



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016

30+30 stp

Fakultet for matematiske realfag og teknologi

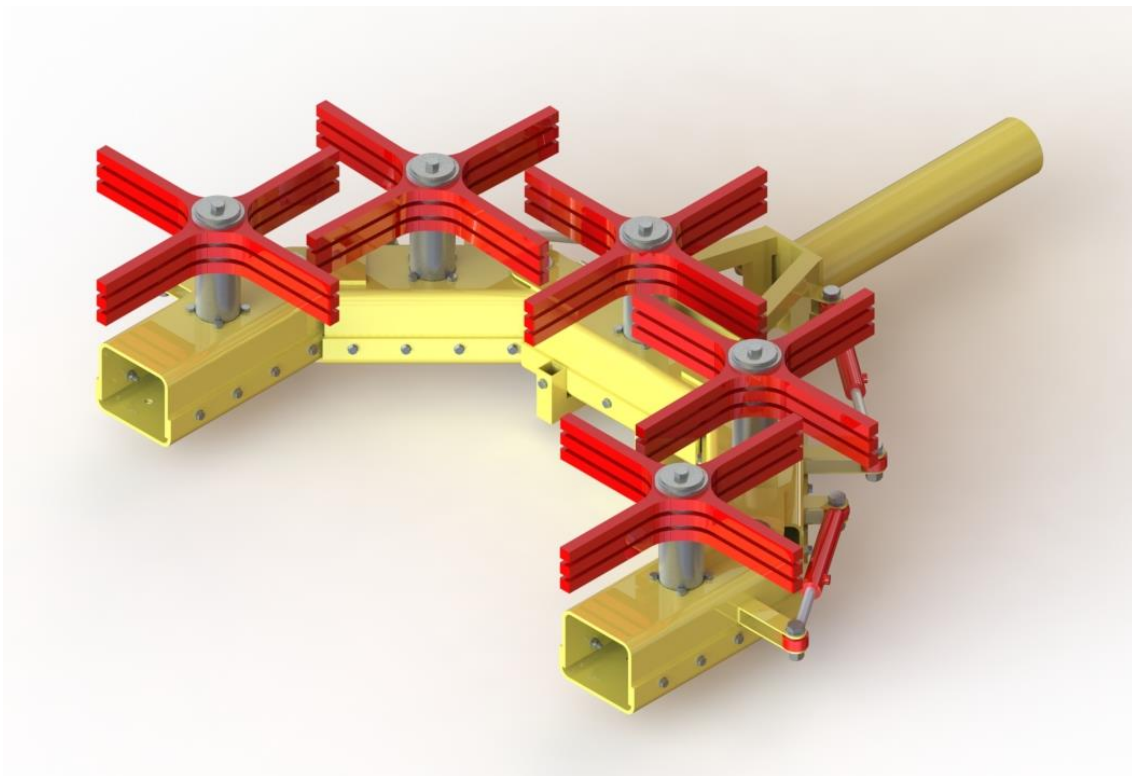
Utvikling av system/produkt for fjerning av marin begroing på jacketer i forbindelse med avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner

Development of system/product for the removal of marine growth on jackets in connection with the liquidation of outmoded offshore installations

Joachim Sandgrav og Daniel Stigen
Maskin, prosess- og produktutvikling

Utvikling av system/produkt for fjerning av marin begroing på
jacketer i forbindelse med avvikling av utrangerte
offshoreinstallasjoner.

av
Joachim Sandgrav og Daniel Stigen



**Mastergradsarbeid i Maskin, prosess- og produktutvikling ved
Norges miljø- og biovitenskapelige universitet,
Institutt for matematiske realfag og teknologi
Våren 2016.**

FORORD

Dette er en masteroppgave skrevet ved institutt for matematiske realfag og teknologi, ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, våren 2016. Oppgaven er initiert av AF Gruppens avdeling AF Offshore Decom som jobber med avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner. Hensikten med oppgaven er å utvikle en ny metode eller et nytt produkt for fjerning av marin begroing fra disse offshoreinstallasjonene.

Motivasjonen for å skrive en slik oppgave ligger i vår felles interesse for prosjekter som baserer seg på utvikling av prosesser, systemer eller produkter som vil resultere i mulige løsninger på eksisterende problemer. I tillegg er det engasjerende å skrive en oppgave for et større selskap da dette gir mulighet for å skape nye relasjoner og det kan gi innsikt i hittil ukjente fagområder.

Vi har opp igjennom utdannelsen hatt flere prosjekter der vi både har jobbet separat og i mindre eller større grupper. På bakgrunn av disse erfaringene falt det seg naturlig å skrive denne avsluttende oppgaven sammen. Dette vil også bidra til at vi vil utvikle våre samarbeidsegenskaper ytterligere, som for eksempel evnen til å diskutere og det å både kunne gi og motta konstruktiv kritikk, egenskaper vi anser som meget viktige i arbeidslivet.

Vi vil rette en stor takk til AF Offshore Decom, da spesielt ved overingeniør Eirik Lind Hånes, for å være meget imøtekommende og behjelpelige og for å ha gitt oss muligheten til å skrive denne oppgaven. Vi vil også takke førsteamanuensis Jan Kåre Bøe ved NMBU for god veiledning og hans velvilje til å hjelpe oss underveis i oppgaven, og blikkenslager Viggo Sandgrav for at han stilte hele sitt verksted med alt av utstyr og materiale til rådighet i forbindelse med det utførte forsøket. Utover dette vil vi takke marinbiolog Torgeir Bakke for hans bidrag vedrørende marin begroing i Nordsjøen, Ingeniør Matthew Castle ved Lateral AS for hans behjelpelighet rundt deres FlexiClean børste og avdelingsingeniør Gunnar Torp ved NMBUs verksted for hans behjelpelighet vedrørende produksjonsmetoder og kostnader.

Ås, den 15. Mai 2016

Joachim Sandgrav

Daniel Stigen

SAMMENDRAG

Denne oppgaven har sitt opphav i utfordringer AF Offshore Decom opplever knyttet til fjerning av marin begroing fra jacketer i forbindelse med avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner. I et prosjekt de for tiden jobber med, der den britiske Murchison-plattformen skal avvikles og rives på AFs miljøbase i Vats i Rogaland, møter de utfordringer da høyden på plattformens jacket er spesielt stor. Dette fører til at fjerning av marin begroing ved bruk av høytrykksspyling fra lift eller kran kan bli problematisk. I tillegg til dette avgir den marine begroingene er sterk lukt som tidvis har vært til sjenanse for lokalbefolkningen som bor i nærheten av miljøbasen.

Opgavens hovedproblemstilling er å utvikle en ny metode eller et nytt produkt for fjerning av marin begroing som skal kunne være et alternativ til metoden AF bruker i dag. Hovedmålet var å kunne bruke større deler av ingeniørutdannelsen vår til å komme opp med en løsning som vil være like effektiv som dagens metode uten at det går på bekostning av tid og kost. I tillegg til dette var det ønsket å finne en så miljøvennlig løsning som mulig som også skal kunne brukes på flere fremtidige prosjekter.

For å sørge for at prosjektet skulle resultere i et best mulig løsningsforslag ble det arbeidet etter flere produktutviklingstrinn. Første del av disse trinnene var utredningsdelen der marin begroing i Nordsjøen og dens egenskaper var det første som ble utredet. Deretter ble de forskjellige metodene både AF gruppen og andre avviklingsanlegg i Norge og Storbritannia benytter for fjerning av marin begroing kartlagt. Til slutt ble den forventede utviklingen av mengden offshoreinstallasjoner som skal avvikles i fremtiden undersøkt. Neste del var selve utviklingsdelen der utredningsteorien ble brukt som grunnlag for identifisering og valg av konseptområde. Da konseptområdet var valgt ble det gjort en produktspesifisering før metoder som integrert produktutvikling, PUGHS metode og Osbornes SCAMPER-huskeliste ble brukt for å velge de best egnede produktløsningene basert på en rekke kriterier. Da en av disse løsningene baserte seg på en kombinasjon av luft- og høytrykksspyling subsea, og det var usikkerhet rundt effektiviteten den tilførte luften ville ha, ble det gjort et forenklet forsøk av dette. Resultatene fra dette forsøket medførte endringer i konseptets utforming.

Det ble så utført grunnlagsberegninger som igjen la grunnlaget for dimensjonering av de forskjellige komponentene før hele løsningen ble 3D modellert. Det ble utført forenklede FEM-analyser av 3D modellen med hensyn på deformasjon og jevnførende spenninger. Det ble valgt materialer og foreslått produksjonsmetoder både ved produksjon av prototype og ved serieproduksjon før det til slutt ble gjort en forenklet kostnadsanalyse.

Resultatet ble et verktøy utstyrt med spesialutviklede hydrauliske børster som, via en skid, skal monteres på en ROV slik at begroingen kan fjernes subsea før jacketen demonteres og fraktes til miljøbasen i Vats. Verktøyet er utformet på en modulbasert måte, bestående av fem moduler, slik at det kan velges om en har behov for én, tre eller fem børster når begroingen skal fjernes. Selve verktøysrammen er utformet i aluminium 5083-H116 og den er leddet mellom hver modul slik at verktøyet hydraulisk kan tilpasses de forskjellige søylestørrelsene en jacket er sammensatt av. For at verktøyet skal være i likevekt når det er nedsenket i havet er det utstyrt med oppdriftskomponenter utformet i en type syntaktisk skum. Den tiden det teoretisk sett vil ta å rense jacketen ved bruk av dette konseptet er godt innenfor de grensene som er satt.

Verktøyet er et konsept som på dette tidspunktet ikke er helt klart for prototyping. Dersom det skulle blitt jobbet videre med konseptet ville fokuset vært på å finne, eventuelt utvikle, en passende rotator aktuator som er egnet for bruk subsea og som sterk nok til å kunne tåle vekten av verktøyet. Det er også muligheter for å optimalisere verktøyrammens utforming og eventuelt gjøre selve rammen lufttett for å minke behovet for oppdriftskomponenter. Til slutt ville det også blitt sett på behovet for et større hydraulikksystem som har kapasitet stor nok til å drive alle fem børstene med maksimal kraft.

ABSTRACT

This thesis has its origins in challenges that AF Offshore Decom experience related to removing marine growth from jackets in connection with the liquidation of outmoded offshore installations. In a project they are currently working on, where the British Murchison platform will be phased out and demolished at their environmental base in Vats in Rogaland, they meet challenges because of the jackets particularly large height. Because of this the removal of the marine growth using high pressure washing from a lift or a crane may be problematic. In addition to this the growth emits a strong odor that occasionally has been of annoyance for the locals living near the environmental base.

The main research question for this thesis is therefore to develop a new method or a new product for removing the marine growth that will be an alternative to the method used by AF Gruppen today.

The main objective is to be able to use large parts of our engineering education to develop a solution that will be just as effective as the method used today without compromising on time and cost. In addition to this it is desirable to find a solution that is as environmentally friendly as possible and also is suitable for future projects.

To ensure that the project would result in a best possible solution the project followed several product development steps. The first part of these steps was the assessment part where marine growth in the North Sea and its properties was the first to be studied. Subsequently, the different methods both AF Gruppen and other liquidation plants in Norway and Great Britain uses for marine growth removal was mapped out. Finally, the expected amount of offshore installations to be phased out in the future was investigated. The next part of the product development steps was the development section where the assessment theory was used as the basis for identification and selection of the concept area. When the concept area was chosen, a product specification was done before methods such as integrated product development, PUGHS method and Osbournes SCAMPER list was used to select the most suitable solutions based on several criteria. One of these solutions was based on a combination of air- and high pressure washing subsea and there was uncertainty about the effectiveness the air supply would have. This led to an experiment in which this effectiveness was studied, and the results of this experiment led to changes in the concept design. It was then done some basic calculations which laid the foundation for the design of the various components before the entire solution was 3D-modeled. Simplified FEM analysis of the 3D-model was performed with focus on deformation and bearing stresses. Materials were chosen and then there were proposed production methods for both the production of a prototype and for a mass production. Finally a simplified cost analysis was made.

The final result is a tool equipped with specially developed hydraulic brushes which, via a skid, will be mounted on an ROV so that the marine growth can be removed from the platform jacket before it is disassembled and transported to the environmental base in Vats. The tool is designed in a modular way, comprising five modules so that they may use one, three or five brushes when the marine growth is to be removed. The tool frame itself is designed in aluminum 5083-H116 and it is hinged between each module so that the tool can be hydraulically adapted to the different pillar sizes a jacket is composed of. For the tool to be in equilibrium when it is immersed in the sea it is equipped with buoyancy components formed in a type of syntactic foam. The time it theoretically would take to clean the jacket using this concept is well within the limits set.

The tool is a concept which at this point is not entirely ready for prototyping. If the work on the concept were to be continued the main focus would be on finding, or develop, a rotary actuator that is suitable for use subsea and is strong enough to withstand the weight of the tool. There is also opportunities to optimize the design of the tool frame and possibly make the frame airtight to decrease the need for buoyancy components. And finally it would also have been examined whether there is a need for a larger hydraulic system that has sufficient capacity to operate all five brushes with maximum force.

INNHold

	Side:
FORORD.....	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	IV
1. INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Organisk Begroing.....	2
1.3 AF Offshore Decoms rolle i arbeidet.....	3
1.4 Oppdragsbeskrivelse.....	3
1.5 Tidlige problemstillinger.....	3
2. PROSJEKTPLAN	4
2.1 Prosjekt målsettinger.....	4
2.1.1 Hovedmål.....	4
2.1.2 Delmål	4
2.2 Tids- og arbeidsplan med milepæler	5
2.3 Begrensninger for arbeidet	7
3 METODEBESKRIVELSE	8
3.1 Terminologi og begreper.....	8
3.2 Metodebruk og løsningsverktøy.....	13
3.2.1 Metodebruk.....	13
3.2.2 Løsningsverktøy.....	14
3.3 Litteratursøk og kildebruk.....	14
3.4 Kvalitetssikring	14
3.5 Prosesstrinn	14
4. GRUNNLAGSBESKRIVELSER.....	16
4.1 Marin begroing.....	16
4.1.1 Marin begroing på Murchison-plattformen.....	16
4.1.2 Myk marin begroing.....	17
4.1.3 Hard marin begroing.....	18
4.1.4 Vekst og utvikling av marin begroing	20
4.1.5 Vekt av marin begroing på en struktur	21
4.1.6 Miljøfiendtlige stoffer	21
4.2 Fremtidig avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner i Norge.....	22
4.2.1 Norske mottaksanlegg	22

	Side:
4.2.2 Forventet avvikling av offshoreinstallasjoner i tiden fremover.....	24
4.2.3 Norsk sokkel	24
4.2.4 Miljøutfordringer	26
4.2.5 Økonomiske aspekter.....	27
4.3 Dagens fjerningsmetode hos AF Miljøbase Vats.....	27
4.3.1 Forberedelse.....	27
4.3.2 Gjennomføring.....	28
4.3.3 Rengjøring og avhending.....	28
4.4 Andre anleggs metoder for behandling av marin begroing.....	29
4.4.1 Anlegg 1	29
4.4.2 Anlegg 2	31
4.4.3 Anlegg 3	32
4.4.4 Anlegg 4	34
4.5 Murchison-plattformen.....	36
4.5.1 Jacketen	36
4.5.2 Fjerningsmetode av jacket	37
4.5.3 Totalt overflateareal	37
5. IDENTIFISERING OG TIDLIGVALG AV KONSEPTOMRÅDE	41
5.1 Onshore	42
5.1.1 3D-basket – utvikle en fjernstyrt basket.....	42
5.1.2 Toppling	42
5.1.3 Lukthemmende kjemikalier og tørking.....	43
5.1.4 Droner	43
5.1.5 Strøm	43
5.2 Offshore.....	44
5.2.1 ROV.....	44
5.2.2 Vannkanon.....	44
5.3 Tidligseleksjon av hovedkonsept.....	45
5.3.1 Kriterier	45
5.3.2 Kommentar til seleksjonsmatrise og begrunnelse for valg.....	47
5.3.3 Resultat.....	49
6. PRODUKTSPEISIFISERING	50
6.1 Produktmåsetting	50
6.2 Rangering av viktige produkttegenskaper.....	50
6.3 Metriske grensespesifikasjoner.....	51

	Side:
6.4 Metrisk grovspesifisering.....	52
6.5 Tidlig kostnadsvurdering.....	52
7. KONSEPTGENERERING.....	54
7.1 Funksjonsanalyse	54
7.2 Funksjonsalternativer med skisser	56
7.2.1 Rengjøringsverktøy.....	56
7.2.2 Stabilisering	60
7.3. Tidligvurderinger av brukspåkjenninger.....	61
7.3.1 Mekaniske påkjenninger.....	61
7.3.2 Miljøpåkjenninger	61
7.4 Materialvalg.....	62
8. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG	63
8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise	63
8.2 Egen konseptscreening	64
8.3 Patenter	67
9. FORSØK MED SYSTEM FOR VANNSPYLING.....	68
9.1 Målsetting med forsøkene.....	68
9.1.1 Hovedmål.....	68
9.1.2 Delmål	68
9.2 Bakgrunnsteori.....	68
9.3 Hypotese	69
9.4 Utstyr.....	69
9.5 Metode.....	72
9.6 Resultater og observasjoner	75
9.7 Drøfting og feilkilder	75
9.8 Konklusjon	76
10 UTVIKLING AV SYSTEM MED BØRSTER.....	77
10.1 Tekniske spesifikasjoner	78
10.2 Egenscreening og børstevalg	79
11. KONSEPTVISUALISERING OG LØSNINGSARKITEKTUR.....	81
11.1 Sammenstilling	82
11.2 Design av hovedelementer.....	87
11.3 Design av komponenter	89
11.4 Modularisering og standardkomponenter.....	92
12. HYDRAULIKKUTRUSTNING.....	93

	Side:
12.1 ROV-ens hydraulikksystem.....	93
12.2 Verktøyets hydraulikksystem.....	94
13. BEREGNINGER OG ANALYSER.....	97
13.1 Vaskebredde og antall dyser nødvendig.....	97
13.2 Dimensjonering av arm med hensyn på platetykkelse og profilvalg.....	98
13.2.1 Rotasjonskrefter fra hydraulisk motor.....	98
13.2.2 Nedbøyning og knekking av U-profil.....	100
13.2.3 Knekking av «søyle» AB.....	102
13.2.4 Maksimal kraft børstene kan utsettes for med hensyn på skruehodene.....	103
13.2.5 Torsjon av valgt tverrsnittprofil.....	104
13.3 Hydraulisk sylinder.....	105
13.4 Oppdrift for likevekt av verktøyet.....	107
13.4.1 Modul 1-4.....	107
13.4.2 Sentermodul.....	108
13.4.3 Oppheng for sentermodul.....	108
13.5 Teoretisk rengjøringsstid ved bruk av verktøy.....	109
13.6 Analyser.....	109
14. ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIRKULERING.....	110
14.1 Materialeegenskaper, materialvalg og overflatebehandling.....	110
14.2 Vedlikehold.....	115
14.3 Miljøkrav og resirkulering.....	116
14.3.1 Materialer.....	116
14.3.2 Livsløpsanalyse.....	118
15. PRODUKSJONSTRINN OG ØKONOMI.....	120
15.1 Produksjonsmetoder.....	120
15.2 Kostnadskalkyler.....	122
15.2.1 Kostnadskalkyle for prototyping.....	122
15.2.2 Kostnadskalkyle for serieproduksjon.....	124
15.3 Kostnadsvurdering.....	125
15.4 Økonomisk begrensning for ROV driftstid.....	126
16. PRODUKTRENDERINGER.....	129
17. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	133
17.1 Forbedringspotensialer ved konseptutviklingsarbeidet.....	133
17.2 Design-, produksjon- og kostnadsrevisjon.....	135
18. KONKLUSJON.....	136

	Side:
18.1 Resultater.....	136
18.2 Anbefalinger	137
18.3 Videre arbeid.....	137
19. REFERANSER.....	139
19.1 Litteraturreferanser	139
19.2 Personlige meddelelser	139
19.3 Nettkilder.....	139
19.3.1 Elektroniske dokumenter	139
19.3.2 Nettsider	140
19.3.3 Illustrasjoner.....	141
VEDLEGG.....	143

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Oljeindustrien har stått sterkt i Norge de siste 50 årene. Funnet av Ekofisk lille julaften 1969 er kjent som starten på det oljeeventyret Norge har opplevd. Produksjonen startet 15. juni 1971 og siden da er det gjort flere funn og oppført flere installasjoner. I en rapport utgitt av Klima- og forurensningsdirektoratet er det oppgitt at det per 2010, med unntak av undervannssystemer, var 100 bunnfaste innretninger på norsk sokkel. Av disse skal 32 avvikles i løpet av en ti-års periode frem til 2020. Tilsvarende skal det på engelsk sokkel avvikles 263 installasjoner i den samme perioden og noen av disse vil etter all sannsynlighet fjernes ved bruk av norske selskaper.



Figur 1: Leteriggen Ocean Viking på Ekofisk feltet [1]

Med installasjoner datert tilbake til det tidlige 70-tallet følger det også en del miljømessige hensyn som må tas med i avviklingen av disse. Disse hensynene omhandler stort sett en kartlegging av avfall, miljøgifter og miljøutfordringer. Det er erfart at de fleste uforutsette miljøutfordringer oppstår under rivningen på land. Det viktigste arbeidet vedrørende kartlegging og håndtering av miljøfarlig avfall under nedstengningen gjøres på plattformens dekk. Under vannlinjen er de største miljøutfordringene knyttet til marin begroing. Etter tiår i sjøen er det omfattende begroing på strukturen og det anbefales av Klif å fjerne så mye som mulig på feltet offshore for å unngå deponerings- og luktproblematikk på land. Det er klare krav fra myndigheter om at organismer ikke skal utsettes i økosystemer de ikke naturlig har tilhørighet. Dette innebærer også marin begroing.



Figur 2: AF Gruppens miljøbase i Vats i Rogaland [2]

Arbeidet med fjerning av marin begroing begynner i dag etter at installasjonen er fraktet til egnet mottakssted på land, slik som AFs egen miljøbase i Vats. Her gjøres store deler av fjerningen manuelt ved høytrykksspyling fra lift eller kran før konstruksjonen rives og transporteres for resirkulering. Den marine begroingen fraktes til egnet deponeringssted. Fjerningen gjøres etter klare retningslinjer både for bevaring av naturen i området, da med fokus på at marin begroing ikke faller ut i fjorden, og ved prosessering av giftig avfall i egne pumpestasjoner på anlegget.

Gjennom arbeidet med avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner og den marine begroingen på disse har AF Offshore Decom avdekket områder med mulighet for videre utvikling og forbedring. Det jobbes i dag med å fjerne en plattform på britisk sokkel. Denne plattformen, Murchison-plattformen, har den hittil største jacket-konstruksjonen og dette fører igjen til at modulene den deles opp i blir opp til 82 meter høye. Dette kan være så mye som 30% høyere enn tidligere prosjekter. Det er derfor knyttet stor usikkerhet til arbeidet med å fjerne den marine begroingen på denne med dagens fremgangsmåte da vær og vind blir en større utfordring i den aktuelle høyden. Dette kan føre til at fjerningen tar lengre tid enn normalt og igjen øke sjansen for at forråtnelsesprosessen og lukten den produserer er til sjenanse for lokalbefolkningen. Dette er blant årsakene til at AF Offshore Decom ønsker en alternativ måte å fjerne den marine begroingen på og utgangspunktet for denne oppgaven.

1.2 Organisk Begroing

Den marine begroingen konstruksjoner og havbunn består av er avhengig av geografisk plassering. Det er derfor naturlig å konsentrere seg om den marine flora og epifauna funnet i Nordsjøen. Som nevnt er plattformer som har stått i sjøen i flere tiår utsatt for en betydelig vekst marin begroing. Artene som vokser på konstruksjoner i Nordsjøen er i hovedsak hardbunnsarter og da det stort sett er mudrete bunn lang ut ville ikke artene hatt like stor vekstkonsentrasjon i disse områdene dersom det ikke var for konstruksjonene. Artene kan være tang og tare, sjøpølser, skjell og koraller. Flere av disse myke artene består av store mengder vann og utgjør en enorm last på konstruksjonen, noe som gir økt egenvekt og som det må tas hensyn til ved løft av installasjon.



Figur 3: Marin begroing i plaskesonen på en jacket [3]

1.3 AF Offshore Decoms rolle i arbeidet

AF Offshore Decom, et datterselskap av AF Gruppen ASA, har gjennom flere prosjekter med avvikling av offshore-installasjoner opptrådt i flere roller. De har tidligere fått tildelt hele prosjekter hvor prosjektering, fjerning og styring av prosjektet har vært deres ansvar. Andre ganger, slik som ved avvikling av Murchison-plattformen, er de en av flere leverandører. På det nevnte prosjektet samarbeider AF Offshore Decom med Heerema Marine Contractors Nederland SE om fjerning og gjenvinning av plattformen.

1.4 Oppdragsbeskrivelse

Med bakgrunn i de utfordringer AF Offshore Decom opplever ved avvikling av større moduler rettes denne oppgaven mot å forbedre dagens metode for fjerning av marin begroing på konstruksjon, utvikle en ny metode eller å utvikle et nytt verktøy til dette formålet. Løsningen skal ikke gå på bekostning av fjerningsgraden og bør gjøres med hensyn på parameterne tid og kost i forhold til dagens metode. Med dette menes det at en ny løsning eller verktøy for fjerning bør kunne fjerne prosentvis samme mengde som ved dagens anlegg og på en måte som gjør at arbeidet med fjerning av installasjon ikke tar lengre tid. Valgt løsning skal oppfylle krav til miljømessige hensyn satt av øvre myndigheter.

1.5 Tidlige problemstillinger

Dette er en oppgave basert på et forslag til gradsoppgave fra AF Gruppen. Det opprinnelige forslaget baserte seg på en todelt oppgave fordelt på to semestre der høstsemestret skulle brukes til et forprosjekt og deretter følges opp med en gradsoppgave det påfølgende vårsemesteret. Forslaget fra AF Gruppen lød som følger:

Fjerning av marin begroing

1. Høst – teori – sette deg inn i marin begroing
2. Vår – master – effektiv fjerning opp mot de to parameterne tid og kost

Det er naturlig, da oppgaven ble påbegynt i januar, at forprosjektet innlemmes i hovedoppgaven. Med dette som bakgrunn er tidlige problemstillinger og fokusområder som følger:

- Hva består den marine begroingen som befinner seg i Nordsjøen av? Hvordan utvikler den seg? Hvordan er den bygget opp?
- Hvilke metoder for fjerning av marin begroing finnes i dag? Hva fungerer og hvordan kan de forbedres? Finnes det metoder eller prosesser som kan fungere bedre og effektivisere med hensyn på tid og kost?
- Hvilke elementer og systemløsninger må dimensjoneres, utvikles og konstrueres helt fra grunnen av? Hvilke spesifikasjoner, materialer og utforming må disse ha?
- Hvilke hensyn må tas med tanke på hensyn til miljø, sikkerhet og bruk?

2. PROSJEKTPLAN

For at prosjektet skal kunne gjennomføres til fastsatt tid er det viktig å ha klare mål å jobbe mot og en tydelig plan fra tidlig i prosjektet. Derfor er det, i tillegg til et hovedmål angitt delmål som vil gjøre prosjektets fremdrift målbar. Hver av disse delmålene består av klart definerte aktiviteter og når alle aktivitetene under et delmål er utført er en milepæl nådd. I de følgende kapitlene forklares hovedmål, delmål og milepæler. Under punkt 2.2 viser tabell 1 fremdriftsplanen som er utformet basert på del- og hovedmål.

2.1 Prosjektmålsettinger

2.1.1 Hovedmål

Hovedmålet med denne oppgaven er å utrede og utvikle en prosess, eller et produkt, for effektiv fjerning av marin begroing fra utrangerte oljeinstallasjoner. Fjerningen skal gjøres under kontrollerte forhold og det skal tas høyde for å løse dagens utfordringer knyttet til luktproblematikk for lokalsamfunnet og begrensningene knyttet til arbeid i høyden. Sentralt i utredningen er også hensynet på kost, tidsbruk ved fjerning og hensynet til miljøet. Arbeidet og resultatene skal fremlegges i en rapport som beskriver arbeidet som er gjort og hvilke begrunnelser som er lagt til grunn for de valg som er gjort.

2.1.2 Delmål

Det er som nevnt definert fem delmål i denne oppgaven. Det kan virke litt vagt å bare definere fem delmål, men da oppgaven ikke er entydig på om det er et produkt som skal lages eller om det er en prosedyre som skal forbedres eller utvikles, er første del av oppgaven ganske åpen for hvilke aktiviteter som skal gjøres.

- **Forberedelser**

Å kartlegge den marine begroingen som vokser i Nordsjøen og å kartlegge metoder som benyttes i dag for fjerning av denne. Det skal også gjøres et ekstensivt litteratursøk i forbindelse med disse temaene, men litteratursøk vil være aktuelt som en overordnet aktivitet som inngår i alle deler av rapporten.

- **Tidligutvikling**

Det skal avgjøres om en videreutvikling av dagens metoder eller om en ny prosess eller et nytt produkt best kan løse problemstillingen. Dette gjøres gjennom idémyldring og en seleksjonsprosess. Det er dette delmålet som avgjør oppgavens retning og er en viktig milepæl for videre arbeid.

- **Prosess-/konseptutvikling***

Valgt retning skal utvikles til enten en ny eller videreutviklet metode, eller et nytt produkt/verktøy til fjerning av marin begroing. I en typisk produktutviklingsprosess vil det her igangsettes med seleksjonsprosess, konsepttesting, 3D-modellering og verifikasjon av de valg som er gjort i form av analyser og beregninger.

- **Rapport**

Det skal produseres innhold til den endelige rapporten som skal leveres. Dokumentasjon og begrunnelse vil det jobbes med hele veien og blant annet arbeidstegninger, rendrede fremstillinger og vedlegg vil ferdigstilles de siste ukene før innlevering.

- **Presentasjon**

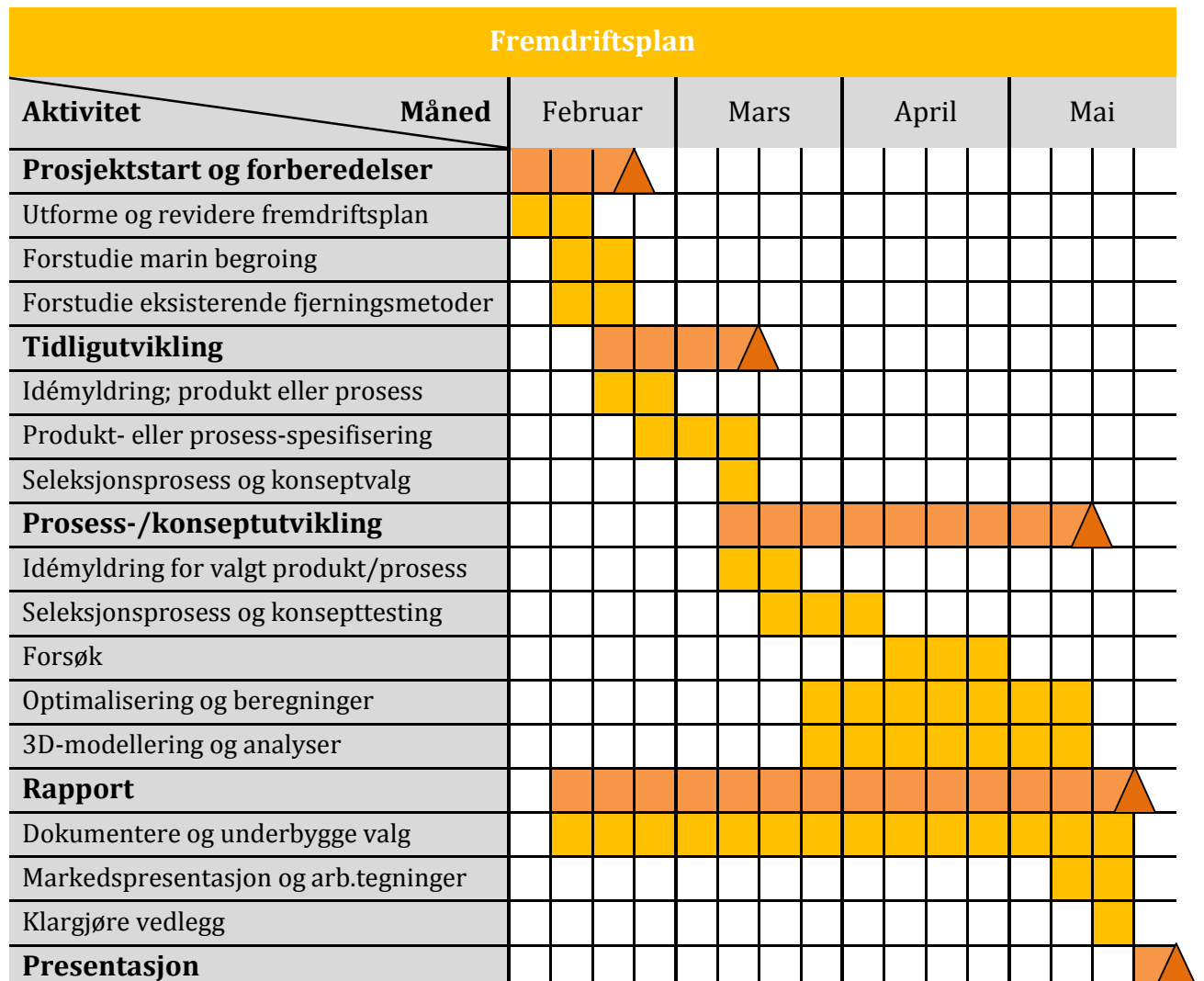
Det holdes en disputas noen uker etter innlevert prosjekt. Til denne disputasen og fremføringen jobbes det med en presentasjon og forberedelser til fremføringen.

*) Det er også mulig at disse to blir kombinert der et nytt produkt muliggjør en ny prosess for fjerning av marin begroing

2.2 Tids- og arbeidsplan med milepæler

For å kunne kontrollere prosjektets gang er det viktig med en god fremdriftsplan. Nedenfor er det laget en forenklet utgave av prosjektets totale arbeids- og milepælplan. Den totale planen er vedlagt (Vedlegg 1).

Tabell 1: Forenklet fremdriftsplan



Tabell 2: Milepæler

Milepæler	
Forberedelser	10.02.2016
Tidligutvikling	29.02.2016
Prosess-/konseptutvikling	27.04.2016
Rapport	13.05.2016
Presentasjon	27.05.2016

2.3 Begrensninger for arbeidet

- Da økonomi er en spesielt viktig faktor vil det bli brukt standarddeler der det er mulig.
- Det vil kun gjøres grunnleggende styrkeberegninger og ikke utmattingsberegninger.
- Beregningene vil bli utført parallelt med utviklingen av konseptet og noen av valgene vil bli tatt underveis i prosjektet.
- FEM analyser vil være basert på 3D modellutvikling og derfor være forenklet.
- Den økonomiske analysen vil være delvis basert på antakelser og derfor være forenklet.
- Materialvalgene anses som anbefalte løsninger, og vil derfor ikke være optimalisert.
- Da det vil være mulighet for å kommunisere og samarbeide med AF Offshore Decom gjennom hele oppgaven vil det ikke bli gjort en ekstern konsepttesting.
- Dersom prosjektet resulterer i utviklingen av et produkt vil det ikke bli laget navn og logo for produktet da dette vil være et produkt utviklet spesielt for AF Gruppen.

3 METODEBESKRIVELSE

Det vil bli benyttet kjente produktutviklingsmetoder og –verktøy i arbeidet med dette prosjektet. I dette kapittelet vil en forklaring av disse bli gitt, samt en oversikt over ord, symboler og formler som går igjen i rapporten.

3.1 Terminologi og begreper

Tabell 3: Begreper og betydning

Terminologi	
Begrep	Betydning
LARS	Launch and Recovery System
MG	Marin begroing
ROV	Remote Operated Vehicle
TMS	Tether Management System
FPSO	Floating production, storage and offloading
SFT	Statens Forurensningstilsyn
Klif	Klima- og forurensningsdirektoratet
MUR	Murchison

Tabell 4: Symboler og betydning

Symbolliste		
Symbol	Betydning	Benevning
R_e	Flytegrense	Pa
R_m	Strekkfasthet	Pa
E	Elastisitetsmodul	Pa
G	Skjærmodul	Pa
σ_{till}	Tillatt spenning i materiale ved bøy og strekk	Pa
τ_{till}	Tillatt skjærspenning i materiale	Pa
n_s	Sikkerhetsfaktor	----
p_{till}	Tillatt trykk, her: hullkantrykk	Pa
V_M	Fortrengningsvolum, hydraulisk motor	cm ³ /rev
Δp	Trykkfall	Bar
η_{Mmh}	Mekanisk-hydraulisk virkningsgrad	N/A
T_M	Motormoment	Nm
$F_{bolt,rot}$	Kraft som virker på bolt fra hydraulisk rotor	N
r	Radius fra senter av hydraulisk motor til bolt	m
n_b	Antall bolter	----
d_0	Nødvendig diameter på bolt	m
t	Tykkelse av grunnmateriale	m
$\tau_{till,bolt}$	Tillatt skjærspenning i bolt av rustfritt stål	Pa

Tabell 4 fortsetter

Symbol	Betydning	Benevning
p_h	Hullkantrykk	Pa
I_y	Annet areamoment om y-akse	m^4
H	Lengde av midtre modul, høyde av tverrsnitt	m
B	Tykkelse av aluminiumsplate, bredde av tverrsnitt	m
$G_{børste}$	Egentyngde av børstesett som belaster profilet	N
$m_{børste}$	Massen av børstesett som belaster profilet	kg
g	Gravitasjonskonstant	m/s^2
F_D	Væskemotstand, «drag force»	N
C_D	Motstandskoeffisient	----
ρ	Massetetthet	kg/m^3
A_D	Tverrsnittsareal av objekt utsatt for væskemotstand	m^2
v	Hastighet	m/s
$F_{tot,børste}$	Total kraft børsten utsetter profilet for	N
y	Nedbøyning	m
l_1	Lengde mellom knekte hjørner på øvre profil	m
α	Vinkel ved opplager B eller C	°
F_{AB}	Aksialkraft som virker på vertikal plate	N
λ	Slankhetsforhold	----
L_F	Knekkklengde	m
l_2	Faktisk lengde av profil	m
i	Treghetsradius	m
I_0	Annet arealmoment	m^4
A	Tverrsnittsareal av stav utsatt for aksialkraft	m^2
$F_{k,till}$	Tillatt knekk-kraft	N
n	Knekk sikkerhetsfaktor	----
A_{bolt}	Areal under bolthode	m^2
$F_{maks,bolt}$	Maks tillatt kraft på bolt	N
M_p	Moment om punktet p	Nm
l_b	Lengde fra senter av hydraulisk motor til bolt	m
$F_{børste}$	Kraften børste kan utsettes for	N
M_t	Torsjonsmoment	Nm
I_t	Torsjonstreghetsmoment	m^4
b_i	Middelbredde, bredde til senter av plate i	m
t_i	Tykkelse av plate i	m
Q	Volumstrøm	l/min
v_s	Hastighet for utvidelse av hydraulisk sylinder	m/s
B_m	Bredde av frontareal av modul 1-2	m
H_m	Høyde av frontareal av modul 1-2	m
η_{sv}	Volumetrisk virkningsgrad	----

Tabell 4 fortsetter

Symbol	Betydning	Benevning
$F_{sylinder}$	Kraftkapasitet sylinder	N
p_{arb}	Arbeidstrykk i hydraulisk krets	Pa
$m_{modul1-4}$	Massen til én av de justerbare modulene	kg
$V_{modul1-4}$	Volumet til én av de justerbare modulene	m ³
$F_{modul1-4}$	Tyngden som må kompenseres med flytere	N
$G_{modul1-4}$	Tyngden av en modul	N
F_B	Oppdrift av en modul	N
V_{flyter}	Volum av flyteelement	m ³
A_s	Areal av sirkel	m ²
$m_{sentermodul}$	Massen til sentermodul	kg
$V_{sentermodul}$	Volumet til sentermodul	m ³
$F_{sentermodul}$	Tyngden som må kompenseres med flytere	N
$G_{sentermodul}$	Tyngden sentermodul	N
ρ_{vann}	Massetetthet, vann	kg/m ³
$\rho_{synt.skum}$	Massetetthet, syntaktisk skum	kg/m ³
$m_{oppheng}$	Massen til opphenget	kg
$V_{oppheng}$	Volumet til opphenget	m ³
$G_{oppheng}$	Tyngden til opphenget	N
$F_{oppheng}$	Tyngden som må kompenseres med flytere	N

Tabell 5: Formler og beskrivelser

Formler		
Indeks	Beskrivelse	Formel
6-1	Tillatt bøye- og strekkspenning i materialet	$\sigma_{till} = \frac{R_m}{n_s}$
6-2	Tillatt skjærspenning i materialet	$\tau_{till} = 0.6 \times \sigma_{till}$
6-3	Beskrivelse av tillatt hullkantrykk	$p_{till} \leq R_e$
6-4	Formel for motormoment på hydraulisk motor	$T_M = \eta_{Mmh} \frac{V_M \times \Delta p_M}{2\pi \times 10}$
6-5	Torsjonsmoment regnet fra vektstangprinsippet	$T_M = F_{bolt,rot} \times r$
6-6	Tillatt skjærkraft i bolt med hensyn på krefter fra hydraulisk motor	$\tau_{till,bolt} = \frac{F_{bolt,rot}}{A}$
6-7	Hullkantrykk på grunnmateriale	$p_h = \frac{F_{bolt,rot}}{d_0 \times t}$
6-8	Annet arealmoment, om y-aksen	$I_y = \frac{H \times B^3}{12}$
6-9	Formel for tyngden av komplett børste	$G_{børste} = m_{børste} \times g$
6-10	Formel for motstand som virker på et objekt i bevegelse omsluttet av et medium	$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho \times A_D \times v^2$
6-11	Total belastning på profilet	$F_{tot,børste} = G_{børste} + F_D$
6-12	Nedbøyning under midten av profil	$y = \frac{F_{tot,børste}}{E \times I_y} \times \frac{l_1^3}{48}$
6-13	Vinkel på nedbøyd profil i opplagerpunkt B eller C	$\alpha = \frac{F_{tot,børste} \times l_1^2}{16 \times E \times I_y}$
6-14	Kraft på en av profilets vertikale sider	$F_{AB} = \frac{F_{tot,børste}}{2}$
6-15	Slankheten til «staven»	$\lambda = \frac{L_F}{i}$
6-16	Fri knekk lengde	$L_F = 2 \times l_2$
6-17	Treghetsradius	$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}}$
6-18	Tillatt knekk-kraft etter Eulers formelverk	$F_{k,till} = \frac{\pi^2}{4 \times n} \times \frac{E \times I_0}{l_2^2}$
6-19	Tillatt spenning under bolthode	$\sigma_{till} = \frac{F_{maks,bolt}}{2 \times A_{bolt}}$
6-20	Moment om punktet p, med hensyn på maks tillat kraft på bolhode	$M_p = F_{maks,bolt} \times l_b$

Tabell 5 fortsetter

Indeks	Beskrivelse	Formel
6-21	Moment om punktet p, med hensyn på maks tillat horisontal kraft på børsten	$M_p = F_{børste} \times l$
6-22	Torsjonsmoment på sentermodul	$M_t = F \times r = m \times l \times g \times \frac{l}{2}$
6-23	Torsjonstregghetsmoment	$I_t = \sum \left(\frac{b_i \times t_i^3}{3} \right)$
6-24	Torsjonsvinkel	$\theta_t = \frac{M_t \times l}{G \times I_t}$
6-25	Maksimal torsjonsspenning	$\tau = \frac{M_t \times t_i}{\sum I_t}$
6-26	Frontareal av modul 1-2	$A = 2 \times (B_m \times H_m)$
6-27	Tyngden hydraulisk sylinder skal flyte	$G = m \times g$
6-28	Formel for volumstrøm	$Q = 0,06 \frac{A_1 \times v_s}{\eta_{sv}}$
6-29	Stempelareal i sylinder	$A_1 = \pi \times r^2$
6-30	Kraftkapasitet på sylinder	$F_{sylinder} = p_{arb} \times A_1$
6-31	Tyngde av modulene 1-4 nedsenket i vann, enkeltvis	$F_{modul1-4} = G_{modul1-4} + F_B$
6-32	Tyngde av modulene 1-4, tørrvekt enkeltvis	$G_{modul1-4} = m_{modul1-4} \times g$
6-33	Oppdrift av modulene 1-4, enkeltvis	$F_B = -\rho_{vann} \times V_{modul1-4} \times g$
6-34	Likevektsformel for nødvendig volum av flyteelement, inkludert vekten av flyteelement	$F_{modul1-4} + (\rho_{synt.skum} \times V_{flyter} \times g)$ $= \rho_{vann} \times V_{flyter} \times g$
6-35	Tyngde av sentermodul nedsenket i vann	$F_{sentermodul} = G_{sentermodul} + F_B$
6-36	Tyngde av sentermodul, tørrvekt	$G_{sentermodul} = m_{sentermodul} \times g$
6-37	Oppdrift av sentermodul	$F_B = -\rho_{vann} \times V_{sentermodul} \times g$
6-38	Tyngde av verktøyoppheng nedsenket i vann	$F_{oppheng} = G_{oppheng} + F_B$
6-39	Tyngde av verktøyoppheng, tørrvekt	$G_{oppheng} = m_{oppheng} \times g$
6-40	Oppdrift av verktøyoppheng	$F_B = -\rho_{vann} \times V_{oppheng} \times g$

3.2 Metodebruk og løsningsverktøy

3.2.1 Metodebruk

IPD – Integrert produktutvikling

IPD er en produktutviklingsmetode som fokuserer på å integrere flere fag- og ekspertiseområder tidlig i utviklingsprosessen. Tidligere har produktutvikling i stor grad vært en ingeniør- og økonomistyrte prosess, men ved å benytte seg av IPD kan det også tas større hensyn til miljø og bærekraft tidligere i utviklingsprosessen. I tillegg er det verdt å merke seg at gjennomføringen blir mer effektiv og en opplever også at læringseffekten er langt større enn ved et tradisjonelt prosjekt.

En kan på mange måter si at IPD er en god huskeliste, eller kjørerute, med en klar oppdeling av hovedelementer man vil ha med i organiseringen av produktutviklingsprosjektet.

IPD baserer seg på fire ben:

- Funksjon: Konstruksjon, materiale, styrke og design
- Prosess: Teknikk, utstyr og produksjon
- Økonomi: Effektivitet, planlegging, marked og kostnad
- Miljø: Miljøkrav, resirkulering og industriell økologi

PUGHS Metode

PUGHS Metode er en metode som benyttes når det skal velges mellom flere aktuelle løsninger. Dette er en metode som er utviklet for å gjøre utvelgelsesprosessen så konsekvent og objektiv som mulig. For å få til dette settes det først en del kriterier som ønskes oppfylt. Deretter utvikles en matrise med kriteriene i første kolonne og mulige løsningsalternativer i øverste rad. Deretter vektet hvert løsningsalternativ med bakgrunn i hvor godt det oppfyller kriteriet. En måte å gjøre dette på kan være å benytte verdiene 1 til 5, hvor 1 er dårligst og 5 er best. På denne måten får en sammenlignet hvordan de forskjellige konseptene utfyller de satte krav og spesifikasjoner og det konseptet med høyest poengsum er konseptet det bør gås videre med.

Osbornes SCAMPER-huskeliste

I en utviklingsprosess kan det ofte være vanskelig å komme opp med nye idéer eller løsninger. Derfor er det utviklet et verktøy for å gjøre denne jobben litt mer strukturert og håndgripelig; nemlig Osbornes SCAMPER-huskeliste. Dette er et idémyldringsverktøy og skal hjelpe bruker med å tenke på hvilke endringer som kan gjøres med et eksisterende produkt eller i utviklingen av et nytt. Hva kan endres i eksisterende produkt for å gjøre det bedre? Bør for eksempel materialet byttes mot et annet? Navnet SCAMPER er et akronym for de syv punktene som utgjør denne tankegangen; Substitute, Combine, Adapt, Modify, Put to another use, Eliminate og Reverse. Denne tankegangen kan like mye benyttes i en prosess hvor en prosedyre skal forbedres eller videreutvikles.

3.2.2 Løsningsverktøy

Det er benyttet flere typer dataprogrammer i arbeidet med denne oppgaven:

- **Dassault Systems, Solid Works 2015-2016, Sp4.0**
- **Autodesk, AutoCAD 2015**
- **GRANTA Design Limited, CES EduPack 2015, Version 15.3.10**
- **Microsoft Office 2011 (Word, Excel & PowerPoint)**
- **ProjectLibre, ProjectLibre version 1.6.2**
- **ANSYS Inc., ANSYS Workbench, Version 16.2**

3.3 Litteratursøk og kildebruk

Det er innhentet informasjon og opplysninger fra flere kilder under dette prosjektet. Det er hentet opplysninger fra bøker, elektroniske dokumenter, rapporter, nettsider og i korrespondanse med personer knyttet til fagmiljøer eller bedrifter. Det er gjort et forsøk på å få alle opplysninger skriftlig, fortrinnsvis per mail, i de tilfeller det er benyttet personreferanser.

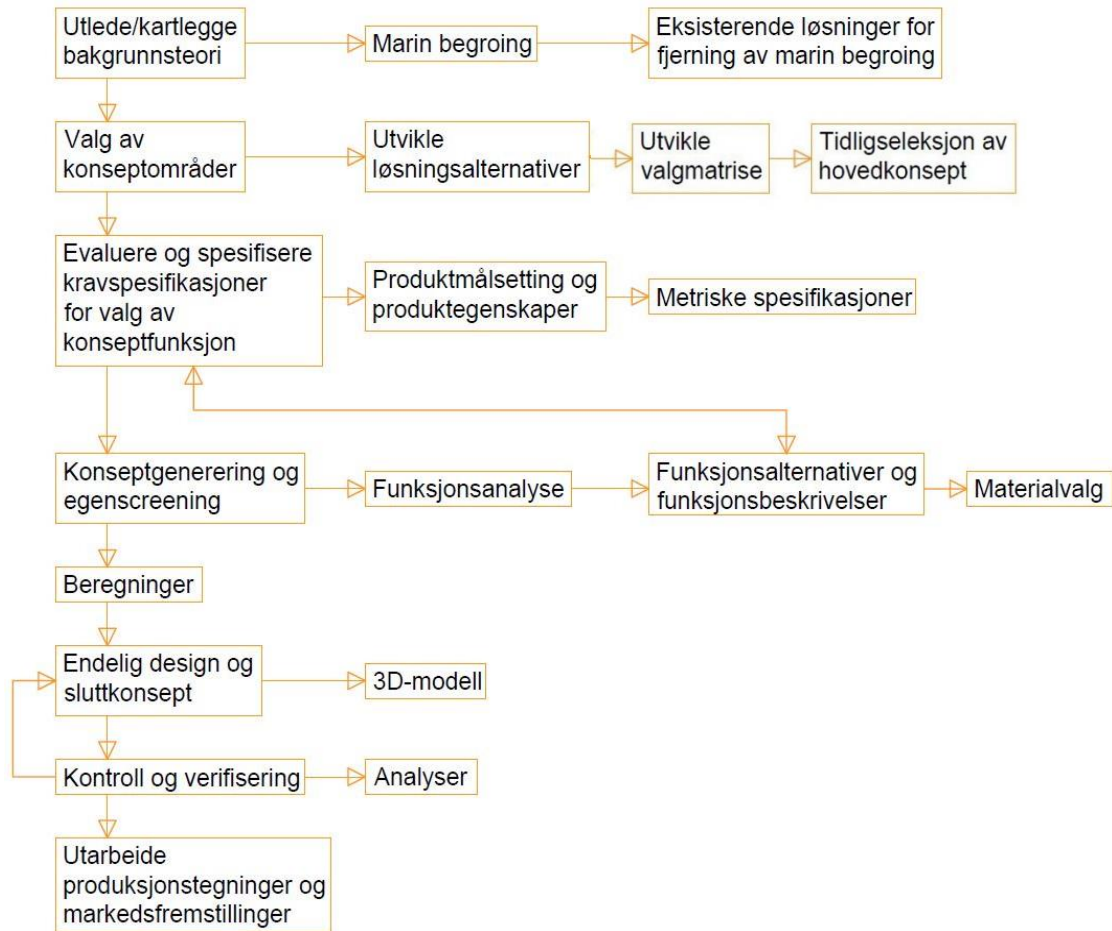
Litteratursøket er i all hovedsak utført på internett hvor det refereres til de nevnte rapporter eller bøker i digital form.

3.4 Kvalitetssikring

I utviklingen av det endelige verktøyet benyttes det ingen egne standarder ut over standardformler for styrkeberegning av maskindeler og konstruksjoner. Beregninger følger i all hovedsak metodene i *Tekniske Tabeller* [4]. Ved utregninger knyttet til hullkantpress og utrivning av bolt, samt vridning av profil, benyttes formelverk fra kompendier fra F. amanuensis Geir Terjesen . Det finnes egne standarder for utvikling av ROV-verktøy, slik som NS-EN ISO 13628-8:2006, men disse standardene gjelder i stor grad verktøy som er ment for intervensjon med subsea-installasjoner. Forklaringene rundt de forskjellige delene av hydraulikksystemet er basert på boken *Innføring i oljehydraulikk* av Knut Brautaset [5]

3.5 Prosesstrinn

Utviklingsprosessen kan også illustreres som klare blokker og hvordan de avhenger av hverandre. I en slik prosess er det naturlig at man kommer til et punkt hvor det må vurderes om denne løsningen er god nok til å ta videre eller om en må gå tilbake og revurdere aspekter av løsningen man har kommet frem til. Disse punktene kommer gjerne mot slutten av et utviklingsprosjekt når løsningen for eksempel skal optimaliseres eller kontrolleres/verifiseres. Det er utarbeidet et prosessstrinnskjema for dette prosjektet som kan sees i figur 4.



Figur 4: Prosesstrinnskjema

4. GRUNNLAGSBESKRIVELSER

For å finne den beste løsningen på en slik problemstilling er det viktig å sette seg inn i flere forhold rundt en slik operasjon. Først og fremst er det fordelaktig å få en oversikt over den marine begroingen i havområdene i området og hva som vokser på den aktuelle jacketen. Samtidig er det av interesse å studere dagens metode for fjerning av marin begroing både hos AF Gruppens miljøbase Vats og hos andre anlegg både i Norge og Storbritannia.

4.1 Marin begroing

Marin begroing er en samlebetegnelse på alt fra planter til organismer som vokser under havoverflaten. AF Offshore Decom definerer marin begroing slik:

"Marin begroing er det laget av biologiske organismer som alger, bakterier og en rekke marine dyr som lever på overflaten av konstruksjoner under vann i havet." [6]

4.1.1 Marin begroing på Murchison-plattformen

Fra tidligere undersøkelser gjort av plattformen er det konkludert med at den marine begroingen er svært omfattende. Den marine begroingen på plattformens jacket og ledere (conductors) består av et mangfold av arter og organismer. Begroingen karakteriseres som henholdsvis hard og myk og består av både epifauna og flora. For å få en fullstendig oversikt er det i 2002, 2004, 2006 og 2009 gjort flere undersøkelser av plattformens jacket og ledere, resultatene fra disse undersøkelsene er presentert i BMT Cordah Limiteds rapport fra 2011 [7]. Formålet med disse undersøkelsene har vært å danne et bilde av hvordan fordelingen og utviklingen av begroingen endret seg i løpet av perioden undersøkelsene ble gjort. I følge rapporten er det kun gjort målinger på -6, -13, -20, -27, -34, -41, -50, -59, -69, -78 og -87 meter og det er derfor ikke sikkert at begroingen er lik mellom målingsdybdene. Resultatene fra undersøkelsene viser at den prosentvise begroingen er ganske lik over de syv årene og med bakgrunn i dette bestemmes det at det i denne oppgaven kan brukes de oppgitte verdier og antagelser fra 2009-undersøkelsen. Nedenfor følger en kort beskrivelse av de forskjellige arter og organismer som vokser på plattformens jacket og på hvilke dyp de forskjellige artene befinner seg. Det bør nevnes at selv om det er gjort målinger både på jacket og de kabler som hører til er observasjonene på kablene er uten interesse for denne oppgaven da disse fjernes på forhånd.

Fordeling av marin begroing nedover konstruksjonen:

Det er stor variasjon i hva slags begroing som befinner seg på forskjellige dybder nedover jacketen. Selv om begroingen kategoriseres som hard eller myk har de meget forskjellige egenskaper i forhold til hvor godt de klamrer seg fast til den flaten de vokser på. Som regel er det begroingen som sitter i plaskesonen, altså de rundt ti første meterne under havet, som er vanskeligst å fjerne. Dette kommer av at den er vant til å motstå den kontinuerlige bølgekraften og at den regelmessig eksponeres for luft.

4.1.2 Myk marin begroing

Myk marin begroing er som regel ganske enkel å fjerne. Både sjøanemoner og bløtkoraller kan enkelt fjernes ved høytrykksspyling, men når denne typen begroing eksponeres for luft vil det starte en forråtnelses- og nedbrytningsprosess. Det er i denne prosessen begroingen avgir den sterke og problematiske lukten.

