

Atman Atto Sagvan og Jwan Mrad

UNDERVANNSTURBIN

Bacheloroppgave i Maskiningeniør

Veileder: Jo Sterten

Mai 2020

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

Oppgavens tittel:	Dato: 20.05.2020		
Undervannsturbin	Antall sider: 82		
	Masteroppgave:	Bacheloroppgave	x
Navn: Atman Atto Sagvan og Jwan Mrad			
Veileder: Jo Sterten			

Sammendrag:

Denne rapporten skal undersøke en helt ny type undervannsturbin fra bedriften Moonpower, og objektet ved denne turbinen er å levere fornybar strøm.

Konseptet for denne turbinen dreier seg om generering av el-kraft fra tidevannsstrømmer med relative lave hastigheter. Denne turbinen har ennå ikke blitt produsert, hvor da Moonpower er fremdeles i idefasen. Derfor så er formålet for denne rapporten å gi alternative forslag til bedriften Moonpower, som vil bidra til flere ideer og muligheter for utviklingen av turbinen.

Hovedoppgavene for denne rapporten tar for seg styrkeberegning, vinkelkontroller og alternative materialer for blad, arm og aksel. Oppgaven er avgrenset til styrkeberegninger for blad, arm, aksel, lager og skruforbindelse mellom blad og arm, undersøkelser av to lettmetaller, to komposittmetaller og et rustfritt stål, samtidig også en mekanisk løsning for justering av vinklene til bladene for å oppnå mest mulig effektiv rotasjon.

Rapportens metoder er for det meste basert på litteraturer, kompendier for faglærer, nettsider og andre lignende rapporter og studier. I tillegg til disse så blir det brukt dataverktøyet SolidWorks og 3D-printere.

Stikkord:

Materialer
Styrkeberegning
Vinkelkontroller
Simulering

Atman Atto Sagvan Jwan Mrad

(sign.)

Abstract

This report will investigate a whole new type of underwater turbine from the company Moonpower, and the object of this turbine is to provide renewable power. The concept for this turbine is about generating electricity from tidal currents at relatively low speeds. This turbine has not yet been produced, where Moonpower is still in the idea phase. Therefore, the purpose of this report is to provide alternative proposals to the company Moonpower, which will contribute to more ideas and opportunities for the development of the turbine.

The main tasks of this report deal with strength calculation, angular controls and alternative materials for blade, arm and shaft. The task is limited to strength calculations for blade, arm, shaft, bearing and screw connection between blade and arm, studies of two light metals, two composite metals and a stainless steel, while providing a mechanical solution for adjusting the angles of the blade to achieve the most efficient rotation.

The report's methods are mostly based on professional literature, compendiums from professional teachers, YouTube videos, websites and other similar reports and studies. In addition to these, the CAD tool SolidWorks and 3D printers are used.

Based on the group's research and results, we can conclude that aluminum will be the best material for the blades and arms, and for the shaft it will be duplex stainless steel. This conclusion is based on the properties of the materials and calculations which have been done by the group of these part components. It has also been concluded that none of the calculated parts will receive plastic deformation or breakage if the selected materials are applied, and this conclusion is based only on the largest static load from tidal currents. The group did not have the opportunity to test pitch controlling mechanism, this was because of the coronavirus situation.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet ved institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk, av to maskiningeniør studenter ved NTNU Gjøvik, og markerer dermed avslutningen på en treårig bachelorstudiet for maskiningeniør i retning industriell design.

Denne oppgaven ble valgt på grunn av et interessant tema med aktuelle oppgaver for maskiningeniører, samtidig var også dette temaet forslag fra instituttet. Løsningene av problemstillingene som blir presenter i rapporten krever stor deler av kunnskapene som har blitt innhentet gjennom tre år med studie innenfor maskiningeniør. Derfor så har dette prosjektet gitt oss mye lærdom, hvor vi lært om hvordan disse kunnskapene gjennom tre års studium tas i bruk i praksis.

Vi vil gjerne takke vår veileder Jo Sterten ved NTNU Gjøvik for sine bidrag og tips gjennom hele prosessen av arbeidet for bacheloroppgaven. Vår oppdragsgiver for denne rapporten er bedriften Moonpower, dermed så vil vi også gi en takk til vår kontakt person Pål Alvereng fra bedriften for sine råd og assistanse.

Innholdsfortegnelse

Abstract	ii
Forord	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurligste	vi
Terminologi	1
1. Generelt	4
1.1 Introduksjon	4
1.2 Bakgrunn	5
1.3 Problemstilling	7
1.4 Begrensing av problemstilling	8
2 Metode	9
3. Tekniske tegninger	10
4. Alternative materialer	12
4.1 Glassfiber	13
4.1.1 Rust	14
4.1.2 vekt	15
4.1.3 Pris	15
4.2 Karbonfiber	15
4.2.1 Klassifisering av karbonfiber	16
4.2.2 Egenskaper	17
4.3 Aluminium	19
4.4 Titan	21
4.5 Duplex	23
5. Styrkeberging	26
5.1 Simulering	27
5.1.1 Simulering av bladprofil	29
5.1.2 Simulering av armer	40
5.2 Beregning av aksel	49
5.2.1 Vrimoment	50
5.2.2 Opplagerkrefter	50

5.2.3 Skjærkraft- og bøyemomentdiagram:.....	51
5.2.4 Jevnførende spenning:.....	51
5.2.5 Analyse av resultater	52
5.3 Beregning av lagerstørrelsen.....	52
5.3.1 Analyse av resultat	55
5.4 Beregning av feste mellom blad og armene:.....	55
5.4.1 Analyse av resultat for skrueforbindelsen.....	58
6. Vinkelkontroller	58
8. Diskusjon.....	62
8.1 Diskusjon av metode og utførelse	62
8.2 Diskusjon for valg av materiale	63
8.3 Diskusjon av beregninger.....	64
8.4 Diskusjon av vinkelkontroller	64
8.5 Diskusjon av resultater	64
8.5.1 Materiale.....	64
8.5.2 Styrkeberegning	65
8.5.3 Vinkelkontroller	66
Litteraturliste	67
litteratur	67
Nettsider	68
Bilder.....	75
Vedlegg	78
Vedlegg 1 Teknisk tegning av bladprofil.....	78
Vedlegg 2 Teknisk tegning av arm	79
Vedlegg 3 Teknisk tegning av aksel	80
Vedlegg 4 Dimensjoner for M64 bolt fra ISO standard 4014.....	81
Vedlegg 5 Medforfatterdeklarasjon	82

Figurligste

Figur 1.1 Foreløpig fremstilling og design av undervannsturbinene fra Moonpower	5
Figur 1.2 Tilvirket energi fra bølger og tidevann fordelt etter land (Energy Statistics- Ocean Energy Potential graph wave and tidal, developed countries, 2016)	6
Figur 1.3 Francis vannturbin (Francis Turbine, 2005)	6
Figur 1.4 Pelton vannturbin (Pelton Turbine, 2005)	6
Figur 1.5 Vannkraft fra dam (Hydroelectric Power, 2005)	7
Figur 1.6 Keplan vannturbin (Keplan Turbine, 2005)	7
Figur 1.7 Vanlig vannturbin (Electric Power from Tidal Flows, 2005)	7
Figur 2.8 3D-printet modell av undervannsturbinen	9
Figur 2.9 Prusa 3D-printer	9
Figur 3.10 3D-tegning av bladene, armene og aksel	11
Figur 3.11 Aerodynamikk av vindmølle (Turbine Aerodynamics, 2019)	11
Figur 3.12 Bladform fra Moonpower	12
Figur 4.13 Glassfiber duk (2020)	13
Figur 4.14 Tøyning- og spenningsdiagram av høyfaste kompositter (Skjematisk fremstilling av strekkfasthet og tøyingsforhold av høyfaste kompositter med fiber plassert parallelt med strekkretning og fiber plassert i samme retning (unidireksjonalt) normalt på strekkretningen, 2008)	14
Figur 4.15 Karbonfiberduk (2019)	15
Figur 4.16 Global forbruk av karbonfiber i ulike applikasjoner (Global carbon fiber market volume share by applicatio (%), 2017)	15
Figur 4.17 Globale markedet av karbonfiber etter verdens regionene (Carbon fiber market volume by region, 2014-2025 (Tons), 2017)	16
Figur 4.18 Klassifisering av karbonfiber etter egenskaper (Classification of carbon fibers on the basis of mechanical performance, 2000)	16
Figur 4.19 To forskjellige produksjonsprosesser for karbonfiber (The processes for making carbon fibers from PAN and pitch precursors, 1994)	17
Figur 4.20 Mekaniske egenskaper for noen ulike type karbonfibre (Tensile properties and diameters of commercial carbon fibers, 1994)	18
Figur 4.21 Aluminium	19
Figur 4.22 Aluminiumslegeringer (Legeringsfamilier etter EN-standard, 2009)	20
Figur 4.23 Mekaniske egenskaper for titan (Noen egenskaper til titan, 2012)	21
Figur 4.24 Korrosjonshastighet av legeringer og metaller (Korrosjonshastighet (mm/år) ved sammenkobling av titan og andre metaller i sjøvann, 2012)	22
Figur 4.25 Kjemisk sammensetning for Ti-6Al-4V (2020)	22
Figur 4.26 Mekaniske egenskaper for Ti-6Al-4V (2020)	23
Figur 4.27 Varmebehandling av Ti-6Al-4V (2020)	23
Figur 4.28 Familietre av rustfrie stål (Composition and property linkages in the stainless steel family of alloys, 2000)	24
Figur 4.29 Materiale påvirket av korrosjon (Korrosjon, 2019)	24

Figur 4.30 Kubisk flatesentrert atom struktur (Enhetscellen i kubisk flatesentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som: - reduserte kuler- kompakte kuler hvor 74% av volumet er opptatt av atomer- et aggregat av mange atomer, 2010).....	25
Figur 4.31 Kubsik romsentrert atom struktur (Enhetscellen i kubisk romsentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som: - reduserte kuler- kompakte kuler hvor 68% av volumet er opptatt av atomer- ett aggregat av mange atomer, 2010).....	25
Figur 5.32 Beregninger fra Moonpower	27
Figur 5.33 Vannstrøm krefter som virker på bladene	30
Figur 5.34 Konvergenstudie av bladprofil med 6061 legering.....	37
Figur 5.35 Vannstrøm krefter som virker på armen.....	40
Figur 5.36 Konvergenstudie av armprofil med 6061 legering	47
Figur 5.37 Avstander for aksel med arm.....	49
Figur 5.38 Skjørkraftdiagram.....	51
Figur 5.39 Momentdiagram.....	51
Figur 5.40 Rullelager med påført kraft.....	53
Figur 5.41 Tabell 8 i SKF-katalog	53
Figur 5.42 Tabell 4 fra SKF-katalog	54
Figur 5.43 Avskjæringsforbindelse	55
Figur 6.44 To forskjellige bladvinkler som mottar tidevannsstrøm.....	58
Figur 6.45 De mest gunstige vinklene på bladene i de ulike rotasjonsposisjonene	59
Figur 6.46 Alternativ løsning nummer 1 for vinkelkontroller	60
Figur 6.47 Alternativ løsning nummer 2 for vinkelkontroller	61
Figur 6.48 Alternativ løsning nummer 3.....	62

Terminologi

P_E = Effekt

P_{total} = Total effekt

E = Kinetisk energi

v = Hastighet i meter per sekund

C_P = Hydrodynamikk koeffisient for turbiner

TSR = Turbinens turtallhastighetsforhold

ω_m = rotasjonshastigheten gitt ved radianer per sekund.

R = Radius for sirkelbevegelsen av bladene

F = Kraft i newton

m = Massen til legemet

A = Areal av et område som tidevannet passerer

ρ = Vannets tetthet

Mv = Vrimoment

r = Arm lengde

σ_j = Jevnførende spenning

Mb = Bøyemoment

E-modul = Elastetsmodul

d_A = Aksel diameter

Fr = Kraft

n_T = Turtall

d_I = Indre diameter til lager

L_{10h} = Nominell livslengde i timer

Fr = Radial belastning

F_a = Aksial belastning

P_L = Ekvivalent lagerbelastning

p = Eksponent avhengig av lagertype

C = Dynamisk bæreevne

P_S = Stigning

μ = Friksjonskoeffisient i gjeng mellom skrue og mutter

μ' = Friksjonskoeffisient mellom skruehode / mutter og underlag

α = Halve gjengevinkelen

F_F = Friksjonskraften

φ = Stigningsvinkel

d_m = Skruens midlere diameter

ε_1 = Korrigert friksjonsvinkel

r_m = Skruens midlere radius

$r_{m'}$ = Den radius som friksjonskraften antas å virke på

N = Nøkkelvidde

d_h = Hullets diameter

M_s = Friksjonskraftmoment

M = Det totale tiltrekningsmoment

τ = Skjærspenning

n_s = Antall skruer

n_a = Antall snittflater pr. skrue

d_D = Diameter stamme

P_H = Hullflatetrykk

D = Ytre diameter av trykkflate

d_h = Indre diameter av trykkflate

Z = Antall bærende gjenger (innganger)

D_1 = Indre diameter mutter

d_Y = Ytre diameter skrue

H = Høyde skrue i inngrep / høyde mutter

τ_s = Skjærspenning i skruen

d_i = Kjernediameter

τ_m = Skjærspenning i mutter

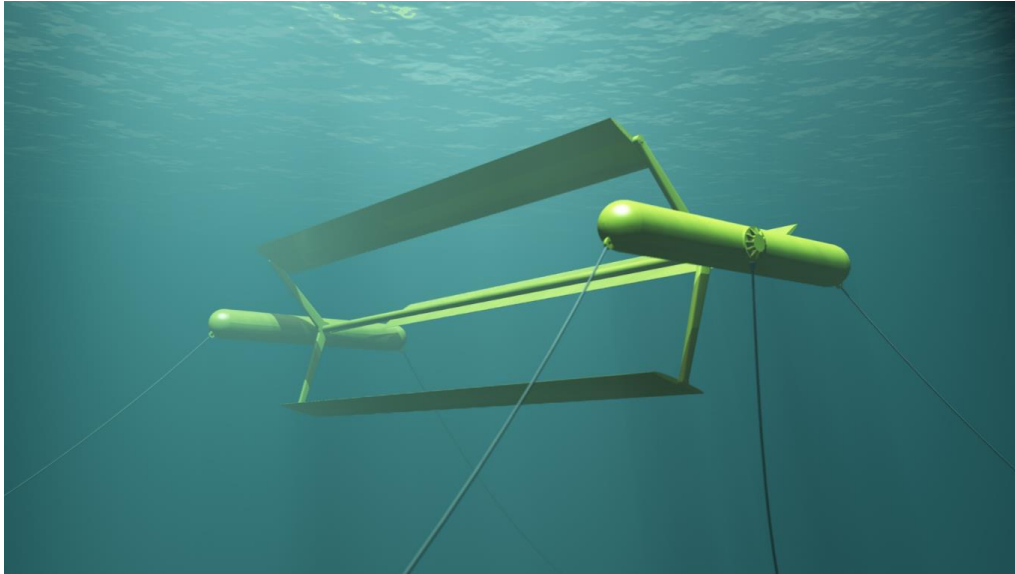
d_S = Skruediameter

1. Generelt

1.1 Introduksjon

Denne rapporten skal ta for seg om en ny type undervannsturbin fra bedriften Moonpower, og skal i hovedsak produsere strøm fra tidevannsstrømmer med relativt lave vannhastigheter. Selskapet Moonpower ble etablert i 2017 av tre aksjonærer, og en av disse er gruppens kontaktperson Pål Alvereng, hvor han også både daglig og styrets leder. Selskapet befinner seg på Grytøya i Harstad kommune og har ingen foreløpig ansatte. En vannturbin er en type maskin/konstruksjon som mottar bevegelsesenergi fra tidevannsstrømmer og omdanner dette til elektrisitet. Tidevannsenergi eller tidevannskraft kan defineres som energien som følger av månens og solens gravitasjonspåvirkning på havet. Når vannstanden er på sitt høyeste, kalles det for flo eller høyvann, og når vannstanden er på sitt laveste, kalles det for fjære eller lavvann. Store forskjeller mellom flo og fjære skaper tidevannsstrømmer i kystområdene, og disse strømmingene kan være sterke nok til å drive turbiner. I tillegg så har vann nesten 1000 ganger større tetthet enn luft, og dette resulterer i veldig store mengder energi som kommer ut av tidevannsstrømmene, selv om strømhastigheten er lav.

Selve designet og konstruksjonen er ennå ikke fastslått, men konseptet skal dreie seg om at alle bladene skal kunne skape rotasjon både for inngående og utgående vannstrøm, altså for begge retninger. I tillegg skal bladene være plassert horisontalt og samtidig være helt nedsenket i vannstrømmen. Figuren under er hentet fra Moonpower og illustrerer den midlertidige modellen.



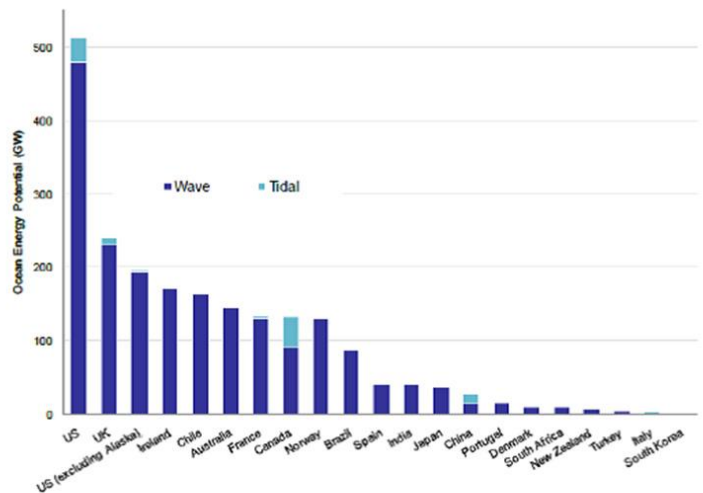
Figur 1.1 Foreløpig fremstilling og design av undervannsturbinene fra Moonpower

Ideen er også at rotasjonen skal være saktegående og dermed så skal turbinen være lokalisert hvor det ikke er høye vannstrømmer, grunnen for dette er lik som vindmøller hvor det brukes en girkasse for å konvertere den lave hastigheten på rotasjonsakselen til en elektrisk generator med høyere hastighet, dermed så trengs ikke store rotasjonshastigheter for å skape strøm, og i tillegg så er det mindre sannsynlighet for skader for dyr ved lave hastigheter, og samtidig så er det større sannsynligheter for at konstruksjonen vill bryte sammen på grunn av høy rotasjonshastighet enn ved lavhastighet, eksempler på dette er «Hornslet» vindmølle som kollapset siden girkassen og bremsene fikk en funksjonsfeil og dermed begynte å rotere raskere, til slutt så nådde den en hastighet over toleransen på designet.

1.2 Bakgrunn

Bakgrunnen for selve oppgaven er at et selskap ønsker å designe en ny type turbin som skal skape miljøvennlig elektrisitet fra tidevannsstrømmer, og opphavsmannen tok kontakt med NTNU for å ønske hjelp og komme med forslag om ideer som kan forbedre turbinen. Dette er en veldig relevant oppgave i forhold til maskiningeniørens studieretning.

Generelt så økes mengden strøm betydelig hvert år over hele verden. For å kunne imøtekomme denne økende etterspørselen etter strøm og uten å belaste miljøet i for stor grad er veldig utfordrende. Mennesker utvikler stadig nye ideer og produkter for å kunne skape fornybar energi, og årsaken til dette er store bekymringer rundt miljø- og klimaendringer som bidrar til at flere investorer og finansieringsselskaper velger energiprojekter. Havet har dekket rundt 70 % av planeten vår, og den består av et område med enormt potensiell energi i form av havstrøm, tidevann, bølger og så videre. Derfor har vannkraft vokst til å være en av de mest kjente og brukte innen fornybar energi, og dermed så betyr det også at vannkraft har en stor økende interesse i mange deler av verden, figur 1.2 viser hvor mye havenergi har blitt produsert etter land. Bildene under er noen av de mest kjente og brukte undervannsturbinene som man finner flest av i dag.



Source: Boust (2012), IHS

Figur 1.2 Tilvirket energi fra bølger og tidevann fordelt etter land (Energy Statistics- Ocean Energy Potential graph wave and tidal, developed countries, 2016)



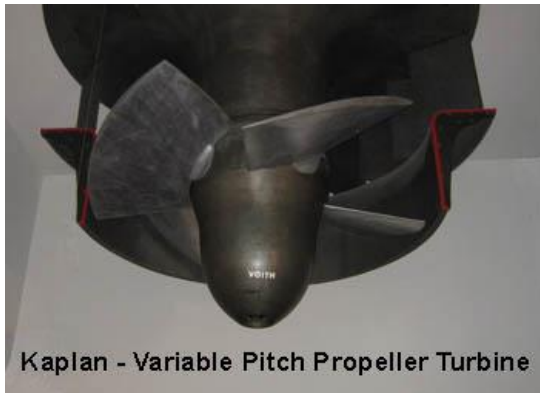
Pelton Turbine



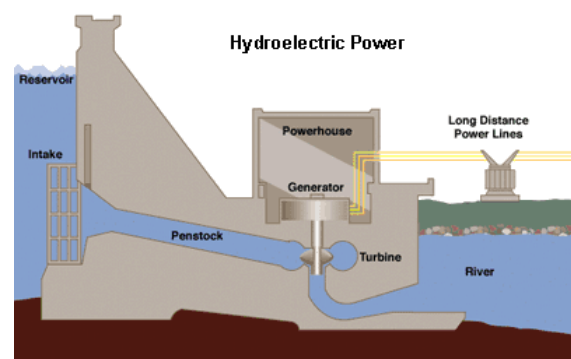
Francis Turbine

Figur 1.3 Francis vannturbin (Francis Turbine, 2005)

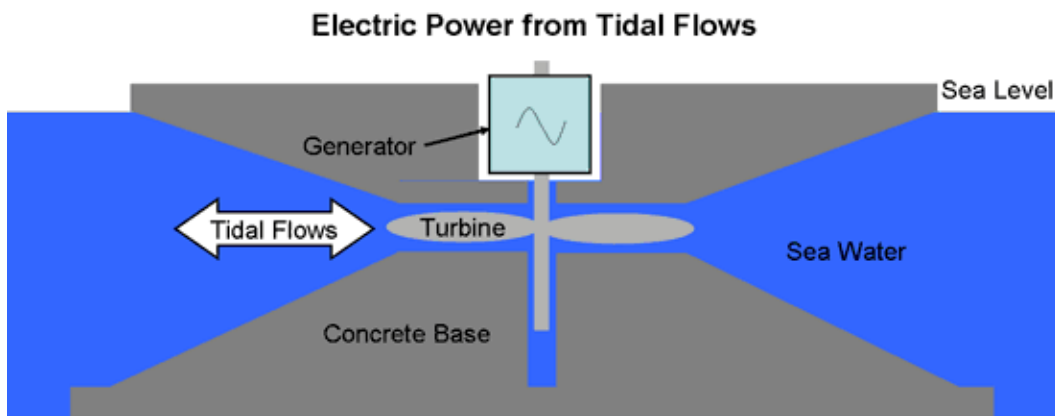
Figur 1.4 Pelton vannturbin (Pelton Turbine, 2005)



Figur 1.6 Kaplan vannturbin (Kaplan Turbine, 2005)



Figur 1.5 Vannkraft fra dam (Hydroelectric Power, 2005)



Figur 1.7 Vanlig vannturbin (Electric Power from Tidal Flows, 2005)

1.3 Problemstilling

Siden dette er veldig stor oppgave så er det viktig å avgrense denne for å kunne sikre resultater. Derfor så tar denne rapporten i følgende problemstilling:

Hvordan kan Moonpower lage en slags type mekanisk konstruksjon for å bestemme og kontrollere bladvinklene slik at de kan vippes opp og ned ved øvre og nedre del av sirkelbevegelsen for å oppnå gunstig rotasjon? Hvilken type materiale bør Moonpower velge for bladene, armene, aksling og lager, samtidig hvor store krefter og spenninger oppstår på

bladene og armene med en strømhastighet opp mot 4 m/s, og hva er levetiden på aksling og lager?

1.4 Begrensing av problemstilling

Denne rapporten vil begrense til to komposittmaterialer, to lettmetaller materialer og et rustfritt stål på grunn av arbeidsmengde og omfang, av samme grunn så skal også et lettmetall og et komposittmateriale simuleres. Oppgaven skal også ta hensyn til en mekanisme for å kontrollere bladvinkelene, og denne skal helst ikke være elektronisk. Denne oppgaven skal også inneholde styrkeberegning av bladene, armene, aksling, lager og skrueforbindelse mellom bladene og armene, disse skal beregnes ut ifra en og samme maksimal kraft som oppstår på grunn av vannstrømmen med den største hastighet på 4 m/s.

Det skal styrke beregnes for en M60 bolt, bakgrunnen for valget av denne dimensjonen for skruen er fra tidligere kunnskaper om beregninger av skrueforbindelser i emnet styrkeberegning, og antar dermed dimensjonene for skruen skal være mer enn store nok til å utholde kreftene fra vannstrømmen. Materialet for skruen antas å være klasse 8 stål av karbon lagring, som er et av de vanligste materiale for skruer og disse har normalt en fasthetsklasse på 8.8, derfor så tas det i utgangpunkt i dette for beregningene av M60 bolt.

For styrkeberegning av blad og armen så skal det brukes simuleringsverktøy, her skal det bare analyseres et metall og et komposittmateriale. Valget av disse to materiale skal baseres på undersøkelsen som gruppen har gjort på forhånd av de fem alternative materialene.

Noen aktuelle temaer som oppgaven ikke skal sette søkelys på er:

- Forslag av flere alternative design og utforming til bladene og armene.
- Byggesaksprosess som lover, søknader, forskrifter, standarder osv.
- Hensyn til temperatur
- Produksjonsprosessen
- Analyse av tidevannsstrømmer og lokalisering av turbinen.
- Mulige etiske og miljømessige utfordringer og løsninger.

2 Metode

For å svare på problemstillingen så er det bruk av først og fremst litteraturstudier. Her vil det bli brukt bøker, nettsider, artikler og lignende studier for å finne informasjon og til å komme fram til den beste mulige løsningen av problemstillingen.

Arbeidet av denne oppgaven forgår både selvstendig og ved samarbeid mellom studentene, veileder Jo Sterten og kontaktperson Pål Alvereng fra Moonpower. Samtalene mellom disse personene foregår via møter på NTNUs område i Gjøvik, telefon, og kommunikasjonsplattformene Microsoft Teams, Facebook og Blackboard.

Gruppen skal forholde seg til bladenes og armenes utforming fra Moonpower, men bruker dimensjoner ved hjelp av å sammenligne med andre undervannsturbiner, vindturbiner og forslag av veileder og kontaktperson fra Moonpower, det samme gjelder også valgene av dimensjonene for akselen og skrueforbindelsen mellom armen og blad.

NTNUs Prusa 3D-printere ble brukt for bygging av tredimensjonale blader, armer, aksel og en enkel såkalt «base» struktur som har sin hensikt å holde disse komponentene sammen, denne konstruksjonen skal selvfølgelig ikke være en del av den virkelige undervannsturbinen.



Figur 2.9 Prusa 3D-printer



Figur 2.8 3D-printet modell av undervannsturbinen

Dataverktøyet DS SolidWorks brukes for å 3D-designe bladene, armene og akselen, samtidig også for å lage 2D-tegninger for disse komponentene med dimensjoner. I tillegg benyttes SolidWorks for simulering og analysing av blad- og armprofil, og Youtube videoer av SolidWorks tutorials ble brukt for veiledning av 3D-tegninger og simulering. Det skal også gjøres fem simuleringer med forskjellige elementstørrelser, og grunnen for å ha fem simuleringer er å oppnå reliabilitet i svaret. For forklaring av resultatene for simuleringen så ble det brukt bilder og tabeller fra «Simulation Report» i fra SolidWorks.

