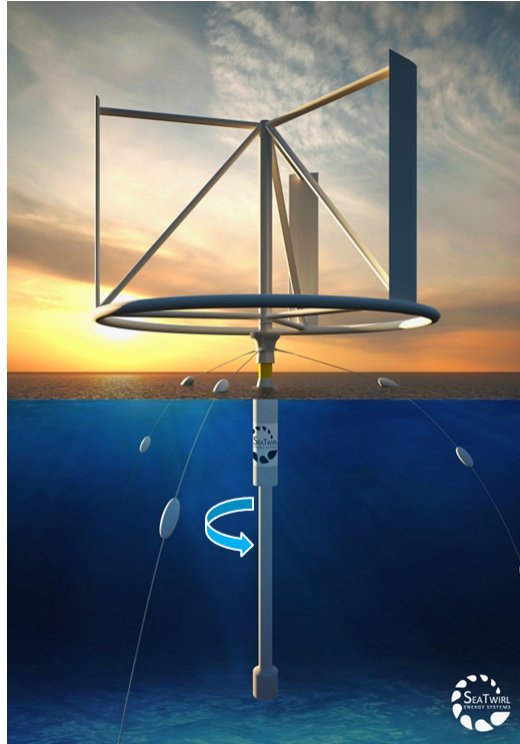




CHALMERS



Kartläggning av förutsättningar för större flytande vindkraftverk

Conditions for large floating wind turbines

MATTIAS SJÖBERG
JULIA SKÄLEGÅRD

Examensarbete: 144/2015
Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015

Kartläggning av förutsättningar för större flytande vindkraftverk

Conditions for large floating wind turbines

MATTIAS SJÖBERG
JULIA SKÄLEGÅRD

© MATTIAS SJÖBERG, 2015
© JULIA SKÄLEGÅRD, 2015

Diploma work no 144/2015
Department of Materials and Manufacturing Technology
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg
Sweden
Telephone + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Prototyp, SeaTwirl

Kartläggning av förutsättningar för större flytande vindkraftverk
Conditions for large floating wind turbines

MATTIAS SJÖBERG

JULIA SKÅLEGÅRD

Department of Materials and Manufacturing Technology

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Förord

Denna rapport behandlar ett examensarbete vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, inom institutionen för Material- och tillverkningsteknik. Projektet omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes av två maskiningenjörsstudenter, med inriktning produktion, i tredje årskursen under vårterminen 2015.

Flertalet personer har under projektet bidragit med sin erfarenhet och kunskap. Ett extra stort tack till vår externa handledare Andreas Börjesson på SeaTwirl AB samt vår akademiska handledare och examinator Peter Hammersberg.

Göteborg 20 maj 2015

Mattias Sjöberg och Julia Skålegård

Sammanfattning

Projektet har utförts i samarbete med vindkraftsföretaget SeaTwirl AB. Då företaget ställs inför viktiga framtida beslut när det gäller val av tillverkningsmetod och material för deras kommande prototyper samt deras framtida mål att utveckla ett 10 MW flytande vertikalt vindkraftverk.

Projektet syftade till att utveckla en problembeskrivning för SeaTwirl med avseende på vad material och processval innebär. Syftet var också kunskap inom områden som krävs för att ta beslut om material och tillverkningsmetoder. Då det är många aspekter som kommer att inverkar på dessa val.

Projektet har undersökt vilka faktorer och parametrar som kommer påverka tillverkningsmetod och materialval för vindkraftverkets vingar, köl, torn samt flytkropp. Eventuella och existerande problem har studerats. Intervjuer har genomförts, för att i resultatet kunna lyfta fram möjliga problemområden.

SeaTwirl's verk är en ny innovation och därför har studier på motsvarande och liknande produkter på marknaden genomförts. Stor del av arbetet har legat i att skapa en uppfattning kring hur befintliga vindkraftsföretag går till väga på marknaden idag. Detta för att skapa en förståelse för vad och varför det använder sig av de material och tillverkningsmetoder som de gör.

Rapporten är en pusselbit i förståelsen av att utvecklingen av vindkraftverk är komplext. För att identifiera problem, lösningar och inverkan parametrar som styr design och därmed priset har en beslutscirkel tagits fram. Beslutscirkeln är vår syn på hur arbetet i produktutvecklingen bör gå till.

Slutresultatet skall kunna vara ett stöd för SeaTwirl för att i ett så tidigt stadie som möjligt ha en översiktsbild över hur tidiga beslut kan påverka utvecklingen med avseende på design, material och tillverkning för företagens kommande verk. Rapporten skall även ge en översikt över den förmodade framtida ekonomiska utvecklingen inom området.

ABSTRACT

This project was conducted on behalf of SeaTwirl AB which are currently developing a floating vertical wind power turbine. They will in the near future have to take decisions regarding manufacturing, material selection, and design for their upcoming prototypes and later the first commercial power plant, a 10MW turbine.

The project's purpose is to develop a problem formulation for SeaTwirl to use when early decisions regarding material selection and production methods are taken. This was done by researching the factors that affect which choices that have to be made for the turbine's blades, keel, tower and buoyancy section. Interviews were conducted with knowledgeable people in different areas to bring forth possible future problems.

As SeaTwirls powerplant is a new innovation, no other products like it exist today. Horizontal wind power turbines have been studied with regard to how they are made and what materials they use.

The report is a piece in the puzzle to understand that the development of a wind turbine is complex. To illustrate this a image that illustrates the problem was made. The image reflects our view on how the development process should be conducted.

The result is meant to be used as support for SeaTwirl in the early stages of the development process. By giving them an overview of how early decisions might affect the later development with regard to design, material and manufacturing. The report should also give an overview of the presumed future economic development in the area.

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.2 Vindkraftverk och dess delar	2
1.2 Syfte	4
1.3 Avgränsningar	4
1.4 Precisering av frågeställningen	4
2. TEORETISK REFERENSRAM	5
2.1 Framtagning av ett helhetskoncept	5
2.2 Designprocessen	8
2.2.1 Framtagning av vingar	8
2.2.2 Kompositteori	10
3. METOD	12
3.1 Teknisk förstudie	12
3.2 Datainsamling	13
3.3 Material- & Tillverkningsmetodstudie	16
3.4 Kostnadsberäkning	17
3.5 Arbetsförloppet	17
4. RESULTAT AV DATAINSAMLING	20
4.1 Befintliga produkter/konkurrenter	20
4.1.2 De största vindkraftverken	20
4.1.3 Till havs	21
4.1.4 Sammanställande lista över flytande verk	23
4.2 SeaTwirls delar	24
4.2.1 Flytkropp	24
4.2.2 Köl	27
4.2.3 Vingar	29
4.2.4 Övre torn	37
4.2.5 Nedre torn	39
4.3 Vad intervjuobjekten anser om SeaTwirls konstruktionsval	41
4.3.1 Betong vs stål för tornet	41
4.3.2 Kostnadsläge	42

4.3.3 Mix av betong och stål	42
4.3.4 Fiberarmerad betong	42
4.3.5 Tillverkning	43
4.3.6 Transport	43
4.3.7 Flytkroppen	43
4.3.8 Köl	44
4.4 Eventuella & existerande problem	45
4.4.1 Utmattning & klimatrelaterade problem	45
4.4.2 Underhåll	47
4.4.3 Vind & temperatur	47
4.5 Marknadens priser	48
4.5.1 Kostnadsfördelning	48
4.5.2 Kostnadsförändring	50
4.5.3 Havsbaserade jämfört med landbaserade	51
4.5.4 Tillverkning-, drift- och underhållskostnader	52
4.5.5 Ungefärliga kostnader för tillverkning och material	52
4.5.6 Kostnadsuppskattning för material till SeaTwirls 10MW-verk	55
4.6 Miljö, människan och vindkraftverk	56
4.7 Viktiga parametrar vid val av material & metod	57
4.7.1 Korrosion	57
4.7.2 Inspekterbarhet	59
4.7.3 Montering & Transport	61
4.7.4 Regelverk och försäkring	61
4.7.5 Utmattning	63
5. ANALYS AV RESULTATET	64
6. DISKUSSION	65
7. SLUTSATS	67
REFERENSER	72
7. APPENDIX	78
7.1 Appendix, energi från vind	78
7.2 Appendix, land- & havsbaserat vindkraftverk	78
7.3 Appendix, delarna – horisontellt	79
7.4 Appendix, material & metoder företag använder idag	79

7.5 Appendix, tillverkningsmetoder	82
7.6 Appendix, material	83

1. INLEDNING

Arbetet kommer att utföras i nära samarbete med företaget SeaTwirl AB och kommer att vara i linje med företagets mål att utveckla ett 10 MW flytande vertikalt vindkraftverk. Målet är att undersöka vilka faktorer och parametrar som kommer påverka tillverkningsmetod och materialval för vindkraftverkets vingar, köl, torn samt flytkropp. Där hänsyn skall tas till bland annat kostnad och materialpåverkan.

1.1 Bakgrund

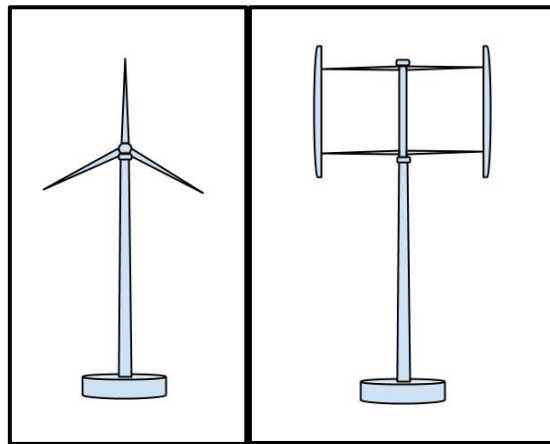
SeaTwirl AB har utvecklat en ny typ av flytande vertikalt vindkraftverk. Vindkraftverkets design är unik då hela kroppen roterar och använder vattnet som ett lager. Detta gör att kraftverket skiljer sig från traditionella modeller. Vertikala vindkraftverk har traditionellt inte använts på grund av att de har varit svårare att tillverka och designa än traditionella horisontella vindkraftverk. De vertikala verken har dock en teoretisk maxstorlek som är större än de horisontella. Detta gör att SeaTwirl AB vill veta om det finns alternativa och kostnadseffektiva material och tillverkningsmetoder som kan tillämpas för deras kraftverk. SeaTwirl AB's mål är att ha en högre kostnadseffektivitet, samt att erbjuda ett alternativ till de traditionella vindkraftverk som även har begränsade placeringmöjligheter.

1.1.2 Vindkraftverk och dess delar

När vinden strömmar mot vingarna på ett vindkraftverk förs en del av dess kinetiska energi över till rotorn och görs om till rörelseenergi som generatoren i sin tur kan omvandla till elektrisk energi. Mer om detta och vindkraftverkens olika konstruktioner kan läsas nedan samt i appendix 7.1-7.3.

Horisontell – Vertikal

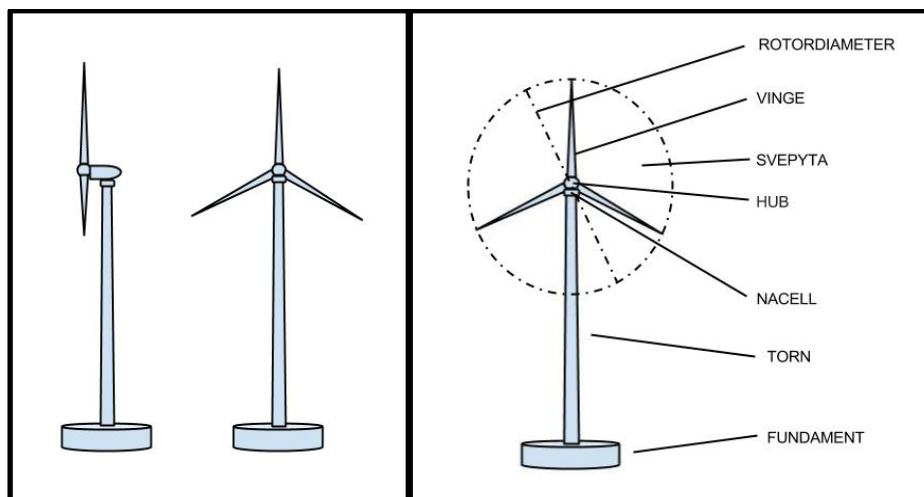
Två huvudtyper kommer beskrivas, se figur 1.1. Horisontell vilket är idag den absolut vanligaste samt vertikal, vilket är den typen SeaTwirl använder.



Figur 1.1 Horisontalaxlat samt vertikalaxlat verk. Författarens egen bild

Delarna - Horisontellt

Horisontella vindkraftverk är den vanligaste typen av vindkraftverk som används idag, se figur 1.2. Konstruktionen består av 5 huvudkomponenter. Mer om komponenterna kan läsas i appendix 7.3.

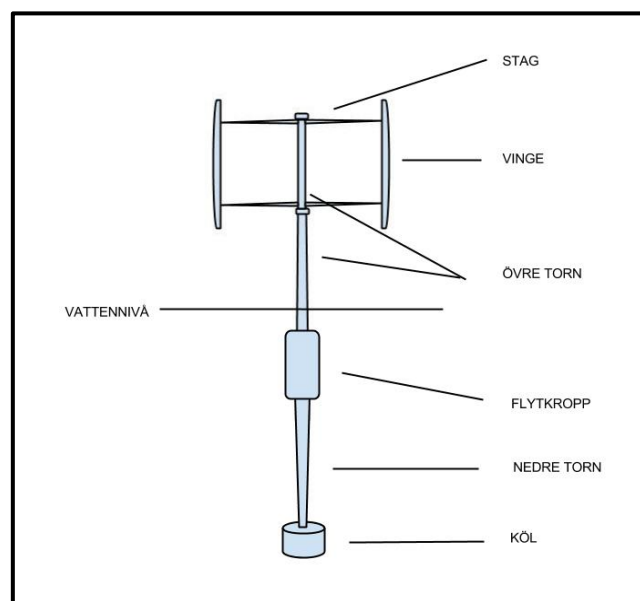


Figur 1.2. Horisontellt verk med namngivna delar. Författarens egen bild

Delarna - SeaTwirl

SeaTwirl's verk är ett vertikalt vindkraftverk där konstruktionen består av sex huvudkomponenter, figur 1.3, varav fem av dem beskrivs nedan. Verket är en ny innovation på marknaden.

- **Vingar:**
Vingarna har en standardprofil av typen NACA. Skall antas vara 100 m långa samt ha en homogen form.
- **Övre torn:**
Det övre tornet består av två sektioner, ett koniskt rör, 70 m långt med en diameter från 7 m till 3,5 m. Samt ett cylindriskt rör med längden 20 m med en diameter på 3,5m.
- **Flytkropp:**
Kroppen som beaktas är den yttre delen av flytkroppen. För att uppnå tillräcklig flytkraft behöver tanken vara 9m i diameter samt vara 30 m lång. Den inre cylindern tar upp böjmomentet som tornet utsätts för.
- **Nedre torn:**
Det undre tornet skall ha en konisk form, vara 110 m långt, med en ytterdiameter från 7 m - 3,5 m.
- **Köl:**
Kölen skall ha en vikt på 1000ton och samtidigt ha en så liten ytarea som möjligt.



Figur 1.3. Vertikalt verk sett framifrån med namngivning. Författarens egen bild

1.2 Syfte

Syftet är att utveckla en problembeskrivning för SeaTwirl med avseende på vad material och processval innebär. Målet är att SeaTwirl skall kunna använda sig av rapporten som hjälpmedel för att i ett så tidigt stadie som möjligt ha en översiktsbild över hur tidiga beslut kan påverka utvecklingen med avseende på design, material och tillverkningsmetoder för företagets kommande verk. Rapporten skall även ge en översikt över den förmodade framtida ekonomiska utvecklingen inom området.

1.3 Avgränsningar

- Endast vingar, torn (övre och undre), köl och flytkropp skall beaktas
- Inget fokus på monteringsprocess och transport av de färdiga komponenterna, skall endast beaktas vid påkomna problem och begränsningar.
- Kraftverk på en effekt av ca 10 MW ska i första hand studeras.
- Ramar för material samt ytterdimensioner och vikt är givna.
- Livslängden skall inte räknas på, dock ska uppmärksammade faktorer dokumenteras som bidrar till förkortad livslängd.
- Fogning av de olika delarna tas ej i beaktning.

1.4 Precisering av frågeställningen

Utveckla och ta fram kunskap om hur man bör gå tillväga för att besluta om material och tillverkningsval. Därpå identifiera problem, lösningar och inverkan parametrar som styr design och därmed priset vid beslut om material och tillverkningsmetod.

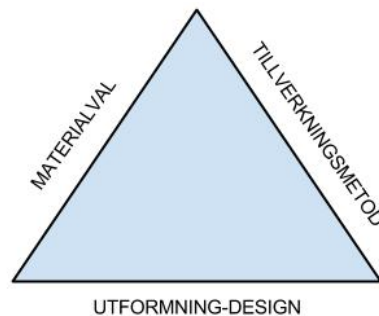
- Undersöka vilka tillverkningsmetoder och material som idag används till vindkraftverk.
- Studera möjliga metoder och materialgrupper som är lämpliga för SeaTwirl-verket för att uppnå ett kostnadseffektivt verk
- Vilka parametrar som påverkar valet av material och tillverkningsmetod
- Ungefärlig kostnadsfördelning på existerande verk.
- Ungefärliga kostnader på några av de material som kan komma att användas av SeaTwirl

2. TEORETISK REFERENSRAM

I teorikapitlet nedan beskrivs teorin kring viktiga områden som berör vindkraftverk och dess tillverkning.

2.1 Framtagning av ett helhetskoncept

Vid framtagning av ett helhetskoncept gäller ett samspel mellan tillverkningsmetod, materialval och designen. Vilket visas i figur 2.1.



Figur 2.1. Triangelsamspel vid produktframtagning. Författarens egen bild

Flertalet parametrar och aspekter måste tas i beaktning vid alla tre sidor i triangeln.

Begränsningar, mål och fria variabler definierar randvillkoren för helhetskonceptet. Randvillkor vilka är viktiga ur ett konstruktionsperspektiv. Det är viktigt att förstå skillnaden mellan begränsningar och mål, samt att definiera dessa. Se tabell 2.1 (Ashby, 2010)

Definition av randvillkor	
Funktion	Vad uträttar komponenten?
Begränsningar	Vilka mätbara begränsningar erhålls?
Mål	Vad ska maximeras eller minimeras?
Fria variabler	Vilka parametrar får ändras?

Tabell 2.1. Författarens egen bild

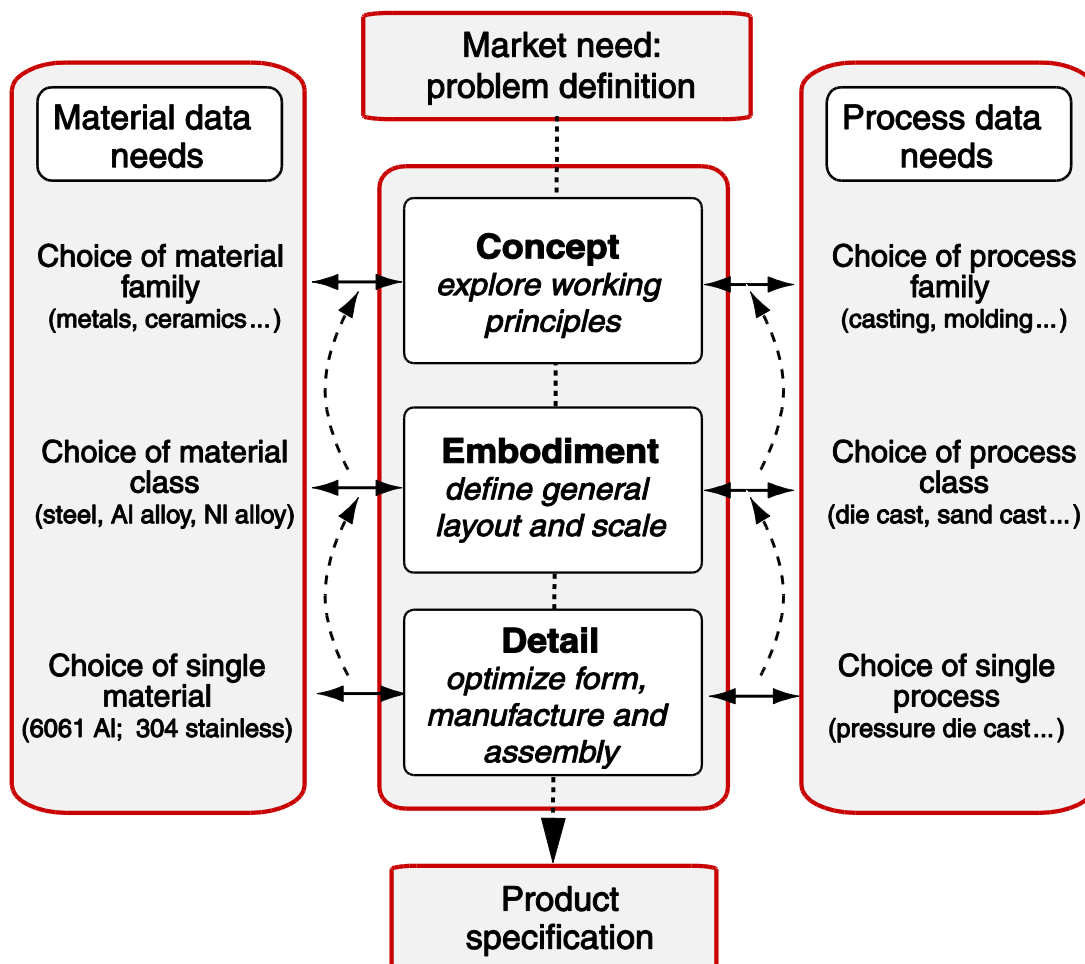
Komponenternas position i flödesschemat

Konstruktionsflödesschemat i figur 2.2, visar hur material- och processval går till. Information om material behövs i varje steg, men på helt olika nivå och precision. De streckade linjerna visar den iterativa processen, av "grunddesignen", som i sin tur genererar ny/förbättrad design.

Vart delarna ligger i utvecklingen

SeaTwirls komponenter ligger i olika stadier i konstruktionsflödesschemat, detta påverkar möjligheten att behandla vindkraftverket som en enhet.

Vingar, samt övre torn hamnar i "embodiment" stadiet. Detta på grund av att kunskap om vilka material som bör användas och hur tillverkningen kan ske redan finns. Undre torn, Flytkropp och Kölen hamnar däremot mellan "problem definition" och "concept". Konceptet är inte valt för någon av delarna då yttermått och en uppskattad vikt är det enda som existerar. Av vilket material dessa bör tillverkas och hur tillverkningen bör ske beror på hur styrs även av andra faktorer som måste tas i beaktning vid val av både tillverkningsmetod samt materialval.



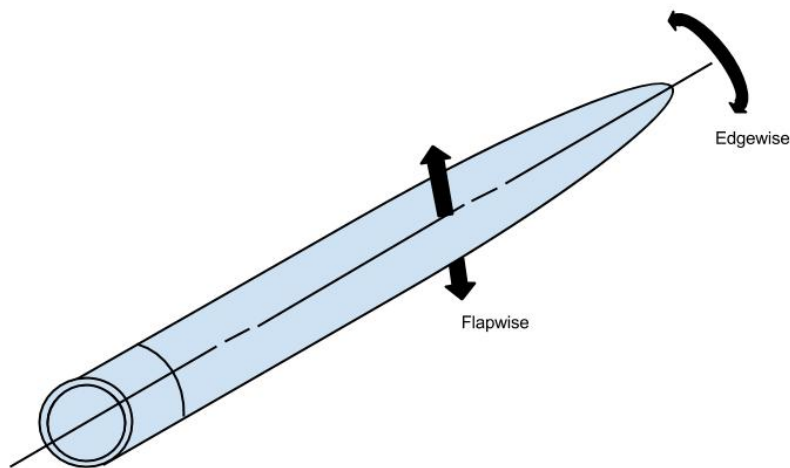
Figur 2.2. Konstruktionsflödesschema för produktutveckling. (Ashby, 2010)

2.2 Designprocessen

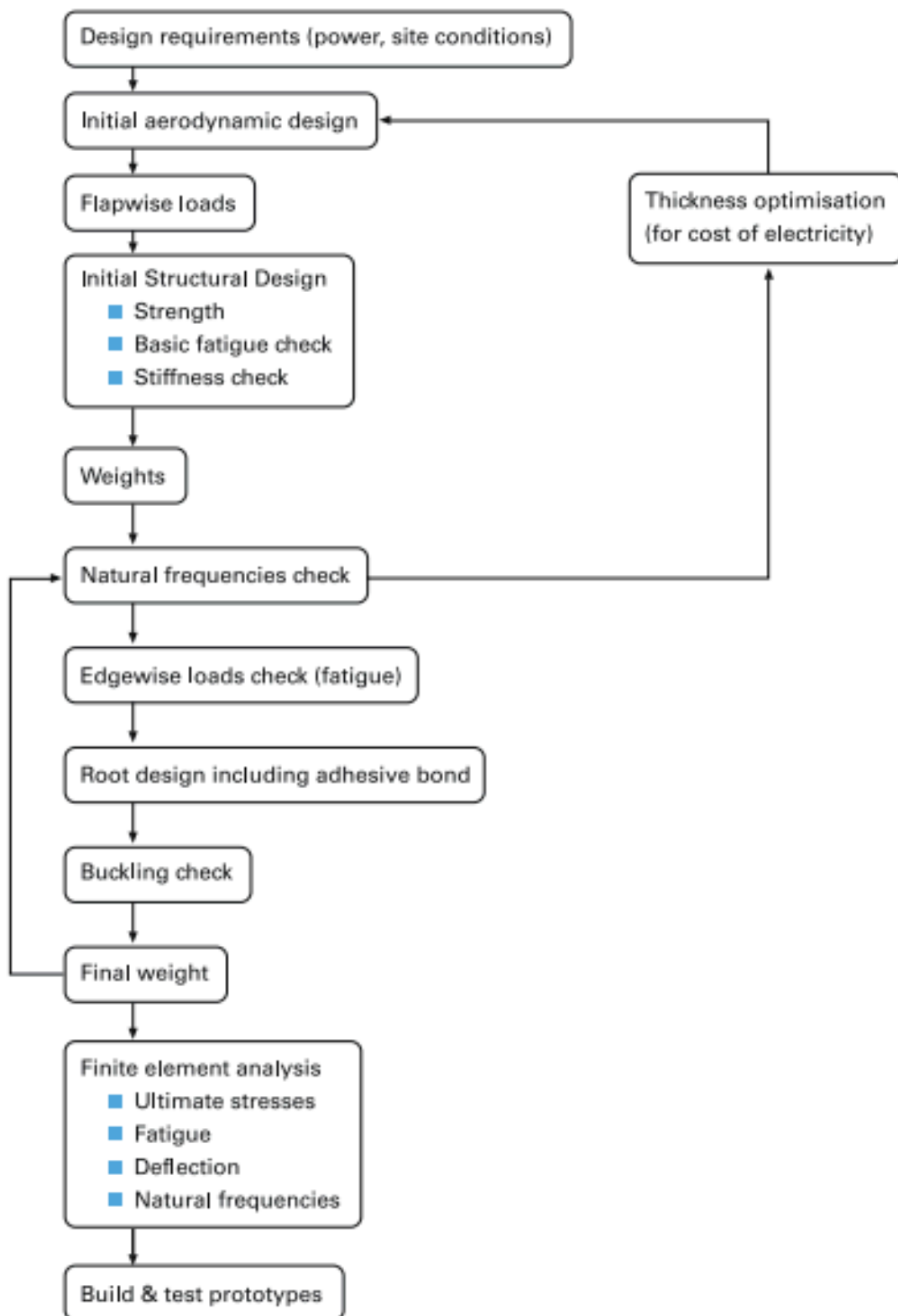
Konstruktion och designprocessen är en lång arbetsprocess där flera varv görs innan de slutliga dimensionerna fastställs och tillverkning. I kapitlet beskrivs framtagning av vingar för att illustrera en klassisk arbetsprocess, se figur 2.4

2.2.1 Framtagning av vingar

Då en vindkraftsturbin skall utvecklas identifieras först den största kraften som inverkar. På Horisontella verk är detta det böjande momentet flapwise, se figur 2.3. Vingbalken dimensioneras för att klara dessa laster utan att överstiga utböjningsgränsen som bestämts. Eftersom avvägning mot bladets aerodynamiska egenskaper och styvhet måste göras. Därefter påbörjas en iterativ process för att finna den optimala materialtjockleken. I nästa steg sker optimering av vikten, detta för att undvika utmattning, edgewise, då denna beror på bladets vikt. Egenfrekvenser tas i beaktande under båda optimeringscyklerna (Gurit, u.å.d).



