



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

# Design av fleksibel styrepost



Hovedprosjekt utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Avd. Haugesund – ingeniørfag

---

*Studieretning : Maskin - Marin Konstruksjonsteknikk*

Av: Vegard Våga  
Roy Andre Johanson

Kandidatnr. 35  
Kandidatnr. 2

---

*Haugesund*

*2011*

# BACHELOROPPGAVE

**Studentenes navn:** Vegard Våga  
Roy Andre Johanson

---

**Linje & studieretning** Maskin, Marin Konstruksjonsteknikk

**Oppgavens tittel:** Design av fleksibel styrepost

**Oppgavetekst:**

*Oppgaven omhandler innledningsvis å studere eksisterende Imenco styrepostløsninger for å ha et referansepunkt i forhold til design av en fleksibel løsning.*

*Dernest, utføre beregninger / utarbeide et regneark som viser hvordan ulike parametre påvirker skjevinkel og løftekraft / friksjonskraft.*

*Videre, vurdere ulike design- og material alternativ for utforming av en fleksibel styrepost, herunder å vurdere styrke / fleksibilitet og korrosjonsbestandighet.*

*Basert på valgte geometrier og typiske verdier på parametre skal det utføres en konkret design, med tegninger og relevante beregninger for å dokumentere løsningen.*

**Endelig oppgave gitt:** Fredag 4. mars 2011

**Innleveringsfrist:** Fredag 6.mai 2011 kl. 12.00

**Intern veileder** Jens Chr. Lindaas - HSH, tlf: 52 70 26 70

**Ekstern veileder** Arne Kinn - Imenco, tlf: 52 86 41 03

**Godkjent av  
studieansvarlig:  
Dato:**

*Brit Juløe  
27. april 2011*



Oppgavens tittel		Rapportnummer
Design av fleksibel styrepost		
Utført av		
Vegard Våga & Roy Andre Johanson		
Linje Maskin		Studieretning Marin Konstruksjonsteknikk
Gradering	Innlevert dato	Veiledere
Åpen	06.05.2011	Jens Chr. Lindaas, HSH/Imenco AS Arne Kinn, Imenco AS

#### Ekstrakt

Denne rapporten er utarbeidet for å gi vår oppdragsgiver (Imenco AS) alternativer til dagens eksisterende løsning med stive styreposter av stål.

For å gjøre dette har gruppen laget en likevektsbetraktning i Excel for å få oversikt over hvordan de aktuelle parametrene påvirker skjevinkel og løftekraft.

Videre har gruppen gjennomført en "brainstorming" hvor ulike ideer for å løse problemstillingen har blitt vurdert. Tilslutt har vi valgt ut den beste ideen for videre bearbeiding.

## Forord

Som avsluttende del på ingeniørutdannelsen ved Høgskolen Stord/Haugesund skal det skrives en Bachelor-oppgave. Denne oppgaven utgjør 15 studiepoeng, og er derfor det største enkelttemne i ingeniørutdannelsen. Bachelor-oppgaven er ment for å fordype seg i en problemstilling. Deretter ved hjelp av opparbeidet kunnskap gjennom utdannelsen, klare å løse denne problemstillingen.

I samarbeid med høyskolen fikk vi kontakt med Imenco, og tildelt en problemstilling. Problemstillingen var "Design av fleksibel styrepost" som omhandler styreposter til installasjon av for eksempel undervanns ventiltrær. Oppgaven omhandlet både design, beregninger og materialvalg. Oppgaven viste seg å være både lærerik, spennende og utfordrende.

Fagene Fysikk, Matematikk, Statikk og Fasthetslære, Undervannsteknologi, Materiallære og Maskinkonstruksjon har alle vært gode verktøy til å hjelpe oss løse oppgaven på best mulig måte.

Vi vil samtidig benytte anledningen til å takke ekstern veileder, Arne Kinn hos Imenco og intern veileder Jens Christian Lindaas hos HSH/Imenco for deres bidrag.

I tillegg ønsker vi å takke:

- Gisle Kleppe (HSH) – likevektsutregningene

Haugesund, mai 2011



Vegard Våga



Roy Andre Johanson

## Sammendrag

Bakgrunnen for å skrive denne oppgaven var at Imenco ønsket å se på en design av fleksibel styrepost. Det ønskes også en vurdering ved hjelp av en likevektsbetraktning, om fleksible styreposter løser problemstillingen med at moduler kan låse seg fast i styrepostene.

Det beste forslaget til en fleksibel styrepost er ideen om "midtdel i fleksibelt materiale". Denne ideen går ut på å beholde topp og bunn av den opprinnelige styreposten, for videre å bytte ut midtdelen med en komposittdel.

Ideen ble valgt på grunn av sin enkelhet uten "løse" deler, og at man kan beholde topp og bunn av eksisterende styreposter, og dermed bruke tilhørende utstyr som før. Ved bruk av kompositt kan også styrke og fleksibilitet "skreddersys" til det gitte tilfellet.

Hvis ideen med en fleksibel midtdel i kompositt skal tas i bruk, krever dette videre ingeniørarbeid. Da må man blant annet gjennomføre grundige kompositt- beregninger av eksperter på området, i tillegg bør en prototype testes grundig.

Som et resultat av likevektsbetraktningen og vurdering av ideer, blir det oppsummert at problemstillingen muligens kan løses ved hjelp av å gjøre mindre designendringer på modulene og deres styrerør. Hvis man får til en riktig kombinasjon av endringene og ideene som rapporten tar for seg, ville gjerne hele problemet med "låsing" blitt så lite at endring av dagens ordinære styreposter er helt unødvendig.

## Ord og Uttrykk

BOP (Blow Out Preventer):	Sikkerhetsventil
Brainstorming:	Idé myldring, ideer blir lagt frem.
Bunnramme:	Rammen hvor undervannsutstyret er installert på.
Bunnrammebøtte:	Bøtte montert på bunnrammen, som styreposten står i
Guideline less:	Styreline løst
Guidewire:	Styreline
Guidewire anker:	Styreline anker
Juletre/ventiltre:	Modul med ventiler som olje og gass går gjennom
Modul:	Typisk ventiltre, eller annet utstyr som skal monteres på bunnrammen
NDT (Non Destructive Testing):	Ikke-destruktiv testing
PGB (Permanent Guide Base):	Permanent bunnramme
ROV (Remote Operated Vehicle):	Undervannsfarkost
Styrepost:	”Styring” for kobling av modul til bunnramme
Subsea:	Under vann
TGB (Temporary Guide Base):	Midlertidig bunnramme

# Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Ord og Uttrykk.....	iii
<b>Kapittel 1: Innledning .....</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2 Målsetning for oppgaven .....	1
1.3 Undervanns "Guidesystem" .....	2
1.4 utfordringer med styreposter.....	4
1.5 Imenco AS.....	5
<b>Kapittel 2: Metode for løsning av oppgaven .....</b>	<b>6</b>
2.1 Innhenting av informasjon .....	6
2.2 Anvendelse av dataverktøy.....	6
2.2.1 Microsoft Office .....	6
2.2.2 Autodesk Inventor .....	6
2.2.3 Ansys Workbench .....	6
<b>Kapittel 3: Eksisterende styrepostløsninger .....</b>	<b>7</b>
3.1 Imenco Styreposter .....	7
3.1.1 "Top-releasable" styrepost .....	7
3.1.2 "Bottom-releasable" styrepost.....	8
3.2 Andre leverandører/løsninger .....	9
<b>Kapittel 4: Likevektsbetraktning / kraftanalyse.....</b>	<b>10</b>
4.1 Utledning av formel.....	11
4.2 Regneark i Excel.....	14
4.3 Resultater fra likevektsbetraktning.....	15
4.3.1 Skjev løftekraft .....	16
4.3.2 Plassering av tyngdepunktet .....	17
4.3.3 Høyden opp til løftepunktet.....	18
4.3.4 Lengden på styrerør / vinkel $\alpha$ .....	19
4.4 Diskusjon og del konklusjon.....	20
<b>Kapittel 5: Kravspesifikasjon og relevante standarder .....</b>	<b>21</b>
5.1 Kravspesifikasjon.....	21
5.2 Relevante standarder .....	22

5.2.1 ISO standard .....	22
5.2.2 NORSOK standard .....	24
<b>Kapittel 6: Innledende beregninger .....</b>	<b>26</b>
6.1 Håndberegninger .....	26
6.2 ANSYS resultater .....	30
<b>Kapittel 7. "Brainstorming" .....</b>	<b>34</b>
7.1 Idé 1 – Fleksibel foring i "bunnrammebøtten" .....	34
7.2 Idé 2 – "Midtdel" i fleksibelt materiale .....	35
7.3 Idé 3 – Endring av styrerør .....	36
7.4 Idé 4 – Nedsenkbar ramme for løft uten skjevinkel .....	37
7.5 Idé 5 – Fleksibelt ledd ved bruk av bolter og fjær .....	38
7.6 Diskusjon rundt ideene .....	39
<b>Kapittel 8: Design av fleksibel midtdel .....</b>	<b>40</b>
8.1 Bruk av eksisterende deler .....	42
8.2 Bruk av "nye" deler .....	45
8.3 Kompositt som materiale .....	47
<b>Kapittel 9: Avsluttende diskusjon .....</b>	<b>49</b>
9.1 Alternativ løsning av problemstillingen .....	50
<b>Kapittel 10: Oppsummering .....</b>	<b>51</b>
<b>Kildehenvisninger .....</b>	<b>I</b>
<b>Vedlegg .....</b>	<b>III</b>
Vedlegg A: Detaljtegninger .....	IV
Vedlegg B: ANSYS rapporter .....	VI
Vedlegg C: Datablader Imenco .....	XXV
Vedlegg D: Datablader Vasshella .....	XXVIII
Vedlegg E: Bilder .....	XXXI



## **Kapittel 1: Innledning**

### **1.1 Bakgrunn for oppgaven**

Som en del av Ingeniørutdannelsen ved HSH skal det skrives en avsluttende Bachelor oppgave. Jens Christian Lindaas satte gruppen i kontakt med Imenco, for å få definert en oppgave. Oppgaven ble laget av Arne Kinn ved Imenco. Arne er ansvarlig for undervannsingeniør avdelingen ved Imenco. Han kunne fortelle at Imenco ønsket å se på en eventuell design av fleksibel styrepost, og en vurdering av om det løser problemstilling med at undervannsmøbler kan låse seg fast i undervannsrammen via styrepostene.

Arne presenterte en konkret oppgave med de fleste detaljer/ designkriterier, Jens Christian Lindaas ble intern veileder, og oppgaven var i gang.

### **1.2 Målsetning for oppgaven**

Det skal utarbeides et regneark/ beregninger som viser hvordan ulike parametere påvirker situasjonen når en modul "setter seg fast".

Det skal også beregnes hvor mye eksisterende Imenco styreposter tåler / flekser.

Det ønskes også en vurdering av ulike prinsipper og ideer for løsning av problemstillingen.

Videre skal det lages et forslag til design av en styrepost av fleksibel type som tåler å bli bøyd uten at den blir varig deformert.

### 1.3 Undervanns "Guidesystem"

I Nordsjøen og forskjellige andre steder rundt om i verden, ligger olje- og gass reservoarene under havbunnen. Siden starten av oljeleting i disse områdene, har det vært nødvendig med utstyr på havbunnen. Trenden er også at det blir stadig mer vanlig å plassere hele installasjoner på havbunnen.

Når utstyr skal låres ned til havbunnen, er det nødt til å ha en form for styring, slik at utstyret lander på rett plass og med rett orientering på bunnrammen. Dette gjøres med to forskjellige styresystem;

- ❖ "Guidewire system"
- ❖ "Guideline less system"

#### "Guidewire system"

Styringssystemet går ut på at modulene finner sin orientering og posisjon ved hjelp av 4 styreposter som på forhånd er montert på bunnrammen. Modulen som senkes ned har et styrerør i hvert hjørne, og gjennom hver av disse "løper" det en "guidewire".

"Guidewirene" er koblet på toppen av styrepostene og går helt opp til overflaten. På overflaten blir wirene holdt med et konstant strekk, slik at wirene holder sitt "firkantede mønster" og mest mulig vertikale. Siden modulen med sine styrerør er "tredd" inn på "guidewirene", holder modulen seg på plass og man har god kontroll når modulen låres ned med "løftewiren".

#### "Guideline less system"

Er et enklere styringssystem, her transporteres modulen ned til havbunnen uten horisontal styring. Modulen har en sentrert styring ved landing, ved at bunnrammen har en "hunnkobling" med en stor "trakt". Modulen har tilhørende "hannkobling" og sentreres over og "kobles". Rotasjonsorienteringen blir styrt av "retningsspor/gjenger"

#### Anvendelse av systemene

Hvilket system man ønsker å bruke er avhengig av flere faktorer som; havdybden, miljøpåkjenninger og utstyrets kapasitet.

Nettopp på grunn av de nevnte faktorer, er det ikke fastsatt maks dybdemeter for hvert system.

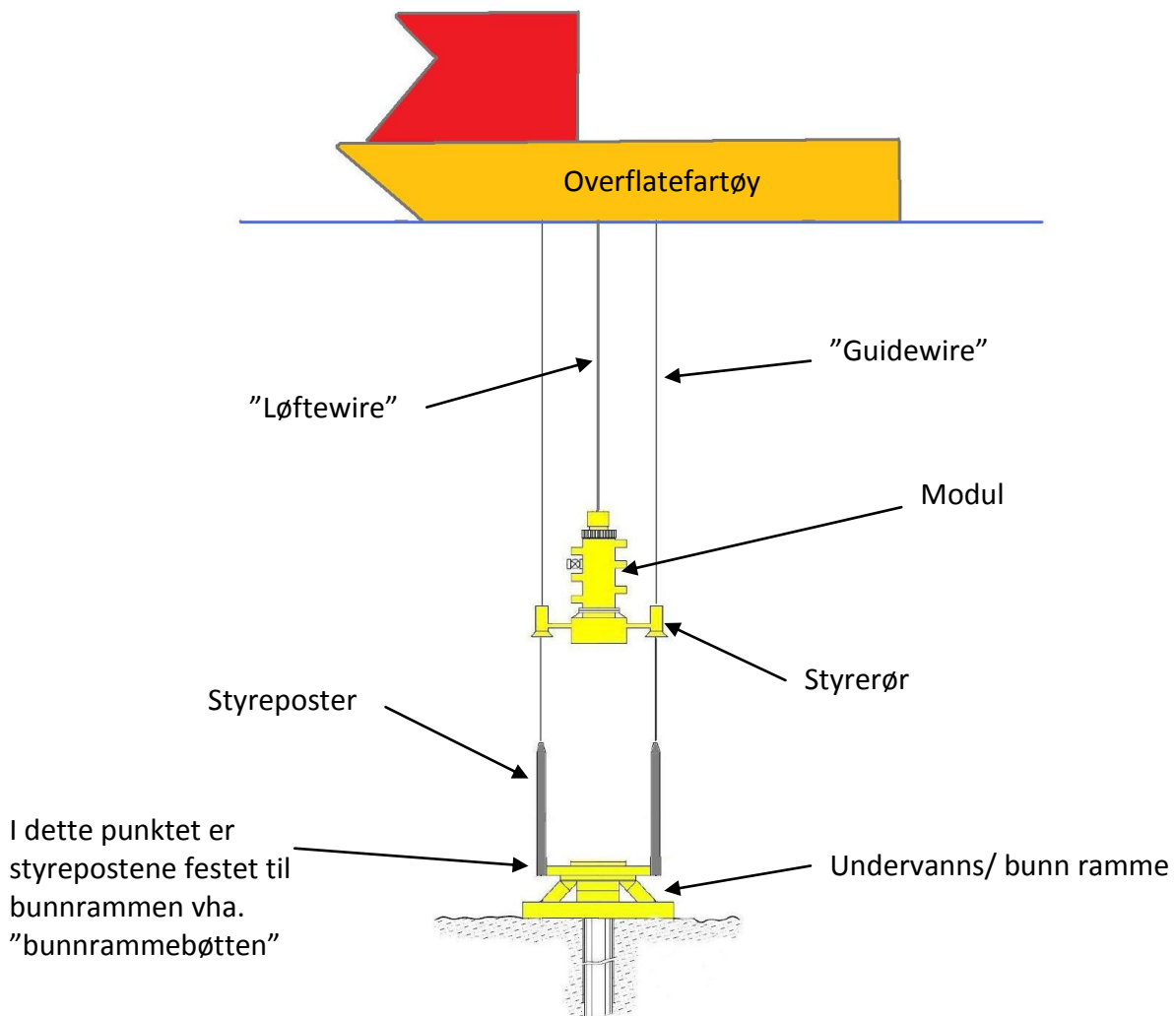
Ved feil bruk av "guidewires" kan de 4 wirene vikles inn i hverandre, og man har da et stort problem. Dette kan skje hvis det ikke er tilstrekkelig med strekk-krefter i wirene, som holder dem fraskilt. Strekket i wirene økes i takt med økende vanddyb.

Ved riktig bruk av "guidewires", relativt svak havstrøm i området og styreposter m/utstyr som tåler mye strekk, kan man bruke "guidelines" på store dyp. [1]

Ved installasjoner på de største dyp brukes "Guideline less systemet".

I denne oppgaven skal det fokuseres på "Guidewire system", da det er i dette systemet Imenco sine styreposter blir anvendt.

Figuren under viser en operasjon med et overflatefartøy med en modul i "løftewiren". De 4 "guidewires" er under et konstant strekk, og holder modulen på plass.



Figur 1: Prinsippkisse av "guidewire system" sett fra siden

## 1.4 utfordringer med styreposter

Dagens styreposter fungerer i utgangspunktet bra med tanke på landing av moduler, dvs. montering. Problemene inntreffer først ved demontering, dvs. når utstyret av en gitt grunn skal opp til overflaten.

Hvis friksjonskreftene ikke er tilnærmet like på alle 4 postene som modulen står "tredd" på, kan det oppstå en skjevinkel og derfor et moment. Dette medfører at jo mer en drar, jo mer setter den seg fast. Forenklet sett kan dette sammenlignes med det som skjer når en skuff henger seg fast i en kommode.

En slik "mislykket" operasjon ender gjerne med at en drar og sliter helt til styrepostene, eller tilhørende konstruksjoner blir deformert, og modulen løsner. Eventuell klargjøring av bunnrammen og bytting av deformerte poster kan innebære en tidkrevende og kostbar ekstra offshore operasjon.

Imenco har derfor gitt oss oppgaven med å se på muligheten til å bruke fleksible styreposter. En fleksibel styrepost ville ideelt sett minimert dette problemet, da skjevinkelen og ekstra friksjonskrefter tilnærmet vil forsvinne.