Tang og tare:

Tang og tare finnes i flere typer og farger og er utbredt de 13 første meterne under havoverflaten. Rundt 4% av den marine begroingen er tang og tare. Lengden på bladene kan strekke seg opp til 300 mm ut/opp fra jacketen. Følgende typer er funnet under undersøkelsen i 2009: *Laminaria digitata*, *Himanthalia elongata*, *Porphyra umbilicalis*, *Palmaria palmata*, *Ceramium rubrum*. [8]

Hydroider:

Hydroider er en del av nesledyrfamilien og i klassen småmanet. Det finnes to typer av disse; de som bor fast på objekter og de som er frittsvømmende. På Murchison-plattformen er det de fastboende hydroidene som er aktuelle og disse består av forgrenede kolonier. Utbredningen av hydroider er ganske stor og rundt 13% av den marine begroingen består av dette. De vokser rundt 50 mm ut fra underlaget, men kan enkelte steder nå så langt som 300 mm. På plattformen finnes disse over hele jacketens undersøkte lengde; fra vannlinjen og ned til -87 meter. Følgene typer er observert på jacketen: *Obelia* sp., *Tubularia* sp. og *Eudendrium* sp. [9]

Bløtkoraller:

Bløtkoraller, eller åttetalskoraller, utgjør 7% av den totale marine begroingen. På plattformen er det kun funnet én art av bløtkoraller kalt dødningehånd (*Alcyonium digitatum*). Dette er en art som holdes oppe av kalknåler innad i korallen og den kan strekke seg opp til 30 mm ut fra strukturen. Akkurat som hydroider finnes bløtkorallene over hele jacketens lengde, men som dominerende art rund -6 meter. Bløtkoraller er forholdsvis enkle å fjerne fra vekststedet. [10]

Sjøanemoner:

Sjøanemoner er enkeltlevende koralldyr. I motsetning til mange andre koraller vokser de som oftest ikke i kolonier. De fester seg til hardt underlag, slik som jacketen, ved hjelp av en fotskive som utskiller festende slim, og kan på denne måten også bevege seg langs underlaget. Sjøanemonene utgjør hele 52% av den marine begroingen. Det er påvist i hvert fall én type sjøanemone, *Metridium senile*, men det er også en mulighet for at *Bolicera tuediae* vokser på jacketen. Sjøanemonene er observert over hele jacketens høyde, men er spesielt utbredt, og dominerende, fra -20 meter til -87 meter. [11]

Svamper:

I Nordsjøen finnes det flere typer svampvekst, men svampen som er funnet på Murchison-jacketen er antatt å være av typen brødsvamp, *Halichondria panicea*. Navnet har den fått etter formen på enkelte av funnene, men oftest følger den konturene til underlaget og legger seg over som et teppe. I 2009 var det ingen svamp på konstruksjonen over hodet, men dette endret seg fra 1% i 2006. Forandringer kan ha skjedd, men som med resten av de marine artene tas det utgangspunkt i rapporten fra 2009. [12]

4.1.3 Hard marin begroing

Dette er marin begroing som stort sett består av kalkrike organismer som for eksempel skjell og koraller. En del av disse artene, typisk muslinger, sitter svært godt festet til strukturen. Tidligere er det benyttet skraping for å fjerne disse, men ved å effektivisere bruken av høytrykksspylere kan nå det meste spyles bort. Annen hard begroing som for eksempel hardkoraller, og da spesielt *Lophelia Pertusa*, faller ofte av strukturen under løft da korallkonstruksjonen er veldig skjør.

Rørormer:

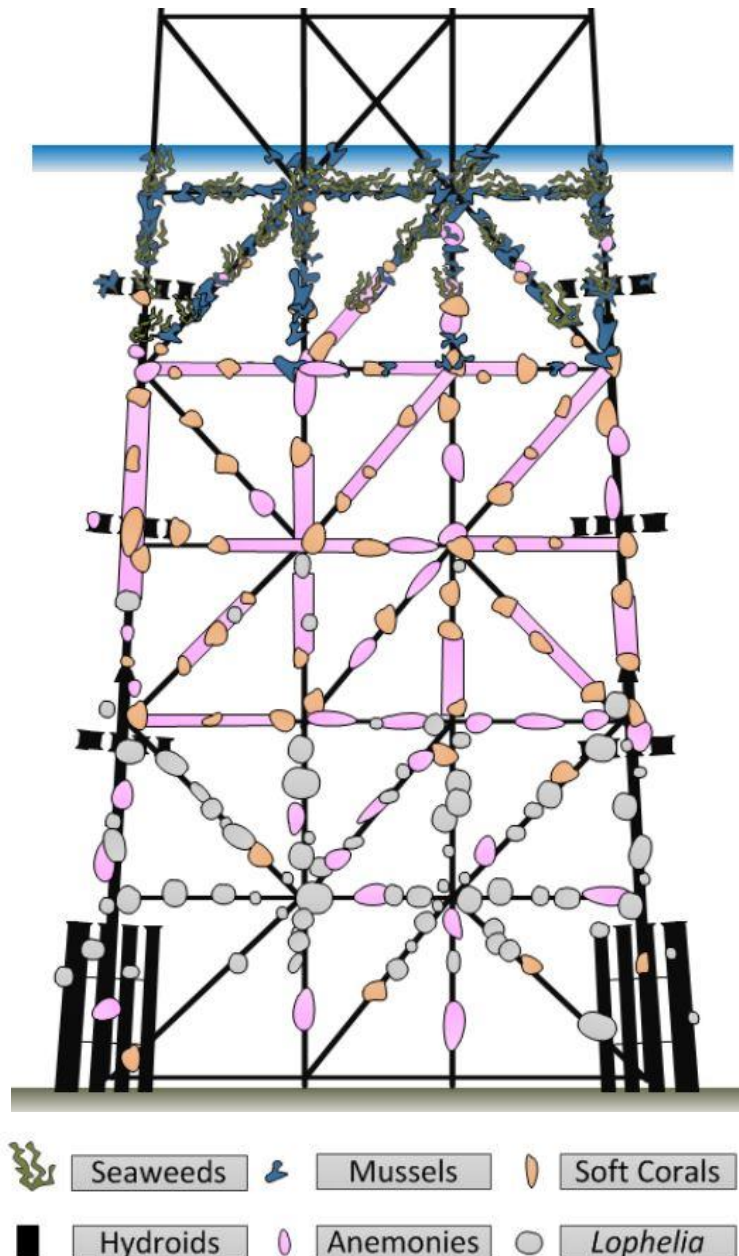
Rørormer er ormer som lever i strukturer, eller rør, av kalk som de utsondrer. På rørormen er det selve røret som er festet til underlaget, og det er festet i hele rørets lengde; enten som bukninger eller formet som en spiral. Det finnes typer av rørorm som danner større kolonier, men disse er ikke observert på Murchison-plattformen. Rørorm er delvis den eneste, og andre steder den dominerende, harde begroingen på dyp mellom -34 og -87 meter. Totalt 18% av den marine begroingen består av rørormer og de observerte typene er *Pomatoceros triqueter* og *Hydroides elegans*. [13]

Hardkoraller, fortrinnsvis *Lophelia pertusa*:

L. Pertusa er en korall som er spesielt utbredt i norske farvann. I motsetning til korallrev i tropiske omgivelser er polyppene til *L. Pertusa* selvstendige og er ikke direkte forbundet med hverandre. Korallrevene vokser ofte fra en enkelt polypp og utvikler seg til en sfærisk form. Korallrevene huser mange forskjellige dyr og organismer og ved å fjerne disse revene vil også vilkårene for vekst av andre arter forsvinne. Det er kun 3% av den marine begroingen som består av hardkoraller, men til gjengjeld kan disse 3% være grobunn for mange av de andre artene. *L. Pertusa* vokser vanligvis under -80 meter, men er på Murchison-jacketen funnet fra -59 og ned til -87, men aldri som den dominerende arten. [14]

Muslinger:

Muslinger, eller skjell, vokser i hovedsak rundt tidevannssonen. Da plattformen er utsatt for større bølger vil intensiteten ikke være så høy som ved stillere vann. Muslinger er kun observert ved -6 og -13 meter. Muslingene fester seg til konstruksjonen ved hjelp av blant annet byssustråder. Rundt 3% av den marine begroingen består av muslinger. Av undersøkelsene som er gjort er det kun *Mytilus edulis* (blåskjell) som er observert. [15]



Figur 5: Fordeling av marin begroing nedover en jacket [16]

4.1.4 Vekst og utvikling av marin begroing

En interessant del av problemet med marin begroing er hvor fort det utvikler seg et nytt samfunn på for eksempel en installasjon. Dette er av interesse da en mulighet for å løse problemstillingen kan være å fjerne begroingen før plattformen blir fraktet til land. Dersom det skulle ta en måned fra begroingen fjernes til det på nytt har dannet seg en betydelig vekst vil ikke dette være en praktisk løsning.

Den vekstraten som er oppgitt tidligere under hver art refererer til etablert begroing. Vekstraten på nylig rensede flater vil variere mellom artene som vokser på den, men i hovedsak kan det ta nærmere ett år før en begynner å se tydelige tegn på ny MG. De fleste bunndyr i nordsjøområdene og i norske farvann når kjønnsmodning etter 1-2 år, men så fort en flate er rensed vil et nytt hardbunnsamfunn straks begynne å etablere seg. Dette skjer først i form av en tynn mikrobiell biofilm og på grunn av gjensidig avhengighet og stor konkurranse mellom arter kan det ta så mye som 5-7 år før et modent hardbunnsamfunn er utviklet. Samfunnsutviklingen styres i stor grad av vekstgraden til primærartene på jacketen. Det kan for eksempel være *Lophelia Pertusa* eller tang og tare da disse utgjør substrat for en del av sekundærartene. Disse sekundærartene kan igjen være nødvendig for at andre sekundærarter utvikler seg.

I en mailkorrespondanse med marinbiolog Torgeir Bakke skriver han følgende om mulige begrensninger for vekst av marin begroing.

*"Noen av artene lever bare i korallsamfunnet, andre finnes på all egnet hardbunn. Hvis man fjerner den arten som fysisk danner samfunnet (for eksempel *L. pertusa*) så vil de tilknyttede artene også forsvinne. Om, og hvor fort de kommer tilbake når nye koraller slår seg ned er avhengig av flere faktorer, hvorav minst to viktige:*

- Larvene av sekundærarter som driver i vannmassene må drive forbi korallen når de er i det utviklingsstadiet at de skal slå seg ned på bunnen. Hvis ikke treffer de ikke korallen. Disse larvene må komme fra et sted med korallsamfunn, dvs. i praksis et annet rev eller installasjon. Mesteparten av bunnen i Nordsjøen er sedimenter som ikke har denne faunaen, så det er et sjansespill om en larve treffer rett substrat til rett tid. Jeg tror dette er en viktig faktor som kan forsinke utviklingen av korallsamfunnet på installasjonene selv etter at korallen selv har etablert seg. Et naturlig rev har ikke samme problemet dersom det ikke ødelegges helt av for eksempel tråling.

- Korallen må få en viss størrelse før den er egnet som substrat for en sekundærart, og denne størrelsen vil variere fra art til art. De første artene vil nok slå seg ned så snart korallen er noen cm. stor." - Torgeir Bakke, 08.02.2016 [17]

De fleste artene som vokser på jacketen har et larvestadium med frittsvømmende larver. Larvene følger havstrømmene og fester seg normalt sett til harde overflater.

Da havbunnen i området rundt MUR er mudrete er det altså ikke så mange andre steder i området disse artene kan vokse.

Gytetiden for slike arter med frittsvømmende larver vil normalt formere seg på senvinter eller vår.

Perioden Mai-Juni er ofte den mest intense for at larvene slår seg ned. For dyrearter med direkteutvikling kan formeringen pågå over hele året.

Med bakgrunn i dette, og dersom dette vil bli den valgte løsningen, kan det anbefales å ha fjernet den marine begroingen i løpet av vinterhalvåret for så å få løftet jacket-modulene opp fra site innen starten av Mai. Eventuelt kan prosessen med rensing av jacketen begynne slik at den er ferdig ved utgangen av Juni måned og et løft av jacket i forholdsvis nær fremtid.

4.1.5 Vekt av marin begroing på en struktur

Den totale vekten av marin begroing på en jacket er ganske voldsom, det er som regel snakk om mange hundre, noen ganger langt over ett tusen, tonn.

Mengden varierer stort fra plattform til plattform, hovedsakelig basert på plattformens størrelse og jacketens utforming. Før jacketer skal løftes vekk og fraktes til land gjøres det en beregning på forventet mengde begroing festet til jacketen, denne beregningen er meget konservativ og gir en verst tenkelig situasjon. Differansen mellom estimert begroingsvekt og den faktiske vekten av det som blir fjernet onshore kan være helt opp til 50%.

Et eksempel på dette er rensingen av EDDA 2/7 C og Ekofisk 2/4 D på AF Gruppens miljøbase Vats der den estimerte vekten var satt til 1525 tonn og den faktiske vekten viste seg å være på cirka 750 tonn. Dette skyldes, i tillegg til overestimert vekt, at det fjernes noe begroing i forbindelse med kapping av jacketen, uttørking av begroingen under frakt til land og at noe begroing faller av strukturen under løft og frakt. [6]

4.1.6 Miljøfiendtlige stoffer

Den marine begroingen kan inneholde spor av miljøfiendtlige stoffer, men tester av begroing på tidligere prosjekter AF Gruppen har hatt viser at disse vanligvis inneholder akseptable nivåer i henhold til Statens Forurensningstilsyns (SFT) regelverk. Enkelte tester har inneholdt konsentrasjoner av bly som har oversteget de tillatte nivåene gitt i SFT sitt regelverk, men som samtidig har vært langt under grenseverdien for farlig avfall. Disse høyere nivåene har mest sannsynlig kommet av fragmenter av maling som ble revet av strukturen under prosessen der begroingen ble fjernet. [6]

Før den marine veksten kan bli sendt til et godkjent deponeringssted kreves det en grunnleggende karakterisering av avfallsfraksjonene. Til tross for at tidligere tester viser at det kun finnes spor av miljøfiendtlige stoffer i den marine begroingen må AF Offshore Decom fortsatt utføre like tester på hver enkelt plattform som skal rives. I disse testene sjekkes det for innhold av tungmetaller, tributyltinn og polysykliske aromatiske hydrokarboner.

4.2 Fremtidig avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner i Norge

Hvordan fremtiden ser ut når det kommer til avvikling av offshoreinstallasjoner er også en faktor det bør tas hensyn til når problemstillingen skal løses. Dersom markedet for dette ser ut til å avta vil det være unødvendig å bruke mye tid og penger på å utvikle nye konsepter og rutiner, men i motsatt tilfelle kan dette være en god investering.

Dette delkapittelet baserer seg på informasjon hentet fra en rapport Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) laget i 2010 [18] som omtaler nettopp dette.

4.2.1 Norske mottaksanlegg

Det finnes per i dag tre aktive anlegg for mottak og behandling av utrangerte offshoreinstallasjoner i Norge, AF Miljøbase Vats, Aker Stord og Scandinavia Metal. I tillegg til disse tre finnes Lyngdal Recycling, men dette anlegget er for tiden ikke aktivt. AF Miljøbase Vats er plassert i Vats i Rogaland og er det nyeste av anleggene. Aker Stord og Scandinavia Metal er begge lokalisert på Stord i Hordaland

AF Miljøbase Vats

Gjeldende tillatelse for anlegget er gitt i 2009 av Fylkesmannen i Rogaland og omfatter mottak og bearbeiding av utrangerte offshoreinstallasjoner. Tillatelsen stiller konkrete krav til utslipp i sjø, støy og oppsamling av marin begroing. De har i dag tillatelse til å lagre opptil 50 000 tonn avfall ved anlegget uavhengig om det er på land, i fartøy eller andre installasjoner ved kai. Inkludert i denne mengden kan det maksimalt lagres 500 tonn EE – produkter og 300 tonn farlig avfall.

Aker Stord og Scandinavian Metal

Disse anleggene er samlokalisert på Stord der de samarbeider om mottak og opphugging av offshoreinstallasjoner. Aker Stord er mottaker med Scandinavian Metal som underleverandør. Begge anleggene har tillatelse fra Miljødirektoratet, den gang SFT, der Aker fikk sin tillatelse i 1997 og Scandinavian Metal fikk sin i 2004. I dag er det Fylkesmannen i Hordaland som har miljømyndighet for området.

Ingen av disse anleggene har mengdebegrensning når det kommer til lagring av avfall.

Ingen av de to anleggene har godkjenning til håndtering av radioaktivt avfall, men Scandinavian Metal har søkt om dette.

Tabell 6: Norske avviklingsanlegg [18]

Oversikt over tillatelser for de forskjellige anleggene i Norge				
	AF Miljøbase Vats	Lyngdal Recycling	Scandinavian Metal	Aker Stord
Tillatelse gitt	FMRO 9. Juni 2009	FMVA 5. September 2007	SFT 7. September 2004	SFT 5. August 1997
Utslippsgrenser vann	Ja til olje, Fe,Pb,Hg,Cd,pH	Ja	Nei	Nei
Utslipp til luft	Nei	Nei, men beregne utslipp av VOC	Nei	Løsemidler, støv innendørs sandblåsing
Støy	Ja	Ja	Ja	Ja
Marin Begroing	Oppsamling	Nei	Nei	Nei
Mengdebegrensning	50 000 tonn avfall lagres, 500 tonn EE-produkter, 300 tonn farlig avfall	Nei	Nei	Nei
Driftstid	Man-Fre. 7-23, 30 døgn pr år drift 24 timer	24 timer drift, normalt ikke aktivitet om natten	Nei	Nei
Krav til Areal	Arealklasse A, B og C med ulike krav	Nei	Nei	Nei
Krav til tett dekke	Ja	Ja	Nei	Nei
Krav til rensing av prosessvann	Ja	Ja	Nei	Nei
Godkjenning fra Statens strålevern	Ja, GP08-10-1	Ikke godkjent	Ikke godkjent	Ikke godkjent

Som det kan sees i tabellen har AF Miljøbase Vats de strengeste kravene av de fire anleggene. Det er flere faktorer som danner grunnlaget for dette, blant annet miljøbasens beliggenhet, men også fordi kravene for tillatelser tenderer til å bli strengere med tiden. I rapporten Klif utarbeidet ble det blant annet anbefalt følgende to punkter:

- Klima- og forurensningsdirektoratet bør ta tilbake myndigheten fra Fylkesmannen til å regulere virksomheter som tar imot offshoreinstallasjoner
- Det bør gjennomføres en gjennomgang av kravene ved alle anlegg som har tillatelsene til å behandle offshoreinstallasjoner på land for så å sikre helhetlig regulering og sikre at beste tilgjengelige teknikker brukes ved alle anlegg

Dersom disse anbefalingene skulle følges opp kan det bety enda strengere krav og regler for avvikling onshore i tiden fremover.

4.2.2 Forventet avvikling av offshoreinstallasjoner i tiden fremover

Det er forventet store mengder avfall fra avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner i tiden fremover. Det er vanskelig å si når toppene vil komme, men frem mot 2020 er det forventet at mengden vil øke kraftig. Det er også forventet at offshoreinstallasjoner fra andre land rundt Nordsjøen vil importeres og demonteres i Norge.

Usikkerhet rundt avviklingstidspunkt

Oljepris, forventet produksjonsutvikling, driftskostnader og teknisk tilstand er faktorer som har mye å si for når en installasjon skal stenges. En gjenganger i dag er at plattformer og andre offshoreinstallasjoners levetid forlenges utover planlagt levetid.

I tillegg kan oppstart og varighet av avviklingsprosjektet variere da det er store forskjeller når det kommer til installasjonenes størrelse, kompleksitet og antall innretninger. Varigheten vil også baseres på avstanden fra plattform til land og demonteringsmetode.

De ulike demonteringsmetodene er:

- **Piece small:** Installasjonen demonteres i små biter som kan fraktes i land i containere.
- **Piece large:** Installasjonen demonteres i hele moduler som fraktes til land.
- **Single lift:** Frakter hele dekket og/eller jacketen til land i ett stykke.

4.2.3 Norsk sokkel

En oversikt over antall, type, og antatt total vekt for de forskjellige installasjonene som står på norsk sokkel er presentert i tabell 7. Den totale vekten er vanskelig å anta da det i løpet av en plattforms levetid mest sannsynlig vil bli gjort flere modifikasjoner og i mange av disse tilfellene vil det tilføres ballast. Dette i tillegg til marin begroing på jacketen og fyllmasse i skaftene er eksempler på ting som påvirker plattformenes totale vekt.

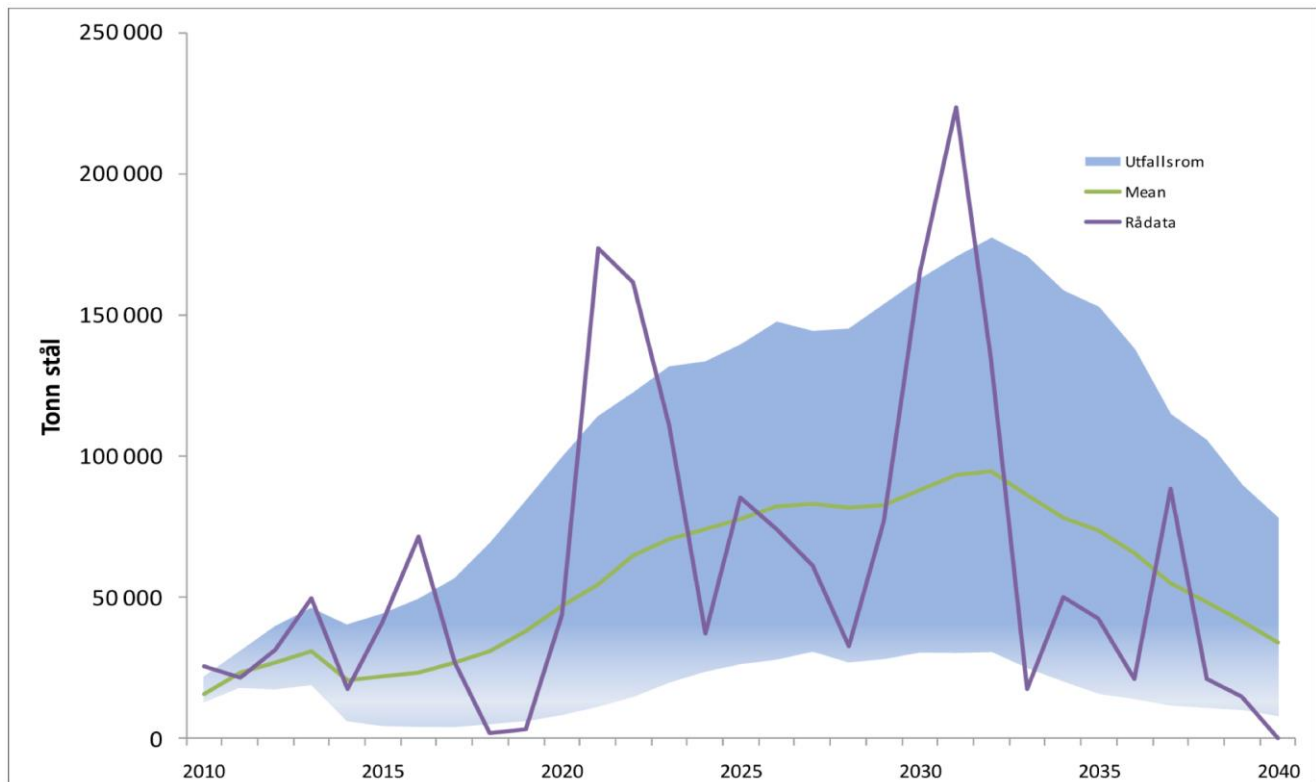
Tabell 7: Innretninger på norsk sokkel [18]

Oversikt over vekt og type innretning som står på norsk sokkel i dag (2010)		
Type	Antall	Tilnærmet totalvekt i tonn
Betonginnretninger	12	480 000 overbygg/dekksanlegg
		4 600 000 betongunderstell
Bunnfaste stålinnretninger	88	1 000 000
Flytende innretninger (utenom betong)	19	715 000
Undervannssystem	348	118 000

DNV utarbeidet i 2002 en oversikt over installasjoner på norsk sokkel som var planlagt avvirket fra 2010 til 2020. En oversikt over antall og hvilken type installasjoner det er snakk om er presentert i tabell 8 nedenfor. I tillegg er det gjort en antakelse på hvor store mengder stål som vil genereres som et resultat av avvikling av offshoreinstallasjoner på norsk sokkel frem til 2040 (figur 6).

Tabell 8: Planlagt avvikling på norsk sokkel 2010-2020 [18]

Antall installasjoner på norsk sokkel som er planlagt avvirket i årene fremover			
Type	Årstall	2010-2015	2015-2020
	Plattform med stålunderstell		10	12
Flyter		2	1
FPSO		1	1
Plattform med betongunderstell		1	4
Totalt		14	18



Figur 6: Antatt mengde stål som vil genereres i perioden 2010 til 2040 [18]

I tillegg til dette skal det avvikles mange installasjoner på britisk sokkel der det er sannsynlig at flere av disse vil tas inn til Norge for demontering og gjenvinning.

Tabell 9: Planlagt avvikling på engelsk sokkel 2010-2020 [18]

Antall installasjoner på britisk sokkel som er planlagt avviklet i årene fremover		
Type	Årstall	
	2010-2015	2015-2020
Store plattformer med stål eller betongunderstell	3	13
Små stålplattformer	54	90
Undervannsanlegg	41	38
Andre	8	16
Totalt	106	157

4.2.4 Miljøutfordringer

Hele prosessen fra nedstenging av en plattform til avfallet er tatt hånd om byr på mange utfordringer, både offshore og onshore. Erfaring viser at de fleste uforutsette miljøutfordringer oppstår når rivningen starter på land, men det er også noen utfordringer offshore som vil være til stede ved behandling på land, som for eksempel marin begroing og avleiringer i rør.

Marin begroing:

Fortrinnsvis bør marin begroing fjernes på feltet offshore dersom det er teknisk mulig. Der er det som oftest god resipient og materialet blir naturlig nedbrutt. Likeså viser etterundersøkelser i åpne fjorder at utslipp av begroingsorganismer ikke er noe problem. Derimot kan utslipp i mer lukkede grunne områder lokalt gi organisk belastning og oksygenfattige bunnområder. Deponering på land og kompostering er en mulighet, men medfører som nevnt luktproblemer.

Maling:

Et bredt utvalg av korrosjonsbeskyttende malingsprodukter benyttes på innretningens stålkonstruksjoner. Malingsproduktene kan inneholde giftige komponenter som PCB, tungmetaller og pesticider. Maling som inneholder metalliske forbindelser blir ofte brukt til korrosjonsbeskyttelse. Pesticider som for eksempel tributyltinn og andre tinnorganiske forbindelser har vært brukt på stigerør, i plaskesonen og under vannflaten på flytende installasjoner for å forhindre marin begroing. I tillegg er det benyttet to-komponent epoksymalinger med polyuretanmaling i toppstrøket.

4.2.5 Økonomiske aspekter

Det er stor usikkerhet rundt kostnadene for å avvikle de om lag 500 innretningene på norsk kontinentalsokkel, men da rapporten ble skrevet var det gjort et anslag på rundt 160 milliarder kroner. I dette anslaget var bunnfaste betonginnretninger ikke tatt med i beregningene. Ettersom at det er tidvis er voldsomme svingninger i oljemarkedet vil kostnadene for hvert prosjekt variere veldig ut ifra innfasingstidspunktet for avviklingen og mottakskapasiteten hos mottaksbasene.

Staten vil dekke cirka 80% av kostnadene gjennom fradragsordninger og eierandeler i feltene.

4.3 Dagens fjerningsmetode hos AF Miljøbase Vats

Den marine begroingen har frem til nå blitt fjernet i all hovedsak ved hjelp av høytrykksspyling. Hele prosessen fra start til slutt er oppdelt i tre ledd:

- Forberedelser.
- Gjennomføring.
- Rengjøring og avhending.



Figur 7: AF Miljøbase Vats [19]

4.3.1 Forberedelse

Adkomst i høyden

Da det meste av jobben vil foregå i høyden er det viktig å ha utstyr for dette klart. Det brukes i dag lifter og kraner som leies inn ut ifra høyden på modulen som skal renses.

Behandling av avfallsvann

Vannet som kommer fra den marine begroingen inneholder en mengde organiske partikler, og da AF Gruppens miljøbase Vats ikke er i stand til å håndtere organisk materiale er det viktig at et filtreringssystem er på plass før renseprosessen kan begynne. Tidligere er det blitt brukt et filtreringssystem basert på treflis, men et nytt system for dette er for tiden under utvikling.

Utstyr

Utstyret som skal brukes må oppfylle følgende spesifikasjoner for maksimal effektivitet:

- Vanntrykk: > 180 bar
- Vannmengde: > 30 liter per minutt
- Dyse: Flat åpning med spredning på maksimalt 15 grader

I tillegg til at alt teknisk utstyr skal også lukthemmende kjemikalier (Nutriox), bark/treflis og oppsamlingscontainere være på plass.

4.3.2 Gjennomførelse

Prosessen består, som nevnt, i all hovedsak av høytrykksspyling fra kurv båret av enten lift eller kran. Dette er en operasjon med høyt fokus på HMS da det er flere arbeidslag som jobber på strukturen samtidig.

Farer og utfordringer i forbindelse med spyling og arbeid i høyden.

Hvert arbeidslag består både av mannskap som rengjør fra kurv, kranførere og personell på bakken som overvåker arbeid og utstyr. I tillegg til arbeidslagene er det en veileder som har hovedansvaret for at hele prosessen går smertefritt. Da det er såpass mange mennesker som jobber om hverandre er det spesielt viktig med god kommunikasjon. Dette har AF Gruppen utviklet gode rutiner for. Det er også klare regler for hvilke retninger det skal spyles når strukturen rengjøres. Dette kommer blant annet av at ved spyling er det fare for at tunge gjenstander som gjengrodd verktøy kan falle fra strukturen. Det er for eksempel ikke lov å spyle i retning av annet personell eller ut mot fjorden. Spyling i retning av fjorden er forbudt da marin begroing er skadelig for miljøet på fjordbunnen.

Luktkontroll

AF Offshore Decom bruker i dag Nutriox i prosessen ved fjerning av marin begroing. Nutriox støtter bakterier som bryter ned organisk materiale til sluttproduktene karbondioksid, nitrogen og vann på bekostning av typiske anaerobe bakterier som produserer hydrogensulfid og andre illeluktende stoffer som et sluttprodukt av nedbrytingsfasen.

For at Nutrioxen skal ha noen effekt må den tilføres der det ikke er oksygen tilgjengelig for den marine begroingen. Dette er kun mulig på bakken, der begroingen som nettopp er spylt ned fra strukturen blir blandet med bark, treflis og kjemikalier. Når bakken er vasket etter endt arbeidsskift blir det lagt ut et nytt lag med bark og treflis som så blir blandet med Nutriox for å begrense lukten som bygges opp når neste skift starter. Bruken av Nutriox er ikke målbart, men erfaring viser dens effekt.

4.3.3 Rengjøring og avhending

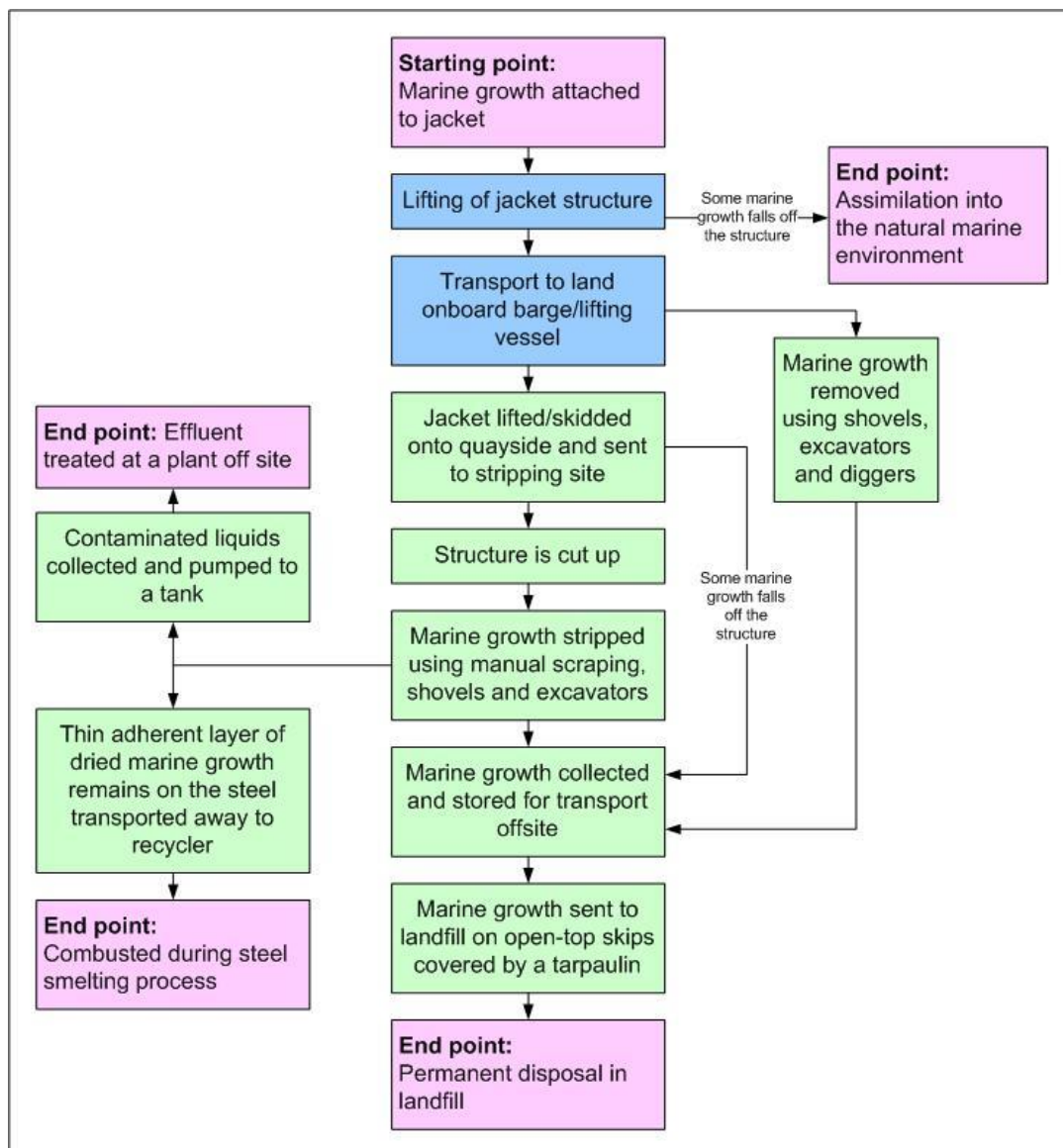
Etter hvert arbeidsskift, eller ved behov, blir den marine begroingen fjernet fra bakken. Dette skjer ved bruk av hjullastere og gravemaskiner. Da begroingen ofte er våt og glatt blir den blandet med treflis for å lettere kunne håndteres. Den puttes deretter i egne containere som leveres for kompostering så fort som mulig, helst dagen etter.

4.4 Andre anleggs metoder for behandling av marin begroing

BMT Cordah skrev i 2011 en rapport som omhandler marin begroing på offshoreinstallasjoner i Nordsjøen [20].

I rapporten beskrives metoder brukt for fjerning av marin begroing hos fire anonyme anlegg for avviking av offshoreinstallasjoner i Norge og Storbritannia. Dette gir en god oversikt over hvilke andre metoder som benyttes for offshoreinstallasjoner i Nordsjøen og eventuelt alternative metoder som er blitt brukt uten suksess tidligere.

4.4.1 Anlegg 1



Figur 8: Prosedyre for avviking av offshoreinstallasjoner hos anlegg 1 [20]

Offshore:

Dette anlegget gjennomfører ingen tilsiktet fjerning av marin begroing før plattformen løftes vekk. Noe begroing vil uansett falle av i kutte- og løfteprosessen, dette vil falle tilbake i havet der det naturlig nedbrytes.

Frakt til land:

Anlegg 1 opplyste heller ikke om noen manuell fjerning av marin begroing under frakten til land, men deres erfaring viste at en betydelig mengde falt naturlig av strukturen i denne fasen. Dette skyldes både jacketens bevegelse under løfte- og frakteprosessen og at strukturen tørker ut under frakten. Det som faller av jacketen havner på skipets dekk og samles opp når skipet legger til kai der det behandles sammen med resten som fjernes onshore.

Onshore:

Det første som skjer når skipet ankommer kaien er at begroingen som har falt av under frakten fjernes fra skipsdekket ved hjelp av minigravemaskiner og manuelt arbeid.

Når det er gjort løftes jacketen fra skipet over på kaikanten. Under denne prosessen vil ytterligere begroing falle av strukturen, dette samles på samme måte som det fra skipsdekket.

Når modulen er heist i land blir den fraktet til et egnet område for demontering som ligger langt unna lokalbeboere og industriområder. Dette området er også totalt inndemmet slik at de skal kunne kontrollere avløpsvannet.

Når modulen er kappet opp i mindre biter blir det meste av den marine begroingen fjernet ved hjelp av skraping for hånd og ved hjelp av gravemaskiner. Det brukes ikke høytrykksspyling på dette anlegget for å unngå ytterligere produksjon av avløpsvann.

Da det ikke er praktisk å fjerne 100% av den marine begroingen på strukturen vil det være noe igjen på stålet som sendes til resirkulering. Men da MG kan være et problem for resirkuleringsanlegget holdes denne mengden begroing så lav som mulig.

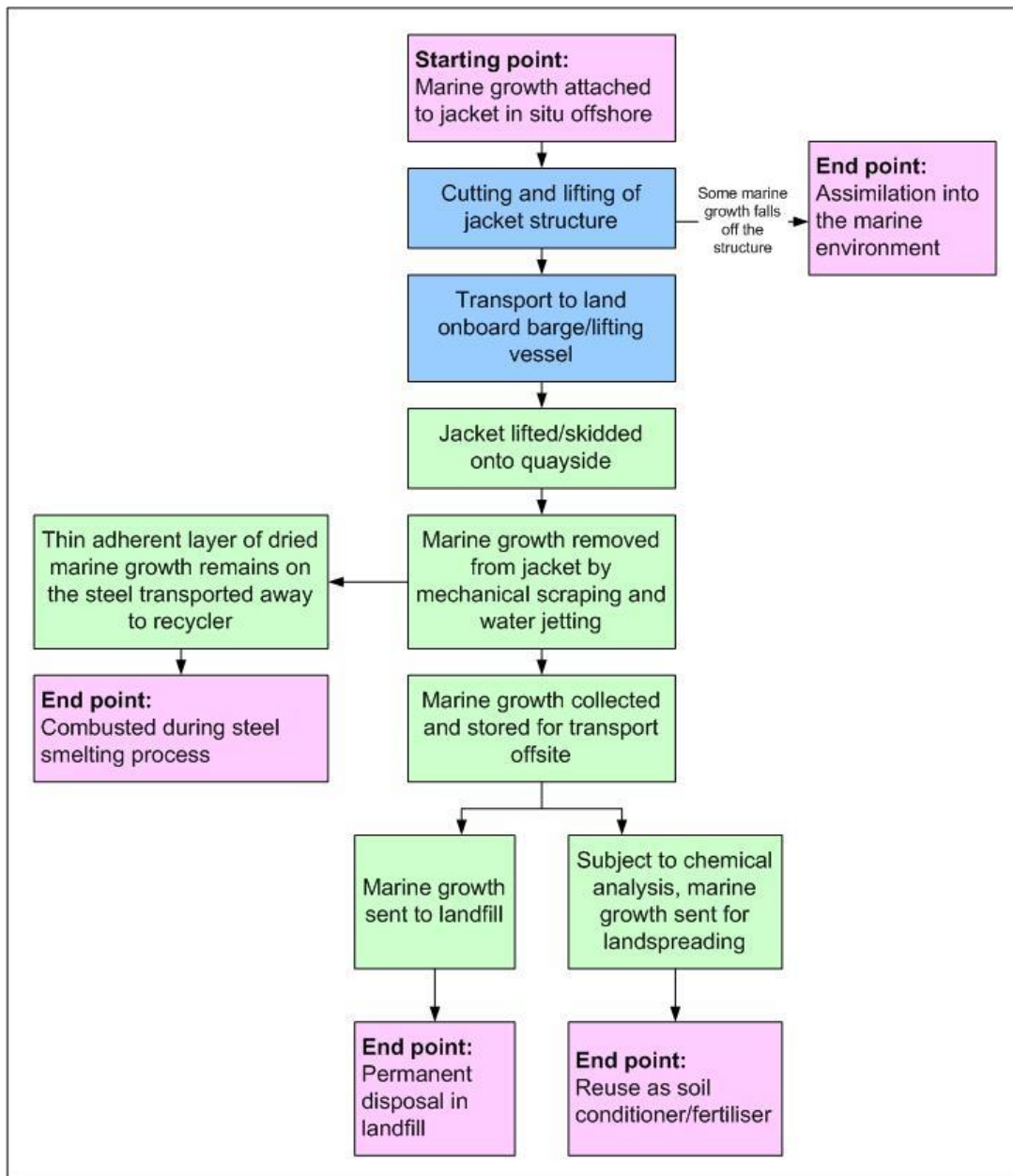
Endelig behandling eller avhending:

Marin begroing som samles i alle delene av prosessen, fra skipet, fra kai og fra manuell fjerning blir først analysert for å sjekke innhold av hydrokarboner, andre organiske stoffer og metaller som vil gjøre det til farlig avfall. Det lastes deretter over i åpne containere dekket med presenning. Disse fjernes fra anlegget i løpet av tre dager etter at begroingen er fjernet fra strukturen. Containerne fraktes til et deponi der avfallet umiddelbart blir tildekket for å hindre spredning av den sterke lukten. Deponiet som brukes er et stykke unna anlegget da det nærmeste alternativet ikke har mulighet til å behandle den mengden avfall.

Kompostering er ikke et alternativ da det ikke finnes anlegg for dette i området.

Avløpsvannet samles i tanker før det blir hentet av avløpsvannspesialister for behandling. Den lille mengden begroing som er igjen på strukturen blir godtatt av resirkuleringsanlegget. Dette stålet fraktes normalt på lektere til anlegget der det smeltes ned, en prosess som forbrenner den gjenværende begroingen.

4.4.2 Anlegg 2



Figur 9: Prosedyre for avvikling av offshoreinstallasjoner hos anlegg 2 [20]

Offshore:

Anlegg 2 fjerner noe marin begroing under kutting og løfting av modulen. Dette vil falle ned til havbunnen der det naturlig nedbrytes.

Frakt til land:

Som hos anlegg 1 spesifiserer heller ikke disse noen tilsiktet fjerning av begroing under frakten til land, men den naturlige tørkeprosessen vil føre til at noe faller ned på skipsdekket. Det påpekes at dette varierer med værforholdene.

Onshore:

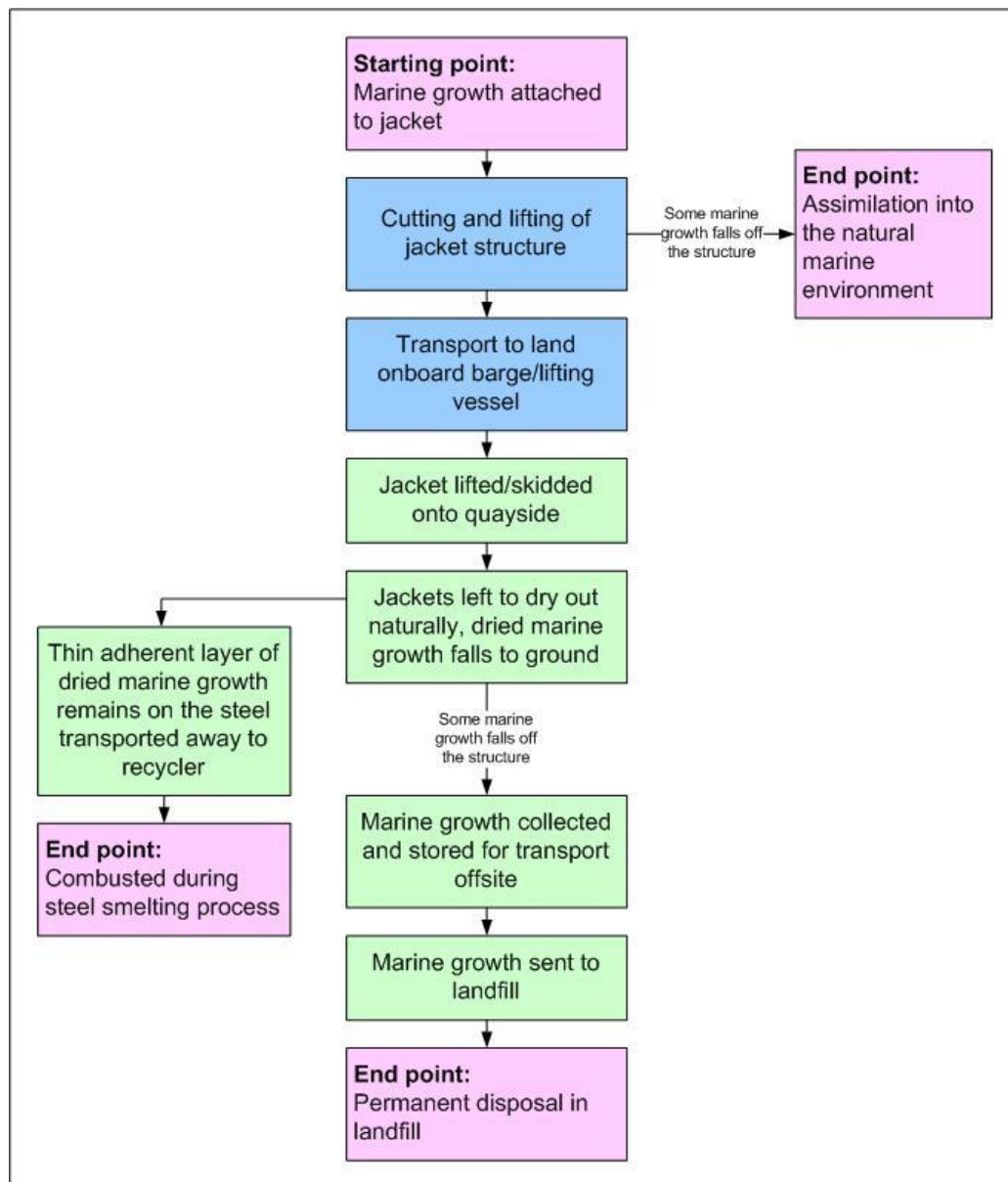
Ved demonteringsverftet blir den marine begroingen fjernet fra strukturen ved hjelp av høytrykksspyling og mekanisk skraping. Deretter blir begroingen lastet i containere som fraktes vekk fra anlegget.

Endelig behandling eller avhending:

Det gjøres en kjemisk analyse av begroingen for å kartlegge innhold av hydrokarboner, andre organiske stoffer og metaller. Dersom det ikke regnes som farlig vil det biologisk nedbrytbare avfallet dumpes på et jordbruksområde som eies av selskapet. Der vil avfallet bli spredt utover jordet og fungere som gjødsel.

Dersom begroingen anses som farlig avfall vil den bli fraktet til et lisensiert deponi.

4.4.3 Anlegg 3



Figur 10: Prosedyre for avvikling av offshoreinstallasjoner hos anlegg 3 [20]

Offshore:

Dette anlegget fjernet ingen begroing fra strukturen før den skulle rives, men som hos anlegg 1 og 2 ble noe fjernet i kutte- og løfteprosessen. Også her faller dette ned på havbunnen der det naturlig nedbrytes.

Anlegg 3 har tidligere brukt ROV for fjerning av noe begroing før modulen løftes vekk, men resultatet var ikke til stor betydning for avviklingsanlegget i forhold til den naturlige tørkeprosessen de bruker i dag.

Frakt til land:

Ingen tilsiktet fjerning under frakten til land, men den naturlige tørkeprosessen som benyttes kan begynne allerede her dersom været tillater det.

Onshore:

Jacketen løftes over på kaikanten der den blir satt til tørking før demonteringsprosessen begynner. Etter tørking i tre til fem dager vil det meste av vannet i begroingen være borte og dermed vil størrelsen og vekten på begroingen være svært redusert.

Marin begroing som faller av strukturen i tørke- og demonteringsprosessen samles for avhending. Det gjøres ingen ytterligere grep for fjerning av begroing ved anlegget.

Endelig behandling og avhending:

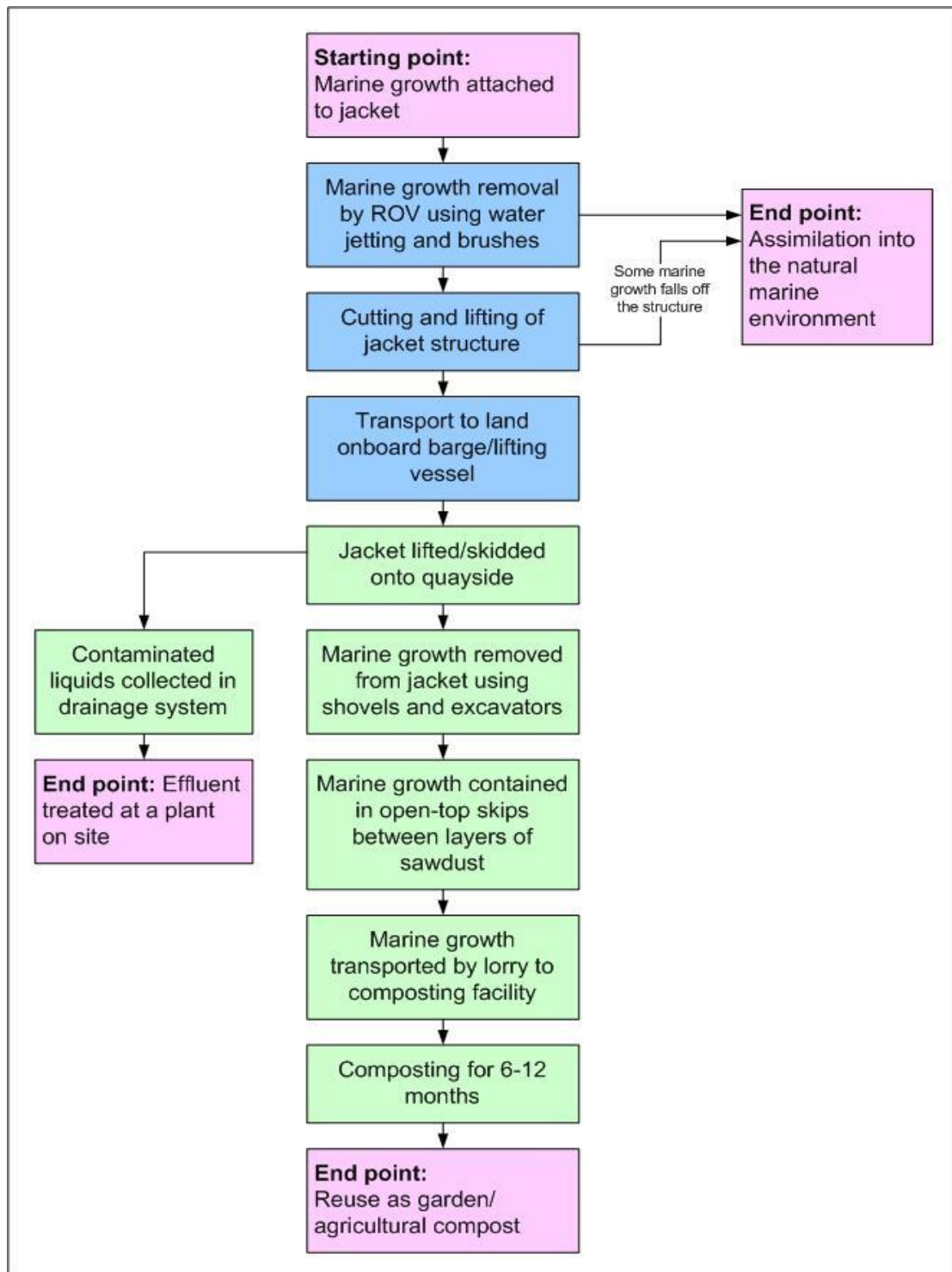
Begroing som har falt av i tørke- og demonteringsprosessen samles og sendes til et lisensiert deponi i nærheten av anlegget.

Blåskjell som ikke kan komposteres brukes som dekke på en lokal fylling.

Den begroingen som sitter igjen på stålkonstruksjonen har på dette tidspunktet tørket helt ut og blitt vesentlig redusert både i vekt og volum. Som et resultat av dette kan strukturstålet sendes til resirkulering uten at det gjøres ytterligere arbeid for fjerning av MG. Dette har til nå ikke bydd på noen problemer for resirkuleringsanlegget.

Avfallsvannet som produseres i tørkeprosessen samles og behandles i et vannbehandlingsanlegg de har på anlegget.

4.4.4 Anlegg 4



Figur 11: Prosedyre for avvikling av offshoreinstallasjoner hos anlegg 4 [20]

Offshore:

I prosjektene dette anlegget har vært involvert i har de fjernet opp til 50% av den marine begroingen ved hjelp av ROV-er før modulene ble løftet vekk. Dette ble gjort ved å utstyre ROV-ene med roterende børster og høytrykksspyler når ROV-ene ikke skulle brukes til noe annet.

Frakt til land:

Anlegg 4 hadde heller ingen tilsiktet fjerning av begroing fra strukturen under frakten til land, men de opplyser om at den naturlige tørkeprosessen vil føre til at noe faller av i denne delen av prosjektet.

Onshore:

Når strukturen ankommer anlegget blir løftet eller sklidd over på kaikanten. Der blir den begroingen som kan nås fra bakkenivå fjernet ved hjelp av høytrykksspyling, manuell skraping og gravemaskiner. Deretter demonteres jacketen og resterende begroing faller naturlig av eller fjernes manuelt.

Begroingen samles deretter i containere og dekkes lagvis med sagspon som trekker til seg vann og demper lukten. Sagsponen fungerer også som bulkmiddel for kompostprosessen.

Endelig behandling og avhending:

Når all begroingen er samlet oppsendes den til et kommunalt kompostanlegg for behandling. Der blir all MG, inkludert de harde artene som skjell og liknende, blandet med sagspon og husholdningsavfall og lagt til kompostering.

Det tar mellom seks måneder og et års tid å fullføre komposteringsprosessen, hvoretter sluttproduktet selges videre som gjødsel til privatpersoner og landbruk.

4.5 Murchison-plattformen

Murchison-plattformen er plassert på Murchison feltet som strekker seg over den britisk-norske midtlinjen i den nordlige delen av Nordsjøen, cirka 240 km nord-øst for Shetland. Plattformen er plassert slik at ett av dens åtte ben står på norsk sokkel og de syv andre på britisk. Det var det britiske selskapet Conoco som stod for driften da den startet sin oljeproduksjon i 1980. I 2002 ble driften overtatt av CNR International, som drev plattformen på vegne av deres norske partnere Wintershall, frem til driftsstopp i februar 2014. Dette er til nå den største plattformen på ståljacket som har entret avviklingsfasen. Plattformen består av 26 topside moduler, for blant annet boring, produksjon og innkvartering for 263 personer, med en totalvekt på cirka 24 500 tonn. Dette opplagres på en åttebent ståljacket med en vekt på rundt 25 000 tonn. Totalt strekker plattformen seg hele 254 meter fra havbunnen (156 muh.) til toppen av flammearnet. Gjennom sitt 34 år lange liv har Murchison-plattformen produsert cirka 400 millioner fat olje fra 98 oljebrønner, hvilket representerer en utvinningsgrad på over 50%. [58]



Figur 12: Murchison-plattformen [21]

4.5.1 Jacketen

Jacketen er, som nevnt, en åttebent stålstruktur med en høyde på 188 meter. På havbunnen måler jacketen 75m x 75m mens den i toppen måler 52,8m x 62,5m. Fundamentet består av 32 peler fordelt i grupper på åtte rundt hver av de fire hjørnebeina på jackten. Hver pele har en diameter på drøyt to meter, er 80 meter lang og er utformet for å kunne bli drevet rundt 50 meter ned i havbunnen. De faktiske resultatene varierer mellom 46 og 50 meter.