Figur 2.3. Vingbelastning. Författarens egen bild



Figur 2.4. Arbetsprocess för vingtillverkning. "Wind Turbine Blade". (Gurit, u.å.d).

2.2.2 Kompositteori

Med komposit menas ett material som består av två eller flera material med olika egenskaper. När dessa används tillsammans tillhandahålls ett material med egenskaper skilda från de ingående komponenternas.

Här beskrivs endast fibrernas egenskaper. Fibrerna som har hög dragstyvhet är den del som ger själva styrkan i materialet medan bindemedlet håller ihop fiberlagren. Fibrernas riktning är av största vikt då de endast har styrka i längsriktning (Gurit, u.å.a).

Drag

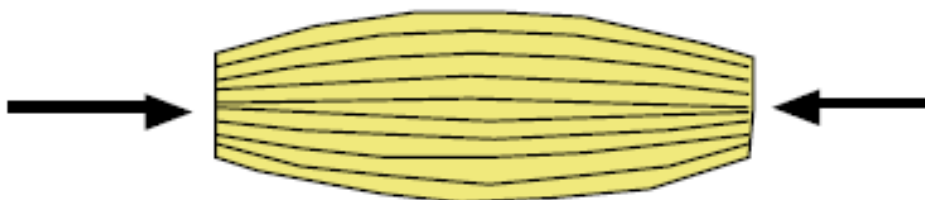
Med drag menas att kraft appliceras i längdriktning mot fibrerna. Här är det fibrerna som tar upp den största delen av kraften.



Figur 2.5. Fiber vid drag. *Guide to composites.* (Gurit, u.å.a).

Tryck

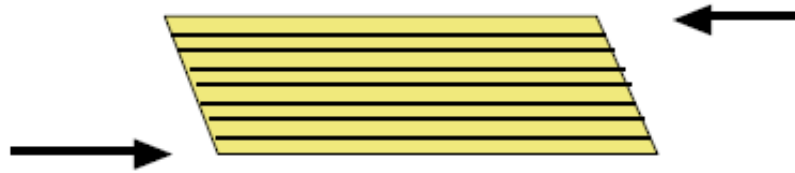
Vid tryck avgör matrisens egenskaper att binda till fibrerna kompositens hållfasthet. Matrisen bidrar till att hålla fibrerna raka så att dessa kan ta upp belastningen. Förmågan att ta upp tryckspänning skiljer sig avsevärt mellan olika fibertyper vilket gör att val av fiber är av största vikt.



Figur 2.6. Fiber vid tryck. *Guide to composites.* (Gurit, u.å.a).

Skjuv

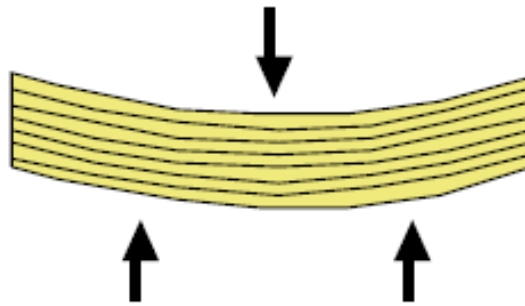
När skjuvspänningar uppstår håller matrisen ihop materialet, fibrerna har ingen inverkan. Kompositens hållfasthet beror helt matrisens mekaniska egenskaper, samt hur väl matrisen har fäst i fibrerna.



Figur 2.7. Fiber vid skjuvspänning. Guide to composites. (Gurit, u.å.a).

Böj

Eftersom böjande belastning kan ses som tryck/drag samt skjuv beror hållfastegenskaperna på både matrisen samt fibrerna. Fibrerna skall stå emot både drag på utsidan samt tryck på insidan. Matrisen måste hålla ihop mattorna så att de inte börjar glida i förhållande till varandra.



Figur 2.8. Fiber vid böjande belastning. Guide to composites. (Gurit, u.å.a).

- Core material

Då bladtillverkare hela tiden försöker optimera vikten används core material för att skapa vad som kallas sandwich strukturer, det vill säga kompositerna med ett annat material som separerar lagren. Corematerialen har låg densitet samtidigt som det har hög styvhet. För att optimera vingens egenskaper kan olika typer av corematerial användas i bladets olika delar (Gurit, u.å.e).

Utmattning

Överlag klarar kompositerna utmattning bättre än metaller. Utmattningsproblem uppstår när fibrerna sträcks ut längre än vad matrisen klarar av. Över tid kommer små mikrosprickor bildas. Detta gör att matrisens brotthållfasthet är avgörande för hur bra kompositen kan stå emot utmattning (Gurit, u.å.d).

3. METOD

I kapitlet beskrivs och förklaras de metoder som har använts för att komma fram till projektets resultat.

3.1 Teknisk förstudie

Komponentstudie utfördes del för del, för att få en helhetsuppfattning av vindkraftverkets ingående delar. Det vill säga;

- Torn
- Vingar
- Köl
- Fundament/flytkropp

Samt de teknologiska skillnaderna mellan;

- Landburna- och havsburna vindkraftverk
- Vertikalaxlade- och horisontalaxlade vindkraftverk

Hur fungerar det idag

Befintliga vindkraftsföretag har studerats för att skapa en uppfattning kring hur det går till på marknaden idag. Detta genom: mail-kontakt, intervjuer och informationssökning. För att få en förståelse för vad och varför det använder sig av de material och tillverkningsmetoder som de gör.

Idag finns det inte någon identisk konstruktion på marknaden, därför har även studier på motsvarande/nuvarande och liknande produkter på marknaden genomförts. Tillexempel; flytbojar, landburna vindkraftverk, horisontella vindkraftverk och bropelare.

3.2 Datainsamling

Kvalitativ samt kvantitativ informationssökning har utförts.

Informationssökningen har främst skett genom två metoder, nämligen;

- Öppna djupintervjuer samt telefonintervjuer med experter i respektive relevant område. Inledningsvis listades nyckelpersoner som ansågs viktiga för frågeställningarna, därefter har intervjuobjekt efterhand lagts till. Se tabell 3.1
- Informationssökning på internet och i tryckt litteratur
Inledningsvis listades vilken kunskap som behövdes för arbetet samt vilken information som krävs för att svara på frågeställningarna. Utefter detta gjordes en lista på webbplatser, PDF:er och litteratur som skulle läsas. Under arbetets gång har mer litteratur tillkommit. Målet var att komma i kontakt med kunniga personer från alla sidor i ovan nämnda “trianglespel”, se figur 3.1.

Sammanställande intervjutabell

Vem Vem intervjuades	Hur Hur utfördes intervjun	Varför Varför utförs intervjun	Målsättning Förväntad information
Institutionen för energi och miljö Avdelningen för elkraftteknik Chalmers	Telefonintervju	Kännedom om verket på Risholmen	Hur tillverkades verket på Risholmen. Uppkomna problem?
Göteborgs energi	Telefonintervju	Kännedom om verket på Risholmen	Tillverkningsmetod och materialval på vindkraftverket, Risholmen-Arenedal
Bureau Veritas	Telefonintervju	Angående certifiering och lagar	Vad finns det för regelverk och vad krävs för att bli certifierad av Bureau Veritas?
Forskarassistent, (SWPTC)	Personligt möte	Angående vindturbinblad	Hur går framtagningen av blad till?
Advise	Telefonintervju	Advise har kunskap om försäkringslösningar och riskhantering inom vindkraftbranschen	Vad krävs för att försäkra ett vindkraftverk?

DNV GL	Telefonintervju	Angående certifiering och lagar	Behöver verket inspekteras inifrån? Vilka regler måste följas?
Elitkomposit AB	Telefonintervju	Experter på komposittillverkning	Vad kostar kompositmaterial?
Projektchef NCC	Mailintervju	NCC tillverkar mycket i betong	Hur tillverkas bropelare?
Forskarassistent Chalmers, vid Bygg- och Miljöteknik/Konstruktion	Telefonintervju	Expert inom betongkonstruktion	Fungerar betong i tornet?
Universitetslektor, Nordic Master i Sjöfartsteknik	Personligt möte	Diskussion om material och tillverkningsval.	Vad rekommenderas? Vad kräver verket för underhåll?
GVA	Personligt möte	Frågor om produkter till havs	Vad finns det för regelverk kring produkter till havs? Hur klarar sig stålkonstruktioner i vattnet?
Hexicon	Telefonintervju	Angående regelverk för flytande vindkraftverk	Vilka lagar måste följas? Finns regelverk? Skillnad på certifiering och klassning?
Temagruppledare för "kallt klimat", SWPTC	Telefonintervju	Få kunskap om hur klimatet påverkar	Hur skyddar man verket för isbildning?
OffshoreVäst , SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut	Telefonintervju		
Biträdande professor, Bygg- och miljöteknik, Byggnadsteknologi på Chalmers	Personligt möte	Diskutera tillverkning, montering och materialval	Materialval angående torn. Behövs behandling av betongens ytskikt?
Vertical Wind AB	Telefonintervju	Företag med god kunskap inom vertikalaxlade vindkraftverk	Ökad kunskap om vertikala vindkraftverk, lärdomar och misstag
Windforce	Telefonintervju	Kunskap om vindkrafttillverkning	Hur tillverkar de torn och med vilka material
Swerea SWECAST	Telefonintervju	Kunskap om vindkrafttillverkning	Kunskap om nästa steg i utvecklingen för att tillverka lättare komponenter.

Avdelningen för material & tillverkning, Chalmers	Personligt möte	För frågor inom svets	Hur påverkas svets av skjuvspänning och varierande vridmoment?
Winfoor AB	Telefonintervju	Angående material- och tillverkningsfrågor	Deras utveckling inom rotorblad i kolfiber samt tillverkningsmetoden för Winfoor AB's blad
Vindkraftskordinator på SWPTC	Personligt möte	Bra kontaktnät inom vindkraftbranschen	Nya värdefulla kontaktuppgifter
Sjöfartsverket	Telefonintervju	Kunskap om flytande konstruktioner	Hur tillverkas bojar i havet och med vilka material?
DIAB	Telefonintervju	Angående tillverkningsprocessen för turbinbladen	Hur fungerar arbetsgången för bladtillverkning/utveckling? Vilka material används?
REINERTSEN	Telefonintervju	Kontakt med undervattenstekniker	Finns det lagkrav på inspektion av rör och kablar längs havsbottnar?
Byard-spm	Mailkontakt	Ökad kunskap om Spiral Pipe Mill	Kan metoden användas för koniska rör? Vad är nuvarande maximala storlek?
Gurit	Mailkontakt	Tillverkande företag	Vad kostar bladtillverkning? Kostnad för plugg och form?
Trelleborg AB	Mailkontakt	Tillverkar flytkroppar	Kan "Marine drilling risers" fungera för vårt torn? Kostnadseffektivt?
Hywind	Mailkontakt	Om deras flytande vindkraftverk	Materialval? Kostnadsberäkning? Hur de tillverkar?
Connected Wind	Telefonintervju	Angående service och inspektion	Vilka tjänster köper dagens vindkraftverk? Vilka krav ställer personalen på t.ex hiss för att utföra service och inspektion?
Risersinc	Mailkontakt	Angående flytkroppen	Är "Marine drilling risers" möjligt för SeaTwirls torn? Kostnadseffektivt?

Tabell 3.1. Sammanställande intervjutabell. Författarens egna tabell

3.3 Material- & Tillverkningsmetodstudie

I kapitlet beskrivs möjliga metoder och material, del för del.

En av de bakomliggande faktorerna som begränsar material och tillverkningsmöjligheterna är den redan bestämda designen vilket arbetet har anpassats efter.

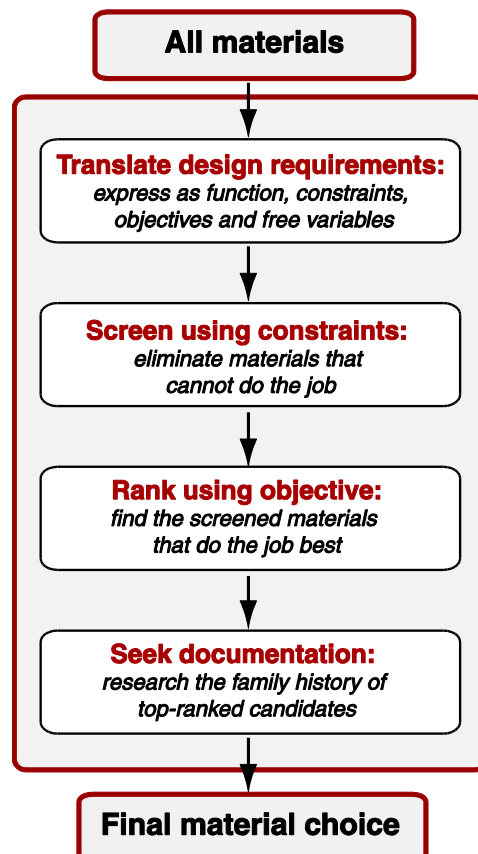
Materialframtagning

Lämpliga material togs fram genom litteraturstudie, intervjuer, materialdatabas, strategimatrix samt i samråd med SeaTwirl.

Genom materialdatabasen CES EduPack 2011Ces gallrades tänkbara material till bladen ut. Detta genom "pris" dividerat med "sträckgräns" på y-axeln och "densitet" på x-axeln för vingarna. Medan för kölen användes "pris" på y-axeln och "densitet" på x-axeln.

Efter materialdatabasen tillämpades en strategimatrix enligt figur 3.1.

Metoden är uppdelad i fyra steg, nämligen: translate (uttrycka konstruktionskrav som funktion, begränsningar, mål och fria variabler), screening (tar bort material som inte duger), rank (rangordna materialen som klarar uppgiften) och seek documentation (undersök hur andra har använt materialet) (Ashby, 2010).



Figur 3.1. Strategimatrix. (Ashby, 2010)

Tillverkningsmetodframtagning

De tillverkningsmetoder som studeras är de metoder som används idag för horisontella vindkraftverk, rekommendationer från experter samt utifrån de begränsningar som material och konstruktionen genererar till.

3.4 Kostnadsberäkning

Ungefärliga vikter baserade på uppskattade CAD-modeller med antagna material tillhandahölls från SeaTwirl. Dessa vikter tillsammans med framtaget ungefärligt materialpris från materialdatabasen CES EduPack 2011 skapade en prisuppskattning av verket.

Vikten, behandling och tillverkningsmetod avgör priset. Där av togs det fram ungefärliga kostnader på:

- Havsbaserade vindkraftverk jämfört landbaserade
- Tillverkning-, drift- och underhållskostnader
- Kostnadsförändring på vindkraftverkets delar
- Ungefärliga kostnader för tillverkning och material
- Ungefärlig kostnadsuppskattning för material till SeaTwirl's 10MW-verk

Detta för att bilda en uppfattning om kostnadsläget på de olika delarna. Samt tydliggöra var det stora kostnadsposterna ligger.

3.5 Arbetsförloppet

Under projektets gång har problemlösningssmodellen DFSS använts, vilket står för Design for Six Sigma. DFSS bygger på begrepp och verktyg från en typisk DMAIC strategi med största skillnaden att Six Sigma är en processförbättring filosofi och metodik, medan DFSS är ett förhållningssätt för att utforma en ny produkt (eller tjänst) för en kommersiell marknad (Tennant. G, 2010).

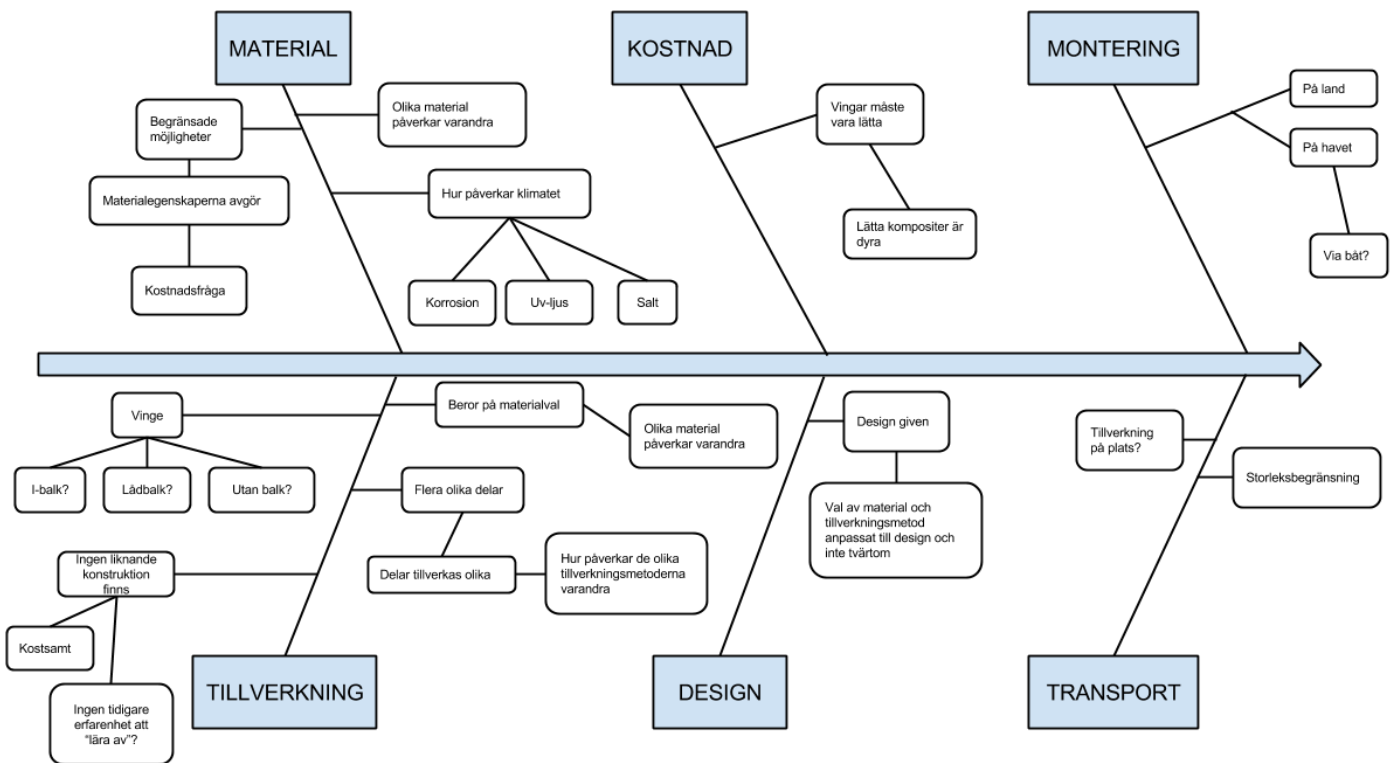
DFSS har använts för att säkerställa att arbetet bedrivs på ett strukturerat sätt. I kapitlet beskrivs tillvägagången.



Figur3.2. DFSS-modellen. Författarens egen bild

Definiera: Första steget i arbetet. Här togs en detaljerad problemformulering fram, beskrevs och specificerades. Med hjälp av trädidiagram och släktskapsdiagram uppnåddes resultat i detta steg.

- Ishikawadiagram/fiskbensdiagram, figur 3.3.
Användes som ledningsverktyg för att grenar upp och tydliggöra problem. Diagrammet valdes för att bryta ner några av de största påverkande faktorerna för den slutliga konstruktionen (Bergman, 2007).



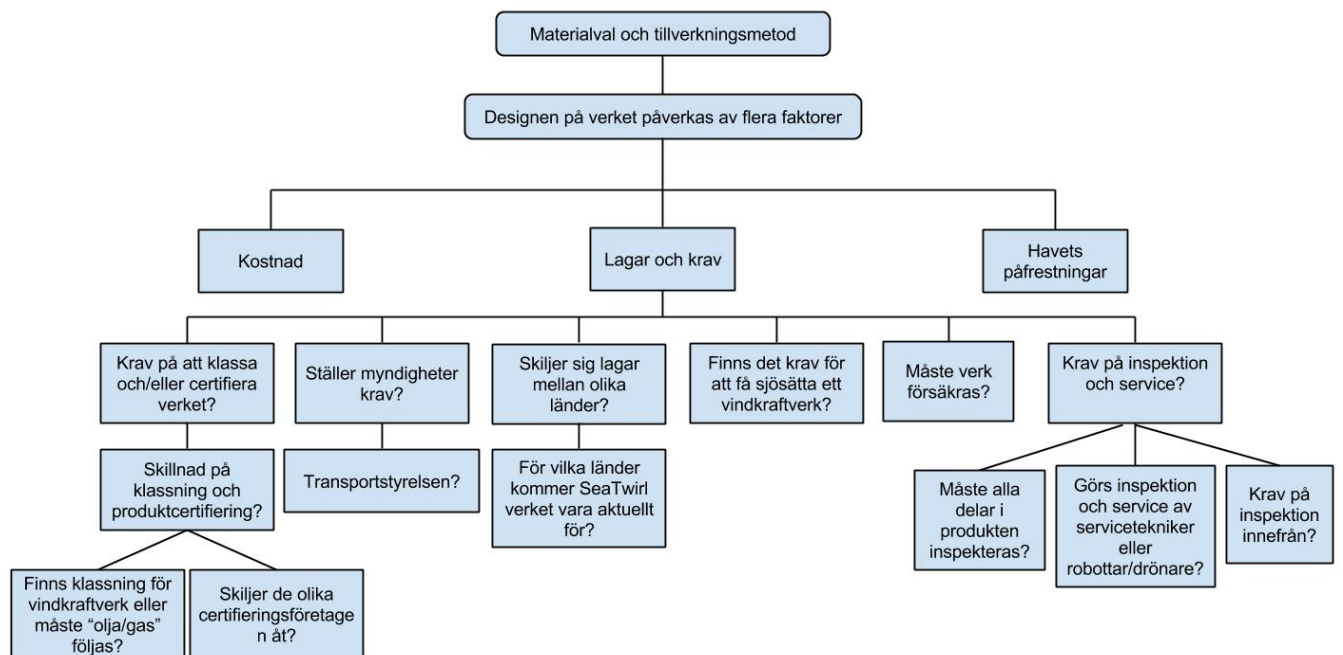
Figur 3.3. Fiskbensdiagram. Författarens egen bild.

Mäta: Problemlösningen och analysen utgick från data och information som systematiskt samlades in om både den bakomliggande processen samt om de olika problemen. En väl utförd problemlösning skapade förutsättningar för framtagningen som informationsökningen och intervjuer grundades på.

Analysera: I tredje steget analyserades data som samlats in. Det vill säga, en identifiering av de faktorer som påverkade projektets samt fastställa hur detta sker. Alltså sambandet mellan problem och orsak.

Insamlade kunskaper om problemens orsaker användes för att ta fram lämpliga åtgärder och lösningar. Som hjälp för att visualisera påverkande parametrar användes bland annat ett trädidiagram.

- Trädidiagram, figur 3.4,:



Figur 3.4. Trädidiagram. Författarens egen bild

Förbättra: I förbättringsfasen sammanställdes lösningar och förslag. Föreslagna lösningar från bland annat intervjuobjekten studerades och beskrevs. Identifiering av de framtagna lösningarna, vad gällande material och tillverkningsmetod samt parametrar som påverkar design och priset, redovisades. Detta för att SeaTwirl i nästa skede kan ta kunskap och inspiration av våra slutsatser.

- Beslutsциkel:
En beslutsциkel togs fram för att sammanställa projektets slutsatser. Vilket visas i kapitel 7

Styra: Rapporten sammanställs och tas fram i detta steg. Rapporten redogör för projektets syfte, tillvägagångssätt och uppnådda resultat.