For utregning av kraften fra den maksimale hastigheten av vannstrømmen, så bruker gruppen beregningene fra Moonpower som de selv har gjort, men gruppen skal forklare bakgrunnen for utregningene og her blir læreboken University Physics 13th edition og forelesningsnotater om fluidmekanikk av Are Strandlie brukt som veiledende.

Beregning av aksel, lager og skrueforbindelse mellom arm og blad blir gjennomført på Microsoft Words formel funksjon, her vil kompendiene av skrueforbindelser, lager og aksel til Henning Johansen være veiledende, og i tillegg til disse så vil også kompendiene om aluminium, titan, kompositter og korrosjonsbestandige stål også være veiledende.

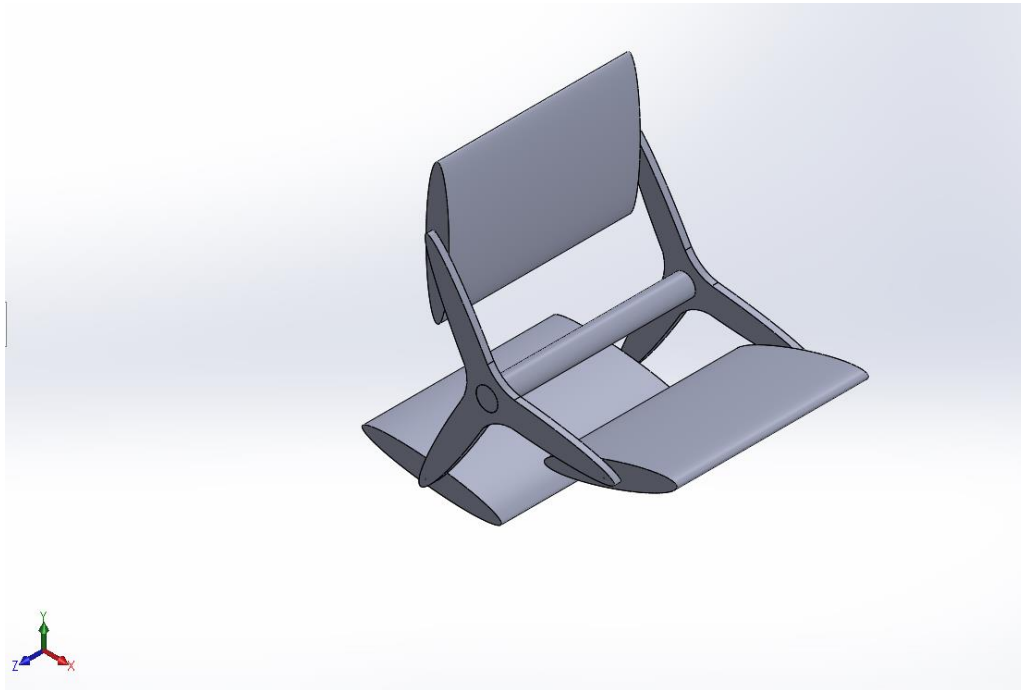
For tegningene som gruppen selv har gjort, som moment- og skjær diagram, vinkelkontroller, illustrasjon av krefter som påvirker blad- og armprofilene, så blir det brukt tegnebrett og appen «paint» på datamaskinen.

3. Tekniske tegninger

Gode designere og ingeniører vet hvordan de skal modifisere, analysere og optimalisere en konstruksjon, og ved håndtegninger så kan dette bli fort komplisert og tidskrevende, men heldigvis lar dataassistert design (CAD) gjøre dette og samtidig bidrar det til å øke kvaliteten og produktiviteten for ingeniører og designere.

I denne oppgaven brukes dataverktøyet SolidWorks for å 3D-modullere og visualisere hvordan bladene, armene og akselen henger sammen. Etter diskusjoner med Moonpower og veileder og samtidig sammenligninger med andre turbiner og vindmøller har gruppen kommet fram til følgende dimensjoner og design, der figur 1 illustrerer gruppens utkast av

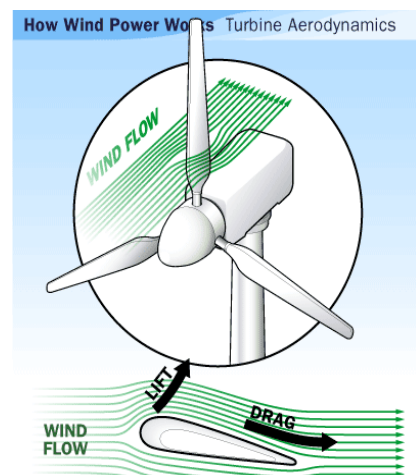
undervannsturbinens design, mens form og dimensjonene for hver enkelt komponentene er visst under vedlegg.



Figur 3.10 3D-tegning av bladene, armene og aksel

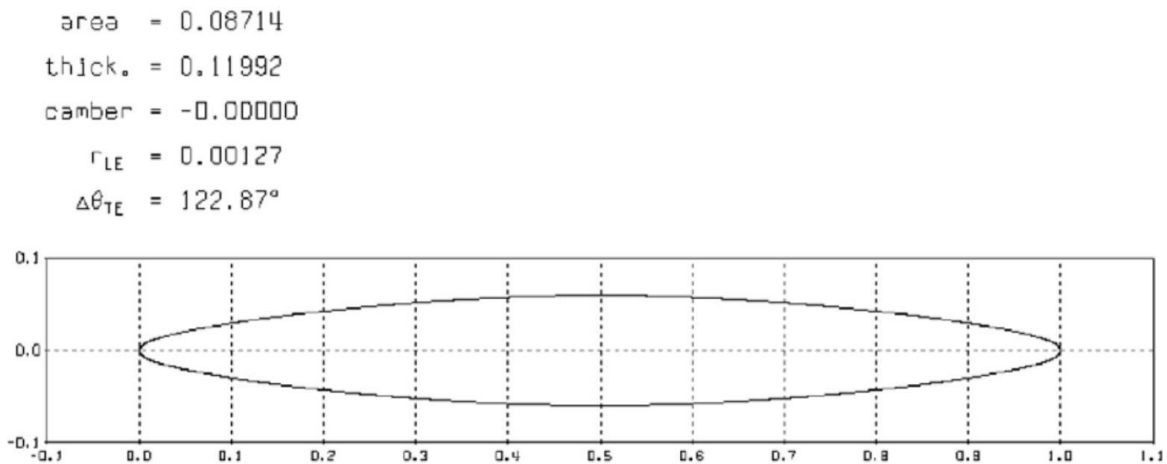
Formen av bladene er hentet fra Moonpower, mens armene så har gruppen valgt å bruke samme form som bladene. Bakgrunnen for valget av denne formen er at armene skal fungere som en «hjelpende hånd», altså bidra til å hjelpe bladene rotere. Ideen av denne formen er hentet fra airfoil design som innebærer aerodynamikk prinsipper, og går ut på hovedsakelig den mest effektiv måte å fange vindens energi og for å dytte bladene i bevegelse, på samme måte så skal også undervannsturbinen fungere.

Dette er et svært komplisert fenomen, og krever store kunnskaper innenfor fysikk og matematikk for å forstå dette. Men i en veldig forenklet forklaring, så er det to primære prinsipper, den første er løft som virker vinkelrett på retningen av vindstrømmen, og løfter bladet i samme retning på grunn av trykket på undersiden. Den andre prinsippet er dra som virker parallelt med retningen av vindstrømmen, og skyver bladet



Figur 3.11 Aerodynamikk av vindmølle (Turbine Aerodynamics, 2019)

i samme retning. Figur 2 illustrer disse prinsippene. (Layton, 2019) Disse prinsippene fungerer også i fluiddynamikk med vannstrømmer, siden forskjellen mellom fluiddynamikk og aerodynamikk er ikke stor, der fluiddynamikk er bevegelse av vesker, mens aerodynamikk er bevegelse av gasser.



Figur 3.12 Bladform fra Moonpower

4. Alternative materialer

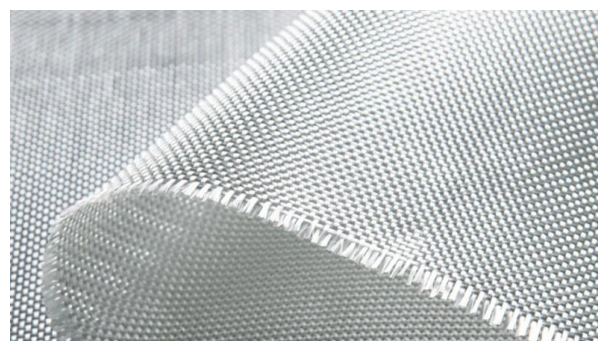
Gjennom historien så har et av vårt største sprang innen teknologi skjedd som et resultat av at nytt materiale ble tilgjengelig, som for eksempel jern og stål sin innflytelse og bidrag til den industrielle revolusjon eller hvordan aluminium gjorde det mulig for å ta mennesker ut av jordas atmosfære.

Valg av materiale spiller en grunnleggende rolle for produkter og konstruksjoner. Det finnes mange tekniske faktorer som påvirker valg av materialer, eksempler på noen av disse er mekaniske egenskaper, levetid, bærekraft, klima, kostnader og så videre. Ansvaret ligger hos ingeniørene og designere for å velge materialer som møter best ytelsen og kravene til produktet. Derfor har gruppen valgt å skrive om noen alternative materialer Monnpower kan bruke, og som skiller seg ut for undervannsturbinens blad, arm og aksel.

4.1 Glassfiber

Ordet «kompositt» er tatt fra latinsk begrepet «compositus», som betyr «å sette sammen». Kompositten er et material som i for seg består av to eller flere fysiske avvekslende faser. Det er da heterogent, og de fasene bidrar hver for seg til å få bedre egenskaper til komposittmaterialet. Kompositter lages, ved å sette sammen komponenten far flere materialgrupper, disse tilbyr høy styrke og strekkfasthet, god korrosjonsmotstandighet lav pris og vekt, og disse er egenskaper som spesielt tilegner undervannsturbinen.

Glassfiber referer til et garn eller fiber, som er produsert av smeltet glass med en spesiell sammensetning. Et flertall av glassfiberne er laget med Silika (SiO_2). Noen andre ingredienser som kalsium, Aluminium, bor og magnesium tilsettes basis Silika for å senke arbeidstemperaturen og gi egenskaper, noe som kan være nyttig i spesielle anvendelser.



Figur 4.13 Glassfiber duk (2020)

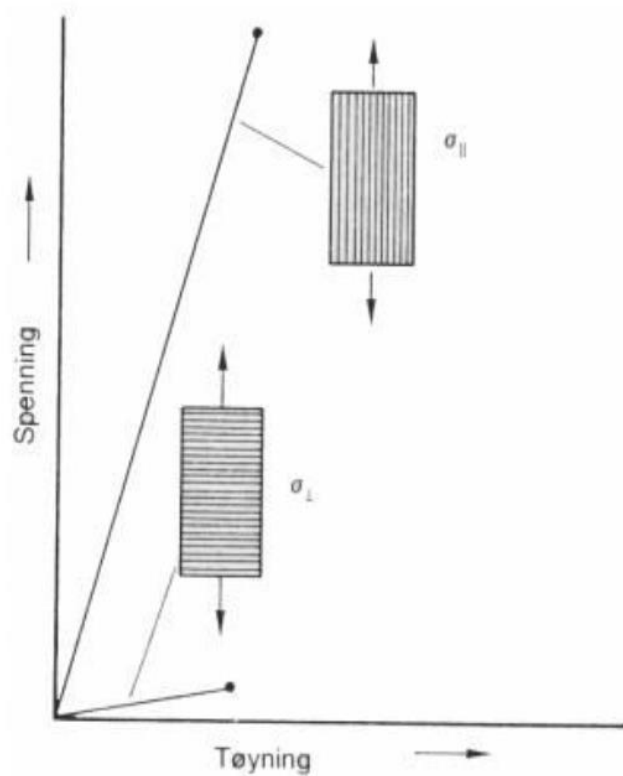
Fiberarmerte polymere kompositter som glassfiber vokser stadig i både utvikling og anvendelser på mange områder, og grunnen til dette er gode mekaniske egenskaper som andre materialer ikke konkurrerer mot. Glassfiber er blant et av de mest allsidige materialene, og avhengig av den endelige bruken av produktet så produseres flere typer glassfiber, den mest brukte og vanlige type glassfiber er E-glass. Derfor utforskers denne typen av glassfiber i denne oppgaven.

Glassfiberne er forskjellige avhengig av deres kjemiske sammensetning, dimensjoneringsprosesser og deres mekaniske, fysiske og termiske egenskaper. For eksempel er E-glass betegnet med bokstaven (E), som representerer glassfiberklassen som brukes til generelle og elektriske applikasjoner og er preget av dens lave elektriske ledningsevne.

Glassfiber har høy styrke i forhold til andre materialer. Nedenfor vises tabell 4.1 noen av egenskapene. For glassfiber kompositter blir den kritiske lengden rundt 1 mm. Dette er fra 20 til 150 ganger fiberens diameter. For glassfiber kompositter blir den kritiske lengden rundt 1 mm. Dette er fra 20 til 150 ganger fiberens diameter. Figuren nedenfor viser hvordan styrken til kompositten ser ut i forhold til fiberretning. I forhold til variasjonen til av vann tykket for bladene krever det et material som har høy strekkfasthet, og det er oppnådd i glassfiber.

Fiber type	Diameter (μm)	Egenvekt (g/cm^3)	Elastisitets - modul (GPa)	Strekk - fasthet (GPa)	Brudd - tøyning (%)
E-glass	10	2,56	70	1,4 - 2	2,0 - 2,9

Tabell 4.1 Mekaniske egenskaper for E-glass (Johansen, 2008)



Figur 4.14 Tøyning- og spenningsdiagram av høyfaste kompositter (Skjematisk fremstilling av strekkfasthet og tøyningsforhold av høyfaste kompositter med fiber plassert parallelt med strekkretning og fiber plassert i samme retning (unidireksjonalt) normalt på strekkretningen, 2008)

4.1.1 Rust

Glassfiber kompositten har også fordelen med at det ikke ruster. Ingen av bestanddelene i glassfiberen oksiderer. Korrosjonsutmatting og korrosjonsspenning er viktige kriterier på valg av blad materialer, og grunnen til at glassfiber ikke ruster blir disse kriteriene som nevnt over eliminert.

4.1.2 vekt

Glassfiberkompositt er mye lettere enn andre materialer med tilsvarende styrke. Da strekkstyrken til glassfiber er så god, blir kompositten svært sterk. Dette medfører til at glassfiber har relativt lav vekt med høy styrke.

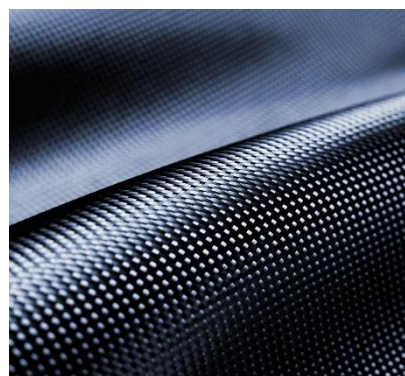
4.1.3 Pris

Glassfiberkomposittens pris er rimelig i forhold til andre materialers priser, og når det gjelder store mengder av materialer, peker glassfiber seg ut. Glassfiber koster generelt mindre enn karbonfiber, men dette vil være avhengig av markedet og typen karbonfiber som skal sammenlignes.

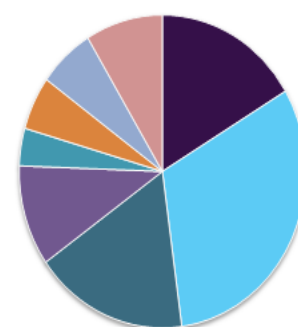
4.2 Karbonfiber

Stål og andre metaller har revolusjonert industrier innen teknologi og utvikling, men nå har vi kommet til en tid hvor det er behov for nye og bedre materialer for å kunne imøtekomme det voksende behovet og kravet i dagens samfunn. Disse kravene har gjort at nyere materialer kommer fram i bransjer og industrier, et av disse materialene er karbonfiber som består hovedsakelig av karbonatomer og inneholder minst 92 % karbon i fibrene, og disse atomene har en struktur lik som grafitt og er dermed arrangert i en tettpakket heksagonal struktur.

Karbonfiber kombineres vanligvis med andre materialer for å danne en kompositt, eksempel på dette er impregnering med termohærdende polymer som epoxy og danner da karbonfiberarmert polymer (CFRP), og dette er veldig stivt materiale som har veldig høy styrke i forhold til sin vekt. Generelt så er karbonfiber er et høyteknologisk materiale som gir veldig mange fordeler, noen av disse inkluderer høy stivhet, lav vekt og tetthet, høy kjemisk- og temperaturtoleranse. Men et av den meste



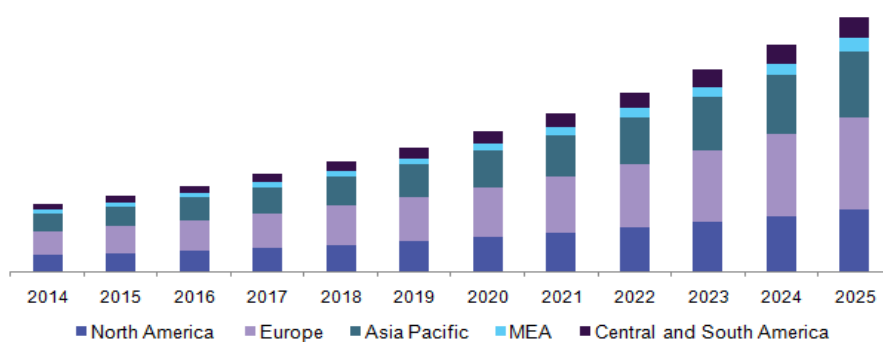
Figur 4.15 Karbonfiberduk (2019)



■ Automotive	■ Aerospace & Defense
■ Wind Turbines	■ Sport Equipment
■ Molding & Compounding	■ Construction
■ Pressure Vessels	■ Others

Figur 4.16 Global forbruk av karbonfiber i ulike applikasjoner (Global carbon fiber market volume share by application (%), 2017)

kjente og viktigste egenskapen er strekkfastheten der den er nesten 3 ganger større enn stål, men har likevel omtrent 4,5 ganger mindre tetthet med verdier av E-modul mellom 150 til 450 GPa. (Inagaki, 2000) Noen av disse egenskapene gjør karbonfiber til et utrolig nyttig materiale med bredt bruksområde da det kan dannes i veldig mange former og størrelser, de meste kjente bruksområdene er illustrert i figur 4.4 og det er forutsatt at det vil fortsette å øke produksjonen og etterspørselen av karbonfiber. Etter hvert som det blir oppfunnet flere metoder og prisene på produksjonen reduserer, så vil flere bedrifter og industrier dra nytte av dette unike materialet.

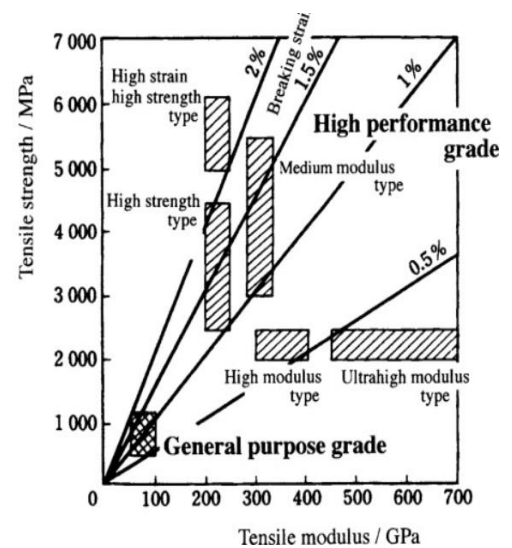


Figur 4.17 Globale markedet av karbonfiber etter verdens regionene (Carbon fiber market volume by region, 2014-2025 (Tons), 2017)

4.2.1 Klassifisering av karbonfiber

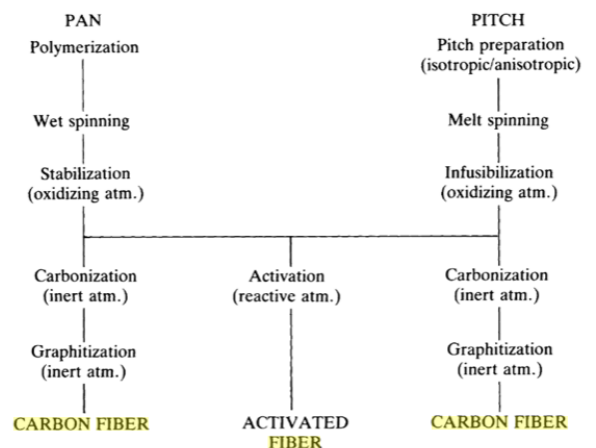
Klassifiseringen av karbonfiber foregår i 3 hovedkategorier:

- Karbonfiber kan grupperes etter egenskaper:
 - «Ultra-high-modulus» (UHM) som har E-modul høyere enn 450000 MPa
 - «High-modulus» (HM), E-modul mellom 350000 til 450000 MPa
 - «Intermediate-modulus (IM), E-modul mellom 200000 til 350000 MPa
 - «Low-moduls and high-tensil» (HT), E-modul som er mindre enn 100000 MPa og med en strekkfasthet større enn 3000 MPa
 - «Super high-tensil» (SHT), strekkfasthet større enn 4500 MPa.



Figur 4.18 Klassifisering av karbonfiber etter egenskaper (Classification of carbon fibers on the basis of mechanical performance, 2000)

2. Den andre metoden man klassifiserer karbonfiber er produksjonsprosessen. Produsering av karbonfiber kan foregå på ulike måter med forskjellige kjemiske reaksjoner, ifølge Deborah D.L. Chung så er de mest kjente og bruke metoden for å lage karbonfiber fra polyakrylonitril (PAN) og «pitch preparation» (PITCH), figur 5 illustrerer og beskriver fremgangsmåtene for å produsere karbonfiber fra PAN og PITCH.



Figur 4.19 To forskjellige produksjonsprosesser for karbonfiber (The processes for making carbon fibers from PAN and pitch precursors, 1994)

3. Den siste grupperingen av karbonfiber er basert på den endelige varmebehandlingstemperaturen:
- «High-heat-treatment» karbonfiber (HTT), hvor den endelige varmebehandlingen har temperatur større enn 2000 °C og blir ofte brukt for HM karbonfiber.
 - «Intermediate-heat-treatment» (IHT), har endelige varmebehandlingstemperatur på omtrent 1500 °C og blir ofte brukt for karbonfibere med høy styrke.
 - «Low-heat-treatment» (LHT), som har temperaturen for den endelige varmebehandlingen under 1000 °C og disse er for karbonfibere med lave E-moduler og styrke.

4.2.2 Egenskaper

Ett av de viktigste grunnene for å velge karbonfiber fremfor stål for denne undervannsturbinen og generelt for noen andre konstruksjoner som for eksempel vist figur 4.4, er fordeler og egenskaper som stålet ikke klarer å konkurrere mot karbonfibere. Det er da spesielle egenskaper som korrosjonsmotstand og forholde mellom styrke og vekt, figur 4.8 illustrere egenskapene i form av styrke, E-modul og forlengelse ved brudd for de forskjellige fremstilte karbonfibrene. Karbonfiber er også fleksibel for designet, som betyr at det kan formes og støpes på måter som tradisjonelle materialer, som aluminium og stål ikke kan. I

tillegg så har karbonfiber anisotrope egenskaper og ikke isotrope som glassfiber, så betyr dette at det er omtrent 10 ganger så sterk i lengderetning som på tvers enn glassfiber.

Den største ulempen ved karbonfiber er kostnad, fordi selv om det er et fantastisk materiale med gode egenskaper, så er det en grunn til at karbonfiber ikke brukes i flere industrier og applikasjoner. Kostnadene for karbonfiber varierer veldig ofte, og for akkurat dette øyeblikket så er prisen rimelige i mange tilfeller, men dette avhenger av tilbud, etterspørsel og type karbonfiber.

Type	Fiber designation	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus of elasticity (GPa)	Elongation at break (%)	Diameter (μm)	Manufacturer
GP	T-101S	720	32	2.2	14.5	Kureha Chem.
	T-201S	690	30	2.1	14.5	Kureha Chem.
	S-210	784	39	2.0	13	Donac
	P-400	690	48	1.4	10	Ashland Petroleum
	GF-20	980	98	1.0	7–11	Nippon Carbon
HP (PAN)	T-300	3 530	230	1.5	7.0	Toray
	T-400H	4 410	250	1.8	7.0	Toray
	T-800H	5 590	294	1.9	5.2	Toray
	T-1000	7 060	294	2.4	5.3	Toray
	MR 50	5 490	294	1.9	5	Mitsubishi Rayon
	MRE 50	5 490	323	1.7	6	Mitsubishi Rayon
	HMS-40	3 430	392	0.87	6.2	Toho Rayon
	HMS-40X	4 700	392	1.20	4.7	Toho Rayon
	HMS-60X	3 820	588	0.65	4.0	Toho Rayon
	AS-1	3 105	228	1.32	8	Hercules
	AS-2	2 760	228	1.2	8	Hercules
	AS-4	3 795	235	1.53	8	Hercules
	AS-6	4 140	242	1.65	5	Hercules
	IM-6	4 382	276	1.50	5	Hercules
HMS4	2 484	338	0.7	8	Hercules	
HMU	2 760	380	0.70	8	Hercules	
HP (pitch)	P-25	1 400	160	0.9	11	Amoco
	P-75S	2 100	520	0.4	10	Amoco
	P-120S	2 200	827	0.27	10	Amoco
	E-35	2 800	241	1.03	9.6	du Pont
	E-75	3 100	516	0.56	9.4	du Pont
	E-130	3 900	894	0.55	9.2	du Pont
	F-140	1 800	140	1.3	10	Donac
	F-600	3 000	600	0.52	9	Donac
ACF	FX-100	—	500 ^a	18 ^b	15	Toho Rayon
	FX-600	—	1 500 ^a	50 ^b	7	Toho Rayon
	A-10	245	1 000 ^a	20 ^c	14	Donac

Figur 4.20 Mekaniske egenskaper for noen ulike type karbonfibre (Tensile properties and diameters of commercial carbon fibers, 1994)

4.3 Aluminium

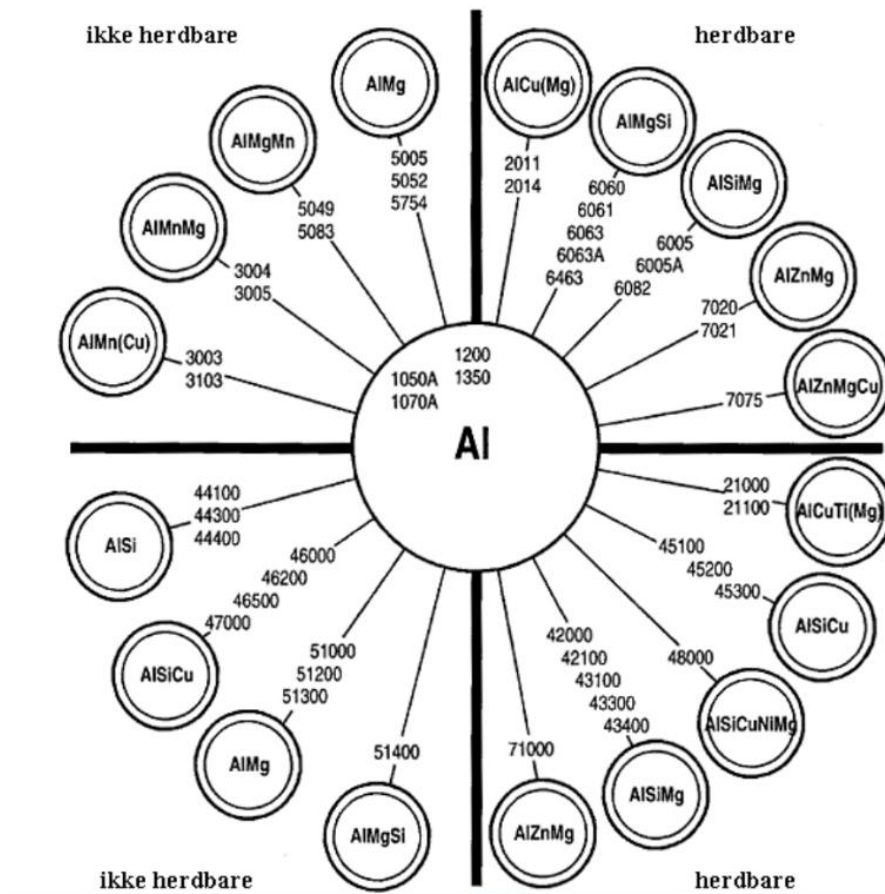
En av materialene som gruppen har valgt å undersøke på er aluminium. Aluminium er den mest brukte og utbredte av lettmetallene, og utgjør omtrent 8 % av jordskorpa. Dette materialet er mye brukt i dagens samfunn og har potensielt mange fine egenskaper til bruken av muligens bladene, armene og akselen i undervannsturbinen. Innkjøpsprisen til aluminium er ikke altfor høy, men er fortsatt omtrent fire ganger høyere enn jern. Aluminium er et metall som er veldig lett å forme og er gunstig i forhold til sin pris.