Utfordringer ellers er undervanns miljøet generelt, der man i følge Lindaas [1] må tenke på blant annet;

- ❖ Marin begroing
- ❖ Svært korrosivt miljø for mange materialer
- ❖ Hydrostatisk trykk

## 1.5 Imenco AS

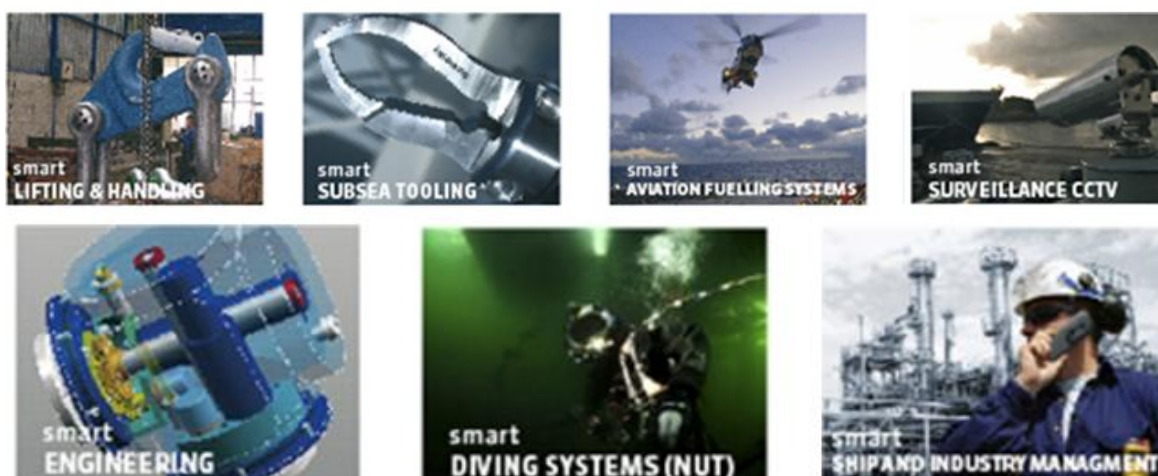


Bilde 1: Imenco sitt hovedkontor i Haugesund

Imenco er i dag en stor kontraktør i den maritime industrien innenfor "Engineering, Procurement and Construction" (EPC). De designer, utvikler og lager et bredt spekter av produkter som *dykkersystemer, helikopter drivstoff-systemer, industrielle overvåkingskamera systemer, ex kamera, løfte- og håndteringsprodukter, "subsea" kameraer og "tools" inkl. "subsea" lys og lasere.*

Selskapet ble stiftet i 1979 og har med mer enn 30 års erfaring det som skal til for å gi kundene de beste og smarteste løsningene. Selskapet har hovedkontoret på Risøy i Haugesund og avdelinger i Stavanger, Bergen, Aberdeen og Houston. [2]

De har også verksted i Grinde i Tysvær kommune utenfor Haugesund.



Bilde 2: Imenco sine produktområder

## Kapittel 2: Metode for løsning av oppgaven

### 2.1 Innhenting av informasjon

Det er skrevet lite om styreposter i bøker. I litteraturen blir de som regel bare nevnt som en del av "TPG (Temporary Guide Base)" eller "PGB (Permanent Guide Base)". Den informasjonen vi har tilegnet oss kommer hovedsakelig fra samtale med Arne Kinn hos Imenco AS og gjennom deres nettsider.

I starten fikk vi detaljtegninger med mål som vi studerte for å finne ut en best mulig måte å angripe problemet på. Selv om tegningene var oversiktlige, er det aldri lett å se for seg hvordan utstyret ser ut i virkeligheten. I den sammenhengen var vi heldige og fikk ordnet en ekskursion til Imenco sine lokaler i Grinde. Der ble vi vist rundt og fikk se flere styreposter i sin fulle størrelse som gruppen tok bilder og forskjellige mål av. Først da ble det forstått hvor store styrepostene egentlig er, men også hvor enkle de er i sin konstruksjon.

Det har også blitt brukt Internett til søk, og for å finne relevante standarder.

### 2.2 Anvendelse av dataverktøy

Dataverktøy spiller en sentral rolle i dagens måte å løse oppgaver på. Vi har benyttet oss av en rekke forskjellige programmer for å fremstille resultatene på en mest mulig hensiktsmessig og oversiktlig måte.

#### 2.2.1 Microsoft Office

For å skrive rapporten er det blitt benyttet MS Word, som er et tekstbehandlingsprogram som på en god måte lar flere brukere arbeide individuelt for så å kunne samle alt i et dokument til slutt. MS Excel brukte vi til å foreta beregningene i forbindelse med likevektsbetraktningen. Den inneholder såpass mange ulike parametre at det enkelest lar seg gjøre å presentere resultatene gjennom dette programmet.

#### 2.2.2 Autodesk Inventor

Autodesk Inventor er et 3D tegneprogram som vi har brukt til å fremstille designløsningen grafisk. Fordelen med å bruke et slikt program er at dersom designendringer skulle oppstå kan en effektivt redigere dette.

#### 2.2.3 Ansys Workbench

Dette programmet ble brukt for å kvalitetssikre håndberegningene. Programmet fungerer slik at man importerer inn deler fra Inventor og deretter kjører simuleringer.

## Kapittel 3: Eksisterende styrepostløsninger

### 3.1 Imenco Styreposter

Her presenteres de to hovedtyper styreposter som Imenco markedsfører.

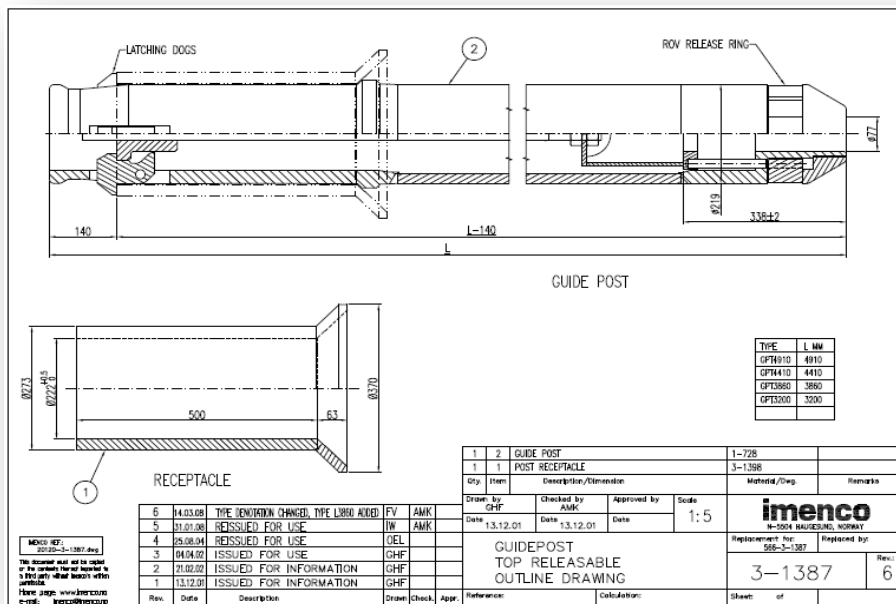
Videre i rapporten ser vi på "Top-releasable" styreposter, da den er mest komplisert i sin konstruksjon. Løsninger som fungerer på "Top-releasable" vil derfor også fungere på "Bottom-releasable" styreposter.

#### 3.1.1 "Top-releasable" styrepost

Denne styrepost varianten fra Imenco er av typen "Top-releasable" som betyr at den låses fast i/løsnes fra "bunnramme- bøtten" ved ROV betjening i toppen av posten. Dette skjer ved at en ROV- manipulator vrir på en ring i toppen som slipper en vektstang ned over låseklavene ved hjelp av tyngdekraften. Låseklavene sitter da i låst posisjon under "bunnramme- bøtten".

For å løsne styreposten fra "bøtten" vris ROV ringen i åpen posisjon samtidig løftes vektstangen og klavene går inn i posten. Da vil posten kunne trekkes opp.

Styreposten er laget av stål, er sandblåst og malt etter offshore standarder.

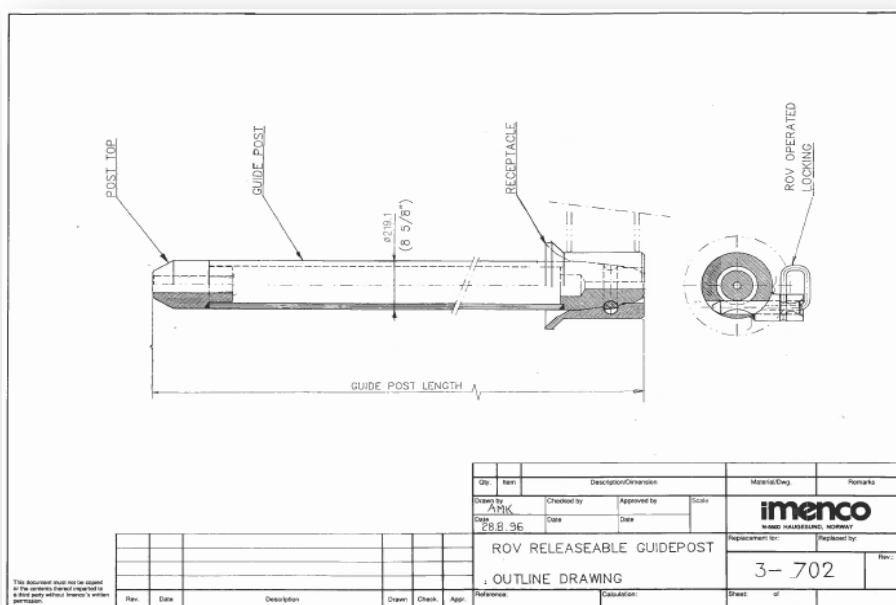


Bilde 3: "Top-releasable" styrepost

### 3.1.2 "Bottom-releasable" styrepost

Denne styrepost varianten fra Imenco er av typen "Bottom-releasable" som betyr at den låses fast i/løses fra "bunnrammebøtten" nede på posten. Dette skjer ved at styreposten senkes ned i "bøtten", slik at to halvsirkler møtes, en i styreposten og en i bøttens låsemekanisme. En ROV manipulator kan vri en låsehendel i to posisjoner, åpen og lukket. I lukket posisjon vil en låsepinne formet som en halvsirkel vris inn i styrepostens halvsirkel slik at en får en fastlåsning. Se figur under.

Styreposten er laget av stål, er sandblåst og malt etter offshore standarder.[3]



Bilde 4: "Bottom-releasable" styrepost



## 3.2 Andre leverandører/løsninger

### ”Vasshella Flexible Guide Post”

Denne styreposten som er designet av Vasshella AS kan bevege seg totalt 5° fra side til side. Den kan i følge daglig leder Espen Pettersen brukes under boreoperasjoner ned til 500 m havdyp i forbindelse med landing av ”BOP (Blow Out Preventor)” på PGB.

Denne modellen må imidlertid videreutvikles før den kan brukes på fast utstyr som for eksempel juletrær og manifolder.[4]



Bilde 5: Vasshella fleksible styreposter

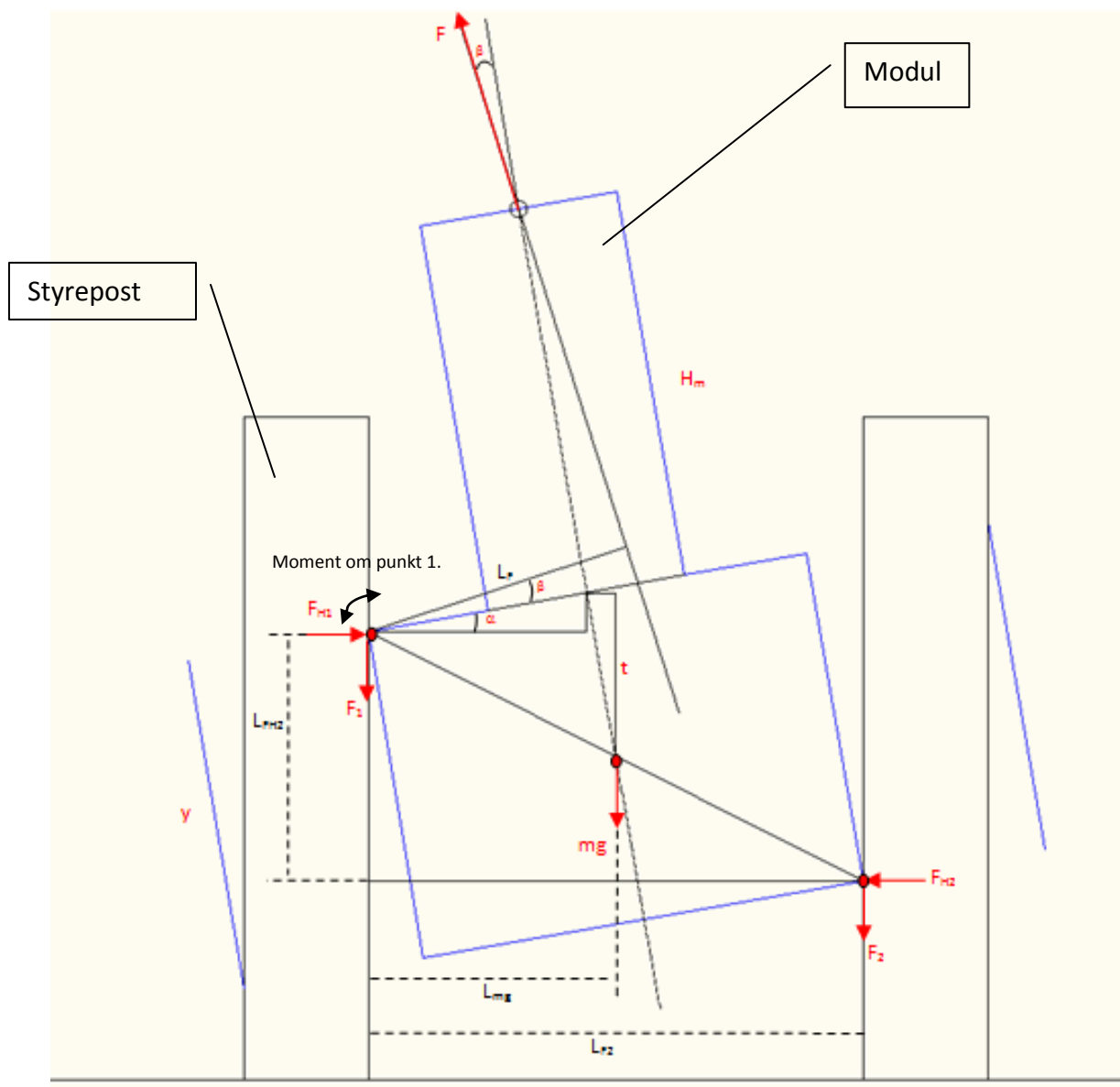


Bilde 6: Innfestning til Vasshella prototype

## Kapittel 4: Likevektsbetraktning / kraftanalyse

Som et ønske ifra Imenco sin side, og beskrevet i oppgave teksten har gruppen utarbeidet en likevektsbetraktning. Dette var for å kartlegge hvilke krefter og parametere som har betydning.

En slik likevektsbetraktning kan gjøres på flere forskjellige måter, og kan lett bli veldig komplisert og krevende. Gruppen valgte å se på situasjonen relativt forenklet, der man ser det hele "fra siden" med en modul som står "fast" mellom styrepostene.



Figur 2: Kraftbilde med krefter, lengder og vinkler.

## 4.1 Utledning av formel

Lengder er funnet ved hjelp av grunnleggende trigonometri og figur 2:

$$L_F = \frac{b}{2 \cdot \cos \beta} + \sin \beta \cdot \left( H_m - \tan \beta \cdot \frac{b}{2} \right) \sqrt{b^2 - 4ac} \quad (4.1)$$

$$L_{mg} = \cos(\alpha) \cdot \frac{b}{2} + \sin(\alpha) \cdot t \quad (4.2)$$

$$L_{FH2} = \cos(\alpha) \cdot y - \sin(\alpha) \cdot b \quad (4.3)$$

$$L_{F2} = B \quad (4.4)$$

Hvor:

- y: er lengden på styrerørene.
- b: er bredden på modulen.
- B: er bredden mellom postene (sett fra siden).
- $H_m$ : er avstanden fra toppen av styrerøret, og opp til løftepunkt.
- $\alpha$ : er vinkelen mellom postene og modulen.
- $\beta$ : er vinkelen på løftkraften.
- t: avstanden mellom løftepunkt og tyngdepunkt.

Bruker grunnleggende statikk/ fysikk, og figur 2 over til utledning av formeler.

Friksjon er gitt ved:

$$\begin{aligned} Fr &= \mu \cdot N \\ F_1 &= \mu_1 \cdot F_{H1} \\ F_2 &= \mu_2 \cdot F_{H2} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$\Sigma F$  i x – retning:

$$\begin{aligned} 0 &= F \cdot \sin(\beta) - F_{H1} + F_{H2} \\ F_{H1} &= F \cdot \sin(\beta) + F_{H2} \end{aligned} \quad (4.6)$$

$\Sigma F$  i y – retning:

$$\begin{aligned} 0 &= F \cdot \cos(\beta) - mg - F_1 - F_2 \\ 0 &= F \cdot \cos(\beta) - mg - \mu_1 \cdot F_{H1} - \mu_2 \cdot F_{H2} \\ 0 &= F \cdot \cos(\beta) - mg - \mu_1 \cdot (F \cdot \sin(\beta) + F_{H2}) - \mu_2 \cdot F_{H2} \\ 0 &= F(\cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \mu_1) - mg - F_{H2}(\mu_1 + \mu_2) \end{aligned} \quad (4.7)$$

Momentkraft i pkt 1:

$$\begin{aligned} 0 &= F \cdot L_F - mg \cdot L_{mg} - F_2 \cdot L_{F2} - F_{H2} \cdot L_{FH2} \\ F \cdot L_F &= mg \cdot L_{mg} + F_2 \cdot L_{F2} + F_{H2} \cdot L_{FH2} \\ F \cdot L_F &= mg \cdot L_{mg} + \mu_2 \cdot F_{H2} \cdot L_{F2} + F_{H2} \cdot L_{FH2} \\ F \cdot L_F &= mg \cdot L_{mg} + F_{H2}(\mu_2 \cdot L_{F2} + L_{FH2}) \\ F_{H2} &= \frac{F \cdot L_F - mg \cdot L_{mg}}{(\mu_2 \cdot L_{F2} + L_{FH2})} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Setter lign. (4.8) inn i lign. (4.7):

$$0 = F(\cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \mu_1) - mg - F_{H2}(\mu_1 + \mu_2)$$

$$0 = F(\cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \mu_1) - mg - \left( \frac{F \cdot L_F - mg \cdot L_{mg}}{(\mu_2 \cdot L_{F2} + L_{FH2})} \right) (\mu_1 + \mu_2)$$

$$mg = F(\cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \mu_1) - \left( \frac{F \cdot L_F - mg \cdot L_{mg}}{(\mu_2 \cdot L_{F2} + L_{FH2})} \right) (\mu_1 + \mu_2)$$

snur  $_F =$

$$F = \frac{mg \cdot \mu_2 \cdot L_{F2} + L_{FH2} - mg \cdot L_{mg} \cdot (\mu_1 + \mu_2)}{\left( \cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \mu_1 \right) \left( \mu_2 \cdot L_{F2} + L_{FH2} \right) \left( L_F \cdot \mu_1 + L_F \cdot \mu_2 \right)} \quad (4.9)$$

Formelen over viser nødvendig løftekraft

$$F = \frac{1 + \frac{2t}{b} \tan(\alpha)}{\cos(\beta) + \sin(\beta) \cdot \tan(\alpha)} \cdot mg \quad (4.10)$$

Formelen over viser minimum F for at modulen skal stå i "skjevposisjon", formelen er funnet vha momentkraft i pkt 1, uten  $F_2$  og  $F_{H2}$ .

## 4.2 Regneark i Excel

Formel og tilhørende parametere ble lagt inn i Excel regneark. Regnearket ble utformet slik at en kan variere de forskjellige parametere, og på denne måten produsere grafer som får fram forskjellige "poenger". Gruppen anser ikke regnearket som et "ferdig produkt", men har brukt det som et hjelpemiddel for å forstå betydningen av de forskjellige parametrene.

