



Konceptkonstruktion av offshore vindkraftverk Conceptual construction for offshore windpower

Examensarbete för högskoleingenjörsexamen inom Maskiningenjörsprogrammet

Marcus Dahlqvist
Daniel Lundström

Institutionen för Material- och tillverkningsteknik
Avdelningen för Avancerad oförstörande provning / Högspänningsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sweden, 2011
Examinator: Gert Persson
Examensarbete No. 62/2011

Förord

Detta examensarbete är det sista momentet innan examen på Maskiningenjörsprogrammet, 180hp vid Chalmers Tekniska Högskola.

Examensarbetet är gjort vid institutionen för Material- och tillverkningsteknik och omfattar 2x15hp.

Examensarbetet är gjort till, och i samarbete med Ehrnbergs Solutions AB.

Ett tack riktas till de personer som gett oss stöd och hjälp i arbetets gång.
Speciellt tack till vår handledare Gert Persson.

Göteborg, maj 2011

Marcus Dahlqvist & Daniel Lundström

Sammanfattning

I detta projekt har en konceptuell konstruktion för ett vindkraftverk tagits fram åt företaget Ehrnberg solution AB. Vindkraftverk kommer att flyta ute till havs och målet är att det ska generera 10MW. Huvuduppgiften i projektet har varit att ta fram en lösning så att vindkraftverk klarar av alla de yttre laster som kommer att påverka konstruktionen.

Programmet Pro/Mechanica har användts, där vissa delar har analyserats i FEM . Delarna som har analyserats är nedre stommen (stomme under flytkroppen), övre stommen (stomme över flytkroppen), flytkropp, och turbinens ramverk. Anledningen till att just de här kropparna har analyserats är att de anses ta upp störst krafter. Följande resultat har det kommit fram till:

Den nedre delen av stommen kommer att påverkas av dragkrafter ifrån generatoren och stommens egentygnd. Kroppen kommer också att utsättas av ett tryck ifrån vattnet. En maximal spänning på 178 MPA kommer att uppstå på grund av nämnda yttre laster. Ståls sträckgräns är 250 MPA och då anses 178 MPA vara ett godkänt resultat. En deformation på 25 mm kommer att uppstå vid lasterna som nämnts

Övre stommen anses vara fast inspänd i flytkroppen. Övre stommen har dimensionerats så att den klarar av en vind på 60 meter per sekund. Vid denna last uppstår en deformation på 15 mm samt en maximal spänning på 52MPa. Resultatet anses vara godkänt.

Flytkroppen anses vara fast inspänd i dess botten och den kommer att påverkas av en kraft från hela turbinen samt ett konstant tryck ifrån vatten. Detta medför att en maximal spänning på 0,46 MPA och deformation på 0,2 mm kommer att uppstå. Resultatet anses vara rimliga. Ramverket utsätts av en kraft ifrån hela turbinen. Maximala spänningen som uppstår beräknas hamna på 36 MPA vilket anses vara godkänt. En 36 mm deformation kommer också att uppkomma. Detta resultat anses vara väl godkänt.

Vidare har en CAD-modell tagits fram i programmet Pro/Engineer för att få en överblick över hur konstruktionen kan tänkas konstrueras.

Summary

In this project a conceptual construction for a new type of offshore wind power turbine has been made.

The turbine is called SeaTwirl and is developed by Ehrnbergs Solutions.

Research has been made by Ehrnberg Solutions in wind energy and come up with a vision of how this new wind turbine could look like.

The aims in this project are to find a concept that will work. This includes constructing a wind turbine that can float and hold for strong winds.

Stress-analyses and deformation-analyses have been made and most of the dimensions for the wind turbine are based on these analyses. A cad-model has been rendered, this is mostly for visual reasons. The kind of generator that could be appropriate for this power plant has also been investigated.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Precisering av frågeställningen	1
1.5 Rapportens disposition.....	2
2 BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER	3
3 METOD.....	4
4 ANALYS AV VISUALISERING	5
5 FASTSLAGNING AV KONSTRUKTION.....	8
5.1 Beräkning av masscentrum	8
5.2 Generatorbehållaren	9
5.3 Flytkropp.....	10
5.4 Bladinfästning	11
5.5 Undre stomme (nedanför flytkroppen).....	12
5.6 Övre stomme (ovanför flytkroppen)	13
5.7 Turbinens ramverk	13
6 HITTA LÄMPLIG GENERATOR.....	15
7 HITTA LÄMPLIG TÄTNING	16
8 FEM-ANALYS	17
8.1 FEM- Turbinens ramverk	17
8.2 Böjknäckning av övre stomme (delen ovanför flytkroppen).....	18
8.3 Nedre stomme (delen under flytkroppen)	21
8.4 Flytkropp.....	24
9 – DISKUSSION	26
9.1 Arbetssätt	26
9.2 Val av material.....	27
9.3 Förbättringar av konceptet	27
9.4 Kommande arbete.....	28
10 SLUTSATS	28
10.1 Svar på våra frågeställningar	29
Källor.....	30
Bilaga – Matlab kod	31

1 INLEDNING

I det här kapitlet förklaras bakgrunden till själva arbetet. Det tas upp vart idén kommer ifrån och vad som kommer att göras i projektet.

1.1 Bakgrund

Företaget Ehrnberg Solutions AB utvecklar SeaTwirl, en ny typ av offshore vindkraftverk. SeaTwirl är helt nytt och företaget har tagit fram en visualiseringsmodell på vindkraftverket. Modellen visar hur vindkraftverket är tänkt att fungera.

Projektet kommer gå ut på att göra en studie för att ta fram en konstruktion för denna modell.

1.2 Syfte

Syftet är alltså att ta fram en konstruktion. En grov cad-modell ska tas fram och modellen ska analyseras i FEM för att se vart de största påfrestningarna kommer att uppkomma.

Syftet är också att diskutera fram en lösning till bladinfästningen och tätningen runt generatoraxeln och att hitta en lämplig generator för denna konstruktion.

Den huvudsakliga uppgiften är: att ta fram en grov Cad-modell för det nya vindkraftverket.

De huvudsakliga frågeställningarna är:

Kommer den framtagna strukturdesignen att hålla?

Var kommer de största påfrestningarna att uppstå?

Vad finns det för lösning för infästning av blad i torusringen?

Hur ska tätningen till generatoraxeln konstrueras?

1.3 Avgränsningar

* Ej egna materialval, endast kontroll av tilltänkt material.

* Inga beräkningar eller uppskattningar angående effekt, tillverkningskostnad, miljöpåverkan.

* Inga egna experiment för att ta reda på exempelvis okända krafter. Åtminstone inte i detta första skede. Däremot kommer Ehrnberg Solutions AB att parallellt driva utvecklingsspår där återkoppling mellan spåren kan vara tillgodo.

* Ritningar kring infästning av generator och bladinfästningar görs ej. Men lösningar för detta kommer att diskuteras i arbetets diskussions del.

* Vid val av generatoraxeltätningen och bladinfästning kommer befintlig data och antaganden utnyttjas. Ej egna värme och tryckberäkningar.

1.4 Precisering av frågeställningen

Kommer den framtagna strukturdesignen att hålla?

Kommer det att bildas väldigt stora påfrestningar på särskilda ställen?

Kommer strukturen att tåla kraftiga stormar på 60 m/s?

Var kommer de största påfrestningarna att vara?

Vad finns det för lösning för infästning av blad i torusringen?

Finns det befintliga ”gångjärn” som klarar denna hopfällning?

Eller är det något som behöver specialtillverkas?

Hur ska tätningen till generatoraxeln konstrueras?

Finns det en tätning på marknaden idag som är passande för vårt koncept?

1.5 Rapportens disposition

4 Analys av visualisering

Här beskrivs hur vindkraftverket är tänkt att fungera och hur företaget vill att kraftverket ska se ut.

5 Fastslagning av konstruktion

Här beskrivs hur vi tänkt konstruera vissa delar av konceptet så att det blir så likt företagets vision som möjligt.

6 Hitta lämplig generator

Här beskrivs hur generatorundersökningen gick till och vilken generator som visade sig vara lämplig.

7 Hitta lämplig tätning

Här beskrivs hur axeltätningens undersökning gick till och vilken tätning som visade sig vara lämplig.

8 Påfrestningskontroll med FEM

Här visas resultaten från FEM-analysen.

2 BEFINTLIGA KONSTRUKTIONER

Allmänt om vindkraftverk

I Sverige ökar användningen av vindkraftverk allt mer. I slutet av 2010 beräknades det att det fanns 1700 aggregat i landet. Detta ger en effekt på 2100 MW. Sverige är dock i jämförelse med exempelvis våra grannar Tyskland och Danmark ett litet vindkraftsland. I Tyskland finns över 18000 maskiner som ger drygt 30 TWh. Danmark får hela 20 procent av sin el ifrån vindkraftverk. De vanligaste storlekarna som byggs i Sverige är på 2 MW men det går även att finna vindkraftverk på 3 MW. I Europa går det att finna uppemot dubbelt så stora, alltså runt 6 MW. Just nu planeras det dock för ännu större vindkraftverk och det skissas just nu på vindkraftverk som ska kunna generera 10-20 MW.

Tekniken anses vara miljövänlig och några utsläpp sker inte under drift. Problem som främst kan uppstå ur ett miljöperspektiv är att tekniken orsakar höga ljud som kan störa omgivningen. Ett annat problem är att vindkraftverken förändrar landskapsbilden och det är inte ovanligt att fåglar flyger in i verket. Ur en energimässig synpunkt så är vindkraftverket en god metod. Generellt säger man att vindkraftverk producerar cirka 80 procent mer energi än vad som förbrukas vid tillverkning, uppförande, underhåll och rivning.

Det vanligaste vindkraftverket består av tre rotorblad som överför vindens kraft till en generator. Överföringen sker oftast via en växellåda. De väsentliga komponenterna består av rotor, maskinhus och torn. Rotorn startas genom att vinden sätter igång den. Rotorn är direkt kopplad till en generator. Generatoren omvandlar sedan rotationen till elektricitet. För att vindkraftverket ska kunna producera el så måste vindhastigheten ligga mellan 4 och 25 m/s. Vid cirka 12-14 m/s ger aggregaten full effekt. När maxhastigheten uppnås så stängs vindkraftverket av på grund av säkerhetsskäl så att det inte orsakas onödigt slitage på verket. Det tar cirka tre till fyra månader för ett vindkraftverk med en livslängd på 20-25 år för att producera den energi som vindkraftverket totalt förbrukar under sin livstid. Förhållandena är liknande för både landbaserad och havsbaserad vindkraft. Det går att fortsätta använda dem en längre tid än så men då måste de i de flesta fall genomgå en omfattande renovering. När ett vindkraftverk är förbrukat monteras det ner och nästan alla delarna återvinns. Rotorbladen som är konstruerade av fiberarmerad plast är dock mycket svåra att återvinna. Vanligtvis förbränns denna del men metoder för att undvika detta undersöks.

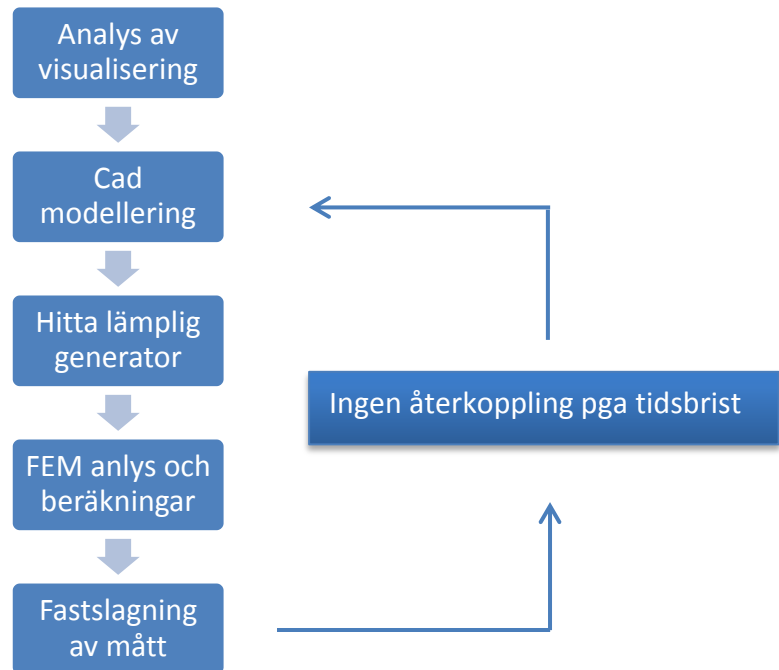
En nackdel som den här typen av kraftverk är att den bara producerar el om det blåser. Det går inte att lagra vindenergi som det exempelvis går att göra med vattenkraftverk. Idag räknar man att 6000 timmar av årets 8760 timmar går att utnyttja för att producera el. Detta är ungefär 80 procent av tiden. Vid ett hyfsat vindläge på land producerar ett modernt vindkraftverk 1 MW. Denna siffra motsvarar en årsförbrukning av cirka 100 eluppvärmda villor. Till havs är vindarna kraftiga därför räknar man att ett vindkraftverk ger ytterligare 50 procent energi.



Figur 1 Vindkraftverk

3 METOD

I detta kapitel förklaras det vilka metoder som har använts för att komma fram till projektets resultat. Nedan visas projektets process lista.



Figur 2 Arbetsgång

Analys av visualisering

Företagets visualisering analyseras och projektgruppen läser in sig på ämnet vindkraft. Kraftverkets alla delar analyseras och en uppfattning av hur konceptet kan konstrueras diskuteras fram.

