



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp.

Fakultetet for realfag og teknologi
Førsteamanuensis Odd-Ivar Lekang

Utvikling av konsept for sikrere håndtering og installasjon av høyspentkabler til offshore brannpumpesystemer.

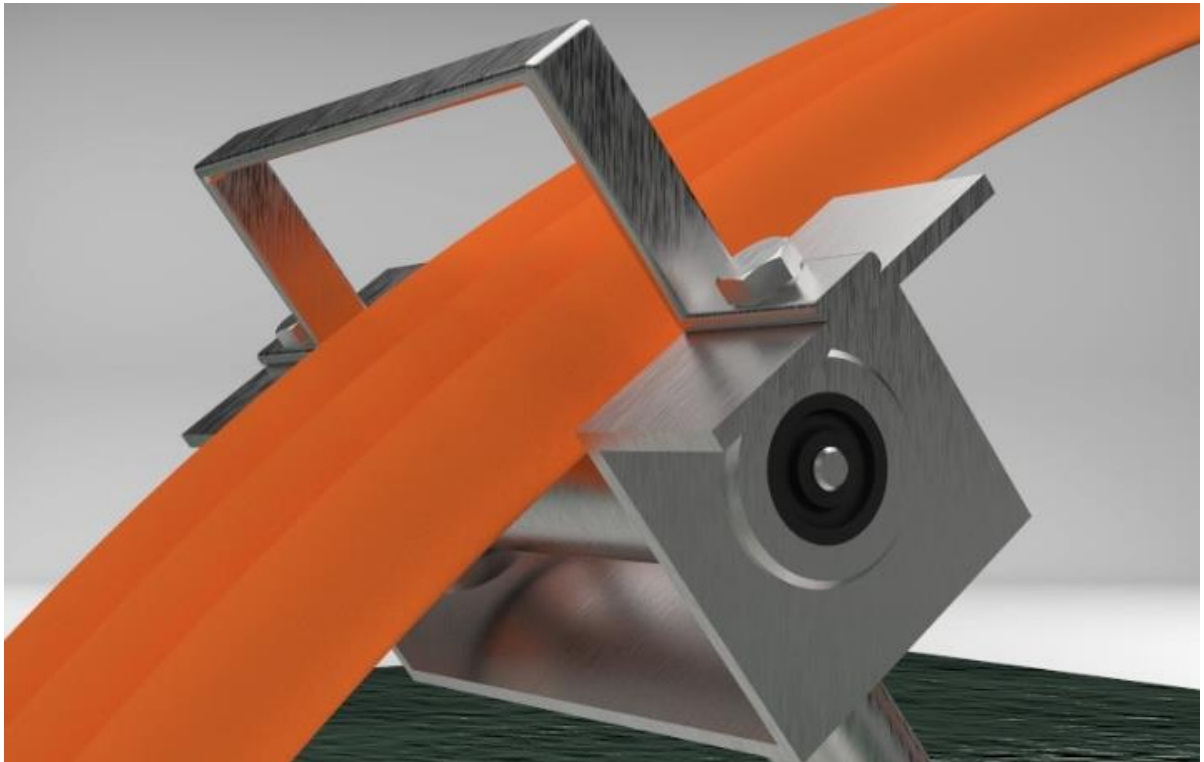
Developing a concept for more secure high voltage
cable handling during installation of offshore fire
water pumps.

Maria Linn Naphaug

Maskin-, prosess- og produktutvikling

UTVIKLING AV KONSEPT FOR SIKRERE HÅNDBTERING OG INSTALLASJON AV HØYSPENTKABLER TIL OFFSHORE BRANNPUMPESYSTEMER.

av Maria Linn Naphaug



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave i maskin-, prosess- og produktutvikling

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet ved fakultet for realfag og teknologi

våren 2018

FORORD

Etter fem år som masterstudent ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) er tiden nå kommet for å levere masteroppgaven. Bakgrunnen for problemstillingen er et samarbeid mellom Eik Idéverksted, ved NMBU, og bedriften Eureka Pumps AS (EP). I løpet av sommeren 2017 ble kontakten etablert og ulike problemstillinger drøftet med bedriften. Særlig tiltrakk håndtering av høyspentkabler min oppmerksomhet. Jeg fant fort ut at dette var en teknisk problemstilling som kunne fortsette å motivere meg inn i et forprosjekt og masteroppgave.

Det hele har vært en svært utfordrende, men givende utviklingsprosess. Den største utfordringen har vært skiftende betingelser siden oppstart våren 2017. Dette er noe jeg har lært svært mye av. Det har også vært morsomt å få innsikt i en av Norges største leverandører av brannpumpe-systemer til offshore bruk. Derfor ønsker jeg å rette en spesielt stor takk til EP for all tid de har satt av til denne masteroppgaven. Særlig ønsker jeg å takke «Project Engineer» Juan Benito, «Engineering Manager» Preben Støbakk og «Project Manager» Tony Indrestrand samt «Department Manager» Romar Halvorsen, «Department Manager» Kristian Joakim Just og «Senior Design Engineer» Steinar Hennem.

Hovedveilederen min, førsteamanuensis Odd-Ivar Lekang fortjener takk for faglig veiledning til masteroppgaven. Andre som fortjener ros er universitetslektor Ola Sørby Omberg og førsteamanuensis Jan Kåre Bøe, de har hjulpet med strukturering av oppgaven. Førsteamanuensis Carlos Salas Bringas må også takkes for veiledning og kvalitetssikring av oppsett til FEM-analysene. Når det kommer til sveisedimensjonering og standarder rettes en takk til førsteamanuensis Geir Terjesen og senioringeniør Egil Stemsrud. Til sist gjenstår det å takke venner, familie og samboer for deres tålmodighet, gode støtte, forståelse og motivasjons-bidrag under hele perioden. Spesielt rettes en takk til min mor Lidia Naphaug og stefar Bjørn Bremdal for korrekturlesning.

Ås, 11.05.2018

Maria Linn Naphaug

SAMMENDRAG

Målet med denne masteroppgaven er å utvikle og utrede et konsept som forankres på et eksisterende Eureka Pumps AS (EP) produkt for å gjøre håndtering av høyspentkabler mer sikker, samtidig skal det minske risikoen for kuttskader på kabler og på operatørene.

EP er en av de største leverandørene av brannpumpesystemer til norsk sokkel. Systemene deres leveres ofte med neddykkbar elektrisk motor. Strømtilførselen skjer via høyspentkabler. Dette har skapt vansker under installasjon da kablene er tunge, stive og uhåndterlige. Ødeleggelser har vært en følge av dette og har i flere tilfeller kostet mye og ført til økt etterspørsel for en ny og bedre håndteringsløsning.

For god flyt i utviklingsprosessen ble integrert produktutvikling (IPD) som metode benyttet. Et av de første trinnene i utviklingsprosessen var en omfattende litteraturstudie. Her ble relevant teoretiske grunnlag og relevante metoder identifisert og kartlagt, samt krav og forskrifter tilknyttet beregninger. Litteraturstudien førte blant annet til interessante funn rundt eksisterende produkter og patenter. De identifiserte konkurrerende løsningene har en gjennomgående faktor: brukervennlighet, men begrensninger til spesifikke kabelstørrelser og tilfeller. Hvorav de fleste konkurrerende løsningene ikke ivaretar maksimal bøyeradius. Dette er ikke godt nok sett i forhold til de identifiserte ønskede egenskapene.

For å sørge for at det endelige produktet ivaretar ønskede egenskaper ble en funksjonsanalyse gjennomført. Resultatene ble tatt med videre inn i en seleksjonsprosess. Seleksjonsprosessen foregikk i samarbeid med EP, hvor Pughs metodikk ble tatt i bruk. Dette resulterte i et endelig produkt designet ved hjelp av SolidWorks Student Edition 2017. FEM-analyser ble gjennomført for å undersøke maksimal belastning før brudd inntreffer på det endelige designet. Her ble CosmosWorks benyttet. Dimensjonering av sveis ble gjort i henhold til Eurokode 3.

Det endelige produktet skiller seg fra eksisterende marked ved at produktet er justerbart og dermed mulig å tilpasse ulike kabeldimensjoner og leveranser. Flexibiliteten vil føre til kortere installasjonstid hvor operatørene ute på dekk har bedre kontroll på høyspentkablene. Kostnaden tilknyttet skader på kabler vil da synke. Transport vil ikke være et problem med produktets estimerte totalvekt på 16 kg. Produktet vil også kunne slås sammen til en størrelse på 770x280x95 mm for lagring. Festeanordningen er tilpasset «hang-off-toolet» som leveres ved installasjon av brannpumpesystemene.

Målet med masteroppgaven anses som dekket og med nøyere sikkerhets- og utmattingsberegninger kan produksjon av prototype igangsettes. Den estimerte kostnaden tilknyttet nødvendig materialer til prototypen er satt til 2 740 NOK. Veien videre frem mot realisering av produktet, vil innebære testing og analyser av prototypen. En markedsundersøkelse bør også utføres ved å kontakte potensielle kunder.

ABSTRACT

This master thesis aim is to document and develop a concept that reduces the risk of damages on cables and operators during cable handling. The concept needs to be anchored to an existing Eureka Pumps AS (EP) product.

EP is one of the largest suppliers of fire water pumps to the Norwegian Continental Shelf. Their systems are often supplied with submersible electrical motors. High voltage cables are used as power supply. The cables have created problems during installation as they are heavy, rigid and difficult to handle. In many cases the difficulties led to expensive errors and an increased demand for a new and better cable handling solution.

Integrated product development (IPD) was the method used to ensure a smooth product development. One of the first steps in the development process was a comprehensive literature study. Relevant theory and methods were identified, as well as requirements and regulations related to calculations. The literature study led to interesting discoveries regarding existing products and patents. All competing solutions found in the literature study have one common factor: easy to use but limited to specific cable sizes and cases. Most solutions neglect to maintain the cables maximum bending radius, which is unacceptable in relation to the identified and desired product characteristics.

An analysis of important functions was carried out to make sure that the final product covered the desired product characteristics. The results were incorporated into a selection process. This selection process was conducted in cooperation with EP using Pugh's methodology. From the results the final product design was made using SolidWorks student edition 2017. FEM analyses were used to investigate maximum load before structure fracture. CosmosWorks was used to perform the FEM-analyses. Welding dimensions were done according to Eurocode 3.

The final product differs from the existing market by being adjustable. It can therefore adapt to different cable dimensions and installations. This flexibility will lead to shorter installation times where operators on deck have better control of the high voltage cables. The cost of damage to cables are therefore likely to decrease. Transportation will not be a problem as the estimated weight of the product is 16 kg. The product will be foldable to a size of 770x280x95 mm for storage. The fastening device is adapted to the «hang-off-tool» supplied when installing the fire water pumps.

This master thesis aim is therefore considered covered. Prototype production can be initiated after more accurate safety and fatigue calculations. The estimated cost of necessary materials for the prototype is set to 2 740 NOK. The way forward towards the realization of the product will involve testing and analysing the prototype. A market research should also be conducted by contacting potential customers.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	I
SAMMENDRAG.....	III
ABSTRACT.....	V
INNHOLDSFORTEGNELSE	VII
FORMELLISTE	XI
FORKORTELSER.....	XIII
SYMBOLER.....	XV
1 INTRODUKSJON.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Oppdragsbeskrivelse	2
1.3 Tidligere arbeid.....	2
1.4 Problemstillinger og teknologiske flaskehalsar	3
1.5 Målsettinger	4
1.6 Begrensinger for arbeidet.....	4
1.7 Kvalitetssikring	5
2 MARKED.....	7
2.1 Brannpumpemarkedet.....	7
2.2 Eureka Pumps AS	7
2.3 Eureka Pumps AS vs. FRAMO	8
2.4 Konkurrerende løsninger	8
2.5 FTO analyse.....	12
3 TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING	15
3.1 Metodebruk.....	15
3.2 Beregningsteori	17
3.3 Løsningsverktøy.....	19
3.4 Krav og forskrifter	20
3.5 Teorigrunnlag.....	21
4 TEKNISK GJENNOMGANG	25
4.1 Pumpesystemet	25
4.2 Høyspentkabel	26
4.3 Nåsituasjon ved installasjon av høyspentkabler	27

5	KONSEPTSPESIFISERING.....	33
5.1	Produktmålsetting	33
5.2	Rangering av viktige produkttegenskaper.....	33
5.3	Metriske grensespesifikasjoner	36
5.4	Metrisk grovspesifisering.....	37
5.5	Tidlige kostnadsvurderinger	37
6	KONSEPTGENERERING.....	39
6.1	Funksjonsanalyse for produkttypen	39
6.2	Funksjonsalternativer	40
6.2.1	Forankring	40
6.2.2	Kraftoverføring	42
6.2.3	Føringsanordning	45
6.2.4	Utforming av låsemekanisme.....	48
6.3	Tidlig materialvurdering	49
6.4	Design og estetikkalternativer.....	51
6.5	Tidlige idéer og tilbakemelding fra Eureka Pumps AS	51
7	SCREENING OG KONSEPTVALG	53
7.1	Utvikling av seleksjonsmatrise	53
7.2	Konseptscreening	53
7.2.1	Forankring	54
7.2.2	Kraftoverføring	54
7.2.3	Føringsanordning	55
7.2.4	Stabilisering	56
7.3	Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer	57
8	PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN	59
8.1	Sammenstilling.....	59
8.2	Design av hovedelementer	60
8.2.1	Forankring	60
8.2.2	Rammeverk	61
8.2.3	Føringsanordning	61
8.2.4	Låsemekanisme	62
8.3	Modulisering og standardkomponenter	62
8.4	Materialvalg, overflatebehandling og vedlikehold	64

8.5 FEM-analyse og sveisedimensjonering	65
8.5.1 Worst case scenario	65
8.5.2 FEM-analyser.....	66
8.5.3 Dimensjonering av sveis	69
9 FREMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER.....	73
9.1 Produksjonsmetoder.....	73
9.2 Kostnadskalkyle.....	76
10 MARKEDSPRESENTASJON.....	79
10.1 Renderte fremstillinger	79
10.2 Tekniske beskrivelser	81
11 EVALUERING OG DISKUSJON.....	83
11.1 Konseptutviklingsarbeidet, forbedringspotensialer	83
11.2 Design- og produksjonsrevisjon	84
12 KONKLUSJON.....	85
12.1 Resultater	85
12.2 Videre arbeid	86
13 REFERANSER	87
13.1 Vitenskapelige artikler og bøker	87
13.2 Lovverk, standarder og produktkataloger.....	87
13.3 Personlige meddelelser	88
13.4 Nettkilder.....	88
14 VEDLEGG	93
VEDLEGG A: PROSJEKTPLAN	93
VEDLEGG B: EKSISTERENDE MARKEDSKONKURRENTER	96
VEDLEGG C: FTO ANALYSE.....	99
VEDLEGG D: STANDARDER.....	100
VEDLEGG E: DESIGN OG MATERIALBESKRIVELSE AV BFOU	107
VEDLEGG F: OPPSETT FEM-ANALYSE	109
VEDLEGG G: SKISSETE TIDLIGE LØSNINGER.....	113
VEDLEGG H: TEKNISKE SAMMENSTILLINGSTEGNINGER.....	117

FORMELLISTE

Betydning	Formel	Indeks
Tresca's hypotese	$\sigma_{jf} = \sigma_{maks,hoved} - \sigma_{min,hoved}$	Formel 3.1
Von Mises hypotese, todimensjonal	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$	Formel 3.2
Von Mises hypotese, enakset	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$	Formel 3.3
Oksidasjon	$Fe = Fe^{+2} + 2e^{-}$	Formel 3.4
Reduksjon	$4H^{+} + O_2 + 4e^{-} = 2H_2O$	Formel 3.5
Reduksjon	$2H^{+} + 2e^{-} = H_2$	Formel 3.6
Maksimal bøyeradius på kabel	$r_{b,maks} = 15 * D_{kabel}$	Formel 4.1
Tiltatt strekkraft i kabel	$F_{s,maks} = 50 * A_{kabel}$	Formel 4.2
Total kabeltyngde	$m_{tot,kabel} = m_{kabel} * l_{kabel}$	Formel 4.3
Dekomponert kraft y-retning	$F_y = F * \sin \alpha$	Formel 8.1
Dekomponert kraft z-retning	$F_z = F * \cos \alpha$	Formel 8.2
Bøyespennning	$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$	Formel 8.3
Vinkelrett bøyespennning ved kilsveis	$\sigma_{\perp b} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2} * a_{sveis}}$	Formel 8.4
Bøyemoment	$M_b = F_b * L_b$	Formel 8.5
Tverrsnittsmodule	$W_b = \frac{\pi}{36} * \frac{D^4 - d^4}{D}$	Formel 8.6
Skjærspennning	$\tau_{\parallel} = \frac{M_v * \gamma_f}{W_v}$	Formel 8.7
Vridemoment	$M_v = F_v * h_v$	Formel 8.8
Polar tverrsnittsmodule	$W_v = \frac{\pi}{16} * \frac{D^4 + d^4}{D}$	Formel 8.9
Von Miseses, sveisebetraktning	$\Delta\sigma_{till} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)}$	Formel 8.10

FORKORTELSER

Forkortelse/Begrep	Forklaring
BFOU	Flammeresistent kabel
°C	Celciusgrader
CAGR	Compound Annual Growth Rate
DNV	Det Norske Veritas
Dynamisk belastning	Variierende belastning over tid.
El.	Elektrisk
Elastisk deformasjon	Deformasjon som kun opptrer under belastning
EP	Eureka Pumps AS
FEA	Finite Element Analysis
FEM	Finite Element Method
FEM-analyse	Digitalt analyseverktøy som undersøker belastningen på gitte elementer i en konstruksjon.
Flytegrense	Det punktet hvor påkjent spenning i en strekkstav når punktet for plastisk tøyning i strekkstaven.
HMS	Helse, miljø og sikkerhet
HV	Høyspenning (Eng: High Voltage)
HVC	Høyspentkabel (Eng: High Voltage Cable)
IPD	Integrert produktutvikling
ISO	International standard organisasjon
Katalysator	Et stoff som øker farten på en kjemisk reaksjon uten å forbrukes og endre likevekten.
Log a	Intercept of log N-axis by S-N curve
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
NORSOK	Norsk Sokkels Konkurransesposisjon
NRV	Tilbakeslagsventil (Eng: Non return Valve)
Plastisk deformasjon	Varig deformasjon under og etter en belastning har opptrådt.

Forkortelse/Begrep	Forklaring
REN	Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet
RFOU	Flammehemmende kabel
SCF	Spenningskonsentrasjonsfaktor (Eng: Stress Concentration Factor)
SF	Sikkerhetsfaktor
Statisk belastning	Konstant og lik belastning over tid.
Submersibel pumpe	Neddykkbar sentrifugalpumpe. Består av et hurtigroterende hjul inne i et lukket pumpehus.
SWL	Sikker arbeidslast (Eng: Safe Working Load)
Transkribering	Overføre tekst til annen form. Eks: fra muntlig til skriftlig.
Utmatningsbrudd	Brudd grunnet sprekkdannelser som opptrer i et materiale når det utsettes for vekslende spenninger over en viss størrelse over lengre tid.
WIPO	World Intellectual Property Organization
Worst Case Scenario	Det verst tenkelige tilfellet produktet kan utsettes for.
WCS	Worst Case Scenario
2D	To dimensional
3D	Tre dimensional

SYMBOLER

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet
A	Tverrsnittareal	mm^2
A_{kabel}	Tverrsnittareal kabel	mm^2
a_{sveis}	a-modul til sveis	mm
D	Utvendig diameter	mm
D_{kabel}	Utvendig kabeldiameter	mm
d	Innvendig diameter	mm
E_p	Potensiell energi	J
E_{kin}	Kinetisk energi	J
E_s	Spredning av bevegelsesenergi ved støt	J
F	Kraft	N
F_b	Kraft som fører til bøyespennning	N
F_y	Dekomponert kraft i y-retning	N
F_z	Dekomponert kraft i z-retning	N
$F_{s,\text{maks}}$	Maksimal (trykk/strekk)spenning	N
f_y	Flytegrense	MPa
g	Gravitasjonskonstanten	m/s^2
L_b	Lengde hvor bøyespennning opptrer	mm
m	Masse	kg
M_b	Bøyemoment	Nmm
m_{kabel}	Kabeltyngde	kg
$m_{\text{tot,kabel}}$	Total kabeltyngde	kg
M_v	Vridemoment	Nmm
m_1	Negative inverse slope of S-N curve	-
N	Antall svingninger	-
R	Ytre radius	mm

Symbol	Beskrivelse	SI-enhet
R_m	Strekfasthet	MPa
r	Indre radius	mm
$r_{b,maks}$	Maksimal bøyeradius	mm
s	Strekning	m
T	Temperatur	°C
v	Hastighet	m/s
v_0	Starthastighet	m/s
W_b	Tverrsnittsmodul	mm ⁴
W_v	Polar tverrsnittsmodul	mm ⁴
α	Vinkel	Grader
$\Delta\sigma$	Gjennomsnittsspenning	MPa
σ_{jf}	Jevnføringsspenning	MPa
$\sigma_{maks,hoved}$	Maksimal hovedspenning	MPa
$\sigma_{min,hoved}$	Minimal hovedspenning	MPa
$\Delta\sigma_{till}$	Tillatt gjennomsnittsspenning	MPa
σ_b	Bøyespenning	MPa
$\sigma_{\perp b}$	Vinkelrett bøyespenning	MPa
σ_x	Hovedspenning i x-retning	MPa
σ_y	Hovedspenning i y-retning	MPa
τ_{\parallel}	Parallel skjærspenning	MPa
τ_{\perp}^2	Vinkelrett skjærspenning	MPa
τ_{xy}	Skjærspenning om xy-planet	MPa

1 INTRODUKSJON

Innledningsvis følger en redegjørelse for bakgrunnen og behovet oppgaven skal dekke samt tidligere utført arbeid. På denne måten vil det være lettere å formulere problemstilling og mål for masteroppgaven. Til slutt i kapittelet settes begrensinger for arbeidet sammen med hvordan utviklingsprosessen og oppgaven skal kvalitetssikres.