4. RESULTAT AV DATAINSAMLING

I kapitlet redovisas den data och information som arbetet har lett till.

4.1 Befintliga produkter/konkurrenter

Avsnittet redovisar framtagna information kring vindkraftverk idag. Dessutom redogörs ytterligare information om befintliga vindkraftverksföretag i appendix 7.4.

4.1.2 De största vindkraftverken

SeaTwirl är en ny innovation därför existerar ingen identisk produkt på marknaden. Jämförelser och konkurrentstudier har istället gjorts mot de typer av vindkraftverk som finns idag samt konstruktioner med liknande material.

Havsbaserade vindkraftverk finns idag på marknaden sedan många år tillbaka. De havsbaserade har dock en begränsning i var det kan byggas då de max kan stå på 40m djup. Från denna bakgrund har flytande vindkraftverk tagits fram, där verket kan installeras på upp till 900m vattendjup (Sandberg, J. 2014).

Sveriges största verk:

På Risholmen, Göteborg, står "Big Glenn" vilket är Sveriges högsta vindkraftverk. Verket bygger på offshore-teknik och har en installerad effekt var på 4,1 MW. Totalkostnaden uppkom till 110 Mkr. Totalhöjd på ca 145 m där navhöjden är 85 m och rotordiametern är 113 m, tillverkare är General Electrics (Göteborgs energi, u. å)

Verket sattes igång den 9 mars 2012 och är ett test-verk och ett samarbete mellan SWPTC, Chalmers, General Electrics och Göteborgs energi. Under det första halvåret, april-dec 2012, uppmättes den totala produktionen till 7887 MWh (Göteborg Wind Lab, 2013).

Världens största verk:

Världens största vindkraftverk 2014, står på Danska Jylland. Verket har en effekt på 8 MW, 80 m långa turbinblad och en hubdiameter på 4,6 m.

Vikten, inkl nav, är 390 ton. Den tunga vikten och dess stora konstruktion ledde till att frakten skedde med båt till Jylland (Svensk vindenergi, 2014).

4.1.3 Till havs

När vindkraftverk skall placeras ute till havs används tekniker som hämtats från olja/gas industrin. De tre vanligaste metoderna beskrivs nedan (Briggs, R.2011).

- **Tension Leg Platform (TLP):**
En flytande plattform som med hjälp av förankringen dras ner under ytan och skapar en stabil plattform under vattnet.
- **Semi-Submersible:**
En flytande plattform med slak förankring. Den är inte beroende av förtöjningen för att behålla stabiliteten.
- **Spar:**
En slank pelare som har tyngdpunkt lägre än flytpunkten vilket gör den självrätande. Förankringen förhindrar att den flyttas horisontellt.

VolturnUS (Semi-Submersible)

VolturnUS 1:8 är ett 6 MW verk på 65 m högt med en struktur av betong. Det är USAs första nätanslutna flytande vindkraftverk.

Monteringen skedde på land och därefter lyftes av med en kran från kajen ner i vattnet. Väl i vattnet bogserades verket till plats. En av fördelarna med denna typ av montering är kostnaden då man slipper använda "jack-up pråmar" vilket är en dyr montering, som vanligtvis används till havs. Ytterligare en fördel med att verket kan bogseras är att turbinerna kan repareras på land, genom bogsering av verket fram och tillbaka. (Offshore Wind Staff, 2013)

Hywind Skottland Pilot Park (Spar)

Statoil planerar bygga den första flytande vindkraftparken. Pilotprojektet är på fem stycken 6 MW flytande vindkraftverk. Tekniken som ligger till grund för projektet har testats under ett demonstrationsprojekt utanför Norges kust. Den flytande parken kommer vara stationerad i Skottlands nord östra kust, på ett djup mellan 95-120 m (Statoil, 2014.a).

Enheterna kommer ha en planerad livslängd på 20 år. Syftet med projektet är att parken skall visa att tekniken kan fungera på en kommersiell basis, med ett fåtal verk, och att detta kan minska kostnaderna tillräckligt för att på längre sikt göra tekniken kostnadseffektiv i storskaliga kommersiella parker (Statoil, 2014. b). Hywind's balast fås genom vatten och sten (Statoil, 2014. c).

Japanese Floating Projekts "Halvskala" (Spar)

Utanför ön, Kabashima, i västra Japan testas ett flytande offshore vindkraftverk. Verket har varit i drift sedan augusti 2012 och är en del i ett testprojekt för att utveckla ett kostnadseffektiv flytande vindkraftverk. Turbinen är 22 meter i diameter och genererar

100kW. På havets botten är pelaren förankrat och kölen/nedre delen består av en ihålig kärna som är fylld med havsvatten för att hålla den upprätt och självupphållande.

Den övre delen av tornet, som stöder vindturbinen, är gjord av stål medan den nedre delen är tillverkad av betong. Detta för att få ner kostnaderna jämfört med de verk som gjorts helt i stål.

Redan under monteringen 2012 fanns planer på ett liknande verk på 2000 kW (The Japan Times, 2013).

Japanese Floating Projekts “Fullskala” (Semi-Submersible)

I oktober 2013 sjösattes uppföljaren från 100kWh-verket, utanför Japan. Denna gång med en turbindiameter på 80 meter. Totala vikten inklusive turbinen slutade på 3400 ton. Även denna tillverkades med stål i övre delen av tornet och betong i den nedre (Main International Consulting LLC, 2012)

4.1.4 Sammanställande lista över flytande verk

I tabell 4.1 visas en sammanställning över nästan alla projekt som utvecklas.

Demo: Numerisk demonstration av konceptets realiserbarhet. Pilot: Test av nedskalad modell i kontrollerad miljö. Prototyp: Test av fullskalemodell.

Namn	Land	Teknik	Fas
Fukushima	Japan	Semi-Submersible	Prototyp
Fukushima	Japan	Spar	Pilot
Fukushima	Japan	Semi-Submersible	Pilot
Kabashima island, kyushu	Japan	Spar	Prototyp
Wind Lens	Japan	Semi-Submersible	Pilot
Mitsu zosen	Japan	TLP	Demo
MODEC	Japan	Semi-Submersible	Pilot
Hitachi Zosen	Japan	Semi-Submersible	Pilot
National maritime Research institute of japan	Japan	Spar	Demo
Shimizu Corporation	Japan	Semi-Submersible	Demo
Hywind	Norge	Spar	Prototyp
Sway Floating Tower	Norge	Spar	Pilot
WindSea	Norge	Semi-Submersible	Demo
Pelagic Power	Norge	Semi-Submersible	Demo
Poseidon	Danmark	Semi-Submersible	Pilot
Blue H	Nederländerna	TLP	Pilot
Gusto Trifloater	Nederländerna	Semi-Submersible	Demo
Vertiwind / Nenuphar	Frankrike	Semi-Submersible	Pilot
IDEOL	Frankrike	Semi-Submersible	Demo
Nass et Wind WinFlo	Frankrike	Semi-Submersible	Demo
TLPWIND	Skottland	TLP	Demo
HiPR Wind	Spanien /Tyskland	Semi-Submersible	Demo
GICON SOF	Tyskland	TLP	Demo
Hexicon	Sverige	Semi-Submersible	Demo
Xanthus Energy Ocean Breeze	England	TLP	Demo
DeepCwind VoltturnUS	USA	Semi-Submersible	Pilot
Pelastar	USA/England	TLP	Pilot
Nautica Windpower ATF	USA	TLP	Demo
Windfloat	USA/Portugal	Semi-Submersible	Prototyp
Clear Path Energy	USA	TLP	Demo
Nautilus	Spanien	Semi-Submersible	Demo
Aerodyn Nezyy	China/norge	TLP	Demo

Tabell 4.1. Lista över flytande verk. (IH Cantabria, 2015).

4.2 SeaTwirls delar

Följande avsnitt beskriver möjliga material, utformning och tillverkningsmetoder för de olika delarna.

Mer om material och tillverkningsmetoder kan även läsas i appendix 7.5-7.6.

4.2.1 Flytkropp

SeaTwirl's flytkropp är unik. Därmed finns ingen likadan konstruktion på marknaden att jämföra med. Material och metoder är därmed framtagna genom rekommendationer och undersökning av tänkbara material och metoder.

Liknande konstruktioner - Flytbojar

Byggprojektledare, L. Lidevad (personlig kommunikation, 9 mar 2015) menar att Sjöfartsverket använder två olika typer av bojar till havs, stål alternativt plastbojar, med en höjd på 5, 7 eller 11 meter.

I bojens centrum sträcker sig ett genomgående rör från toppen till botten. I röret finns batterihållaren till lampan, vilken lyser från toppen av bojen.

Stålbojen är uppbyggd med 3-4 rum, så kallade skott, som är svetsat i bojens plåtskal (plåten, av stål, är valsad). I norra Sverige tas bojarna upp var 5-6 år för målning, jämfört med ca 3 år på västkusten.

Deras plastboj däremot, har betydligt mindre underhåll då den tål saltvatten bättre än stålbojen men är dyrare att köpa in.

Bojen är rotationsgjuten i plast och därefter fylld med plastskum, som är insprutad. Detta för att konstruktionen ska flyta trots eventuella hål. Plastskummet som används är EPS. EPS, expanderad cellplast, består av "små kulor" som expanderas med hjälp av vattenånga. Den tillverkade bojen är alltså helt solid med undantag för ett hål där pulvret/"kulorna" förs in och sedan ånga. Efter expansionen pluggas hålet igen.

Möjliga material

- Armerad betong, obehandlad på ytan
- Stål, behandlad yta
- Glasfiber (T.ex för en Offshore drilling risers lösning)

Metoder för flytsäkerhet

- Skott
- Enbart luft
Konstruktionen måste då dimensioneras för att klara säkerhetskrav och marginaler så att hål i flytkroppen inte kan uppkomma.
- Fyllnadsmaterial i tank
Tre föreslagna material med flytande egenskaper är byggskum, plastskum och kulor. Metoden kan även försvåra inspektion inifrån samt högt pris jämfört med att endast ha luft.
- Offshore drilling risers
Designad för att erbjuda en kostnadseffektiv lösning med omedelbar flytkraft där flera olika varianter finns på marknaden.

Konstruktionen, figur 4.1-4.2, bygger på ett skumsystem vilket bland annat används på "hybrid riser toner modules" (Balmoral, u.å.b).

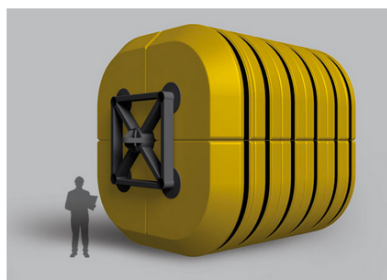


Figur 4.1. Durafloat HT. (Balmoral, u.å.a)



Figur 4.2. HT i fabrik. (Balmoral, u.å.a)

Balmoral's modell BOE MB60, figur 4.3, finns i storlekarna 100-300 ton. De rotationsformade skalen är fyllda med ett elastiskt kärnmaterial. Detta för att ge en långvarig och mer eller mindre underhållsfri konstruktion (Balmoral, u.å.b).



Figur 4.3. Modulär flytkraft, boj-BOE MB60. (Balmoral, u.å.b)

Föreslagen tillverkningsmetod

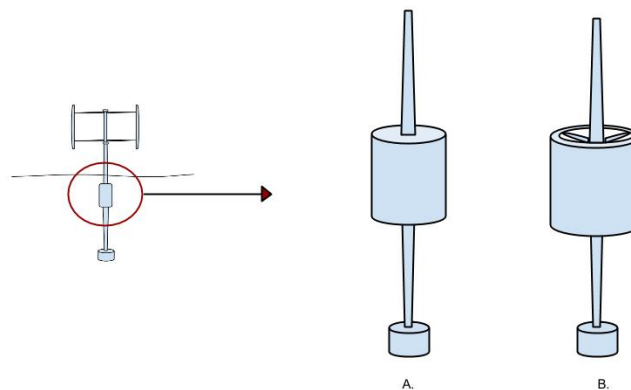
- Gjutning
- Svets
- Offshore drilling risers

Tack vare den stora marknaden inom den marina sektorn så finns det många tillverkande företag inom "risers". Några exempel är; Balmoral, Risersinc och Trelleborg Offshore. Där Trelleborg Offshore redan har varit inblandade i flera flytande vindkraftverk, så som Statoil's Hywind, Windfloat och Fukushima FORWARD (Deasey, J, u.å).

- Spiralvalsning

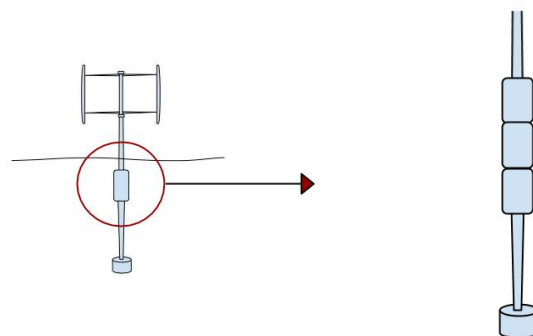
Montering på tornet

På stål- eller betongtorn är det möjligt att montera en extern flytkropp. Två föreslagna varianter enligt A och B, se figur 4.4. Förslag A illustrerar att flytkroppen monteras direkt på tornet och B med en distans. Distansen möjliggör att underhåll och inspektion kan göras mellan torn och flytkropp.



Figur 4.4. Föreslagen montering. Författarens egen bild

Marine drilling risers monteras direkt på tornet, se figur 4.5.



Figur 4.5. Montering, drilling risers. Författarens egen bild

4.2.2 Köl

Liksom ovan beskrivna del, flytkroppen, har inte heller kölen någon helt liknande konstruktion på marknaden att jämföra med. Hur SeaTwirl AB väljer att designa kölen styr vilket material och hur den bör tillverkas. Då detta val ej är gjort visas nedan föreslagna fyllnadsmaterial.

Alternativa material

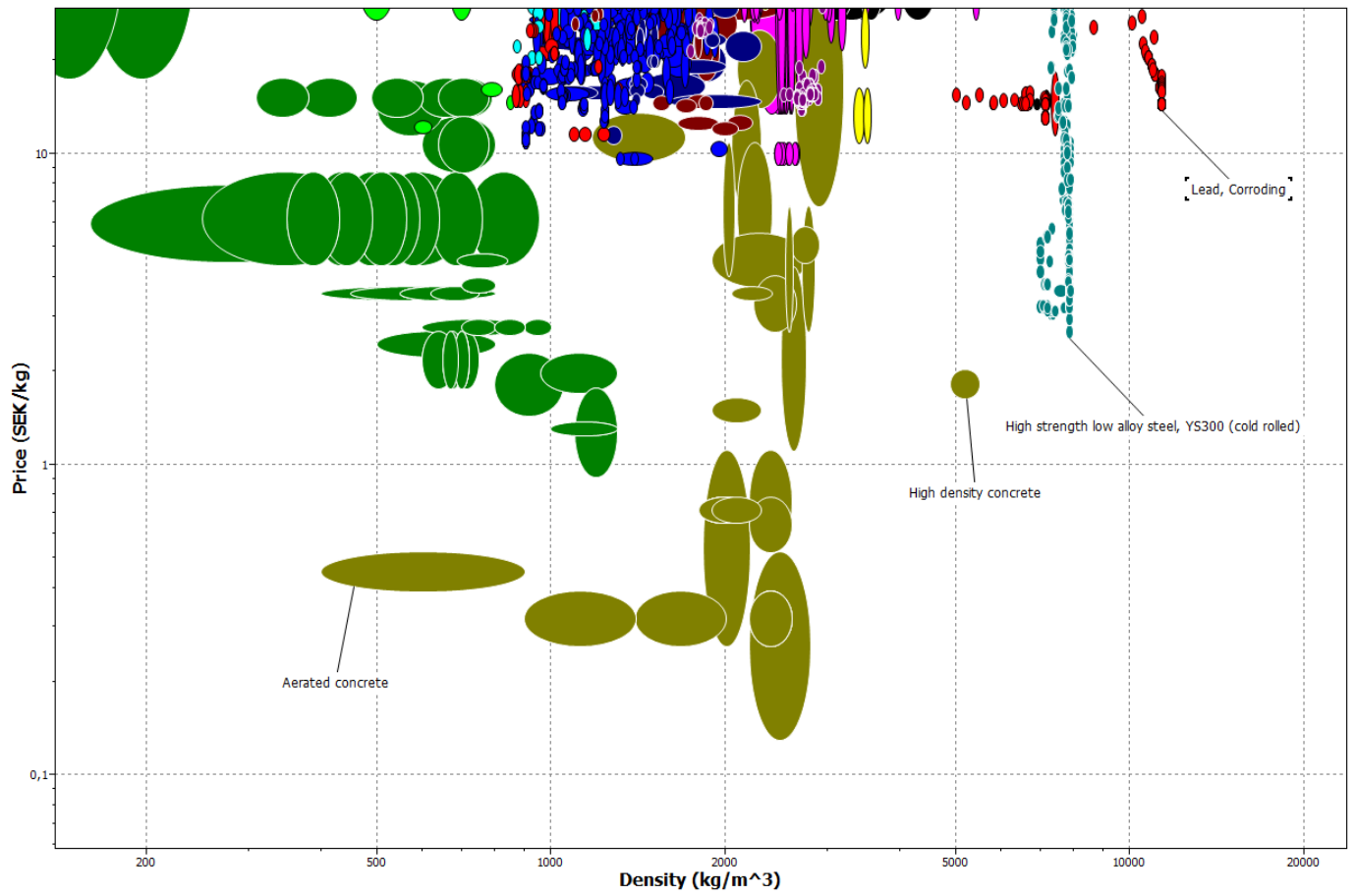
- Tanken
Två föreslagna varianter:
 - Stål
 - Armerad betong
- Fyllnadsmaterial
Fem möjliga varianter:
 - Makadam
 - Vatten
 - Bly
 - Högdensitetsbetong
 - Asfalt

Framtagna genom CES EduPack och givna rekommendationer.

I nedan tabell 4.2 och figur 4.6 redovisas ovan fem nämnda material. Aerated concrete (lättvikts betong) visade sig vara det billigaste i SEK/kg, vilket visas i figur 4.6.

Material	Fördel	Pris	Densitet
Makadam	Kostnadseffektivt	215-1191 kr/ ton (Bergkross 0-32 MM)	1400-1900 kg/m ³
Vatten	Smidigt vid montering då påfyllnaden av vatten kan ske vid sjösättning. Gratis	0	998 kg/m ³
Bly		13,7-15,1 kr/kg	7800 kg/m ³
Högdensitetsbetong	Kostnadseffektivt. På grund av hög densitet krävs en relativt liten yta på tanken.	1,63-2,02 kr/kg	4900-5500 kg/m ³
Asfalt		0,13-0,521 kr/kg	2200-2800 kg/m ³

Tabell 4.2. Föreslagna fyllnadsmaterial. (CES EduPack, 2011)



Figur 4.6. Pris ritad mot densiteten. (CES EduPack of Granta Design)

4.2.3 Vingar

Kapitlet bygger på information kring tillverkning och material från horisontella vindkraftverk. Detta på grund av att information om tillverkning av vingor för vertikala vindkraftverk fortfarande är begränsad.

Material som används idag

Materialvalet för bladen är väldigt viktig då de utsätts för stora påfrestningar på grund av varierande vindkraft både i styrka och riktning. Två viktiga parametrar för materialval är vikt och hållfasthet (Wizelius, T. 2008).

Idag på horisontella landburna verk tillverkas rotorbladen främst av kompositmaterial. Mycket på grund av den hårda, ovan nämnda, påfrestning. Två möjliga typer av kompositmaterial är glasfiber tillsammans med polyester eller epoxi alternativt att glasfiber byts ut mot kolfibrer eller trä (Vasa Energiinstitut(VEI), u.å.).

Fiber

De två vanligaste materialen som används idag är glasfiber och kolfiber. Båda finns i flera olika varianter där egenskaper och pris skiljer dem åt. Den vanligaste typen av glasfiber som används är E-glas. Den har lägst kostnad ca 10-20 kr/kg men något lägre draghållfasthet och styvhet jämfört med den andra typen av glas som betecknas med R, T eller S. R,T,S-glas är i grunden det samma, beteckningarna skiljer beroende på tillverkare. Både E-modulen och brottgränsen är högre och så även priset, 100-200 kr/kg.

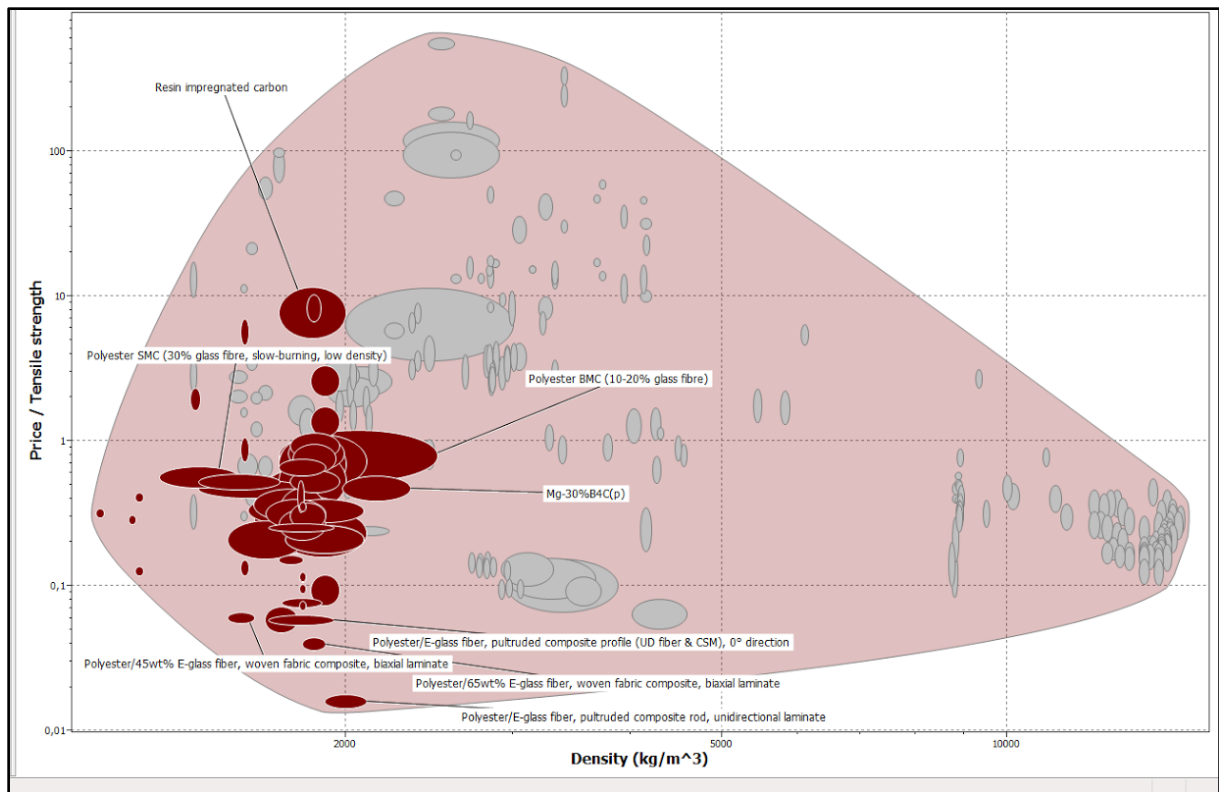
Kolfibers egenskaper beror på hur den har producerats, vid låga temperaturer fås hög styrka och vid höga fås hög styvhet. Dessa betecknas HS för High Strength. Eller HM för High Modulus (Gurit, u.å.a). Jämförelse mellan dessa fibertyper visas i Tabell 4.3

Material	E-modul, GPa	Brottgräns, GPa	Densitet, kg/m ³	Kostnad, USD/kg
E-glas	72,4	2,4	2540	1,1
S-glas	85,5	4,5	2490	22-33
HS kolfiber	253	4,5	1800	66-110
HM kolfiber	520	2,4	1850	220-660

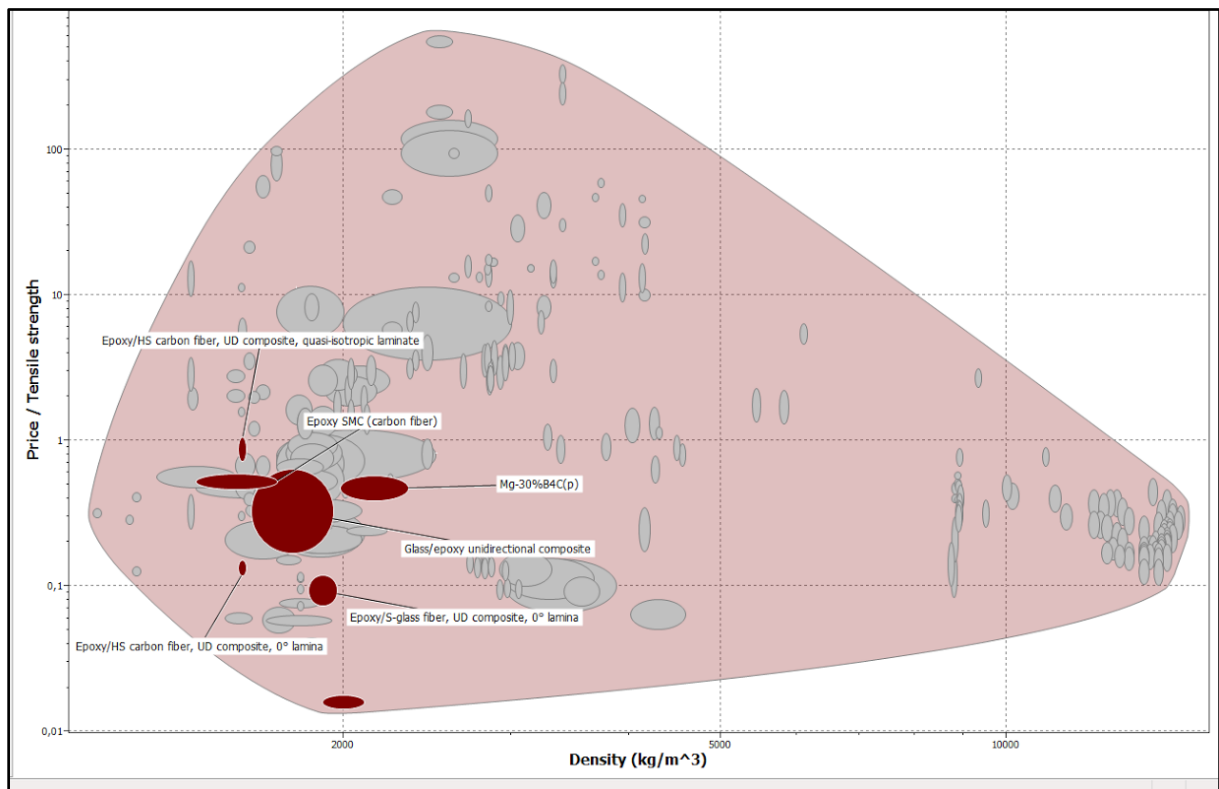
Tabell 4.3. Fiberjämförelse. (Roylance, 2012)

Materialdatabasen CES EduPack 2011Ces

Figur 4.7-4.8 bekräftar varför dagens vindkraftverk endast använder sig av komposit. Glasfiber och kolfiber är det enda två materialen, idag, på marknaden som kan uppfylla kraven för vingor.