Ved likevektsbetraktningen gjøres en del antagelser:

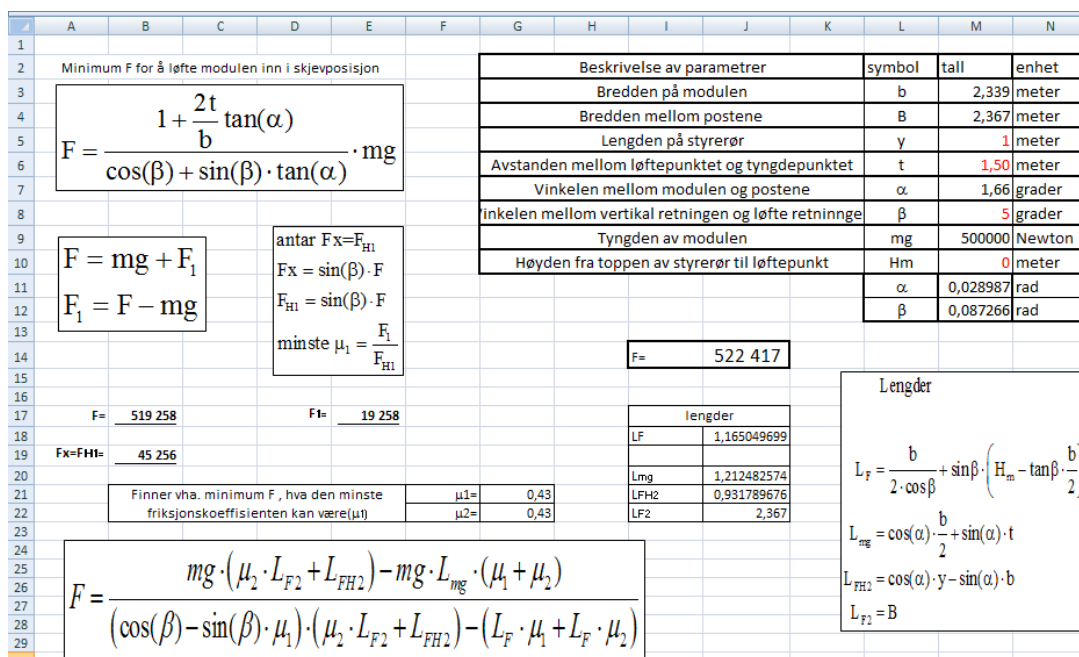
- ❖ Alt er i ro, statiske beregninger.
- ❖ Tyngdepunktet antas å være plassert i senter av modulen.
- ❖ Løftepunktet antas å være plassert i senter av modulen.
- ❖ Som figur 2 viser, er modulen satt i skjevposisjon i beregningene.

Siden modulen er satt i skjevposisjon i beregningene, forutsettes det at  $F_1$  og tilhørende  $\mu_1$  må ha en minste verdi for å "vippe" modulen opp. Denne  $\mu_1$  er regnet ut v.h.a. blant annet formel (4.10) i Excel arket.

På grunn av disse antagelsene, er ikke alle parametrene uavhengige, og hvis man overdefinerer med for store eller for mange parametere, får man ingen løsning.

Excel arket produserer nødvendigvis ikke 100 % realistiske og korrekte tall, men poengterer hvordan de forskjellige parametere påvirker den nødvendige løftekraften.

(Excel regnearket ligger med rapporten som elektronisk fil.)



Figur 3: "Screenshot" av Excel regneark

### 4.3 Resultater fra likevektsbetraktning

Typiske tall som ble satt under forsøkene;

- ❖ En tyngde på modulen lik 500 000 N (mg)
- ❖ En bredde mellom postene på 2367mm (B)
- ❖ En bredde på modulen lik 2339mm (b)

Parametrer som ble variert:

- ❖ Avstand opp til et eventuelt høyere løftepunkt (Hm)
- ❖ Høyden ned til tyngdepunktet (t)
- ❖ Lengden på styrerør (y)
- ❖ Vinkel på løftekraft ( $\beta$ )
- ❖ Vinkel mellom post og modul ( $\alpha$ )

I tillegg har man friksjonskoeffisientene  $\mu_1$  og  $\mu_2$ . Disse kan i utgangspunktet varieres, men er i dette tilfellet regnet ut til en minimum verdi som endrer seg, som nevnt tidligere.

Resultatene blir videre presentert med diagrammer.

### 4.3.1 Skjev løftekraft

Retningen på kraften som løfter modulen, er ikke nødvendigvis 100 % vertikal. Den kan få en horisontal komponent i form av en vinkel  $\beta$ .

I følge denne betraktningen må friksjonskrafta  $F_1$ , ha en viss størrelse for at modulen i det hele tatt skal kunne innta en skjevinkel ( $\alpha$ ). Ser en på formelen for  $F_1$ ;  $F_1 = \mu_1 \cdot F_{H1}$ , så ser en at  $F_1$  er avhengig av både normalkraften ( $F_{H1}$ ) og friksjonskoeffisienten ( $\mu_1$ ).

Normalkraften  $F_{H1}$  er i følge betraktningen direkte avhengig av horisontal komponenten til løftekraften, og derfor vinkelen  $\beta$ .

Hvis det da ikke finnes noen horisontal kraft i kraftbildet, i form av en  $\beta$  vinkel (skjev løftekraft), blir  $F_{H1}$  så liten at  $F_1$  sin tilhørende friksjonskoeffisient ( $\mu_1$ ) må være veldig stor. Dette for at minimum størrelsen til  $F_1$  skal opprettholdes.

Dette vises i diagrammet under, med  $\mu$  på y-aksen, og  $\beta$  på x-aksen.

Diagrammet antyder at hvis løfte vinkelen ( $\beta$ ) er under ca  $2^\circ$  går  $\mu_1$  over 1, og det vil si at det er mer enn ordinær friksjon med i bildet. Det kan da være at materialene "graver" seg inn i hverandre og skaper en veldig stor "friksjonskoeffisient".

#### Konklusjon:

Med dette kan det tenkes at hvis modulen skal bli løftet inn i skjevposisjon, med et tilnærmet 100 % vertikalt løft, er det mer enn ordinær stål mot stål friksjon som skal til.

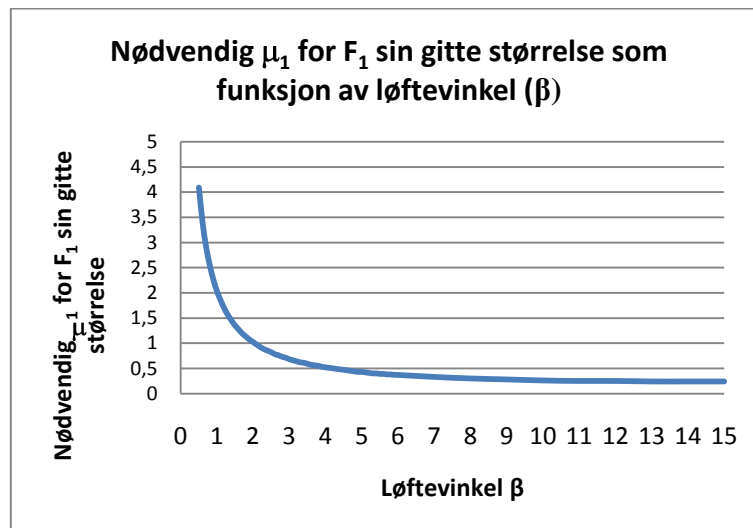


Diagram 1: Nødvendig  $\mu_1$  for  $F_1$  sin gitte størrelse, som funksjon av løftevinkel ( $\beta$ )



### 4.3.2 Plassering av tyngdepunktet

Her sees det på den vertikale avstanden mellom løftepunktet og ned til tyngdepunktet. Grafen viser den nødvendige løftekraften som funksjon av tyngdepunktets vertikale plassering.

Dette vises i diagrammet under, med F på y-aksen, og t på x-aksen.

#### Konklusjon:

Som en kan se av diagrammet virker det mest gunstig at tyngdepunktet ligger nærmest mulig løftepunktet.

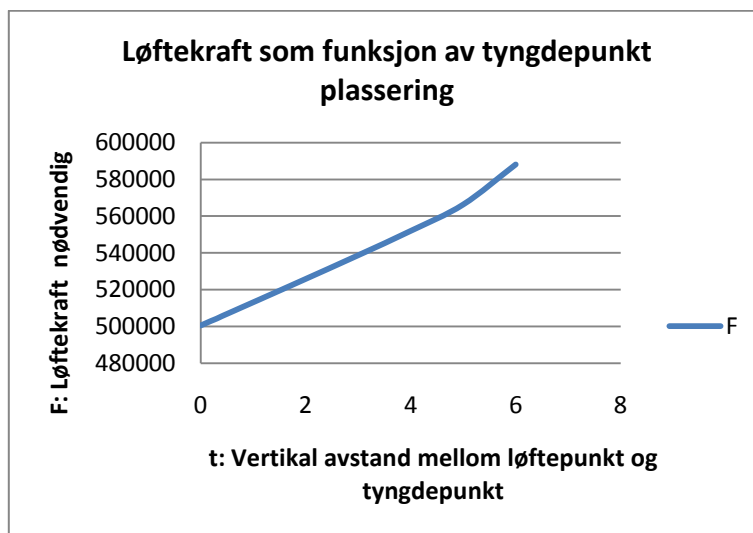


Diagram 2: Nødvendig løftekraft som funksjon av plasseringen av tyngdepunktet.

### 4.3.3 Høyden opp til løftepunktet

Modulene har ingen standard geometri, dette medfører at løftepunktet blir plassert forskjellig på de forskjellige modulene.

Her sees det på et gitt tilfelle, der en varierer  $H_m$ ; det vil si avstanden fra toppen av styrerørene og opp til et gitt løftepunkt. Som en ser av grafen under, blir en lineært økende løftekraft nødvendig, når en øker avstanden.

Dette vises i diagrammet under, med  $F$  på y-aksen, og  $H_m$  på x-aksen.

#### Konklusjon:

Her tenkes at man kan minimere den nødvendige løftekraften med å holde denne avstanden minst mulig. Dette kan kun gjøres når man designer modulene.



Diagram 3: Nødvendig løftekraft som funksjon av plasseringen av løftepunktet.

#### 4.3.4 Lengden på styrerør / vinkel $\alpha$

Vinkelen  $\alpha$  er indirekte bestemt av lengden på styrerørene. Lengden på styrerørene som det har blitt sett mest på i oppgaven er 0,5 m og 1 m.

Det er ingen standard for lengden på styrerørene, denne lengden blir gjerne bestemt av hva som er mest praktisk i selve geometrien til modulene.

Under er det produsert en graf, der en varier lengden mellom 0,5m og 6m. Når lengden på styrerørene øker, har modulen mindre muligheter til å bevege seg, og vinkelen  $\alpha$  blir mindre.

Det er nettopp denne vinkelen  $\alpha$  som kan bli redusert hvis styrepostene flekser. Hvis styrepostene flekser, så følger postene vinkel til styrerørene, og de blir parallelle. Dette fører videre til at et "skjevmoment" ikke vil opptre, og en eventuell spenning blir fordelt over et så stort areal, at modulen ikke vil "låse seg".

Dette vises i diagrammet under, med F på y-aksen, og y på x-aksen.

#### Konklusjon:

Som diagrammet viser, så minker den nødvendige løftkraften, når man øker lengden på styrerørene/ minker vinkel  $\alpha$ .

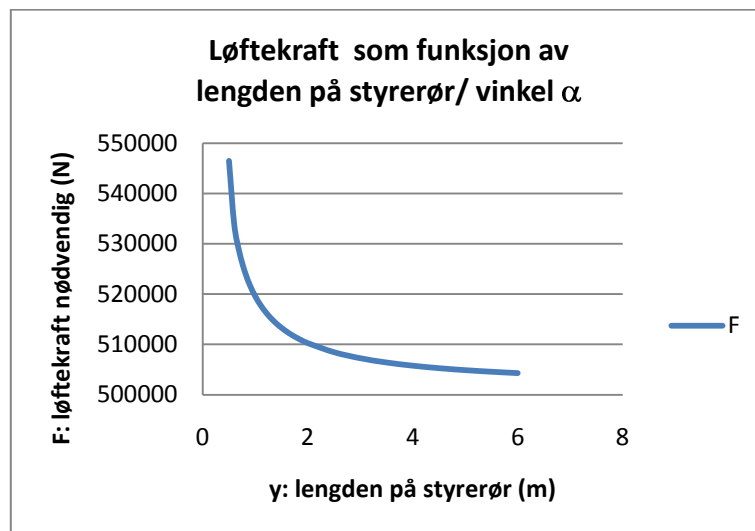


Diagram 4: Nødvendig løftkraft som funksjon av lengden på styrerør / vinkelen  $\alpha$

#### 4.4 Diskusjon og del konklusjon

Hvis man analyserer resultatene fra disse diagrammene, ser en relativt lett hvordan man kan få den nødvendige løftekraften til å bli minst mulig. Innlysende tiltak er:

- ❖ Få til et 100 % vertikalt løft av modulen, uten noen vinkel på løftekraften ( $\beta=0^\circ$ ). Normalkraften til de motarbeidende friksjonskreftene vil da bli helt minimale, det vil også friksjonskreftene bli.
- ❖ Ha tyngdepunktet og løftepunktet nærmest mulig hverandre (minst mulig  $t$  og  $H_m$ ) Det er ikke mulig å få de i samme punkt, men desto mindre denne avstanden er, jo bedre er det.
- ❖ Ha lengst mulig styrerør på modulen (størst mulig  $y$ ), gjerne langs hele modulens høyde. Lange styrerør gjør at modulen har mindre mulighet til å oppnå en skjevinkel ( $\alpha$ ).
- ❖ Minimere vinkelen  $\alpha$ , ved hjelp av fleksibel styrepost.

Det hjelper nødvendigvis ikke å endre kun et av disse punktene, men ved å forbedre alle punktene kan situasjonen bli betydelig bedre. Kommer tilbake til dette i *kapittel 9.1*.

## Kapittel 5: Kravspesifikasjon og relevante standarder

### 5.1 Kravspesifikasjon

Før en starter "brainstormingprosessen" er det viktig å ha klart for seg hvilke krav som må oppfylles og hvilke begrensinger som gjelder. Kravspesifikasjonen under er gitt av Arne Kinn og baserer seg delvis på krav gitt i henhold til API standard og krav gitt fra Imenco.

- ❖ Den fleksible posten skal ha en innfestning mot bunnrammen og et festehull i toppen for "guidewire" lik en standard Imenco styrepøst.
- ❖ Utvendig diameter (OD) på post skal være 219,1mm (8 5/8").
- ❖ Lengde på post antas min.4m/ max.6m
- ❖ Maksimale bøyemoment ved nedre innfestning mot bunnrammen baseres på 67% av bøyekapasitet (flytspenning 355 MPa) for OD 219,1mm rør med 25mm veggtykkelse.
- ❖ Styrepøstene (4 stk) antas plassert iht. API standard, dvs. 1829mm (6') fra senter og orientert 90grader i forhold til hverandre.
- ❖ Posten skal ha en design strekkapasitet på 10 tonn og tåle minst 25 T strekk før deformasjon.
- ❖ Posten skal ha en ytre kappe av stål eller tilsvarende som tåler hard kontakt mot styrerøret uten å ta skade.
- ❖ Posten skal være mest mulig enkel og driftsikker i sin konstruksjon og ha en levetid på 20 år.
- ❖ Det kan forutsettes katodisk korrosjonsbeskyttelse.

## 5.2 Relevante standarder

Referansenummer	Standard tittel
ISO 13628-4:2010 (erstatte API 17D)	Petroleum and natural gas industries -- Design and operation of subsea production systems -- Part 4: Subsea wellhead and tree equipment
U-CR-001:1995	Subsea Structures and Piping System
U-CR-003:1994	Subsea Christmas Tree Systems
U-CR-008:1994	Subsea Colour and Marking

Under følger utdrag fra de kapitlene i standarder som angår styreposter. Tanken er at standardene skal fungere som supplement til den gitte kravspesifikasjon og samtidig veilede i forhold til hvilke designkrav som må oppfylles ved design av ny styrepost.

### 5.2.1 ISO standard

#### *ISO 13628-4:2010*

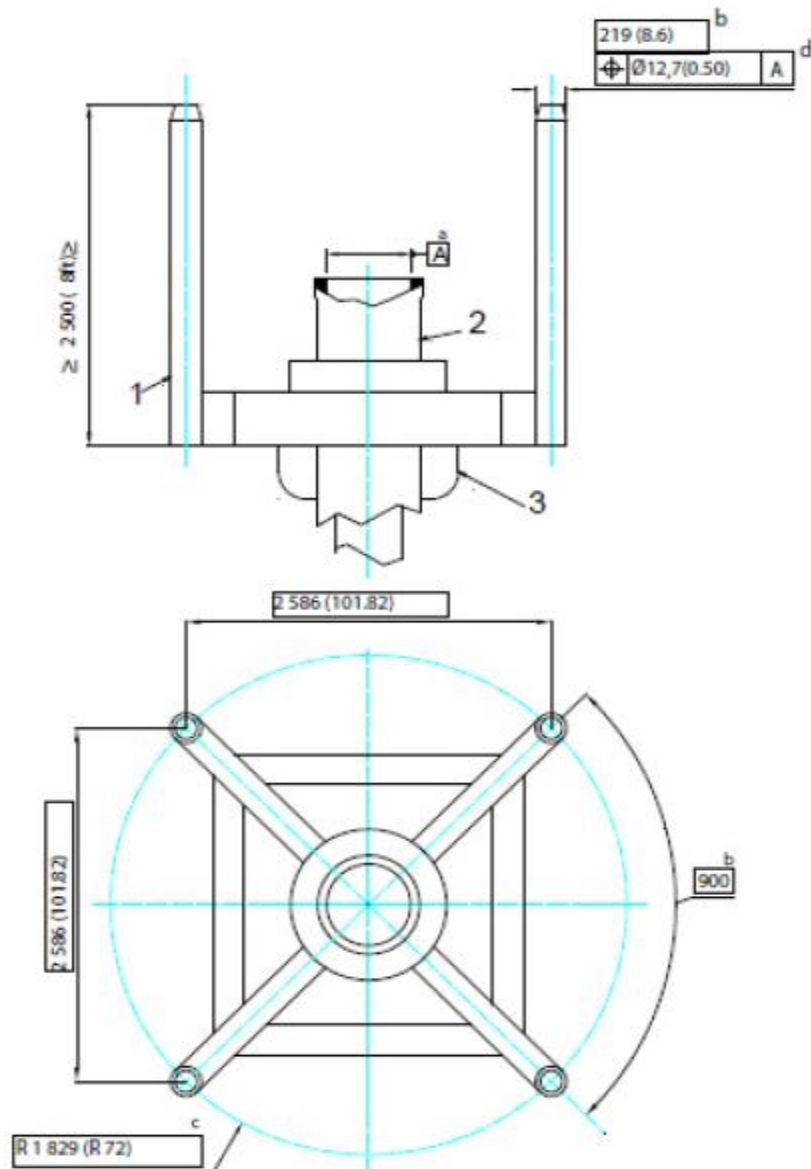
Denne standarden erstatter API 17D som er nevnt i kravspesifikasjonen. Den tar for seg emner som design, materialvalg, sveising, kvalitetskontroll, merking, lagring, oppbevaring og shipping av utstyr som brukes rundt undervanns brønnhoder og ventiltrær. Styreposter er nevnt i standarden i kapittel 7 som er et designkapittel, og kapittel 8 som handler om funksjonaliteten til postene.

#### *7.15.2 Design*

##### *7.15.2.1 Guidance and orientation*

*“For guideline configurations, interfacing shall conform to the dimensions shown in Figure 9 a), unless the orientation system requires tighter tolerances. Guide-post funnels are typically fabricated from 273 mm OD × 13 mm wall (10 3/4 in OD × 0,5 in wall) pipe or tubulars. Spatial orientation (heading (yaw) and vertical tilt (pitch-sway) and fixed X-Y-Z position) tolerance is typically ± 0,5° when mated with the guide posts. Where guidance and orientation is dependent on guide posts, alternative means of orienting the tree running tool during surface installation/testing shall be considered to prevent damage to seal bores during installation.”*

Bilde 7: PGB oppsett med dimensjoner



**a) Permanent guide base and guide posts**

**Key**

- 1 guide post
- 2 wellhead housing
- 3 permanent guide base

a Cumulative tolerances between all interfacing components shall be less than or equal to the positional tolerance shown.

b Typical.

c Reference dimension.

d Ref ANSI Y14 5M for tolerance explanation.

NOTE Guide posts positional tolerances and determined relative to the wellhead housing bore (Datum -A-), method of measurement to be specified by the manufacturer

*“Figure 9 – Tree guide frames”*

#### 8.3.2.4 Functional requirements

The functional requirements are as follows.