CAD modellering, Pro/Engineer

Uppgiften för företaget var även att ta fram en grov 3D-modell på det konceptuella vindkraftverket så att man i framtiden ska kunna ta ut ritningar på modellen. Innan några beräkningar/fem-modeller gjordes så ritades alla delar upp för att få en bra bild över hur vindkraftverket skulle utformas. Projektet utgick från en visualiseringsmodell som företaget tagit fram.

FEM-analys/Handberäkningar

När alla delar var ritade så valdes de tre mest intressanta delarna ut för en analys med hjälp av FEM. De delar som valdes ut var turbinens ramverk, flytkropp och stomme.

Först gjordes handberäkningar för att få fram hur stora krafter och areor som skulle vara med i analysen. Sedan räknades de olika delarnas vikt ut.

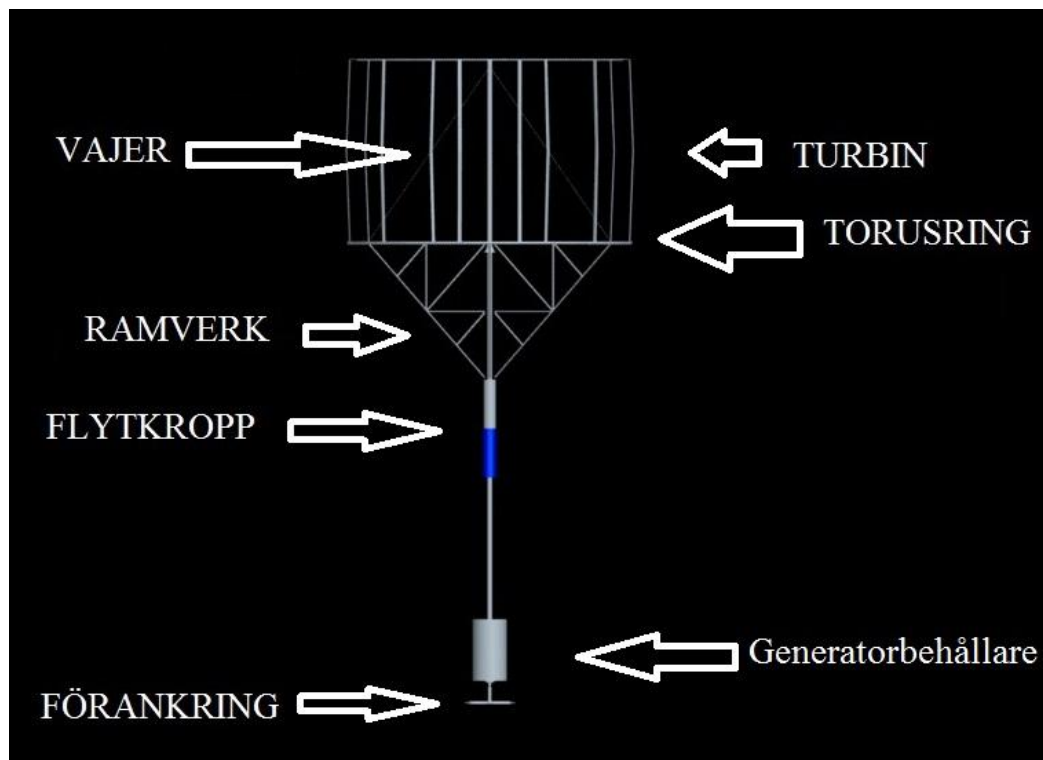
För alla delar så gjordes spänningsanalyser utifrån Von Mises jämförelsespänning och förskjutningsanalys. Sedan togs ”printscreens” på resultatmodellerna och slutsatser togs.

Generator

I projektet har en undersökning gjorts för att hitta en generator som ska kunna generera 10MW. Generatoren ska klara av varvtalet 6 rpm. Vikt och mått på generatoren har varit primärt för att kunna gå vidare i projektet.

4 ANALYS AV VISUALISERING

Företaget hade i ett tidigare skede gjort en visualisering av hur "framtidens" vindkraftverk skulle se ut. De huvudsakliga delar ses nedan i figur 3.



Figur 3 Kraftverkets huvudsakliga delar

Det som är speciellt för vindkraftverket är att det ska flyta och att turbinen ska kunna fällas ihop (se figur 4).

Vid de flesta vindkraftverk som finns idag så måste någon typ av kullager köpas in. Detta kan man undvika om man låter kraftverket flyta. Då kan man istället utnyttja vattnet som ett slags lager. Man kommer också kunna använda sig av billigare samt tyngre material.

Ihopfällningen av turbinen har som funktion att när det blåser mindre ska turbinen kunna fällas ihop och på så vis bilda mindre friktion mot vinden. På så vis kommer turbinen att kunna snurra även då det inte blåser optimala vindstyrkor.

Motsvarande gäller då det eventuellt blåser extremt mycket så ska turbinen kunna fällas ihop för att inte kraftverket ska ta skada.



Figur 4 Ihopfällning av turbin

Torusringen & Vattentransport

Kraftverkets turbin kommer ha en del som vi kallar torusring.(se figur 5)

Det finns två syften med torusringen. Det ena är att skapa ett större rörelsemängdsmoment, detta blir det eftersom en större massa kommer i rörelse.

Det andra är att lagra energin i form av potentiell energi, vattnet förslyttas till en högre höjd (i torusringen).

När det blåser och kraftverket genererar energi kommer torusringen att fyllas med vatten. Vattnet kommer att transporteras, dels med hjälp av centrifugalkraften som bildas när kraftverket roterar och dels med hjälp av en pump som sitter i vattentanken.

När det sedan blåser mindre så tömmer man torusringen. Kraftverket kommer fortfarande generera energi då turbinen väger mindre dock inte i samma mängd. Man ska vid tömningen också kunna plocka ut den potentiella energin men detta är inget som tas upp i denna rapport.

Torusringen har en radie på 2 m och kommer att rymma 3225m^3 vatten. När torusringen är fylld så kommer dess massa vara cirka 3600 ton.



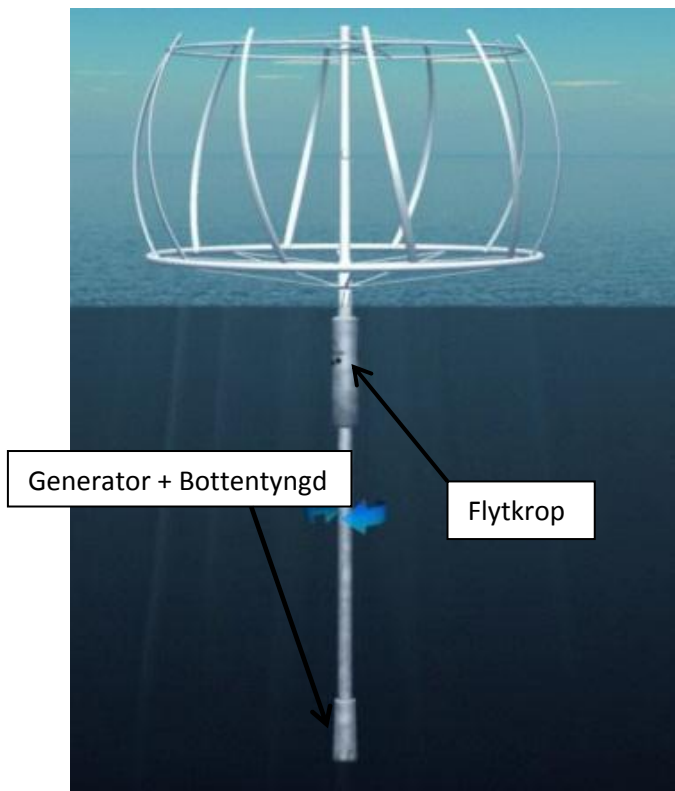
Figur 5 Vattentransport

Flyt mekanismen

De offshore-vindkraftverk som finns idag är fastgjutna i botten av havet men denna ska alltså flyta.

För att kraftverket ska kunna flyta behövs en del som vi kallar flytkropp(se figur 12, sidan 11), denna ger ifrån sig en flytkraft uppåt. Denna flytkropp ska ge ifrån sig en så stor flytkraft att den klarar att hålla hela kraftverket flytande men den får inte skapa för stor friktion mellan

kroppens mantelyta och vattnet. Därför vill man konstruera flytkroppen relativt smal för att periferihastigheten ska minimeras.



Figur 6 Kraftverket i sin helhet

Stabilitet

Det räcker inte med att vindkraftverket ska kunna flyta utan den ska självklart också kunna stå stabilt i vattnet. Stabiliteten beror på avståndet mellan vindkraftverkets masscentrum och flytpunkt. Masscentrum måste enligt företaget befinna sig ca 50 meter nedanför flytpunkten för att vindkraftverket ska stå stabilt.

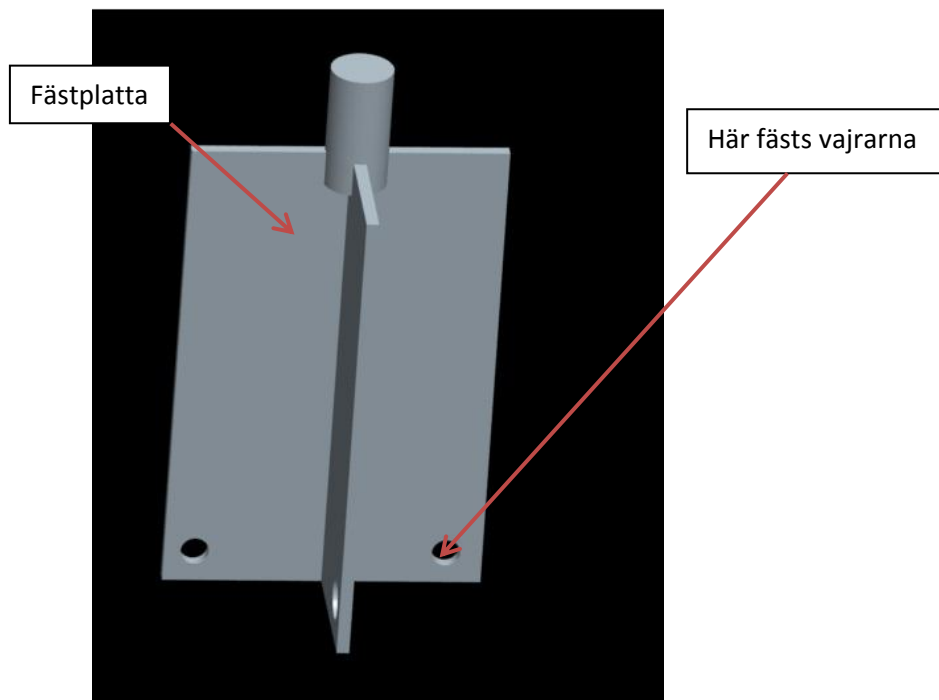
Eftersom man vill sänka masscentrum så långt neråt som möjligt placeras generatoren och ballast längst ner i kraftverket.

Förankring

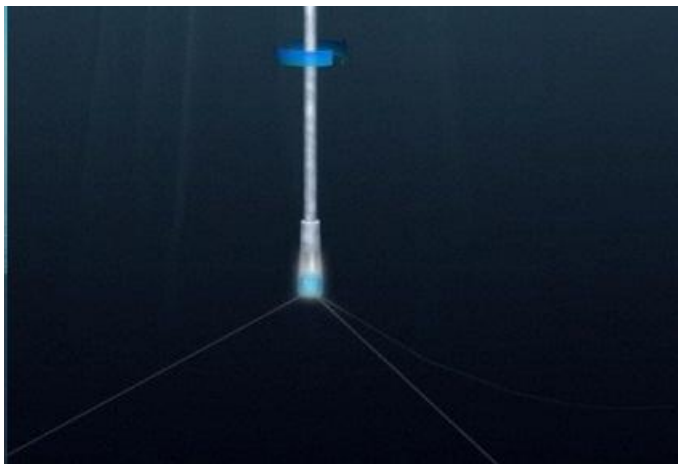
Under generatoren placeras en fästplatta som generatoraxeln sitter på.

I denna platta fästs vajrar som i sin tur ska förankras i botten av havet. I denna rapport har dock denna förankring, och hur den skulle kunna utformas, inte undersökts närmare.

Fästplattan kommer att behöva hållas still av vajrarna för att kraftverket ska kunna generera energi.



Figur 7 Fästplatta



Figur 8 Förankring

5 FASTSLAGNING AV KONSTRUKTION

I detta kapitel beskrivs hur tankegångarna kring hur vissa delar av vindkraftverket ska konstrueras. De delar som beskrivs är övre och undre stomme, flytkropp, vattentank, generatorbehållare, turbinens ramverk och bladinfästningen. Övriga delar har till stor del designats utefter företaget visualisering.