1.1 Bakgrunn

Petroleumsvirksomheten er Norges største næring målt i verdiskapning, statlige inntekter, investeringer og eksportverdi. I 2005 utgjorde petroleumsvirksomheten 33% av statens samlede inntekter [1]. Definisjonen for petroleum er naturlig forekomst av hydrokarboner i visse geologiske formasjoner. Fra tidlig av ble petroleum kun brukt om hydrokarboner i flytende tilstand, men brukes i dag også om fast- og gassform [2]. Begrepet petroleumsvirksomhet dekker alle virksomheter for utvinning/utnyttelse av petroleum. Dette kan foregå til havs, ved landanlegg eller ved aktiviteter som kan knyttes opp mot landanleggene [3].

Allerede i 1950-årene begynte letingen etter olje på norsk kontinentalsokkel, men det var ikke før sent i 1960-årene at det ble påvist betydelige funn (Balderfeltet og Ekofiskfeltet). Siden den gang har mye skjedd og nye felt er oppdaget. Per i dag er den norske kontinentalsokkelen delt inn i tre områder: Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. Totalt regnes den norske kontinentalsokkelen å strekke seg over 1 000 000 km² [2].

De første tiårene var det høye ulykke- og dødstall knyttet til offshorearbeid. Dette førte spesielt til behov for lover og regler for å ivareta helse, miljø og sikkerhet(HMS) på norsk sokkel. HMS er en betegnelse på alt arbeid vedrørende helsevern, sikkerhet og trygghet for alle ansatte og brukere innenfor kjeden. Norge ble spesielt observante på HMS i petroleumsbransjen etter Alexander Kielland plattform havariet i 1980, den største ulykken på norsk sokkel [4]. I tiden etter ulykken ble det satt opp en kommisjon som skulle vurdere mulige årsaker til ulykken. På mange måter er dette ansett å være et vendepunkt i HMS-arbeidet på norsk sokkel. Daværende sikkerhetsarbeid, inspeksjonsarbeid og standarder for plattformer ble endret og kravene til kontroll og inspeksjon av utmatting, stabilitet, beredskap og sikkerhetsutstyr ble skjerpet. I dag finnes det flere ulike kurs og sertifikater som må bestås før personer blir sendt ut for å utføre arbeid på norsk sokkel [5].

Fra starten av det norske oljeeventyret tok staten og departementet på seg det overordnede ansvaret når det kom til fokuset på HMS. Det vil si at dersom en ulykke oppstod var det i stor grad staten som måtte påta seg ansvar og skyld. Dette førte til store arbeidsmengder, og med tiden ble det hensiktsmessig å avlaste departementet. Dermed ble rammeforskriften utarbeidet. Den gjorde at hver enkelt aktør og selskap nå må stå ansvarlig for all aktivitet på plattformene. Staten har fremdeles det overordnede ansvaret og følger opp blant annet ved å sette sammen ulike arbeidsgrupper for å holde oversikt over utviklingen. Dette resulterer i ulike rapporter eller stortingsmeldinger med jevne mellomrom [6-8].

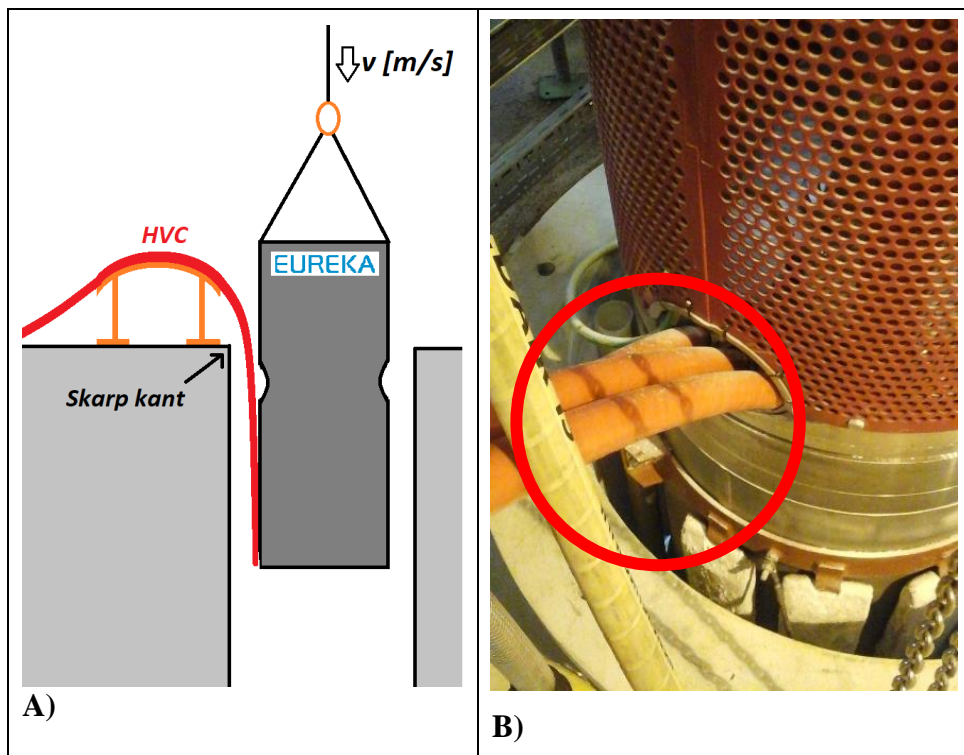
Det økte fokuset på HMS sammen med at aktørene selv har fått større ansvar vedrørende HMS i egen drift, kan være en av grunnene til at Eureka Pumps AS i løpet av det siste halve året har opplevd økende etterspørsel rundt sikkerheten ved installasjon og håndtering av deres brannpumpesystemer. Spesielt har kundene etterspurt en mer sikker måte å håndtere høyspentkablene [9]. Med etterspørsel som grunnlag ble oppdragsbeskrivelsen i delkapittel 1.2 satt.

1.2 Oppdragsbeskrivelse

Utvikle og utrede et konsept som kan forhindre skader på HV-kablene ved montering og installasjon av offshorepumpesystemer. For at konseptet skal være vellykket må produktet være velfungerende og konkurransedyktig når det kommer til sikkerhet, brukervennlighet og robusthet. Konseptet må falle inn under de krav og standarder for petroleumsbransjen.

1.3 Tidligere arbeid

Våren 2017 ble samarbeidet med Eureka Pumps AS innledet med hjelp fra Eik Idéverksted. I løpet av sommeren ble det presentert flere ulike problemstillinger, men det var særlig håndtering av høyspentkabler som var av felles interesse. Høsten 2017 ble problemstillingen tatt med vider i et forprosjekt via faget «Konsept og produktrealisering» (Emnekode: TIP300). Oppgaven tok for seg problemstillingen med kuttskader på kabelen(e) som følger av den skarpe kanten i overgangen til hullet hvor pumpen senkes ned i (Figur 1.1) [10].



Figur 1.1: A) Illustrasjon av problemområdet og produktet som ble utviklet i forprosjektet. Viser skarp kant ved nedsenkningen av HVC fastspent til motor og kabelsklien i oransje. B) Detaljbilde fra installasjon på Draugen viser tre stk. enkeltfasekabler, senkes ned sammen med motoren over skarp overgang. Foto: Eureka Pumps AS

I forprosjektet kommer det frem at Eureka Pumps AS hadde en omorganisering i løpet av tidsperioden avgrenset av faget TIP300. Dette førte til at kommunikasjonen med bedriften tidvis

var vanskelig å opprettholde og at oppgaven på daværende tidspunktet måtte gå ut fra flere personlige antagelser. Kommunikasjonen ble derimot gjenopprettet i slutten av desember 2017. Det var enighet om at resultatet fra hovedfagsrapporten var et godt grunnlag inn i masteroppgaven. De personlige antagelsene som ble satt høsten 2017 er nå justert og mer informasjon rundt driften og installasjonen er innhentet. Problemstillingen forblir den samme i masteroppgaven, men det vil være viktig å være åpen for helt nye idéer og løsninger.

1.4 Problemstillinger og teknologiske flaskehals

I dette delkapittelet vil problemstillinger og teknologiske flaskehals bli listet opp.

Problemstillinger

Problemstillingene er begrunnede spørsmål som er forankret i relevant teori. Disse formuleres ved antagelser eller forklaringer.

- Sette tydelige begrensninger for prosjektarbeidet. Definere et fokusområde og holde seg innenfor dette.
- Komme frem til en konseptløsning som dekker de egenskaper og behov EP har.
- Vedlikeholdskostnadene bør holdes til et minimum, krever at konseptet må være robust og ha lang levetid.
- Konseptet må tåle tyngden og kreftene påført av kabellengdene.
- Størrelsen på konseptet må ikke bli for stor. Det er viktig at konseptet skal være mobilt og lett å sette opp, samt at det ikke krever stor lagringsplass.
- Velge ut praktiske løsninger og komme frem til materialvalg og målsettinger i henhold til nødvendige egenskaper.

Flaskehals

Teknologiske flaskehals er de deler av masterprosjektet som har svakere kapasitet og vil forhindre fremgang. Disse kan være svært kritiske og kan forhindre optimalt utfall. I verste tilfellet kan de føre til at utviklingen av masteroppgaven blir mislykket.

- Snikutviding av masteroppgaven; vil si at endringer skjer underveis hvor nye oppgaver gradvis blir lagt til. Disse er ofte vanskelige å oppdage.
- Begrensede muligheter for testing av forretnings- og prototypemodell.
- Stor variasjon på areal til disposisjon ved montering av HV-kabler da verktøyet må kunne brukes i ulike kundeprosjekter. Kan bli en utfordring med tanke på festemekanismen på verktøyet.
- Avhengig av god kommunikasjon mellom student og Eureka Pumps AS. Det vil si at resultatet vil avhenge av tid og informasjonsdeling mellom partene.

1.5 Målsettinger

Dette delkapittelet presenterer ulike mål for prosjektet. Målene deles inn i effektmål og resultatmål. Med effektmål menes de(t) målet som beskriver prosjektets ønskede effekt. Det vil si det som skal være oppnådd ved endt gjennomføring av masteroppgaven. Resultatmålene er tiltak som oppnås underveis og er knyttet til masteroppgavens resultater og leveranser.

Effektmål

- Utvikle og utrede et konsept som forankres på et eksisterende EP produkt for å gjøre håndtering av høyspentkabler mer sikker, samtidig skal det minsker risikoen for kuttskader på kabler og på operatørene.

Resultatmål

- Utføre en litteraturstudie for å kartlegge nåværende marked, liknende løsninger og relevante standarder for petroleumsbransjen i henhold til oppdragsbeskrivelsen.
- Konkretisere oppgaven ved å definere problemstillinger med tilhørende mål og begrensninger.
- Lete frem og sette seg inn i ulike metoder og teori som bør tas i bruk og beskrive disse.
- Gjennomføre produktspesifiseringer, konseptgenerering, funksjonsanalyse og materialvurdering.
- Designe konseptet i 3D, med beregninger og FEM-analyser.
- Utføre analyser for produksjon, materialer og prototypenkostnader.
- Runde av masteroppgaven ved å utføre markedspresentasjon, evaluering, diskusjon og konklusjon.
- Ferdigstille masteroppgaven.
- Leverer inn og forsvare masteroppgaven.

1.6 Begrensinger for arbeidet

For å kunne konkretisere oppgaven slik at den kan bli løst best mulig innenfor gitt tidsramme på 900 arbeidstimer brutto vil det bli satt begrensninger for oppgaven. Dette er punkter som ikke vil prioriteres i denne masteroppgaven og derfor ikke vil bli utført. Punktene vil derimot være et godt grunnlag for videre arbeid.

- Det vil ikke bli utført fullstendig prissjekk på konkurrerende løsninger da dette i mange tilfeller krever forespørsler direkte til leverandørene.
- Skader som følger av skarpe gjenstander/kanter på området der kabelen(e) ligger løst på dekk, vil ikke sees på.
- Det vil ikke bli produsert en prototype i løpet av prosjektperioden.
- Det vil ikke bli gjennomført en konkurrentanalyse da prosjektet er direkte tilknyttet et behov hos Eureka Pumps AS.
- Det vil ikke bli undersøkt kostnader tilknyttet eventuell sertifisering eller serieproduksjon.
- Tidligvurdering av brukspåkjenninger vil ikke bli utført eller fremlagt i masteroppgaven. Henviser til hovedfagsoppgaven [10].

- Relevante kunder og brukere utover Eureka Pumps AS, vil ikke bli kontaktet for å gjennomføre analyse for ønskede produkttegenskaper.
- Avanserte FEM-analyser og håndkalkulasjoner vil ikke bli gjennomført. Dette innebærer eksempelvis at grundige styrke- og utmattingsberegninger ikke blir gjort.
- Håndkalkulasjoner for å verifisere FEM-analyser vil ikke bli utført.
- Varemerke, inkludert navn og logo vil ikke bli utarbeidet i løpet av perioden.
- Tekniske detaljtegninger vil ikke bli utformet.
- Miljø- og bærekrafts undersøkelser for utviklet produkt vil ikke bli gjennomført.

1.7 Kvalitetssikring

For å forsikre at det endelige konseptet, tilfredsstiller krav til sikkerhet og bruk er det viktig å kunne vise til korrekt bruk av standarder. Spesielt vil dette være til stor nytte ved rettsaker dersom uhell skulle forekomme, eller ved reklamasjon mot underleverandør. Standarder som må følges opp under dette prosjektet er vist i Tabell 1.1

Tabell 1.1: Ulike standarder prosjektet skal forholde seg til.

Område	Standard	Område	Standard
Produktstruktur	NORSOK N-serien	Kabeldesign og katodisk beskyttelse	NORSOK M-503
Konstruksjon og styrkeberegninger	Eurokode 3	3D og 2D tegninger	ISO128
Utmatting	DNVGL-RP-C203	Kvalitetsstyring	ISO9001
Løfteredskap	NORSOK R-serien	HMS	FOR-2009-05-20-544
Kabelhåndtering	REN blad 9000	Materialvalg	NORSOK M-501

Tabell 1.1 Viser blant annet at Eurokode 3 vil være grunnlaget for konstruksjons- og styrkeberegninger. I denne masteroppgaven benyttes dette i underkapittel 8.5.3. ISO128 benyttes i tekniske tegninger (vedlegg H). Ikke alle nevnte standarder vil være like relevant for masteroppgaven grunnet begrensningene som er satt. De listes likevel opp for videre arbeid. Et eksempel på dette er DNVGL-RP-C203 hvor utmattingsberegninger stilles krav til.

Ved innhenting av teori og relevant informasjon vil det bli brukt litteratur fra lærebøker på universitet eller vitenskapelige artikler fra anerkjente tidsskrifter så langt det lar seg gjøre. I tillegg vil lover, forskrifter og standarder hentes frem etter beste evne. Ved bruk av nettkilder vil kvalitetssikring tilknyttet sidene være svært viktig.

For å gi en oversikt over bakgrunnen og behovet for masteroppgaven har introduksjonskapittelet redegjort tidligere arbeid, formulert problemstillingen og målene for masteroppgaven. Kapittelet er rundet av ved å sette begrensninger samt føringer på hvordan utviklingsprosessen skal kvalitetssikres. I neste kapittel vil hovedfokus være brannpumpemarkedet og konkurrerende løsninger.

2 MARKED

For å gi oppgaven et internasjonalt perspektiv gir dette kapittelet en innføring i brannpumpe-markedet, EP og deres største konkurrent på den norske sokkelen. Konkurrerende løsninger på generell basis vil også presenteres etterfulgt av en FTO analyse.

2.1 Brannpumpemarkedet

Flere aktører har publisert eller kommer til å publisere markedsundersøkelser og prognoser som gjelder for vannpumpe- og brannpumpemarkedet i løpet av 2018 [11-15]. Brannpumpe-markedet faller først og fremst inn under det globale markedet for vannpumper. Dette markedet ble i 2015 satt til en verdi av 42 435,1 millioner dollar. Hvorav Asia-Pacific har den høyeste markedsandelen med 42,9%. Videre i tiden frem til 2022 er det forventet en total global økning på 5,9%. Beregningen for økning tar hensyn til «Compound Annual Growth Rate». Det er flere grunner til antatt vekst i det globale vannpumpemarkedet. Blant annet har vekst i konstruksjonsindustrien, generelt høyere inntekter, færre vannkilder, rask utvikling og industrialisering av økonomi, samt lavere andel urbanisering en positiv virkning [11].

Rapportene som beskriver brannpumpemarkedet omfatter brannpumper drevet via elektrisitet, diesel eller damp. Pumpene må enten være koblet til en statisk vannkilde i form av en tank, sjø, reservoar eller koblet til grunnvann ved hjelp av rør. Dynamikken i det globale brannpumpe-markedet er beskrevet ved det økende antallet hendelser knyttet til brann i industrien de siste fem årene. Det har økt etterspørselen etter bedre systemer. Samtidig er det forventet en betydelig vekst i nærmeste fremtid innenfor olje- og gassindustrien som også vil ha positiv virkning [14].

2.2 Eureka Pumps AS

Eureka Pumps AS har spesialisert seg på branntekniske systemer og sikkerhetsutstyr og utgjør en av tre bedrifter i Align Group. Align Group jobber innenfor brannteknisk sikkerhet [16]. Bedriften er markedsledende i Norge, og har rammeavtaler på nesten alle norske offshore installasjoner [9]. Per dags dato leverer de ulike sentrifugalpumpesystemer drevet ved bruk av diesel-, elektromotorer eller en blanding. Arbeidet med sentrifugalpumpene startet i 1961, men de gjeldende «API pumpene» ble først utviklet i 1976 [17]. I tillegg til leveranse og installasjon av pumpesystemene ønsker Eureka Pumps AS å være med hele veien fra start til slutt. Det innebærer at de holder opplæring på de ulike pumpesystemene til operatører og er med på vedlikehold og fjerning av brukte pumpesystemer. For å sørge for at leveransene deres holder høyest mulig kvalitet har de satt opp et fullskala testanlegg på Sørumsand. Her blir produktene testet og sjekket før de kan sendes ut til endelig installasjon. På den måten kan de tilby unike og skreddersydde produkter som holder mål og krav satt i samsvar med kundene.

Det har blitt stor etterspørsel etter elektrisk drevne brannpumpesystemer. Blant annet skyldes dette at de elektriske pumpene anses som mer miljøvennlige og de tar også mindre plass da de har færre hovedkomponenter. Men, elektrisk drevne systemer fører også med seg noen ulemper. Spesielt med tanke på at de krever strømtilførsel. Dette har Eureka Pumps AS løst ved å benytte høyspentkabler, der har ført til problemer for operatørene ved installasjon.

2.3 Eureka Pumps AS vs. FRAMO

En annen stor norsk aktør som leverer brannpumpesystemer til den norske kontinentalsokkelen er FRAMO, tidligere kjent under navnet Frank Mohn ASA. Selskapet har hovedkontorer i Bergen. FRAMO anses som Eureka's største konkurrent. De leverer både diesel-hydrauliske systemer og diesel-elektriske systemer [18].

FRAMOs neddykkbare diesel-elektriske pumper skiller seg fra EPs systemer ved at de er «kabelfrie». For å unngå at sjøvann skal komme inn i motoren og lederen, skapes et overtrykk internt i systemet. Dette gjøres ved hjelp av kjølede og sirkulerende olje i enheten [19]. På denne måten vil systemet være mindre sårbart. I følge informasjonen Eureka Pumps sitter på føres strøm ned via et sett med kobberrør som TIG-sveises seksjon for seksjon. Dette kan bekreftes ved en illustrasjonsvideo FRAMO har publisert [20]. Via hjemmesidene til FRAMO kommer det frem at de har begynt med induksjonsmotorer. Det står i midlertidig ikke stort mer om prinsippene bak den nye typen systemer, men kabelfrie systemer fjerner hele problemstillingen denne masteroppgaven vil omhandle. På en annen side vil det antageligvis være tilknyttet andre problemer ved en ny kabelfri løsning.