*“b) Guide posts shall be field-replaceable without welding, using either, diver, ROV or remote tooling. The locking mechanism should not inadvertently release due to snagging wires, cables, etc.*

*c) Guide posts can be either slotted or non-slotted. Slotted guide posts are required when used with a TGB, if the guide lines are not disconnected from the TGB. For slotted guide posts, provisions shall be made to insert guide lines of at least 19 mm (3/4 in) OD into the post with retainers at the top and at or near the bottom of the post.*

*d) Provisions shall be made to attach guide lines to the top of the guide posts. The guide lines shall be capable of being released and re-established. This may be by the use of diver, ROV or remote tooling.”*

## 5.2.2 NORSOK standard

*NORSOK standard U-CR-001, rev.1, January 1995*

Denne standarden gir en kort oversikt over tekniske krav som stilles til ulike undervannsstrukturer. Kapitlet om intervensjon sier:

### *5.2.2 Intervention*

*The following requirements shall apply to the subsea structures and piping system in order to facilitate efficient intervention:*

*“• All guideposts shall be replaceable using locking mechanisms easily operated by the selected intervention system.*

*• A design based on running retrievable modules, structures and equipment on a guidewire system, shall be in accordance with the required project standard, including guidepost top design with respect to guidewire anchor system and guidepost locking system.*

*• All permanently installed guideposts which require guidewire attachment must have through bore to allow passage of the guidewire anchor.*

*• Tools, BOP, modules and all retrievable equipment shall have an adequate running clearance to any part of the structure, adjacent module or equipment etc to avoid any unintended impacts or clashes during installation and retrieval:*

*– minimum 0,2 m while running on guideposts*

*– minimum 1,0 m for monohull and 0.5 m for semisubmersible operations, respectively, at 0.8 m above guidepost top and upward when running on guidewires. Tighter clearances can be accepted for final alignment.”*



*NORSOK standard U-CR-003, rev.1, December 1994*

Denne standarden er et tillegg til API 17D og beskriver minimumskravene til vertikale og horisontale ventiltresystemer. Om styreposter står det:

*5.13 Production Guide Base (PGB) and Wellhead*

*5.13.1 PGB*

- “• The guideposts shall be replaceable using ROV operated locking mechanisms.*
- The guidepost locking mechanisms shall be designed for optimum protection against unintended unlocking due to snagging wires and cables.*
- The guideposts should have through hole to seabed to allow passage of the guidewire anchor.”*

*NORSOK standard U-CR-008, rev.1, December 1994*

Denne standarden handler om merkingen som skal være på styrepostene.

*5.5.3 Marking of guideposts*

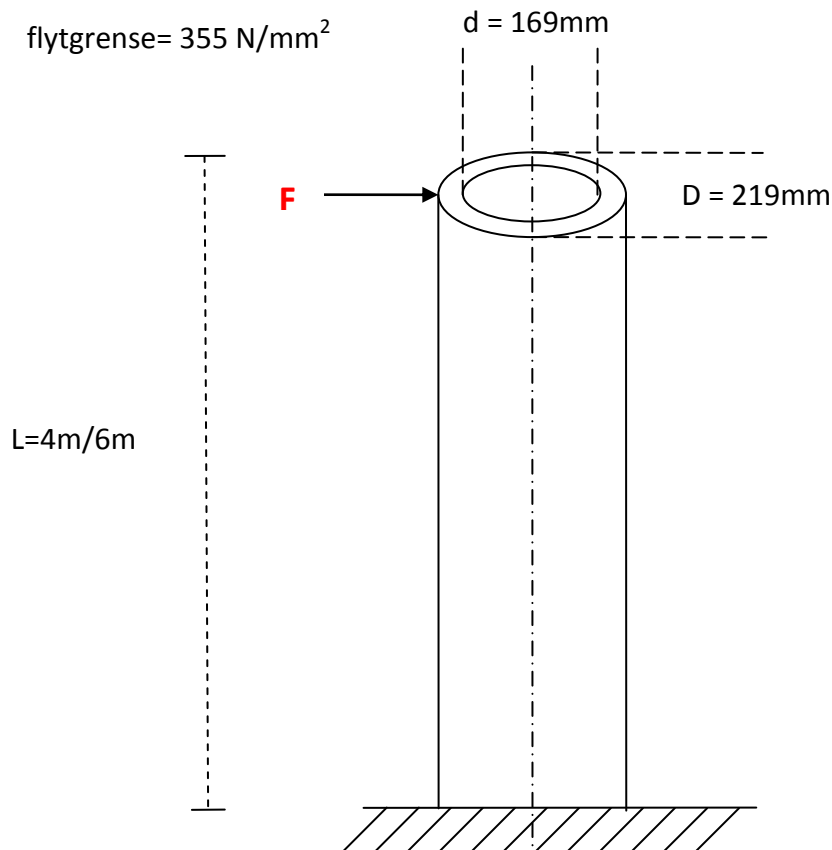
*“Guidepost numbering shall suit the expected rig heading and a rig guidewire numbering system based on that the forward and starboard guidewire being wire no. 1, the aft and starboard guidewire being wire no. 2 and so on going clockwise. The posts shall be marked with black rings 200 mm. below top indicating the post number. Retrievable guideposts shall be fitted with easily readable status indicators showing locked ("L") and unlocked ("U") position of the locking mechanism.”*

## Kapittel 6: Innledende beregninger

### 6.1 Håndberegninger

Ser her på hvor stor ubøyning og krefter Imenco sine eksisterende styreposter tåler, ved at de betraktes som fast innspente rør.

#### Horisontal kraft i toppen



Figur 4: Skisse av fast innspent rør

Motstandsmomentet W:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(219\text{mm})^4 - (169\text{mm})^4}{219\text{mm}} = \underline{\underline{665493,5 \text{ mm}^3}} \quad (6.1)$$

Bøyemomentet Mb:

$$W = \frac{Mb}{fy} \Rightarrow Mb = W \cdot fy \quad (6.2)$$

$$Mb = W \cdot fy = 665493,5 \text{ mm}^3 \cdot 355 \text{ N/mm}^2 = \underline{\underline{236250 \text{ Nm}}} \quad (6.3)$$

$$Mb = F \cdot L \Rightarrow F = \frac{Mb}{L} \quad (6.4)$$

Maks kraft ved 4m lengde:

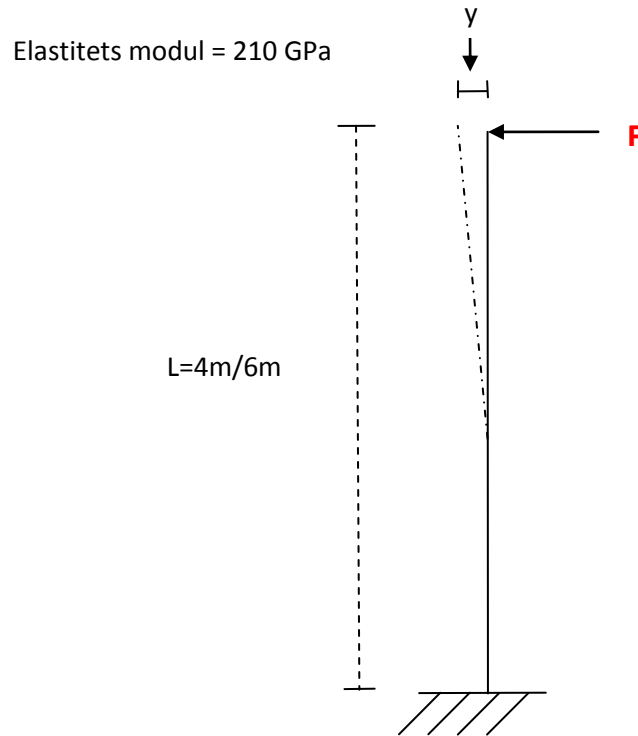
$$F = \frac{Mb}{L} = \frac{236250 \text{ Nm}}{4 \text{ m}} = \underline{\underline{59062 \text{ N} \approx 59 \text{ kN}}} \quad (6.5)$$

Maks kraft ved 6m lengde:

$$F = \frac{Mb}{L} = \frac{236250 \text{ Nm}}{6 \text{ m}} = \underline{\underline{39375 \text{ N} \approx 39 \text{ kN}}} \quad (6.6)$$

### Horizontal utbøyning i toppen

Ser her på hvor mye de eksisterende postene kan bøyes ut i toppen.



Tregghetsmomentet I:

$$I = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (219 \text{ mm}^4 - 169 \text{ mm}^4) = \underline{\underline{72871539 \text{ mm}^4}} \quad (6.7)$$

Utbøyning:

$$y = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (6.8)$$

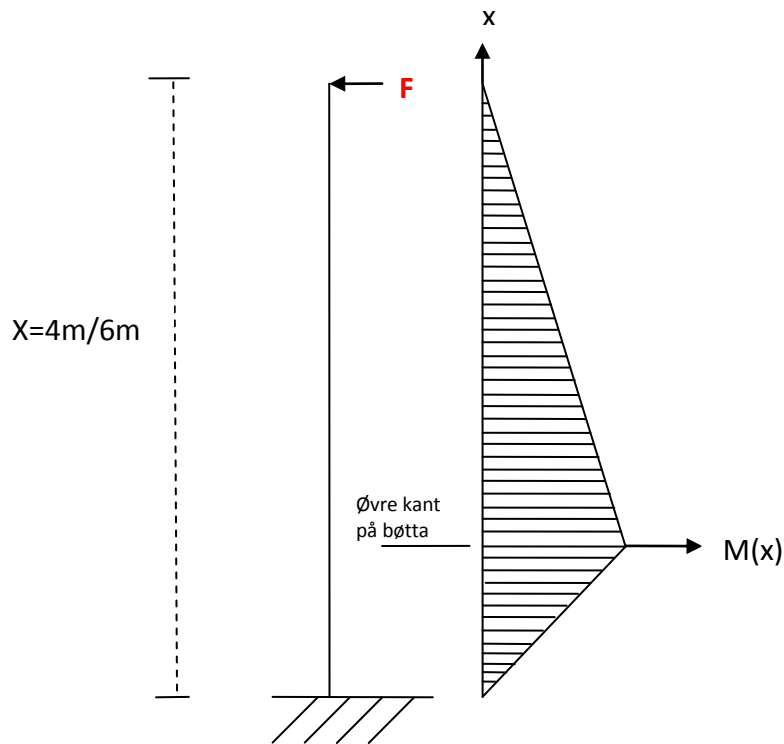
Ved 4 meters lengde:

$$y = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{59062 \text{ N} \cdot (4000 \text{ mm})^3}{3 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 72871539 \text{ mm}^4} = \underline{\underline{82 \text{ mm}}} \quad (6.9)$$

Ved 6 meters lengde:

$$y = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{39375 \text{ N} \cdot (6000 \text{ mm})^3}{3 \cdot 210000 \text{ N/mm}^2 \cdot 72871539 \text{ mm}^4} = \underline{\underline{185 \text{ mm}}} \quad (6.10)$$

## Bøyemoment diagram



Figur 6: Skissert bøyemoment diagram av styreposten

Som en ser av bøyemoment diagrammet, er spenningene i postene aller størst ved øvre kant på bøtten, og minker lineært oppover og nedover mot endene av styreposten.

Studien viser at postene kan muligens lages i et materiale som ikke er like "sterkt" over hele lengden, fordi spenningene i posten varierer som figuren viser.

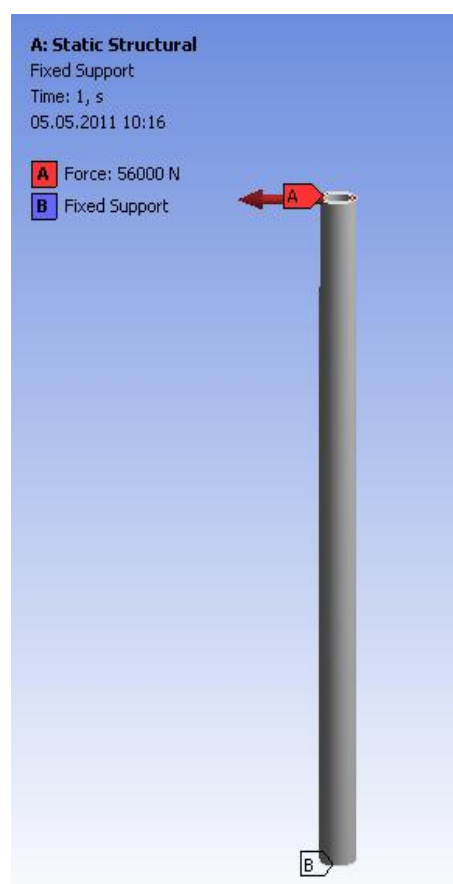
## 6.2 ANSYS resultater

Håndberegningene er kvalitetssikret ved å kjøre samme tilfelle i ANSYS. Her følger resultater fra dataprogrammet ANSYS, presentert med spenningsbilder.

### **4000mm lengde**

Rør er tegnet i Inventor med samme dimensjoner som vist i *figur 4*, med stålkvalitet S355, det vil si flytgrense på 355 MPa.

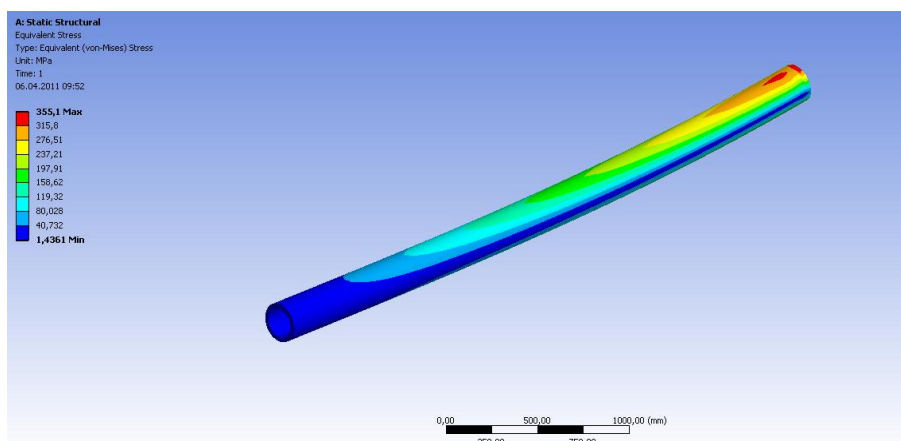
Røret er definert som "fixed support" (fast innspent) i bunn, og påført en horisontal kraft på 56000N i toppen.



Figur 7: Inngangsparametrer (4000mm)

### Spenningsbilde

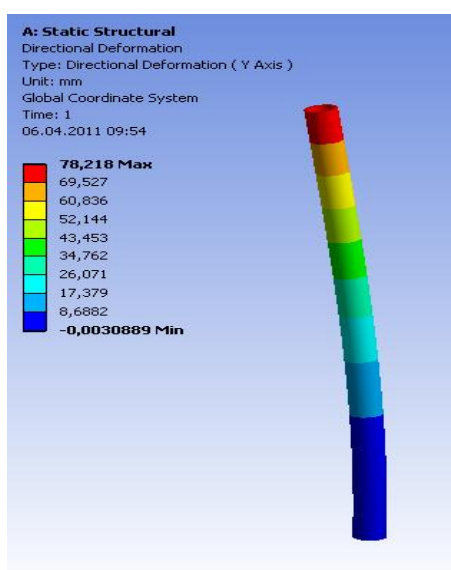
For å finne ut hvor stor utbøyningen blir nær flytgrensen, ble posten belastet med en horisontal kraft i toppen på 56000N, av bildet ser man at spenningene kommer nær flytgrensen (355MPa) nede i innfestningen på styreposten.



Figur 8: Spenningene i delen (4000mm)

### Utbøyning

En styrepost med lengde 4000mm vil i følge ANSYS få en utbøyning i toppen på 78mm nær flytgrensen. Sammenlignet med manuelle håndberegninger som gav 82mm utbøyning er dette relativt like tall, som igjen betyr at resultatene kan stoles på.

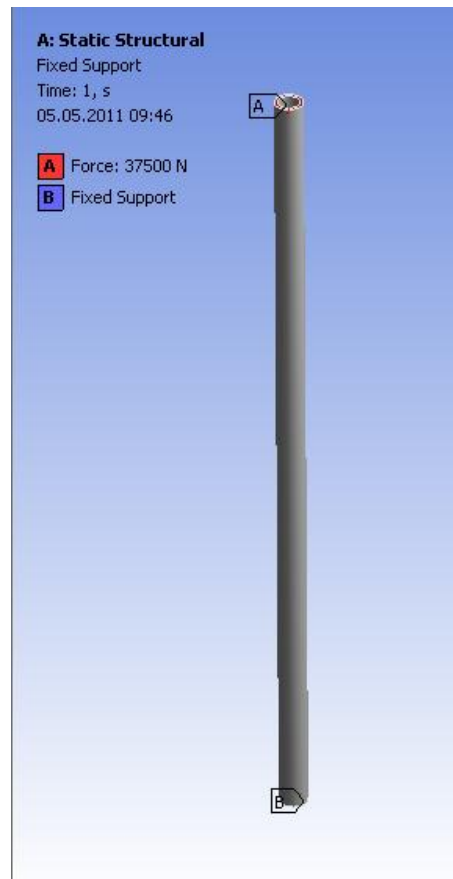


Figur 9: Horisontal utbøyning (4000mm)

### 6000mm lengde

Rør er tegnet i Inventor med samme dimensjoner som vist i *figur 4*, med stålkvalitet S355, det vil si flytgrense på 355 MPa.

Røret er definert som "fixed support" (fast innspent) i bunn, og påført en horisontal kraft på 37500N i toppen.

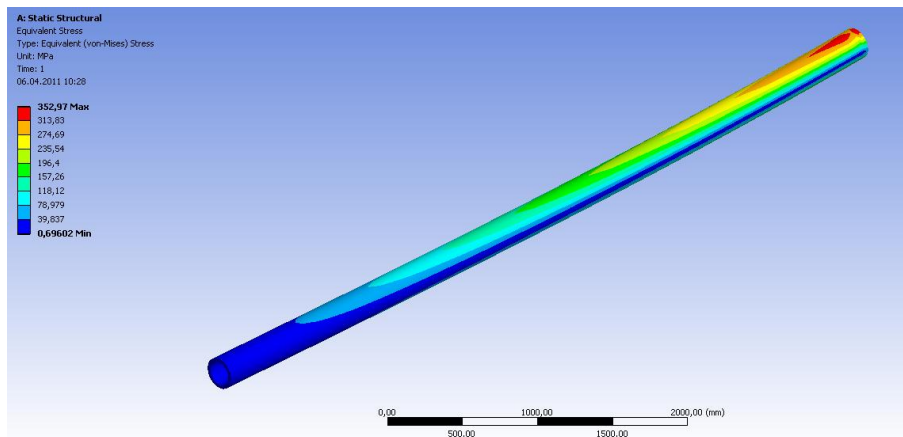


Figur 10: Inngangsparametere (6000mm)



### Spenningsbilde

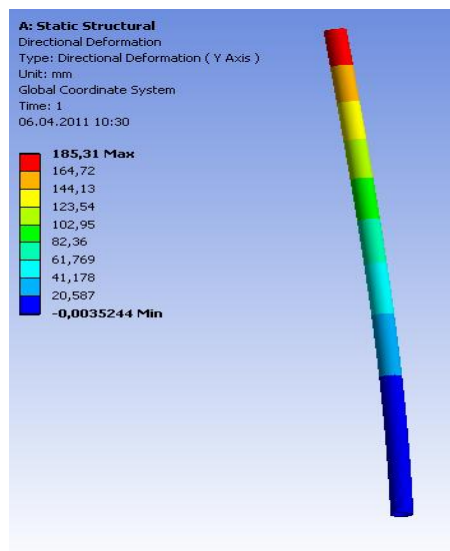
For å finne ut hvor stor utbøyningen blir nær flytgrensen, ble posten belastet med en horisontal kraft i toppen på 37500N, av bildet ser man at spenningene kommer nær flytgrensen (355MPa) nede i innfestningen på styreposten.



