt upphöjt till två. Genom att flytta bärande områden i balkens tvärsnitt längre från tyngdpunkten kan man få en balk som både är lättare och styvare. Vid optimeringar som dessa bör man beakta vippning och buckling om man använder sig av stora plåtfält. Man bör även beakta spänningshöjningar i de bärande områdena på balken. (Olsson C. , 2007)

2.5.5 Vridning

Vid vridande moment på en konstruktion används olika typer av profiler i olika utföranden. Ifall profilen har ett slutet tvärsnitt är detta till stor nytta när man vill uppnå en stor vridstyvhet. I en profil vars ändfläns inte är inspänd uppstår spänningar i tvärsnittet i form av skjuvspänningar, och ifall ändflänsen är inspänd uppstår även en betydande tryck- och dragspänning i tvärsnittet. Genom att begränsa vridningen i ändflänsen kan man öka vridstyvheten, detta kallas för välvning. (Olsson C. , 2007)

2.6 Tillverkningsmetoder

Vid val av tillverkningsmetoder för en produkt är det viktigt att tänka på vilka krav som ställs på den produkt man skall tillverka. Faktorer som tillverkningskostnad, materialval, noggrannhetskrav, tillverkningsvolym och geometri är sådant som man bör använda sig av vid val av tillverkningsmetoder för produkten som skall tillverkas.

2.6.1 Gjutning

Med tillverkningsmetoden gjutning menas att metall i flytande form (smälta) låts stelna i en specifik form för att få en sådan form på gjutgodset som man vill ha. Gjutning hör i dagsläget till ett av de vanligaste tillverkningsmetoderna trots att metoden kan påstås vara gammal, eftersom det äldsta gjutgodsdetaljen som man känner till blev tillverkad 3200 år f.Kr.

Vid gjutning använder man sig av gjutningsformar, dessa kan man dela in i engångsformar och flergångsformar, varav engångsformar är den vanligaste typen och är ofta tvådelade och tillverkad av sand. Med engångsformar kan man även ha en eller flera s.k. kärnor eller gjutkärnor för att få håligheter i gjutgodset.

Vanliga gjutna detaljer är t.ex. motordetaljer, bromsskivor, bilfälgar, boggidetalljer, delar till industrirobotar, stekpannor, grytor och propellrar mm.

Fördelar med gjutning som tillverkningsmetod är främst att en väldigt invecklad detalj kan tillverkas till ett relativt billigt pris. Som t.ex. på detta kan svetsade konstruktionsdelar sammanfogas i ett enda gjutgods och på så vis underlätta tillverkningen och på samma gång reducera antalet komponenter som behövs i konstruktionen.

(Sved, Gjutmaterial och gjutmetoder, 2016)

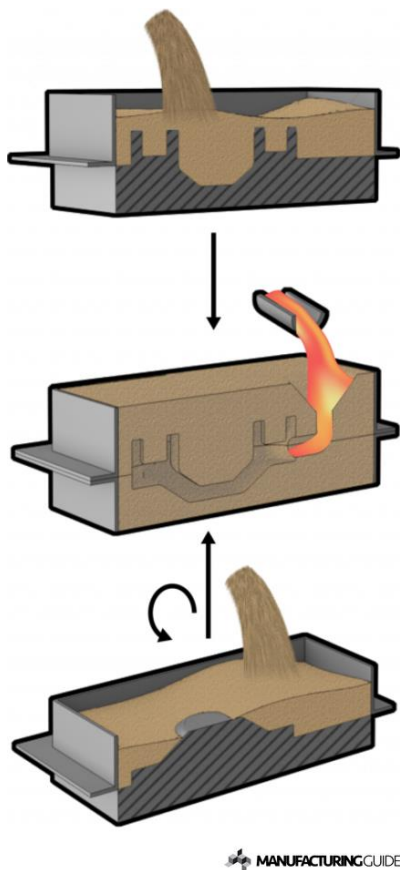
- **Sandgjutning**

Den allra vanligaste och äldsta metoden för gjutning är sandgjutning. Man kan säga att i princip har denna metod hållits oförändrad sedan ett par tusen år tillbaka. Men givetvis har metoden förfinats i alla delar och kvaliteten ytterligt förbättrats.

Sandgjutning går till på följande sätt:

1. Gjuteriet tillverkar en modell i trä, plast eller metall.
2. Modellen används för att producera formen, man kan säga att formen är ett negativ av modellen.
3. Formen är gjord utav sand med olika typer av bindemedel. Man brukar skilja åt kallärdande och varmhärdande bindemedel.

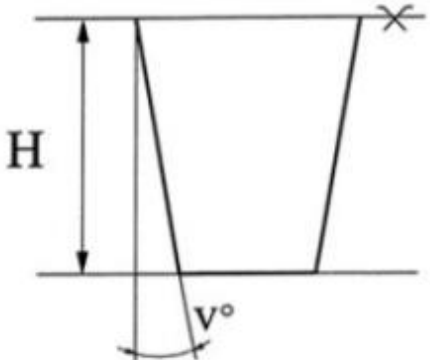
Sandformar är ofta gjorda i två delar för att göra det möjligt att öppna den och plocka ut den gjutna detaljen ur formen. Sandformar har ofta en ram runt modellen för att säkerhetsställa att allt hålls på plats, denna ram kallas för gjutflaska. Gjutformen har en gjutkanal därifrån smältan hålls in i formen där den sedan stelnar till den efterönskade formen.



Figur 7. Sandform med gjutflaska. (Manufacturing Guide Sweden AB, ei pvm)

Vid tillverkning av sandformar bör en släppningsvinkel beaktas för att man skall kunna lyfta ut modellen ur formen. Vanligtvis inom sandgjutning ligger släppningsvinkeln mellan 2 - 5°.

Sandformgjutningens fördelar är att man får stor formgivningfrihet, liten släppningsvinkel och låg materialkostnad. (Sved, Gjutmaterial och gjutmetoder, 2016)

| H mm | v (ca) |  |
|-------|--------|--|
| 5 | 6° | |
| 10 | 3° | |
| 25 | 1,5° | |
| 65 | 0,75° | |
| 100 | 0,75° | |
| 250 | 0,5° | |
| 650 | 0,33° | |
| 1 000 | 0,25° | |

Figur 8. Riktvärden för släppningsvinklar (Svenska Gjuteriföreningen, ei pvm)

- **Gipsgjutning**

Metodens namn avslöjar hela idén med denna metod alltså att formmaterialet består av gips. För övrigt påminner metoden ganska mycket om sandformning. Eftersom formen är gjord av gips måste den torka i ca 48 timmar innan avgjutning sker. Formen värms sedan till 200°C innan gjutningen sker. Gjutmetoden är speciellt gynnsam om man vill gjuta med ett laminärt flöde utan någon större risk för slagg och oxidinneslutning, detta har att göra med att gipsmassan är relativt värmeisolerande i kombination med förvärmning.

Fördelarna med gipsgjutning är b.l.a. mycket hög ytjämnhet och toleransnoggrannhet, även att extremt tunnväggade och utbredda gjutgoods detaljer kan tillverkas och man kan komma ner till godstjocklekar på ca 0,5mm. (Sved, Gjutmaterial och gjutmetoder, 2016)

2.6.2 Svetsning

När man definierar svetsning brukar man tala om sammanfogning av olika arbetsstycken utan separat bindemedelsanvändning och få metallens eller plastens molekyler att binda samman i ett fast förband. Det finns ett flertal olika svetsmetoder och dessa brukar delas in i två huvudgrupper, nämligen smältsvetsning och trycksvetsning. (ESAB, 2020)

Smältsvetsning går ut på följande sätt, att arbetsstyckenas förbandsytor som skall sammanfogas m.h.a. denna svetsmetod, värms upp till smälttemperaturen. När dessa ytor uppnår sina smältpunkter smälter dessa samman. Smältsvetsning kan utföras med hjälp av tilläggsmaterial eller utan. Till smältsvetsning hör t.ex. TIG-svetsning och MIG/MAG-svetsning. (ESAB, 2020)

Däremot vid trycksvetsning används inget tillsatsämne vid svetsutförandet. Med denna typ av svetsmetod hettas förbandsytorna upp till en sådan temperatur att materialet blir klabbigt, sedan pressas ytorna samman med en viss kraft så ett fast förband bildas. Till denna grupp av svetsning hör b.l.a. motståndssvetsning, punktsvetsning och friktionssvetsning.

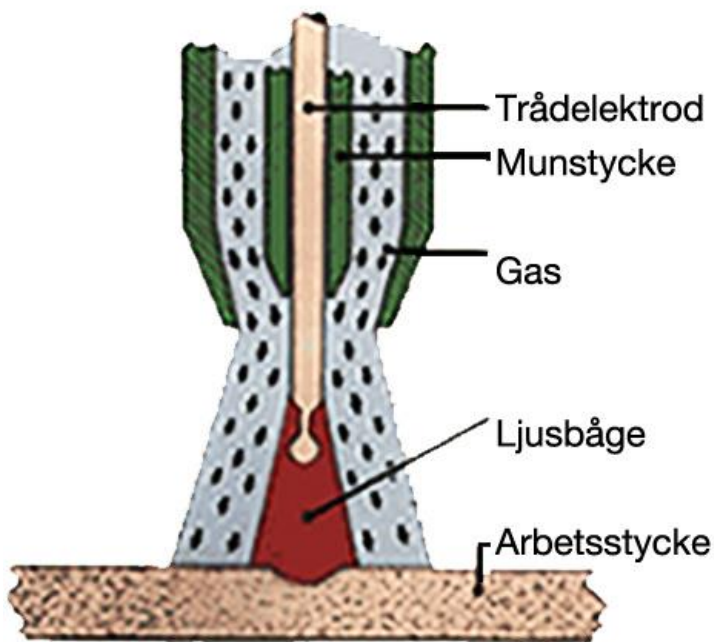
GMAW, "Gasskyddad metallbågsvetsning" (även känd som MIG/MAG-svetsning) där ljusbågen mellan trådelektroden och detaljen som svetsas skyddas m.h.a. en inert eller aktiv gas. Denna svetsmetod går att använda till de flesta material och tillsatsmaterial i form av en tråd finns för största delen av metaller. (ESAB, 2020)

Skillnaden mellan MIG- och MAG-svetsning är deras skyddsgaser. Gasen som används vid MIG-svetsning kallas för inert skyddsgas detta är gaser som inte reagerar. Som inertgaser använder man sig oftast av argon. Vid MAG-svetsning använder man sig av en aktiv gas, denna gas är ofta en blandgas av argon och koldioxid eller argon och syre. MIG-svetsning används för svetsning av aluminium, koppar och titan, MAG-svetsning används främst vid svetsning av stål. (ESAB, 2020)

Svetsmetoden MIG/MAG är väldigt flexibel eftersom man med denna metod kan svetsa i:

- Ett stort plåttjockleksområde från 0,5 mm och större. För svetsning av tunnplåt utnyttjar man den låga värmetillförseln för att till så hög grad som möjligt undvika kastningar och deformationer i plåten. Vid svetsning av grova plåtar kan fyllnadssträngarna svetsas med hög produktivitet.
- Alla vanliga konstruktionsmaterial som t.ex. aluminium, rostfritt stål, olegerade och låglegerade stål och även ett flertal icke-järnmetaller.
- Samtliga svetslägen.

