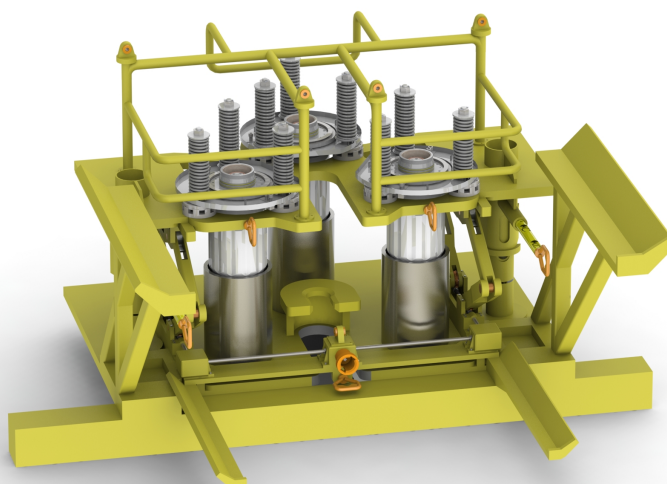


Petter Sjursen
Mathias Henøen Gangstad

Utvikling av installasjonsprosess av "Fully Insulated Dummy Connector" på et subseagasskompresjons-anlegg

Bacheloroppgave i Maskiningeniør
Veileder: Angela Daniela La Rosa
Mai 2021



Petter Sjursen
Mathias Henøen Gangstad

Utvikling av installasjonsprosess av "Fully Insulated Dummy Connector" på et subseagasskompresjons-anlegg

Bacheloroppgave i Maskiningeniør
Veileder: Angela Daniela La Rosa
Mai 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for vareproduksjon og byggingsteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Anerkjennelser

Denne rapporten har ikke vært mulig hvis det ikke hadde vært for støtten og hjelpen vi fikk underveis.

Først vil vi gi en spesiell takk til Rikhard Bjørgum og Ahmet Bicaj fra Aker Solutions, og deres mange møter med oss gjennom semesteret. Deres ekspertise og veiledning har vært avgjørende for hvordan vi kom frem til resultatet i denne rapporten.

Videre vil vi utlyse en stor takk til Professor Angela Daniela La Rosa for hennes veiledning fra universitets side, og hennes gode innspill på alt det administrative i denne rapporten.

Vi nevner senere i denne rapporten at mye av inspirasjonen har kommet fra samtaler med fagpersonell som har erfaring i dette feltet, og andre som har kommet med veldig mange bra innspill på arbeidet vårt. Vi vil gi en stor takk til Professor Merete Tangstad, Tor Erik Nicolaisen, Professor Stergios Goutianos, Halvor Lie, Dr. Ida Westermann og Morten Sjursen.

Vi vil gjerne takke Sanna Gangstad for hennes hjelp til å sikre oss denne bacheloroppgaven hos Aker Solutions, samt både hennes og Professor Merete Tangstads hjelp med å korrekturlese oppgaven i sin helhet.

Abstract

This report will explain the concept of installation and deinstallation of three *fully insulated dummy connectors* (FIDC) on the gas compression facility *Jansz-10*. The initial development topic given by the technology corporation Aker Solutions, consisted of the installation of a FIDC in a tight work area. The installation is done by a ROV under an overhang at a depth of 1300m below sea level. This was a new challenge for Aker Solutions and there is no proper solution for this problem at the present time. The suggested solution suggests that the three FIDC mounted on a plate will be hoisted down by cable and will rest on a track system. A ROV will be used to push the FIDC into the right positions above the female wet mates. To connect to the wet mates a custom made lift system, that is operated by the ROV, will lower the FIDC into the wet mates. To get the correct mating force, one of Aker Solutions' own tools are used. After the correct mating force is applied, a bolt lock mechanism is used to lock the contraption in place with the correct mating force. The key innovation in this report is the lift that lifts and lowers the FIDC into the wet mate connectors. It is based on a worm gear, and rack & pinion technology, which makes it possible to lower the FIDC in place using an ROV. This technology can be used in future installations, with similar challenges. The ideas for the solutions has been developed through iterative discussions with the project owners Aker Solutions, other experts within NTNU/SINTEF and supervisors. In addition to detailed discussions of the solution, the solution has been visualized in Solidworks, both as drawing of the components as well as animation of parts and processes.

Sammendrag

Denne rapporten vil ta for seg installasjon- og avinstallasjon av tre *fully insulated dummy connectors* (FIDC) på gass-kompresjonsanlegget *Jansz-Lo Subsea Compression project*. Den initielle problemstillingen gitt av teknologiselskapet Aker Solutions besto av å løse problemet med å få installert FIDC'ene i et trangt arbeidsområde under et overheng av en ROV på 1300m havdyp. Dette er et nytt problem for Aker Solutions, og har dermed ikke en tidligere løsning på det tidspunktet oppgaven blir skrevet. Den foreslåtte løsningen i denne rapporten er at FIDCene heises ned på vaier og lander på et skinnesystem. En ROV blir brukt til å dytte FIDCene til de er plassert rett over undervanns-koblingene. Deretter heises FIDCene ned i riktig posisjon med en spesiallaget heis som opereres av en ROV. Videre blir FIDCene jekket fast med et av Aker Solutions egne verktøy, og låst fast med en ROV-styrt bolteskåte. Hovedinnovasjonen i denne rapporten er heisen som benytter seg av snekkegir- og tannhjul/tannstang teknologi, som vil gjøre det mulig for en ROV å jekke på plass FIDC-ene i sine respektive undervanns-koblinger. Denne teknologien kan også brukes i fremtidige installasjoner som har liknende utfordringer med installasjoner i subsea miljøet. Idéene til denne prosessen har blitt utviklet gjennom iterative diskusjoner med oppdragsgiveren Aker Solutions, andre eksperter innenfor NTNU/SINTEF og veiledere. I tillegg til detaljerte diskusjoner rundt løsningen, har løsningene blitt visualisert i Solidworks, både som tegninger av komponentene og animasjoner av sammensetningen og prosessen.

Innhold

Anerkjennelser	iii
Abstract	v
Sammendrag	vii
Innhold	ix
Figurer	xi
Tabeller	xiii
Akronymer	xv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Formål	2
1.3 Avgrensing	2
1.4 Utfordring	3
1.5 Litteraturstudie	4
1.6 Aker Solutions evaluering	5
2 Teori	7
2.1 Remotely operated vehicle, ROV	7
2.2 Subsea-miljø	9
2.3 Snekkegir	10
2.4 Sikkerhetsfaktorer på løftemekanismer til subsea bruk	11
2.5 Materialer	12
2.5.1 Svartstål, S355	12
2.5.2 System 7, NORSOK coating	13
2.5.3 Bronse	13
2.6 Bærekraft	14
2.7 Livssyklusanalyse	15
3 Metode	17
3.1 Skissering	17
3.2 Solidworks-modellering	18
3.3 Styrkeberegning i Solidworks	19
3.4 SimaPro	19
4 Resultater	21
4.1 Installasjonsprosess for FIDC av ROV	21
4.2 FIDC plate	23
4.3 Skinnesystem	24

4.4	Kassett system	24
4.5	Mekanisk heis	26
4.6	Stroke-tool	30
4.7	Låsesystem	30
4.8	Beskyttelsesstruktur	32
4.9	Styrkeberegning	33
4.10	Livssyklusanalyse, LCA	34
5	Drøfting av resultater	37
5.1	Egenvurdering av løsning	37
5.2	Aker Solutions vurdering	38
5.3	Videre arbeid	39
5.4	Bærekraft	39
5.5	Innovasjon	40
5.6	Etiske og miljømessige utfordringer	41
5.7	Risikoanalyse	42
6	Konklusjon	45
	Bibliografi	47

Figurer

1.1	Fully Insulated Dummy Connector. Render av modell i Solidworks, med tillatelse fra Aker Solutions	2
1.2	Mål av arbeidsområdet. Gjengitt med tillatelse fra Aker Solutions	3
1.3	Illustrasjon av arbeidsområdet. Gjengitt med tillatelse fra Aker Solutions	4
2.1	Modell av en ROV som brukes av Aker Solutions under design av subsea installasjoner. Rendering fra Solidworks av Aker Solutions ROV modell med tillatelse av Aker Solutions	8
2.2	Modell av de to ROV-håndtakene	8
2.3	Rendering fra Solidworks av snekkehjul øverst med snekka under	10
2.4	Enkel og flergjengede snekker [9]	11
2.5	Visualisering av FNs 17 bærekraftsmål [19].	14
3.1	Eksempel på hvordan designprosessen har vært. Her er den mekaniske heisen vist	18
3.2	Skisser av komponenter	20
4.1	Hele designet av installasjonen som resultat av dette prosjektet	22
4.2	Visualisering av hele installasjonsprosessen	23
4.3	Modell av platen som holder de tre FIDCene sammen	24
4.4	Modell av skinnesystemet som FIDC-platen lander på	25
4.5	Isolert bilde av girmekanikken som fordeler rotasjonsmomentet fra ROV til heis	26
4.6	Bilde som viser kassetten med mekanisk heis og girbokser	27
4.7	Modell av heisemekanismen i sin helhet	28
4.8	Powerjacks' skrujekk-konsept [24]	28
4.9	Worm girene som overfører rotasjons momentet til et løftemoment	29
4.10	Heisemekanismen vist i profil med synlig girteknikk	30
4.11	Illustrasjon av Stroke tool-jekker til Aker Solutions Modell: Aker Solutions	31
4.12	Låseskåte mekanismen	31
4.13	Modell av beskyttelsesstrukturen til FIDCene og FIDC plata	32
4.14	Solidworks FEA styrkeberegning av landingsplate	33

4.15 Solidworks FEA styrkeberegning av landingsplate	33
4.16 Sammenligning av CO_2 -ekvivalent utslipp per år av stål som blir brukt i henholdsvis 25, 10 og 1 år [26]	35
4.17 Energiforbruk og energikilde av produksjon av 1 tonn stål [26] . . .	35
5.1 Figuren viser de totale klimagassutslippene i Norge i 2019, fordelt på ulike sektorer. Tallene kommer fra det norske klimagassregnska- pet. [28]	41

Tabeller

2.1	Reduksjon av flytegrense avhengig av tykkelse på S355 emne	12
4.1	Tonn stål brukt per år ut i fra levetid	35
4.2	CED for produksjon av ett ton med stål	35
5.1	Kategorisering av sannsynlighetgrad for FMECA	42
5.2	Kategorisering av alvorlighetsgrad for FMECA	42
5.3	FMECA analyse av installasjonsprosessen til FIDC	43

Akronymer

- **ROV** - *Remotely Operated Vehicle*
- **FIDC** - *Fully Insulated Dummy Connector*
- **UTA** - *Umbilical Termination Assembly*
- **FEED** - *Front End Engineering & Design*
- **CAD** - *Computer Assisted Design*
- **ISO** - *International Organization for Standardization*
- **FEA** - *Finite Element Analysis*
- **FMEA** - *Failure mode and effects analysis*
- **FMECA** - *Failure Mode, Effect and Critical Analysis*
- **LCA** - *Life-cycle assessment*
- **IPCC** - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- **CED** - *Cumulative energy demand*

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

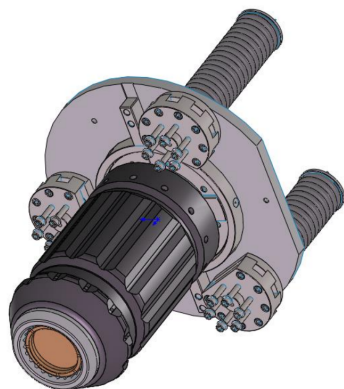
Aker Solutions ble den 12. mars 2019 tildelt en *Master Contract* av Chevron Australia Pty Ltd (Chevron), som dekker alle fasene til *Jansz-10* Subsea Compression prosjektet. Tildelingen inkluderte også den første arbeidsorderen, som omhandlet en sammenslått *Front End Engineering & Design* (FEED) for et Subsea kompresjonssystem og en ubemannet felt-kontrollstasjon. Arbeidsordrene for de resterende fasene vil bli fordelt etter hvert. Subsea kompresjonskonseptet involverer også en strømtilkobling fra Barrow Island i Australia, til en flytende felt-kontrollstasjon som vil inneholde utstyret til å gi strøm og kontroll til den elektrisk styrte subsea-kompressoren. Denne gasskompresjonsstasjonen får strøm forsynt fra en Umbilical Termination Assembly (UTA). Denne fungerer som en stor skjøteledning som fører strøm fra havoverflaten ned til subsea-miljøet.

I en gassekstraksjonsoperasjon som denne vil det være mange komponenter som er kritiske for at operasjonen skal gå som planlagt. En viktig del av prosessen er at det elektriske systemet fungerer som det skal. Her kommer dette prosjektet inn i bildet. En Fully Insulated Dummy Connector, heretter kalt FIDC, er en plugg som har to hovedfunksjoner.

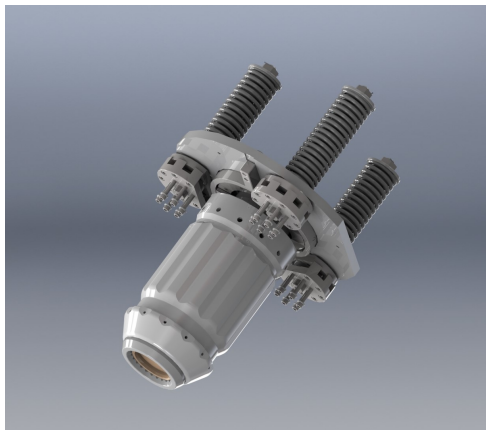
- **Beskytte** hun-delen til dypvanns-undervannskontakten
- **Fungere** som en testplugg for strømtesting av kretsløpet

FIDC blir levert av en underleverandør til Aker Solutions, men det er Aker Solutions sitt ansvar å operere og installere FIDC. Det er totalt 3 kretsløp som går fra kompressortransformatormodulen til kompressormodulen, dermed blir oppgaven å installere tre FIDC'er til tre undervannskontakter. Utfordringene her er flere. For det første er arbeidsområdet trangt, på bare $1.4058 m^3$. Her må det lages et system som plasserer FIDC riktig i undervannskontaktene, og ROV må ha stor nok plass til å operere. Videre har også ROV noen begrensninger til hvor mye den kan løfte. Her er øvre begrensning satt til 50 kg løftekapasitet. En FIDC's vekt i vann er på 218 kg, som gjør at det må til med noen hjelpemidler for å kunne bruke

ROV under installasjonen.



