

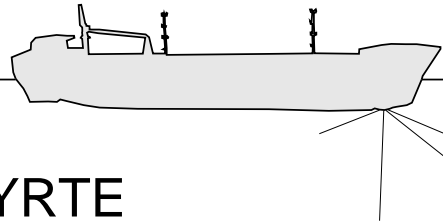
Prosjektoppgave

NTNU

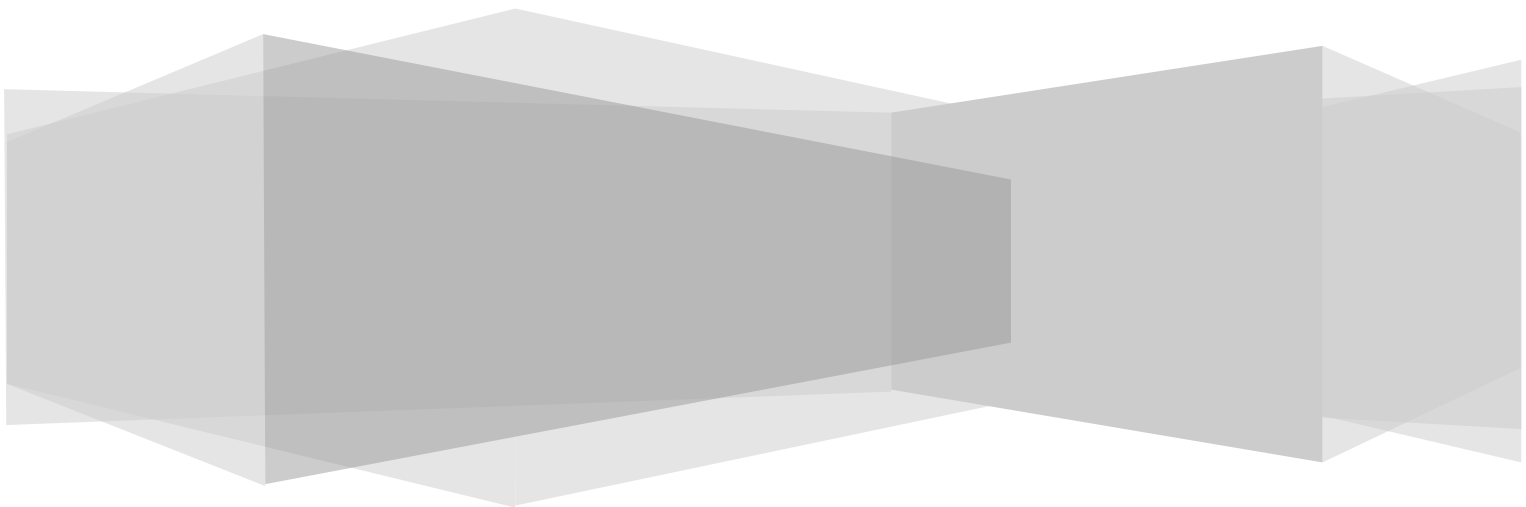
Norges teknisk- naturvitenskapelige Universitet

Fakultet for Ingeniørvitenskap og teknologi

Bjarte Holmgard og Jon Frodason Låstad



KONSEPT FOR INNFESTING AV FJERNSTYRTE UNDERVANNsverktøy PÅ FLYTENDE PRODUKSJONSINSTALLASJONER (FPSO)



Forord

Et spennende prosjekt nærmer seg slutten og det mest begivenhetsrike semesteret i løpet av vår tid ved NTNU er snart over. For første gang har vi samarbeidet tett med industrien for å løse et problem som det tidligere ikke har vært noen løsning på.

Med denne besvarelsen ønsker vi å illustrere prosessen vi har vært gjennom for å komme frem til den beste løsningen på problemet.

Vi ønsker å takke Bjørn Haugen for god veiledning. Han har hjulpet oss å holde et jevnt arbeidstempo gjennom hele prosessen.

En stor takk går også til Martin Hasle og LBO, som har vært veldig imøtekommende og inkluderende. De har gitt oss god rådgivning og tilbakemelding gjennom hele prosjektarbeidet.

Vi ser frem til å fortsette samarbeidet og utviklingen av konseptet i masteroppgaven til våren.

Emnemoduler:

TMM1: Produktmodellering

TMM2: Produktsimulering

TMM10: Robuste materialvalg og design – offshore anvendelser

Professor Hans Petter Hildre

Professor Ole Ivar Sivertsen

Professor Christian Thaulow

& Professor Roy Johnsen

Trondheim, 19.12.2011

Stud. Techn. Bjarte Holmgard

Stud. Techn. Jon Frodason Låstad

I. Oppgavetekst

NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR PRODUKTUTVIKLING
OG MATERIALER

PROSJEKTOPPGAVE HØSTEN 2011 FOR STUD.TECHN. BJARTE HOLMGARD OG JON FRODASON LÅSTAD

KONSEPT FOR INNFESTING AV FJERNSTYRTE UNDERVANNSVERKTØY PÅ FLYTENDE PRODUKSJONSINSTALLASJONER (FPSO)

Linjebygg Offshore AS leverer tjenester og komplette prosjekter til olje- og gasssektoren innen inspeksjon, vedlikehold, modifikasjoner og fjerning. Linjebygg Offshore har spesialisert seg på å utføre tjenester i områder med vanskelig tilkomst, høyt og lavt på installasjonene.

Flytende produksjons- og lager installasjoner offshore bygges ofte med basis i standard skipskonstruksjoner som modifiseres spesielt for formålet. Disse innretningene kalles med en fellesbetegnelse for FPSOer (Floating Production, Storage and Offloading). Når disse installasjonene nærmer seg sin designlevetid er det ofte ønskelig å øke levetiden for bedre utnyttelse av eksisterende brønner eller for å drive haleproduksjon. Av økonomiske årsaker er det ønskelig å gjøre dette arbeidet mens installasjonen er i drift offshore. Ett område som er spesielt utsatt er undersiden av "turret"-en, der stigerør entrer skroget. Trang plass og strømninger gjør bruk av konvensjonell bruk av ROVer og dykkere ikke er egnet. Njord B er en flytende installasjon med STL turret. Her har Statoil utfordringer med utskifting av anoder ved innfesting til forankringspunkt.

Gjennom interne utviklingsprosjekter og tidligere masteroppgaver ved NTNU har LBO utviklet metoder for tilkomst og arbeid på flytende produksjons- og lager installasjoner. Gjennom dette arbeidet er vakuum funnet å være den mest hensiktsmessige metoden for sporløs innfesting på skroget.

Oppgaven søker å frembringe konsept for vakuum innfesting Njord B. Konseptet tar utgangspunkt i LBOs metoder for tilkomst i skvalpesonen.

Ved bedømmelsen legges det vekt på at problemstillingen presenteres klart, at besvarelsen er skikkelig gjennomarbeidet og at kandidaten gir en selvstendig framstilling av stoffet med egne vurderinger.

Besvarelsen skal ha med oppgavetekst og skal forsynes med innholdsfortegnelse. I forord skal det stå hvilke fordypningsemner kandidaten tar. Rapporten innledes med en klar formulering av problemstillinger bearbeidet i prosjektet, et sammendrag av viktige resultater, og konklusjoner. Rapporten skal være på maksimum 30 sider, inklusive skisser innarbeidet i tekst. Eventuelle tabeller, tegninger, detaljerte skisser, fotografier, med videre, kan medtas i et bilag som regnes i tillegg til de 30 sider. I besvarelsen henvises til de respektive steder i vedleggene, men besvarelsen skal skrives slik at den kan leses uten vedlegg.

Figurer og tabeller skal inneholde alle nødvendige påskrifter. Litteraturhenvisninger skal være fullstendige med angivelse av forfatter, bok (artikkel), tittel, forlag, årstall og sidenummer. Henvisninger foretas ved nummer i teksten og dette refererer til en nummerert litteraturliste bak i rapporten.

Tre (3) uker etter utlevering av prosjektoppgaven innleverer kandidaten et A3-ark med tekst og bilder som beskriver hva oppgaven går ut på (en papirversjon og et elektronisk eksemplar i pdf-format). Mal for arket finnes på instituttets hjemmeside under menyen undervisning.

Senest 3 uker før innlevering av prosjektoppgaven skal kandidaten innlevere et A3 ark som illustrerer resultatet av arbeidet (en papirversjon og et elektronisk eksemplar).