De ovannämnda fördelarna har gjort att MIG/MAG-metoden kan hittas i många olika användningsområden både i storindustrin och i små verkstäder. Industrier var man använder sig av MIG/MAG-svetsning är b.l.a. bil-, byggnads-, offshore och varvsindustrin. (esab.se)



Figur 9. (MIG/MAG-svetsprocess) (ESAB, 2020)

2.6.3 Skärande bearbetning

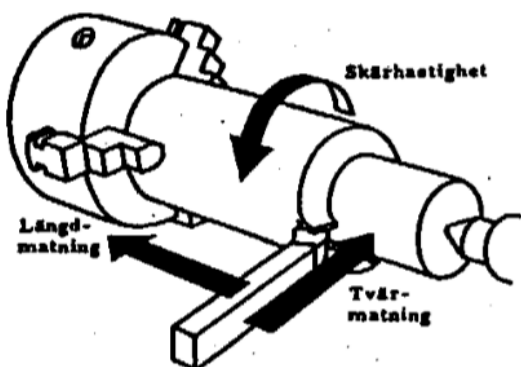
Skärande bearbetning är processer där material bearbetas bort för att en produkt skall få en viss geometri. Detta görs genom att överflödigt material tas bort m.h.a. en rad olika verktyg för att skapa en viss form på en produkt enligt de krav som ställts på produktens former. Resultat av denna process är två produkter, avfall och den färdiga produkten.

Typer av skärande bearbetning kan delas in i slipning, svarvning och fräsning.

Slipning är en form av skärande bearbetning för att förändra ytor. Ett föremål slipas för att uppnå en viss ytfinhet eller för att uppnå en viss jämnhetstolerans. Slipning går till på följande sätt, ett ämne, t.ex. en slipsten eller ett sandpapper, gnids mot en yta på ett arbetsstycke. Slipning kan ha följande syften:

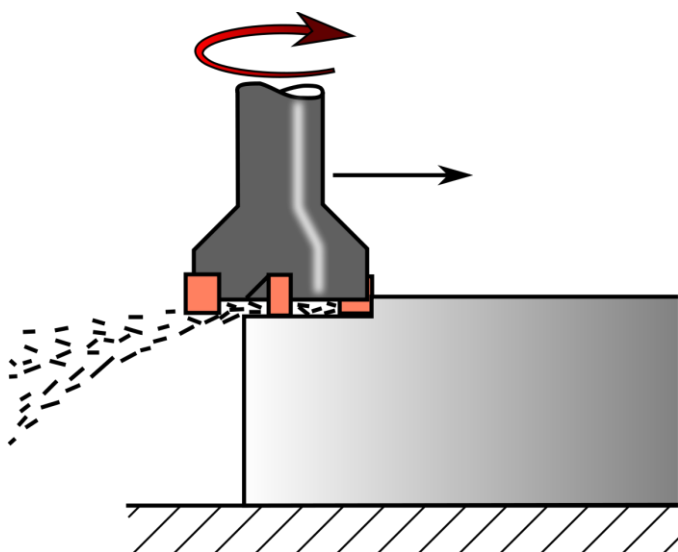
- Slipning i maskin för att uppnå ett visst mått på en detalj t.ex. rund eller plan.
- Skärpning eller vassning av olika verktyg.
- Slipning hos råmaterial som ädelstenar för att ge en ytterligare glans.
- Förberedelse för målning.
- Bearbetning av trä-, sten- eller metallmaterial.
- Polering av ytor för att ge en detalj en snyggare yta eller för att minska friktion.

Svarvning innebär att ett verktyg med skärande egenskaper genererar runda och cylindriska former. Svarvning definieras så att verktyget är stationärt medan arbetsstycket roterar. Svarvning är en av de vanligaste processerna hos skärandebearbetning och är även en högt optimerad process som kräver noga beaktande av svarvapplikationens faktorer. Vid val av skärdata, verktygstyper och programmering kan man dela upp svarvning i ett antal olika grundapplikationer nämligen längdsvarvning, plansvarvning eller profilsvärning.



Figur 10. Bildförklaring på svarvningsmetoden (Sved, Spånskärande bearbetningskompendium, 2017)

Fräsning är också en väldigt vanlig metod inom skärade bearbetning. Man kan säga att fräsningsmetoden är nästan motsatsen till svarvning, eftersom vid fräsning är det arbetsstycket som är stationärt och det skärande verktyget som roterar. Fräsning används för bearbetning av t.ex. trä, plaster och metaller. För bearbetning av metall och även trä används utbytbara hårdmetallskär som verktyg. Dessa skär är oftast gjorda av snabbstål eller hårdmetaller. Verktöget som används under fräsningen sätts fast i en så kallad spindel. Det är m.h.a. denna spindel som verktyget roterar.



Figur 11. Bildförklaring på fräsnings metoden. (wikipedia.org, ei pvm)

2.7 Klassningssällskap

Vid sjöfartstarfik kräver användaren av fartyget samt försäkringsgivaren en försäkran om att fartyget och dess utrustning uppfyller kraven för att klara av den miljö som fartyget kommer utsättas för. För att uppmärksamma de risker som användaren och försäkringsgivaren kan utsättas för började det första klassningssystemet ta form för över 200 år sedan. Sedan dess har ett flertal tillförlitliga organisationer uppstått för att utföra samtliga inspektioner av fartyg för att fartygets specifika klassning upprätthålls. SOLAS (engelska: International Convention for the Safety of Life at Sea) är alltså en internationell konvention för säkerhet för människoliv till sjöss, som grundades efter Titanic olyckan. Denna konvention ansvarar för många aspekter av sjöfart, bland annat hur fartyg konstrueras och utrustas med tanke på livräddning, eldsläckning, radioutrustning, hur man hanterar lasten ombord och hur själva resan skall planeras och ledas. Största delen av de regler som SOLAS har gäller internationell sjöfart som antingen klassas som passagerarfartyg eller fartyg med tillräckligt stor lastdryghet. Den nation som fartyget går i flagg under ansvarar för att fartyget uppfyller konventionens regler. SOLAS säger även att dessa krav måste stämma överens med hemmanationens godkända klassningssällskap. Allmänt godkänner nationer klassningssällskap istället för att upprätthålla en egen nationell standard. Globalt finns det över 50 olika klassningssällskap, till dessa hör bland annat:

- DNV/GL (Det Norske Veritas/ Germanischer Lloyd), Norge
- LR (Lloyd's Register), Storbritannien
- BV (Bureau Veritas), Frankrike
- ABS (American Bureau of Shipping), USA
- RINA (Registro Italiano Navale), Italien
- Class NK (Nippon Kaiji Kyokai), Japan
- RS (Russian Maritime Register of Shipping), Ryssland

Klassningssällskapen har egna regler och bestämmelser för specifika fartyg och miljöförhållanden som skall uppfyllas för att fartyget i frågan skall få en godkänd klassning. Besiktningar för fartygen bör regelbundet hållas för att upprätthålla fartygets klassning.

När reparationer utförs på ett klassat fartyg på t.ex. skrovet eller propellern, skall reparationerna uppfylla de krav som ställs av klassningssällskapet. Oftast utförs besiktningarna av reparationerna av ett klassningssällskaps utsedda inspektör innan eller efter reparationen. I Finland utförs dessa besiktningar av Traficom på de fartyg som kör under finsk flagg. (IACS , 2020)

2.8 Korrosion

Korrosion är en kemisk reaktion sker mellan ett material och dess omgivande miljö. Vanligtvis reagerar metall med syre och bildar då metalloxider. Utomhus går reaktionen snabbare och olika reaktioner förekommer beroende på metall. Några exempel på detta är:

- Järn reagerar på så vis att det börjar rosta och bildar olika varianter av järnoxider. Järnoxid är poröst och när järnet väl har börjat rosta går det relativt snabbt för resten av detaljen att reagera.
- Koppar ärgar och ändrar färg till grönt. Kopparkorrosion förekommer ofta på äldre byggnader som t.ex. kyrkor, och ser relativt vackert ut. Det kallas ärga när koppar reagerar med syret i luften och bildar ett lager kopparoxid på metallens yta. Denna yta skyddar metallen mot vidare ärgning och detta gör att koppar klarar sig väldigt bra i naturen, därför används koppar som plåttak. Nackdelen är att kopparkorrosion är väldigt dyrt.
- När aluminium reagerar med syre bildar metallen en hinna av aluminiumoxid. Detta lager blir så tätt att det faktiskt skyddar metallen mot vidare reaktioner med t.ex. syre, vilket gör att aluminium klarar sig länge i naturen.
- Rostfritt stål är normalt ett relativt korrosionsbeständigt material. Ytan är täckt med ett ultratunt skikt av största delen krom och järnoxid. Detta skikt kan inte ses med blotta ögat och är bara några nanometer tjockt, men ändå så starkt att stålet förblir passivt i de flesta miljöer. Denna oxidfilm är dock inte osårbar, och i en tillräckligt aggressiv miljö kan den brytas ned med tiden, helt eller delvis, på så vis att stålet börjar korrodera. Beroende på stålsort och miljöförhållanden, så kan fem olika former av korrosion uppstå. Dessa fem är: allmän korrosion, punktfrätning, spaltkorrosion, spänningskorrosion och interkristallin korrosion.