(a) Initiell modell



(b) Renderet modell

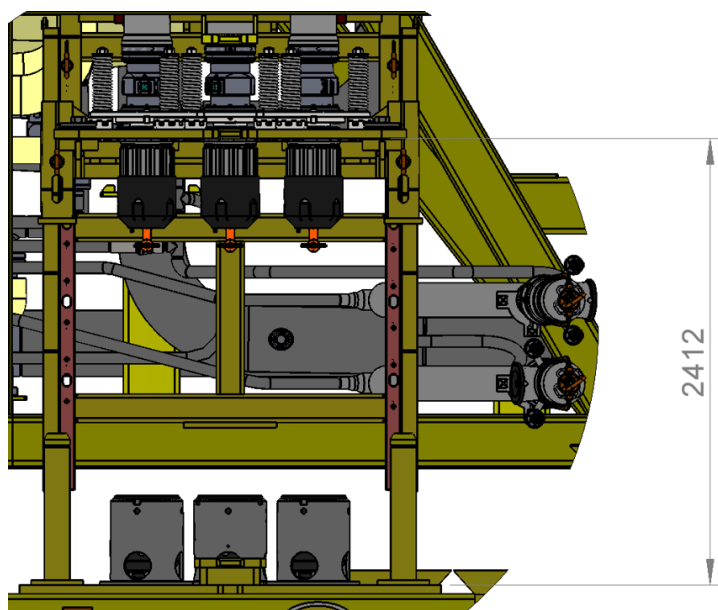
Figur 1.1: Fully Insulated Dummy Connector. Render av modell i Solidworks, med tillatelse fra Aker Solutions

1.2 Formål

Formålet med denne rapporten er å komme frem til et installasjonskonsept for de tre FIDC pluggene. Oppdragsgiveren er i dette tilfellet Aker Solutions, så hovedfunksjonen med å få et gjennomførbart resultat er å tilfredsstille de kravene som er satt av Aker Solutions for det prosjektet de jobber med. Som nevnt er denne typen installasjon ikke gjennomført med denne problemstillingen før, så hvis det kan presenteres en god måte å gjennomføres på, vil dette kunne brukes som et utgangspunkt for senere installasjoner. Siden denne installasjonen ikke direkte beveger seg inn i temaene rundt olje og gass industrien, kan resultatet av denne rapporten brukes også i andre sektorer. Et av ønskene som kom fra oppdragsgiveren er at hele konseptet modelleres i CAD-programmet Solidworks. Kapittel 3. Metode vil ta for seg mer om denne programvaren og fordelene med å bruke dette i designprosessen.

1.3 Avgrensing

Mange av begrensningene og avgrensningene i et slikt prosjekt som dette kommer av hvilke begrensninger arbeidsområdet setter. Fokuset i denne rapporten er installering av FIDC på sin respektive plass. Det betyr at akkurat dette prosjektet vil ta for seg selve installasjonen av FIDC, og ikke alt av prosessene rundt som får dette til å skje. Eksempelvis er det ikke fokusert på nedsenkingen av FIDC ned til riktig dybde annet enn hvilken metode som skal benyttes. Videre skal det ikke utdypes ROVs oppbygning og hvordan den fungerer annet enn diskusjon av ROV

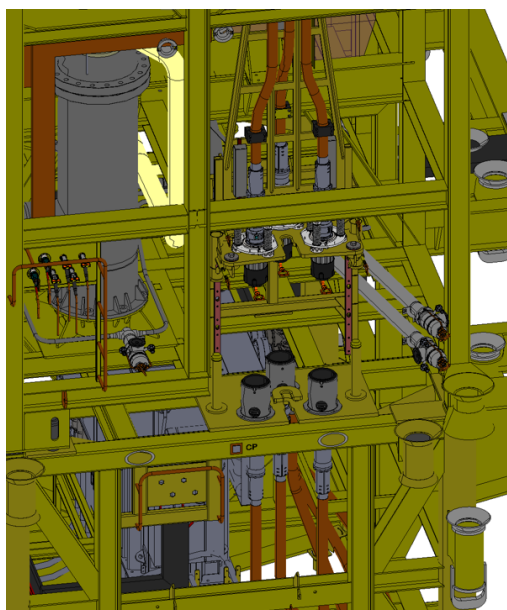


Figur 1.2: Mål av arbeidsområdet. Gjengitt med tillatelse fra Aker Solutions

sine mekaniske og funksjonelle begrensninger. Videre settes det noen avgrensninger rundt konfidensialiteten til arbeidet til Aker Solutions. Aker Solutions har ikke mulighet til å dele alle sine modeller med bachelorgruppa. Mangel på Aker Solutions sine tidligere løsninger gjør at bachelorgruppa må komme opp med sine egne.

1.4 Utfordring

Det som skiller denne installasjonen fra andre installasjoner på subsea-feltet, er at installasjonen skal gjøres under et overheng. Tradisjonelt sett vil installasjoner bli heiset ned med vaier for så å bli guidet på plass med ROV. Alternativt kan det festes et oppdriftselement fast til installasjonen slik at vekten på dette i vann vil bli tilnærmet lik null. Problemet her er at oppdriftselementer har mye volum, og det trengs store arbeidsområder for å få plass til oppdriftselementene i tillegg til installasjonen. Da kan en ROV bli brukt til å ta den helt fra overflaten, og ned til det området der det skal bli installert. Når overhengen er i veien gjør det at det ikke er mulig å komme til direkte med en vaierinstallasjon. Dette er en problemstilling som ikke har blitt utført tidligere.



Figur 1.3: Illustrasjon av arbeidsområdet. Gjengitt med tillatelse fra Aker Solutions

1.5 Litteraturstudie

I denne oppgaven har fokuset fra starten av vært at det ikke skal behøves å finne opp hjulet på nytt. Det vil si at hvis det er mulig, skal teknologi og løsninger som allerede brukes i subsea-feltet kunne brukes også i dette prosjektet. En annen mulighet kan være å bruke løsninger som brukes i andre sektorer og tilpasse de slik at de fungerer på et prosjekt som dette. Aker Solutions har bevisst gitt lite dokumentasjon på hvordan de løser liknende utfordringer, og ga i starten lite info om hvordan de ville gått fram for å løse denne oppgaven. Dette hadde som funksjon å gi bachelorgruppa blanke ark og full kreativ frihet for potensielle løsninger. Det å få lite input på forhånd gjorde også at bachelorgruppas forslag til løsninger ikke ble påvirket av tidligere løsninger eller idéer fra Aker Solutions.

Når man står med blanke ark er det viktig å prøve å finne et godt utgangspunkt som videre kan utvikles. I det første stadiet av prosjektet er det derfor viktig å lese seg opp på litteraturen om subsea-feltet, samt å finne løsninger gjort på andre problemstillinger som kan brukes på også dette. Litteratur fra bøker og artikler som relaterer til prosjektet, dets komponenter og mekanismer vil bli studert. For å finne mekaniske løsninger er det fint å ta utgangspunkt i mekaniske komponenter. Videre gjelder det å finne ut hvilke problem som disse mekaniske komponentene løser, for å se om de kan brukes for å løse dette prosjektets problemstilling.

1.6 Aker Solutions evaluering

En viktig del av formålet til denne bacheloroppgaven er at resultatene kan brukes av Aker Solutions, og at sluttproduktet oppnår de kravene de har gitt. Dette kan påvirke både det endelige produktet og rapporten i forskjellige retninger. Derfor legges det ved en evaluering som Aker Solutions har gjort av arbeidet utført. Denne evalueringen vil legges i diskusjonskapitlet og utdypes der.

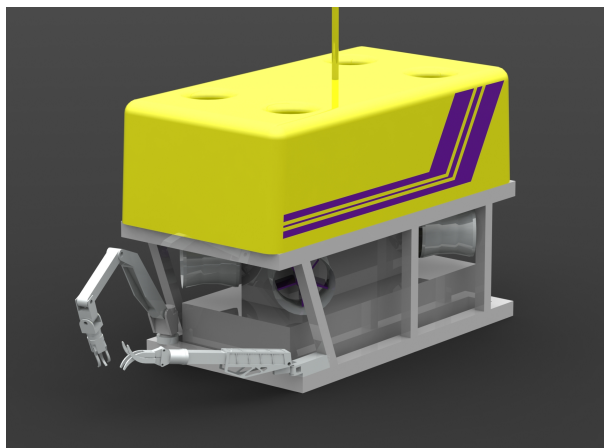
Kapittel 2

Teori

2.1 Remotely operated vehicle, ROV

En Remotely Operated Vehicle (ROV) er en fjernstyrt undervannsfarkost som brukes i undervannsapplikasjoner der mennesker ikke har mulighet til å operere selv. Enhetene blir styrt fra ett kontrollrom på et skip eller en plattform. Siden ROVer har muligheter til å komme til der mennesker ikke kan, har de en stor fordel når det kommer til utforskning av havet. To tredjedeler av jordkloden er dekket med hav. Havet inneholder mange ressurser som menneskene drar godt nytte av. Havet er spesielt viktig for Norge, siden Norge har verdens nest lengste kystlinje. [1] Dette har gjort at landet har basert to av sine viktigste industrier rundt havbruk, nemlig olje/gass- og fiskeri-næringen. Ved å ha muligheten til å utforske havet, kan det dras enda bedre nytte av de næringene som havet gir, uten å skade de levende og ikke levende ressursene som er i havet. Her spiller ROVene og industriene som bruker de en viktig rolle. ROV beskriver i de fleste tilfeller en menneskestyrt robot som operer under havoverflaten. En ROV kan bli brukt til å utføre oppgaver under vann til industrielle-, forskning-, og til og med militæreformål. I subsea-applikasjoner er dette spesielt viktig, siden en ROV kan utføre oppgaver som inspeksjon, installasjon, vedlikehold og reparasjoner på dypt vann, der mennesker ikke har mulighet til å operere. [2]

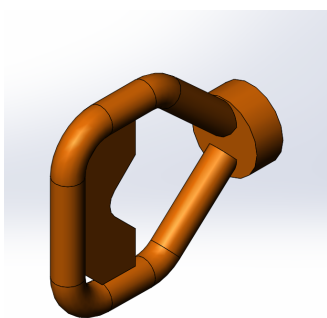
Selv om ROVer har mange fordeler med at de kan operere der mennesker ikke har mulighet, kommer de likevel ikke uten begrensninger til hva de kan gjøre. Teknologien i robotene har noen av de største teknologiske framskrittene innenfor robotikken, men måten ROVer opererer på er ganske primitive. Synligheten på 1300m dyp er dårlig. I best mulig scenario kan sollyset bevege seg 1000m ned i havet, men mesteparten av sollys strekker ikke lenger enn 200m ned i sjøen. [3] Dette gjør at ROVen må ha egne arbeidlys og kamera for at operatøren skal kunne se hva som skjer. De kameraene som blir brukt i ROVene i dag gjør at de ikke har noe dybdesyn. Derfor er det viktig at når det designes strukturer som skal brukes av ROV, at ting må være intuitivt og visuelt enkelt å holde på med. Samtidig har en ROV noen mekaniske og fysiske begrensninger. ROVene som Aker Solutions bruker



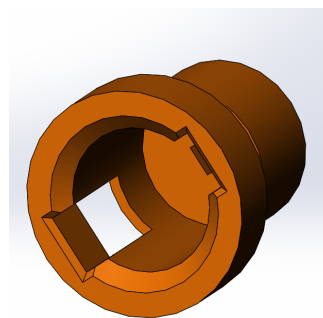
Figur 2.1: Modell av en ROV som brukes av Aker Solutions under design av sub-sea installasjoner. Rendinger fra Solidworks av Aker Solutions ROV modell med tillatelse av Aker Solutions

har en løftekapasitet på 50kg under vann. Dette betyr at objekter som veier mer enn dette må løfte hjelp. En annen begrensning er størrelsen til ROVen. For å få plass i arbeidsområdet må ROVen kunne enten være utenfor arbeidsområdet og arbeide inn, eller at ROVen har plass inne i arbeidsområdet.

ROVen har to armer som den bruker under sine operasjoner. Ofte må den bruke den ene armen til å holde seg fast i den strukturen den jobber på, slik at den blir stødig og kan utføre arbeidsoppgavene sine. Siden den ofte bare har en arm til disposisjon er det viktig at strukturer designes med tanke på at de skal brukes av en ROV. Derfor settes det på forskjellige håndtak på undervannsstrukturene, som ROVen kan operere med en hånd. De to viktigste av disse håndtakene er et D-håndtak og et torque-håndtak. Ved å ta i bruk D-håndtaket kan ROVen dra, dytte eller rotere på mekanismer. Torque-håndtaket brukes i situasjoner der det trengs ekstra styrke og pålitelighet i rotasjonsbevegelsen.



(a) D-håndtak for ROV



(b) Torque-håndtak for ROV

Figur 2.2: Modell av de to ROV-håndtakene

2.2 Subsea-miljø

Subsea-installasjoner for olje- og gassprosjekter er komplekse prosesser som krever presis planlegging. Subsea-miljøet byr på utfordringer til spesialistene som skal designe og installere komponenter til olje- og gassprosjekter på havets bunn. Desto dypere i sjøen en installasjon er, desto flere utfordringer får man med ekstremt undervannstrykk. [4] På 1300m dyp vil trykket være ca 131 bar, som beregnet etter formel 2.1. Atmosfæretrykket ved havets nivå er 1 bar, det er med andre ord 131 ganger atmosfæretrykket på 1300m dyp. [5] Dette betyr at konstruksjoner som må være tette for å fungere som for eksempel hydraulikk unngås i de fleste tilfeller da det er vanskelig å holde de operative på slike dyp over lang tid.

$$p_0 + h \times \rho \times g = P \quad (2.1)$$

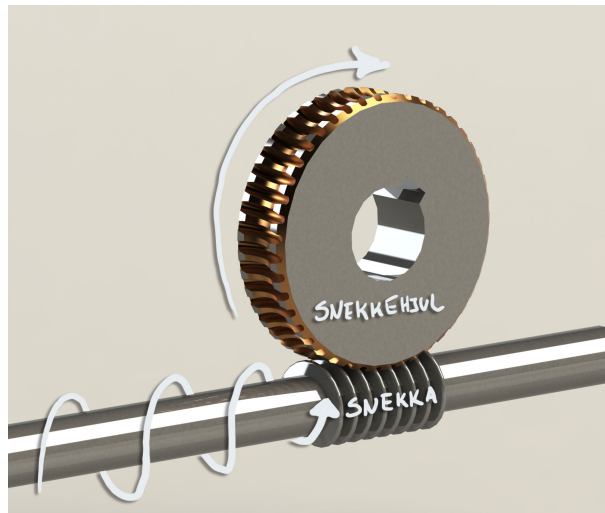
$$100000N/m^2 \times 21300m \times 1023.6kg/m \times 39.81m/s^2 = 13153970.8N/m^2 \quad (2.2)$$

$$13153970.8N/m^2 \approx 131bar \quad (2.3)$$

Subsea prosjekter byr på unike tekniske vanskeligheter. Hvilke vanskeligheter som oppstår kommer an på prosjektets miljøforhold, beliggenhet og skala. Derfor må subsea-prosjekt bli planlagt presist og installasjonen må være basert på risikoanalyser i henhold til faktorer som kan forårsake feil som overflødig spenning, feilinstallasjon, korrosjon, tretthet- og sprekkebrudd. Derfor er ingeniørens jobb med design og planlegging av komponentene som skal installeres i prosjektet avgjørende for prosjektets suksess. Den høye kostnaden av installasjonssystemer betyr at effektivitet er kritisk. Samtidig kan man ikke ta snarveier da subseasystemers beliggenhet gjør det vanskelig å rette opp i feil som har oppstått under installasjon og kostnaden av at prosjektet stoppes i påvente av at en del skal repareres vil være betydelig. [4]

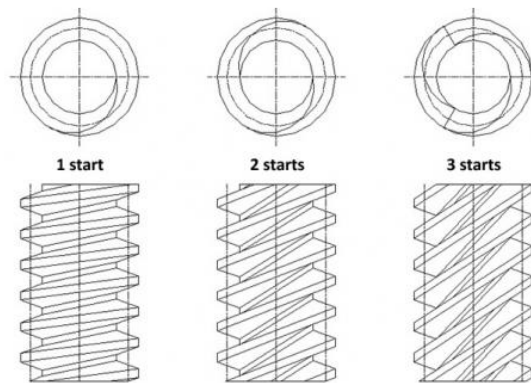
2.3 Snekkegir

Et snekkegir, eller snekkedrev som det av og til kalles, er en girmekanisme som overfører kraft mellom to akslinger. Akslingene må krysses med en rett vinkel for at snekkegir skal kunne brukes. Historien om snekkegir begynner under den første punerkrigen som startet i år 264 f.Kr og varte i 23 år. Under krigen hyret kong Hieron II den kjente oppfinneren Archimedes for å lage en kran som kunne løfte krigsskipene hans. Med dette konstruerte Archimedes en kran ved navn *Barulkon*, og denne kranen brukte snekkegir for å få en liten kraft til å bli til stor løftekapasitet. Oppfinnelsen ble arkivert i biblioteket i Alexandria og i tiden etter har bruken av snekkegir blitt spredd over hele verden. [6] I dag blir snekkegir brukt til for eksempel kraftoverføringer, heiser, stemmeskruer til strengeinstrumenter, og differensialer. [7] Hovedfordelen med å bruke et snekkegir i forhold til andre type gir er at man kan endre kraft fra en akse til en annen, og at man kan få høye reduksjonsrater mellom girene og tilsvarende høyt dreiemoment. Reduksjonsrater mellom girene vil si at for hver runde akslingen går rundt, vil tannhjulet gå for eksempel 0,25 ganger rundt. Da har man en 4:1 ratio. Dette, sammen med det faktum at snekkegir i de fleste tilfeller også er selvslående gjør denne mekanismen ideell til løfte og senkemekanismer. [8]



Figur 2.3: Rendering fra Solidworks av snekkehjul øverst med snekka under

Snekka kan bli produsert med forskjellige typer konfigurasjoner. Hvilken konfigurasjon som velges bestemmes av hva det skal brukes til. Enkeltgjengede snekker er snekker med kun en start. Antall start beskriver hvor mange kontinuerlige gjengeter det er på snekka. En flergjenget snekke har derimot flere starter. Forskjellen på de er illustrert i Figur 2.4.