Figur 4.7. Pris genom sträckgränsen ritad mot densiteten. (CES EduPack of Granta Design)



Figur 4.8. Pris genom sträckgränsen ritad mot densiteten. (CES EduPack of Granta Design)

Bindemedel

Valet av Bindemedel bestäms av vilka egenskaper som värderas högst. Mekaniska egenskaper, bindningsförmåga, degration av vatteninträngning samt pris. Epoxi är det som används mest då dess egenskaper lämpar sig bättre för vingar. (Gurit, u.å.a). Vissa tillverkare har dock valt att använda polyester istället då kostnaden är lägre. (Lindholm. C-J, personlig kommunikation 27 april 2015).

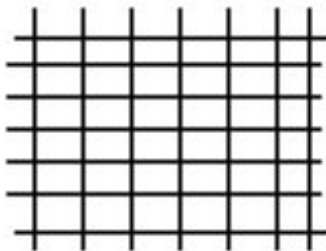
Formen

För att tillverka skalet krävs en form som uppläggningsen kan utföras i. Formen är unik för varje bladform och kan användas flera gånger om (Lindholm. C-J, personlig kommunikation 27 april 2015).

Struktur

- $0/90^\circ$

Forskarassistent, A. Johansson (Personlig kommunikation 25 mars 2015) menar att det är $0/90^\circ$ matta som används i det yttre skiktet vid tillverkningen av bladen. Två av anledningarna till detta är; att ge en snygg yta samt är $0/90^\circ$ en bra metod för att få helheten av vingen att "hålla ihop" som en enhet.



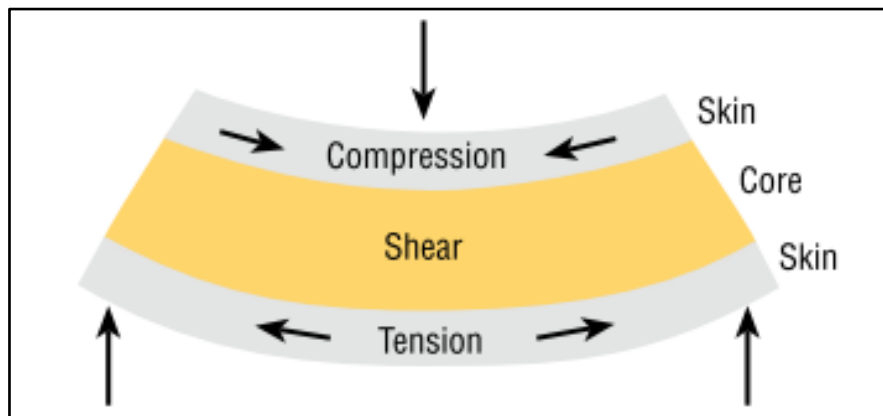
Figur 4.9. 0/90 riktning. Författarens egen bild

- Unidirectional fiber (UD)
UD fiber innebär att en majoritet av fibrerna ligger i en och samma riktning, längs med rullen alternativt tvärs över. Resterande fibrer håller de längdsgående fibrerna raka. Andelen fiber som ligger i längsriktning kan variera, 75-90% av fibrerna beroende på fabrikant.

Skalen

Skalet ger bladet dess aerodynamiska egenskaper. Tjockleken på skalet behöver inte vara mer än några få millimeter. Ett problem som kan uppstå är att bladet bucklas. Detta kan lösas genom att ett distansmaterial läggs in som separerar lagren. Detta ger något som kallas sandwich, resultatet blir att distansmaterialet tar upp skjuvspänningarna medan fibrerna belastas med drag och tryck, se figur 4.10. Kärnan är en typ av skumplast som drar åt sig hartsen under injiceringen. Skalet ger även vingen möjlighet att klara av vridning som uppstår. Då vridning ger skjuvspänningar placeras skalens fibrer diagonalt mot vingens längdriktning (Gurit, u.å.a).

- Sandwich paneler



Figur 4.10. Sandwich. (Gurit, u.å.a)

Materialbehandling & skydd

Det finns inga generella standarder för provning av beläggningsskydd för rotorblad. Dock finns standarder, för provning, som är användbara som riktlinjer. Till exempel finns standarder för både offshorekonstruktioner och de färger och lacker som används för ytskydd på rotorbladen.

Olika standarder kan användas som riktlinjer, bland annat;

- Norsok Standard M-501, "Ytans förbehandling och skyddande beläggning", vilket är en standard som har utvecklats av den norska oljeindustrin.
- Den europeiska standarden ISO 20340 "Färger och lacker - Prestanda och krav på skyddande färgsystem för offshore och relaterade strukturer (Brøndsted & Nijssen, 2013).

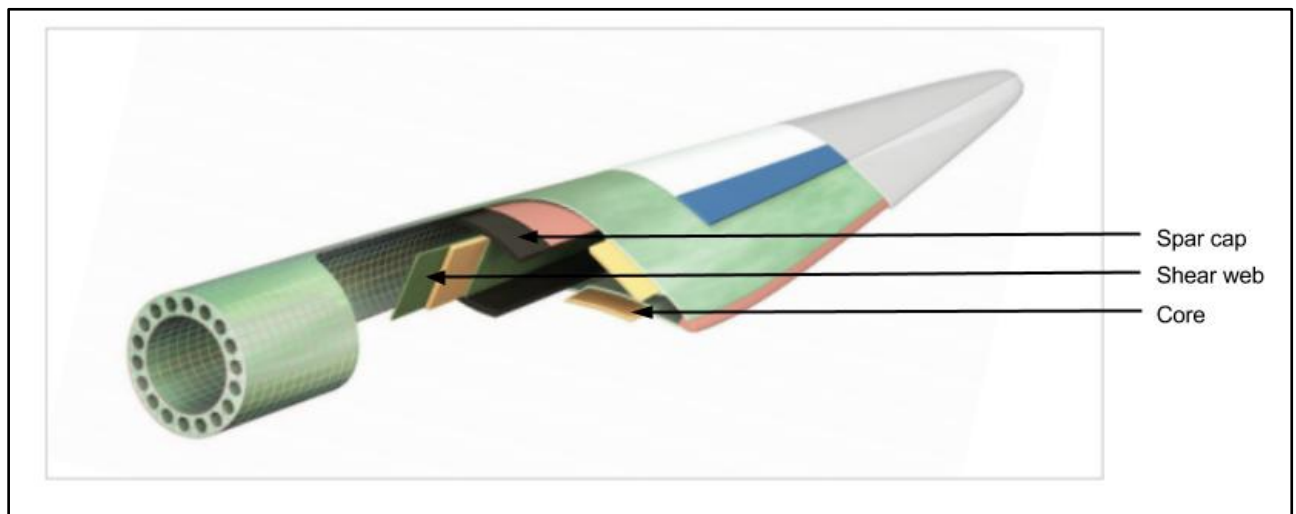
Blixtar tenderar att slå ner i de högsta delarna av turbinen, därför är åskskydd nödvändigt för att undvika skador på bladen och därmed turbinen. Alla åskledaranläggningar, vilket ett verk med åskskydd är, måste följa IEC 61.400-24.

Alla vindkraftverk måste ha ett åskskyddssystem, LPS (Lightning protection system). Skyddsnivån, LPL (Lightning protection level) rekommenderas generellt att vara LPL1, vilket är den högsta skyddsnivån (Brøndsted & Nijssen 2013).

Blad tillverkning och dess uppbyggnad

Ett vindturbinblad består, vanligtvis, av två huvudsakliga delar. Skalet som är delen som fångar vinden samt balken som ger bladet styvhet.

Vingens material och strukturella uppbyggnad varierar i vingen beroende på belastning och formen, vilket illustreras i figur 4.11.



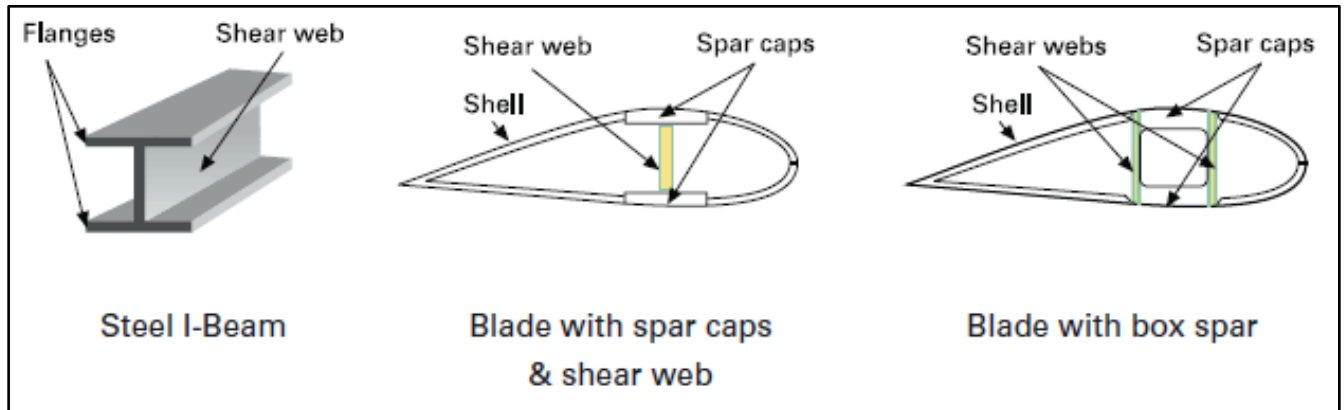
Figur 4.11. Vinge, genomskärning. (Gurit, u.å.b)

Delade vingar

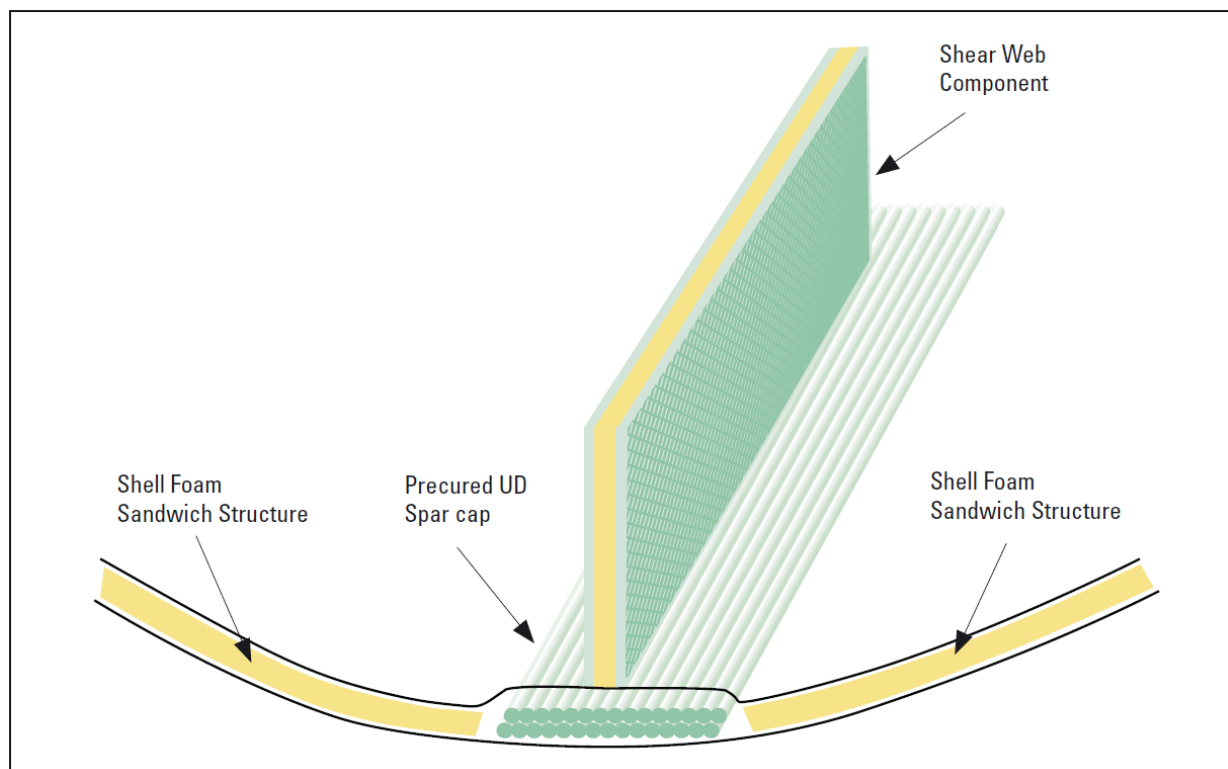
ENERCON är ett företag som tagit fram tvådelade vingar. Det vill säga att rotorbladen tillverkas i två delar för att möjliggöra en processoptimerad produktion och en smidigare samt billigare transport. Den senaste är E-126 EP4 som har en rotordiameter på 127 m, verkets effekt är på 4,2 MW (ENERCON, 2015).

Balken

För att få böjstyvhet i långa blad används en balk. Balken består av en spar cap samt en shear web, se figur 4.12-4.13. Shear webben tar upp skjuvspänningarna som bladet utsätts för samtidigt som sparcapen tar tryck och dragbelastningen.



Figur 4.12. Illustration av en respektive två Shear web. (Gurit, u.å.d)



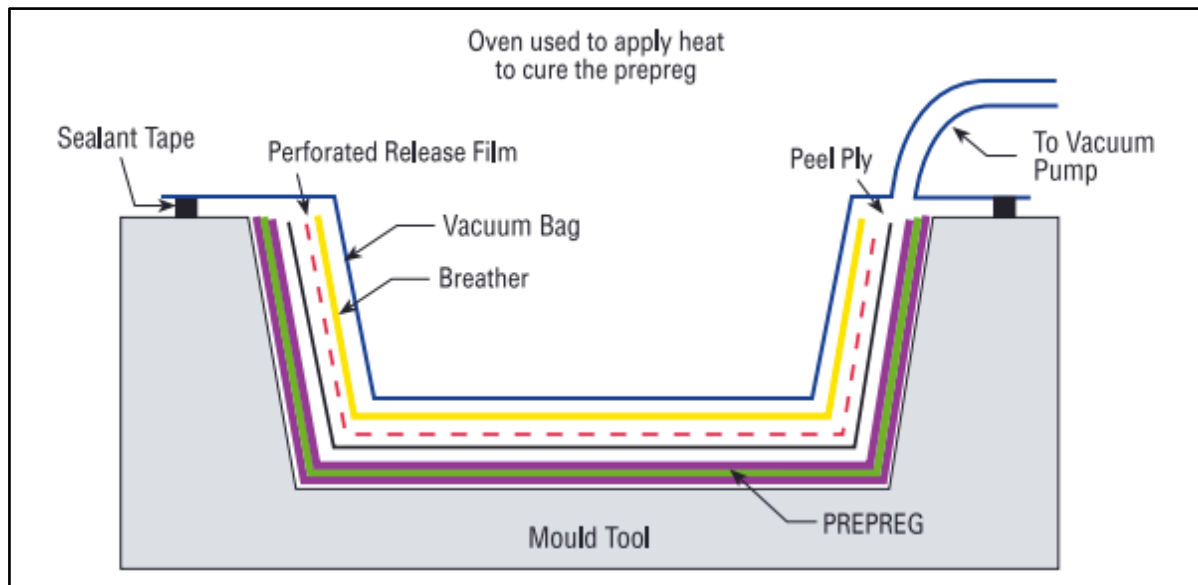
Figur 4.13. Blade Manufacturing Processes. (Gurit, u.å.c)

Tillverkningsmetod

Prepreg och vacuum injicering beskrivs nedan:

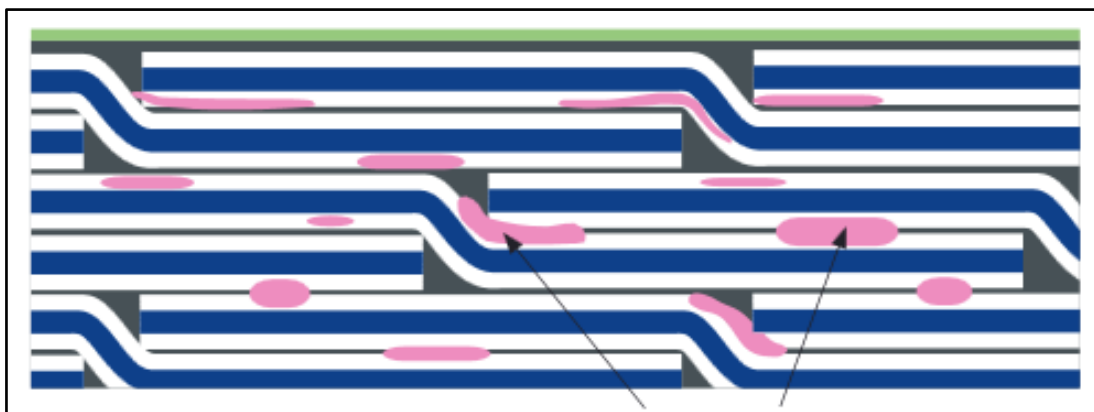
- Prepreg

Prepreg innebär att fibrerna är preparerade med rätt mängd bindemedel från leverantör. Detta minskar mängden harts vid tillverkningen samt underlättar tillverkningen då fördelningen alltid blir jämn. Fibrerna placeras i formen varpå luften sugas ut med hjälp av en kompressor, se figur 4.14. Värme appliceras sedan för att påskynda härdningsprocessen (Gurit, u.å.e).



Figur 4.14. Process för Prepreg. (Gurit, u.å.e)

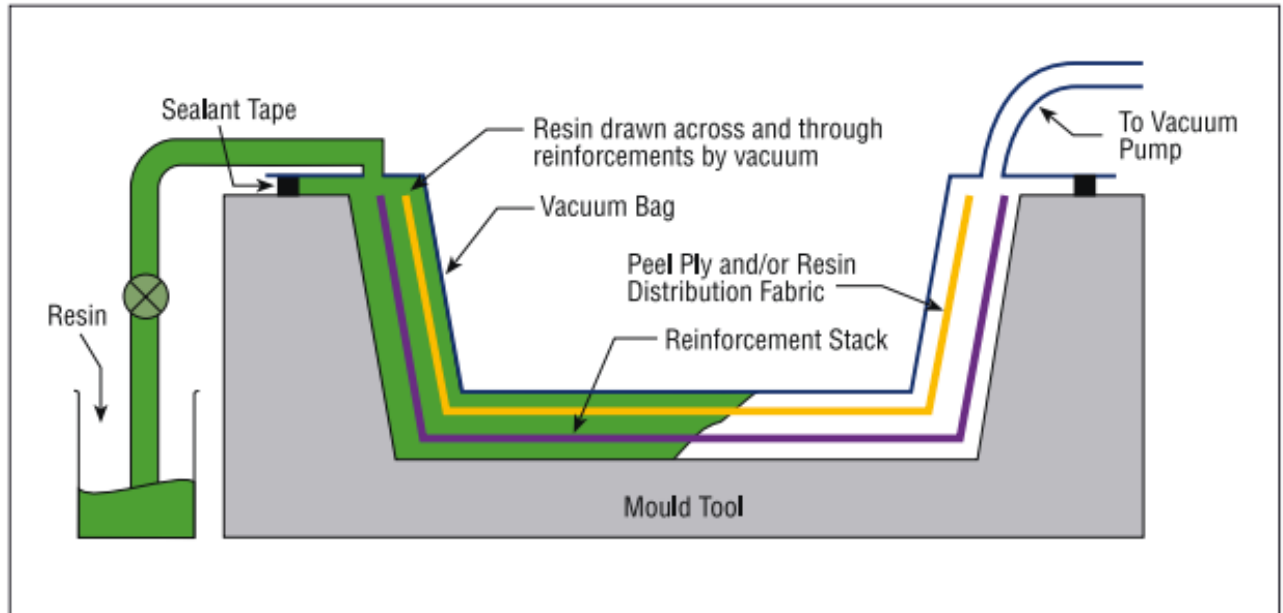
Problem kan dock uppstå om lagren överlappar på ett sådant sätt att luften inte kan ta sig ut. Luftbubblor som blir kvar under värmebehandlingen kapslas in och ger upphov till en lokal försvagning. Detta gör att layupen måste utföras väldigt noggrant. Figur 4.15 visar hur luften kan flöda mellan lagren om layupen utförts korrekt (Gurit, u.å.c).



Figur 4.15. Blade Manufacturing Processes. (Gurit, u.å.c)

- Vakuuminjicering

Fiberväven placeras torrt i formen, luften sugas sedan ut med hjälp av en kompressor. När ett vakuum har uppnåtts sugas bindemedlet in se figur 4.16. Bindemedlet fördelas sedan jämt genom fiberna med hjälp av trycket från inkapslingen. När detta är klart värms formen för att påskynda härdningen. (Gurit, u.å.e).



Figur 4.16. Process för Infusion/vakuuminjecering. (Gurit, u.å.X)

4.2.4 Övre torn

Nedan beskrivs två olika tillverkningsförlopp, vanlig "tillverkning idag" och "Spiral Mill", för SeaTwirls val av stål för övre torn.

Tillverkningen idag -Stål

Här beskrivs tillverkningen av vindkraftstorn i stål.

För att få en snabb och effektiv montering på plats, svetsas sektionerna ihop till en enhet. Vanligtvis 7 till 10 delar. Innan de, koniskt formade delarna, svetsas ihop till ett långt rör inspekteras och testas varje sektion var för sig samt målas.

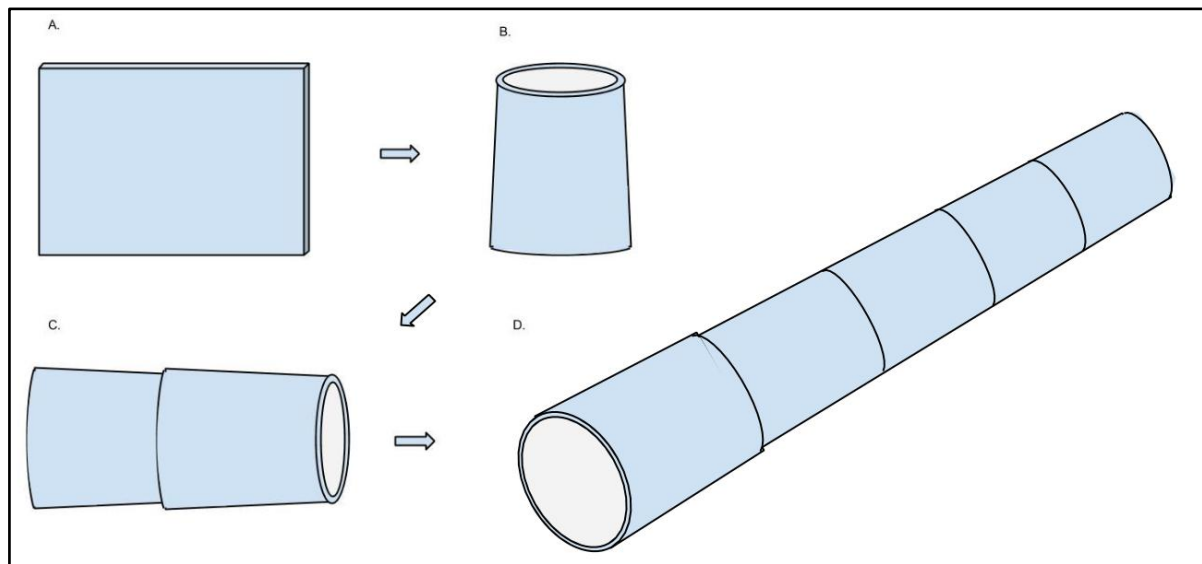
Stålrören tillverkas alltså i flera enskilda tornsektioner som sammanfogas med spänningsreducerade L-flänsar. L-fläns är att rekommendera framför konventionella flänsförband då svetsfogen av L-fläns sker utanför spänningszonen. En så kallad låsring monteras på tornet för att hålla varje, enskild, bult på plats (Enercon, u.å).

Nedan förklaras ett vanligt tillvägagångssätt för ståltorn, se figur 4.17.

A → B : Tillverkning av torn sker genom rundvalsning av plåtar till en svagt konisk cylinder. Cylindern svetsas därefter längdsmässigt från båda sidor.

B → C: Flera cylindrar svetsas ihop till en längre sektion.