Figur 4.21 Aluminium

Det er aluminiums unike egenskaper som gjør at dette metallet er svært anvendelig, fleksibelt og ikke minst fascinerende. Grunnen til at aluminium er et verdifullt er at den har egenskaper som holdbarhet, korrosjonsbestandighet, klimaeffektiv, ledeevne, formbarhet og ikke minst høy styrke i forhold til sin lave vekt gjør at aluminium har et stort bruksområde, alt fra matvareindustri til transport- og bygningsindustrien. Noen eksempler på dette er emballasje, biler, fly, jernbaner og så videre.

Lavlegerte aluminiumslegeringer er som regel bløte, men det er mulig å forsterke dem med andre legeringselementer som kobber, magnesium, mangan og sink. Til og med at aluminium ikke har så høy styrke og flytegrense i ren tilstand, så er det nødvendig å tilsette legeringselementer for å øke disse egenskapene. Det er som regel legeringselementene kobber, magnesium og sink som danner blandkrystaller med aluminiumet, og vil dermed kunne gi styrke økning.



Figur 4.22 Aluminiumslegeringer (Legeringsfamilier etter EN-standard, 2009)

Aluminium er ganske korrosjonsbestandig, spesielt ved rent aluminium. Dette er en egenskap som er ønskelig å ta vare på hos undervannsturbinen, men når legeringsinnholdet går opp så vil korrosjonsbestandigheten gå ned. Dette gjelder for de fleste legeringselementer med unntak av for eksempel krom. Grunnen til at aluminium har en god beskyttelse mot korrosjon er at aluminium reagerer med oksygenet i luften, og derfor så dannes det et svært tynt beskyttende oksidlag på overflaten som forhindrer rust. Denne egenskapen gjør at aluminium får et lengre levetid og mindre vedlikehold som både bidrar til økonomien og miljøet.

En viktig egenskap som kreves mer av i dagens samfunn er gjenvinning på grunn av miljøkrisen som vi lever i dag, og aluminium er et materiale som er resirkulerbar. Ettersom aluminium bidrar til et bedre klima og det stadig blir innført nye miljølover, så fører dette til større bruksområder både nå og i fremtiden. Aluminium har en tetthet på rundt en tredel av stål, og siden undervannsturbinen krever et materiale med lav vekt og høy styrke, så er dermed aluminium et mulig materiale som kan brukes for turbinen.

Aluminium er også et svært duktilt metall som gjør at det er lett å kunne forme, samtidig så er det enkelt å bearbeide aluminium i både varm og kald tilstand, enklere sagt så har man veldig lite begrensninger for å kunne forme aluminiumen til et endelig produkt.

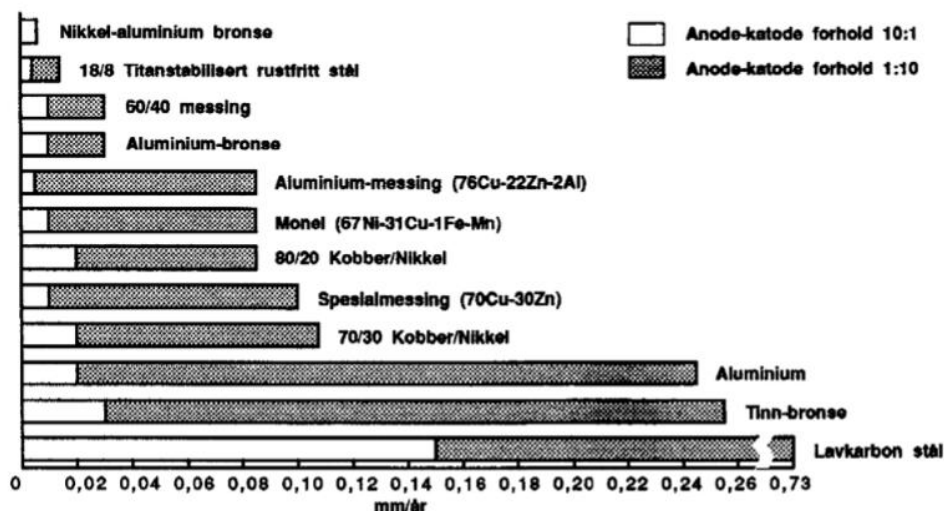
4.4 Titan

Titan har en tetthet på 4,5 gram per kubikkcentimeter, og derfor er titan det tyngste blant lettmetallene. Titan finnes hovedsakelig i to forskjellige mineraler i naturen. Det første mineralet kalles for rutil, som er titandioksid, og betyr at det er en kjemisk forbindelse mellom titan og oksygen. Den andre typen er ilmenitt, som er også en kjemisk kombinasjon av jern og titan. Disse to typer mineraler er ikke sjelden på jordskorpa, men på grunn av at disse mineralene har titan en kostbar og kompleks produksjonsprosess, som gjør at titan blir et dyrt metall. På grunn av hardhet og tyngden blir titan brukt mye i dagens samfunn, på grunn av at det er veldig få metaller som kan måle seg med de mekaniske egenskapene til titan. I tabellen under oppsummerer noen egenskaper til titan. (Johansen, 2012)

Egenskap	Data	Egenskap	Data
Atomvekt	47,9	Elastisitetsmodul E	120000N/mm ²
Egenvekt	4,51g/cm ³	Varmeledningsevne (20 ⁰ C)	17W/m ⁰ C
Smeltepunkt	1668 ⁰ C	Lineær varmeudvidelse	8,4·10 ⁻⁶ m/m ⁰ C
α → β	882 ⁰ C	Elektrisk ledningsevne	2,0MS/m
Kokepunkt	3287 ⁰ C	Elektrisk motstandsevne (20 ⁰ C)	482nΩm

Figur 4.23 Mekaniske egenskaper for titan (Noen egenskaper til titan, 2012)

Titan skiller seg ut av alle metaller, når det gjelder korrosjonsbestandighet. En konstruksjon som bruker titan, er faren for galvanisk korrosjon av mer sentrale metaller som byr på problemet. I Figuren under er det visst korrosjonshastigheten ved sammenkobling mellom andre metaller og titan ved forskjellige anode/katodeforhold.



Figur 4.24 Korrosjonshastighet av legeringer og metaller (Korrosjonshastighet (mm/år) ved sammenkobling av titan og andre metaller i sjøvann, 2012)

Et av de mest kjente og vanligste titanlegering er Ti-6Al-4V (UNS- betegnelse R56400), også er kalt for TC4 eller Ti64. Figur 4.13 viser den kjemiske sammensetningen for titanlegeringen. (Ti-6Al-4V, 2020). Dette er en alfa- beta titanlegering med et høyt styrke- til- vekt forhold og utmerket korrosjonsmotstand. Denne type titanlegering egner seg best i sjøvann, der korrosjonsmotstand er nødvendig og derfor vil nettopp denne type titanlegering være aktuell for undervannsturbinen. Ti-6Al-4V titanlegering finnes vanligvis i alfa, med tettpakket heksagonal krystallstruktur, og beta, med kubisk romsentrert krystallstruktur.

	V	Al	Fe	O	C	N	H	Y	Ti	Remainder Each	Remainder Total
Min	3.5	5.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Max	4.5	6.75	.3	.2	.08	.05	.015	.005	Balance	.1	.3

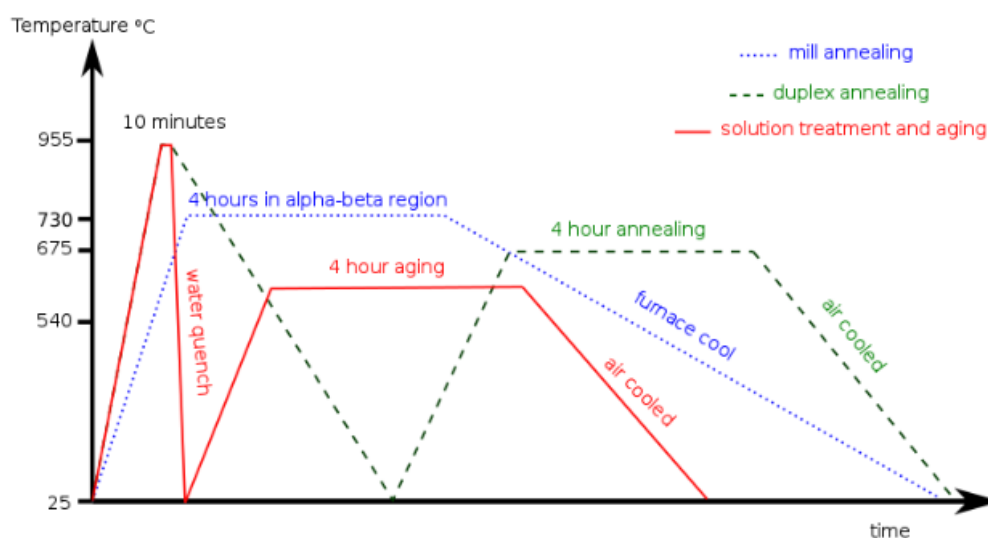
Figur 4.25 Kjemisk sammensetning for Ti-6Al-4V (2020)

Mekaniske egenskaper er en funksjon av varmebehandlingstilstand til legering og kan variere basert på egenskaper, noen typiske egenskaper for godt behandlet Ti-6Al-4V vist nedenfor i figur 4.14. (Ti-6Al-4V, 2020) Aluminium stabiliserer alfafasen, mens vanadium stabiliserer betafasen.

	Density, g/cm ³	Young's Modulus, GPa	Shear Modulus, GPa	Bulk Modulus, GPa	Poisson's Ratio	Yield Stress, MPa (Tensile)	Ultimate Stress, MPa (Tensile)	Hardness, Rockwell C	Uniform Elongation, %
Min	4.429	104	40	96.8	0.31	880	900	36 (Typical)	5
Max	4.512	113	45	153	0.37	920	950	--	18

Figur 4.26 Mekaniske egenskaper for Ti-6Al-4V (2020)

Varmebehandling av Ti gjennomføres som vanlig til å forbedre egenskapene til legeringen. Ti-6Al-4V varmebehandles for å variere mengder og mikrostruktur av alfa og beta faser i legeringen. Mikrostrukturen vil variere betydelig og avhengig av den eksakte varmebehandlingen og behandlingsmetoden. De tre mest vanlige varmebehandlingsprosesser er kvernglødning, duplex glødning og oppløsningsbehandling, og utharding.

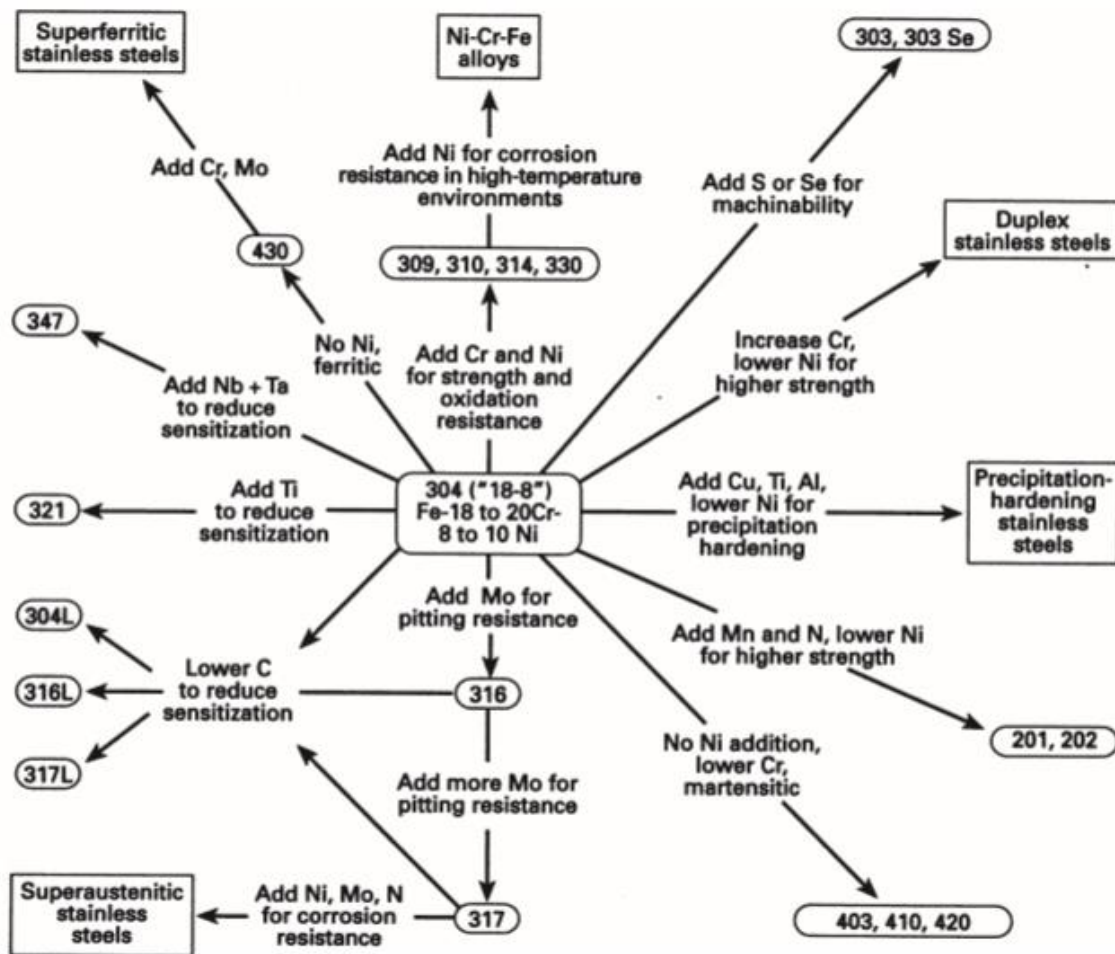


Figur 4.27 Varmebehandling av Ti-6Al-4V (2020)

4.5 Duplex

Over hele verden, i industrien, i næringslivet og i hjemmet brukes metall som kalles for rustfritt stål daglig. Industrier er opptatte av kvalitet på både utstyr og produkter, for å oppnå nettopp dette så er rustfrie stål ofte det økonomiske og praktiske materialet. Rustfrie stål er en veldig stor familie av jernbaserte legeringer som inneholder minimum 12 % krom (Cr), og er den mengden som trengs for å forhindre dannelse av rust i miljøer som forårsaker rust, men hvis krominnholdet skulle overstige 30 % så vil det dannes interkrystalliske forbindelser med

krom og jern, disse er sprø, harde og uønskede. Figur 4.16 gir et nyttig sammendrag for rustfritt stål.



Figur 4.28 Familietre av rustfrie stål (Composition and property linkages in the stainless steel family of alloys, 2000)

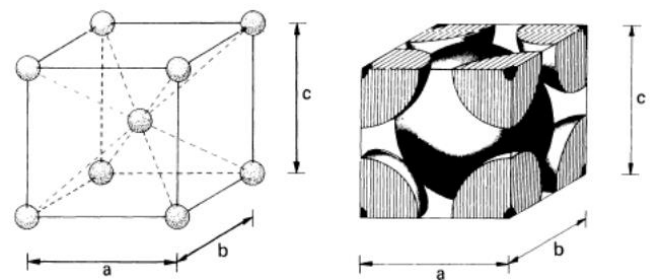
Et vanlig stål vil ruste i både vann og luft da stålet består av ulike faser som perlitt, sementitt og ferritt, og disse fasene virker som anoder og katoder, men ved å tilsette legeringer så forbedrer man egenskaper til materialet som for eksempel korrosjonsbestandighet, men det negative med dette er jo mer legeringselementer man tilsetter jo hardere og sprøere metall får man. Hvordan stålet korroderer er i utgangspunktet kort fortalt elektroner vil gå fra metallet som er lavest i spenningsrekka til metallet som er høyest i spenningsrekka. I metallet som er minst edelt blir



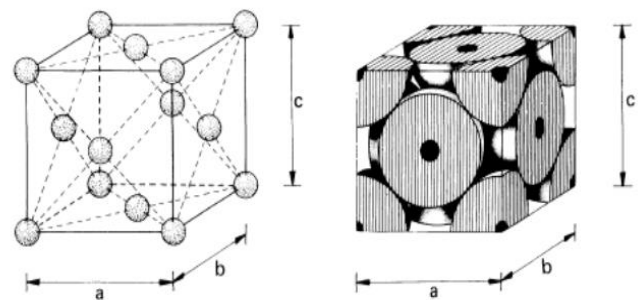
Figur 4.29 Materiale påvirket av korrosjon (Korrosjon, 2019)

det dannet ioner, og disse ionene vil søke balanse og velger derfor å gå ut i vannet for å danne kjemiske forbindelser der. Men når man tilsetter krom i stålet og i større mengder enn 12 %, så vil krommet danne en hinne rundt jernet. Denne hinnen vil reagere med oksygenet og resultatet endrer med at det legger seg en hinne med kromoksid utenpå metallet, og dette vil være med på å beskytte stålet mot korrosjon.

Duplex stål brukes mye til kritiske bruksområder som krever en kombinasjon av utmerket korrosjonsmotstand og høy styrke. Duplex har to-fase mikrostruktur som inneholder krystaller med både kubisk flatesentrert og kubisk romsentrert struktur. Det er viktig å være forsiktig hvis man skal sveise dette legerete metallet, grunnen er at det kan føre til at strukturen for kubisk romsentrert blir herdet, og blir dermed endret til en struktur med martensittisk struktur, men vil som oftest gå fint hvis man tar hensyn til dette. Duplex gir veldig godt motstand mot generell korrosjon på grunn av det høye innholdet av krom, nitrogen og molybden, i tillegg så gir sive krystallstrukturen høy motstand mot spenningskorrosjon. Hvis man ønsker mer korrosjonsbestandighet så kan man velge super duplex, som inneholder større mengder av krom og molybden for å håndtere svært aggressive miljøer, men dette bidrar til mer sprøere og mindre duktilt materiale.



Figur 4.31 Kubisk romsentrert atom struktur (Enhetscellen i kubisk romsentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som: - reduserte kuler- kompakte kuler hvor 68% av volumet er opptatt av atomer- ett aggregat av mange atomer, 2010)



Figur 4.30 Kubisk flatesentrert atom struktur (Enhetscellen i kubisk flatesentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som: - reduserte kuler- kompakte kuler hvor 74% av volumet er opptatt av atomer- et aggregat av mange atomer, 2010)

Duplex stål vil kunne være et alternativt materiale for akselen i undervannsturbinen, på grunn av sine utmerkede mekaniske egenskaper, som høy korrosjonsmotstand og relativ lav kost sammenlignet med andre materialer med høy ytelse, men disse egenskapene er avhengig av legeringsinnholdet. Siden duplex har små kornstørrelser og tofase mikrostruktur som forhindrer kornvekst, gir stålet økt seighet og styrke, spesielt høy flytegrense. For de fleste og mest vanligste duplex stålene så ligger flytegrensen mellom 400 og 500 MPa. Duplex leverer

høye verdier i slagseighet, også ved lave temperaturer, og dette er på grunn av den optimaliserte mikrostrukturen.

5. Styrkeberging

Styrkeberegning referer til beregninger av spenninger og belastninger for konstruksjonselementer og forbindelser, som for eksempel bjelker, solide elementer, skruer, aksler, lager, sveiseforbindelser også videre. Styrkeberegning er en essensiell jobb som ingeniører må gjøre for å bestemme om produkter og konstruksjoner er trygge, og dette har betydning for materialvalg og dimensjoner, fordi styrken til konstruksjoner avhenger ikke bare av form, men også av materialene de er laget av og forbindelser mellom elementer.

En undervannsturbin konverterer den kinetiske energien fra tidevannsstrømmer til mekanisk energi. Den kinetiske energien kan uttrykkes i forhold til hastigheten av vannstrømmen og formelen er gitt ved

$$E = \frac{1}{2} * m * v^2$$

Mengden vann som passerer gjennom et område A per tidsenhet er gitt ved $A * v = v$ og massen m er gitt ved formelen

$$m = \rho * v = \rho * A * v$$

Hvis man dermed kombinerer formlene kinetisk energi og masse m , så gir det likning for kinetisk energi per enhets volum P_{total} , som er gitt ved likningen

$$P_{total} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3$$

For turbiner så skal det legges til en hydrodynamikk koeffisient C_p , og TSR som er turtallets-hastighetsforhold. TSR er gitt ved formelen $TSR = \frac{\omega m * R}{v}$, og det gir dermed den endelige likningen

$$P_{total} = \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * C_p * TSR$$

Moonpower har allerede gjort disse beregningen, og får dermed et resultat for effekt med 15 meters bladlengde og hastighet på 4 m/s lik $P = 1468365 \text{ Watt}$. Figur 5.1 visser utregningene av effekten fra Moonpower. Deretter så kan man regne ut kraften F fra effekten P med hensyn på hastigheten, dette gir da formelen $F = \frac{P}{v} = \frac{1468365 \text{ Watt}}{4 \text{ m/s}} \approx 367091 \text{ Newton}$. Dermed så brukes denne kraften som utgangspunkt for styrkeberegningene av blad, arm, aksel, lager og skrueforbindelsen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
INPUT Flow conditions																			
U0		4					Npoin		5										
p		1025																	
INPUT System data																			
Blaubrede (kordelengde)	c [m]	5					iRow	1	0,8	TSR [-]	Cp [-]	a [-]	P [W/m]	Mz [Nm/m]	Diff [N/m]	α_min [deg]	α_max [deg]		
Radius (armlengde)	R [m]	10					2	1,6	1,25	0,4579923	0,5	2404	24035	885,851936	-23,41322	23,41322445			
Antall armer	Nb [-]	5					3	2,4	0,625	0,3442002	0,134468451	14451	144509	-1,9266E-05	-180	133,2914957			
	ω [rad/sec]	0,1					4	3,2	0,416666667	0,2384149	0,085013669	33782	337824	0,000286813	-180	153,1174542			
							5	4	0,3125	0,1833716	0,06450635	61589	615894	0,000911041	-180	157,7258398			
									0,25	0,1492237	0,052944537	97891	978908	-0,00090601	-180	159,7603381			
INPUT Parameters																			
Free beta?	USANN																		
Fixed alfa?	SANN																		
Force scaling fac Cl	1																		
Force scaling fac Cd	1																		
Computed System data																			
solidity [-]	2,5																		
TSR [-]	0,25																		
Computed Local operating point																			
a	0,05294																		
u	3,78822																		
Computed Global results																			
Cp [-]	0,14922																		
Diff [N/m]	0																		
α_min [deg]	-180																		
α_max [deg]	159,76																		
Newtonmeter/m blad	Mz [Nm/m]	978908																	
Watt pr. meter blad	P [W/m]	97891																	
Reynolds number																			
Re [-]	500000																		
Tangential velocity																			
Vt [m/s]	1																		

Figur 5.32 Beregninger fra Moonpower

5.1 Simulering

For tegning av blad- og armprofil modellene så ble det brukt funksjonene «Sketch in front plane», «Ellipse», «Line», «Split Line», «Extruded Boss/Base» og «Ekstruded Cut». Valgene

av dimensjonene var allerede forhåndsbestemt, og bakgrunnen for disse er forklart under kapitlene metode og 3D-tegning.

Det er valgt å simuleres med en 6061-aluminium-legering, og inneholder magnesium og silisium som de viktigste legeringselementene. Bakgrunnen for valget av dette materialet ligger i innholdet av legeringene, samtidig også består materialet for det meste av aluminium, og basert på undersøkelsene som har blitt gjort av gruppen under kapitelet om aluminium, så har dette materialet veldig gode egenskaper som egner seg for undervannsturbinen som for eksempel meget god motstandsdyktig mot korrosjon, påkjenninger og sprekker, lav vekt i forhold til sin høye styrke, miljøvennlig og så videre. I tillegg er 6061 et av de mest brukte aluminiumslegeringene, og har dermed et bredt spekter av bruksområder som båter, fly, biler og mye mer. Mekaniske egenskaper for denne legeringen oppgitt i tabell 5.1

Properties	
Name:	6061 Alloy
Model type:	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion:	Max von Mises Stress
Yield strength:	55.1485 N/mm²
Tensile strength:	124.084 N/mm²
Elastic modulus:	69000 N/mm²
Poisson's ratio:	0.33
Mass density:	2.7 g/cm³
Shear modulus:	26000 N/mm²
Thermal expansion coefficient:	2.4e-05 /Kelvin

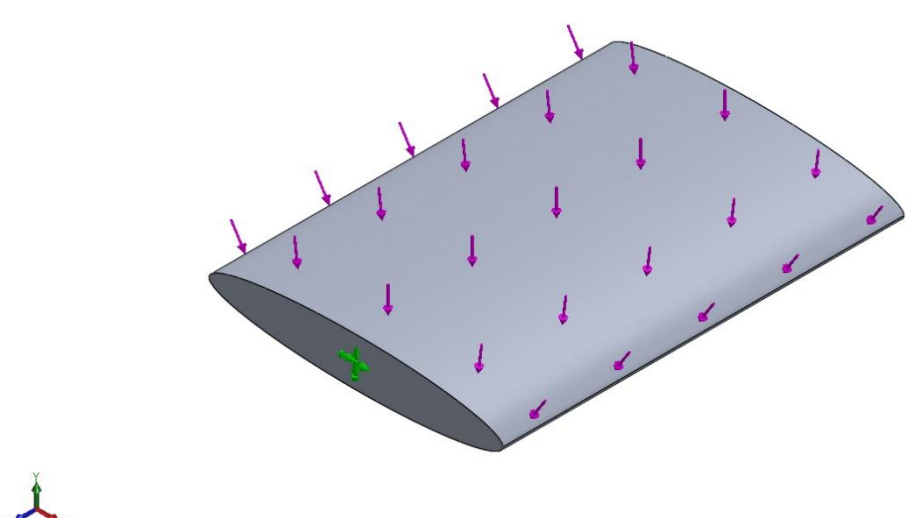
Tabell 5.1 Mekaniske egenskaper av 6061-aluminium-legering fra SolidWorks

Den andre materialet som gruppen har valgt å analysere er Hexcel AS4C karbonfiber, og av samme grunn som det er valgt aluminium så skiller også karbonfiber seg ut, ved at den har noen egenskaper som de andre materialene ikke kan måle seg opp med. Hexcel AS4C er spesifikt valgt på grunn av sine gode mekaniske egenskaper som er listet i tabell 5.2.