Figur 2.4: Enkel og flergjengede snekker [9]

Ved bruk av en enkeltgjenget snekke kan man oppnå høy reduksjonsrate på dreiehastigheten. Ved rett konfigurering mellom snekka og snekkehjulet er det mulig å få reduksjonsrater på 100:1 eller mer. Reduksjonsraten beregnes ved å dele antall tenner på snekkehjulet på antall starter. Selv om høye reduksjonsrater er mulig med enkeltgjengete snekker er det frarådet å overstige en reduksjonsrate på 50:1. Ulempen med å bruke enkeltgjengete snekker er at de er ineffektive i sammenlikning med flergjengete snekker på grunn av den lave stigningsvinkelen på gjengene. Dette gjør at i de fleste tilfeller brukes flergjengete snekker hvis hovedoppgaven til giret er å overføre kraft effektivt. Fordelen med de enkeltgjengete snekkene kommer frem når det er nødvendig med en høy reduksjonsrate. Dette pluss det faktum at enkeltgjengete snekker har den mekaniske fordelene at de er selvslående, gjør de veldig praktiske i utformingen av løfteanordninger. [7]

Snekkegir benytter seg ofte av kombinasjonen av materialene fosforbronse og stål, spesielt i design som er laget for kraftoverføringer. Her er snekkehjulet laget i fosforbronse og snekka i stål. Grunnen til at denne kombinasjonen ofte benyttes er at det som regel er lettere å erstatte hjulet enn akslingen. Dermed er det grunn til å ha ett svakere metall på hjulet slik at det vil gå til brudd først. En annen fordel med å bruke en form for bronse i girteknikker er at bronzen vil være selvsmørende mot det andre materialet. Dette er utdypes mer i avsnitt 2.5.3 Bronse. [7]

2.4 Sikkerhetsfaktorer på løftemekanismer til subsea bruk

Operasjoner som skjer offshore eller i subsea-miljø er ofte kritiske. Det er store verdier som står på spill, noe som gjør at det er ekstra viktig at operasjonene går som planlagt. Disse operasjonene finner som regel sted langt ut i havet, som betyr at all form for hjelp vil være vesentlig lengre unna enn om det var en operasjon på land. For å sikre en trygg og feilfri installasjon er det derfor viktig å følge strenge designprosedyrer og ha gode sikkerhetsfaktorer når forskjellige mekanismer designes. Sikkerhetsfaktoren defineres som bruddspenning dividert på tillatt

spenning i en konstruksjon. [10]

$$\text{sikkerhetsfaktor} = \frac{\text{bruddspenning}}{\text{tillatt spenning}} \quad (2.4)$$

Løftemekanismer er svært utsatte for forskjellige faktorer som kan endre hvor mye belastning mekanismen blir utsatt for. Det kan være for eksempel dynamiske påkjenninger, værforandringer, påkjenninger som er skjeve i forhold til løfteaksen, sjokkbelastninger og løfting av last som ikke skjer rett ovenfra. Alle disse faktorene er med på å høyne sikkerhetsfaktoren på løftemekanismer fra 1,25 til 1,5. Løftemekanismer til subsea bruk er utsatt for enda flere variable påkjenninger. I løft under vann må det legges inn høyde for hydrodynamisk drag og ekstra vekt fra å løfte i vann. Dette gjør at sikkerhetsfaktoren økes til rundt 1,75. Alle disse variablene og faktorene er med på å gi en generell felles sikkerhetsfaktor for offshore bruk. For å være sikker på at en løftemekanisme tåler alle planlagte og uforutsette påkjenninger gis en felles sikkerhetsfaktor på 2 etter API RP 2A praksisen. En så høy sikkerhetsfaktor er med på å gi konservative mål på løfteutstyr som skal brukes til offshore og subsea bruk. [11]

2.5 Materialer

2.5.1 Svartstål, S355

Aker Solutions har informert om at de hovedsakelig bruker en legering av stål til sine subsea prosjekter. Så lenge det tåler de påkjenningene som er planlagt, vil stål av typen S355 brukes i de fleste applikasjoner. Navnet S355 beskriver hovedsakelig flytegrensen i romtemperatur på materialet, som er på minimum 355MPa for denne typen stål. Men dette er ikke riktig i alle situasjoner. Dette gjelder bare for emner med tykkelse under 16mm. Hvis tykkelsen på emnet overstiger 16mm vil flytegrensen reduseres som i tabell 2.1. S'en står for structural steel eller da strukturelt stål. S355 er underlagt og beskrevet av den europeiske ISO standarden EN 10025-2:2019. Denne standarden tar for seg varmvalsede produkter av konstruksjonsstål. Andre stål-legeringer som denne standarden omfatter er S185, S235, S275, S460, S500, E295, E335 og E360. [12] [13]

Tabell 2.1: Reduksjon av flytegrense avhengig av tykkelse på S355 emne

16mm	<	t	≤	40 mm	-	345MPa
40mm	<	t	≤	63 mm	-	335 Mpa
63mm	<	t	≤	80 mm	-	325 MPa
80mm	<	t	≤	100 mm	-	315 MPa
100mm	<	t	≤	150 mm	-	295 MPa

2.5.2 System 7, NORSOK coating

NORSOK standarden M-501 har siden den ble introdusert i 1994 beskrevet kriteriene for hvordan coating materialer skal være for strukturer som skal brukes i offshore anlegg. Jotun har gått ut i fra denne standarden når de har gått frem for å lage en coating som tåler det utsatte miljøet som oppleves av installasjoner og strukturer som skal brukes offshore. Jotun har laget ni forskjellige coatinger som i dag brukes på forskjellige bruksområder i norsk offshore industri. For karbonstål-konstruksjoner eller rustfritt stål-konstruksjoner som skal være under havet eller i bølgesonen, gjelder Jotun sitt coating System no. 7. Miljøet som disse stålkonstruksjonene skal oppleve i subsea er brutalt, og selv rustbestandige stållegeringer vil være svært utsatt for korrosjon og kan dermed miste sin strukturelle integritet på grunn av dette. Her kommer System no. 7 coatingen til Jotun inn i bildet. Coatingen fungerer som en beskyttelse mot elementene og gjør at stålkonstruksjonene er mye mindre utsatt for korrosjon og de andre passive påkjenningene som fins i subsea miljøet. Produktene til Jotun har en livstidsgaranti på 25 år, som gjør at servicetiden til konstruksjonene kan foregå uavbrutt. [14]

NORSOK System nr. 7 består av flere forskjellige produkter fra Jotun. En av disse produktene er Marathon. Marathon er en to-komponent polyamine herdet epoxy coating. Coatingen er forsterket og passer godt for strukturer som må være veldig ripebestandig. Den beskytter stållegeringer som er ekstremt utsatt for korrosjon, spesielt i offshore bruk og subsea bruk. [14]

2.5.3 Bronse

Bronse er hovedsakelig en legering av kopper og tinn. Men som andre legeringer kan det være stor forskjell på materialegenskapene til legering med bare små forskjeller i den kjemiske oppbygningen av materialet. Styrken på legeringen avhenger mye av hvilket forhold kopper har til tinn i den kjemiske komposisjonen. Fosforbronse er en av bronselegeringene som har den høyeste motstandsdyktigheten mot korrosjon, samtidig som den har en flytegrense fra 388MPa til 450MPa. Dette gjør den utmerket til installasjoner som trenger å tåle mye samtidig som det har en god korrosjonsbestandighet. Fosforbronse inneholder mellom 0.5 og 11% tinn og 0.01 til 0.35% fosfor. Tinn gjør at legeringen får en bedre korrosjonsbestandighet og styrke, og fosfor gir en bedre slitestyrke og stivhet. [15] For å få bedre selvsmørende egenskaper kan man tilsette en større del bly. Dette vil også gjøre at legeringen blir enklere å maskinere.

Siden det er vanskelig å holde systemer tette i subsea-miljøet er det derfor også vanskelig å få satt inn komponenter og kontaktflater med smøring som ikke vil løses opp i sjøvannet. Bronse er et selvsmørende materiale. Når en bronselegering settes i kontakt med et annet materiale, vil det bli mindre friksjon enn om det skulle vært kontakt mellom for eksempel to stålkomponenter. Sjøvannet vil også fungere som en form for smøring. Dette kan være en god kombinasjon for

å få en mekanisme som ikke trenger noen form for ekstern smøring for å kunne fungere. [16]

2.6 Bærekraft

Begrepet *bærekraftig utvikling* ble først brukt i rapporten *Vår felles framtid* fra 1987. Rapporten ble utgitt av *Verdenskommisjonen for miljø og utvikling*. Denne kommisjonen var ledet av den tidligere norske statsministeren Gro Harlem Brundtland og er ofte omtalt som Brundtland-kommisjonen. I rapporten er bærekraftig utvikling definert som *Utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov*. [17] Dette betyr at når samfunnet skal finne ut hvordan de skal drive med industri og næring, må det tas hensyn til hvordan dette vil påvirke fremtidige generasjoners muligheter til å drive med tilsvarende industri, næring og økonomisk verdiskapning. For det er viktig å tenke på det store bildet når det kommer til bærekraft. Det er lett å tro at miljømessig bærekraft er den eneste formen for bærekraft, men uttrykket deles ofte opp i tre deler. Disse tre delene som ofte blir henvist til er miljømessig bærekraft, sosial bærekraft og økonomisk bærekraft. [18] Med tanke på dette utformet FN *Sustainable Development Goals* i 2015. Disse 17 målene, som er illustrert i figur 2.5, ble laget for å utrydde fattigdom, beskytte planeten, og for å forsikre om at verdens befolkning nyter fred og velstand innen 2030. [19] Bakgrunner for etableringen av FNs bærekraftsmål var FNs tusenårsmål, som gjaldt fra år 2000 til 2015. Selv om målene den gang hjalp mye, ble de ofte beskyldt for å bare jobbe mot symptomene til fattigdom og diskriminering. Målene som kom i 2015 jobber mer mot de bakenforliggende årsakene, og har et mye sterkere fokus på miljømessig og økologisk bærekraft. [20]



Figur 2.5: Visualisering av FNs 17 bærekraftsmål [19]

2.7 Livssyklusanalyse

I alle design og utviklingsprosesser som skjer i dag, er det viktig å tenke på det fullstendige livsløpet til et produkt når man skal finne ut av eventuelle miljøavtrykk. I mange miljødeklarasjoner i dag er det bare det direkte miljøavtrykket som kommer av produksjonen av et produkt eller en produksjonsprosess som betraktes. Det kan da ofte bli misvisende i det store bildet, om da de største delene av utslippene skjer indirekte eller tidligere i livssyklusen til produktet. Et godt eksempel på dette er miljøavtrykket rundt produksjon av aluminium. Hvis det kun ses på selve framstillingen av aluminium fra råvaren alumina vil miljøavtrykket pr. tonn produsert være veldig lite. Ser man på det mer fullstendige bildet vil man se at mye av miljøavtrykket egentlig kommer fra transport av råvarer, produksjonen av elektrisiteten som brukes når aluminium produseres, og utslippene av miljøgifter som rødslam under raffineringen av råmaterialene. Lagringen av miljøavfallet rødslam er også en stor utfordring og må tas hensyn til, selv om det ikke reflekteres i det totale CO_2 utslippet til aluminium. Det betyr også at aluminium som produseres i land som får energien sin fra fornybar energi vil ha et vesentlig mindre miljøavtrykk enn land som får energien sin fra fossile brensler som kull og gass. [21]

Det er derfor viktig med en livsløpsanalyse, helst fra vogge til grav, når man skal designe et produkt. Alle eventuelle utslipp fra produksjon av materialer som er i starten av livssyklusen til et produkt, fram til eventuelt resirkulering av komponentene på slutten av livssyklusen til produktet må tas høyde for. Dette bidrar til å gi et fullstendig bilde av hvordan dette produktet vil påvirke miljøet, og kan videre brukes for å gjøre produktet enda mer miljøvennlig ved å begrense utslippene fra de mest vesentlige utslippsfaktorene i produksjonsprosessen.

Kapittel 3

Metode

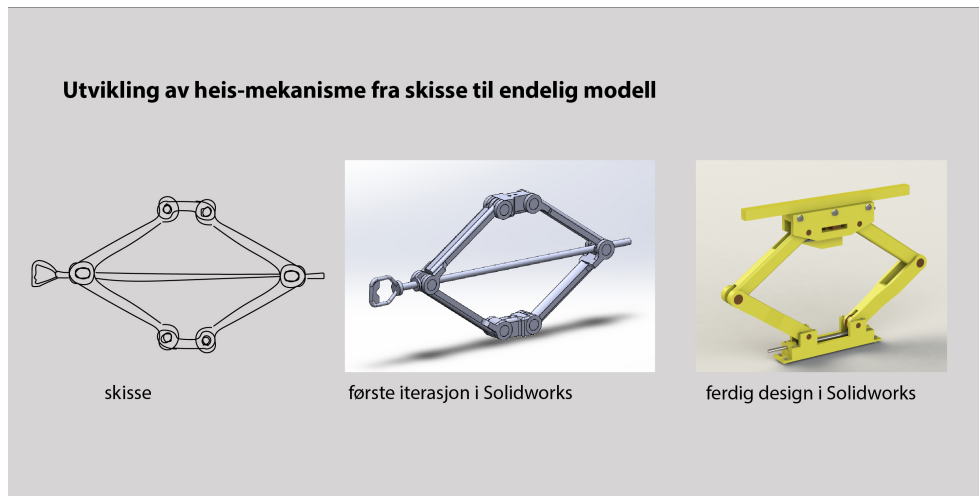
En god designer, vet han har oppnådd perfektjon, ikke når det ikke er noe mer å legge til, men når det ikke er noe mer å ta bort.