Prosjektarbeidene presenteres som muntlige foredrag 21.oktober 2011. Det er obligatorisk frammøte for alle prosjektkandidater under foredragene.

Innleveringsfrist for prosjektbesvarelsen er 21.desember 2011. Besvarelsen leveres i to papirversjoner og elektronisk på CD eller DVD.

Kontaktpersoner:

Fra industrien: Geir Ingar Bjørnsen, Linjebygg Offshore AS

Bjørn Haugen
Faglærer

II. Sammendrag

Hensikten med prosjektoppgaven har vært å komme frem til et konsept for innfesting av fjernstyrte undervannsverktøy under FPSO-skipet Njord B. Bakgrunnen for oppgaven var et ønske fra operatøren Statoil om å forlenge skipets levetid ved å skifte ut anoder på forankringssystemet. Her er det ingen festepunkter, noe som gjør at tilkomst er begrenset. Oppgaven ble dermed å utvikle et verktøy for sporløs innfesting av manipulatorarm, og gi denne tilgang til alle ankerfestene. Dette verktøyet ble kalt MMF (mobilt manipulatorfeste). Fra tidligere prosjekt- og masteroppgaver ved NTNU, har man funnet ut at vakuum er det beste alternativet for sporløs innfesting på skroget.

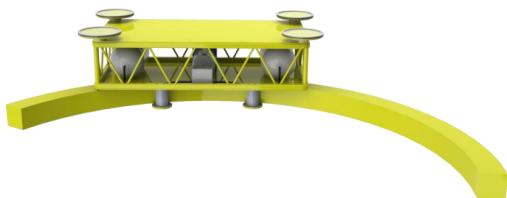
Prosjektet ble gjennomført med IPM-modellen. En undersøkelse av eksisterende teknologi for tilkomst under skipet avslørte at verken tørrdokk, ROVer eller dykkere kunne utføre jobben med nødvendig effektivitet og sikkerhet.

Bruker- og produktkravspesifikasjoner dannet et grunnlag for videre produktutvikling. For å få bedre oversikt over den totale prosessen ble alle funksjonene MMF skal utføre separert. Ulike løsninger ble satt opp for hver delfunksjon, og disse ble satt sammen i et funksjonsløsningstre. De ulike delløsningene ble skissert og satt inn i en morfologisk tabell. Deretter ble det gjort vurderinger for å skille ut de beste, som ble tatt videre til konseptfasen.

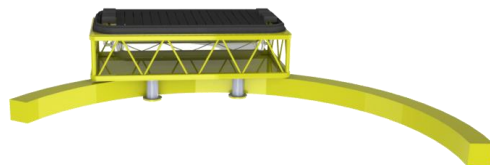
Konsept 1.A festes til Njord B med sugekopper. Undertrykket oppnås med en vakuumpumpe. For å øke hastighet og kapasitet på innfesting, er trykktanker tatt i bruk som vakuumakkumulator. For å skape tilkomst til anodeposisjonene blir en traverserende kurvet bjelke brukt til å flytte manipulatorarmen rundt turreten.

Konsept 2.A festes til Njord B med en stor festeflate. Undertrykket oppnås her med en stor lufttank, som drenerer vannet i pakningsflaten og utligner indre trykk til én atmosfære. Det hydrostatiske trykket i omgivelsene holder to atmosfærer. Dette innebærer lavere trykkdifferanse enn med konsept 1, og er årsaken til det store arealet på festeflaten. Tilkomst oppnås med samme fremgangsmåte som i konsept 1.

I masteroppgaven skal de to valgte konseptene testes. Ett av konseptene velges for detaljering og utvikling.



Figur 0.1: Konsept 1.A



Figur 0.2: Konsept 2.A

III. Ordforklaringer

LBO	Linjebygg Offshore AS
IPM	Institutt for Produktutvikling og materialer
ROV	Remote Operated Vehicle
FPSO	Floating Production and Storage Offloading
MMF	Mobilt manipulatorfeste
STL	Submerged Turret Loading
Vakuum	Undertrykk

Innhold

Forord	2
I. Oppgavetekst	3
II. Sammendrag	VI
III. Ordforklaringer	VII
Figurliste.....	11
1 Innledning	12
1.1 Bakgrunn for oppgaven	12
1.1.1 Linjebygg Offshore AS.....	12
1.1.2 Njord	12
1.2 Problemstilling	13
1.3 Metodikk	13
2 Planlegging	14
2.1 Ideformulering	14
2.2 Målsetning og ambisjoner	14
2.2.1 Teknisk	14
2.2.2 Økonomisk	14
3 Behovs- og teknologianalyse	15
3.1 Brukssituasjon og bruksområde	15
3.1.1 Njord B	15
3.1.2 STL-turret	16
3.1.3 Generelt om arbeid offshore	16
3.2 Eksisterende og tilsvarende utstyr	17
3.2.1 Dykker	17
3.2.2 ROV (Remote Operated Vehicle)	17
3.3 Bruksmåte.....	17
3.3.1 Bruksprosess	18
3.4 Brukere	18
3.5 Vakuum	18
4 Designunderlag.....	19
4.1 Beregninger.....	19
4.2 Manipulatorarm	19
4.3 Anoder.....	19
4.4 Brukerkravspesifikasjon.....	20
4.5 Produktkravspesifikasjon.....	21
5 Konseptutvikling.....	22
5.1 Delfunksjoner.....	22
5.2 Delløsninger	22

5.2.1	Hydraulisk stag	22
5.2.2	Vakuumpumpe.....	23
5.2.3	Hydrostatisk undertrykk	23
5.2.4	Festeflate	24
5.2.5	Tilkomst manipulatorarm	24
5.2.6	Bevegelse manipulatorfeste	25
5.2.7	Oppbygging	25
5.3	Morfologitabell	26
5.3.1	Evaluering av delløsninger	27
6	Konseptpresentasjon	28
6.1	Konsept 1	28
6.1.1	Oppbygging	28
6.1.2	Bruksmåte.....	28
6.1.3	Fordeler / ulemper.....	28
6.2	Konsept 2	29
6.2.1	Oppbygging	29
6.2.2	Bruksmåte.....	30
6.2.3	Fordeler / ulemper.....	30
7	Konseptevaluering	31
8	Konklusjon.....	32
8.1	Videre arbeid	32
9	Referanser	33
	Vedlegg A - Morfologitabell	34
	Vedlegg B - Funksjonsløsningstre	35

Figurliste

Figur 0.1: Konsept 1.A	VI
Figur 0.2: Konsept 2.A	VI
Figur 1.1: Njord B.....	12
Figur 1.2: Tilkost sett forfra	13
Figur 1.3: Tilkost sett fra undersiden	13
Figur 1.4: IPM-modellen	13
Figur 2.1: MK1	14
Figur 3.1: Behovs- og teknologianalyse	15
Figur 3.2: Njord B, utsnitt med bilde av STL-Turret.....	16
Figur 3.3: STL-Turret	16
Figur 3.4: Dykker.....	17
Figur 3.5: UltraHeavy-Duty (UHD™) Work-Class ROV System. [7]	17
Figur 3.6: Sugekopp før innfesting	18
Figur 3.7: Sugekopp etter innfesting	18
Figur 4.1: TITAN 4™	19
Figur 4.2: Området hvor anodene skal festes	20
Figur 4.3: Brukerkravspesifikasjon	20
Figur 4.4: Produktkravspesifikasjon	21
Figur 5.1: Funksjonsløsningstre	22
Figur 5.2: Blokkdiagram.....	23
Figur 5.3: MMF før innfesting.....	24
Figur 5.4: MMF etter innfesting	24
Figur 5.5: Arbeidsområde sett ovenfra	25
Figur 5.6: Arbeidsområde sett sidefra.....	25
Figur 5.7: Morfologitabell.....	26
Figur 5.8: Evaluering av delløsninger.....	27
Figur 6.1: Konsept 1.A	28
Figur 6.2: Konsept 1.B.....	28
Figur 6.3: Konsept 2.A	29
Figur 6.4: Konsept 2.B.....	29
Figur 6.5: Innvendig.....	30
Figur 7.1: Konseptevaluering.....	31
Figur 7.2: Konsept 1.A	31
Figur 7.3: Konsept 2.A	31

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

1.1.1 Linjebygg Offshore AS

Linjebygg Offshore AS (LBO) leverer tjenester og komplette prosjekter til olje- og gassektoren, offshore eller på land. Selskapets spesialitet er teknisk sikre og kostnadseffektive løsninger. De har de siste årene spesialisert seg på tilkomstløsninger i skvalpesonen¹. [1]

1.1.2 Njord

Njord-feltet ligger omtrent 130 km nordvest for Kristiansund og er bygd ut med en flytende plattform, Njord A. Oljen fraktes i rørledning fra plattformen til lagerskipet Njord B (Figur 1.1). Skipet er oppankret like ved plattformen i en tårnbøye som igjen er forankret til sjøbunnen med et åttepunkts forankringssystem. [2]

I den første fasen av feltets levetid ble oljen hentet opp gjennom 11 produksjonsbrønner, mens fire injeksjonsbrønner sendte gassen ned igjen i reservoaret som trykkstøtte.