Figur 11: Spenningene i delen (6000mm)

### Utbøyning

En styrepost med lengde 6000mm vil i følge ANSYS få en utbøyning i toppen på 185mm før flytgrensen nås. Sammenlignet med manuelle håndberegninger som gav 185mm utbøyning er dette like tall, som igjen betyr at resultatene kan stoles på.



Figur 12: Horisontal utbøyning (6000mm)

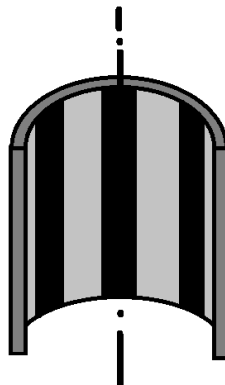
## Kapittel 7. "Brainstorming"

Her presenteres ulike design og material alternativer som har kommet frem av brainstormingen. Sammen med blant annet Arne Kinn og Jens Christian Lindaas har det blitt tenkt ut ulike alternativer som kan erstatte dagens system med stive styreposter. Ikke alle forslagene handler om å endre selve styreposten, noen har fokus på å endre tilhørende utstyr, andre på å endre løftemåten.

### 7.1 Idé 1 – Fleksibel foring i "bunnrammebøtten"

Tanken er at enten styreposten neddimensjoneres i enden (den delen som sitter oppi "bøtten") eller "bunnrammebøtten" dimensjoneres opp for å få plass til en foring i mellom delene. Foringen består av gummistriper som er festet i vertikalretning mellom en metallsylinder. Når styreposten utsettes for horisontale krefter i toppen vil gummiene komprimeres og styreposten kan få en større utbøyning enn den ville fått uten foringen.

Tanken med å ha gummiene i striper er at når den utsettes for komprimering må den ha et sted å utvide seg. Dersom gummiene er hel inni sylinderen, vil den måtte ekspandere i topp og bunn som kan skape problemer. Når den er i striper derimot, vil det være plass mellom hver stripe inni selve sylinderen for ekspansjon ved komprimering.



Figur 13: Snitt av foring med gummistriper

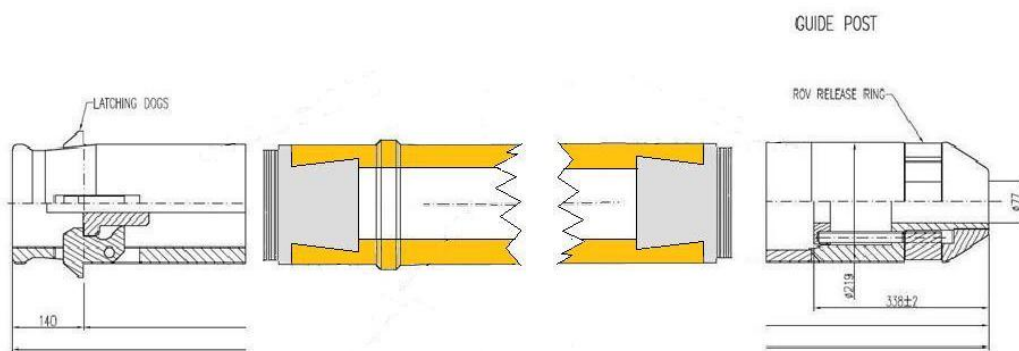
FORDELER	ULEMPER
Enkel konstruksjon.	Krever endring av størrelse på enten styrepost eller "bunnrammebøtten".
Gummiene har god holdbarhet i vann.	Problematikk rundt robusthet ved montering/landing av styrepost.
	Størrelse på låseklaver må endres dersom størrelse på styrepost endres.
	Må finne en balanse slik at gummiene komprimeres tilstrekkelig for god nok utbøyning av styreposten, samtidig som den gir god nok støtte til styreposten slik at den står støtt.
Vurdering	Karakter: 3/6

## 7.2 Idé 2 – “Midtdel” i fleksibelt materiale

Denne ideen går ut på å beholde topp og bunn av den opprinnelige styreposten, for videre å bytte ut midtdelen. Midtdelen blir da i et mer fleksibelt materiale. Dette materialet kan med fordel være en plast/kompositt som under produksjonen kan “skreddersys” med den rette styrke og fleksibilitet.

Enkelt forklart “kapper” en av topp og bunn på en eksisterende styrepost og erstatter midtdelen med en fleksibel del.

En får da to “skjøter” på styreposten. Den beste og enkleste måten å skjøte posten på ble vurdert til å bli med gjenger. Utvendige gjenger på stålflessen og innvendige gjenger på ståldelene i bunn og topp.



Figur 14: “Top-releaseable” styrepost med “ny” midtdel

FORDELER	ULEMPER
Standard IMENCO topp og bunn på posten.	Kompositt kan svulle opp over tid.
Komposittblandingen avgjør hvor fleksibel styreposten blir.	Svakere for ytre påkjenninger enn stål, pga hardheten er lavere enn stål.
Krever ingen endring av tilhørende utstyr.	
Vurdering	Karakter: 5/6

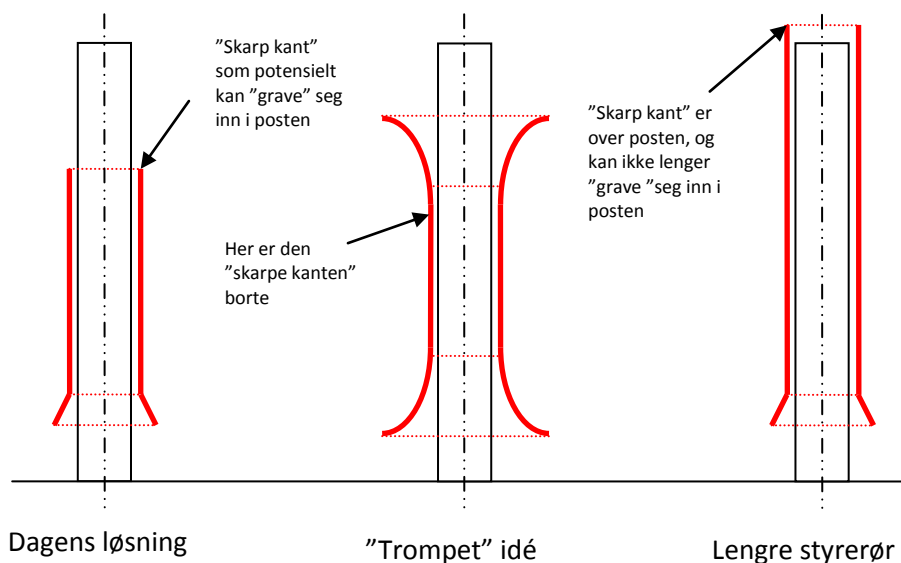
### 7.3 Idé 3 – Endring av styrerør

Dagens styrerør lages med et ordinært rør som blir påsveiset en trakt i den nedre enden, skjøten mellom trakt og rør blir slipt ned, men har fremdeles en "brå overgang". Den øvre enden blir det ofte ikke gjort noe mer med.

Man får inntrykk av at modulene og deres tilhørende styrerør ofte er designet for landing og ikke trekking.

Tanken er at ved å øke svingradiusen på buen slik at den får en form mer lik en trompet, vil en redusere faren for at utstyret man løfter, graver seg inn i styreposten ved trekking. Trykket på kontaktpunktet mellom post og styrerør blir redusert når man øker "kontaktarealet".

Alternativt kan dagens styrerør lages lengre enn selve styreposten, når modulen er landet på plass, vil da styrerørene "stikke" litt lenger opp enn styrepostene. Med dette vil den øvre "skarpe" kanten på styrerøret aldri være i kontakt med selve posten.

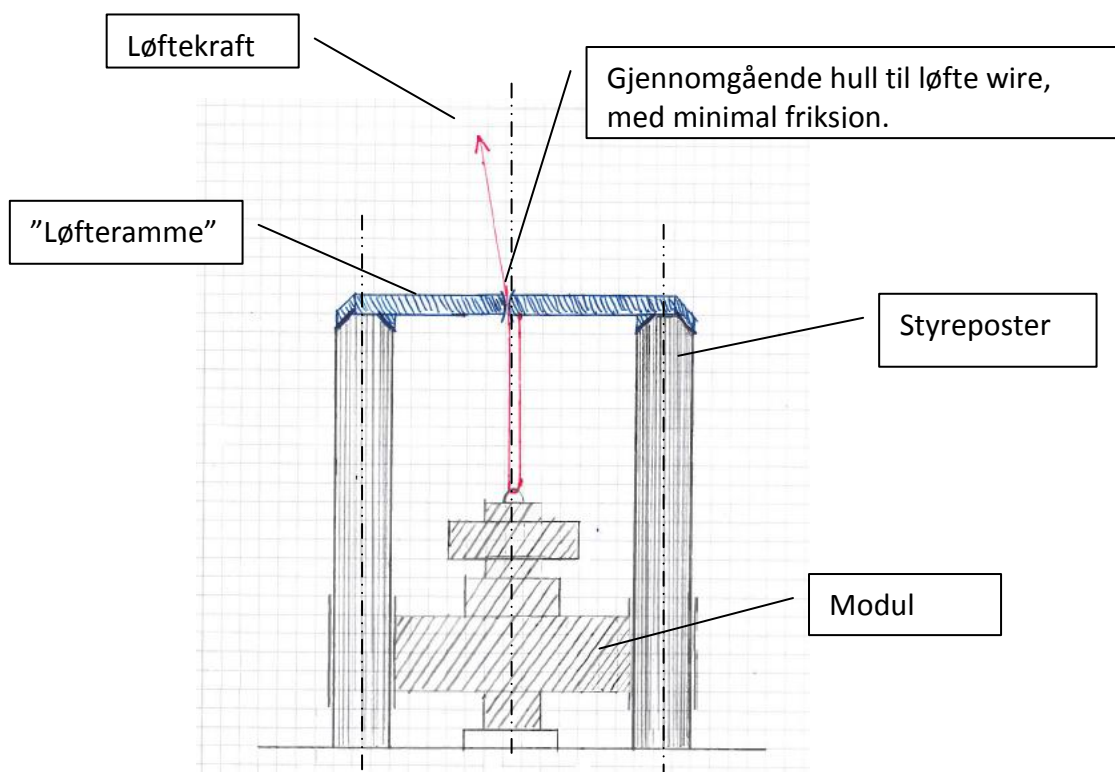


Figur 15: Prinsippskisse endring av styrerør

FORDELER	ULEMPER
Redusere sannsynligheten for at utstyret som løftes graver seg inn i styrepostene.	Ikke IMENCO som lager denne delen.
	Marin begroing kan fortsatt skape problemer.
	Uklart hvor stort problem inngraving er.
Vurdering	Karakter: 3/6

## 7.4 Idé 4 – Nedsenkbar ramme for løft uten skjevinkel

Her er tanken at retningen til løftekraften ikke skal kunne bli feil. Dette vha. en "løfteramme" som tvinger retningen til å være rett opp. Løftewiren går gjennom et passelig lite hull i senter av rammen, videre gjennom en trinse som er festet i selve treet, og så opp i rammen, som vist i modellen. Når man da drar i løftewiren vil retningen alltid bli rett opp, uavhengig av vinkelen på løftekraften. Tyngden til treet vil bli fordelt mellom wiren opp til overflaten og wiren opp i rammen. Dette vil videre spre seg som en trykk kraft på postene.



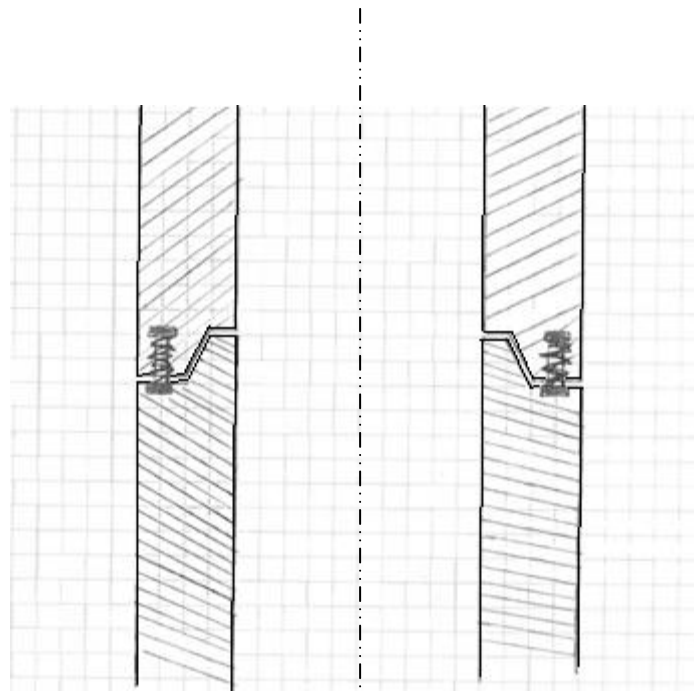
Figur 16: Prinsippskisse nedsenkbar løfteramme

FORDELER	ULEMPER
Trenger ingen endring av styreposter eller tilhørende deler.	Vanskelig å avgjøre om eldre styreposter hadde tålt denne trykkbelastningen.
Kan i teorien brukes på eldre styreposter.	"Guidewire" og tilhørende "anker" kan mest sannsynlig ikke benyttes samtidig som denne løfterammen, pga rammen hadde trengt mest mulig areal på toppen.
Enkelt prinsipp.	
Vurdering	Karakter: 4/6

## 7.5 Idé 5 – Fleksibelt ledd ved bruk av bolter og fjær

Denne ideen går ut på at det lages en skjørt nede på posten i form av et "fjærende ledd" med eventuelt kraftige "tallerkenfjærer" eller forspente bolter. Posten er da spent rett opp når det ikke er noen horisontal belastning. Når en horisontal kraft inntreer vil fjærene på den aktuelle siden bli komprimert og posten bøyer seg. Dette er et velkjent patent som brukes i flere sammenhenger, men passer dårlig i direkte kontakt med det korrosive miljøet på havbunnen.

2D snitt prinsippskisse



Figur 17: Kraftig forenklet skisse av bolte/fjær prinsipp

FORDELER	ULEMPER
Velkjent patent.	Mange små detaljer som er sensitive for korrosjon.
	Ingen kraftig og robust løsning.
	Hvis bolter ryker, så er posten løs.
	Lengden på eventuelle bolter bestemmer fleksibiliteten, lange bolter knekkes lett.
Vurdering	Karakter 2/6

## 7.6 Diskusjon rundt ideene

Når man skal vurdere de forskjellige ideene, må man ta spesielt hensyn til at styrepostene står kontinuerlig under vann, med lite eller ingen tilsyn/vedlikehold. Dette gjør at ideene må fremstå som driftsikre og holdbare.

Det er nettopp dette som gjør at idé 1 og idé 5 ikke er så aktuelle, og får en relativt dårlig "karakter". Når man ikke er helt kjent med alle kreftene som virker på postene, blir det en generell skepsis til ideer som inneholder "svake" komponenter, som for eksempel gummien i idé 1, eller fjærer og bolter i idé 5.

Idé 3 tar utgangspunkt i å beholde det materialet(stål) som styrerørene i dag er laget av, og gjøre endringer i designen av styrerørene. Det som gjør at denne ideen ikke får "toppkarakter" er at ideen detter litt utenfor Imenco sitt produktområde.

Ide 4 er også utenfor Imenco sitt produktområde, men har absolutt potensial som en løsning. Denne konstruksjonen blir jo ikke stående på havbunnen, men bare brukt ved løfting /trekking, og derfor har man ingen problem med lite tilsyn /vedlikehold.

Ide 2, fleksibel midtdel har fått den beste karakteren i denne vurderingen, pga sin enkelhet med ingen løse deler. Andre positive elementer er at ved å bruke denne ideen, kan man beholde topp og bunn av standard styreposter, og dermed bruke tilhørende utstyr som før. Imenco var også mest positiv til denne ideen.

## Kapittel 8: Design av fleksibel midtdel

Som nevnt i forrige kapittel falt valget på "midtdel i fleksibelt materiale"

Etter å ha vurdert oppgaveteksten nøye, og gjennomført flere møter og samtaler med Imenco ble det forstått at det var et sterkt ønske å beholde mye av løsningene som er på dagens eksisterende "Imenco styrepost". Dette på grunn av at det er pålitelige løsninger som er godt utprøvd.

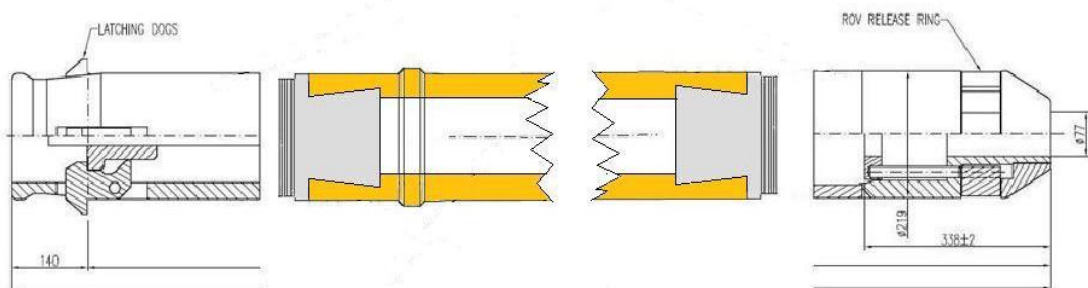
Dette gjaldt spesielt følgende punkt:

- Toppen av styreposten, som inneholder festeanordning til "guidewire- anker", og tilhørende løsning i toppen som også består av en ROV betjent utløsning av posten.
- "Bøtten" som styrepostene står plassert oppi. De er en del av konstruksjonen som står på havbunnen. Det er en standardisert størrelse og utforming på denne "bøtten", og er derfor ikke aktuell å gjøre endringer på.
- Nedre ende av styreposten, den har en spesiell konet utforming, og har også mekanikk i forbindelse med låseklavene som kommer ut av styreposten, disse skal låse styreposten fast i "bøtten".

Ved å fokusere på å beholde og bruke eksisterende gode løsninger er det kommet frem til at den beste løsningen er å beholde topp og bunn av styreposten slik den er i dag. Material valget kan beholdes, med flere fordeler. Stål er vel utprøvd og tilfredsstillende med tanke på både styrke og korrosjon.

Enkelt forklart "kapper" en da av toppen og bunnen av en eksisterende styrepost og erstatter midtdelen med en fleksibel del.

En får da to "skjøter" på styreposten. Den beste og enkleste måten å skjøte posten på ble vurdert til å bli med gjenger. Utvendige gjenger på stålfleksen og innvendige gjenger på ståldelene i bunn og topp.

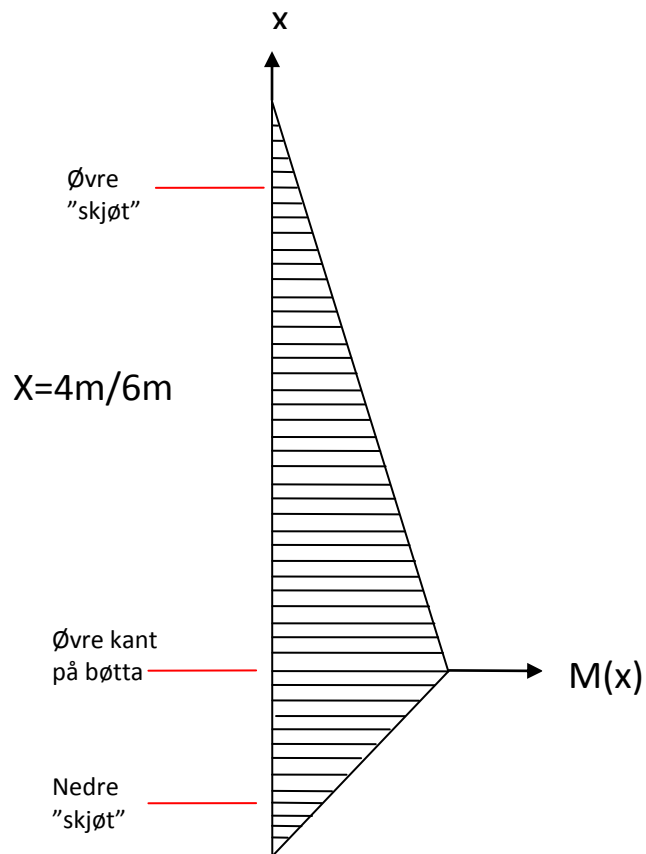


Figur 18: Prinsippkisse fleksibel midtdel



Som man ser av figuren under, så er momentet størst ved øvre kant på bøtta. Skjøtene legges til områder med lavere bøyemoment.