-Antoine de Saint-Exupéry

Modellering av mekaniske komponenter til bruk i subsea er kompetanse som beveger seg litt utenfor de rammene som ligger i grunn i utdanningen til bachelorgruppa. Derfor ble det tidlig bestemt at for at dette prosjektet skal bli vellykket er det viktig å konsultere med ingeniører og akademikere som har mer erfaring. Siden dagens Covid-19 situasjon gjør at det blir vanskelig å møtes fysisk, har alle konsultasjoner skjedd digitalt over Microsoft Teams og videokonferansetjenesten Zoom. Disse digitale konsultasjonene har gitt gode innspill på hva som må vurderes i miljøet som subsea installasjoner skal være i. De har gitt bachelorgruppa bedre perspektiv på hva som er viktig å fokusere på, for at dette prosjektet skal bli ferdig i tide, samt gi en god løsning på problemstillingen.

3.1 Skissering

Et godt utgangspunkt i enhver utviklingsprosess er å skissere idéer utviklet gjennom prosjektet ned på papiret. Dette gjør det enklere å visualisere og det å ha et referansepunkt for videre idémyldring. Fordelene med å skissere noe før det modelleres er at en da kan få idéene raskt konkretisert ned på papiret, og at man ikke trenger å vite alt av nøyaktige mål på forhånd. Programmet som hovedsakelig ble brukt til denne skisseringen var Adobe Illustrator CC. Dette programmet er en avansert versjon av MS Paint og gjør det lettere å endre på design etter de er blitt skissert. Bachelorgruppa laget hovedsakelig ett Illustrator-dokument med alt av tegninger. Dette gjorde det enkelt å hoppe raskt mellom de forskjellige designene, og sammenlikne arbeid om hverandre.



Figur 3.1: Eksempel på hvordan designprosessen har vært.
Her er den mekaniske heisen vist

3.2 Solidworks-modellering

Etter en idé er blitt skissert enkelt ned i Adobe Illustrator og den har blitt nøye diskutert innad i bachelorgruppa blir den modellert i et Computer Assisted Design (CAD) program. I dette prosjektet har CAD programmet Solidworks blitt brukt. Gruppemedlemmene har mest erfaring fra dette programmet, og det brukes hyppig av Aker Solutions, som gjør at det er lett å dele komponent design frem og tilbake mellom gruppemedlemmer og Aker Solutions.

Solidworks er et program som lar deg lage 3D-modeller av mekaniske komponenter og sette de sammen til bevegelige sammensetninger, eller Assemblies inne i programmet. Noen av funksjonene i dette programmet inkluderer

- Lage raske og nøyaktige design, inkludert 3D modeller og 2D skisser av komplekse mekaniske deler og anordning
- Eliminere feil og remoddelinger ved å bruke integrerte bevegelse og påkjenningsanalyse-verktøy

Ved å bruke Solidworks i dette prosjektet kan bachelorgruppa designe komplekse deler hurtig og prøve ut hvordan disse delene vil fungere i en større innretning. Det er også ofte lettere å se mulige utfordringer når man får sett hvordan delen brukes i det store perspektivet. En av fordelene ved å bruke Solidworks for å sette sammen konsepter er at det også mye enklere å bruke dette til å visualisere hvordan komponenter passer sammen med hverandre. Tegning i to dimensjonerte programmer slik som Adobe Illustrator har visse begrensninger når det kommer til å se forskjellige komponenter i perspektiv med tidligere utarbeidede komponenter. Solidworks kan også være med på å vise om det er problemer med plass-

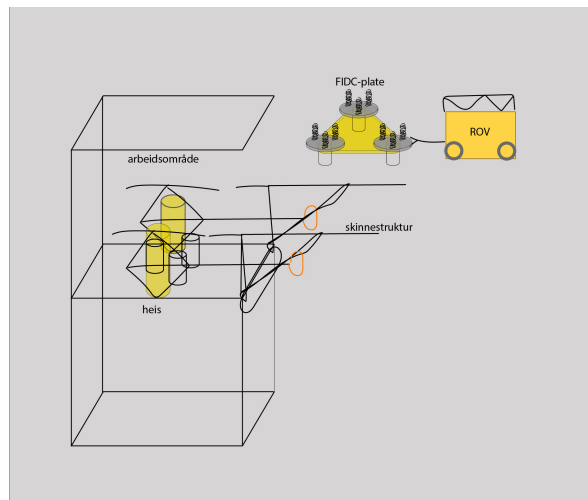
forvaltning og dimensjonering, eller om fasongen på en komponent må endres for at installasjonen skal kunne skje uten hindringer. Når forskjellige komponenter er satt sammen i en assembly eller i en sammensetning vil man se hvordan ting fungerer sammen. Om det da viser seg at det er noe galt med passformen til en komponent, kan man isolere denne enkelte komponenten for å se hva som skaper problemet og for å se hvordan man kan løse det. Hvis det er usikkerhet på klaring eller avstand mellom noe, har Solidworks veldig gode måleverktøy der det går an å sjekke alt fra avstand til masse. En stor del av det ferdige resultatet til denne oppgaven er den ferdigstilte modellen av resultatene i Solidworks. Derfor vil den ferdigstilte modellen sendes til oppdragsgiver, og blir gjort tilgjengelig sammen med denne rapporten.

3.3 Styrkeberegning i Solidworks

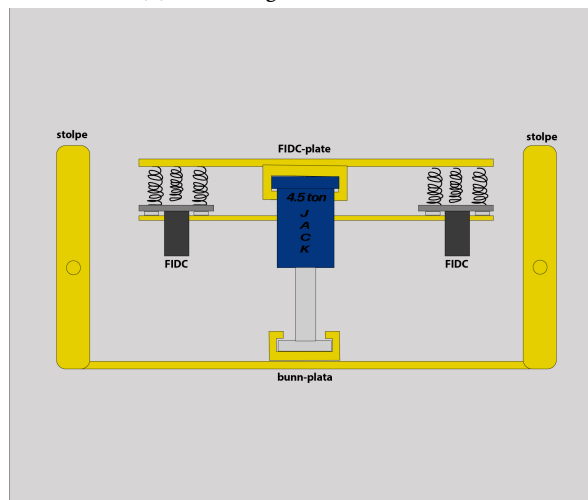
Det er viktig å ta i betraktning den strukturelle integriteten til en mekanisk komponent gjennom designprosessen. Solidworks har et eget styrkeberegningsverktøy integrert i sin software som kan brukes til å fastslå den strukturelle integriteten til en komponent. Styrkeberegning av mekaniske komponenter er et eget fagfelt, noe som krever en viss kompetanse for å få til korrekt. Dette gjør at resultatene er mer en pekepinn enn et reelt resultat. Ekstra beregninger av komponentenes strukturelle integritet bør gjennomføres før komponentene blir produsert og brukt i reelle applikasjoner.

3.4 SimaPro

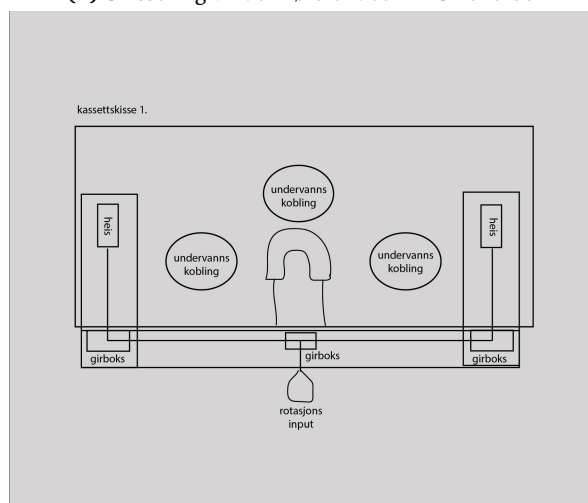
Simapro er en verdensledende LCA (Livssyklusanalyse/Life Cycle Assessment) programvare som blir benyttet for å måle miljøeffekten av en eller flere prosesser. [22] Programmet har en database med utslippsdata av forskjellige prosesser og kan brukes til å analysere utslippet til ett bredt spekter av prosesser fra livssyklusen til ett papirhåndkle til aluminiumsproduksjon. Simapro brukes i dette prosjektet for å lage modeller på utslippene rundt produksjonen til det endelige designet. Simapro er anerkjent både innenfor akademia og industri og er basert på robust vitenskap av LCA. LCA er den ledende måten å måle ett produkts bærekraftighet og blir brukt til forskning og som grunnlag til politiske avgjørelser eller politisk utvikling. Med disse fordelene er det et foretrukket program for å lage ISO-kompatible livssyklusanalyser i henhold til ISO 14067 og 14040 og EPDer (miljødeklarasjons-erklæring/Environmental Product Declaration) til bedrifter. [23]



(a) Skissering av arbeidsområdet



(b) Skissering av den første idéen til Stroketool



(c) Skissering av kassettsystemet

Figur 3.2: Skisser av komponenter

Kapittel 4

Resultater

Problemstillingen til dette prosjektet er hvordan tre stykk FIDC skal bli installert i et kompresjonsanlegg 1300m under havoverflaten. Den endelige installasjonsprosessen har kommet av en iterativ designprosess der flere komponenter har vært igjennom mange iterasjoner. Det endelige konseptet for installasjonsprosessen går som følger:

- FIDCene lander på et par med landingsskinner, så ROVen kan dytte FIDCene inn over undervannskontaktene.
- Deretter jekkes FIDCene ned til riktig posisjon ved hjelp av heisene.
- For å få riktig sammenføyningskraft brukes et av Aker Solutions sine egne ROV verktøy, Stroke-tool.
- Når sammenføyningskraften er riktig, vil ROVen kunne låse fast FIDCene med Aker Solutions eget bolteskåte system. Dette vil sikre FIDCene på riktig plass til de skal avinstalleres.
- Avinstallasjonsprosessen er installasjonsprosessen i motsatt rekkefølge.

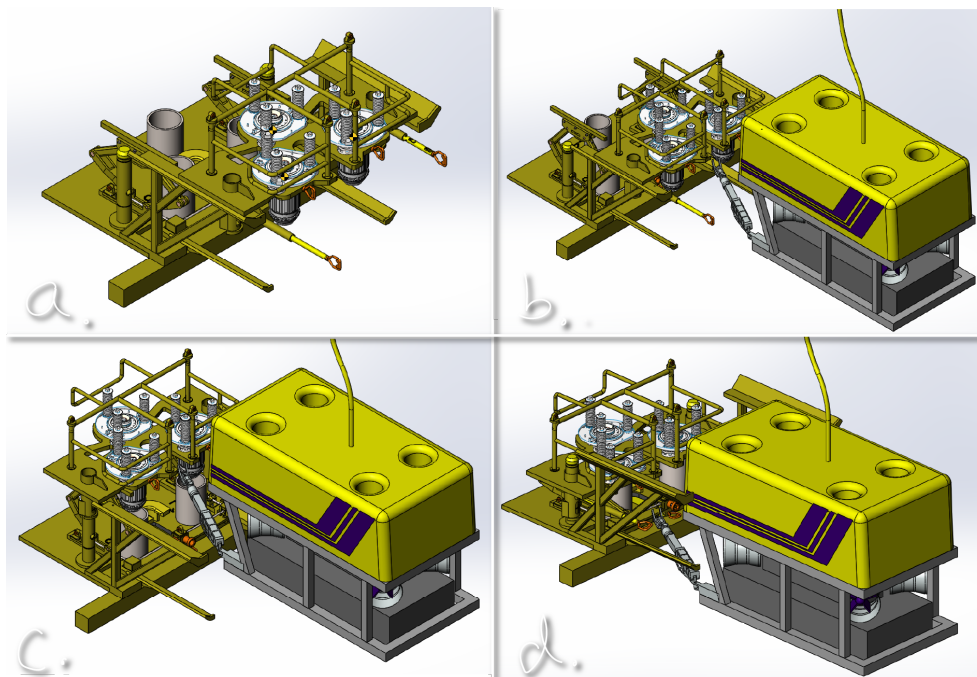
4.1 Installasjonsprosess for FIDC av ROV

For å løse utfordringen med å få alle tre FIDCene på plass, samtidig å få en jevn sammenføyningskraft ble det designet en plate som alle tre FIDC festes inn i med skruer. Denne platen, som blir kalt FIDC plata, blir senket ned på vaier fra et off-shore fartøy helt ned til dybden til kompresjonsanlegget. Dette vil løse problemet med løftebegrensningen til en ROV. Etter FIDC plata har blitt senket ned til riktig dybde vil en ROV posisjonere den over et skinnesystem der plata vil landes forsiktig. Skinnesystemet vil gjøre at plata kommer i riktig posisjon for installasjon. Når FIDC plata er plassert riktig på skinnene vil vaieren kobles av med hjelp av ROVen, og skinnene vil da bære hele tyngden av FIDCene og plata. Deretter vil ROVen skyve FIDC plata innover til plata stoppes av låsestolpene i arbeidsområdet. Når plata stopper i denne posisjonen vil den være plassert rett over undervannskoblingene som de tre FIDCene skal bli koblet til i. ROVen vil da skru på et ROV-håndtak som styrer to mekaniske jekker som vil senke FIDC plata med de tre FIDCene ned i



Figur 4.1: Hele designet av installasjonen som resultat av dette prosjektet

undervannskoblingene. Disse to mekaniske jekkene drives av hver sin roterende aksling som roterer en snikkegir-mekanisme som hever og senker heisene ut ifra hvordan ROVen roterer den. Når FIDCene er kommet ned på undervannskoblingene setter en ROV inn et Aker Solutions Stroke Tool som vil klemme FIDC plata mot bunnplaten med en kraft på 45 000N. Dette møter det kravet om sammenføyningskraft som kunden til Aker Solutions vil ha. Når Stroke tool er blitt brukt vil en bolteskåtemekanisme som er festet i FIDC plata kunne låses fast i låsestolpene i arbeidsområdet. Når FIDCene er låst fast kan ROVen fjerne Stroke Tool og FIDCene er installert. Alle komponentene som er gule i figur 4.1, er behandlet med 2 lag med System 7 NORSOK coating.



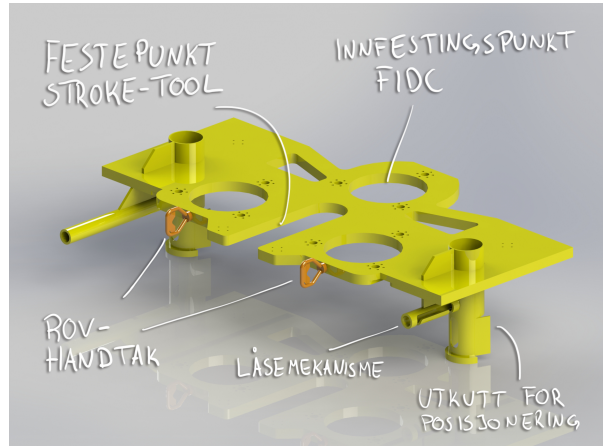
Figur 4.2: Visualisering av hele installasjonsprosessen

4.2 FIDC plate

Når FIDC kommer fra underleverandøren til Aker Solutions blir den levert plugg for plugg. Siden dette prosjektet går ut på å installere tre av disse pluggene på best, og enklest mulig måte, ble det sett på muligheten å installere alle tre pluggene på en gang. For at det skal være mulig, nå det være et system til stede som holder alle tre FIDC'ene på plass. Dette startet utviklingen av FIDC platen. Det ble tidlig bestemt at denne platen skulle ha to hovedfunksjoner. Den første er å gjøre tre FIDC-plugger til en enhet og holde de på plass. Den andre er å lage et festepunkt der kraften for å låse fast pluggene kan være.