Fra desember 2007 ble en ny fase innledet hvor også gassen på feltet utvinnes. Til sammen ble det investert 1,15 milliarder kroner i utstyr for gasseskport og 450 millioner kroner i nye produksjonsbrønner.

I forbindelse med de nye investeringene på Njord-feltet ønsker operatøren Statoil å forlenge levetiden til Njord B ved å skifte ut anoder ved innfestingen til forankringssystemet.

Gjennom interne utviklingsprosjekter i LBO og tidligere masteroppgaver ved NTNU, har man funnet ut at vakuum er den mest hensiktsmessige metoden for sporløs innfesting på skroget. [3]

Prosedyrene for rigging og nedsenking ble også utarbeidet.

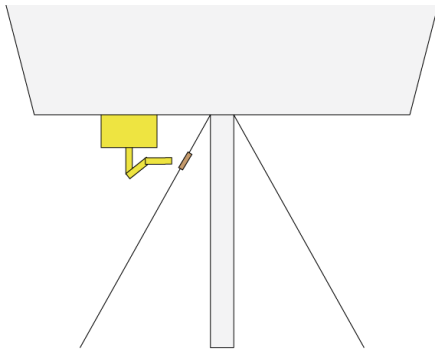


Figur 1.1: Njord B

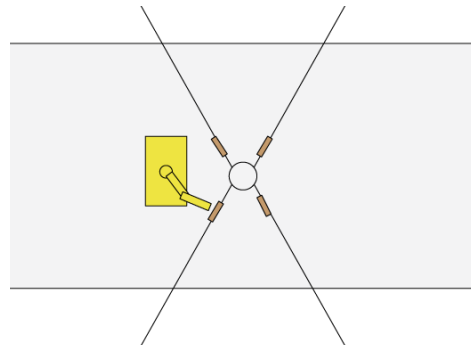
¹ Sonen 5 meter over og 5 meter under vannoverflaten.

1.2 Problemstilling

Det skal frembringes et konsept for vakuuminnfesting av fjernstyrte undervannsverktøy under skroget på Njord B (Figur 1.2). Foruten innfesting skal en manipulatorarm orienteres og beveges over hele arbeidsområdet uten at innfestingspunktet endres (Figur 1.3). Rigging og nedsenking skal ikke vurderes.



Figur 1.2: Tilkomst sett forfra

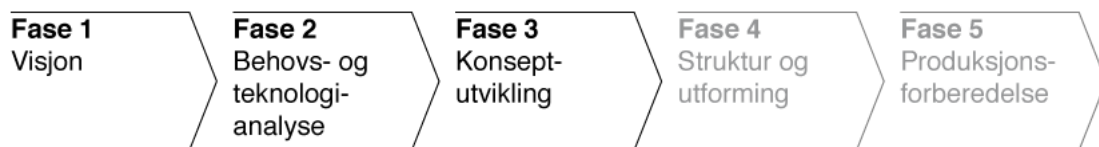


Figur 1.3: Tilkomst sett fra undersiden

1.3 Metodikk

Formålet med produktutviklingsmetodikk er å gi produktutvikleren modeller, prosedyrer og strategier i arbeidet og dermed øke muligheten til å oppnå et godt produkt.

Dette prosjektet har benyttet IPM-modellen, hvor produktet detaljeres gradvis gjennom faser, fra markedsbehov til detaljert produksjonsgrunnlag (Figur 1.4). [4]



Figur 1.4: IPM-modellen

I løpet av prosjektoppgaven skal de tre første fasene av modellen fullføres. I fase 1 skal prosjektspesifikasjonen utarbeides, og marked- og teknologiinformasjon hentes inn. De omformes til tekniske kriterier i fase 2. I fase 3 brukes disse kriteriene til å generere løsninger. Først utvikles prinsippløsninger som settes sammen til konsepter. Til slutt evalueres konseptene mot tekniske krav slik at man finner det konseptet som egner seg best.

Fase 4 og 5 skal gjennomgå i masteroppgaven.

2 Planlegging

2.1 Idéformulering

Det finnes flere metoder for å utføre vedlikehold på et båtskrog. Den mest brukte er å sette skipet i tørrdokk. Dette er kostbart og tidkrevende da det innebærer produksjonsstans over lengre tid. Vi må derfor se på mulighetene til å arbeide på Njord B i drift offshore, noe som medfører en del utfordringer.

Bølge- og strømningsbelastninger, samt plassmangel fører til at konvensjonell bruk av ROV eller dykkere er uegnet. Verktøy som skal driftes i dette miljøet må fastmonteres til skroget i så stor grad at bølgebelastninger og strømninger ikke blir et problem.

Ideen til LBO er å utvikle festeanordning til en manipulatorarm som skal senkes ned og festes under skroget på Njord B (Figur 1.2), slik at man kan gjøre vedlikehold tilsvarende MK1 (Figur 2.1).



Figur 2.1: MK1

2.2 Målsetning og ambisjoner

2.2.1 Teknisk

Målet for prosjektet er å utvikle et konseptforslag på et mobilt manipulatorfeste (MMF) som kan feste seg på Njord B og utføre vedlikeholdsarbeid og inspeksjon på en STL (Submerged turret loading) turrett. Strukturen må være solid nok til å motstå belastningene fra bølger og strømning, samt å kunne oppta krefter og moment fra manipulatorarmen. LBO har uttrykt et ønske om at vakuuminnfestingen også skal kunne brukes til andre prosjekter. Dette vil bli tatt med i vurderinger, men har liten prioritet.

2.2.2 Økonomisk

Per i dag er de eneste alternativene til vedlikehold på STL turrett bruk av ROV eller dykkere, eventuelt å sette fartøyet i tørrdokk. Dette er tidkrevende, upraktisk, og meget kostbart. Vårt mål er å lage et tidsbesparende, prisgunstig, kjapt, og sikkert MMF som kan erstatte dagens alternativ.



Figur 3.2: Njord B, utsnitt med bilde av STL-Turret

3.1.2 STL-turret

STL systemet ble introdusert i 1993 og er det siste innen offshore lasteteknologi. Systemet er godt utprøvd og er installert på en rekke felt over hele verden. [5]

Turreten (Figur 3.3) ble utviklet på grunn av en etterspørsel i markedet etter lastesystemer med høy kapasitet i tøffe omgivelser. STL-teknologien tilbyr fleksible, sikre og kostnadseffektive løsninger for oppankring av lagerskip.

Turreten er gjennomføringspunktet for rørledningene som kommer fra plattformen (Figur 3.2). Den er konstruert slik at senteret kan rotere, mens komponentene rundt følger rotasjonen til skipet slik at skroget kan roteres etter vind og strømretninger.



Figur 3.3: STL-Turret

3.1.3 Generelt om arbeid offshore

Kravene til sikkerhet offshore er høyere enn landbasert industri. All virksomhet på norsk kontinentalsokkel er underlagt petroleumsforskrifter, blant annet NORSOK standard.

Operatørselskap har i tillegg egne, mer konservative regler. Det er ikke uvanlig at operasjoner må stanses for å kunne gjennomføre en annen. Følgelig kan operasjoner offshore ta lenger tid enn de ville tatt på land.

3.2 Eksisterende og tilsvarende utstyr

3.2.1 Dykker

Det har vært behov for arbeid, inspeksjon og vedlikehold under vannflaten helt siden oljevirkksomhet startet offshore. Før robotteknologien kom på banen var menneskelig arbeid det eneste alternativet. Dette brukes fremdeles, men ikke i like stor grad.

Ved dykkerarbeid brukes ofte et dykkerfartøy som flytende base med nødvendig utstyr ombord. Prisen for å leie av dykkerfartøy ligger på rundt 1 mill. NOK per dag.