- Duplex rostfritt stål är ett mycket korrosionsbeständigt material. Duplex är speciellt korrosionsbeständigt mot punktfrätning, spaltkorrosion och spänningskorrosion. Hemligheten i korrosionsbeständigheten för duplex är på grund av att det är mekaniskt sätt magnetiskt och har en mycket högre flytspänning än austenitiska och ferritiska stål.

Om metaller blandas är det möjligt att man omedvetet bygger galvaniska element som gör att metaller löses upp eller korroderar. Ett klassiskt exempel på detta är att använda järnspik för att spika kopparkoppar. Regnvattnet kommer då bilda en jonlösning. Det gör att järnet (som är oädlare koppar) kommer avge elektroner till kopparen och järnet försvinner som joner (järnet löses upp). (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

2.9 Produktutveckling och modellering

Inom utvecklingsprocessen för en produkt kan man använda sig av modellering för att tillverka olika modellkoncept. Modellerna kan också användas för att granska och simulera om konceptet uppfyller de krav som ställs på produkten i fråga. Modellerna är också viktiga för att kunna kommunicera inom innovationsprocessen om produktresultatet man kommit fram till uppfyller sina krav och när man diskuterar om hur produkten skall tillverkas.

2.9.1 CAD-modellering

CAD står för Computer-Aided Design, kan också kallas (även om ovanligt) CADD, Computer-Assisted Drafting and Design. Detta omfattar alla sätt när man använder sig av datasystem som hjälpmedel när man skapar, analyserar, ändrar eller optimerar en design. Varför man använder CAD kan ha många grunder, man kan använda CAD för att t.ex. öka sin produktivitet som designer, förbättring av designkvaliteten eller för skapandet av en databas för att massproducera en produkt.

CAD-tekniken har sin början redan under 1970-talet, då var syftet med CAD att försöka återskapa de ritningar som man tidigare gjort för hand. Under 1980- och 1990-talet fick denna teknik en utvecklingsspur, vilket ledde till att man numera även kan skapa 3D-modeller av ritningar väldigt snabbt. CAD processen har efter detta gjort designprocessen betydligt lättare och man kan numera göra snabba ändringar eftersom man lätt kan återanvända gamla designelement och på detta vis spara mycket tid. (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

CAD används idag i stora utsträckning inom en rad olika industrier och områden, som t.ex. bilindustrin, varvsindustrin, rymdforskning och är också ett stort hjälpmedel för arkitekter och konstruktörer inom byggindustrin. Dessutom används tekniken i filmindustrin för dataanimeringar och specialeffekter.

CAD ger också den möjligheten att spara pengar i tillverkningsprocessen för din produkt, genom att använda sig av CAM, Computer-Aided Manufacturing. Med hjälp av CAM kan man direkt programmera en körbana för maskinerna som skall tillverka detaljen från detaljens CAD-modell, och på så vis spara ytterligare tid inom tillverkningen. (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

2.9.2 Finita elementmetoden (FEM)

Finita elementmetoden (FEM) är en generell matematisk och numerisk metod för att beräkna hållfasthetsproblem m.h.a., s.k. (partiella) differentialekvationer, som är så komplicerade att de inte går att lösa med de klassiska analysmetoderna.

Man använder sig av FEM-analyser istället för att utföra dyra laborationsprovningar av fysiska prototyper under utvecklingsprocessen, man kan då istället göra detta i en FEM-analys med virtuella prototyper med hjälp av datorer. Denna process kallas CAE-simulering, som står för Computer-Aided Engineering. Man använder FEM för att lösa fältproblem genom att finfördela modellens geometri till finita (ändliga) element som har förbestämda egenskaper. Största användningsområdet för FEM-metoden är för linjärelastiska problem i hållfasthetsanalyser, även om metoden går att använda vid andra typer av analyser.

Den modell man använder sig av i en FEM-analys är vanligtvis samma modell som blivit framtagen i CAD-modelleringen. Denna modell kan man förenkla (om möjligt) för att minska beräkningstiden, detta görs då innan modellen delas upp i elementdelar, meshar och val av elementtyp. (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

2.10 Produktutvecklingsmetoder

När man talar om produktutveckling menar man ett projekt som skall leda till en ny produkt. Produktutveckling behöver inte endast vara nyutveckling utan kan också innebära vidareutveckling för en produkt. Nyutveckling innebär att man ämnar utveckla en helt ny produkt till marknaden medan vidareutveckling betyder att man utvecklar en redan känd produkt för marknaden. (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

2.10.1 Brainstorming

Med brainstorming metoden syftar man på att lösa ett problem eller hitta på nya idéer. Det finns även olika varianter av brainstorming t.ex. stop and go, brainwriting, turordning och kollektiv anteckningsbok. Vanligtvis utförs dessa genom att en grupp personer samlas för att arbeta kring ett problem eller en uppgift och tanken med denna metod är att tanken skall få löpa fritt utan att bli avbruten. (Kth, ei pvm)

2.10.2 Konzeptutveckling

Inom konceptutvecklingsfasen pekar man ut de krav eller egenskaper som den slutgiltiga produkten bör ha, för att utföra detta kan man använda sig av en kravlista (se figur 12). Om man även vill försäkra sig om att alla krav som behövs nämnts i kravlistan kan man använda sig av även en checklista, (se figur 13). Man undersöker även produktens behov och tar fram olika alternativ för produkten. (Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

För att lättare bestämma sig för vilka koncept man vill vidareutveckla kan man jämföra koncepten mot den gamla lösningen eller mot en kravlista i en konceptsällning matris (se figur 14). I en konceptsällning matris analyseras lösningarna/koncepten huruvida de uppfyller de krav och önskemål som nämnts i kravlistan Den skala som vanligtvis används i en konceptsällning matris för att bestämma om kraven och önskemålen uppfyllts är följande

- (+), uppfyller kravet.
- (0), uppfyller kravet till viss grad.
- (-), uppfyller inte kravet.

(Johansson;Persson;& Petterson, 2013)

| | | | | | |
|-------------------|--------------------------------|--|--|---|--------------------------|
| User | | Requirements list for Project, product | | Issued on: | |
| | | | | Identification Classification Page: | |
| Changes | D W | Requirements | | | Responsible |
| Date of change | Specify whether item is D or W | Objective or property with quantitative and qualitative data If necessary, split list based on subsystem (functions or assemblies) or based on checklist headings | | | Design group responsible |
| Replaces issue of | | | | | |

Figur 12. Kravlista. (Pahl, 2007)

| Main headings | Examples |
|-----------------|--|
| Geometry | Size, height, breadth, length, diameters, space requirement, number, arrangement, connection, extension |
| Kinematics | Type of motion, direction of motion, velocity, acceleration |
| Forces | Direction of force, magnitude of force, frequency, weight, load, deformation, stiffness, elasticity, inertia forces, resonance |
| Energy | Output, efficiency, loss, friction, ventilation, state, pressure, temperature, heating, cooling, supply, storage, capacity, conversion |
| Material | Flow and transport of materials. Physical and chemical properties of the initial and final product, auxiliary materials, prescribed materials (food regulations etc) |
| Signals | Inputs and outputs, form, display, control equipment |
| Safety | Direct safety systems, operational and environmental safety |
| Ergonomics | Man-machine relationship, type of operation, operating height, clarity of layout, sitting comfort, lighting, shape compatibility |
| Production | Factory limitations, maximum possible dimensions, preferred production methods, means of production, achievable quality and tolerances, wastage |
| Quality control | Possibilities of testing and measuring, application of special regulations and standards |
| Assembly | Special regulations, installation, siting, foundations |
| Transport | Limitations due to lifting gear, clearance, means of transport (height and weight), nature and conditions of dispatch |
| Operation | Quietness, wear, special uses, marketing area, destination (for example, sulphurous atmosphere, tropical conditions) |
| Maintenance | Servicing intervals (if any), inspection, exchange and repair, painting, cleaning |
| Recycling | Reuse, reprocessing, waste disposal, storage |
| Costs | Maximum permissible manufacturing costs, cost of tooling, investment and depreciation |
| Schedules | End date of development, project planning and control, delivery date |

Figur 13. Checklista för kravlista. (Pahl, 2007)

| Urvalskriterier | Koncept | | | | | | |
|---|-------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|
| | A Huvud- cylinder | B Gummi- broms | C Spärr- hake | D (Referens) Kolvslopp | E Skvalp- ring | F Hävarms- inställning | G Nummer- skruv |
| Lätt att hantera | 0 | 0 | - | 0 | 0 | - | - |
| Lätt att använda | 0 | - | - | 0 | 0 | + | 0 |
| Lätt att läsa av doseringsinställningar | 0 | 0 | + | 0 | + | 0 | + |
| Doseringsnoggrannhet | 0 | 0 | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Slitstark | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | + | 0 |
| Lätt att tillverka | + | - | - | 0 | 0 | - | 0 |
| Portabel | + | + | 0 | 0 | + | 0 | 0 |
| Antal + | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Antal 0 | 5 | 4 | 3 | 7 | 4 | 3 | 5 |
| Antal - | 0 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 |
| Slutbetyg | 2 | -1 | -2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Rangordning | 1 | 6 | 7 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Fortsätta? | Ja | Nej | Nej | Kombinera | Ja | Kombinera | Modifiera |

Figur 14, Exempel på konceptställning matris. (Ulrich, 2014)

3 Metodik

I detta kapitel redogör jag för de olika metoder och tillvägagångssätt som använts för att åstadkomma det slutliga resultatet.