Siden de tre FIDCene skal installeres i en trekantet figur, startet designet av FIDC platen naturlig nok som en stor trekant, som holder FIDCene på plass. Den første iterasjonen av denne platen var en 50mm plate, med tre utkutt der FIDCene kunne bli festet. Videre ble et utkutt satt inn i designet der en sammenklemmingsmekanisme kunne bli festet. I løpet av designprosessen ble det bestemt at låsesystemet som ellers låser på plass kompresjonsmodulen også kan tas i bruk for FIDC og FIDC plata. For å låse fast kompresjonsmodulen blir stolpene som kan sees i figur 4.4, av arbeidsområdet brukt. Disse stolpene har to strategisk utborede hull der en kan sette inn en bolt for å låse kompresjonsmodulen på plass. Denne bolteskåtemekanismen måtte også designes inn i FIDC-plate-designet. For å gjøre dette ble FIDC plata utvidet i bredden og to sylindre designet inn i de nye flensene. Den

ene låsebolten er gjort lengre for å ta hensyn til at ROVen er høyrehendt. Da kan ROVen holde seg fast med venstre hånd utenfor arbeidsområdet på venstre side, for så å bruke høyre hånd til å låse inn bolten. Mer om hvordan låsemekanismen fungerer står skrevet mer i detalj i underkapittel 4.7 Låsesystem.



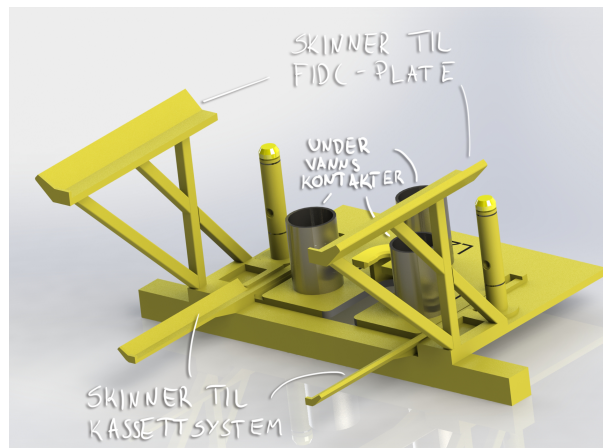
Figur 4.3: Modell av platen som holder de tre FIDCene sammen

4.3 Skinnesystem

Siden en ROV ikke har kapasitet til å løfte en FIDC i seg selv, og da heller ikke tre FIDC og en eventuell plate som vil holde de sammen, må det være et system på plass som gjør FIDC-plate med FIDC'er fysisk lettere å håndtere for en ROV. For å få til dette har bachelorgruppa gått ut ifra at pluggene med plate blir heiset ned på en vaier. Når dette har kommet i riktig posisjon må det være noe på plass som tar opp vekta slik at en ROV kan håndtere det. Dette blir løst ved å sette inn noen skinner som FIDC mekanismen kan lande på. Disse skinnene er plassert slik at FIDCene henger over undervannshun-koblingene og det eneste en ROV trenger å gjøre er å dytte FIDC inn slik at den posisjoneres rett over koblingene. Disse skinnene må tåle det passive miljøet det blir utsatt for på havbunnen. Det må også tåle de aktive påkjenningene som kommer når FIDC platen lander og blir skjovet inn på skinnene. For at det ikke skal skje noe deformasjon av skinnene er det satt opp et fagverk i underkant som vil ta opp mesteparten av påkjenningen og belastningen fra FIDCene og platen.

4.4 Kassettsystem

Siden subsea miljøet kan være så belastende for materialer og komponenter over tid, så er det viktig å tenke tidsperspektiv når noe skal designes for bruk på subsea. Bevegelige deler blir spesielt utsatt når det kommer til korrosjon og galvanisk korrosjon, hvis de står urørt over lengre tidsperioder. De initiale designene gikk

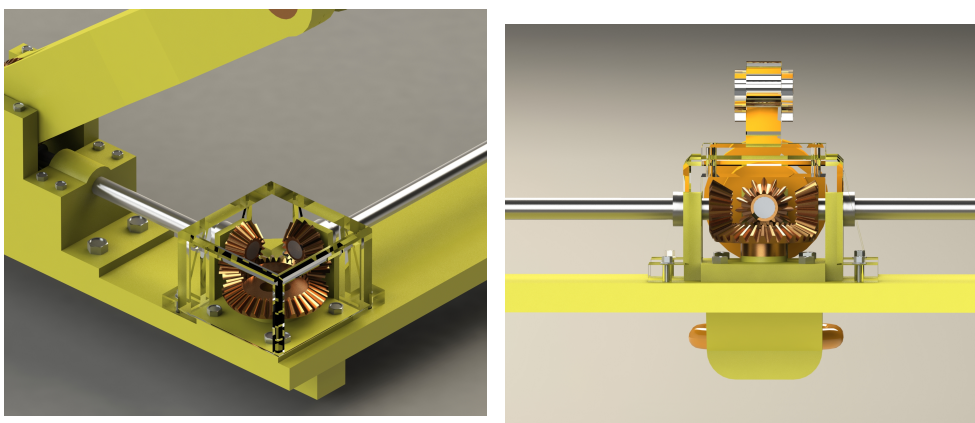


Figur 4.4: Modell av skinneresystemet som FIDC-platen lander på

ut ifra at hele heismekanismen rundt installasjonen skulle være permanent, eller semipermanent. Dette ville ha gjort evt. feilsøking og liknende praktisk talt umulig, siden en ROV vil ha vanskelig for å skifte ut enkeltdeler. For å løse dette kom idéen med et kassettsystem som kan installeres og avinstalleres av en ROV. Et kassettsystem gjør at ved eventuell feil i løftmekanismen, kan hele løftmekanismen tas ut og heises opp til over havet for å fikses eller skiftes ut. Med et slikt kassettsystem kommer også noen nye rammer for hvordan en heis kan dimensjoneres med tanke på at alt må installeres mellom undervannskoblingene og stolpene. Det gir en viss åpning som kassettsystemet med heisene må kunne gli gjennom.

Kassetten som heisene festes i, vil også bære girmeknikken som skal drive heisene. En ROV har som nevnt tidligere i denne rapporten bare en operativ hånd, siden den andre hånden brukes for å holde seg fast. ROVen kobler seg på en torque-håndtak der den kan overføre et rotasjonsmoment over til en girkasse, som fordeler rotasjonsmomentet til to nye girbokser. Disse to siste girboksene overfører rotasjonsbevegelsen 45 grader bort til heisemekanismen.

For at kassetten skal ende opp i riktig posisjon når den blir installert av ROVen, er det lagt inn en spor som går langs undersiden av kassetten. Etter kassetten har landet på mottakerskinnene sine kan ROVen fjerne sjaklene som holder den i vaieren, og dytte den inn i arbeidsområdet. Sporene som er lagt inn på undersiden av kassetten vil da gli inn i to spor som er lagt inn i bunnplaten til undervannskoblingene. Sporene er akkurat så lange at der sporene stopper, er kassetten i riktig posisjon for at heisene skal kunne ta imot FIDC plata riktig. Dette gjør det veldig enkelt for ROVen å vite når heisene er plassert riktig, siden alt den trenger å gjøre er å dytte kassetten inn til den stopper.



(a) Girboksen som forflytter rotasjonsmomentet med 45 grader

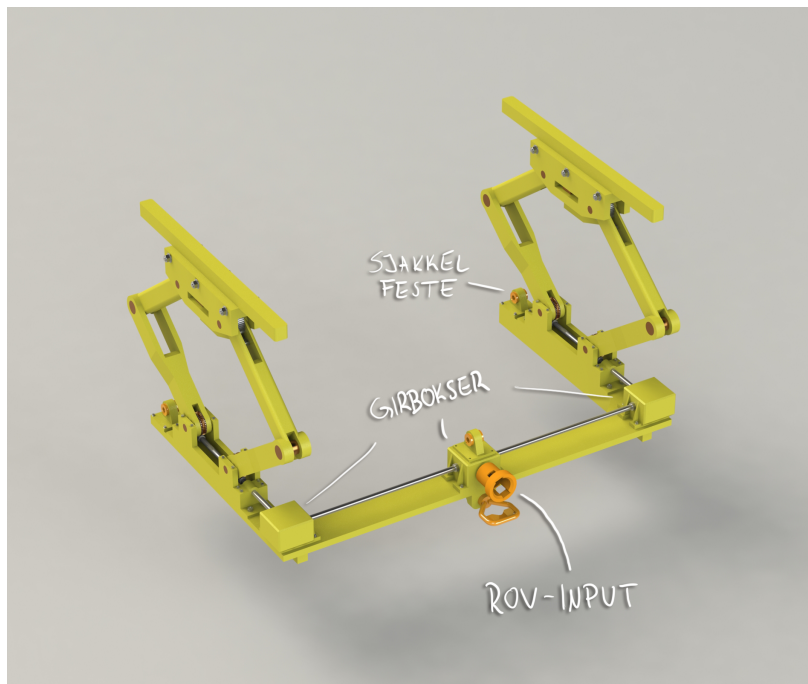
(b) Fordelingsgirboksen sett fra baksiden

Figur 4.5: Isolert bilde av girmekanikken som fordeler rotasjonsmomentet fra ROV til heis

4.5 Mekanisk heis

Etter FIDC plata har blitt heiset ned med vaier, landet på mottakerskinnene og blitt dyttet inn av en ROV, så vil FIDC platen henge posisjonert rett over undervannskoblingene. For å installere FIDC plata med FIDCene, og ha mulighet til å avinstallere dette i senere tid, trengs det en heisemekanisme som kan løfte den fulle vekten av FIDC plata og ikke kommer i veien for noen av de andre mekanismene. Designet som har blitt valgt for å løse denne funksjonen er to mekaniske jekker som er plassert på hver sin side av undervannskoblingene, og innenfor låsesøylene. Det endelige designet på denne jekken er en egen oppfinnelse som har tatt inspirasjon fra bachelorgruppas tidligere jekkdirigering og inspirasjon fra andre mekaniske prinsipper. Innovasjonen her er hvordan de forskjellige mekaniske prinsippene og tidligere designene har blitt kombinert til ett produkt for å løse de utfordringene dette prosjektet har hatt. Av det bachelorgruppa vet, har ikke denne typen jekk eller løftemekanisme blitt laget på denne måten før.

Det har vært mange design som har blitt vurdert når det kommer til hvordan FIDC plata skulle senkes ned i riktig posisjon i undervannskoblingene. Det første designet som ble vurdert var et design som likner på en vanlig saksejekk. Slike brukes ofte for å jekke opp biler for å skifte dekk. Dette var bevis nok på at et slikt design ville klare å holde tyngden på FIDC plata med tre stykk FIDC bygget inn. Denne tyngden var anslått til å være rundt 1200kg. Det initiale jekkdirigering hadde en gjenget aksling som var sentrert i jekken. Denne akslingen ville bevege seg opp og ned i takt med at den mekaniske jekken ble heiset opp og ned. Dette ga flere utfordringer, men den vanskeligste utfordringen dette innebar var å få koblet de to mekaniske jekkene sammen, slik at en skru bevegelse fra en ROV ville heve og senke begge jekkene i takt med hverandre. Hvis drivakslingen i midten beveger



Figur 4.6: Bilde som viser kassetten med mekanisk heis og girbokser

seg, vil det være vanskelig å koble på en fordelingsmekanisme som også overfører rotasjonsmoment over til drivakslingen på den andre jekken. Hvordan denne ville sett ut vises i figur 3.1.

For å få én rotasjonsbevegelse fra en ROV til å bli til to separate heisebevegelser så må det noe girteknikk til. Etter undersøkelser på forskjellige typer jekker og heisemekanismer oppsto idéen om å bruke en skrujekk, der en roterende aksling med et snekkegir på vil kunne senke en stolpe opp og ned, noe som kunne fungere som en jekk for FIDC-platen. Dette designet for en jekk løste mange av problemene som en saksejekk har, noe som gjorde at dette virket som en god løsning. Som nevnt tidligere er dette designet avhengig av at jekkene kan settes inn og fjernes som et kassettsystem, slik at eventuelle problem eller komplikasjoner med mekanismen kan utbedres på land, i stedet for at det skal forsøkes å fikses med ROV. Problemet som da oppstår med en skrujekk er at den trenger et sted som den gjengete søylen kan være, både når mekanismen er i øvre posisjon, og når den er i nedre posisjon. Dette betyr at kassetten ikke kan fjernes, når FIDCene er plassert.

Powerjacks er et firma som spesialiserer seg på skrujekker for bruk på land, men også for subsea bruk. Skrujekkene deres kan fås i to forskjellige konfigurasjoner, en der hele søylen beveger seg opp og ned, og en der søylen roterer og det er en gjenget mutter som beveger seg opp og ned på søylen. De sistnevnte kon-



Figur 4.7: Modell av heisemekanismen i sin helhet

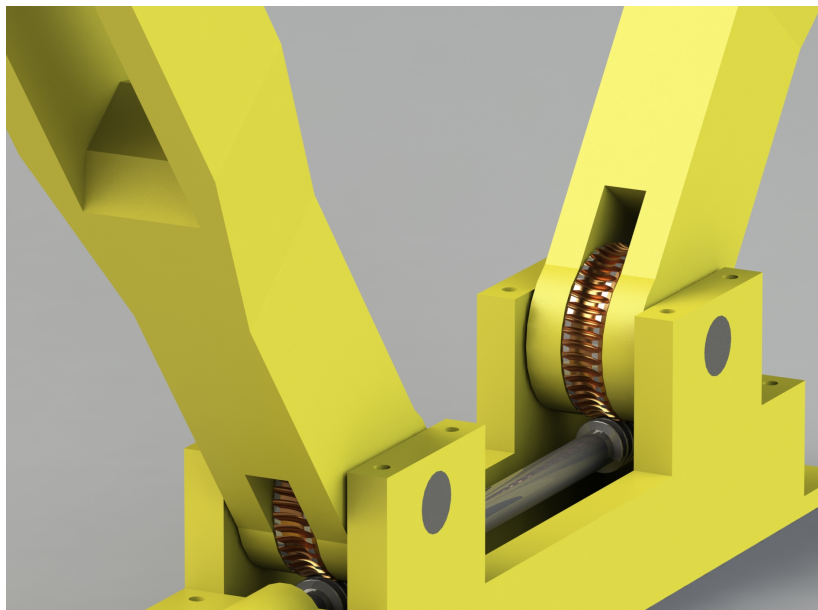
figurasjonene er vist i figur 4.9. Begge disse konfigurasjonene gjør at lengden på jekken alltid være fullt utstrakt. Dette ville ha låst fast kassetten, enten når jekken er i øvre posisjon, eller når jekken er i nedre posisjon. Selv om heisene deres ikke nødvendigvis fungerer for akkurat denne oppgavens problemstilling, fungerer de som et *proof-of-concept* for idéen med å bruke en mekanisk skrujekk til subsea bruk.