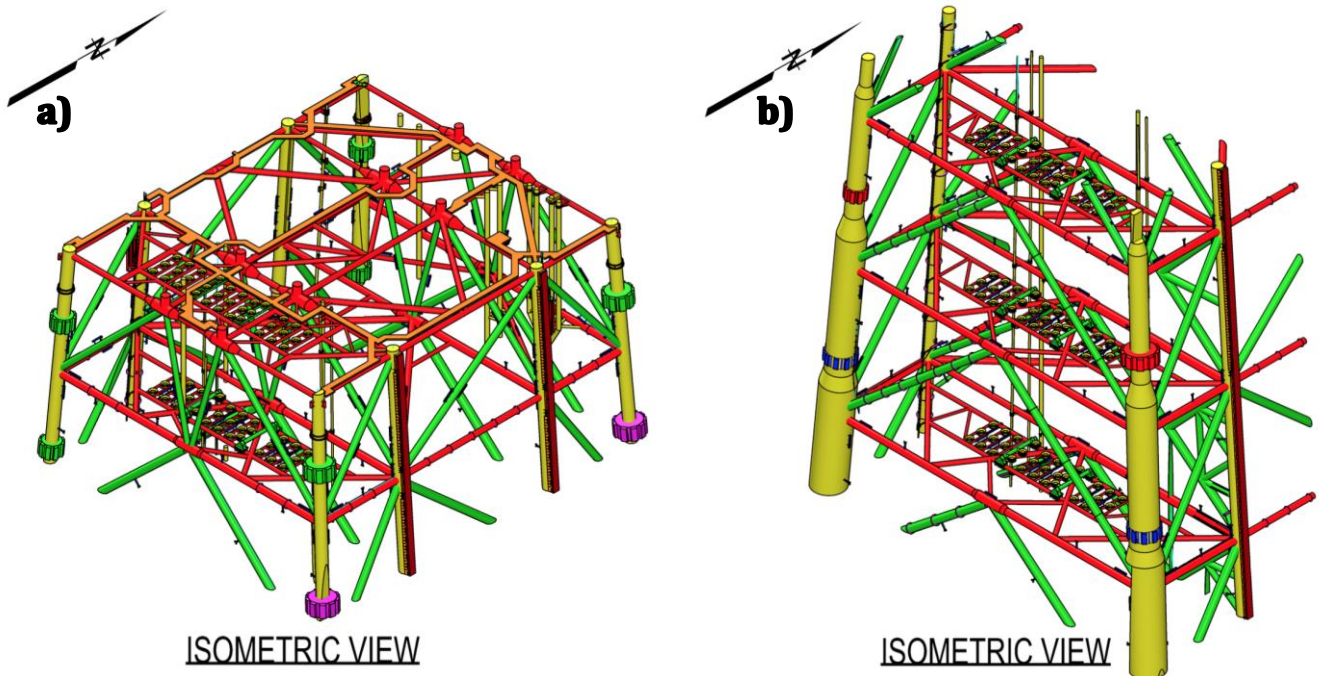
Jacketens fire hovedben har en diameter på to meter i vannkanten og øker gradvis til seks meter på havbunnen. De resterende fire benene har en diameter på to meter og ellers består strukturen hovedsakelig av stålsøyler med en diameter på rundt en meter.

Ved installasjon hadde jacketen en vekt på 25 000 tonn, men når den skal fjernes er det gitt tillatelse til å la de nedre 44 meterne, fundamentet, stå igjen. Den antatte vekten på jacketen som skal fjernes er derfor satt til 14 853 tonn, der den marine begroingen står for 2394 tonn av vekten. Fundamentet vil nedbrytes naturlig over tid.

4.5.2 Fjerningsmetode av jacket

Da jacketen er så stor som den er vil det ikke være mulig å fjerne den i ett løft. Den vil derfor bli delt opp i tre moduler som, en etter en, vil bli løftet og fraktet til AF Miljøbase Vats.

Først vil de øvre 41,1 meterne (fig. 13a) løftes vekk i ett stykke og deretter vil de neste 81,1 meterne (fig. 13b) bli delt vertikalt i to like store moduler før de fjernes etter tur.



Figur 13: a) Modul 1 - øvre 41,1 meter. b) Modul 2 - neste 81,1 meter. Modul 3 er identisk som modul 2, men uten raiserstrukturen.

4.5.3 Totalt overflateareal

For å finne ut av hvor mange kvadratmeter som skal renses for marin begroing er det gjort en forenklet beregning basert på delvis målsatte tegninger av jacketen (Vedlegg 3). Det ble satt en målestokk ved hjelp av linjal på hver tegning, disse varierte noe fra tegning til tegning, men de lå alltid på rundt 1:800. Med dette som bakgrunn ble alle søyler uten målsetting målt for hånd og deretter omregnet til meter. Søylenes diametere varierer fra 0,75 til 6,0 meter. Da de nederste 44 meterne av jacketen skal bli stående på havbunnen og den står på 156 meters havdyp er høyden på jacketen som skal renses kun 112 meter, dette er tatt høyde for i beregningene.

I tillegg strekker jacketen seg 10 meter over havet og plaskesonen strekker seg ned til 5 meter under havet, disse er allikevel tatt med i beregningene for å gi et verst tenkelig tilfelle.

Tabell 10: Tilnærmet overflateareal på Murchison-jacketen basert på strukturtegninger (Vedlegg 3)

Jacketbein (fra tegning EM - 40.1)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
2,0	866	5441
3,0	112	1055
4,8	112	1689
6,0	224	4222
Totalt	1314	12407

Tegning 106.1 (identisk med tegning 107.1)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
1,1	74	255
1,2	50	188
1,3	253	1033
1,4	92	405
Totalt a 2 like sider	469x2=938	1881x2=3762

Tegning 108.1 (identisk med tegning 111.1)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,75	23	54
0,9	36	101
1,1	46	159
1,3	187	764
1,4	135	594
Totalt a 2 like sider	427x2=854	1672x2=3344

Tegning 108.1 (identisk med tegning 110.1)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,75	23	54
0,9	36	101
1,0	85	267
1,1	45	155
1,2	185	697
1,3	30	122
1,4	200	880
Totalt a 2 like sider	604x2=1208	2276x2=4552

Tabell 10 fortsetter

Tegning 112.1 (9 moh.)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,75	184	433
0,9	304	860
Totalt	488	1293

Tegning 113.1 (13 moh.)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,75	57	134
1,0	194	609
1,2	204	769
Totalt	455	1512

Tegning 114.1 (41 moh.)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,75	64	151
1,0	121	380
1,1	95	328
1,2	210	792
Totalt	490	1651

Tegning 115.1 (69 moh.)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,9	66	187
1,0	124	389
1,1	83	287
1,2	167	629
1,4	63	277
Totalt	503	1769

Tegning 116.1 (97 moh.)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
1,0	200	628
1,1	85	293
1,2	175	660
1,4	67	295
Totalt	527	1876

Tabell 10 fortsetter

Tegning 117.1 (125 muh.)		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
1,0	207	650
1,2	275	1036
1,4	71	312
Totalt	553	1998

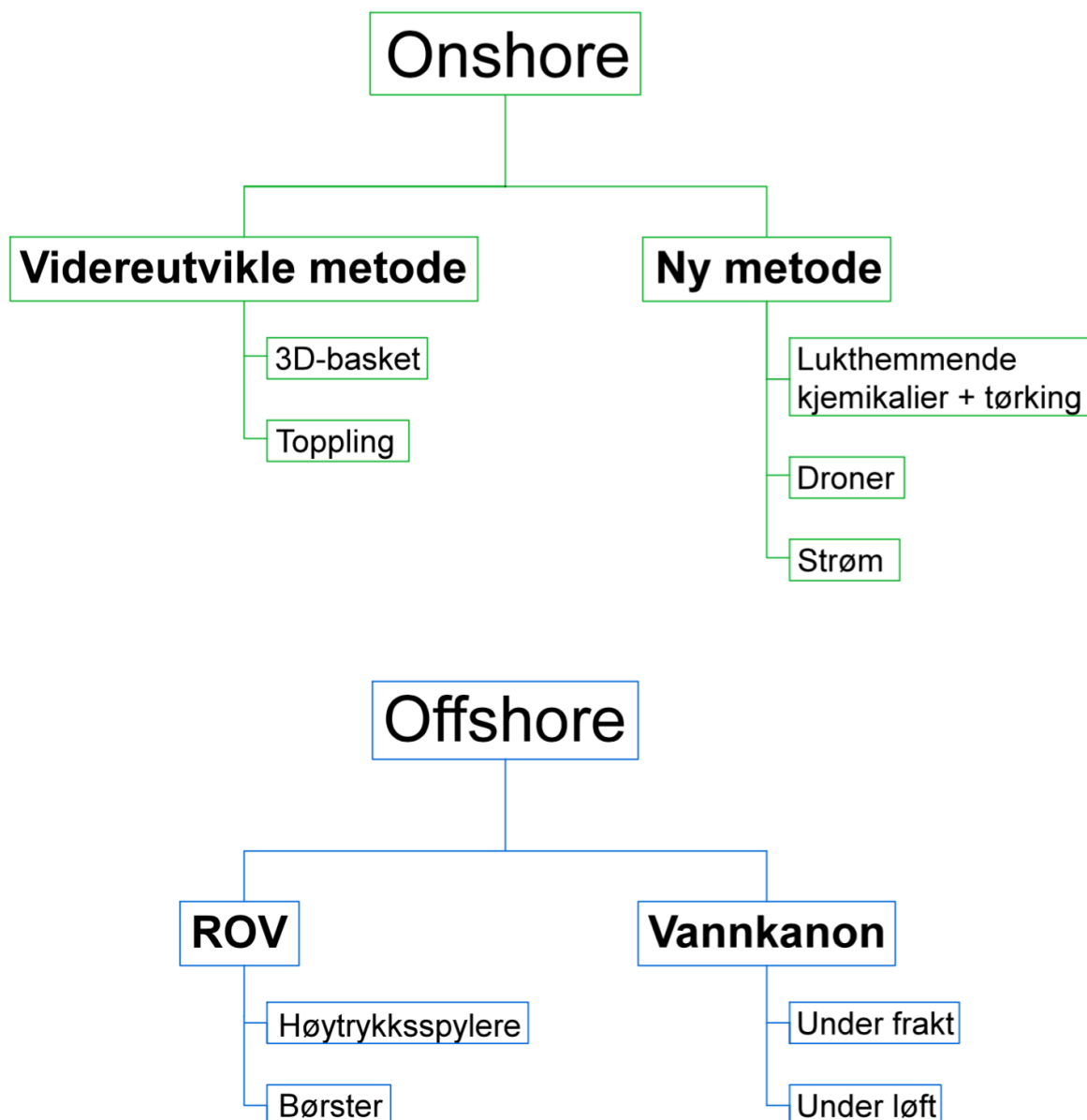
Tabell 11: Totalt jacketareal som skal renses for begroing

Totalt rensereale på Murchison-plattformen		
Diameter (m)	Lengde (m)	Areal (m ²)
0,75	397	935
0,9	514	1453
1,0	1016	3192
1,1	593	2049
1,2	1501	5659
1,3	940	3839
1,4	1055	4640
2,0	866	5441
3,0	112	1055
4,8	112	1689
6,0	224	4222
Totalt	7330	34174

Totalt skal det altså fjernes marin begroing fra 34.174 m² av jacketen. Det antas at rundt 90% av dette vil være mulig å fjerne med tanke på at hindringer som noder og liknende vil være vanskelig å rengjøre. Av tabellene over noteres det at verdiene fra tegning 112-1 ligger 9 meter over havnivå og vil derfor ikke behøve rensing, men da størrelser og lengder på raiserstrukturen ikke er oppgitt blir disse verdiene allikevel tatt med som en kompensasjon.

5. IDENTIFISERING OG TIDLIGVALG AV KONSEPTOMRÅDE

I idémyldringsfasen ble forslagene fordelt på de tre områdene forklart i oppdragsbeskrivelsen; videreutvikling av en eksisterende fjerningsmetode hos AF Gruppen, utvikling av en ny metode eller utvikling av et nytt produkt for fjerning av marin begroing. Idéene ble deretter listet opp i to WBS diagram, vist i figur 14, et for metodene som vil foregå onshore på miljøbasen i Vats og en for metodene som vil foregå offshore.



Figur 14: Løsningsforslagene presentert i de to gruppene onshore (markert i grønt) og offshore (markert i blått). Alle alternativene under onshore er løsninger som vil foregå på AF Gruppens miljøbase i Vats og alle alternativene under offshore er løsninger som vil foregå til havs, henholdsvis under vann ved bruk av ROV og over vann ved bruk av vannkanon.

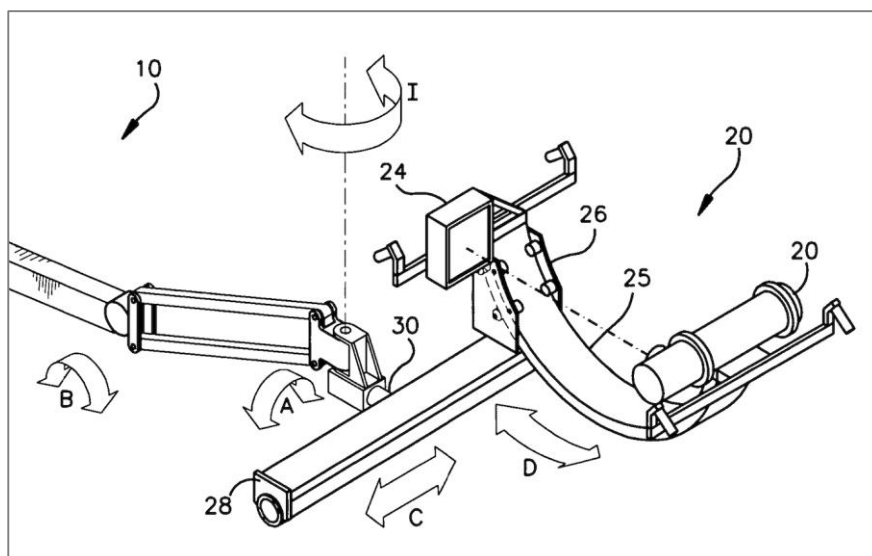
5.1 Onshore

Forslag til fjerningsmetoder av marin begroing etter at jacketen er satt på kai ved miljøbasen i Vats.

De to første forslagene anses som en videreutvikling av metoder tidligere brukt av AF Gruppen og de tre neste er ansett som helt nye metoder.

5.1.1 3D-basket – utvikle en fjernstyrt basket

Dette forslaget vil være en kombinasjon av videreutvikling av en eksisterende metode og utvikling av et nytt produkt. En 3D-basket er et kurvsett som kan monteres på en lift slik at kurven kan beveges i alle retninger innenfor et område uten at selve liften må manøvreres. Figur 15 viser et patentsøkende system for røntgen av rør, men funksjonaliteten er den samme som for en 3D-basket, den kan roteres om alle akser (A, B og I) og skyves en viss lengde i én akse (C). Ved å utvikle et slikt kurvsett med påmontert høytrykksspylersystem og kameraer, der alt kan fjernstyres fra bakkenivå, vil det være mulig å få bukt med høydeproblemet AF Gruppen vil møte i Murchison-prosjektet. Et slikt kurvsett vil da kunne brukes både med og uten mannskap i kurven.



Figur 15: Patentsøkende system for røntgen av rør [22]

5.1.2 Toppling

Toppling vil si å gjøre en kontrollert velting av modulen. Ved først å lage svake punkter i strukturen kan man tippe strukturen over på siden slik at den kollapser på ønskelig måte. Dette er en metode AF Gruppen har erfaring med, men da det er forskjellige vektbegrensninger på forskjellige deler av kaien i Vats er det ikke sikkert kaien vil tåle påkjenningen av at en såpass stor struktur kollapser på den. Dersom det skulle vise seg at denne metoden vil være mulig å gjennomføre vil det anses som en god måte å løse problemet med strukturhøyden på.

5.1.3 Lukthemmende kjemikalier og tørking

Da hovedårsaken til at den marine begroingen må fjernes så raskt som mulig er den sterke lukten den avgir etter kort tid er det her tenkt at det kan finnes kjemikalier som kan sprayes på begroingen for å unngå dette. Dersom dette skulle være mulig vil man deretter kunne la jacketen stå og tørke helt til den marine begroingen tørker helt ut og faller av strukturen på egenhånd. På den måten vil det være mulighet for å spare store utgifter i form av arbeidstimer og dessuten vil det være å foretrekke med tanke på HMS.

5.1.4 Droner

Et alternativ til 3D-basket og fjernstyrt fjerning av marin begroing kan være ved bruk av droner. Tanken er da å utstyre sterke droner med kameraer og utstyr for fjerning av begroingen, som for eksempel høytrykksspylere. Det finnes sterke droner på markedet i dag, men det er usikkert om de er sterke nok. Uansett må det i hvert fall utvikles et system som hjelper dronen med å holde seg stabil når den spyer vekk begroingen.



Figur 16: SwissDrones SDO 50V2. Dieseldrevet drone med en nyttelast på 50 kg. [23]

5.1.5 Strøm

Denne idéen er basert på innspill fra AF Offshore Decom selv. Da hele strukturen er konstruert i stål vil det være mulig å sette strøm på modulen og dermed drepe den marine begroingen uten behov for høytrykksspyling og skraping. Ut ifra hvor lenge en lar modulen være tilført spenning vil begroingen også tørke ut og falle av jacketen på egenhånd.

5.2 Offshore

Idéene for fjerning av marin begroing offshore er fordelt på fjerning under vann ved bruk av en ROV og fjerning over vann ved bruk av vannkanoner.

5.2.1 ROV

Mye tyder på at regelverket rundt fjerning av marin begroing vil strammes inn i fremtiden og Klima- og forurensningsdirektoratet anbefaler at marin begroing fjernes offshore dersom det er teknisk mulig.

Med bakgrunn i dette er et forslag å bruke ROV-er til fjerning av marin begroing før strukturen fraktes til land. Leie av et komplett ROV-sett med alt av utstyr og piloter er en dyr affære og dagens verktøy for fjerning av begroing under vann er lite effektive. Det må derfor utvikles nye effektive verktøy for at denne løsningen skal være mulig, sett ut ifra et kostnadsperspektiv. Dette verktøyet må være fleksibelt slik at de kan brukes på flere søylestørrelser og det må fjerne marin begroing så effektivt som mulig. Verktøyene som brukes i dag baserer seg på høytrykksspyling eller børsting.



Figur 17: Eksempel på ROV fra kystdesign der metoden i dag består av å styre enten en høytrykksspyler eller en børste med en av manipulatorene [24]

5.2.2 Vannkanon

En annen idé for fjerning av marin begroing før modulen er fraktet til kai er å bruke vannkanoner under selve løftet av modulen og/eller under frakten til land. Bare prosessen med å løfte jacketen opp over havnivå vil ta rundt tolv timer og på den tiden kan det være mulig å få fjernet store deler begroing ved hjelp av en vannkanon eller to. Utfordringen her vil være å utvikle en ny dyse til vannkanonen som holder vannstrålen fokusert over lengre distanser da dagens vannkanoner er utformet for å ha en viss spredning på strålen.

5.3 Tidligseleksjon av hovedkonsept

Fordi dette er løsninger som er vidt forskjellige er det vanskelig å gi en avveining med flere nyanser. Det er derfor valgt å benytte seg av tre verdier som kriteriene vektlegges etter: (+), (=) og (-). Her er (+) den beste karakteren, (-) den dårligste og (=) er en nøytral karakter som tilsier at løsningen ikke utmerker seg hverken den ene eller andre veien.

Vektingen av kriteriene gjøres med bakgrunn i eksisterende løsning; fjerning av MG på miljøbasen i Vats, og poengene gis etter hvordan disse metodene oppfyller kriteriene sammenlignet med dagens metode.

5.3.1 Kriterier

Kost:

Dette kriteriet er blant de mer tungt veiende. Det er derfor viktig at den nye metoden eller det nye produktet ikke vil føre til økte utgifter sammenliknet med dagens løsning.

Tidsbruk:

Tiden det tar å fjerne marin begroing fra strukturene bør ikke overskride dagens tidsbruk. Dersom strukturen står for lenge i Vats tar det lengre tid før et prosjekt kan fullføres. Det er derfor å foretrekke at tiden på Vats er kortest mulig.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

Da AF Gruppen har blant de strengeste reglene i bransjen i forhold til miljøkrav og sikkerhet må dette opprettholdes.

Miljøhensyn:

Dette er et todelt kriterium; naturen skal ikke eksponeres for farlig avfall og det skal ikke bringes organismer fra et økosystem inn i et annet. Dette er absolutte krav fra statlige organer [25]

Nærmiljø (påvirkning):

Da en medvirkende årsak til at en ny løsning er ønsket er luktproblemet bør en ny løsning kunne dempe eller skjerme lokalsamfunnet fra luktproblematikken.

Realiseringsmuligheter:

Sees det som realistisk at konseptet/metoden vil ende opp i produksjon/bruk?

Effektivitetsgrad:

Dette kriteriet handler om hvor mye av den marine begroingen som fjernes ved bruk av den aktuelle metoden.

Faglig relevant:

Det er av interesse at studenten skal kunne benytte den kunnskap som er ervervet gjennom sitt studieløp.

Oppgavestørrelse:

Oppgavens størrelse bør være stor nok til at to studenter skal kunne jobbe den tilmålte tiden som er satt for en slik oppgave. Det er også av interesse at oppgaven ikke blir så stor at den ikke kan gjennomføres på tilmålt tid.

Tabell 12: Tidligseleksjonsmatrise

Tidligseleksjonsmatrise							
Kriterier	3D-basket	Toppling	Kjemikalier + tørking	Strøm	Droner	ROV	Vannkanon
Kost	-	=	+	=	-	-	=
Tidsbruk	=	=	-	=	=	+	+
HMS	+	=	+	+	+	-	-
Miljøhensyn	=	=	-	-	=	+	+
Nærmiljø (påvirkning)	=	=	+	+	=	+	+
Realiseringsmulighet	+	=	+	=	-	+	-
Effektivitetsgrad	-	=	-	=	=	=	-
Faglig relevant	+	-	-	-	+	+	+
Oppgavestørrelse	+	-	=	-	+	+	+
SUM	2	-2	0	-1	1	4	2

5.3.2 Kommentar til seleksjonsmatrise og begrunnelse for valg

3D-basket

Det å benytte en 3D-basket på en lift vil koste omtrent det samme som det å operere en lift koster i dag. AF besitter i dag en 3D basket, men denne har et begrenset bevegelighet. For å bedre manøvrerbarheten kan det derfor være nødvendig å utvikle et nytt system. Denne løsningen kommer dårlig ut i forhold til kost da dette vil være dyrt å utvikle. Til gjengjeld scorer denne løsningen godt på HMS med bakgrunn i idébeskrivelsen. Ved fjerning av marin begroing i Vats vil lukten fortsatt være til sjenanse for beboerne i nærområdet og det vil også være nødvendig å håndtere den marine begroingen på samme måte som i dag. Da bevegeligheten ikke vil være like dynamisk som ved manuelt arbeid vil effektivitetsgraden gå ned, noe som igjen vil føre til at fjerningsprosessen tar lengre tid.

Toppling

Da toppling er en metode som i dag benyttes på mindre konstruksjoner er dette en prosess AF har god kjennskap til og det blir derfor en rimeligere løsning. Totalt sett vil prosessen antakeligvis ta omtrent like lang tid som dagens metode der høytrykksspyling fra lift benyttes. Det er som nevnt veldig usikkert om det er mulig å topple så store strukturer på kaianlegget i Vats da det er vektbegrensninger på store deler av kaien. AF har allerede gode HMS-rutiner, også knyttet til toppling. Det å topple jacketen er ikke faglig relevant i den forstand at dette er en nøy utviklet prosess de allerede har førstehånds kjennskap til.

Kjemikalier og tørking av MG

Ved å benytte lukthemmende kjemikalier på den marine begroingen vil strukturen kunne stå og tørke etter at kjemikaliene er påført. Dette fører til at jacketen blir stående i lengre tid på anlegget enn ved avspyling, men til gjengjeld er det ingen direkte kostnader der den står. Det vil være en bedre sikkerhet i forbindelse med denne metoden da mannskap og arbeidslag ikke trenger arbeide i høyden eller stå i nærheten av jacket. Ved bruk av lukthemmende kjemikalier vil ikke nærmiljøet bli påvirket i like stor grad som i dag. Effektivitetsgraden vil naturlig nok gå ned da den marine begroingen ikke vil fjernes i like stor grad før strukturen kappes opp.

Det er tidligere gjort forsøk på å finne et slikt kjemikalie, men resultatene har så langt ikke vært tilfredsstillende. Dette vil derfor vinkle oppgaven over på å finne et bedre egnet kjemikalie hvilket er utenfor vårt fagområde.

Strøm

Det er store usikkerheter rundt denne idéen. Det er vanskelig å anslå hvor omfattende prosessen vil være i form av hvor mye strøm som trengs og hvor lenge konstruksjonen må være tilført spenning for at den marine begroingen skal dø og falle av. Med tanke på HMS vil dette være en forholdsvis sikker metode dersom klare rutiner for dette arbeidet utvikles. Denne metoden vil mest sannsynlig kreve et enormt strømforbruk hvilket påvirker miljøet indirekte gjennom strømproduksjonen. Det er faglig sett en lite relevant oppgave da maskiningeniørutdannelsen i svært liten grad dreier seg om elektroteknikk.

Droner

Det er usikkert om dagens sterkeste droner er sterke nok til en slik oppgave. Det vil derfor sannsynligvis være nødvendig å utvikle og produsere en helt ny drone med tilhørende verktøy, noe som vil medføre høye kostnader. Både tidsbruken, hensyn til miljøet og påvirkningen av nærmiljøet vil sannsynligvis være omtrent tilsvarende som med dagens løsning. Bruken av droner vil være å foretrekke med tanke på HMS, da det er en fjernstyrt prosess og effektivitetsgraden vil sannsynligvis være så godt som lik dagens metode. Utvikling av drone og verktøy er en svært faglig relevant oppgave, og med riktige begrensninger også egnet for to studenter.

ROV

Ved bruk av ROV til fjerningsprosessen må det utvikles verktøy. Kostnaden for utvikling og produksjon vil, som med de andre idéene basert på produktutvikling, føre til en betydelig engangskostnad. Gevinsten vil derimot være større da problematikken med å håndtere den marine begroingen vil forsvinne da denne kan dumpes i havet. Som en direkte effekt av dette vil også nærmiljøet ved Vats ikke bli utsatt for luktproblematikken. Det er antatt at det vil være like effektivt å fjerne marin begroing under vann som ved dagens prosedyre, både tidsmessig og med tanke på mengden som fjernes. Det er derimot knyttet et visst faremoment til arbeid offshore og dette vil virke negativt på avveiningen i matrisen.

På same måte som ved utvikling av droner er dette en oppgave som er høyst relevant i forhold til utdanning og oppgavestørrelse.

Vannkanon

Det er forventet at bruk av vannkanon ikke vil fordyre prosessen sammenlignet med dagens løsning, selv dersom det må utvikles en høypresisjonsdyse. Dette med bakgrunn i at det kan benyttes frakteskipets vannsystem eller samarbeid med for eksempel brannfartøy. Dette vil gjøre det mulig å ha strukturen klar til demontering når den er på land. På samme måte som annet arbeid offshore vil det være et visst faremoment knyttet til dette hvilket virker negativt i matrisen. Både nærmiljø i form av beboere og miljøet kommer positivt ut av denne metoden da begroingen vil havne i havet der den naturlig nedbrytes. Da dette også er en utviklingsprosess regnes oppgaven som faglig relevant med grei størrelse.

5.3.3 Resultat

Denne tidligeleksjonen resulterer i at løsningen der det skal utvikles et nytt verktøy for fjerning av marin begroing offshore ved bruk av ROV kommer best ut. Dette er en løsning det sees stort potensiale i. Det kan bli et forholdsvis dyrt verktøy når det kommer til både utvikling og produksjon, men på sikt er dette noe som kan tjenes inn igjen ved at blant annet effektiviteten på miljøbasen i Vats vil øke. I tillegg kan det være en god løsning dersom de fremtidige kravene rundt fjerning av marin begroing strammes inn og fjerning offshore blir eneste mulighet.

Det bør noteres at dersom kriteriene *faglig relevant* og *oppgavestørrelse* ikke hadde blitt tatt med i seleksjonsprosessen ville alle løsningene som omhandler produktutvikling mistet to poeng i seleksjonsmatrisen. Den samme løsningen ville fortsatt kommet best ut, men kun med ett poeng mer enn løsningene som omhandler bruk av kjemikalier og strøm.

6. PRODUKTSPEISIFISERING

6.1 Produktmålsetting

Hovedmålet er å utvikle et verktøy til en ROV som, ved hjelp av høytrykksspyling og/eller børsting, skal kunne fjerne marin begroing på offshoreinstallasjoner. Verktøyet skal kunne erstatte dagens fjerningsmetode onshore og må derfor være like effektivt både i forhold til kost og hvor mye begroing som fjernes fra strukturen. Det må derfor være et fleksibelt verktøy som kan tilpasses forskjellige jacketer med forskjellige tverrsnitt.

6.2 Rangering av viktige produktegenskaper

Vekting fra 1-5, der 5 anses som viktigst.

Tabell 13: Produktegenskaper

Produktegenskaper		
Egenskap	Vektingsrunnlag	Vekting
Funksjonalitet	Verktøyet skal kunne endre utforming etter behov og fjerne marin begroing på en mest mulig effektiv måte.	5
Brukervennlighet	ROV pilotene skal enkelt kunne forstå verktøyet og hvordan det brukes og styres.	4
Størrelse	Verktøyet skal ha en grunnstørrelse tilpasset søyler med en diameter på 0,75 meter, men skal kunne utvides til bruk på søyler med større diameter.	4
Vekt	Da ROV-en har en maksimal løftekapasitet på sine manipulatorer må ikke verktøyets vekt overgå denne. Eventuelt må verktøyet monteres på en egen skid og da ikke overgå ROV-ens nyttelast	5
Materiale	Verktøyet skal utvikles for bruk under vann og må derfor bestå av materialer som er egnet for dette.	5
Produktpris	Det er ønsket fra AF Gruppens side at oppgaven blant annet skal løses med fokus på kost og prisen på produktet blir derfor viktig å holde så lav som mulig.	4
Vedlikehold	Ved bruk vil en ROV ideelt sett være i drift 22 av 24 timer i døgnet. Dette gjelder også for verktøyet og dets vedlikeholdsintervall bør derfor ikke avvike fra dette. Det er derfor viktig at slidedeler er lett tilgjengelige.	4
Sikkerhet	Verktøyet bør utformes på en slik måte at det på egenhånd kan oppdage hindringer slik at det ikke ødelegges ved bruk.	4

6.3 Metriske grensespesifikasjoner

De metriske grensespesifikasjonene for verktøyet er basert på dimensjonene til Murchison-plattformens jacket og Kystdesigns Constructor Work Class ROV [26]. Målet er å kunne benytte samme verktøy på fremtidige prosjekter, og da Murchison-plattformen er blant de større plattformene i Nordsjøen brukes disse dimensjonene som øvre grenser.

Da verktøyet ikke skal holdes i en av ROV-ens manipulatorer, men festes via en skid, blir ROV-ens nyttelast på et halvt tonn bestemmende for verktøyets vektgrenser.

Verktøyets bredde-/lengdegrenser må baseres på de forskjellige søylene jacketen er sammensatt av. Søylenes ytterdiameter varierer mellom alt fra 0,75 til 6,0 meter. Det er ønsket at verktøyet skal dekke en så bred flate som mulig uten at det skal bli utfordrende å bruke for piloten. Basert på dette settes breddegrensene fra halvparten av de minste søylene til halvparten av de største. En mindre eller større bredde enn dette anses som upraktisk.

Det er på dette tidspunktet ikke bestemt hvilke verktøy som skal brukes for å fjerne begroing fra jacketen, altså om det skal brukes børster, høytrykksspylere eller en kombinasjon av disse to. For å kunne sette grensespesifikasjoner for eventuelle børster er det gjort en enkel undersøkelse av hva som finnes på markedet og hvilke dimensjoner disse børstene har.

Da de med dagens fjerningsmetode har som et krav at maksimal vannspredning skal være på 15 grader er det svært lite sannsynlig at noe bredere spredning enn dette er mulig under vann, derfor kan dette settes som en maksimal grense for dette verktøyet dersom dyser blir endelig løsning. Det er på den annen side ikke ønskelig med en spredning på mindre enn 5 grader, derfor settes dette som en nedre grense.

Avstanden mellom børstene vil bestemmes ut ifra om børstene lar seg flette eller ikke.

For dyser er det ønsket at de skal kunne brukes opptil 30 centimeter ifra strukturen. I så fall kan de i beste fall plasseres 8 centimeter fra hverandre. Dersom 5 grader blir eneste mulighet må dysene plasseres så tett som mulig.

Tabell 14: Metriske grensespesifikasjoner

Metriske grensespesifikasjoner				
Spesifikasjon	Enhet	Minimum	Gjennomsnitt	Maksimum
Bredde	mm	375	1300	3000
Vekt	kg	-	250	500
Børstediameter	mm	300	450	600
Dysespredning	Grader (°)	5	10	15
Avstand mellom børster	mm	300	450	600
Avstand mellom dyser	mm	-	40	80

6.4 Metrisk grovspesifisering

Basert på de metriske grensespesifikasjonene kan det settes følgende grovspesifisering der de optimale dimensjonene er målene det vil jobbes mot. Det er forventet at de faktisk optimale målene vil endre seg noe utover i oppgaven. Det settes ingen nedre eller optimal verdi for verktøyets vekt da denne er ønsket så lav som mulig. Dette er fordi verktøyet bør være tilnærmet vektløst under vann, noe som vil kreve oppdriftstanker og disse er ønsket å være så små som mulig.

Det settes heller ikke et optimalt mål for avstand mellom børstene da dette vil basere seg fullt og helt på hva slags børster som eventuelt vil brukes. Det eneste målet for børstene er at de skal stå så tett som mulig for å optimalisere mengden marin begroing som fjernes fra søylene. Det samme gjelder for minimumsmålet til avstand mellom dyser, disse må i verste fall stå så tett som mulig.

Tabell 15: Metrisk grovspesifisering

Metrisk grovspesifisering				
Spesifikasjon	Enhet	Minimum	Optimalt	Maksimum
Bredde	mm	375	1500	3000
Vekt	kg	-	-	500
Børstediameter	mm	300	600	600
Dysespredning	Grader (°)	5	15	15
Avstand mellom børster	mm	300	-	600
Avstand mellom dyser	mm	-	80	80

6.5 Tidlig kostnadsvurdering

Det er vanskelig å utføre en tidlig kostnadsvurdering på grunn av flere faktorer. For det første skal det ikke bare utvikles et nytt verktøy, men det skal også rense marin begroing fra MUR jacketen på tilmålt tid for å være lønnsom. Når det gjelder prosessen med å fjerne marin begroing koster det rundt 370 GBP per tonn med dagens metode. Omregnet til en jacket på rundt regnet 12 000 tonn betyr dette at fjerningen vil koste cirka 4.4 MNOK. I denne summen ligger både leie av ROV og mannskap, og prosjekteringsarbeid i forkant. Det ideelle ville være å kunne legge utviklingsarbeidet under denne posten. Dersom det er mulig vil ikke bare dette prosjektet fortsette innenfor budsjett, men fremtidige prosjekter vil bli billigere. Den andre faktoren som bringer stor usikkerhet er selve utviklingsarbeidet bak et slikt verktøy. Her vil prisen på verktøyet variere med blant annet materialvalg, fjerningsmetode og utforming.



Det kan anslås rundt 900 timer ingeniørarbeid under utviklingen av dette verktøyet hvilket gir utviklingskostnader alene på 900 000 NOK. I tillegg til dette vil prototyping, optimalisering og produksjon fordyre produktet ytterligere. En totalpris på 1,5 til 2 MNOK virker som et plausibelt anslag. Å sammenligne med tilsvarende produkter for å anslå en utsalgspris og igjen utføre en kostnadsvurdering er vanskelig av to grunner. Først og fremst er dette et produkt som ikke er ment for masseproduksjon. Det er tenkt at det produseres det antall AF Gruppen mener er nødvendig til eget bruk, og deretter kan selge videre om ønskelig. Det finnes heller ingen direkte konkurrenter til et renseverktøy av denne størrelsen. Det som eksisterer på markedet er enkeltstående børster eller lanser (høytrykksspylere).

7. KONSEPTGENERERING

Dette konseptet skal kunne rense opp imot hele jacketen for marin begroing mens den fortsatt er plassert offshore. Arbeid offshore er meget dyrt, det er derfor viktig at verktøyet utformes for en så effektiv renseprosess som mulig. Det må tas hensyn til at det er store omkrets-differanser på de forskjellige søylene jacketen er sammensatt av og at det er mange forskjellige begroingsarter som skal fjernes.

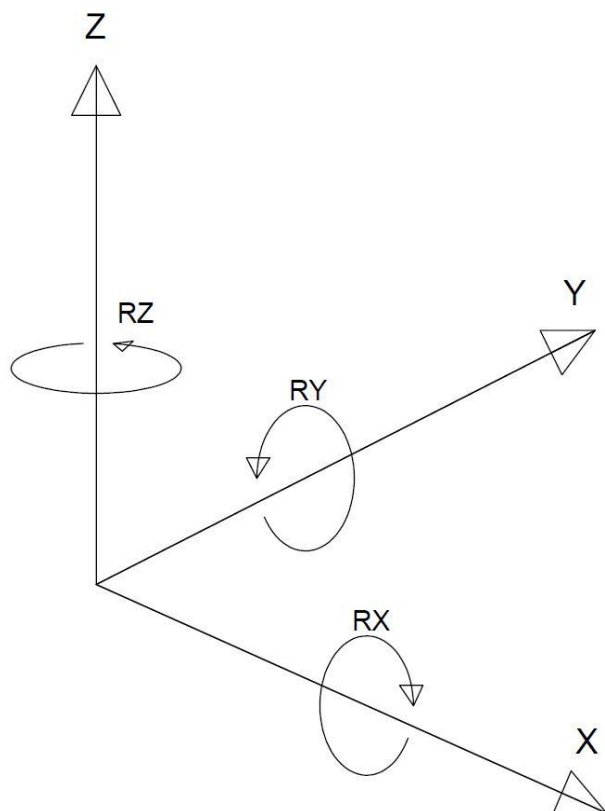
I dette kapitlet følger de trinnene som fører til det endelige konseptet.

7.1 Funksjonsanalyse

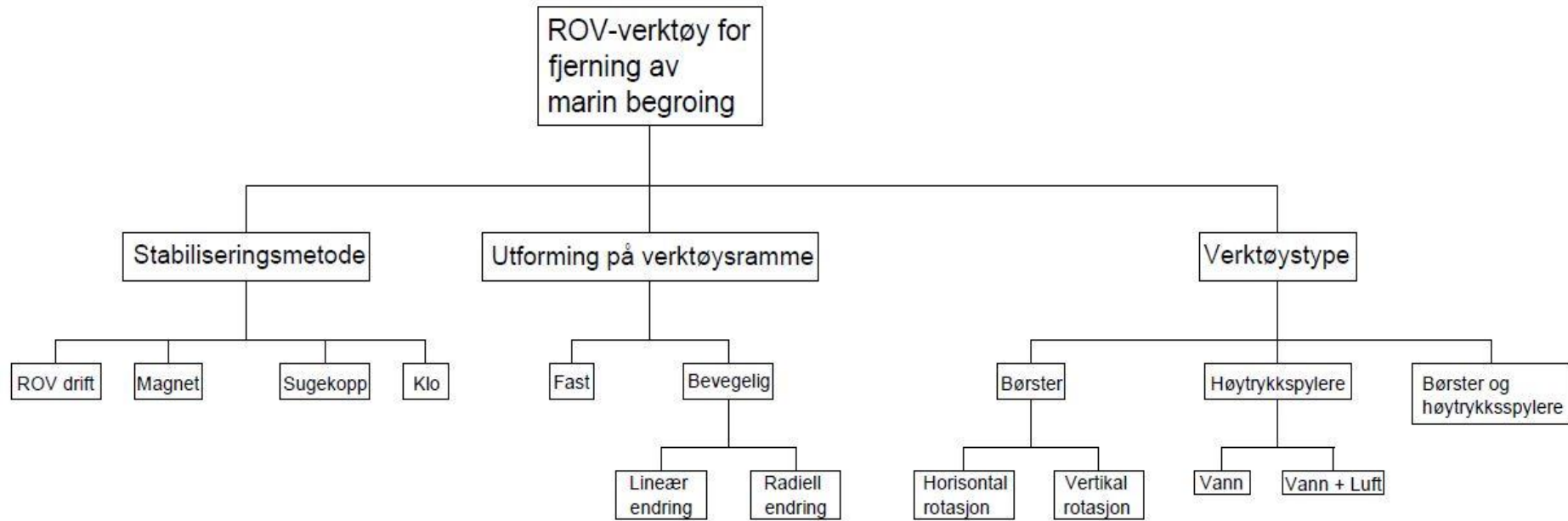
Formålet med denne funksjonsanalysen er å kartlegge de forskjellige løsningsalternativene for så å finne de mest gunstige løsningene i de kommende delkapitlene.

Analysen er basert på tre hovedegenskaper ved verktøyet:

- Rengjøringsmetode.
- Verktøyriggens fleksibilitet.
- Hvordan verktøyet skal holdes stabilt gjennom prosessen.



Figur 18: De seks frihetsgradene: Aksene X,Y og Z med rotasjon om hver av disse.



Figur 19: Grov funksjonsanalyse

7.2 Funksjonsalternativer med skisser

Det er listet opp flere løsningsalternativer til hvordan verktøyet skal utformes i funksjonsanalysen (figur 19). Disse løsningene er vurdert ved hjelp av Osbornes SCAMPER-lister.

Funksjonsanalysen deler løsningsalternativene opp i tre hoveddeler der det er aktuelt med flere løsninger:

Rensing:

Hvordan skal verktøyet fjerne begroingen fra jacketen? Skal det brukes høytrykksspyling, børsting eller kanskje en kombinasjon av disse?

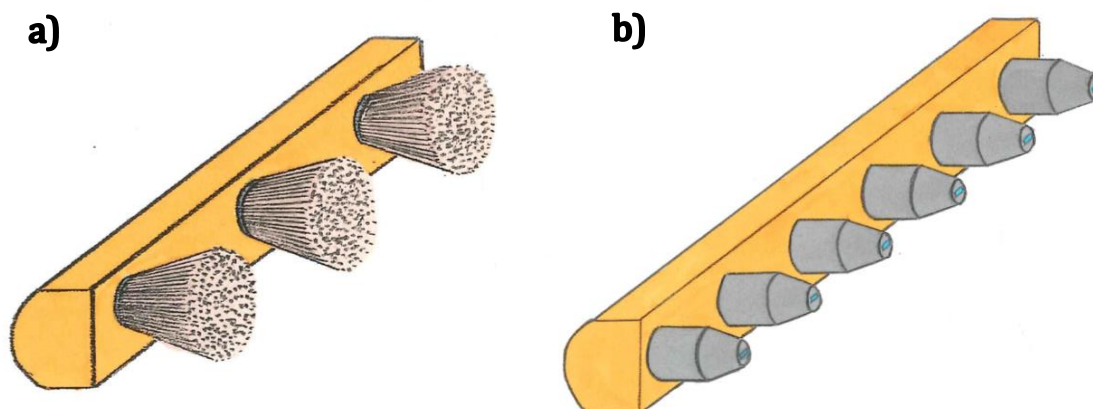
Verktøyets fleksibilitet:

Skal verktøyet ha en fast utforming eller bør det kunne endres? Bør det i så fall kunne skyves ut eller brettes rundt de forskjellige søylene?

Stabilisering:

Er det godt nok å bare bruke ROV-ens fremdrift for å holde verktøyet stabilt og i riktig avstand fra jacketen for optimal rensing? Eller burde verktøyet utstyres med en ekstra klo som holder seg fast rundt søylen som vaskes? Ville en sugekopp eller en magnetisk løsning være et bedre alternativ?

7.2.1 Rengjøringsverktøy



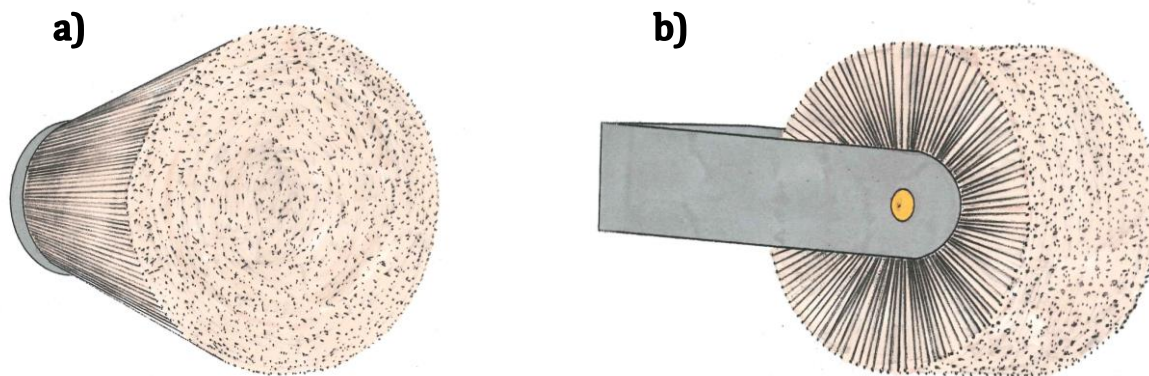
Figur 20: Rengjøringsverktøy. a) Ramme utstyrt med børster. b) Ramme utstyrt med dyser

Ved valg av rengjøringsverktøy er det antatt effektivitetsgrad som er hovedfokus, men det er også viktig å ta hensyn til den eventuelle utformingen på verktøysrammen. Dersom riggen blir av den fleksible varianten kan det hende børster blir vanskelig å bruke da de kan komme i konflikt med hverandre. På den andre siden kan høyt væsketrykk fra høytrykksspylerdyser føre til stor slitasje på de eventuelle leddene.

Tabell 16: Vurdering av rengjøringsverktøy

Rengjøringsverktøy		
Verktøy	Fordeler	Ulemper
Høytrykksspylere	-Ingen bevegelige deler -Liten slitasje -Kan rense trangere områder som under noder og i knutepunkter	-Fjerner ikke 100% av begroingen
Børster	-Økt effektivitetsgrad med større aktivt renseareal	-Bevegelige deler som kan bli ødelagt i kontakt med begroingen -Slitasje krever regelmessig utskifting av børster
Kombinasjon	-Gir mulighet for bruk av den typen verktøy som er mest effektiv på den aktuelle begroingen	-Kompleks utforming -Økt produksjonskostnad

Alternativer ved bruk av børster

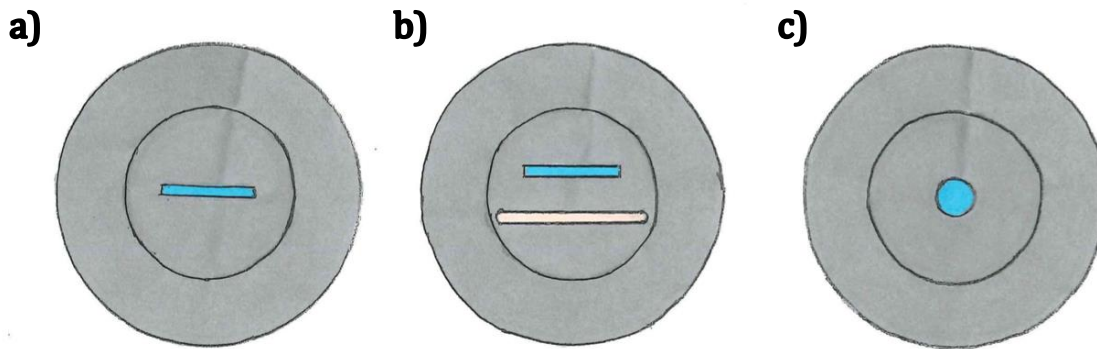


Figur 21: Børstealternativer. a) Horisontalt roterende børste. b) Vertikalt roterende børste

Tabell 17: Vurdering av børstealternativer

Ved bruk av børster		
Metode	Fordeler	Ulemper
Vertikal	-Kan rotere med ROV-ens vertikale bevegelse	-Påfører ROV vertikale krefter og bevegelse
Horisontal	-Større kontaktflate med trykk mot konstruksjon	-Påfører ROV rotasjonskrefter og bevegelse
Kombinasjon	- Mulig forbedret resultat	-Økt fare for funksjonssvikt

Alternativer ved bruk av høytrykksspylere



Figur 22: Dysetyper. a) Flat dyse. b) Flat dyse med luftdyse nedenfor. c) Sirkulær dyse

Tabell 18: Vurdering av dysetyper

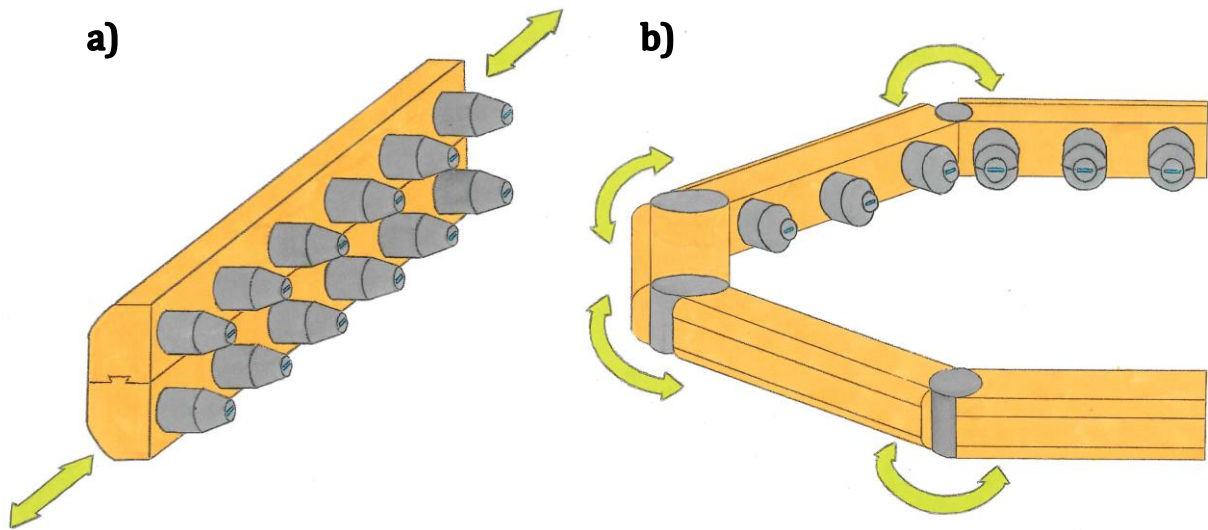
Ved bruk av dyser		
Dysetype	Fordeler	Ulemper
Flat	-flat, bred stråle som dekker et større område og gir på land en skrapende effekt	-Begrenset rekkevidde
Luft + Vann	-Effekten av vannstrålen er maksimal når omsluttet av oksygenskjerming	-Kompleks utforming -Utviklingskostnad
Sirkulær	-Konsentrert stråle gir bedre rekkevidde og skjærende effekt	-Veldig begrenset påvirkningsområde

Alternativer til utforming av verktøyramme

Tabell 19: Vurdering av om verktøyrammen skal kunne justeres eller ikke

Verktøyrammens utforming		
Utformingsvariant	Fordeler	Ulemper
Fast	-Ingen bevegelige deler -Liten slitasje -Få kilder til feil	-Liten fleksibilitet -Begrenset renseområde
Justerbar	-Økt fleksibilitet -Større renseområde -Økt effektivitet da den kan følge strukturens konturer	-Bevegelige deler som kan bli ødelagt i kontakt med struktur og MG -Flere mulige feilkilder -Økt produksjonskostnad

Utvidelsesmuligheter for justerbar ramme



Figur 23: Rammens utvidelsesmuligheter. a) Lineær utvidelse b) Radiell utvidelse

Tabell 20: Vurdering av lineær og radiell utvidelse av verktøysrammen

Utvidelsesmuligheter		
Metode	Fordeler	Ulemper
Lineær utvidelse	-Rettlinjet bevegelse	-Begrenset rekkevidde -Begrenset rensområde
Radiell utvidelse	-Fleksibel i forhold til rørdiameter -Bedre kontaktflate	-Tyngre bevegelse -Flere slidedeler

Utvidelsesmekanisme for justerbar verktøyrigg

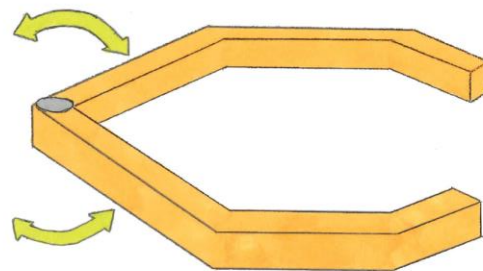
Tabell 21: Vurdering av elektrisk og hydraulisk utvidelsesmekanisme for verktøysrammen

Utvidelsesmekanisme		
Metode	Fordeler	Ulemper
Elektrisk	- Konstant reaksjon	-Fare for kortslutning -Motorer kan overbelastes
Hydraulisk	-Driftssikkert	-Driftsstopp ved lekkasje

7.2.2 Stabilisering

Høyt oppe på de delene av riggen som ligger nær havoverflaten vil været ha stor innvirkning på ROV-ens stabilitet i forbindelse med fjerning av MG. På større dyp vil det i stedet være en jevn havstrøm som vil forsøke å drive bort ROV-en.

Det er viktig at verktøyet holdes i en ganske konstant posisjon i forhold til konstruksjonen som skal renses. Dette for både å sikre verktøy mot kraftige støt mot konstruksjon, men også for å ha et nøytralt punkt for ROV-en å vaske etter ved dårlig sikt. Det må derfor drøftes hvor viktig det er med 100% stabilitet eller om utnyttelse av fremdriften til ROV er stabil nok.



Figur 24: Stabiliseringsmetode - Klo

Tabell 22: Vurdering av stabiliseringsmetode for verktøy

Ved bruk av dyser		
Metode	Fordeler	Ulemper
Fremdriftssystem	<ul style="list-style-type: none"> -Billig, trenger ingen utviklingsperiode -Frigjør en av manipulatorene 	<ul style="list-style-type: none"> -Mest ustabile av alternativene. -Må kompensere mye for havstrømmene
Klo	<ul style="list-style-type: none"> -Holder fast i konstruksjonen -Lar ROV rotere rundt søylene -Tilhører verktøyets utforming 	<ul style="list-style-type: none"> -Lite brukervennlig -Ikke universell for alle rørdiametre.
Sugekopp	<ul style="list-style-type: none"> -Statisk posisjonering -Lett å løsne 	<ul style="list-style-type: none"> -Opptar en manipulator -Utviklingskostnad ut over verktøyet -Krever sin del av tilgjengelig hydraulikken -Kan ha problemer med å finne feste.

Tabell 22 fortsetter

Metode	Fordeler	Ulemper
Magnet	-Statisk posisjonering -Med riktig utforming muliggjøres stabil, vertikal bevegelse	-Opptar en manipulator -Utviklingskostnad ut over verktøyet

7.3. Tidligvurderinger av brukspåkjenninger

Verktøyet vil i hovedsak bli utsatt for fysiske påkjenninger i kontakt med jacketen som skal renses, krefter fra ROV i bevegelse og motkrefter fra eventuelle dyser eller børster. Det må også tas høyde for påkjenninger fra miljøet, som saltvann og dynamiske belastninger fra havstrømmer.

7.3.1 Mekaniske påkjenninger

Trykkbelastninger:

Verktøyet vil utsettes for både statisk og dynamisk trykkbelastning i eventuelle ledd og i koblingspunktet til ROV både ved kontakt med jacket og gjennom svingningene fra havstrømmer

Slag- og støtbelastninger:

Under fjerning vil det være fare for kollisjon med jacket. En slik kollisjon vil naturlig nok føre til slag- og støtbelastninger på verktøy, kobling og ROV-ens manipulator.

Momentbelastning:

Verktøyets eventuelle ledd og koblingspunkt til ROV vil utsettes for momentbelastning grunnet tyngden av verktøyets egentynge og eventuelle bevegelse grunnet børste.

7.3.2 Miljøpåkjenninger

Svingninger:

ROV og verktøy vil utsettes for svingninger i både horisontal og vertikal retning fra havstrømmene. Disse svingningene vil høyt oppe avhenge av været, mens jo nærmere havbunnen vil strømmene være mer konsekvente. Svingninger kan føre til kollisjon med jacket, samt at stabilisering av ROV kan være utfordrende. Svingninger fører også til bøyebelastninger på verktøyets ledd og kobling til ROV.

Rust og korrosjon:

Hele verktøyet vil være omsluttet av saltvann hvilket setter klare forutsetninger for materialvalg og eventuell overflatebehandling.

7.4 Materialvalg

Verktøyet utformes for bruk i Nordsjøen der det kun skal brukes subsea via en ROV, det er derfor essensielt at verktøyet blir produsert i korrosjonsbestandige materialer. Da det skal kunne brukes på dybder helt ned mot 150 meter under havnivå og er utsatt for kollisjoner med strukturen den rengjør er det også viktig at det brukes materialer med høy styrke på de utsatte delene av verktøyet.

Ramme

Verktøysrammen er utsatt for både statisk belastning i form av høytrykksspyling og støtpåkjenninger ved kollisjoner og derfor også utformes av et robust materiale med god korrosjonsbestandighet. Vanlig for verktøystrukturer som brukes i dag er et rustfritt og syrefast stål.

Dyser

Dersom verktøyet blir utstyrt med dyser for høytrykksspyling vil disse bli utsatt for statisk belastning og vil kunne bli utsatt for støtbelastninger. Den statiske belastningen vil være i form av vannet som konstant spyles igjennom dem med høyt trykk og de eventuelle støtpåkjenningene kommer dersom verktøyet skulle kollidere med den overflaten som rengjøres. Det er derfor viktig at disse utformes av et robust materiale med god korrosjonsbestandighet.

Børster

Dersom børster blir valgt som en del av løsningen skal dette være børster som er egnet for bruk på både hard og myk marin begroing. Det finnes flere varianter på dette markedet der børstene er laget av både harde og myke materialer som stål og nylon. En vurdering på om det vil lønne seg å utvikle en ny type børste eller om det finnes børster som anses som gode nok vil gjøres dersom børster blir valgt som renseverktøy.