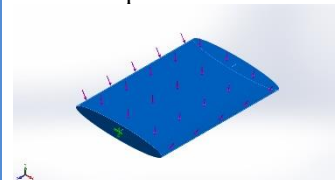
Properties	
Name:	Hexcel AS4C
Model type:	Linear Elastic Isotropic
Default failure criterion:	Max von Mises Stress
Yield strength:	
Tensile strength:	4150 N/mm²
Elastic modulus:	231000 N/mm²
Poisson's ratio:	0.2
Mass density:	1.78 g/cm³

Tabell 5.2 Mekaniske egenskaper av Hexcel AS4C karbonfiber fra SolidWorks

5.1.1 Simulering av bladprofil



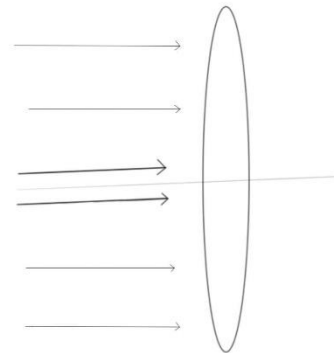
Model name: Bladprofil
Current Configuration: Default

Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Split Line10 	Solid Body	Mass:630461 kg Volume:233.504 m ³ Density:2700 kg/m ³ Weight:6.17852e+06 N	C:\Users\Atman\OneDrive\Documents\Bachelor\3D design\Bladprofil.SLDP RT May 2 17:39:00 2020

Tabell 5.3 Modell informasjon av bladprofil fra SolidWorks

5.1.1.1 Krefter og opplager for bladprofil

Når det kommer til valget av kreftene fra tidevannsstrømmen, så vil den største statiske belastningen forekomme når bladet vil motta mest mulig krefter fra vannstrømmen, dette er da illustrert i figur 5.2, derfor så analyseres bladprofilen med krefter på halve ellipseflaten siden her det vil det oppstå den største kraften. For opplagere så er det valgt fastlager for de hullfaltene der skruen er festet mellom armen og bladet. Informasjon om krefter og opplager er oppgitt i de to tabellene under.



Figur 5.33 Vannstrøm krefter som virker på bladene

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 4 edge(s), 4 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	0.846046	355223	5.08325	355223
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Tabell 5.4 Informasjon av opplager og krefter for bladprofil fra SolidWorks

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 367091 N

Tabell 5.5 Informasjon av opplager og krefter for bladprofil fra SolidWorks

5.1.1.2 Elementnett informasjon av bladprofil for 6061 legering

I denne analysen er det valgt å kjøre fem forskjellige studier med ulike elementnett størrelser, der elementnettet forfines etter hver studie, det vil si at studie 1 har grov elementnett, mens studie 5 har veldig fin elementnett. Størrelsene på elementnettet for de forskjellige studiene vises henholdsvis i tabellene under, og i tillegg så er det valgt «curvature-based mesh» som betyr at elementnettet er finere hvor det er krumninger i modellen.

Studie	1
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	1231.35 mm
Minimum element size	246.271 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.6 Elementnett Informasjon av bladprofil med 6061 legering for studie 1 fra SolidWorks

Studie	2
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	500 mm
Minimum element size	100 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.7 Elementnett Informasjon av bladprofil med 6061 legering for studie 2 fra SolidWorks

Studie	3
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	400 mm
Minimum element size	80 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.8 Elementnett Informasjon av bladprofil med 6061 legering for studie 3 fra SolidWorks

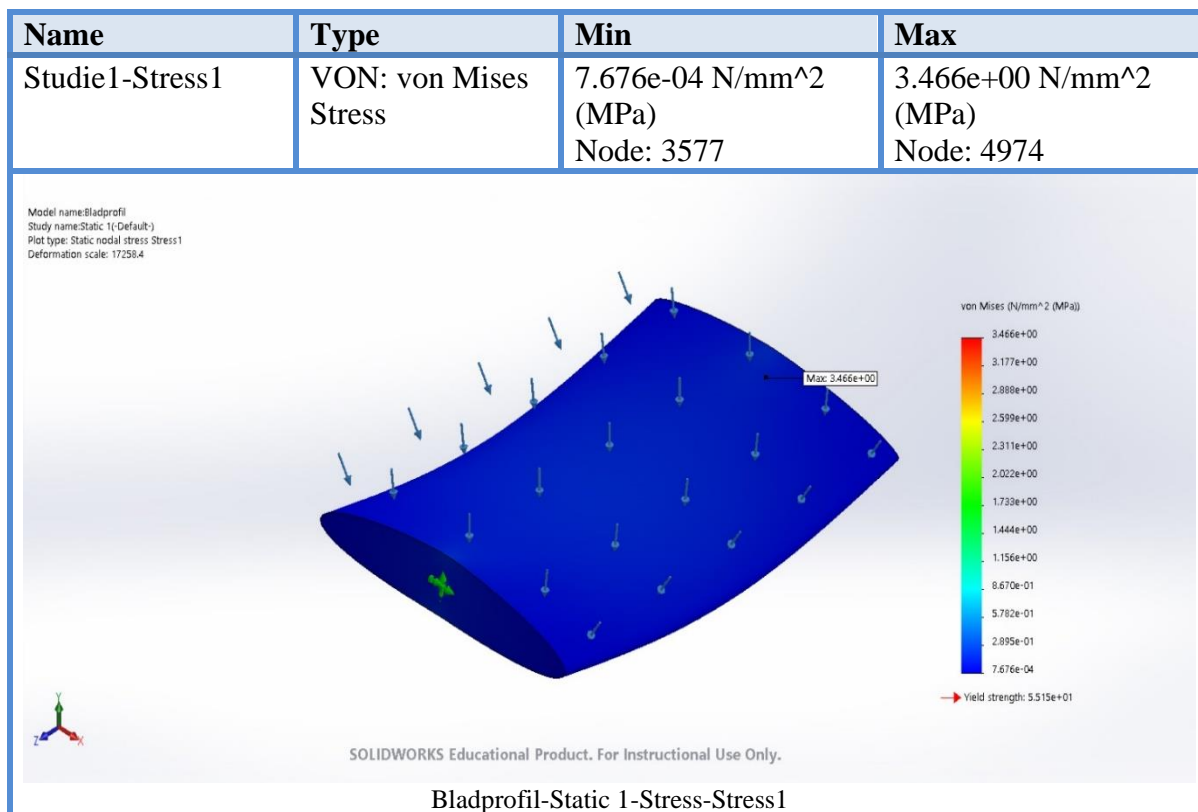
Studie	4
Mesh type	Solid Mesh
Meshes Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	300 mm
Minimum element size	60 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.9 Elementnett Informasjon av bladprofil med 6061 legering for studie 4 fra SolidWorks

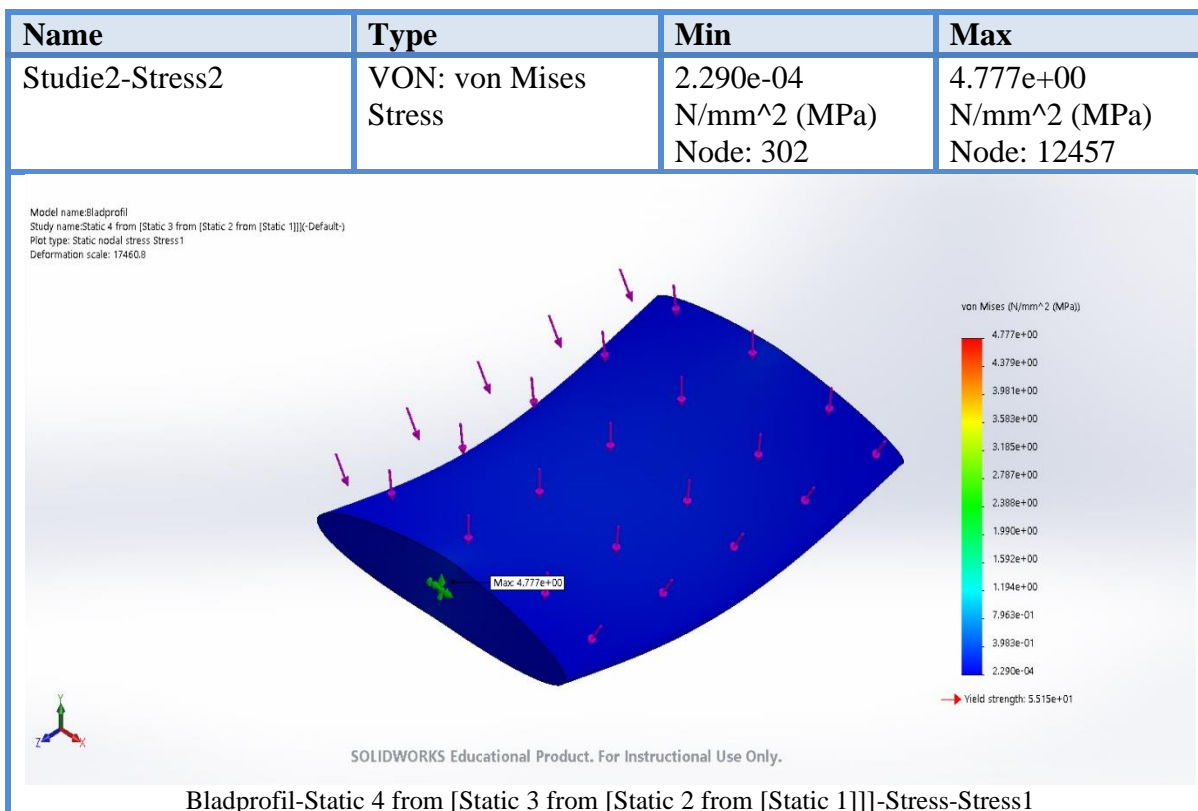
Studie	5
Mesh type	Solid Mesh
Meshes Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	200 mm
Minimum element size	40 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.10 Elementnett Informasjon av bladprofil med 6061 legering for studie 5 fra SolidWorks

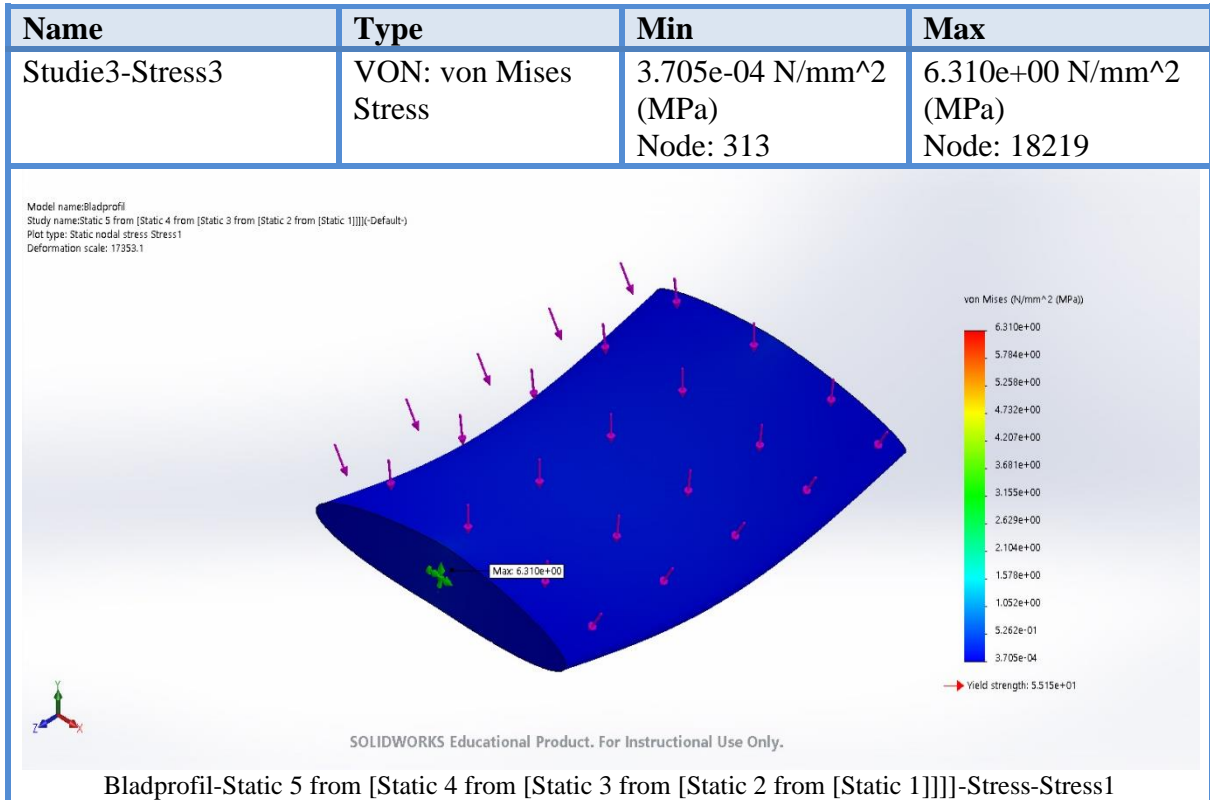
5.1.1.3 Resultater av bladprofil med 6061 legering



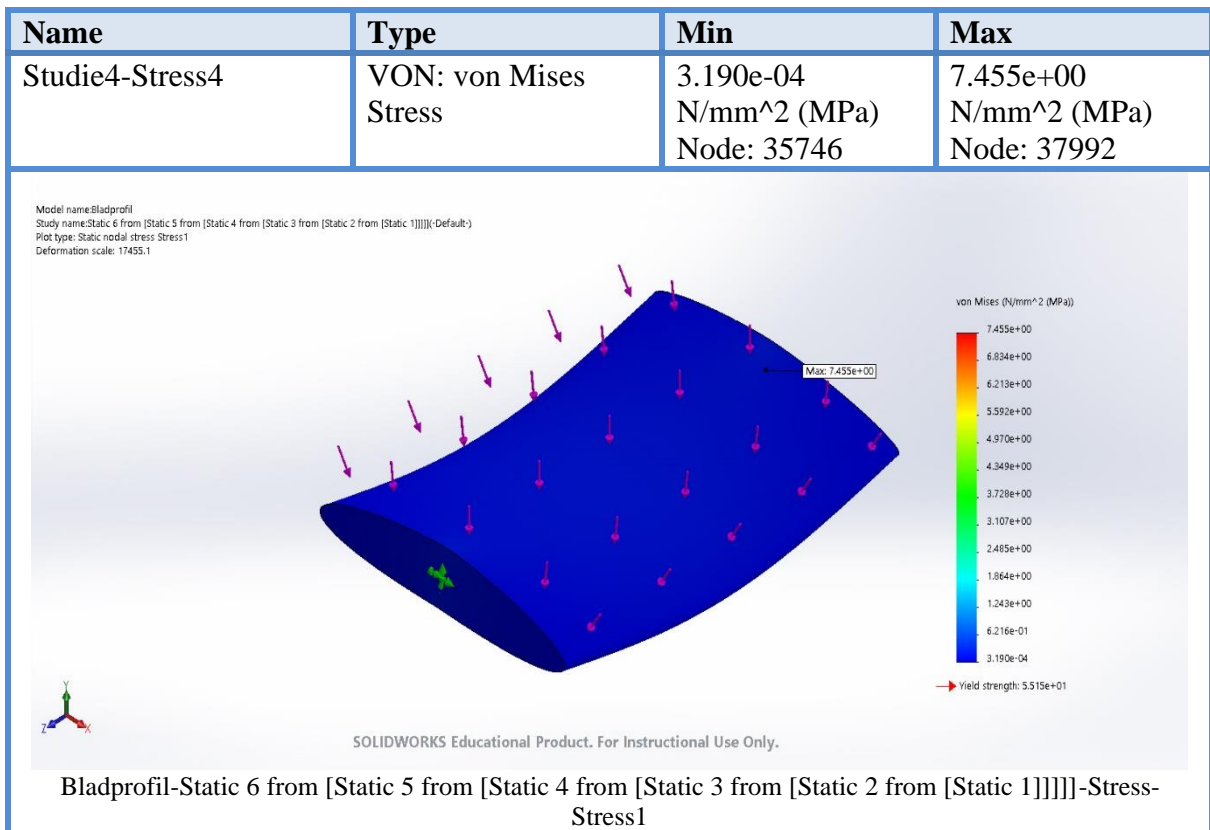
Tabell 5.11 Resultat av spenning for studie 1 til bladprofil med 6061 legering fra SolidWorks



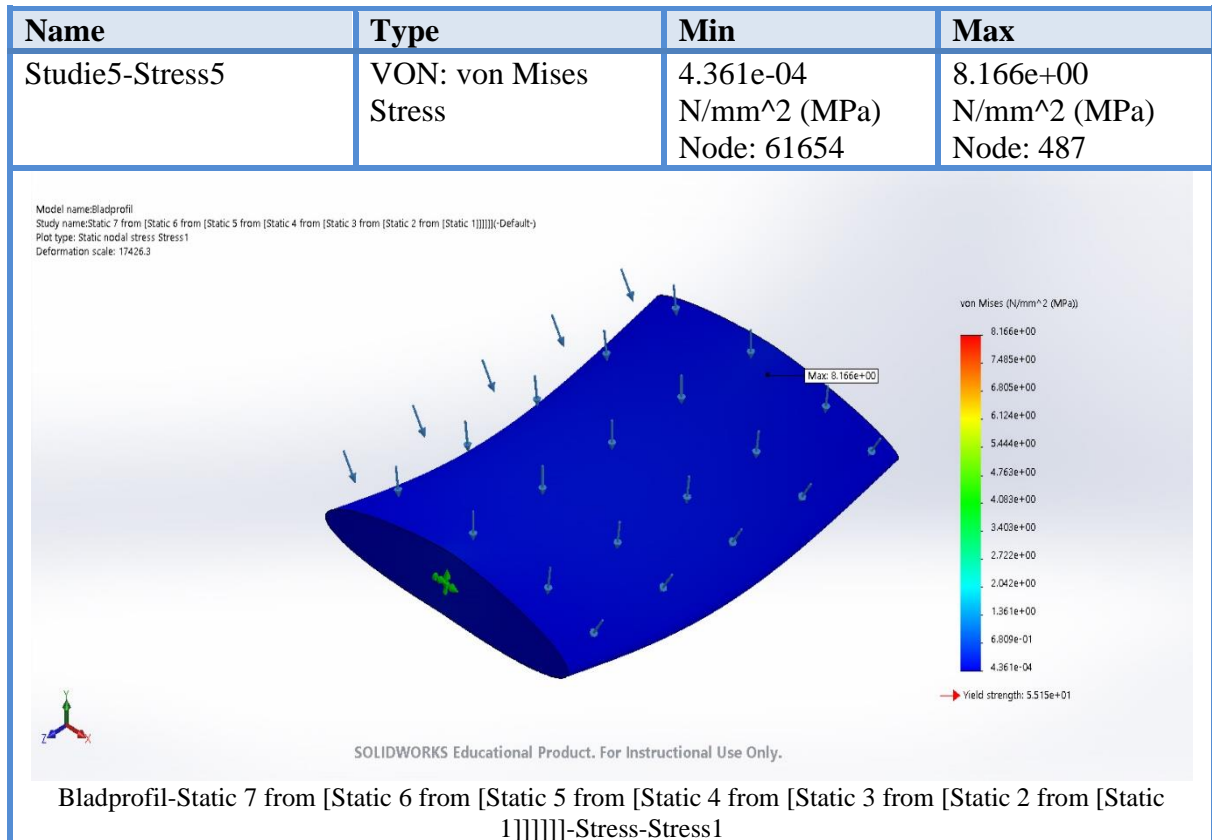
Tabell 5.12 Resultat av spenning for studie 2 til bladprofil med 6061 legering fra SolidWorks



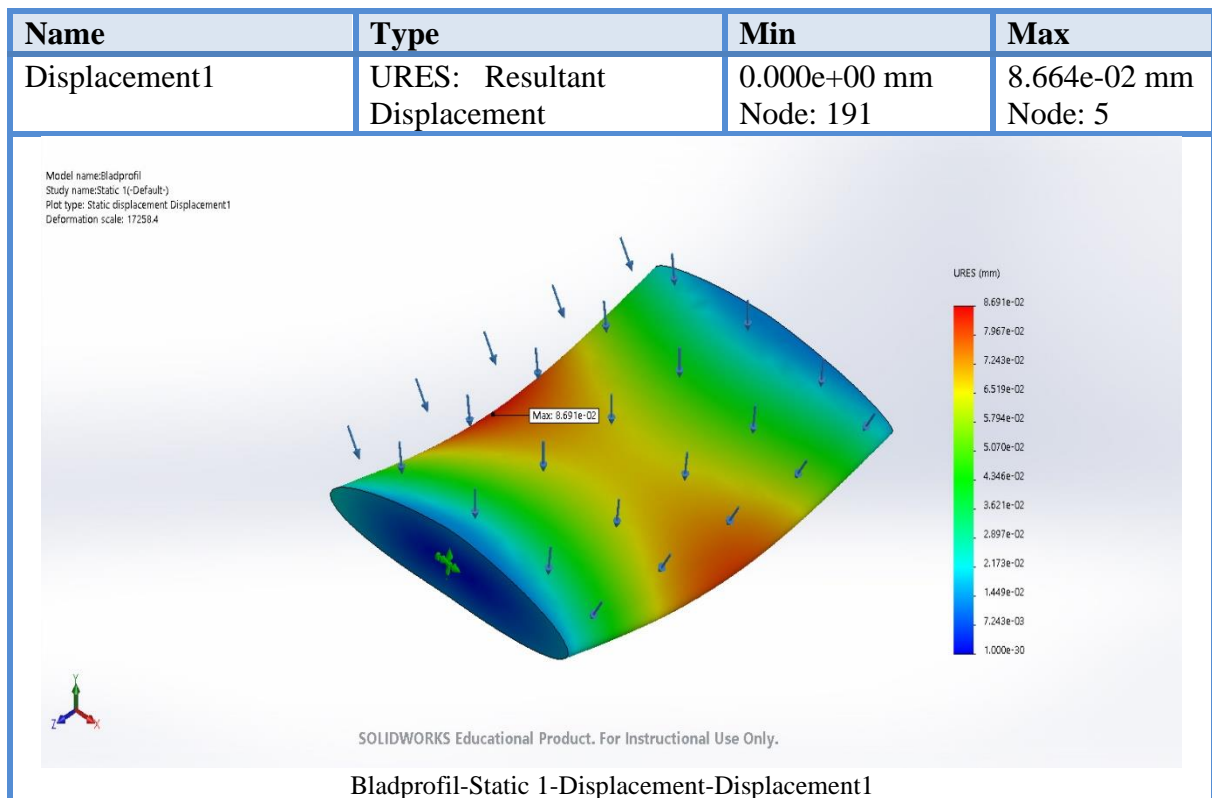
Tabell 5.13 Resultat av spenning for studie 3 til bladprofil med 6061 legering fra SolidWorks



Tabell 5.14 Resultat av spenning for studie 4 til bladprofil med 6061 legering fra SolidWorks



Tabell 5.15 Resultat av spenning for studie 5 til bladprofil med 6061 legering fra SolidWorks



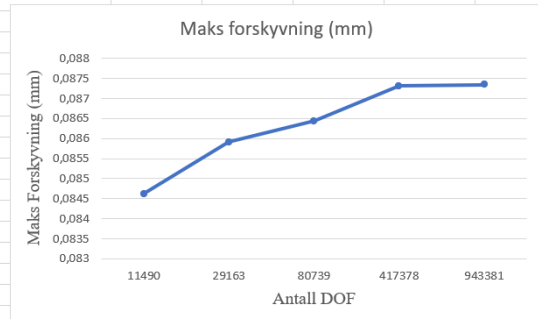
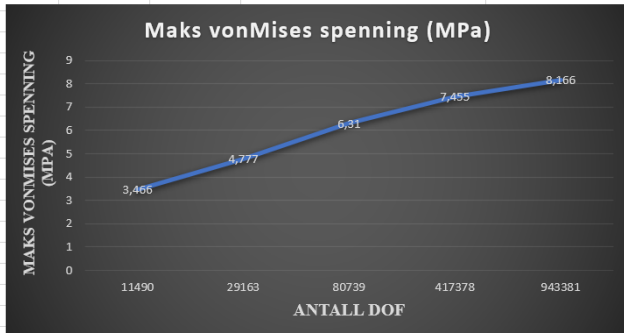
Tabell 5.16 Resultat av forskyvning for studie 3 til bladprofil med 6061 legering fra SolidWorks

5.1.1.4 Analyse av resultater for bladprofil med 6061 legering

I figurene og tabellene over så vises spenningene for de fem analysene, og som man kan se får gruppen forskjellige resultater av spenninger og forskyvninger, årsaken til dette er simuleringer av forskjellige elementnett størrelser, grunnen man gjør dette er å sette opp en konvergenstudiet. Man kan se ut ifra resultatene av figurene over så oppstår den maksimale spenningen på den overflaten der det er fastholdinger, altså der skruen er fastholdt. For den maksimale forskyvningen oppstår den omtrent midt på kanten av bladprofilen, figuren under Displacement1 illustrer dette med fargekodene der rød er høy og blå er lav. I tillegg så er forskyvningen svært overdrevent i bildene av resultatene, hvor den er 4000 ganger som den virkelige forskyvningen. Grunnen til dette er å illustrere hvordan bladprofilen vil forskyve seg, og man ville ikke kunne se forskyvningene om det var brukt ekte skale, ettersom forskyvningene er så små. Årsaken til at det visser bare resultatet til en studie for forskyvningene, og ikke alle fem i tabeller og figurer, er at resultatene for hver av studiene er oppført i figur 5.2, samtidig er også resultatene for spenningen viktigere siden det er denne som avgjør om det vil gå mot flyt eller brudd.

Konvergenstudiet er gjennomført ved å sette opp punktdiagram av spenninger og forskyvninger over antall frihetsgrader i elementets knutepunkter, altså «Degrees of freedom» (DOF). Bakgrunnen for dette studiet er at man ønsker å få et konvergenstdiagram, slik at maks vonMises spenning og forskyvning konvergerer mot en bestemt tallverdi, og det man ikke ønsker er å få et divergenstdiagram der resultatene uendelig mange tallverdier. Figur 5.3 viser utførelsen av konvergenstudiet for resultatene av 6061 legering, som man kan se så konvergeres maks forskyvning mot 0,09 mm, mens vonMises spenning konvergeres til omtrent 9 MPa, og siden 6061 legering har en flytegrense på cirka 55 MPa så er dette et godt alternativt materiale for bladene med hensyn på styrke. I tillegg til at den største spenningen ikke overstiger flytegrensen til materialet, så har man muligheten til å legge til større krefter og gjøre dimensjonene til modellen mindre.