*Momentdiagram hvor skjøtene er tegnet inn:*



Figur 19: Bøymoment diagram

## 8.1 Bruk av eksisterende deler

### Bunn i eksisterende ståldel:

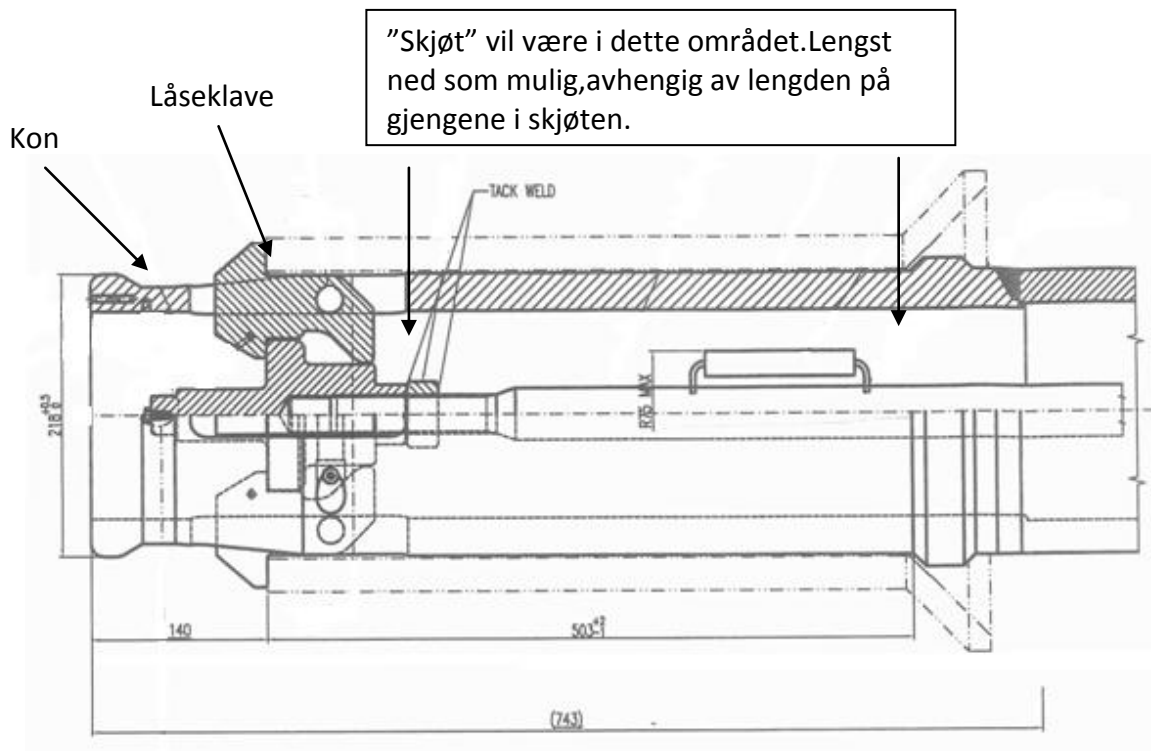
Beskriver her de spesielle detaljene med denne del -komponenten.

#### **Kon**

I enden av posten er det en spesiell konet form for at det skal være lettere å føre posten oppi bøtta ved montering.

#### **Låseklaver**

4 klaver kommer ut fra posten for å låse den fast i bøtten. Låseklavene blir operert via vektstangen av en ROV i toppen av posten.



Bilde 8: Skjøt i bunn av eksisterende styrepost

#### **"Skjøten"**

Skjøten mellom komposittmaterialet og den eksisterende stål enden kan med fordel plasseres som vist på tegningen. Skjøten vil da være utenfor det området med størst bøyemoment. Skjøten vil også få god støtte fra bøtten utenpå. Det dreies innvendige gjenger i stålet, disse gjengene passer sammen med gjengene på stålfensen som er innstøpt i kompositt delen.

#### **Fordeler med denne løsningen**

Ved å velge denne løsningen, vil posten fortsatt være robust ved montering, da den fortsatt har stålgods i bunn. Evnen posten har til å holde seg fast til bøtten er også fortsatt like god som eksisterende poster, da disse delene og tilhørende konstruksjon er som før.

## Topp i eksisterende ståldel:

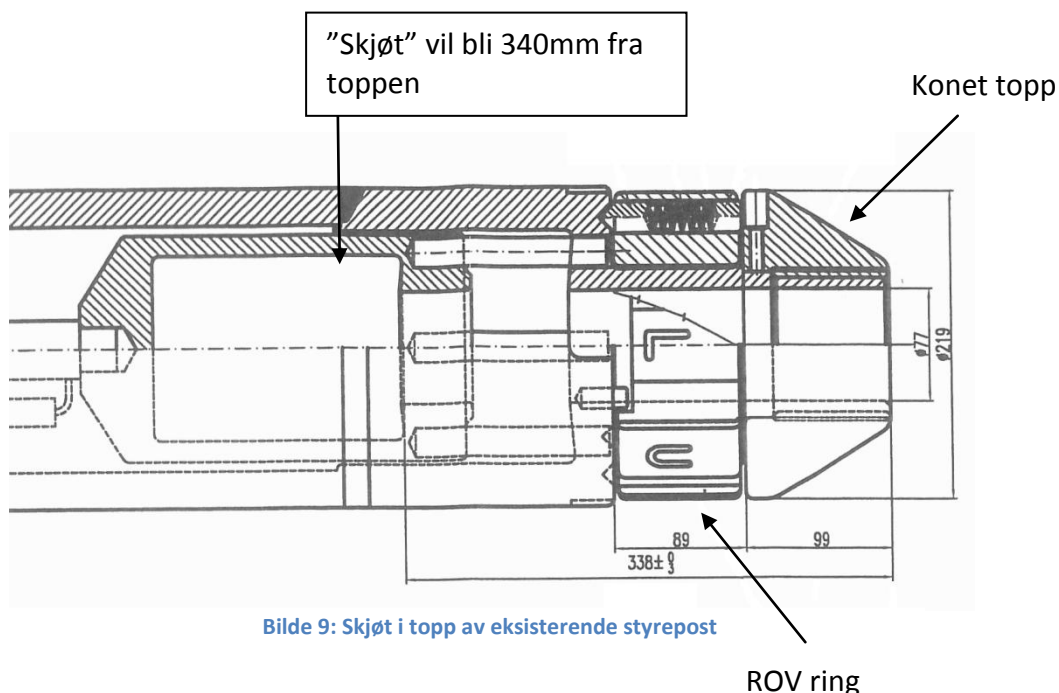
Beskriver her de spesielle detaljene med denne del –komponenten.

### **Konet topp, med hull til "Guidewire anker"**

Den konete toppen er i dag laget av ordinært stål, den har en utforming som er tilpasset Imenco sitt videre tilbehør til styreposter, for eksempel ved forlengelse av styreposter. Hullet i senter og den innvendige konstruksjonen er utformet for å passe sammen med Imenco sine "Guideline anker".

### **ROV operert ring**

Ved å vri på denne ringen vha. en ROV, kommer låseklavene i bunn enten inn eller ut. Som man ser på tegningen er de to forskjellige posisjonene merket L og U, som henholdsvis står for "Lock" og "Unlock".



Bilde 9: Skjøt i topp av eksisterende styrepost

### **"Skjøten"**

Skjøten mellom komposittmaterialet og den eksisterende stål toppen, kan med fordel gjøres på samme plassering som posten i dag har en sveist skjøt. I stedet for å lage til for en sveisefuge, dreier man innvendige gjenger i stålet, disse gjengene passer sammen med gjengene på stålflelsen som er innstøpt i kompositt delen. Skjøten vil også her være utenfor det området med størst bøyemoment.

### **Fordeler med denne løsningen**

Ved å velge denne løsningen, vil posten fortsatt være robust. Spesielt med tanke på landing av moduler, da denne stål toppen er en utprøvd og holdbar løsning. Også med tanke på postens styrke med tanke på "guideline ankeret" er posten fortsatt like god som eksisterende poster, da disse delene og tilhørende konstruksjon er som før.

## ”Guidewire anker”

Her vises guidewire anker som passer sammen med Imenco sine styreposter. Disse blir brukt for å feste guidelines til postene, dette blir gjort ved hjelp av ROV. Ankeret inneholder også en splint som fungerer som det svakeste leddet i ”guidewiren”. Styrken på splinten blir ofte bestemt av havdybden, og størrelsen på utstyret som senkes ned.



All Imenco Guidewire Anchors are ROV releasable, and have as emergency / alternative release with a shear pin arrangement. The Anchors are made from high strength stainless steel and have lifetime exceeding 20 years when normal maintenance is followed. Spare parts and auxiliary equipment available from stock. Documentation and certification.

Bilde 10: Imenco Guidewire anker

## 8.2 Bruk av "nye" deler

Her introduseres de tenkte komponentene og deres design.

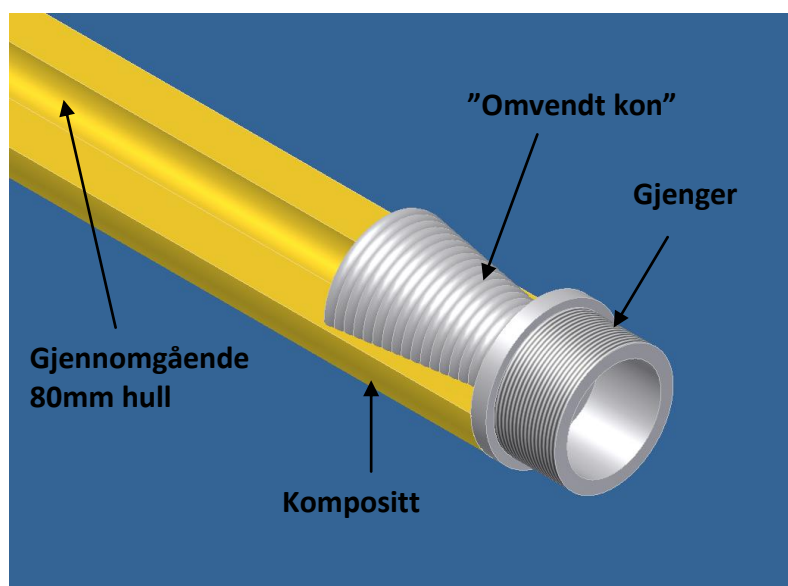
Intensjonen i dette kapittelet var i utgangspunktet å komme med konkrete dimensjoner og styrker. Det ble forsøkt å innlede et samarbeid med både HighComp på Bokn, og Odda plast, men de hadde verken kapasitet eller nødvendig kompetanse til å hjelpe oss. På grunn av dette og vår manglende kompetanse på området, mangler det beregninger i dette kapittelet med tanke på styrke og dimensjoner.

### "Stål / kompositt skjøt"

Denne "skjøten" må tåle tilstrekkelig med strekk som posten vil bli utsatt for, gitt i kravspesifikasjonen. Det foreslås å bruke samme stålmateriale som i topp og bunn delene. Her er det kommet frem til en slags "omvendt- kon" i stål, som støpes inn i kompositten ved fabrikasjon. I tillegg er det en "rillet" overflate på denne konen, utformingen og overflaten er tenkt for å gi best mulig styrke i aksialt strekk. Delen får ytterst et parti med gjenger som passer sammen med de eksisterende topp og bunn delene.

Videre i rapporten er det som nevnt ikke beregninger på dette, og det forutsettes at flensene er sterke nok. Gjengene blir typisk bestemt i samråd med fabrikanten, for å finne fram til en type som er mest praktisk og som er en "standard" dimensjon.

Figur viser hele flensen, og et 180° snitt av kompositt delen.



Figur 20: Inventorskisse I

## "Komplett"

Med en flens i hver ende blir da den fleksible midtdelen seende ut som på figuren under, der lengden er bestemt av hvor høy styrepostene skal være.

Hvis en ønsker samme utbøyning på 4 og 6 meters styreposter ved en gitt kraft, kan ikke kompositt sammensetningen være lik i begge tilfeller. Dette er enkelt forklart på grunn av at utbøyningen er avhengig av blant annet både kraften og lengden.

Figur viser hele delen, med et 180° snitt av kompositt delen, og hele flensene.

A 3D CAD model of a yellow composite shaft. The shaft is long and thin, with a slightly curved appearance. It has two flanges at the ends, one at the top-left and one at the bottom-right. The flanges are silver-colored and have a threaded appearance. The shaft is set against a solid blue background.

Figur 21: Inventorskisse II

46

### 8.3 Kompositt som materiale

Her presenteres en kort beskrivelse av materialet, samt fordeler og ulemper med å bruke det i dette tilfellet.

I følge Husø (2007) er kompositt en kombinasjon av to eller flere ulike materialer. Det sammensatte materiale får bedre egenskaper enn det materialene ville gitt hver for seg. Komposittmaterialer kan videre deles inn i tre forskjellige grupper. De forskjellige gruppene er sandwichkonstruksjoner, partikkelkompositter og fiberkompositter.

Ved design av fleksibel styrepost er det mest aktuelt å benytte fiberkompositter. Fiberkomposittmateriale består vanligvis av en type matrise og en type fiber.

Matrisens hovedoppgave er å binde sammen fibrene. Den skal også overføre og fordele kreftene mellom fibrene, gi en kontinuerlig overflate, beskytte mot ytre krefter og miljøpåkjenninger. De mest brukte matrisematerialene i dag er polyester, vinylester, epoksy, fenol og polyuretan.

Fibrenes oppgave er å bidra med styrke og stivhet. De mest brukte fibrene i fiberkompositt er glassfiber, karbonfiber og aramidfiber alle med sine forskjellige styrker og svakheter.

Fleksibiliteten til en eventuell styrepost i fiberkompositt kan bestemmes av orienteringen på fibrene. Dersom fibrene hadde fulgt lengderetningen på styreposten ville den blitt forholdsvis stiv, men dersom man i stedet legger fibrene  $45^\circ$  på lengderetningen vil posten bli mer bøyelig og fleksibel. Dette er fordi materialet er anisotropt, som vil si at det har forskjellige egenskaper i ulike retninger i motsetning til stål som er isotropt pga. like egenskaper i alle retninger. Konsekvensen av dette er at det stilles større krav til konstruktørene ved design av styreposter.

Ved en eventuell produksjon av en komposittpost er det viktig å overvåke/oppdage poredannelser, inneslutninger, feil i fiberfordeling og orientering, mikrosprekker i matrisen, tykkelsesvariasjoner og fuktighetsinntregning som kan oppstå. Til dette er det utarbeidet gode NDT metoder for å finne eventuelle skader og defekter i materialene. De mest brukte metodene er visuell inspeksjon, radiografi, ultralyd og akustisk emisjon (påføring av last for å produsere lydbølger som relateres til ulike skademekanismer).

## **Fordeler med kompositt**

Den største fordelen med komposittmateriale er at man gjennom prøving og feiling kan komme frem til "skreddersydde" mekaniske egenskaper, ved å variere fiber/matrise forhold og fiberorienteringen. Dette betyr at man i teorien skal kunne lage en styrepost som flekser mer enn en stålpost uten at den blir varig deformert. Man skal også kunne bestemme hvor store krefter som skal til før fleksingen starter.

Det har også vist seg at kompositt har god korrosjonsresistens som igjen kan bety mindre behov for vedlikehold. Dersom behovet for vedlikehold er mindre enn for tradisjonelle stål styreposter, kan dette brukes til å forsvare høyere materialkostnader. Lang levetid blir også trukket frem som en fordel. I Sintef rapport, STF80MK A06301 er det skrevet at undervannskonstruksjoner av kompositt typisk kan ha en levetid på 20 – 25 år og i ekstreme tilfeller opp til 50 år.

## **Ulemper med kompositt**

Selv om det finnes fordeler som taler for bruken av komposittmateriale, er det viktig også å se på hvilke ulemper som finnes. I følge den samme rapporten er noen av ulempene blant annet at det er vanskelig å få tak i materialdata. Det finnes nesten uendelig mange måter å blande ulike materialer sammen på, og da finnes det like mange sett med forskjellige materialeegenskaper.

Videre er det mangel på standarder og retningslinjer for design og dimensjonering med kompositt sammenlignet med tradisjonelle materialer. Kunnskapen og tillitten til kompositt blant de som skal bruke det og også blant ingeniørene er begrenset, og kostnadene blir ofte høyere sammenlignet med stål, pga. materialprisene og produksjonsmetodene er dyrere.

Ellers kan det nevnes at testing med hensyn til utmatting, siging og spenningsbrudd i det undervannsmiljøet som styrepostene skal befinne seg i ikke er lett å simulere. Det er vanskelig å se for seg at det finnes noe standardprodukt på markedet i dag som kan brukes og da vil en måtte regne med en lang testperiode før postene kan godkjennes sett fra et sikkerhetsperspektiv. [5] [6]



## Kapittel 9: Avsluttende diskusjon

Styreposter til undervannskonstruksjoner er blitt brukt i over 40 år, og verken materialvalg eller designen har endret seg mye. Hvis man har en litt kritisk innstilling til de fleksible styrepostene, kan man stille seg noen spørsmål. Hvis behovet for fleksible styreposter hadde vært stort nok (sett bort fra Vasshellas prototype), hadde nok produktet allerede vært på markedet?

Problemstillingen med at modulene setter seg fast har ikke alltid vært like aktuell. Problemet har kommet i senere tid, i takt med at løfteoperasjonene skjer med stadig mindre overflatefartøy, og det blir mer og mer vanlig å løfte med wire. Tidligere brukte man store rigger ved slike operasjoner, og man løftet vha. borestrengen. Store rigger ligger mye mer stabilt i vannet, og man har da et mye bedre utgangspunkt for et "vellykket løft". Borestrengen som man da løfter med, er betydelig mye stivere enn en wire. Dette medfører at skjevinkelen mellom retningen på "løftet", og den vertikale retningen på utstyret ikke blir så lett stor.

At operasjonene blir utført av "mindre" enskrogs fartøy er totalt sett en positiv trend, flere operasjoner kan kombineres, og man har "backup" med flere fartøyer som er skikket til et slikt oppdrag. Ved bruk av enskrogs fartøy sparer man både tid, personell og brensel, og dermed miljøet. Kostnadene blir også betydelig lavere. Så denne trenden er nok kommet for å bli. [1]

Det store spørsmålet er da. Når man byttet både fartøy og løfteredskap, ble prosedyrene tilstrekkelig endret?

Man kan kanskje bruke en slags løftemodul, som gjør at man får et mye jevnere og bedre løft av styrepostene. Det kan muligens også hjelpe med å utføre en spyle operasjon vha. ROV før man løfter. Hvis man hadde spylt med vann i klaringen mellom styrerøret på modulen og styreposten, hadde man kanskje gjort modulen lettere å trekke av med tanke på marin begroing og avleiringer av korrosjoner.

Ved hjelp av å ta i bruk slike ideer, kunne man gjerne ha utarbeidet en "løfteprosedyre" som kunne minimert hele problemet.

## 9.1 Alternativ løsning av problemstillingen

Som et resultat av likevektsbetraktningen i kapittel 4, og ideer i kapittel 7, kan muligens problemstillingen løses ved hjelp av å gjøre mindre designendringer på modulene og deres styrerør.

Hvis man får til en riktig kombinasjon av endringene og ideene, ville gjerne hele problemet med "låsing" blitt så lite, at endring av dagens ordinære styreposter er helt unødvendig.