Hydraulikk-, høytrykk- og eventuelt luftslanger

Slangene vil mest sannsynlig bli delvis innkapslet i selve rammen og vil derfor ikke være veldig utsatt for utvendige påkjenninger, men det bør allikevel, til en viss grad, tas hensyn til. Dette er uansett produkter som vil bli kjøpt inn fra eksterne produsenter, så en vurdering av forskjellige slangetyper vil bli gjort når hydraulikksystemet er kartlagt.

Ledd og akkumulatorer

Dette er begge deler som vil kjøpes inn og det vil derfor være utformet for bruk i saltvann fra produsent.

Festemateriell

Alt av festemateriale, om det er innkapslet eller ikke, bør være av et korrosjonsbestandig materiale da det alltid kan forekomme lekkasjer. Dette vil uansett ikke føre til noen merkbar økning på produktkostnaden.

8. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

For å avgjøre hvilken metode for fjerning av marin begroing som fungerer best benyttes Pughs metode. I kapittel 7.2 er det listet flere alternativer til hvert element. For å avgjøre hvilket alternativ som er det beste utarbeides det seleksjonsmatrise for hvert hovedelement.

8.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

For å utvikle en fornuftig seleksjonsmatrise for hvert element stilles det forskjellige kriterier til hver enkelt funksjon. Disse kriteriene vil deretter vektet etter hvor viktige de er for funksjonen og den metoden som får best poengsum er en antatt bedre løsning enn de andre. Det vil gis poeng fra 1 til 5 der 5 anses som beste resultat.

Seleksjonskriterier for renseverktøy:

- Kostnad
- Brukervennlighet
- Slitasje
- Kompleksitet
- Effektivitet

Seleksjonskriterier for valg av dyse:

- Effektivitet
- Driftssikkerhet
- Kostnad

Seleksjonskriterier for utforming av verktøyrigg:

- Kostnad
- Driftssikkerhet
- Effektivitet

Seleksjonskriterier for type utvidelse av verktøyrigg:

- Funksjonalitet
- Kompleksitet
- Effektivitet
- Kostnad

Seleksjonskriterier for utvidelsesmetode:

- Driftssikkerhet
- Kapasitet
- Kostnad

Seleksjonskriterier for stabiliseringsmetode:

- Stabilitet
- Kostnad
- Manøvrerbarhet
- Driftssikkerhet

8.2 Egen konseptscreening

Verktøy for rensing

Kriterienes vektning og begrunnelse:

Kostnad Vektes 20 %. En avveining mellom utviklings- og produksjonskostnad og hvor mye tid som spares ved bruk av denne prosessen.

Brukervennlighet Vektes 10 %. Hvor intuitiv og enkel er operasjonen for piloten? Hvor krevende er tilvenningen til verktøyet og dets funksjon.

Slitasje Vektes 20 %. Det er viktig at slitasje på deler og funksjoner ikke skal stoppe operasjonen når ROV er i drift.

Kompleksitet 20 %. Med bakgrunn i kriteriet over vil økt kompleksitet også bety økt fare for driftsstans. Mindre kompleksitet gir høyere poeng.

Effektivitet Vektes 30 %. Måles etter hvor mye MG som fjernes i løpet av en bestemt periode.

Tabell 23: Seleksjonsmatrise for rengjøringsverktøy

Verktøy for rensing							
Kriterier	Vektning	Høytrykksspyling		Børster		Kombinert	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Kostnad	20 %	4	0,8	3	0,6	2	0,4
Brukervennlighet	10 %	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Slitasje	20 %	4	0,8	3	0,6	3	0,6
Kompleksitet	20 %	4	0,8	3	0,6	2	0,4
Effektivitet	30 %	3	0,9	4	1,2	5	1,5
Vektet sum	100 %	3,7		3,4		3,2	

Alternativer ved bruk av høytrykksspyling

Kriterienes vektning og begrunnelse:

Effektivitet Vektes 50 %. Måles etter hvor mye MG som fjernes i løpet av en bestemt periode.

Driftssikkerhet Vektes 20 %. Baserer seg på hvor stor sannsynligheten er for et eventuelt driftsopphold.

Kostnad Vektes 30 %. En avveining mellom utviklings- og produksjonskostnad og hvor mye tid som spares ved bruk av denne prosessen.

Tabell 24: Seleksjonsmatrise for valg av dysetype

Ved bruk av høytrykksspyling							
Kriterier	Vekting	Flat		Sirkulær		Luft + vann	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Effektivitet	50 %	4	2	3	1,5	5	2,5
Driftssikkerhet	20 %	5	1	5	1	4	0,8
Kostnad	30 %	4	1,2	4	1,2	3	0,9
Vektet sum	100 %	4,2		3,7		4,2	

Alternativer til utforming av verktøyrigg

Kriterienes vekting og begrunnelse:

Kostnad Vektes 30 %. En avveining mellom utviklings- og produksjonskostnad og hvor mye tid som spares ved bruk av denne prosessen

Driftssikkerhet Vektes 30 %. Baserer seg på hvor stor sannsynligheten er for et eventuelt driftsopphold.

Effektivitet Vektes 40 %. Måles etter hvor mye MG som fjernes i løpet av en bestemt periode.

Tabell 25: Seleksjonsmatrise for utforming av verktøyrigg

Utforming av verktøyrigg					
Kriterier	Vekting	Fast		Justerbar	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum
Kostnad	30 %	5	1,5	3	0,9
Driftssikkerhet	30 %	5	1,5	4	1,2
Effektivitet	40 %	2	0,8	5	2
Vektet sum	100 %	3,8		4,1	

Utvidelsesmuligheter for justerbar verktøyrigg

Kriterienes vekting og begrunnelse:

Funksjonalitet Vektes 20 %. Skal være enkel å operere og oppfylle brukerens forventninger til fleksibilitet.

Kompleksitet 20 %. Med bakgrunn i kriteriet over vil økt kompleksitet også bety økt fare for driftsstans. Mindre kompleksitet gir høyere poeng.

Effektivitet Vektes 30 %. Måles etter hvor mye MG som fjernes i løpet av en bestemt periode.

Kostnad Vektes 30 %. En avveining mellom utviklings- og produksjonskostnad og hvor mye tid som spares ved bruk av denne prosessen

Tabell 26: Seleksjonsmatrise for verktøyets utvidelsesretning

Utvidelsesmuligheter for justerbar verktøyrigg					
Kriterier	Vekting	Lineær utvidelse		Radiell utvidelse	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum
Funksjonalitet	20 %	3	0,6	4	0,8
Kompleksitet	20 %	4	0,8	3	0,6
Effektivitet	30 %	3	0,9	5	1,5
Kostnad	30 %	4	1,2	3	0,9
Vektet sum	100 %		3,5		3,8

Utvidelsesmetode for justerbar verktøyrigg

Kriterienes vekting og begrunnelse:

Driftssikkerhet Vektes 40 %. Baserer seg på hvor stor sannsynligheten er for et eventuelt driftsopphold.

Kapasitet Vektes 30 %. Er det fare for overbelastning av kraftsystemet som benyttes?

Kostnad Vektes 30 %. En avveining mellom utviklings- og produksjonskostnad og hvor mye tid som spares ved bruk av denne prosessen

Tabell 27: Seleksjonsmatrise for utvidelsesmekanisme

Utvidelsesmetode for justerbar verktøyrigg					
Kriterier	Vekting	Elektrisk		Hydraulisk	
		Poeng	Sum	Poeng	Sum
Driftssikkerhet	40 %	3	1,2	4	1,6
Kapasitet	30 %	3	0,9	5	1,5
Kostnad	30 %	4	1,2	3	0,9
Vektet sum	100 %		3,3		4,0

Stabiliseringsmetode

Kriterienes vekting og begrunnelse:

Stabilitet Vektes 30 %. Hvilken grad av stabilitet gir løsningen? Med dette menes hvor godt ROV-en kan holde posisjonen sin ved rensing av jacket.

Kostnad Vektes 20 %. En avveining mellom utviklings- og produksjonskostnad og hvor mye tid som spares ved bruk av denne prosessen

Manøvrerbarhet Vektes 30 %. Viser til hvor god kontroll en har på ROV ved å benytte dette systemet. Må ROV løsnes fra konstruksjon for å flytte seg f.eks. vertikalt?

Driftssikkerhet Vektes 20 %. Baserer seg på hvor stor sannsynligheten er for et eventuelt driftsopphold.

Tabell 28: Seleksjonsmatrise for stabilisering av verktøyet

Stabiliseringsmetode									
		Fremdriftssystem		Klo		Sugekopp		Magnet	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Stabilitet	30 %	3	0,9	4	1,2	5	1,5	5	1,5
Kostnad	20 %	5	1	2	0,4	4	0,8	3	0,6
Manøvrerbarhet	30 %	5	1,5	2	0,6	2	0,6	4	1,2
Driftssikkerhet	20 %	5	1	3	0,6	3	0,6	4	0,8
Vektet sum	100 %	4,4		2,8		3,5		4,1	

8.3 Patenter

For å unngå eventuelle problemer i forhold til patenter er det gjort omfattende søk etter patenter som kan likne dette konseptet basert på resultatene fra egenscreeningen. Det ble søkt hos Patentstyret, European Patent Office og gjort generelle søk på internett. Det ble funnet svært få patenter for ROV- og subsea verktøy generelt sett og ingen av disse var i nærheten av å likne denne løsningen. Produktutviklingen kan derfor med trygghet fortsette.

9. FORSØK MED SYSTEM FOR VANNSPYLING

For å finne ut av om det vil være mulig å rense jacketen ved bruk av høytrykksspyling fra cirka 30 centimeters avstand, og om tilførsel av luft ved høytrykksspyling under vann faktisk vil ha noen effekt, ble det gjort en forenklet test av dette. Det er flere grunner til at 30 centimeter er ønsket som den minste avstanden mellom dysene og jacketen. For det første burde ROV-en ha en sikkerhetsmargin å gå på slik at verktøyet ikke skal kollidere med jacketen, og dersom avstanden settes lavere enn dette vil det være behov for et stort antall dyser. Antall dyser nødvendig er beregnet og kan leses i kapittel 13.1. Det ble bygget en tank for testing hos Blikkenslager Viggo Sandgrav i Oslo der forsøkene ble gjennomført. Utstyret som ble brukt er i utgangspunktet ikke designet for bruk under vann, men dette ville allikevel kunne gi indikasjoner på om dette vil være mulig og om kombinasjonen av luft og høytrykksspyling vil gi forbedret effekt.

Forsøksdatoer:

Bygging av tank – 31.03.2016

Testing - 01.04.2016

9.1 Målsetting med forsøkene

9.1.1 Hovedmål

Hovedmålet med forsøket er å avgjøre om tilførsel av luft ved høytrykksspyling under vann vil kunne gjøre fjerning av marin begroing mer effektivt.

9.1.2 Delmål

- Undersøke hvilken avstand det må være mellom dysene og måleplaten for å få et godt resultat
- Undersøke om trykket fra luften alene vil utgjøre en betydelig kraft på måleplaten.
- Undersøke hvor mye tilførsel av luft vil påvirke sikten for piloten.

9.2 Bakgrunnsteori

Det er vanskelig å finne forsøk og kilder på internett som underbygger påstanden, men høytrykksspyling med vann er vesentlig mindre effektivt under vann enn på land. Vannstrålen skal trenge gjennom et medium med nesten tusen ganger høyere massetetthet enn luft (Massetetthet for luft er $1,225 \text{ kg/m}^3$ og massetetthet for vann er $1025,0 \text{ kg/m}^3$). Det er dermed ganske selvforklarende at kraften til en vannstråle vil avta ganske raskt etter å ha forlatt dysen.

9.3 Hypotese

Tanken bak dette forsøket er at tilførselen av luft foran vanddysen vil bryte opp vannet nok til at høytrykksstrålen vil treffe med større kraft. Det antas at dette vil ha en effekt og at det vil ses en økning i kraft som treffer platen. Dette fordi tettheten til vannet mellom dyse og flate vil reduseres grunnet luftboblene.

9.4 Utstyr

Utstyrsmessig ble det brukt det som var tilgjengelig. Etter flere forsøk på å få låne en kompressor av skolen uten resultat ble det besluttet å flytte hele forsøket til Blikkenslager Viggo Sandgravs verksted i Oslo der alt nødvendig utstyr ble lånt av han. Det var i utgangspunktet ønsket å bruke en fjærvekt for måling av kraften de forskjellige metodene utsatte måleplaten for, men dette lot seg ikke oppdrive til tross for kontakt med både NMBU, HiOA og flere håndverkere.

Høytrykksspyler

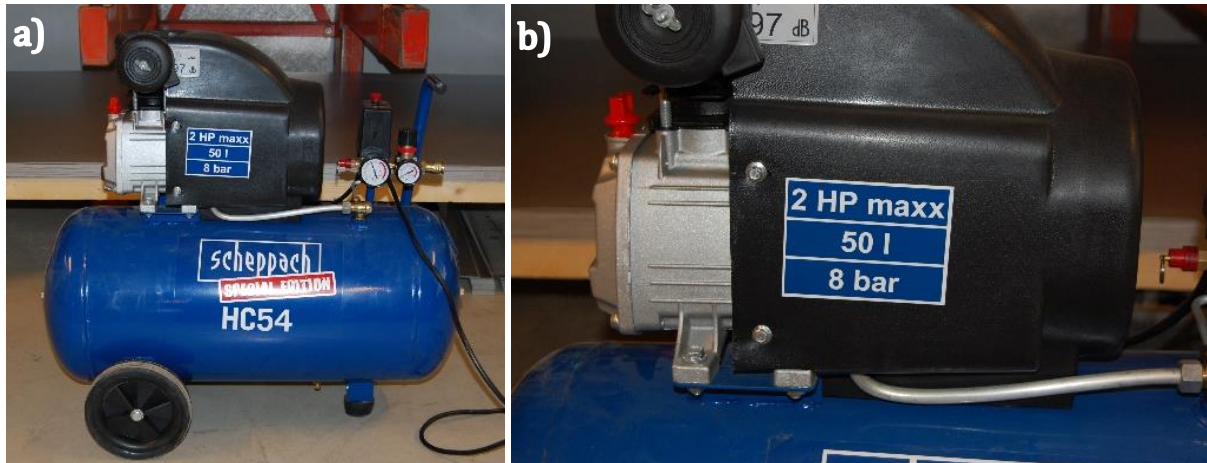
Nilfisk C100.6. Dette er en kompakt høytrykksspyler ment for hjemmebruk. Fordelen med denne høytrykksspyleren var en relativt kort lanse, hvilket gjør den hendig til dette forsøket. Denne modellen har et arbeidstrykk på 70 bar og en vannstrøm på 5,3 l/min. Dysen som ble brukt i testen hadde en forholdsvis liten spredningsvinkel.



Figur 25: Høytrykksspyler. a) Nilfisk C100.6 b) Teknisk data (Egne foto)

Kompressor

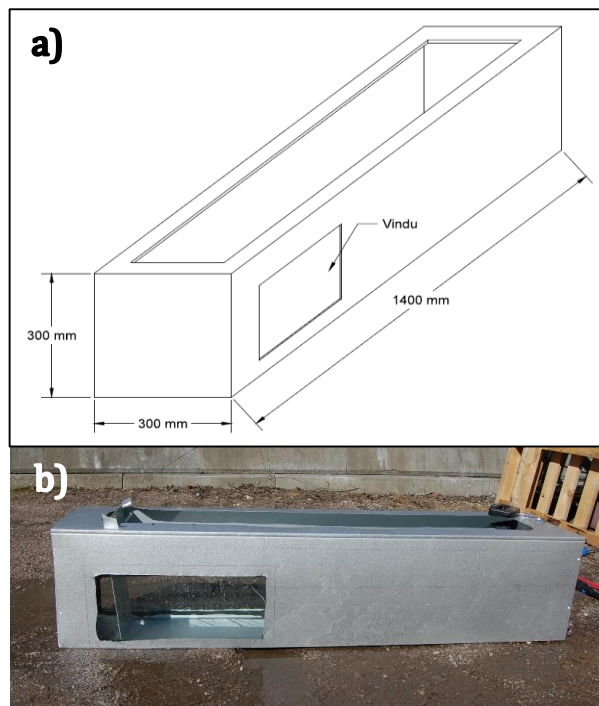
Kompressoren som ble brukt er av typen Scheppach - Special Edition HC54. Dette er en kompressor med 8 bars arbeidstrykk og en avgitt luftmengde på 158 l/min. Både luftmengden og trykket kan kontrolleres ved hjelp av reduksjonsventiler, men i dette forsøket ble både maksimalt trykk og maksimal luftstrøm benyttet.



Figur 26: Kompressor. a) Scheppach HC54 b) Teknisk data (Egne foto)

Forsøkstank

Tanken ble laget av ett stykke Alu-Zink-plate og var 1400 mm lang, 300 mm bred og 300 mm høy. I tanken ble det montert to plater av pleksiglass, en på hver side av målingsområdet. Dette ble gjort for at lyset skulle kunne trenge gjennom målingsområdet og gi et godt bilde av de forskjellige prosessene.



Figur 27: Forsøkstank. a) Målsatt illustrasjon av forsøkstank. b) Ferdigbygget forsøkstank klar for forsøk (eget foto)

Vekt:

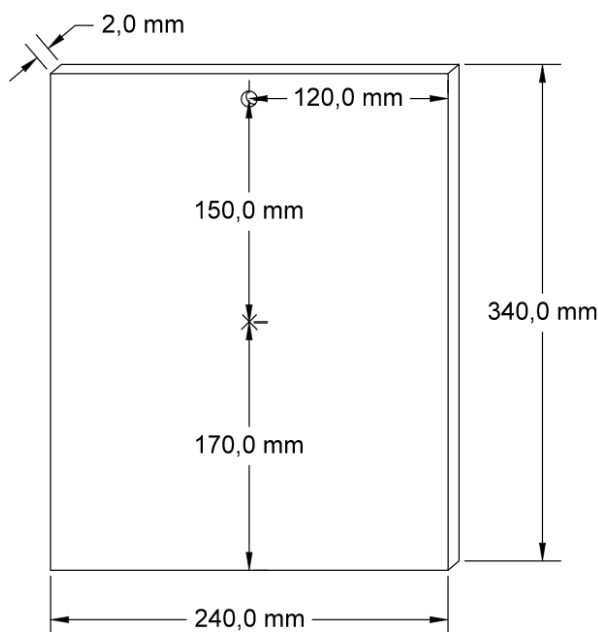
Vekten er en digital bagasjevekt produsert av Asaklitt. Det er fra produsentens side angitt en nøyaktighet på +/- 100g for tyngde under 10 kg, men det ble gjort tre målinger per forsøk, hvor disse resultatene sammenfalt bra, og kontrollmåling med vekter á ti og 20 gram med tilfredsstillende resultat.



Figur 28: Digital vekt fra Asaklitt [27]

Måleplate

Dette er platen som ble utsatt for kreftene fra høytrykksspyler og kompressor. Platen målte 240 mm x 340 mm med en tykkelse på 2 mm. Det ble markert et punkt på platen, 170 mm fra bunnen, hvor vannstrålen skal skulle. Hullet i toppen av platen ble laget etter størrelsen på kroken til vekten og er derfor ikke målsatt.



Figur 29: Målsatt illustrasjon av måleplaten

9.5 Metode

1. Utstyret legges klart og tanken plasseres utendørs hvor den senere kan tømmes for vann.



Figur 30: Forberedelse av forsøktank (eget foto)

2. Høytrykksspyler og kompressor kobles til strømkilde og høytrykksspyler kobles til vannkilde.
3. Måleplaten plasseres i tank og vekt festes i toppen av platen. Tanken fylles med vann. Vannstanden er cirka 25 centimeter opp fra bunn av tanken.

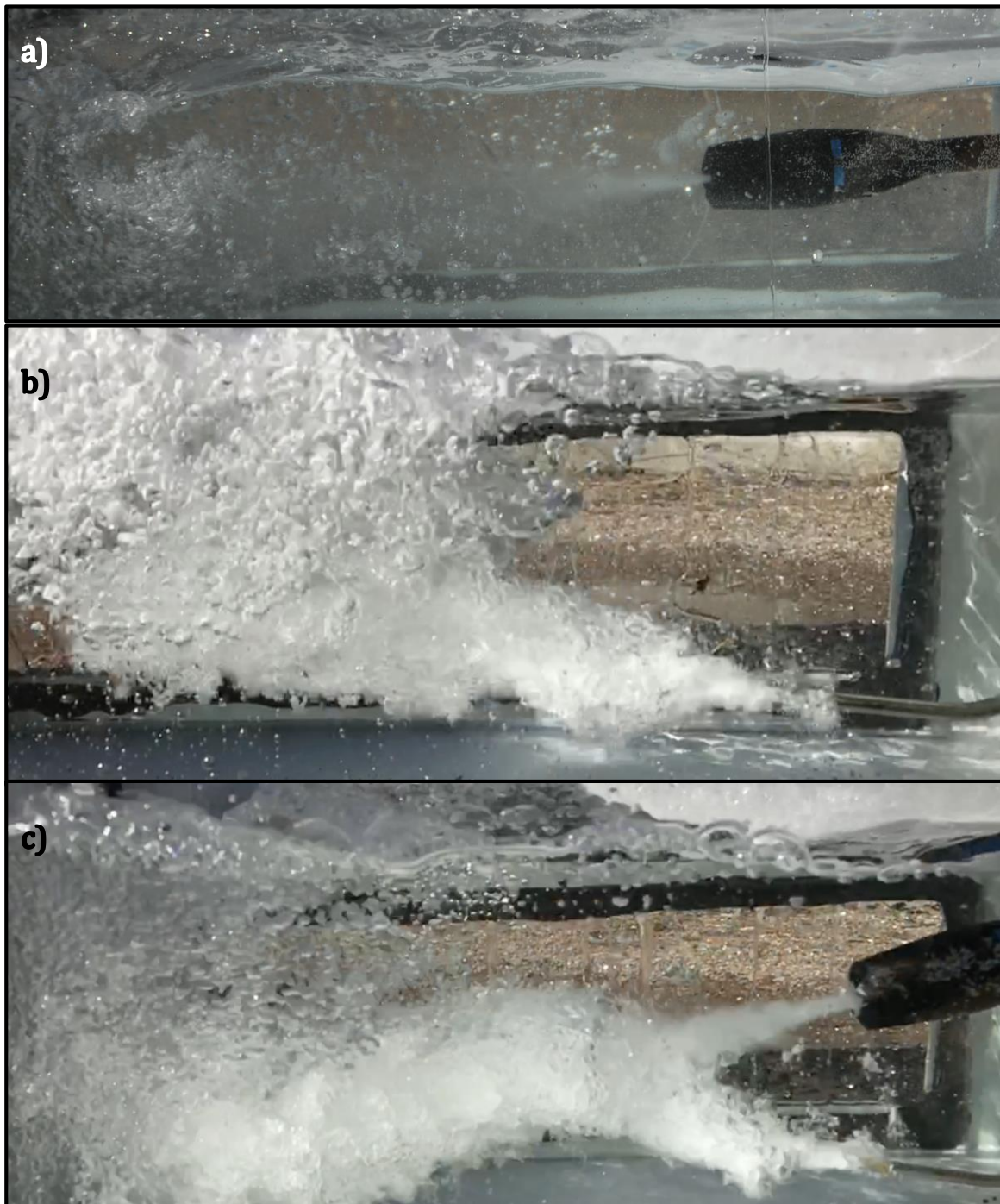


Figur 31: Måleplate plassert i forsøktank (eget foto)

4. Når forsøket utføres rettes høytrykksspylerdysen rett mot platen. Luftdysen holdes under med en svak vinkel oppover. På denne måten føres luften opp og frem i stedet for å stoppe i vannmassene og flyte forbi vannstrålen. Vekten holdes deretter vinkelrett på spylereetningen der den holdes statisk i ro frem til resultatet automatisk låses for avlesing av vekten.

5. Det gjøres først tre målinger der det kun benyttes høytrykksspyling på avstandene 30 cm, 20 cm, 15 cm, og 10 cm fra måleplaten.
 Hver av disse målingene gjentas tre ganger der vekten nullstilles mellom hver måling.
 Tilsvarende blir det gjort tre målinger der det kun benyttes lufttrykk og deretter tre målinger med en kombinasjon av disse, alle målingene fra de samme avstandene. Også her gjøres det tre målinger per avstand.
 Vekten holdes statisk i ro på en plate som legges over tanken slik at vekten er i samme høyde som festepunktet på måleplaten. Resultatet som avleses ganges med gravitasjonskonstanten $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ for å angi kraften platen utsettes for.

6. Prosessen blir dokumentert med bilder og filmer. Bildene tas med et speilreflekskamera fra utsiden av tanken, gjennom pleksiglassvinduene, og filmene blir tatt med et vanntett actionkamera fra innsiden av tanken.



Figur 32: Forsøksbilder. a) Kun høytrykksspyling. b) Kun kompressorluft. c) Kombinert [Egne foto]

9.6 Resultater og observasjoner

Det ble observert en effekt ved tilførsel av luft.

Testresultatene er oppgitt i tabellen nedenfor der gjennomsnittsverdien for de tre målingene fra hver avstand er gitt. Det ble ikke registrert noen effekt av spylingen fra 30 centimeters avstand uansett spylemetode og disse målingene er derfor utelatt fra tabellen. Den totale listen med måleresultater kan sees i vedlegg 4.

Tabell 29: Gjennomsnittresultater fra forsøket

Testresultater		
Måling	Resultat i kilogram	Resultat i Newton
Kun høytrykksspyling		
20 cm	0,08	0,79
15 cm	0,10	0,98
10 cm	0,15	1,47
Kun kompressorluft		
20 cm	0,00	0,00
15 cm	0,03	0,29
10 cm	0,07	0,69
Kombinert		
20 cm	0,10	0,98
15 cm	0,18	1,77
10 cm	0,32	3,14

9.7 Drøfting og feilkilder

Det er rom for et par feilkilder i dette forsøket. Først og fremst er det bagasjevekten som er brukt. Denne har en oppgitt nøyaktighet på +/- 100g ved vekt <10 kg. I et forsøk på å eliminere denne som en feilkilde er det gjort flere kontrollmålinger med kjente vekter under 100 gram (10 og 20 gram) og hver gang måler vekten riktig. I tillegg er hver måling i forsøket gjort tre ganger med tilnærmet like verdier. Det anses derfor at vekten er nøyaktig nok og ikke en feilkilde.

En annen mulig feilkilde er at vekten ble lagt på en plate over tanken, i høyde med festepunktet på måleplaten, og hold manuelt i ro under testingen. Dette gir mulighet for at resultatene kan være noe unøyaktig, men det er lite trolig da det var få krefter i sving og ingen spesiell utfordring å holde vekten helt i ro.

Det var heller ikke laget en rigg for høytrykksspylerlansen og luftpistolen slik at de kunne holdes i fast posisjon. De måtte derfor styres manuelt, noe som ga mulighet for at avstanden mellom dysene og avstanden til måleplaten kan ha variert noe (+/- 1cm) under testingen. Dette er også noe de tre testene per avstand og valg av gjennomsnittsverdien vil kompensere noe for.

Det oppstod en lekkasje ved det ene vinduet et stykke ut i testingen, men denne lekkasjen var såpass liten at den ikke har gjort utslag på testen.

Det er uansett gjort en vurdering av resultatene og det vurderes dit hen at forsøket gir de resultatene som er av interesse og svarer på problemstillingen: vil tilførsel av luft forbedre effekten av høytrykksspyling under vann.

9.8 Konklusjon

Resultatene fra forsøket gir et veldig godt svar på problemstillingen. Dersom det tilføres luft ved høytrykksspyling under vann øker effektiviteten betraktelig. Totalt sett vil opptil dobbelt så høy kraft treffe måleplaten sammenliknet med kun høytrykksspyling. I denne testen kommer også noe av kraften fra selve luftstrømmen, noe som mest sannsynlig ikke vil gi et betydelig utslag på rundt 100 meters dyp. Sett bort ifra trykket fra luftstrømmen er resultatet uansett forbedret over de fleste målte avstandene, med økende effekt jo nærmere måleplaten det testes. Fra 10 centimeters avstand er det hele 45% forbedring. Det ble også gjort et forsøk på måling fra 5 centimeter, men det ble for tett opptil måleplaten for denne testriggeren og resultatet ble bare en massiv vannsprut som gjorde det umulig å få gjennomført noen måling.

Til tross for et veldig godt resultat ved spyling tett opptil måleplaten var målingene fra 30 centimeters avstand uten resultat. Da dette er ansett som den minste avstanden det burde vært mulig å rengjøre jacketen fra resulterer dette i at løsningen med høytrykksspyling ikke er god nok til å kunne brukes videre i dette prosjektet. I tillegg til dette ville tilførselen av luft ført til at piloten som opererer verktøyet, og allerede har ganske dårlig sikt subsea, nærmest ville arbeidet i blinde.

Det velges derfor å gå over til løsningen med nest høyest poengsum i egenscreeningen (tabell 23), børster.

10 UTVIKLING AV SYSTEM MED BØRSTER

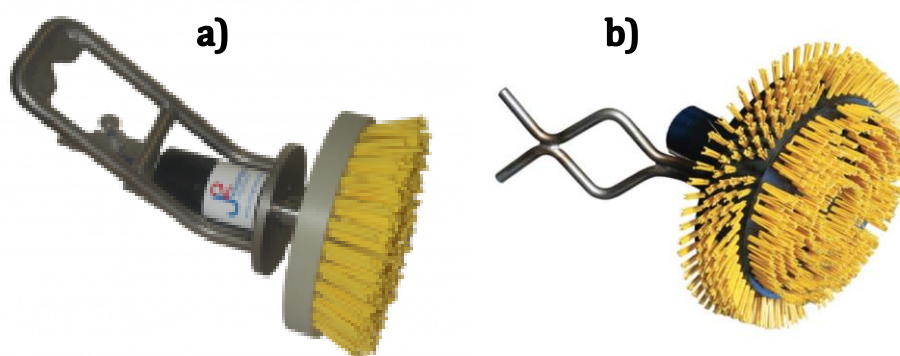
Da det ble klart at planen om bruk av høytrykksspyling ikke ville la seg gjennomføre i tilfredsstillende grad ble det bestemt å gå over til løsningen med nest høyest poengsum i egenscreeningen, børster. For å kartlegge om det burde utvikles egne børster eller kjøpes eksisterende modeller ble det gjort en undersøkelse av dagens børstemarked.

Dette er ikke et marked som er overfylt med forskjellige varianter og modeller, det er faktisk hovedsakelig ett design som går igjen på de fleste modellene.

Disse børstene består av mange små nylonbuster, enten på én eller to sider av børsten. Enkelte modeller er laget slik at nylonbustene kan byttes ut med buster i stål for fjerning av spesielt hard marin begroing.

Disse modellene kommer også ofte med et system som lar en pumpe ut en rensesveske, basert på en mild syre, gjennom flere åpninger i selve børstehodet ved behov.

Liknende børster er også produsert for innvendig rensing av røråpninger og trange åpninger på subsea utstyr.



Figur 33: Nylonbørster. a) Buster på én flate [28] b) Buster på to flater [29]

Foruten disse børstene ble det også funnet en ny børstetype som designmessig skilte seg veldig fra "standardmodellen". Dette er en norskutviklet modell som fortsatt har en patentsøknad til behandling, men som er i full produksjon. Modellen kalles FlexiClean og er utviklet av selskapet Lateral AS som holder til i Tananger, rett utenfor Stavanger. Børstesettet består av tre børster plassert ovenpå hverandre, der selve børsten er laget i ett stykke polyuretan med fire like lange "armer" plassert vinkelrett på hverandre.






Figur 34: Polyuretanbørste [30]

10.1 Tekniske spesifikasjoner

Da de børstene som er funnet med liknende utforming også har veldig like spesifikasjoner tas det her utgangspunkt i børstene som produseres av Specialist ROV Tooling Services Ltd (SRTS) og J2 Subsea.

Tabell 30: Tekniske spesifikasjoner for børster [31][32][33]

Tekniske spesifikasjoner			
Produsent:	<i>Lateral</i>	<i>SRTS</i>	<i>J2 Subsea</i>
			
Hydraulikk (maks)	60 L/min 140 bar	20 L/min 140 bar	20 L/min 140 bar
Tørrvekt	15 kg	10 kg	7 kg
Børstediameter	60 cm	31,8 cm	30,5 cm
Børstemateriale	Polyuretan	Plast	Nylon/stål
Levetid	100-200 timer*	**	**
System for bruk av renevæske	Nei	Ja	Nei

* Korteste rapporterte levetid er på 26 timer ved fjerning av hard marin begroing som skjell og koraller.

** Oppgir ingen informasjon om antatt eller erfart levetid

Sammenlikning

Tabell 31: Vurdering av børstetyper

Børsteegenskaper		
Børstetype	Fordeler	Ulemper
Lateral	<ul style="list-style-type: none"> - Lang levetid. - Skånsom mot overflaten som renses. - Børster kan overlape hverandre ved bruk av flere - Enkel utskifting av børster - Stort børstehode. 	<ul style="list-style-type: none"> - Høyt krav til hydraulikk. - Stor egenvekt.

Tabell 31 fortsetter:

Børstetype	Fordeler	Ulemper
SRTS	<ul style="list-style-type: none"> - Mulighet for bruk av resemiddel. - Buster på to flater. 	<ul style="list-style-type: none"> - Børstene kan klumpe seg ved bruk på myk MG. - Ikke spesielt stor børste.
J2 Subsea	<ul style="list-style-type: none"> - Mulighet for endring av børstemateriale. - Lav egenvekt. - Buster på flere flater. 	<ul style="list-style-type: none"> - Stålbørster kan skade overflaten som renses og rive av miljøfiendtlig maling. - Nylonbørstene kan klumpe seg ved bruk på myk MG. - Liten diameter på børstehodet.

10.2 Egenscreening og børstevalg

For å bestemme hvilken børstetype som egner seg best til dette konseptet og de oppgavene verktøyet skal brukes til benyttes Pughs metode og det utarbeides en ny seleksjonsmatrise.

De forskjellige børstene gis poeng fra 0 til 5, der 5 er best, på hvert av kriteriene hvor de kun måles imot hverandre og ikke andre løsninger som for eksempel høytrykksspyling.

Seleksjonskriterier for valg av børstetype

- Effektivitet
- Levetid
- Driftssikkerhet
- Egenvekt

Verktøyscreening

Kriterienes vektning og begrunnelse:

Effektivitet:

Vektes 30%. Det er viktig at børsten fjerner mest mulig marin begroing på kortest mulig tid og at den er effektiv på alle typer begroing.

Levetid:

Vektes 30%. Å måtte bytte børstehoder ofte er både dyrt og tidkrevende, derfor anses lang levetid som en viktig egenskap.

Driftssikkerhet:

Vektes 30%. Dersom børstesettet er komplekst og består av flere systemer, eller børsten er liten og det kreves flere børster for å rense et bestemt område øker faren for driftsstopp.

Egenvekt:

Vektes 10%. Da hele verktøyet skal holdes på én arm er det å foretrekke at børstens egenvekt er så lav som mulig.

Tabell 32: Seleksjonsmatrise for børstevalg

		Børstetype					
		Lateral		SRTS		J2 Subsea	
Kriterier	Vekting	Poeng	Sum	Poeng	Sum	Poeng	Sum
Effektivitet	30%	5	1,5	4	1,2	3	0,9
Levetid	30%	4	1,2	3	0,9	5*	1,2
Driftssikkerhet	30%	5	1,5	3	0,9	4	1,2
Egenvekt	10%	3	0,3	4	0,4	5	0,5
Vektet sum	100%	4,5		3,4		3,8	

*Ved bruk av stålbørster

Begrunnelse for poenggivningen

Effektivitet: Da det er lite data å finne på dette området hos SRTS og J2 Subsea er det gjort noen antakelser. Lateral har dokumentert sin effektivitet godt og gjort sammenlikninger med både høytrykksspyling og nylonbørster. De sier selvfølgelig at deres børste er mye bedre enn begge deler, men i poenggivningen er det tatt hensyn til at SRTS børsten har mulighet for bruk av rensmiddel, som vil gjøre begroingen enklere å fjerne, og at J2 Subsea kan bytte mellom nylon- og stålbuster. J2 scorer uansett dårligst her da børsten må løftes opp av havet for å kunne gjennomføre byttet.

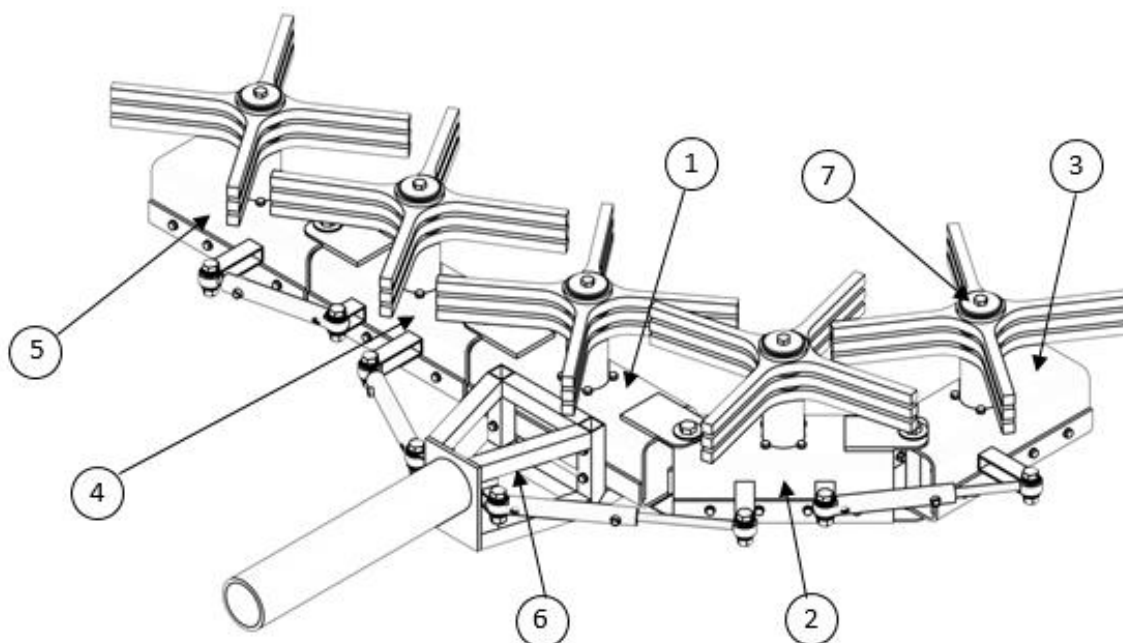
Levetid: De tykke børstene til FlexiClean børsten har en godt dokumentert levetid og er åpenbart bedre enn nylonbuster, men også her spiller rensesvæskens rolle til SRTS en rolle. J2 Subsea får full pott dersom den utstyres med stålbørster da det er vanskelig å se at nylon og polyuretan skal kunne måle seg med det.

Driftssikkerhet: FlexiClean er en børste med et veldig enkelt design og er den største børsten av de tre. SRTS sin børste har for det et ekstra system med tanke på rensesvæskens og er i tillegg en ganske liten børste, noe som betyr at det kreves flere børster for å oppnå ønsket rensflate for dette verktøyet. Begge disse faktorene øker faren for driftsstop. J2 Subseas børste er cirka like stor som børsten til SRTS, hvilket betyr at det også der vil være behov for et større antall børster.

Egenvekt: Egenvekten til de forskjellige børstene er listet i tabell 30 og poengene er gitt ut ifra det. Her er det kun den enkelte børstes vekt som er lagt til grunn for poenggivningen og ikke tatt hensyn til at det eventuelt vil være behov for flere børster på verktøyet.

Da FlexiClean fra Lateral er børsten som kommer best ut av denne screeningen er det hentet inn ytterligere informasjon rundt børsten via en mailkorrespondanse med Lateral. Med bakgrunn i dette er det vurdert dit hen at denne børsten har et godt potensiale til å kunne utføre ønsket arbeid innenfor den tids- og økonomigrensen som er satt, og det sees derfor ikke som nødvendig å utvikle en ny type børste. Den største pilotstyrte hydrauliske kretsen har en kapasitet på 250 L/min og det antas at fem børster med 50 L/min per børste skal holde til tross for at maksimal flow på en FlexiClean er satt til 60 L/min fra Laterals side.

11. KONSEPTVISUALISERING OG LØSNINGSARKITEKTUR



Figur 35: Sort-Hvitt illustrasjon med nummererte hovedkomponenter

Verktøyet er sammensatt av flere større komponenter. Det er valgt å presentere disse som hovedkomponenter og deretter angi hva hver enkelt består av. Figur 35 viser en forenklet sammenstillingstegning og tar utgangspunkt i disse komponentene. Fullstendig eksplosjonstegning ligger vedlagt. I tabell 33 refereres det til delene gjennom numre som også er angitt på figuren.

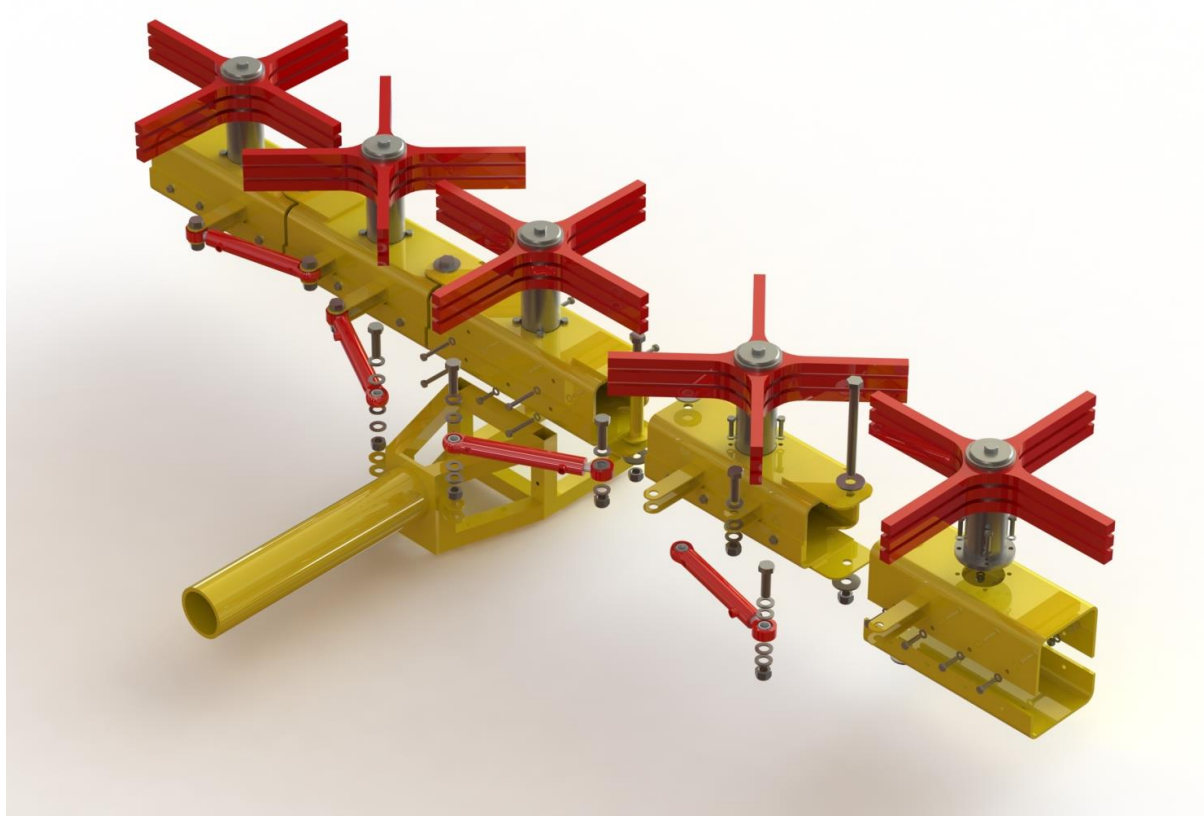
Tabell 33: Oversikt over verktøyets hovedkomponenter

Komponentliste		
Nummer	Hovedkomponent	Beskrivelse
1	Sentermodul	Sentermodulen er hovedmodulen. Denne er skrudd fast i opphenget.
2	Modul 1, høyre	Første leddet som er koblet til sentermodulen på høyre side. Denne tas av dersom bare tre-modulers bredde er ønsket. Hydraulisk sylinder er koblet i bakkant.
3	Modul 2, høyre	Andre ledd på høyre side. Er koblet til modul 1, høyre. Hydraulisk sylinder er koblet i bakkant.
4	Modul 1, venstre	Første leddet som er koblet til sentermodulen på venstre side. Denne tas også av dersom bare tre-modulers bredde er ønsket. Hydraulisk sylinder er koblet i bakkant.

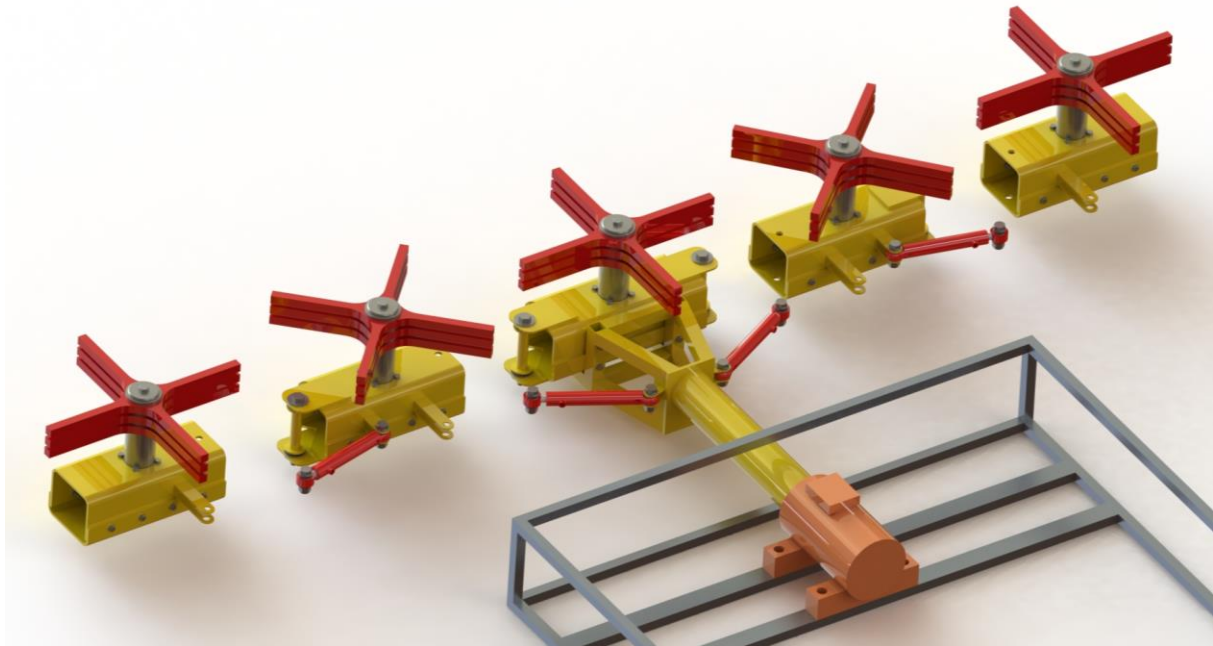
Tabell 33 fortsetter

Nummer	Hovedkomponent	Beskrivelse
5	Modul 2, venstre	Andre ledd på venstre side. Er koblet til modul 1, venstre. Hydraulisk sylinder er koblet i bakkant.
6	Oppheng	Er koblet til roterende aktuator som er montert på skid. I andre enden er sentermodulen skrudd fast.
7	FlexiClean, Lateral AS	Børste i polyuretan levert av Lateral AS.

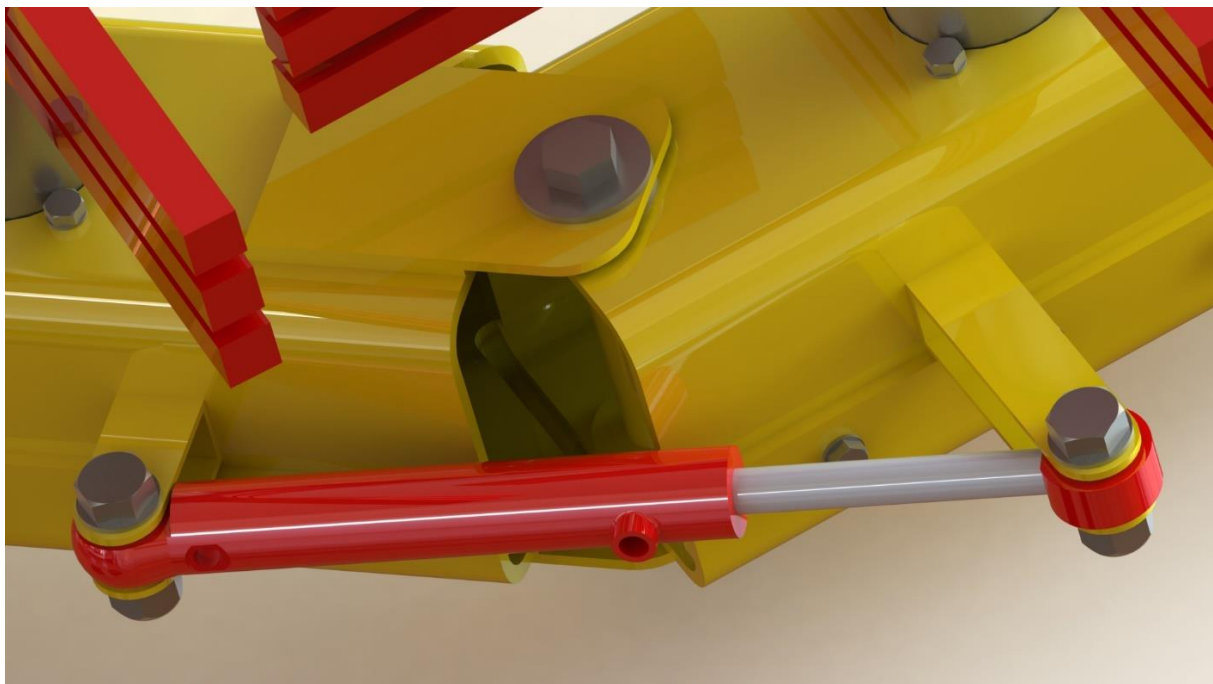
11.1 Sammenstilling



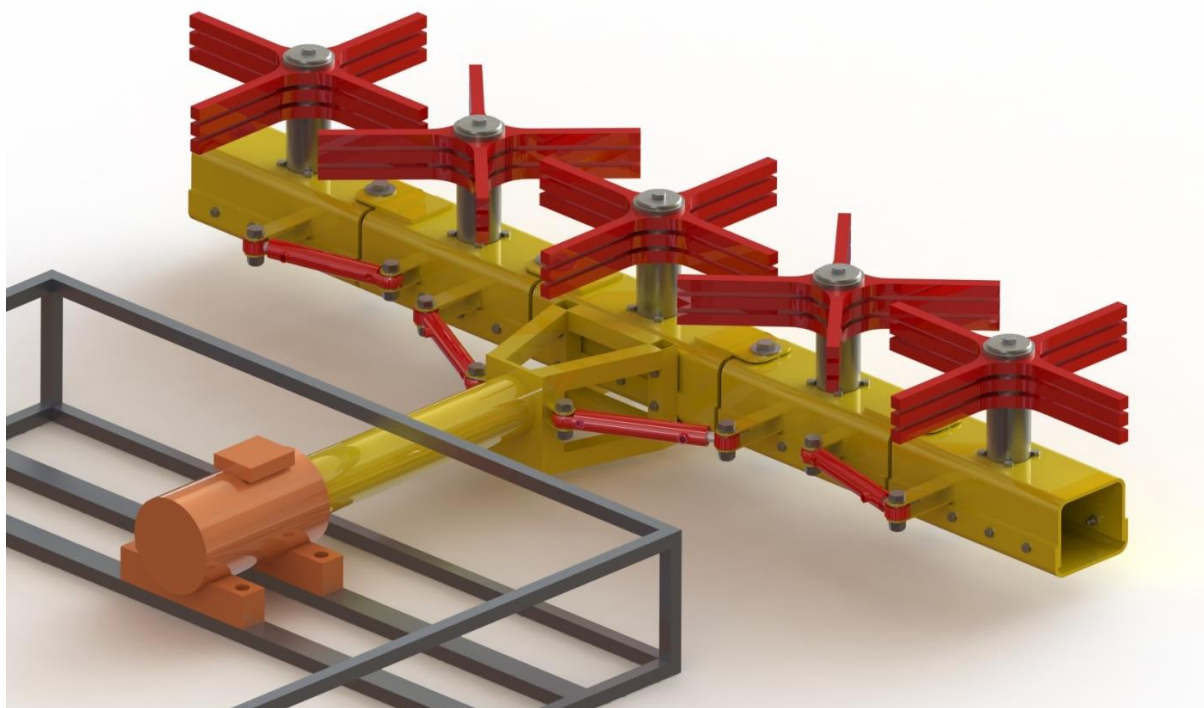
Figur 36: Komplette verktøy, gradvis mer demontert fra venstre mot høyre



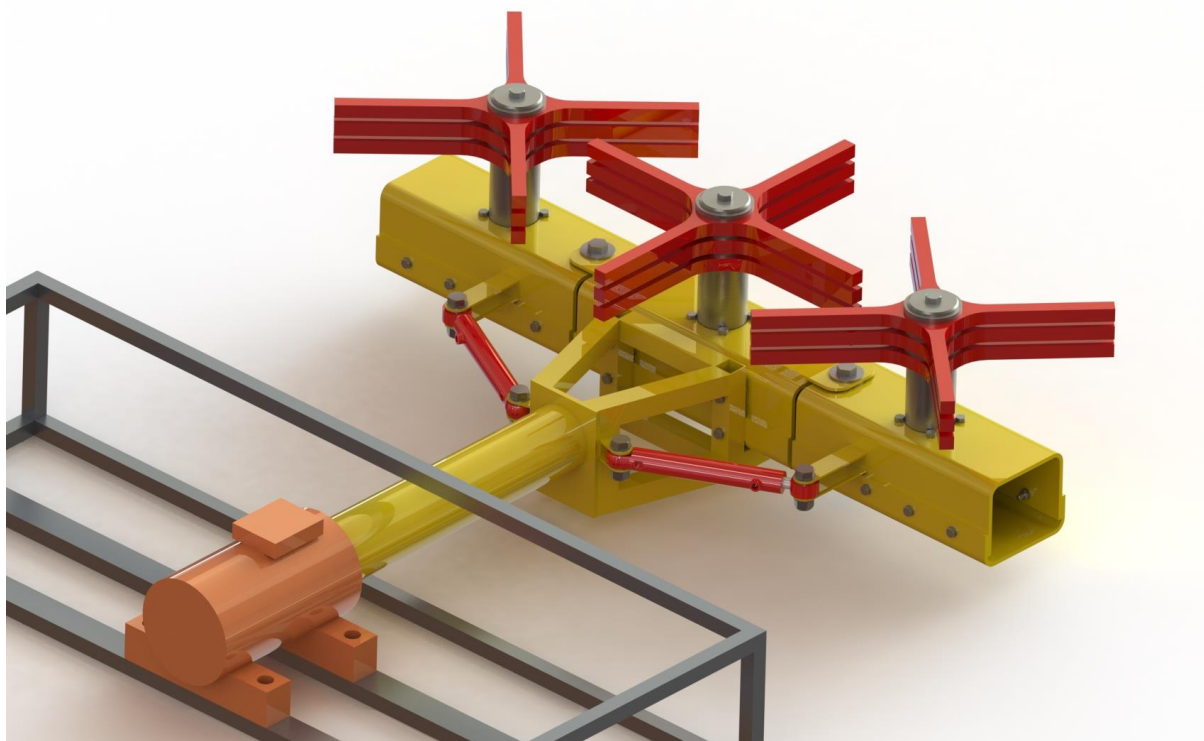
Figur 37: Verktøyet delt opp i de fem modulene det blir levert i.