Studie	Maks vonMises spenning (MPa)	Forskyvning (mm)	Antall DOF
1	3,466	0,08462	11490
2	4,777	0,08591	29163
3	6,31	0,08644	80739
4	7,455	0,08731	417378
5	8,166	0,08735	943381

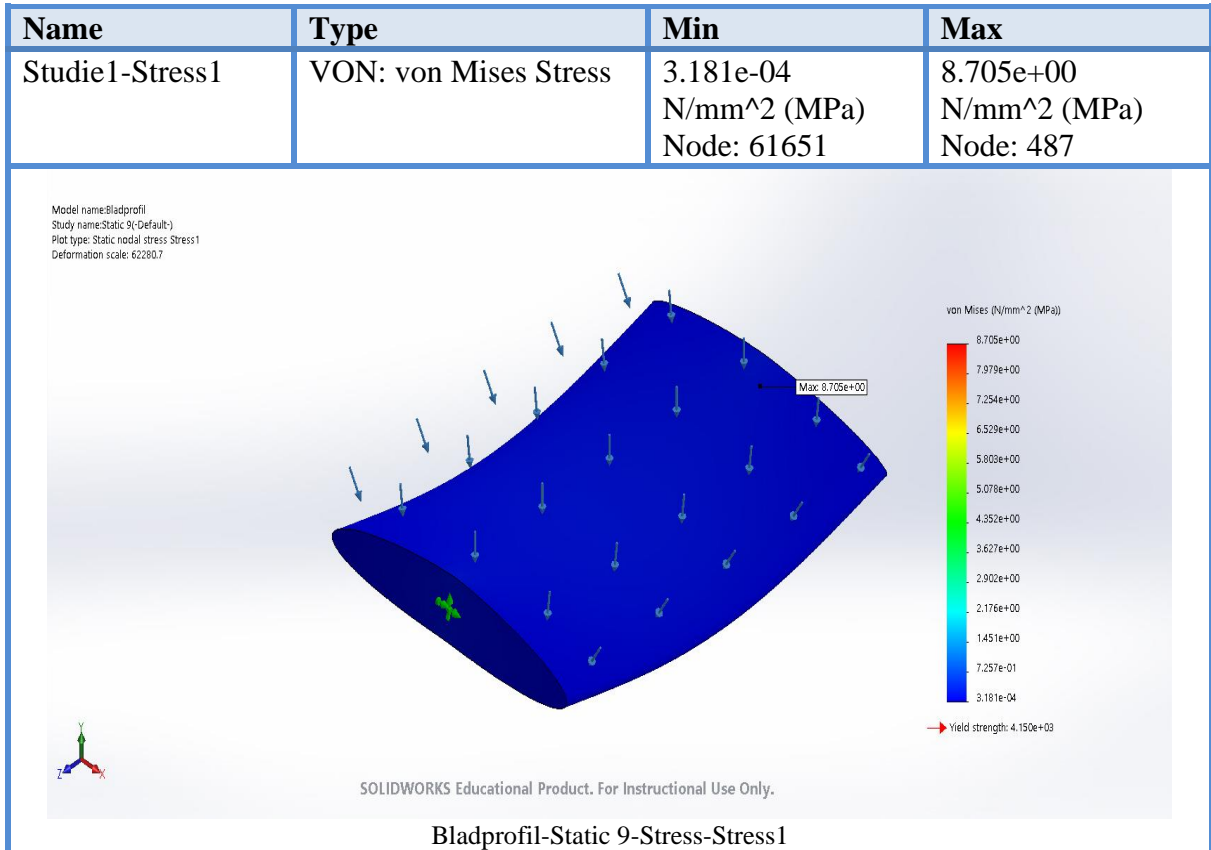


Figur 5.34 Konvergensstudie av bladprofil med 6061 legering

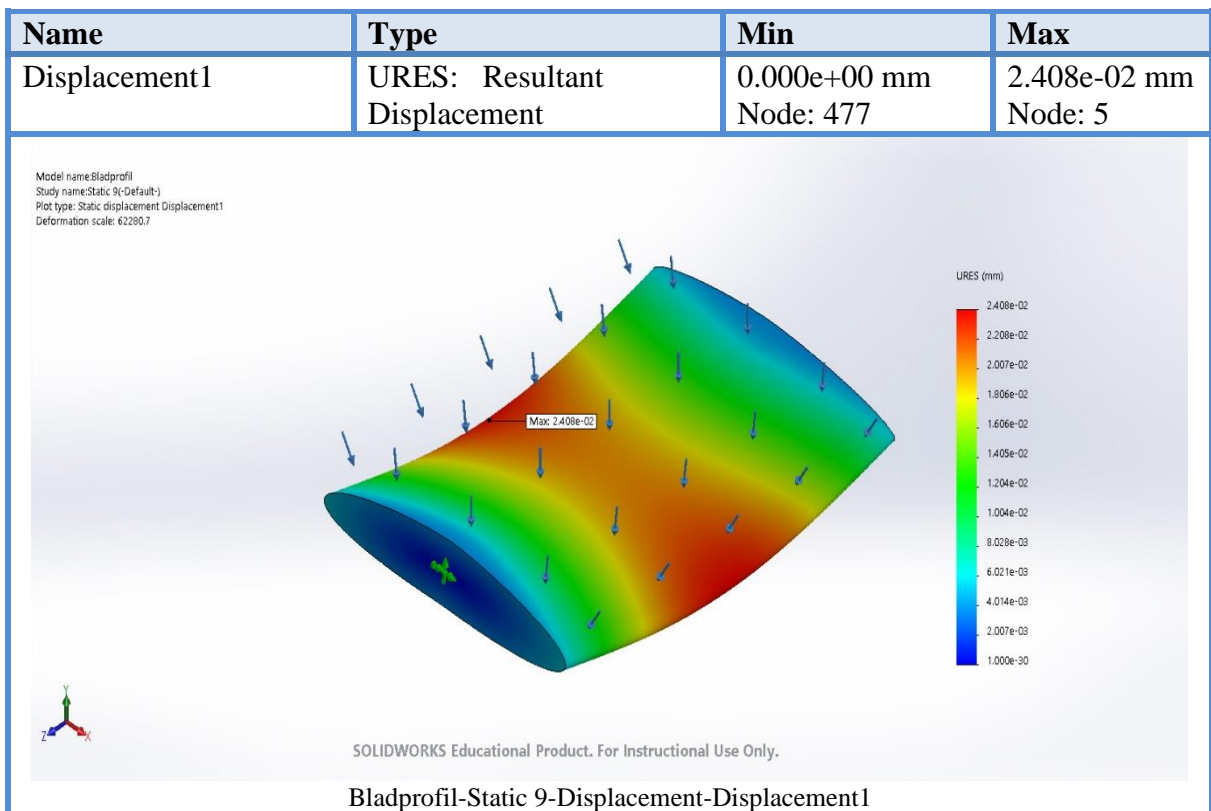
5.1.1.5 Resultat for bladprofil med Hexcel AS4C karbonfiber

Studie	1
Mesh type	Solid Mesh
Mesh Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	200 mm
Minimum element size	40 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.17 Elementnett informasjon for simulering av bladprofil med Hexcel AS4C karbonfiber fra SolidWorks



Tabell 5.18 Resultat av spenning for studie 1 til bladprofil med Hexcel AS4C fra SolidWorks



Tabell 5.18 Resultat av forskyvning for studie 1 til bladprofil med Hexcel AS4C fra SolidWorks

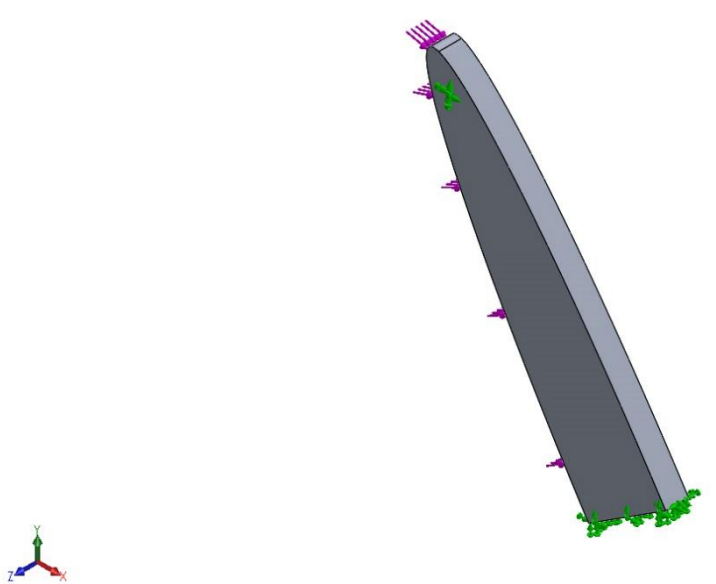
5.1.1.6 Analyse av resultater for bladprofil med Hexcel AS4C karbonfiber

Når det gjelder simulering for materialet av karbonfiber, så har gruppen valgt å kjøre en studie. Årsaken til dette er at resultatet for maks vonMises spenning er omtrent det samme som 6061 legeringen, der forskjellen ligger i desimalene på grunn av små endringer for elementenes frihetsgrader. Grunnen til dette er simulering med samme identisk modell av bladet og kreftene over arealet er samme som for 6061 legeringen. Derfor så vil maks vonMises spenning konvergere til omtrent det samme som for 6061 legering, det vil si cirka 9 MPa. I tillegg så har Hexcel AS4C en bruddgrense lik 4150 MPa, og siden denne ligger langt over den maksimale spenningen så vil det være nytteløst å vise alle resultatene for hver av studiene. Derfor så vises resultatene bare for en og samme elementnett størrelse, og som man kan se så ligger den største forskjellen på forskyvningene.


Det trengs ikke å gjøre en konvergenstudie for forskyvningene, siden som ble bevist i figur 5.3 så er det små endringer av forskyvninger etter hver studie med ulike elementnett størrelser, dermed så vil Hexcel AS4C gi maks forskyvning på omtrent mellom 0,02 og 0,03 mm. Grunnen til at disse verdiene er forskjellig for aluminium legeringen, vil være at karbonfiber er et mer stivere materiale, mens aluminium er et mer duktilt materiale.

For å konkludere så vil man ha samme muligheten som med 6061 legering, det vil si at man kan legge til større krefter, gjøre dimensjonene til modellen mindre eller velge et annet karbonfiber materiale med lavere bruddgrense.

5.1.2 Simulering av armer



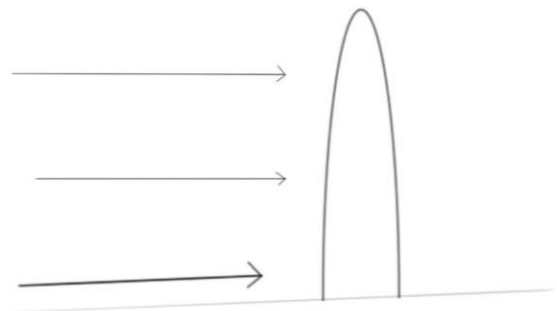
Model name: arm
Current Configuration: Simulering av arm

Solid Bodies			
Document Name and Reference	Treated As	Volumetric Properties	Document Path/Date Modified
Split Line1 	Solid Body	Mass:16996 kg Volume:6.2947 m ³ Density:2700.05 kg/m ³ Weight:166561 N	C:\Users\Atman\OneDrive\Documents\Bachelor\3D design\armer 2.SLDPRT May 2 17:37:14 2020

Tabell 5.19 Modell informasjon av armprofil fra SolidWorks

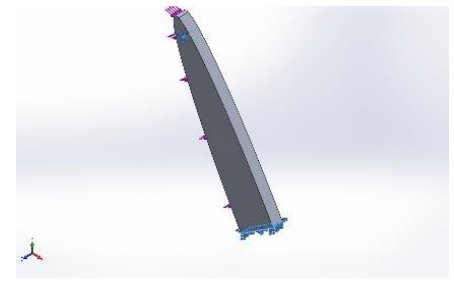
5.1.2.1 Krefter og opplagere for armprofil

Valget av kreftene blir omtrent det samme som bladprofilen, ved at den største statiske belastningen forekomme når bladet vil motta mest mulig krefter fra vannstrømmen, dette er da illustrert i figur 5.4, derfor så analyseres armprofilen med krefter på halve ellipseflaten siden her vil oppstå den største kraften. For opplager så er det valgt fastlager på flaten hvor det er skrueforbindelse, og samtidig

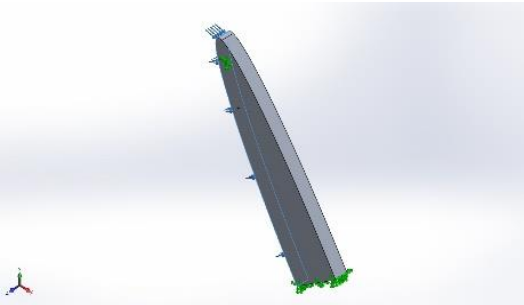


Figur 5.35 Vannstrøm krefter som virker på armen

også på undersiden av armen hvor det er fastholdt. Informasjon om kreftene og opplagrene er visst i de to tabellene under.

Fixture name	Fixture Image	Fixture Details		
Fixed-1		Entities: 6 edge(s), 2 face(s) Type: Fixed Geometry		
Resultant Forces				
Components	X	Y	Z	Resultant
Reaction force(N)	-326524	-155314	15.2866	361581
Reaction Moment(N.m)	0	0	0	0

Tabell 5.20 Informasjon av opplager og krefter for armprofilen fra SolidWorks

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 367091 N

Tabell 5.21 Informasjon av opplager og krefter for armprofilen fra SolidWorks

5.1.2.2 Elementnett informasjon av armprofil for 6061 legering

Med likhet som simulering av bladprofilen, så er det valgt å kjøre fem forskjellige studier med ulike elementnett størrelser, der elementnettet forfines etter hver studie. Størrelsene på elementnettet for de fem forskjellige studiene er vist i tabellene under, her er det også valgt «curvature-based mesh».

Studie	1
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	738.543 mm
Minimum element size	147.709 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.22 Elementnett Informasjon av armprofil med 6061 legering for studie 1 fra SolidWorks

Studie	2
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	369.272 mm
Minimum element size	73.8543 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.23 Elementnett Informasjon av armprofil med 6061 legering for studie 2 fra SolidWorks

Studie	3
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	184.636 mm
Minimum element size	36.9272 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.24 Elementnett Informasjon av armprofil med 6061 legering for studie 3 fra SolidWorks

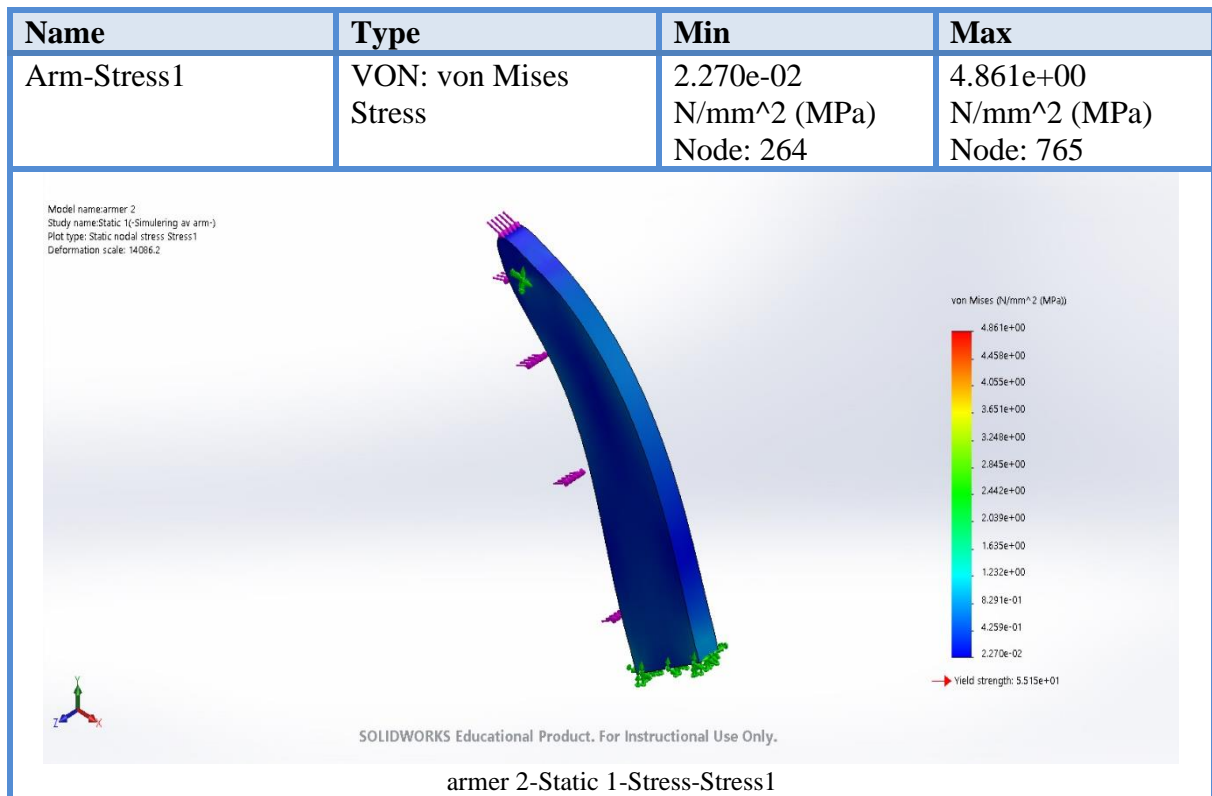
Studie	4
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	100 mm
Minimum element size	20 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.25 Elementnett Informasjon av armprofil med 6061 legering for studie 4 fra SolidWorks

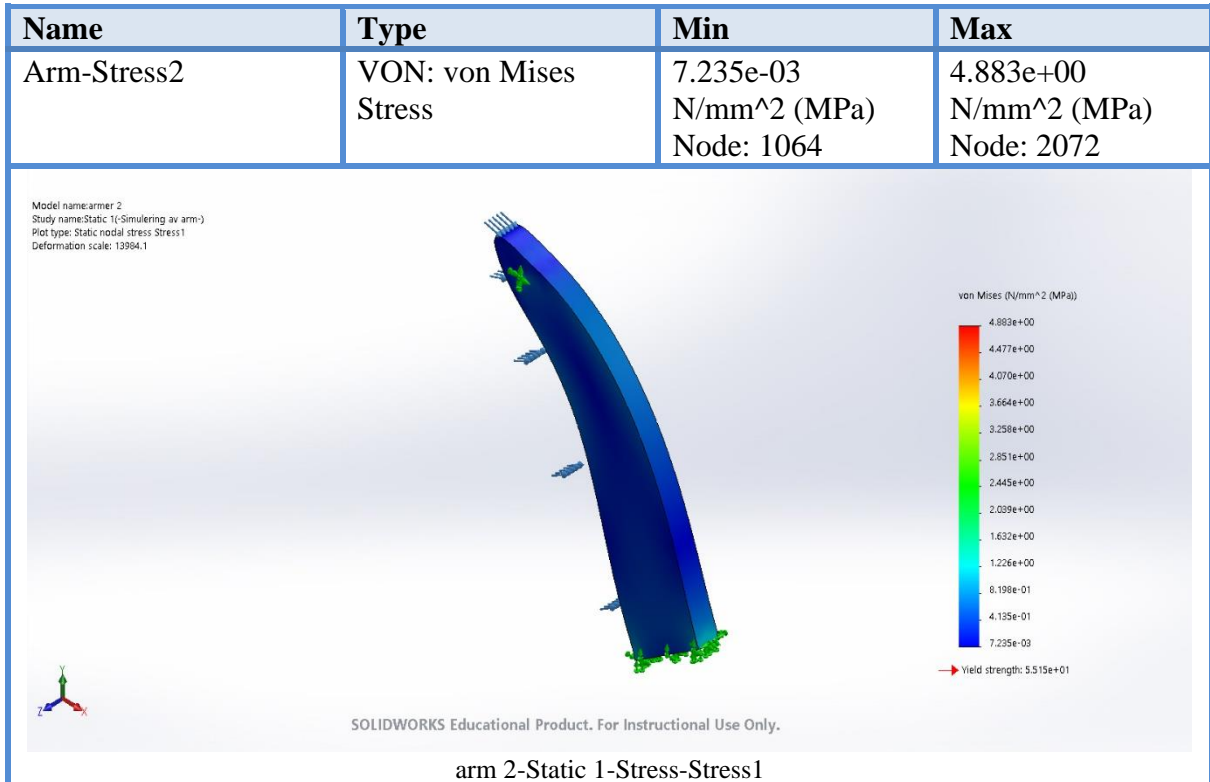
Studie	5
Mesh type	Solid Mesh
Mesh Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	50 mm
Minimum element size	10 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.26 Elementnett Informasjon av armprofil med 6061 legering for studie 5 fra SolidWorks

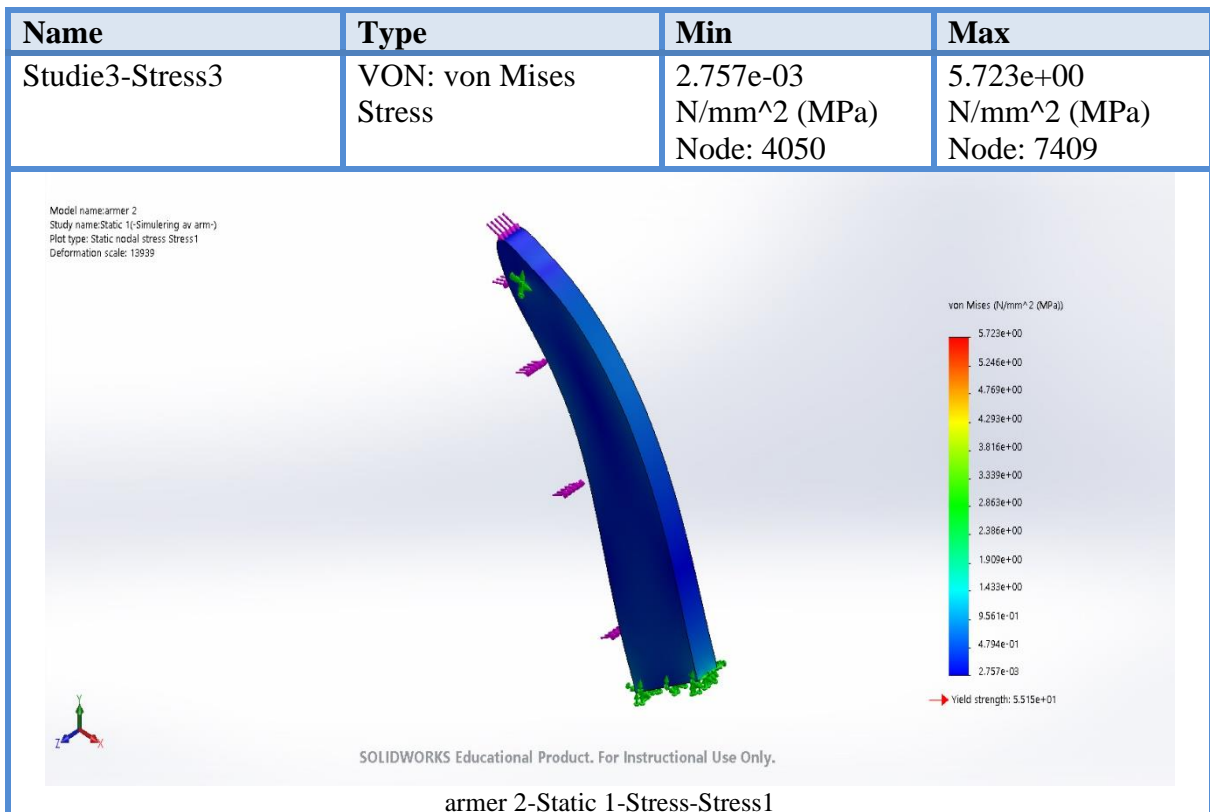
5.1.2.3 Resultat for armprofil av 6061 legering



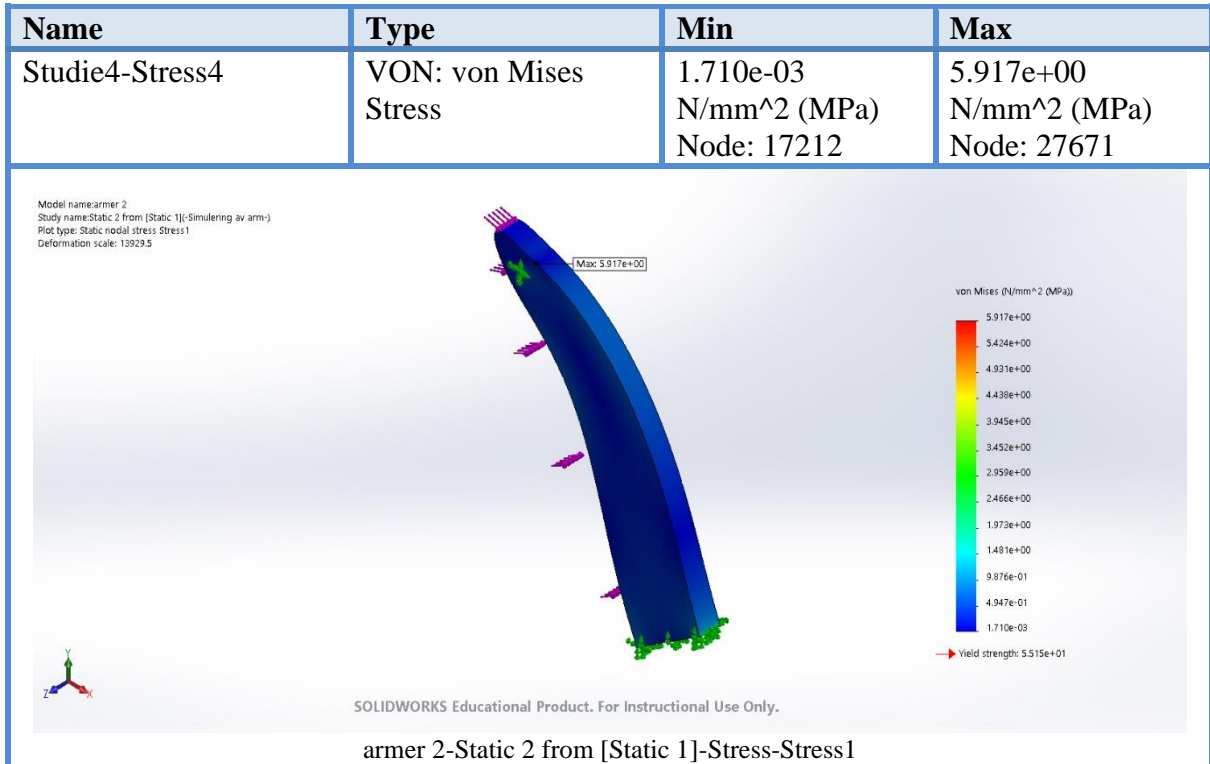
Tabell 5.27 Resultat av spenning for studie 1 til armprofil med 6061 legering fra SolidWorks



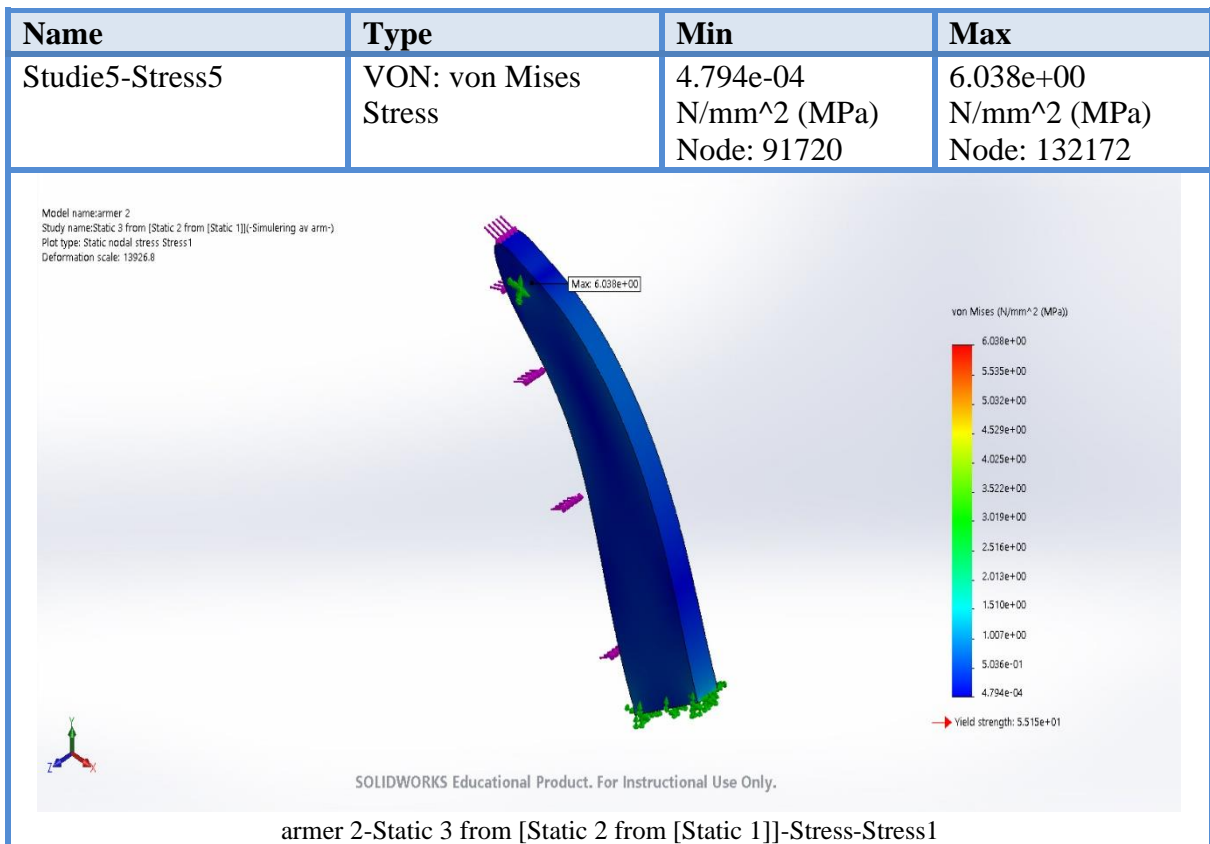
Tabell 5.28 Resultat av spenning for studie 2 til armprofil med 6061 legering fra SolidWorks