2.4 Konkurrerende løsninger

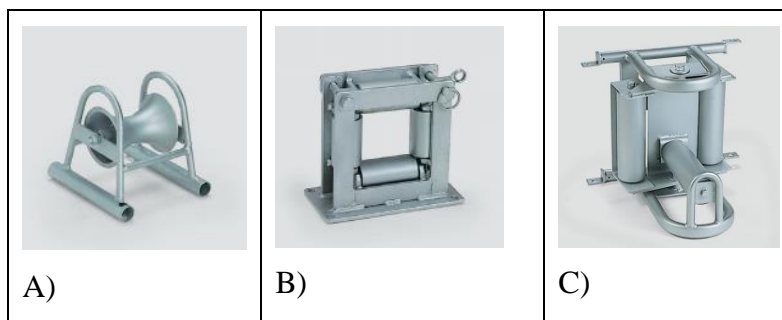
For å bedre kunne vite hva masteroppgaven vil tilføre det eksisterende markedet, er det gjort et søk etter liknende produkter med samme egenskaper og formål. Dette delkapittelet vil derfor gi innsikt i allerede eksisterende løsninger. Det er tatt forbehold om at offshoremarkedet er stort og lukket grunnet konkurranse. Dette betyr at identifiserte konkurrentene ikke nødvendigvis er direkte, men har de samme egenskapene som kreves i utviklingen av et nytt produkt. Med andre ord vil konkurrentene være til inspirasjon når det kommer til design og teknologien selv om sluttmarkedet ikke nødvendigvis er det samme.

De konkurrerende løsningene vil bli beskrevet under med pris, fordeler og ulemper. For å gjøre det mer oversiktlig vil løsningene være delt inn i tre kategorier; verktøy for kabelhåndtering, kabelmatere og reparasjonsverktøy. Kun verktøy for kabelhåndtering vil presenteres i masteroppgaven da hovedfagsoppgaven[10] tok for seg kabelmatere og reparasjonsverktøy (vedlegg B).

Verktøy for kabelhåndtering

Med verktøy for kabelhåndtering menes produkter som sørger for at kablene ikke treffer skarpe kanter o.l. ved å løfte dem opp fra overflaten, eller produkter som sørger for at maksimal bøyeradius overholdes. I denne oppgaven er et utvalg av kabeltrinser presentert, men det finnes flere leverandører på markedet med liknende løsninger[21-24]. Det sees bort ifra trommelutstyr, kniver, kabelkuttere måleapparater osv. da det ikke anses som hensiktsmessig for løsningen.

Konkurrerende løsningene vil bli beskrevet under ved følgende informasjon der data er mulig å oppdrive: Materialkvaliteten, kapasitet, vekt, dimensjon, SWL, fordeler og ulemper.



Figur 2.1: A) Kabeltrinse. B) Styretrinse. C) Hjørnetrinse. Bilder: [21]

Kabeltrinse

Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Kabeldiameterkapasitet på under 100 mm. Vekten er 5,1 kg. Total dimensjon for kabeltrinsen er 525 x 525 x 153. SWL på 500 kg.

Tabell 2.1: Fordeler og ulemper ved kabeltrinse.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Tilnærmet ingen friksjonskraft virkende på kabelen pga. trinsen. + Lettere enn 25 kg. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Ingen festemekanisme kan føre til at den er ustabil og kan velte. ÷ Må ha minimum tre stk. dersom man skal trekke tre enkeltfasekabler.

Styretrinse

Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Kabeldiameterkapasitet på under 300 mm. Vekten er 23 kg. Total dimensjon for styretrinsen er 525 x 525 x 153. SWL på 500 kg.

Tabell 2.2: Fordeler og ulemper ved styretrinse.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Mulig å trekke kabelen i alle retninger uten å påføre skade. + Kan brukes ved trekk av trefasekabel. + Lettere enn 25 kg. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Krever innkjøp av monteringsstativ i tillegg. ÷ Lukket trinse betyr at kabelen må føres gjennom rammen for bruk. ÷ Må ha minimum tre stk. dersom man skal trekke tre enkeltfasekabler.

Hjørnetrinse

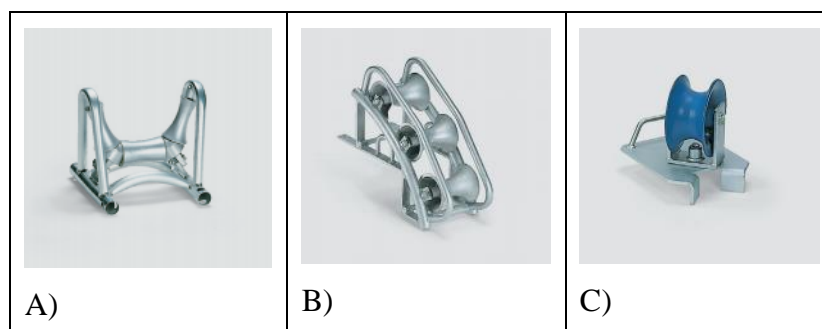
Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Kabeldiameterkapasitet på under 170 mm. Vekten er 29,8 kg. Total dimensjon for hjørnetrinse er 470 x 450 x 400. SWL på 600 kg.

Tabell 2.3: Fordeler og ulemper ved hjørnetrinse.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Sørger for at maksimal bøyeradius ikke overstiges. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Ingen festemekanisme kan føre til at den er ustabil og kan velte.

Forts. Tabell 2.3

Fordeler	Ulemper
+ Unngår friksjonskrefter fra hjørnetrinsen på kabel.	÷ Over 25 kg og må derfor løftes med mekanisk utstyr. ÷ Kan hoppe ut dersom kabelen ikke føres med jevn hastighet eller i samme retning hele tiden.



Figur 2.2: A) Trinse for rør. B) Nedføringstrinse. C) Trinse for kabelbrønn. Bilder: [21]

Trinser for rør

Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Kabeldiameterkapasitet på under 160 mm. Vekten er 5,2 kg. Total dimensjon på trinser for rør er 300 x 250 x 250. SWL på 150 kg.

Tabell 2.4: Fordeler og ulemper med trinser for rør.

Fordeler	Ulemper
+ Mindre sannsynlighet for at kabel/rør hopper ut da støtte i sideretning er høyere. + Lettere enn 25 kg.	÷ Ingen festemekanisme kan føre til at den er ustabil og kan velte. ÷ Må ha minimum tre stk. dersom man skal trekke tre enkeltfasekabler. ÷ Tilpasset rør og ikke kabler.

Nedføringstrinse

Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Kabeldiameterkapasitet på under 60 mm. Vekten er 14,2 kg. Total dimensjon for nedføringstrinse er 530 x 430 x 230. SWL på 500 kg.

Tabell 2.5: Fordeler og ulemper med nedføringstrinse.

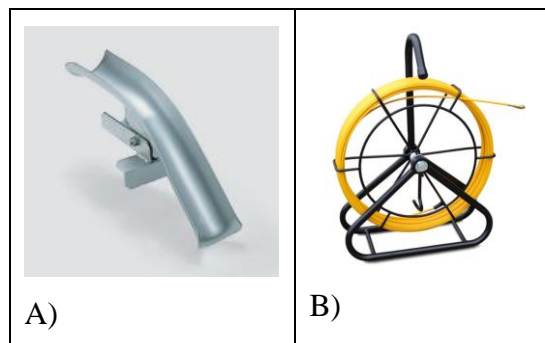
Fordeler	Ulemper
+ Passer på å overholde maksimal bøyeradius. + Ingen friksjonskrefter vil virke på kabel. + Lettere enn 25 kg.	÷ Må ha minimum tre stk. dersom man skal trekke tre enkeltfasekabler. ÷ Festemekanismen fører til at man må ha en rettinklet kant.

Trinse over kabelbrønn

Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Vekten er 5,1 kg. Total dimensjon for trinsen er 250 x 250 x 250. SWL på 1000 kg.

Tabell 2.6: Fordeler og ulemper ved trinse over kabelbrønn.

Fordeler	Ulemper
+ Lettere enn 25 kg.	÷ Ingen festemekanisme.
+ Tar liten plass	÷ Må ha en rettvinklet kant for festing.
+ Svinger automatisk den veien kraften virker.	÷ Behøver tre stk. ved tre enkeltfasekabler.
	÷ Sporet på trinsen er ikke dypt og kabelen vil ikke ligge stødig.



Figur 2.3: A) Kabelføringskinne [21] . B) Kabeltrekksystem for glassfiberkabler[25].

Kabelføringskinne

Leveres i materialkvaliteten galvanisert stål. Kabeldiameterkapasitet på under 100 mm. Vekten er 4,7 kg. Total lengde for kabelføringsskinnen er 550 mm.

Tabell 2.7: Fordeler og ulemper ved kabelføringskinne.

Fordeler	Ulemper
+ Profilen passer på at maksimal bøyeradius overholdes.	÷ Må ha tre stk. dersom tre enkeltfasekabler.
+ Profilen passer på at kabelen føres i en retning	÷ Er avhengig av riktig kant for montering.
	÷ Vil virke friksjonskrefter på kabelen som i verste tilfelle vil holde igjen kabel og påføre strekk.

Kabeltrekksystem

Leveres i materialkvaliteten pulverlakkert stål. Kabeldiameterkapasiteten er på under 31 mm.

Oversikt over fordeler og ulemper ved kabeltrekksystem vises på neste side.

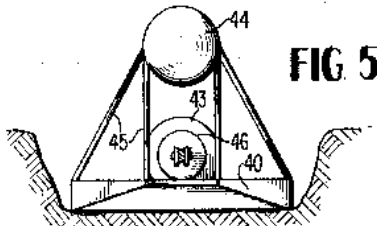
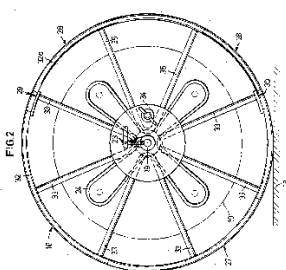
Tabell 2.8: Fordeler og ulemper ved kabeltrekksystem.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Brems og båndkontroll inkludert + Passer på maksimal bøyeradius + Kommer med tilleggsutstyr 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Designet for å lagre glassfiberkabler og har for liten kapasitet mtp. kabeldimensjon

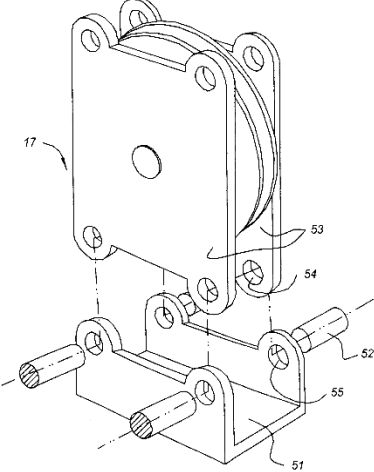
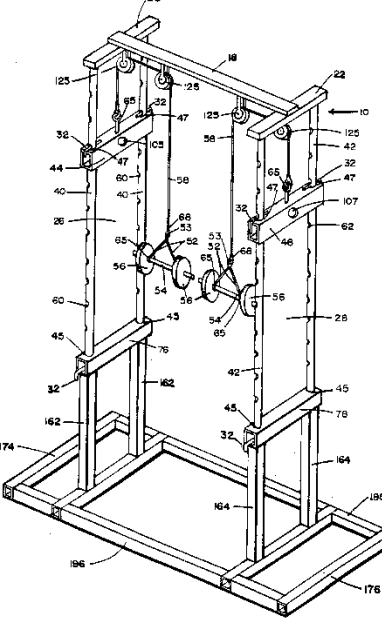
2.5 FTO analyse

Som en del av markedsundersøkelsen er en FTO analyse, «frihet til å operere» gjennomført. Dette innebar søk i nasjonale og internasjonale patentregister via Patentstyret, WIPO og Google Patents. En slik analyse utføres for å avdekke eksisterende patenter innenfor ett gitt teknologiske område. Eksempelvis utføres FTO analyse for å avdekke hvilke teknologier som ikke bør legges til grunn for produktutvikling [26]. Dette var også utgangspunktet for denne analysen. Resultatene fra analysen viste få direkte konkurrerende løsninger. De mest relevante funnene er kort beskrevet i Tabell 2.9, se vedlegg C for alle funn.

Tabell 2.9: Presentasjon av de mest relevante funnene i FTO analysen med bilder og beskrivelse. Kilde til tegninger ligger ved som referanse til patentenes engelske navn.

Tegninger	Engelsk navn	Beskrivelse	Søkeord
	Apparatus and methods for laying underwater pipelines [27].	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruksjon for å legge kabel fra land til offshoreområde. • Består av kabelgriper og hydrauliske sylindere. Hvor griperne kan ta tak i kablene og dra dem en viss lengde før de slippes. Så utføres operasjon på ny. • Sjøenden av kabel er koblet til strømaggreat. 	Cable pulling offshore
	Device for supporting and transporting a cable drum [28]	<ul style="list-style-type: none"> • Støtter kabeltrommel ved hjelp av lagerhylser som er roterbare og montert sammen med to støttejul. • Trommelen vil være fritt til å rotere i forhold til bakken. 	Cable drum

Forts. Tabell 2.1

Tegninger	Engelsk navn	Beskrivelse	Søkeord
 <p>Fig 9</p>	<p>Hoisting device, with compensator built into hoisting cable system [29]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Innretning for å heise noe for et fartøy med mast eller liknende. • Består av kabelblokk og remskiver hvor kabelen dras over en hydraulisk eller pneumatisk drevet sylinder. • Bevegelsen til det hydrauliske eller pneumatiske systemet drives av bølgekraft. 	<p>Cable pulling offshore</p>
	<p>Cable suspended dumbbell and barbell weightlifting apparatus [30]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apparatet hjelper for vektløfting ved forhåndsvalgte høyder. • Bruker hullserie i vertikal retning for justeringer og valg av høyde. 	<p>Cable pulling offshore</p>

Analysen viser at det finnes en del ulike og viktige konsepter det er viktig å ta hensyn til i konseptgenereringsfasen (hovedkapittel 6). Enkelte av funnene er ikke innen samme teknologiske retning som problemstillingen i denne masteroppgaven. Det er en fordel siden krenkelse av patent vil være enklere å unngå. Spesielt gjennomgående er bruk av ruller eller trinser.

Brannpumpemarkedet er et stort internasjonalt marked i vekst. De identifiserte patentene viser at problemstillingen er internasjonal samtidig vil det være mulig å overføre løsningen til andre markeder. Med dette i baktankene går oppgaven over til neste kapittel hvor teori og teknologi blir gjort rede for.

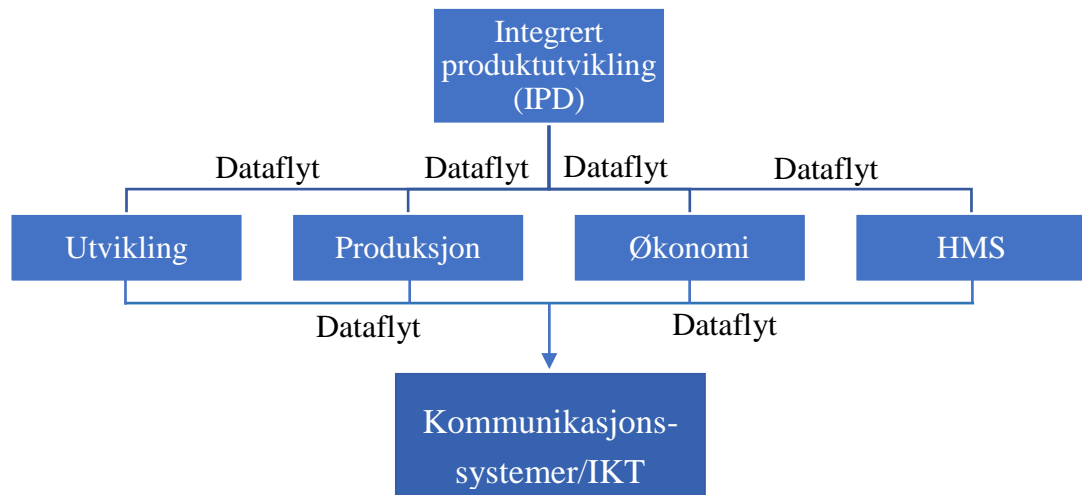
3 TEORI OG TEKNOLOGIUTREDNING

Dette hovedkapittelet skal gi grunnlag for all teori benyttet videre i oppgaven. Alt fra krav og forskrifter i petroleumsbransjen til generell informasjon om design av høyspentkabler.

3.1 Metodebruk

De ulike metodene brukt i masteroppgaven er forklart nedenfor.

Integrert produktutvikling (IPD)



Figur 3.1: Illustrasjon av metoden integrert produktutvikling. Dataflyten kan være alt fra grupper som prater sammen, datautveksling frem og tilbake og satellitt-nett-digitale-telefonisystemer.

Integrert produktutvikling er en metode utviklet over tid, med bakgrunn i store sivile og militære utviklingsprosjekter, men fungerer like godt ved mindre prosjekter. Det er en filosofi som tenker mest mulig helhet ved produktutvikling. Dette innebærer tilpassede systematiske felleselementer og stor grad av kommunikasjon til ulike virksomheter. Metoden deler produktutviklingen inn i fire ulike seksjoner: utvikling, produksjon, økonomi og HMS. Metoden IPD sørger for god kommunikasjonsflyt mellom de ulike seksjonene ved hjelp av ulike datasystemer (Figur 3.1). Eksempler på denne dataflyten er programvarer og verktøy som CAD og FEM/FEA. Målet med å følge metoden er å oppnå større effektivitet, lavere gjennomførings-tid og bedre læringseffekt ved å koordinere ting i riktig rekkefølge samtidig som viktige ting ikke uteblir. IPD trekker også inn elementer av psykologi og ikke minst viktige miljø- og bærekrafthensyn. Grovt sett er IPD en form for «huskeliste» for å ivareta viktige elementer i løpet av organiseringen av produktutviklingsprosjekter [31].

Praktisk sett vil gjennomføringen av IPD i denne oppgaven gå på (data)flyt gjennom de ulike prosesstrinnene for å danne et grunnlag for eventuell videreutvikling. Formålet med implementeringen av IPD vil være å få en god oversikt over utfordringer, men også muligheter knyttet til masteroppgavens problemstilling. Dette er blant annet grunnen til at prosesstrinnene og prosjektplanen er utformet på et tidlig tidspunkt (Vedlegg A).

Stuart Pughs metodikk

Pugh er en kvalitativ metode som blant annet rangerer ulike konsepter samt gjør det mulig å plukke ut det beste konseptet av flere. Dette foregår ved å velge ut ulike kriterier. Deretter skal kriteriene føres inn i en tabell sammen med de mulige konseptene. Det å velge ut gode og relevante kriterier vil være en nøkkelfunksjon grunnet deres store påvirkning av utfallet. Når tabellen er ført opp skal hvert konsept scores ved de ulike kriteriene. Dette kan gjøres med en skala på -1, 0 og 1 eller ved hjelp av vektning i prosent. Konseptet som kommer best ut av denne scoringen vil etter Pughs metodikk være vinneren, og det konseptet bør tas med videre [32]. Denne metoden vil bli brukt ved seleksjonstrinnet i hovedkapittel 7.

Tabell 3.1: Eksempel på oppsett av seleksjonsmatrise etter Pughs metodikk.

Konsept	Kriterier Viktighet i %	Kriteria 1 30	Kriteria 2 30	Kriteria 3 40	Sum 100
Konsept 1					
Konsept 2					
Konsept 3					
Konsept 4					

Stuart Pughs metodikk innebærer også metoder for produktspesifisering. Dette er benyttet i oppgaven under identifisering og rangering av viktige produkttegenskaper, metriske grensespesifikasjoner og grovspefisering.

Osborns huskeliste

Osbornes huskeliste, bedre kjent ved akronymet SCAMPERR, er en metode brukt for å utfordre konseptutviklingen. Den innebærer åtte ulike metoder mot å forbedre et produkt. Metoden går ut på å undersøke eksisterende produkter for å finne en potensielt bedre løsning. Dette kan være ved å bryte ned eksisterende produkt for deretter sette det sammen på en ny måte [33].

Tabell 3.2: Forklaring av trinnene ved akronymet og metodikken, SCAMPERR.

Bokstav	Norsk betydning	Metode
S	Substitutt	Skifter ut produkter/komponenter som kan gjøre samme handlinger eller føre til likt resultat.
C	Kombinere	Utnytte og kombinere komponenter slik at sluttproduktet blir bedre. Eks. ved at en komponent kan utføre flere oppgaver.
A	Tilpasse	Tilpasse et produkt til å passe flere handlinger og områder.

Forts. Tabell 3.2

Bokstav	Norsk betydning	Metode
M	Modifisere	Endre et produkts attributter ved å endre størrelse, tekstur, farge eller form.
P	Hensikt	Se på andre mulige områder hvor produktet kan benyttes.
E	Eliminere	Eliminere unødvendige funksjoner for at produktet skal fungere optimalt.
R	Reversere	Endre retning eller rekkefølgen på komponenter.
R	omorganisere	Endre komponentplassering for å se hvilken virkning det har på funksjonalitet og brukervennlighet.

I denne oppgaven er SCAMPERR brukt som et verktøy for å aktivt tenke mot allerede eksisterende produkter og løsninger. Spesielt nyttig har metodikken vært i prosessen mellom seleksjonen og endelig design. Metoden kan brukes i flere bransjer enn produktutvikling slik som salg, økonomi og markedsføring.