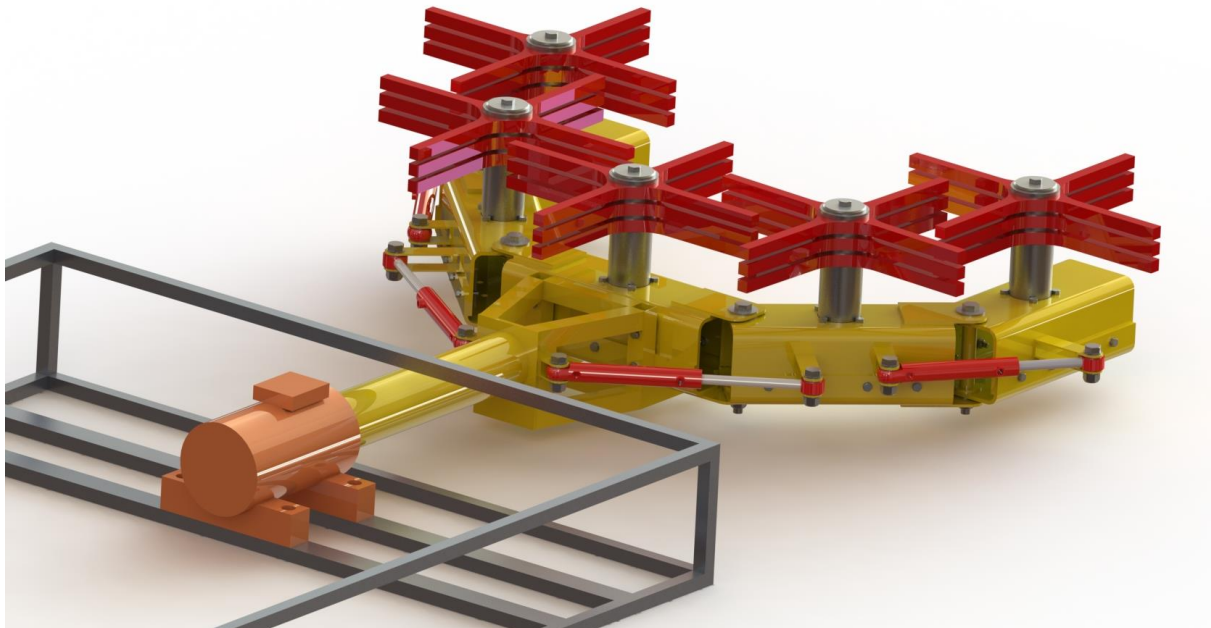
Figur 38: Detaljbilde: Ett av verktøyets fire ledd



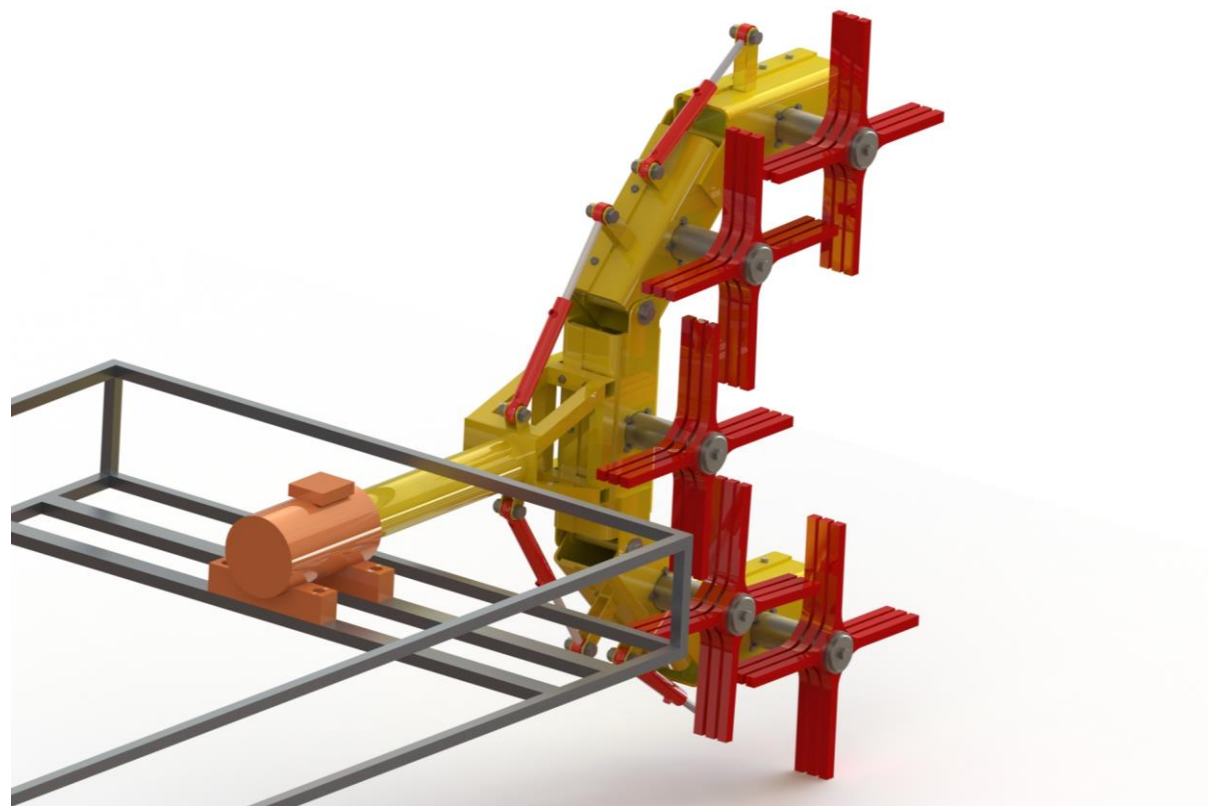
Figur 39: Verktøyet sammensatt med fem moduler montert på skid.



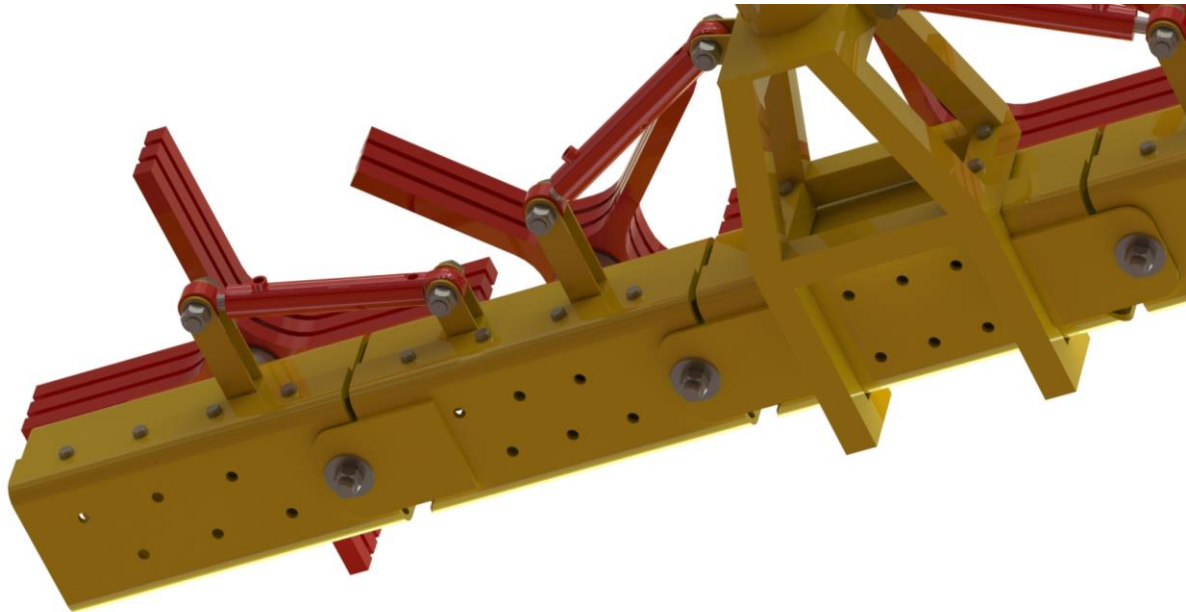
Figur 40: Verktøyet sammensatt med tre moduler montert på skid.



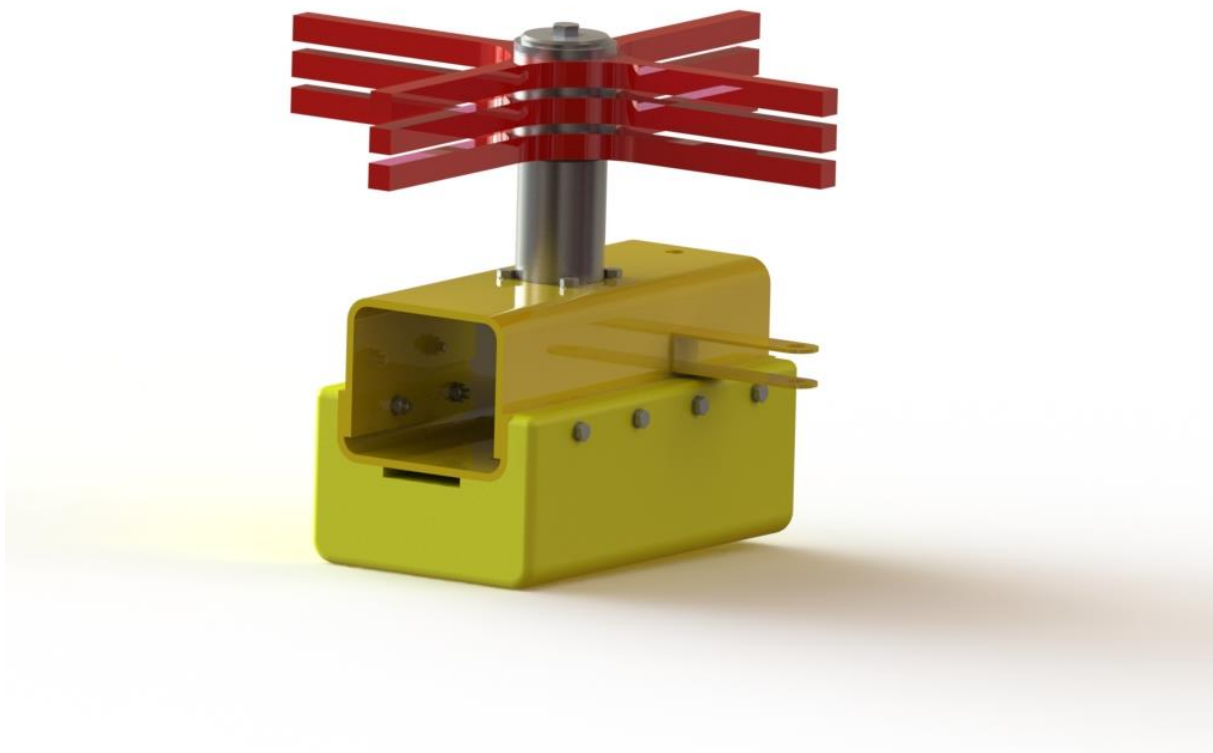
Figur 41: Verktøyet i lukket posisjon.



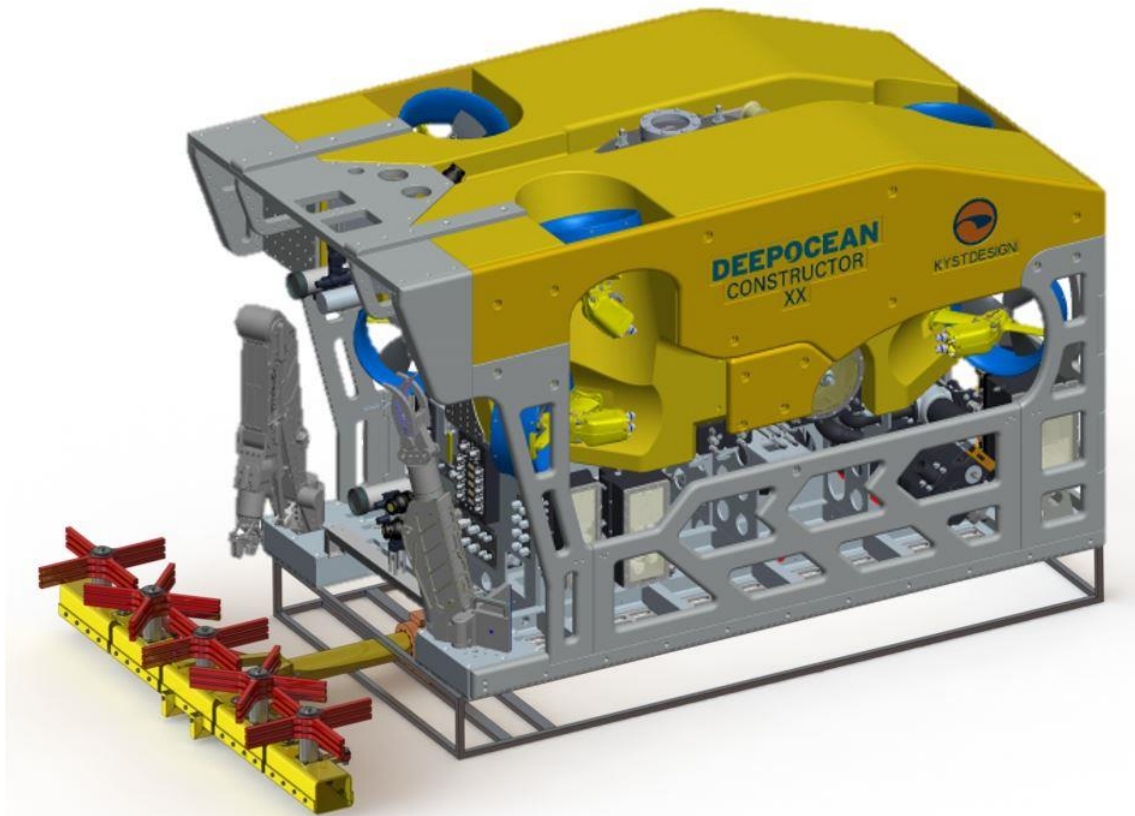
Figur 42: Verktøyet i lukket posisjon, vridd 90 grader mot høyre.



Figur 43: Detaljbilde: Drenering av bunndeksel.



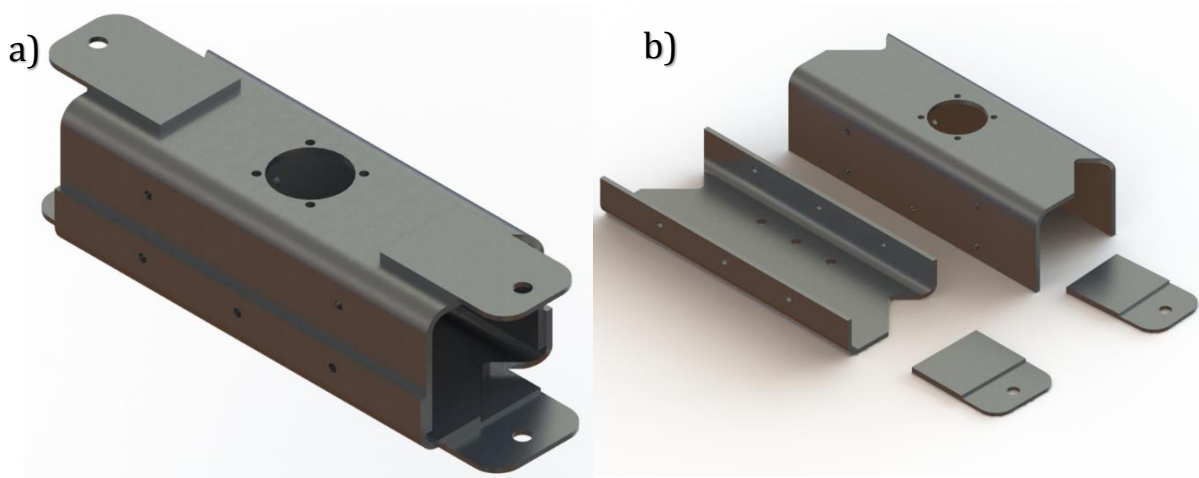
Figur 44: Modul med oppdriftskomponent montert på undersiden. Oppdriftskomponenten er utformet for å kunne boltes rett på rammen og det er laget utskjæring for drenering



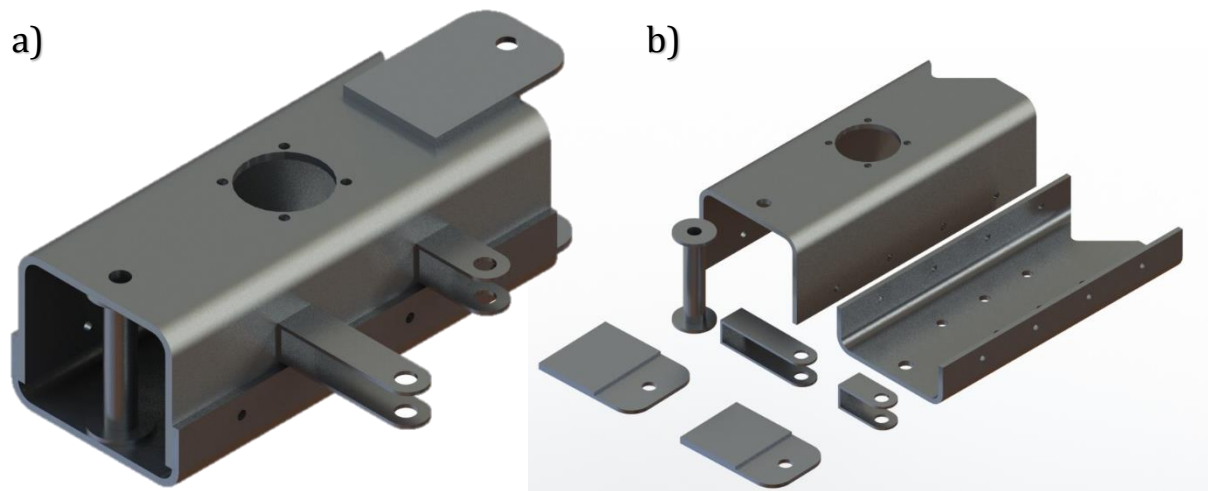
Figur 45: Verktøyet montert på en Constructor ROV i åpen posisjon

11.2 Design av hovedelementer

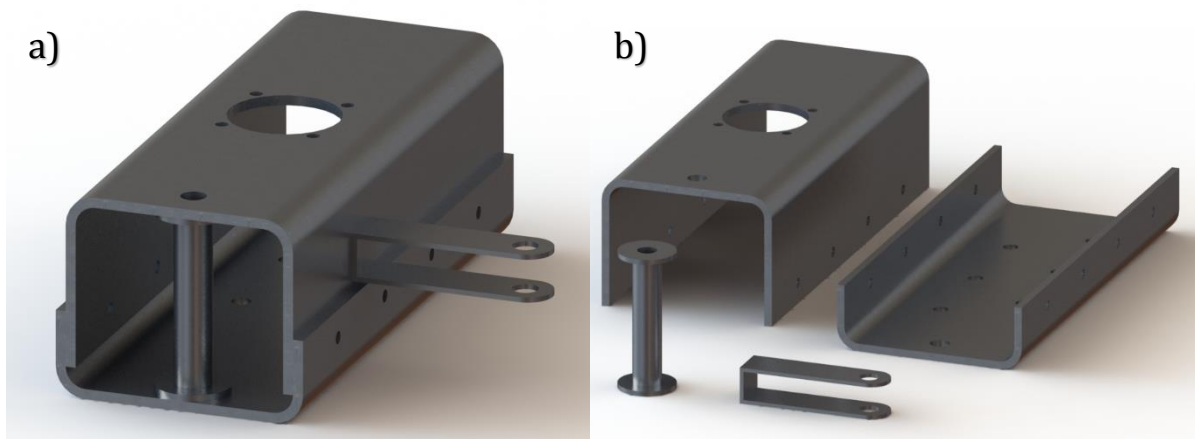
Det er viktig å bemerke at Modul 1- høyre og Modul 2- høyre er identiske i oppbygging og komponenter som motpartene Modul 1- venstre og Modul 2- venstre. Den eneste forskjellen er at de er speilvendt. Det vil si at platene som utgjør deksel for undersiden og modulens øvre profil knekkes langs samme linje, men motsatt vei. Da sammenstillingen og komponenter er den samme illustreres bare dette for de to modulene til høyre.



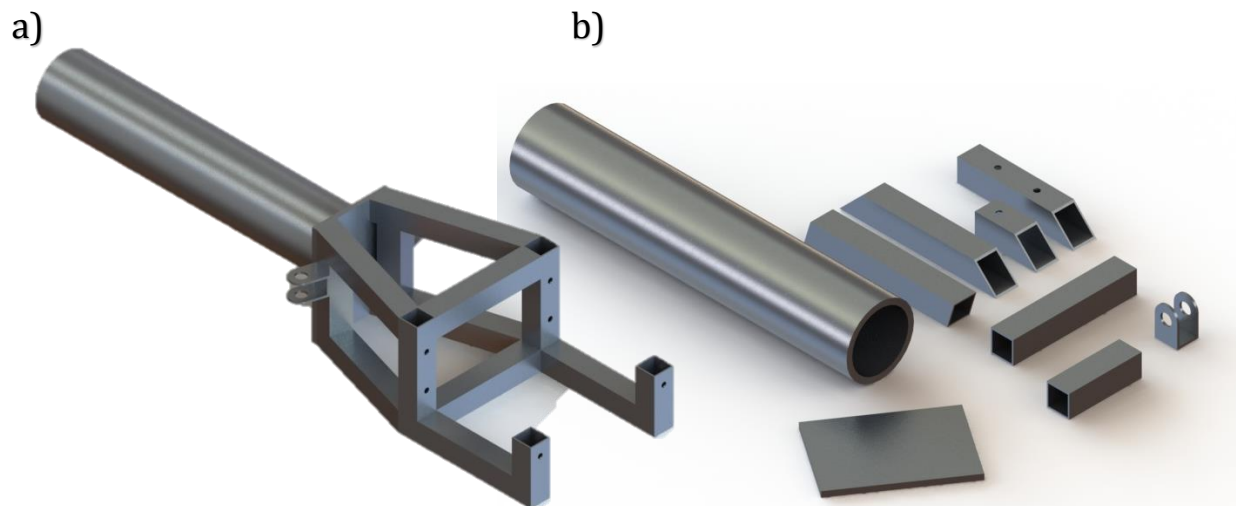
Figur 46: a) Verktøyets sentermodul. b) Komponentene den består av.



Figur 47: a) Modul 1 - Høyre, b) Komponentene den består av.

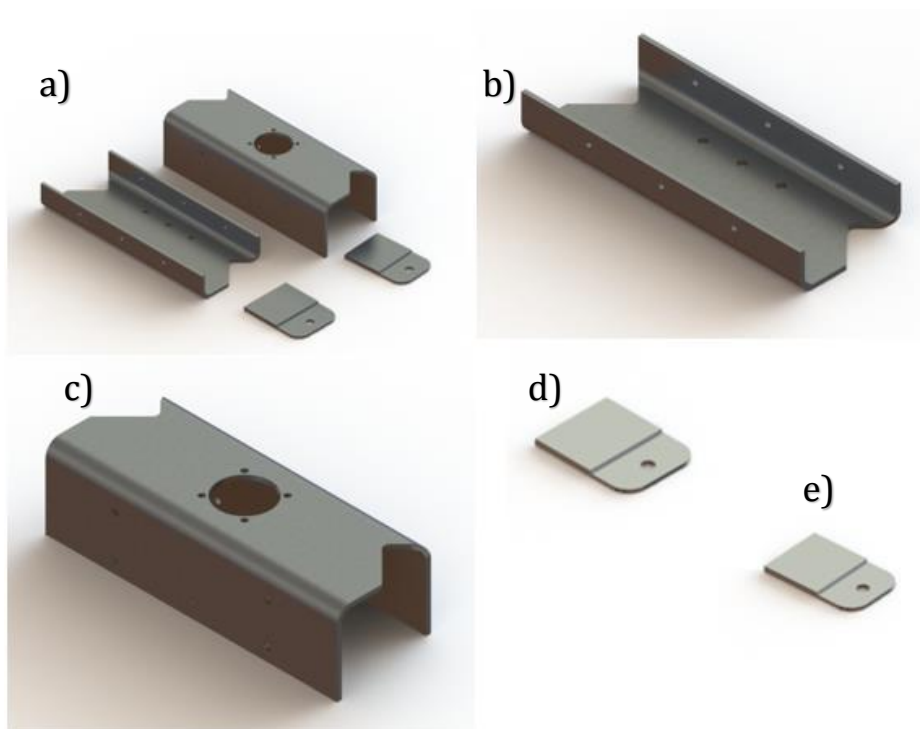


Figur 48: a) Modul 2 - Høyre, b) Komponentene den består av.

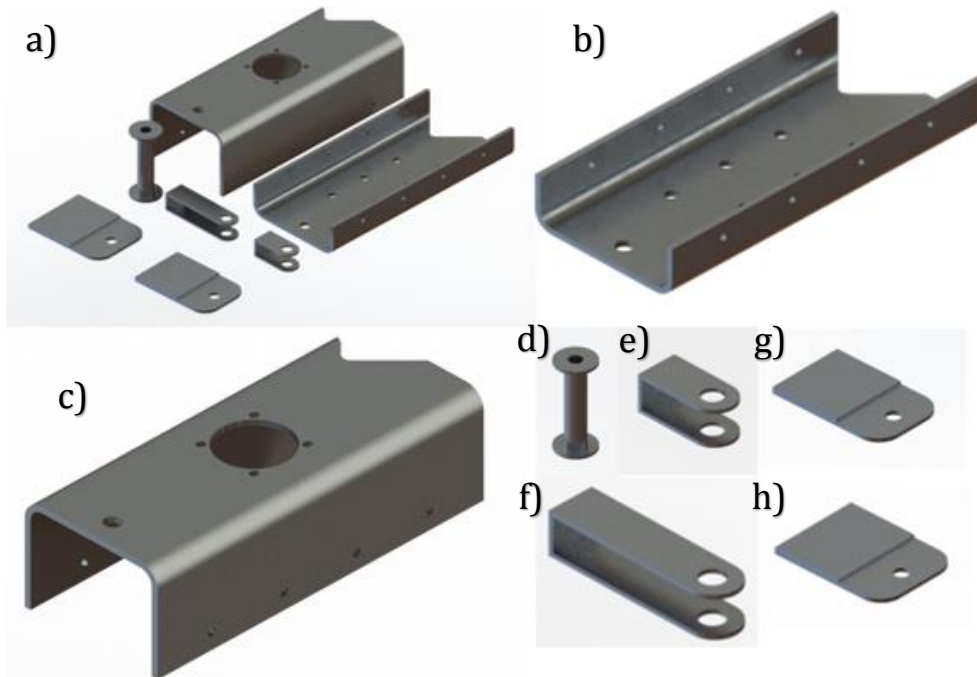


Figur 49: a) Verktøyets opphengsmul. b) Komponentene den består av

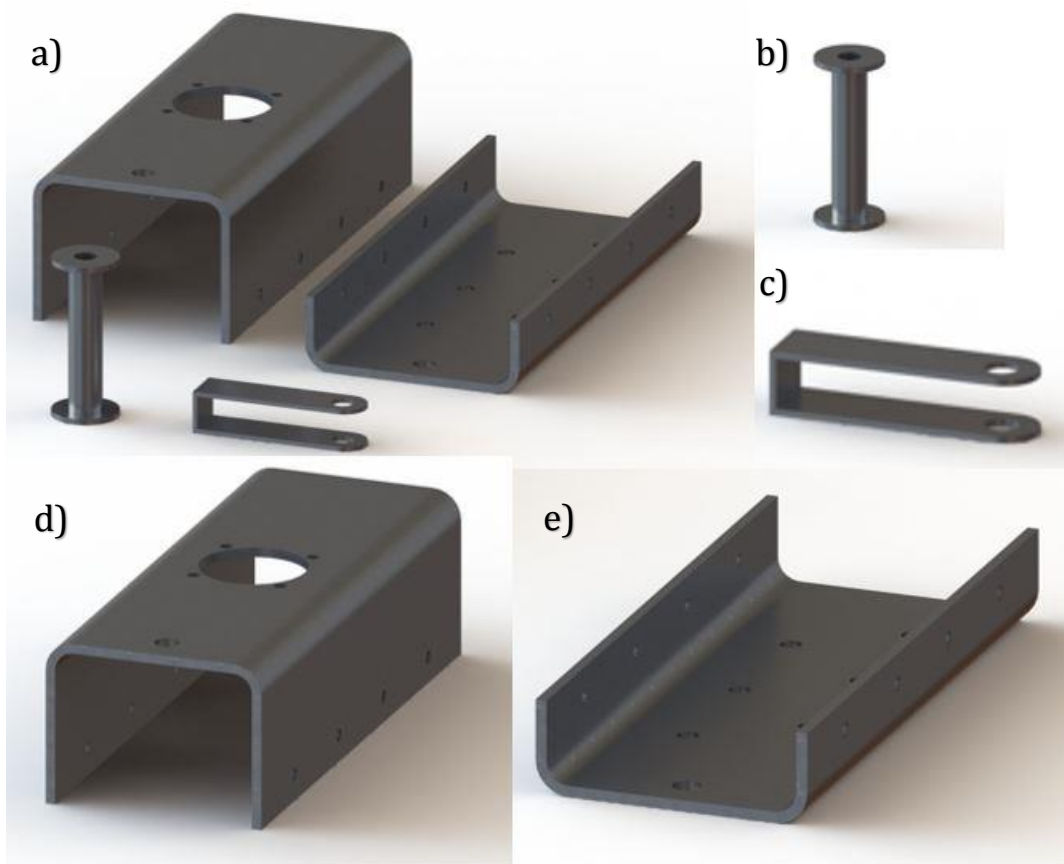
11.3 Design av komponenter



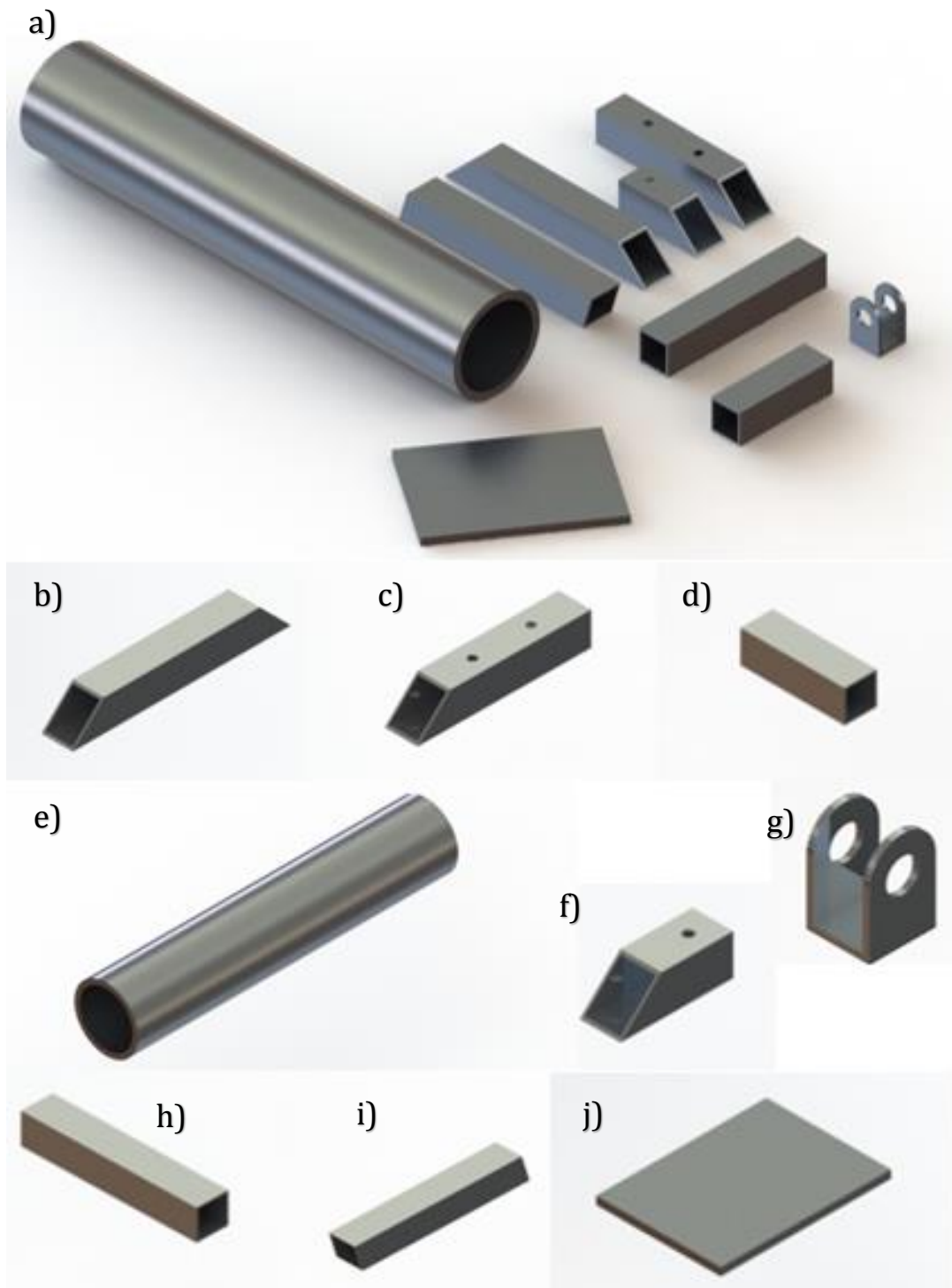
Figur 50: a) Komponenter for sentermodulen. b) Perforert bunndeksel. c) Øvre profil. d) Nedre hengselsbrakett. e) Øvre hengselsbrakett.



Figur 51: Komponenter for Modul 1 - Høyre. b) Perforert bunndeksel. c) Øvre profil. d) Leddavstiver e) Brakett for hydraulisk sylinder til Modul 2 - Høyre. f) Brakett for hydraulisk sylinder til verktøysoppheng. g) Øvre hengselsbrakett. h) Nedre hengselsbrakett.



Figur 52: a) Komponenter for Modul 2 - Høyre. b) Leddavstiver. c) Brakett for hydraulisk sylinder til Modul 1 - Høyre. d) Øvre profil. e) Perforert bunndeksel.



Figur 53: a) Komponenter for verktøysoppheng. b) Firkantprofil, kappet med motstående 45° vinkel i hver ende. c) Firkantprofil med 45° vinkel. d) Firkantprofil. e) Aksel Ø120mm. f) Firkantprofil med 45° vinkel. g) Brakett for hydraulisk sylinder mot nærmeste modul. h) Firkantprofil. i) Firkantprofil med 16,7° vinkel i hver ende. j) Plate, 10 mm tykk.

11.4 Modularisering og standardkomponenter



Figur 54: a) Bolter, skiver og muttere [34]. b) Nylon/plastikkhylser [35]. c) Børste fra Lateral [30]. d) Oppdriftskomponenter i syntaktisk skum [48]. e) Hydrauliske slanger [46]. f) Sylindere fra ServiGroup [47].

12. HYDRAULIKKUTRUSTNING

Verktøyet har tre funksjoner som krever tilførsel av kraft: drift av børstene, mulighet for endring av vinkel mellom armene og rotasjon av hele verktøyet om ROV-ens y-akse. For å styre disse funksjonene benyttes ROV-ens hydrauliske system. Constructor-utgaven til Kystdesign AS har to komplette og separate hydraulikksystemer. Det ene benyttes utelukkende til fremdrift av ROV-en og det andre er for tilkobling av annet utstyr.

12.1 ROV-ens hydraulikksystem

Av ROV-ens to systemer er det det såkalte støttesystemet, heretter kalt aux-system etter «auxiliary system», som benyttes til kontroll av verktøyets funksjoner. Aux-systemet driftes av en pumpe fra Parker Hannfin. Ut over pumpen er det to enheter i dette systemet som er helt sentrale for styringen av verktøyet. Disse to er kontrollenheten «ACU», Auxiliary Control Unit, og ventilpakkene GFVP 1 og 2, General Function Valvepacks. Hovedkomponentene i aux-systemet forklares nærmere under.

Auxiliary Pump

Pumpen er som nevnt produsert av Parker Hannfinn. Dette er en aksialstempelmaskin [5], av typen skråskivet, med variabelt fortrenningsvolum. Selv om motoren har den nevnte utformingen er fortrenningsvolum på 92 cc/rev bestemt av produsenten. Pumpen har et arbeidstrykk på 200 bar og leverer en volumstrøm på 160 liter per minutt.

Auxiliary Control Unit – ACU

Kontrollenheten, ACU, er som hjertet av systemet å regne. ACU-en er en hydraulisk manifold som med egne sensorer og ventiler kontrollerer og overvåker blant annet trykket mot GFVP 1 og 2. ACU-en er også utstyrt med nødvendige ventiler og sensorer til å styre pumpen og overvåke statusen til aux-systemet. Det sitter også en tredje ventilpakke på denne enheten. Den har fire bidireksjonale ventiler. Disse fire ventilene har en kapasitet på opptil 90 liter per minutt ved et trykk på 200 bar. Disse fire ventilene er tiltenk å drifte børstene montert på verktøyet.

General Function Valvepack – GFVP

Det finnes to av disse enhetene i Constructorens aux-system. Ventilpakken, GFVP, består av ti 4/3 NG3 proporsjonale retningsventiler. Disse har en kapasitet på 8 liter per minutt hver. Den ene av disse ventilpakkene er som oftest tiltenkt en manipulator og kan også benyttes til styring av kamera- og lysretning i front. Ved bruk av dette verktøyet vil det være nødvendig å demontere eller koble fra den ene manipulatoren slik at ventilpakkens porter kan benyttes til å styre verktøyets sylindre. Det benyttes nemlig sylindre for å endre vinkelen mellom armene på verktøyet.

Disse monteres i bakkant av konstruksjonen. Plasseringene er strategisk med hensyn til at riggen skal kunne roteres om y-aksen og at sylindrene ikke skal komme til skade ved en kollisjon med jacketen som vaskes.

Reservoar

Det finnes to reservoarer i ROV-en; et til hvert system. Disse to er identiske og rommer 16 liter hydraulikkvæske med et aktivt volum på 15,8 liter. Disse reservoarene er produsert av Kystdesign AS selv og kompensere selv for trykkendringer og oljevolum ved hjelp av et fjærbelastet stempel.

Dette er hovedkomponentene av ROV-ens eget hydraulikksystem. De gir muligheter for tilkobling av eget utstyr og full kontroll fra kontrollsenteret som befinner seg på land eller om bord på fartøy. Ut over dette er det en del vesentlig utstyr og komponenter som trengs for å drifte verktøyet og som vil bli en del av verktøyets egen hydraulikk.

Hydraulikkvæske

Hydraulikkvæsken i dette systemet er av typen Tellus S3M22, utviklet av Shell.

12.2 Verktøyets hydraulikksystem

Hydraulisk Sylinder

Det er valgt å bruke hydrauliske sylindere fra Servi Group AS. Avdelingen i Servi Group AS som lager disse sylindrene het tidligere Servi Cylinderservice AS og har produsert sylindere siden 1956. Sylinderen som er valgt til dette prosjektet er av typen CD25 og ved hjelp av deres egen tegnegenerator er det blitt tilpasset to sylindere som passer det formålet de er tiltenkt på en god måte. Det bestilles to av hver da det trengs en av hver sylinder til begge sider av verktøyet. Sylinderen har et maksimalt arbeidstrykk på 250 bar og en maksimal utvidelseshastighet på 0,5 m/s. Det er gjort beregninger og kommet frem til at Servi CD25 med minste innerdiameter, Ø32, er tilstrekkelig med tanke på nødvendig kraft og utvidelseshastighet. Beregningene er gjort for å sikre maksimal utvidelseshastighet med bakgrunn i tilgjengelig volumstrøm og utvidelseshastigheten kan derfor senkes, men ikke økes over ønsket hastighet på 0,15 m/s. Hydraulikkslangene festes til sylinderen med 1/4" gjenger. Det er sfæriske lagre i begge ender for montering til verktøyet. Fra katalogen leses det at overflaten til stangen kan behandles med en nikkel/krom-legering for økt motstand mot korrosjon samt at sylinderrøret kan produseres i rustfritt stål(1.441B). Det skiftes også pakninger i forhold til hvilket medium som benyttes i kretsen. I dette tilfellet er det en askeløs mineralolje og pakning velges deretter. Servi legger selv vekt på at deres produkter er egnet til subsea-operasjoner og vil derfor kunne tilpasse sylindrene ut over det som her er nevnt dersom for eksempel et bedre egnet materiale viser seg å være nødvendig.

Rør og slanger

Det er i utgangspunktet fire faktorer som spiller inn ved valg av rør eller slange: relativ bevegelse, hydraulisk stivhet, lydtransmisjon og kostnad. Da dette er et hydraulisk system ment for bruk under vann vil lydtransmisjon være den minst innvirkende faktoren. I et hydraulisk anlegg benyttes det i hovedsak to typer ledninger; sømløse presisjonsstålrør og armerte gummislanger. Disse to benyttes der forskjellige faktorer spiller inn.

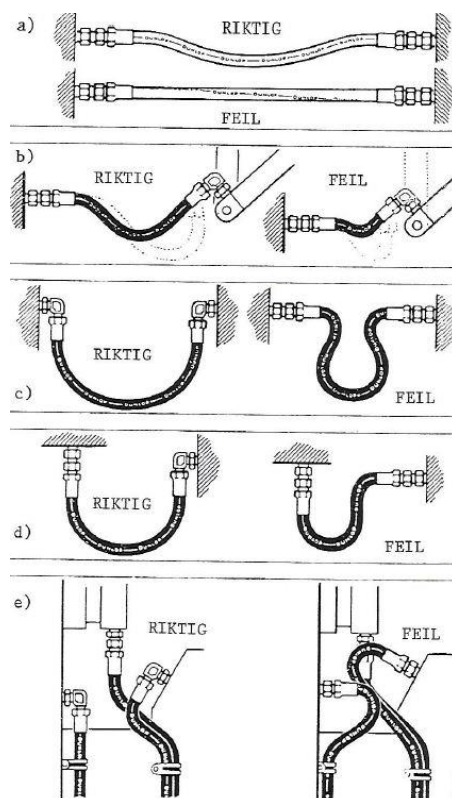
Armerte gummislanger

Der det er fare for eller planlagt relativ bevegelse benyttes utelukkende armerte gummislanger. Disse koster mer enn stålrør, men er av natur fleksible. Det er imidlertid tre svært viktige punkter som må overholdes for å sikre god livslengde:

- Slangekoplinger skal være forskriftsmessig montert.
- Slangene bør ikke monteres vridd eller ha krappere bøyer enn anbefalt.
- Slangene bør ikke utsettes for ytre mekaniske påkjenninger.

Det er normen SAE 100 R som oftest brukes til klassifisering av høytrykkslanger. Det skilles også mellom belastningstilfellene statisk og dynamisk. For statisk belastning, slik alle tilfeller er i denne oppgaven, er et tillatt arbeidstrykk på 35% av sprengningstrykket. Ved dynamisk belastning gjelder 25% av tillatt sprengningstrykk. Figur 55 viser anbefalt tilkobling av slanger i flere situasjoner.

Det er benyttet armerte gummislanger der verktøyet er leddet, samt fra verktøy til ROV.



Figur 55: Anbefalte tilkoblinger av hydrauliske slanger[5]

Stålrør

I systemer som ikke blir utsatt for relativ bevegelse benyttes det nesten utelukkende sømløse presisjonsrør og for aktuell bruk i rustfritt stål. Disse benyttes også der hydraulisk stivhet er nødvendig. Dette skyldes rørenes lave elastisitet og at de derfor ikke er kompressible på samme måten som slanger. Der en gummislange på et punkt vil få økt volum grunnet trykk og igjen senke kompressibiliteten i systemet vil stålrørene være nærmest uforandret i tverrsnittsareal. Det er begrenset hvor stor posisjonsnøyaktigheten er i dette systemet, men det er klart at jo bedre nøyaktighet, dess bedre. Det vil derfor benyttes sømløse presisjonsstålrør inne i arm-profilene.

Hydraulikksystemet som helhet

Ved å benytte komponentene som er nevnt over, samt koplinger og fittings vil et hydraulisk system kobles opp mot ROV-ens eget interne system.

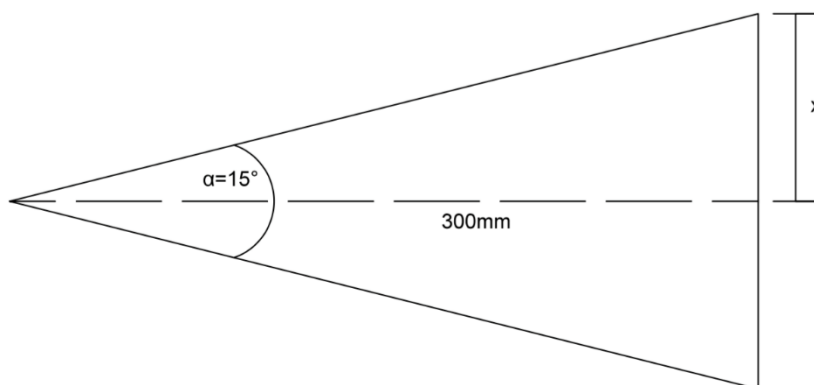
Det er viktig at de hydrauliske motorene som tilhører LateraLs FlexiClean drives med samme hastighet og da spesielt ved høyere hastigheter. Dette gjelder spesielt fordi de overlapper hverandre og det er avgjørende i forhold til slitasje at de ikke treffer hverandre mer enn nødvendig. En løsning kan være å montere en volumstrømsregulator før motorene som kan stilles til for eksempel 45 l/min. Denne styres av drensporten som vil begrense hastigheten ved et gitt trykk. Ut over dette vil motorene koples slik at annenhver motor roterer samme veien. Dette er eneste måten å få overlappet bladene uten å implementere høydeforskjell. Der det benyttes armerte gummislanger er det viktig å montere disse etter anvisningene referert til tidligere, samt sikre at de ikke kommer i kontakt med hverandre da det over tid kan slite hull.

13. BEREGNINGER OG ANALYSER

13.1 Vaskebredde og antall dyser nødvendig

Ønsket minimumsavstand fra dyse til struktur for effektiv fjerning av MG settes til 300 millimeter. Dette gjøres da ROV-en, til tross for at den er meget sterk og stabil under vann, mest sannsynlig vil trenge et område den kan bevege seg innenfor da den vil påvirkes av blant annet væsketrykket fra verktøyet og undervannsstrømninger.

Da AFs erfaringer fra tidligere prosjekter onshore viser at den mest effektive dyseutformingen er en dyse med flat åpning og maksimalt 15 graders spredning er det ingen grunn til å anta at en dyse med større spredning enn dette vil være effektivt under vann. Setter derfor ønsket dysespredning til 15 grader.



$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\text{motstående katet}(x)}{\text{hosliggende katet}(300 \text{ mm})} \Rightarrow \text{motstående} = \tan \frac{15^\circ}{2} \times 300 \text{ mm} = 39,5 \text{ mm}$$

Total rensbredde blir da:

$$\text{motstående} \times 2 = 39,5 \text{ mm} \times 2 = 79 \text{ mm}$$

Antall dyser:

$$\frac{1500 \text{ mm}}{79 \text{ mm}} = 19 \text{ dyser}$$

Ved en antatt verst tenkelig situasjon vil den største effektive avstanden dysene til vaskeflaten være på 100 millimeter. I dette tilfelle vil det være behov for hele 57 dyser. For å undersøke om effekten av tilført luft vil være såpass stor at det vil være mulig å rengjøre strukturen fra 300 millimeters avstand er det gjort et forsøk på dette. (Kap. 9)

13.2 Dimensjonering av arm med hensyn på platetykkelse og profilvalg

Valgt materiale er Aluminium 5083-H116. Materialeegenskapene er hentet fra matweb [36]

Flytegrense $R_e=215$ MPa,

Strekfasthet $R_m=305$ MPa

Elastisitetsmodul $E=7,0$ E4 MPa

Skjærmodul $G=2,64$ E4

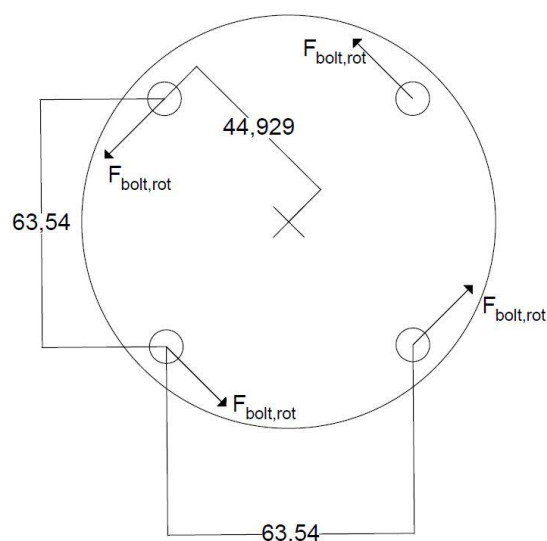
$$\sigma_{till} = \frac{R_m}{n_s} = \frac{305 \text{ MPa}}{4} = 76,25 \text{ MPa} \quad (6-1)$$

$$\tau_{till} = 0.6 \times \sigma_{till} = 45,75 \text{ MPa} \quad (6-2)$$

$$p_{till} \leq R_e = 215 \text{ MPa} \quad (6-3)$$

13.2.1 Rotasjonskrefter fra hydraulisk motor

Den hydrauliske motoren er festet til armene ved hjelp av fire bolter. Da armen er laget av aluminiumsplater med en gitt tykkelse er det gjort en forenklet beregning for å se hvor tykk den bør være. Først er det regnet på hvor tykk platen bør være dersom børste kiler seg fast i den marine begroingen. Dette er verst tenkelig tilfelle da motorens moment blir overført direkte i platen og de fire boltene. Bolter og plate blir da utsatt for vridningskrefter og skjærkrefter. Figuren under viser hvordan det er tenkt at kreftene virker på platen. Kraften F er omregnet fra motorens moment og armen ut til boltene; 44,93 mm.



Figur 56: Dimensjon på motorfeste med moment-arm

Slik motorfestet blir belastet av roterende bevegelse vil ikke utrivning av grunnmateriale være en umiddelbar trussel da kreftene fra rotasjonen er rettet tangentielt med hullet. Samtidig er det nok gods på motstående bolt til å stoppe den eventuelle bevegelsen innover som ville påført utrivning. Så lenge hullkanttrykket er innenfor strekkfastheten er dette festet ok.

Det er kjent fra Lateral AS, produsenten av Flexiclean, at motoren deres har et fortrenningsvolum og trykkfall på

$$V_M = 79,2 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

$$\Delta p = 140 \text{ bar}$$

Det som derimot ikke er oppgitt er den mekanisk-hydrauliske virkningsgraden. Det er derfor tatt en avgjørelse om å gå ut ifra en forholdsvis høy virkningsgrad som kan dokumenteres da det gir verst tenkelig tilfelle for motorfestet. Virkningsgraden er hentet fra en hydraulisk pumpe fra Nessie, Danfoss [37]. Denne har en mekanisk-hydraulisk virkningsgrad på $\eta_{Mmh} = 0,95$

Motorens moment

$$T_M = \eta_{Mmh} \frac{V_M \times \Delta p_M}{2\pi \times 10} = 0,95 \frac{79,2 \text{ cm}^3/\text{rev} \times 140 \text{ bar}}{2\pi \times 10} = 467,647 \text{ Nm} \quad (6-4)$$

Formlene for å kontrollere hulldeformasjonen er hentet fra kompendiet «Skrueforbindelser Repetisjon», Geir Terjesen 2015 [38]

Omgreget til krefter, V_1 , som virker på hver bolt

$$T_M = F_{bolt,rot} \times r \Rightarrow F_{bolt,rot} = \frac{T_M}{r \times n_b} = \frac{467,647 \text{ Nm}}{0,04493 \text{ m} \times 4} = 2602,09 \text{ N} \quad (6-5)$$

Diameteren på hullene til boltene er laget av Lateral AS og det går derfor ut ifra at en bolt diameter på 10 mm er tilstrekkelig med hensyn på skjærkrefter i bolten. Det gjøres allikevel en forenklet utregning:

$$\tau_{till,bolt} = \frac{F_{bolt,rot}}{A} \Rightarrow d_0 = \sqrt{\frac{4 \times F_{bolt,rot}}{\pi \times \tau_{till,bolt}}} = \sqrt{\frac{4 \times 2602,09 \text{ N}}{\pi \times 75 \text{ MPa}}} = 6,64 \text{ mm} \quad (6-6)$$

Det er derfor ingen fare for avrivning i bolten. Som nevnt tidligere er altså den største utfordringen deformasjon av hullet. Det er derfor viktig at hullkanttrykket ikke overskrider σ_{till} .

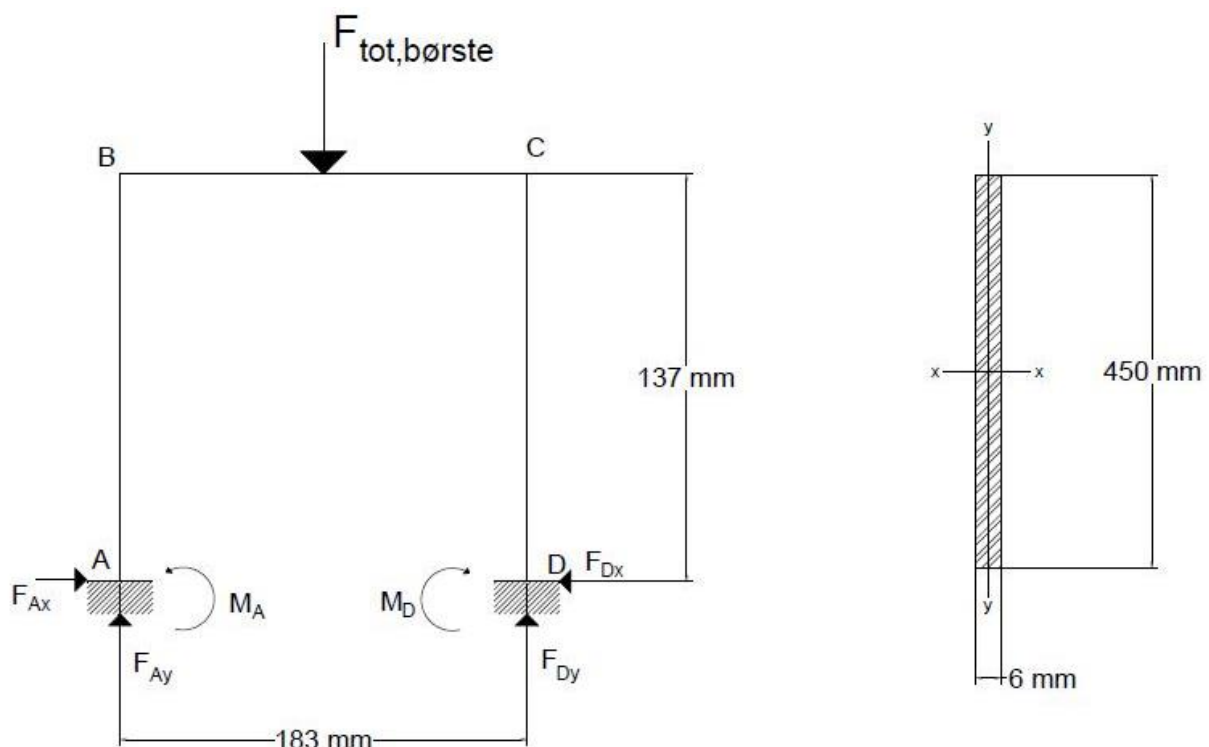
$$p_h = \frac{F_{bolt,rot}}{d_0 \times t} = \frac{2602,09 N}{10 mm \times 6 mm} = 43,37 MPa \quad (6- 7)$$

$$p_h \leq R_e \Rightarrow OK!$$

Det er dermed nok med en platetykkelse på 6 mm i dette belastningstilfellet, som er det verste av torsjonskrefter den kan utsettes for.

13.2.2 Nedbøyning og knekking av U-profil

Som det sees av figuren under kan profilet sees som fast innspent i både opplager A og D. Dette fordi den er boltet fast i et underliggende U-profil med høyde 30 mm. Dette profilet er ment både for å holde det viste profilet lukket, men også for å beskytte hydraulikken som ligger på innsiden. Det er derfor tenkt at det aktuelle U-profil skal kunne holde belastningen på egenhånd og det dimensjoneres deretter.



Figur 57: Øvre profil av verktøymodul, statisk ubestemt konstruksjon

$$I_y = \frac{H \times B^3}{12} = \frac{450 mm \times (6 mm)^3}{12} = 8100 mm^4 \quad (6- 8)$$

Det mest belastende tilfellet for profilet vil bli ved heisingen av ROV. Kraften F består derfor av to komponenter; vekten av komplett børste og væskemotstand.

$$G_{børste} = m_{børste} \times g = 15 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 147,15 \text{ N} \quad (6-9)$$

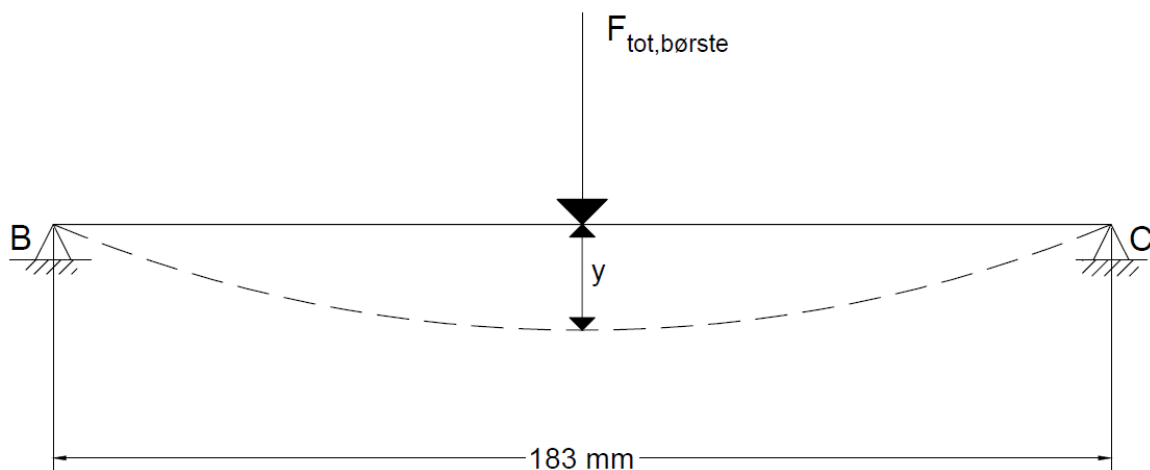
Formelen for væskemotstand når et objekt flyttes i en væske eller en væske strømmer forbi:

$$F_D = \frac{1}{2} \times C_D \times \rho \times A_D \times v^2 = \frac{1}{2} \times 1,05 \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times 0,0294 \text{ m}^2 \times (3 \text{ m/s})^2 \quad (6-10)$$

$$F_D = 142,388 \text{ N}$$

$$F_{tot,børste} = G_{børste} + F_D = 147,15 \text{ N} + 142,388 \text{ N} = 289,54 \text{ N} \quad (6-11)$$

Som det sees av figuren over er dette et statisk ubestemt tilfelle, men for enkelhets skyld er det gjort en rask utregning i forhold til nedbøyning av den overliggende platen. Et tverrsnitt av profilet er vist til høyre i figur 57 og viser profilet av platen langsgående med armen. Ved belastning av kraften F vil dette profilet bøyes om y-aksen.