3.1 Intervjuer

I början av arbetsprocessen utfördes en intervju med arbetsgivaren (personlig kommunikation med propellermästarna 11.10.2019). Under denna intervju diskuterades tillverkningsprocessen för Steel Craft propellrar och att denna process blivit för dryg, när man tillverkar propellrar av storleken 30” eller större. För att lätta på tillverkningsprocessen kom man överens om att konstruera om dessa storlekar av propellrar till BUP-propellrar (propeller med löstagbara blad och fast stigning). Men om detta koncept skall tas i bruk, hade man som önskemål att propeller skulle behålla vissa egenskaper om möjligt. Dessa egenskaper var:

- Propellerns bladareaförhållande hålls så högt som möjligt. Detta på grund av att BUP-propellrar har en fastsättning till propellerbladen som gör att själva navet kommer bli större än vad det är i nuläget, och när navet blir större åker bladen längre från varandra.
- Isklass 1A, om möjligt vill man att dessa propellrar skall kunna bli klassade som isklass 1A.
- Demonterbara blad, detta hör visserligen till en BUP-propeller, men om möjligt med tanke på dimensioneringskraven kan ha en sådan fastsättning att navet kan lämnas på plats vid reparation ifall navet inte behöver repareras.
- Ingen svetsning, man kom fram till att en stor del av drygheten i den gamla tillverkningsprocessen ligger i att materialet drar sig något fruktansvärt under fastsvetsningen av bladen, och mycket tid går åt att rätta till detta efteråt då bladen måste riktas tillbaka.

3.2 Kravlista

Som behandlades i teoridelen så är en kravlista bra att använda sig av för att konstruktionsprocessen skall underlättas, denna kravlista kan ses i (tabell 1) nedan, denna lista innehåller de kriterier som man inom företaget kom överens om att är de krav man vill ha på produkten. Utifrån dessa kriterier kunde man då konstruera olika propellerkoncept. Dessa kriterier delades upp i fyra olika huvudgrupper som konstaterades vara viktiga för propellerns tillverkning och användningsområden. Kriterierna har även därtill markerats ifall de är (krav) eller bar (önskemål).

Tabell 1: Kravlista på propellerkoncept

| Kravlista på propellerkoncept | Krav=K Önskemål =Ö |
|--|-----------------------|
| Konstruktion | |
| Samma bladmodell som tidigare | K |
| Stigningen på propellern skall vara fast | K |
| Propellern skall vara av typen BUP-propeller | K |
| Material blad Duplex EN 1.4770 | K |
| Nav material Duplex EN 1.4460 | K |
| Klara av Isklass typ 1A | Ö |
| Ingen deformation på bladfäste efter stöt | K |
| Möjlighet till till hur stor resp. Liten stigning som hållst | K |
| Propellerns baldareaförhållande hålls så högt som möjligt | Ö |
| Koncept från storlekar från 33"... | Ö |
| Navet hålls en rimlig storlek | K |
| | |
| Tillverkning | |
| Tillverkning utan svetsning | Ö |
| Bladdelarna skall gjutas | K |
| Fassättningen skall gå att bearbeta | K |
| | |
| Logistik | |
| Blad med fastsättning kan stå av sig själva | Ö |
| | |
| | |
| Användning | |
| Rostbeständig | K |
| Livslängd på 100 miljoner varv cyklar | Ö |
| Demonterbara blad utan demontering av nav | Ö |
| Reparationsmöjlighet efter eventuell stöt på propellern | K |

3.3 Modellering

Modelleringen av propellerkoncepten i detta slutarbete gjordes helt och hållet i Siemens NX 12.0. Eftersom arbetsgivaren hade som krav att de ursprungliga bladformerna återanvänds behövdes inte själva bladen modelleras upp. Bladens 3D-modeller fanns till förfogande från företaget och denna modell har använts till alla propellerkoncept i detta slutarbete.

För att ta fram olika konceptidéer till propellerbladens fastsättningar använde jag mig av brainstormingmetoden som tidigare nämnts i teoridelen, där jag satte mig ner och sprutade ut alla möjliga idéer i form av sketcher på ett papper. Som ett resultat av detta hade jag fått fram ett 20-tal olika idéer. Efter brainstormingproceduren presenterades sketcherna för arbetsgivaren och man kom fram till att ungefär hälften av modellerna var oanvändbara, för dyra att tillverka eller att man redan i detta skede kunde förutspå att konceptet inte kunde uppfylla kravlistan.

De 10st propellerkoncept som modellerades uppgav 5 av dessa problem för att få bladroten att få tillräckligt med utrymme. För att fixa detta problem förstörades navet, vilket i sin tur ledde till att navet blev för stort för att uppnå en tillräckligt hög täckningsarea, även att få ett större bladantal än 4 blev problematiskt. Av de kvarstående 5 koncepten var 3 av olika bladfastsättningar med egna navkonstruktioner, de 2 kvarstående koncepten var då en blandning av två av de föregående. Av dessa koncept valde man ut de koncept som konstaterades vara bäst kvalificerade för ändamålet. 3D-modellerna krävdes också för att göra FEM-analys för hållfasthetsberäkningar för isstötningar och utmattning på propellern.

3.4 Konceptsällning matris

Som tidigare nämnts i teoridelen så kan man även använda sig av en konceptsällning matris för att lättare välja ut de bästa alternativa koncepten som man kommit fram till. Detta görs då genom att jämföra alla koncept med varandra och huruvida de uppfyller krav som ställts på produkten i kravlista. Koncepten får då t.ex. ett poäng om det uppfyller det specifika kravet från kravlistan, noll poäng om det bara till viss del uppfyller kravet och minuspoäng om det inte alls uppfyller kravet. Från detta går man då vidare genom att räkna ihop koncepternas poäng och det som får mest poäng är alltså det vinnande konceptet, denna tabell kan ses i (tabell 2).

Tabell 2: konceptsällning matris på propellerkoncept

| Kravlista | Koncept | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| | Koncept 1 | Koncept 2 | Koncept 3 | Koncept 4 | Koncept 5 |
| Samma bladmodell som tidigare | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Stigningen på propellern skall vara fast | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Propellern skall vara av typen BUP-propeller | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Material blad Duplex EN 1.4770 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nav material Duplex EN 1.4460 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Klara av Isklass typ 1A | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ingen deformation på bladfäste efter stöt | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Möjlighet till hur stor resp. Liten stigning som hållst | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| Propellerns baldareaförhållande hålls så högt som möjligt | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Koncept från storlekar från 33" ... | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Navet hålls en rimlig storlek | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Tillverkning utan svetsning | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fastsättningen skall gå att bearbeta | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Blad med fastsättning kan stå av sig själva | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| Rostbeständig | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Livsläng på 100 miljoner varv cyklar | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Demonterbara blad utan demontering av nav | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Reparationsmöjlighet efter eventuell stöt på propellern | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Slutbetyg | 12 | 10 | 11 | 14 | 15 |
| Fortsätta? | Nej | Nej | Nej | Modifiera? | Ja |

3.5 Val av Konceptmodell

Efter diskussioner med arbetsgivaren konstaterades koncept 4 eller 5 vara de vinnande kandidaterna om de klarar av FEM-analysen. Om dessa koncept inte klarar av detta väljs det koncept som är lättast att tillverka. Man föredrog koncepten för att designen var unik och ingen konkurrent har använt sig av ett likadant koncept. Koncept 4:s svaghet är dock att bladen inte är låsta i radial led och all radialkraft sätts på bultarna, men som fördel har konceptet en väldigt grov axel i centrum av bladfästet som kan ta upp stora krafter vid eventuella stötar istället för att dessa tas upp av bultarna.

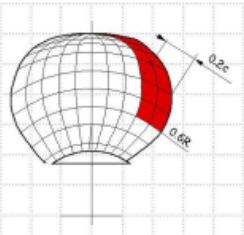
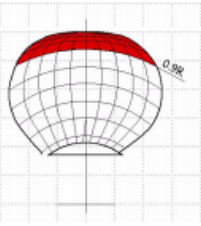
3.6 Propeller dimensionering

För att kunna dimensionera en propeller behöver man veta vilka krafter som propellern utsätts för under sin livstid. Dessa krafter kan vara plötsliga stötar med föremål som t.ex. isblock eller utmattning p.g.a. vattentrycket som alltid belastar propellern när båten eller fartyget är i rörelse. Denna kraft kallas också för propellertryckkraft eller (propeller thrust på engelska).

För uträkning av propellertryckkraften användes Jan Tornblads metod ur hans bok *Fart och propeller* för motorbåtar. För enkelhetens skull användes fartyget i denna uträkning av en kund till arbetsgivaren som frågat offert på en propeller med isklassning 1A till sitt fartyg. För att uträkning av propellerns diameter och stigning användes även Jan Tornblads metod ur samma bok och blev dimensionerad specifikt enligt kundens fartyg.

För isklassdimensioneringen användes DNV/GL:s version av isklass 1A, från kapitlet (Part 6 Additional class notations Chapter 6 Cold climate). I detta kapitel beskrivs tillvägagångssätt och formler för beräkningar av de krafter som propellern utsätts för i respektive isklass förhållanden. I detta kapitel förklaras också hur FEM-analysen skall gå till och var på bladen krafterna skall placeras på propellern för att simuleringen skall gå rätt till. Från dessa uträkningar får man ut den maximala kraften framifrån respektive bakifrån som verkar på propellern och även gränsspänningar. Dessa spänningar får ej överskridas och är sådana som uppstår i materialet när det utsätts för dessa krafter.

Table 23 Load cases for open propellers

| Load case | Force | Loaded area | Right-handed propeller blade seen from behind |
|-------------|--------------|---|--|
| Load case 1 | F_D | Uniform pressure applied on the back of the blade (suction side) to an area from $0.6R$ to the tip and from the leading edge to 0.2 times the chord length. |  |
| Load case 2 | 50% of F_D | Uniform pressure applied on the back of the blade (suction side) on the propeller tip area outside $0.9R$ radius. |  |

Figur 15: Exempel på placering av kraftarean på propellerblad (DNV GL, 2017)

3.7 FEM-analys

För att få dimensionerat propellern så att den klarar av de krafter som räknats ut tidigare m.h.a. DNV:s isklassningsmetod, gjordes FEM-analyser på propellermodellerna i Siemens NX 12.0. Hur stora och var dessa krafter skulle placeras i på modellen i FEM-analysen beskrivs i DNV:s dokument för isklassning, exempel på detta kan ses i (figur 15) och även en mera fullständig bild i bilagorna.