3.2 Beregningsteori

Delkapittelet legger frem grunnlaget for spenningsberegningene og sveisedimensjoneringen som utføres i delkapittel 8.5.3 Hensikten er å sette rammen for fremgangsmetoden i beregningene samt gi et grunnlag for valgt metode.

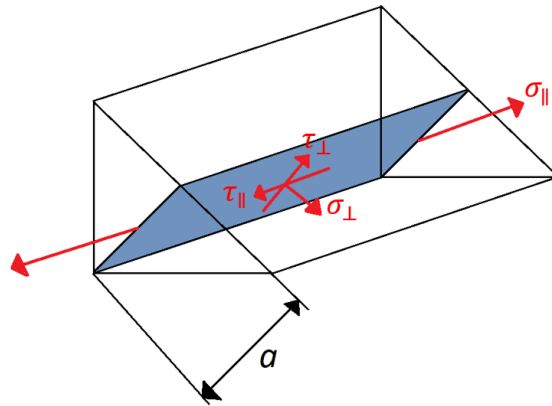
Spenningsberegninger [34]

Beregninger av spenninger er ofte grunnlaget for konstruksjon. Det er lurt å tenke gjennom hvilke påkjenninger konstruksjonen vil bli utsatt for så tidlig som mulig. Påkjenningene kan være indre krefter, ytre krefter, direkte og indirekte. Ved beregning av spenninger er det ofte nødvendig med forenklinger. Dette gjør at spenningsanalysene ofte er vanskelig å få nøyaktig. Samt at overslagsberegninger kreves. Spenningsanalyse kan kort oppsummeres ved fem steg:

1. Tegn skisse av den aktuelle komponenten.
2. Tegn inn kreftene som virker på komponenten. Dette kan være enten statiske- og/eller dynamiske belastninger.
3. Beregn spenningene.
4. Velg materiale ved å se på materialets tillatte spenning basert på flytegrensen og nødvendig sikkerhet.
5. Fastlegg de endelige dimensjonene.

Beregning av spenninger i kilsveiser [34]

Grunnregelen for sveiseberegninger er forutsetningen om at belastningen er jevnt fordelt over tverrsnittet til sveisefugen. Det finnes flere former for sveis, men kilsveis vil være mest relevant å forklare i denne masteroppgaven.



Figur 3.2: Spenningene som kan opptre i en kilsveis. Illustrasjon: Privat.

Det er den effektive høyden, a , og den effektive lengde, l , som danner grunnlaget for beregning av kilsveis. Mulige opptredende spenninger er parallell skjærspenning og trykk-/strekkspenning i tillegg til skjærspenning og trykk/strekkspenning vinkelrett på sveisen (Figur 3.2). Eurokode 3 stiller krav til at a -målet på kilsveiser må være minimum 3 mm. Samtidig er det ikke tillatt å regne med større a -mål enn $0,7 \times$ minste platetykkelse. I følge Eurokode 3 skal sikkerhetsfaktoren være minst 3 ved dimensjonering av kilsveis. I tillegg til kreftene beskrevet, vil det kunne oppstå vridespenninger ved bruk av ringformede sveiser.

Skjærspenningshypotesen [35]

Bedre kjent som Tresca's hypotese, sier at maksimal skjærspenning i et materiale er et mål på materialpåkjenningen. Utgangspunktet er at flyting inntreffer når en strekkstav blir utsatt for maksimal skjærspenning. Tidligere var hypotesen brukt til beregninger av duktile materialer, men forskning viste at hypotesen er konservativ. Derfor brukes den i dag på sprø materialer. Eksempelvis støpejern. Hypotesen sier at den jevnførendespenningen er lik forskjellen mellom største og minste hovedspenning:

$$\sigma_{jf} = \sigma_{maks,hoved} - \sigma_{min,hoved} \quad (\text{Formel 3.1})$$

Ved plan spenning betyr dette at absoluttverdien til differansen mellom hovedspenningene må være mindre eller lik flytegrensen. Bruk av denne hypotesen krever at alle tre hovedspenningene er kjent. Hovedspenningen i z -retning er null.

Deviasjonshypotesen [35]

Bedre kjent som von Mises hypotese. Forskning viser at teorien stemmer best med virkeligheten når det gjelder duktile materialer. Eksempelvis konstruksjonsstål og rustfrie ståltyper. Derfor er von Mises hypotesen benyttet til spenningsberegningene i denne masteroppgaven. Hypotesen angir formendringsarbeidet på grunn av skjærspenningene som må holdes under det arbeid strekkstaven er utsatt for ved flyting eller brudd. Da gjelder følgende:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (\text{Formel 3.2})$$

Dersom

$$\sigma_y = 0: \quad \sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (\text{Formel 3.3})$$

Settes den jevntførendespenningen lik flytegrensen til materialet dannes en elliptisk kurve. Holder spenningen seg innenfor ellipsen, vil materialet holde.

3.3 Løsningsverktøy

De ulike løsningsverktøyene benyttet i masteroppgaven er beskrevet nærmere i dette kapittelet.

Express Scribe Transcription Software Pro

Programvaren gjør det mulig å spille av en lydfil på datamaskin og er utviklet spesielt for å transkribere lydopptak. Den gjør det mulig å redusere tidsbruk ved transkribering da den har hurtigtaster tilknyttet tastaturet og eget avsatt notatark i samme vindu som avspillingen foregår. Bruk av tid på å skifte mellom vinduer på skjermen ved stopp, pause eller spoling i lydfilen unngås. Det er også mulig å endre på hastigheten lydfilen spilles av. Programvaren er brukt ved transkribering av møter med Eureka Pumps AS.

Microsoft Word 2016 Microsoft

Word 2016 er et tekstbehandlingsprogram. Programvaren vil bli brukt til å utforme og dokumentere masteroppgaven, endring av oppsett og innsetting av bilder, tabeller og liknende.

Microsoft Excel 2016 Microsoft

Excel 2016 er et tallbehandlingsprogram. Det vil i masteroppgaven bli brukt til å konstruere tabeller og gjøre enkle utregninger.

EndNote

EndNote er et referanshåndteringsverktøy. Det gir mulighet til direkte og automatisk formatere referanser fortløpende i et dokument. EndNote er kompatibel med Microsoft Word og kommer med flere ulike referansestiler.

CES EduPack 2017 CES

CES EduPack 2017 er en programvare som gir oversikt og tilgang til materialdata. Hensikten med tilgangen er å gjøre materialvalg enklere. I tillegg kan du utføre bærekraftighetsanalyser av ulike materialer [36]. I denne masteroppgaven vil programvaren bli brukt til å bestemme materialkvalitet.

SolidWorks Student Edition 2017

SolidWorks Student Edition 2017 er en programvare som blir brukt for å lage digitale modeller i 3D samt konstruere arbeidstegninger i 2D. Det kan også brukes til å kjøre analyser på konstruerte design. I rapporten vil programvaren bli brukt til å konstruere 3D modeller av konseptet og hente ut renderte bilder av hvordan det ferdige produktet vil se ut. Det vil også bli brukt til å konstruere arbeidstegninger for å kunne sette i gang produksjon av prototype.

CosmosWorks

CosmosWorks er en egen del av programvaren til SolidWorks. Den brukes for å gi en enkel og nøyaktig designanalyse som kan fange opp svake sider ved strukturer. En komplett integrasjon av programvaren gir mulighet til designanalyser (både FEM og FEA), simulering og optimalisering direkte i SolidWorks sitt brukergrensesnitt. I denne masteroppgaven vil kun delen for statistisk simulering benyttes til å kjøre FEM-analyser.

Keyshot 7 demo

Programvaren er spesielt utviklet for rendering av tekniske 3D tegninger. Ved å laste opp 3D-modellen kan materialoverflater og utseende legges til modellen. KeyShot har innebygde bakgrunner og omgivelser som gir en reell visning av produktet i perspektiv.

3.4 Krav og forskrifter

For å svare på problemstillingen satt for masteroppgaven innebar dette kunnskap om ulike standarder. Spesielt viktig moment med tanke på kvalitetssikring av arbeidet, beskrevet i delkapittel 1.7. Følgende delkapittel vil derfor gi en kjapp introduksjon av aktørene bak standardene. For mer informasjon om et utvalg av de relevante standardene og forskriftene lagt til grunn for utviklingen, se Vedlegg D.

NORSOK

I 1994 startet et samarbeid mellom aktørene i norsk petroleumsindustri, bedre kjent som NORSOK (Norsk Sokkels Konkurransesposisjon). Samarbeidet startet for å redusere gjennomføringstiden ved ulike prosjekter, samt senke utviklings- og driftskostnader for petroleumsinstallasjoner på norsk sokkel [37]. Standarden blir publisert av Norsk Standard sammen med Norsk olje og gass, Norsk Industri og norske myndigheter. I starten var altså standarden tiltenkt den norske kontinentalsokkelen, men er i senere tid blitt en anerkjent internasjonal standard.

DNVGL

DNVGL, tidligere kjent som DNV (Det Norske Veritas), publiserte de første reglene for oljerørledninger i 1976. Etter dette har de blant annet stått for byggovervåkning og inspeksjon på den norske kontinentalsokkelen. De fungerer både som produsenter av standarder, men yter også sertifiseringstjenester. Fokusmarkedet deres var opprinnelig skipsindustrien, men da petroleumsindustrien blomstret i Norge hev de seg på bølgen [38].

Standard Norge

Standard Norge utvikler standarder for de fleste områder. Dette er en privat, uavhengig medlemsorganisasjon hvor virksomheter kan ta en del. Organisasjonen har enerett på å utgi Norsk Standard som er ofte basert på ISO standardene [39].

Lovdata

Lovdata ble opprettet av Justisdepartementet og Det juridiske fakultet i Oslo i 1981. De er en privat stiftelse med formål å opprette, vedlikeholde og drive systemer for rettslig informasjon. De bidrar også til forskning og utvikling innenfor formålet. Nettsidene deres er åpne og inne-

holder primære rettskilder som regulerer norske borgeres rettigheter og plikter. Av forskriftene er spesielt forskriften for maskin relevant i denne masteroppgaven [40].

Rasjonell elektrisk nettvirksomhet (REN)

Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet (REN) ble stiftet etter rapporten «Gevinster ved standardisering av distribusjonsnett» ble publisert i 1994. Organisasjonen skulle jobbe videre med problemstillingen. Etter hvert har dette resultert flere ulike publikasjoner [41]. Blant annet en publikasjon om kabelhåndtering.

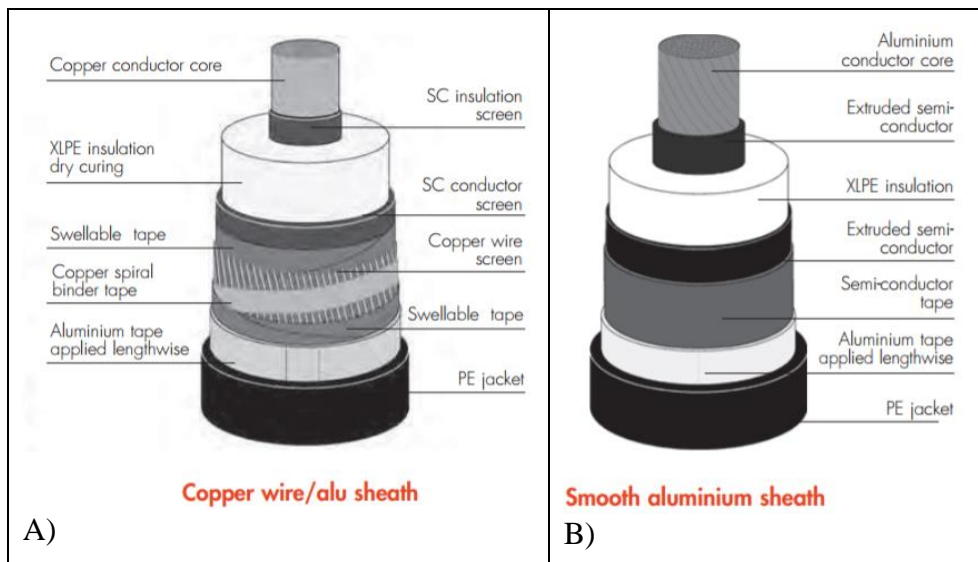
3.5 Teorigrunnlag

I dette delkapittelet blir nødvendig teorigrunnlaget presentert. Med nødvendig teorigrunnlag menes kunnskap for forståelse av viktige produktegenskaper og problemstillinger.

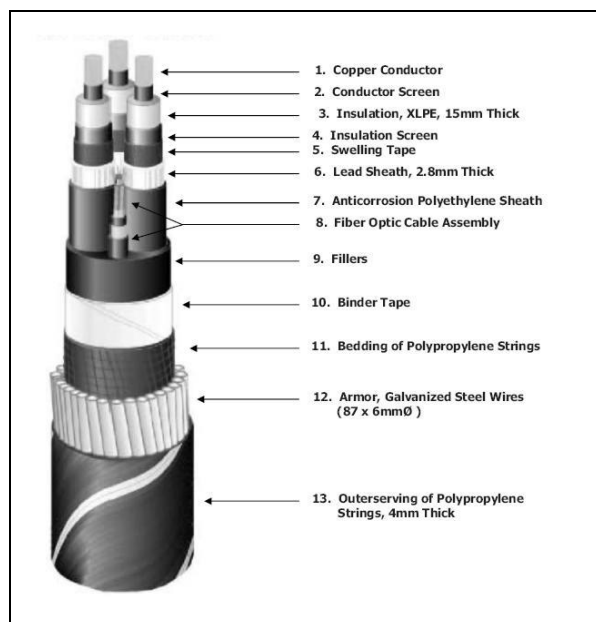
Høyspenning og høyspentkabler

Det finnes tre ulike begrep for å beskrive nivået av spenning: lav-, middels- og høyspenning. Det er imidlertid kun lavspenning som har en internasjonal definisjon. Definisjonen på middels- og høyspenning er uklar og kan variere fra land til land. Eksempelvis er høyspenning definert ved leveranse av 600 volt eller høyere i USA [42]. Medlemsland av «International Electrotechnical Commission» (IEC), dette gjelder for Norge, definerer derimot høyspenning ved leveranse av mer enn 1000 volt for vekselstrøm eller mer enn 1500 volt ved likestrøm [43]. For å levere høyspenningen behøves kabler. Disse kan legges i luftlinje, på bakken, under bakken eller i sjøen. Utformingen på kablene varierer derfor i forhold til områdene de skal legges og selve designet på spenningskabler har variert med tiden. I denne masteroppgaven er det fokus på høyspentkabler nedsenkbare i sjø.

Høyspentkabler kan i dag enten leveres med en- eller tre kjerner (Figur 3.3 og Figur 3.4). Det vanligste er kobber- eller aluminiumskjerner da disse har god ledningsevne. For å kunne øke lengden på kjernen hadde en- og trekjerne kabler ulik maksresistans frem til 1978. Dette endret seg til at hvert enkelt ledemateriale nå er merket med maksimalmotstand. I dag er det vanlig å bruke tre-kjerne kabler opp til spenninger på 150kV. Fra 200 kV og oppover sies det at enkeltkjerne kabler er mest forutsigbare og at de generelt er mer lønnsomme, sett fra økonomisk perspektiv. Designet på enkeltkjernede og trekjerne kabler varierer, men det har skjedd spesielt mye med isoleringen av kablene. I dag består høyspentkabler av flere lag med isolasjon av ulike egenskaper (Figur 3.3 og Figur 3.4). Blant annet finnes isolasjon i form av en metallflate som hindrer brennbare væsker eller damp å trenge inn til kjernen[44]. Dette er spesielt relevant for offshoremarkedet da det stiller høye krav til brannsikkerhet.



Figur 3.3: A) Oppbyggingen av enkeltkjerne kabel med kobberkjerne og ulike lag med isolasjon rundt. B) Oppbygging av enkeltkjerne kabel med aluminiumskjerne og ulike lag med isolasjon rundt. Begge kabeldesign har til felles at de er trukket med en ytterkappe laget av PE og er beskyttet av aluminiumsteip [45].



Figur 3.4: Oppbyggingen av en høyspentkabel med tre kjerner av kobber [45].

Offshorekabler deles inn i to hovedgrupper; kabler for dynamisk og statisk bruk i kontakt med sjøvann og kabler for bruk i installasjoner offshore hvor kablene ikke er i direkte kontakt med sjøvann [46].

Sjøvann sammensetning

Sjøvann, også kjent som saltvann og havvann, er sammensatt av vann (96,5%) og ulike salter (3,5%). Den største andelen av salt i sjøvann er natriumklorid (NaCl). Det resterende saltinnholdet er blant annet magnesiumsulfat (MgSO₄), kalsium (Ca²⁺), kalium (K⁺) og brom (Br⁺). For fullstendig andel av salter i sjøvann se Tabell 3.1.

Tabell 3.3: Andelen av løste stoffer i sjøvann oppgitt i g/kg [47].

Ion	Masseandel mg/kg sjøvann	Ion	Masseandel mg/kg sjøvann
Natrium	10760	Sulfat	2712
Magnesium	1294	Hydrogenkarbonat	142
Kalsium	413	Brom	67
Kalium	387	Bor	4
Strontium	8	Fluor	1
Klor	19353		

Saltene nevnt i Tabell 3.1 påvirker materialer. Det vil resultere i en raskere korrosjonsprosess.

Korrosjon

Korrosjon defineres som gradvis nedbrytning av et materiale når det reagerer med omgivelsene. Reaksjonen kan enten være fysisk eller kjemisk, og resulterer i at materialet får strukturendringer. Endringene fører ofte til reduserte egenskaper hvilket ikke er ønsket. Dette kan for eksempel være sprekkvekst. Prinsippet bak korrosjon hos metaller er oksidasjon og reduksjon.

Oksidasjon og reduksjon [48]

Oksidasjon var opprinnelig definert som en kjemisk reaksjon mellom et stoff og oksygen. I senere tid er definisjonen for oksidasjon en prosess hvor oksidasjonstallet til minst ett atom i bindingen øker og elektroner forskyves eller frigis [49]. Korrosjon eller rust av jern er den mest kjente formen for oksidasjon. Dette foregår etter følgende kjemiske likning.

Oksidasjon



De to elektronene som frigis i denne reaksjonen vil nå prøve å finne et nytt tilholdssted. Vanligvis velger de å gå til et materiale uten metaller, eksempelvis vann eller hydrogen, og skaper et negativt ladet ion. Atomet som mottar de to frigitte elektronene betegnes redusert.

Reduksjon



Saltvann fører til en fem ganger raskere korrosjonsprosess enn vanlig vann[50]. Dette skyldes at saltvann fungerer som en katalysator. Korrosjonsbestandighet er derfor en utgjørende faktor og må tas hensyn til ved konseptutviklingen. Ved å identifisere relevant teori og teknologi er det lagt til rette for bedre forståelse av masteroppgavens videre forløp. Neste steg i utviklingsprosessen vil være presentasjon av elementer og komponenter, ved en typisk leveranse av brannpumpesystemer til offshore sektor.

4 TEKNISK GJENNOMGANG

Hovedkapittelet vil gi en kjapp gjennomgang av pumpen, høyspentkablene og verktøyene som ble designet for leveranse av brannvernpumper til Aasta Hansteen. Denne leveransen ble valgt da det representerer et typisk oppdrag.

4.1 Pumpesystemet

Pumpetypen CD 450 L2 er valgt som utgangspunkt for konseptløsningen da det er en ofte valgt størrelse ved brannverns pakker. Dette er en submersibel pumpe med dykket elektrisk motor. En submersibel pumpe betyr at motoren kan senkes ned i væske ved at den kapsles inn. Dermed tåler motoren en vannlekkasje over en viss tidsperiode uten at det påvirker driften [51]. I følge sammenstillingstegninger har selve pumpen en totallengde på omkring 57,8 m og veier 15 100 kg tørr og 24 020 kg når den er fylt med væske. Når det kommer til oppbygningen av pumpen består den av flere ulike deler. Noen av de viktigste delene blir kort beskrevet nedenfor.

Toppstykke

På toppstykket skjer alle tilkoblinger. Eksempelvis er koblingsboksene for instrumenter og høyspentkablene å finne her. For å forsikre at el. motoren ikke får frostskafer ved transport og lagring er det også plassert en vann/glykol header tank. Glykolblandingen brukt vil også sørge for at systemet kjøles ned under drift. «El. Motor Head Tank» er en atmosfærisk tank som opprettholder et konstant overtrykk i den vannkjølte dykkede el. motoren. Denne tanken er en del av toppstykke og vil være utstyrt med nivåglass for lokal avlesning av nivåføler. På denne måten er det lett å holde styr på etterfylling. Alle rørtilkoblinger mellom tankflenser og flenser på toppstykke er utstyrt med sluseventiler.

Stigerør (Eng. Reiser)

Alle stigerørene har et O-ringspor i øvre flens hvorav hver flens har boltehull for å kunne sette sammen stigerørene. Det er vanlig at høyspentkablene festes mellom hver seksjon. Festingen skjer ved bruk av klemmer [52].

Tilbakeslagsventil/NRV (Eng: Non Return Valve)

Tilbakeslagsventilen er av typen «in-line». Dette betyr at ventilen har en fjær som letter når det er overtrykk i ventilen. Når trykket ligger under tillatt trykk vil fjæren lukke ventilen for å hindre tilbakestrømming i prosessen [53]. NRVen blir operert av væskestrøm i stigerør og blir levert for sikkerhet mot lekkasje av klorholdig vann ned til pumpe-sats og den elektriske motoren når pumpa ikke er i drift [54].