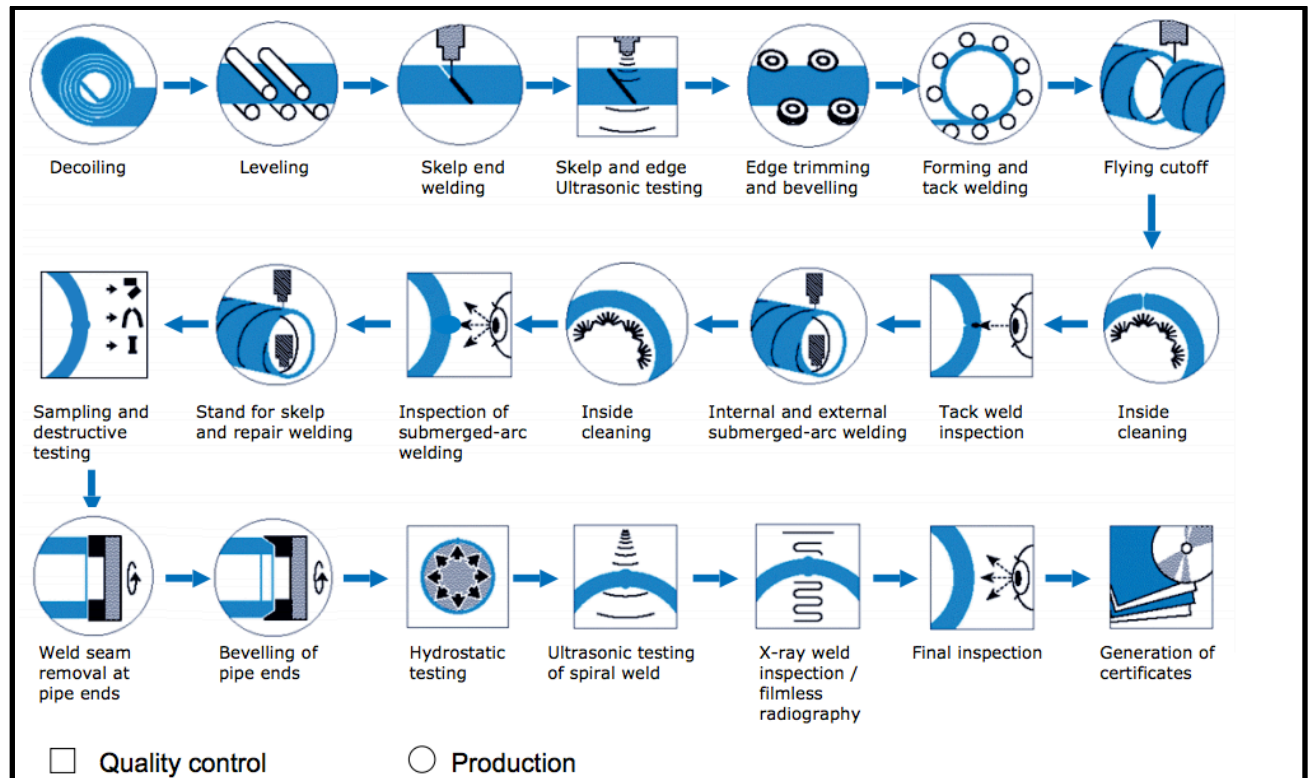
C → D: Flänsar för bultförband fästs på båda sidor som möjliggör smidig installation. (Engineering TV. 2009, maj)



Figur 4.17. Tillverkningsförlopp. Författarens egen bild

Spiral Mill

Spiral Mill är för cylindriska rör, det vill säga ingen metod för tillverkning av koniska rör. Denna metod skulle kunna används för att tillverka den övre delen av tornet. Nedan, i figur 4.18, visas tillverkningsprocessen för Spiral Mill samt beskrivs två tillverkande företag med information om deras maximala tillverkningsdimensioner.



Figur 4.18. Stages of HSAW Pipe Production. (Berg Spiral Pipe Corp, u.å)

- Berg Spiral Pipe
Berg Spiral Pipe's Spiral Mill har en maximal ytterdiameter på 144cm samt en tjocklek på 38cm mer kan läsas på bergspiral.com.
- Byard
Byard's Mill är kapabel att göra rör upp till 4 m i diameter och upp till 25 mm tjock. Deras standardlängd på rören är upp till 20 m, dock kan det byggas upp till 60 m genom att lägga till ytterligare rör. I nära framtid tror dem kunna utvidga diametern till 5m för vindkraftverkstillverkning. Mer om Byard kan läsas på byard-spm.com.

4.2.5 Nedre torn

Avsnittet tar upp olika material och tillverkningsmetoder för nedre torn och liknande konstruktioner att ta kunskap från.

Tillverkningen idag -Stål

Beskrivs i 4.2.2 Övre torn.

Tillverkning idag -Betong

ENERCON betongtorn (landburna och horisontalaxlade) består av separata förtillverkade betongelement med en diameter på upp till 14,5 m. Segment med stora diametrar är tillverkade i två eller tre halvskal, för att kunna garantera transport.

Efter monteringen är det olika segmenten kopplade till varandra som en enda enhet. Detta med hjälp av spända armerings järn som löper centralt i tornets vägg.

Produktionen av de separata förtillverkade segmenten är kvalitetskontrollerade var och en för sig innan monteringen. Den höga tillverkningsprecisionen säkerställs för dessa segment genom specialtillverkade stålformar med mycket små toleranser. För att säkerhetsställa kvalitén på betongen kontrolleras även denna genom materialprovning.

Segmenten transporteras till byggplatsen och väl där monteras.

Fogarna mellan de enskilda tornsegmenten är försedda med en speciell epoxi för att överföra tryckkrafter jämnt från segment till segment. Inne i det sammansatta segmentet, dvs tornet, kopplas förspänningsmaterialet samman med fundamentet.

Efter förspänningen fylls gapet mellan förspänningsmaterialet och rören med fogmassa för att skydda materialet mot korrosion på lång sikt (Enercon. u, å).

En vanlig armering som används i dag vid betongfundament för vattenburna vindkraftverk är slakarmering. Förspänd är en armering som lämpar sig till vindkraftstorn, tillverkade av betong (Ekström, T. Janz, M. 2002)

Liknande konstruktioner -Bropelare/Tunnlar

Projektchef NCC Nilsson, R. (personlig kommunikation 23 april) berättar att betong baserad på anläggningcement samt luftsporbildande och vattenreducerande tillsatsmedel används vanligtvis vid bygge av tunnlar och bro/bropelare. Nilsson berättar att gjutningen utförs med en maximal stighöjd på 0,5m/tim för att få en tät och sprickfri betong.

Vad gäller underhåll och behandling så menar Nilsson att det normalt inte behövs något mer än att man spolat av exempelvis broar en gång/år. På grund av att betong mår bra av att hållas rena från klorider och stående vatten. Pelarna under vattenytan behandlas inte.

Enligt Nilsson förekommer det ibland att NCC förspänner armeringen. Mest aktuellt där man vill komma åt slanka konstruktioner med relativt långa spännvidder.

Armerad/fiberförstärkt betong

Tillverkning genom att gjuta av betong. Krävs armerad betong, alternativt fiberarmerad, för att klara av de dragkrafter som i verket kommer uppkommer.

Stora konstruktioner av betong har sedan lång tid gjorts. Därav ligger inte problemet i om det går att tillverka så pass stora delar, som till vindkraftverk, utan hur man tillverkar för att den armerade betongen ska hålla.

Armerad betong i marin miljö utsätts för flera typer av nedbrytningsmekanismer. Frost, urlakning, armeringskorrosion, mekanisk nötning på grund av islast och saltangrepp är några exempel på detta. Felaktigt val av delmaterialen, samt proportioner, till betongen är också en av orsakerna som kan leda till att nedbrytningsmekanismer kan uppstå. (Ekström, T. Janz, M. 2002).

Den svenska och europeiska betongstandarden SS-EN 206-1 är ett sätt för klassificering för betongkonstruktioner. Exponeringsklassen som konstruktionen får beror på orsaken till angreppet, till exempel orsaken till varför korrosion uppkommer. På en och samma konstruktionsdel får det dock inte förekomma mer än tre olika klasser. Havsbaserade vindkraftverk hamnar i två exponeringsklasser, enligt SS-EN 206-1 för ”Betong i marin undervattensmiljö”. Nämligen XS2 och XS3/XF4, där den förstnämnda står för ”havsvatten utan frost och ständigt under vatten” och den sistnämnda för ”havsvatten med frost i skvalp- och stänkzonen”.

En av fördelarna med betongstandarden är att exponeringsklasserna är mer sammanhängande med nedbrytningsmekanismerna. Detta medför och möjliggör i sin tur ett mer exakt val av materialkvalitet (Ekström, T. Janz, M. 2002).

För- och nackdelar med betong i denna del:

-Tyngd

+Betongen är underhållsfri

+Lägre materialkostnad

4.3 Vad intervjuobjekten anser om SeaTwirls konstruktionsval

Kapitlet baseras på erfarenheter från andra branscher och liknande konstruktioner.

4.3.1 Betong vs stål för tornet

Forskarassistent, R. Rempling (personlig kommunikation, 10 mars 2015) menar att det i teorin är fullt möjligt att använda sig av betong i tornet. Att man genom spännarmering kan uppnå en konstruktion som klarar dragkrafterna. Viktig aspekt är att välja rätt betong och armering. För att kontrollera sprickor rekommenderar han fiberarmerad betong, då detta ger många men små sprickor vilket är bättre. Dock anser han att betong inte är ett koncept på lång sikt på grund av den höga vikten högt upp i konstruktionen. Han tror att betong kommer att bli utkonkurrerad av material som stål och kompositer. En stark fördel med betong, förutom priset, är att efter tillverkning behöver inte materialet behandlas utan klarar av havets påfrestningar. Till skillnad från stål, som har en stor utmaning med att klara havsklimatet. Vanligaste metoden idag av behandling är att man målar. Finns ingen stålkonstruktion idag som kan klara av att vistas i vattnet i 25år utan underhåll.

Skillnaden på armerad betong och stål, för tornet, är konstruktionsmässigt inte så stor menar biträdande professor, L. Tang (personlig kommunikation 27 mars 2015). I fallet med armerad betong kommer armeringsjärnen behöva ligga relativt tätt, för att klara de uppkomna dragkrafter och vridmoment. Den klart stora fördelen med betong är däremot att betongskiktet, som kommer vara utanför armeringen, blir ett otroligt starkt ytskikt som inte behöver underhåll. Armeringen står för hållfastheten och betongen som ett skydd för denne. Det blir betongens kvalitet som avgör tätskiktets storlek (betongtjockleken utanför armeringen). SeaTwirls vindkraftverk kommer behöva en så pass bra kvalitet, menar Tang, att denna betong kommer vara så tät och bra att inget mer skydd eller behandling av betongens ytskikt kommer behövas.

Vad gäller klimatet vindkraftverket ska klara så är, även här, Tang positiv. Vid en bra betong ska nötning från vågor och frostbildning inte vara något problem. Tidigare har betong haft problem med frost men Tang menar att dagens betong och den kvalitén och tätheten som kommer väljas för verket kommer att klara frost. Ytfinheten för en betong som den aktuella kommer även ha en så pass fin yta att lagbildning (och annan påverkan från havets växtlighet) kommer innebära en relativ enkel rengöring. En annan styrka med betong är dess egenskaper att inte påverkas av UV-ljus.

Universitetslektor P. Hogström (personlig kommunikation 12 mars 2015) skulle, ur hans erfarenhet, rekommendera att tillverka hela tornet med dess påläggande delar, av stål. Dvs tornet, flytkroppen och kölen.

Master Mariner Heribertsson, M. (personlig kommunikation 23 april 2015) från GVA menar att det inte är något problem att göra av tornet stål om man behandlar det rätt. Heribertsson menar att man bör använda samma metod som på oljeriggarna, det vill säga i tre steg, nämligen målning, coating och anodskydd. Han beskriver att anoder används mot galvaniska strömmar samt att det inte är något problem med korrosion förrän anoden går sönder.

4.3.2 Kostnadsläge

Tang anser att skillnaden i kostnad, för material och tillverkning, är mindre för armerad betong jämförande med stål för tornet. Även på verkets totala livslängd vinner armerad betong, då vid detta fall underhållsbiten kommer in som en stor aspekt. Vid val av betong klarar verket en livslängd på 25 år utan underhåll, medan stål behöver underhåll cirka vart fjärde år. Målningsbehandlingen kostar hundratals kronor per m² (Tang, L, personlig kommunikation 27 mars 2015).

4.3.3 Mix av betong och stål

Enligt Rempling är det inga problem att göra en konstruktion med ståltorn och betongflytkropp. Varken problem med att tillverka en så pass stor flytkropp som SeaTwirl's tänkta på 30 m eller att montera denna på ståltornet. Då tillverkade torn i stort sätt alltid levereras med ankarring.

En annan metod han anser kommer fungera är en betong flytkropp men med ett skal från stål (Rempling, R personlig kommunikation, 10 mars 2015).

Vad gällande tornets tänkta design med ett homogent, ihålligt torn och en extern flytkropp utanpå är Tang positiv till, han ser inga problem med att lyckas med en sådan tillverkning. Betong fungerar bra ihop med stål medan att blanda två metaller kan ge stora problem. Därav inga problem, som Tang ser det, att övre torn (delen över vattnet) blir av stål medan nedre torn (under vattnet) kan tänkas bli av armerad betong (Tang, L, personlig kommunikation 27 mars 2015).

4.3.4 Fiberarmerad betong

Fiberarmerad betong är ytterligare en aktuell variant. Dock ser Tang här en eventuell nackdel jämfört med enbart armerad betong. Används armering tillsammans med metallfibrer kan galvaniska strömmar uppstå, vilket kan försvaga konstruktionen över tid på grund av korrosion. Fördel vid val av fiberarmerad betong är hållfastheten vid bland annat vridmoment, risken för sprickbildning minskar nämligen med fiberarmering. Det vill säga, för att undvika små sprickor på ytan kan man använda/blanda in fiber men enligt Tang är det, i detta fall, att överdimensionera. Mer aktuellt vid en livslängd upp emot 100år. Fibrerna som Tang anser är

relevanta är polymerfiber alternativt stålfiber, dock är stålfiber ett bättre val enligt honom då det är mycket starkare (Tang. L, personlig kommunikation 27 mars 2015).

4.3.5 Tillverkning

Vad gällande tillverkningen tror Tang på att gjuta tornet i en polymerform. Då detta ger bättre resultat än i en metallform.

En tänkt metod för tillverkning skulle också kunna vara att man tillverkar ett betongskal som man sedan ute i vattnet fyller med betongen. En lösning som kan bli aktuell för tornet är att tillverka i flera segment och därmed på plats sammanfoga delarna, exempelvis med en gjuten stålring. Denna metod används även när man gjuter sektioner för vägtunnlar men då med så kallade gummiringar (Tang. L, personlig kommunikation 27 mars 2015)

Hogström anser, angående tillverkningsmetoden, att det är vakuumbakning som gäller för vingarna eftersom metoden är lämplig för stora komponenter. Han ser inte formsprutning som ett alternativ då det inte klarar så pass stora delar som bladen kommer att bli (P. Hogström, personlig kommunikation 12 mars 2015).

4.3.6 Transport

Ett av de största problemen som Tang ser det är transport och montering. Sektionerna för tornet med betong kan komma att bli för tunga för transport, därför rekommenderar han tillverkning vid eller på plats. Det finns många exempel, t.ex av broar, på lyckad tillverkning på plats. Även här ser han en fördel med betong framför ett torn av stål, då stål kräver en mer klassisk tillverkning i fabrik (Tang. L, personlig kommunikation 27 mars 2015).

4.3.7 Flytkroppen

Man måste ha en form av säkerhetsåtgärd i flytkroppen men skulle inte rekommendera skum utan att använda sig av skott. En av anledningarna till att han inte tror på skum som fyllning är att skum kan försvåra underhållet samt är tveksam till om skummet lever upp till den livslängd verket har som krav (Hogström. P, personlig kommunikation 12 mars 2015)

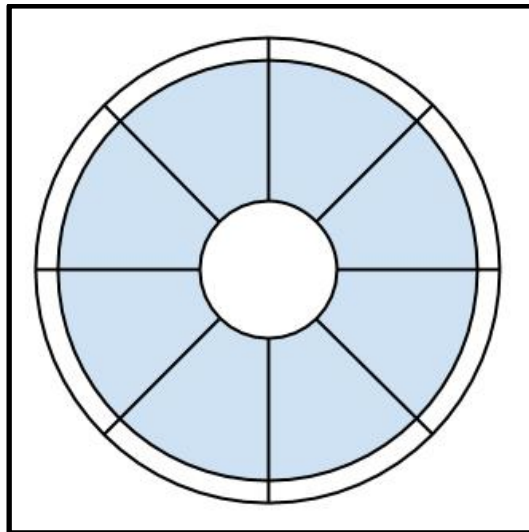
Heribertsson beskriver en typ av frigolit, så kallad "marine drilling risers" som skulle kunna användas som flytkropp. Istället för att ha en flyttank med fyllningsmaterial menar Heribertsson att man istället kan satsa på ett flytelement, av marine drilling risers, på utsidan av tornet. Detta skulle bland annat underlätta inspektionen. Mer information om finnes på www.risersinc.com och www.balmoral-group.com.

Påväxt av alger är svårt att undvika helt menar Heribertsson samtidigt som han pointerar att påväxt sker vid stillaliggande föremål. Han berättar att det finns en ungefärlig gräns på 2 knop, över detta och det sker ingen påväxt (Heribertsson, M. personlig kommunikation 23 april 2015).

4.3.8 Köl

Vad gäller kölen föreslår Heribertsson att tillverka den som en fast ballast. Fördelen med detta är att om man gör den till en "cementkropp" kommer man ifrån att inspektera inifrån (Heribertsson, M. personlig kommunikation 23 april 2015).

Skalet kan vara av stål men att man därefter sprutar in betong (armering behövs ej här). Han pointerar även här att man inte får missa att tänka på underhållsbiten, så hela kölen kan inte fyllas utan ett förslag skulle kunna vara enligt figur 4.23 där alltså kölen är designad med fack och varje fack är fylld med betong men ej utrymmet runt facken. Ett annat förslag han anser skulle fungera är att fylla facken med makadam (grus), vilket är ett billigt och relativt enkel metod. En tredje variant är att fylla rummen med vatten. Billigt och enkelt samt vid denna metod behöver man inte ha "tomma cirkeln" i figur 4.19 för att kunna utföra underhåll. Utan kan istället tömma ett rum i taget och utföra de kontrolleringar och underhåll som krävs (Hogström, P, personlig kommunikation 12 mars 2015).



Figur 4.19. Design för att utföra underhåll. Författarens egen bild

4.4 Eventuella & existerande problem

I kapitlet exemplifieras olika problem för de olika delarna i verket.

4.4.1 Utmattning & klimatrelaterade problem

Vinge

Idag är det inga problem att tillverka en vinge för att klara av den hållfasthet som krävs utan att begränsningen uppkommer i utmattningsymptom. (Konsult S. Törnblom, personlig kommunikation, 19 feb 2015)

Universitetslektor P. Hogström (personlig kommunikation 12 mars 2015) menar att om verket vistas i saltvatten finns nackdelen med att saltvattnet kommer lägga sig som ett saltspray över vingarna. Vilket ger en konstant saltbeläggning. En fråga som här måste utredas, enligt Hogström, är hur vingarna och dess kompositmaterial klarar denna extrema, och eventuellt ojämna, belastning.

Temagruppledare för "kallt klimat" Aidanpää, J-O (Personlig kommunikation 12 mars) från SWPTC (Swedish Wind Power Technology Center) menar att det finns två vanliga metoder för att hantera is på vingbladen. Första varianten, som främst används vid lättare istäcke, är att man i bladen installerar en varmluftsfläkt. Där is motverkas genom att "blåsa ut" varmluft i varje blad. Den andra vanliga metoden, som är lämplig vid tuffare klimat, hindrar isbildning genom att kolfiberlaminatväv är ingjuten i bladen, vilken leder el och på det sättet värmer upp bladen. Aidanpää menar att dessa två metoder är likvärdiga i pris. Däremot är metod nummer två effektivare men också känsligare, till exempel mot åsknedslag.

Sol och salt är enligt Aidanpää inga egentliga problem för vingbladen. Utan det man ska akta sig för, med kompositmaterial, är erosionsskador. Saltet gör ingen skada så länge det inte finns några skador i materialet, så det är viktigt menar Aidanpää att under transporten se till att vingbladen håller sig oskadda samt att genomgå regelbundna kontroller av bladen.

Forskarassistent, A. Johansson (Personlig kommunikation 25 mars 2015) bedriver forskning bland annat för vindkraftscentrat SWPTC. Där han nu arbetar med ett forskningsprojekt som ska testa vingblad gjort helt av kolfiber, vilket inte finns på marknaden idag. Fördelarna de ser med kolfiber, bortsett från att det är mycket starkare än glasfiber, är att forskningsgruppen hoppas på en mycket friare design. Två nackdelar som han ser, bortsett från priset, är två potentiella svårigheter. Dels ökade dämpnings effekter och dels eventuella risker med att kolfiber är en mycket bra strömledare. Finns alltså risk för att förlora en del av dämpning om man går över från glasfiber. Dock tror man enligt Johansson att strukturell dämpning i bladen kan kompensera för detta. Att kolfiber leder ström bättre kan bli en stor utmaning vad gällande åsknedslag menar Johansson. Risken för att åskan någon gång under

vindkraftverkets ca 25 år slår ner, är stor. Finns redan idag åskledningssystem som förväntas fungera även för kolfiberblad. Dessa system leder strömmen bort från de dyra delarna det vill säga bland annat generatoren och lager, tanken är att det vid åsknedslag då räcker att endast byta ut vingen och att de "dyra delarna" ska klara sig.

Torn

En del utmattningsrelaterade problem med stål som materialval på tornet finns, speciellt runt navet/generatoren och två typer av belastning uppkommer enligt Hogström. Dels en cyklisk på grund av att den snurrar och dels en från vågor. Lägg dessa två ihop får man en väldigt hög belastning. Dessutom måste konstruktionen klara av pikar (lastpik), (Hogström. P personlig kommunikation 12 mars 2015).

Delar vid vattenytan och under

Påväxt från alger kan komma att bli ett problem enligt Hogström. Han berättar att man måste ta ställning till hur delarna under vattnet ska rengöras för algerna, finns t.ex robotar som kan utföra rengöringar likt vad som kommer behövas. Det andra alternativet är att tillåta alger och att istället dimensionera för detta. Alltså att dimensionera flytkroppen för 25 års påväxt.

Ett annat allvarligt problem är att om verket befinner sig där tillräckligt stora istäcken existerar, då dessa kan dra med hela verket. På grund av nämnd anledning samt den nötning is innebär vid ytan skulle han inte rekommendera att ha verket där is finns (Hogström. P personlig kommunikation 12 mars 2015).

I marin miljö utsätts armerad betong för flera nedbrytningsmekanismer. Frost, mekanisk nötning (på grund av islast), armeringskorrosion (på grund av klorider), urladdning och saltangrepp är exempel på några av de nedbrytningsmekanismer som uppkommer. Felaktigt val av delmaterialen till betongen är också en av orsakerna som kan leda till att nedbrytningsmekanismer kan uppstå

De olika nedbrytningsmekanismerna sker/kan ske på olika ställen, t.ex så kan frost inte förekomma på undervattenskonstruktioner och nötning av is förekommer endast vid vattenytan (Ekström, T. Janz, M. 2002)

4.4.2 Underhåll

En del som kan komma att bli ett problem är hur man löser underhållsbiten. Enligt Hogström måste fartyg av stålskrov tas upp var tredje år för målning. Plattformer däremot tas inte upp men underhålls på plats. Eftersom tanken med SeaTwirls kraftverk är att detta ej ska tas upp är frågan hur man löser underhållsbiten och inspektioner. Detta kommer alltså vara tvunget att göras på plats och med all sannolikhet inifrån. Några exempel på inspektioner som kommer behöva utföras, inifrån, är tjockleksmätningar och sprickkontrollering. Mätverktygen som används vid nämnda kontroller mäter ljudimpulser och kan se kvalitén på stålet.

Att man dessutom måste kunna "komma ombord" är ett krav på en produkt som denna. Finns olika klassningssällskap exempelvis DNV som är ett oberoende klassningssällskap. Hogström berättar att en klassning är tvunget om man t.ex ska kunna försäkra verket, vilket kommer behövas (Hogström. P personlig kommunikation 12 mars 2015).

4.4.3 Vind & temperatur

Finns mycket framtagna forskning vad gällande vilka temperaturer vindkraftsverken ska vara dimensionerade mot. För ett HLV måste ett vindkraftverk kunna vara verksamma, enligt IEC standarder, inom temperaturområdet -10C till +40C. Dock har europeiska vindkraftstillverkare lyckats utveckla vindkraftverk för klimat som ska passa bättre in i Europa och då klara lägre temperaturer (Medvind, u.å).

En ovanlig vindkraftskada i Strömsund uppkom efter en blåsig helg i januari 2015. Två av tre vingor skadades. Detta trots att vindkraftverken, enligt experterna, ska klara kraftiga blåsväder. Företaget Nordisk Vindkraft menar att skadan är unik och en utredning om orsak pågår (Vindkrafts Nyheter, 2015)

4.5 Marknadens priser

I kapitlet beskrivs kostnadsjämförelser samt fördelningen mellan de olika delarna i verket.

4.5.1 Kostnadsfördelning

Kostnadsfördelning av komponenter för horisontella verk redovisas i tabell 4.4.

	Kostnadsfördelning av totala kostnaden	Ingående komponenter	Kostnadsfördelning av ingående komponenter
Vindturbin	44 %	Nacelle Blades Gearbox Generator Controller Rotor hub Transformer Tower Other	2 % 20 % 15 % 4 % 10 % 5 % 4 % 25 % 15 %
Fundament	16 %	-	-
Nät-/kabelanslutning	17 %	Small array cable Large array cable Substation Export cable	4 % 11 % 50 % 36 %
Installation	13 %	Turbine installation Foundation installation Electrical installation	20 % 50 % 30 %
Planering och utveckling	10 %	-	-
Total	100 %		

Tabell 4.4. Kostnadsfördelning- komponenter. (Westwood, D. 2010)

Vindkraftverkets delar

Nedan beskrivs kostnadsläget för torn, vindturbin, vingar och fundament.