5.1 Beräkning av masscentrum

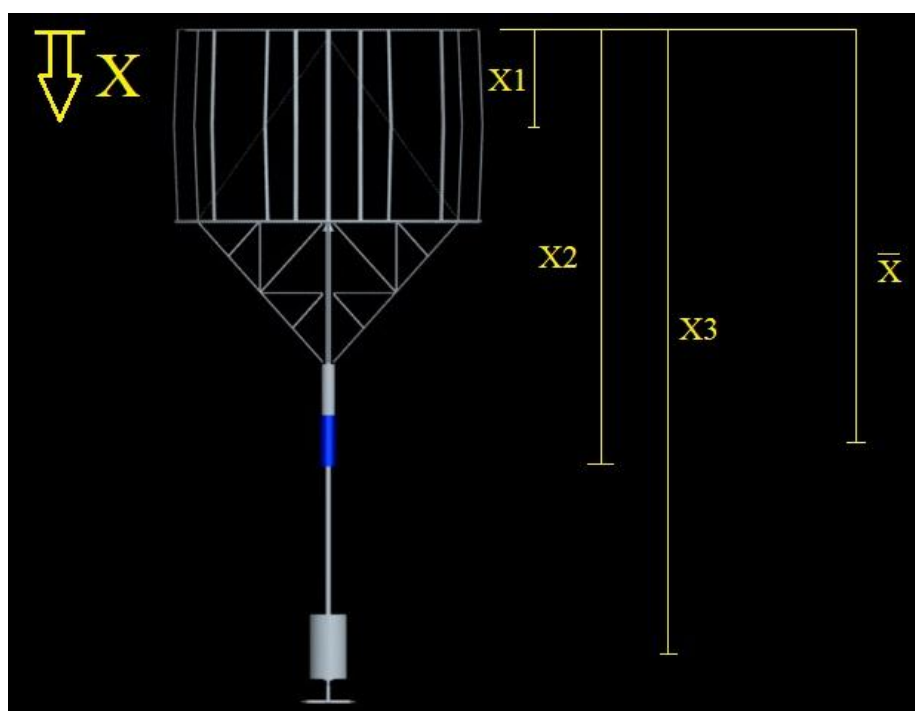
För att beräkna vart masscentrum för den totala kroppen ligger gjordes följande beräkningar:

$$\bar{X} = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2 + x_3 \cdot m_3}{m_1 + m_2 + m_3} \quad (1)$$

turbinens massa [kg]	m_1	$6.5 \cdot 10^6$
stommens massa [kg]	m_2	$1.55 \cdot 10^5$
Nedre kroppens massa [kg]	m_3	$5.5 \cdot 10^6$
Avstånd till turbinens masscentrum [m]	x_1	70
Avstånd till stommens masscentrum+ x_1 [m]	x_2	240
Avstånd till nedre kroppen+ x_2+x_3 [m]	x_3	365
Hela konstruktionen masscentrum [m]	$\bar{X}$	206

Tabell 1

Uträkningarna visar att masscentrum för hela konstruktionen ligger 206 meter ifrån turbinens topp vilket ger ett avstånd mellan flytpunkten och masscentrum på 45 meter. Detta avstånd anses vara rimligt eftersom vindkraftverket då kommer att stå stabilt i vattnet.

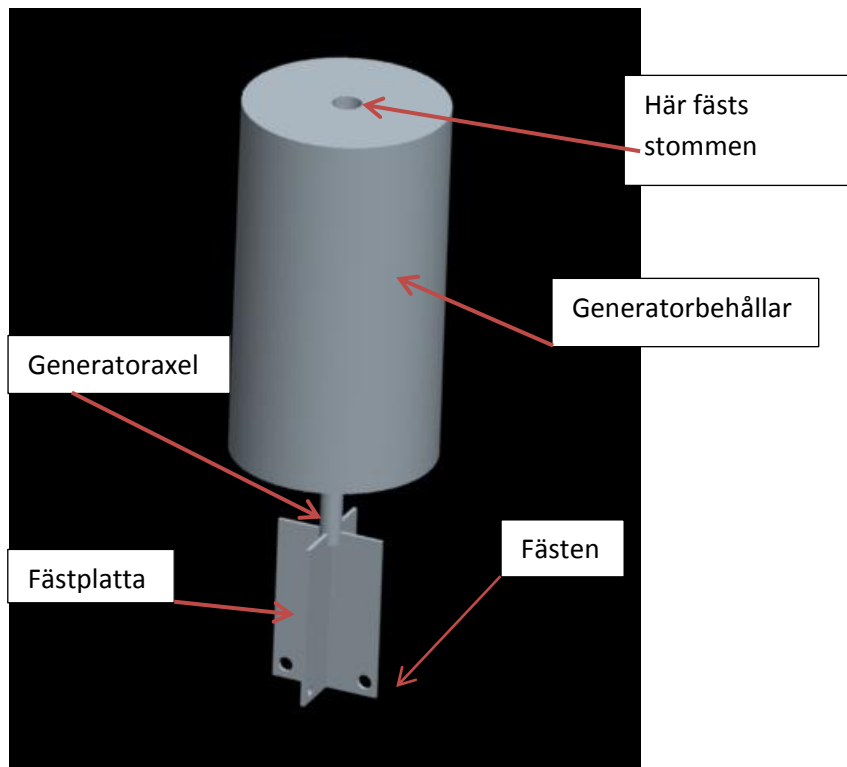


Figur 9 Masscentrum

5.2 Generatorbehållaren

Generatorbehållaren fungerar dels som behållare för generatoren (som namnet hintar om) men är också vindkraftverkets tyngd. Runtom generatoren finns betong som det tidigare nämns är till för att sänka kraftverkets masscentrum så mycket som möjligt.

Generatoren som är på 10MW uppskattas till att väga ca 200 ton och placeras i botten som en del av bottentyngden. Att väggarna planeras i just betong är av kostnadsskäl.

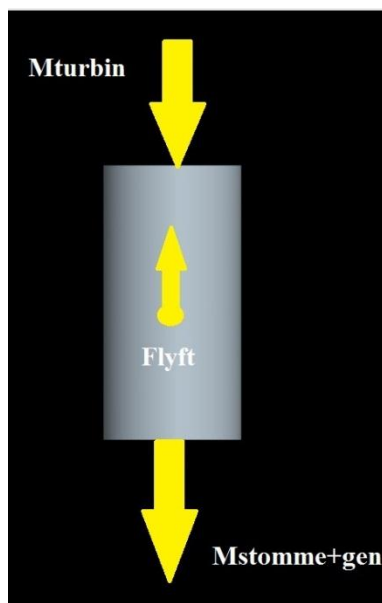


Figur 10 Generatorbehållare

5.3 Flytkropp

Flytkroppen måste ha en volym som ger en lyftkraft som är lika stor som hela vindkraftverkets tyngd. Flytkroppen är alltså den del som kommer att hålla upp hela konstruktionen. Friläggningen under vattnet kommer därför att se ut följande sätt:

$$M_{turbin} * g + (M_{stomme} * g - V_{stomme} * \rho_{vatten}) + (M_{gen} * g - V_{gen} * \rho_{vatten}) - F_{lyft} = 0 \quad (2)$$



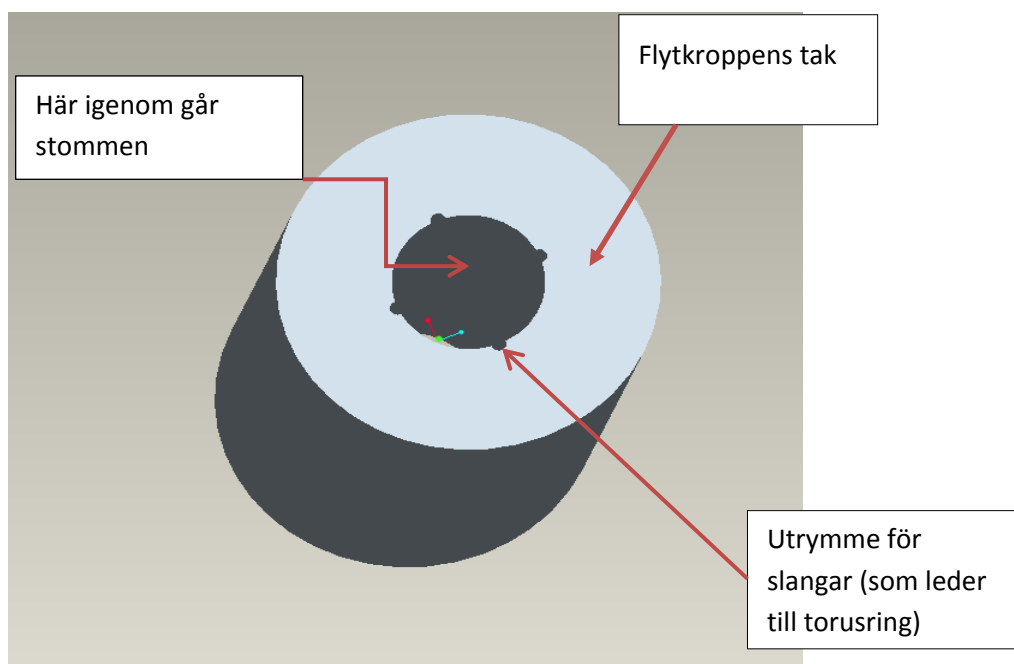
Figur 11 Friläggning flytkraft

Detta medför att F_{lyft} är 1200 kN.

Flytkroppens diameter har en inverkan på hur stor friktionen från vattnet som påverkar kroppen. En liten diameter medför att kroppens mantelyta utsätts för mindre friktion från vattnet. Diametern bestäms därför till tio meter vilket gör att flytkroppens längd måste vara minst 18.7 meter för att volymen på flytkroppen skall vara så stor att den håller upp hela konstruktionen. Godstjockleken på kroppen sätts till 3mm.

$$F_{lyft} = \pi * r^2 * l * \rho \quad (3)$$

Mellan flytkroppens inneryta och stommens ytersida finns plats för vattenrör med ytterdiametern 0,4 m. Flytkroppen har valts att analyseras extra eftersom hela turbinens tyngd kommer att bäras upp av flytkroppens ”tak”. (se figur 12)



Figur 12 Flytkropp

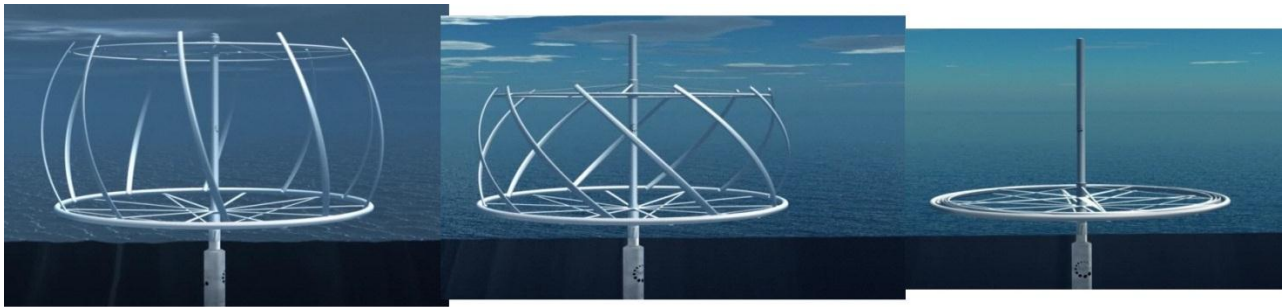
5.4 Bladinfästning

Som det beskrivs i kapitel 4 ska kraftverket kunna fällas ihop. Detta gör att man kommer behöva en speciell infästning för bladen mellan torusing och övre ring.

Vid ihopfällningen så kommer fästena att vrida sig 90grader i ett tänkt vertikalt plan och några få grader i det horisontella planet.

En koppling som skulle kunna fungera för detta är en kulkoppling då denna kan vrida sig i alla tre leden. Problemet är där att kopplingen kommer behöva ta upp hela vikten från bladet på egen hand och kommer inte få något stöd från någon annan del.

Eftersom man vet att bladet aldrig ska vrida sig mer än 90grader i det vertikala planet så hade en lösning kunnat vara något slags stöd när den ligger horisontellt. En lösning är annars att man köper in en kul koppling och gör om den så att den klarar att hålla upp bladet på egen hand. Ett blad väger ca. 12 ton och ett fäste till detta skulle med alla sannolikhet behöva specialtillverkas.

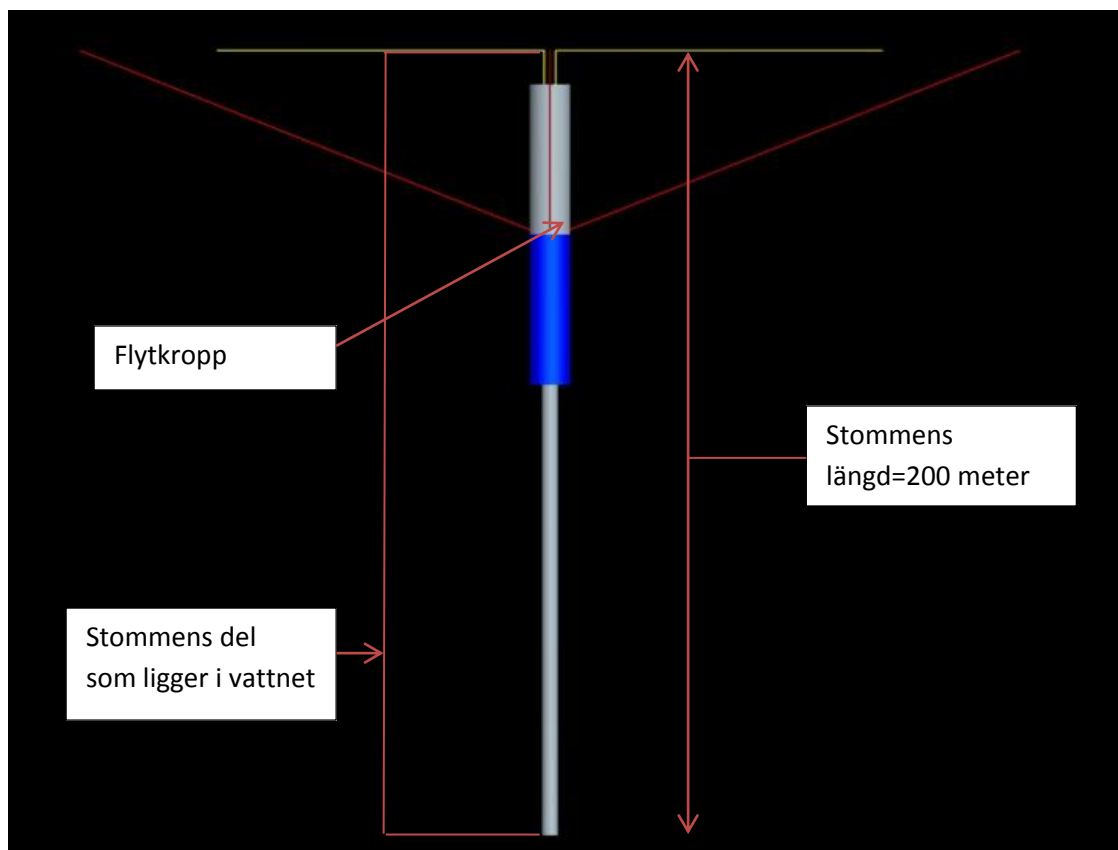


Figur 13 Ihopfällning av turbin

5.5 Undre stomme (nedanför flytkroppen)

Stommen har längden 200 meter. Att stommen konstrueras så lång beror på att även stommens längd påverkar vart hela konstruktionens masscentrum hamnar. Som tidigare nämnts eftersträvas det att masscentrum ska ligga under flytpunkten för att uppnå stabilitet. Ytterdiametern ska vara så liten som möjligt eftersom friktion mot vattnet ska minimeras. Stommens ytterdiameter sätts till fyra meter.