Pumpesats (Eng. Pump Unit)

Pumpen er av typen CD450-L2, dette er en 2-trinns pumpe hvor sliteringene sitter med presspasninger og er låst med settskruer i ledeapparatet og på løpehjulene. Selve pumpen er levert med en stiv kobling. Det vil si at all aksial last fra pumpa blir tatt opp av et lager i den elektriske motoren. Løpehjulene låses aksielt av koblingen [54].

Elektrisk motor

Eureka Pumps AS benytter seg av elektriske motorer fra leverandøren Hayward Tyler. Motoren som ble brukt i dette tilfellet hadde en lengde på 2433 mm og en diameter på $\varnothing 700$. Totalt veier den elektriske motoren 5760 kg. For å drifte den elektriske motoren er det koblet til tre høyspentkabler. De festes permanent. Instrument og jordingskabler kan demonteres. Alle sjøvannsberørte deler er i materialkvaliteten «25%Cr.Duplex» [54].

4.2 Høyspentkabel

Kabellengde og størrelse varierer fra prosjekt til prosjekt og vil være avhengig av hva kundene ønsker. Felles for alle pumpene er at de kommer med en elektrisk trefasemotor som krever at kabelen(e) tilsvarer dette. Eureka Pumps AS varierer derfor mellom innkjøp av kabel med tre kjerner og tre kabler med en kerne. Det er fordeler og ulemper ved begge. Blant fordelene med en trefasekabel er plassbesparelse med tanke på lagring og transport. Til gjengjeld vil den ha høyere maksimal bøyeradius. Dette gjør dem tyngre og derav skjøre, som fører til at de er mindre håndterlige. I tillegg vil en trefasekabel ha en tykkere utforming. Det gjør at diameteren på pumpesystemet øker. Mange kunder velger derfor tre kabler med en kerne.

I leveransen til Aasta Hansteen ble kabeltypen «WATER RESIST, BFOU, 1x150mm², 6/10kV, OFFSHORE CABLE». Typen består av en enkeltkjernet leder laget av tvinnede kobbertråder (Figur 4.1). Kabelen er halogenfri, flammeresistent, flammehemmende og ikke giftig. Den frigir lite røyk ved brann, er motstandsdyktig mot forurensning, eksempelvis gjørme og tåler temperaturer fra -30 til +75°C. Siden dette er en enkeltfasekabel behøves det 3 lengder på 60 m for å drive den elektriske motoren. I følge produktdatabladet til kablene leveres de med en nominell ytterdiameter på 34,9mm (Vedlegg E). Det må påberegnes en toleranse på -1,4mm eller +2,1mm. Av erfaring er kabelen oftere større enn nominell diameter.

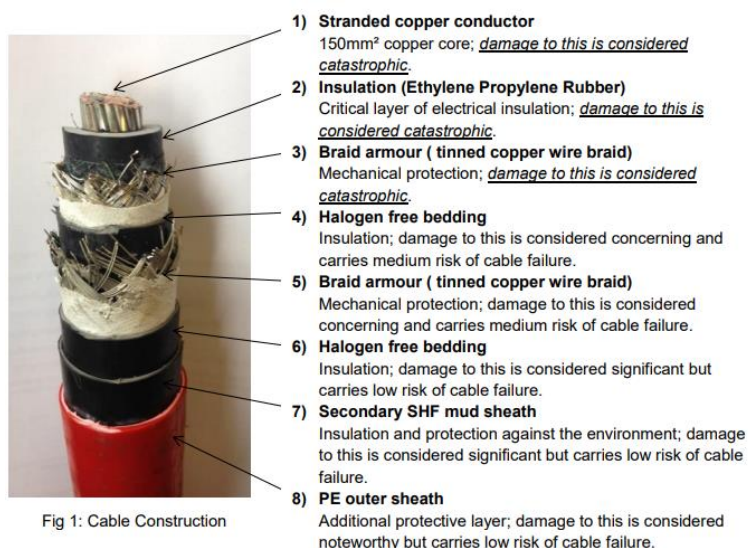


Fig 1: Cable Construction

Figur 4.1: Designkonstruksjon for en typisk BFOU/RFOU høyspentkabel for spenninger fra 3.3 kV-11kV samt informasjon rundt skadeomfang ved de ulike kappene [55].

Maksimal bøyeradius jf. vedlegg D, blir dermed:

$$r_{b,maks} = 15 * 34,9 = 523,5 \text{ mm} \quad (\text{Formel 4.1})$$

Kabelens tverrsnitt er 217 mm^2 [56].

Tillatt strekkraft i hver kabel jf. vedlegg D er:

$$F_{s,maks} = 50 * 217 = 10,85 \text{ kN} \quad (\text{Formel 4.2})$$

Kabelen veier 2700 kg/km [56].

Tyngden til en 60 m lang kabel:

$$m_{enkabel} = 2700 \text{ kg} * \frac{60\text{m}}{1000\text{mm}} = 162\text{kg} \quad (\text{Formel 4.3})$$

Denne vekten må ganges med tre for å få den totale vekten av tre enkeltfasekabler. Totalvekt av kablene blir dermed 486 kg .

4.3 Nåsituasjon ved installasjon av høyspentkabler

I dette delkapittelet vil en beskrivelse av dagens situasjon med tanke på håndtering av høyspentkablene fremlegges. Dette innebærer både anvisninger under optimale forhold og faktiske forhold.

Hayward Tyler: installasjons guide

Motoren som driver hele pumpesystemet leveres av Hayward Tyler. De velger kabeltypen som skal kobles til motoren og har skrevet en veiledende anvisning for å forsikre korrekt bruk og håndtering av kabler [57].

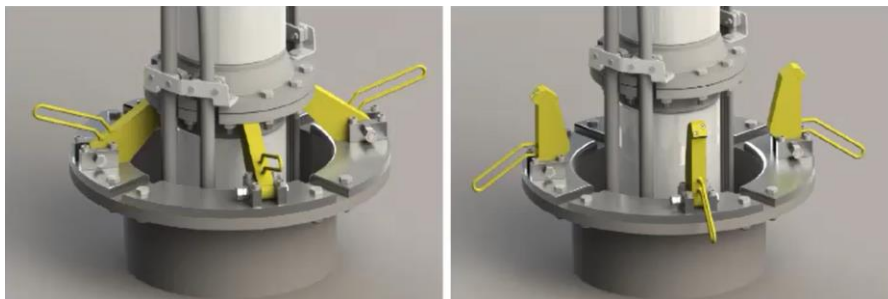
I anvisningen er det listet opp nødvendig utstyr for installasjon. Dette inkluderer to kraner da en må løfte motoren når den er fylt og den andre må kunne løfte kabeltrommelen. Kranene skal komme med nødvendige slynger, vaiere og sjakler som tåler begge løfteoperasjonene. I tillegg skal det være minst tre støtteprofiler i treverk som skal benyttes når motoren står i horisontal stilling.

Når det kommer til selve kabelhåndteringen er det svært viktig at den utøves med forsiktighet når kablene er festet til motoren. Spesielt viktig er det å overholde gitt bøyeradiusen fra produktdatabladet. Ved leveransen til Aasta Hansteen av den maksimale bøyeradiusen satt til 612 mm ved pakking, transport og installasjon. Det er også viktig å sørge for at kablene ikke på noe tidspunkt stikker ut i en vertikal posisjon uten å være støttet opp. For å støtte opp kablene kan en kabelstøttebrakett benyttes.

Motoren og kablene kan leveres i en trekasse hvor kablene er kveilet opp og ligger løst på toppen av motoren. En annen måte de kan leveres på er ved hjelp av en metallkrybbe og kabeltrommel. Tilnærmingen for installasjon og håndtering er avhengig av formen for leveranse.

Faktiske forhold.

Installasjonene av brannpumpesystemene utføres oftest på nederste dekk av plattformen. Dette foregår ved et klargjort område hvor pumpen kan senkes direkte ned i sjøvannet. Da benyttes Eureka's patenterte verktøyet, «hang-off-tool» (Figur 4.3), som har gjort installering og vedlikehold av brannpumpesystemene mer effektivt.



Figur 4.2: Installasjonstiden har gått kraftig ned grunnet bruk av hang-off-toolet. Pumpe-modulene hodes fast ved hjelp av de gule «ørene». Ved å slippe opp «ørene», kan pumpe-modulene senkes ned. Illustrasjon: Eureka Pumps AS.



Figur 4.3: Bilde hentet fra installasjon av brannpumpesystem ved Draugen plattformen i 2015. «Hang-off-toolet» er installert på nederste dekk og dekket av sjøvann. Foto: Eureka Pumps AS.

Motoren leveres ofte i en spesialdesignet krybbe. Krybben er laget av ulike metallprofiler sveist sammen (Figur 4.5). De øvrige pumpemodulene leveres uavhengig av krybbe. Hvert stigerør (riser) kan være fra tre til seks meter. Det er vanlig at høyspentkablene er koblet til motoren ved leveranse til plattformen (Figur 4.5). Motoren er det første som senkes ned og kablene vil derfor følge pumpens nedsenkningshastighet. For å unngå strekk i kablene blir disse festet ved hver reiser-seksjon som monteres under installasjonen. Dette gjøres ved hjelp av klemmer (Figur 4.6). Disse monteres vanligvis ved hver tredje meter.

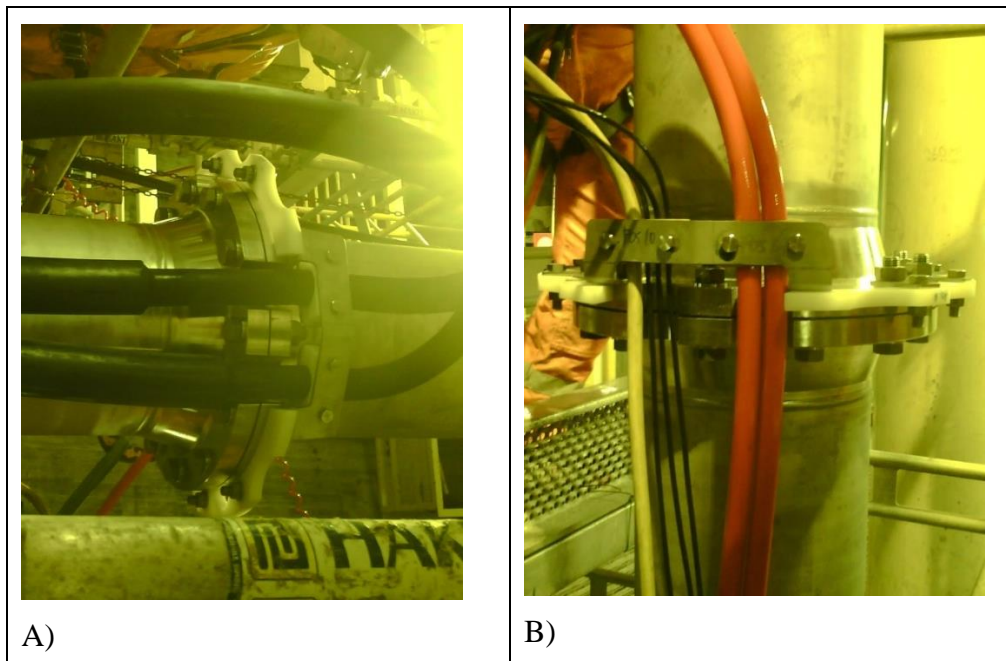
Dersom pumpemodulens lengde nærmer seg seks meter blir det gjort en vurdering på om det skal monteres klemmer oftere. Klemmene som benyttes er de samme uansett kabeldimensjon og har ingen direkte innvirkning på kabelhåndteringsmetoden. De sørger for at kabelen er selvbærende mellom hver seksjon. Med selvbærende menes at kabelen kun påvirkes av egenvekten. Ved noen tilfeller har klemmene påført kablene skader eller merker da plastkappen på kablene ofte er veldig harde. Samtidig skal klemmene sørge for at kablene ikke er bevegelige.



Figur 4.4: En spesialdesignet krybbe blir laget og tilpasset de ulike pumpemotorene for hver unike ordre. De transporteres i vannrett stilling. Kablene festes på motoren, i den ene enden, og kveiles på aluminiumstrommel, i den andre enden. For å ivareta maksimal bøyeradius er en «snabel» montert for å støtte kabelen ved transport. Foto: Eureka Pumps AS.

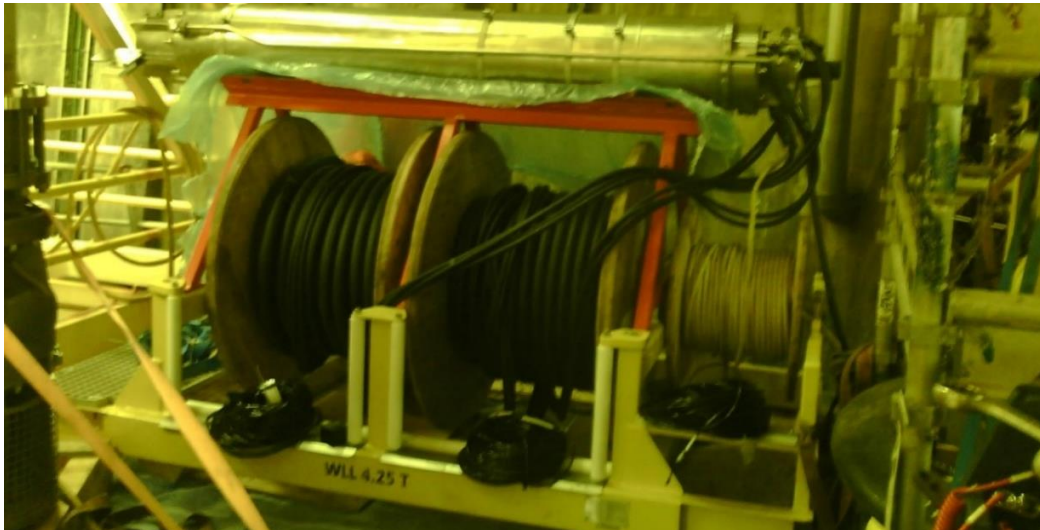


Figur 4.5: Tre enkeltfasekabler fastspent til el-motoren som skal føres ned i sjøen. Foto: Eureka Pumps AS.



Figur 4.6: A) og B) Høyspentkablene festes ved hjelp av klemmer. Klemmene er standardiserte og er derfor de samme uavhengig av kabeldimensjon. Foto: Eureka Pumps AS.

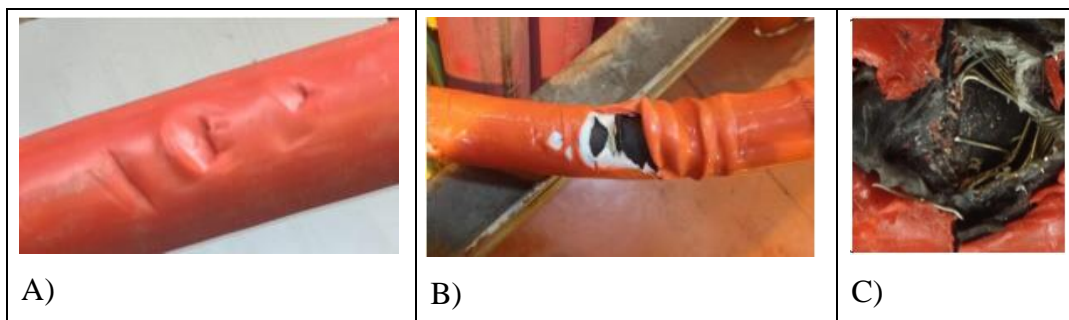
Kablene transporteres og leveres ofte på tromler ved førstegangsinstallasjon. Tromlene benyttes under førstegangsinstallasjon og er ofte i treverk (Figur 4.7). Treverk er ugunstig grunnet brannfare. Tromler av treverk godkjennes derfor ikke utover denne ene gangen. Ved vedlikehold når pumpen må heves har aluminiumstromler blitt tatt i bruk ved enkelte prosjekter. Tromlene er ferdigsertifiserte og med lås.



Figur 4.7: Krybbe for kabletromler av tre ble benyttet under en installasjon i 2015. I dette tilfellet ble el-motoren lagt på oversiden av krybben. Foto: Eureka Pumps AS.

Under ideelle forhold, slik som ved Eureka Pumps AS sine testlokaler på Sørumsand, tar en installasjon to dager. Derimot er det normalt at installasjonen på plattformen kan ta alt fra tre dager til en uke. Håndteringen av høyspentkablene kan være en av årsakene til at installasjonstiden forlenges. Det forekommer ulike skader på kablene som følger av håndteringsarbeidet. Disse deles inn i fire ulike kategorier:

1. Synlig skade uten at ytterkappen er brutt.
2. Skade hvor ytterkappen er brutt. Den sekundære beskyttelsen mot slam vil også kunne være brutt.
3. Skade hvor ytterkappen, den sekundære beskyttelsen mot slam og den flettede armeringen er brutt opp.
4. Skade som har nådd helt inn til den sekundære armeringen.



Figur 4.8: A) Synlig skader på ytterkappen. B) Skade hvor ytterkappen og den sekundære beskyttelsen mot slam er brutt. C) Skade av kategoritype tre. Bilder: Hayward Tyler [55].

De tre førstnevnte skadetyper er fullt mulig å reparere, men den siste skadetyper betyr at hele kabellengden må skrotes. Skroting skjer heldigvis ikke ofte, men det hender at kabellengder må sendes tilbake for reparasjon. Kuttskader på ytterkappen er den hyppigste formen for skader på kablene. Disse opptrer gjerne under installasjoner hvor kablene ligger løst langs dekket. Enten som følger av skarpe kanter eller gjenstander på dekk, eller på grunn av den skarpe kanten i nedsenkningshullet. Her har det også vært vanskelig å overholde den maksimale bøyeradiusen til kablene.

Det er flere faktorer som spiller inn på installasjonstiden. Kabelhåndteringen er en av faktorene det vil være mulig å gjøre noe med. Andre faktorer for eksempel tidevannet, er vanskeligere å finne en løsning for. På grunn av tidevannet hender det ofte at høyvannet fører til at vannstanden overstiger installasjonsområdet og installasjonsarbeidet blir derfor stoppet.

Nå som den tekniske gjennomgangen av en typisk leveranse er presentert vil det være lettere å forstå ulike utfordringer og ønskede produkttegenskaper. Neste kapittel vil derfor gå nærmere inn på spesifiseringer av konseptet.

5 KONSEPTSPESIFISERING

Hovedkapittelet om konseptspesifisering tar for seg de ulike egenskapene til konseptet og en grov spesifisering av dimensjonene. Til slutt vil også en tidlig kostnadsvurdering bli presentert.

5.1 Produktmålsetting

Primærmål:

- Konseptet skal senke reparasjon og vedlikeholdskostnader for Eureka Pumps AS ved å hindre mekaniske skader når det kommer til høyspentkabler(HVC) tilhørende deres pumpesystemer, samt lette håndteringsarbeidet til operatørene med HVC.

Delmål:

- Konseptet skal være lett å håndtere og sette opp ved ulike arbeids- miljø og utforming.
- Konseptet skal enkelt kunne lagres ved å ta minst mulig plass.
- Konseptet må tåle påkjenninger fra miljøet. Eksempelvis salter fra sjøvann.
- Konseptet skal føre til bedre HMS ved montering av offshore pumpesystemer i henhold til maskinforskriften.
- Konseptet skal være tidsbesparende for den helhetlige tidsbruken per installasjon.

5.2 Rangering av viktige produktegenskaper

De viktigste konseptegenskapene blir her beskrevet. Hver egenskap vil vektet etter hvor kritisk de er for konseptet med tilhørende begrunnelse. Vektingsscoren vil gå fra 1-7 hvor 7 symboliserer høyeste grad av viktighet. For bedre forståelse av vektingssystemet se Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Forklaring av vektingsscore.

Score	Beskrivelse
1	Ikke nødvendig å ta hensyn til egenskapen i det hele tatt.
2	Veldig lite viktig egenskap.
3	Lite viktig egenskap.
4	Nøytral viktig egenskap. Kan tas med i videre arbeid.
5	Ta med egenskap hvis mulig.
6	Sterkt ønsket egenskap.
7	Ekstremt viktig egenskap, må være med.

Tabell 5.2: Vekting av de ulike ønskelige produkttegenskapene ved utviklingen av et vellykket konsept.