- **Torn:**
En viktig del av vindkraftverk kostnaden. De flesta är valsat stål och därmed drivs kostnaderna av stålpriserna.
Med faktorer som t.ex ökad konkurrens tror man att tornkostnaderna kan sjunka med 15 %-20 % fram till 2030 (Gielen. D, 2012 June).
- **Vindturbinen:**
Den största kostnaden för havsbaserad, horisontellt, vindkraft är fortfarande vindturbinen. Kostnaden beräknas till 44 % av den totala kapitalkostnaden av verket (Gielen. D, 2012 June).
- **Vingar:**
Vingarna kan stå för omkring en femtedel av vindkraftverket.
Även om den höga kostnaden för kolfiber är ett problem, tror man att mer inblandning av kolfiber är en viktig aspekt för att minimera vikten. Minskad vikt som i sin tur minimerar kostnad och förbättrar effektiviteten. Bortsett från vikten så är utformningen av bladdesignen en viktig faktor för att få förbättrad produktionseffektivitet. Man tror på en möjlig kostnadsreduktion på 10 %-20 % till 2020 (Gielen. D, 2012 June).

Lindholm, C-J (personlig kommunikation 27 april 2015) från DIAB menar att en form för blad kostar omkring 3000-5000 m² i kompositmaterial. Formarna är unika för varje blad, dock kan flera 1000 blad tillverkas per form. För kostnadseffektiva blad menar Lindholm att tre viktiga faktorer är; produktionsanpassning, optimerat materialval och symmetriska blad.

Beroende på val av företag fungerar tillverkningen och prissättningen olika. Inköpsansvarige E. Kullgren, Elitkomposit AB (Personlig kommunikation 21 april 2015) bekräftar detta och beskriver att priset beror på många faktorer. Tillexempel om beställaren eller tillverkaren äger verktyget och vilka laster konstruktioner ska klara. Elitkomposit arbetar oftast så att de utför tillverkningen medan kunden äger verktyget. Efter tillverkningen får beställaren själv välja om verktyget förflyttas för egen tillverkning eller om samarbetet med Elitkomposit fortsätter även inför nästa tillverkning.

En metod som Kullgren menar att Elitkomposit ofta använder sig av för att leverera ett ungefärligt pris till kunden är genom en skalkonstruktion i aluminium. Den intresserade beställaren lämnar alltså en modell i aluminium för att Elitkomposit får rimliga värden på vilken tjocklek som kommer krävas, vid olika ställen på bladet, beroende på den varierande belastningen som kommer ske.

Då mängden material kommer påverkas av hur stark konstruktionen behöva vara är det alltså som ovan beskrivet svårt med en ungefärlig kostnadsuppskattning. Nedan i punkt 4.5.5 följer prisuppgifter från Elitkomposit, som känt är ofta glasfiber en faktor på minst 10 billigare än kolfiber. Dock pointerar Kullgren att i slutändan blir det ofta närmare faktor 2-3 i skillnad då kolfiber är starkare och det inte behövs lika många lager med fiber.

- **Fundament:**
För havsbaserade vindkraftverk, dock ej flytande, brukar kostnaden för fundamenten ligga runt 20 % av total anläggningskostnad (Ekström, T. Janz, M. 2002).
Detta är en kostnad man med flytande vindkraftverk inte har. Vid flytande tillkommer istället kostnad för vajrar och ankare som håller verket på plats.

4.5.2 Kostnadsförändring

Senaste analysen, för Storbritannien, tyder på att kostnaden för landbaserad vindkraft kan bli 12 % lägre (för en park med tillhörande kostnader som installation, utveckling mm) till 2020 och 23 % lägre till 2040, än det var under 2011. Vindkraftverket beräknas i sin tur bli 15 % billigare till 2020 och 28 % billigare till 2040. Det största kostnadsbesparingarna för verket kommer från fyra områden nedan;

- **Tornet:**
Kan komma ner med 15 % till 20 % fram till 2030. Detta bland annat genom ökad konkurrens, integrering av lättviktsmaterial och genom mer fördelaktig lokaliseringen av tillverkare.
- **Vingarna:**
Kan ofta stå för en femtedel av verkets totala kostnad, därför en stor andel av kostnaden att försöka minska. Kostnadsbesparingar på 10 % till 20 % uppskattas vara möjlig fram till 2020. Detta bland annat genom viktminimering och förbättrad vingdesign.
- **Växellådor:**
Stort fokus för växellådor är att förbättra tillförlitlighet och minska kostnaderna. Målet är på att minimera kostnaderna med 15 % fram till 2020.
- **Övriga komponenter:**
Komponenter som generatoren, styrsystem, transformatorer och effektomvandlare samt diverse andra komponenter har stora möjligheter till genom ökad tillverknings effektivitet. Troliga kostnadsminskningar på upp mot 10 % till 15 % fram till 2020 (Gielen. D, 2012 June).

4.5.3 Havsbaserade jämfört med landbaserade

En stor utmaning ligger i priset. Då ett större avstånd till land innebär höjda kostnader i alla led. Allt från turbiner och fundament till elnätsanslutning, drift och underhållskostnader får ett högre pris jämfört med landbaserad vindkraft.

Under perioden 2009–2013 har produktionskostnaderna för havsbaserad vindkraft ökat med 17 % räknat i svenska kronor, medan produktionskostnaderna för landbaserad vindkraft minskat med 30 %.

En av de största anledningarna till detta är att investeringskostnaderna för vindkraftprojekt har ökat. Detta, i sin tur, beror på att det flesta parker idag har ett större avstånd till land än det tidigare haft. Den längre sträckan genererar i höjda kostnader i många delar så som både turbiner, underhållskostnader och elanslutning.

Den genomsnittliga globala produktionskostnaden för havsbaserad vindkraft uppgår till 137 öre/kWh medan den landbaserade vindkraften ligger på 55 öre/kWh. Således en mer än dubbelt så hög kostnad för den för landbaserade vindkraften. (Stenkvist & Westin, 2014).

Enligt beräkningar av Douglas-Westwood, är den nuvarande kapitalkostnaden för havsbaserad vindkraft (för en typisk placering i grunt vatten och halvnära strandvillkor) nästan 2,5 gånger högre än landbaserad vindkraft. Den högre kostnaden är bland annat på grund av kabelläggning till havs, transporten (till verket ut i vattnet) av material/komponenter samt dess montering. Turbinen till havs blir också dyrare då den behöver skydd mot korrosion och klara den marina miljön.

Tabell 4.5 tydliggör kostnadsfördelning för land- respektive havsburen vindkraft.

Kostnadsfördelning -Landburet		Kostnadsfördelning -Havsburet	
Nätanslutning (Grid connection) Include transformers and substations, as well as the connection to the local distribution or transmission network	11 %	Fundament & installation (Foundation & installation)	27 %
Planering & diverse (Planning & miscellaneous)	9 %	Turbinsystem (Turbine system)	51 %
Fundament (Foundation)	16 %	Kraftöverföring, mekanisk (Transmission)	13 %
Vindturbin (Wind turbines) Including blades, tower and transformer	64 %	Kraftöverföring, elektrisk (Array cabling)	7 %
		Annat (Others) These can include the construction of buildings, control systems, project consultancy costs, etc.	2 %
	=100 %		=100 %

Tabell 4.5. Kostnadsfördelning- Land/hav. (Gielen. D, 2012 June)

4.5.4 Tillverkning-, drift- och underhållskostnader

För ett horisontellt landbaserat vindkraftverk tar det, enligt livscykelanalyser, omkring åtta månader innan vindkraftverket har producerat samma mängd energi som det har gått åt för att tillverka verket. Det vill säga, knappt tre procent av kraftverkets totala elproduktion går åt för att driva, bygga och avveckla verket (D'Souza, Gbgebaje-Das & Shonfield, 2011).

Rimlig drift- och underhållskostnader, för landbaserade horisontella ligger på omkring 15 öre/kWh enligt aktörer i vindkraftbranschen (Stenkvist & Westin, 2014).

Då driftkostnaden står för en knapp tredjedel av de totala produktionskostnaderna, har antaganden om drift- och underhållskostnaderna stor betydelse för den totala kostnadsbilden (Stenkvist & Westin, 2014).

4.5.5 Ungefärliga kostnader för tillverkning och material

Tabell 4.6 ger en modell för kostnadsindikation.

	Metod	Pris	Fördel/Nackdel	Övriga kostnader	Arbetstid
Komposit	Prepreg	-Matris (epoxi) 100 SEK liter. ca 7-30 euro/kg	Handarbete, Dyrt material, Seriestorlek: Liten <1000 enheter	Maskiner, Autoklav, skärmaskin, vakuumpump	Stor arbetskostnad Tidskrävande ”Handarbete”
Stål, Al	Gjutning	Material: 15 SEK/kilo	Seriestorlek: varierande 1 - 1000	Verktyg: 100 – 1000 kSEK	
Metall	Pressning	Material: Ca 15 SEK/kilo	Seriestorlek: Stora >10000 Enheter	Verktyg: Dyrt 1 – 20 m SEK	Snabbt
Makadam (Bergkross 0-32 MM)		215-1191 SEK/ ton	Förmånliga priser vid köp av stora lass. 1 m ³ = 1,75 ton (Densitet: 1 ton = 0,57 m ³), dvs krävs stor volym.	Priser inkl. moms och leverans	
Järn		Material: ca 10 - 15 kr / kilo.			
Betong	Gjutning	ca 1500 kr/m ³	Priset varierar mycket beroende på var i landet gjutningen sker	exklusive transport	

Tabell 4.6. Ungefärliga kostnader. (Wranne, A. 2014)

Infusion vs Prepreg

En sammanställning av kostnader för metoderna infusion och prepreg, vilka beskrevs i 4.2.3 Vingar, anges i tabellen 4.7.

	Infusion Blade	Prepreg Blade
BOM Cost (€)	26,849	30,312
Direct Labour Costs (€)	6,105	4,245
Indirect Labour Costs (€)	1,094	977
Depreciation (€)	1,052	1,089
Total Blade Cost (€)	35,101	36,623

Tabell 4.7. Blade Cost Summary. (Gurit, u.å.e)

Beräkningen av vingkostnaden i tabell 4.6 ger dock inte en fullständig finansiell bild. Bland annat på grund av de två olika tillvägagångssätten vid tillverkningen.

Sammanställningen av kostnaden, för tillverkning av ett blad, har erhållits genom analys av en teoretisk vingdesign och tillverkningsmodell. Där de indirekta kostnaderna bestämdes genom studering av en produktionsanläggning för fyra blad på produktionslinjen och tillhörande indirekt arbetskraft (vilken beräknades med hjälp av de anställda). Den årliga bladproduktionen användes sedan för att fördela de årliga indirekta kostnader för varje blad. Verktygskostnadsanalysen är i sin tur baserad på standardmodell BOM (Bill of Materials) vilket omfattar bland annat råvaror, komponenter och de konstruktioner som krävs för att tillverka bladet (Gurit, u.å.e).

Kolfiber vs Glasfiber

- Kolfiber
Roving (innan matris och vävstol, levereras i fiberrulle) 25 euro/kg (25-250 euro).
- Glasfiber
R,T,S-glas: 120-200kr/kg
E-glas: Roving (innan matris och vävstol, levereras i fiberrulle) 2 euro/kg
Priserna anges innan behandling där fibrerna köpes på rulle, det vill säga utan inblandning med matris (E. Kullgren, Elitkomposit AB. Personlig kommunikation 21 april 2015).

4.5.6 Kostnadsuppskattning för material till SeaTwirls 10MW-verk

Tabell 4.7 påvisar en ungefärlig kostnadsbild, genom vikter och materialval från SeaTwirl. Det bör pointeras att materialvalet endast är framtaget för att skapa en ungefärlig beräkning och inte ett färdigt koncept. Då det till exempel är osannolikt att kölen är en solid massa av stål, kommer rimligen fyllas med ett billigare material så som beskrivs i 4.2.2 Köl.

Kölens vikt togs fram i viktfordelningsprogram, det vill säga vad den bör väga i förhållande till resterande delar av verket för att verket skall hållas upprätt.

Kostnadsuppskattning på material				
Komponent	Vikt (ton/st)	Pris		Kostnad (Kr/komponent)
		Materialval	(Kr/ton)	
Vinge	62 *3 = 186	Glasfiber (Ej hänsyn till epoxi och lim)	20 000	3720 000
Stag	43*6 = 258	Glasfiber	20 000	5160 000
Övre torn	620	Stål	15 000	9300 000
Nedre torn	740	Stål	15 000	11100 000
Flytkropp	435	Stål (skalet samt skott)	15 000	6525 000
Köl	1000	Stål	15 000	15000 000
Totalkostnad:				50805 000

Tabell 4.8. Kostnadsförslag. Författarens egen tabell

4.6 Miljö, människan och vindkraftverk

Miljöbalken och plan- och bygglagen är de lagar som främst reglerar utbyggnaden av vindkraften.

Vid uppbyggnaden av ett vindkraftverk måste en miljökonsekvensbeskrivning tas fram. Syftet med denna är att identifiera de effekter som vindkraftverken kan leda till. Det görs en samlad bedömning av eventuella effekter på människors hälsa och på miljön men även på exempelvis; djur, växter, luft, vatten och kulturmiljö.

Lokaliseringsregeln i miljöbalken är en till bidragande faktor som kräver att man ska välja en plats som uppfyller ändamålet men med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och för miljön.

De största riskerna är att fåglar och fladdermöss störs eller dödas och att deras livsmiljöer påverkas.

Naturvårdsverket menar att fiskar inte påverkas av ljud och vibrationer från havsbaserade vindkraftverk i den dimensionen som fåglar påverkas av landbaserade. Utan istället att vindkraftverkets fundament kan fungera som konstgjorda rev (Haglund, A. 2015).

4.7 Viktiga parametrar vid val av material & metod

För att ta beslut om material och tillverkningsmetoder är det många parametrar som påverkar valen. I kapitlet tas korrosion, utmattning, inspekterbarhet, regelverk och försäkring, montering & transport och materialstandarder.

4.7.1 Korrosion

Lindholm, C-J (personlig kommunikation 27 april 2015) från DIAB menar att korrosion är ett stort problem både på land och i havet. Enligt Lindholm sker lackning efter processen för skydd.

Armeringsjärn, eller annat järn ingjutet i en betong, har vanligtvis ett lager av järnoxid på ytan. Detta för att järnet inte ska korrodera.

Om detta oxidskikt bryts ner finns risk för att armeringsjärnet skall korrodera. Två möjliga mekanismer finns som kan orsaka detta, nämligen karbonatisering av betongen enda fram till armeringen eller vid en tillräcklig hög koncentration av klorider vid järnet.

Den troligaste källan till korrosion i marina miljöer är så kallad kloridinitierad armeringskorrosion. När kloridkoncentrationen vid armeringsjärnet uppnår en viss nivå, de så kallade tröskelvärdena, kan korrosion bli följden av detta (Ekström, T. Janz, M. 2002).

Director of Design & Engineering Holm, John Holm, (personlig kommunikation 12 maj 2015) från Hexicon AB berättar att det finns en lång tradition och utvecklingsarbete inom marin miljö för att skydda stålkonstruktioner mot korrosion. Med den anledningen är det då inget större problem att skydda en marin konstruktion mot korrosion men kostanden för det är en väsentlig del av värdet.

Det normala tillvägagångsättet för ett Korrosionsskydd är i tre steg och sker i följande ordning:

1. Ytbehandling, genom ett färgprogram som är epoxibaserat
2. Offeranoder (Zink) både utanpå skrovet men också inne i t.ex. ballasttankar
3. Pålagd ström för att kunna reglera de galvaniska strömmarna, för att ge ett fullständigt skydd.

Önskvärt vore om endast steg ett skulle räcka. Dock är det sällan bara steg ett räcker, utan komplettering med steg två krävs. Steg tre krävs där man av olika anledningar har problem med galvanisk korrosion, stora potentialskillnader eller läckströmmar. Steg tre är vanligt på stora konstruktioner med många materialblandningar och mycket ”Produktionsutrustning”. Holm poängterar att steg ett är en känslig och speciell process, då slutresultatet blir i relation till appliceringen och val av ingående komponenter. Då produkten, d.v.s. skyddet, skapas i

samband med själva processen (appliceringen), d.v.s. kvaliteten i appliceringen, avgör hur bra av korrosionsskyddet blir och hur länge det håller.

Finns två möjliga vägar som man måste ta ställning till innan de tre stegen, menar Holm. Antingen väljer man att satsa på en mycket noggrann, och därmed dyrare, behandling i första läget och därmed undkommer ett dyrt underhållsarbete i efterhand. Alternativt en enklare inledningsvis, och därmed billigare, men därpå mer omfattande underhållsfaser. Korrosionsskydd är en förutsättning för att plattformen ska klara det utmattnings liv vindkraftverket är satt till att klara menar Holm. Fullbordat korrosionsskydd är dessutom ett krav för att upprätthålla ett produktcertifikat.

Färgtillverkare garanterar vanligtvis att verken ska klara en 10 års period utan upptagning. Dock i praktiken menar Holm att det inte är något problem att få det att hålla i 25-30 år. Förutsättningsvis att allt i behandlingen görs rätt, som nämnt ovan.

Vid ett fullständigt fullbordat Korrosionsskydd, d.v.s. att allt är rätt utfört med tanke på; rätt färg, rätt temperatur vid utförandet, rätt tjocklek på färgen med mera, är det bara mekanisk nötning som kan förstöra skyddet enligt Holm. På det sättet har flytande plattformar andra förutsättningar än exempelvis ett fartyg i marin miljö. Då fartyg riskerar mekanisk nötning i mycket större utsträckning, till exempel vid isbrytning, vid kajen, vid eventuell krock/skav mot andra fartyg.

Fartyg har krav på sig att docka (torr sättas) två gånger varje 5-årsperiod. Då passar man på att underhålla och laga korrosionsskyddet. Idag är korrosionssystemen så pass bra att den mesta färgen sitter kvar på fartyget vid en dockning. Det är bara på enstaka ställen där skrovet har utsatts för mekanisk nötning som färgen kan vara borta. Då blåstrar man skrovet lokalt och lägger på ett nytt färgprogram på det lokala stället.

På grund av att det också är så pass lätt att ta upp ett fartyg, jämfört med vindkraft så kan man hantera detta som underhåll till en rimlig kostnad. Det är både svårt och dyrt i praktiken att frakta in verket till en docka, samt en besvärlig upptagning ur vattnet. Därför kan det leda till upp emot 10 gånger dyrare att behöva göra ett omfattande underhållsarbete i efterhand ute till havs jämfört med en ordentlig och påkostad behandling från start.

Bortsett från behandling innan sjösättning och underhållsarbete efter upptagning, så finns det underhållsbehandling väl i vattnet. Nämligen tekniker för att slippa ta upp verket, till exempel genom en specialframtagen färg, som man med dykare kan applicera under vattnet menar Holm.

4.7.2 Inspekterbarhet

När, var & hur

Director of Design & Engineering Holm, John Holm, (personlig kommunikation 28 april 2015) berättar att angående inspektioner under plattformens operativa fas så har tredjepartsorganen utvecklat egna program för inspektioner. Historiskt sett har dessa normaliserats och blivit väldigt lika mellan leverantörerna. De följer ofta ett klassiskt mönster med mindre årliga inspektioner följt av större 5-års inspektioner. Även här har olika intressenter t.ex. försäkringskrav på att dessa genomförs.

Enligt Holm finns det inget krav från certifieringen att konstruktionen ska vara designad för att inspektion ska kunna genomföras av en människa. Dock menar Holm att det är en oskriven regel att plattformen ska vara lättillgänglig för inspektion av en människa så långt detta är möjligt. Dock finns krav på att inspektion skall vara möjlig, om inte en människa kan utföra detta kan inspektion istället ske med hjälp av en ROV, fjärrstyrd robot.

Tjänster för inspektion, underhåll & service

Försäljningschef Mjörnå. M (personlig kommunikation 4 maj 2015) från Connected Wind Services menar att merparten av alla vindkraftsägare använder sig av en serviceleverantör. Mjörnå berättar att försäkringsbolagen avstår att försäkra verket utan ett serviceavtal i grunden.

Det flesta oberoende servicetjänsteleverantörer erbjuder både “servicetjänst” och “inspektionstjänst” för verken menar Mjörnå.

Köper man “servicetjänsten” från Connected Wind, vilka är Sveriges största och ett av Europas ledande oberoende serviceleverantör av vindkraftverk, ingår det underhållsschema som leverantören av verket menar behövs, samt en del extra utöver detta. I tjänsten ingår ett så kallat basunderhåll som sker två gånger per år, där bland annat smörjning av lagerbanor, vingar, påfyllning ackumulatortankar, översyn hydraulikstation, kontroll av olja i växellåda, översyn av släpringar och elsystem, proaktiva åtgärder, tornflänsar, bultar och vinginfästning underhålls. Där utöver ingår så kallad “oplanerad service”, till exempel om en givare går sönder i serviceavtalet. Oplanerad service kallas även felavhjälpning, det vill säga då verket stannar på grund av en felkod.

Under “inspektionstjänsten” finns tre tjänster.

Leveransbesiktning: dels för att visuellt se att monteringen är väl och korrekt utförd, det juridiska “pappersarbetet” med avtal granskas även i vissa fall.

- Garantibesiktning: utförs efter 2-5 år, slitage och eventuella skador dokumenteras och presenteras i en rapport. Detta innan garanti från leverantörens sida utgår.

- Statusbesiktning: vid eventuell försäljning, verket kontrolleras och besiktas. Inspektion av växellåda och vingar är två viktiga tjänster som servicetjänsteleverantörer genomför.

Enligt Mjörnå genomförs vinginspektionen vanligen genom tre olika varianter:

- Rope access
- Fotografi nerifrån marken
- Filmning och fotografering med drönare

Vad gäller tillgänglighet till verket, berättar Mjörnå att inspektören/teknikerna ska kunna ta sig upp till maskinhuset antingen med hiss eller klättrandes. Det finns en rekommendation från arbetsmiljöverket då en hiss bör installeras för att förebygga skador och denna höjd är 70 m.

Kabel till havs

Undervattenstekniker O. Johansson på REINERTSEN (personlig kommunikation 21 april 2015) menar att det inte finns några lagkrav på inspektion av rör och kablar längs havsbottnar. Det vill säga, såvida kabeln designas och tillverkas mot standarder finns det inga krav på regelbundna inspektioner. Dock pointerar Johansson att det flesta företag väljer att utföra inspektioner speciellt vid eventuella kritiska punkter.

Inspektioner av kablar på havsbottnar genomförs i stort sett alltid av robot som åker över kabeln och inspekterar. Det är väldigt sällan som dykare utför dessa, dock kan det ske om djupet är okej och en specifik punkt/sträcka måste inspekteras berättar Johansson.

Torn

Master Mariner Heribertsson, M. (personlig kommunikation 23 april 2015) från GVA menar att inspektion över lag är bäst inifrån, då det är där sprickorna först syns. Använder man ROV på utsida kan sprickor vara svårupptäckta. Inte mins om föremålet som ska inspekteras har påväxt och rost.

4.7.3 Montering & Transport

Idag tillverkas ofta tornet till horisontella landburna verk i olika delar och därefter transporteras det till platsen för montering, detta för att underlätta transporten (Vasa Energiinstitut (VEI), u.å.).

Siemens har sedan många år levererat offshore vindkraftverk. Montering och transport för deras vattenburna vindkraftverk sker enligt följande;

De transporterar alla komponenter, delar och utrustning till en hamn nära där vindkraftsparken ska stationeras. Från hamnen transporteras alla komponenter med hjälp av fartyg och väl framme startar monteringen. Första steget blir att fästa tornet på fundamentet och därefter monteras turbinen med testade för inställningar (SIEMENS, u.å.b).

4.7.4 Regelverk och försäkring

Riskingenjör Henriks, K-A från Advise (Personlig kommunikation 23 april) menar att det är ett minimum för försäkringsbolag att det finns ett godkänt certifikat, för att en produkt ska bli försäkrad.

Han menar också att det är upp till försäkringsbolag att ställa krav på t.ex. på ISO-standarder. Det flesta svenska försäkringsbolag gör inte detta men det förekommer. Dock kan hänsyn tas till ISO-standarder vid beslut om riskpremie.

Idag är vindkraftverk till havs dyrare att försäkra än landburna. Detta bland annat på grund av kabeln i vattnet. Ytterligare en faktor som påverkar priset är om det är en ny eller beprövad teknik. Om ingen historik och statistik finns leder det ofta till höga riskpremier.

Henriks pointerar att det kan förekomma problem för företag att få försäkring om tillverkningen sker utanför Europa, till exempel i Asien. Då det inte alltid är samma certifiering i och utanför Europa.

Störst i världen på försäkring, för offshore vindkraft, är "Codan Forsikring". Medan ett stort företag för certifiering är det Norska företaget VERITAS berättar Henriks.

Chef-Marine offshore Möller, M (Personlig kommunikation 23 april 2015) från Bureau Veritas beskriver att det finns olika regelverk för olika områden och produkter. Flytande vindkraftverk tillhör Offshore enheten. För att bli certifierad av Bureau Veritas är NI572 (Flytande vindkraftverk) ett minimumkrav att följa.

Möller menar att det även finns normer som till exempel beskriver hur bogseringen av verket ska ske. Samt så tillkommer bestämmelser på bland annat design och ankringsystem.

Director of Design & Engineering Holm, John Holm, (personlig kommunikation 28 april 2015) från Hexicon AB menar att det idag inte finns internationella krav på att flytande vindkraftverk ska ha certifiering, vara klassade eller följa ett gemensamt regelverk. Kraven varierar från land till land.

Tyskland och Danmark är två länder där en vindkraftspark, till havs, måste vara certifierat av ett ackrediterat certifieringsorgan. Det har utvecklats Standarder och Guidelines för ”Produkt certifiering” av vindkraftsparker.

I Scotland däremot finns det varken krav på certifiering eller klassning. Den maritima myndigheten (i UK och Scotland “Maritime and Coastguard Agency, MCA) som normalt sett ställer krav på klassning eller motsvarande har verifierat att de bara har krav på märkning (natt och dag signaler) och i övrigt att projektet följer allmänna byggnadsregler för UK som heter ”CDM” och som mestadels handlar om hälsa och säkerhet.

I övriga länder bör man kontrollera med den maritima myndigheten och övriga myndigheter eller andra så kallad ”Stakeholders” om det är någon som formellt kan ställa krav på tredjepartsgranskning.