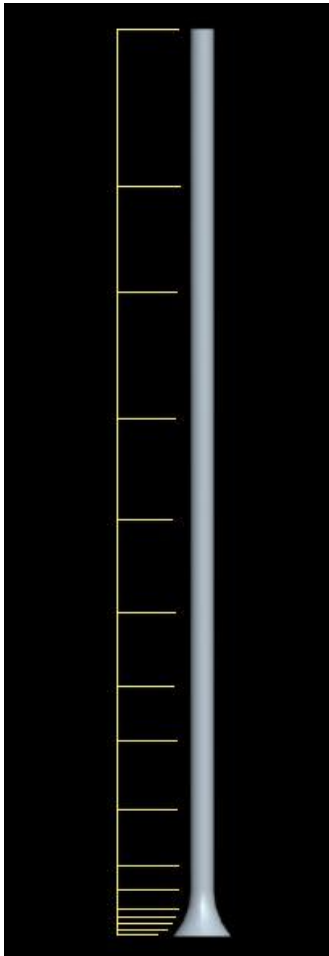
Eftersom generatoren sitter längst ner på stommen så måste stommen tillverkas ihålig så underhåll av generatoren går att genomföra. Stommen har en godstjocklek på 0,025 meter .



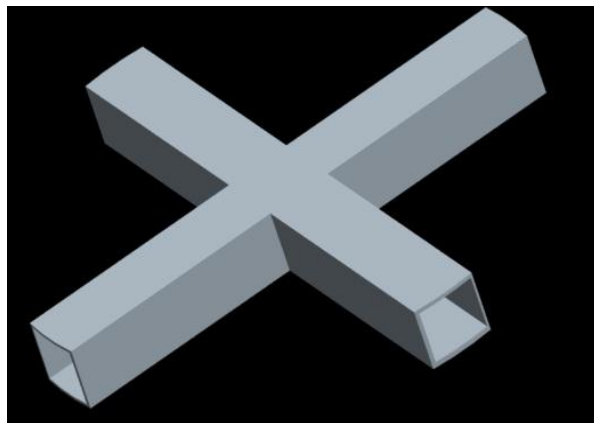
Figur 14 Nedre stomme

5.6 Övre stomme (ovanför flytkroppen)

Den del av stommen som konstrueras ovanför flytkroppen kommer att påverkas av en vind och risken för böjknäckning är stor. Tanken från början var att konstruera kroppen med en kraftig avrundning för att motverka knäckning (se figur 15). Vid en FEM-analys upptäcktes att sådan lösning inte skulle räcka. Konstruktionen skulle böjknäckas. Därför konstruerades stommen med balkar inuti. Balkarna kommer att konstrueras som ett "kors" (se figur 16). Varje balk konstrueras med ett rektangulärt tvärsnitt med höjden och bredden 0.5 meter. Godstjocklek på 25 mm. Sexton stycken "kors" konstrueras sedan från botten av kroppen till dess topp. Avståndet mellan "korsmodellerna" varierar och i botten sitter de mer tätt eftersom risken för knäckning är som störst här.



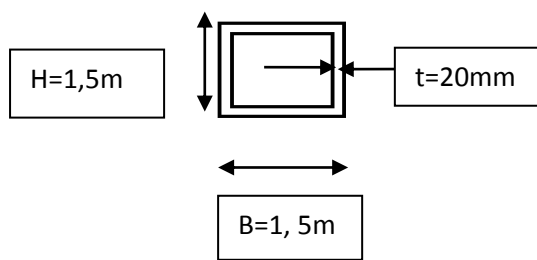
Figur 15 Disponering av kors



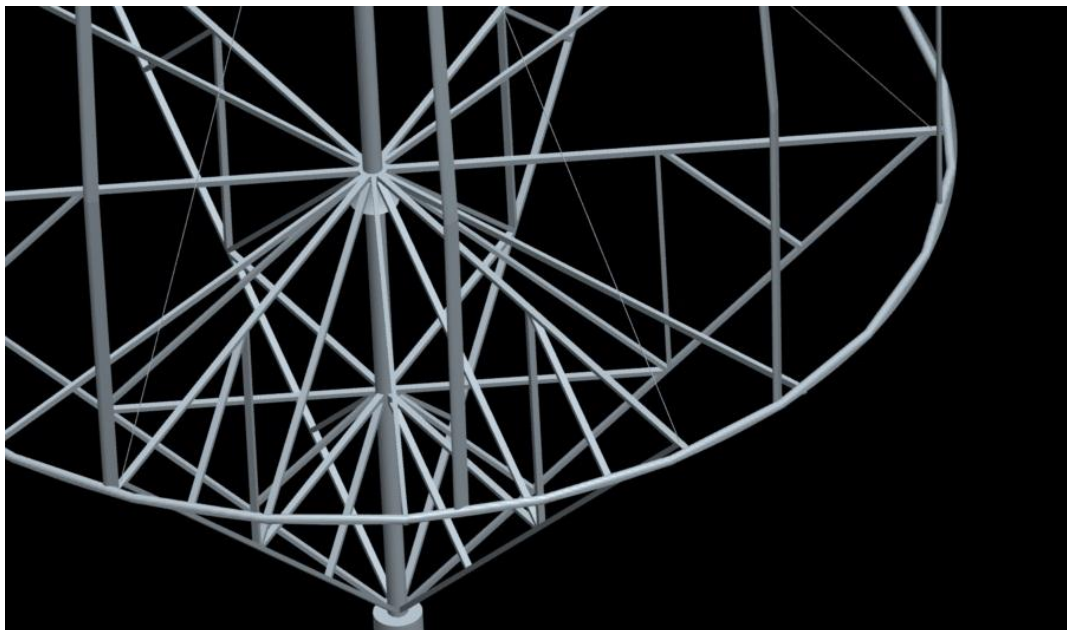
Figur 16 Kors

5.7 Turbinens ramverk

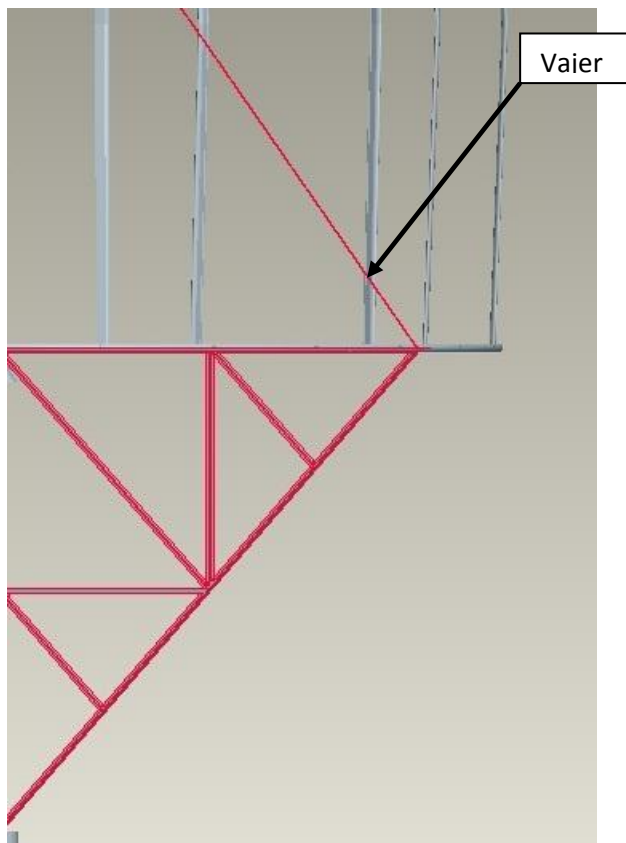
Eftersom hela turbinen (se figur 18) har en så kraftig massa så krävs sex stycken ramverk. Varje balk kommer att ha ett rektangulärt tvärsnitt med höjd 1 meter och bredd 1,5 meter. Godstjockleken beräknas att vara 20 mm (se figur 17). Varje ramverk kommer även att stödjas av en vajer för att förhindra den sista procenten av nedböjning som sker vid endast konstruktion av balkar. Vajrarna kommer att fästas enligt figur 19. En 20 mm diameter på vajern räcker för att motverka deformationerna.



Figur 17 Tvärsnitt balk



Figur 18 Turbinens ramverk



Figur 19 Rött i figur visar ramverket. Resterande är delar turbin.

6 HITTA LÄMPLIG GENERATOR

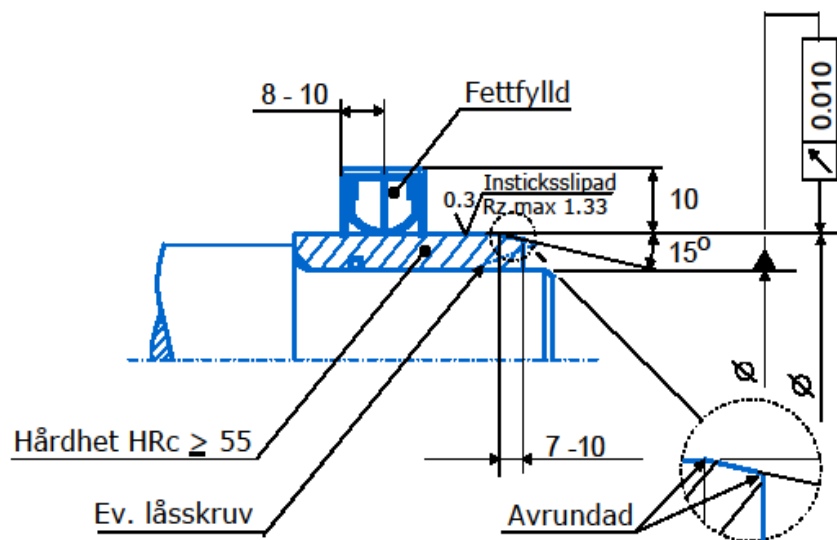
Vid projektets början gjordes undersökning på vilken 10 MW generator som skulle tänkas fungera för konstruktionen. Turbinen kommer att rotera med ett varvtal på endast 6 rpm vilket är ett extremt långsamt varvtal. Här har problem uppstått. Det finns inga generatorer på marknaden som klarar av att generera energi med ett sådant lågt varvtal. En tanke var därför att försöka hitta en generator på 10 MW som kräver ett högre varvtal för att sedan linda om den och tillverka generatoren med fler poler så att önskat varvtal kunde uppnås. Generatoren Hydor valdes därför ut från företaget Indar. Hydor generatoren klarar upp till 18 MW och måste ha ett varvtal på minst 166 rpm detta enligt referens [4]. Vid vidare undersökningar upptäcktes att en omlindning av Hydro generatoren inte går att genomföra. Detta eftersom att om önskat varvtal ska uppnås så måste den nämnda generatoren byggas om och tillverkas till tusen poler [5]. En sådan generator går inte att tillverka eftersom den skulle bli för stor. I dagsskedet är enda lösningen att använda sig av en planetväxel för att "växla" upp varvtalet [5]. Vid användning av en Hydor generator skulle en planetväxel med utväxlingsförhållanden 1:28 krävas.

7 HITTA LÄMPLIG TÄTNING

En ”sido-uppgift” som ingick i projektet var att hitta lämplig tätning till generatoraxeln och undersöka vad som finns på marknaden idag. Finns det befintliga produkter som kan användas eller är det något som behöver specialtillverkas?

Ett problem var att eftersom en lämplig generator inte kunde hittas så var storleken på generatoraxeln inte bestämd. Men efter kontakt med SKF och deras tätningsspecialister så kunde det komma fram till att för PTFE-tätningar kan måtten i princip väljas fritt. Denna tätning ska användas på SeaTwirls prototyp och den tros också kunna användas i större skala. SKF föreslår inbyggnad enligt skissen nedan. Denna skiss gäller för en 10 mm axel men skulle då som sagt fungera för större axlar också.

Inbyggnadsförslag PTFE tätning, Sea Twirl



Datum: 2010-11-16

SKF

17 November 2010 © SKF Group Sida 0

Figur 20 Monteringsbeskrivning tätning

Det föreslagna inbyggnaden ovan är med två stycken hela (odelade) tätningar monterade Face-to-Face, d.v.s. vända mot varandra.

Utrymmet mellan tätningarna bör futfyllas dels som en extra tätningsbarriär men framför allt för smörjning av tätningsläpparna.

Den radiella fastsättningen av hylsan kan ordnas på tre sätt.

- Krympning av hylsan med hjälp av uppvärmning
- Limning
- Fastsättning med mellanpassning och låsskruv såsom figur 18 indikerar.

Fastsättning med krympning rekommenderas i första hand, pga att det finns ett kastkrav. Hur stort kastkrav som kan vara rimligt har inte undersökts och är en uppgift som behöver göras i framtida arbeten. I samtliga fall bör hylsan tätas med en O-ring.