Med FEM-analysen vill man främst komma fram till om t.ex. bladens och fogens tjocklek räcker till, och framför allt om fastsättningarna håller. För att alla dessa simuleringars resultat skall vara trovärdiga måste modellen även låsas på rätt sätt, alltså låsas åt de riktningar som bladdetaljen inte kan förflytta sig i. Bladet med fastsättning är tillverkat i Duplex stål EN 1.4470 och detta material finns inte i programmets materialbibliotek, så man är illa tvungen att lägga till ett eget material. Detta är inget större problem eftersom NX har en fin och lättförstådd materialmodell att följa när man vill tillverka sitt eget material. Materialets egenskaper hade arbetsgivaren till förfogande i form av materialcertifikat direkt från gjuteriet.

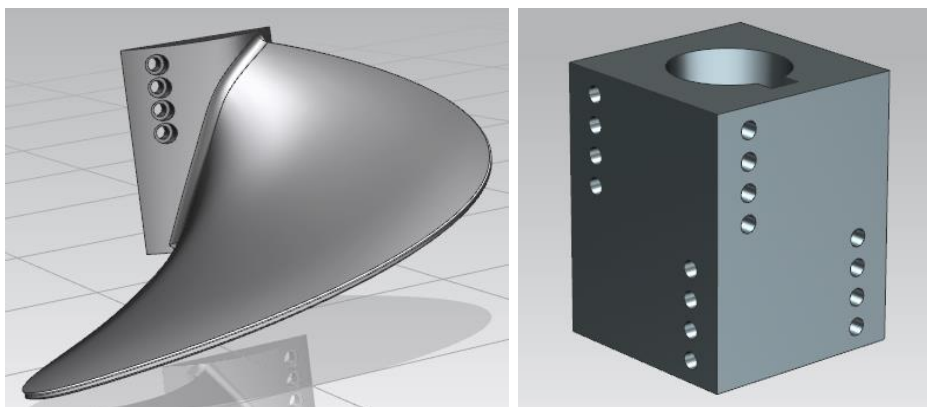
Bladet med fastsättning var de första detaljerna som gjorde FEM-analys på. Bladens tjocklek och fogens storlek mellan bladet och fastsättningen dimensionerades så att spänningar i materialet blev lägre än de resultat som man fått från DNV:s uträkningar för is stötar i form av load case 1 - 5 samt utmattnings test.

Därefter skulle fastsättningen få sin FEM-analys och i denna analys tar man med nav och fastsättningsbultar. I detta fall blir navet låst i det koniska hålet samt konans kilspår, därefter blir alla delar sammanfogade som de är i verkliga livet d.v.s. bultar sitter fast i sina gängade hål och stödytor stöder mot varandra. De krafter som fastsättningen testats för är de samma som bladet blev tidigare testat för, alltså load case 1–5 och utmattningstest.

4 Resultat

I detta kapitel presenteras de olika propellerkoncept som modellerats i Siemens NX samt FEM-analys på propellerblad, fastsättning och nav. På grund av att inga hållfasthetsanalyser gjorts tidigare på varken propellrarna eller på bladmodellerna konstruerades propellrarna grovt utgående från basmått, alltså 58" diameter och 48" stigning. De koncept som ansågs vara de bästa gjordes det FEM analys på.

4.1 Koncept 1



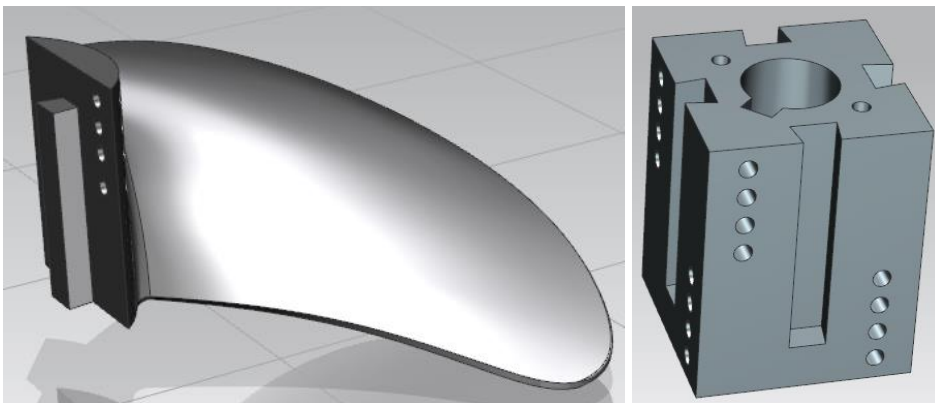
Figur 16. Koncept 1 blad och nav.

Koncept 1 är en 4-bladig propeller där standardmodeller för bladen använts från SteelCraft propellers. Bladen har riktats upp till 48" stigning vid fogen mellan fastsättningen och bladet. I detta koncept har man använt sig av vanligt bultförband 16mm bultar och en stor platt stödyta på insidan för att få bra stöd vid vridning av bladen och eventuella stötar.

Storleken på konceptmodellen är 58" (1473mm) i diameter och navet har en höjd på 300mm och en diameter på 290mm. Konan är 140mm i diameter och kilen spåret är 36x22mm.

Detta koncept har den fördelen att den är väldigt enkel att tillverka och tillför inga stora problem på det området. Däremot får fogen till bladen väldigt lite utrymme ifall den måste förstöras eller om tjockare blad krävs vid eventuell isklassning. En annan svaghet som koncept 1 har är att vid en eventuell stöt framifrån eller bakifrån finns det en riska att hela stötkraften tas upp av själva bultförbandet och denna kraft kommer påverka radiellt på bultarna och detta är bultarnas svagaste riktning.

4.2 Koncept 2

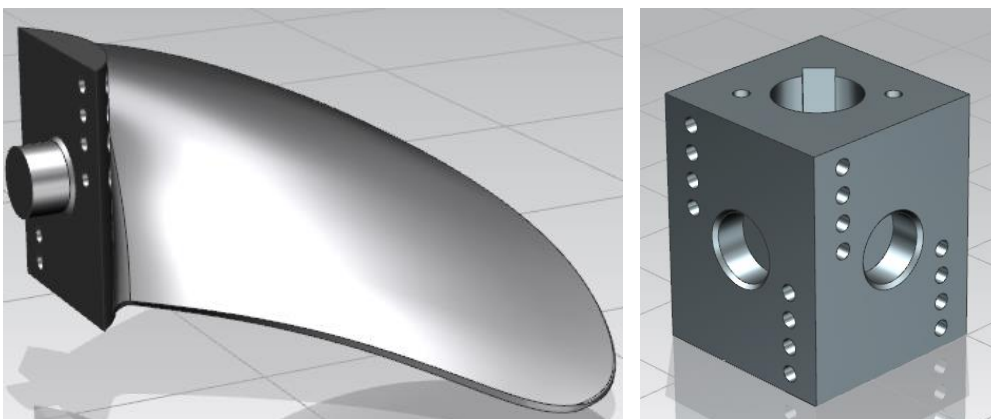


Figur 17. Koncept 2 blad och nav.

Koncept 2 är också en 4-bladig propeller där man använt sig av till viss del samma design som till koncept 1 och propellern har helt och hållet samma dimensioner. Men med detta koncept har man försök motverka den kraft som bultarna utsätts för i koncept 1. Detta har man gjort med en så kallad "laxstjärtkil". Kilen skuttas in från propellerns baksida och låses på plats sedan med bultförband.

Detta koncept lyckas med att ta bort krafterna från bultförbandet, men har fortfarande den nackdelen med att utrymme för en eventuell större fog och utrymmet för fast sättningen blir ännu mindre ifall man vill göra detta koncept 5 eller 6 bladig.

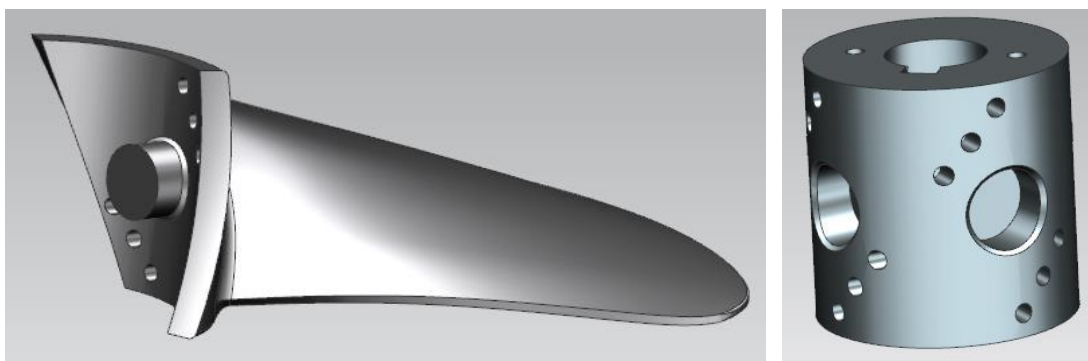
4.3 Koncept 3



Figur 18. Koncept 3 blad och nav.

Koncept 3 är även en 4-bladig propeller med samma dimensioner som koncept 1-2. Den enda skillnaden från koncept 2 är att man bytt ut laxstjärtkilen till en robust styrtapp. Detta koncept löser inte problemet med utrymmet för fogen men montering och demontering vid eventuella servicetillfällen blir lättare eftersom bladen kan dras ut radiellt.