Figur 58: Nedbøyning av U-profilets horisontale element

Fra Tekniske tabeller [4]:

$$y = \frac{F_{tot,børste}}{E \times I_y} \times \frac{l_1^3}{48} = \frac{289,54 \text{ N}}{7,0 \times 10^4 \text{ MPa} \times 8100 \text{ mm}^4} \times \frac{(183 \text{ mm})^3}{48} = 0,065 \text{ mm} \quad (6-12)$$

$$\alpha = \frac{F_{tot,børste} \times l_1^2}{16 \times E \times I_y} = \frac{289,54 \text{ N} \times (183 \text{ mm})^2}{16 \times 7,0 \times 10^4 \text{ MPa} \times 8100 \text{ mm}^4} = 1,07 \times 10^{-3} \text{ }^\circ \approx 0^\circ \quad (6-13)$$

Da det nesten ikke er nedbøyning i profilets øvre plate vil det også være minimale krefter som påvirker profilets «ben». Det er allikevel gjort en utregning med hensyn på knekking i disse.

13.2.3 Knekking av «søyle» AB

Annet arealmoment er det samme som tidligere, $I_y = 8100 \text{ mm}^4$

Kraften staven utsettes for,

$$F_{AB} = \frac{F_{tot, b\ddot{u}rste}}{2} = \frac{289,54 \text{ N}}{2} = 144,77 \text{ N} \quad (6-14)$$

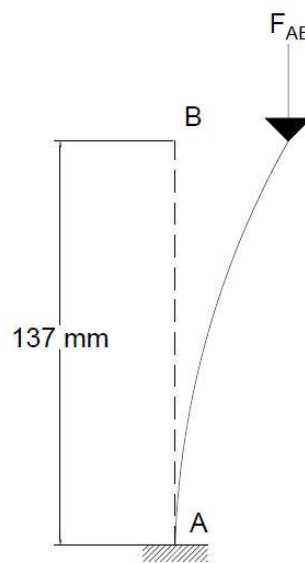
Sjekker slankhet, λ , på staven for å avgjøre om det er Tetmajers eller Eulers metode som gjelder.

$$\lambda = \frac{L_F}{i} \quad (6-15)$$

$$L_F = 2 \times l_2 = 2 \times 137 \text{ mm} = 274 \text{ mm} \quad (6-16)$$

$$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \sqrt{\frac{8100 \text{ mm}^4}{2700 \text{ mm}^2}} = 1,732 \text{ mm} \quad (6-17)$$

$$\lambda = \frac{274 \text{ mm}}{1,732 \text{ mm}} = 158,199$$



Figur 59: Knekking av U-profilets vertikale elementer

$\lambda = 158,199 > 105 \Rightarrow$ Eulers formler for tillatt belastning gjelder:

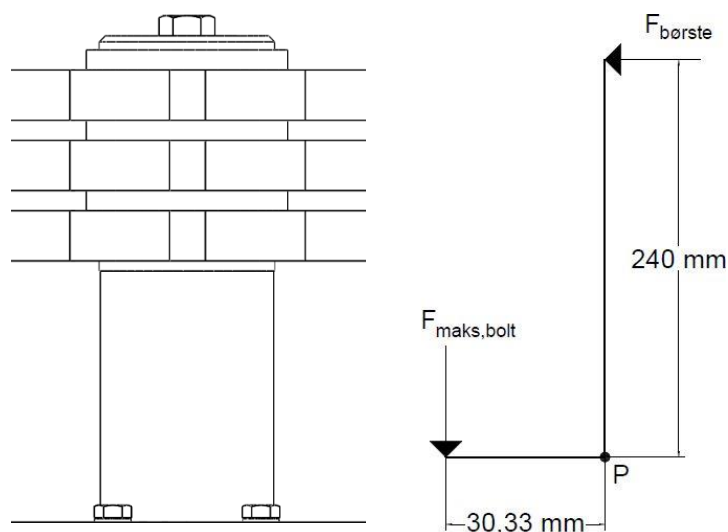
$$F_{k, till} = \frac{\pi^2}{4 \times n} \times \frac{E \times I_0}{l_2^2} = \frac{\pi^2}{4 \times 9} \times \frac{7,0 \times 10^4 \text{ MPa} \times 8100 \text{ mm}^4}{(137 \text{ mm})^2} = 8282,075 \text{ N} \quad (6-18)$$

Dette viser altså at valgt profil med platetykkelse 6 mm er godt innenfor de tillatte verdier ved et slikt belastningstilfelle.

13.2.4 Maksimal kraft børstene kan utsettes for med hensyn på skruehodene

Det vil ved belastning av børstene, enten ved bruk eller ved kollisjon, overføres krefter til skruene som fester den hydrauliske motoren. For å avgjøre hvor stor denne kraften kan være er det sett på hvor stor kraft skruehodet kan utsettes for før det blir deformasjon i platen. Det verste scenariet er en deformasjon så stor at bolten går igjennom.

Det er derfor laget en forenklet modell av dette tilfellet hvor én avstand går opp til toppen av børsten og den andre armen går fra senter av børsten og ut til to sidestilte bolter. Utregningen forutsetter at to bolter utsettes for strekk og at bolthodet presser mot underlaget. På motsatt side presses motorens gods mot platen og vil derfor skjerme de to motstående boltene mot tilsvarende krefter.



Figur 60: Belastningstilfelle på børsten

Figur 60 viser et utsnitt av børsten og dens motor, og en forenklet figur av lasttilfellet for.

Tillatt spenning for platen er som tidligere 76,25 MPa.

Areal under bolthode

$$A_{bolt} = 89,56 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{till} = \frac{F_{maks,bolt}}{2 \times A_{bolt}} \Rightarrow F_{maks,bolt} = \sigma_{till} \times (2 \times A_{bolt}) = 76,25 \text{ MPa} \times 2 \times 89,56 \text{ mm}^2 \quad (6-19)$$

$$\sigma_{till} = 13\,657,9 \text{ N}$$

$$M_P = F_{maks,bolt} \times l_b = 13\,657,9 \text{ N} \times 30,33 \text{ mm} = 414\,244,107 \text{ Nmm} \quad (6-20)$$

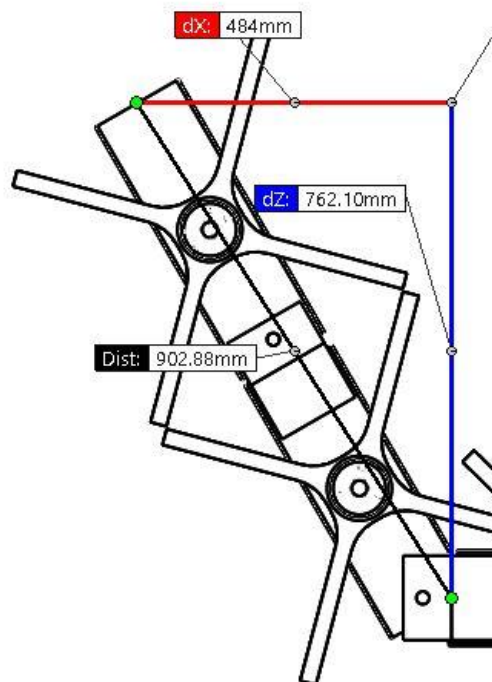
$$M_P = F_{børste} \times l \Rightarrow F_{børste} = \frac{M_P}{l} = \frac{414\,244,107 \text{ Nmm}}{242 \text{ mm}} = 1711,753 \text{ N} \quad (6-21)$$

ROV-en har en maksimal skyvekraft på 900 kN, hvilket er langt over det denne festemetoden tåler. Det er derfor viktig at kollisjoner med jacketen unngås.

13.2.5 Torsjon av valgt tverrsnittprofil

Den midtre delen av verktøyet vil utsettes for et vridemoment. Dette på grunn av tyngden av armene som vinkles rundt rørprofilene jacketen er konstruert av. Det vil derfor være nødvendig å beregne torsjonsspenninger i det valgte profilet. Som nevnt tidligere tas det utgangspunkt i at det øvre U-profilet skal holde hele belastningen. Det er benyttet en lengde på 250 mm ved utregning av torsjonsvinkel da dette er avstanden til midten av profilets fulle lengde, altså et tenkt nøytralpunkt.

Torsjonsmomentet armen utsettes for er ved verst tenkelig utstrekning av armene. Det vil si maksimal vinkel, 60 grader, ved innerste ledd. Da armen kan angis som en jevnt fordelt last gir dette en momentarm på 380 mm. Vekten av arm og børste gir en jevnt fordelt last på 40 kg/m. Da dette er en vekt uten sylindere og hydraulikkslanger legges det til ytterligere 20 kg/m.

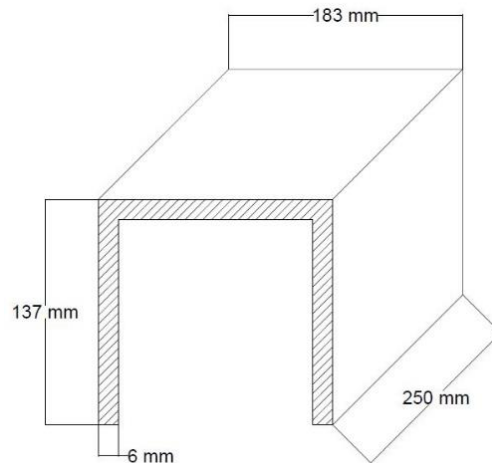


Figur 61: Mål på modul 1 og 2 for beregning av torsjon på sentermodul

$$M_t = F \times r = m \times l \times g \times \frac{l}{2} = 60 \text{ kg/m} \times 0,9 \text{ m} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \frac{0,76 \text{ m}}{2} \quad (6-22)$$

$$M_t = 201,3 \text{ Nm} = 201\,301 \text{ Nmm}$$

Formlene for å beregne torsjonen i profilet er hentet fra kompendiet «Torsjon og vipping», Geir Terjesen 2015 [39]



Figur 62: Målsatt tverrsnitt for torsjonsberegninger

Fra tabell, for åpent tverrsnitt satt sammen av flere plater:

$$I_t = \sum \left(\frac{b_i \times t_i^3}{3} \right) \quad (6-23)$$

$$I_t = 2 \times \left(\frac{177 \text{ mm} \times (6 \text{ mm})^3}{3} \right) + \left(\frac{134 \text{ mm} \times (6 \text{ mm})^3}{3} \right) = 35\,136 \text{ mm}^4$$

$$\theta_t = \frac{M_t \times l}{G \times I_t} = \frac{201\,301 \text{ Nmm} \times 250 \text{ mm}}{26\,400 \text{ MPa} \times 35\,136 \text{ mm}^4} = 0,0542 \text{ rad} = 3,11^\circ \quad (6-24)$$

Fra tabell, for åpne tverrsnitt sammensatt av flere deler:

$$\tau = \frac{M_t \times t_i}{\sum I_t} = \frac{201\,301 \text{ Nmm} \times 6 \text{ mm}}{35\,136 \text{ mm}^4} = 34,375 \text{ MPa} \quad (6-25)$$

Da $\tau < \tau_{till}$ er dette profilet OK!

13.3 Hydraulisk sylinder

Et objekt i bevegelse på land utsettes for en motvirkende luftmotstand. På samme måte vil et objekt i bevegelse under vann bli utsatt på væskemotstand. Og på samme måte som luftmotstanden øker væskemotstanden eksponentielt med hastigheten.

Formelen for motstandskraften fra et medium, eller «drag» er som vist under.

$$F_D = \frac{1}{2} \times \rho \times v^2 \times C_D \times A$$

Da det er oppgitt fra produsent at sylinderens maksimale utvideshastighet er 0,5 m/s overføres denne hastigheten til verktøyets arm. Slik det fremkommer av formelen trengs et arealtverrsnitt av objektet som skal flyttes.

Det regnes med det totale arealet av det som skal flyttes; altså fronten av begge armene.

$$\rho_{vann} = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0,5 \text{ m/s}$$

$$C_D = 1,05$$

$$A = 2 \times (B_m \times H_m) = 2 \times (0,4 \text{ m} \times 0,14 \text{ m}) = 0,112 \text{ m}^2 \quad (6-26)$$

$$F_D = \frac{1}{2} \times 1025 \text{ kg/m}^3 \times (0,5 \text{ m/s})^2 \times 1,05 \times 0,108 \text{ m}^2 = 14,53 \text{ N}$$

Sylinderen skal også ha kapasitet til å flytte tyngden av armen. Beregningen tar høyde for tørrvekt av armen slik at den også kan beveges under test av utstyr på land eller skip. Massen på 70 kg er et overslag da det på nåværende tidspunkt ikke er endelig bestemt i forhold til ruting av hydraulikken.

$$G = m \times g = 70 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 686,7 \text{ N} \quad (6-27)$$

Sylinderen må derfor dimensjoneres for å flytte en kraft på minst 686,7 N.

Fra Servi AS' produktkatalog velges det en sylindre med innerdiameter $d_1=32$ mm. Med bakgrunn i dette og en volumstrøm på 8 l/min finnes hastigheten sylinderen maksimalt kan utvide seg med:

$$Q = 0,06 \frac{A_1 \times v_S}{\eta_{sv}} \Rightarrow v_S = \frac{Q \times \eta_{sv}}{0,06 \times A_1} \quad (6-28)$$

$\eta_{sv} = 0,99$, dette er en konstant som gjelder for gode stempelsylindere

$$A_1 = \pi \times r^2 = \pi \times (16 \text{ mm})^2 = 804,248 \text{ mm}^2 \quad (6-29)$$

$$Q = 8 \text{ l/min}$$

$$v_S = \frac{Q \times \eta_{sv}}{0,06 \times A_1} = \frac{8 \text{ l/min} \times 0,99}{0,06 \times 804,248 \text{ mm}^2} = 0,164 \text{ m/s}$$

Da det er gitt fra produsent at maksimal tillatt hastighet er på 0,5 m/s er dette arealet ok, selv ved maks volumstrøm.

Med et arbeidstrykk i det hydrauliske systemet på 200 bar gjøres det også en enkel beregning i forhold til om sylinderen er sterk nok til å flytte 686,7 N:

$$F_{sylinder} = p_{arb} \times A_1 = 20 \text{ N/mm}^2 \times 804,25 = 16\,085 \text{ N} \quad (6-30)$$

Sylinderen med $d_1=32$ mm har kapasitet til å flytte på armen.

13.4 Oppdrift for likevekt av verktøyet

For at ROV-en skal kunne manøvreres så presist som mulig er den i en naturlig tilstand av likevekt. Dette gjøres ved at den har elementer som består av materiale med mindre tetthet enn vann, f.eks. ved bruk av syntaktisk skum. Dette lar ROV-en holde en fast posisjon i vannet uten å benytte thrusterne til annet en finjustering og endring av posisjon. Dette er et viktig element ved utvikling av et så stort verktøy som MGR er. Det beregnes derfor hvor stort volum med syntaktisk skum som trengs for å holde verktøyet i likevekt under vann. Det tas først utgangspunkt i de fire leddene som er antatt å veie 40 kg hver.

13.4.1 Modul 1-4

$$m_{\text{modul1-4}} = 27 \text{ kg}$$

$$V_{\text{modul1-4}} = 0,00642 \text{ m}^3$$

Regner først vekten av de modulære leddene når de er nedsenket i vann. Massen $m_{\text{modul1-4}}$ er summen av modulens egenvekt, et oppdriftselement og hydraulisk utstyr med en antatt vekt på 3 kg. Den totale kraften F som virker på armen er summen av tyngden til armen og oppdriften den blir utsatt for

$$F_{\text{modul1-4}} = G_{\text{modul1-4}} + F_B \quad (6-31)$$

$$G_{\text{modul1-4}} = m_{\text{modul1-4}} \times g = 27 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 264,87 \text{ N} \quad (6-32)$$

$$F_B = -\rho_{\text{vann}} \times V_{\text{modul1-4}} \times g = -1025 \text{ kg/m}^3 \times 0,00642 \text{ m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 64,55 \text{ N} \quad (6-33)$$

$$F_{\text{modul1-4}} = G_{\text{modul1-4}} + F_B = 264,87 \text{ N} - 64,55 \text{ N} = 200,32 \text{ N}$$

Dette er tyngden av det ene leddet under vann og må kompenseres av et flyteelement. Oppdriften av et legeme er tilsvarende massen av væsken som fortrenses og dette er i direkte sammenheng med volumet. Det må tas hensyn til at tyngden av det syntaktiske skummet også skal kompenseres for, formelen for nødvendig volum på flyteelement blir derfor

$$F_{\text{modul1-4}} + (\rho_{\text{synt.skum}} \times V_{\text{flyter}} \times g) = \rho_{\text{vann}} \times V_{\text{flyter}} \times g \quad (6-34)$$

$$\Downarrow$$

$$V_{\text{flyter}} = \frac{F_{\text{modul1-4}}}{g \times (\rho_{\text{vann}} - \rho_{\text{synt.skum}})} = \frac{200,32 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2 \times (1025 - 420) \text{ kg/m}^3} = 0,0337 \text{ m}^3$$

13.4.2 Sentermodul

$$m_{\text{sentermodul}} = 30 \text{ kg}$$

$$V_{\text{sentermodul}} = 0,0071 \text{ m}^3$$

På tilsvarende vis som ved modulene 1 til 4 regnes massen av sentermodulen med bakgrunn i egenvekt av de strukturelle komponentene samt et tillegg på 6 kg for vekt av oppdriftselement og hydraulisk utstyr, da dette ikke er helt avklart.

$$F_{\text{sentermodul}} = G_{\text{sentermodul}} + F_B \quad (6-35)$$

$$G_{\text{sentermodul}} = m_{\text{sentermodul}} \times g = 30 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 294,3 \text{ N} \quad (6-36)$$

$$F_B = -\rho_{\text{vann}} \times V_{\text{sentermodul}} \times g = -1025 \text{ kg/m}^3 \times 0,0071 \text{ m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 71,39 \text{ N} \quad (6-37)$$

$$F_{\text{modul1-4}} = G_{\text{modul1-4}} + F_B = 294,3 \text{ N} - 71,39 \text{ N} = 222,91 \text{ N}$$

Denne tyngden må oppheves ved hjelp av tilsvarende oppdrift. Som tidligere regnes nødvendig volum ved bruk av syntaktisk skum som oppdriftselement.

$$V_{\text{flyter}} = \frac{F_{\text{sentermodul}}}{g \times (\rho_{\text{vann}} - \rho_{\text{synt.skum}})} = \frac{222,91 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2 \times (1025 - 420) \text{ kg/m}^3} = 0,0375 \text{ m}^3$$

13.4.3 Oppheng for sentermodul

$$m_{\text{oppheng}} = 3,60 \text{ kg}$$

$$V_{\text{oppheng}} = 0,00135 \text{ m}^3$$

$$F_{\text{oppheng}} = G_{\text{oppheng}} + F_B \quad (6-38)$$

$$G_{\text{oppheng}} = m_{\text{oppheng}} \times g = 3,60 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 35,316 \text{ N} \quad (6-39)$$

$$F_B = -\rho_{\text{vann}} \times V_{\text{oppheng}} \times g = -1025 \text{ kg/m}^3 \times 0,00135 \text{ m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 13,57 \text{ N} \quad (6-40)$$

$$F_{\text{oppheng}} = G_{\text{oppheng}} + F_B = 35,316 \text{ N} - 13,57 \text{ N} = 21,746 \text{ N}$$

$$V_{\text{flyter}} = \frac{F_{\text{oppheng}}}{g \times (\rho_{\text{vann}} - \rho_{\text{synt.skum}})} = \frac{21,746 \text{ N}}{9,81 \text{ m/s}^2 \times (1025 - 420) \text{ kg/m}^3} = 3,66 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

13.5 Teoretisk rengjøringstid ved bruk av verktøy

I kapittel 4.5.3 ble det klart at det totale overflatearealet på Murchison-plattformen som må renses for marin begroing er på drøyt 34 000 kvadratmeter. Med en minste rensbredde på 0,9 meter (tre børster med en effektiv rensflate på 30 centimeter hver) og en tenkt minste hastighet på 1m/min vil verktøyet kunne rengjøre 54 kvadratmeter i timen. Sett at verktøyet klarer å rengjøre 90% av jacketen og driftstiden kun er 22 timer per døgn, vil verktøyet teoretisk sett kunne utføre denne jobben på i underkant av 26 døgn.

13.6 Analyser

Resultatene fra beregningene viser at det skal holde fint med en veggtykkelse på 6 millimeter på rammen, men da det er muligheter for at ROV-en kan bli tatt av sterke strømninger under vann, og det ikke er designet en sikkerhetsanordning for å sørge for å alltid holde en viss avstand mellom verktøyet og jacketen, ble det bestemt å øke veggtykkelsen til 8 millimeter. Dette ble også gjort da rammen ikke fremsto som spesielt solid i 3D-modellen med 6 millimeters veggtykkelse.

På grunn av dette valget er FEM-analysene gjort med en veggtykkelse på 8 millimeter, og resultatene vil derfor ikke stemme overens med håndberegningene. Analysene er en del av oppgavens begrensninger og er meget forenklede. Det er kun sett på hele modellen eller større komponenter for å kartlegge hvor de største spenningskonsentrasjonene oppstår, for deretter å kunne optimalisere komponentene dersom det skulle vise seg å være nødvendig. Resultatene bekrefter håndberegningene i den grad at de avleste spenningsstoppene er lavere enn håndberegningene. Da disse analysene er såpass generelle er det valgt å kun legge ved spenning- og deformasjonsplotene til som vedlegg.

14. ROBUSTHET, VEDLIKEHOLD OG RESIRKULERING

14.1 Materialelegenskaper, materialvalg og overflatebehandling

I delkapittel 7.5 ble det diskutert viktige materialelegenskaper ved forskjellige komponenter av verktøyet.

Her vil det bli sett nærmere på forskjellige materialer og deres egenskaper, før det til slutt vil bli klart hvilket materiale de forskjellige komponentene skal utformes i.

De kjemiske sammensettingene som presenteres i tabell 34 og 36 er tilnærmede verdier. Disse varierer noe fra produksjon til produksjon.

Ramme

For rammen er det, som nevnt, spesielt viktig at materialet har høy korrosjonsbestandighet og forholdsvis høy egenstyrke. Det er funnet fire forskjellige rustfrie stål som oppfyller disse ønskene til forskjellig grad. Da vekt også er en faktor det bør tas hensyn til vil disse stålene, i tillegg til å sammenliknes seg imellom, sammenliknes med aluminium.

AISI 316 Stål (316 og 316L)[40]

300-serien inneholder flere typer ulike rustfrie stål, men felles for alle ståltypene er at de inneholder tilnærmet like store mengder nikkel, jern og krom. 316L rustfritt stål er en lav-karbon type 316 rustfritt stål der 316L inneholder molybden som forbedrer stålets korrosjonsbestandighet. 316L er en av de mest brukte ståltypene for ROV verktøy i dag.

6 Mo stål (UNS S31254)[41]

Dette er et austenittisk stål utviklet for bruk i sjøvann og andre høy-kloride miljøer. Stålet byr på god motstand mot spalt- og gropkorrosjon i miljøer med halogener og anses som et kostnadseffektivt alternativ til nikkel- og titanlegeringer i slike miljøer.

25 krom stål (UNS S32760)[42]

Dette stålet kombinerer god styrke med formbarhet og høy korrosjonsbestandighet i sjøvann og andre kloridholdige miljøer. 25 krom stål er et super duplex stål som igjen er en del av duplex familien. Duplex stål har en mikrostruktur bestående av både austenittiske og ferrittiske krystaller. Super duplex stål kjennetegnes blant annet ved at de inneholder en høyere andel krom enn duplex stål, som regel rundt 25%.

Tabell 34: Materialelegenskaper for rustfrie stål [43]

Materialelegenskaper			
Stål	Strekkfasthet Rm (MPa)	Flytegrense Rp (MPa)	Massetetthet (kg/m ³)
316	510	220	8000
316L	500	200	8000
6 Mo	655	305	8000
25 Krom	750	550	7700

Tabell 35: Kjemisk sammensetting for rustfrie stål [41][42][44]

Kjemisk sammensetting											
Ståltype	Vekt (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	W	N
316	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	18,0	14,0	3,0	-	-	-
316L	0,35	1,0	2,0	0,045	0,03	18,0	15,0	3,0	-	-	-
6 Mo	0,02	0,7	1,0	0,03	0,01	20,5	18,5	7,0	1,0	-	0,25
25 Krom	0,03	1,0	1,0	0,03	0,01	25,0	8,0	4,0	1,0	1,0	0,3

Aluminium

Det finnes et enormt antall forskjellige aluminiumslegeringer. Disse legeringene er delt inn i åtte forskjellige grupper (kalt serier), fra 1000 serien til 8000 serien. Generelt sett er aluminiumslegeringen sterkere desto høyere serie den er plassert under. I tillegg til disse seriene er det også mange forskjellige herdemetoder brukt for de forskjellige legeringene. I dette tilfellet er det valgt ut to aluminiumslegeringer, en fra 5000 serien og en fra 6000 serien, som er forholdsvis mye brukt og som anses som et egnet valg for dette verktøyet. Det velges å ikke se på legeringer fra de høyere seriene da disse er mye dyrere.

Tabell 36: Materialelegenskaper for aluminium i 5000- og 6000 seriene [36][45]

Materialelegenskaper			
Aluminium	Strekkfasthet Rm (MPa)	Flytegrense Rp (MPa)	Massetetthet (kg/m ³)
5083 - H116	305	215	2660
6082-T6	310	260	2700

Her er H116 og T6 herdemetoder der H116 er en spesielt korrosjonsbestandig herding og T6 er en herdemetode bestående av løsningsvarmebehandling og kunstig aldring, hvilket øker materialstyrken. Aluminium av 6000 serien lar seg ikke herde med H116 metoden.

Tabell 37: Kjemiske sammensettinger for aluminium i 5000- og 6000 seriene [36][45]

Kjemisk sammensetting									
Vekt (%)	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
Aluminium									
5083 - H116	93,0	0,25	0,10	0,40	4,9	1,0	0,40	0,15	0,20
6082 - T6	95,4	0,25	0,10	0,5	1,2	1,0	1,25	0,10	0,20

Av stålene sees det ikke noen grunn til at 316L ikke skal være godt nok for dette verktøyet. Det er riktignok både svakere og mindre korrosjonsbestandig enn 6 Mo og 25 Krom, men basert på beregninger er styrken mer enn god nok og med tanke på korrosjon burde det holde bra da det allerede brukes på ROV-verktøy den dag i dag.

Uansett faller det endelige valget på aluminium 5083-H116 da dette har en massetetthet på en tredjedel av stålet. Til tross for at bruken av aluminium vil kreve mye tykkere plater enn ved bruk av stål vil allikevel vekten av verktøyet bli over halvert. Dette er viktig da verktøyet må utstyres med oppdriftstanker og det er, som nevnt, foretrukket at disse blir så små som mulig. Til tross for at 6082-T6 er en sterkere aluminiumslegering velges 5083-H116 da dette er herdet på en slik måte at materialet blir spesielt korrosjonsbestandig. Beregningene viser at denne legeringen uansett er sterk nok for dette verktøyet.

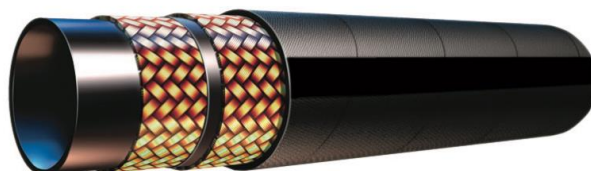
Børster

Børstene vil, som nevnt, bli kjøpt inn fra Lateral AS, så børstematerialet er allerede valgt fra deres side [31]

Selve børstehodet er støpt i en type polyuretan. Polyuretan inneholder isocyanater, stoffer som også blir brukt i blant annet lim, maling, beis og fugemasse. Dette er stoffer som kan gi allergi dersom de kommer i kontakt med huden eller pustes inn, men polyuretanen frigir bare isocyanater dersom den varmes opp eller brennes, noe det ikke er fare for i dette tilfellet. Da børsten vil slites over tid vil det materialet som slites av havne i havet, men dette vil være en så liten mengde at det ikke sees på som et miljøproblem. Sammenliknet med de to andre materialalternativene nylon og stål ville det blitt slitt av mye større mengder nylon og stålborstene ville skrapet, en noen ganger miljøfiendtlig, maling av strukturen. I tillegg forteller Lateral at slitte børster kan returneres til dem for 100% resirkulering.

Hydraulikkslanger

For hydraulikken er det valgt å bruke slanger av typen EN 853 2SN/ISO 1436 – 2 Layer hydraulic hose fra Fluid Control. [46] Dette er en hydraulikkslange egnet for både hydrauliske oljer, vann og luft og den kan brukes subsea.

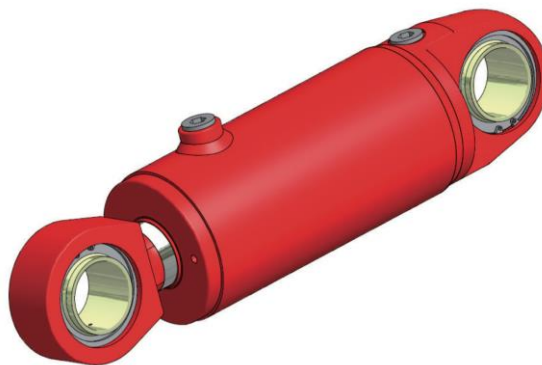


Figur 63: Hydraulikkslange EN 853 2SN [46]

Slangen består av fire lag der det ytterste laget er av sort syntetisk gummi, deretter følger det to lag med flettet ståltråd og den innerste slangen er laget av nitrilgummi. Denne slangetypen fås også med kun ett lag flettet ståltråd, men da en eventuell skade på en hydraulikkslange vil stoppe driften og føre til at hele ROV-en må heises opp for reparasjoner er det vurdert dit hen at dette fort kan bli en lønnsom investering.

Hydraulikksylindere og ledd

Hydrauliske sylindere vil kjøpes inn fra Servi der CD25 er den valgte modellen[47].



Figur 64 : Servi hydraulisk sylinder CD25 [47]

Selve sylinderen produseres i rustfritt stål (EN 1.4418), et stål som ikke er spesielt korrosjonsbestandig, men Servi opplyser at disse sylindrene også fås med en overflatebehandling som gjør sylindrene godt egnet for bruk subsea. Hva denne overflatebehandlingen består av er det ingen ytterligere informasjon om.

Leddene vil være en del av rammen og utformes derfor i samme materiale som denne, altså 5083-H116 aluminium.

Festemateriell

Alt av skruer, bolter, muttere og annet festemateriell fås også i AISI 316L, så valget faller naturlig på materiell av dette materialet. Skulle noe festemateriell bli raskere slitt eller ruste raskere enn annet vil det anbefales å bytte disse til et materiale med enda bedre Korrosjonsbestandighet og egenstyrke. Da rammen produseres i aluminium er det viktig at det brukes foringer i nylon, plast eller liknende materiale.

Overflatebehandling

Da alt materiale allerede er valgt med hensyn til subsea bruk vil det ikke være behov for ytterligere overflatebehandling. Selve verktøysrammen må uansett males/lakkeres i en sterk farge i samsvar med subsea standard, vanlig for subsea utstyr er RAL 1004 og RAL 2004, om denne malingen skulle være korrosjonsbestandig fra produsent vil det bare føre til ytterligere korrosjonsbestandighet.

Oppdriftstanker

For en ROV er det viktig at den har positiv oppdrift, altså at den flyter når den ligger i vannoverflaten. Dette kommer av at dersom ROV-en skulle bli utsatt for strømbrydd skal den flyte opp igjen av seg selv. ROV-en er utstyrt med justerbare oppdriftstanker slik at oppdriften kan økes dersom ROV-en skal bære på noe tungt subsea.

Da dette verktøyet skal monteres på fremsiden av ROV-en er det viktig at det er i likevekt når det er subsea, altså at det ikke synker på egenhånd og fører til at ROV-en tipper fremover. Det finnes flere måter å konstruere oppdriftstanker på. Ved justerbar oppdrift brukes som regel tanker av polyuretan, PVC og liknende, men da dette verktøyet ikke behøver justerbar oppdrift er det sett på andre løsninger.

En mye brukt løsning for statisk oppdrift er syntaktisk skum. Syntaktisk skum består av hule plast- eller glasskuler innleiret i en harpiksgrunnmasse som igjen er pakket inn i karbonfibre impregnert med epoksyharpiks. Dette gir materialet høy trykkfasthet og god oppdrift per kilo materiale. Da det i tillegg har svært lav vannabsorpsjon er det godt egnet for bruk subsea.



Figur 65: Syntaktisk skum [48]

DIAB Gruppen leverer en rekke typer syntaktisk skum som kan brukes på alt fra 30 til 10 000 meters havdyp og da disse kan fås i ønsket størrelse og utforming anses dette som en god løsning på dette problemet.[48] Skummet fås også i flere farger.

14.2 Vedlikehold

For å hindre at komponenter skal slites i stykker og unødvendige driftsstopp bør alt mekanisk utstyr ha faste inspeksjonsrutiner for vedlikehold. Disse rutinene kan være ganske kostbare, men dersom det følges gode rutiner for dette vil både utstyrets levetid forlenges og faren for at dyre komponenter ødelegges reduseres kraftig. Dette er spesielt viktig for utstyr som brukes subsea da det er begrensede muligheter for inspeksjon av utstyre når det er i drift.

I dette tilfellet skal verktøyet styres av en ROV som selv har krav om regelmessige serviceintervaller. Kystdesign har en liste over flere inspeksjonsrutiner for deres Constructor ROV der den mest repetative rutinen er en ukentlig oljeskift. Børstene som skal brukes på verktøyet har, ifølge Lateral, en gjennomsnittlig levetid på 100 til 200 arbeidstimer[31]. Denne levetiden kan variere veldig basert på den marine begroingen som fjernes og man er derfor avhengig av å bruke ROV-ens kameraer for å avgjøre når det er tid for utskifting av børster. Dette betyr at verktøyet mest sannsynlig må opp for bytte av børster oftere enn ROV-en må skifte olje. Basert på disse opplysningene og for å sørge for at ROV-en må løftes opp så sjeldent som mulig vil det anbefales to forskjellige vedlikeholdsrutiner:

Ved skifte av børster bør også følgende kontrolleres:

- Ytre skader
- Slitasje på ledd
- Lekkasjer
- Løst festemateriell
- Oppsamlet begroing

Dette skal bare være en forenklet kontroll av de delene man kommer til uten å måtte demontere noe av verktøyet. Dersom noe skulle være ødelagt, skadet eller veldig slitt skal det skiftes eller repareres. Begroing som har samlet seg i ledd eller rundt motorene skal fjernes.

Ved service på ROV:

Når ROV-en ukentlig skal heises opp for oljeskift vil det være muligheter for å gjøre en grundigere inspeksjon av verktøyet. Her skal bunnplaten verktøyet demonteres slik at alt av hydraulikkslanger og tilkoblinger kan sjekkes for slitasje og lekkasje. Motorene skal også løsnes slik at boltehullene kan sjekkes for hullkantslitasje. Det skal letes etter utmattingssprekker og disse skal utbedres dersom de er av betydelig størrelse eller dersom det er flere sprekker i nærheten av hverandre. Til tross for at det er lite sannsynlig bør også eventuell korrosjonsutvikling kartlegges. Til slutt bør også hele verktøyet rengjøres for marin begroing.

14.3 Miljøkrav og resirkulering

14.3.1 Materialer

Aluminium

Aluminium er 100% resirkulerbart og resirkuleringsprosessen ødelegger ingen fysiske egenskaper i materialet, hvilket betyr at resirkulert aluminium er like godt som nytt.

Etterspørselen etter aluminium er økende og i 2015 ble det produsert i underkant av 60 000 tonn aluminium på verdensbasis, en økning på rundt 15 000 tonn fra 2010 [49].

Da prosessen med å resirkulere aluminium kun krever 5% av energien det krever å produsere nytt aluminium er det svært viktig at dette gjøres i så stor grad som mulig. I dag er aluminiumsindustrien alene ansvarlig for rundt 1% av de menneskeskapte klimagassutslippene [50].



Figur 66: Resirkuleringssymbolet for aluminium [51]

Rustfritt stål

På samme måte som aluminium er rustfritt stål 100% resirkulerbart, hvilket betyr at resirkulert rustfritt stål er like sterkt og korrosjonsherdig som nyprodusert rustfritt stål. Gjennomsnittlig inneholder rustfritt stål 60% resirkulert materiale og rundt 90% av alt rustfritt stål blir samlet og resirkulert på verdensbasis.

Etterspørselen etter rustfritt stål er doblet de siste ti årene og det produseres nå mer enn 25 millioner tonn rustfritt stål i året. Rustfritt stål inneholder legeringer som nikkel, krom, molybden, titan, wolfram og andre legeringer som er svært sjeldne og vanskelig å utvinne. For å ivareta jordens naturressurser er det derfor spesielt viktig at så mye som mulig av rustfritt stål resirkuleres. Det er også meget miljøvennlig da resirkulering av ett tonn stål sparer jorden for 1,1 tonn jernmalm, 630 kg kull og 55 kg kalkstein. [52]

Alt rustfritt stål som brukes på verktøyet skal være merket med universelle symbolet for resirkulerbart stål.



Figur 67: Resirkuleringssymbolet for stål[51]

Polyuretan

Polyuretan er en fellesbetegnelse for et stort antall materialer der felles for alle materialene er at de inneholder uretangerupper. Markedet for polyuretan er enormt og er ventet å ligge på cirka 18 millioner tonn i 2016 med en markedsverdi på 5,5 milliarder USD [53]

Det er variasjon i hvor resirkulerbart de forskjellige materialene er, men ifølge LateraL AS er materialet brukt i disse børstene, uten å ytterligere utdype hva slags materiale det er snakk om, 100% resirkulerbart.

Av resirkuleringsmetoder er det også store variasjoner. Materialene kan ofte repareres og gjenbrukes, men dersom dette ikke er mulig kan de resirkuleres både mekanisk og kjemisk. I verste fall kan materialene energigjenvinnes.

LateraL forteller at brukte børster kan leveres tilbake til dem og så vil de ta seg av resirkuleringen.

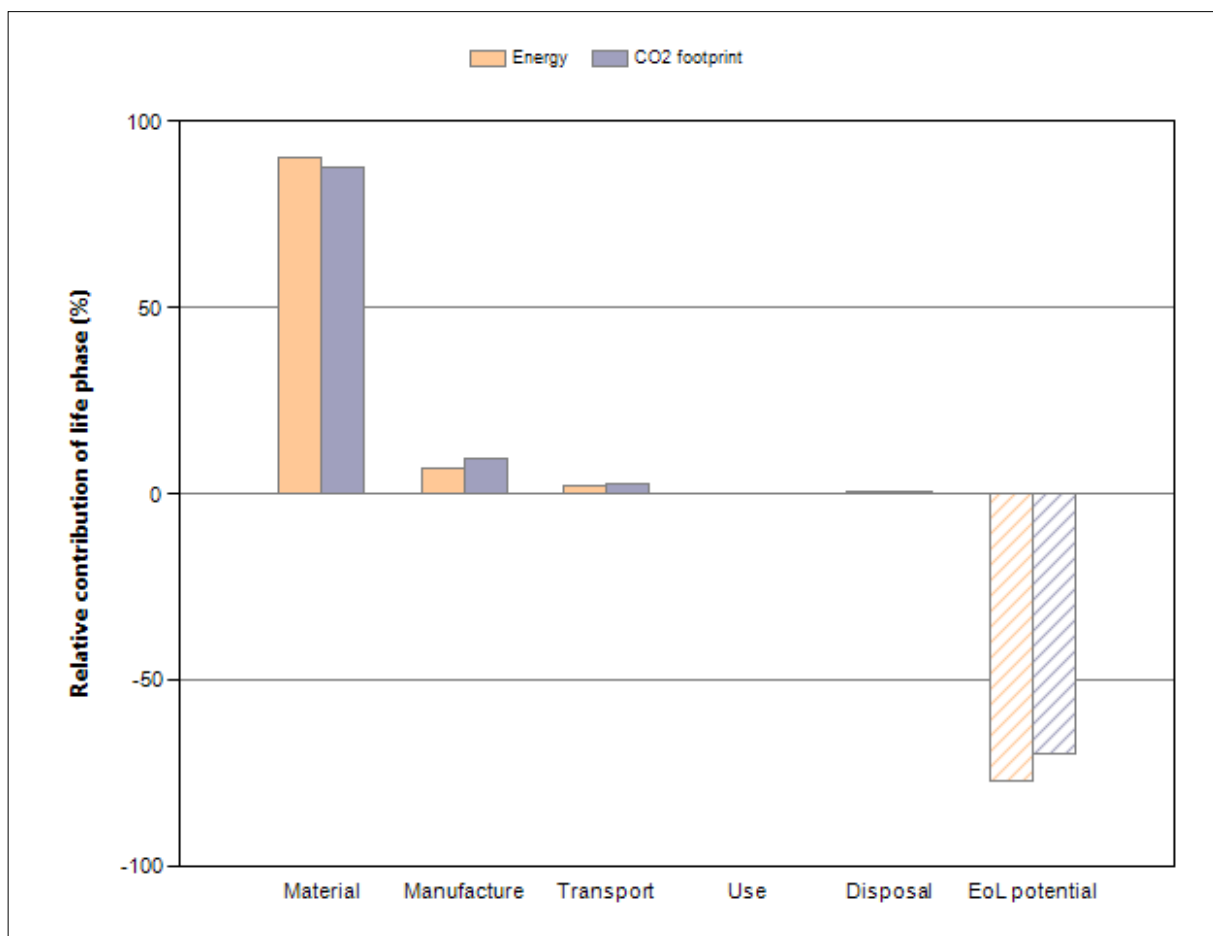


Figur 68: Resirkuleringssymbol #7 "annen plastikk" [54]

14.3.2 Livsløpsanalyse

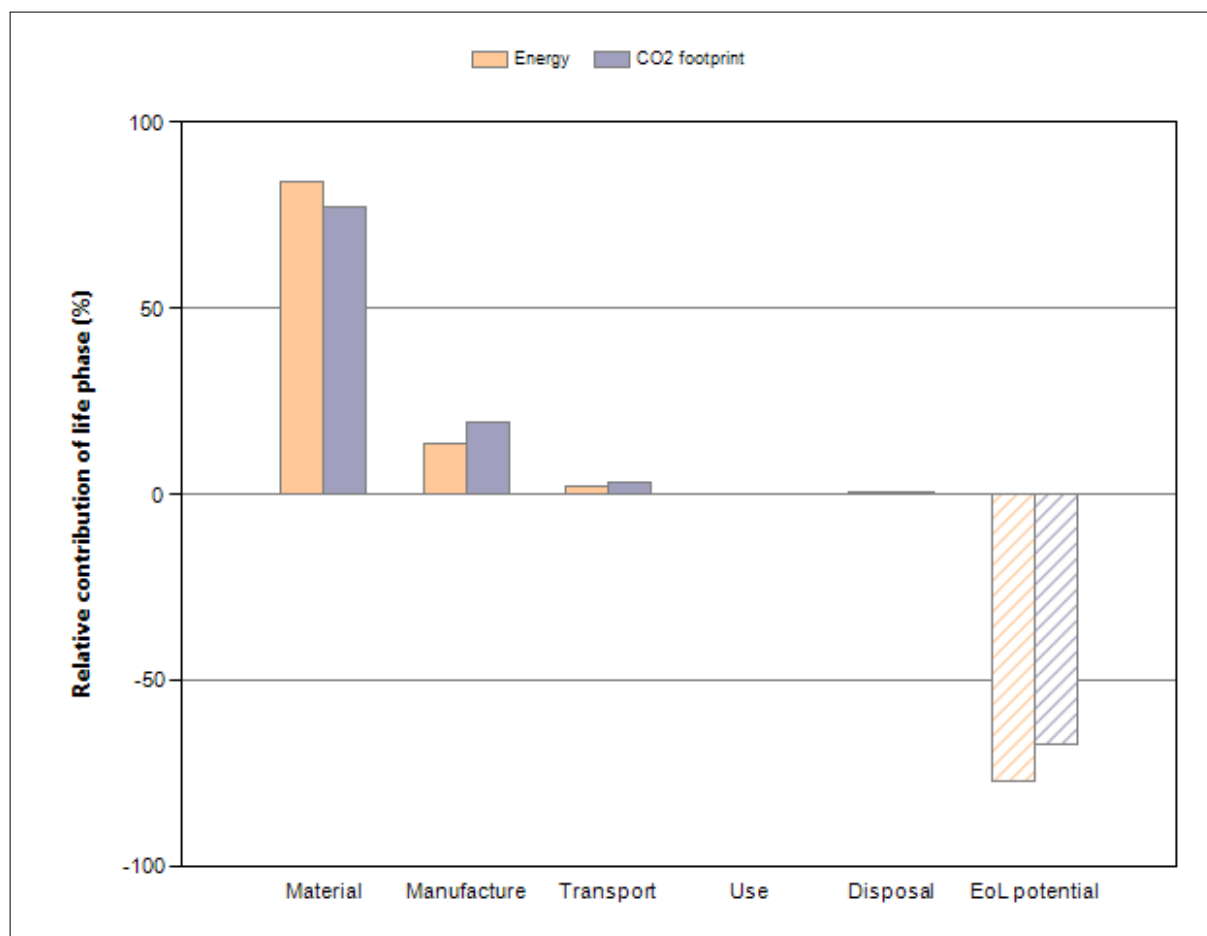
Det er gjort en forenklet livsløpsanalyse i CES Edupack 2015 for å kartlegge hvor mye energi som kreves og hvor mye CO2 som vil slippes ut i forbindelse med produksjon og frakt av materialene til verktøyet. Da det er stor usikkerhet rundt hvor mye energi som kreves for å drive det hydrauliske anlegget på ROV-en og CES Edupack ikke hadde noe godt alternativ for dette ble dette ekskludert fra analysen. Materialmengde og vekt er hentet fra 3D modellen av verktøyet som er laget i SolidWorks og frakten av materialene er satt til verst tenkelig tilfelle der alt bestilles fra Kina og det blir fraktet med skip. Alle deler som kjøpes inn fra produsent, som for eksempel børster og stempler, er også inkludert i frakten da dette uansett må produseres for dette verktøyet og det er uvisst hvor produsentene skaffer sine materialer fra. Levetiden for verktøyet er satt til 15 år og det ble gjort to analyser; én for kun verktøyet med 5 børstesett og én for det totale verktøyetsettet nødvendig for Murchison-prosjektet, altså med 35 ekstra børstehoder.

Verktøy uten reservebørster:



Figur 69: Samlet energiforbruk og CO2 utslipp for verktøy uten reservebørster

Komplett sett til Murchison-prosjektet:



Figur 70: Samlet energiforbruk og CO2 utslipp for alt utstyr nødvendig for fjerning av MG fra Murchison-plattformen

Resultatene viser at det er liten forskjell på de to scenariene der det kun kreves noe mer energi for fremstilling av de ekstra børstehodene i forhold til hva som kreves til materialproduksjonen. Det er også en minimal økning i CO2 utslipp for frakt av de ekstra børstehodene.

Muligheten for å spare både energi og CO2 ved resirkulering og gjenbruk er såpass stor at dersom dette gjøres vil det nesten bare være driften av verktøyet som krever energi og medfører CO2 utslipp.

15. PRODUKSJONSTRINN OG ØKONOMI

15.1 Produksjonsmetoder

For å holde produksjonskostnadene så lave som mulig er det brukt standarddeler eller innkjøpte deler der det er mulig. Disse komponentene er presentert i kapittel 11 og produksjonsmetoden er bestemt av produsenten.

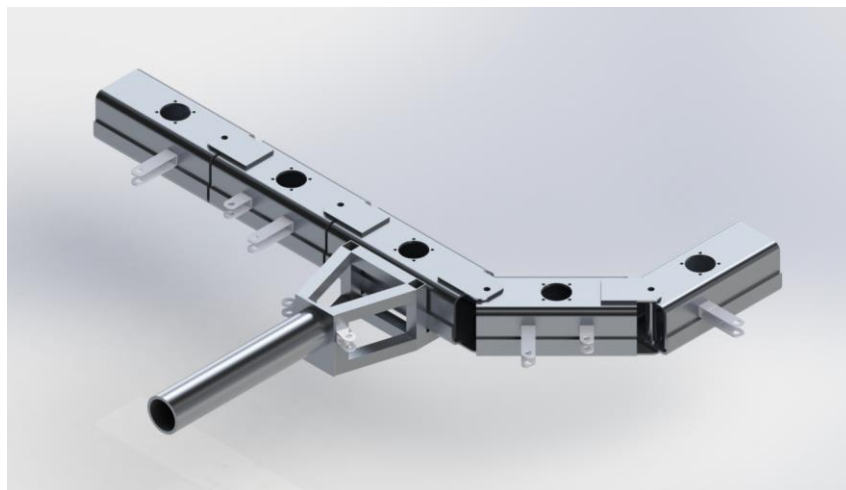
Produksjonsmetode for komponentene som må produseres er basert på en diskusjon med ansatte på verkstedet ved NMBU.

Produksjonsmetoder ved prototyping og serieproduksjon

Det er jobbet for å holde utformingen på verktøyet så enkel som mulig gjennom hele oppgaven. Både med tanke på produksjonskostnaden og at det skal være enklest mulig å håndtere og reparere verktøyet. Dette har resultert i at det ikke er mange komponenter som må produseres fra bunn av. Produksjonsmetoder for de forskjellige komponentene er presentert i tabell 37. Utformingen på komponentene a) b) og c) i denne tabellen vil variere noe basert på hvilken modul de skal produseres til, men selve produksjonsprosessen vil være lik. Til tross for at det er lite sannsynlig at dette verktøyet skal masseproduseres er det foreslått produksjonsmetoder ved serieproduksjon.

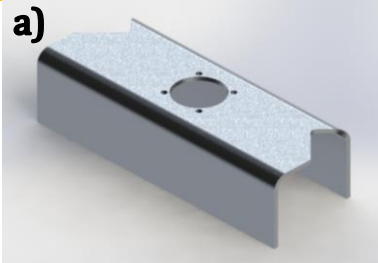
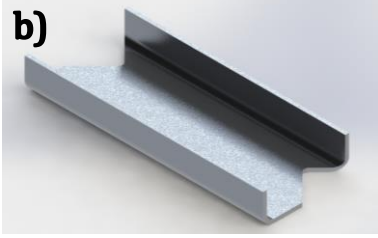
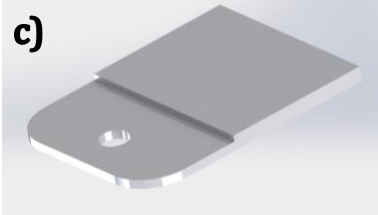

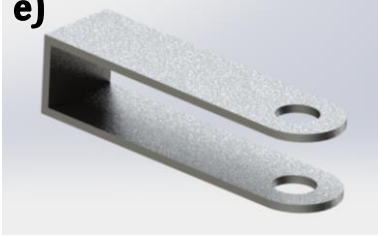
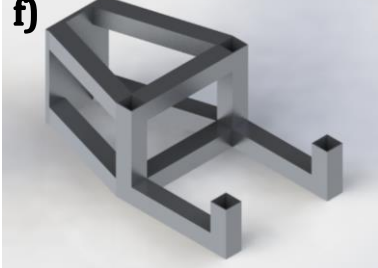
Ved produksjon av en prototype burde alle komponentene kunne produseres ved et vanlig verksted, sett at verkstedet har utstyr for knekking av tykke aluminiumsplater.

Den eneste produksjonsforskjellen mellom prototyping og serieproduksjon er at det kan brukes en CNC maskin med vannskjærer som erstatning for kapping og fresing av aluminiumsplatene. På denne måten vil en større andel av materialet bli utnyttet og produksjonen vil ta kortere tid. Støping har også blitt vurdert som en alternativ metode, men dette ble ansett som unødvendig da det i det tilfelle måtte produseres støpeformer noe som er meget dyrt.



Figur 71: Komplette verktøy med kun egenproduserte deler

Tabell 38: Produksjonsmetoder ved prototyping og serieproduksjon

Produksjonsmetoder for egenproduserte komponenter		
Komponent	Prototyping	Serieproduksjon
a) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kappes • Freses • Knekkes 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC maskineres • Knekkes
b) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kappes • Freses • Knekkes 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC maskineres • Knekkes
c) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kappes • Freses • Sveises til ramme 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC maskineres • Sveises til ramme
d) 	<ul style="list-style-type: none"> • Dreies • Bores 	<ul style="list-style-type: none"> • Dreies • Bores
e) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kappes • Freses • Knekkes 	<ul style="list-style-type: none"> • CNC maskineres • Knekkes
f) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kappes • Sveises 	<ul style="list-style-type: none"> • Kappes • Sveises

15.2 Kostnadskalkyler

Ved utformingen av kostnadskalkylene er det brukt flere prisantakelser med variert nøyaktighet. For eksempel er prisene på aluminiumsplater og firkantprofiler hentet fra Norsk Ståls prisliste og prisen på børstene er fått rett fra leverandør. Fra Lateral AS ble det også oversendt et pristilbud for prisen på alt utstyr som vil behøves for rensing av Murchison-plattformen. På den annen side er prisene for hydrauliske sylindere, hydrauliske slanger og syntaktisk skum satt som en tilnærmet gjennomsnittspris basert på forskjellige priser funnet på liknende produkter. Dette er gjort da det ikke er funnet prislister hos de leverandørene som er nevnt i kapittel 12.

Det er heller ikke tatt hensyn til prisen for frakt av de forskjellige komponentene og materialene.

Timepris og tiden det vil ta å produsere verktøyet er en antakelse gitt av ansatte på verkstedet ved NMBU.

15.2.1 Kostnadskalkyle for prototyping

For prosjektet totalt er det brukt tilnærmet 1800 timer, men kostnadene for konseptutvikling settes kun til 1200 timer da dette anses som effektive timer. De siste 600 timene er gått med til litteratursøk, studering av grunnlagsteori og andre aktiviteter det ikke sees som riktig å fakturere timer for. Dette gir en effektivitetsgrad på nesten 70%, hvilket ville vært høyere dersom forprosjektet hadde vært gjort på høstsemesteret.