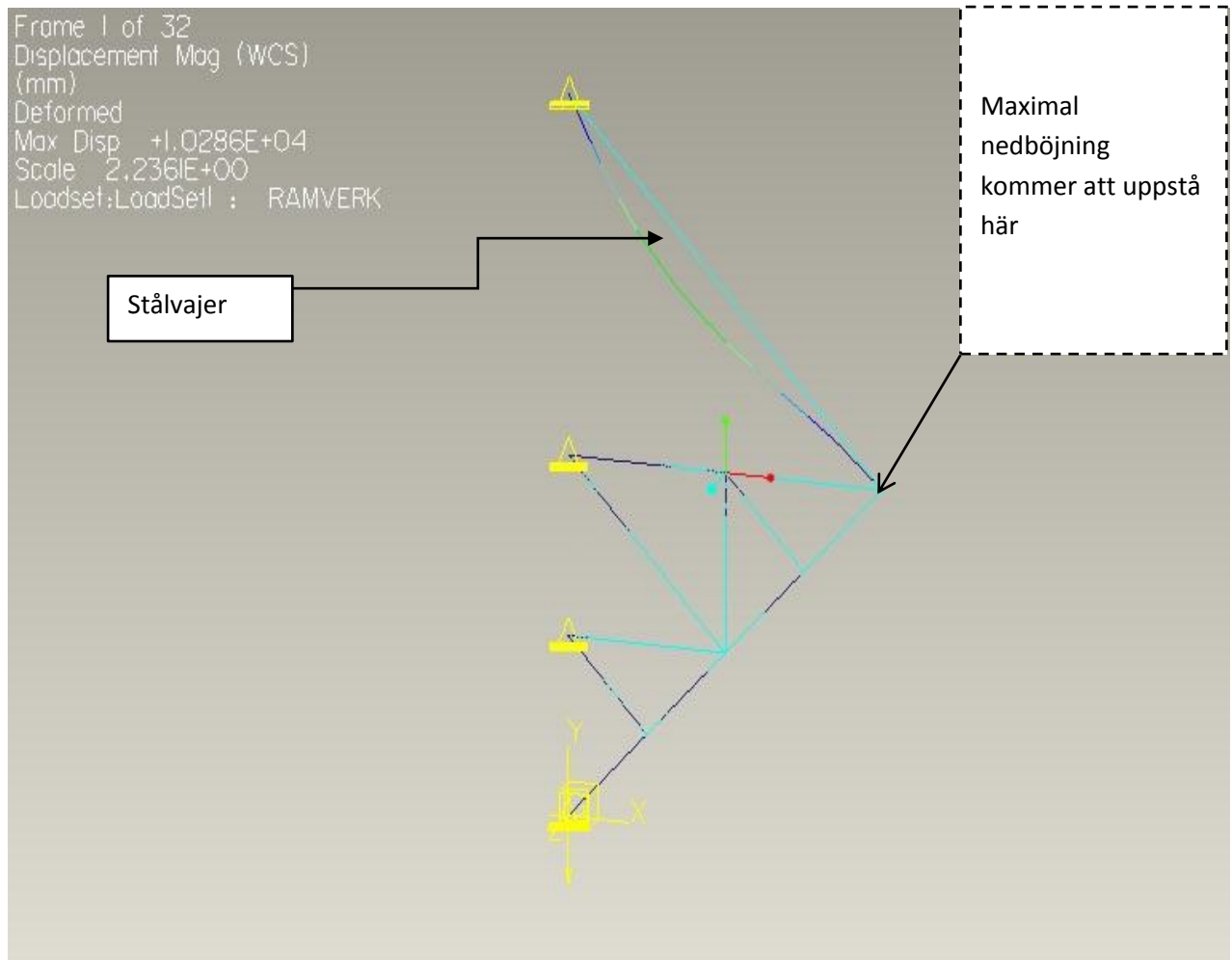
8 FEM-ANALYS

I det här kapitlet har delarna som fastlagits analyserats dels med hjälp av Pro/Mechanica och dels med handberäkningar.

FEM-analys har gjorts på de tre delarna som projektgruppen misstänkte skulle utsättas för störst spänningar och deformationer.

8.1 FEM- Turbinens ramverk

Turbinens ramverk får inte deformeras mer än 50 mm eftersom allt över det skulle se riskabelt ut. Följande koncept testades i FEM för att analysera så att värdet inte översteg det tillåtna värdet. Resultat visade att balken med pålagda laster kommer att få en nedböjning på 36mm vilket ligger 14 mm under vad som är tillåtet. Resultatet är alltså godkänt. Maxspänningen som kommer uppstå beräknas bli 36 MPA vilket också anses vara godkänt eftersom det ligger långt under sträckgränsen för stål. Maxspänningarna fördelar sig jämnt i balkverket och den största spänningen uppstår i stålvajern.



Figur 21 Nedböjning av ramverk

8.2 Böjknäckning av övre stomme (delen ovanför flytkroppen)

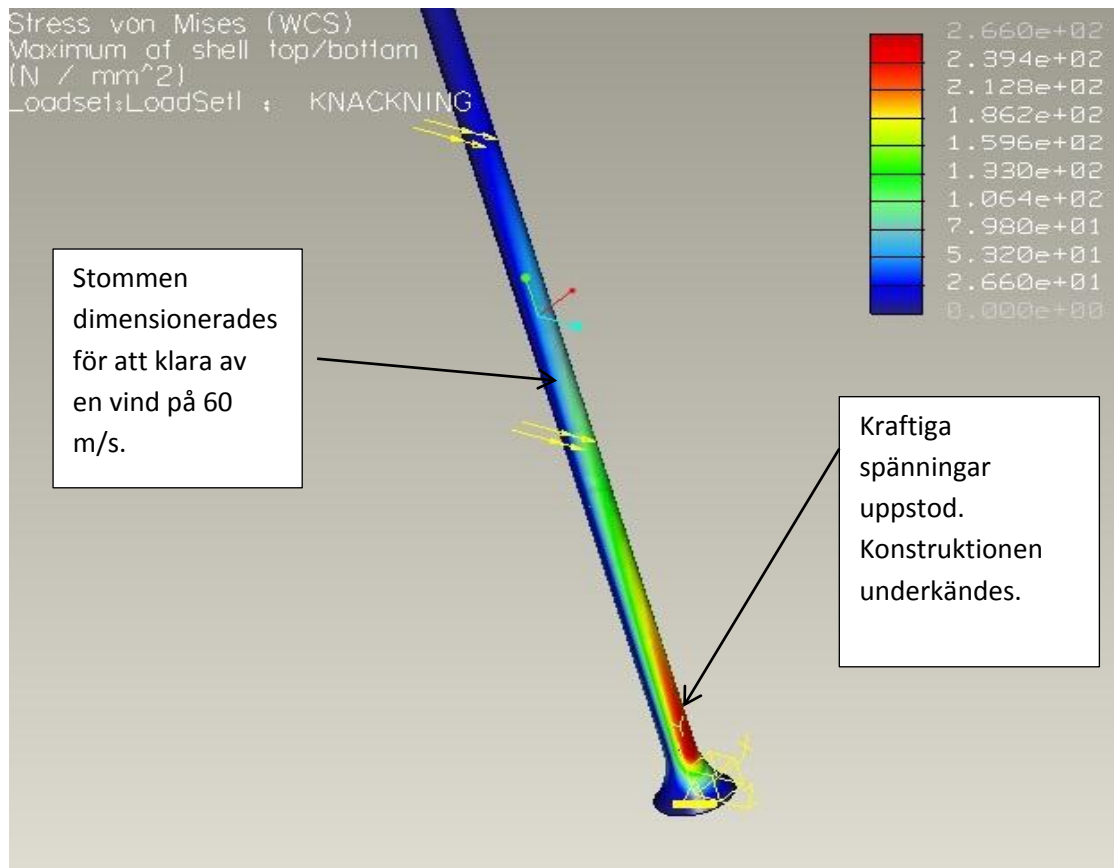
Den övre stommen anses vara fastinspänd i flytkroppen. Delen av stommen som är ovanför vattenytan måste dimensioneras för att klara vinden 60 meter per sekund. Kroppen riskerar att knäckas på grund av böjning. Stommens del som ligger i vattnet påverkas inte lika starkt av vindar eftersom ett tröghetsmotstånd från vattnet motverkar böjknäckning. En FEM analys gjordes därför endast på stommen ovanför vattenytan.

Vid approximering för den yttre kraften togs extremfallet då alla tio blad fångade upp vind med hela sin area. Kraften som påverkar den övre stommen blev

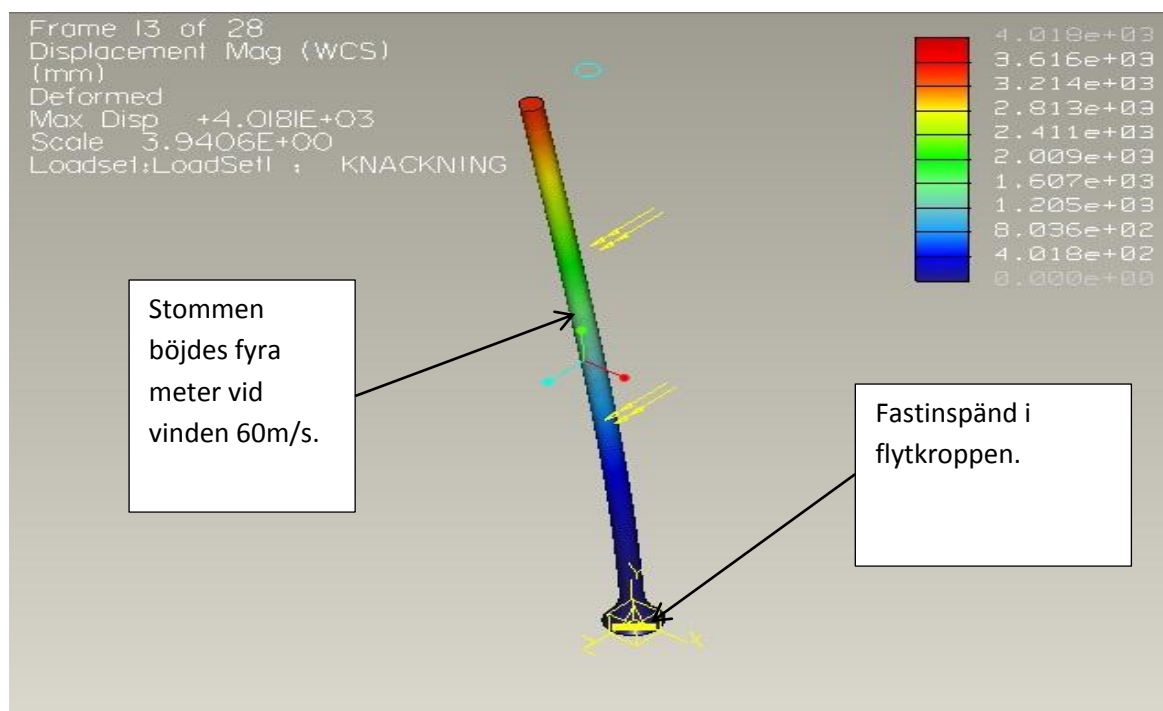
$$F = A * v * \rho * g = (1.5 * 10 * 142) * 60 * 1.24 * 9.81 \approx 1.5 * 10^6 \text{ N}$$

Två stycken analyser gjordes för att se så att kroppen klarade av de yttre påfrestningarna.

Vid första försöket var stommen endast ett skal och det visade sig att detta skulle ge spänningar nära sträckgränsen och dessutom ge en böjning på ca 4m.