Figur 3.4: Dykker

3.2.2 ROV (Remote Operated Vehicle)

En ROV er et ubemannet undervannskjøretøy som fjernstyres via kabel. Den utstyres med egnet verktøy, lys og kamera og er dermed veldig fleksible i forhold til arbeidsoppgaver. De fleste ROVer har flytetanker på toppen, som gir et høyt oppdriftssenter relativt til massesenteret. De ligger derfor veldig stabilt i vannet. ROVer styres med propeller, og har vanligvis fremdrift i hver akseretning.[6]

ROVer har i stor grad erstattet bruken av dykkere offshore, siden det eliminerer risikoen for tap av menneskeliv, og fordi de har muligheten til å arbeide på mye større dyp. Vanlig operasjonsdypde ligger på 0 – 3000 m, men enkelte kan dykke til hele 8000 m. På en annen side er de kostbare å bruke. Prisen for å leie en ROV med personell og utstyr ligger på 0,75 – 1,5 mill. NOK per dag.



Figur 3.5: UltraHeavy-Duty (UHD™) Work-Class ROV System. [7]

3.3 Bruksmåte

MMF skal brukes i stedet for dykkere eller ROV. Den vil fungere som en fast innspent arbeidsplattform for manipulatorarmen. Manipulatorarm, kamera, hydraulikkpakke og anodemagasin vil bli montert på MMF før transport, eller om bord på Njord B. MMF blir fraktet i kontainer via supplybåt fra LBO til Njord-feltet hvor den skal tas i bruk.

Når rigging er utført, senkes MMF ned under båtskroget, settes i posisjon og festes. Manipulatorarmen skal nå erstatte anodemassen på ankerfestene, og trenger tilkomst til samtlige av disse. Det er ønskelig at arbeidet skjer så effektivt som mulig.

3.3.1 Bruksprosess

De arbeidsprosessene vi skal utarbeide kommer etter at utstyret er fraktet til FPSO, rigget, nedsenket og posisjonert:

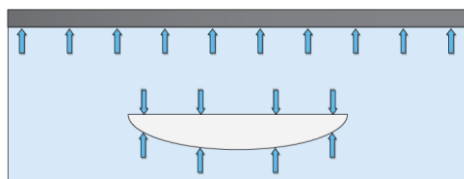
1. Innfesting
2. Flytte manipulatorarm til første posisjon
3. Holde manipulatorarmen i fast posisjon til arbeidet er utført
4. Flytte manipulatorarm til neste posisjon
5. Gjenta punkt 3-4 til alle ankerfester er anodebeskyttet
6. Utløse innfestingen

3.4 Brukere

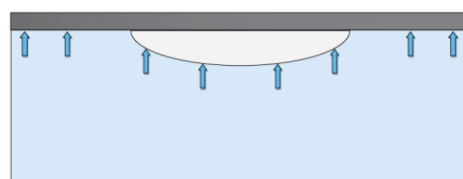
En bruker oppfattes vanligvis som den personen som fysisk bruker et sluttprodukt. I produktutvikling omfatter brukeren alle som har kontakt med produktet i løpet av dets levetid. Hver av disse har forskjellige krav til produktet. I dette prosjektet tas det utgangspunkt i montøren, operatøren, ingeniører i LBO, samt ansatte i Statoil.

3.5 Vakuum

Vakuuminnfesting benytter atmosfærisk eller hydrostatisk trykk som drivkraft. Figur 3.6: viser at det eksterne trykket virker i alle retninger på sugekoppens flate. Ved å eliminere trykket i en sugekopp som er i kontakt med en flate, vil trykkets resultantkraft bare virke på koppens utvendige flate. Denne kraften holder sugekoppen på plass (Figur 3.7).



Figur 3.6: Sugekopp før innfesting



Figur 3.7: Sugekopp etter innfesting

Det er teoretisk mulig, men teknisk vanskelig å oppnå fullstendig vakuum. Når man snakker om vakuum i mekaniske systemer, menes egentlig undertrykk. Det er slik begrepet vil bli brukt i denne oppgaven.

Med utgangspunkt i den forenklede ideelle gassligningen, $p=nRT/V$, kan man redusere trykket p i et lukket system på tre måter. Enten kan man minke n ved å fjerne gassen, eller så kan man øke systemets volum V . Man kan også senke temperaturen, men dette vil ikke være praktisk for vår applikasjon.

Det er trykkdifferansen mellom omgivelsene og sugekoppen, samt festeflatens areal som utgjør innfestingskraften ($F=pA$).

4 Designunderlag

4.1 Beregninger

For å få en generell oversikt over nødvendig festeareal må det foretas noen enkle beregninger på holdekraften til vakuuminnfesting. Disse beregningene er forenklet, og skal bare brukes for å gi et bilde av størrelsen til vakuumsystemet.

Basert på lignende utstyrspakker brukt av LBO, settes totalvekt på MMF med påmontert manipulatorarm til 1,5 tonn. Hydrostatisk trykk på 10 meters dyp er 2 atmosfærer $\approx 200\,000\text{ Pa}$. Vi ser bort fra oppdrift i vann.

Gitt fullstendig indre vakuum, blir nødvendig festeareal:

$$A = \frac{F}{p} = \frac{14700\text{ N}}{200000\text{ Pa}} = 0,0735\text{ m}^2$$

Skulle trykkdifferansen settes til 1 atmosfære, blir nødvendig festeareal $0,147\text{ m}^2$. Dette er veldig lite i forhold til arealet påmontert utstyr vil dekke. Dette demonstrerer at vakuuminnfesting har et kraftig potensial.

4.2 Manipulatorarm

TITAN 4™ er en 7 funksjons manipulatorarm utviklet av Schilling Robotics. Armen er selskapets toppmodell og leverer høyeste grad av presisjon og leddforbindelse. Den styres fra et kontrollpanel som i tillegg til styring av arm, inneholder et status display, frysing av enkeltledd og feilsøking. Maksimal rekkevidde er på 1.922 mm, og armen kan da løfte 122 kg. [8]

Vekten av armen er henholdsvis 100 kg i luft og 78 kg i sjøvann.

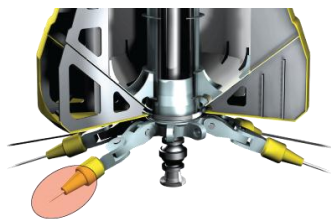


Figur 4.1: TITAN 4™

Manipulatorarmens bevegelser blir overvåket av kontrolløren via flere tv-skjermer. Et av kameraene er montert på selve armen, men det er også behov for flere kameraer som viser oversiktsbilder av bevegelsesrommet. Armen kan monteres opp ned, men da bør også kameraene monteres opp ned for å gjøre operatørens jobb lettere.

4.3 Anoder

54 anoder av aluminium skal installeres på STL-turretens ankerfester (Figur 4.2). Grunnet det store antallet anoder, vil MMF mest sannsynlig måtte heises opp og ned flere ganger for å hente ny anodemasse. Anodene oppbevares i et magasin.



Figur 4.2: Området hvor anodene skal festes

4.4 Brukerkravspesifikasjon

En brukerkravspesifikasjon er en spørreundersøkelse eller et intervju med brukere av et produkt. Vi har delt kundekravene opp i to nivåer. Hver av brukerne har deretter rangert punktene på en skala fra 1-6, hvor 1 er minst viktig.

Brukerkravspesifikasjon					
Produkt: MMF	Utarbeidet av: BH	Godkjent av: JFL		Dato:	
Kundekrav		Relativ viktighet			
Nivå 1	Nivå 2	Montør	Operatør	LBO	Statoil
Funksjonskrav	Lav vekt	4	5	6	2
	Så liten som mulig	5	3	6	4
	Lite vedlikehold	4	2	5	2
	Ex godkjent	4	3	6	6
Omgivelseskrav	Korrosjonsmotstandig	2	3	5	2
	Ikke skade kontaktflater	3	6	6	6
Operasjonelle krav	Lett å bruke	4	6	5	2
	Fjernstyrt	1	6	4	3
	Manuell overstyring	1	3	5	5
	Kort monteringstid	6	2	3	2
	Kamera montert	3	6	5	3
	Lys montert	3	6	4	1
Sikkerhetskrav	Ikke utsett personell for skade	6	6	6	6
	Driftsikker	6	6	6	6
	Fail-safe	3	4	6	6
Dokumentasjonskrav	Brukermanual	6	6	6	6
	Sertifisering	6	6	6	6
	Tilpasset offshore standarder	6	6	6	6
Kostnader	Lave utviklingskostnader	2	2	6	5
	Lave produksjonskostnader	1	1	6	5

Figur 4.3: Brukerkravspesifikasjon

4.5 Produktkravspesifikasjon

En produktkravspesifikasjon er informasjon fra bruker og teknologi omgjort til tekniske kriterier. Denne tabellen ble satt opp i starten av semesteret og dannet et grunnlag for videre produktutvikling.