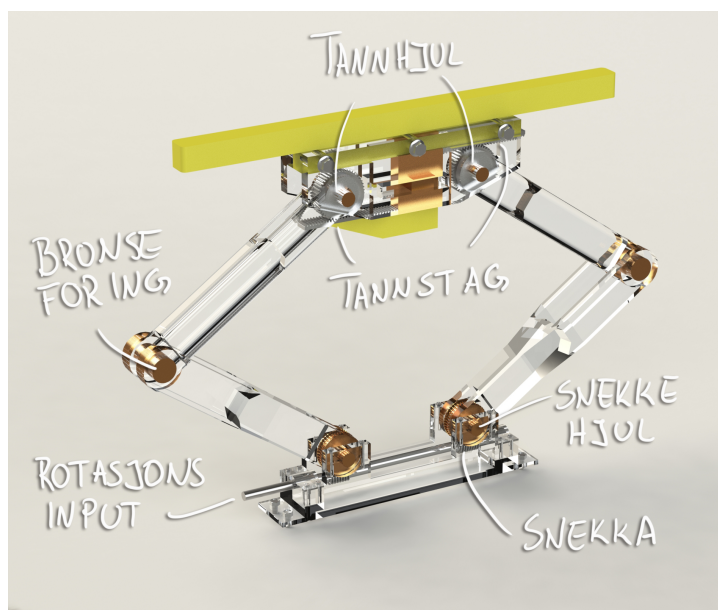
Figur 4.8: Powerjacks' skrujekk-konsept [24]

Den endelige løsningen benytter prinsipper i fra de to tidligere designene. Denne løsningen bruker i likhet med skrujekken snekkegir. Dette ved at en aksling

med to snekker i motsatt retning roteres. Disse snekkene driver to snekkehjul montert over snekkene i symmetrisk motsatte retninger. I snekkehjulene er de nedre armene til jekken festet og vil bevege seg sammen med dem. Med dette prinsippet vil de nedre armene til jekken bevege seg i 360 grader sammen med snekkehjulene. På grunn av giringen vil dette kreve mange rotasjoner av snekka og i praksis vil snekkehjulene rotere mindre enn 90 grader for å løfte og senke FIDC-platen. I likhet med tidligere design av saksejekk er de øvre armene festet sammen med de nedre i en foring. For at armene skal heves og senkes symmetrisk er det på plass en løsning med tannhjul og tannstang. I likhet med snekkehjulene er tannhjulene festet på toppen av de øvre armene, slik at når tannhjulene roterer gjør de øvre armene det også. Den ene tannstangen er plassert på oversiden av tannhullet, men på den andre siden er den under. Dette er gjort slik at tannhjulene roteres mot hverandre når heisen går nedover og fra hverandre når heisen går opp. Med dette vil tannhjulene rotere motsatt symmetrisk fra eller mot hverandre gitt at jekken går opp eller ned. Tannstengene er festet sammen med en tannstangholder som har utstikkere som passer overens med toppen av jekken som er festet i de samme foringene som tannhjulene. Utstikkerne i tannstangholderen vil bevege seg fram og tilbake i uthulingene i jekktoppen når jekken går opp og ned. Med disse prinsippene vil jekken stabilt gå opp og ned når akslingen med snekker roteres av ROven. Hvordan dette fungerer er illustrert i Figur 4.10.



Figur 4.9: Worm girene som overfører rotasjons momentet til et løftemoment



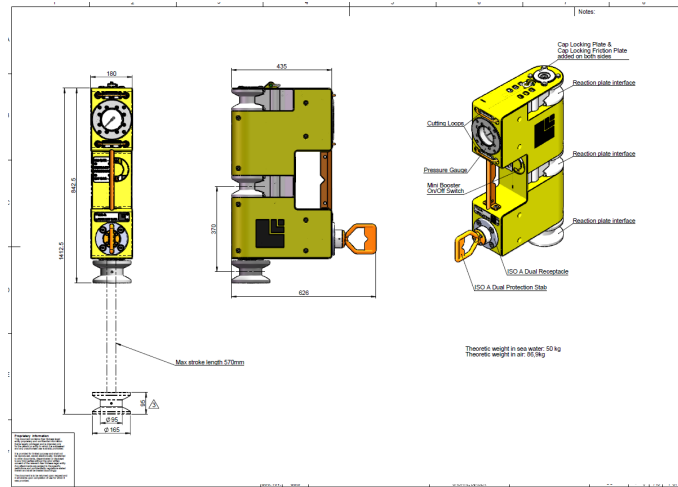
Figur 4.10: Heisemekanisme vist i profil med synlig girteknikk

4.6 Stroke-tool

Utfordringen med å få en sammenkoblingskraft på 45 000 N var i fokus tidlig i utviklingsprosessen. Ikke bare måtte det plasseres tre stykk FIDC i tre undervannstilkoplinger, men disse tre pluggene må også ha en sammenkoblingskraft tilsvarende vekten av en lett lastebil. Etter designet for FIDC platen var i gang ble det klart at det kunne brukes et kompresjonssystem som festes i bunnplaten og i FIDC platen, som kontrolleres av en ROV. Dermed kom designet som fungerer som en invertert flaskejekk. Dette løste problemet med kompresjonen og begrensningene til ROV. Når dette ble presentert for Aker Solutions kom det frem at de har et verktøy som har en tilsvarende funksjon. Dette verktøyet blir hos Aker Solutions kalt et Stroke-tool. Med noen få endringer i designet ville et Stroke-tool fungere for å få en sammenkoblingskraft på 45 000N.

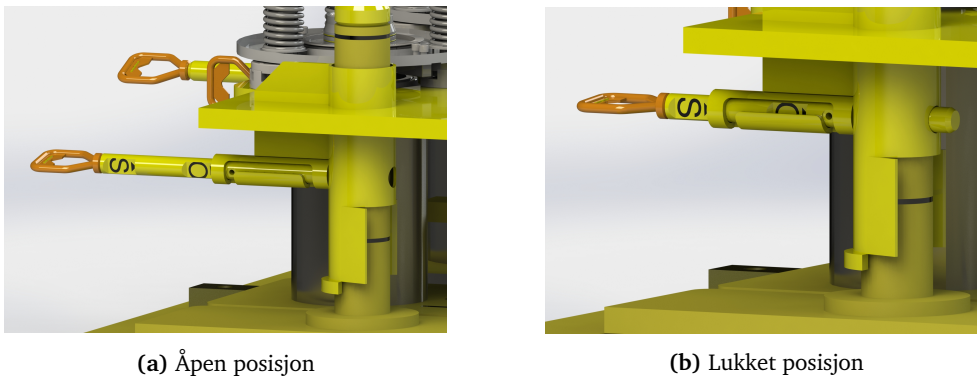
4.7 Låsesystem

Etter FIDC plata med tre stykk FIDC har blitt plassert ned i undervannskoblingene og den har fått en sammenføyningskraft på 45 000 N, må den låses fast. Stroke-tool er et redskap som bare kan brukes aktivt. Det betyr at etter Stroke-tool har blitt brukt for å få riktig sammenføyningskraft, må hele mekanismen låses fast ved hjelp av en ny struktur. De første konseptene kan minne om en skåtemekanisme som brukes på porter og grunder. Når dette konseptet ble presentert for Aker Solutions kom det frem at Aker Solutions allerede bruker et liknende konsept for å låse fast kompresjonsenheten fast i undervannskoblingene når den er i bruk.



Figur 4.11: Illustrasjon av Stroke tool-jekker til Aker Solutions
 Modell: Aker Solutions

Det ville da bli enklere om det gikk an å bruke mye av den samme infrastrukturen som kompresjonsenheten når FIDC plata med FIDC skal låses til bottom plate. Systemet som allerede er i bruk av Aker Solutions er en bolteskåte-mekanisme der bolten penetrerer stolpene som sitter i bottom plate, slik at hele FIDC mekanismen låses fast i vertikal retning, med en kraft på 45 000N.



(a) Åpen posisjon

(b) Lukket posisjon

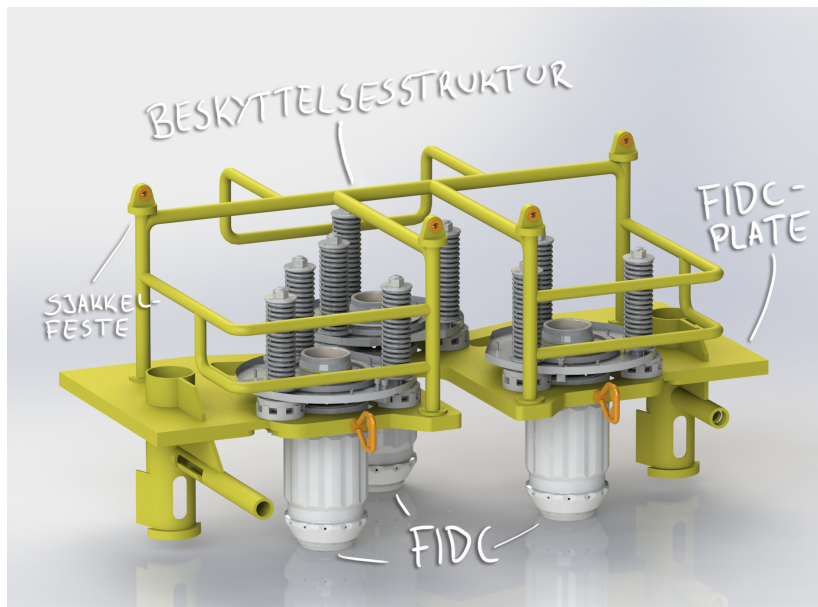
Figur 4.12: Låseskåte mekanismen

Det første designet av FIDC-plata var så smalt at det passet mellom de to stolpene i arbeidsområdet. For at FIDC plata skal ha et festepunkt til både stolpene og bolteskåten, måtte det designes en sylinderstruktur som passer over stolpene. Denne sylinderstrukturen har en indre diameter som er like stor som diameteren på stolpene den skal plasseres rundt. Funksjonen til sylinderstrukturen er todelt. Baksiden av den nederste halvdel er fjernet slik at FIDC platen stopper på plass når den blir dyttet inn av en ROV. Her er det også lagt inn en traktform på sy-

linderen, slik at om den blir dyttet litt skjevt av en ROV så vil fortsatt stolpene treffe inn i sylinderstrukturen og hele mekanismen vil stoppe i riktig posisjon for nedheising.

4.8 Beskyttelsesstruktur

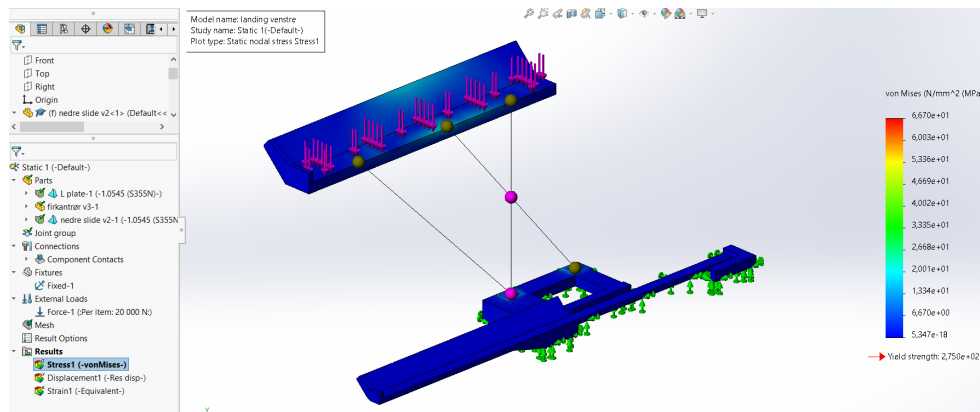
For at hverken FIDCene eller FIDC platen skal bli skadet under transport eller under installasjon, er det designet inn en beskyttelsesstruktur rundt FIDCene. Denne er montert fast i FIDC platen, og er festet i fire punkter med fire M8 maskinskruer i hvert punkt. Beskyttelsesstrukturen brukes også som festepunkt for sjakkelfestene, som skal brukes under nedsenkingen av FIDC strukturen. Sjakkelfestene er festet 350 mm over FIDC platen slik at kjettingene som brukes under nedsenking ikke kommer bort i fjærene til FIDCene. Beskyttelsesstrukturen er laget av S355 stål som blir behandlet med to lag med System 7 coating. Dette vil gjøre den veldig slitesterk, og den vil da kunne tåle miljøet den utsettes for på 1300 m havdyp.



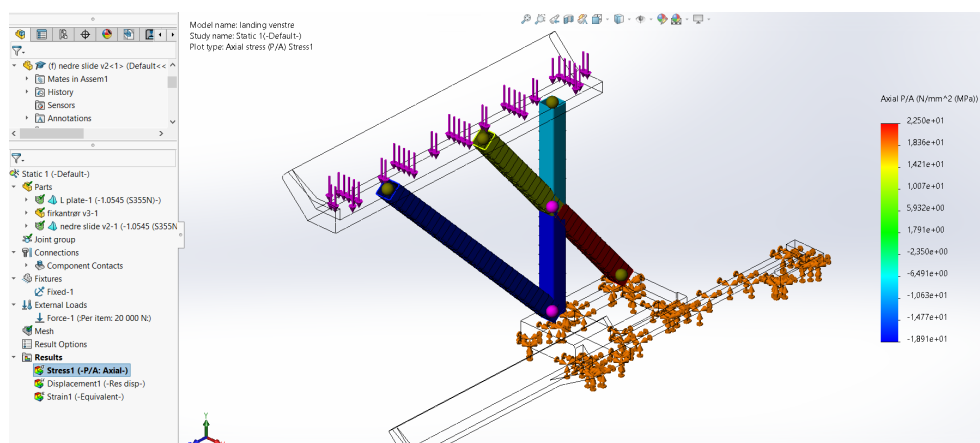
Figur 4.13: Modell av beskyttelsesstrukturen til FIDCene og FIDC plata

4.9 Styrkeberegning

Det ble foretatt en styrkeberegning av landingskinnene som FIDC-platen skal lande på før den blir dyttet av ROV på skinnene på toppen av heisen. FIDC-platen med beskyttelsesstruktur og tre stykk FIDC montert på vil veie 1 800kg over vann. Under vann vil den veie mindre enn dette. I denne styrkeberegningen er det tatt for seg en av de to landingskinnene. Dette kan bli gjort på grunn av symmetrien i FIDC-platen og landingskinnene som vil gjøre at de blir påført like mye krefter. I styrkeberegning er det brukt 20 000N kraft påført på landingsplaten på landingskinnen, godt over det som er forventet i den virkelige applikasjonen. Landingskonstruksjonen er fastspent i de samme punktene som den vil være fastspent i virkelig bruk, dette er vist ved de grønne pilene i figur 4.14. Som man kan se på resultatet i figur 4.14 og 4.15 er påkjenningen til konstruksjonen langt i fra flytegrensen til S355 stål som alle komponentene i konstruksjonen er laget av. Den største spenningen som oppstår er 66.70MPa vist i rødt i figur 4.15.



Figur 4.14: Solidworks FEA styrkeberegning av landingsplate



Figur 4.15: Solidworks FEA styrkeberegning av landingsplate

Skinnestrukturen som FIDC-platen skal lande på er en viktig komponent, og må kunne tåle den fysiske påkjenningen fra vekten av FIDC-plata. Samtidig er det ikke den mest kritiske komponenten i sammenhengen med styrkeberegning. En konstruksjon som denne der installasjonsprosessen er avhengig av flere ledd, vil ha sin svakhet i det svakeste leddet. Etter diskusjoner med Aker Solutions er det kommet fram til at det svakeste leddet mest sannsynlig vil være girteknikken inne i den mekaniske heisen. Den originale planen var å styrkeberegne girteknikken både matematisk og ved bruk av FEA. Problemet med dynamiske styrkeberegninger av snekkegir er at det må til komplekse matematiske beregninger for å få ønskelig resultat. En av grunnene til at dette krever komplekse beregninger er at måten snekkegirene brukes i denne rapporten ikke er vanlige. I denne oppgaven ble det søkt om assistanse fra lærerressursene på NTNU, men på grunn av situasjonen rundt Covid-19 og mangel på lærerressurser var det ikke mulighet til å få veiledning på akkurat dette problemet. Det gjorde da at det ikke var mulighet å gjøre en styrkeberegning av denne komponenten. I kapittel 5.3 Videre arbeid beskrives dette som en viktig del av det videre arbeidet til denne oppgaven.