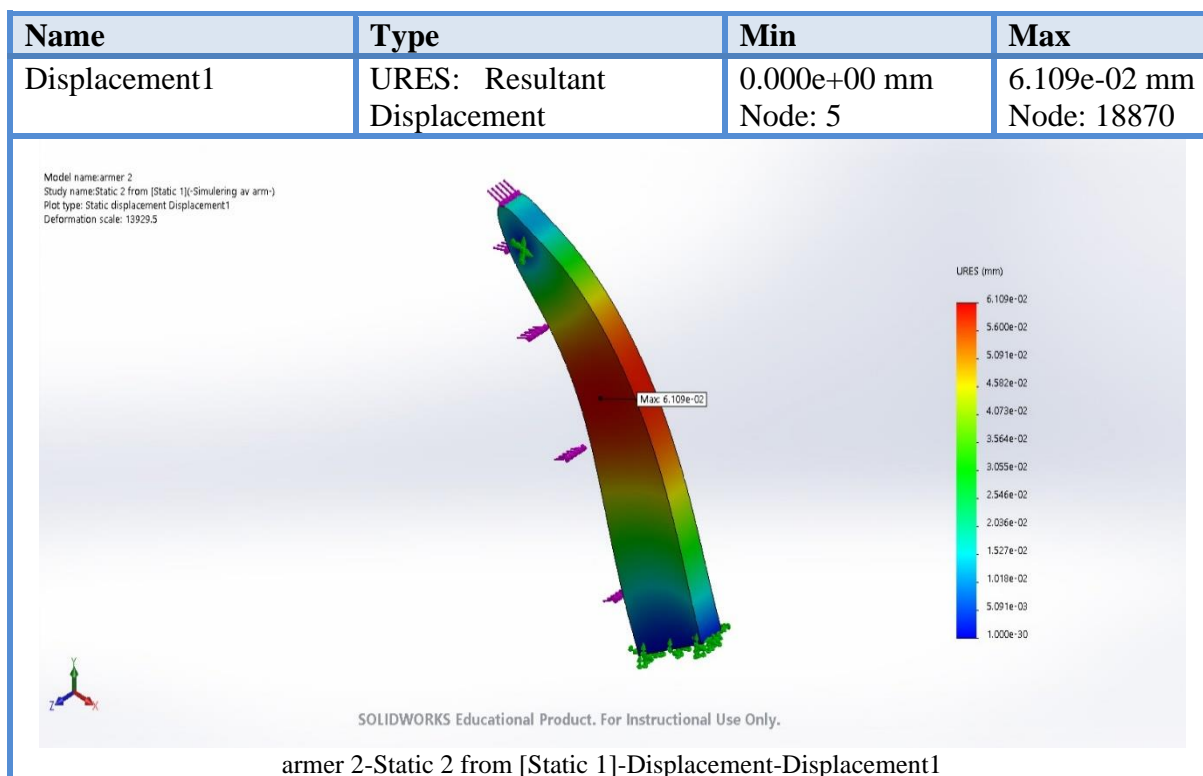
Tabell 5.29 Resultat av spenning for studie 3 til armprofil med 6061 legering fra SolidWorks



Tabell 5.30 Resultat av spenning for studie 4 til armprofil med 6061 legering fra SolidWorks



Tabell 5.31 Resultat av spenning for studie 5 til armprofil med 6061 legering fra SolidWorks



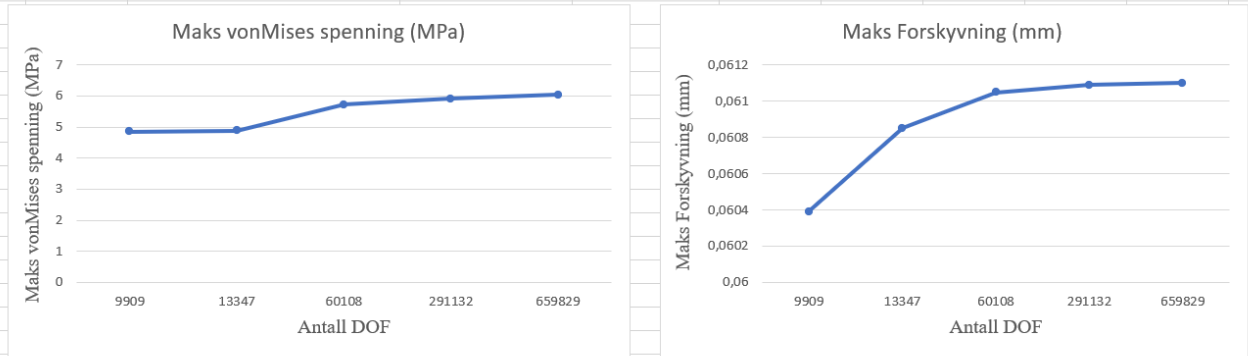
Tabell 5.32 Resultat av forskyvning for studie 4 til armprofil med 6061 legering fra SolidWorks

5.1.2.4 Analyse av resultater for armprofil med 6061 legering

Figurene over viser resultatene for de fem analysene, med likhet som resultatet av bladprofilen så er det forskjellige resultater av spenninger og forskyvninger, på grunn av ulike elementnett størrelser. Den maksimale spenningen oppstår på den flaten der skruen er festet, mens den maksimale forskyvningen forekommer omtrent midt på armen. I figurene av resultatene over er også forskyvningen svært overdrevent, med 4000 ganger den virkelige forskyvningen.

Konvergenstudiet av armen er visst i figur 5.5, og som man kan se så konvergerer maks vonMises spenning mot omtrent 7 MPa, mens for den maksimale forskyvningen konvergerer mot cirka 0,07 mm. Dermed så kan man konkludere med at armen ikke vil få plastisk deformasjon med 6061 legering som materiale, og har muligheten til å legge til større krefter og gjøre dimensjonene til modellen mindre.

Studie	Maks vonMises spenning (MPa)	Forskyvning (mm)	Antall DOF
1	4,861	0,06039	9909
2	4,883	0,06085	13347
3	5,723	0,06105	60108
4	5,917	0,06109	291132
5	6,038	0,0611	659829

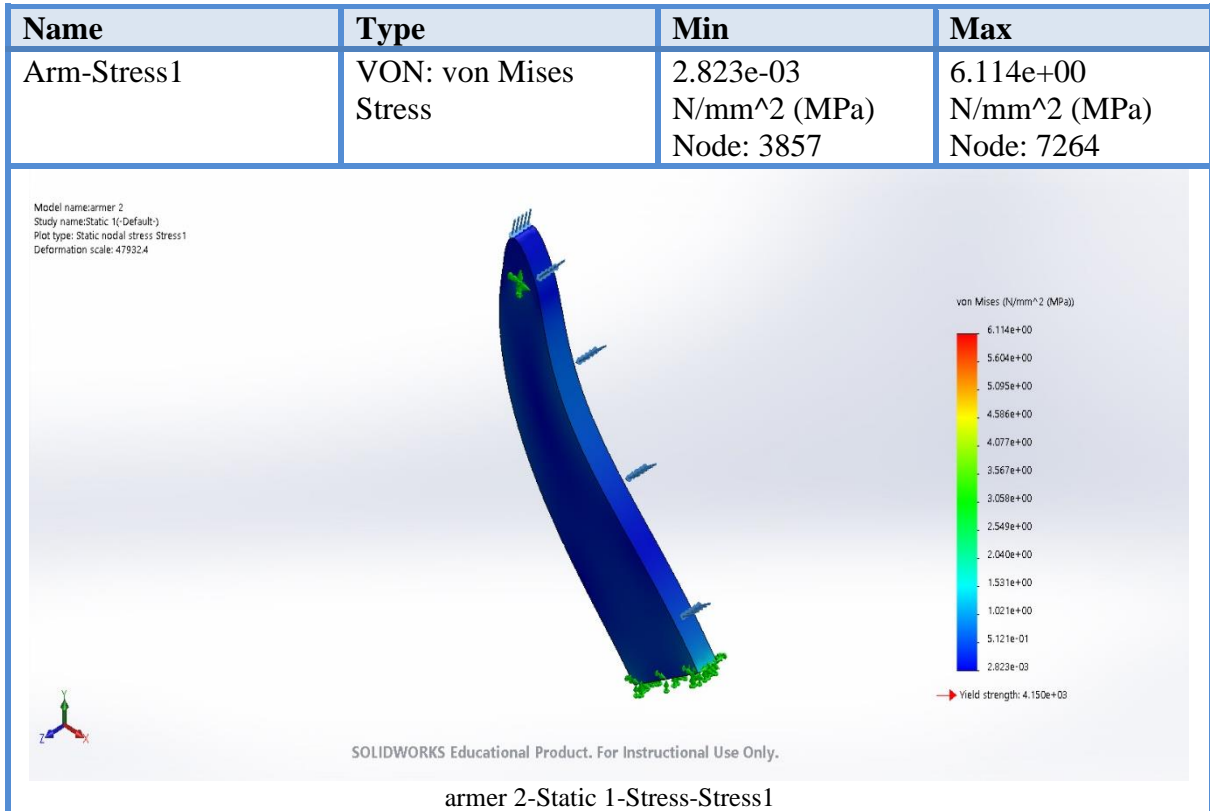


Figur 5.36 Konvergenstudie av armprofil med 6061 legering

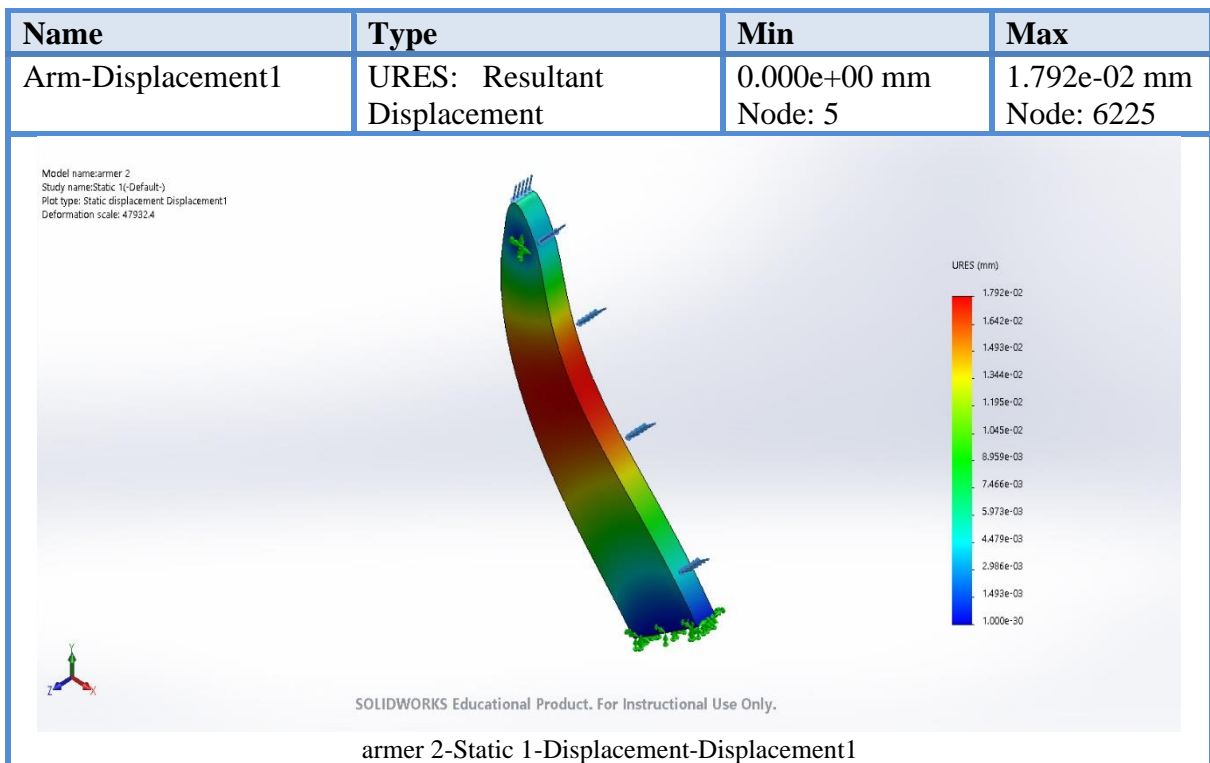
5.1.2.5 Resultat for armprofil av Hexcel AS4C

Studie	3
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 Points
Maximum element size	184.634 mm
Minimum element size	36.9268 mm
Mesh Quality Plot	High

Tabell 5.33 Elementnett Informasjon av armprofil med Hexcel AS4C for studie 3 fra SolidWorks



Tabell 5.33 Resultat av spenning for studie 3 til armprofil med Hexcel AS4C fra SolidWorks



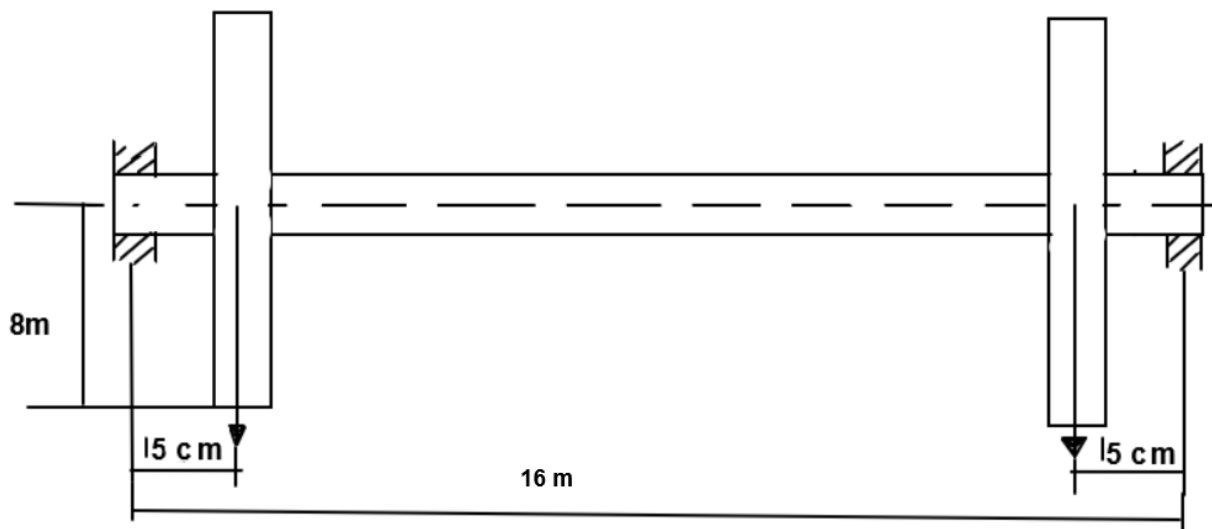
Tabell 5.34 Resultat av forskyvning for studie 3 til armprofil med Hexcel AS4C fra SolidWorks

5.1.2.6 Analyse av resultater for armprofil med Hexcel AS4C

Av samme grunner som forklart under analyse av resultater for bladprofil med Hexcel AS4C, så er det visst resultater for en studie i figurene og tabellene over. Det vil si at maks vonMises spenning for Hexcel AS4C vil være lik som 6061 legering, som er da omtrent 7 MPa. Den største forskyvningen vil være cirka 0,02 mm. Dermed så for å konkludere analysen av resultatet, så har man igjen muligheten til å gjøre dimensjonene til modellen mindre, eller velge en karbonfiber materiale med lavere bruddgrense.

5.2 Beregning av aksel

I beregning av aksel tas bare hensyn til kraften fra effekten per meter blad, som har blitt gjort under kapitlet om styrkeberegning. Egen vekt på blad og arm tas det ikke hensyn til på grunn av at gruppen har ingen tall og informasjon om dette. Valg av tilfeldig tall her vil være for vidt og resultatet vil være dermed hensiktsløst.



Figur 5.37 Avstander for aksel med arm

5.2.1 Vrimoment

Vrimoment $M_v = F * r$

F står for kraften som virker på aksel fra armene. Lik 367091.25 N.

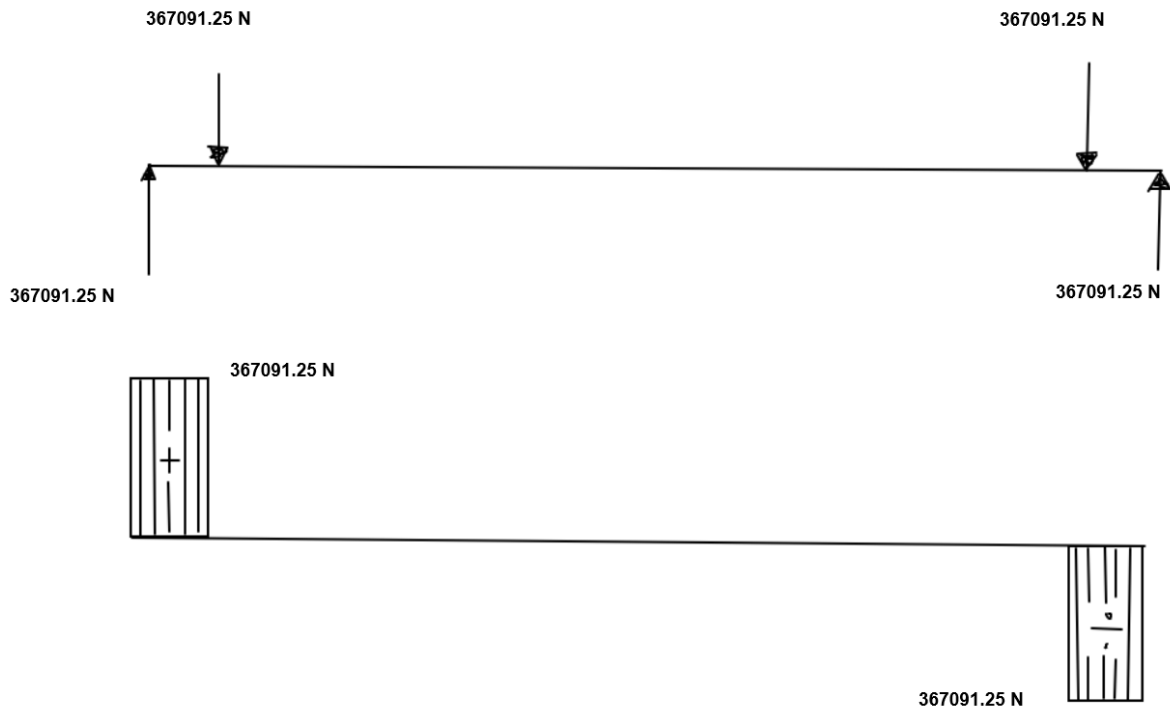
r står for avstand fra armen til aksel og som er lik 8 m.

$$M_v = 367091.25 \text{ N} * 8 \text{ m} = 2936730 \text{ Nm}$$

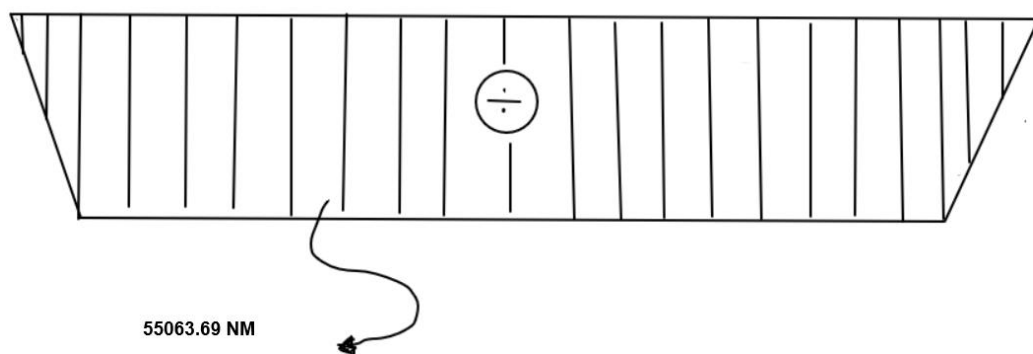
5.2.2 Opplagerkrefter

Opplagerkreftene blir lik kreftene som blir påført av armene. Hver opplagerkraft blir lik 367091.25 N

5.2.3 Skjærkraft- og bøyemomentdiagram:



Figur 5.38 Skjærkraftdiagram



Figur 5.39 Momentdiagram

5.2.4 Jevnførende spenning:

For massiv aksel så er den jevnførende spenningen gitt ved formelen:

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{M_b^2 + 0,75 * M_v^2}}{\frac{\pi * d_A^3}{32}}$$

$$M_b = 55063.69 \text{ Nm}$$

$$M_v = 2936730 \text{ Nm}$$

$$d_A = 1700 \text{ mm}$$

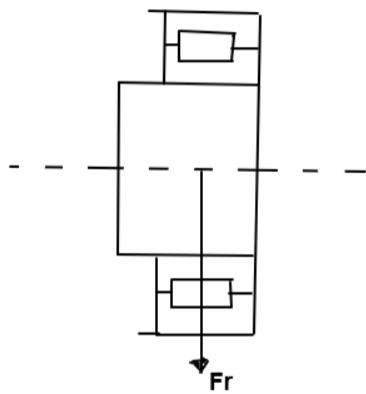
$$\sigma_j = \frac{\sqrt{55063690^2 + 0.75 * 2936730000^2}}{\frac{\pi * 1700^3}{32}} \approx 5,3 \text{ MPa}$$

5.2.5 Analyse av resultater

Basert på undersøkelsene som har blitt om de alternative materialene, så passer duplex stålet som et materiale for akslene på grunn av sine gode egenskaper som egner seg for akselen. For de mest vanlige duplex stålene så har de en flytegrense mellom 400 og 500 MPa, og som man kan se så ligger flytegrensen langt over den jevnførende spenningen, det vil si at den ikke vil gå mot flyt dersom materialet er av duplex.

5.3 Beregning av lagerstørrelsen

For utregningen av lagerstørrelsen så må det først velges en type lager til aksel, og gruppen antar at dette er rullelager, grunnen til dette er at rullelagre brukes normalt når det dreier seg om store belastninger som skal håndteres.



$$d_I = 1700 \text{ mm}$$

$$F_r = 367091.25 \text{ N}$$

$$n_T = 6 \text{ r/min}$$

Figur 5.40 Rullelager med påført kraft

Fra regneark fra bedriften blir omdreininger per sekund lik 0.1 r/sec. Ved å gange med 60, blir det: $n_T = 0.1 * 60 = 6 \text{ r/min}$.

Table 8	
Guideline values of specification life for different types of machine	
Machine type	Specification life Operating hours
Household machines, agricultural machines, instruments, technical equipment for medical use	300 ... 3 000
Machines used for short periods or intermittently: electric hand tools, lifting tackle in workshops, construction equipment and machines	3 000 ... 8 000
Machines used for short periods or intermittently where high operational reliability is required: lifts (elevators), cranes for packaged goods or slings of drums etc.	8 000 ... 12 000
Machines for use 8 hours a day, but not always fully utilized: gear drives for general purposes, electric motors for industrial use, rotary crushers	10 000 ... 25 000
Machines for use 8 hours a day and fully utilized: machine tools, woodworking machines, machines for the engineering industry, cranes for bulk materials, ventilator fans, conveyor belts, printing equipment, separators and centrifuges	20 000 ... 30 000
Machines for continuous 24 hour use: rolling mill gear units, medium-sized electrical machinery, compressors, mine hoists, pumps, textile machinery	40 000 ... 50 000
Wind energy machinery, this includes main shaft, yaw, pitching gearbox, generator bearings	30 000 ... 100 000
Water works machinery, rotary furnaces, cable stranding machines, propulsion machinery for ocean-going vessels	60 000 ... 100 000
Large electric machines, power generation plant, mine pumps, mine ventilator fans, tunnel shaft bearings for ocean-going vessels	> 100 000

Figur 5.41 Tabell 8 i SKF-katalog

Fra figur 2 med Tabell 8 s.72 i SKF- katalog:

$$L_{10h} > 100\,000 \text{ for generering av kraft}$$

$$\text{Velger } L_{10h} = 115\,000 \text{ h}$$

Fra s.299 i SKF- katalog:

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 < e \quad (f_0 * \frac{F_a}{F_r} = 0, e \text{ er da ikke i Tab.4})$$

Table 4

Calculation factors for single row deep groove ball bearings

$f_0 F_a / C_0$	Normal clearance			C3 clearance			C4 clearance		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

Intermediate values are obtained by linear interpolation

Figur 5.42 Tabell 4 fra SKF-katalog

$$P_L = F_r = 367091.25 \text{ N}$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n_T} * L_{10} [h]$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n_T} * \left(\frac{c}{P_L}\right)^P [h]$$

P = 10/3 for rullelager

$$\frac{c}{P_L} = \left(\frac{60}{10^6} * n * L_{10h}\right)^{\frac{1}{P}} = \left(\frac{60}{10^6} * 6 * 115000\right)^{\frac{1}{3.34}} = 3.049$$

$$C = 3.049 * 367091.25 = 1119261.221 \text{ N (minimum)}$$

Sammenligner dette resultatet med SKF- katalog i bilden under som er hentet fra internettet:
(Single row cylindrical roller bearing, 2020)

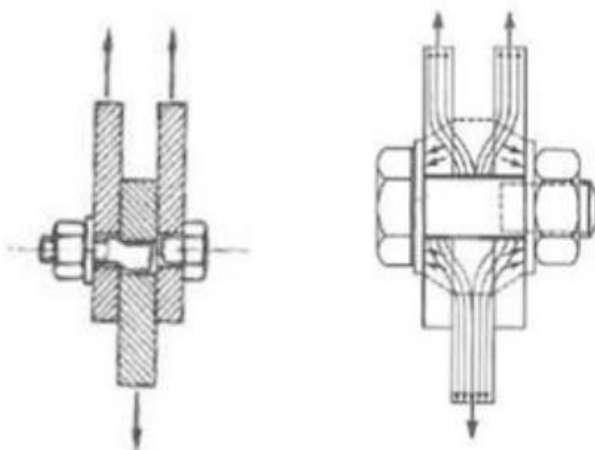
Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Designation
			dynamic	static		Reference speed	Limiting speed	
d [mm]	D [mm]	B [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	P _u [kN]	[r/min]	[r/min]	
1500	1820	140	3300	8000	440	480		319301
1700	2060	160	7210	19300	1040	160	200	NU 18/1700 ECMA/HB1

5.3.1 Analyse av resultat

Basert på beregningene som har blitt gjort for lagerstørrelse, samtidig også tabellene fra SKF-katal, så kan man konkludere med å velge rullelager NU 18/1700 ECMA/HB1 (med C = 7210 KN).

5.4 Beregning av feste mellom blad og armene:

Skruen mellom bladet og armen er avskjæringsforbindelse, som betyr at belastningen forekommer på tvers av skruens akse, og skruen blir dermed bare utsatt for skjærspenning. Figur 5.12 illustrere avskjæringsforbindelse. Friksjonskoeffisienten μ og μ' er ukjent og kan variere fra ulike verdier, alt etter overflaten på skruen, mutteren eller underlaget og skruen er smurt. Friksjonskoeffisienten varierer $\mu = 0,18 - 0,35$ ved tørre flater og $\mu = 0,14 - 0,26$ ved smurte flater. (Dahlvig, Christensen, og Strømsnes, 2000, s.87) Vi antok at det er tørre flater på skrueforbindelsene og dermed valgte vi omtrent en verdi midt imellom 0,18 og 0,35.



Figur 5.43 Avskjæringsforbindelse

Forbindelse mellom blad og armene, er to M60 skruer. Her styrke beregnes det for en skrue, grunnen til dette er at det brukes samme skrue på den andre siden av forbindelsen for bladene og armene, så gjelder resultatene for den andre skruen. Kraften som påvirker på feste, er $F = 367091.25 \text{ N}$.