Produktkravspesifikasjon					
Produkt:		Utarbeidet av:	Godkjent av:	Dato:	Side:
MMF		BH	JFL		1 av 1
Nr	Beskrivelse	Verdi		Skal	Bør
1.	Funksjonskrav				
	Feste seg til skroget på Njord B			x	
	Vekt	< 3200 kg			x
		< 6400 kg		x	
2.	Omgivelseskrav				
	Ikke påføre skader på STL turret eller skrog			x	
3.	Operasjonelle krav				
	Betjenes av opplært personell			x	
	Kort monterings tid på dekk	< 2 timer			x
		< 4 timer		x	
4.	Standardkrav				
	M-120 Material data sheets for structural steel			x	
	Z-015N Midlertidig utstyr			x	
5.	Vedlikeholdskrav				
	Periodisk vedlikehold	hver 12. mnd		x	
		etter bruk		x	
6.	Sikkerhetskrav				
	Personskader fra utstyr	< 1 skade pr.		x	
		100 000 time		x	
	Fail-safe			x	
7.	Dokumentasjonskrav				
	Offshore jobbpakke til hver jobb			x	
	Brukermanual			x	
	Sertifikater			x	
8.	Kostnader				
	Utviklingskostnader	< 2 mill NOK		x	
		< 1 mill NOK			x
	Produksjonskostnader	< 2 mill NOK		x	
		< 1 mill NOK			x
9.	Produksjonskrav				
	Antall produserte enheter	1		x	
	Redundans				x
10.	Utformingskrav				
	Komme til rundt hele turreten			x	
	Materialvalg (korrosjonshastighet)	< 0,01 mm pr år			x
	Overflatebehandling iht. NORSOK M-501			x	

Figur 4.4: Produktkravspesifikasjon

5 Konseptutvikling

Et konsept er en beskrivelse av en løsning på et nivå der en er i stand til å kommunisere og vurdere kvaliteten på løsningen som søkes. De viktigste aspektene for produktet beskrives med stor nøyaktighet, mens mindre viktige aspekter beskrives grovt, eller utelates i sin helhet dersom de anses å være uviktige å ta stilling til.

Det finnes mange metoder for å generere konsepter på, men arbeidet gjøres mest effektivt når det utføres systematisk. Problemområder bør defineres før man finner løsninger som kan kombineres til konsepter.

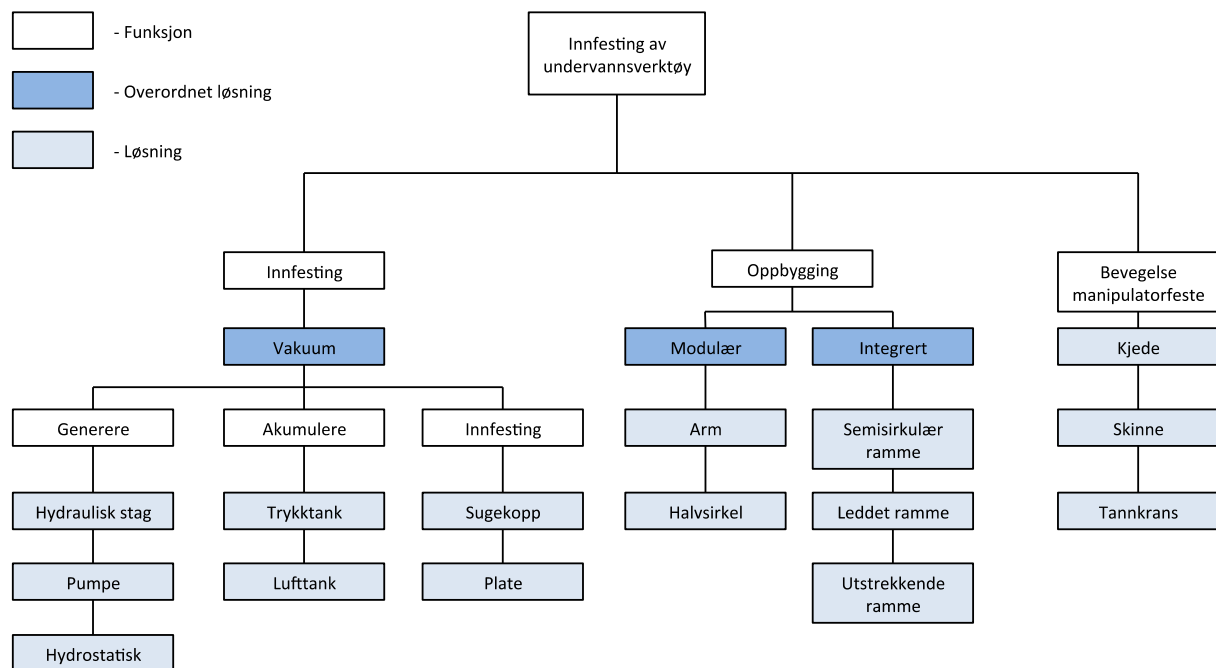
5.1 Delfunksjoner

IPM modellen fokuserer på å dele prosessen opp i delfunksjoner. Dette gjøres for å få bedre oversikt og perspektiv på alle problemene. Når man ser på hele systemet, er det lett å bli blendet av den første og beste idéen. Ved å fokusere på hver enkelt delfunksjon separat, er det lettere å produsere et bredere spekter av løsninger.

5.2 Delløsninger

For å utvinne mulige konsepter er idémyldring, internettsøk, samtaler med veiledere fra NTNU og LBO, og dialog med produsenter tatt i bruk.

Funksjonsløsningstreet viser hovedfunksjonen delt opp i delfunksjoner med tilhørende delløsninger (Figur 5.1).



Figur 5.1: Funksjonsløsningstre

5.2.1 Hydraulisk stag

Ved å koble en hydraulisk sylinder på en sugekopp, kan man strekke ut stampelet og skape undertrykk og innfesting på sugekoppen. Fordelene ved denne metoden er at man, avhengig av hvilken mekanisme man bruker til å drive hydraulikkstaket, kan utføre innfesting ganske raskt. Utkobling går også raskt, ved å fjerne påkjenningen på det hydrauliske staget. (Figur 5.2, løsning 1)

5.2.2 Vakuumpumpe

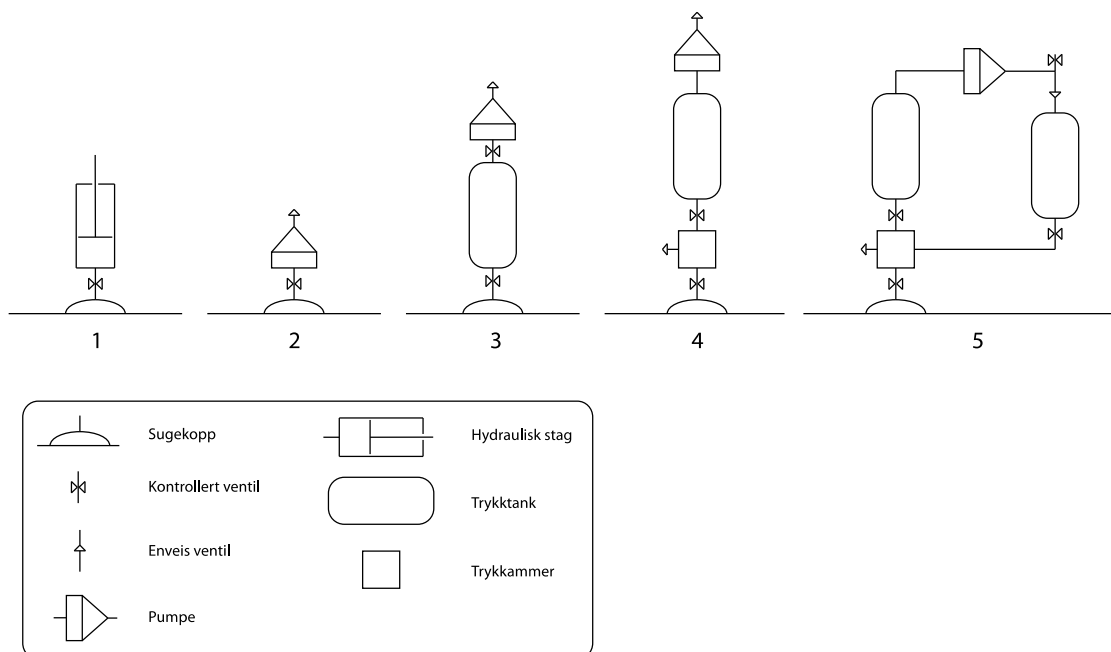
En vakuumpumpe er i prinsippet en kompressor der nyttearbeidet er undertrykket ved pumpens inntak. Vakuumpumpen fungerer ved å tvinge ut systemets fluid. Dette etterlater et tomrom, og skaper undertrykk (Figur 5.2, løsning 2). Siden arbeidsområdet er under vann, må det undersøkes hvordan en vakuumpumpe fungerer i vann, og problematikken forbundet med dette.