4.4 Koncept 4

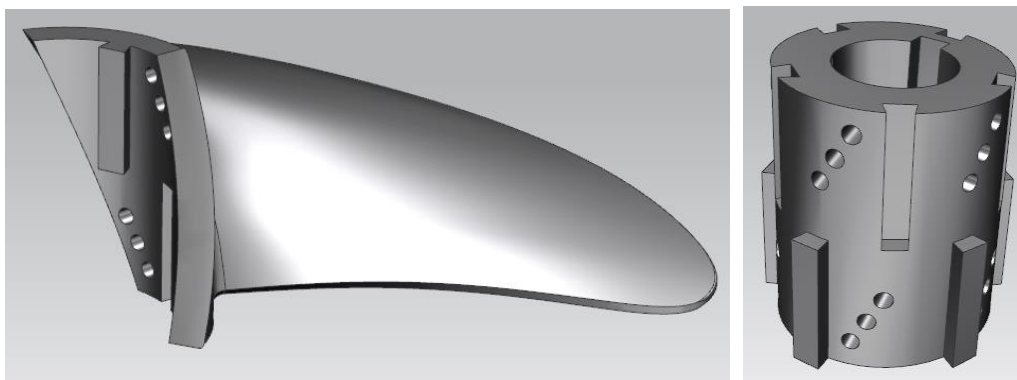


Figur 19 Koncept 4 blad och nav.

Koncept 4 har alla dimensioner lika som de föregående men designen är en helt annan, här är stödytan mot navet cylindrisk. Fastsättningsdelens sidor är heller inte raka utan kanterna på fastsättningen följer bladets stigning. Styrappen från koncept 3 har använts igen för att få bort de största krafterna från bultförbandet. Här finns gått om utrymme för förstoring av fogen och även möjlighet att använda sig av tjockare blad.

Med detta koncept klarar man sig undan de tidigare konceptens svagheter. Här finns dock en liten risk för att bultarna kan utsättas för utmattning om man beaktar isklassernas utmattningskrav att propellrar skall klara av en livslängd på 100 miljoner varv och ifall bultarna lossar eller går av finns det inget annat än bultförbandet som låser bladen radiellt. Designformen på detta koncept är väldigt unikt och har många intressanta hörn och vinklar som kan ställa till problem vid tillverkningen. För att göra tillverkningsprocessen en aning enklare skulle det vara möjligt att byta ut tappen till en gängad axel som skruvas på plats eller bara en lös axel som sätts på plats vid montering, eftersom axeln ändå kommer utföra ett lika bra arbete så länge den hålls på sin plats vilket den gör efter att bladet blivit monterat och bultarna blivit fastspända.

4.5 Koncept 5



Figur 20. Koncept 5 blad och nav.

Koncept 5 till skillnad från alla andra koncept 5-bladig men har annars samma dimensioner som tidigare. Här använder man sig av laxstjärtkilar igen istället för den robusta styrtappen. Detta för att motverka det tidigare nämnda radiella kraften på bultarna och låta kilen ta upp dessa krafter.

Konceptet har en väldigt speciell formdesign och problem vid tillverkningen kan uppstå och för att göra tillverkningen lättare kan man t.ex. göra kilarna till skilda komponenter som sätts fast vid montering. Om man jämför koncept 4 och 5 med varandra, kan man konstatera att koncept 4 har ett mycket enklare monteringssätt där bladen sätts på plats genom att föra bladet radiellt mot centrum och detta gör att inga av de andra bladens fastsättning hamnar i vägen för den andra vid montering. Däremot i koncept 5 sätts bladen på plats genom att fastsättningen skuffas axiellt och stannar när den stöter mot den andra kilen eftersom de är motsatser till varandra, och här uppstår ett problem när monteringen av det sista bladet sker. Problemet är att koncept 5:s fastsättning har en lutning på 60° och eftersom fastsättningen skuffas på plats axiellt får sista bladet inte plats, men genom att göra kilarna löstagbara kan man montera det sista bladet radiellt och skuffa kilarna till det sista bladet på plats axiellt. Detta innebär då att dessa bör ha ett bultförband som låser dem i denna riktning.

4.6 Konceptval

Efter att ha gjort en konceptsällning matris över de 5 tidigare presenterade koncepten (se tabell 2 i metoddelen) kom jag fram till att koncept 4 och 5 var de bästa alternativen. Båda koncepten har sina för- och nackdelar men koncept 5 valdes till den slutliga vinnaren på grund av att detta koncept möjliggör tillverkning av propellrar med högre bladantal än 5 utan att navet blir överdrivet oproportionerligt.

4.7 Propellerns dimensioner

För att göra denna uppgift mera verklighetstroget användes båtspecifikationer från en gammal kunds fartyg (se figur 21), detta fartyg var även en lämplig kandidat eftersom kunden hade specifikt frågat efter en is-klassad propeller för klassen 1A, och för att ett fartyg skall kunna klassas för is-klass 1A så måste fartygets sammanlagda effekt överskrida 1000kW, vilket detta fartyg gör. Dessa båtspecifikationer behövs när man skall räkna ut propellerns stigning och diameter och även för att få reda på propellerns tryckkraft ("propeller thrust" på engelska). propellertryckkraften är den kraft som propellern blir utsatt för när den sätter fartyget i rörelse. Denna kraft används även för att dimensionera propeller för utmattning.

Som beräkningsmetod användes Jan Tornblads beräkningssätt ur han bok *Fart och propeller för motorbåtar*. I boken finns även räkneexempel som lär läsaren tillvägagångssätt för hur beräkningen går till. De propellerdimensioner som jag kommit fram till med dessa beräkningar har jämförts med Steelprops egna program för propellerdimensionering och resultaten stämmer överens. Hela Propellerberäkningen kan ses i bilagorna.

| Propellerberäkning för diameter och stigning | |
|--|--------------------------------------|
| Båttyp: | w |
| Segelbåtar | 0.2 |
| Displacementbåtar (en propeller) | 0.15 |
| Displacementbåtar (Två propellrar) | 0.08 |
| V-bottenbåtar (en propeller) | 0.05 |
| V-bottenbåtar (Två propellrar) | 0 |
| Beräkningsgång: | |
| Given motoreffekt i kW: | $P_B := 2300 \cdot 0.7355 = 1691.65$ |
| Motor varvtal r/min: | $n_m := 1800$ |
| Reduktionsväxel: | $\frac{2.8}{1}$ |
| Hastighet i knop: | $v := 17$ |
| Medströmsfaktor: | $w := 0.15$ |
| Bladantal i st: | $z := 5$ |
| Propellereffekt kW: | $P_D := 0.95 \cdot P_B = 1607.068$ |
| Propellervarvtal r/min: | $n_p := \frac{n_m}{2.8} = 642.857$ |
| Framdriftshastighet knop: | $V_A := (1 - w) \cdot v = 14.45$ |

Figur 21. Båtspecifikationer till propellerberäkning.

4.8 Is-klassning

För att få en propeller is-klassad så finns det en rad specifika krav som propellern måste uppfylla för att användningen av just denna propeller skall vara så säkert som möjligt för båten/fartygets besättning.

Till detta slutarbete använde jag mig av DNV:s dimensioneringsmetod. Beskrivning för dessa beräkningar och krav finns att hämta gratis från DNV:s hemsida. DNV har beskrivningar på alla typer av is-klassningar och till alla delar av ett fartyg som behöver is-klassning, men för is-klassning av propellrar berörs endast (Part 6 Additional class notations Chapter 6 Cold climate). Med dessa beräkningar som behandlas i detta kapitel beräknas de krafter som propeller kan utsättas för vid is påstötningar enligt den is-klassnivå man vill ha på sin propeller. Dessa krafter som propellern kan utsättas för är stötar framförda av isflak både vid maximal hastighet framåt och maximal hastighet bakåt. Propellern skall även dimensioneras för en viss livslängd i isiga förhållanden, för is-klass 1A är detta en livslängd på 100 miljoner varv på propellern. Resultaten kan ses i (figur nedan), hela beräkningsgången för is-klassningen kan ses i bilagorna.

| Dimensioneringsresultat för Is-klass 1A | |
|--|-------------------------------|
| $H_{ice} := 1.5$ | Is Tjocklek i (m) |
| $H_{block} := H_{ice} \cdot (2 \cdot H_{ice}) \cdot (3 \cdot H_{ice}) = 20.25$ | Is block (m ³) |
| $F_b := 23 \cdot (n \cdot D)^{0.7} \cdot \left(\frac{EAR_b}{Z} \right)^{0.3} \cdot D \cdot H_{ice1A} = 187.453$ | Max blad kraft bakåt (kN) |
| $F_f := 250 \cdot \left(\frac{EAR_f}{Z} \right) \cdot D^2 = 55.31$ | Max blad kraft framåt (kN) |
| $T := 1.94 \cdot \frac{P_D \cdot \eta}{V_A} = 114.352$ | Propellertryckkraft (kN) |
| $\frac{T}{5} = 22.8704$ | Propellertryckkraft/blad (kN) |
| $\sigma_{ref2} := 0.7 \cdot \sigma_u = 501.2$ | Maxspänning från stöt (MPa) |
| $\sigma_{exp} := B1 \cdot \sigma_{ref2}^{B2} \cdot \log(N_{ice})^{B3} = 102.0561$ | Maxspänning utmattning (MPa) |