### Forslag:

Man får inntrykk av at modulene og deres tilhørende styrerør ofte er designet for landing og ikke trekking. Ingeniørene som designer undervannsmodulene, skulle hele tiden "hatt i bakhodet" at modulene også skal være "lette" å trekke av. Dette kunne de gjort ved blant annet;

- ❖ Holde tyngdepunkt og løftepunkt nærmest mulig hverandre i geometri designen.
- ❖ Ved design av styrerørene, bør en ha en lengst mulig lengde, gjerne litt lengre enn posten. Ved lengre styrerør, minskes den fysiske mulige skjervinkelen, som modulen kan få i forhold til postene.
- ❖ Eventuelt hvis lengden til styrerørene ikke kan økes, ha en mer "kontakt- vennlig" overflate på endene til styrerøret (trompet idé)

I tillegg kan man bruke en form for løfteramme som beskrevet i *idè 4, kapittel 7*, og fått til et 100 % vertikalt løft. Man kunne også brukt et "ROV operert spyleverktøy" for å spyle gjennom styrerørene, før man begynner løftet.

## Kapittel 10: Oppsummering

Oppgaven omhandlet studier på eksisterende poster, samt vurdering av parametere som påvirker "problemet". Videre en konkret design av en fleksibel styrepost.

Vi har prøvd å holde oss litt konservativ i løsning av oppgaven, ettersom de eksisterende styrepostene har vært i bruk i lang tid, og at problemet ikke er så veldig stort (ref. Arne Kinn). På grunn av dette har vi fokusert en del på studier om den eksisterende styreposten, og forsøkt å finne noen av årsakene til "problemet".

Når vi ser tilbake på oppgaven er det en del ting vi kunne gjort annerledes, selve arbeidet med likevektsbetraktningen kunne ha startet tidligere, slik at vi kunne kommet enda lengre med resultatet. Vi kunne også begynt tidligere for å finne hjelp til dimensjonering av kompositt alternativet. Det gikk en del tid i venting på hjelp fra bedrifter med komposittkompetanse som var lovet, men som aldri kom.

Hvis ideen med en fleksibel midtdel i kompositt skal tas i bruk, krever dette videre ingeniørarbeid. Da må man blant annet gjennomføre grundige kompositt- beregninger av eksperter på området, i tillegg bør en prototype testes grundig.

Subjektivt mener vi at fleksible styreposter kan muligens løse mye av problemstillingen. Men med å bytte ut dagens "stålposter" tar man en viss risiko med å ta i bruk et materiale som ikke er like forutsigbart, og godt utprøvd som stål. Konsekvensen av at styreposter i for eksempel kompositt skulle feile, kan bli veldig store. Det kan i verste fall medføre mange problemer og kan sette hele sikkerheten til olje/gass utvinningen på spill.

Nettopp på grunn av dette, synes gruppen at det mest realistiske og beste løsningen av problemet er som nevnt i kapittel 9.1.

## Kildehenvisninger

### Bideliste

Bilde på forsiden

[[http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product\\_inline2&b\\_kid=324375&b\\_id=326667](http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product_inline2&b_kid=324375&b_id=326667)]

Bilde 1: Imenco sitt hovedkontor i Haugesund ..... 5

[[http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product\\_inline2&b\\_kid=324375&b\\_id=326667](http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product_inline2&b_kid=324375&b_id=326667)]

Bilde 2: Imenco sine produktområder ..... 5

[<http://imenco.no/index.cfm?id=184987>]

Bilde 3: “Top-releasable” styrepost..... 7

[[http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product\\_inline2&b\\_kid=324375&b\\_id=326667](http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product_inline2&b_kid=324375&b_id=326667)]

Bilde 4:”Bottom-releasable” styrepost ..... 8

[[http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product\\_inline2&b\\_kid=324375&b\\_id=326667](http://imenco.no/index.cfm?tpl=butikk&a=product_inline2&b_kid=324375&b_id=326667)]

Bilde 5: Vasshella fleksible styreposter..... 9

[<http://vasshella.no/>]

Bilde 6: Innfestning til Vasshella prototype ..... 9

[[http://www.offshore.no/sak/Lanserer\\_fleksibel\\_guide\\_post](http://www.offshore.no/sak/Lanserer_fleksibel_guide_post)]

Bilde 7: PGB oppsett med dimensjoner ..... 23

[ISO 13628-4:2010]

Bilde 8 ..... 42

Imenco styrepost tegning

Bilde 9 ..... 43

Imenco styrepost tegning

Bilde 10 .....	44
----------------	----

[[http://imenco.no/index.cfm?tmpl=butikk&a=product\\_inline2&b\\_kid=324375&b\\_id=326606](http://imenco.no/index.cfm?tmpl=butikk&a=product_inline2&b_kid=324375&b_id=326606)]

## Figur- og diagramliste

*Figurer og diagrammer er egenproduserte*

Figur 1: Prinsippskisse av "guidewire system" sett fra siden.....	3
Figur 2: Kraftbilde med krefter, lengder og vinkler. ....	10
Figur 3: "Screenshot" av Excel regneark .....	14
Figur 4: Skisse av fast innspent rør .....	26
Figur 5: Skisse som illustrerer utbøyning.....	28
Figur 6: Skissert bøyemoment diagram av styreposten.....	29
Figur 7: Inngangsparametere (4000mm).....	30
Figur 8: Spenningene i delen (4000mm) .....	31
Figur 9: Horisontal utbøyning (4000mm) .....	31
Figur 10: Inngangsparametere (6000mm).....	32
Figur 11: Spenningene i delen (6000mm) .....	33
Figur 12: Horisontal utbøyning (6000mm) .....	33
Figur 13: Snitt av foring med gummistriper.....	34
Figur 14: "Top-releaseable" styrepost med "ny" midtdel .....	35
Figur 15: Prinsippskisse endring av styrerør .....	36
Figur 16: Prinsippskisse nedsenkbar løfteramme.....	37
Figur 17: Kraftig forenklet skisse av bolte/fjær prinsipp .....	38
Figur 18: Prinsippskisse fleksibel midtdel .....	40
Figur 19: Bøyemoment diagram.....	41
Figur 20: Inventorskisse I.....	45
Figur 21: Inventorskisse II.....	46
Diagram 1: Nødvendig $\mu_1$ for $F_1$ sin gitte størrelse, som funksjon av løftevinkel ( $\beta$ ).....	16
Diagram 2: Nødvendig løftekraft som funksjon av plasseringen av tyngdepunktet. ....	17
Diagram 3: Nødvendig løftekraft som funksjon av plasseringen av løftepunktet.....	18
Diagram 4: Nødvendig løftekraft som funksjon av lengden på styrerør / vinkelen $\alpha$ .....	19

## Bakgrunnsstoff

- [1] **Lindaas, Jens Chr.** (2002) *Kompendium i PR080 Undervannsteknologi*, HSH
- [2] **Imenco.** (u.å.). Hentet fra <http://imenco.no/index.cfm?id=184995>
- [3] **Imenco.** (u.å.). Hentet fra [http://imenco.no/index.cfm?tmpl=butikk&a=product\\_inline2&b\\_kid=324375&b\\_id=326667](http://imenco.no/index.cfm?tmpl=butikk&a=product_inline2&b_kid=324375&b_id=326667)
- [4] **Offshore TV.** (2010). Hentet fra [http://www.offshore.no/sak/Lanserer\\_fleksibel\\_guide\\_post](http://www.offshore.no/sak/Lanserer_fleksibel_guide_post)
- [5] **Husø, Øyvind.** (2005). *Materialer. Teknologi og anvendelser*. Oslo, HiO: Kopinor.

- [6] **Stokke Reidar [et al.]**. (2006). *State of the art – Ikke metalliske materialer inkludert sammenføring* (SINTEF-rapport STF80MK A06301). Oslo: SINTEF Materialer og kjemi.

## Formelsamling

**Pedersen Svein Erik [et al.]** Teknisk formelsamling med tabeller [Bok]. - Oslo : Universitetsforlaget AS, 1998. - 7. utgave. - 82-00-42450-2.

*Følgende formler er tatt ut fra formelsamling: (4.5) (6.1) (6.2) (6.4) (6.7) (6.8)*

## Standarder

**International Organization for Standardization.** (2010). *Petroleum and natural gas industries -- Design and operation of subsea production systems -- Part 4: Subsea wellhead and tree equipment* (ISO 13628-4).

**NORSOK Standardization Work Group.** (1995). *Subsea Structures and Piping System* (U-CR-001, rev. 1)

**NORSOK Standardization Work Group.** (1994). *Subsea Christmas Tree Systems* (U-CR-003, rev.1)

**NORSOK Standardization Work Group.** (1994). *Subsea Colour and Marking* (U-CR-008, rev.1)

## Vedlegg

Vedlegg A: Detaljtegninger

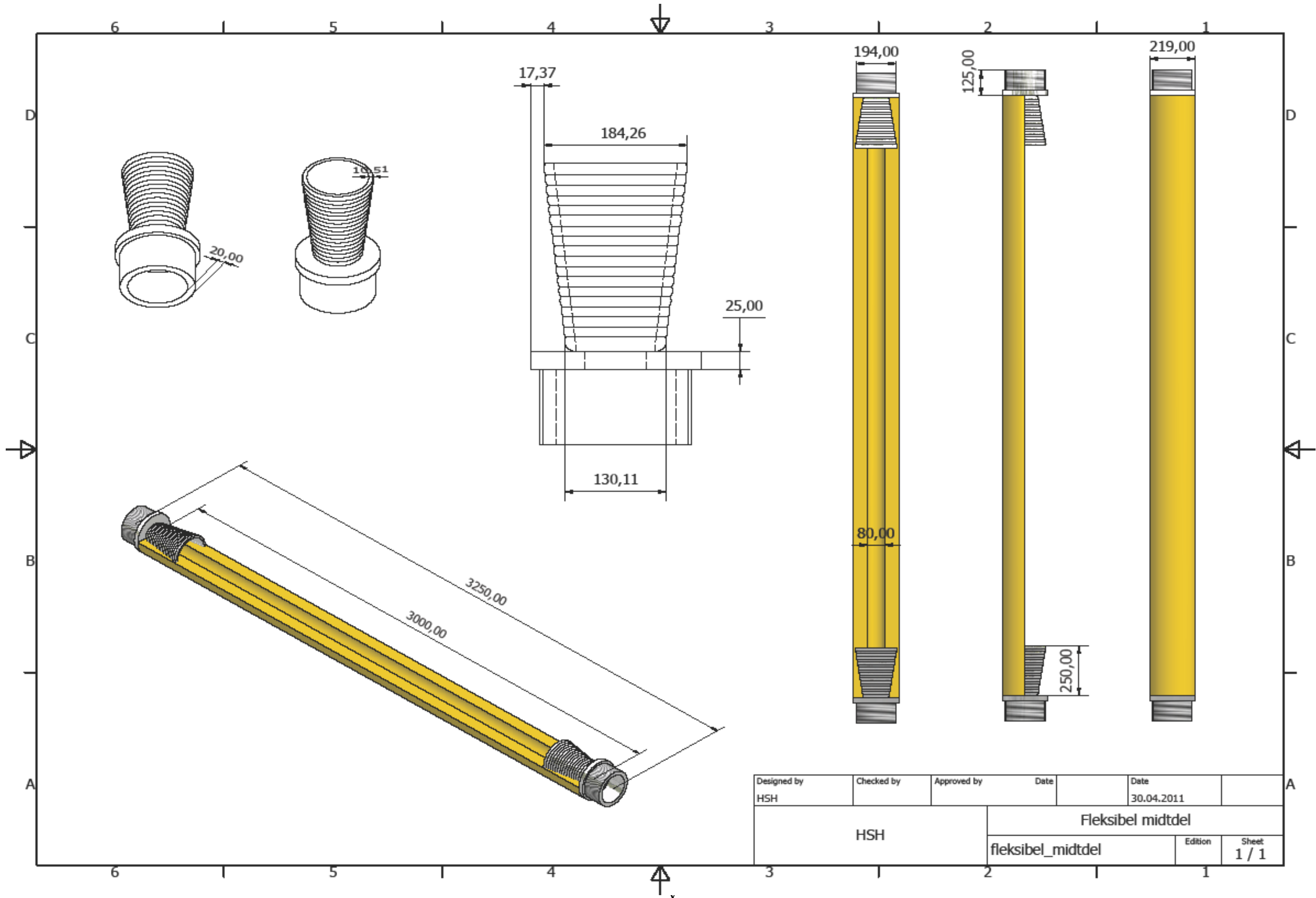
Vedlegg B: ANSYS rapporter

Vedlegg C: Datablader Imenco

Vedlegg D: Datablader Vasshella

Vedlegg E: Bilder

## **Vedlegg A: Detaljtegninger**



Designed by HSH	Checked by	Approved by	Date	Date 30.04.2011
HSH			Flexibel midtdel	
flexibel_midtdel			Edition	Sheet 1 / 1



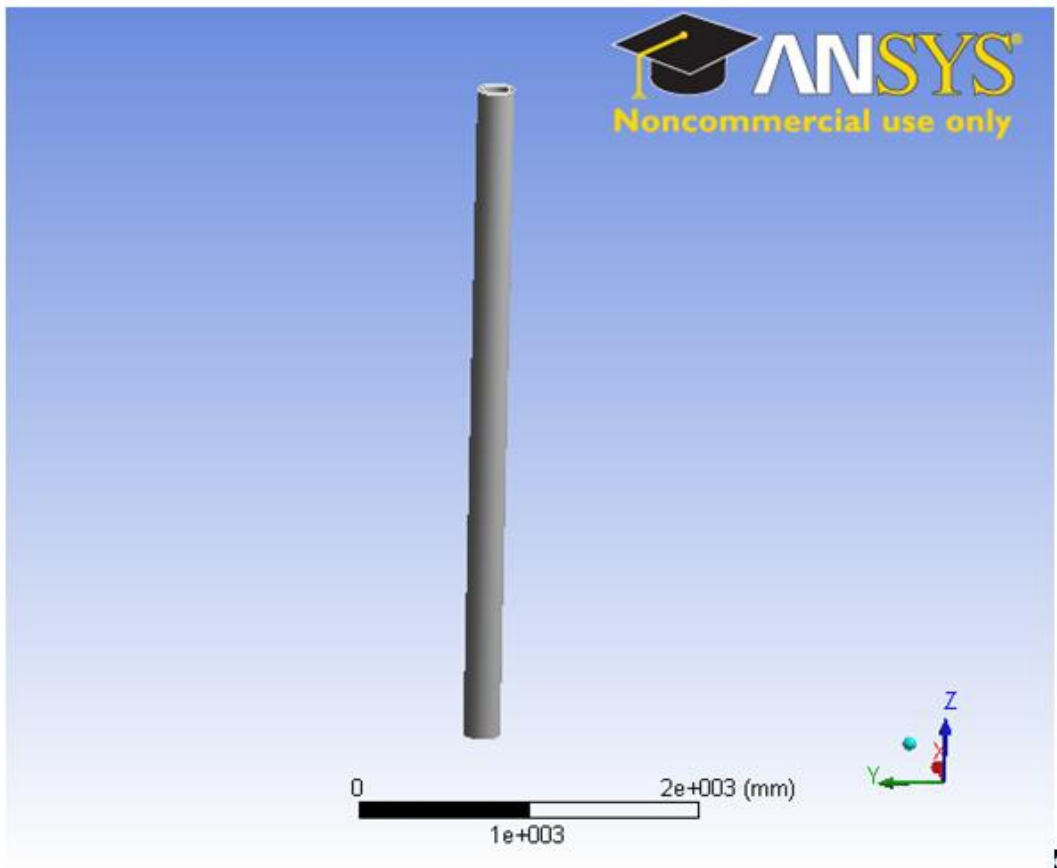
## **Vedlegg B: ANSYS rapporter**

4000mm



## Project

First Saved	Monday, April 04, 2011
Last Saved	Wednesday, April 06, 2011
Product Version	13.0 Release



## Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [rør\\_4000mm.ipt](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
  - [Static Structural \(A5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(A6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)	Degrees rad/s Celsius
Angle		Degrees
Rotational Velocity		rad/s
Temperature		Celsius

## Model (A4)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	H:\privat\hovedoppgave\innledende beregninger\rør_4000mm.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Part Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	219, mm
Length Y	219, mm
Length Z	4000, mm
<b>Properties</b>	
Volume	6,0947e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	478,43 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	47424

Elements	6752
Mesh Metric	None
<b>Preferences</b>	
Import Solid Bodies	Yes
Import Surface Bodies	Yes
Import Line Bodies	No
Parameter Processing	Yes
Personal Parameter Key	DS
CAD Attribute Transfer	No
Named Selection Processing	No
Material Properties Transfer	No
CAD Associativity	Yes
Import Coordinate Systems	No
Reader Save Part File	No
Import Using Instances	Yes
Do Smart Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Documents and Settings\129138\Local Settings\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>rør_4000mm.ipt</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	219, mm
Length Y	219, mm
Length Z	4000, mm
<b>Properties</b>	
Volume	6,0947e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	478,43 kg
Centroid X	4,3925e-006 mm
Centroid Y	8,872e-015 mm
Centroid Z	2000, mm
Moment of Inertia Ip1	6,3168e+008 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	6,3168e+008 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	4,4032e+006 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	

Nodes	47424
Elements	6752
Mesh Metric	None

## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

## Mesh

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	-29
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	High
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Minimum Edge Length	530,930 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)

Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	47424
Elements	6752
Mesh Metric	None

## Static Structural (A5)

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Calculate Stress	Yes

Calculate Strain	Yes
Calculate Contact	No
Calculate Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	H:\privat\hovedoppgave\rør_4000mm_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Force</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
<b>Definition</b>		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0, N (ramped)	
Y Component	56000 N (ramped)	
Z Component	0, N (ramped)	
Suppressed	No	

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force**



**Solution (A6)**

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Directional Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	



Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Directional Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Orientation	Y Axis	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Results		
Minimum	1,4361 MPa	-3,0889e-003 mm
Maximum	355,1 MPa	78,218 mm
Information		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

## Material Data

### Structural Steel

**TABLE 12**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7.85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

**TABLE 13**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa	0
-----------------------------------	---

**TABLE 14**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa	355
--------------------------------	-----

**TABLE 15**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa	355
----------------------------	-----

**TABLE 16**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa	510
-------------------------------	-----

**TABLE 17**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22

**TABLE 18**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

**TABLE 19**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

**TABLE 20**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.1e+005	0.3	1.75e+005	80769

**TABLE 21**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

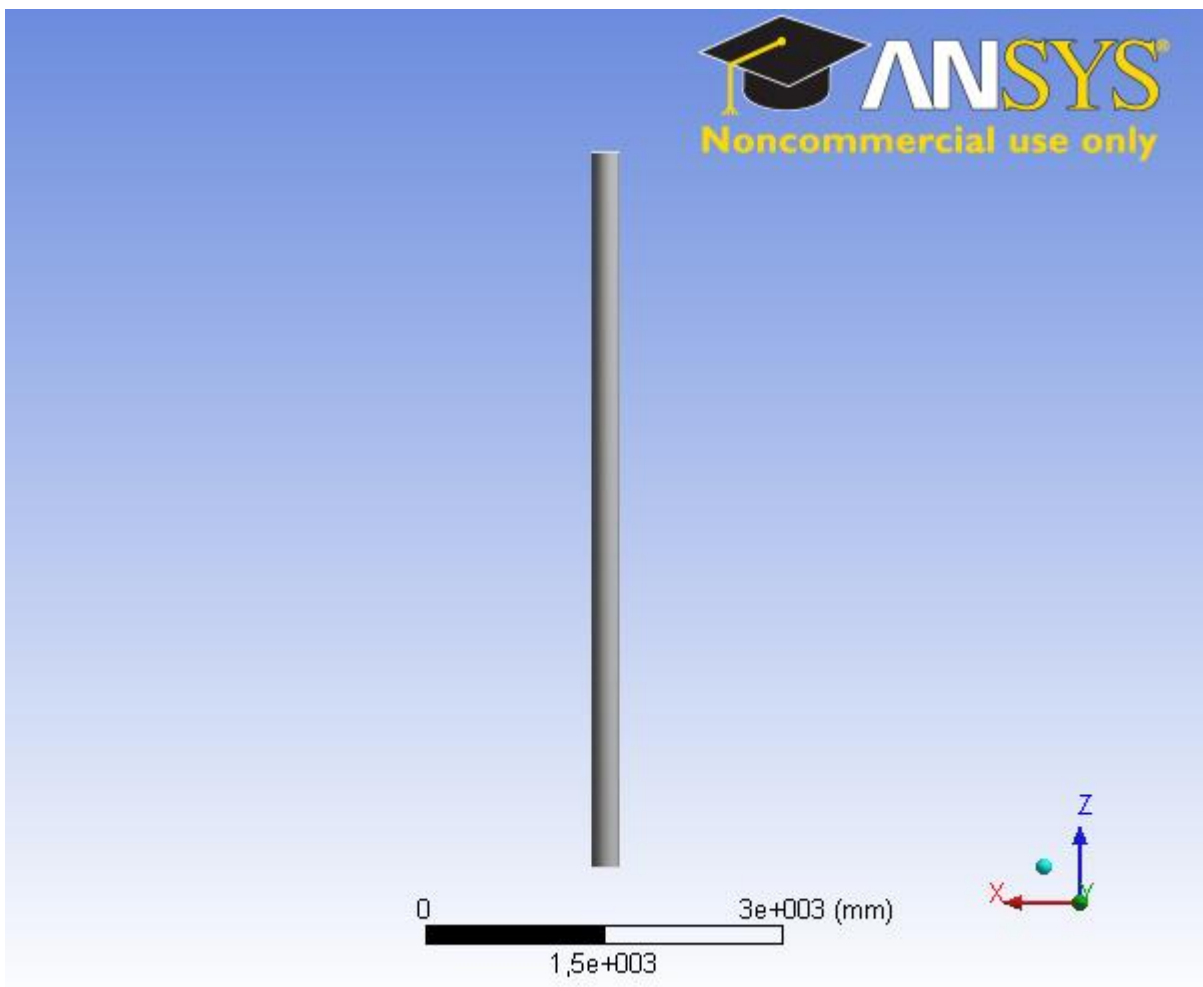
Relative Permeability
10000

6000mm



## Project

First Saved	Wednesday, April 06, 2011
Last Saved	Wednesday, April 06, 2011
Product Version	13.0 Release