Det finnes mange typer vakuumpumper, og mange fungerer både i luft og i væske. Et av problemene med pumpe er at effekten ikke er høy nok til veldig rask innfesting. Dette kan kompenseres ved å bruke trykktank som både genererer og lagrer undertrykk. Umiddelbar innfesting kan nå skje ved trykkutligning mellom tanken og sugekoppen. (Figur 5.2, løsning 3)

Vakuumpumper kan fungere med både gass og væske, men effekten reduseres dersom man har begge deler i systemet. For å hindre at vann kommer inn kan det brukes et forkammer hvor vannet fra sugekoppene kan samles opp for deretter å bli pumpet ut. (Figur 5.2, løsning 4)

Løsning 5 i Figur 5.2 er en utvidet versjon av løsning 4. Vakuumpumpen genererer overtrykk som brukes til å blåse ut vannet som samles i forkammeret.

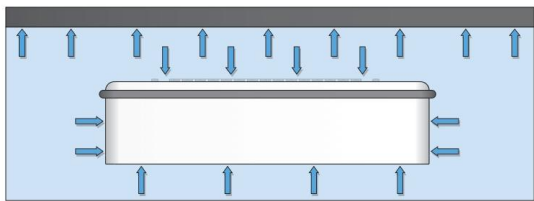
Ved bruk av trykktank kommer ikke vannet til å entre pumpen med mindre nivået blir for høyt. Som tidligere nevnt, vil den likevel fungere dersom dette skulle skje. Vi har derfor vurdert det unødvendig å videreføre løsning 4 og 5 i Figur 5.2 til konseptfasen, da det er ønskelig med enkle løsninger.



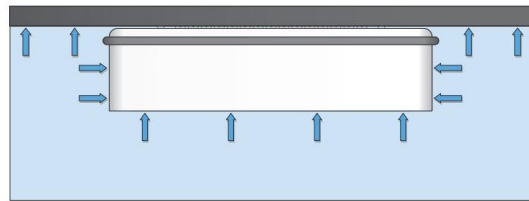
Figur 5.2: Blokkdiagram

5.2.3 Hydrostatisk undertrykk

Hydrostatisk undertrykk fungerer ved å benytte en tank fylt med luft ved atmosfærisk trykk (Figur 5.3). Når pakningsflaten er i kontakt med skroget, åpnes ventiler til tanken. Vannet fanget i pakningen renner ned i tanken, og det indre trykket faller til 1 bar. Det hydrostatiske trykket 10 meter under vannoverflaten holder ca 2 bar, og trykkdifferansen holder MMF innfestet (Figur 5.4). Løsningen er inspirert av Remora Technologies HiLoad offshore lastesystem [9].



Figur 5.3: MMF før innfesting



Figur 5.4: MMF etter innfesting

5.2.4 Festeflate

For å implementere vakuumet på en funksjonell måte trengs også et organ som kan overføre negativ trykkdifferanse til innspenning. Sugekopper er allerede godt implementert i alt fra industri til leketøy. Disse produseres i alle størrelser og former, tilpasset de fleste bruksområder. De brukes til løfting, både manuelt og med kran, men stort sett i tørre omgivelser. Det kan være flere sugekopper fordelt på strukturen, eller hele kontaktflaten kan være en stor festeflate. Vi må se på hvilke materialer, pakninger, og hvilken utforming som passer best for vårt bruksområde på båtskrog under havoverflaten.

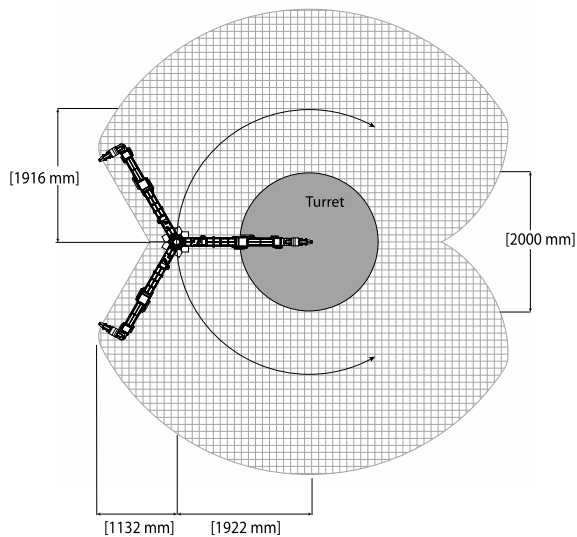
5.2.5 Tilkomst manipulatorarm

Ettersom turreten skal inspiseres på alle sider er det viktig å designe et system med god tilkomst. MMF vil bli dratt inn fra skrogets side og festet i bakkant av turreten. (Figur 1.3)

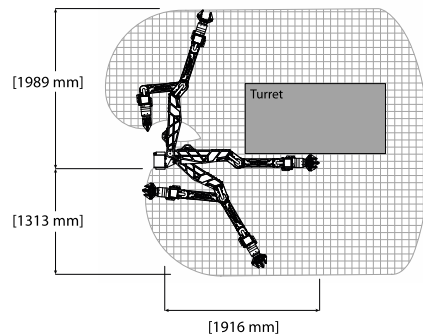
For å unngå å måtte posisjonere MMF flere ganger må manipulatoren få tilkomst til alle ankerfestene fra en posisjon. På grunn av manipulatorarmens rekkevidde på 2 m må den beveges minimum 240° rundt turreten. Dette er illustrert i Figur 5.5 og Figur 5.6.

For at manipulatorarmen skal kunne jobbe minst mulig anstrengt, bør den stå omtrent 1 meter fra turreten. Dette medfører at manipulatorfestet må være 4 m i diameter. Dette kan løses på flere måter:

- En leddet arm kan flytte manipulatorarmen til alle de ønskede posisjonene. Dette er veldig fleksibelt, men medfører da også større krav til styring slik at selve bevegelsesprosessen blir mer komplisert.
- En kurvet bjelke kan brukes til å frakte manipulatorarmen rundt turreten. Den kan være leddet, utvidbar eller modulær.



Figur 5.5: Arbeidsområde sett ovenfra



Figur 5.6: Arbeidsområde sett sidefra

5.2.6 Bevegelse manipulatorfeste





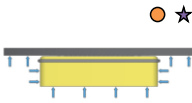



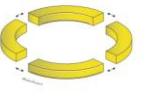

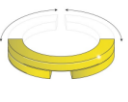

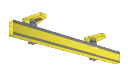

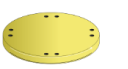

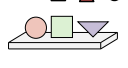

Manipulatorarmen kan bevege seg langs en skinne som følger den sirkulære banen vist i Figur 5.5. Den får da tilgang til alle anodefester med bare to styringsretninger. Dette kan være drevet av tannhjul, drivhjul eller kjetting.

En kurvet bjelke kan også beveges med manipulatorarmen fastmontert i enden. Størrelsen kan da reduseres til det halve, men utstyret må hentes opp for å flytte manipulatorarmen til den andre siden. MMF må uansett hentes opp for å supplere anoder til manipulatorarmens magasin.

5.2.7 Oppbygging

Oppbygningen kan gjøres på flere måter. De to hovedalternativene er å bygge den modulært eller integrert. Med modulær oppbygging kan en vakuuminnfestingsplattform enkelt påmonteres forskjellig utstyr, og brukes til flere oppgaver. Med integrert oppbygging kan utstyret bygges mer kompakt, men det blir mindre fleksibelt i forhold til utstyrsbytte. Den blir da mer eller mindre fastlåst til en bestemt arbeidsoppgave.