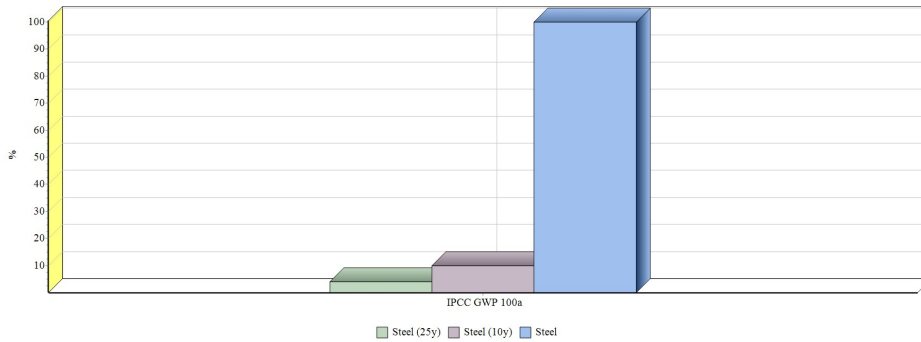
4.10 Livssyklusanalyse, LCA

Den største andelen av CO_2 -ekvivalent miljøutslipp for designet vil oppstå under produksjon av stålet som skal brukes. Miljøutslippet kan beregnes ved bruk av programvaren Simapro som er nevnt i kapittel 3.4 Simapro. For å få en pekepinn på miljøutslippet til designet ble det utført en analyse av livssyklusen til 1 tonn stål. 1 Tonn stål tilsvarer den omtrentlige mengden stål som blir brukt for å produsere FIDC-platen, jekken, landingsplatene og kassetten. Det er viktig å ta i betraktning bruksperioden til et produkt når det regnes ut miljøutslipp av produksjonen. Det vil være stor forskjell på om et produkts klimaavtrykk per år, om produktet må byttes ut hvert år eller hvert tiende år. Derfor settes det her opp en sammenlikning på produksjonsutslippene til designet på 1 år, 10 år og 25 år. Designet i denne oppgaven har som mål å kunne fungere i 25 år.

Impact Assessment Method som blir brukt i denne analysen er IPCC GWP 100a. Dette er en Impact Assessment Method som er blitt utviklet av FNs klimapanel. Denne metoden måler innvirkning på miljøet i CO_2 -ekvivalenter, som betyr at den samler alt av utslipp og venter det opp mot CO_2 utslipp. 100a betyr at denne metoden måler klimaforandring faktorer med et tidsperspektiv på 100 år. Dataen i denne utregningen er basert på tall fra det globale gjennomsnittet av stålproduksjon. [25] Figur 4.16 og Tabell 4.1 illustrerer forskjellen på utslippene fordelt per år. Ved bruk av Impact Assessment Method CED (Cumulative Energy Demand) måles det totale energiforbruket av det globale gjennomsnittet av stålproduksjon for 1 tonn stål. Den viser også hvilke energikilder som blir brukt. Dette vises i Tabell 4.2 og Figur 4.17.

Tabell 4.1: Tonn stål brukt per år ut i fra levetid

Antall år i bruk	Tilsvarende tonn stål brukt per år
1 år	1 tonn
10 år	0,1 tonn
25 år	0,04 tonn



Method: IPCC 2013 GWP 100a V1.03 / Characterization
 Comparing 0,04 ton 'Steel (25y)', 0,1 ton 'Steel (10y)' and 1 ton 'Steel';

Figur 4.16: Sammenligning av CO₂-ekvivalent utslipp per år av stål som blir brukt i henholdsvis 25, 10 og 1 år [26]

Tabell 4.2: CED for produksjon av ett ton med stål

Type energi	Giga Joule pr tonn stål produsert
Fossilt brensel	19.13
Atomkraft	0.51
Ikke fornybar biomasse	0.00025
Fornybar biomasse	0.218
Vind/Sol/Geotermal	0.06
Vannkraft	0.375
Total	20.3



Method: Cumulative Energy Demand V1.11 / Cumulative energy demand / Single score
 Analyzing 1 ton 'Steel, unalloyed {GLO} market for | Cut-off, S';

Figur 4.17: Energiforbruk og energikilde av produksjon av 1 tonn stål [26]

Kapittel 5

Drøfting av resultater

5.1 Egenvurdering av løsning

Bachelorgruppa var fra starten av bevisst på at dette prosjektet, som omhandler utviklingen av en hel installasjonsprosess, kom til å bli en stor oppgave. Denne typen installasjon er etter bachelorgruppas kunnskap ikke gjennomført på denne måten før, noe som gjør at dokumentasjon på liknende prosesser er vanskelig å finne. Avgrensningen av denne oppgaven ble dermed noe generell, og tidsbruk og fokus ble på best mulig måte fordelt på hver del av installasjonsprosessen. Dette har gjort at det er flere forbedringer som kan gjøres på de forskjellige fasene av installasjonen i videre arbeid. Resultatene som kommer frem i denne rapporten siktes på å være på det nivå at de fungerer for den oppgaven de er tiltenkt, og ikke nødvendigvis noe mer. For at alle potensielle uforutsette utfordringer skal være tatt hensyn til må det noe videre arbeid og beregninger til for at denne installasjonsprosessen og utvikling av hjelpestrukturer skal være komplett. Uforutsette utfordringer kan være alt fra korrosjonsgrad, til feil i girmekanikk og undervurdering av kontrollen som en ROV har under installasjon.

For å gi en egen vurdering av bachelorgruppas løsning på problemstillingen, er det viktig å gå ut i fra den initielle avgrensningen av oppgaven. Det ble satt at avgrensningen til denne rapporten skulle ta for seg bare installasjonsprosessen direkte, og ikke nødvendigvis de prosessene som er rundt installasjonsprosessen. Det har blitt utviklet løsninger og mekaniske strukturer som i teorien skal fungere til å bruke en ROV som har en løftebegrensning på 50kg, til å installere tre plugger som veier over 200kg hver seg. Det er viktig å merke at disse løsningene skal for denne rapportens skyld fungere i teorien. På grunn av prosjektets relativt kortfattede varighet, og ressursene som bachelorgruppa har blitt presentert med, er det ikke forventet at det skal ha blitt gjort praktiske tester og forsøk på komponentene beskrevet i denne oppgaven. Løsningen som er beskrevet i resultatkapitlet tar for seg hver mekanisk komponent hver for seg og beskriver hvilke funksjoner de har, samt hvordan de er med i den fullstendige installasjonsprosessen.

5.2 Aker Solutions vurdering

Som nevnt i innledningen til denne rapporten er det viktig at resultatene av denne oppgaven kan brukes og videreutvikles av oppdragsgiveren Aker Solutions. Derfor velges det å legge ved en uttalelse fra veilederne fra Aker Solutions om arbeidet gjort. Resten av dette delkapitlet viser hva oppdragsgiver har å si om resultatene har blitt presentert.

Aker Solutions har fått hjelp av Mathias Gangstad og Petter Sjørusen til å se på løsninger til en utfordring vi har med vertikale høyspent undervanns oppkoblingssystemer. Dette er utstyr som brukes på 1300m havdyp, og som skal koble opp en kompressor på 11MV som kjører med en spenning på 12kV. Tidligere har vi brukt tilsvarende komponenter i systemer med horisontale bevegelser. Av forskjellige grunner er vi nå nødt til å snu oppkoblingssystemet slik at bevegelsen er vertikal.

Oppgaven Mathias og Petter har jobbet med er håndtering av avtagbare isolatorer (kalt FIDC) på hver av de 3 koblerne (en for hver fase). Disse isolatorene må fjernes før man kobler sammen høyspentkoblerne. Og de må fjernes primært ved hjelp av en fjernstyrt undervannsbobot (ROV). Denne ROV har noe begrensninger i hvor mye masse den kan løfte, og kan derfor ikke direkte løfte isolatorene.

Aker Solutions har selv jobbet en del med problemstillingen, uten at vi har kommet opp med noen gode løsninger. Hovedkriteriene for «gode løsninger» i denne bransjen er en robust og enkel løsning. Ettersom utstyret står på 1300m havdyp er det et absolutt krav at det må kunne gjøre jobben riktig første gang.

Løsningen Mathias og Petter har jobbet seg frem til har trukket inn elementer vi selv ikke har vært innom ennå: De har kommet opp med en enkel hjelperamme som settes på utstyret, og en kompakt, og enkel mekanisme som løfter isolatorene til en posisjon hvor ROV kan trekke dem med horisontale bevegelser. Isolatorene kan så løftes til overflaten med en kran fra overflatefartøyet. Begge disse elementene er store steg fremover fra der vi var selv, og vi skal jobbe videre med dette over sommeren. En konkret problemstilling vi skal se på er om vi kan og/eller bør gjøre hjelperammen avtagbar. Samt se nærmere på eventuelle optimaliseringer av løftemekanismen, spesielt med hensyn til korrosjon.

Så, oppsummert er vi veldig fornøyd med innsatsen Mathias og Petter har vist, de har jobbet metodisk og strukturert, og kommet opp med kreative løsninger.

Rikhard Bjørgum, Lead Compression and Plant Layout engineer,
Aker Solutions

5.3 Videre arbeid

Det som er mest usikkert, og det som er vanskeligst å finne ut av for et slikt prosjekt er hvordan de mekaniske komponentene vil påvirkes av subsea miljøet over tid. Levetiden til denne installasjonen er satt fra kunden til å være 25 år. Det er veldig få materialer som kan stå på havbunnen i 25 år uten påvirkning. Usikkerheten i dette prosjektet er ikke om komponentene kommer til å bli påvirket, men heller i hvilken grad de kommer til å bli påvirket. Dette var også mye av grunnen til at det ble valgt å ta i bruk et kassettkonsept for den mest utsatte av komponentene i installasjonen, nemlig heisen som hever eller senker FIDC opp eller ned i undervannskontaktene. Denne mekanismen vil ha mange tannhjul, og er kritisk for at installasjonen skal kunne utføres riktig. Når denne er utformet på en kassett som kan tas ut og inn av installasjonen vil det være vesentlig lettere å utføre vedlikehold og eventuelle reparasjoner hvis komplikasjoner skulle oppstå i løpet av livsløpet til installasjonen.

For å finne ut om hele dette prosjektet vil fungere i praksis må alle delene produseres og testes i en forsøkslab. Egenskaper som er spesielt viktig å teste ut i praksis er de mekaniske egenskapene. Det kan gjøres videre styrkeberegninger både i FEA (Finite Element Analysis) programvare og matematisk, for å finne ut den teoretiske bruddspenningen til de mest kritiske komponentene. Konseptet burde settes sammen og tørrtestes med forskjellige mengder vekt for å se hvordan oppbygningen reagerer. Det burde også gjøres kjemiske tester på hvordan girteknikken vil oppføre seg i sjøvann, spesielt over lang tid.

5.4 Bærekraft

Oljeindustrien til Norge har lenge vært en av de største næringene og inntektskilden til landet. På grunn av dette, har oppslutningen rundt industrien vært stor når det kommer til teknologisk kompetanse. Nå når Norge har begynt prosessen med å gå over i det grønne skiftet, er det mye snakk om at Norge skal fase ut oljen, og heller fokusere på grønnere næringer med mindre miljøskadelige utslipp. Mye av de ressursene som er brukt til å utvikle teknologi til denne sektoren, og utdanning av personell, vil derimot ikke gå tapt selv om Norge faser ut oljen over tid. Denne kompetansen og teknologien vil kunne skiftes, og brukes i de nye inntektskildene til landet som for eksempel bølgekraft og vindkraft. Derfor skal det ikke ses helt bort i fra at både teknologi og prosjekter som er utviklet for oljeutvinning kan brukes i mer fornybar energi når Norge går over i det grønne skiftet.

Dette prosjektet er noe som går under teknologi som ikke kommer til å forsvinne med oljeindustrien. Det er ingen ting direkte naturgass-relatert med den løsningen som er beskrevet i resultatet til denne oppgaven. Det har vært stort fokus på ROV kapabilitet og hvordan en ROV vil kunne samhandle med de mekaniske komponentene som er utviklet og foreslått. ROV industrien er anslått til å

være verdt omkring \$2.7 milliarder innen 2022. [2] Undervannsinstallasjoner er mer relevant enn noen gang, nå som sektoren rundt bølgekraft og havvindkraft begynner å bygges ut. Andre industrier som også kan ta nytte av denne typen installasjoner er næringene rundt oppdrett av fisk og næringen rundt sanking av tang og tare.

5.5 Innovasjon

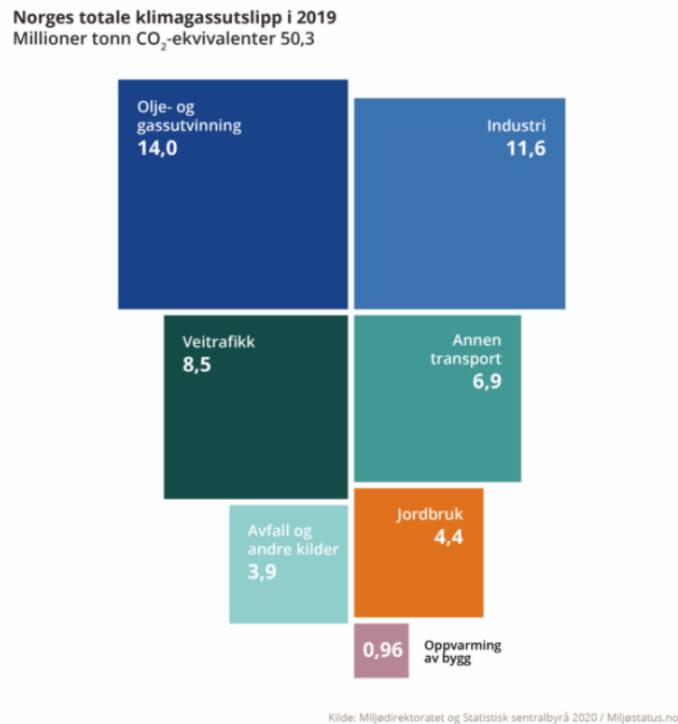
Innovasjon betyr fornyelse; nyskaping; forandring; nye produkter, tjenester eller produksjonsprosesser; eller å bringe fram endringer i måten økonomiske goder eller andre verdier blir produsert på. Innovasjon er en betegnelse på menneskeskapt endring av verdiskapende aktiviteter. [27]

Da dette prosjektet startet ble det introdusert som en utfordring som Aker Solutions enda ikke hadde funnet en god løsning på. De hadde noen visse formeningene om hvordan de skulle starte å utforske en eventuell løsning, men ikke noe av dette ble presentert for bachelorgruppa. Dette gjorde at når bachelorgruppa skulle starte å idémyldre på sin egen løsning, så ville denne være helt upåvirket av hva Aker Solutions hadde tenkt. Ved videre undersøkelser så ser det ikke ut som om der finnes noe vitenskapelig dokumentasjon på hvordan en slik installasjon som denne skal bli installert. Derfor kan det se ut som om dette er en problemstilling som ikke før har blitt løst, og dermed vil en løsning på denne installasjonsprosessen være svært attraktivt og innovativt i offshore miljøet. Ved å løse denne problemstillingen med å kunne installere en tyngre installasjon under et overheng på subsea havfeltet, har denne oppgaven kommet med en innovativ løsning på et viktig installasjonskonsept for offshore miljøet.