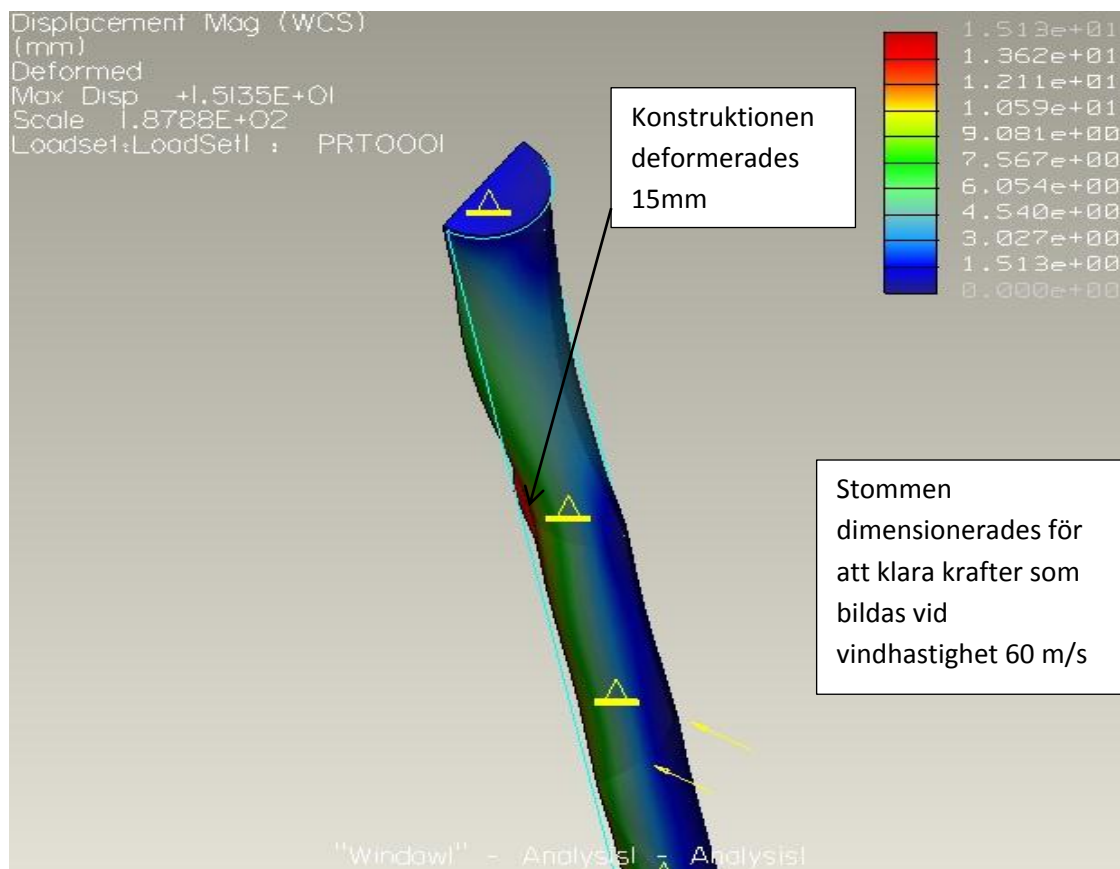
Figur 22 Ihopfällning av turbin



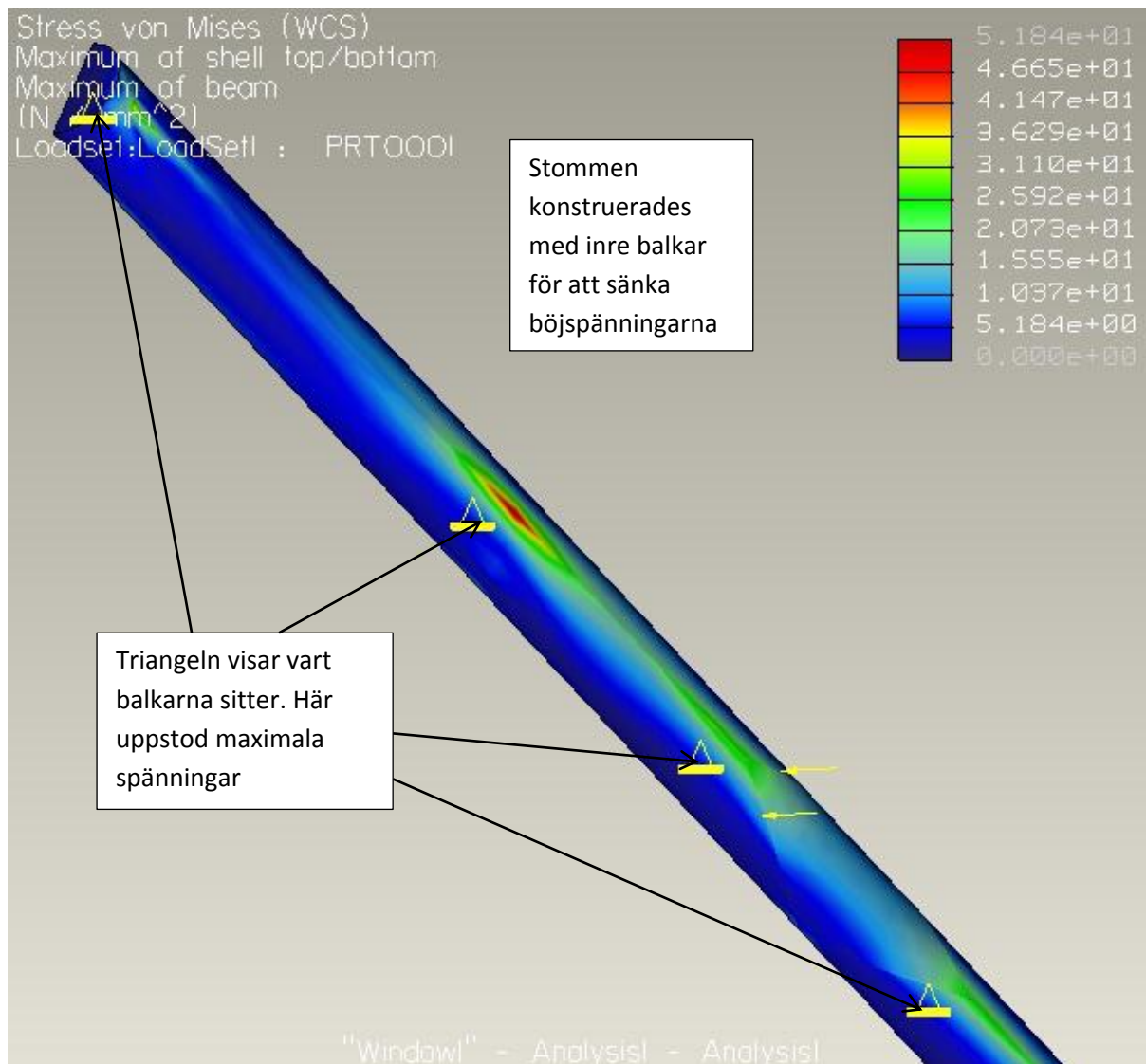
Figur 23 Deformation övre stomme

Den övre stommen förstärktes och konstruktionen konstruerades med balkar som tar upp tryckspänningar. Därmed minskade spänningen och den maximala spänningen hamnade på 52 MPA vilket ungefär är en fjärdedel under ståls sträckgräns. Resultatet är alltså rimligt och

konstruktionen kommer att hålla på grund av vinden böjdes den övre stommen 15 mm vilket är en mycket liten deformation.



Figur 24 Deformation stomme (med stödkors)



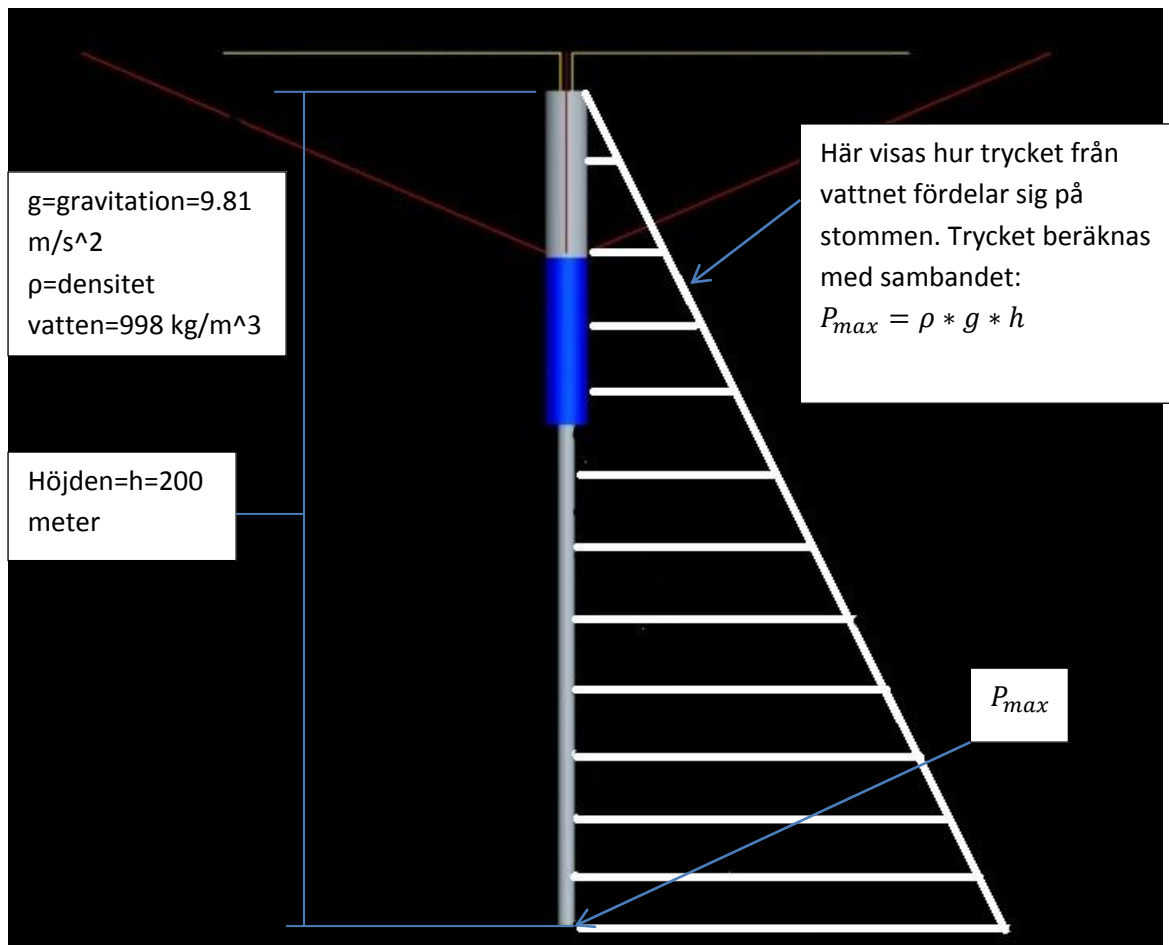
Figur 25 Spänningar övre stomme (med stödkors)

8.3 Nedre stomme (delen under flytkroppen)

Stommens nedre del (stommen under flytkroppen) kommer att utsättas för dels ett linjärt tryck från vattnet men den kommer också utsättas för drag ifrån yttre laster. Det linjära trycket beräknas med formeln $P_{max} = \rho * g * h$. En förenkling gjordes här. Maxtryck antogs över hela stommen. Dragkrafter kommer att uppkomma ifrån stommens egentyngd samt från generatoren, generatorbehållare och fästplattans tyngder. Enligt Arkimedes princip kommer vattnet motarbete de nämnda tyngderna och göra så att kroppen utsätts för mindre laster vilket bidrar till mindre uppkomna spänningar på stommen.

För att beräkna hur stora spänningar som påverkar kroppen så antas att stommen är fast inspänd i flytkroppen. De största spänningarna uppkommer vid inspänningen.

Däremot kommer de största tryckspänningar uppstå längst ner på stommen eftersom trycket från vattnet är som störst här. Med hjälp av Von Mises jämförelseekvation handberäknades effektivspänningen.



Figur 26 Nedre stomme

Beräkningar:

$$P_{max} = \rho * g * h \quad (4)$$

$$\sigma_{axiell} = \frac{P_{max} * R}{2 * t} \quad (5)$$

$$\sigma_{vinkel} = \frac{P_{max} * R}{t} \quad (6)$$

$$\sigma_{drag} = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

$$\sigma_{von mises} = \sqrt{(\sigma_{axiell} + \sigma_{drag})^2 + (\sigma_{vinkel})^2 - (\sigma_{axiell} + \sigma_{drag}) * \sigma_{vinkel}} \quad (8)$$

Tabellen visar mått på stommens del under flytkroppen samt vilket tryck som påverkar kroppen:

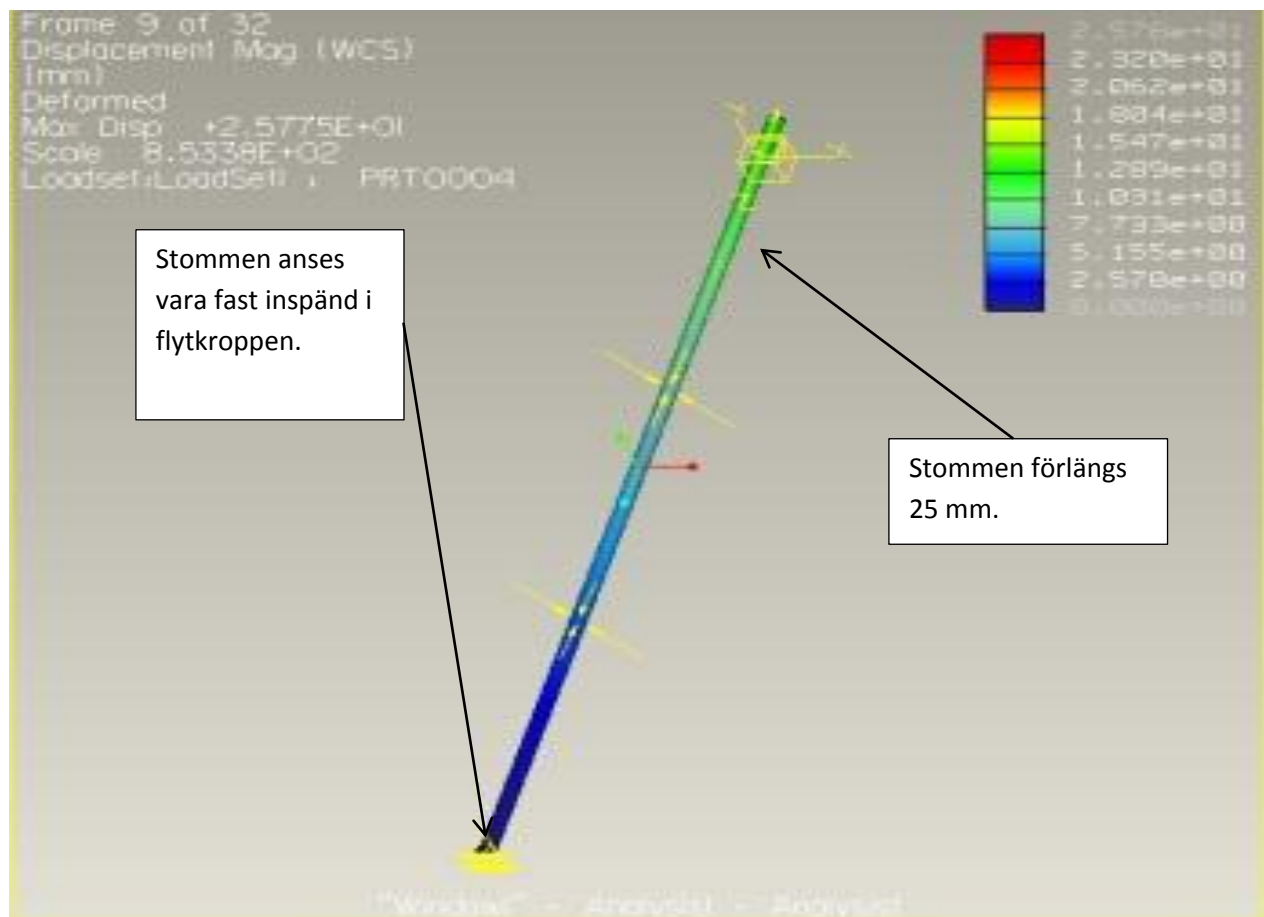
Tryck	Pmax	1,958 MPA
Radien på stomme	R	2 meter
Tjocklek på stommens plåt	t	0.025 meter
Tvärsnittsarea stomme	A	0.3122 meter