5.3 Morfologitabell

Delløsninger		1	2	3	4	5
Delfunksjoner	1	 Plate	 Sugekopp			
	2	 Hydraulisk stag	 Pumpe	 Hydrostatiske krefter		
	3	 Trykktank	 Lufttank			
	4	 Leddet arm	 Modulbasert	 Hengslet ring	 Utvidet ring	 "Halvsirkel"
	5	 Skinne	 Tannhjul	 Fast innspent	 Kjetting	
	6	 Modulært	 Integriert			

1.A
 1.B
 2.A
 2.B

Figur 5.7: Morfologitabell

En morfologitabell viser løsninger til delfunksjoner. Disse evalueres mot hverandre. (Figur 5.8)

De beste delløsningene er satt sammen til konsepter, som vist i Figur 5.7.

5.3.1 Evaluering av delløsninger

		Eksisterende teknologi	Produksjonskostnad	Brukskostnad	Vedlikehold	Kapasitet	Sikkerhet	Plasskrevende	Fleksibel	
	Viktighet	5	8	2	3	8	9	5	4	264
Innfesting	Plate	5	4	6	5	6	5	5	5	222
	Sugekopp	6	6	6	6	5	6	5	6	251
Aktuator	Vakuumpumpe	6	5	5	4	5	6	4	6	230
	Hydraulisk stag	6	6	5	4	3	5	4	5	209
	Hydrostatisk	6	6	6	6	5	5	3	4	224
Akkumulator	Trykktank	6	6	6	6	6	6	5	6	259
	Lufttank	6	6	6	6	6	6	3	6	249
Tilkomst manipulatorarm	Ledd arm	6	4	4	4	5	4	6	6	212
	Modulbasert	4	5	5	5	4	5	5	4	203
	Hengslet ring	5	5	5	5	4	5	4	4	203
	Utvidet ring	4	4	4	4	4	4	5	4	181
	"Halvsirkel"	5	6	6	6	5	6	3	5	232
Bevegelse manipulatorfeste	Skinne	6	4	6	6	6	5	5	5	230
	Tannhjul	6	5	6	6	6	5	5	5	238
	Fast innspent	6	6	6	6	6	6	6	4	256
	Kjetting	6	6	5	5	5	4	6	5	229
Oppbygning	Modulært	6	5	6	6	5	5	6	6	239
	Integrert	6	5	5	5	6	6	5	4	238

Figur 5.8: Evaluering av delløsninger

Som Figur 5.8 viser har vi evaluert hver delløsning opp mot aktuelle kriterier og gradert dem etter hvordan de oppfyller kravene. De beste løsningene blir tatt med videre til konseptfasen. Det er nødvendig å ta med flere delløsninger for deretter å vurdere konseptene som helhet.

6 Konseptpresentasjon

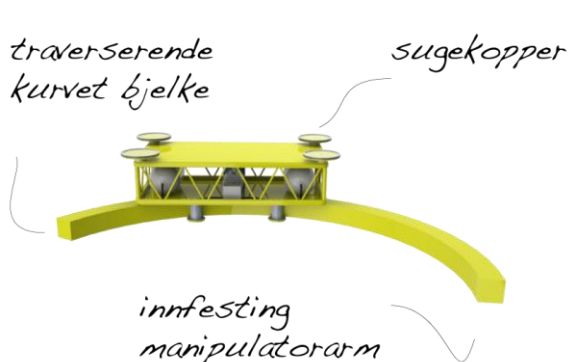
Basert på evalueringen av delløsningene er de beste løsningene satt sammen til fire konsepter, som deles i to konsepter hvor innfesting er hovedfunksjon, og tilkomst er sekundærfunksjon.

6.1 Konsept 1

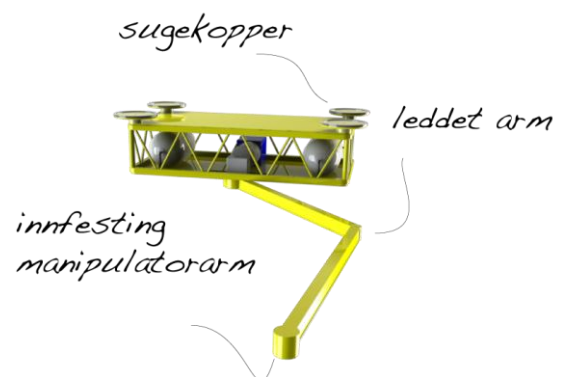
Konsept 1 er basert på bruken av sugekopper som festeflate og vakuumpumpe som trykkgenerator. Slik MMF er satt opp i konseptskissene, med fire sugekopper à 300mm diameter, blir maksimal innfesting 5,7 tonn.

6.1.1 Oppbygging

På konsept 1.A er dette en traverserende kurvet bjelke, mens det på 1.B er en leddet arm. Begge konseptene har en plattform med vakuumpumpe, trykktanker og sugekopper. På denne plattformen monteres tilkomstmodulen.



Figur 6.1: Konsept 1.A



Figur 6.2: Konsept 1.B

6.1.2 Bruksmåte

Vakuumpumpen skaper undertrykk i tankene. Dette kan gjøres før MMF senkes ned. Når MMF er i posisjon, åpnes ventilene mellom tanker og sugekopper. Trykket i sugekoppene utlignes med undertrykket i tankene, og MMF er innfestet. Pumpen jobber nå med å gjenopprette undertrykket i tankene, så systemet er klart for en eventuell gjeninnfesting.

I 1.A flyttes deretter manipulatorarmen i posisjon ved å bevege den kurvete bjelken.

Manipulatorarmen fester anodene, og flyttes deretter til neste posisjon for å gjenta operasjonen. Når halvparten av anodene er erstattet, må MMF løsnes og hentes opp for å flytte manipulatorarmen til den andre enden av den traverserende bjelken, samt for å supplere anodemasse til manipulatorarmens magasin. Prosessen gjentas.

I 1.B flyttes manipulatorarmen i posisjon ved å navigere den leddete armen. Prosessen blir ellers den samme, men dette konseptet må bare hentes opp for å supplere anodemasse.

6.1.3 Fordeler / ulemper

Innfesting

- Disse konseptene bruker en mekanisk trykkgenerator, og har derfor bedre muligheter for gjeninnfesting. De har også flere separate festeflater, så en eventuell lekkasje er mindre

problematisk. I tillegg genereres større trykkdifferanse, så nødvendig festeareal blir redusert, og potensialet for maksimal belastning blir større.

- På den andre siden er systemet mer komplisert og krever høyere investeringer. Dette fører også til mer vedlikehold, og større sannsynlighet for feil.

Tilkomst

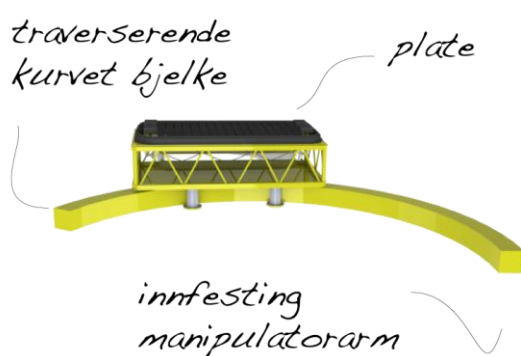
- Den traverserende kurvede bjelken er enkel og robust. Den er banestyr, og er derfor lett å operere, samtidig som den har liten sannsynlighet for kollisjon.
- Den kan bare operere på en side av turreten av gangen, og må hentes opp for å flytte manipulatorarmen til den andre siden. Dette er ikke nødvendigvis noe problem, da MMF sannsynligvis må hentes opp for å supplere anodemasse til magasinet. Sirkelbanen er lite fleksibel, og denne løsningen vil bare fungere for denne oppgaven.
- En leddet arm er mer fleksibel i arbeidsområdet og øker tilkomsten. Den kan også utføre hele jobben i en omgang dersom det skulle være ønskelig.
- Armen er mer komplisert, og vanskeligere å operere. Dette fører til større fare for kollisjon.

6.2 Konsept 2

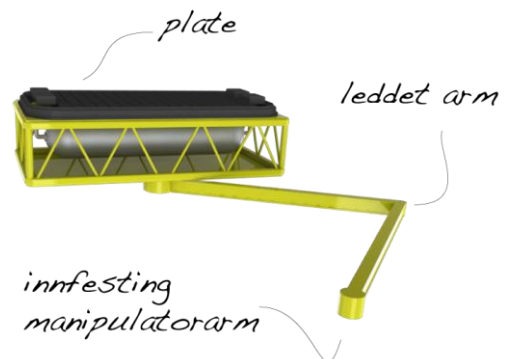
Konsept 2 er basert på innfesting med hel festeplate, der hydrostatisk trykk og trykkutligning med lufttank er generator. Festearealet er på konseptet 10000 mm x 2000 mm, som gir innfestingskapasitet på 15 tonn.