En av de viktigaste ”Stakeholders” är försäkringsbolagen som gärna ser en tidig involvering av ett tredjepartsorgan för certifiering. Produktcertifiering eller klassning blir då implicit ett måste om plattformen ska försäkras och kan även vara avgörande för att få investerare. Holm beskriver att de företag som kan utföra produkt certifiering, vilket är att rekommendera, är till exempel ABS, LR eller DNVGL.

Detta bidrar till en ökad kvalitetskontroll i alla faser av projektet, så som exempelvis transport, design och montering. Holm pointerar att även om man inte behöver certifiera så säkerställer en tredjeparts certifiering kvaliteten samt kan “öppna upp” för nya och mer möjligheter med banker, myndigheter, investerare etc.

Enligt Holm kan verket också klassas. Det finns idag inget klassningsregelverk (Förutom ABS Guide som är en hybrid), som är gjord för offshore vindkraftverk utan klassning sker då mot “olja och gas” regelverken. Det finns både för och nackdelar med att klassa plattformarna enligt Holm.

Fördel är att i den “marina världen” är klassning ett starkt begrepp och ger en bra “stämpel” på produkten. Nackdelen är att regelverket för “olja och gas” inte är skapat för vindkraftverk och därmed inte heller anpassad främst risknivåmässigt.

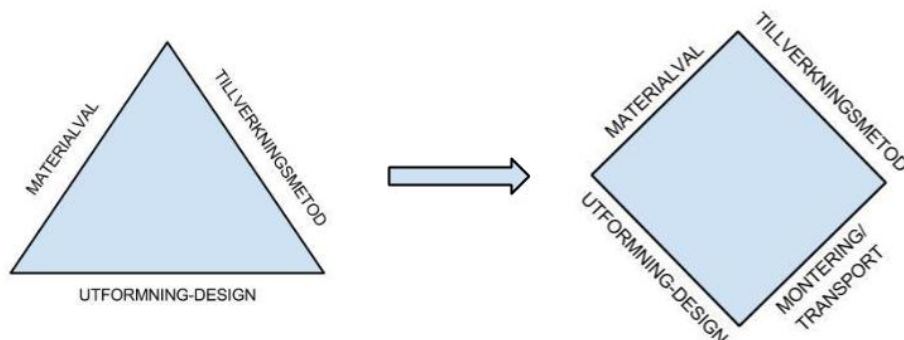
Begreppet ”Klassning” har heller ingen tyngd eller historia inom vindkraftsindustrin. Holm berättar att Hexicon började med ambitionen att klassa eftersom det då inte fanns några alternativ men när det nu finns det anser han att det är smartare att produktcertifiera istället. Holm beskriver att processen för att få en certifierad eller klassad produkt är samma men att innehållet skiljer sig på vissa punkter. Här är en avgörande faktor bemanningen ombord. Plattformar är idag per definition ”obemannade” d.v.s. det finns ingen personal ombord dygnet runt. Däremot för service och underhållspersonal vistas ombord den tid som behövs för att utföra sitt uppdrag.

4.7.5 Utmattnig

Ett flytande vertikalt vindkraftverk utsätts för varierande laster, t.ex. strömmar, byvindar, turbulens från egna blad samt vågor. Detta gör att utmattnig med stor sannolikhet kommer att vara en viktig designfaktor. Eftersom delar av SeaTwirl’s vindkraftverk är svårtillgängliga och därmed kostsamma att inspektera bör behovet av sprickinspektion om möjligt dimensioneras bort. DNV har tagit fram standarder för hur design mot utmattnig bör ske. En av dessa är DNV-OS-J101 "Design of Offshore Wind Turbine Structures" som delvis behandlar hur ofta inspektion bör ske med avseende på dimensionering samt vilka konsekvenser fel ger upphov till.

5. ANALYS AV RESULTATET

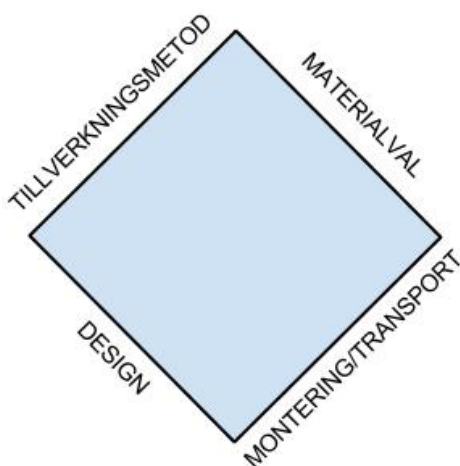
Som tidigare beskrivet gäller ett samspel mellan tillverkningsmetod, materialval och designen vid framtagning av ett helhetskoncept. Insikten i att transport och montering kan vara en avgörande faktor har lett till en annan syn på problemet, se figur 5.1. Att triangelsamspelen inte är tillräckligt för SeaTwirl och andra stora produkter, dessa behöver den fjärde sidan med montering och transport.



Tabell 5.1. Utveckling av triangelsamspel vid produktframtagning. Författarens egen bild

Utvecklingen bestod av ett tillägg med “montering och transport”. Då detta kan bli en avgörande parameter för konceptet på samma sätt som de övriga sidorna i kvadraten, se figur 5.2.

Kvadratsamspelen är en viktig kärna för SeaTwirl i deras framtagning av ett helhetskoncept. Alla sidor påverkar konstruktionen, vilka som är det avgörande parametrarna går dock inte att avgöra i detta läge. Då olika sidor är styrande för de olika delarna i verket samt att verket måste ses som en helhet, ett och samma helhetskoncept. Av dessa anledningar kan ingen av sidorna bortses ifrån.



Tabell 5.2. Kvadratsamspel. Författarens egen bild

6. DISKUSSION

Huvudresultatet

Projektet har resulterat i en beslutscirkel, se figur 7.1, för SeaTwirl att följa vid framtagning av deras framtida verk. Med ingående viktiga parametrar som måste beaktas och definieras innan beslut om material och tillverkningsprocessen kan ske. Det vill säga “vägen fram till” ett fyrdimensionellt samspel, figur 7.3, vid produktframtagning.

Varför en beslutscirkel

Inledningsvis bestod uppdraget i att ta fram ett förslag på helhetskoncept för ett framtida 10MW-verk med framtagna och utvärderade materialval samt tillverkningsmetoder med en tillhörande priskalkyl. Resultatet som blev en start och utgångspunkt för SeaTwirl att, på ett effektivt sätt, utföra det ursprungliga uppdraget.

Beslutscirkeln är vår syn på hur arbetet i produktutvecklingen bör gå till. Med reservation för att projektets avgränsningar inte speglas i beslutträdet och bör därför utredas och läggas till. En ytterligare givande faktor till att vi anser att en beslutscirkel är en viktig del i produktutvecklingen är för det anställda. Att beslutscirkeln inte bara fungerar som ett verktyg för att beskriva komplexiteten utan också som en metod att arbeta efter.

Resultatens konsekvenser

Resultatet kan ge både teoretiska och praktiska konsekvenser för SeaTwirl's framtida arbete. Då beslutscirkeln med största sannolikhet kommer generera och ge upphov till nya frågor och viktiga ingående beslut, där resurser från SeaTwirl's sida kan behöva avsättas för att lösa och utföra.

Metodens inverkan på resultaten

Vilka våra intervjuobjekten blev har styrt och påverkat resultatet mycket. Lika så de personer och den kunskap vi inte lyckats få tag på begränsat och avgränsat vissa bitar.

Det finns idag en rad olika leverantörer för såväl tillverkning av torn som vingar. I projekt skickades förfrågningar ut till flera leverantörer gällande tillverkningen och kostnader för de olika delarna i verket. Endast några få leverantörer svarade på e-post och kunde hjälpa oss med svar på våra frågor.

Några avgörande steg för projektet

Insikten om att skott för flytkroppen är en bra lösning och som idag redan används för liknande konstruktioner, var ett viktigt steg.

Vad gäller tornet var det svårt att finna information kring underhållsproblematiken med tanke på stål i vatten, samt hur ett torn av betong kommer klara de uppkomna dragkrafter som förväntas.

Förståelsen för hur försäkringsbolag, certifiering och inspektion/underhåll hänger ihop gav viktig insikt till beslutsträdet. Lagar och krav kommer styra designen och därför måste arbetet starta och utgå från dessa.

Intervju med flera inom vingtillverkning ledde till kunskap om att denna tillverkning är en mycket lång process där fasta variabler, som till exempel vindlast, är ett måste för att kunna ta fram hur tillverkningen ska ske.

Storleken kommer att avgöra hur utvecklingen kommer att gå till. Insikten i att SeaTwirls verk inte går att behandla på samma sätt som mindre produkter är viktig. SeaTwirls vindkraftverk bör snarare betraktas som ett projekt inom byggindustrin än som ett produktutvecklingsprojekt.

Fortsatt arbete för SeaTwirl

- En jämförelse mellan länders olika regler och krav på vindkraftverk till havs, då detta kan påverka vilka länder SeaTwirl tänker sig en marknad för.
- Kontakta “Japanese Floating Projekt” för att eventuellt få ta del av deras kunskap. Då detta verk ligger i linje med SeaTwirls tankar. Nämligen tornets övre del av stål medan den nedre av betong.
- Beräkna kostnaden för torn i armerad betong. Undersöka vilken kvalitet som krävs för att klara av vatteninträningen.
- Studera hur byggindustrin förhåller sig till transport och montering.

Diskussionens avslutning

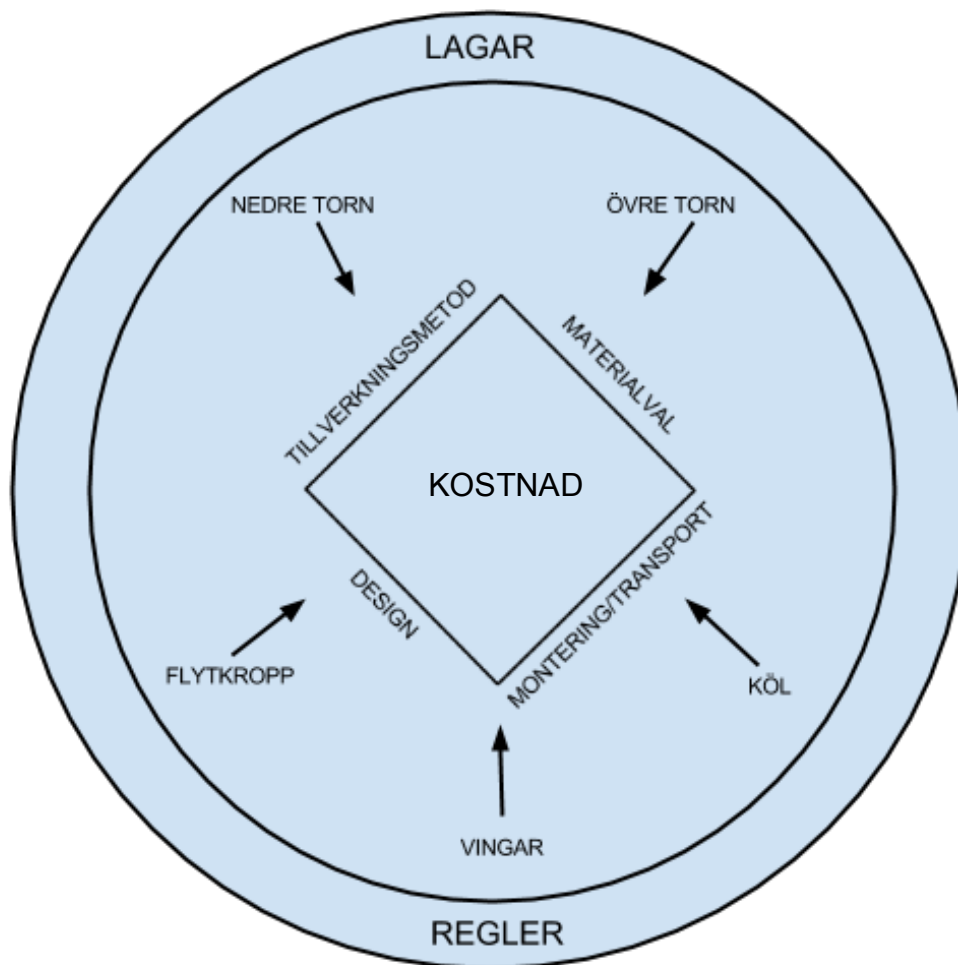
Den viktigaste slutsatsen som kan dras av studien är att det, vid produktutveckling, inte fungerar att hoppa över steg i processen. För att komma till nivån “produkt specifikation” i konstruktionsflödesschema för produktutveckling, figur 2.2, måste stegen innan ske i rätt ordning. I punkt 2.1 beskrevs hur SeaTwirls komponenter ligger i olika stadier i flödesschemat, därför behövs att varje del kommer till nivå “detail” innan beslut om material och tillverkningsmetod görs.

7. SLUTSATS

För att identifiera problem, lösningar och inverkan parametrar som styr design och därmed priset har en beslutscirkel tagits fram.

Resultat av analysen

Rapporten är en pusselbit i förståelsen av att helheten i en vindkraftverksframtagning är komplex. Beslutscirkeln, figur 7.1, som tagits fram som beskriver komplexiteten fram till beslut om material och tillverkningsmetod. Samt vikten i att arbeta utifrån och in där verkets respektive delar ses som en helhet som bör följa samma fas.



Figur 7.1. Beslutscirkel. Författarens egen bild

De fyra sidorna i kvadratsamspillet bildar en viktig kärna där alla fyra dimensioner har stor påverkan.

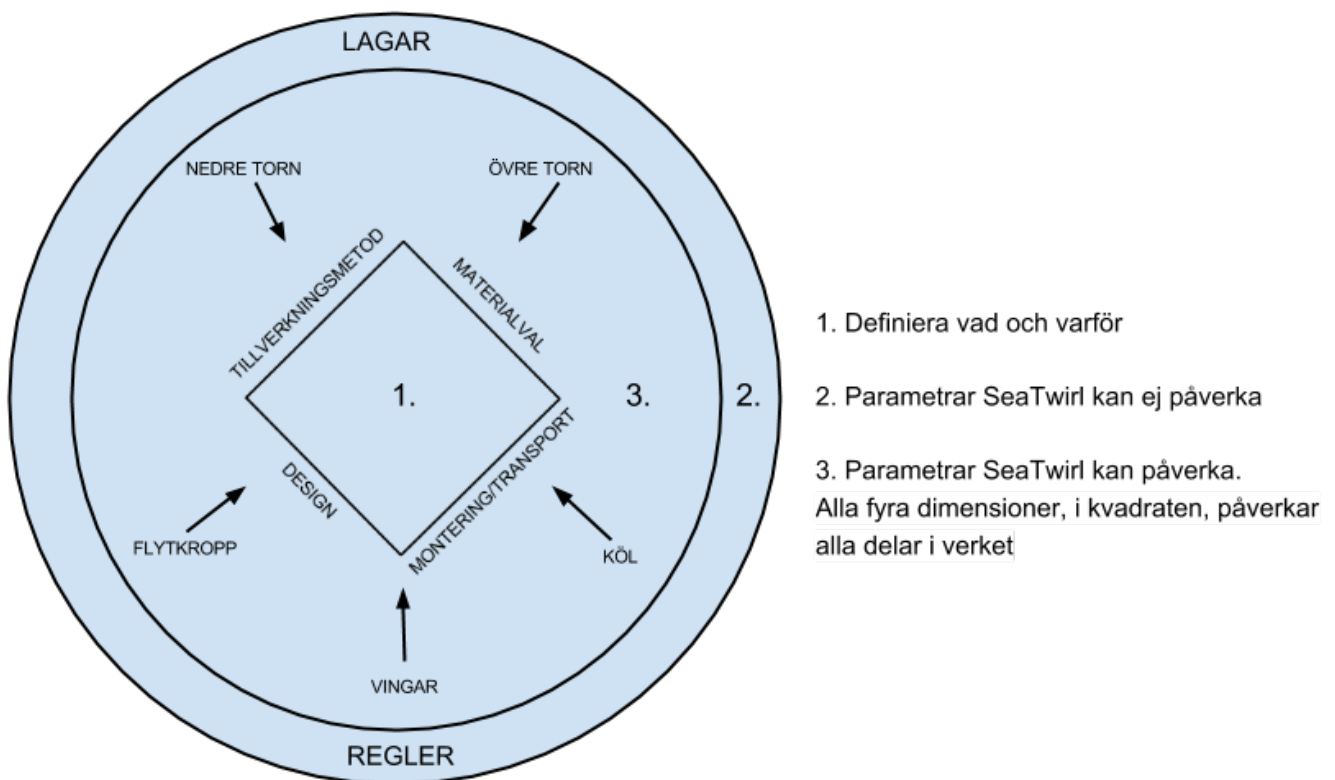
SeaTwirls målbild

Övergripande beslut som bör tas inledningsvis och för i sin tur nå cirkelns “inre mitt”, är bland annat:

- Definitionen av ett kostnadseffektivt vindkraftverk, vilka konkurrerar SeaTwirl med?
- Vilken storlek och effekt skall vindkraftverket ha?
- Framtagning av en tydlig målbild. Vad och varför?

Vikten i att arbeta utifrån och in

Efter ovan inledande ställningstagande och gemensam målbild på vad som produktutvecklingen ska generera till, startar arbetsgången “utifrån och in”, se figur 7.2. För att SeaTwirl skall kunna utveckla sin 10 MW modell måste platsen där verket skall finnas bestämmas. Undersökning angående vilka lagar som styr i regionerna där potentiella köpare finns sätter de yttre gränserna för utvecklingen. Andra regionala krav från myndigheter/försäkringsbolag måste även identifieras. Detta kommer ge de yttre gränser som SeaTwirl måste förhålla sig till under utvecklingen.

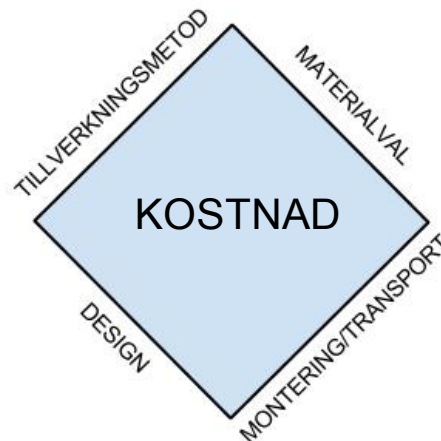


Figur 7.2. Beslutscirkel. Författarens egen bild

Helhetsperspektiv

Kvadratsamspelet huvudsyfte är att förtydliga vikten i helheten. Att verkets olika delar inte kan separeras utan alla delar måste följas åt med kvadratens fyra dimensioner. Avgörande beslut inom en av sidorna kommer garanterat påverka en eller till och med alla det övriga tre.

Vilken figur 7.3 illustrerar kommer priset i sin tur också påverkas av alla ingående beslut i kvadraten. Priset är alltså en konsekvens av alla beslut som görs under utvecklingsprocessen.



Figur 7.3. Priset påverkas i sin tur också av alla ingående beslut. Författarens egen bild

Att hitta den lägsta kostnaden kräver alltså att alla parametrar i besluts-cirkeln, se figur 7.1, identifieras och därtill behandlas i ett helhetsperspektiv, vilket nedan beskrivs.

Lagar & krav

- Vilket/vilka länder ska verket stå i?
 - Lagar kan skilja sig mellan länder
 - Beslut om olika verk för olika länder alternativt tillverkning efter landet med de mest restriktiva lagarna.
- Följa aktuella standarder, exempelvis materialstandarder
- På vilka delar bör inspektioner göras regelbundet?
- Ska verket försäkras?
 - Är detta ett “måste” för att få investerare?
 - Om verket försäkras krävs certifiering alternativt klassning
 - Ska produktcertifiering alternativt klassning väljas?
 - Krav på viss inspektion vid försäkring, hur påverkar detta “mitten av cirkeln”?
 - Serviceavtal bör tecknas för att lyckas få en försäkring till rimligt pris
 - Vid serviceavtal måste verket vara designat så att serviceföretaget kan utföra denna utan komplikationer

Montering/transport

- Definiera transportbegränsningar.
- Designa för att konstruktionen skall klara av belastningar under installation.
- Design utifrån vart komponenterna tillverkas för att få dem transporterbara.
- Sjösättning i beaktning från start.

Material, tillverkning & design/utformning

- Skydd mot korrosion/skador.
- Utmattning.
- Möjlighet till inspekterbarhet.
- Vilken kunskap kan hämtas från horisontella vindkraftverk?
- Vilken kunskap kan hämtas från havsbaserad, ej flytande, vindkraft?
- Vilka delar har fast design och vilka kan/får ändras under arbetets gång?
- Vilka mått är fastställda och vilka kan/får ändras under arbetets gång?
- Strömmar (magnuseffekten).

- Vilket land avgör:
 - Klimatet verket skall klara av.
 - Materialval efter landets/områdets priser.

- Övre torn
 - Fungerar det med samma tillverkningsmetod som för befintliga verk med ståltorn?
 - Övre tornet bör ses som en axel
 - Priset på järn kan förändras snabbt och ger därmed en osäkerhet i slutpriset.

- Undre torn
 - Dragkrafter uppkommer, tillskillnad mot landburna, hur klarar tillexempel svets detta?
 - Inspekterbarhet
 - Finns rekommendationer från arbetsmiljöverket angående bland annat hiss. De anser att en hiss bör installeras vid en höjd på 70 m. Alltså är 10MW-verket för högt för att byggas utan hiss enligt rekommendationer.
 - Vilka material är möjliga utifrån dimensioner som krävs för att verket inte ska brytas sönder vid användning.
 - Är traditionella "sätt" aktuella för SeaTwirl?

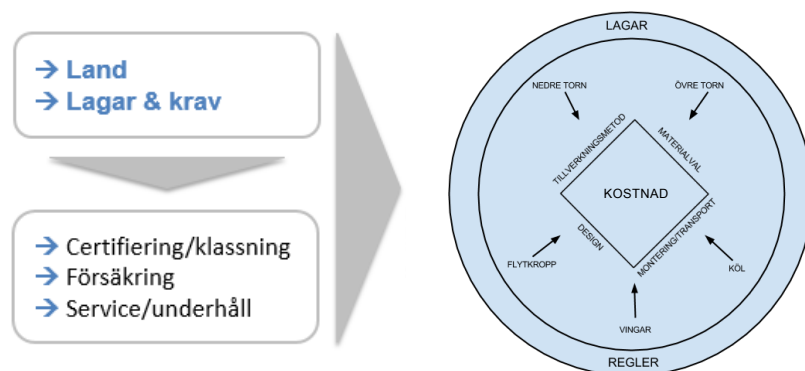
- Vingar
 - Är delade vingar för underlättad transport aktuell?
 - Svårt att undvika uppkomna krafter vid montering och transport, exempelvis om vingarna skall kunna ligga ner.
 - Åskledningssystem är oundvikligt
 - Kan samma system användas som för horisontella vingar?

- Flytkropp
 - Vilka material är möjliga utifrån dimensioner som krävs för att verket skall flyta?
 - Hur påverkar val av material den tänkta formen?
- Köl
 - Hur skall konstruktionen se ut?
 - Solid massa av ett material
 - Skal av material x fyllt med material y
 - Materialval/Tillverkning som styrs av sjösättningen eller sjösättningen som styrs av material/tillverkning?
 - Kan verket ligga horisontellt vid vattenytan fram till kölen fylls
 - Kan fyllnadsmaterialet tillsättas på plats för att underlätta installation
 - Faktorer som styr valet av fyllnadsmaterial är bland annat:
 - Densiteten. Kölen ska uppnå en tyngd på ca 1000ton
 - Densiteten påverkar tankens area
 - Kölen skall om krävs kunna inspekteras
 - Förhållandet mellan kostnad, area och densitet.

Det ingående delarna i beslutscirkeln visar på ett samspel mellan viktiga och avgörande parametrar. Vilket är framtaget för att tydligt visa att helheten är komplex. Att alla stegen i utvecklingen krävs för att på sikt uppnå ett kostnadseffektivt helhetskoncept, vilket beskrivs i figur 2.2 ”Konstruktionsflödesschema för produktutveckling”.

Förutsättningar för större flytande vindkraftverk

Den första förutsättningen är att reda ut vilka regler och lagar som gäller för det eller de valda landet/länderna, se figur 7.4. Därefter följer ställningstagandet om företaget vill försäkra vinkraftsverket. En försäkring innebär med största sannolikhet att verket även bör produktcertifieras, alternativt klassas, samt teckna ett serviceavtal. Följande steg är att arbeta vidare med beslutscirkeln där fokus ligger på att se verket som en helhet.



Figur 7.4. Rätt arbetsordning är en förutsättning. Författarens egen bild

REFERENSER

Ashby M. Shercliff H. & Cebon D, 2010: Materials - 2nd Edition, Copyright Elsevier Ltd, Oxford.