Selv om selve installasjonskonseptet i seg selv er en form for innovasjon, er det heisemekanismen som er det mest nyskapende konseptet her. Det kan være utfordrende i dag å skape nyvinninger innenfor det mekaniske fagfeltet. Dette er fordi det er et gammelt fagfelt som har blitt utviklet på og arbeidet med i årtusener. Som nevnt tidligere i denne rapporten har vi tatt i bruk mekanisk teknologi i denne installasjonen som ble utviklet av Arkimedes for over 2200 år siden. Derfor er det viktig å se på alt av tidligere innovasjon her, og prøve å sette sammen en kombinasjon av teknologier for å skape ny innovasjon. Det er nettopp dette som er gjort i designet av heiseanordningen i denne rapporten. Egenutviklede design er satt sammen med eldre teknologi og andre sine konseptskisser for å få et design som løser alle utfordringene som er beskrevet i den lokale problemstillingen til heiseanordningen. Av det bachelorgruppa har funnet ut, så er ikke denne teknologien tatt i bruk i noen kommersielle produksjoner.

5.6 Etske og miljømessige utfordringer

Etiske utfordringer i denne oppgaven dreier seg om problemer rundt menneskeskapte klimaendringer som har oppstått til dels av utslippene til olje- og gass industri og bruk av nevnte produkter. En indirekte konsekvens av denne oppgaven vil være videre utvidelse av dagens olje- og gass industri. I 2019 ble det i Norge sluppet ut klimagasser tilsvarende 50.3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Den største andelen av disse gassene kom fra olje- og gass industrien. [28]



Figur 5.1: Figuren viser de totale klimagassutslippene i Norge i 2019, fordelt på ulike sektorer. Tallene kommer fra det norske klimagassregnskapet. [28]

Siden olje- og gass industrien har en stor andel av det totale klimagassutslippet vil en reduksjon i dette utslippet ha påvirkningskraft om Norge skal nå sine bærekraftsmål slik at Norge kan opprettholde sin del av Paris avtalen, en internasjonale avtale som skal sørge for å begrense klimaendringene. [29] I henhold til Paris avtalen satt Norge ett stort mål med å halvere sitt klimagass utslipp innen 2030. Det betyr at Norges totale klimagass utslipp må reduseres til 26 tonn CO₂-ekvivalenter. [30]

5.7 Risikoanalyse

I de fleste større prosjekter som har med utvikling av maskineri, komponenter og system, så må det sikkerhetsanalyser til. Fordeler med sikkerhetsanalyser som FMEA (Failure mode and effects analysis) og FMECA (Failure mode, effects, and criticality analysis) gjør at man får gått igjennom systemet sitt svært nøye og tidlig kan finne forbedringspotensialer i designet. Disse risikoanalysene er standardiserte prosedyrer som følger retningslinjene i IEC 60812. Når man har inspisert hele systemet sitt nøye blir det fort mye enklere å sette opp gode tester for å teste systemet i praksis senere i designprosessen. Det er også en billig og lite ressurskrevende måte å få testet ut systemet sitt teoretisk. Når man tidlig i designprosessen får gått over alle potensielle farlige feil og mangler. Desto tidligere i designprosessen disse kommer fram, desto enklere er det å endre designet slik at sjansen for at disse feilene oppstår forminskes. De potensielle utfordringene blir rangert etter hvor sannsynlig det er at det skjer, og etter hvor farlig det er om det skjer. [31]

Tabell 5.1: Kategorisering av sannsynlighetgrad for FMECA

Rangering	Forklaring
A	Ekstremt usannsynlig
B	Sjeldent
C	Av og til
D	Gjentagende
E	Ofte

Tabell 5.2: Kategorisering av alvorlighetsgrad for FMECA

Rangering	Forklaring
I	Ingen relevant effekt på prestasjon eller sikkerhet.
II	Veldig liten relevanse, ingen skade på personell eller utstyr, resulterer bare i mindre vedlikeholdsarbeid.
III	Mindre skader på personell og utstyr, påvirker veldig lite av systemet.
IV	Kritisk, årsak til tap av hovedfunksjonen til systemet, maks 1 dødsfall
V	Katastrofalt, produktet blir ubrukelig muligens flere dødsfall

Fullstendig FMECA analyse ble gjennomført for denne installasjonen, og den vises i tabell 5.3. Det analysen viser er at mange av de potensielle feilene som kan oppstå kan unngås ved nøye utprøving og testing før konseptet blir satt ut i livet. Samtidig viser den at det ikke er alle aspektene ved installasjonen som er like kritiske, og dette legger også et grunnlag for hvordan testingen burde utføres.

Tabell 5.3: FMECA analyse av installasjonsprosessen til FIDC

FMECA

System:
Subsystem
Function

Performed by: Petter Sjørusen
Date: 06.05.2021

Page

IDENTIFICATION	OPERATIONAL MODE	FUNCTION	FAILURE MODE	DESCRIPTION OF FAILURE		HOW TO DETECT	LOCAL	EFFECT OF FAILURE		OPERAT. STATUS	FAILURE RATE	CRITICALITY	CORRECTIVE ACTION	REMARKS
				FAILURE CAUSE/ MECHANISM	MECHANISM			SYSTEM	OPERAT. STATUS					
Nedretnings på valer		Få FIDC plate fra vannoverflate ned til arbeidsområde	Valer ryker	Sitasje på valer	Inspeksjon av valer	Mister en FIDC plate og 3 FIDC	Får ikke installert FIDC	Problemløst	A	V	Inspeksjon av valer og festelemmer			
Landing av FIDC plate på skinner		Ta av neste delen av vekt til FIDC plate slik at ROV kan installere	Får ikke plassert FIDC plate på skinner	ROV er unøyaktig eller skinner er for smale	Må testes i praksis	Kan ødelegge skinnene om FIDC plate krasjer i skinnestrukturen	Får ikke installert FIDC	Problemløst	B	V	Over dimensjonere skinner og passe på at de tåler et evt krasj			
Avkobling av valer fra FIDC plate		Få fremet valeren fra installasjonen	ROV får ikke avinstallert valeren	Dårlig utarbeidede feste punkter eller ROV slår kvel	Testing av avkoblingsprøvedyren i praksis	Valer blir ikke avkoblet	Får ikke installert FIDC	Problemløst	B	III	Passer på at ROV løst kan komme til på slakene			
FIDC plate dypes i riktig posisjon på halsene		Dette gjør at det ikke blir skjevinstallasjon av FIDCene	ROV får ikke dypet platen i riktig posisjon	Sporrene i FIDC plate er ikke nok dummy proof	Testing av hvordan ROV opererer med plata	Plata blir skjevt dyttet inn på jekkene	Plata kan bli skjevt hestet ned i kodingene som gjør at låseskåten ikke kan festes	Får ikke riktig matning force på installasjonen	C	III	Ha store nok spor i røststrukturen til FIDC plata slik at dypes riktig på plass			
Halsene huser FIDC plate ned i connectors		Få hestet ned FIDC ned i koblingene så de kan får riktig sammenføyning	Girteknikke n i halsen virker ikke. Får ikke hestet halsen opp og ned.	Korrosjon i gir, deformasjon av gir, feil i kraftoverføring fra ROV	Testing av halsmekanik smen for den går ned i vannet	FIDC plate blir ikke plassert riktig.	FIDC blir ikke installert	Problemløst	A	IV	Ha ofte vedligehold av girstrukturen. Riktig dimensjonering av girstrukturen. Hals monteret på en avtaqbar kasett.			
Stroke tool jekker på plass FIDCene med 45 000N		Få riktig sammenføyning gskrat på FIDC	Får ikke plassert stroke tool riktig.	Det er dimensjonert for liten plass for å få den inn.	Testing av strokecool i systemet	Får ikke strokecool på plass FIDC	Får ikke riktig sammenføyning gskrat fra stroke tool	Problemløst	B	III	Nøye testing av ROV og strokecool.			
Låser fast FIDC med låseskåtemekanismen		Holdte installasjonen på plass med riktig sammenføyning gskrat	Låsebolten treffer ikke huller	FIDC er blitt hestet skjevt ned i kodingene	Stekkes av ROV under installasjon	Får ikke låst installasjon	FIDC blir ikke installert	Problemløst	B	IV	Nøye testing og nøye installasjon i resten av prosessen.			

Kapittel 6

Konklusjon

Aker Solutions ga en oppgave om å komme opp med et konsept for å løse en utfordring med installasjon av vertikale høyspent undervanns oppkoblingsystemer (FIDC) som skal installeres i et gass-kompresjonsanlegg. Utfordringen er pluggenes tyngde, og arbeidsområdets plassering. Pluggene vil i vann veie over 200 kilo hver seg, noe som utelukker at de direkte kan bli båret og installert av en ROV, da løftekapasiteten til disse maskinene er begrenset til 50kg under vann. I andre tilfeller ville denne utfordringen blitt løst ved å bruke en vaier som kommer ned fra et offshore fartøy, der pluggene kan fires ned, og bare posisjoneres riktig ved hjelp av en ROV, og deretter heises rolig ned i undervannskontaktene. Problemet her oppstår på grunn av plasseringen til arbeidsområdet der pluggene skal installeres. Dette arbeidsområdet befinner seg under et overheng i gass-kompresjonsanlegget. Dette gjør det umulig å direkte installere FIDCene med vaier. Løsningen som er foreslått i denne rapporten er at pluggene heises fortsatt ned på vaier, men at det er noen strukturer på plass ved arbeidsområdet som muliggjør installasjonen.

Pluggene monteres sammen ved hjelp av en spesialdesignet plate som gjør de tre pluggene som skal installeres om til én installerbar enhet. Dette gjør at platen kan brukes som et motfeste som kan lande på et sett med skinner som er montert ut ifra arbeidsområdet. Skinnene tar opp vekten til de tre FIDCene slik at ROVen bare trenger å dytte installasjonsenheten i posisjon. Platen vil nå henge rett over undervannskoblingene. To spesiallagde heiser som styres parallelt av en rotasjonsbevegelse forsynt av ROVen vil heise FIDCene rolig på plass. Denne bevegelsen kan også bli reversert under avinstallasjon av undervannspluggene.

Bibliografi

- [1] Lisbet Jære. *Verdens nest lengste kystlinje*. URL: <https://www.barentswatch.no/artikler/Kysten/> (sjekket 12.04.2021).
- [2] Bruno Siciliano og Oussama Khatib. *Springer handbook of robotics*. Springer, 2016.
- [3] NOAA. *How far below sea-level does light travel*. URL: https://oceanservice.noaa.gov/facts/light_travel.html (sjekket 13.05.2021).
- [4] Jonah Baker. *Navigating the challenges of subsea oil and gas equipment installation*. URL: <https://www.nsenergybusiness.com/features/subsea-oil-gas-installation/> (sjekket 23.04.2021).
- [5] Jon Andreas Støvneng. *trykk (fysikk)*. URL: https://snl.no/trykk_-_fysikk (sjekket 23.04.2021).
- [6] Illes Dudas. *THE THEORY AND PRACTICE OF WORM GEAR DRIVES*. Penton Press, 2000.
- [7] Thomasnet. *Worm Gearing Design Standards, Proportions, and Materials*. URL: <https://www.thomasnet.com/articles/machinery-tools-supplies/worm-gearing-design-standards-proportions-and-materials/> (sjekket 03.05.2021).
- [8] Danielle Collins. *Worm gears: What are they and where are they used?* URL: <https://www.motioncontroltips.com/worm-gears-what-are-they-and-where-are-they-used/> (sjekket 22.04.2021).
- [9] KHKGears. *What are worm gears ?* URL: https://khkgears.net/new/worm_gear.html.
- [10] Knut A Rosvold. *Sikkerhetsfaktor*. URL: <https://snl.no/sikkerhetsfaktor> (sjekket 14.05.2021).
- [11] ISO13628-1:2006. *Petroleums- og naturgassindustri Konstruksjon og drift av produksjonssystemer under vann Del 1: Generelle krav og anbefalinger*. Standard. Brussel: International Organization for Standardization, mar. 2006.
- [12] ISO10025-2:2019. *Varmvalsede produkter av konstruksjonsstål Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for ulegerte konstruksjonsstål*. Standard. International Organization for Standardization, nov. 2019.

- [13] MEAD Info. *Material Properties of S355 Steel - An Overview*. URL: <https://www.meadinfo.org/2015/08/s355-steel-properties.html> (sjekket 28.04.2021).
- [14] Jotun. *Protective coatings for subsea*. URL: <https://www.jotun.com/us/en/b2b/paintsandcoatings/offshore-installations/Subsea.aspx?q=Products> (sjekket 29.04.2021).
- [15] copper.org. *Phosphor Bronze*. URL: https://www.copper.org/resources/properties/microstructure/phos_bronze.html (sjekket 03.05.2021).
- [16] Thomasnet. *All About Phosphor Bronze - Strength, Properties, and Uses*. URL: <https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/all-about-phosphor-bronze-strength-properties-and-uses/> (sjekket 03.05.2021).
- [17] FN. *Bærekraftig utvikling*. URL: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling> (sjekket 28.04.2021).
- [18] Gisle Andersen. *Bærekraftig utvikling*. URL: <https://snl.no/b%C3%A6rekraftig-utvikling> (sjekket 30.04.2021).
- [19] United Nations. *Sustainable Development Goals*. URL: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/sustainable-development-goals.html> (sjekket 28.04.2021).
- [20] Ellen Jenny Ravndal. *FNs bærekraftsmål*. URL: https://snl.no/FNs_b%C3%A6rekraftsm%C3%A5l (sjekket 30.04.2021).
- [21] Petter Sjørusen og Mathias Gangstad. *LCA on the production of primary aluminium and steel*. Tekn. rapp. NTNU, 2020.
- [22] NTNU. *Simapro*. URL: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Simapro> (sjekket 03.05.2021).
- [23] Simapro. *Simapro*. URL: <https://simapro.com/> (sjekket 03.05.2021).
- [24] Powerjacks. *Screw Jacks*. URL: <https://www.powerjacks.com/products/screw-jacks> (sjekket 19.05.2021).
- [25] various authors PRÉ. *SimaPro Database Manual Methods Library*. Standard. Simapro, jun. 2020.
- [26] Simapro. *Simapro*. Versjon 9.1.1. 18. mai 2021. URL: <https://simapro.com/>.
- [27] Finn Ørstavik. *innovasjon*. URL: <https://snl.no/innovasjon> (sjekket 07.05.2021).
- [28] Miljødirektoratet. *Norske utslipp og opptak av klimagasser*. URL: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/> (sjekket 14.05.2021).
- [29] FN. *Parisavtalen*. URL: <https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen> (sjekket 14.05.2021).

- [30] Regjeringen. *Norges klimamål under Parisavtalen*. URL: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/norges-klimamal-under-parisavtalen/id2784617/> (sjekket 14.05.2021).
- [31] IEC 60812:2018. *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*. Standard. International Organization for Standardization, okt. 2018.