M60 skruen har følgende dimensjoner:

$$P_S = 5.50$$

$$\text{Lille diameter} = 54.046 \text{ mm}$$

$$\text{Midt diameter} = 56.428 \text{ mm}$$

$$\text{Ytre diameter} = 60 \text{ mm}$$

Grade 8 stål med fasthetsklasse 8.8

$$\text{Strekfasthet} = 800 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Flytegrense} = 640 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = \mu' = 0.20 \text{ (tørre flater)}$$

$$\alpha = \frac{60^\circ}{2} = 30^\circ$$

Beregninger:

Friksjonskraften:

$$F_F = \mu * N = \mu * \frac{F}{\cos \alpha} = \frac{0.20}{\cos 30^\circ} * 367091.25 = 84776.1 \text{ N}$$

Stigningsvinkel φ

$$\tan \varphi = \frac{P_S}{\pi * d_m} = \frac{5.5}{\pi * 56.428} = 0.031 \Rightarrow \varphi = 1.77^\circ$$

$$\tan \varepsilon_1 = \frac{\mu}{\cos \alpha} = \frac{0.20}{\cos 30^\circ} = 0.231 \Rightarrow \varepsilon_1 = 13.0071^\circ$$

Vrimoment:

$$M_v = F * \tan(\varphi + \varepsilon_1) * m$$

$$M_v = 367091.25 * \tan(1.77^\circ + 13.0071^\circ) * 28.214 = 2732039.13 \text{ Nmm}$$

Friksjonskraftmoment:

$$M_s = F_F * r_{m'} = \mu' * F * r_{m'}$$

$$r_{m'} = \frac{N + d_h}{4} = \frac{90 + 60}{4} = 37.5$$

$$M_s = 0.20 * 367091.25 * 37.5 = 2753184.375 \text{ Nmm}$$

Det totale tiltrekningsmoment M

$$M = M_v + M_s = 2732039.13 + 2753184.375 = 5485223.505 \text{ Nmm}$$

Avskjæring i feste mellom blad og arm:

$$\text{Jevnførende spenning: } \sigma_j = \sqrt{3 * \tau^2}$$

$$\tau = \frac{F}{n_s * n_a * \frac{\pi * d_D^2}{4}} = \frac{367091.25}{1 * 2 * \frac{\pi * 60^2}{4}} = 64.95 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_j = \sqrt{3 * (64.95)^2} = 112.5 \text{ MPa}$$

Flytegrensen til skruen er 640 MPa, gir at den jevnførende spenningen fører til at skruen ikke går mot flyt.

Hullflatetrykk:

$$P_H = \frac{F}{\frac{\pi}{4} * (D^2 - d_h^2)} = \frac{367091.25}{\frac{\pi}{4} * (90^2 - 60^2)} = 103.92 \text{ N/mm}^2$$

For M60 skruen er det stål HB = 238, $P_{max} \approx 1200 \text{ N/mm}^2$

$$P < P_{max} \quad \underline{\text{ok}}$$

$$P = \frac{F}{\frac{\pi}{4} * (d_Y^2 - D_1^2) * Z} \Rightarrow Z = \frac{4 * F}{P * \pi * (d_Y^2 - D_1^2)} = \frac{4 * 367091.25}{103.92 * \pi * (60^2 - 56.428^2)} \Rightarrow$$

$$Z = 10.96 \text{ antall bærende gjenger (innganger)}$$

Høyde skrue i inngrep/ høyde mutter

$$H = Z * P_s = 10.96 * 5.5 = 60.28 \text{ mm}$$

Skjærspenning i gjenger:

1- Skruer:

$$\tau_s = \frac{F}{\pi * d_i * H} = \frac{367091.25}{\pi * 56.428 * 60.28} = 34.37 \text{ N/mm}^2$$

2- Mutter:

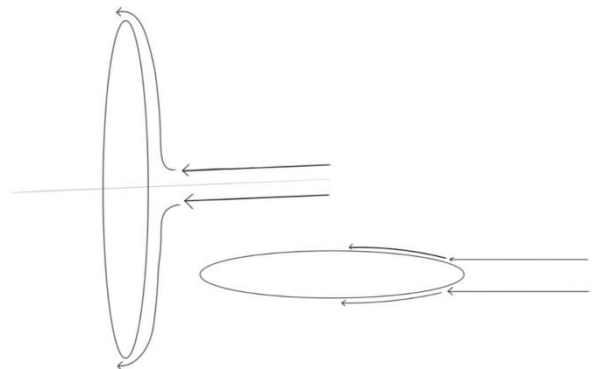
$$\tau_s = \frac{F}{\pi * d_s * H} = \frac{367091.25}{\pi * 60 * 60.28} = 32.323 \text{ N/mm}^2$$

5.4.1 Analyse av resultat for skrueforbindelsen

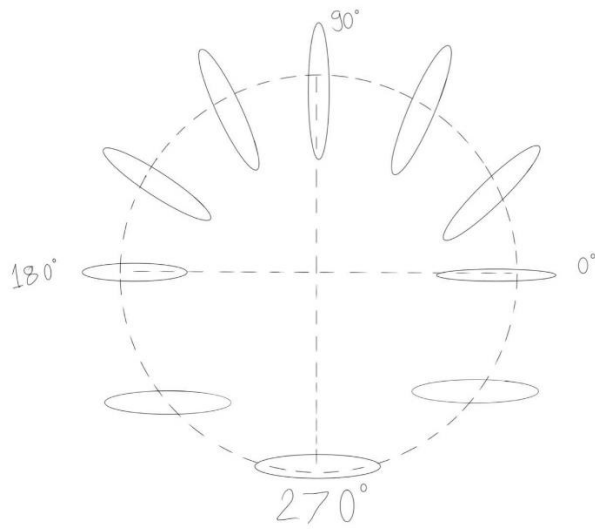
Konkluderer resultatet for en en M64 bolt med fasthetsklasse 8.8, vil ikke kunne gå mot flyt og eller brudd, ettersom den jevnførende spenningen på omtrent 112,5 MPa ligger under flytegrensen på 640 MPa.

6. Vinkelkontroller

Undervannsturbinen skal være designet for å produsere elektrisk energi, og for at dette skal forekomme så må bladene skape rotasjon. Det er foretrekkende å oppnå best mulig effektiv rotasjon for å skape mest elektrisitet, men dette avhenger av bladenes vinkel og posisjon. Den mest gunstige vinkelen er når bladet står vertikalt rett opp, siden her vil den absorbere mest mulig kinetisk energi fra vannstrømmen og skaper derfor best mulig effektiv rotasjon. Den minst gunstige er når bladet ligger horisontalt, fordi her vil den oppta minst mulig kinetisk energi fra vannstrømmen. Disse to vinklene med påført tidevannsstrøm er illustrert i figur 6.1. Derfor så har gruppen kommet fram til at den mest lønnsomme rotasjonen med bestemte vinkelposisjoner er visst i figur 6.2. Årsaken til at det har kommet fram til dette er at posisjonene for den øvre sirkelbevegelsen så skal bladene motta mest mulig av vannstrømmen, mens i den nedre sirkelbevegelsen så skal bladene motta minst mulig av vannstrømmen slik at den gir minst mulig motstand, og mest mulig effektiv rotasjon.



Figur 6.44 To forskjellige bladvinkler som mottar tidevannsstrøm



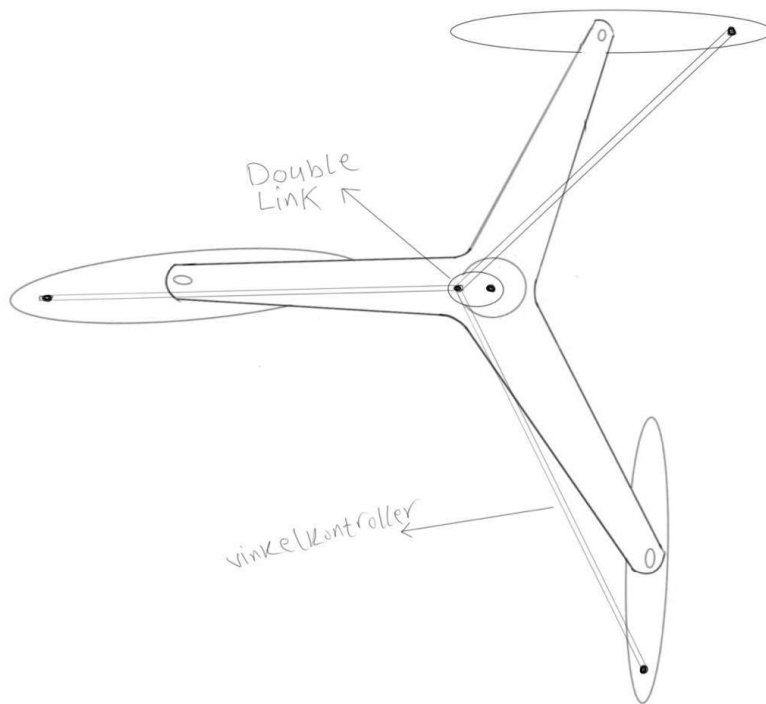
Figur 6.45 De mest gunstige vinklene på bladene i de ulike rotasjonsposisjonene

For de fleste vindturbiner så brukes det elektriske komponenter som sensorer og rotormotor for å kontrollere vinklene på bladene, virkemåten for disse er svært komplisert og krever store kunnskaper innenfor elektrisitet og robotikk. Men siden problemstillingen spør etter om en mekanisk løsning, så har gruppen kommet fram til to mulige løsninger for å kontrollere vinklene for bladene og oppnå mest mulig effektiv rotasjon. Disse to løsningene er illustrert i figurene 6.3 og 6.4. Ideen bak denne løsningen er hentet fra en studie om vertikall under vannstrubrin (*Prasad Chougule and Søren Nielsen, 2014*). Men selve inspirasjonen er fra Reuleaux samligen av kinematiske mekanismer, som går veldig kort fortalt i hovedsak ut på hvordan en bevegelse fra komponent kan skape en ny bevegelse for en annen komponent.

Disse to løsningene gir store avstander mellom vinkelkontrolleren og bladet på grunn av bredden til armen, derfor så kan det være vanskelig for en skrue å forbinde disse to komponentene sammen. En mulig løsning for dette kan være en stål rør som går tvers igjennom bladet, og forbinder dette med vinkelkontrollene på hver sin side av bladet.

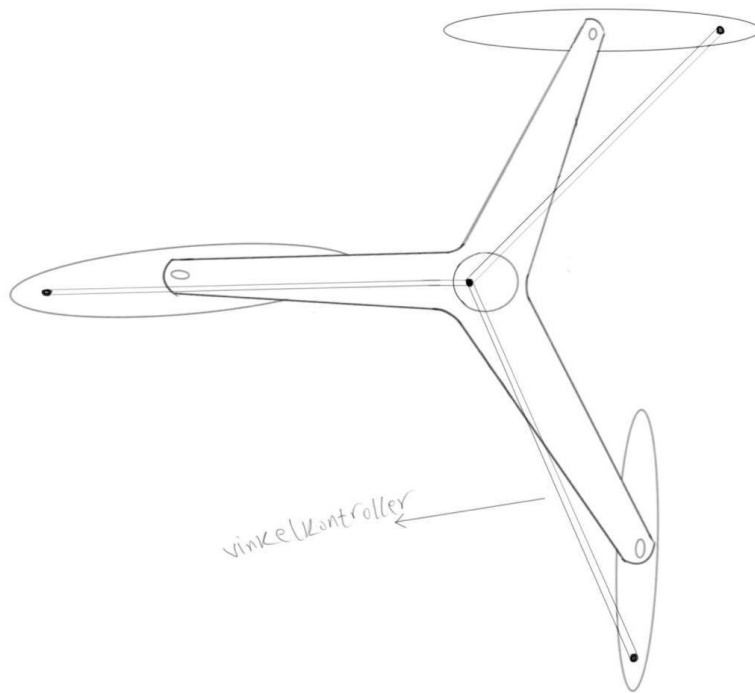
Figur 6.3 viser den første alternative løsningen for å bestemme vinklene til bladene. Denne løsningen består av tre typer stål stenger som er i utgangspunktet vinkelkontrolleren, det vil si at disse endrer vinklene på bladene og er den som binder sammen bladene og dobbel linken. Dobbelt linken er festet på akslen og roteres rundt, funksjonen til denne er å bestemme vinklene til bladene i de ulike posisjonene for sirkelbevegelsen av turbinen. I denne løsningen

så er det bladenes posisjoner som vil bestemme vinklene for dem, ved at vinkelkontrolleren vil kunne trekke og skyve bladene for de ulike plasseringene i rotasjonsbevegelsen.



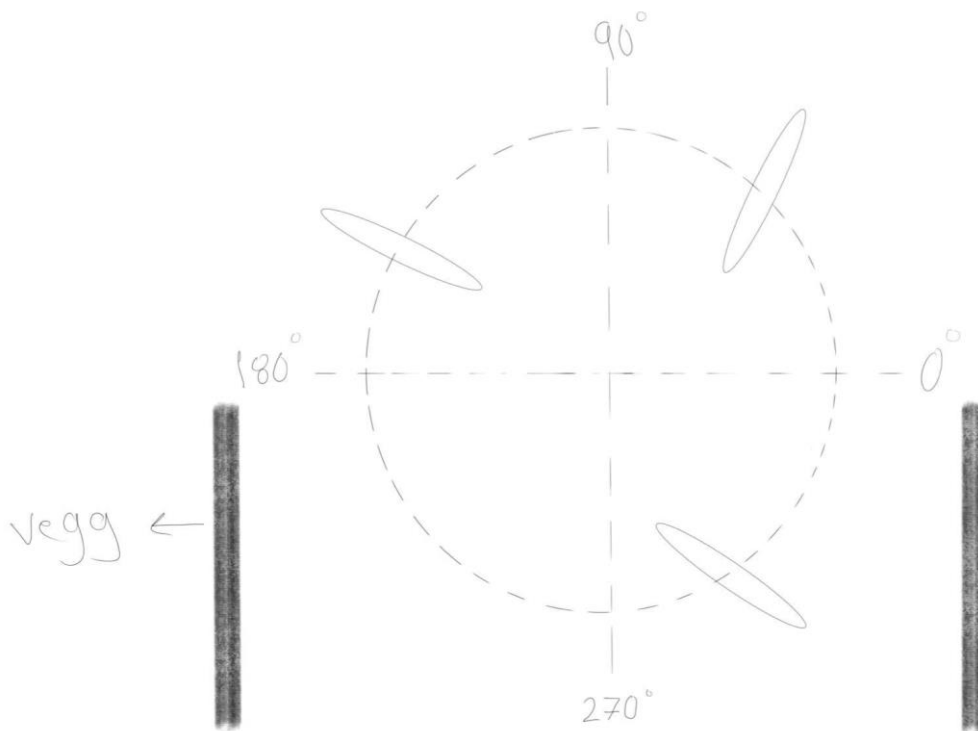
Figur 6.46 Alternativ løsning nummer 1 for vinkelkontroller

Den andre alternative løsningen er visst i figur 6.4, og denne fungerer på samme måte som den første alternative løsningen, men forskjellen her er ingen dobbel link. Det vil si at vinkelkontrollene er direkte festet til akselen, og dermed så er rotasjonen på akselen som vil avgjøre vinklene til bladene.



Figur 6.47 Alternativ løsning nummer 2 for vinkelkontroller

En annen mulig løsning som gruppen hadde diskutert for å oppnå mest mulig effektiv rotasjon, var å sette opp en slags type vegg som hindrer tidevannsstrømmen å treffe bladene på undersiden av halve sirkelbevegelsen. Figur 6.5 illustrerer denne løsningen. Men siden selve turbinen er ganske stor konstruksjon, så vil ikke denne løsningen være rimeleg, på grunn av store øninger av kostander for materialer og produksjon.



Figur 6.48 Alternativ løsning nummer 3

8. Diskusjon

8.1 Diskusjon av metode og utførelse

Når det gjelder bruken av litteraturstudie og kildebruken, så har gruppen for det meste tatt for seg om materialer angående litteratur og kilder. En negativ konsekvens av dette omfanget er pris, og dette er en egenskap som påvirker beslutningen for valget av materiale. Prisene på materialer endrer seg stadig, og derfor så tar rapporten ikke for seg om en bestemt pris, men heller litt mere generelt.

For kildebruken så har deltagerne brukt så mye som mulig av kilder fra kompendiene til faglærer Henning Johansen, men samtidig også bruker i stor grad av fag- og pensumbøker innen materialer og styrkeberegninger. Grunnen til dette er å oppnå høye verdier av validitet i resultatet, siden disse kildene er fra personer som er eksperter innen sine fagområder.

Siden denne rapporten undersøker en undervannsturbin som ikke er ferdig produsert, og bedriften Moonpower er fremdeles i idéfasen, så her måtte gruppen gjøre antagelser og forenklinger, på grunn av mangel av konkrete forutsetninger som Moonpower ikke har allerede bestemt innenfor beregninger og dimensjonering av blad, arm og aksel for turbinen. Antagelsene som har blitt gjort bidrar til lave verdier av validitet, og en mulig løsning som kan bidra til å øke disse verdiene ville være en person som jobber eller spesialisere seg for design og konstruksjon av undervannsturbiner, men gruppen fikk ingen kontakt eller samarbeid med en slik person.

Dataverktøyet SolidWorks og 3D-printere ble i utgangspunktet først og fremst brukt for visualisering av undervannsturbinen, og samtidig også fremstille en fysisk modell.

SolidWorks er et veldig produktivt 3D dataassistert konstruksjonsverktøy, som betyr at det er veldig enkelt å redigere og designe konstruksjoner, dermed så sparer man veldig mye tid for designprosessen. SolidWorks gir en fantastisk innsikt hvordan konstruksjonen din vil se ut uten at den faktisk er laget, i tillegg så har den veldig mange nyttige funksjoner som for eksempel simuleringer og tekniske tegninger.

8.2 Diskusjon for valg av materiale

Gruppen har ved erfaring fra tidligere emner som materiallære og styrkeberegning, samtidig også lært i løpet av prosessen for bacheloroppgaven at det finnes ingen bestemt fasit på hva den beste løsningen er om valg av materiale for bladene, armene og akselen. Det finnes mange materialer som har gode egenskaper i forhold til bruken av disse komponentene for turbinen, men for det gruppen har undersøkt så har disse mekaniske egenskaper som egner seg for turbinen.

Kriteriene som gruppen har vært gjennom og som skal undersøkes, er for materialer med tilpasninger til under vann, årsaken til dette er selvfølgelig at konseptet dreier seg om en undervannsturbin som er plassert fullstendig under vann. Det medførte at valg av materialene skal ha egenskaper som egner seg og tåler forholdene i vannet, det vil si at de egenskapene som ønskes ta i mest vare på og sette høy pris på er styrke, motstand mot korrosjon,

En egenskap som var spesielt vanskelig å estimere var prisen, på grunn av sine stadige endringer. En mulig løsning her og betydelig argumentasjon ville være en omfattende kostnadsanalyse, men dette ville være en oppgave i seg selv siden her er det mange områder

som kan drøftes som for eksempel markedsundersøkelser, produksjonsprosesser, ressurser og så videre.

8.3 Diskusjon av beregninger

En svakhet ved denne rapporten er at resultatene som har blitt løst for styrkeberegninger av blad, arm, aksel, lager og skrueforbindelse er bare basert på kreftene fra tidevannsstrømmen og ingen av de andre krefter som vil da påvirke turbinen. Men den største statiske lasten vil forekomme på grunn av vannstrømmen, siden det er ingen andre krefter under forholdene i vannet som kan overstige kraften fra strømmen.

For beregningen av disse del komponentene, så har gruppen valgt å undersøke for en maksimal statisk last til den største hastigheten 4 m/s for vannstrømmen. En annen svakhet for denne rapporten, er at det ikke har tatt i betraktning for beregninger av dynamiske påkjente krefter på skrueforbindelsen. Grunnen til dette er mangel av tallverdier til dynamiske lastene som påvirker skruen, eksempler på to av disse lastene er klemkraften og tilleggskraften i skruen. Men en god løsning for dette kan være å velge en skrue med større dimensjoner, eller å velge en skrue med høyere fasthetsklasse.

8.4 Diskusjon av vinkelkontroller

Bakgrunnen for denne oppgaven er å komme fram til en mulig løsning for en slags type vinkelkontroller som justerer bladene i undervannsturbinen, ved å da rotere dem slik at de bruker riktig vinkel ved de bestemte posisjonene av sirkelbevegelsen for å få mest mulig effekt.

Dette var spesielt krevende oppgave, siden her måtte gruppen bruke sin kreativitet for å komme fram til en løsning, og det var også ingen bestemt fasit på dette. Det var mye diskusjoner med veileder og i selve gruppen om mulige løsninger angående justeringer av vinkel for bladene. En mulig metode som var undersøkt flere ganger var å forsøke om det eksisterte en løsning i skrueforbindelsen mellom armen og bladet, her var det sp

8.5 Diskusjon av resultater

8.5.1 Materiale

Med tanke på de utvalgte materialene som har blitt undersøkt, så er aluminium og karbonfiber som peker seg mest ut for blad og arm, siden disse to materialene har bedre egenskaper som

de andre materialene ikke kan rett og slett konkurrere med. Det er da spesielt lav vekt i forhold til høy styrke som skiller seg mere ut, og dette er en egenskap som kreves for blad og arm komponentene, siden jo større vekt disse har, jo vanskeligere vil det være å skape rotasjon av turbinen. Årsaken til at det er valgt karbonfiber framfor glassfiber er at gruppen fant ingen bestemte priser for å sammenligne med hverandre, derfor så blir bakgrunnen for valget styrken til materialet, der karbonfiber har høyere bruddgrense. Titan ville definitivt også ha vært enn mulighet her på grunn av sine svært gode egenskaper som passer inn for bladene og armene, men på grunn av sin høye pris så har gruppen valgt å utelukke denne.

Hvis det skulle bestemmes et materiale akkurat nå for bladene og armene, så ville gruppen ha anbefalt aluminium. Både aluminium og karbonfiber er korrosjonsbestandige, det vil si at de ikke ruster som fører til lengre levetid og mindre vedlikehold, og igjen bidrar til økonomien og miljøet. Men siden aluminium er resirkulerbar og karbonfiber ikke har denne egenskapen, så er aluminium mere fordelaktig for miljøet. I tillegg så visste resultatene av simuleringen for blad- og armprofilen at den mest vanligste aluminiumslegeringen 6061 vil kunne motstå kreftene fra tidevannsstrømmen, dermed så vil styrken for denne legeringen være nok.

For akslene så er det ikke noe bestemt krav for lav vekt, dermed så vil valget av materiale for denne komponenten være for det meste basert på styrke, mostand mot korrosjon og pris.

Dermed så kan gruppen konkludere med at duplex vil være et godt alternativ, på grunn av sin høye motstand mot rust og ikke minst med omtrent seks ganger høyere flytegrense enn 6061-aluminium-legeringen.

8.5.2 Styrkeberegning

For simuleringen av blad- og armprofilen så var det spesielt vanskelig å velge hva som skulle tas med i rapporten, siden gruppens veileder ga tips om å ikke ha med for mye og heller ikke for lite. Derfor ble det på en måte kombinasjon av disse to, hvor da gruppen prøvde å ta med det mest essensielle for rapporten, og samtidig fokalere årsaker og grunner til figurer og tabeller som ikke ble inkludert i rapporten.

Resultatene av simuleringen for bladet og armen med de gitte dimensjonene under vedlegg for tekniske tegninger, konkluderes med at den største vonMises spenningen som opptrer på grunn av tidevannsstrømmen er omtrent 9 MPa for bladet, mens for armen så vil det være cirka 7 MPa. Disse er relativt lave spenningsverdier, og dersom det skulle velges 6061

legeringen som materiale, så vil man ha muligheten til å gjøre dimensjonene mindre for begge komponentene.

For beregning av aksel så tok det ikke hensyn til egen vekt på armene og bladene, dermed så vil den jevnførende spenningen se fornuftig ut ettersom det bare er beregnet kraften fra tidevannsstrømmen. Ettersom det ikke har gjort noen beregninger med hensyn på vekt, så kan en mulig løsning være å øke dimensjonene til akselen for å tåle større laster.

Beregning av lagstørrelse så gjelder det samme som aksel beregningen, i forhold til egen vekt på bladene og armene. Dynamisk bæreevne som har blitt valgt til turbinens lager er større enn den beregnede dynamisk bæreevne av to grunner. Den første er sikkerhet, siden lager er kritisk i forhold til turbinen. Den andre er da egen vekt på bladene og armene.

Konkluderer så til slutt med at beregningene som hadde blitt gjort for M60 skrue er mere enn godkjent, på grunn av at spenningen ikke overskrider flytegrensen til skruen med en fasthetsklasse på 8.8. Denne konklusjonen er bare basert på den største statiske lasten fra vannstrømmen, og ikke de dynamiske påkjente kreftene.

8.5.3 Vinkelkontroller

Når det gjelder analyse av løsningsforslagene for vinkelkontrollerne, så hadde gruppen planer om å 3D-printe en større modell, for å deretter også 3D-printe vinkelkontrollere og feste disse til modellen av turbinen. Men på grunn av verdens nåværende situasjon, så skapte dette komplikasjoner og dermed så hadde ikke gruppen muligheten for å teste disse vinkelkontrollerne.

Litteraturliste

litteratur

Aasen, B. (2010) *Stål Håndbok Del:3 2010 Konstruksjoner av Stål*. 3. utgave. Oslo: Norsk stålforbund.

Almar-Næss, A. (2003) *METALLISKE MATERIALER*. 4. utgave. Trondheim: Tapir akademisk forlag

Chung, D.D.L (1994) *Carbon Fiber Composites*. Elsevier

Dahlvig, G.Christensen, S. og Strømsens, G. (2000) *Konstruksjonselementer*. Norge: Gyldendal Norsk Forlag AS.

Dansk Teknologisk Institut. (1991) *Materialekendskab. Rustfrit stål, nikkel, titan*. 1. utgave. Dansk Teknologisk Institut, Forlaget

Grøndalen, Ø. (2017) *Materiallære* 8. utgave. Fagbokforlaget.

Jensen, G. og Vedel, I. (1992) *Materialekendskab teknisk keramik*. 1 utgave. København: Dansk teknologisk institut forlaget.

Khare, V. Khare, C. Nema, S. og Baredar, P. (2018) *Tidal Energy Systems: Design, Optimization and Control*. Elsevier

Kurowski, P.M. (2018) *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2018*. 16.utgave. United States of America.

Rasmussen, F. M. (2010) *Materialelære for metalindustrien*. 2. utgave. Erhvervsskolernes Forlag 2010

Reimers, J.H. (1947) *Aluminium*. Oslo: Johan Grundt Tanum

Young, H.D og Freedman, R.A (2013) *University Physics*. 13. utgave. Pearson

Nettsider

Andersen, A, Stokke, R. (2004) *kompositt-/sandwichmaterialer for bruk i fiskeflåten*.

Tilgjengelig fra: https://komposittforbundet.no/media/1069/kompositt-_sandwichmaterialer-for-bruk-i-fiskeflaaten.pdf (Hentet: 13.mars 2020).

Carbon Fiber (2006). Tilgjengelig fra:

<https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/carbon-fiber> (Hentet: 3. mars 2020).

Carbon Fiber (2020). Tilgjengelig fra:

<https://www.sciencedirect.com/sdfe/pdf/download/eid/3-s2.0-B9780080437132500042/first-page-pdf> (Hentet: 4. mars 2020).

Carbon Fiber Characteristics (2020). Tilgjengelig fra:

<https://www.christinedemerchant.com/carboncharacteristics.html> (Hentet: 4. mars).

Choosing the Right Material for Turbine Runners (2013). Tilgjengelig fra:

<https://www.hydroreview.com/2013/07/16/choosing-the-right-material-for-turbine-runners/#gref> (Hentet: 20. februar 2020).

Chougule. D. P (2014) *Overview and Design of self- acting pitch control mechanism for vertical axis wind turbine using multi body simulation approach*. Tilgjengelig fra:

https://www.researchgate.net/publication/261026708_Overview_and_Design_of_self-acting_pitch_control_mechanism_for_vertical_axis_wind_turbine_using_multi_body_simulation_approach (Hentet: 25. april 2020).

Components for pitch control (2020). Tilgjengelig fra:

https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?1dmy&urile=wcm:path:/usen/web/main/solutions/subcategory_pages/Wind_Power_Product_Solutions/cfa5b25b-0b3d-4f5a-9ae3-472ac9ad924e/cfa5b25b-0b3d-4f5a-9ae3-472ac9ad924e (Hentet: 23. april 2020).