Amberg, E. (2010). *Kan pulvermetallurgi utnyttjas som tillverkningsmetod för högbelastade kugghjul?: En studie av tillvägagångssätt och lämplighet*. Hämtad från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:508593/FULLTEXT01.pdf>

Balmoral (u.å.a). *RISER TOWERS: DURAFLOAT HT™ HIGH TEMPERATURE BUOYANCY*. [Elektronisk bild]. Hämtad från: <http://www.balmoral-group.com/balmoral-offshore/index.php/products/riser-towers/durafloat-ht-high-temperature-buoyancy>

Balmoral (u.å.b). *MARINE SUBSEA PRODUCTS: MODULAR BUOYANCY*. [Elektronisk bild]. Hämtad från: <http://www.balmoral-group.com/balmoral-offshore/index.php/products/marine-subsea-products/surface-subsurface-buoyancy/modular-buoyancy>

Berg Spiral Pipe Corp (u.å). *Stages of HSAW Pipe Production: manufacturing diagram*. [Elektronisk bild]. Hämtad från: <http://www.bergpipe.com/126-1-HSAW-Pipe-Production.html>

Bergman och Klefsjö (2007) *Kvalitet från behov till användning*. Studentlitteratur AB Swerea IVF AB. (u.å.) *Keramer: Tillverkningsmetoder för keramer*. Hämtad från <http://www.swerea.se/sv/ivf/Kunskapsomraden/Keramer/Tillverkningsmetoder-for-keramer/>

Briggs, R (2011). *FLOATING WIND TURBINE TECHNOLOGIES AND THEIR ASSOCIATED RISKS*. Hämtad från http://proceedings.ewea.org/annual2011/allfiles2/1203_EWEA2011presentation.pdf

Brøndsted & Nijssen (2013). *Advances in wind turbine blade design and materials*, Woodhead Publishing

Crafoord, R. (u.å.). *Nitförband*. Hämtad från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/nitf%C3%B6rband>

Confibra (u.å). *PRODUKTIONSMETODER*. Hämtad från <http://www.confibra.se/tillverkning.htm>

Deasey, J (u.å). *Protected performance for the world's largest floating windfarm: BEND CONTROL SOLUTIONS*. Hämtat från <http://www.trelleborg.com/en/offshore/Resources/Case--Studies/Renewables-Bend--Control>

D'Souza, Gbgebaje-Das & Shonfield. (2011). *Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V112 Turbine Wind Plant*. Från http://www.vestas.com/~media/vestas/about/sustainability/pdfs/lca_v112_study_report_2011.ashx

ENERCON (2015). *The new ENERCON 4 MW platform: INTELLIGENT ADVANCEMENT OF PROVEN TECHNOLOGY*. Hämtad från http://www.enercon.de/p/downloads/WB_012015_GB.pdf

Engineering TV (2009, maj). *Vind Tower Fabrication* [Video]. Hämtad från <http://www.engineeringtv.com/video/Wind-Tower-Fabrication>

Edström, J.O. (u.å.). *Stål: legering med järn som huvudbeståndsdel och en kolhalt mindre än 2 %*. Hämtad från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/st%C3%A5l>

Elfgren, L. (u.å.a). *Betong: beto'ng formbart byggnadsmaterial som huvudsakligen av stenmaterial (ballast) av varierande kornstorlek som binds samman av ett cementlim (cementpasta) bestående av cement och vatten*. Hämtad från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/betong>

Enercon (u, å). *Tower construction*. Hämtad från <http://www.enercon.de/en-en/755.htm>

Ekström, T. Janz, M. (2002). *Betongkonstruktioner för havsbaserade vindkraftverk* (Elforsk rapport 02:13) Energimyndigheten. Hämtad från <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=1678652&fileOid=1678653>

Elfgren, L. (u.å.b). *Armerad betong*. Hämtad från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/armerad-betong>

Furvik, N.B (u.å.). *Kolfibrer*. Hämtad från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/kolfiber>

Finska Vindkraftförening. (u.å.). *Vindkraftverk-Vindkraftstekniskt: Vindkraftverk konstruktion*. Hämtad från <http://www.tuulivoimatieto.fi/rakenne>

Fredriksson H, (u.å.). *Gjutning*. Hämtad från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/gjutning>

IH Cantabria (2015). *INNOVATION IN THE OCEAN: Updated list of projects on floating offshore wind foundations* Environmental Hydraulics Institute of Cantabria, University of Cantabria. Retrieved from Offshore Engineering and Ocean Energies Group. Hämtad från <http://ihcantabria.com/images/documentosGrupos/IOEM/Updatedlist.pdf>

Gurit (u.å.a). *Guide to composites*. (WE Handbook, 6). [Elektronisk bild]. Hämtad från: <http://www.gurit.com/files/documents/guide-to-compositesv5webpdf.pdf>

Gurit (u.å.b). *WIND ENERGY: DELIVERING THE FUTURE OF COMPOSITE SOLUTIONS*. [Elektronisk bild]. Hämtad från: <http://www.gurit.com/files/documents/wind-energy-brochurev2pdf.pdf>

Gurit (u.å.c) *Blade Manufacturing Processes*. (WE Handbook, 4). [Elektronisk bild]. Hämtad från: http://www.gurit.com/files/documents/4_Blade_Processes.pdf

Gurit (u.å.d) *Wind Turbine Blade Structural Engineering*. [Elektronisk bild]. Hämtad från: http://www.gurit.com/files/documents/3_Blade_Structure.pdf

Gurit (u.å.e) *Comparitive Cost Study - Infusion vs Prepreg Materials Technology*. (WE Handbook, 5). [Elektronisk bild]. Hämtad från: http://www.gurit.com/files/documents/6_Cost_Study_Infusion_vs_Prepreg.pdf

Gielen, D. (2012, june). *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES. Wind Power, Volume (1)*. (Power Sector, Issue 5/5). Bonn: IRENA. Hämtad från http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf

Göteborgs energi (u. å). *Göteborg Wind Lab*. Hämtad från http://www.goteborgenergi.se/Privat/Projekt_och_etableringar/Fornyelsebar_energi/Vindkraft/I_drift/Goteborg_Wind_Lab

Göteborg Wind Lab, (2013). *Big Glenn - Iår!*. Hämtad från <http://www.goteborgwindlab.se/allmant/big-glenn-1-%C3%A5r/>

Haglund, A. (2015). *Vindkraft och miljörätt*. Hämtad från <http://www.vindkraftsnyheter.se/2015/02/vindkraft-och-milj-r-tt>

Hannerz, N.E, (u.å.). *Svetsning*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/svetsning>

Johannesson, T. (u.å.). *Kompositer*. Hämtad från

<http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/kompositer>

Linzander, S & Lundberg, P. (u.å.). *Glasfiber*. Hämtat från

<http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/glasfiber>

Main International Consulting LLC (2012). *Floating Offshore Wind Foundations*. Hämtad från

<http://hiprwind.eu/sites/default/files/Floating%20Wind%20Maine%20IC%20report%20Sep%202012.pdf>

Medvind (u.å.). *Komponenter*. Vasa Energy Institute.

Hämtad från http://www.vindkraft.fi/~medvind/public/index.php?cmd=smarty&id=14_lse

MODEC (u.å.a). *Floating Wind & Current Hybrid Power Generation: skwid*. Hämtad från

<http://www.modec.com/fps/skwid/pdf/skwid.pdf>

Mägi, M, (u.å.). *Skruvförband*. Hämtat från

<http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/skruvf%C3%B6rband>

Offshore Wind Staff. (2013, juni). VoltornUS 1:8 Launched: Maine Brings U.S. Offshore Wind Dream to Reality. Hämtad 8 april, 2015, från Offshore Wind,

<http://www.offshorewind.biz/2013/06/01/volturnus-18-launched-maine-brings-u-s-offshore-wind-dream-to-reality/>

Roylance, D (2012). *Overview article on composites*. Hämtad från

http://web.mit.edu/course/3/3.064/www/slides/composites_overview.pdf

Sandberg, J. (2014). *Havsvind framtidens energi*. Hämtad från

<http://www.di.se/artiklar/2014/1/7/debatt-havsvind-framtidens-energi/>

SIEMENS (u.å.). *Wind Turbine Technology: Tower*. Hämtad från

<http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/wind-turbine-technology/tower.htm>

SIEMENS (u.å.b). *Offshore Wind Power Solutions*. Hämtad från

<http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/offshore.htm#content=%3Cfont%3EInstallation%3C%2Ffont%3E>

Svensk vindenergi, (2014). Världens största vindkraftverk är Danskt. *Vind*. Hämtad från

http://www.vindkraftsbranschen.se/wp-content/uploads/2014/05/Vind-3_2014.pdf

Statoil (2014, a). *Hywind Scotland Pilot Park*. Hämtad från

<http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/NewEnergy/RenewablePowerProduction/Offshore/HywindScotland/Pages/default.aspx>

Statoil (2014, b). *Hywind Scotland Pilot Park*. Hämtad från <http://www.statoil.com/no/TechnologyInnovation/NewEnergy/RenewablePowerProduction/Offshore/HywindScotland/Pages/PilotPark.aspx>

Statoil (2014, c). *What is HYWIND®?*. Hämtad från <http://innovate.statoil.com/challenges/hywind/Pages/default.aspx>

Stenkvist, M. Westin, P. (2014). *Produktionskostnadsbedömning för vindkraft i Sverige*. (Böcker och rapporter utgivna av Statens energimyndighet, ER 2014:16). Statens energimyndighet. Hämtad från http://www.energimyndigheten.se/Global/Press/Pressmeddelanden/Produktionskostnadsbed%C3%B6mning%20f%C3%B6r%20vindkraft%20i%20Sverige_20140623.pdf

Södergren, A. (u.å.). *Aluminium*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/aluminium>

TANSO (u.å.a). *Prepreg: Inledning*. Hämtad från <http://www.tanso.se/Prepreg1.htm>

TANSO (u.å.b). *Vakuuminjicering: Inledning*. Hämtad från <http://www.tanso.se/Vakuuminjicering.htm>

Tennant, G (2010). *What is DFSS?: Design for Six Sigma*. Hämtat från http://www.designsixsigma.com/whatis_dfss.htm

Terselius, B (u.å.). *Kolfiberkomposit*. Hämtat från <http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/kolfiberkomposit>

The Japan Times (2013). *Project tests viability of offshore floating wind turbines*. Hämtad från <http://www.japantimes.co.jp/life/2013/04/04/environment/project-tests-viability-of-offshore-floating-wind-turbines/#.VT0NVE0R6-o>

Vasa Energiinstitut (VEI). (u.å.). *Teknisk information-Vindkraftverk:Komponenter*. Hämtad från http://www.vindkraft.fi/~medvind/public/index.php?cmd=smarty&id=14_lse

Vindkrafts Nyheter (2015). *Ovanlig vindkraftsskada*. Hämtad från <http://www.vindkraftsnyheter.se/2015/02/ovanlig-vindkraftsskada>

Wedberg, E (2014). *"Kolfiber snart 90 procent billigare"*. Hämtat från <http://teknikensvarld.se/kolfiber-snart-90-procent-billigare-163048/>

Westwood, D (2010). Table 4.5: capital cost structure of offshore wind power systems [Diagram]. Gielen, D, *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES* (s. 34). Bonn: IRENA. Från http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf

Wizelius, T. (2008). *Vindkraft i teori och praktik*. (2.2., [rev. och aktualiserade] uppl.) Pozkal: Studentlitteratur.

Wranne, A. (2014). Föreläsning Kostnadsestimering. Göteborg: Chalmers tekniska högskola

7. APPENDIX

Appendix består av sex delar med kompletterande information.

7.1 Appendix, energi från vind

Vinden är en ständigt förnybar energikälla, vilket vindkraften utnyttjar.

När vinden strömmar mot bladen på ett vindkraftverk förs en del av dess kinetiska energi över till rotorn och görs om till rörelseenergi som generatoren i sin tur kan omvandla till elektrisk energi. Den maximala mängden energi som kan tas upp av en vindturbin är 59,3%, detta kallas Betz's lag. Hur stor andel energi en turbin kan absorbera anges med C_p . Med hjälp av detta och turbinens sveparea kan man beräkna energin som turbinen kan generera

Den absolut vanligaste typen av vindkraftverk på marknaden idag är den så kallade "snabblöparen", vilken har en rotor med två eller tre blad som roterar med 15-30 varv per minut. Varvtalet beror på rotorns diameter, det vill säga desto större rotor desto långsammare rotation.

Serietillverkade kommersiella vindkraftverk är konstruerade för att hålla i 20-25 år (Wizelius, T. 2008).

7.2 Appendix, land- & havsbaserat vindkraftverk

Det byggs och planeras mer och mer havsbaserade vindkraftverk, dock är landburen fortfarande det vanligaste. En av anledningarna till att de havsburna verken har ökat är på grund av att det börjar bli svårt att hitta nya bra vindlägen på land. Dessutom är vindresurserna till havs betydligt bättre än på land, nackdelen är istället att det är dyrare med havsbaserad vindkraft. Några skillnader vid dimensionering är att man vid havsbaserad vindkraft måste ta hänsyn till belastningen som uppkommer från vågor, vikten från algpåväxt, och drivis. Samt att verket måste vara konstruerat på ett sådant sätt att verket kräver optimalt lite underhåll, då det är svårare att "ta sig ut" till verket till havs (Wizelius, T. 2008).

Siemens, vilka installerade världens första vindkraftverk, menar att havsbaserat vindkraftverk genererar betydligt mer energi än sina landbaserade motsvarigheter. Detta på grund av högre och jämnare vindhastighet på havet (SIMENS, u.å.b).

7.3 Appendix, delarna – horisontellt

Horisontella vindkraftverk är den vanligaste typen av vindkraftverk som används idag. Konstruktionen består av 5 huvudkomponenter. Nämligen:

- Rotorbladen är den delen som tar upp energin från vinden vilket får generatorm att generera el. Bladen måste vara lätta och starka för att inte belastningen på huben skall bli för stor. Samt hålla för kraften som vinden anbringar.
Rotordiametern (m) anger rotorns storlek, det vill säga den diametern i cirkeln som uppkommer när rotorn roterar. Svepyta anges i m² och är den yta som rotorn täcker. Sveparean ges för ett:
- Huben håller rotorbladen på plats samt innehåller servomotorer för att kunna vinkla bladen.
- Nacellen huserar växellådan, generatorm samt styrelektronik.
- Tornet bär upp hela konstruktionen, tillverkas oftast av moduler i stål.
- Grunden/fundament gjuts av betong, den skall se till att vindkraftverket står stabilt vid höga vindlaster.

7.4 Appendix, material & metoder företag använder idag

Finland har en lösning på ett "hybridtorn". Där tornet nedre del är tillverkat av betong och den övre delen av stål (Finska Vindkraftförening, u.å.) Tornen tillverkas det flesta moderna vindkraftverken av koniska rörtorn av stål. En budget variant av tornet är att tillverka i betong och fackverkstorn. Fördel med detta, förutom priset jämfört med stål, är att de släpper igenom vind vilket leder till mindre belastning på tornet. Som ovan nämnt finns det hybridvarianter, där tornet övre del byggs av betong och den nedre av stål. Försök och testtillverkning av trätorn har gjorts (Wizelius, T. 2008).

Enligt VD för Windforce AB U. Bolumlid (personlig kommunikation, 19 feb 2015) skruvas deras vingar med bult och ståltornet svetsas. Tornet köpes i fyra delar och monteras därefter på plats.

Det havsbaserade vindkraftverksprojektet "Risholmen Arenedal" i Göteborg svetsade sitt torn av stål. Vad gällande vingarna, av glasfiber, så limmades dessa av långa bultar, så kallade IKEA-bultar (Docent O. Carlson, personlig kommunikation, 19 februari 2015).

Konsult S. Törnblom (personlig kommunikation, 19 feb 2015) menar tillverkningsmetoden injektion/formsprutning lämpar sig bra för vindkraftverk, både ur konstruktionssynpunkt men också ur ekonomisk vinkel. Två andra metoder som förekommer är handuppläggning och prepreg. Varav prepreg är väldigt bra ur viktsynpunkt men också väldigt dyr.

VD, R. Bertilsson (personlig kommunikation, 24 feb 2015) berättar att tillverkningsmetoden för Winfoor AB's blad kommer vara uppbyggda av två skikt samt ett distansmaterial däremellan, d.v.s. totalt sett tre lager. Ytterskalet på bladet kommer vara av glasfiber, innanför de kommer distansmaterialet som är av skum och till sist, längst in, ett till lager av glasfiber. Anledningen till dessa olika skikt är att få en starkare konstruktion mot bucklor till exempel om en fågel kraschar in i vingen. Alltså hållbarare utan att vikten blir så mycket tyngre.

Enligt VD för Windforce AB U. Bolumlid (personlig kommunikation, 19 feb 2015) tillverkar företaget Windforce sina stora torn av stål och de mindre i aluminium samt generator av aluminium. Vingarna görs solida av glasfiberförstärkt polykarbonat, använder sig alltså inte av en vingbalk eller distansmaterial. Att förstärkningen är av just polykarbonat är för att få en seghet i materialet och kan genom de uppnå en hög väderbeständighet, nämligen på minst 70år. Glasfiberförstärkt polykarbonat är alltså bra ur hållbarhetsaspekt jämfört med ren glasfiber, samt billigare än "ren" glasfibrer. Han anser också att kolfibrer är för sprött och dyrt.

Konsult S. Törnblom (personlig kommunikation, 19 feb 2015) berättar att metallbeslag mellan vinge och balk/bärsarm fungerade bra för ett vertikalt vindkraftverk han var med och arbetade med. Törnblom berättar även att materialvalet av glasfiber och kolfiber fungerade riktigt bra. Där skalet av vingen, samt stagen, bestod av ren glasfiber medan vindbalken av kolfiber. Anledningen till att de valde "ren" glasfiber och inte fiberförstärkt glasfiber var på grund av att E-modulen. Vid en för stor skillnad i E-modul, mellan de två materialen, kan detta leda till problem.

Projektansvarige, P. Wärm (personlig kommunikation, 19 feb 2015) anser att för få som sysslar med vertikala vindkraftverk "har förstått" att man kan komma att behöva blanda in kolfiber i vingarna. Han menar att många vertikala vindkraftverksprojekt jämför sig med de horisontella kraftverken. Vilket kan ge problem då vingarna i vertikala vindkraftverk tar upp större certifikallast än i horisontella och behöver därför ett starkare material. Många av de vertikala idag har vingar av glasfiber, vilket då de vertikala tyvärr tar efter, enligt Wärm.

Siemens levererar olika torn typer beroende på behov. Ju högre torn desto högre energiproduktion. Nedan beskrivs två av dessa typer.

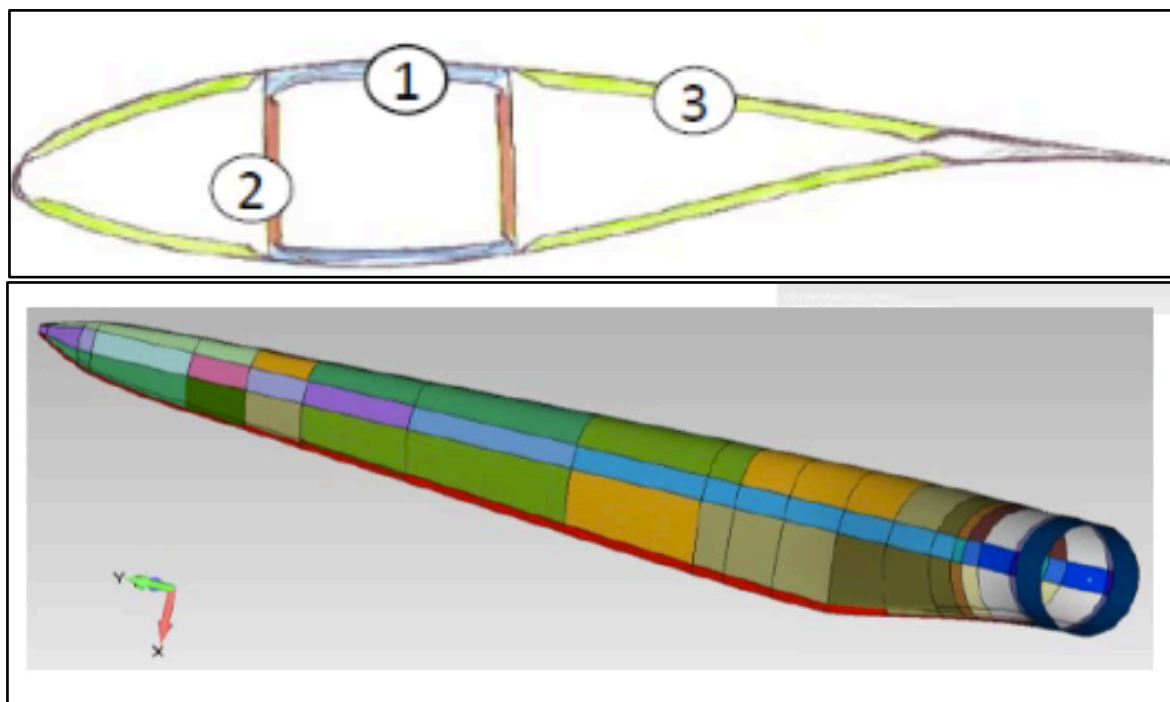
Deras "Tubular steel tower" är ett väl beprövat koncept. Den genererar korta installationstider, optimerad logistik, god kostnadseffektivitet och kan nå upp mot 100 m i höjd. Tornets olika segment staplas på varandra och sammanfogas direkt på byggsplatsen.

"Bolted steel shell tower" är dess torn för höjder mer än 100 m. Tornet består av flera sektioner som monteras ovanpå varandra, på plats, genom att de skruvas ihop med HRC-bultar. En stark fördel med dessa bultar är att det inte kräver någon åtdragning under tornets

livstid. De har undvikit svets i detta fall på grund av minskad risken för fel och långsiktiga problem med utmattning och sprickinitiering. De olika sektionerna har mått för att kunna transporteras i standard lastbilar, därför låga transportkostnader för att vara ett så pass högt torn (SIEMENS, u.å).

VD, R. Bertilsson (personlig kommunikation, 24 feb 2015) beskriver att de tänker använda sig av ren glasfiber i de större delarna som vingar medan kolfiber i de mindre delarna som stag. I deras koncept för horisontellt vindkraftverk.

Lindholm, C-J (personlig kommunikation 27 april 2015) från DIAB menar att alla stora blad tillverkas med två "shear webs" med undantag från Siemens som endast har en "shear web" (röd balk/balk 1 i figur). Lindholm berättar också att det vanligaste är att bladen tillverkas i glasfiber och att fiberriktningen i ytskiktet/i skalet är $+45^\circ$, vilket är bra mot vridstyvhet. Kan vara svårt att få en blandning av kolfiber och glasfiber, på en och samma del, bra. DIAB använder dock kolfiber på "spar caps" (d.v.s. blåa delen/2 i figur) medan resten är i glasfiber. Kolfiber ger som bekant en lättare konstruktion än glasfiber. Två nackdelar är dock att kolfiber inte kan töjas på samma sätt som glasfiber. Samt att kolfiber klarar 1 % tryck medan glasfiber 2 %, innan materialet går av.



Figur 7.1. Material Lay-up. (Lindholm, personlig kommunikation, 2015)

Vad gäller tillverkningsmetoden menar Lindholm att det är två metoder som vanligen används för bladen, nämligen Prepeg och vakuuminjicering/infusion vilket den senare ger en billigare

tillverkning och uppstart. Enligt Lindholm använder nästan alla stora tillverkare Epoxi, som matris, med undantag från LM som använde polyester vilket är ett billigare alternativ. Nackdel är att det inte går att töja på samma sätt som epoxi.

7.5 Appendix, tillverkningsmetoder

Handuppläggning

Ses som en av de enklare produktionsmetoderna, och också den äldsta, när man arbetar med material som t.ex. glasfibrer, plast mm. Med polyesterplast impregneras glasfibermatta eller glasfiberväv för hand. Är en långsam och tidskrävande metod men ger laminat av bra kvalitet och precisionsenlig tjocklek (Confibra, u.å).

Prepreg

Består av fiber som är förimpregnerad med matris (T.ex. epoxi och cyanatester). Kan levereras i det flesta fibertyperna till exempel kolfiber och glasfiber. Mattan är relativt flexibel där fiberns kan vara allt från ett tunt lager med enkelriktad fiber, via väv, till multiaxell matta. Prepregen är förvarad i frysen innan den används. Detta på grund av att matrisen är delvis härdad innan för att uppnå en god stabilitet, lagras i frysen för att den inte ska härda "helt färdigt". För att uppnå optimalt resultat med goda materialkunskaper krävs det att laminatet härdas under tryck och värme. I sin tur för att få bästa möjliga laminat kvalité används vakuum i kombination med autoklav (autoklav är en kombination av en ugn och en trycktank).

Råvarorna är relativt dyra till prepreg samt krävs det en relativt arbetsintensiv process för att producera komponenterna. Produkter som inte är speciellt kostnadskänsliga, och görs i korta serier, lämpar sig därför bäst för prepreg (TANSO, u.å.a)

7.6 Appendix, material

Betong

Är ett av det vanligaste byggmaterialen. Är ett poröst material med en densitet på ca 2 400 kg/m³. Beroende på andelen vatten i cementpastan varierar tryckhållfastheten mellan 25 och 80 MPa. Kan mångdubbla tryckhållfastheten genom tillsats av vätemedel och kiselstoft. Idag används betong för konstruktioner som utsetts för stora påfrestningar, som till exempel vägar, broar, hamnar, avloppsledningar och golv. Utvecklingen har lett till betydligt bättre materialegenskaper vad gällande seghet, täthet, isoleringsförmåga, nötningsbeständighet och livslängd. Är också relativt enkelt att tillverka betong. (Elfgren, L. u.å.a)

- **Armerad betong**

Ett av de mest använda byggnadsmaterialen i Sverige, består av betong som är förstärkt med armering. Armeringen är vanligen uppbyggd av nät, kablar av stål, trådar eller stänger.

Betongkonstruktioner används mycket i byggnader, då armerad betong har egenskaper som god formbarhet, styrka och beständighet mot nedbrytning. Förutom byggnadsbranschen används armerad betong till balkar, plattor, tunnlar, torn, broar, stödmurar, skorstenar och dammar. Det är dessutom ett billigt och lättillgängligt konstruktionsmaterial.

Betong är i allmänhet känslig för tryck- och dragkrafter inne i konstruktionen. Finns metoder för att undvika sprickor som uppkommer när betongens draghållfasthet överskrids. Nämligen genom inlagd armering. Kan genom detta förhindra att sprickorna växer och att konstruktionen i nästa skede går av. En annan metod är att använda förspänd armering. Detta kan göra att sprickbildning i betongen helt kan undvikas vid normala laster, genom att införa dessa tryckkrafter i betongen (Elfgren, L, u.å.b).

Möjliga material i framtiden

Forskarassistent, A. Johansson (Personlig kommunikation 25 mars 2015) berättar att det görs försök och forskning på att tillverka kolfiber av lignin, det vill säga från skogsindustrin och att det finns två aktuella projekt inom detta. Det ena med projektet är en förhoppning på att kunna använda restprodukter från pappersindustrin, denna forskning är dock fortfarande på "kemistadiet". Den andra varianten som Johansson beskriver är en teknik där en mix av hampa och kolfiber nyttjas, detta för att minska mängden kolfiber. Denna metod tros bli billigare och lättare. Vad gällande styvhet, tros bladen bli minst lika styva i drag och till med styvare i böjning.