6.2.1 Oppbygging

Begge konseptene har en plattform som bruker lufttank som trykkgenerator og festeplate som innfesting. På denne plattformen monteres tilkomstmodulen. På konsept 2.A er dette en traverserende kurvet bjelke, mens det på 2.B er en leddet arm.



Figur 6.3: Konsept 2.A

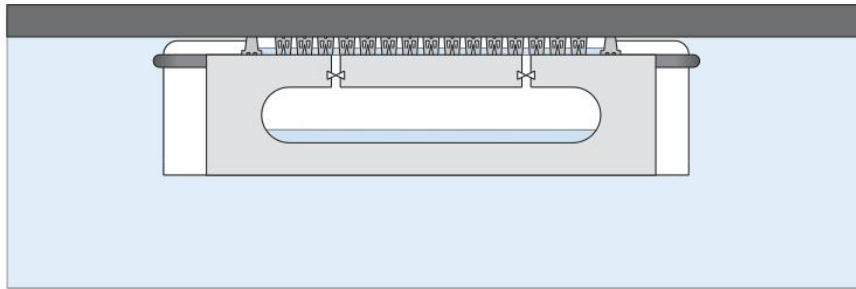


Figur 6.4: Konsept 2.B

6.2.2 Bruksmåte

MMF senkes ned og posisjoneres. Ventiler mellom festeplaten og lufttanken åpnes. Vannet som er fanget i festeflaten renner ned i tanken, trykket utlignes til atmosfærisk trykk (1 bar), og MMF er innfestet. (Figur 6.5)

Resten av prosessen for konsept 2 fungerer på samme måte som konsept 1.



Figur 6.5: Innvendig

6.2.3 Fordeler / ulemper

Innfesting

- Når det gjelder innfesting, har disse konseptene blant annet større festeareal. Dette gir en veldig høy festekapasitet. Det er også en enklere løsning, og er billig i produksjon og drift.
- På grunn av at festeflaten er en enkelt komponent, er den mindre tolerant for skjevt fordelt last, og konsekvensen ved lekkasje er større. Dette konseptet har også et mer begrenset arbeidsområde, da det bare fungerer under vann. Det er ikke et problem for denne oppgaven, men betyr at teknologisk gjenbruk blir begrenset.

Tilkomst

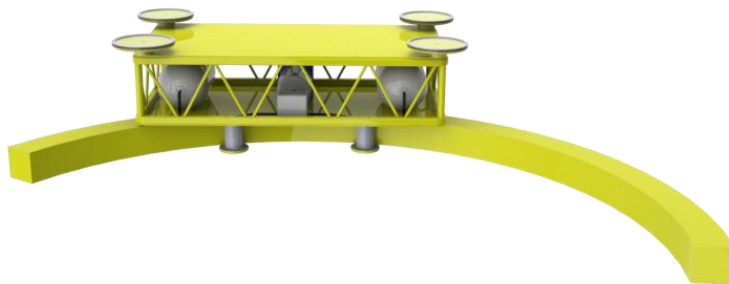
- For delkonseptene er fordelene/ulempene de samme som i konsept 1.

7 Konseptevaluering

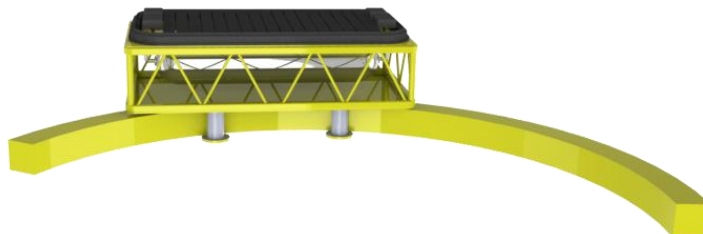
	Driftssikkerhet	Robust	Redundans	Produksjonskostnad	Sikkerhet	Plasskrevende	Fleksibelt	Brukervennlig	Hylleware	
Løsning	9	8	8	6	8	6	5	7	7	
1.A	5	6	6	5	6	5	5	6	6	27 %
1.B	4	5	5	4	5	5	6	4	5	23 %
2.A	6	6	5	6	5	5	5	6	5	27 %
2.B	5	5	4	5	4	5	6	4	4	23 %

Figur 7.1: Konseptevaluering

Hvert konsept har blitt vurdert etter hvor godt de utfyller kriterier vektet i forhold til viktighet. Løsningene som kom best ut var 1.A og 2A. Fordelen med disse er høyere driftssikkerhet, produksjonskostnad, og brukervennlighet. Disse blir dermed videreført til masteroppgaven, hvor testing vil avgjøre hvilket av konseptene som fungerer best i praksis. Det beste konseptet vil da bli videreutviklet.



Figur 7.2: Konsept 1.A



Figur 7.3: Konsept 2.A

8 Konklusjon

Arbeidet med utvikling av vakuuminnfesting på flatt båtskrog har gitt innsikt i både vakuumteknologi og problematikken forbundet med å skifte anodemasse på Njord B. I dag er den beste løsningen å bruke ROV, men en slik operasjon er meget vanskelig å gjennomføre, og krever veldig rolige værforhold. Det er i tillegg svært kostbart.

En vakuuminnfestet og robust plattform vil gi manipulatorarmen den stabiliteten som trengs for å utføre det nødvendige arbeidet. MMF posisjoneres raskt, og på grunn av den sirkulære banen kommer man til rundt hele turreten fra et innfestingspunkt.

8.1 Videre arbeid

Det gjenstår fortsatt mye arbeid før konseptene er klare for produksjon. Vakuumprinsippene må testes for å se om teorien fungerer i praksis. Strukturen må utarbeides, dimensjoneres og analyser, og materialvalg må foretas.




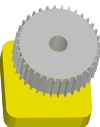
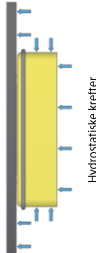






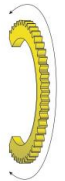




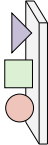

Videre arbeid må koordineres i samarbeid med LBO og veileder ved NTNU. Følgende oppgaver er et utgangspunkt for masteroppgave våren 2012:

- Testing av vakuumprinsipp
- Detaljering av komponenter
- Dimensjonering
- Analyser
- Fungerende skalamodell
- Produksjonstegninger
- Materialvalg

9 Referanser

1. *Linjebygg Offshore AS*. 2011; Available from: <http://www.lbo.no/>.
2. *Statoil-opererte felt i Norge, Njord*. 2011; Available from: <http://www.statoil.com/no/ouoperations/explorationprod/ncs/njord/pages/default.aspx>.
3. Kristian Knutsen, E.J.S., *Konsept for turrettilkomst for flytende produksjonsinstallasjoner*, in *Fakultet for Ingeniørvitenskap og teknologi* 2010, NTNU: Institutt for produktutvikling og materialer.
4. Grave, J.H.L., *TMM4115 Produktmodellering, TMM4121 Produktutvikling* 2010, NTNU, Institutt for produktutvikling og materialer.
5. *Submerged Turret Loading*. 2011; Available from: <http://apl.as/Production-Systems-/Submerged-Turret-Loading/>.
6. *ROV*. 2011; Available from: <http://rov.org/>.
7. *UltraHeavy-Duty Work-Class ROV System*. 2011; Available from: <http://www.schilling.com/products/ROVs/Pages/UHD.aspx>.
8. *TITAN 4*. 2011; Available from: <http://www.schilling.com/products/manipulators/Pages/TITAN-4.aspx>.
9. *HiLoad DP*. 2011; Available from: <http://www.remoratech.com/index.php>.

Vedlegg A - Morfologitabell

Delfunksjoner	Deløsninger					
	1	2	3	4	5	
1	 Plate	 Sugeklopp				
2	 Hydraulisk stag	 Pumpe	 Hydrostatiske krefter			
3	 Trykkank	 Lufttank				
4	 Leddet arm	 Modulbasert	 Hengslet ring	 Unyddet ring	 "Havsikler"	
5	 Skinn	 Tannhjul	 Fast innspent	 Ketting		
6	 Modulært	 Integriert				
	Oppbygging					

Vedlegg B - Funksjonsløsningstre