Konseptegenskap	Vekting	Begrunnelse
Funksjoner		
Brukervennlighet ved håndtering av opp- og nedrigging så vel som under bruk.	7	Produktet skal kun tas i bruk ved heving/senkning av pumpesystemene og tilhørende HVC. Det er derfor ekstremt viktig at riggingsarbeidet går kjappest mulig og ikke krever mye for forkunnskap.
Mulig å bruke til enkeltfase eller trefase HVC.	7	Primærmålet innebærer å håndtere Eureka Pumps AS sine HVC kabler. Dette er gjerne enkeltfase eller trefase og det er derfor essensielt at produktet må tilpasses disse.
Ha mulighet for ekstrautstyr.	3	Med ekstrautstyr menes muligheter for å dekke andre problemstillinger i samme område. Dette anses som en lite viktig egenskap i denne masteroppgaven.
Utforming		
Materialet må tåle påkjenning og miljø.	7	Offshoresektoren er kjent for hardt vær og for å ha store krefter i sving. Det vil derfor være nødvendig med lang levetid på produkter som skal brukes offshore. Dette krever at produktet må tåle påkjenningene det utsettes for.
Produktet må ha deler som er utskiftbare.	6	Ved mindre skader eller slitasje på deler er det sterkt ønskelig at ulike deler lett kan byttes ut slik at produktet fungerer optimalt på kort tid og har minst mulig nedetid grunnet skader som oppstår på produktet.
Færrest mulig deler.	6	For at produktet skal være mulig å gjennomføre samt bli tatt i bruk er det viktig at det består av få deler.

Forts. Tabell 5.2

Konseptegenskap	Vekting	Begrunnelse
Minst mulig behov for vedlikehold.	6	Offshore sektoren er avhengig av robuste, langvarige og driftssikre løsninger. Det er derfor viktig at produktet krever lite vedlikehold for å unngå nedetid.
Være lett å transportere.	5	Produktet skal transporteres frem og tilbake til plattform ved flere anledninger. Lav vekt og liten størrelse er derfor en ønsket egenskap.
Estetisk utforming.	1	Produktet skal kun brukes ved behov for heving og senkning av HVC. Det vil derfor ikke stå som fast inventar. Estetisk utforming vil derfor ikke bli hensyntatt.
Færrest mulig bøyninger på kabel.	7	Bøyeradiusen begrenses desto flere bøyninger kabelen utsettes for. Det er derfor ekstremt viktig at antall bøyninger er færrest mulig.
Ikke permanent løsning.	5	Produktet skal om mulig transporteres frem og tilbake til plattformen. En løsning som ikke er permanent er derfor foretrukket fremfor en fast installasjon.
Økonomi		
Fornuftig markedspris.	4	Per dags dato er kostnadene for kuttskader og ødeleggelser av kabler høye. Produktet vil også bli produsert for «in-house» bruk tilhørende Eureka Pumps AS. Markedsprisen settes derfor som nøytral da de er villige til å betale mye for å senke disse kostnadene samt bruke mindre tid på håndtering av HVC.
Bærekraftig dvs. påvirkningen produktet har på miljøet, klimautslipp og lokalmiljø.	4	Miljøaspektet ved produktet er hverken viktig eller uviktig sett i forhold til de andre kriteriene.

Forts. Tabell 5.2

Konseptegenskap	Vekting	Begrunnelse
HMS		
Skal ikke utgjøre noen fare for bruker eller menneskene rundt.	7	Offshore settes HMS høyt og det er ekstremt viktig at produktet ikke utgjør noen fare ved bruk eller for omgivelser og mennesker rundt. Dette gjelder eksempelvis klemfare o.l.

Tabell 5.2 viser at det er fem viktigste produkttegenskapene. Produktet må blant annet kunne brukes til enkeltfase eller trefase HVC og gi færrest mulig bøyninger på kabel. I tillegg er det viktig å huske på at det må tåle miljøpåkjenninger samt at det ikke utgjøre noen fare for bruker eller mennesker som oppholder seg i umiddelbar avstand fra produktet. Disse egenskapene er viktig å ha i baktankene når metriske grensespesifikasjoner og grovspesifisering bestemmes i neste delkapittel.

5.3 Metriske grensespesifikasjoner

Et viktig aspekt er muligheten til å transportere det ferdige konseptet, inkludert alle produkter og komponenter. Det ferdige konseptet vil enten bli fraktet med båt eller helikopter og må derfor ta minst mulig plass og ha lavest mulig vekt. I følge NORSOK-R serien, settes det også en vektbegrensning til 25 kg for last som ikke må løftes ved hjelp av mekanisk løfteredskap. Det betyr at alle løsninger under 25 kg, er å foretrekke da de ikke krever sertifisering som vil føre til lavere eller neglisjerbare sertifiseringskostnader. Det ferdige konseptet skal være innenfor de satte metriske grensespesifikasjonene (Tabell 5.3).

Tabell 5.3: Metriske grensespesifikasjoner beskrevet ved høyde, bredde, lengde og vekt.

Spesifisering	Enhet	Minimum	Maksimum	Optimalt
Lengde	mm	525	908	700
Dybde	mm	35	343	200
Høyde	mm	50	133	90
Vekt	kg	5	30	< 25

I forprosjektet ble «Peli case» valgt ut som beste løsning for emballasje. Maksimale verdier er derfor hentet fra størrelsen på en «Peli case» av typen P1700 [58]. De optimale målene er lagt midt mellom de maksimale- og minimumsmålene for å være sikker på at produktet vil passe inn i «Peli casen».

5.4 Metrisk grovspesifisering

Av erfaring er det lettere å komprimere og fjerne elementer i etterkant, enn å utvide og legge til. I denne masteroppgaven tas dette hensyn til. Produktutviklingen vil derfor ligge over de optimale dimensjonene. Dette gjøres også fordi det vil være lettere å få en god oversikt over de ulike komponentenes virkning. Samtidig vil det bli enklere å teste ut ulike løsninger for produktet. På senere tidspunkt vil det bli nødvendig med optimalisering for å forbedre plassutnyttelsen.

Tabell 5.4: Metriske grovspesifikasjoner: ytre dimensjoner og vekt på det ferdige produktet.

Spesifisering	Enhet	Verdi	Spesifisering	Enhet	Verdi
Lengde	mm	770	Høyde	mm	95
Dybde	mm	280	Vekt	kg	< 25

5.5 Tidlige kostnadsvurderinger

Produksjonen av konseptet vil foregå internt i Eureka Pumps AS og vil trolig ikke forårsake store kostnader sett i forhold til eksempelvis utviklings-, sertifisering- og godkjenning-kostnader. De tre sistnevnte kostnadene vil oppstå grunnet høyt tids- og ressursforbruk. Totalt vil det være tre ulike kostnadsposter tilknyttet realisering av prototype: utviklings-, material- og arbeidskostnader.

Av erfaringer tilknyttet forprosjektet er det hensiktsmessig å anta at utviklingskostnaden vil være høyest, deretter kommer arbeidskostnader. Materialkostnadene vil være små sett i forhold til de to andre. Enkle beregninger i tidligfasen støtter opp under antagelsene:

Siden produksjonen vil foregå internt kan kostnaden simplifiseres til kg-prisen for de nødvendige råvarene. Så langt er det ikke bestemt hvilke materialer eller deler konseptet vil bestå av. Den tidlige kostnadsvurderingen av produksjonen vil derfor basere seg på kg-prisen på Super Duplex som er et vel brukt materiale i offshoresammenheng [59]. I følge Norsk Stål er prisen på flatstål i Super Duplex 173,34 NOK/kg [60]. Hvis man går ut ifra 30 kg råvarer inkludert avkappede deler, vil kostnaden per produserte konsept bli omkring 5 200 NOK.

En person i arbeid med estimert bruk av 900 timer brutto. Dersom timeprisen estimeres til 550 NOK tilsvarer dette 496 000 NOK spart fra januar til mai. Når det er sagt skal Eureka Pumps AS kun ta hensyn til kostnadene tilknyttet materialer og arbeid for å produsere prototypen.

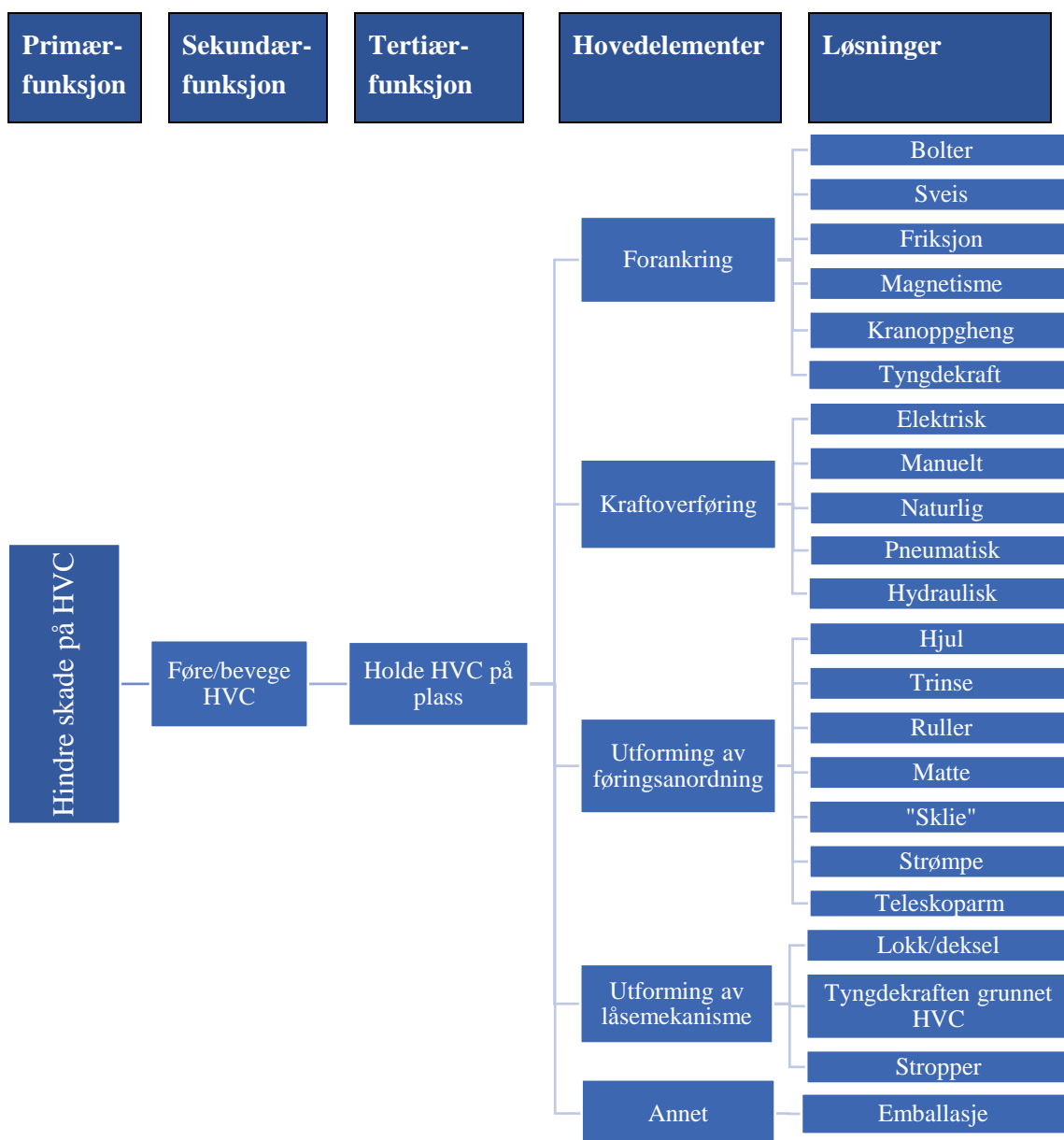
Grunnlaget for å generere idéer til en prototype er nå lagt ved hjelp av konseptspesifiseringen og tidlig kostnadsvurdering. Det er nå på tide å gå inn i prosessen med å analysere ønskede funksjoner og finne ulike løsninger.

6 KONSEPTGENERERING

I dette hovedkapittelet vil en funksjonsanalyse gjennomføres for å vurdere ulike løsninger og funksjoner tilhørende konseptet. Det vil i tillegg bli gjort en tidligvurdering av materialer og brukspåkjenninger. Målet med kapittelet er å gjøre klar til seleksjon av endelige konseptløsninger.

6.1 Funksjonsanalyse for produkttypen

Den skjematiske funksjonsanalysen representert ved Figur 6.1 beskriver hva produktet må gjøre som primær-, sekundær- og tertiærfunksjon. For at funksjonene skal kunne implementeres i produktet, dekomponeres de i hovedelementer med tilhørende mulige løsninger.



Figur 6.1: Visuell oversikt over primær-, sekundær- og tertiærfunksjon med tilhørende hovedelementer og mulige løsninger.

Med kraftoverføring menes de ulike mulighetene for å drive kablet fremover. Enten ved hjelp av en elektrisk motor som mater kablet videre, ved hjelp av manuell håndkraft eller ved å benytte kreftene ved nedsenkningen til pumpen kablet er festet i.

Primærfunksjonen til konseptet er å hindre skade på HV kablet. Dette innebærer både de fire skadekategoriene (delkapittel 4.3), men også overskridelse av maksimal bøyeradius på HVC. For at dette skal skje må det endelige produktet kunne føre/bevege på kablet samtidig som den må holde kablet på plass.

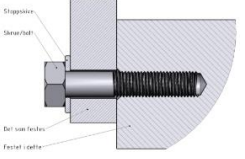
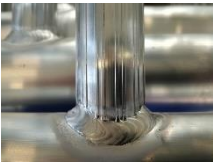
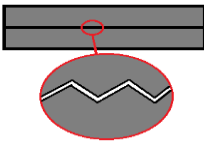

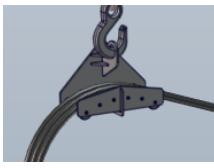
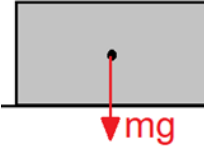
6.2 Funksjonsalternativer

Hovedfokuset i masteroppgaven er utvikling av et konsept Eureka Pumps AS kan produsere in-house og benytte ved installasjon og vedlikehold tilhørende deres pumpesystemer. For å ta hensyn til flest mulig krav og ønskede egenskaper ved konseptet vil hovedelementene og løsninger (Figur 6.1) bli beskrevet og vurdert med fordeler og ulemper. For ordens skyld er hovedelementene delt inn i ulike underkapitler.

6.2.1 Forankring

Med forankring menes hvordan konseptet skal knyttes til omgivelsene rundt og dermed holdes på plass. Under følger de ulike løsningene knyttet til muligheter for forankring. Løsningene er illustrert, beskrevet og vurdert.

Tabell 6.1: Illustrasjon av mulige forankringsløsninger. Bilder: SolidWorks, EP eller privat.

 <p>A) Bolter</p>	 <p>B) Sveis</p>	 <p>C) Friksjon</p>
 <p>D) Magnetisme [61]</p>	 <p>E) Kranoppheng</p>	 <p>F) Tyngdekraft</p>

Bolter

Konseptet boltes fast i underlaget. Det er to måter å bruke boltene på. Enten ved å bore gjengede hull i produktet og i underlaget eller ved å bruke låsemutter og skiver. Metoden for bolter avhenger av hvor og hva konseptet blir festet til.

Tabell 6.2: Fordeler og ulemper ved bolter som forankring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Sterk sammenstilling som er lett å løsne ved behov. + Enheten vil ikke bevege seg. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Krever en del forarbeid mtp. boring, toleranser og pasninger. ÷ Må bruke tid på montering/demontering.

Sveis

Konseptet sveises fast i underlaget.

Tabell 6.3: Fordeler og ulemper ved sveis som forankring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Sterk sammenstilling. + Produktet og underlag går i ett og kan sees på som en enhet. + Ingen bevegelse. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Begrenser materialvalget da produktet må være mulig å sveise fast i underlaget. ÷ Permanent forankring. ÷ Krever at sveis gjennomføres korrekt for å unngå deformasjon og uheldige spenninger i materialet.

Friksjon

Utnytter friksjonskraft mellom produktet og underlaget. Utfordringen vil være å få større friksjonskrefter enn påførte krefter.

Tabell 6.4: Fordeler og ulemper ved friksjon som forankring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Enkel å håndtere. + Enkel å transportere. + Tar liten plass. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Dersom friksjonskraften er mindre enn påførte krefter resulterer dette i et lite driftssikkert produkt. ÷ Krever at forankringen deles opp i to ulike overflater da det er ønskelig at friksjonskraften mellom produkt og kabel er lavest mulig. ÷ Må benytte materialteknologi som er ny og dermed ikke godt utprøvd.

Elektromagnet

Benytte en elektromagnet. Denne vil være magnetisk så lenge strøm tilføres og underlaget er magnetisk.

Tabell 6.5: Fordeler og ulemper ved elektromagnetisme som forankring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Sterk forankring ved tilført strøm. + Lett håndterlig. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Vil påvirke totalvekt da elektromagneter ofte er tunge. ÷ Avhengig av strømtilførsel. ÷ Utgjør klemfare

Kranoppheng

Benytte løfteører på produktet vil gjøre det mulig å heise produktet opp ved hjelp av kran. Produktet vil bli hengende i lufta ved montering.

Tabell 6.6: Fordeler og ulemper ved kranoppheng som forankring.

Fordeler	Ulemper
+ Enklere å passe på maksimal bøyeradius.	÷ Krever minimum to kraner tilgjengelig ved montering. En til pumpemoduler og en til forankring. ÷ Dyr løsning da den må sertifiseres i henhold til standard for løfteutstyr.

Tyngdekraft

Sørger for at totaltyngden på produktet ikke overstiger påførte krefter fra kabel og miljøet rundt. På denne måten vil produktets egen tyngdekraft sørge for at produktet er stabilt.

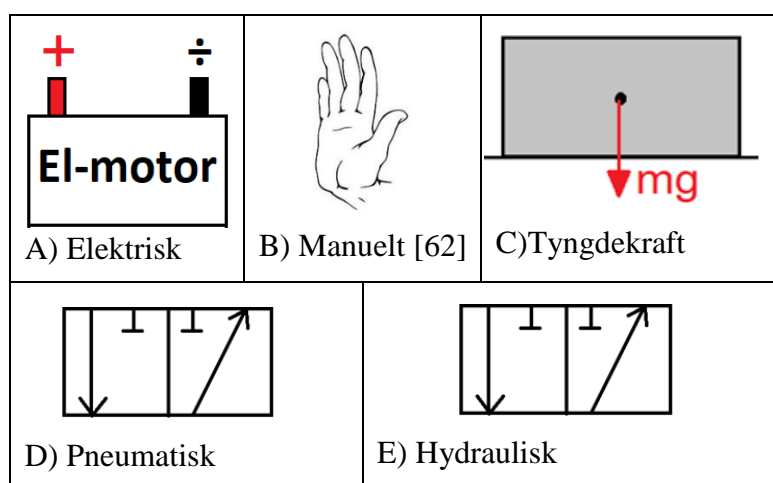
Tabell 6.7: Fordeler og ulemper ved tyngdekraft som forankring.

Fordeler	Ulemper
+ Trenger ikke forarbeid for montering/demontering.	÷ Krever en tyngre løsning.

6.2.2 Kraftoverføring

Med kraftoverføring menes hvilke krefter som skal benyttes for å drive kablene fremover/bakover ved senkning/heving av kabler. Under følger en beskrivelse av fem mulige løsninger.

Tabell 6.8: Illustrasjoner av mulige kraftoverføringsløsninger. Illustrasjoner: privat.



Elektrisk

Kobler til en el-motor for å drive kabelen fremover. Åpner for muligheten til å mate kabelen både frem og tilbake ved hjelp av elektrisk kraft.

Tabell 6.9: Fordeler og ulemper ved elektrisitet som kraftoverføring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Behøver ingen operatør for at HVC skal mates fremover. + Mulig å styre enhetens hastighet uten å være i umiddelbar nærhet. Betyr økt sikkerhet. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Dyrere løsning. ÷ Krever strømtilførsel. ÷ Kompleks løsning. ÷ Elektrisitet er skjør overfor fuktig miljø. ÷ Må forholde seg til sonekrav.

Manuelt

En sveiv monteres på produktet slik at matehastigheten på kabel styres av en operatør.

Tabell 6.10: Fordeler og ulemper ved manuell kraftoverføring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Operatør har bedre kontroll over hva som skjer. + Enklere å tilpasse hastighetene og unngå unødvendige krefter på kabel ved start/stopp. + Få ekstra deler. + Fungerer uavhengig av fuktig miljø. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Avhengig av en operatør som hele tiden passer på at matehastigheten på kabel følger nedsenkningshastighet på pumper. ÷ Blir tungt å holde igjen krefter for bruker og bør derfor ha utvekslingsystem.

Tyngdekraft

Utnytter at pumpemodulenes tyngde for å trekke kabelen med ned i vannet.

Tabell 6.11: Fordeler og ulemper ved tyngdekraft som kraftoverføring.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Bevegelse av kabelen går i takt med nedsenkningen av pumpe. + Plassbesparende da det ikke krever ekstra elementer. + Øker sikkerheten da ingen trenger å være i nærheten av enheten. + Billig og enkel løsning. + Krever ikke strømtilførsel. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Har ingen kontroll på hvor fort kabelen beveger seg annet enn ved å stoppe nedsenkning av motor.

Pneumatisk

Utnytter trykkluft til å overføre kraft og skape bevegelse i systemet.

Tabell 6.12: Fordeler og ulemper ved pneumatikk som kraftoverføring [63].

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Luft kan lagres på tank og vil alltid være klar til bruk. + Miljøvennlig. + Brann og eksplosjonssikkert. + Overbelastningssikkert. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Kompleks løsning. ÷ Ikke fleksibelt. ÷ Farer ved bruk av trykkluft.