Covert. R. A og Tuthill. A. H (2000) *Stainless Steela*. Tilgjengelig fra:

https://www.nickelinstitute.org/media/1809/stainlesssteels_anintroductiontotheirmetallurgyandcorrosionresistance_14056_.pdf (Hentet: 25. mars 2020).

Duplex stainless steel (2020) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra:

https://en.wikipedia.org/wiki/Duplex_stainless_steel (Hentet: 23. mars 2020).

Duplex stainless steel (2020). Tilgjengelig fra:

<https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/duplex-stainless-steel.php> (Hentet: 23. mars 2020).

Duplex Stainless Steel- A Simple Guide (2020). Tilgjengelig fra:

<https://www.bssa.org.uk/topics.php?article=668> (Hentet: 22. mars 2020).

Engineers Edge (2000) *Internal Metric Thread Tabel Chart Fastener Sizes M52 – M72*.

Tilgjengelig fra: <https://www.engineersedge.com/hardware/metric-internal-thread-sizes3.htm>

(Hentet 20. mars 2020)

Electropaedia (2005) *Hydroelectric Power* tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 10. februar 2020)

Fysiske egenskaper av karbonfiber (2016). Tilgjengelig fra:

<http://no.frtc carbon.net/news/physical-properties-of-carbon-fiber-2967277.html>

(Hentet: 2. Mars 2020).

How Does Tidal Power Work? (2012). Tilgjengelig fra:

<https://energyinformative.org/how-does-tidal-power-work/> (Hentet: 8. februar 2020).

Hva er CRFP Composites og hvorfor er de nyttige? (2019). Tilgjengelig fra:

<https://www.greelane.com/nb/science-tech-math/vitenskap/understanding-cfrp-composites-820393/> (Hentet: 2. mars 2020).

Hva er vindkraft (2019). Tilgjengelig fra:

<https://ungenergi.no/energikilder/vindkraft/hva-er-vindkraft/> (Hentet: 18. februar 2020).

Hydroelectric Power (2005). Tilgjengelig fra:

<https://www.usbr.gov/power/edu/pamphlet.pdf> (Hentet: 13. februar 2020).

Hydroelectric Power (2005). Tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 13. februar 2020).

Inagaki, M. (2000) *Carbon Fiber*. Tilgjengelig fra:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080437132500042> (Hentet: 06. mars 2020).

Introduction to Duplex Stainless Steel (2020). Tilgjengelig fra:

https://www.bufab.com/bufab-denmark/wp-content/uploads/sites/4/2013/08/Bumax-Duplex_version-1.pdf (Hentet: 16. april 2020).

Introduction to Stainless Steels (2000). Tilgjengelig fra:

https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06940G_Chapter_1.pdf/53f29213-5dd6-4499-9959-841477b385b9 (Hentet: 14. april 2020).

Jerome, D og Rime, W. (2020) *Part 8. html*. Tilgjengelig fra:

<http://servicesfrance.free.fr/part8.html> (Hentet: 26. april 2020).

Johansen. H. (2009) Aluminium. *Materiallære*. Tilgjengelig fra:

<http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/lettmetaller/Al-Al-legeringer/Materiallaere-aluminium-kompendium.pdf> (Hentet 04. mars 2020)

Johansen. H. (2009) Korrosjonsbestandige stål. *Materiallære*. Tilgjengelig fra:

<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiallaere-korrosjonsbestandige%20stal-kompendium-05.06.2012.pdf> (Hentet 03. april 2020)

Johansen. H. (2008) Komposittmaterialer. *Materiallære*. Tilgjengelig fra:

<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/kompositter/Materiallaere-kompositter-kompendium.pdf> (Hentet 20. februar 2020).

Johansen. H. (2011) Aksel. *Styrkeberegning*. Tilgjengelig fra:

<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/sb-aksler-11.pdf> (Hentet 03. mars 2020).

Johansen. H. (2012) Skrueforbindelser. *Styrkeberegning*. Tilgjengelig fra:

<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/sb-Skrueforbindelser-2016.pdf> (Hentet 17. mars 2020).

Johansen. H. (2012) Titan. *Styrkeberegning*. Tilgjengelig fra:

<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiallaere-titan-kompendium-11.06.2012.pdf> (Hentet 30. mars 2020).

Johansen. H. (2010) Lager. *Styrkeberegning*. Tilgjengelig fra:

<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/sb-lager-10v.pdf> (Hentet 10. mars 2020).

Layton. J. (2020) *How Wind Power Works*. Tilgjengelig fra:

<https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power3.htm> (Hentet: 3. februar 2020).

Manz, B. (2020) *Tiny sensors role in wind turbine*. Tilgjengelig fra:

<https://eu.mouser.com/applications/tiny-Sensors-Role-in-Wind-Turbines/> (Hentet: 19. april 2020).

Masteel (2016) *A Guide to Duplex and Super Duplex Stainless Steel*. Tilgjengelig fra:

<https://masteel.co.uk/news/what-is-duplex-and-super-duplex-stainless-steel/> (Hentet: 04. april 2020).

Muljadi. E og Butterfield. C. P. (2000) *Pitch- controlled Variable- Speed Wind Turbine Generation*. Tilgjengelig fra:

<https://www.nrel.gov/docs/fy00osti/27143.pdf> (Hentet: 25. april 2020).

Nielsen. S og Chougule. P. (2014) *Overview and Design of self-acting pitch control mechanism for vertical axis wind turbine using multi body simulation approach*. Tilgjengelig fra: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/524/1/012055/pdf> (Hentet: 22. april 2020).

Nishi, Y og Inagaki, T. (2017) *Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine*. Tilgjengelig fra:

<https://www.hindawi.com/journals/ijrm/2017/2610508/> (Hentet: 11. februar 2020).

Opie, R. (2018) *Pitch Control Critical for Wind Power*. Tilgjengelig fra:

<https://www.machinedesign.com/mechanical-motion-systems/article/21836463/pitch-control-critical-for-wind-power> (Hentet: 22. april 2020).

Orbital wind vane control (2020). Tilgjengelig fra:

https://www.orbital.dk/fileadmin/Orbital/PDF/Orbital_Wind_Vane_control.pdf (Hentet: 21. april 2020).

Properties of Carbon Fiber (2020). Tilgjengelig fra:

http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/MATERIAUX/COMPOSITES/Carbon%20Fiber%20Composites/91697_04.pdf (Hentet: 07. februar 2020).

Reclamtion (2005) *Hydroelectric power* tilgjengelig fra:

<https://www.usbr.gov/power/edu/pamphlet.pdf> (Hentet: 03. februar 2020)

Sanden, T. (2019) Testing av fiberarmert kompositt som byggemateriale. *Bacheloroppgave*. Tilgjengelig fra:

<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2610493/no.ntnu:inspera:2332003.pdf?sequence=1> (Hentet 28. februar 2019).

S. Kaunda, C, Z. kimambo, C og K. Nielsen, T. (2012) *Hydropower in the Context of sustainable Energi Supply*. Tilgjengelig fra:

<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/730631/> (Hentet: 03. februar 2020).

SKF Group (2018) *Rolling bearing*. Tilgjengelig fra:

https://www.skf.com/binary/21-121486/10000_3-EN-webb.pdf (Hentet 13. mars 2020).

SKF Group (2018) *Rolling bearing*. Tilgjengelig fra:

<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/single-row-cylindrical-roller-bearings#cid-464726> (Hentet 14. mars 2020)

Slik lager de strøm (2020). Tilgjengelig fra:

<https://strøm.no/vindm%C3%B8ller-slik-lager-de-str%C3%B8m> (Hentet: 03. februar 2020).

Sandvik Duplex (2009) *stainless steels* tilgjengelig fra:

https://www.materials.sandvik/globalassets/global/downloads/products_downloads/tubular-products/s-120-eng_10.pdf (Hentet: 30. mars 2020)

Ti-6Al-4V (2020) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra:

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ti-6Al-4V?fbclid=IwAR397R3-FjYyxWgQmYaMb2NJyxj5QYyBS4NEPDdnfQcSIF_LQUwEafweOhs (Hentet 27. mars 2020).

The Vital Roles of a Pitch Control System (2018). Tilgjengelig fra:

<https://blog.matric.com/windurance/pitch-control-system-basics> (Hentet: 21. april 2020).

Water turbine (2020). Tilgjengelig fra:

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/water-turbine> (Hentet: 21. januar 2020).

Water turbine (2019) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra:

https://simple.wikipedia.org/wiki/Water_turbine (Hentet: 21. januar 2020).

Water turbine (2020) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra:

https://en.wikipedia.org/wiki/Water_turbine#Turbine_blade_materials (Hentet: 03. februar 2020).

Bilder

Pelton Turbine (2005) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 20. februar 2020)

Francis Turbine (2005) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 20. februar 2020)

Keplan Turbine (2005) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 20. februar 2020)

Hydroelectric Power (2005) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 20. februar 2020)

Electric Power from Tidal Flows (2005) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

https://www.mpoweruk.com/hydro_power.htm (Hentet: 20. februar 2020)

Energy Statistics- Ocean Energy Potential graph wave and tidal, developed countries (2016)

[digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.ice.org.uk/knowledge-and-resources/briefing-sheet/marine-energy> (Hentet: 15. februar 2020)

Turbine Aerodynamics (2019) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

<https://www.ntnu.no/viko/harvard-eksempler>

Aluminium [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.hydro.com/no-NO/om-aluminium/> (Hentet: 25. mars 2020)

Legeringsfamilier etter EN-standard (2009) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

<http://www.ansatt.hig.no/henningj/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/lettmetaller/Al-Al-legeringer/Materiallaere-aluminium-kompendium.pdf> (Hentet: 27. mars 2020)

Noen egenskaper til titan (2012) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:
<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiallaere-titan-kompendium-11.06.2012.pdf> (Hentet 27. mars 2020)

Korrosjonshastighet (mm/år) ved sammenkobling av titan og andre metaller i sjøvann (2012) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:
<http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Styrkeberegning/arbeidsplan/Kompendier/Materiallaere-titan-kompendium-11.06.2012.pdf> (Hentet 27. mars 2020)

Kjemisk sammensetning for Ti-6Al-4V (2020) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ti-6Al-4V?fbclid=IwAR397R3-FjYyxWgQmYamb2Njyxj5QYyBS4NEPDdnfQcSIF_LQUwEafweOhs

Mekaniske egenskaper for Ti-6Al-4V (2020) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ti-6Al-4V?fbclid=IwAR397R3-FjYyxWgQmYamb2Njyxj5QYyBS4NEPDdnfQcSIF_LQUwEafweOhs

Varmebehandling av Ti-6Al-4V (2020) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:
https://en.m.wikipedia.org/wiki/Ti-6Al-4V?fbclid=IwAR397R3-FjYyxWgQmYamb2Njyxj5QYyBS4NEPDdnfQcSIF_LQUwEafweOhs

Classification of carbon fibers on the basis of mechanical performance (2000) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/carbon-fiber> (Hentet: 15. mars 2020)

Carbon fiber market volume by region, 2014-2025 (Tons) (2017) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/carbon-fiber-market-analysis> (Hentet: 11. mars 2020)

Global carbon fiber market volume share by application (%) (2017) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/carbon-fiber-market-analysis> (Hentet: 11. mars 2020)

Karbonfiber duk (2019) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://www.greelane.com/nb/science-tech-math/vitenskap/how-is-carbon-fiber-made-820391/> (Hentet: 10. mars 2020)

The processes for making carbon fibers from PAN and pitch precursors (1994) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=UYQXAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=carbon+fiber+composites&ots=p7jlVzq6Y6&sig=CORV2GSfRtnUazjfoX7qM6iGoE&redir_esc=y#v=onepage&q=carbon%20fiber%20composites&f=false (Hentet: 20. mars 2020)

Tensile properties and diameters of commercial carbon fibers (1994) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: https://books.google.no/books?hl=no&lr=&id=UYQXAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=carbon+fiber+composites&ots=p7jlVzq6Y6&sig=CORV2GSfRtnUazjfoX7qM6iGoE&redir_esc=y#v=onepage&q=carbon%20fiber%20composites&f=false

Composition and property linkages in the stainless steel family of alloys (2000) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

https://www.asminternational.org/documents/10192/1849770/06940G_Chapter_1.pdf/53f29213-5dd6-4499-9959-841477b385b9 (Hentet 5. april 2020)

Korrosjon (2019) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Korrosjon> (Hentet 6. april 2020)

Enhetscellen i kubisk romsentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som: - reduserte kuler- kompakte kuler hvor 68% av volumet er opptatt av atomer- ett aggregat av mange atomer (2010) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

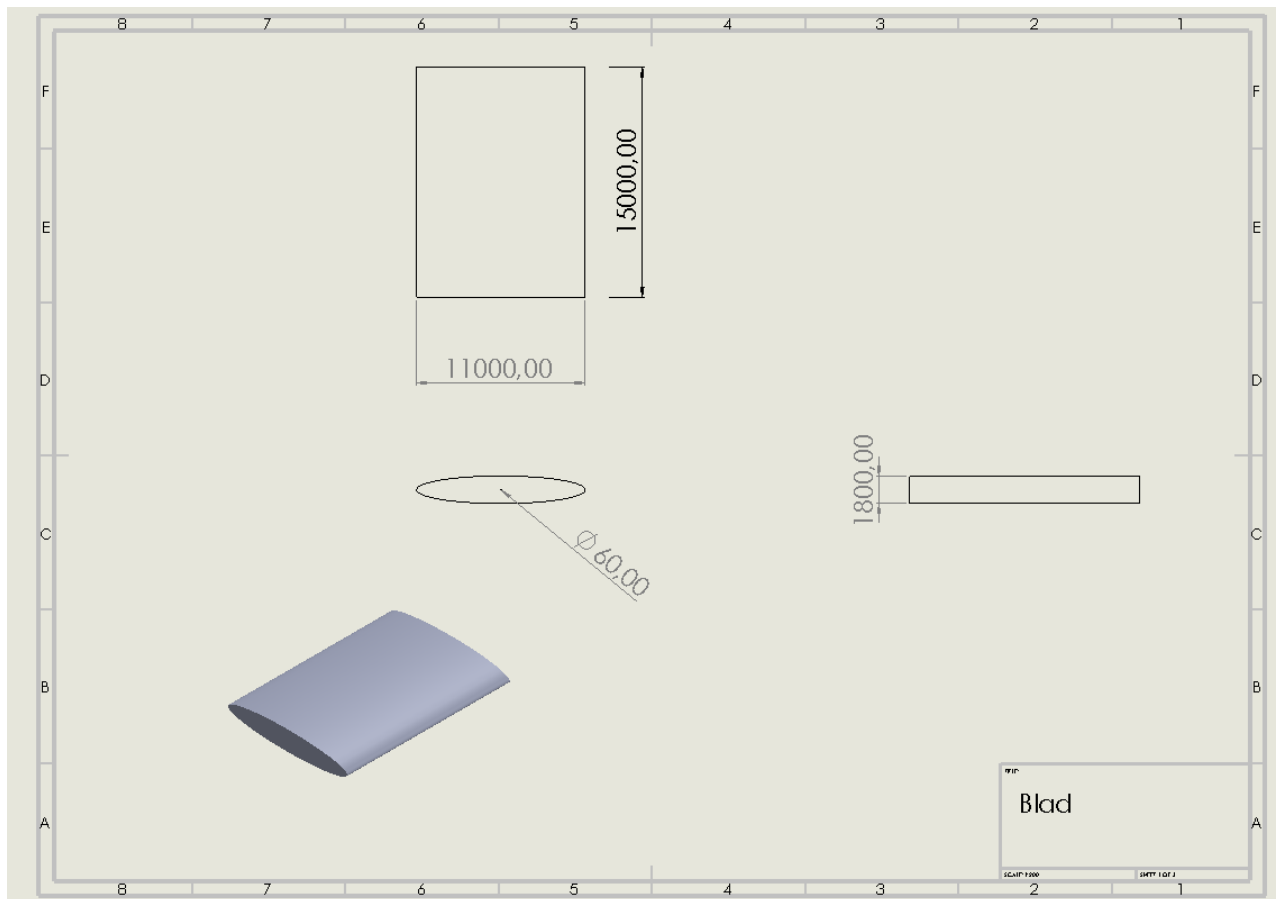
[http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/2.%20strukturer/Materiallaere-IM-2-Krystall%20struktur%20\(IM+TDL\)-10.pdf](http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/2.%20strukturer/Materiallaere-IM-2-Krystall%20struktur%20(IM+TDL)-10.pdf) (Hentet: 8. april 2020)

Enhetscellen i kubisk flatesentrert struktur. Vektorene $a = b = c$. Representert som:- reduserte kuler- kompakte kuler hvor 74% av volumet er opptatt av atomer- et aggregat av mange atomer (2010) [digitalt fotografi]. Tilgjengelig fra:

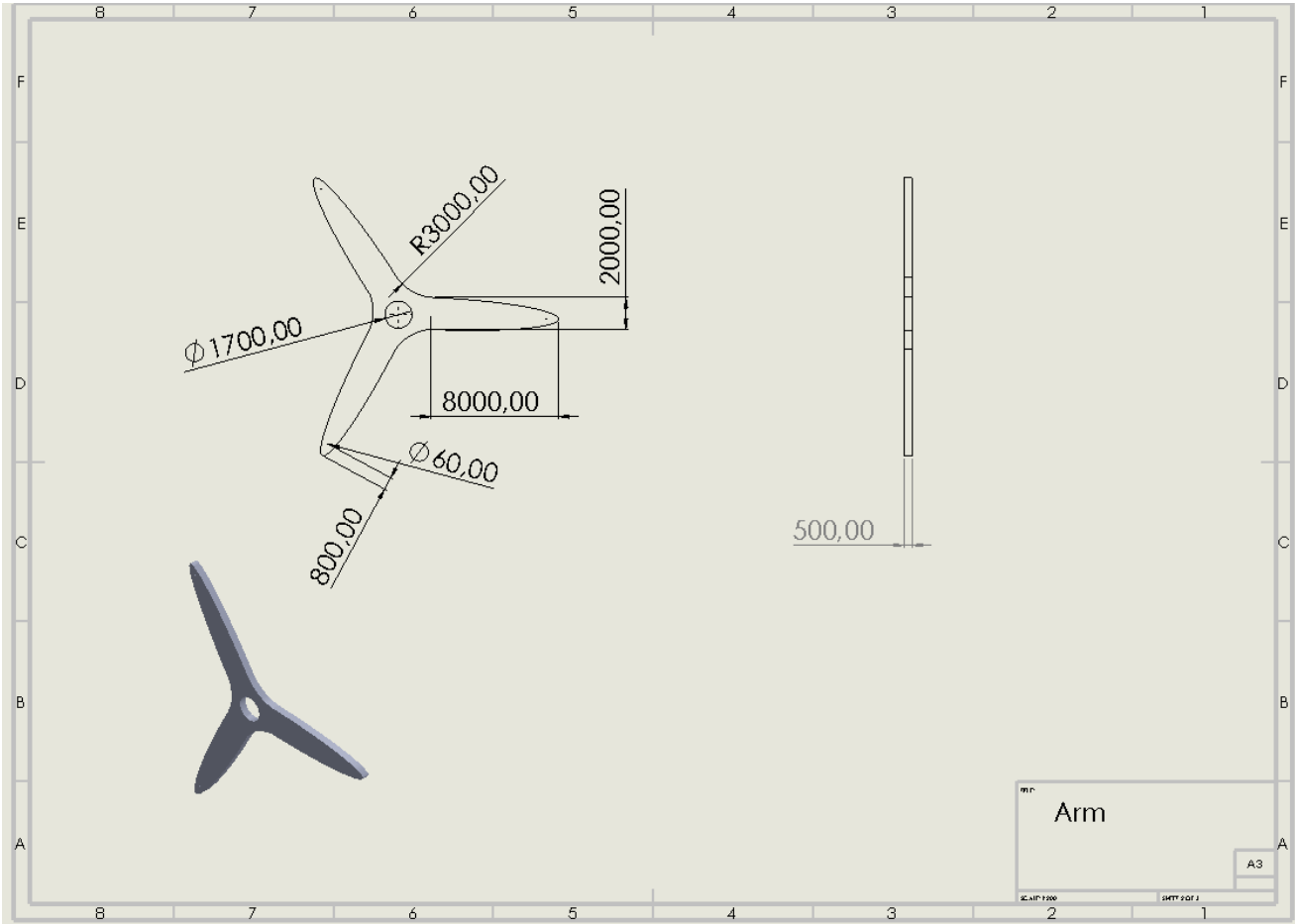
[http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/2.%20strukturer/Materiallaere-IM-2-Krystall%20struktur%20\(IM+TDL\)-10.pdf](http://folk.ntnu.no/hennj/materialteknologi/materialteknologi/Materiallare/arbeidsplan/2.%20strukturer/Materiallaere-IM-2-Krystall%20struktur%20(IM+TDL)-10.pdf) (Hentet: 8. april 2020)

Vedlegg

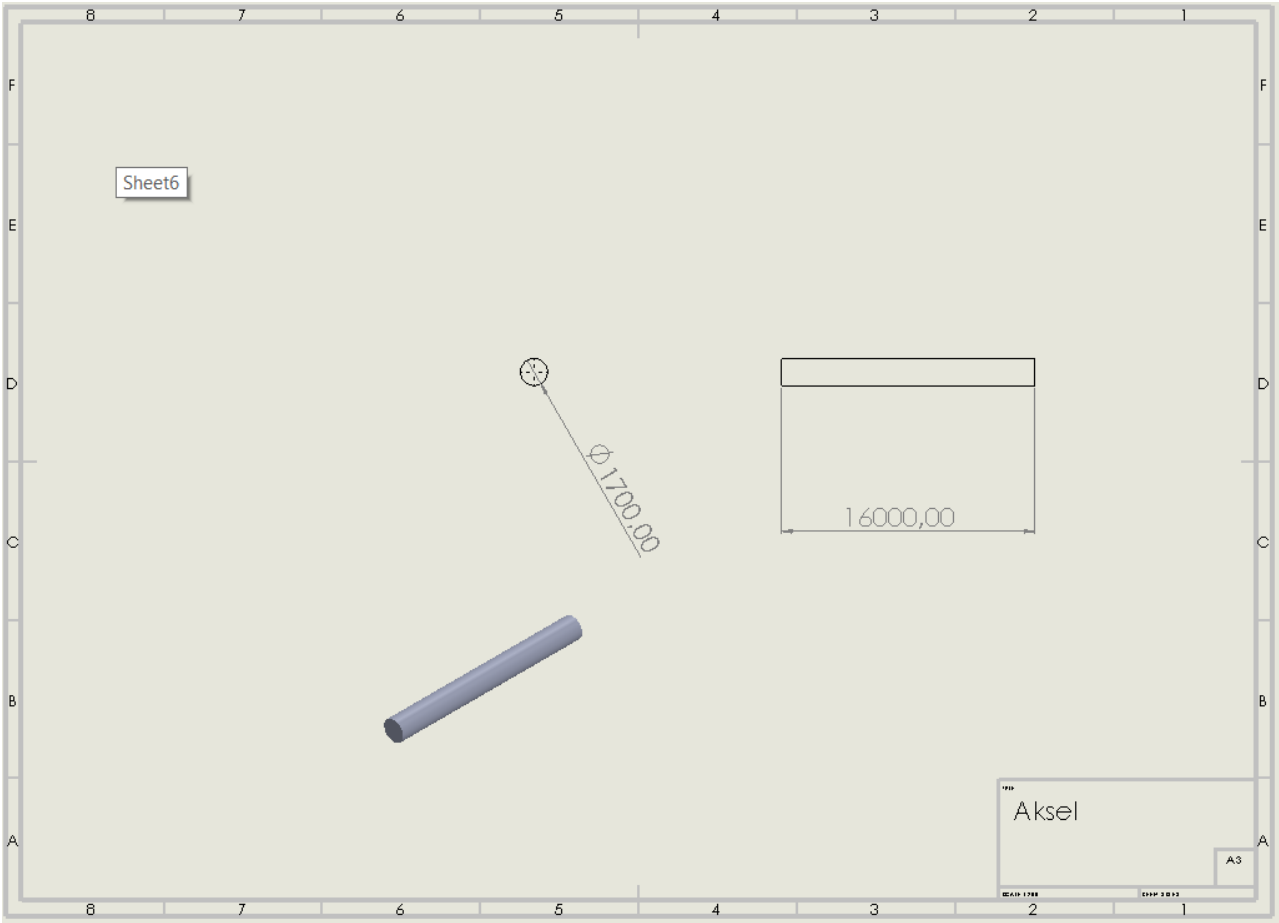
Vedlegg 1 Teknisk tegning av bladprofil



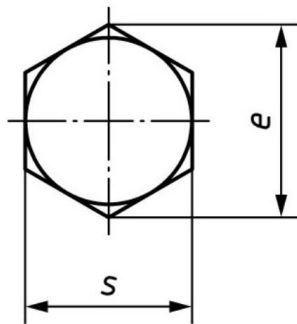
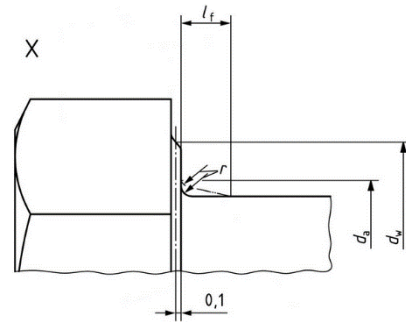
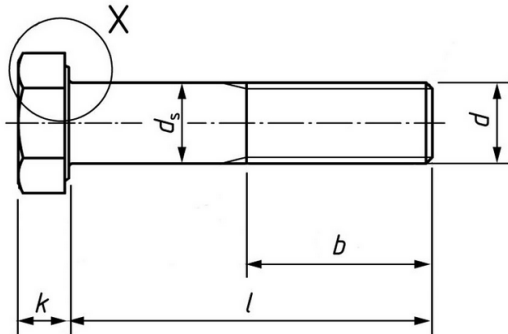
Vedlegg 2 Teknisk tegning av arm



Vedlegg 3 Teknisk tegning av aksel



Vedlegg 4 Dimensjoner for M64 bolt fra ISO standard 4014



Dimensions in mm		
BOLT SIZE	d	M60
THREAD PITCH	P	5.50
MAXIMUM INNER BEARING DIAMETER	d_s	67
MINIMUM OUTER BEARING DIAMETER	d_w	83.41
NOMINAL BOLT DIAMETER	d_s	60
MINIMUM CORNER TO CORNER	e	99.21
NOMINAL BOLT LENGTH	l	240
MAXIMUM TRANSITION BETWEEN HEAD AND SHANK	l_f	12
THREAD LENGTH ①	b^1	—
	b^2	—
	b^3	145
NOMINAL HEAD HEIGHT	k	38
MINIMUM UNDER HEAD RADIUS	r	2
NOMINAL ACROSS FLATS	s	90

Vedlegg 5 Medforfatterdeklarasjon

Tittel: Undervannsturbin

Forfattere:

Student 1: Atman Atto Sagvan

Student 2: Jwan Mrad

Bidrag:

Delaktiviteter/deloppgave	Student 1	Student 2
Prosjektplan	2	2
Introduksjon	4	0
Tekniske tegninger	3	1
Glassfiber	1	3
Karbonfiber	4	0
Aluminium	4	0
Titan	0	4
Duplex	4	0
Beregning av aksel	0	4
Simulering av blad og arm	4	0
Beregning av lagerstørrelse	0	4
Beregning av skrueforbindelse	1	3
Vinkelkontroller	4	0
Diskusjon	3	1

Tabellen fylles ut med delaktiviteter, og størrelsen på bidraget fra den enkelte student angis med et tall mellom 0 og 4 etter følgende betydning:

0: Ingenting

1: Lite

2: En del

3: Mye

4: Alt

De undertegnede studenter bekrefter herved at de har utført delaktivitetene beskrevet ovenfor på gjeldende oppgave.

Signatur studenter:

Atman Atto Sagvan Jwan Mrad