## Contents

- [Units](#)
- [Model \(A4\)](#)
  - [Geometry](#)
    - [rør\\_6000mm.ipt](#)
  - [Coordinate Systems](#)
  - [Mesh](#)
  - [Static Structural \(A5\)](#)
    - [Analysis Settings](#)
    - [Loads](#)
    - [Solution \(A6\)](#)
      - [Solution Information](#)
      - [Results](#)
- [Material Data](#)
  - [Structural Steel](#)

## Units

**TABLE 1**

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA)	Degrees rad/s Celsius
Angle		Degrees
Rotational Velocity		rad/s
Temperature		Celsius

## Model (A4)

### Geometry

**TABLE 2**  
**Model (A4) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	H:\privat\hovedoppgave\innledende beregninger\rør_6000mm.ipt
Type	Inventor
Length Unit	Centimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Part Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	219, mm
Length Y	219, mm
Length Z	6000, mm
<b>Properties</b>	
Volume	9,142e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	717,65 kg
Scale Factor Value	1,
<b>Statistics</b>	
Bodies	1
Active Bodies	1
Nodes	64122

Elements	10701
Mesh Metric	None
<b>Preferences</b>	
Import Solid Bodies	Yes
Import Surface Bodies	Yes
Import Line Bodies	No
Parameter Processing	Yes
Personal Parameter Key	DS
CAD Attribute Transfer	No
Named Selection Processing	No
Material Properties Transfer	No
CAD Associativity	Yes
Import Coordinate Systems	No
Reader Save Part File	No
Import Using Instances	Yes
Do Smart Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Documents and Settings\129138\Local Settings\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

**TABLE 3**  
**Model (A4) > Geometry > Parts**

Object Name	<i>rør_6000mm.ipt</i>
State	Meshed
<b>Graphics Properties</b>	
Visible	Yes
Transparency	1
<b>Definition</b>	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
<b>Material</b>	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
<b>Bounding Box</b>	
Length X	219, mm
Length Y	219, mm
Length Z	6000, mm
<b>Properties</b>	
Volume	9,142e+007 mm <sup>3</sup>
Mass	717,65 kg
Centroid X	5,9302e-015 mm
Centroid Y	-1,6173e-015 mm
Centroid Z	3000, mm
Moment of Inertia Ip1	2,1222e+009 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	2,1222e+009 kg·mm <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	6,5024e+006 kg·mm <sup>2</sup>
<b>Statistics</b>	

Nodes	64122
Elements	10701
Mesh Metric	None

## Coordinate Systems

**TABLE 4**  
**Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System**

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0,
<b>Origin</b>	
Origin X	0, mm
Origin Y	0, mm
Origin Z	0, mm
<b>Directional Vectors</b>	
X Axis Data	[ 1, 0, 0, ]
Y Axis Data	[ 0, 1, 0, ]
Z Axis Data	[ 0, 0, 1, ]

## Mesh

**TABLE 5**  
**Model (A4) > Mesh**

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
<b>Sizing</b>	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Fine
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Fine
Minimum Edge Length	530,930 mm
<b>Inflation</b>	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0,272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
<b>Advanced</b>	
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)

Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
<b>Defeaturing</b>	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
<b>Statistics</b>	
Nodes	64122
Elements	10701
Mesh Metric	None

## Static Structural (A5)

**TABLE 6**  
**Model (A4) > Analysis**

Object Name	<i>Static Structural (A5)</i>
State	Solved
<b>Definition</b>	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
<b>Options</b>	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

**TABLE 7**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Step Controls</b>	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	Program Controlled
<b>Solver Controls</b>	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
<b>Restart Controls</b>	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
<b>Nonlinear Controls</b>	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
<b>Output Controls</b>	
Calculate Stress	Yes

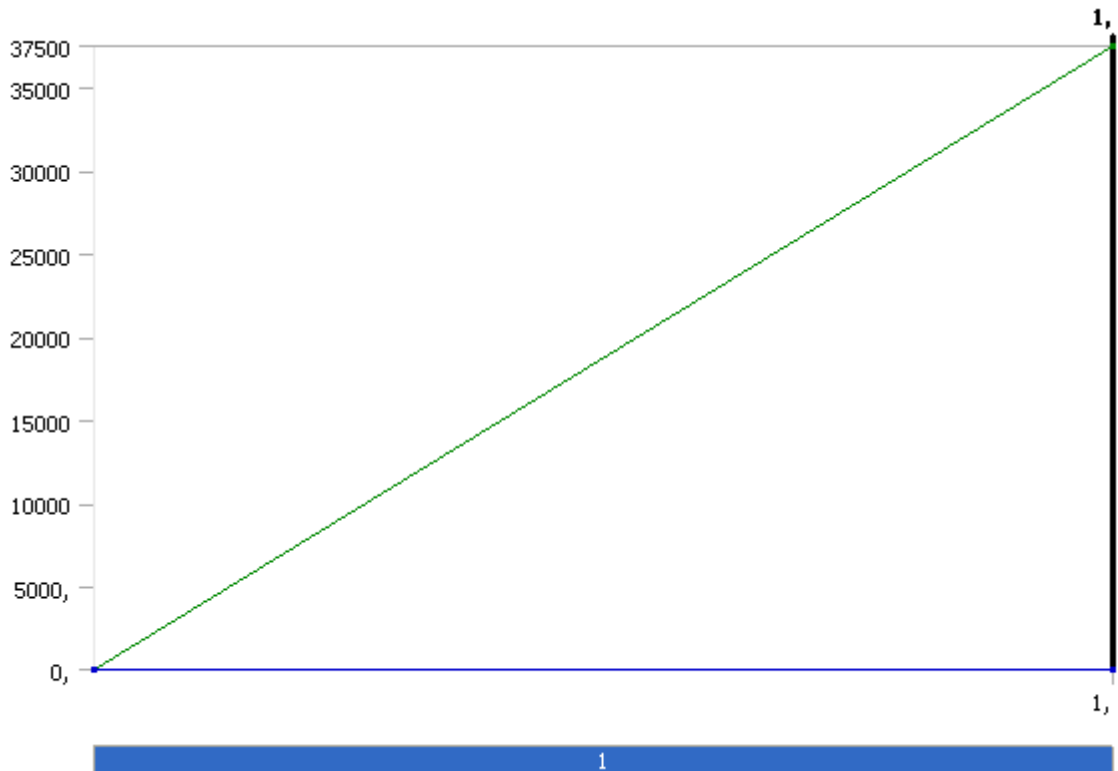
Calculate Strain	Yes
Calculate Contact	No
Calculate Results At	All Time Points
<b>Analysis Data Management</b>	
Solver Files Directory	H:\privat\hovedoppgave\rør_6000mm_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	nmm

**TABLE 8**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Force</i>	<i>Fixed Support</i>
State	Fully Defined	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	1 Face	
<b>Definition</b>		
Type	Force	Fixed Support
Define By	Components	
Coordinate System	Global Coordinate System	
X Component	0, N (ramped)	
Y Component	37500 N (ramped)	
Z Component	0, N (ramped)	
Suppressed	No	

**FIGURE 1**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Force**





**Solution (A6)**

**TABLE 9**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution**

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
<b>Adaptive Mesh Refinement</b>	
Max Refinement Loops	1,
Refinement Depth	2,
<b>Information</b>	
Status	Done

**TABLE 10**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All

**TABLE 11**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Directional Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	

Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Directional Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Orientation	Y Axis	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Results		
Minimum	0,69602 MPa	-3,5244e-003 mm
Maximum	352,97 MPa	185,31 mm
Information		
Time		1, s
Load Step		1
Substep		1
Iteration Number		1

## Material Data

### Structural Steel

**TABLE 12**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7.85e-006 kg mm <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

**TABLE 13**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength MPa	0
-----------------------------------	---

**TABLE 14**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength MPa	355
--------------------------------	-----

**TABLE 15**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength MPa	355
----------------------------	-----

**TABLE 16**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength MPa	510
-------------------------------	-----

**TABLE 17**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22

**TABLE 18**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress MPa	Cycles	Mean Stress MPa
3999	10	0
2827	20	0
1896	50	0
1413	100	0
1069	200	0
441	2000	0
262	10000	0
214	20000	0
138	1.e+005	0
114	2.e+005	0
86.2	1.e+006	0

**TABLE 19**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient MPa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient MPa	Cyclic Strain Hardening Exponent
920	-0.106	0.213	-0.47	1000	0.2

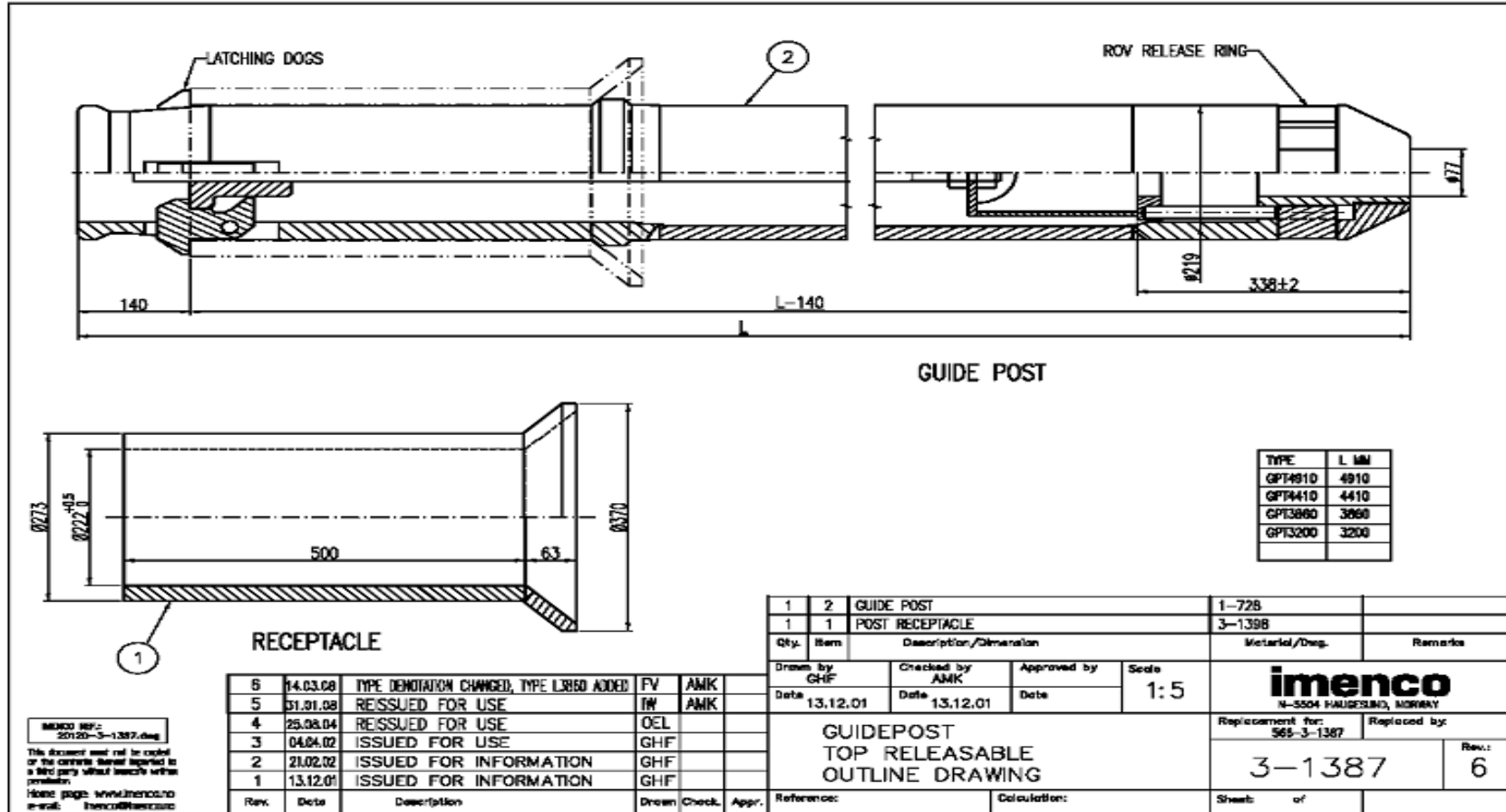
**TABLE 20**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

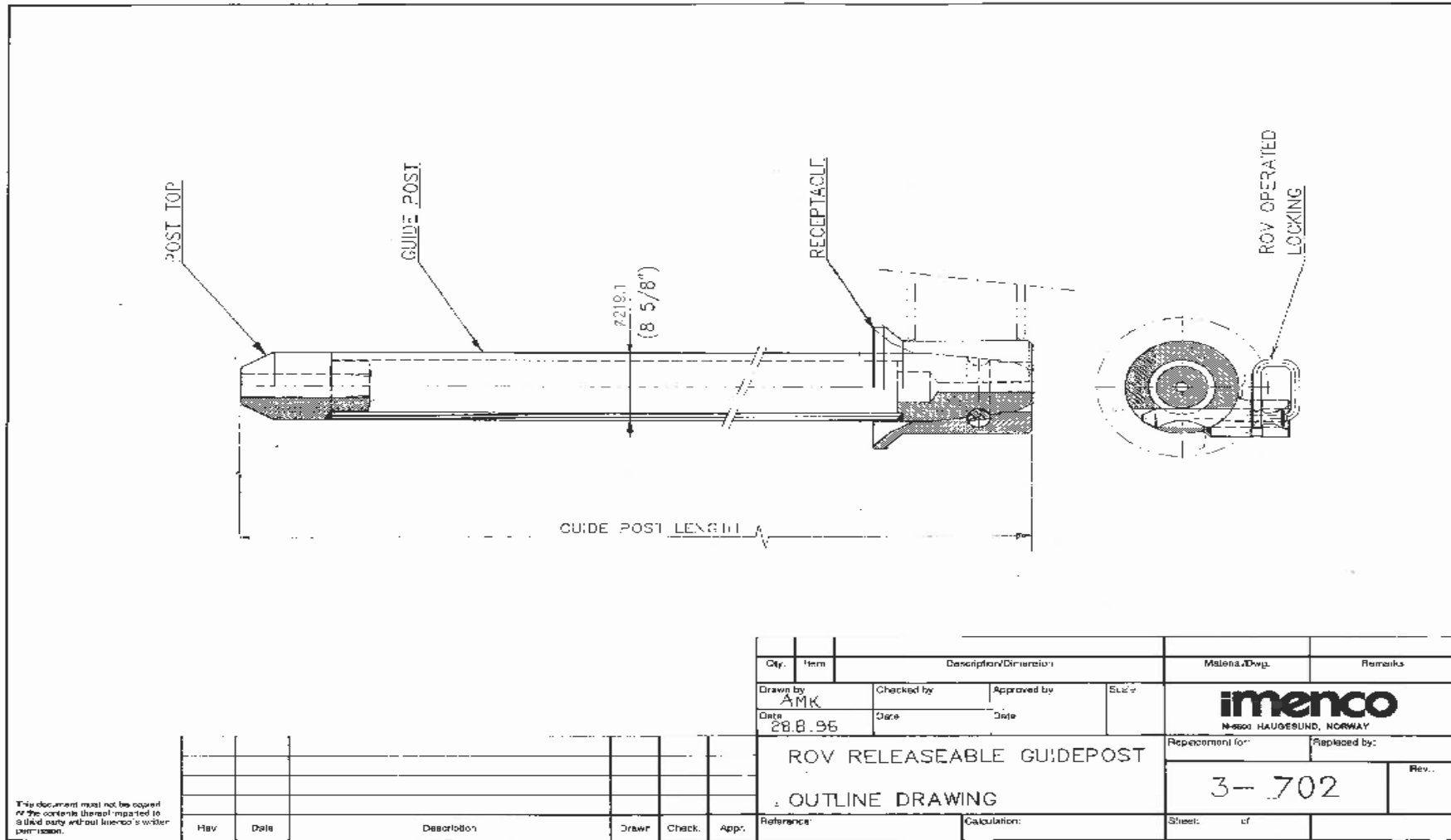
Temperature C	Young's Modulus MPa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus MPa	Shear Modulus MPa
	2.e+005	0.3	1.6667e+005	76923

**TABLE 21**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000

## Vedlegg C: Datablader Imenco





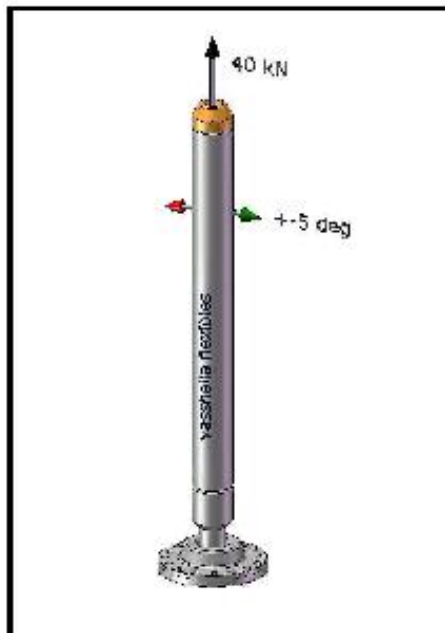
## **Vedlegg D: Datablader Vasshella**

## Vasshella Flexible Guide Post for BOP

- Reduces risk for jamming and broken guideposts
- Ensures safe landing of LMRP on lower stack



- Designed and built according to DnV OS-E101 cat II equipment
- For slim line guide wire anchor,  $\varnothing 78\text{mm}$  hole trough (Wepeco, Imenco)
- Deflects 5 degrees in all directions for 5 degrees angle on the lower flex joint during EQD
- For 40 kN tension in guide wire anchor during landing
- For 15K lbs shear pins in guide wire anchor
- User specified interface on BOP
- Patent pending



vasshella as - bergveien 27 - 3057 solbergelva - [www.vasshella.no](http://www.vasshella.no)





## Vedlegg E: Bilder

Bilder fra ekskursjon til Imenco sitt verksted i Grinde