Tabell 2

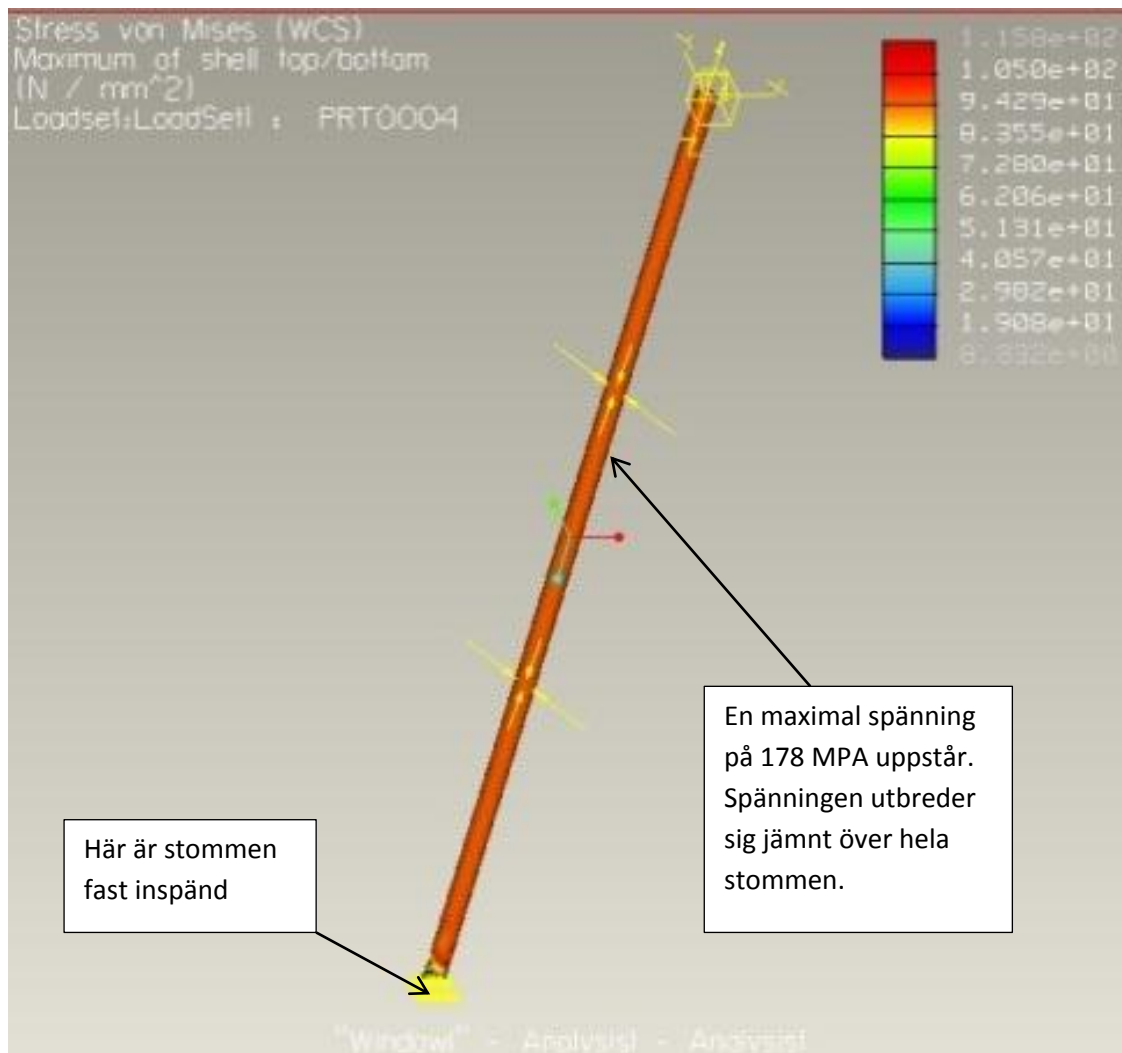
Beräkningarna ovan visar handberäkningar på maximala spänningarna som uppstår på stommen med hänsyn till drag och tryckspänningar. Resultatet visar att en maxspänning på 169 MPA kommer inträffa vilket är en god marginal ifrån stålets sträckgräns. Resultatet är alltså godkänt.

Vidare gjordes en FEM-analys för att styrka handberäkningarna och för att se hur mycket stommen förlängs. Även här antas kroppen vara låst i övre delen. FEM- analysen visar ett resultat på den maximala spänningen 178 MPA. Detta anses vara godkänt med samma anledning som ovan.

Programmet visar att en deformation på 25 mm kommer att uppstå vid nuvarande laster. Resultatet är godkänt eftersom 25 mm är en mycket liten deformation.



Figur 27 Deformation nedre stomme

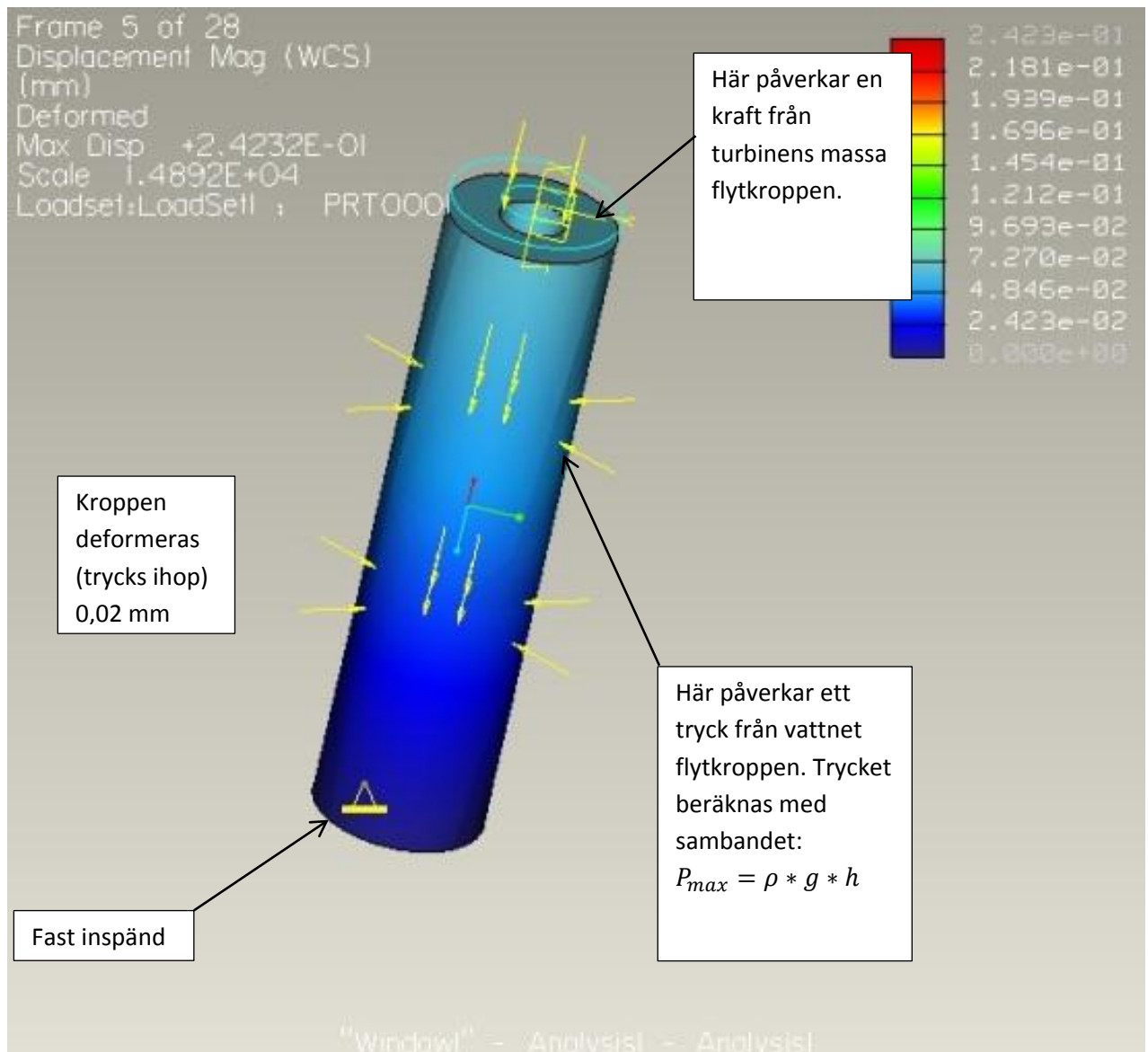


Figur 28 Spänningar nedre stomme

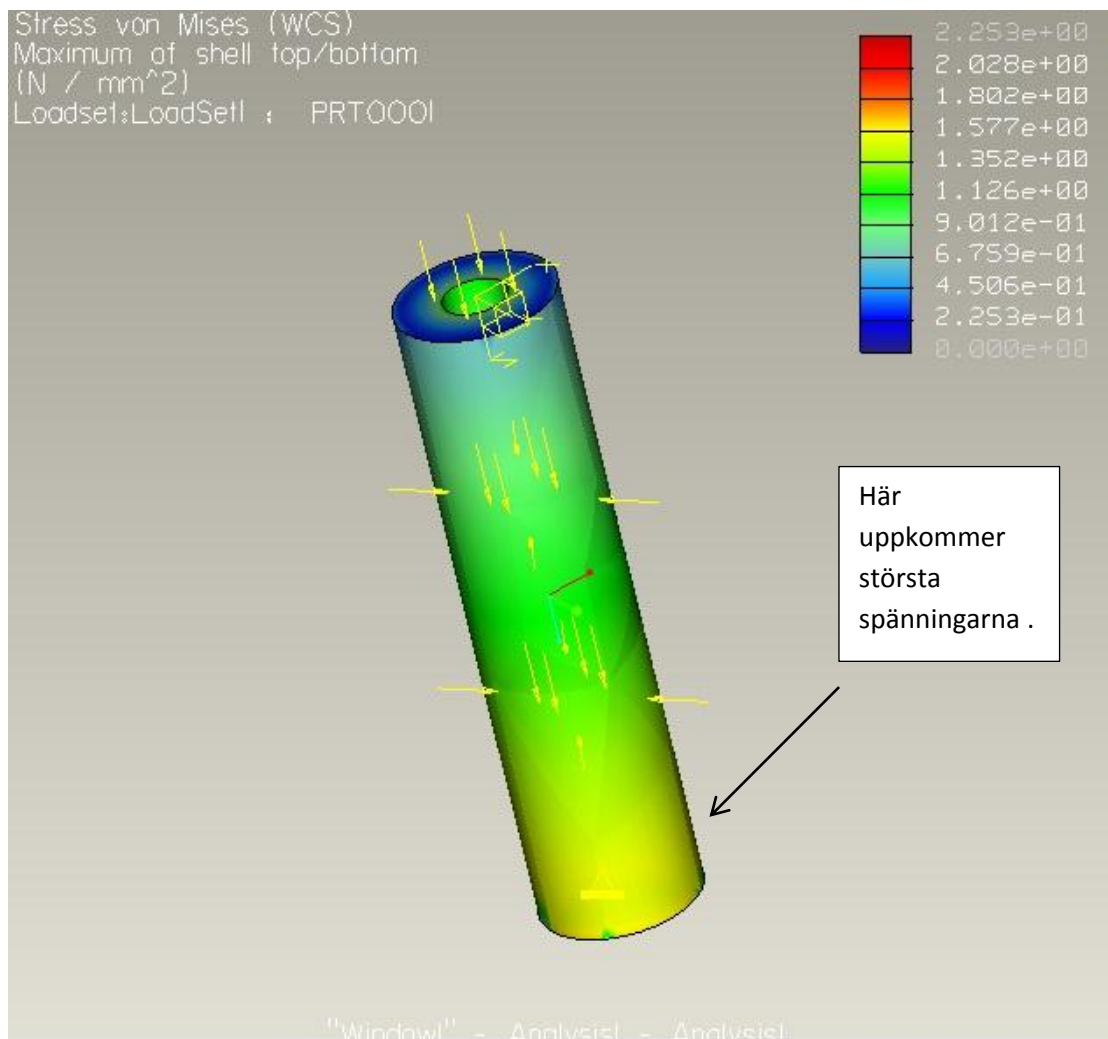
8.4 Flytkropp

Flytkroppen kommer att vara den del som tar upp mest belastning. Den kommer dels påverkas av turbinens tyngd samt kommer kroppen att påverkas av ett tryck från vattnet. Trycket från vattnet beskrivs med $P_{max} = \rho * g * h$ påverkar kroppen. Massan från turbinen utbreder sig på hela flytkroppens tvärsnittsarea. En FEM-analys gjordes för att undersöka vilken minsta godstjocklek på stålet som måste vara för att förhindra kraftiga deformationer. Även en analys på hur mycket kroppen deformeras undersöktes. Resultatet visar att en deformation på 0,2 mm uppstår och det visar vidare att den maximala spänningen kommer att ligga på 0,46 MPa.

Detta anses vara väl godkänt.