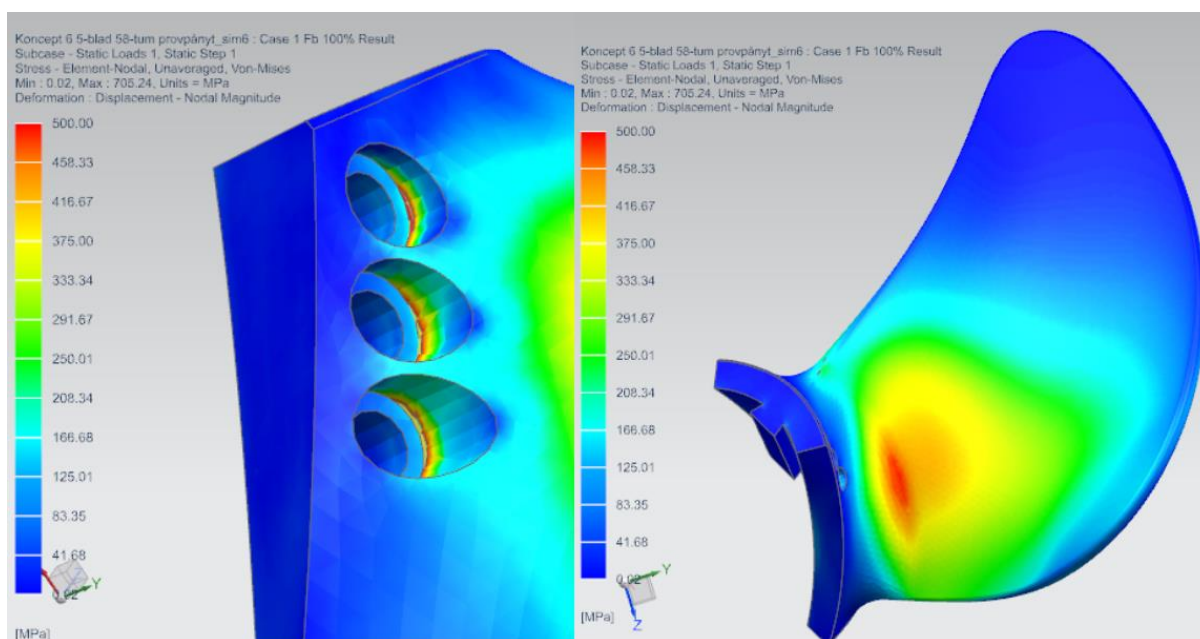
Figur 22. Resultat för is-klass 1A dimensionering

4.9 FEM-analys

FEM-analysen för koncept 5 måste göras i två olika skeden p.g.a. DNV:s krav på hur en FEM-analys skall se ut, nämligen en analys för endast bladet och en skild analys för fastsättningen. Båda analyserna dimensioneras mot de resultat jag fått från isklassningsberäkningarna och båda delarna utsätts för load case 1 - 5.

4.9.1 Analys av bladet

I en FEM-analys där en detalj blir utsatt för en extern kraft bör detaljen låsas i en riktning vart detaljen inte har en möjlighet att röra sig i NX:s FEM-simuleringsprogram kallas detta för ”fixt constraint”. Problemet med detta är att den ger en styvhet som är oändlig och detta kan skapa problem om man inte vet hur detta påverkar resultatet i FEM-analysen. Detta kan man tydligt se i (figur 23), den tillåtna spänningen som materialet får utsättas för efter att ha blivit utsatt för kraften från load case 1 är 500 MPa, och i (figur 23) kan man se att den högsta uppmätta spänningen är 705 MPa långt över det tillåtna. På bilden har jag ställt in så att alla områden med över 500 MPa är transparent, detta betyder i detta fall att all spänning som överskrider 500 MPa är vitt eller utan färg, och i (figur 23) kan man se att inga spänningar över 500 MPa finns på vraken bladet eller fogen till bladet, utan inne i bulthålen. Denna höga spänning förekommer p.g.a. simuleringen inte tar i beaktan att de bultar som kommer placeras i hålen elastiska till en viss grad och inte oändligt styva. Därför kan man försumma de spänningar som befinner sig i hålen. Tydligare bilder och bilder på load case 2 – 5 och även utmattningsanalys finns i bilagorna.

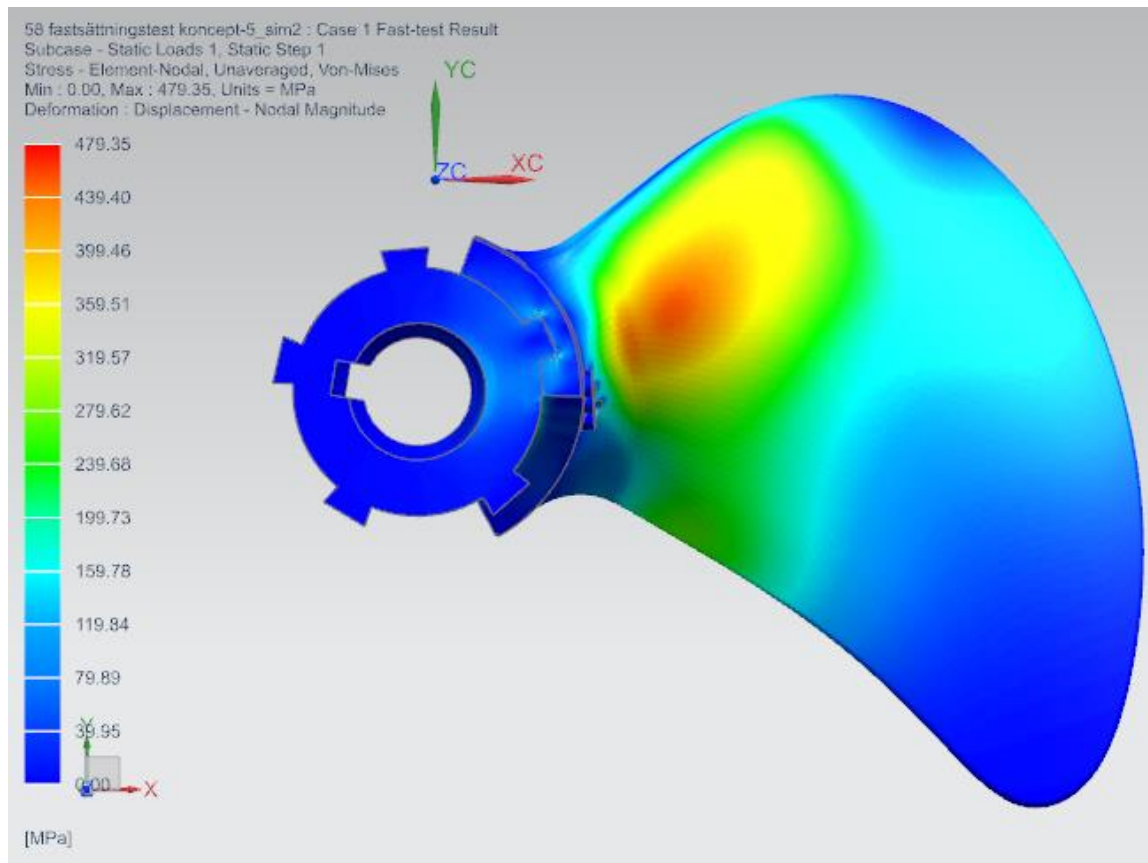


Figur 23. FEM-analys på load case 1 för blad

4.9.2 Analys av fastsättning

För att utföra en FEM-analys på flera delar på samma gång som kommer att sitta fast i varandra i verkligheten behöver man använda sig av ett verktyg som i NX kallas för "Gluing". Denna funktion gör precis det som den säger den limmar ihop detaljer i varandra och detta behövs i denna analys för att simuleringen skall förstå att bultarna är skruvade på plats och att bulthuvudet är fastspänt mot bladfastsättningen. Men i denna analys förekommer inte endast sådana ytor utan även ytor som kommer att stöda mot varandra, t.ex. ytorna på kilarna och stora ytan på navet och på fastsättningen. För att simuleringen skall förstå att ytorna inte t.ex. kan böjas in i varandra utan att de kommer stöda mot varandra, måste även dessa ytor markeras med verktyget Gluing.

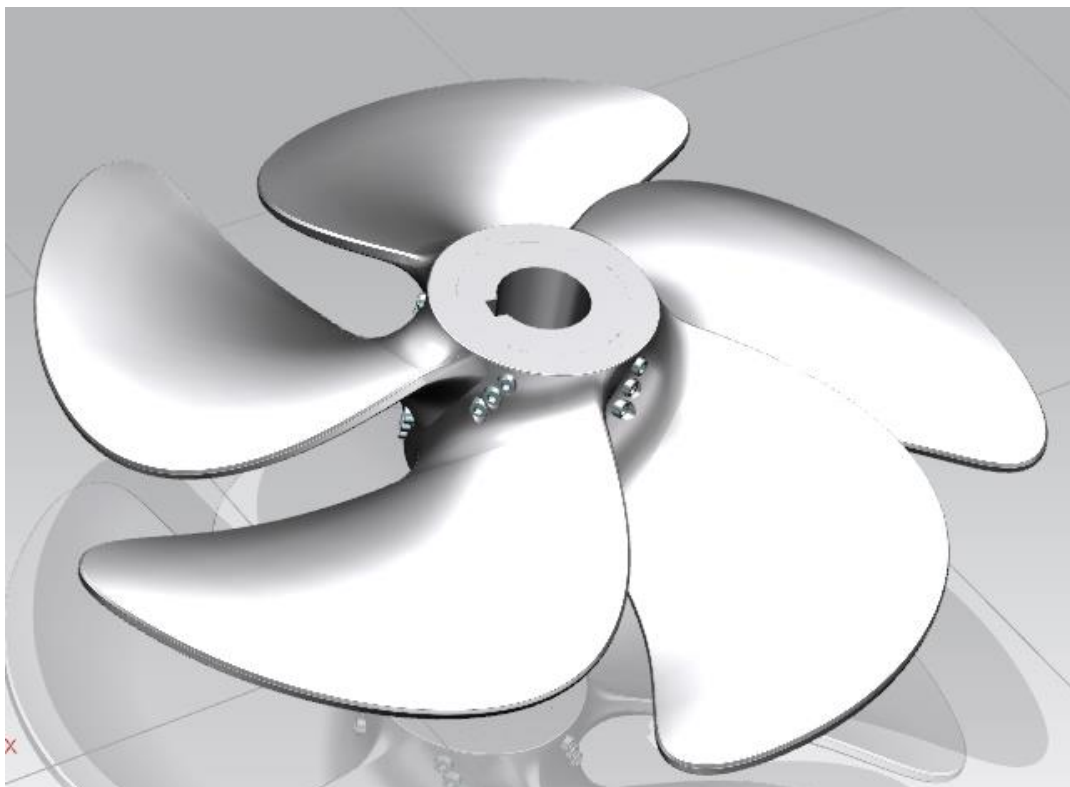
Precis som i simuleringen för bladet kommer även denna analys att simuleras med load case 1 – 5 och utmattningsanalys, och i (figur 24) kan man se att de krafter som tidigare nämndes i blad-analysen inte längre finns och den maximala spänningen som uppmäts nu är 479 MPa p.g.a. att simuleringen nu vet av bultar, nav, stödytor och dessa är inte oändligt styva utan ger vika till en viss del och spänningarna refuseras p.g.a. detta. Bilder från FEM-analyser på load case 1 – 5 samt utmattningsanalys finns i bilagorna.