Tabell 39: Kostnadskalkyle for konseptutvikling

Konseptutvikling				
Arbeidsmetode	Timer	Kvanta	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Utredningsarbeid	340	-	600	204 000
Utforming	250	-	600	150 000
3D-modellering	150	-	600	84 000
Konstruksjonstegninger	10	-	600	12 000
Prosjektrapport	600	-	600	360 000
Sum utvikling	1200	-	600	810 000

Tabell 40: Kostnadskalkyle for prototyping

Prototyping				
Arbeidskostnader	Timer	Kvanta	Pris	Sum i NOK
Kapping og fresing	15	-	1 000	15 000
Dreining og boring	10	-	1 000	10 000
Sveising	5	-	1 000	5 000
Knekking	5	-	1 000	5 000
Montering	4	-	600	1 200
Sum arbeidskostnader				36 200

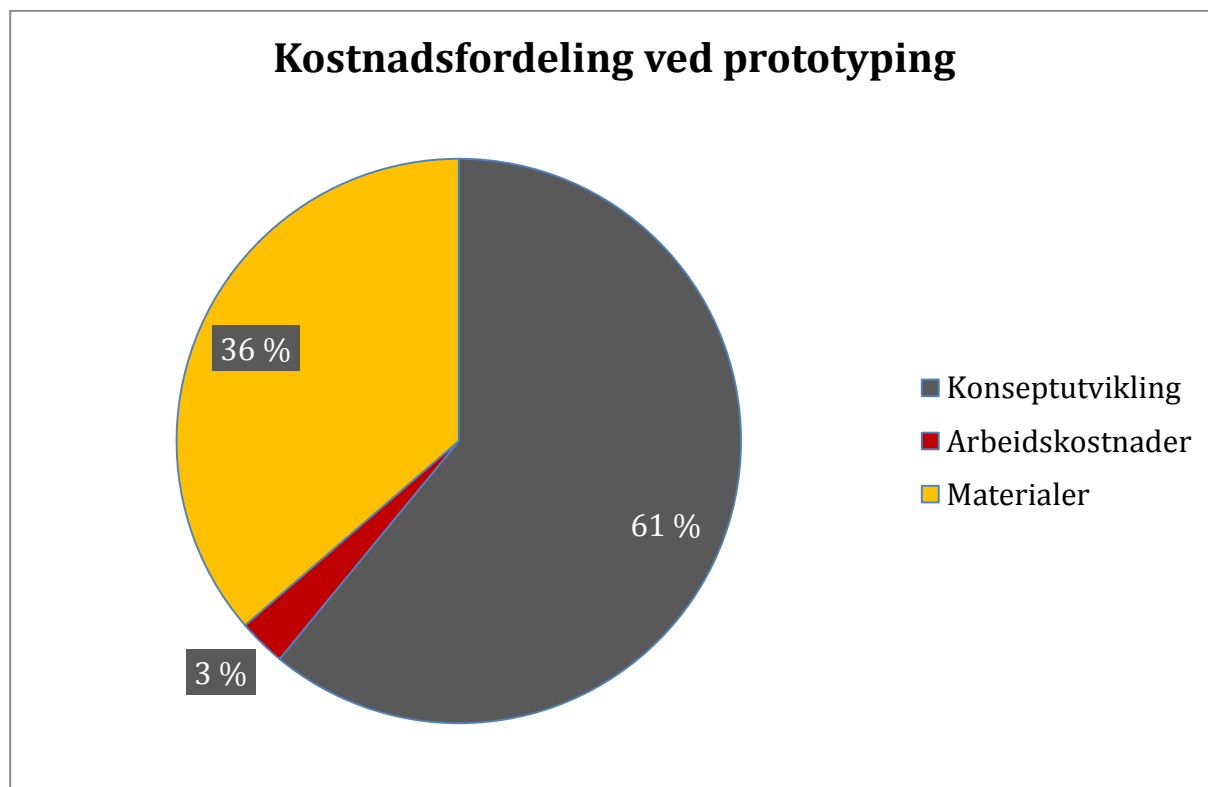
Tabell 40 fortsetter:

Materialer & komponenter	Timer	Kvanta	Pris	Sum i NOK
Aluminium 5083-H116 8mm	-	55 kg*	46	2 530
Firkantprofiler 40 x 40 x 2,5	-	4 kg*	59	236
Børstesett	-	5 stk	90 000	450 000
Hydrauliske sylindere	-	4 stk	2 500	10 000
Hydraulikkslanger	-	15	800	12 000
Syntaktisk skum	-	70 kg	100	7 000
Festemateriell, pakninger o.l.	-	-	1 000	1 000
Sum materialer og komponenter				<u>482 766</u>
Sum prototyping				<u>518 966</u>

* Vekt basert på 3D modell laget i SolidWorks

Tabell 41: Totalkostnad for prototype

Produksjonskostnad	Sum [NOK]
Konseptutvikling	810 000
Prototyping	518 966
Totalt	<u>1 328 966</u>



Figur 72: Kostnadsfordeling ved prototyping

15.2.2 Kostnadskalkyle for serieproduksjon

Tabell 42: Kostnadskalkyle for serieproduksjon

Serieproduksjon				
Arbeidskostnader	Timer	Kvanta	Pris	Sum i NOK
CNC maskinering	6	-	1 000	9 000
Dreining og boring	10	-	1 000	10 000
Sveising	5	-	1 000	5 000
Knekking	5	-	1 000	5 000
Montering	3	-	1 000	300
Sum arbeidskostnader				32 000
Materialer & komponenter	Timer	Kvanta	Pris	Sum i NOK
Aluminium 5083-H116 8mm	-	50 kg*	46	2 300
Firkantprofiler 40 x 40 x 2,5	-	4 kg*	59	236
Børstesett	-	5 stk	90 000	450 000
Hydrauliske sylindere	-	4 stk	2500	10 000
Hydraulikkslanger	-	15	800	12 000
Syntaktisk skum	-	70 kg	100	7 000
Festemateriell, pakninger o.l.	-	-	1000	1 000
Sum materialer og komponenter				<u>482 536</u>
Sum prototyping				<u>514 536</u>

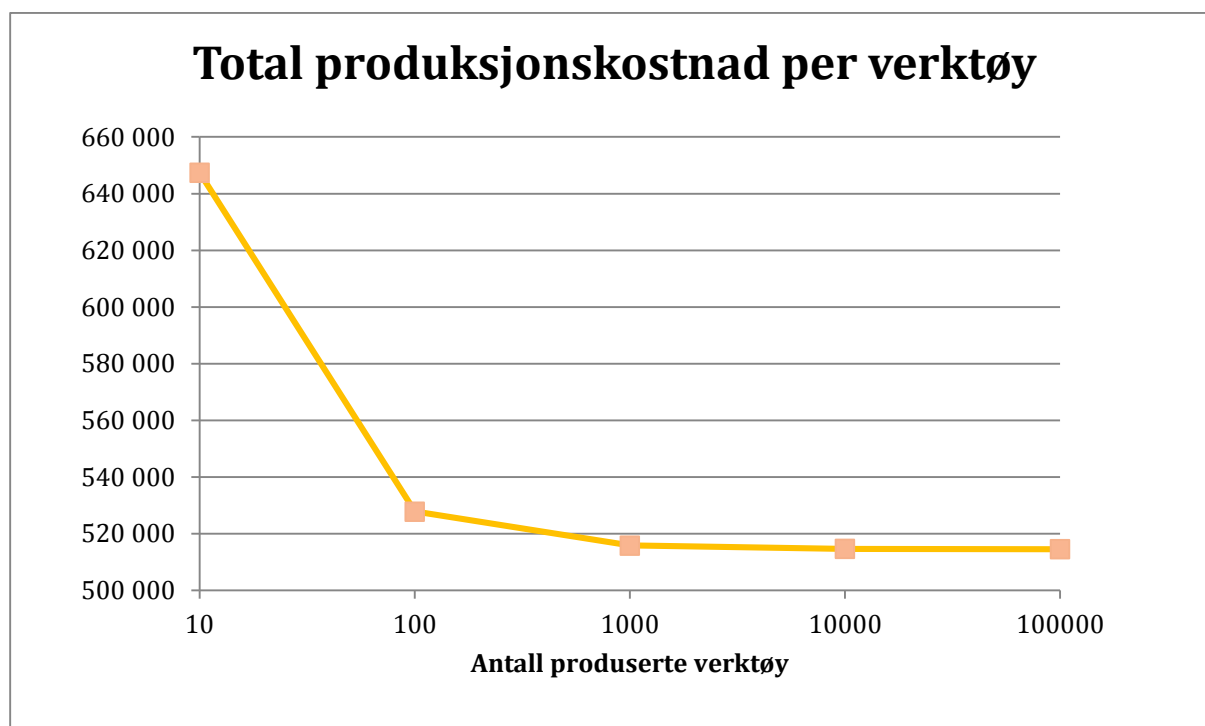
* Vekt basert på 3D modell laget i SolidWorks

Tabell 43: Engangskostnader

Engangskostnader før serieproduksjon	
Produksjonskostnad	Sum [NOK]
Konseptutvikling	810 000
Prototyping	518 966
Sum	<u>1 328 966</u>

Tabell 44: Prisutvikling ved serieproduksjon

Prisutvikling		
Antall produserte verktøy	Sum kostnader	Pris per enhet
10	6 474 326	647 433
100	52 782 566	527 823
1 000	515 864 966	515 865
10 000	5 146 688 966	514 669
100 000	51 454 928 966	514 549



Figur 73: Prisutvikling ved serieproduksjon

15.3 Kostnadsvurdering

Under delkapittel 6.5 ble det gjort en tidlig kostnadsvurdering der det ble antatt en produksjonspris på 1,5 til 2,0 millioner kroner inkludert utviklingskostnaden. Prisen for en prototype på dette stadiet ligger på 1,3 millioner kroner. Med tanke på at pris for en egnet rotator aktuator ikke er kartlagt og skiden enda ikke er utformet kan dette vise seg å være en god tidlig kostnadsvurdering dersom det kun skal utvikles verktøy til eget bruk. Dersom AF Gruppen skulle ønske å serieprodusere verktøyet og distribuere det via en grossist kan en utsalgspris antas å være cirka 4,2 ganger produksjonskostnaden. Denne faktoren vil da dekke kostnader rundt markedsføring, distribusjon, interne kostnader og avansmarginen hos grossisten [55]. Det er vanskelig å si om prisen ved en serieproduksjon vil være såpass høy at verktøyet ikke vil være konkurransedyktig da det ikke finnes liknende produkter på markedet i dag. En serieproduksjon er, som nevnt, svært lite sannsynlig da markedet for dette er meget begrenset og det vil nok ikke være behov for produksjon av spesielt mange enheter.

Prisen ved serieproduksjon er også satt uten rabatter fra forskjellige leverandører noe som ville senket prisen betydelig. For eksempel er det mottatt et tilbud fra LateraL for alt utstyr nødvendig til rensing av Murchison-plattformen. Tilbudet gitt er med 15% rabatt på alt utstyr hvilket senker prisen fra 975 000 kroner til 828 750 kroner.

Arbeidskostnadene er satt med timepriser basert på produksjon i Norge, og montering av en prototype ville vi gjort selv.

15.4 Økonomisk begrensning for ROV driftstid.

Ved fjerning av marin begroing offshore er det viktig at det ikke skal koste AF Gruppen stort mer enn det fjerningsprosessen onshore gjør i dag. Kostnadsberegningene her er gjort med bakgrunn i det forrige prosjektet AF Gruppen hadde, men det er viktig å notere seg at markedet varierer ut ifra etterspørsel og prisen på MUR prosjektet kan både bli høyere eller lavere enn det som er antatt her.

Fjerning av marin begroing inkludert arbeid på forrige prosjekt

Tabell 45: Pris for fjerning av MG ved AF Gruppens forrige prosjekt

Kostnad forrige prosjekt		
Selvkost (NOK)	Tyngde (Tonn)	Pris per tonn (NOK)
1 864 244	5044	370

Tilnærmet kostnad for fjerning av marin begroing fra MUR plattformen onshore

Tabell 46: Tilnærmet pris for fjerning av MG fra Murchison-plattformen på AF Miljøbase Vats

Kostnad MUR prosjekt		
Tyngde (Tonn)	Pris per tonn (NOK)	Total kostnad (NOK)
12 000	370	4 440 000

Prosjektet med å fjerne begroingen offshore bør altså ikke overstige 4,44 millioner kroner i særlig grad.

Leie av ROV

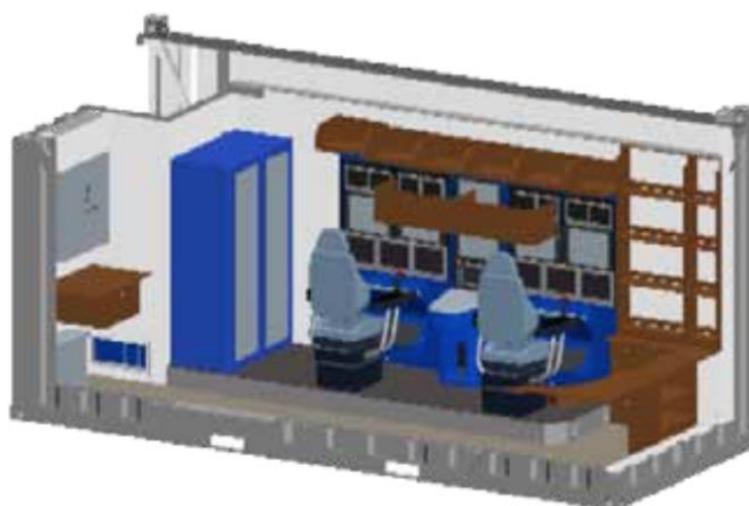
Normalt leies et subsea fartøy der ROV med alt av tilbehør og mannskap er inkludert. Skipet frakter ROV-en ut til prosjektet hvor skipet ankres opp og ROV-en styres fra fartøyet gjennom hele prosessen. Dette er en enkel, men til gjengjeld dyr affære. Døgnraten ligger på rundt én million kroner og det er i tillegg to engangskostnader i forbindelse med mobilisering og demobilisering av subsea fartøyet på til sammen nesten 1,7 millioner kroner. Med disse prisene og et budsjett på drøyt 4,4 millioner ville operasjonen med ROV blitt umulig.

Da det tar marin begroing opp imot et år å gro på en rensset flate og en offshoreplattform ikke tas ut av drift før ca. et halvt år før demonteringen begynner, er det sett på muligheten for leie av kun ROV med utstyr og piloter. Tanken er da at ROV-ens utstyr, som LARS (figur 74), pilotcontainer (figur 75) og verktøyscontainer plasseres på plattformen som skal rives slik at hele rensprosessen kan gjøres derfra.

AF Gruppen har bistått oss her og skaffet informasjon om hva slags utstyr som trenges og hvilke priser dette vil ha. Dette gjelder også nødvendig mannskap per ROV og deres timepriser.



Figur 74: Launch and recovery system (LARS) [56]



Figur 75: Pilotcontainer[57]

Selvkost ved leie av ROV

Tabell 47: Selvkost ved leie av ROV

Selvkost ROV		
ROV + utstyr	Kostnadstype	Pris (NOK)*
ROV type Constructor	Døgnrate	25585
LARS og annet utstyr	Døgnrate	19469
Mob/Demob	Engangskostnad	267288

Timepris for ROV operatører

Tabell 48: Timepriser for mannskap til ROV

Operatørpriser		
ROV + utstyr	Personer per ROV per skift	Timepris per person (NOK)*
Senior Supervisor	1	1148
Supervisor	1	1039
Pilot	2	750
Sum	4	3687

Total døgnsrate for denne løsningen

Tabell 49: Total døgnsrate for leie av ROV med mannskap og annet utstyr

Døgnsrate		
Kostnad	Antall per døgn	Døgnsrate (NOK)*
ROV type Constructor	1	25585
LARS og annet utstyr	1	19469
Operatører	24	88488
Sum	-	133542

Timepris for Ingeniører

Før ROV operasjonen kan igangsettes kreves det noe planlegging i form av ingeniørarbeid. I samarbeid med AF er det gjort et anslag på at to døgn med ingeniørarbeid burde holde til dette.

Tabell 50: Timepriser for nødvendige ingeniører

Timepris for ingeniører		
Ingeniør	Timepris (NOK)*	48 Timers arbeid
Prosjektleder	1240	59904
Senior ingeniør	1204	57792
Prosjektingeniør	1011	48528
Sum	3455	165840

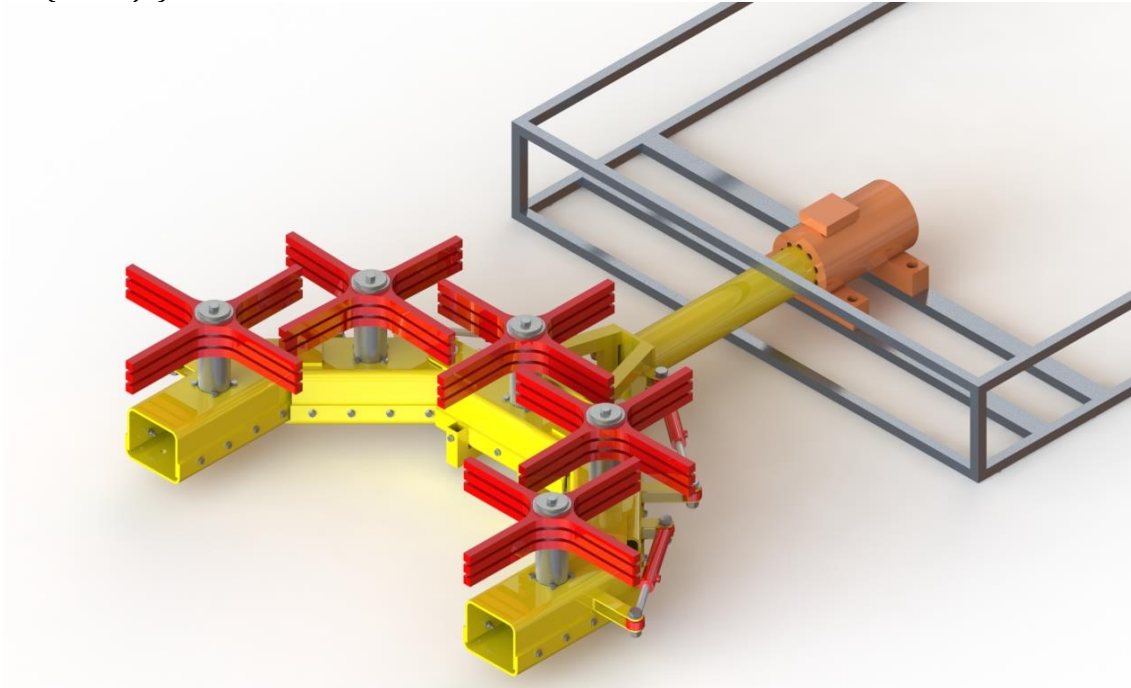
Total tilgjengelig driftstid for ROV-en:

$$\frac{\text{Totalkost MUR} - \text{Mob. og Demob. ROV} - \text{Ingeniørarbeid}}{\text{Total døgnsrate}} = \text{Driftstid}$$

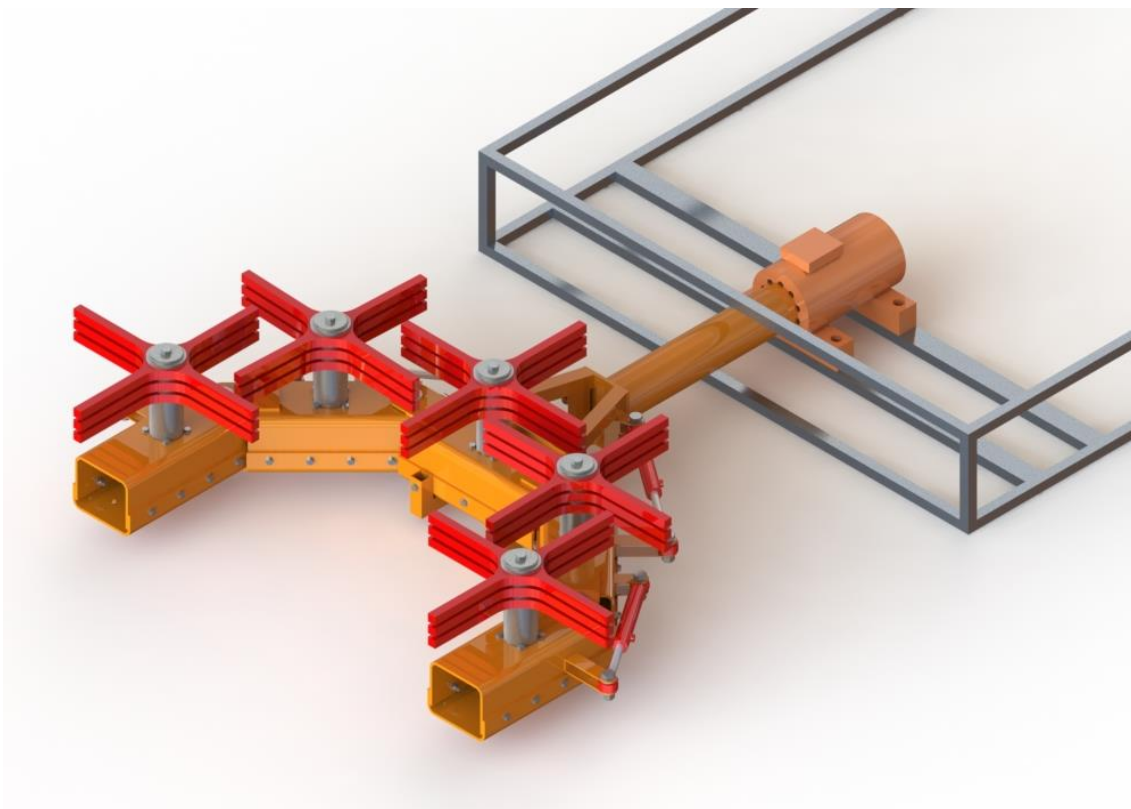
$$\frac{4\,440\,000 - 267\,288 - 165\,840}{133\,542} = 30 \text{ døgn}$$

16. PRODUKTRENDERINGER

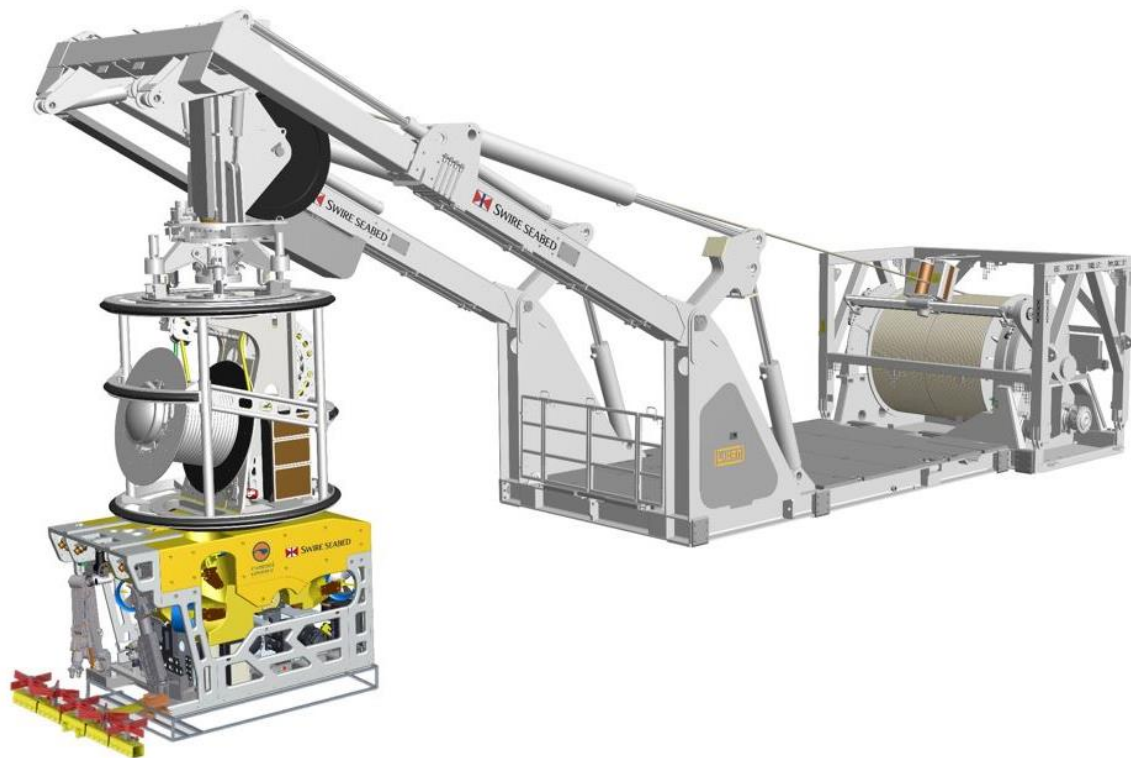
I dette kapitlet presenteres det endelige produktet gjennom rendrede bilder og i naturlige situasjoner. De to fargene produktet vil bli levert i er RAL 1004 (gul) og RAL 2004 (oransje).



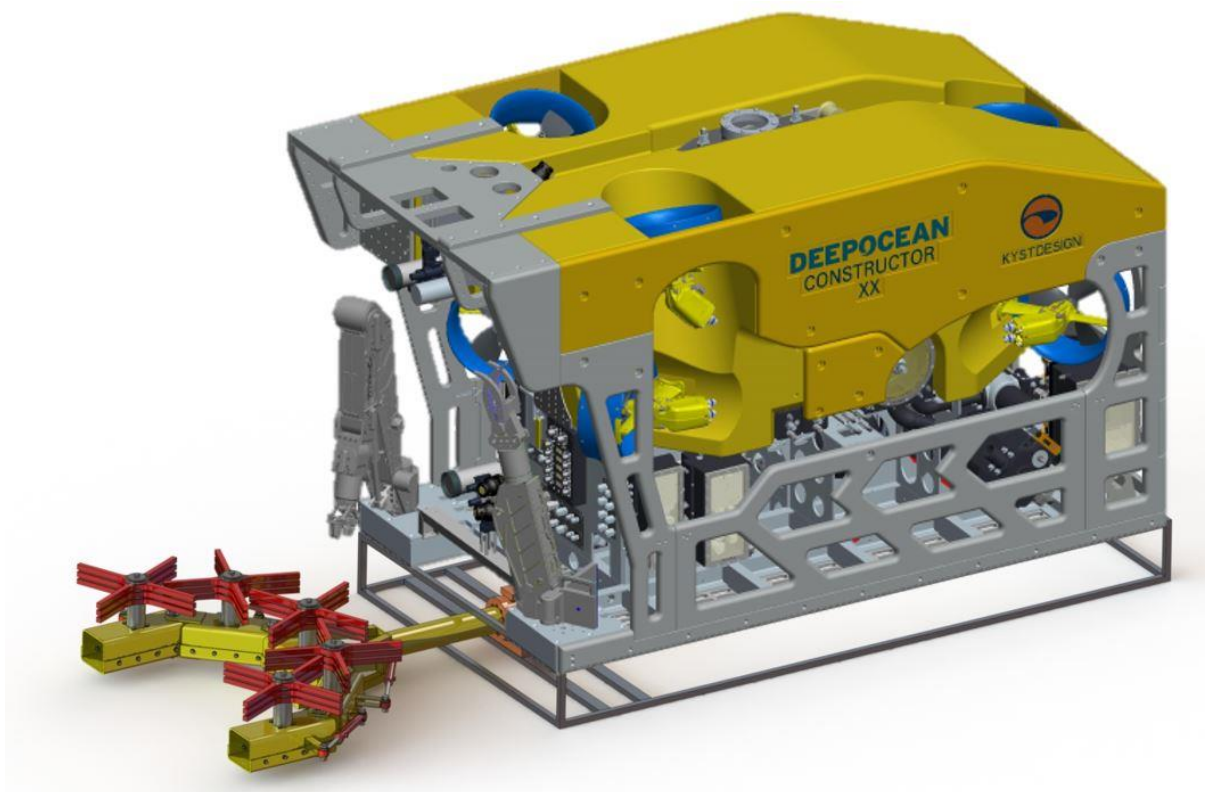
Figur 76: Komplette verktøy i lukket posisjon montert via en rotator aktuator til en skid (RAL 1004)



Figur 77: Komplette verktøy i lukket posisjon montert via en rotator aktuator til en skid (RAL 2004)



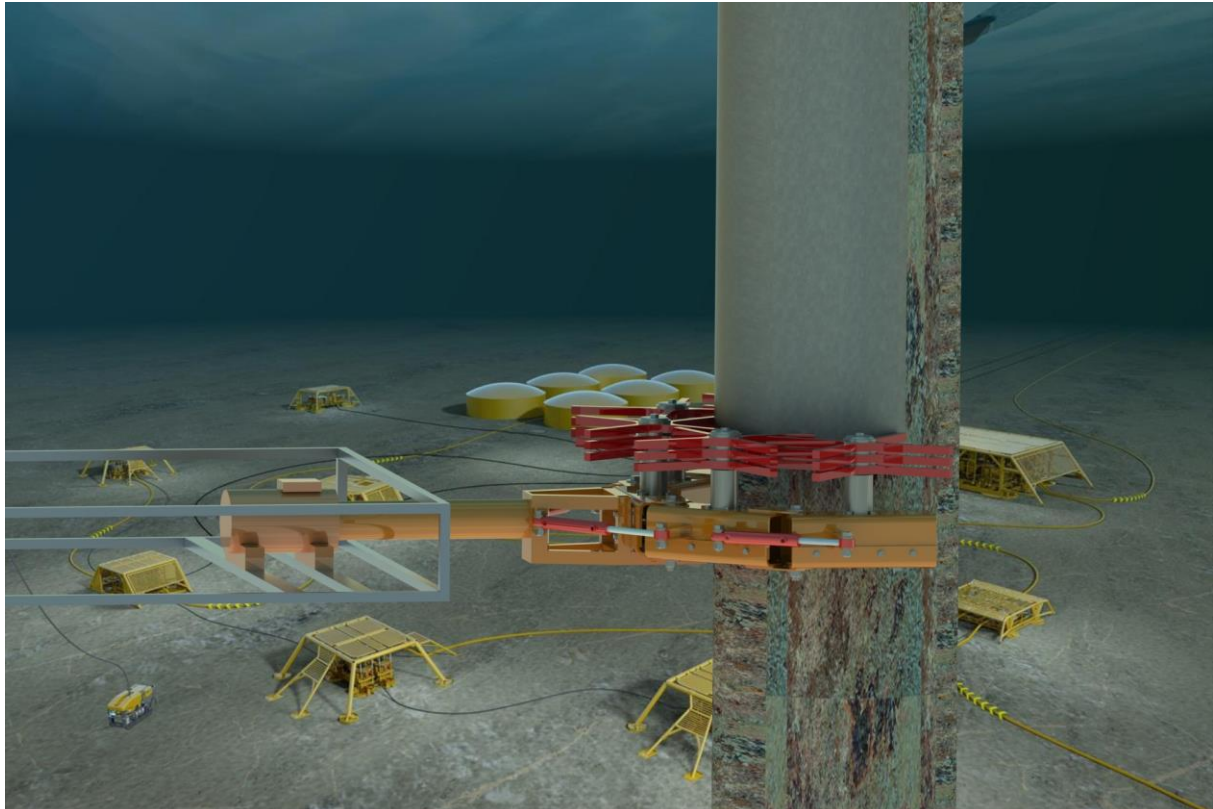
Figur 78: Komplet verktøysett montert, i åpen posisjon, via en skid til en CONSTRUCTOR CLASS ROV som løftes av et LARS



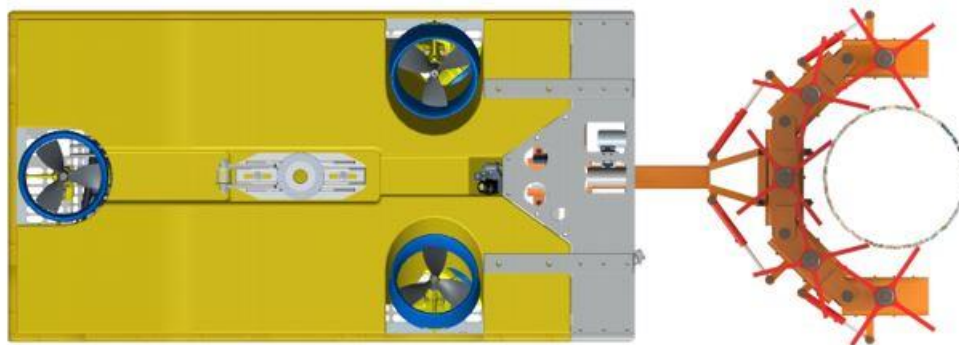
Figur 79: Komplet verktøysett montert, i lukket posisjon, via en skid til en CONSTRUCTOR CLASS ROV.



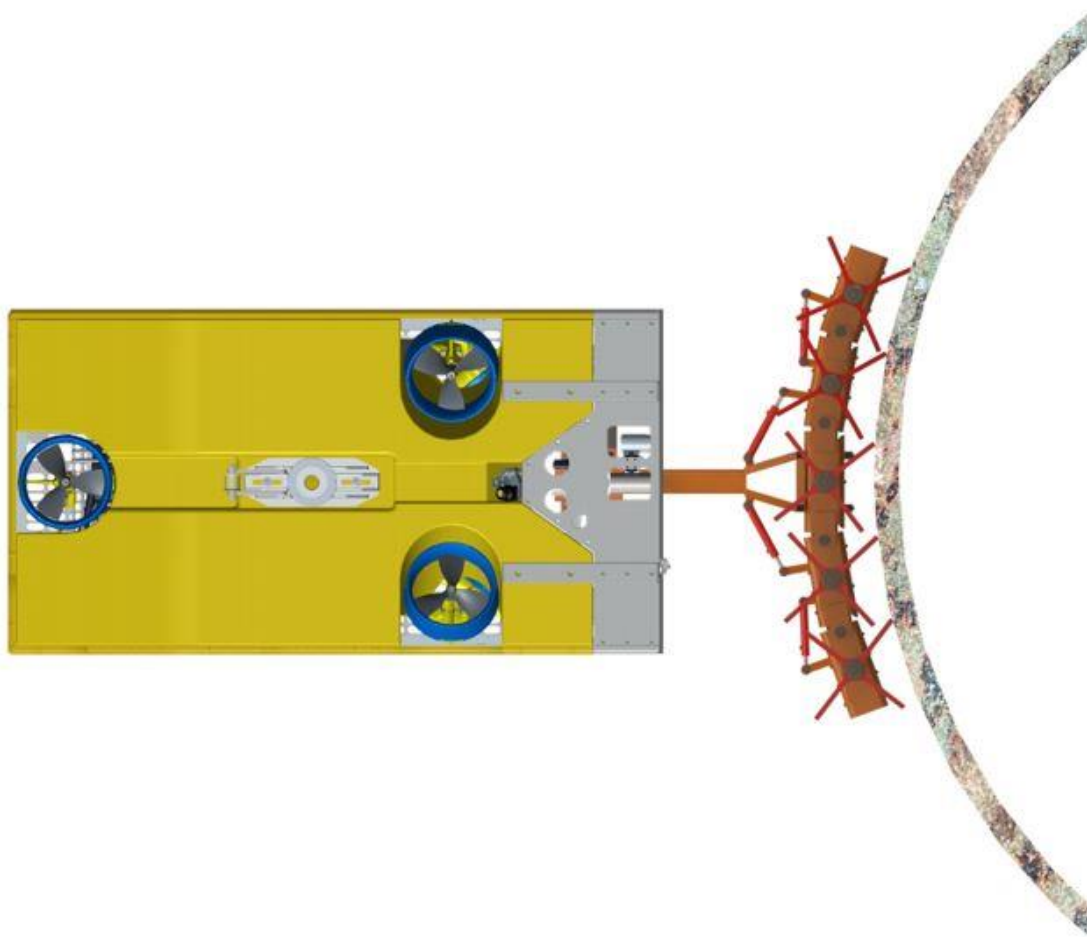
Figur 80: Verktøyet rengjør en søyle med en diameter på 750 millimeter subsea (Rammefarge: RAL 1004).



Figur 81: Verktøyet rengjør en søyle med en diameter på 750 millimeter subsea (Rammefarge: RAL 2004).



Figur 82: Verktøyet montert på ROV når det renser en søyle med en diameter på 0,75 meter sett ovenfra.



Figur 83: Verktøyet montert på ROV når det renser en søyle med en diameter på 6,0 meter sett ovenfra.

17. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

Prosjektstart ble noe senere enn planlagt, dette skyldtes både at første møte med AF Gruppen først var den 18. Januar og en kontinuitetseksamen den 22. Januar, derfor ble den virkelige oppstarten først 25. Januar. Da oppgaven opprinnelig var tiltenkt en varighet over to semestre, altså med et forprosjekt som skulle gå over høstsemesteret, og dette ikke ble gjort måtte en forminskert del av dette forprosjektet bli en del av selve masteroppgaven. Denne delen bestod hovedsakelig i å kartlegge og sette seg inn i marin begroing i Nordsjøen og hvilke metoder som benyttes for å fjerne denne. Progresjonen på denne delen gikk som planlagt, men det ble også valgt å se på hvordan markedet for denne bransjen ser ut i fremtiden, med tanke på antall installasjoner som skal avvikles, når de skal avvikles og hvordan regelverket er antatt å endres, da dette kunne gi utslag på hvilken løsning det ville arbeides videre med i oppgaven. Dersom fremtiden hadde sett mager ut ville ikke den valgte løsningen vært like gunstig. Dette valget førte til at prosjektet allerede på dette tidspunktet havnet noe bak fremdriftsplanen, men det anses allikevel som et godt valg da det resulterte i at det kunne utvikles et fremtidsrettet produkt.

Da denne delen av oppgaven danner grunnlaget for resten av prosjektet er det en ganske omfattende del som kanskje kunne vært kortet ned noe, men dette har vært vurdert mye og vi anser den teksten som er presentert nå er nødvendig for å vise grunnlaget for valgene som er gjort.

Det at det som var planlagt å være et forprosjekt måtte være med i oppgaven medførte at det måtte settes betydelige begrensninger for utviklingsdelen av prosjektet og deler som for eksempel armen som skal holde selve verktøysrammen er kun blitt utformet som et forslag til hvordan den kan lages.

17.1 Forbedringspotensialer ved konseptutviklingsarbeidet

Opp gjennom utdannelsen har vi opparbeidet oss en god del erfaring med utviklingsprosjekter, og da spesielt de to siste årene ved NMBU. Tidligvalg av konseptområde var en meget omfattende idémyldringsprosess der det ble arbeidet både alene og i samarbeid med AF Gruppen. Denne prosessen resulterte i mange varierende løsningsforslag der vi mener flere av dem fortsatt har et godt potensiale. Det at løsningen basert på utvikling av et verktøy til en ROV kom best ut av tidligseleksjonen uansett om kriteriene faglig relevant og oppgavestørrelse var tatt med eller ikke viser at dette er en idé med stort potensiale. Konseptgenereringen og egenscreeningen er fyldig og de mest essensielle funksjonsalternativene blir presentert og vektet opp mot hverandre. Enkelte funksjonsalternativer kunne nok godt ha blitt droppet til fordel for andre deler av verktøyet. For eksempel er valgene av verktøyrammens utforming og utvidelsesmuligheter ganske åpenbare da det er runde søyler med forskjellige diametere som skal renses. Ved å droppe disse kunne det heller blitt fokusert mer på for eksempel armen mellom verktøysrammen og skiden eller utformingen på selve verktøysrammen.

Da funksjonen med bruk av høytrykksspyling, og da spesielt kombinasjonen av luft- og høytrykksspyling, kom best ut av egenscreeningen var det stor tro på at det skulle være mulig å bruke dette til å rense jacketen for marin begroing.

Dette resulterte i at det ble bruk mengder med tid på å prøve å finne en måte vi kunne beregne hvilken kraft vannstrålen ville treffe overflaten på den marine begroingen med og hvilken effekt tilførselen av luft ville ha.

Da alle beregningsforsøkene vi gjorde ikke ga noen fornuftige resultater ble det bestemt å gjøre et forenklet forsøk for å prøve å finne ut av hvilken effekt tilførselen av luft ville ha og fra hvilke avstander det ville være mulig å spyle jacketen ren fra. Forsøket var vellykket og resultatene viste en klar effekt av tilførsel av luft, men dette var kun dersom det var svært liten avstand mellom dysene og overflaten som skulle renses. Vi burde bestemt oss for å droppe beregningene og heller gå for et forsøk på et tidligere stadium i prosjektet. På grunn av dette ble det på dette tidspunktet gjort helomvending og det ble bestemt å bruke børster som renseverktøy i stedet for dyser, noe som betød at mye tid var mer eller mindre bortkastet, men det resulterte i at vi oppdaget den norskutviklede børsten FlexiClean. Et meget lovende produkt som også ville passe utmerket til vår verktøysrigg. Det ble gjort en ny screeningsprosess for børster der FlexiClean ble vektet opp mot to andre børster som representerte hvordan de aller fleste børstene på dette markedet ser ut i dag. Det ble også vurdert å utvikle en egen børste, men da økonomi er et viktig aspekt i prosjektet, og FlexiClean virker å være en spesielt godt egnet børste, ble dette bortvalgt. Ut ifra databladet til Kystdesigns Constructor ROV [26] ble det forstått at ROV-en hadde to tilgjengelige pilotstyrte hydraulikksystemer, ett på 250 L/min og et på 160 L/min og verktøyet ble derfor utformet til å kunne drives av det største systemet. Det ble gjort gjentatte forsøk på å innhente en mer dyptgående informasjon rundt ROV-en, både per mail og per telefon, men denne informasjonen ble ikke oversendt før mot slutten av prosjektet. I den informasjonen er det beskrevet at det største hydraulikksystemet er forbeholdt drift av ROV-en og det lille på 160 L/min er ment for tilleggssystemer som for eksempel verktøy. Dette resulterer i at planen om å bruke fem børster med tilgang på 50L/min hver ikke lenger er mulig. Det er usikkert hvor effektive børstene vil være med en strømning på 32L/min, men dersom dette skulle være for lite vil verktøyet måtte bli begrenset til tre børster.

Det har vært svært varierende respons fra diverse selskaper og fagmiljøer der noen har vært meget behjelpelige og andre først har respondert etter en måneds tid eller ikke respondert i det hele tatt.

Det er kun gjort beregninger på de mest utsatte delene av verktøyet og det er ikke gjort noen utmattingsberegninger. Det samme gjelder analysene som er gjort der alle analysene er gjort med statiske krefter. Dette er delvis på grunn av tidsbegrensningen for prosjektet og at det er store usikkerheter rundt hvilke krefter som faktisk vil virke på verktøyet subsea som for eksempel dersom det skulle kolliderer med jacketen. Det er gjort en analyse der børstene blir utsatt for en kollisjonskraft på 1kN, men det er vanskelig å si om dette er lite eller mye i denne sammenheng.

Til tross for disse utfordringene i utviklingsprosessen mener vi at det har resultert i et godt konsept.

17.2 Design-, produksjon- og kostnadsrevisjon

Resultatet av utviklingsprosessen er en smart verktøysløsning som er modulbasert slik at det kan velges om det vil være behov for en, tre eller fem børster ved fjerning av marin begroing.

Materialene i alle ledd er valgt med spesielt fokus på korrosjonsbestandighet, styrke og miljøvennlighet. Resultatet er at så godt som hele verktøyet er 100% resirkulerbart noe som verdsettes høyt. Uansett kunne det godt ha vært større variasjon i materialene som ble vurdert, for eksempel kunne karbonfiber blitt vurdert som materiale til rammen da det er en ekstrem egenstyrke og en veldig lav massetetthet. Valget med å bruke syntaktisk skum som oppdriftsmateriale er noe som kanskje ikke ville blitt valgt om det skulle bli gjort på nytt da dette, til tross for å ha veldig lav massetetthet, førte til et behov for store oppdriftsmoduler. Dette kunne med fordel blitt byttet ut med rene oppdriftstanker fylt med luft.

Produksjonsmessig er forslaget laget i samarbeid med ansatte ved NMBUs verksted og det er ikke så veldig mange forskjellige måter dette verktøyet kan produseres på. Den eneste forskjellen mellom serieproduksjon og prototyping er at det kan brukes en CNC maskin med vannjet som erstatning for kapping og fresing på enkelte av komponentene. De fleste komponentene på det endelige produktet er hyllevarer og enkle å fremstille, dette holder prisene på produksjonen lave. I kostnadskalkylene er det usikkerhet rundt prisen på flere av komponentene som skal kjøpes inn da leverandørene ikke har egne prislister for dette. Under arbeidskostnadene er timeprisene satt med norske priser som er høye. Det er valgt å sette produksjonen av verktøyet i Norge uansett da denne kostnaden kun utgjør en liten del av den totale prisen for verktøyet. Den totale prisen er også underestimert da dette ikke er et ferdig utviklet konsept som mangler både rotator aktuator og en skid som er tilpasset KystDesigns Constructor ROV.

18. KONKLUSJON

Gjennom dette prosjektet er det utviklet og utformet et verktøy for fjerning av marin begroing på offshoreinstallasjoner. Dette er gjort med grunnlag i en tidlig utredning og kartlegging av marin begroing i Nordsjøen og metodene som benyttes for fjerning av denne fra utrangerte offshoreinstallasjoner. Det er lagt stor vekt på å få bukt med problemene som oppleves knyttet til sterk lukt og utfordringene knyttet til arbeid på spesielt høye strukturer. Sentralt i utviklingen av konseptet er hensyn til miljøet og det å oppfylle dagens, og også fremtidens, krav og spesifikasjoner. Ut over dette er kost, tid og effektivitet verktøyets viktigste parametere.

18.1 Resultater

Verktøyet som er utformet i denne oppgaven er per nå på et tidlig stadium med tanke på produksjon. Det er flere komponenter som ikke er klare til å kunne produseres, som for eksempel skid og rotator aktuator.

- Gjennom kartlegging av marin begroing i Nordsjøen og dets utviklingsmønster er det funnet at marin begroing fint kan fjernes fra installasjonene opp til seks måneder før demontering av installasjon igangsettes. Lengden på denne perioden avhenger av når på året fjerningen begynner.
- Med en effektiv vaskebredde på 1,5 meter på det bredeste er dette vesentlig mer effektivt enn dagens undervannsløsninger. Verktøyets armer er modulbaserte og bredden kan dermed endres der et større vaskeareal ikke er hensiktsmessig eller på grunn av andre forhold ikke mulig. Der det bare benyttes tre av børstene vil den effektive vaskebredden reduseres til 0,9 meter.
- Endringen av armenes vinkel gjøres ved hjelp av hydrauliske sylindre produsert av Servi AS. Disse er montert i bakkant av verktøyet for ikke å komme i konflikt med strukturen som vaskes og sylindrenes braketter er plassert slik at det i de tilfeller hvor det bare trengs tre moduler til operasjonen vil det ikke være nødvendig å bytte den innerste sylindren eller på andre måter tilpasse koblingen til armen.
- Det går en aksel fra verktøyet og inn til en roterende aktuator montert på skiden. Denne aktuatoren skal ha muligheten til å vri verktøyet 90° begge veier. Dette vil gjøre rengjøringen av vinklede avstivere enklere da ROV-en kan holdes plan.
- Det er gjennom forsøk avdekket at det ved rengjøring av en større flate vil være mest gunstig å benytte børster fremfor høytrykksspyling. Dette fordi antallet dyser som er nødvendig for å rengjøre samme område vil kreve en formidabel mengde vann og luft, hvilket ikke lar seg gjøre i så stor skala.
- Gjennom å fjerne marin begroing på feltet der installasjonene står elimineres hele problematikken med å påse at marin begroing ikke ender opp i fjorden rundt miljøbasen i Vats.

- Det er flere ting som tyder på at regelverket for fjerning av marin begroing kan bli strengere i fremtiden og Klif anbefaler at marin begroing bør fjernes offshore dersom det er teknisk mulig. Med bakgrunn i dette sees det at verktøyet er et fremtidsrettet produkt.
- Det er totalt i overkant av 34 000 kvadratmeter som skal rengjøres. Med en vaskebredde på bare 0,9 meter og en rengjøringsgrad på 90% vil strukturen være ren etter 26 døgn ved 22 timers skift og en vertikal hastighet på én meter per sekund.
- Ved å fjerne begroingen fra jacketen før den tas inn til Vats vil det ta kortere tid fra jacketen kommer i land til den sendes til resirkulering, dette vil føre til at kapasiteten på Vats vil øke.

18.2 Anbefalinger

- Modulariseringen lar brukeren tilpasse verktøyet selv og kan dermed bruke det samme verktøyet til flere søylediameterer eller større flater.
- Enkel å montere og demontere.
- Aktuatorene tillater verktøyet å rotere hvilket gjør fjerning av marin begroing fra diagonale avstivere mye enklere.
- Ved å fjerne marin begroing på feltet spares det både tid og arbeidskraft.
- Den enkle konstruksjonen gjør utskifting av deler ukomplisert.
- Vedlikehold av hydrauliske komponenter inne i modulene lar seg lett gjøre ved å fjerne bunndekselet.

18.3 Videre arbeid

Da prosjektet er tidlig utviklingsprosjekt er det behov for at produktet videreutvikles og optimaliseres før det kan lages en prototype av det. Videre arbeid bør derfor være:

- Gjøre utmattingsberegninger med hensyn til de dynamiske belastningene verktøyet vil bli utsatt for.
- Gjøre detaljerte FEM- analyser.
- Optimalisere modulutformingene.
- Optimalisere materialvalgene.
- Utvikle eller finne en bedre metode for hengsling av modulene.
- Optimalisere plassering av de hydrauliske sylindrene.
- Gjøre et ekstensivt søk på roterende aktuatorer for 180° rotasjon av verktøyet om y-aksen. Kontakte selskaper som utvikler disse og skaffe et prisoverslag på utvikling av en egnet aktuator.
- Gjøre et studie på om børster med behov for mindre volumstrøm kan være effektivt nok til fjerning av marin begroing, slik at alle fem børstene kan driftes av et hydraulisk system på 160 liter per minutt. Lateral AS har informert om at de kan produsere børster på egne kriterier.

- Undersøke om skiden verktøyet er festet i burde utstyres med et eget hydraulikksystem sterkt nok til å drive alle fem børstene på full kraft.
- Utarbeide et fullverdig hydraulikkskjema.
- Designe støttestruktur til armen mellom skiden og verktøyet.
- Se på løsninger for å lage rammen lufttett slik at behovet for oppdriftselementer minsker.
- Utforme en skid som passer til KystDesigns Constructor Work Class ROV.
- Optimalisere eller re-designe rammen som bærer verktøyet.
- Se på behovet for å utstyre verktøyet med egne kameraer for å kunne kontrollere effektiviteten av hver enkelt børste.
- Se på behovet for å utstyre verktøyet med sensorer for å hindre at det krasjer med hindringer som noder og liknende.
- Undersøke om verktøyet kan utstyres med støtdemper, slik at det tåler å kolliderer med jacketen.
- Bestemme hvordan verktøyet skal leveres til eventuelle kunder. I deler eller ferdig samlet.
- Utarbeide en bruksanvisning for piloten der det blant annet bør forklares at armen burde settes i utstrakt posisjon når den skal løftes over vann for å begrense torsjonskreftene som virker på sentermodulen.