Hydraulisk

Utnyttet væsker til å overføre kraft og skape bevegelse i systemet








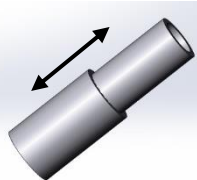
Tabell 6.13: Fordeler og ulemper ved hydraulikk som kraftoverføring[64].

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Store krefter på lite tilgjengelige steder. + Små arbeidselementer. + Kan enkelt fjernstyres. + Både roterende og lineær bevegelse. + Enkelt å sikre mot overbelastning. + Lett å automatisere. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Kompleks løsning. ÷ Lav virkningsgrad. ÷ Dyrt å synkronisere bevegelser. ÷ Tåler lite forurensning. ÷ Støyende. ÷ Oljesøl.

6.2.3 Føringsanordning

Med føringsanordning menes design av begrensninger for retninger kabelen kan bevege seg. Under er det listet flere ulike løsninger. Disse er presentert hver for seg, men begrenses ikke til en enkelt løsning. Med andre ord kan det ferdige produktet være en sammenslåing av flere løsninger.

Tabell 6.14: Illustrasjoner av mulige foringsanordning. Bilder: EP eller SolidWorks.

 <p>A) Hjuldekk [65]</p>	 <p>B) Vektarm [66]</p>	 <p>C) Trinse [21]</p>	 <p>D) Rulle [21]</p>
 <p>E) Matte [67]</p>	 <p>F) Sklieutforming</p>	 <p>G) Strømpe [68]</p>	 <p>H) Teleskoparm</p>

Hjuldekk

Benytter et eller flere dekk til å føre kabelen i korrekt bøyeradius.

Tabell 6.15: Fordeler og ulemper ved hjuldekk som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Billig hyllevare. + Lett vekt da store deler av konstruksjonen er luft. + Får en myk høyfriksjonsflate mot kabel. + Kan fungere godt med el-motor eller manuell drift. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Ingen innebygd sideveiskontroll på HVC. ÷ Dersom man kjøper hyllevare er de fleste dekk balansert i forhold til at de kommer i par. ÷ Kommer ofte i store dimensjoner. ÷ Mindre driftssikkert siden hjulet kan punktere.

Vektarm

Utnytter en eller flere vektarmer som løfter kabelen vekk fra det skarpe området ved senkning/heving av kabel.

Tabell 6.16: Fordeler og ulemper ved vektarm som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Får HVC opp og vekk fra skarp kant. + Gir muligheten til å tilpasse bøyeradius på HVC. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Egner seg best til kabler med liten diameter. ÷ Må ha sterkere konstruksjon da man vil få et høyere moment. ÷ Tar stor plass. ÷ Tilfører mest sannsynlig ekstra vekt.

Trinse

Benytter en eller flere trinser til å føre kabelen med korrekt bøyeradius.

Tabell 6.17: Fordeler og ulemper ved trinse som føringsanordning

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Får automatisk begrenset sidebevegelse av HVC grunnet trinsers utforming. + Blir liten kraftpåføring mellom trinse og kabel. Resulterer i at kabelen kan trille fritt. + Får HVC opp og vekk fra skarp kant. + Hylleware. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Må ha rustfritt kulelager. ÷ Bør ha en brems på trinsen for å kunne stoppe kabel.

Ruller

Benytter en eller flere ruller til å føre kabelen med korrekt bøyeradius.

Tabell 6.18: Fordeler og ulemper ved ruller som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Blir liten kraftpåføring mellom trinse og kabel. Resulterer i at kabelen kan trille fritt. + Får HVC opp og vekk fra skarp kant. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Ingen innebygd sideveiskontroll på HVC. ÷ Vil ta opp mer plass i bredden. ÷ Må muligens ha flere rustfrie kulelager. ÷ Bør ha en brems på trinsen for å kunne stoppe kabel.

Matte

Benytter en matte som skiller kabelen og eventuelle skarpe gjenstander/kanter.

Tabell 6.19: Fordeler og ulemper ved Matte som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Liten og billig løsning. + Mange materialmuligheter. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Krever at matten består av to ulike overflater da det er ønskelig at friksjonskraften mellom enhet og kabel er minst mulig. ÷ Samme ulemper som ved bruk av friksjon som forankring.

Sklieutforming

Forme en profil som omslutter deler av kabelen med en god toleranse for å føre kabelen innenfor maksimal bøyeradius. Dette kan eksempelvis være den nåværende «snabelen» (Figur 4.4) som benyttes ved transport eller lagring av pumpemotor.

Tabell 6.20: Fordeler og ulemper ved "sklie" som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + God sideveis kontroll på HVC. + Lett å holde riktig bøyeradius på HVC. + Kan utformes av flere ulike materialer. + Mulig å skreddersy profilen til ulike monteringsoppdrag. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Skaper høyere trykkrefter på HVC på vei over kanten. ÷ Fare for høyere friksjonskrefter mellom kabel og underlag. ÷ Kan ta stor plass.

Strømpe

Forme en profil som følger høyspentkabelen og sørger for at den kan føres i korrekt retning og at maksimal bøyeradius overholdes.

Tabell 6.21: Fordeler og ulemper ved strømpe som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + God kontroll i alle retninger. + Lett å holde riktig bøyeradius på HVC. + Kan utformes av ulike materialer. + Mulig å skreddersy profilen til ulike monteringsoppdrag. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Må feste enheten rundt kabelen før kablene festes til motor eller finne en løsning for å unngå dette. ÷ Kan ta stor plass. ÷ Krever ekstra arbeid og utstyr.

Teleskoparm

Benytte prinsippet rundt teleskoparmer for å passe på at maksimal bøyeradius overholdes samtidig vil produktet kunne legges sammen ved transport.

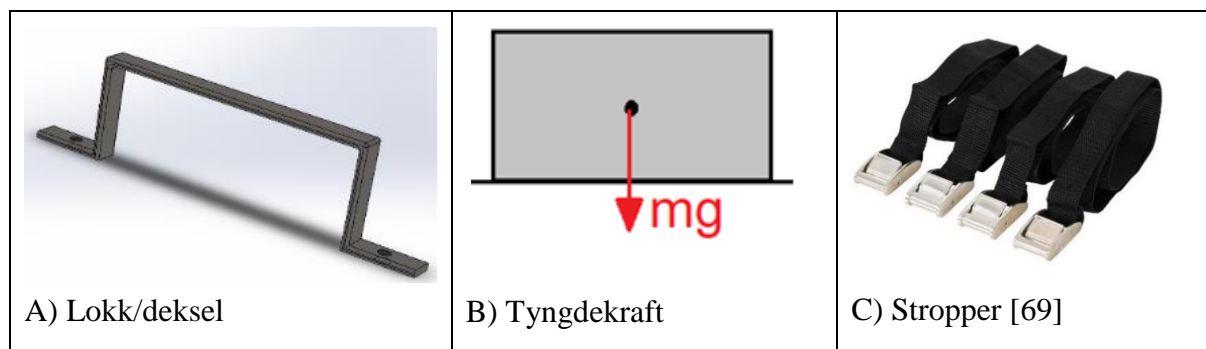
Tabell 6.22: Fordeler og ulemper ved teleskoparm som føringsanordning.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Gir mulighet for plassbesparelse ved transport. + Gir mulighet for å tilpasse produktet til ulike kabeldimensjoner. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Må utvikle en pålitelig og sikker låsemekanisme.

6.2.4 Utforming av låsemekanisme

Med låsemekanisme menes hvordan kabelen kan holdes i riktig retning og på plass i føringsanordningen. Det kan tenkes at de påførte kreftene i systemet ønsker å tvinge kablene i feil retning slik at de «spretter» ut av føringsanordningen. Under følger tre mulige løsninger.

Tabell 6.23: Illustrasjoner av mulige låsemekanismer. Illustrasjoner: SolidWorks eller privat.



Lokk/deksel

Design et deksel som holder kabelen på plass. Dekselet må festes til føringsanordningen med f.eks. hengsler.

Tabell 6.24: Fordeler og ulemper ved deksel som låsemekanisme.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Sørger for god kontroll på HVC. + Kan skreddersys ift. ulike kabler. + Flere ulike mulige låsemekanismer. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Tar ekstra plass og legger til vekt.

Tyngdekraft

Utnytter tyngdekraften og de påførte kreftene til å holde kabelen på plass.

Tabell 6.25: Fordeler og ulemper ved tyngdekraft som låsemekanisme.

Fordeler	Ulemper
+ Enkelt prinsipp	÷ Krever at friksjonskraften mellom HVC og føringsanordningen er så stor at kabelen ikke beveger seg i side- eller høyderetning. ÷ Bør legge til ekstra materiale i høyderetning på føringsanordningen.

Stropper

Feste stropper langs føringsanordningen som holder kabelen på plass.

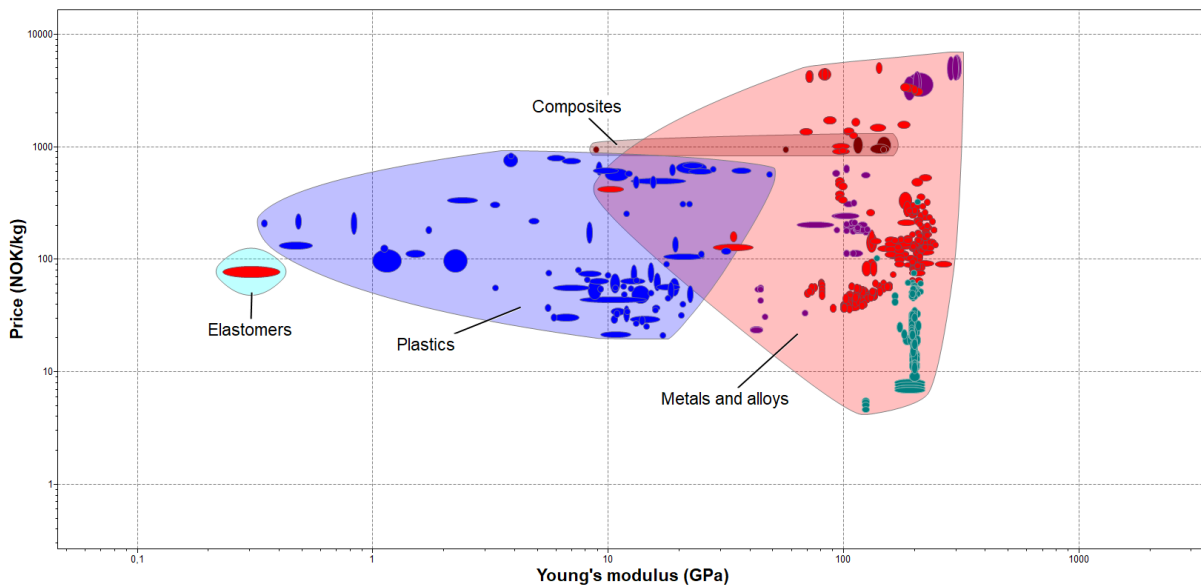
Tabell 6.26: Fordeler og ulemper ved stropper som låsemekanisme.

Fordeler	Ulemper
+ Sørger for god kontroll på HVC + Kan skreddersys ift. Ulike kabler	÷ Kan være med på å skape ekstra friksjonsarbeid og i verste fall holde igjen kablene

6.3 Tidlig materialvurdering

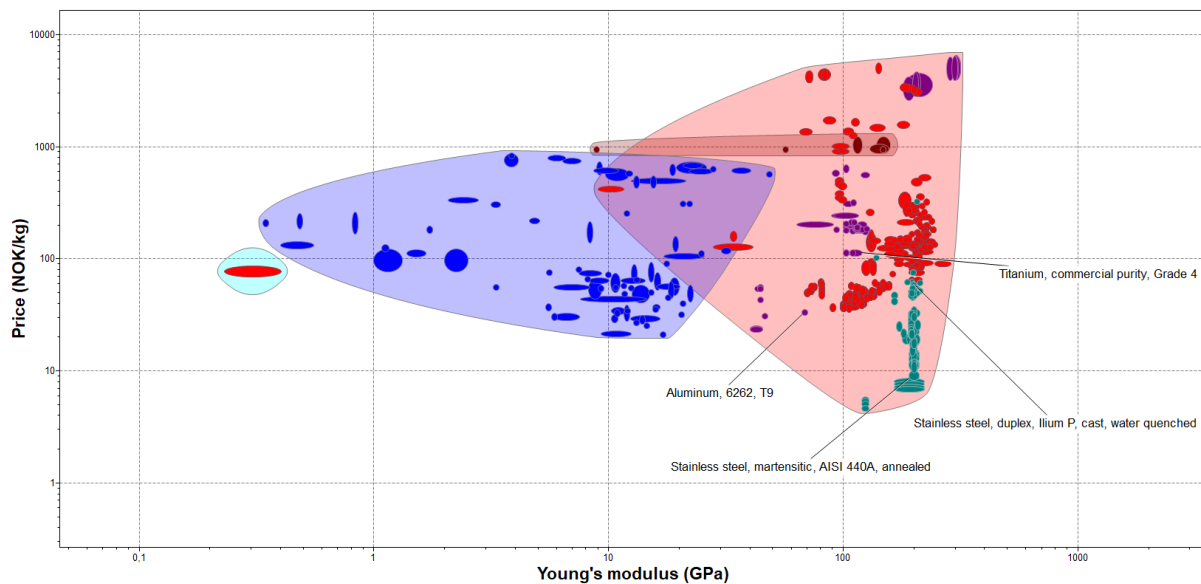
Ved tidligvurdering av materialegenskaper er det flere viktige forhold og egenskaper som bør trekkes frem. Spesielt er det viktig å huske på at produktet vil være utsatt for fuktighet og salter. Delkapittel 3.5 nevner at korrosjonsprosessen påvirkes av saltene i sjø-vann. Det vil derfor være essensielt at benyttede materialer tåler sjøvannet. For å snevre inn materialsøkingen ble følgende begrensninger satt:

- Formen på materialet skal være av typen «bulk material»
- Materialet skal være et metall eller plastikk.
- Maks pris på 10 000 NOK/kg
- Levetid i ferskvann må være akseptabel eller utmerket.
- Levetid i sjøvann må være utmerket.
- Levetid i UV-stråling (sollys) må være tilstede, god eller utmerket.
- Materialet må være selvslukkende eller ikke brennbart.



Figur 6.2: Materialdiagram viser sjøbestandige materialer. X-aksen viser E-modulen i GPa. Y-aksen viser pris i NOK/kg. Hentet fra CES Edupack.

CES Edupack er benyttet til tidligvurderingen av materialer. Ved å legge inn begrensningene i programvaren resulterte dette i en stor mengde materialer. Generelt ser man at plastikk har en lavere E-modul enn en del metaller og kompositter (Figur 6.2). Det vil si at det krever større krefter og energi før det oppstår varig deformasjon i metaller og kompositter. Siden produktet vil være utsatt for store krefter er det derfor hensiktsmessig med en høy E-modul.



Figur 6.3: Materialdiagram viser pris sett i forhold til E-modul til de mest brukte materialene ved leveranse av «hang-off-tool». Hentet fra CES Edupack.

NORSOK M-001 påpeker at et viktig aspekt ved materialvalg er å tenke på hvilke andre materialer produkter skal komme i kontakt med. Dette er begrunnet ved at ulike materialer reagerer fortere på hverandre da de for eksempel har ulik galvanisk spenning. Ulik galvanisk spenning kan føre til en raskere korrosjonsprosess. Fra tidligere er det allerede satt at produktet skal dele kontaktflate med flensen på «hang-off-toolet» eller transportkrybben. Produktene

kommer enten i rustfritt stål (Duplex/Super Duplex), titan eller sjøbestandig aluminium. Disse er alle metaller med E-modul rundt 100 GPa og pris rundt 100 NOK/kg (Figur 6.3). Med dette i bakgrunn vil det være naturlig å velge samme metaller eller materialer med liknende egenskaper. Selv om pris er rangert som en nøytral egenskap vil det være hensiktsmessig å holde prisen lavest mulig. Materiale med samme galvanisk potensiale som «hang-off-toolet» eller transportkrybben vil være å foretrekke. Plast kan vurderes der det ansees forsvarlig da det kan påvirke totalvekt.

6.4 Design og estetikkalternativer

Når det kommer til design og estetikk er utgangspunktet for dette tre ulike former: firkant, trekant og sirkulære former. Disse danner til sammen basisen for alle mulige former. De tre formene kan igjen deles opp i organiske og uorganiske former. Organiske former er betegnet som myke former med glidende overganger. Uorganiske er derimot rette linjer med skarpe kanter og hjørner [70].

I delkapittel 5.2 kommer det tydelig frem at estetisk utforming er en ubetydelig produkt-egenskap. Dette skyldes blant annet at produktet skal brukes ved behov for opp- og nedsenkning av HVC og vil derfor ikke stå som fast inventar. Til tross for dette er det strenge rammer for hva kundene til Eureka Pumps AS ønsker å benytte seg av. Dette gjelder blant annet farge-nyanser på produktene. Hvor f.eks. gulffarge forbindes med subseaprodukter.

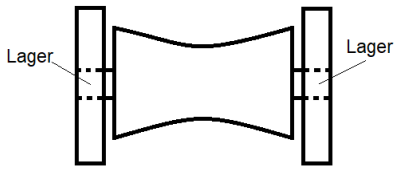
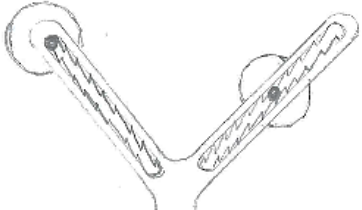
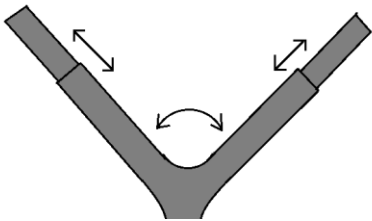
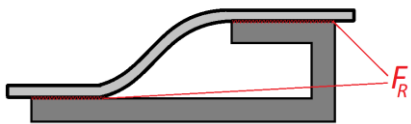
Når det kommer til formvalg vil det være naturlig å gå for noe som følger formene på kabler og utstyr plassert i nærheten. Med andre ord runde eller firkantede former og profiler. Det betyr ikke at formvalget låses til disse to formene. Så lenge det samsvarer med de metriske grov-spesifiseringene satt i delkapittel 5.4, er det mulig å benytte andre former.

Det ferdige produktet skal være håndterlig og sikkert. Organiske former vil derfor være å foretrekke, slik at skarpe kanter og hjørner unngås. Hva angår materialer og overflatebehandlinger er dette fritt så lenge NORSOK standardene overholdes. På bakgrunn av konseptalternativene, tidlig material og kostnadsvurdering samt design og estetikkalternativer ble seleksjon og konseptvalg klargjort til møte med EP. Mer om forberedelsesfasen til seleksjonen kommer i delkapittel 6.5.

6.5 Tidlige idéer og tilbakemelding fra Eureka Pumps AS

Før seleksjonsprosessen startet var det viktig å oppdatere samt informere EP rundt funksjonsanalysen og metodebruken videre inn i selekteringen. Det var spesielt viktig at alle hadde en lik forståelse av de ulike mulige løsningene. For å gi EP et inntrykk av hva og hvordan de ulike løsningene kunne settes sammen, ble et utvalg av konkurrerende løsninger sammen med tidlige idéer og skisser presentert. Under følger de skissene som skilte seg ut og fikk positive tilbakemeldinger under møtet den 14.03.18. Resterende skisser følger i vedlegg G

Tabell 6.27: Skisser og beskrivelse av tidlige idéer. Illustrasjoner: privat.

Nr.	Skisse	Beskrivelse
1		En trinse som kan romme opp til tre enkeltfasekabler eller en trefasekabel. Festet ved hjelp av en aksel og to lagre.
2		To trinser som kan skyves og låses i ulike posisjoner ved hjelp av spor.
3		Teleskoparmer som kan tilpasses maksimal bøyradius både i form av lengde, men også vinkel.
4		Matte som holdes fast ved hjelp av friksjonskrefter.

Det var stor enighet rundt en enkel og fleksibel løsning for operatørene. Produktet kan derfor ikke bestå av alt for mange deler, men bør likevel kunne justeres. Sannsynligheten for at produktet da tas i bruk vil være stor. Dette er hovedgrunnen til svært positive tilbakemeldinger på de tre førstnevnte skissene 1,2 og 3. Det ble også foreslått å slå sammen de tre i ett og samme produkt. En annen mulig løsning som kom opp i tilbakemeldingene på skissene var kombinasjonen av en tung matte liggende dødt ned mot dørken, men på den andre siden har kuler eller noe annet med lav friksjonsoverflate. Generelt var tilbakemeldingene svært positive til kombineringen av ulike løsninger. Med dette i baktankene ble seleksjonsprosessen innledet og gjennomført.

7 SCREENING OG KONSEPTVALG

I dette hovedkapittelet skal løsningsalternativene til hver av hovedkomponentene i funksjonsanalysen vurderes og selekteres til en bestemt løsning. Dette ble gjort i samarbeid med Eureka Pumps AS representert ved Tony Indrestrand, Kristian Just, Romar Halvorsen, Steinar Hennem og Preben Støbakk. For å utføre selekteringen ble Pughs metode tatt i bruk.