Figur 29 Deformation flytkropp



Figur 30 Spänningar flytkropp

9 – DISKUSSION

I detta kapitel diskuteras dels hur vår arbetsgång har varit. Hur denna kunde förbättras och hur man i framtiden borde arbeta. Här diskuteras också koncept konstruktionens optimering, då detta är det första konceptet i denna storlek kommer optimering självklart att krävas.

9.1 Arbetssätt

Arbetet inleddes med att analysera den befintliga modell som företaget tagit fram. Efter detta så började modelleringen av vårt koncept. Detta vet vi nu i efterhand var fel väg att gå. Vi skulle först ha beräknat vilka tjocklekar, längder, bredder mm. som skulle modelleras. I vårt fall hade vi i början av arbetet inte några yttre laster eller "låsta" mått som vi kunde utgå från och därför började cad-modelleringen tidigare än vad den borde gjort.

För oss skulle en bättre metod varit:

- Räkna ut storleksordningen på vikterna. Turbin, stomme, bottentyngd m.fl.
- Beräkna masscentrum så att man vet att kraftverket står stabilt.
- Jämvikt för att beräkna storlek på flytkropp.
- Påfrestningsanalyser för att beräkna tjocklekar.

- Ta fram passande ramverk.
- Modelleriing i CAD.

Metoden vi använt var i princip omvänd och gjorde att vi lagt ner mycket mer tid än vad vi egentligen kanske hade behövt göra.

9.2 Val av material

I princip hela konstruktionen kommer att tillverkas av rostfritt stål. Enda undantaget är bladen. I början av projektet var det tänkt att stommen till vindkraftverket skulle tillverkas av betong eftersom detta är ett betydligt billigare material än stål. En tanke är att övre stommen skulle kunna tillverkas i betong eftersom den delen inte behöver vara ihålig. Som det tidigare nämnts så har alla beräkningar gjorts på stål. Ska delar tillverkas i exempelvis i betong måste detta ändras i beräkningsgången.

9.3 Förbättringar av konceptet

Aerodynamisk utformning

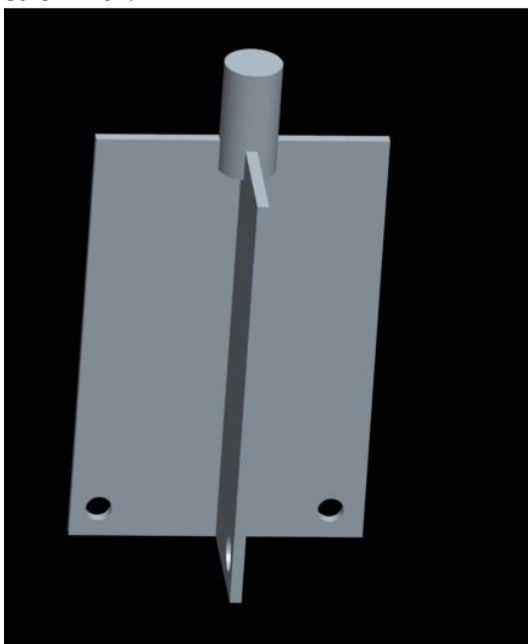
I framtiden, innan detta koncept ska tillverkas, borde en aerodynamisk analys behövas göras. Speciellt på ramverket, som inte var planerat från början av projektet, så att inte detta ger för stor friktion mot vinden och på så vis gör att vindkraftverket får svårt att rotera. Desamma gäller vajrar, dessa skulle kunna inneslutas i något slags strömlinjeformat hölje. Gällande ramverket så är det tilltänkte ramverket ett förslag på hur detta skulle kunna se ut. Ramverket skulle eventuellt kunna utformas på andra sätt som är mer aerodynamiskt gynnande men det är inget som tagits hänsyn till i detta koncept.

Fästplatta

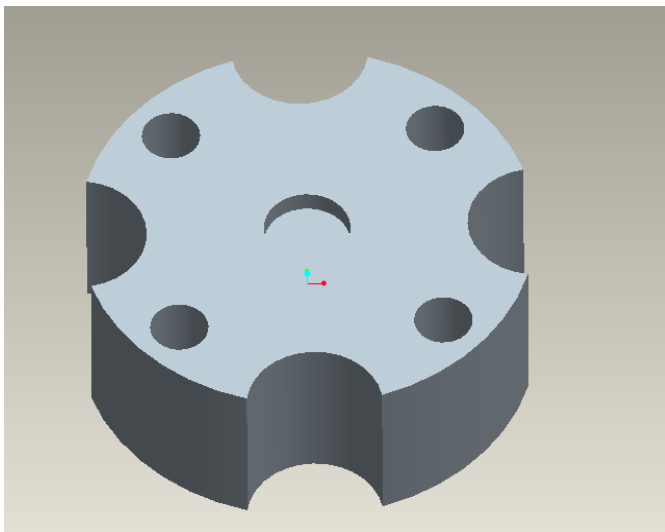
Den tilltänkta konstruktionen av fästplattan kommer att tillverkas som två korsande skivor och 4 stycken hål för att fästa vajrar i.

Optimering av detta fäste skulle kunna vara att undersöka hur stora krafter som kommer att uppstå i fästena. Dessa behöver eventuellt förstärkas.

Plattan ska ta upp så mycket strömningar som möjligt på egen hand (tack vare dess geometri) och det skulle då eventuellt kunna vara en förbättring att ha genomgående hål för att skapa mer strömmar.



Figur 31 Tilltänkt fästplatta



Figur 32 Alternativ till fästplatta

9.4 Kommande arbete

För att kunna gå vidare i projektet måste en passande generator tas fram till vindkraftverket. Just nu finns det inte någon generator som önskas att finna på marknaden. Problemet med att hitta en generator är som tidigare nämnts det låga varvtalet. Det finns inga generatorer på marknaden som just nu är anpassade efter varvtalet 6 rpm. Antingen får en planetväxel konstrueras så att varvtalet växlas upp till ett varvtal som en generator som finns på marknaden klarar av. Ett annat alternativ är att lägga resurser på att försöka konstruera en helt ny generator som eftersträvar kravet.

Nästa steg är att bestämma vilket material som konstruktionen skall tillverkas i. Vissa delar måste tillverkas i stål, andra skulle kunna tillverkas i betong för att få ner materialkostnaderna.

10 SLUTSATS

I denna rapport har ett koncept för ett offshore vindkraftverk konstruerats. En grov cad-modell har tagits fram.

Det har också gjorts analyser av de delar av kraftverket som antagits vara mest utsatta för att inte klara av yttre belastningar. FEM-analyser har gjorts på stomme, flytkropp och ramverk. Handberäkningar har gjorts på stommen för att stryka FEM analysen. Efter dessa analyser har specifika mått för konstruktionen föreslagits.

Det har också tagits fram beräkningsmallar i Matlab så att analyserna enkelt kan göras om utifall storleken på kraftverket i framtiden skulle ändras.

Det huvudsakliga syftet var också att kontrollera om företagets strukturdesign skulle hålla i verkligheten.

Vilket det i de flesta fall har gjort. Det har dock kommits fram till att ett ramverk krävs för att hålla uppe konstruktionens turbin.

Följande punkter har analyserats i rapporten

- Kraftverkets stabilitet i vattnet
- Kraftverkets flytjämvikt

- Spännings- och deformationer analyser för :
 - Stomme
 - Ramverk
 - Flytkropp
- Förstärkning map knäckning

Resultaten som fåtts genom analyserna har lett till delarnas dimensioner.

10.1 Svar på våra frågeställningar

Kommer den framtagna strukturdesignen att hålla?

Det har tagits fram mått och ramverk så att designen för de utvalda delarna kommer att hålla. FEM-analyser på stomme, ramverk och flytkropp stödjer detta.

Konstruktionen är dimensionerad för att klara av vindar upp till 60m/s. Ett ramverk har konstruerats som stöd för att hålla uppe hela turbinen. Konstruktionen klarar och håller för drag och tryckspänningar.

Var kommer de största påfrestningarna att bildas?

De största spänningar skulle uppkomma vid stöden för torusringen. Därav konstruerades ramverket.

De största spänningarna i det nuvarande konceptet finns lägst ner på den nedre stommen (de är dock godkända).

När en vind på 60 m/s infaller kommer stommen som ligger ovanför vattenytan böjas och stora spänningar uppstår.

Vad finns det för lösning för infästning av blad i torusringen?

Det finns många lösningar för detta. En slags kulkoppling kan vara att föredra. Dock kommer det behöva specialtillverkas.

Hur ska tätningen till generatoraxeln konstrueras?

Tätning finns på marknaden. SKF har tätningar som kan dimensioneras upp utan att funktionen försämrats.

Källor

Internetkällor:

Svensk Energi (2011). *Om Vindkraft*. Hämtad 2011-02-28 från <http://www.svenskenergi.se/sv/Om-el/Vindkraft/> (acc 2011-02-28) [1]

Vattenfall (2011). *Frågor och svar om vindkraft*. Hämtad 2011-02-28 från http://www.vattenfall.se/sv/fragor-och-svar-vindkraft.htm#faq_2 [2]

Böcker:

Dahlberg, T (2001). *Teknisk hållfasthetslära*. Stockholm: Studentlitteratur AB [3]

Personreferenser

Eduardo Segura. Indar Electric, S.L mail: eduardo.segura@indar.ingeteam.com [4]

Carl Nilsson. ABB AB, SEMOT tele: 46 21 32 96 96 [5]

Per-Olof Andersson. EVS, Borlänge AB tele: 070-691 01 26 [6]

Bilaga – Matlab kod

```
%%%%%%%%%%%%%%
%% Beräkningar konceptkonstruktion av vindkraftverk
%%%%%%%%%%%%%%
clear all
clc
%% Vindkraft
% Detta är den kraft som trycker på stommen
A=115*2*140;
v=60;
d=1.204; %densitet luft
g=9.81;
Vindkraft=v*d*A*g
%% Volym flytkropp
% Tyngden som flytkroppen ska kunna lyfta upp dividerat med densitet vatten
12*10^6/(0.998)
%% Vikter
%%%%%%%%%%
disp('VIKTER')
%Vinge
Palluminium=2700;
h=1;
b=3;
t=0.002;
hi=1-2*t;
bi=3-2*t;
l=142;
Vinge=1*Palluminium*((b*h/2)-(bi*hi/2))

%Vajer
d=0.02;
pstal=7800;
Vajer=pstal*1*pi/4*d^2

%Stomme
dy=4;
di=4-0.05;
d=7800;
L=200;
Stomme=((dy^2)-(di^2))*pi/4)*L*d %vikt på land

di=4-2*0.025;
volymstomme=((dy^2))*pi/4)*L;
Stomme2=Stomme-volymstomme*998; % vikt i vatten

%Övriga vikter är givna från Ehrnberg Solutions

%Turbin
Torusring=3.4131e+006;
Balknedre=8.4811e+004;
Balkovre=2.2754e+004;
%Vajer=270;
Ovrestommesteel=6.9506e+004;
Ovrestommebetong=2.9443e+006;
Overring=4.2965e+004;
%Vinge=3.0641e+003;
Ramverk= 4*Balknedre + Vajer;
```

```

Turbin=Torusring+(8*Ramverk)+(8*Balkovre)+Ovrestommesteel+Overring+(10*Ving
e)
%% Flytkraft
%När differensen mellan kraftverkets totala vikt och dess totala
%flytkrafter är 0 så flyter kraftverket.
%Altså när  $M_t+M_s+M_{wb}M_{vt}-F_{flyt}-F_s-F_{wb}-F_{vt} = 0$ 
rs=2;
rwb=7.5;
rvt=5;
d=998;
hs=200;
hwb=25;
hvt=42;
Mvt=3.0182*10^5;
Mt=(6.5*10^6);
Ms=(487.03*10^3);
Mwb=(6*10^6);
Fs=pi*(rs^2)*hs*d;
Fwb=pi*(rwb^2)*hwb*d;
Fvt=pi*(rvt^2)*hvt*d;

Fflyt=Mt+Ms+Mwb+Mvt-Fs-Fwb-Fvt;

%Flytkraften = volymen * densiteten för vatten

hflyt=Fflyt/(pi*5^2*998);
disp('Välj godstjocklek:');
disp(ceil(hflyt))
%% Masscentrum
x1=140/2;           %turbinens tyngpunkt
x2=240;             %stommens tyngdpunkt
x3=365;             %generatorn tyngpunkt
m1=6.5*10^6;        %turbiens vikt
m2= 1.55*10^5;      %stommens vikt
m3=5.5*10^6;        %nedre delens tyngd(inklusive generator)
xtak=(x1*m1+x2*m2+x3*m3)/(m1+m2+m3);

disp('Avståndet från turbinens topp till masscentrm är:')
disp(xtak)
%% Höjd vattentank
%Vattentanken ska rymma lika mycket som torusringen
clear all
clc
slang=6*pi*300*0.5^2;
r=10;
ri=2;
disp('Vattentanken måste vara minst:')
h=3235*10^3/(pi*(r^2-ri^2))-slang;
disp(h)
disp('Detta är orimligt att tillverka och koncept med tank lades ner.')
disp('Istället kan vatten pumpas direkt från havet')
%%Minsta t
%% von Mises jämförelsespänning

% Här testas olika tjocklekar

dy=4;               %Stommens ytterdiameter
hFB=40;             %Höjd flytkropp
FBWU=3.57;          %Flytkropp under vatten
Mgen=6*10^6;        %Massa generator+Weight Body

```

```

massastomme=(4*pi-((2-0.005)^2)*pi)*200*7800;
Mstomme=9.7895e+004 ; %Massa stomme
Vgen=pi*5.5*49/3; %Volym generator
hstomme=200-20; %Längden-halvflytkroppen(den övre delen
påverkas inte)
Vstomme=pi*(2^2)*hstomme; %Volym stomme
g=9.82; %Gravitation
R=2; %Radie stomme


```