19. REFERANSER

19.1 Litteraturreferanser

4. Johannesen, J. *Tekniske tabeller*, Cappelen,Oslo, 2002
ISBN: 978-82-02-16822-3
5. Brautaset, K. *Innføring i oljehydraulikk*, Gyldendal Undervisning, Oslo, 2010
ISBN: 978-82-00-28325-6
6. AF Decom Offshore, Method statement marine growth at AFEV (u.å.)
Doc. No: AFD2-D-GEN-EG-0022
7. Gormley, K. Evaluation of the Extent of Colonisation of *Lophelia pertusa* and Marine Growth on the Murchison Platform, 2010.
Report No: A.INS.001/Murchison
38. Terjesen, G. *Skrueforbindelser repetisjon*, NMBU, Ås, 2015
39. Terjesen, G. *Torsjon og Vipping*, NMBU, Ås, 2015
55. Bøe, J.K. *Temahefte 8: Prototypeøkonomi og økonomiske analyser*. NMBU, Ås, 2015

19.2 Personlige meddelelser

17. Marinbiolog Torgeir Bakke, Norsk Institutt for vannforskning (NIVA),
Informasjon om hvordan marin begroing i Nordsjøen formerer seg, 08.02.2016

19.3 Nettkilder

19.3.1 Elektroniske dokumenter

16. Sell, D., Bryant B. og Ferris J. (2013), *Marine Growth Management during Decommissioning*. Hentet: 03.02.2016
<http://oilandgasuk.co.uk/wp-content/uploads/2015/07/8.-David-Sell-BMT-Cordah.pdf>
18. Nåmdal, S. (2010), *Avvikling av utrangerte offshoreinstallasjoner, Rapport TA-2643*. Hentet: 04.02.2016
<http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2643/ta2643.pdf>
20. BMT Cordah Limited (2011), *Management of Marine Growth during decommissioning, Report Ref: A.CON.093*. Hentet: 04.02.2016
<http://oilandgasuk.co.uk/wp-content/uploads/2015/04/experience-pdf.pdf>
32. Forum energy technologies (u.å), *Cleaning tool, Datasheet #A001-350-194*.
Hentet: 07.04.2016
http://www.f-e-t.com/images/uploads/A001-350-194_iss_2.pdf
33. J2 Subsea (u.å), *J2 Subsea General Purpose Cleaning Brush*.
Hentet: 07.04.2016
http://www.j2subsea.com/files/9314/3653/8534/J2_Subsea_General_Purpose_Cleaning_Brush.pdf
37. Danfoss (2007), *Nessie High-Pressure Pumps for technical water, type PAH*.
Hentet: 08.04.2016

- <http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/5E5F3CD0-DEB1-4411-B0A2-F30C59A81A35/0/PAHtechnicalwater521B0799.pdf>
43. Norsk Stål AS (u.å.), *Tabeller og standarder*. Hentet: 11.04.2016
<http://www.ux.uis.no/~hirpa/KdB/ME/SteelTables%20norskstaal.pdf>
46. Fluid Control (u.å.), *Group 1 Hydraulic Hoses*. Hentet: 20.04.2016
<http://www.fluidcontrol.no/home/catalogues%20and%20documents/groups/group01-hydraulic-hoses.pdf>
47. Servi Group (u.å.), *CD25 – Dobbeltvirkende hydraulisk sylinder*. Hentet: 20.04.2016
<http://www.servicatalogue.com/Katalogdata/pdf/140001-1-1-1.pdf>
50. The Aluminum Association (2011), *Aluminum: The element of Sustainability*. Hentet: 26.04.2016
[http://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum The Element of Sustainability.pdf](http://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum%20The%20Element%20of%20Sustainability.pdf)
58. CNR International (2013), *Murchison Decommissioning – Comparative Assessment Report*. Hentet: 09.03.2016
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/204261/Comparative_Assessment.pdf

19.3.2 Nettsider

8. Store Norske Leksikon (2015), *Tang og tare- brunalger*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 24.02.2016
9. Store Norske Leksikon (2013), *Hydroider*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 24.02.2016
10. Store Norske Leksikon (2013), *Bløtkoraller*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 24.02.2016
11. Store Norske Leksikon (2013), *Sjøanemoner*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 24.02.2016
12. Store Norske Leksikon, (2014), *Svamper*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 24.02.2016
13. Store Norske Leksikon, (2015), *Rørormer*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 01.03.2016
14. Artsdatabanken, (u.å.), *Lophelia pertusa – byggmester'n*. Tilgjengelig fra: <http://www.artsdatabanken.no>. Hentet: 03.03.2016
15. Store Norske Leksikon, (2016), *Muslinger*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no>. Hentet: 01.03.2016
25. Lovdata (2009), *Lov om forvaltning av naturens mangfold*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/>. Hentet: 03.03.2016
26. KystDesign, (u.å.), *Constructor Work Class ROV*. Tilgjengelig fra: <http://kystdesign.no/home>. Hentet: 03.02.2016
31. Lateral AS (u.å.), *FlexiClean*. Tilgjengelig fra: <http://www.lateral.no/>. Hentet: 07.04.2016
36. Material Property Data (u.å.), *Aluminum 5083-H116; 5083-H321*. Tilgjengelig fra: <http://matweb.com/>. Hentet: 18.04.2016
40. Utdanning (u.å.), *Forskjellen mellom 304 og 316L rustfritt stål*. Tilgjengelig fra: <http://no.educationcollege.info/>. Hentet: 11.04.2016

41. Sverdrup Steel (u.å), *6Mo*. Tilgjengelig fra:
<http://www.sverdrupsteel.com/>. Hentet: 11.04.2016
42. Sverdrup Steel (u.å), *Superduplex UNS S32760*. Tilgjengelig fra:
<http://www.sverdrupsteel.com/>. Hentet: 11.04.2016
44. Finetubes (u.å), *Alloy 316*. Tilgjengelig fra:
<http://www.finetubes.co.uk/>. Hentet: 12.04.2016
45. Material Property Data (u.å), *Aluminum 6082-T6*. Tilgjengelig fra:
<http://matweb.com/>. Hentet: 18.04.2016
48. Diab group (u.å), *Divinycell HCP*. Tilgjengelig fra:
<http://www.diabgroup.com/>. Hentet: 25.04.2016
49. World Aluminium (2016), *Primary Aluminium Production*. Tilgjengelig fra:
<http://www.world-aluminium.org/statistics/>. Hentet: 26.04.2016
52. Bureau of International Recycling (u.å), *Stainless Steel and Special Alloys*.
Tilgjengelig fra:
<http://www.bir.org/industry/> Hentet: 26.04.2016
53. Er det farlig? (u.å), *Andre farlige stoffer – alfabetisk*. Tilgjengelig fra:
<http://www.erdetfarlig.no/>. Hentet: 27.04.2016

19.3.3 Illustrasjoner

1. Scanpix, (u.å.). *Leteriggen Ocean Viking*. Tilgjengelig fra:
<http://www.aftenbladet.no/energi/>. Hentet: 01.05.2016
2. AF Gruppen ASA, (u.å.). *AF Miljøbase Vats*. Tilgjengelig fra:
<http://www.afgruppen.no/Offshore/>. Hentet: 01.05.2016
3. Marine Growth Prevention (u.å.). *Marin Begroing i plaskesonen på en jacket*. Tilgjengelig fra:
<http://www.foundocean.com/>. Hentet: 01.05.2016
19. AF Gruppen ASA, (u.å) *AF Miljøbase Vats*. Tilgjengelig fra:
<http://docplayer.no/>. Hentet: 09.05.2016
21. Ingenia Online, (u.å.) *The Murchison Platform*. Tilgjengelig fra:
<http://www.ingenia.org.uk/>. Hentet: 09.03.2016
22. Espacenet (2006). *Delivering X-ray systems to pipe installations*. Tilgjengelig fra:
<http://worldwide.espacenet.com/>. Hentet: 01.03.2016
23. SwissDrones (u.å.) *SDO 50V2*. Tilgjengelig fra:
<http://www.swissdrones.com/>. Hentet: 21.04.2016
24. KystDesign (u.å) *Supporter work class ROV*. Tilgjengelig fra:
<http://kystdesign.no/home>. Hentet: 21.04.2016
27. Clas Ohlson, (u.å) *Asaklitt bagasjevekt*. Tilgjengelig fra:
<http://www.clasohlson.com/no/>. Hentet: 04.04.2016
28. J2 Engineering Services, (u.å) *General purpose cleaning brush*. Tilgjengelig fra:
<http://j2engineering.co.uk/>. Hentet: 06.04.2016
29. Specialist ROV tooling Services, (u.å) *Cleaning Tool*. Tilgjengelig fra:
<http://www.f-e-t.com/>. Hentet: 06.04.2016

30. Lateral AS, (u.å) *FlexiClean*. Tilgjengelig fra:
<http://stoprust.com/>. Hentet: 07.04.2016
34. Indiamart (u.å), *GI Bolt Nut*. Tilgjengelig fra:
<http://www.indiamart.com/>. Hentet: 10.05.2016
35. Harstad Tarding AS (u.å), *Kragehylse nylon M10*. Tilgjengelig fra:
<http://www.harstadtrading.no/>. Hentet: 10.05.2016
51. Wikipedia (2015), *Recycling codes*. Tilgjengelig fra:
<https://en.wikipedia.org>. Hentet 26.04.2016
54. Recycle Nation (u.å.), *Understanding the recycling symbols*. Tilgjengelig fra:
<http://recyclenation.com/recycle>. Hentet 26.04.2016
56. Subsea World News (u.å), *Launch and Recovery System*. Tilgjengelig fra:
<http://subseaworldnews.com>. Hentet: 12.02.2016
57. KystDesign (u.å) *Pilot Container*. Tilgjengelig fra:
<http://kystdesign.no/home>. Hentet: 12.02.2016



VEDLEGG

1. Fremdriftsplan	Side: V1
2. Arbeidstegninger	V2
3. Strukturtegninger MUR	V3
4. Forsøksresultater	V4
5. Analyser	V5

VEDLEGG 1

		Name	Duration	Start	Finish	Predecessors
1		Presentasjon (tilnærmet tidspunkt)	103 days?	25.01.16 08:00	15.06.16 17:00	
2		Prosjektstart	4 days?	25.01.16 08:00	28.01.16 17:00	
3		Fremdriftsplan førsteutkast	1 day?	25.01.16 08:00	25.01.16 17:00	
4		Signere kontrakter	2 days?	25.01.16 08:00	26.01.16 17:00	
5		Uformelle timelistedokument	1 day?	25.01.16 08:00	25.01.16 17:00	
6		Fremdriftsplan andreutkast	1 day?	28.01.16 08:00	28.01.16 17:00	3
7		Forberedelser	13 days?	25.01.16 08:00	10.02.16 17:00	
8		Litteratursøk	13 days?	25.01.16 08:00	10.02.16 17:00	
9		Studere marin begroing (MG)	11 days?	27.01.16 08:00	10.02.16 17:00	8SS
10		Studere eksisterende løsninger for fjerning av MG	8 days?	01.02.16 08:00	10.02.16 17:00	8SS
11		Tidligutvikling	24 days?	11.02.16 08:00	15.03.16 17:00	7
12		Idémyndring produkt/prosess	10,5 days?	11.02.16 08:00	25.02.16 13:00	
13		Produkt- eller prosessspesifisering	19 days?	13.02.16 08:00	10.03.16 17:00	
14		Seleksjonsprosess	2 days?	11.03.16 08:00	14.03.16 17:00	13;12
15		Velge hovedkonsept	2 days?	14.03.16 08:00	15.03.16 17:00	
16		Prosess-/Konseptutvikling	41 days?	16.03.16 08:00	11.05.16 17:00	11
17		Idémyndring for valgt prosess/konsept	4 days?	16.03.16 08:00	21.03.16 17:00	
18		Seleksjonsprosess	10 days?	22.03.16 08:00	04.04.16 17:00	17
19		Eventuelle forsøk	15,5 days?	05.04.16 08:00	26.04.16 13:00	18
20		Prosess-/konseptoptimalisering	2 days?	26.04.16 13:00	28.04.16 13:00	19
21		3D modellering	41 days?	16.03.16 08:00	11.05.16 17:00	
22		Beregninger	41 days?	16.03.16 08:00	11.05.16 17:00	
23		Analyser	41 days	16.03.16 08:00	11.05.16 17:00	
24		Rapport	75 days?	01.02.16 08:00	13.05.16 17:00	
25		Generell rapportskrivning	75 days?	01.02.16 08:00	13.05.16 17:00	
26		Kostnadsalkyle	5 days?	27.04.16 08:00	03.05.16 17:00	
27		Arbeidstegninger (avhenger av antall komponenter)	7 days?	27.04.16 08:00	05.05.16 17:00	
28		Rendre bilder for markedspresentasjon	2 days?	27.04.16 08:00	28.04.16 17:00	
29		Vedlegg fra analyser o.l	2 days?	27.04.16 08:00	28.04.16 17:00	
30		Presentasjon (tilnærmet tidspunkt)	11 days?	01.06.16 08:00	15.06.16 17:00	
31		Animering (Klar 3 dager før presentasjon)	11 days?	01.06.16 08:00	15.06.16 17:00	
32		Lage presentasjon (Klar 3 dager før presentasjon)	11 days?	01.06.16 08:00	15.06.16 17:00	

Fremdriftsplan: Masteroppgave for AF Gruppen vår 2016 - Marin begroing - page 1

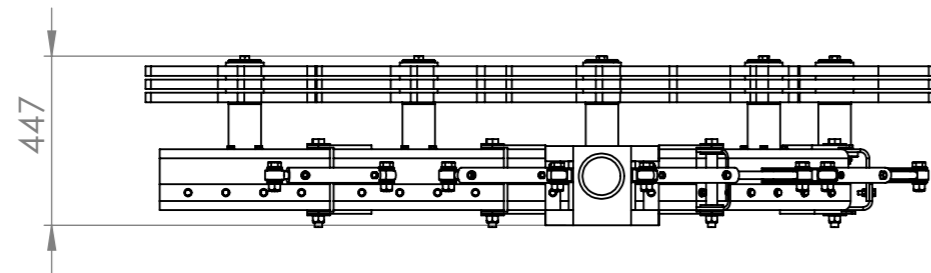
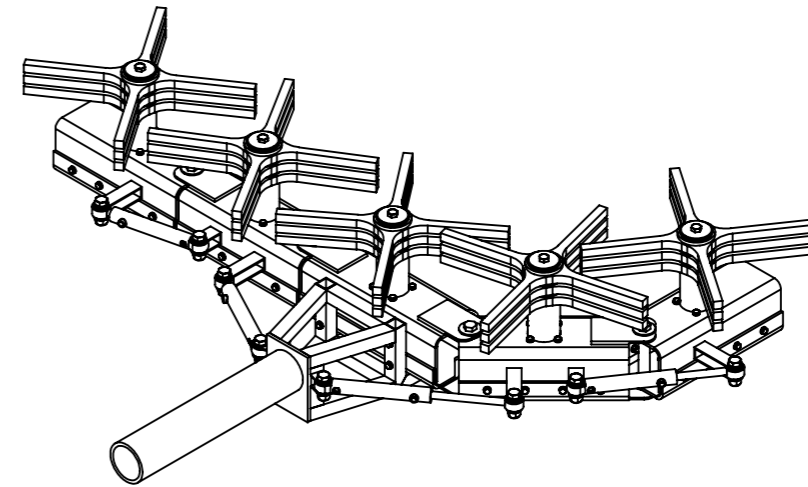
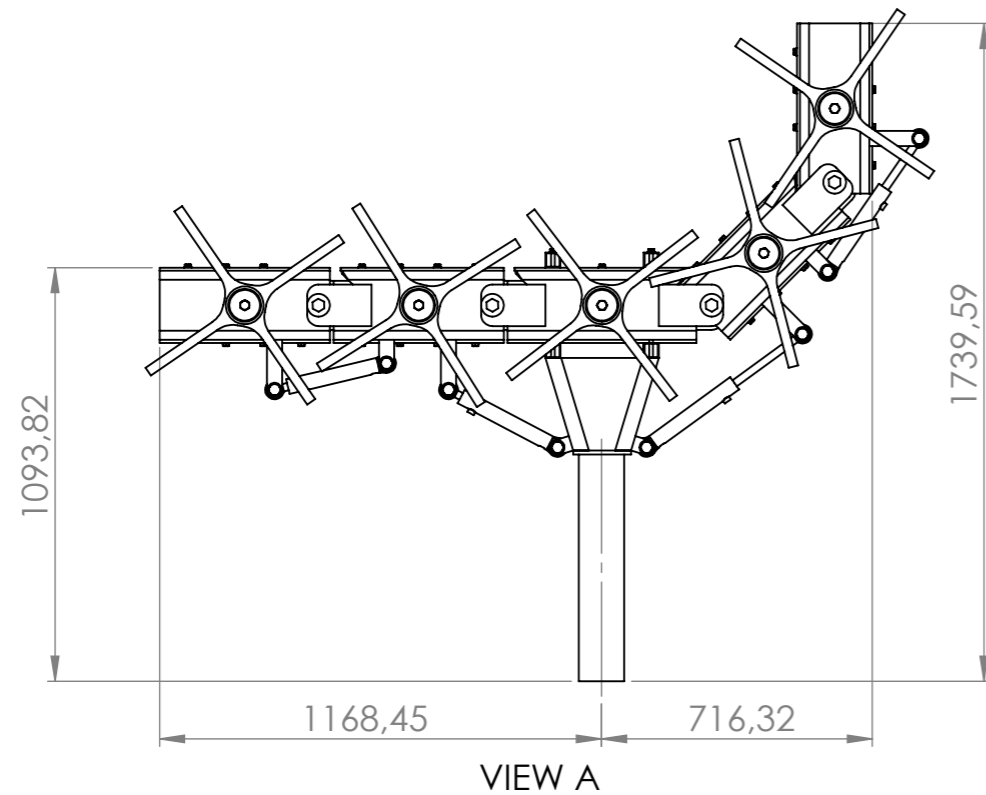


VEDLEGG 2

Arbeidstegninger

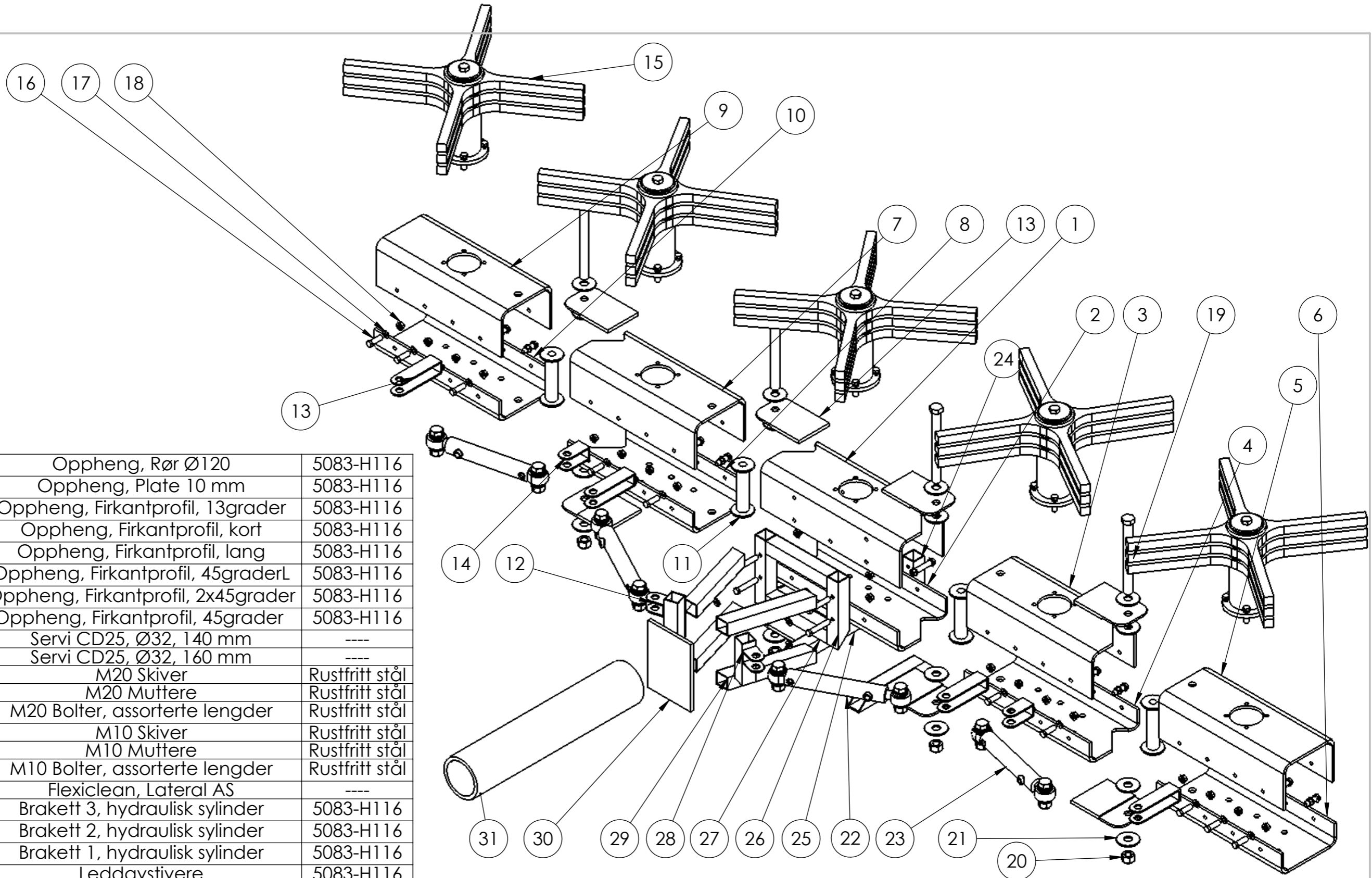
Tegning 1: Sammenstilling, målsatt

Tegning 2: Eksplosjonstegning med stykkliste



Dato: 15.05.2016	Konstr./Tegnet: D.Stigen/J.Sandgrav	Projeksjon: 	Målestokk: 1:20	NMBU	
Verktøy for fjerning av marin begroing Sammenstilling, målsatt			Erstatning for:			Erstatning av:
Henvising:			Beregning:	Tegningsnummer: Tegning 1	
			Alle mål i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen		

**SolidWorks Student Edition.
For Academic Use Only.**



31	1	Oppheng, Rør Ø120	5083-H116
30	1	Oppheng, Plate 10 mm	5083-H116
29	4	Oppheng, Firkantprofil, 13grader	5083-H116
28	2	Oppheng, Firkantprofil, kort	5083-H116
27	2	Oppheng, Firkantprofil, lang	5083-H116
26	2	Oppheng, Firkantprofil, 45graderL	5083-H116
25	2	Oppheng, Firkantprofil, 2x45grader	5083-H116
24	2	Oppheng, Firkantprofil, 45grader	5083-H116
23	2	Servi CD25, Ø32, 140 mm	----
22	2	Servi CD25, Ø32, 160 mm	----
21	32	M20 Skiver	Rustfritt stål
20	12	M20 Muttere	Rustfritt stål
19	12	M20 Bolter, assorterte lengder	Rustfritt stål
18	120	M10 Skiver	Rustfritt stål
17	60	M10 Muttere	Rustfritt stål
16	60	M10 Bolter, assorterte lengder	Rustfritt stål
15	5	Flexiclean, Lateral AS	----
14	2	Brakett 3, hydraulisk sylinder	5083-H116
13	4	Brakett 2, hydraulisk sylinder	5083-H116
12	2	Brakett 1, hydraulisk sylinder	5083-H116
11	4	Leddavstivere	5083-H116
10	1	Modul 2, venstre, nedre profil	5083-H116
9	1	Modul 2, venstre, øvre profil	5083-H116
8	1	Modul 1, venstre, nedre profil	5083-H116
7	1	Modul 1, venstre, øvre profil	5083-H116
6	1	Modul 2, høyre, nedre profil	5083-H116
5	1	Modul 2, høyre, øvre profil	5083-H116
4	1	Modul 1, høyre, nedre profil	5083-H116
3	1	Modul 1, høyre, øvre profil	5083-H116
2	1	Modul 2, høyre, nedre profil	5083-H116
1	1	Modul 2, høyre, øvre profil	5083-H116
Pos.	Ant.	Tittel/Benevning/Dimensjon	Materiale

Dato: 15.05.2016	Konstr./Tegnet: D.Stigen/J.Sandgrav	Projeksjon: 	Målestokk: 1:10	NMBU
Verktøy for fjerning av marin begroing Eksplasjonstegning med stykkliste			Erstatning for: Erstatning av:	
Henvising:			Beregning:	Tegningsnummer: Tegning 2
				Alle mål i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen

SolidWorks Student Edition
For Academic Use Only.

VEDLEGG 3

Målsatte tegninger av jacketen til Murchison plattformen.

Vedlagte tegninger:

- EM-40-1: Generelle plan og høyder
- EM-106-1: Ramme 2
- EM-107-1: Ramme 6
- EM-108-1: Ramme A
- EM-109-1: Ramme B
- EM-110-1: Ramme D
- EM-111-1: Ramme E
- EM-112-1: Plan (+9,00 m)
- EM-113-1: Plan (-13,00 m)
- EM-114-1: Plan (-41,00 m)
- EM-115-1: Plan (-69,00 m)
- EM-116-1: Plan (-97,00 m)
- EM-117-1: Plan (-125,00 m)

CJB-EAW DRG. NO
1200/1061

12078

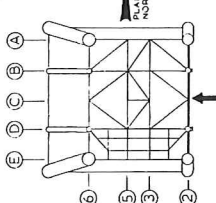
EM-1061

2

- NOTES**
1. ALL ELEVATIONS IN METRES. ALL OTHER DIMENSIONS IN MILLIMETRES.
 2. ALL TUBULAR DIAMETERS SHOWN ARE O.D.
 3. ALL STEEL TO BE TYPE II U/N.
 4. ALL STEEL SHOWN THIS DRAWING IS TO BE TYPE I.
 5. W.T.O. ITEM N₁ SHOWN THIS DRAWING IS TO BE TYPE I.

MODIFICATIONS

- 1. 22 MAR 11
- 2. 10 APR 10
- 3. 10 APR 10
- 4. 10 APR 10
- 5. 10 APR 10



REFERENCE DRAWINGS

- 102-1 GENERAL PLANS & ELEVATIONS
- 103-1 GENERAL PLANS & ELEVATIONS
- 103-2 LEG DETAILS
- 103-3 LEG DETAILS
- 103-4 LEG DETAILS
- 103-5 LEG DETAILS
- 103-6 LEG DETAILS
- 103-7 LEG DETAILS
- 103-8 LEG DETAILS
- 103-9 LEG DETAILS
- 103-10 LEG DETAILS
- 103-11 LEG DETAILS
- 103-12 LEG DETAILS
- 103-13 LEG DETAILS
- 103-14 LEG DETAILS
- 103-15 LEG DETAILS
- 103-16 LEG DETAILS
- 103-17 LEG DETAILS
- 103-18 LEG DETAILS
- 103-19 LEG DETAILS
- 103-20 LEG DETAILS
- 103-21 LEG DETAILS
- 103-22 LEG DETAILS
- 103-23 LEG DETAILS
- 103-24 LEG DETAILS
- 103-25 LEG DETAILS
- 103-26 LEG DETAILS
- 103-27 LEG DETAILS
- 103-28 LEG DETAILS
- 103-29 LEG DETAILS
- 103-30 LEG DETAILS
- 103-31 LEG DETAILS
- 103-32 LEG DETAILS
- 103-33 LEG DETAILS
- 103-34 LEG DETAILS
- 103-35 LEG DETAILS
- 103-36 LEG DETAILS
- 103-37 LEG DETAILS
- 103-38 LEG DETAILS
- 103-39 LEG DETAILS
- 103-40 LEG DETAILS
- 103-41 LEG DETAILS
- 103-42 LEG DETAILS
- 103-43 LEG DETAILS
- 103-44 LEG DETAILS
- 103-45 LEG DETAILS
- 103-46 LEG DETAILS
- 103-47 LEG DETAILS
- 103-48 LEG DETAILS
- 103-49 LEG DETAILS
- 103-50 LEG DETAILS
- 103-51 LEG DETAILS
- 103-52 LEG DETAILS
- 103-53 LEG DETAILS
- 103-54 LEG DETAILS
- 103-55 LEG DETAILS
- 103-56 LEG DETAILS
- 103-57 LEG DETAILS
- 103-58 LEG DETAILS
- 103-59 LEG DETAILS
- 103-60 LEG DETAILS
- 103-61 LEG DETAILS
- 103-62 LEG DETAILS
- 103-63 LEG DETAILS
- 103-64 LEG DETAILS
- 103-65 LEG DETAILS
- 103-66 LEG DETAILS
- 103-67 LEG DETAILS
- 103-68 LEG DETAILS
- 103-69 LEG DETAILS
- 103-70 LEG DETAILS
- 103-71 LEG DETAILS
- 103-72 LEG DETAILS
- 103-73 LEG DETAILS
- 103-74 LEG DETAILS
- 103-75 LEG DETAILS
- 103-76 LEG DETAILS
- 103-77 LEG DETAILS
- 103-78 LEG DETAILS
- 103-79 LEG DETAILS
- 103-80 LEG DETAILS
- 103-81 LEG DETAILS
- 103-82 LEG DETAILS
- 103-83 LEG DETAILS
- 103-84 LEG DETAILS
- 103-85 LEG DETAILS
- 103-86 LEG DETAILS
- 103-87 LEG DETAILS
- 103-88 LEG DETAILS
- 103-89 LEG DETAILS
- 103-90 LEG DETAILS
- 103-91 LEG DETAILS
- 103-92 LEG DETAILS
- 103-93 LEG DETAILS
- 103-94 LEG DETAILS
- 103-95 LEG DETAILS
- 103-96 LEG DETAILS
- 103-97 LEG DETAILS
- 103-98 LEG DETAILS
- 103-99 LEG DETAILS
- 103-100 LEG DETAILS

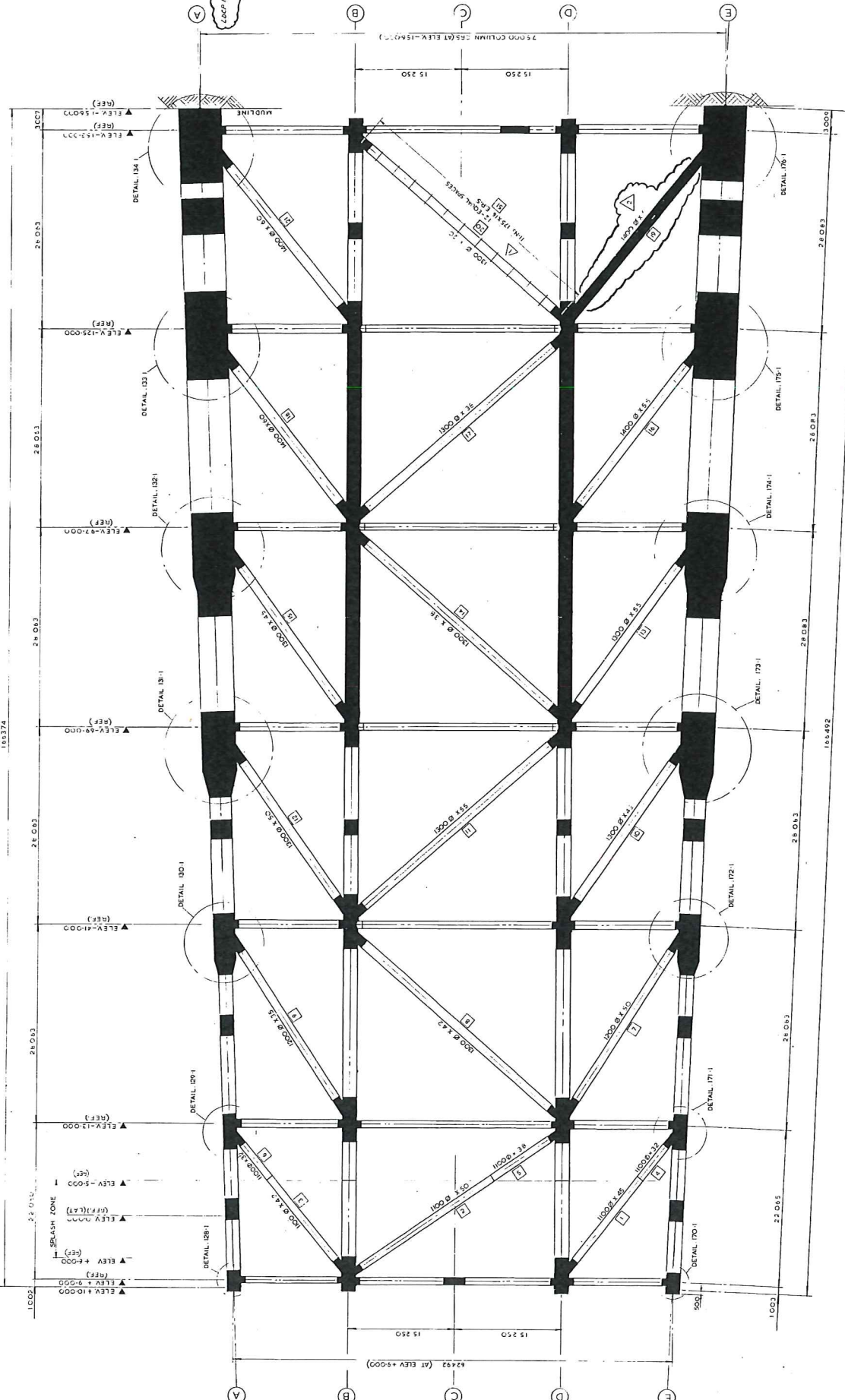
REVISION	DESCRIPTION	DATE	CONC'D	DATE
1	ISSUED FOR TENDER	10.03.07		
2	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
3	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
4	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
5	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
6	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
7	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
8	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
9	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
10	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
11	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
12	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
13	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
14	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
15	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
16	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
17	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
18	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
19	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
20	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
21	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
22	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
23	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
24	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
25	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
26	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
27	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
28	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
29	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
30	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
31	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
32	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
33	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
34	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
35	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
36	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
37	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
38	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
39	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
40	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
41	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
42	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
43	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
44	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
45	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
46	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
47	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
48	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
49	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		
50	ISSUED FOR CONSTRUCTION	10.03.07		

Conoco
CONOCO NORTH SEA INC.
LONDON, ENGLAND.

MURCHISON FIELD DEVELOPMENT
FRAME 2
GENERAL ARRANGEMENT

CJB-EARL & WRIGHT LIMITED
CJB HOUSE
EASTBOURNE TERRACE, LONDON W2 8LE.

12078
CJB-EAW DRG. NO
1200/1061



FRAME 2 - BRACING
(TRUE ON FACE)

THIS DRAWING MUST NOT BE USED FOR CONSTRUCTION UNLESS SPECIFICALLY CERTIFIED FOR THAT PURPOSE UNDER AN ISSUE

NO.	DATE	BY	CHECKED	ISSUED
1	10.03.07			
2	10.03.07			
3	10.03.07			
4	10.03.07			
5	10.03.07			
6	10.03.07			
7	10.03.07			
8	10.03.07			
9	10.03.07			
10	10.03.07			
11	10.03.07			
12	10.03.07			
13	10.03.07			
14	10.03.07			
15	10.03.07			
16	10.03.07			
17	10.03.07			
18	10.03.07			
19	10.03.07			
20	10.03.07			
21	10.03.07			
22	10.03.07			
23	10.03.07			
24	10.03.07			
25	10.03.07			
26	10.03.07			
27	10.03.07			
28	10.03.07			
29	10.03.07			
30	10.03.07			
31	10.03.07			
32	10.03.07			
33	10.03.07			
34	10.03.07			
35	10.03.07			
36	10.03.07			
37	10.03.07			
38	10.03.07			
39	10.03.07			
40	10.03.07			
41	10.03.07			
42	10.03.07			
43	10.03.07			
44	10.03.07			
45	10.03.07			
46	10.03.07			
47	10.03.07			
48	10.03.07			
49	10.03.07			
50	10.03.07			

CJB-E&W DRG. NO
1200/112-1
12078 0100 E-M-112-1 3
AB001123
ISSUE

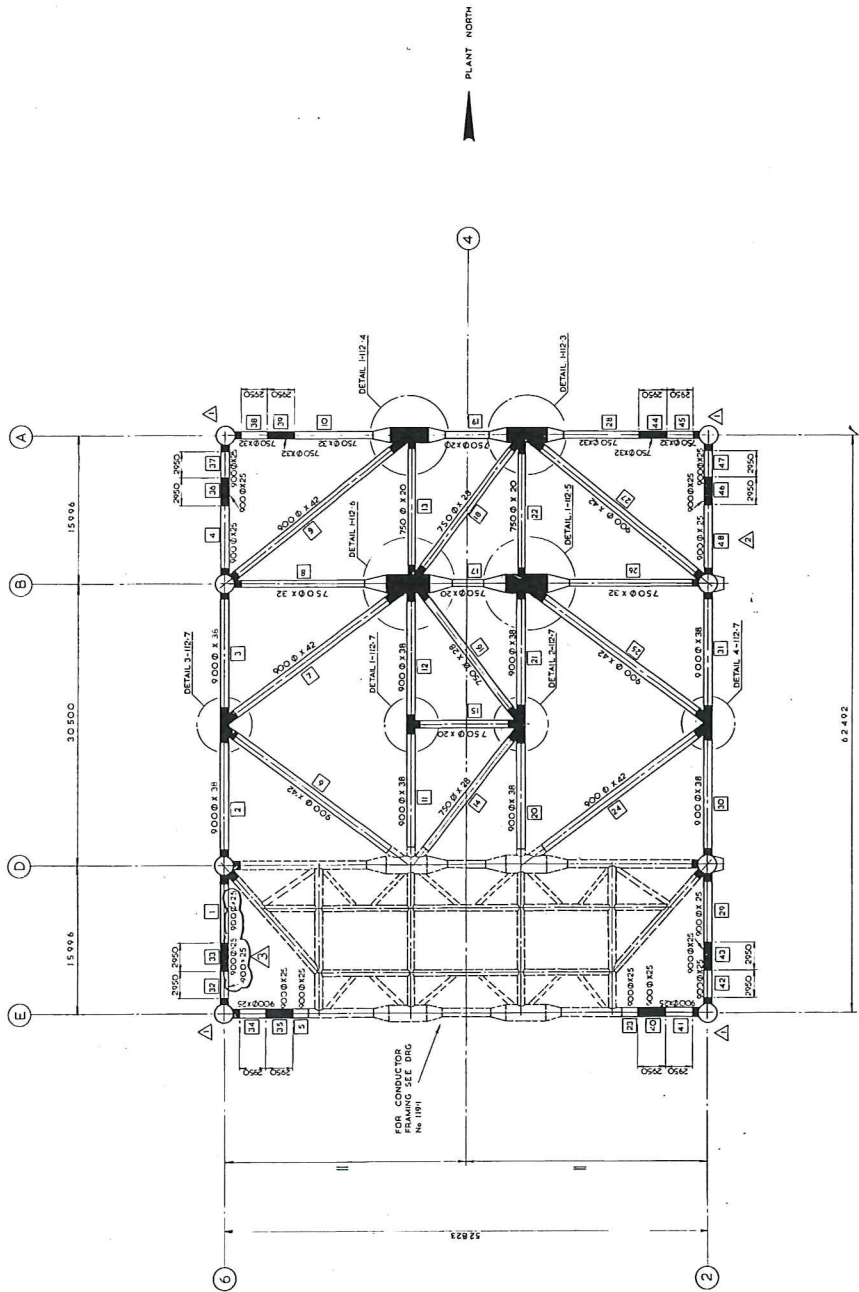
NOTES

- 1 ALL ELEVATIONS IN METRES. ALL OTHER DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES.
- 2 ALL TUBULAR DIAMETERS SHOWN ARE O.D.S.
- 3 ALL STEEL TO BE TYPE II. U/A.
4. ALL STEEL SHOWN THUS TO BE TYPE I.
5. MTO ITEM N^o SHOWN THUS

MODIFICATIONS

NO	BY	DATE	DESCRIPTION
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

L207 101-9500
LDCP 101-9500
M12.1P M12.1S
MEMBER SIZES ADDED TO
LDCP 101-9500



PLAN AT ELEVATION +9.000

PLANT NORTH

REFERENCE DRAWINGS

- 103-1 STANDARD DETAILS GEOMETRY
- 103-4 STANDARD WELDING DETAILS
- 104-1 FRAME 2 C.A.
- 107-1
- 108-1
- 110-1
- 111-1

NO	BY	DATE	DESCRIPTION
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

Canoco
CONOCO NORTH SEA INC.
LONDON, ENGLAND.

MURCHISON FIELD DEVELOPMENT

PLAN AT ELEVATION
+ 9.000

C/BEARL & WRIGHT LIMITED
CUB HOUSE
BRISTOLVALE TERRACE, LONDON, W2 5LE.

12078 0100 E-M-112-1 3
CJB-E&W DRG. NO
1200/112-1
AB001123

THIS DRAWING MUST NOT BE USED FOR CONSTRUCTION UNLESS SPECIFICALLY COUNTERSIGNED FOR THAT PURPOSE UNDER AN ISSUE

NO	BY	DATE	DESCRIPTION
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			

12078 0100 E-M-112-1 3
CJB-E&W DRG. NO
1200/112-1
AB001123

- NOTES**
- 1 ALL ELEMENTS IN METRES, ALL OTHER DIMENSIONS IN MILLIMETRES.
 - 2 MEMBER DIAMETERS SHOWN ARE O.D.'S.
 - 3 ALL STEEL TO BE TYPE II UN.
 - 4 ALL STEEL SHOWN THIS TO BE TYPE I.
 - 5 M.T.O. ITEM NOS SHOWN THIS

MODIFICATIONS

1	MEMBER 3	50 TON. WAS 32 TON.
2	MEMBER 5	1000 x 25 WAS 1000 x 20
3	MEMBER 7	35 TON. WAS 27 TON.
4	MEMBER 12	1000 x 25 WAS 1000 x 20
5	MEMBER 16	32mm WAS 25 TON.

Notes To Exp. Framed.

1. UNCL. AREA WITH BRIDGE OVER THE GUY-PYLON
2. PLAN AREA BRIDGE OVER THE GUY-PYLON
3. BRIDGE IS IN 3 TO TYPE I STEEL CAN AND TYPE II

D.C.P. 017
D.C.P. 059
SOM 514
COM 408

REFERENCE DRAWINGS

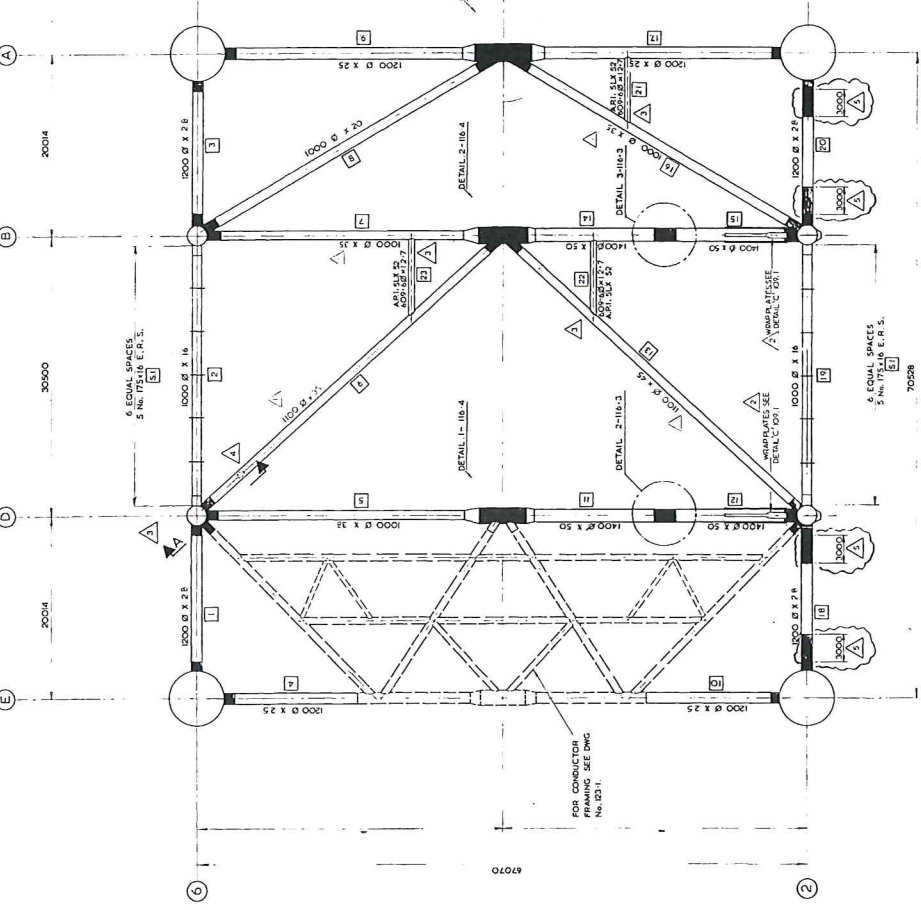
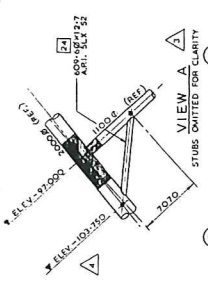
103-1 STANDARD DETAILS GEOMETRY
103-4 STANDARD RS & BRACING MODES
103-11 STANDARD WELDING DETAILS
103-71 FRAME
108-1 A
110-1 D
111-1 E

5	AS BUILT	8/10/71	10/11/71	8/10/71
4	REVISED	12/2/71	16/12/71	16/12/71
3	REVISED	2/2/71	2/2/71	2/2/71
2	REVISED	2/2/71	2/2/71	2/2/71
1	REVISED	2/2/71	2/2/71	2/2/71
0	REVISED	2/2/71	2/2/71	2/2/71
6	ISSUED FOR CONSTRUCTION	14/1/77	14/1/77	14/1/77
7	ISSUED FOR CONSTRUCTION	14/1/77	14/1/77	14/1/77
8	ISSUED FOR CONSTRUCTION	14/1/77	14/1/77	14/1/77

Conoco
CONOCO NORTH SEA INC.
LONDON, ENGLAND.

MURCHISON FIELD DEVELOPMENT
PLAN AT ELEVATION
- 97'000

CUB-E&W DRG. NO
12007/1101
12078 10100 EM-116-1 5



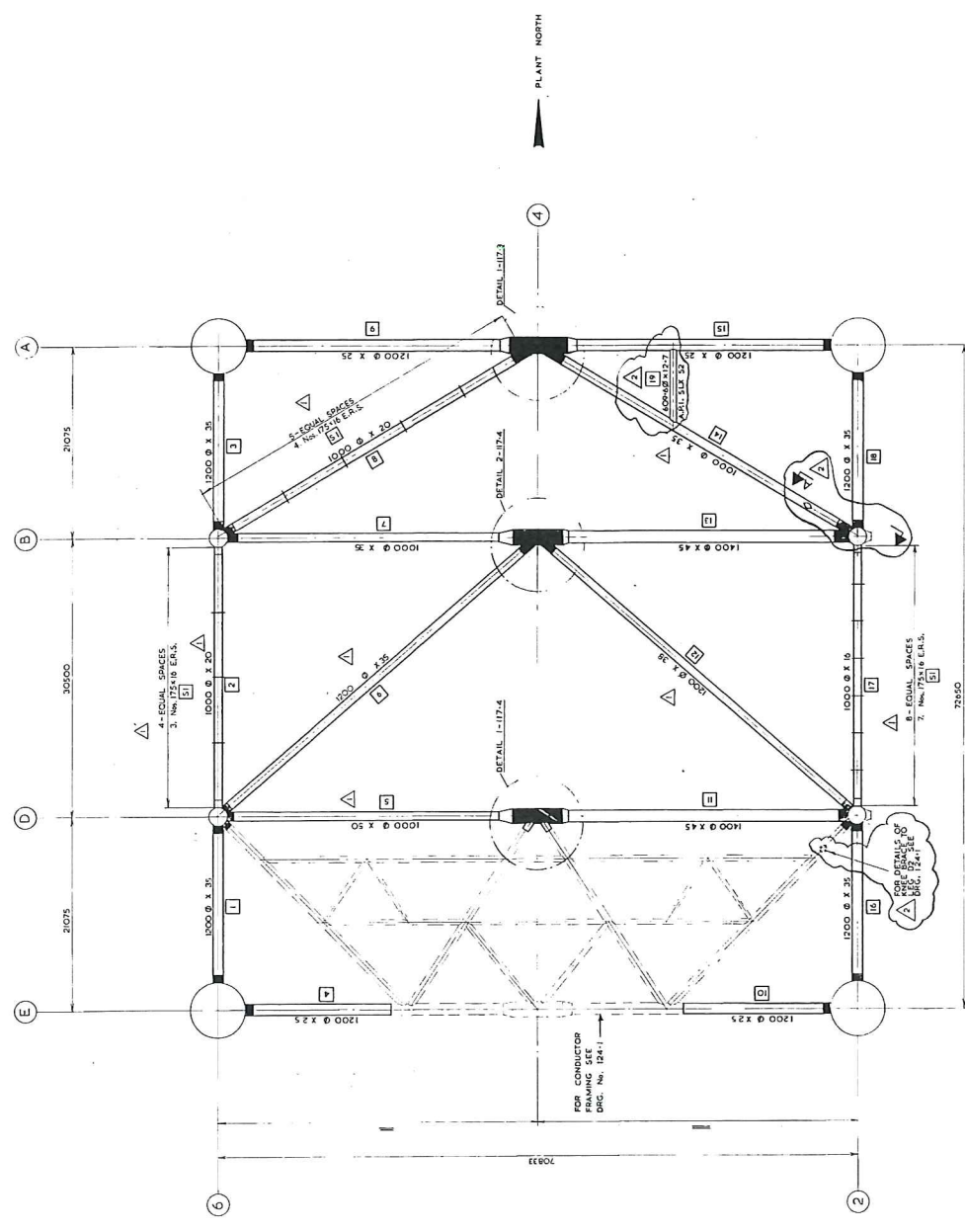
PLAN AT ELEVATION -97'000

THIS DRAWING MUST NOT BE USED FOR CONSTRUCTION UNTIL SPECIFICALLY CERTIFIED FOR THAT PURPOSE UNDER AN ISSUE

NO.	DATE	BY	CHKD.	REVISION
1	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
2	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
3	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
4	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
5	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
6	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
7	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION
8	14/1/77	...	...	ISSUED FOR CONSTRUCTION

12078 10100 EM-116-1 5

- NOTES:**
1. ALL DIMENSIONS IN METRES. ALL OTHER DIMENSIONS IN MILLIMETRES.
 2. ALL TUBULAR DIAMETERS SHOWN ARE O.D.'S.
 3. ALL STEEL TO BE TYPE II W.N. TYPE 1.
 4. ALL STEEL SHOWN THIS TO BE TYPE 1.
 5. MATO. ITEM NUMBERS SHOWN THIS 1.



PLAN AT ELEVATION -125.000

REVISIONS:

NO.	DESCRIPTION
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION

REFERENCE DRAWINGS:

NO.	DESCRIPTION
103-1	STANDARD DETAILS GEOMETRY
104-1	WELDING DETAILS
105-1	FRAME 2 C.A.
107-1	A
108-1	B
109-1	C
110-1	D
111-1	E

NOTES:

1. ALL DIMENSIONS IN METRES. ALL OTHER DIMENSIONS IN MILLIMETRES.
2. ALL TUBULAR DIAMETERS SHOWN ARE O.D.'S.
3. ALL STEEL TO BE TYPE II W.N. TYPE 1.
4. ALL STEEL SHOWN THIS TO BE TYPE 1.
5. MATO. ITEM NUMBERS SHOWN THIS 1.

REVISIONS:

NO.	DESCRIPTION
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION

REVISIONS:

NO.	DESCRIPTION
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION

Conoco
 CONOCO NORTH SEA INC.
 LONDON, ENGLAND.

MURCHISON FIELD DEVELOPMENT

PLAN AT ELEVATION -125.000

CJB-E-A-W DRG. NO. 1200/1171-1

EASTBOURNE TERRACE, LONDON, W2 8LE.

THIS DRAWING MUST NOT BE USED FOR CONSTRUCTION UNLESS SPECIFICALLY CERTIFIED FOR THAT PURPOSE UNDER AN ISSUE.

REVISIONS:

NO.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHECKED
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION	12/17/71	...	...

DATE: 12/17/71
 DRAWN BY: ...
 CHECKED BY: ...
 APPROVED BY: ...

VEDLEGG 4

Resultater fra forsøk 01.04.2016

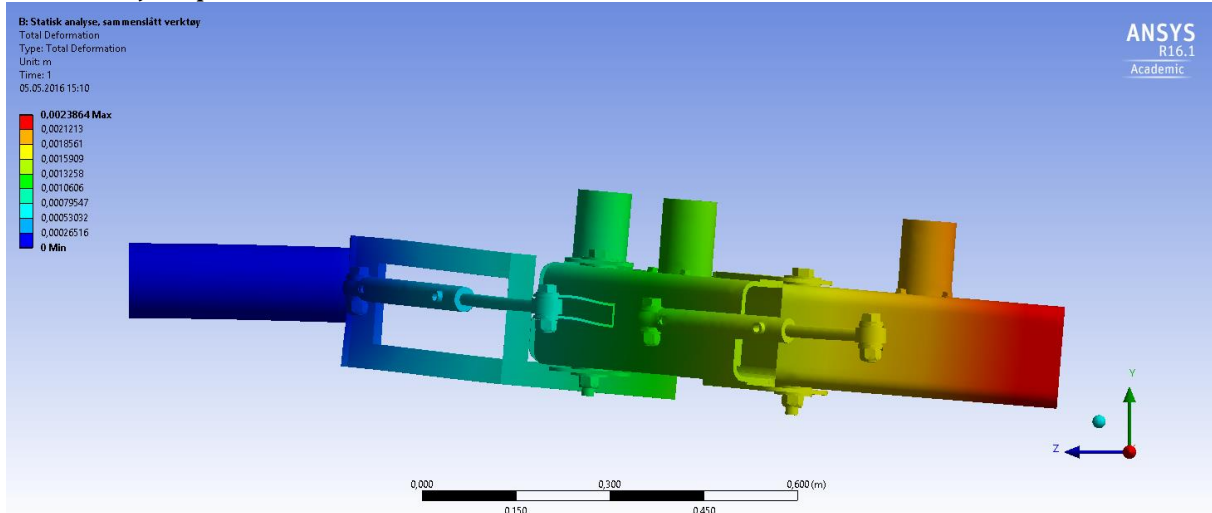
Testresultater			
Måling	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 3
Kun høytrykksspyling			
20 cm	0,08	0,08	0,07
15 cm	0,11	0,10	0,10
10 cm	0,15	0,15	0,15
Kun kompressorluft			
20 cm	0,00	0,00	0,00
15 cm	0,03	0,01	0,03
10 cm	0,07	0,07	0,08
Kombinert			
20 cm	0,11	0,10	0,10
15 cm	0,18	0,20	0,17
10 cm	0,33	0,32	0,32

VEDLEGG 5

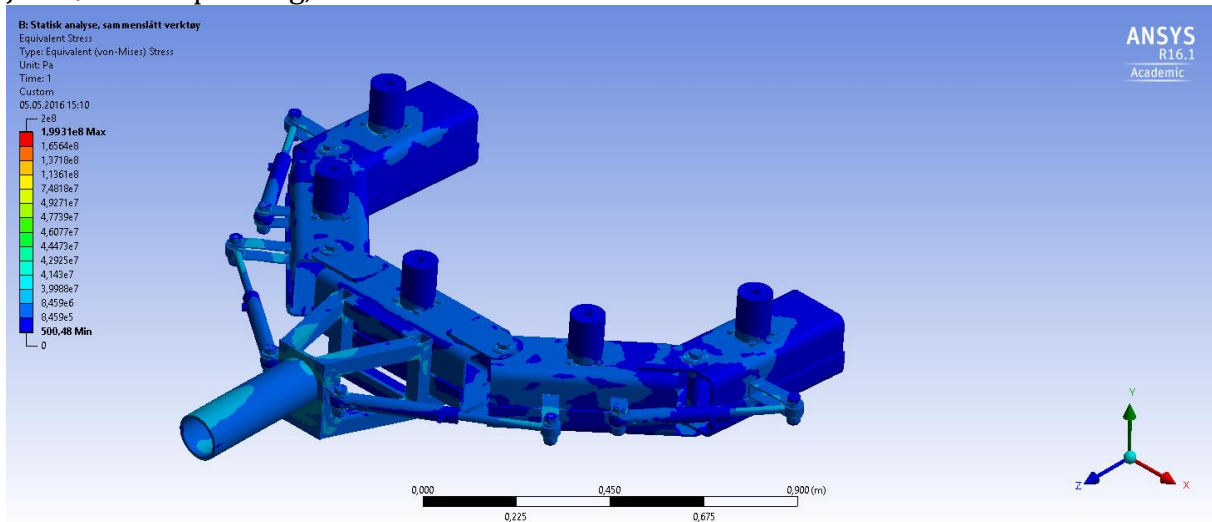
Analysér

Deformasjon og spenningsplot, lukket verktøy

Deformasjonsplott

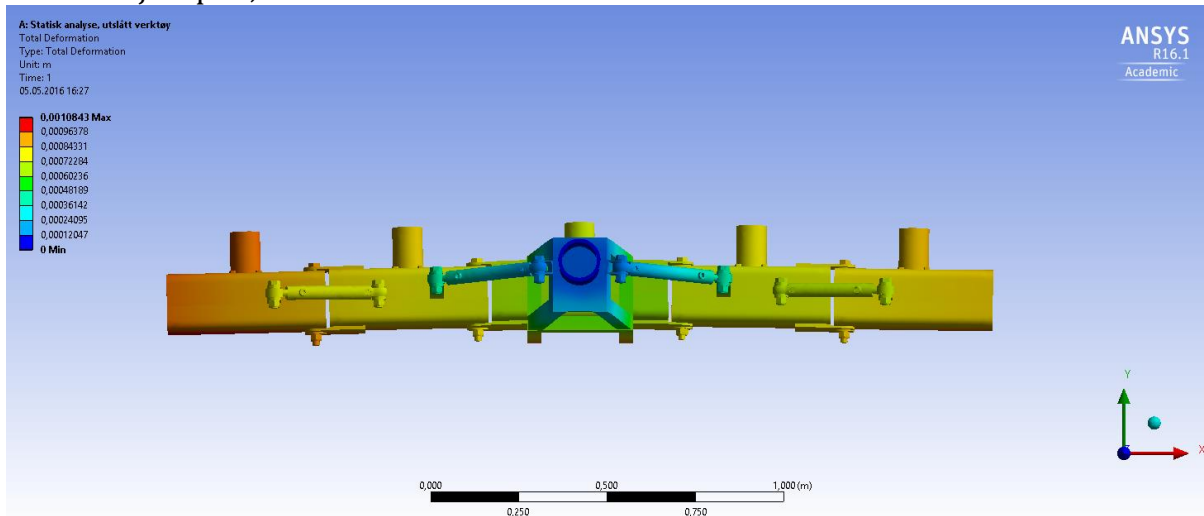


Jevnførende spenning, Von-Mises

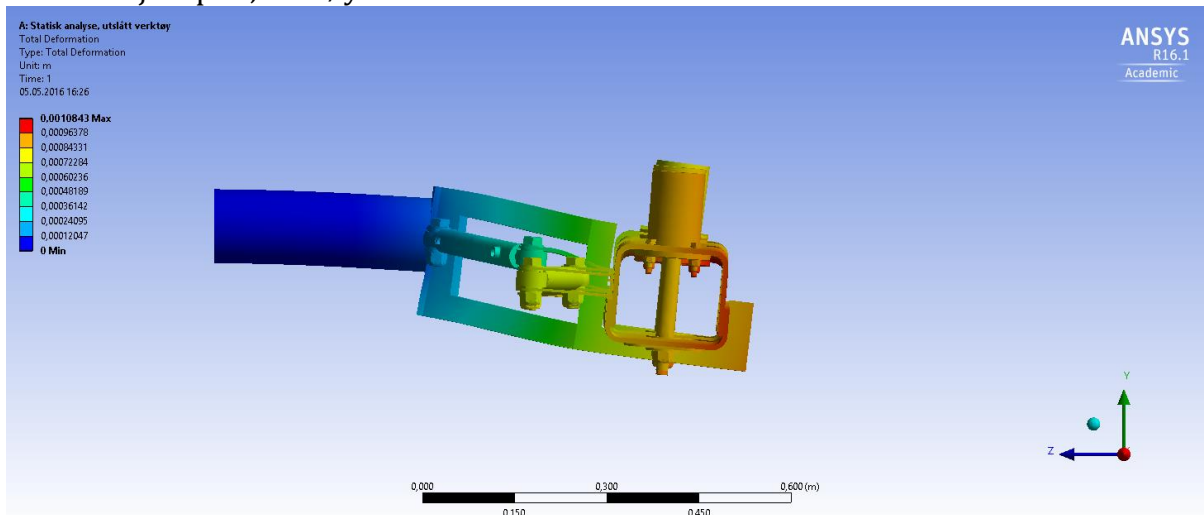


Deformasjon- og spenningsplot, åpent verktøy

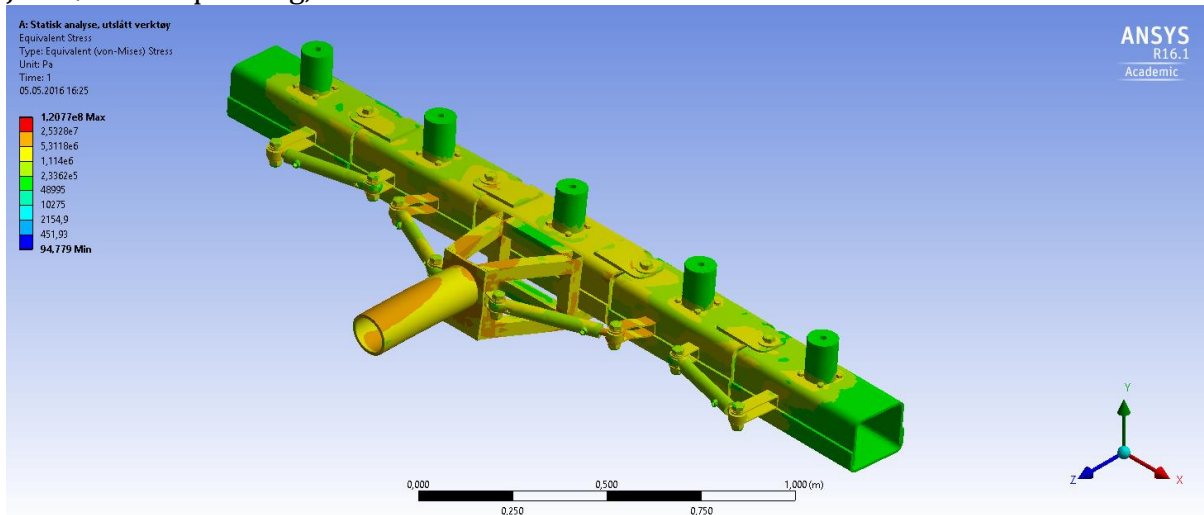
Deformasjonsplot, bakfra



Deformasjonsplot, fra høyre

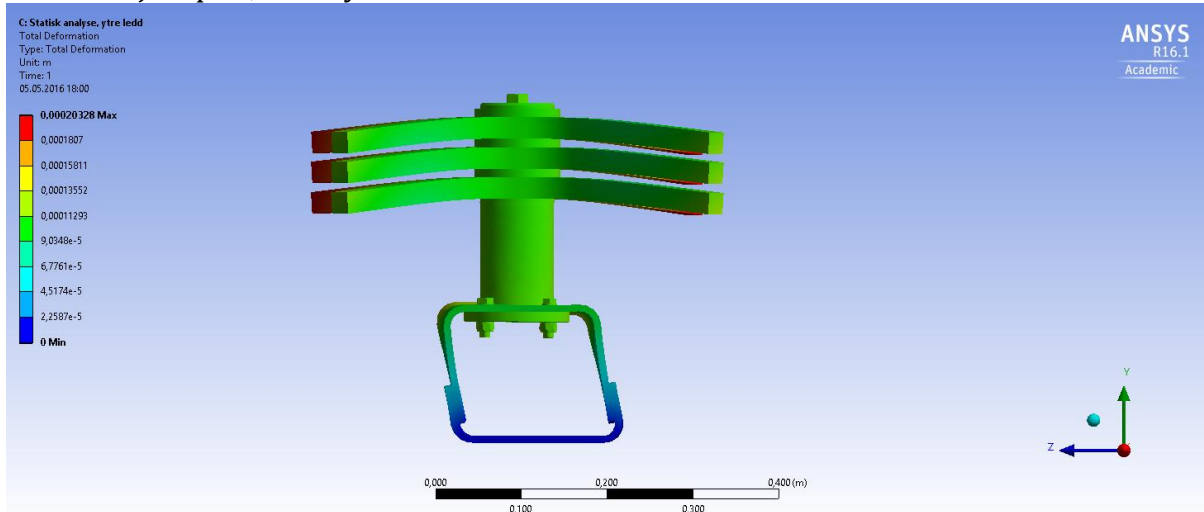


Jevnførende spenning, Von-Mises



Deformasjon- og spenningsplot, Modul 2.

Deformasjonsplot, fra høyre



Jevnførende spenning, Von-Mises