Figur 24. FEM-analys på load case 1 för fastsättning och nav.

4.10 Slutligt resultat

Det slutliga resultatet för detta examensarbete är då ett 58”x 47” propeller, gjord i Duplex rostfritt stål EN 1,4470, med löstagbara blad som uppfyller hållfasthetskraven för is-klassning 1A. Propeller har ett bladarea förhållande på ca 53%, detta är varken bra eller dåligt, det beror på hur man ser på saken. Detta areaförhållande är väldigt dåligt för en 5-bladig propeller, sätt från propellereffektens synvinkel borde denna vara över 80% för en 5-bladig propeller. Men jämför man med andra is-klassade propellrar i denna storlek är detta ett relativt bra areaförhållande då den vanligtvis ligger på ca 35-45%. Orsaken till att areaförhållandet blir lågt på is-klassade propellrar är för att navet blir så stort i förhållande till hela propellerns storlek. Detta skulle kunna motverkas genom att ändra bladform eller placera större blad på propeller och på så vis få en större bladarea, men detta leder i sin tur till att den kraft som kan tas upp av blad också blir större och detta leder i sin tur till att propellern bör vara ännu mera robust d.v.s. bladen blir tjockare och även fogen. Tjockare blad leder i sin tur till en sämre genomskärningsförmåga, vilket resulterar i en sämre propellerverkningsgrad.



Figur 24. Slutligt resultat 58”x47” BUP-propeller

4.11 Fortsatt utveckling

Inga uppgifter blev egentligen ogjorda i detta examensarbete, men det finns fortfarande saker som kunde gjorts bättre, men dessa saker avrundades i ett tidigare skede än vad jag egentligen ville p.g.a. tidsbrist. Med tidsbrist menar jag att tiden som propellerberäkningarna och FEM-analyserna krävde missberäknades. Jag är inte heller speciellt nöjd över det slutliga bladareaförhållandet och skulle helst sätt att den var högre och jag tror även att detta är möjligt om man använder sig av denna design, eftersom FEM-analyserna visade att fastsättningarna var överdimensionerade och om man får förminskat navet och fastsättningen kan man få areaförhållandet att öka. Men eftersom fastsättningen är överdimensionerad kan man kanske förstora bladen eftersom den helt tydligt klarar av mera kraft än vad den nu utsätts för.

5 Diskussion

Syftet med detta examensarbete var att dimensionera och konstruera en BUP-propeller med kapacitet för isklass 1A för uppdragsgivaren Steelprop Finland Ab Oy i Jakobstad. Examensarbetet har varit lärorikt och väldigt utmanande. I examensarbetet har jag haft fria händer med produktdesignen och hur problem skulle lösas och detta har varit intressant. Det underlättade arbetet betydligt p.g.a. min tidigare arbetserfarenhet och även av att uppdragsgivaren och handledaren alltid varit villiga att hjälpa till vid svåra problem.

Att konstruera och dimensionera en helt ny propellerdesign är något som kräver erfarenhet eftersom det är många faktorer som bör tas i beaktan. Den propellerdesign som konstruerats i detta arbete är konstruerat så att den klarar av de kriterier som is-klass 1A ställer på denna typ av propeller. Jag skulle hemskt gärna ha velat se att bladareaförhållandet blivit högre än vad det slutgiltiga resultatet visade, detta skulle kunna vara en idé till en vidareutveckling av konceptet eller ett eventuellt nytt slutarbete. Skulle även vara intresserad av att undersöka om detta propellerkoncept går att dimensionera för en ännu högre is-klassningsnivå t.ex. 1A super.

Arbetet hade underlättats betydligt om DNV hade varit mera villiga att hjälpa till med is-klassningen, jag måste säga att jag är rent av besviken på att de inte kunde offra lite tid för att hjälpa en stackars studerande med sitt examensarbete, och att även efter ett tiotals e-postmeddelanden var mitt svar det samma jag blev sänt till en robotsvarare som bara gav

mig direktiv till företagets webbshop för att köpa deras egna räkneprogram för endast ett par tusen euro. Jag förstår att man vill sälja sin produkt, men jag tycker att om man vill säkra framtida kunder borde man hjälpa studerande som är intresserade av hur deras beräkningar fungerar. Jag hade tillgång till ett väldigt fint pergament helt gratis från DNV:s hemsida men eftersom jag inte har någon tidigare erfarenhet inom is-klassning, skulle det ha varit kul att få reda på om mina resultat är trovärdiga, när man inte har någon annan att vända sig till. Detta var även ett helt nytt kapitel för både uppdragsgivaren och handledaren, och jag är tacksam för all den hjälp som jag fått, för tillsammans knäckte vi nöten på egenhand. Jag har lämnat in dessa klagomål åt DNV och jag hoppas att de tar min kritik på allvar för att underlätta denna börda på framtida studerande som vill lära sig om is-klassberäkningar.

FEM-analyserna av detta koncept var utmanande, eftersom när man utför en FEM simulering måste ha koll på vilka friheter man kan ge åt modellen för att den skall vara verklighetstrogen. Under dessa simuleringar uppstod många "trial och error" innan jag fick fram ett trovärdigt resultat. Detta skede kunde ha gjorts snabbare, anledningen till att detta skede av arbetet svalde mycket tid, berodde på ovana. Detta märkte jag själv tydligt av genom att jämföra den tid det tog att utföra den första simuleringen jämfört med den sista. Även om detta var frustrerande i ett tidigare skede, så har jag å andra sidan lärt mig mycket om FEM-simulering i NX p.g.a. detta.

6 Litteraturförteckning

- DNV GL. (2015, December). *RULES FOR CLASSIFICATION, Inland navigation vessels, Part 3 Structures, equipment*. Retrieved from <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-INV/2017-07/DNVGL-RU-INV-Pt3Ch6.pdf>
- DNV GL. (2017, Januari). *RULES FOR CLASSIFICATION, Ships, Part 6 Additional class notations*. Retrieved from <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/dnvgl/ru-ship/2017-01/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch6.pdf>
- ESAB. (2020). *ESAB*. Retrieved from <https://www.esab.se/se/se/education/blog/mig-wire-selection-guide.cfm>
- Hydrocompinc. INC. (2020). *Hydrocompinc.com*. Retrieved from <https://hydrocompinc.com/wp-content/uploads/documents/HC135-BladeAreaRatio.pdf>
- IACS . (2020). *IACS - the International Association of Classification Societies and International Association of Classification Societies*. Retrieved from <http://www.iacs.org.uk/search-result?query=Ic>
- Ishiodu Anthony, W. E. (2013). *Design Procedure of 4-Bladed Propeller*. Retrieved from <https://www.ajol.info/index.php/wajiar/article/download/97540/86843>
- Johansson, H., Persson, J.-G., & Petterson, D. (2013). *Produktutveckling*. Stockholm: Liber Ab.
- Kth. (n.d.). *Kth vetenskap och konst*. Retrieved from <https://www.kth.se/social/files/55188331f27654324f8833cd/Brainstorming%20workshop.pdf>
- Makeitfrom. (2020). *Makeitfrom.com*. Retrieved from <https://www.makeitfrom.com/material-properties/EN-1.4470-GX2CrNiMoN22-5-3-Cast-Stainless-Steel>
- Manufacturing Guide Sweden AB. (n.d.). *Manufacturingguide*. Retrieved from <https://www.manufacturingguide.com/sv/sandgjutning>
- Marinethings. (2020). *Marinethings.se*. Retrieved from https://marinethings.se/blog/post/12_duplex-starkare-aen-stal.html?page_type=post
- Olsson, C. (2007). *Konstruktionshandbok för svetsade produkter*. Stockholm: Liber Ab.
- Olsson, K.-O. (2015). *Maskinelement*. Stockholm: Liber AB.
- Pahl, B. F. (2007). *Engineering Design a Systematic Approach 3rd edition*. New York: Springer.
- Researchgate. (2020). *Researchgate.net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Typical-stress-strain-curves-for-austenitic-ferritic-and-duplex-stainless-steel-grades_fig5_256974330

- Researchgate. (2020). *Researchgate.net*. Retrieved from https://www.researchgate.net/figure/Estimated-load-of-MCR-Maximum-Continuous-Rating-of-Main-and-Auxiliary-Engine-for_tbl3_288229208
- Sved, H. (2016). *Gjutmaterial och gjutmetoder*. Yrkeshögskolan Novia Vasa.
- Sved, H. (2017). *Spånskärande bearbetningskompendium*. Yrkeshögskolan Novia Vasa.
- Svenska Gjuteriföreningen. (n.d.). *Gjuteriföreningen*. Retrieved from (<https://www.gjuteriforeningen.se/>)
- Teknikessen. (2020). *Teknikessen.se*. Retrieved from <http://teknikessen.se/vad-ar-cad/>
- Tornbald. (1990). *Fart och Propeller för motorbåtar*. Kristinehamn.
- Trikes. (2020). *Carbontrikes*. Retrieved from <http://www.carbontrikes.com/komposit/hallfasthet.htm>
- Ulrich, K. &. (2014). *Produktveckling: konstruktion och design (1, uppl.)*. Lund: Studentlitteratur.
- wikipedia.org. (n.d.). *Wikipedia*. Retrieved from <https://sv.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A4sning>
- Wärtsilä. (2020). *Wartsila.com*. Retrieved from <https://www.wartsila.com/marine/build/propulsors-and-gears/propellers/wartsila-built-up-propellers-bup>