7.1 Utvikling av seleksjonsmatrise

De tekniske løsningene vil oppnå -1, 0 eller 1 poeng for ulike kriterier som settes før seleksjonen. -1 vil telle negativt, 1 positivt og 0 nøytralt. I tillegg til poengsettingen vil hvert av kriteriene bli tilegnet en viss vektingsprosent. Vektingsprosenten kan maks settes til 100% og er satt på bakgrunn av diskusjoner med Eureka Pumps AS. Dette vil føre til at hvert konsept blir valgt med bakgrunn i viktige faktorer for den gitte løsningen. Aktuelle kriterier vil benyttes for de ulike hovedelementene. Det vil si at ikke alle kriterier benyttes til enhver tid.

- **HMS:** Tekniske løsninger som fører til økt HMS i samsvar med maskinforskriftene vil bli kreditert med høyere verdi. Eksempelvis løsninger som fører til bedre arbeidsstillinger og mindre fare for personskader scores positivt.
- **Brukervennlighet:** Tekniske løsninger som er lett å utføre og lett forståelig vil bli gitt høyere verdi.
- **Lav vekt:** Tekniske løsninger som resulterer i et produkt som er lettere vil bli kreditert med en høyere verdi.
- **Fleksibilitet:** Tekniske løsninger som enkelt kan benyttes eller justeres i forhold til ulike installasjonsprosesser og plattformer vil telle positivt.
- **Skadende:** Tekniske løsninger som har større sannsynlighet for å påføre skader på kabelen vil score negativt.

7.2 Konseptscreening

De ulike seleksjonsmatrisene er satt opp i tabeller for å vise hvilke verdier de ulike løsningene har fått med tanke på gitte kriterier. Verdiene er deretter omregnet til vektet verdi og lagt sammen til total vektet verdi. De totale vektete verdiene gir grunnlag for løsninger som tas med videre til utvikling.

7.2.1 Forankring

Det vil være mulig å forankre produktet til komponenter som allerede følger med under installasjon. Komponenten kan ikke forankres i selve plattformen grunnet variable installasjonsarealer. HMS er vektet tyngst da det er essensielt at produktet er i samsvar med maskinforskriftene, spesielt med tanke på at det her er mennesker som vil komme i nærkontakt med produktet. Offshoremekketet setter generelt særlig høye krav til sikkerheten ved bruk av verktøy og utstyr.

Tabell 7.1: Seleksjonsmatrise for forankring.

Konsept	Kriterier Viktighet i %	HMS 40	Brukervennlighet 25	Fleksibilitet 25	Lav vekt 10	Sum 100
Bolter		1	1	-1	0	0,4
Sveis		-1	-1	-1	0	-0,9
Friksjon		-1	1	1	1	0,2
Magnetisme		-1	1	1	-1	0
Kranoppheng		-1	-1	-1	1	-0,8
Tyngdekraft		-1	1	1	-1	0

Ut ifra seleksjonsmatrisen for forankring kommer det frem at bolter er den beste løsningen. Dette har mye å gjøre med at bolter er en solid festemekanisme samtidig som delene lett kan tas fra hverandre. Selv om det er en mindre fleksibel løsning, scorer den høyt både i forhold til HMS og brukervennlighet. Bolter som festemekanisme ble derfor videreført i masteroppgaven.

Sveis kom dårligst ut i seleksjonen for forankring. Dette skyldes blant annet at det er knyttet høyere risiko med tanke på pågående varmetilførsel i prosessen samt at sveiserne ofte må sitte i skadelige posisjoner for å utføre arbeidet på plattformen. I tillegg er sveising begrenset til visse type materialer og når det først er sammenføyket krever det mye for å løsne forbindelsen. Kranoppheng kommer også dårlig ut. Den får -1 på alle kriteriene utenom lav vekt. I tillegg må en løsning med kranoppheng anses som et løfteredskap. I følge NORSOK-standarden må løfteredskaper sertifiseres av en tredjepart.

7.2.2 Kraftoverføring

Ved vurdering av kriteriene er HMS vektet tyngst. Dette begrunnes med at det er veldig viktig at personer eventuelt må passe på kraftoverføringen ikke må bruke mye egenkrefter slik at det blir fare for fall og skli-situasjoner. Brukervennlighet og skadende er vektet likt. Fleksibilitet er vektet lavere enn de andre kriteriene da kraftoverføringen sees på som internt i løsningen og derfor vil være uavhengig av omgivelsesutformingen.

Tabell 7.2: Seleksjonsmatrise for kraftoverføring.

Konsept	Kriterier Viktighet i %	HMS 40	Brukervennlighet 25	Skadende 25	Fleksibilitet 10	Sum 100
Elektrisk		1	0	0	1	0,5
Manuelt		-1	-1	-1	1	-0,8
Naturlig		1	1	0	1	0,75
Pneumatisk		0	0	0	0	0
Hydraulisk		0	0	0	0	0

Ut ifra seleksjonsmatrisen for kraftoverføring kommer det frem at utnyttelse av den naturlige bevegelsen og hastigheten kabelen får som følger av nedsenkningshastighet på pumpa, er den beste løsningen. Dette kommer av at det anses som en positiv faktor mtp. HMS, brukervennlighet og fleksibilitet. Naturlig kraftoverføring ble derfor videreført i masteroppgaven.

Manuell kraftoverføring kommer dårligst ut i seleksjonsmatrisen. Til tross for at den scorer positivt på fleksibilitet, er det knyttet høy risiko til at operatørene enten må løfte kabelen(e) på egenhånd eller bruke egenkraft ved hjelp av f.eks. en sveiv. Det kan føre til både skade på kabel og på operatør i form av dårlige arbeidsstillinger o.l.

7.2.3 Føringsanordning

Ved vurdering av kriterier ble HMS vektet tyngst. Dette begrunnes med at operatørene må i nærkontakt med denne delen når kabel skal klargjøres for senkning/heving. Brukervennlig og skadende er vektet likt. Begrunnes med at det ikke må være usikkerhet rundt hva som er rett eller feil retning. På den måten kan skade på kabel unngås. Fleksibilitet vektet lavest. Det er enighet om at de ulike løsningene for føringsanordning kan settes sammen dersom det virker hensiktsmessig.

Se neste side for seleksjonsmatrisen tilhørende føringsanordningen.

Tabell 7.3: Seleksjonsmatrise for føringsanordning.

Konsept	Kriterier Viktighet i %	HMS 40	Brukervennlig 25	Skadende 25	Fleksibilitet 10	Sum 100
Hjul		0	0	1	1	0,35
Trinse		1	0	0	1	0,5
Ruller		0	0	0	1	0,1
Matte		0	1	-1	1	0,1
«Sklie»		1	0	0	-1	0,3
Strømpe		0	0	-1	1	-0,15
Teleskoparm		0	1	1	1	0,6

Ut ifra seleksjonsmatrisen for føringsanordningen kommer det frem at teleskoparm vil være beste løsning. Dette kommer hovedsakelig av at det vil være svært brukervennlig, ikke skadende for kabel og fleksibelt. Med en teleskoparm er det lettere å justere høyde ift. maksimal bøyeradius på kabel. Teleskoparm ble derfor videreført i masteroppgaven.

Selv om det var stor enighet rundt at teleskoparmen var den beste løsningen var det også tydelig at løsningen må kombineres med noe annet (Tabell 6.22). Seleksjonsmatrisen viser at trinse som løsning på føringsanordning kom hakk i hel. Utfallet kommer blant annet av at trinsen holder kabelen fast i sideretning virker positivt inn, da den ikke har like lett for å skli ut av sporet og man unngår skader. Trinser ansees også som brukervennlig og positivt mtp. HMS. Derfor ble trinse videreført i masteroppgaven, sammen med teleskoparm.

En strømpeløsning kom dårligst ut da dette er en vanskelig løsning siden kabelen allerede er festet til motoren ved senkning/heving. Den ansees som fleksibel da den kan tilpasses ulike kabeldimensjoner, men ivaretar ikke nødvendigvis maksimal bøyeradius hvilket kan føre til skader.

7.2.4 Stabilisering

HMS er ansett å være et dobbelt så viktig kriterium sett i forhold til de resterende kriteriene. Dette fordi operatørene vil måtte være i direkte kontakt med stabiliseringsanordningen. De resterende kriteriene er vektet like tungt.

Se neste side for seleksjonsmatrisen tilhørende stabilisering.

Tabell 7.4: Seleksjonsmatrise for stabilisering.

Konsept	Kriterier Viktighet i %	HMS 40	Brukervennlighet 20	Fleksibilitet 20	Skadende 20	Sum 100
Deksel		1	1	0	1	0,8
Tyngdekraft		0	1	1	-1	0,2
Stropper		1	-1	1	0	0,4

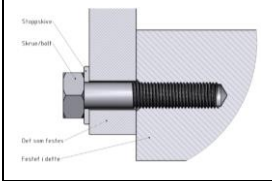
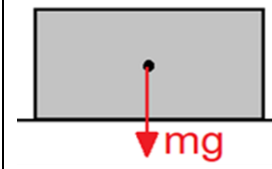
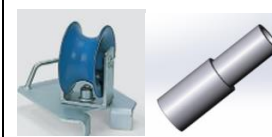

Ut ifra seleksjonsmatrisen kom det frem at deksel vil være den beste løsningen med tanke på stabilisering av kabelen. Dette kommer blant annet av at et deksel vil føre til lavere risiko for klemfarer samtidig som det tar vare på kabelen og vil være dimensjonsfleksibelt.

Tyngdekraften kommer dårligst ut da det påvirker HMS nøytralt. Den er brukervennlig i form av at det bare er å legge kabelen på plass, men gir et faremoment når store krefter blir påført da dette kan føre til skade på kabel.

7.3 Foretrukne løsnings- og estetikkalternativer

I henhold til seleksjonsprosessen i delkapittel 7.2 er det valgt foretrukne løsninger (Tabell 7.5).

Tabell 7.5: Endelig oversikt over foretrukne løsninger som følger av seleksjonsprosessen, med illustrasjon. Illustrasjoner: Privat, SolidWorks eller [21].

Illustrasjon	Hovedelement	Foretrukken løsning
	Forankring	Bolter
	Kraftoverføring	Tyngdekraft
	Føringsanordning	Teleskoparm og trinse
	Stabilisering	Deksel

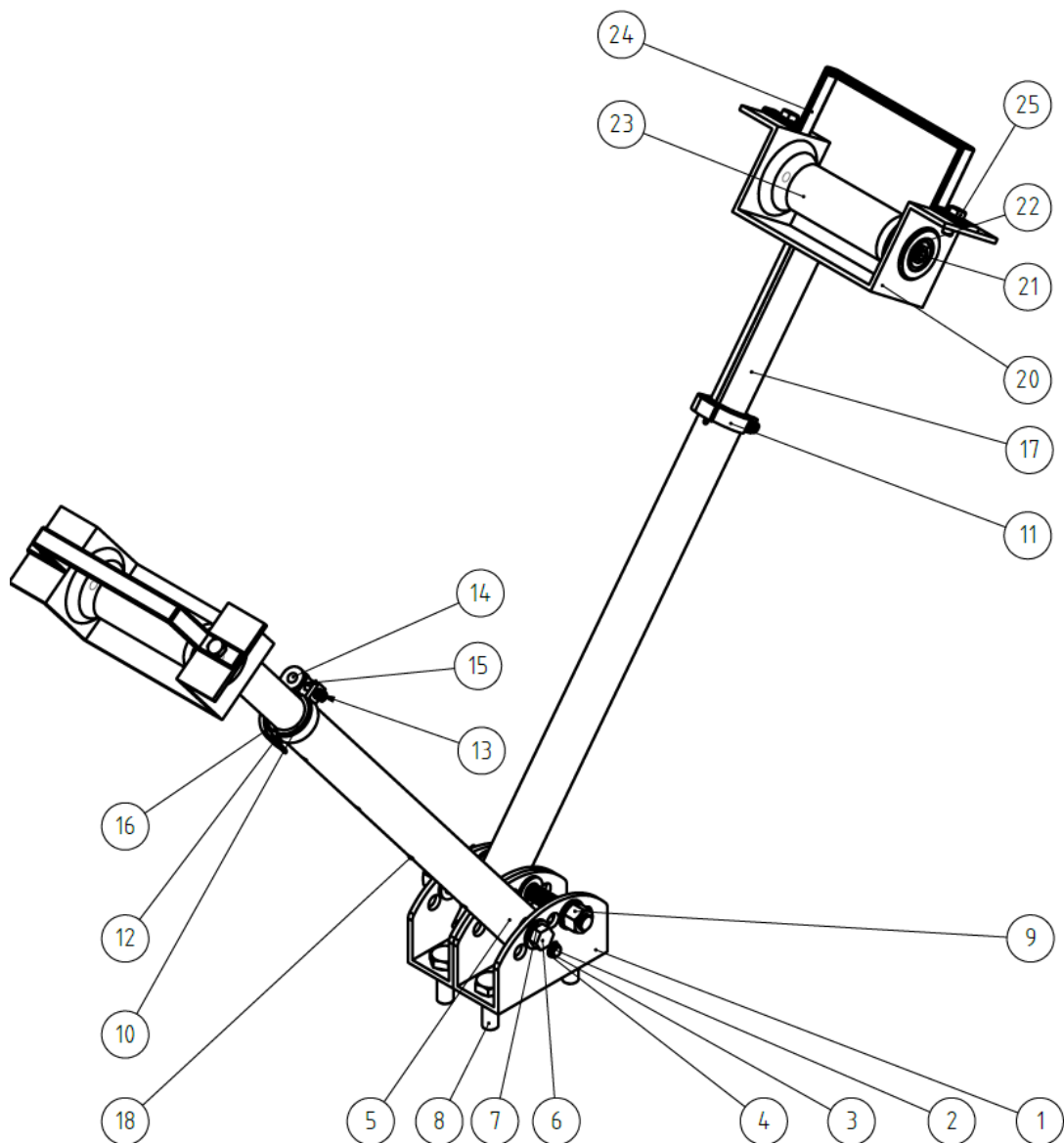
Utfordringen videre vil være å sette sammen de foretrukne løsningene til et endelig produkt. Den endelige sammensettingen og designet blir presentert i neste kapittel.

8 PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

I løpet av dette hovedkapittelet vil de ulike komponentene bli presentert ved hjelp av figurer med tilhørende beskrivelser for en dypere forståelse. Et endelig materialvalg vil gjennomføres etterfulgt av FEM-analyser og dimensjonering av sveis. FEM-analysene gjøres for å få et inntrykk av maksimal belastning produktet vil tåle, før brudd.

8.1 Sammenstilling

Produktet består av ulike deler og komponenter. Figur 8.1 viser en fullstendig sammenstilling av produktet sett forfra fra venstre. Hver komponent er markert ved hjelp av nummererte ballonger. Komponent nr. 19 er ikke synlig da den ligger i spenn på innsiden av den øvre armen. En kort beskrivelse av hver komponent følger i Tabell 8.1.



Figur 8.1: Fullstendig sammenstillingstegning av produktet. Illustrasjon: SolidWorks.

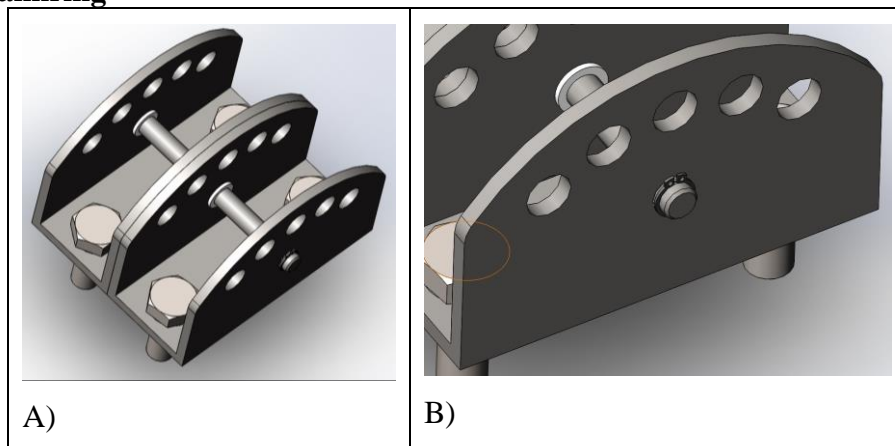
Tabell 8.1: Beskrivelse av nummererte komponenter i Figur 8.1.

Nr.	Komponentbeskrivelse	Nr.	Komponentbeskrivelse	Nr.	Komponentbeskrivelse
1	Forankringsprofil	10	PEEK pakning	19	Fjær
2	Bøssing	11	Klemme	20	Føringshus
3	Festeaksel	12	Skrue M4	21	Pressaksel
4	Sikringsring	13	Strammeskruer M5	22	SKF-6300 kulelager
5	Nedre arm	14	Skruefeste	23	Føringstrinse
6	Festebolt M16	15	PEEK skive	24	Deksel
7	Skive M16	16	Hendel	25	Mutter M10
8	Forankringsbolt M16	17	Øvre arm		
9	Festemutter	18	Trykknapp		

8.2 Design av hovedelementer

Delkapittelet tar for seg beskrivelse av de ulike hovedelementene produktet består av.

8.2.1 Forankring

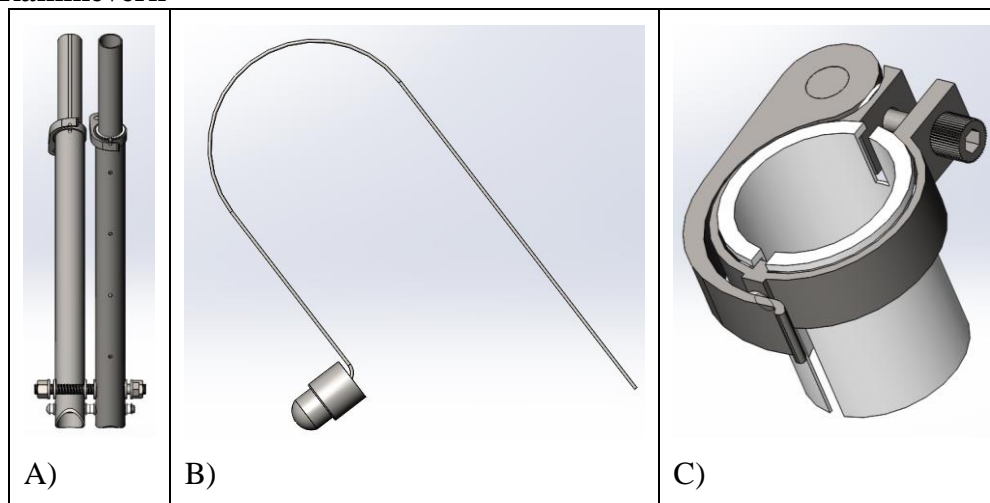


Figur 8.2: A) Illustrerer forankringen sett fra venstre ovenfra. B) Nærbilde av forankringen. Sikringsringen og hullprofilen kommer tydelig frem. Illustrasjoner: SolidWorks.

Forankringen er det låsende elementet. Det låser hele produktet fast i flensen på hang-off-toolet. Hovedelementet består av to helt like forankringsprofiler. Profilene festes ved å montere fire M16 skruer gjennom gjengede hull på flensen (Figur 8.2.A). Forankringen er videre festet til rammeverket ved hjelp av en aksel som tres gjennom bøssinger. Bøssingene skal sørge for en lageroverflate som ivaretar en jevn rotasjon. Akselen har en mellompasning og låses fast i horisontalretningen ved hjelp av en sikringsring (Figur 8.2.B). I tillegg er forankringen designet

slik at det er mulig å låse to armer i ulike vinkler. I første omgang er det gitt mulighet til å endre vinklene i fem ulike posisjoner. Dette gjøres ved hjelp av gjennomgående hull og boltede forbindelser.

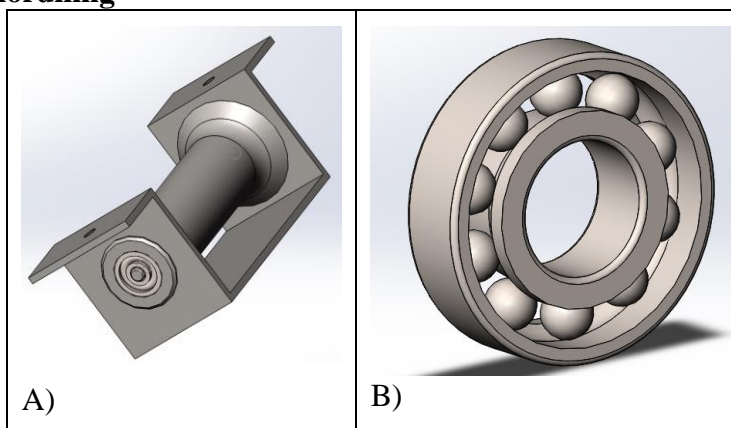
8.2.2 Rammeverk



Figur 8.3: A) Illustrasjon av rammeverk sett fra venstre. B) Trykknapp festet i en fjær plasseres på innsiden av den øverste rørprofilen. C) Nærbilde av mekanismen som låser de to rørene fast i hverandre ved hjelp av trykkrefter. Illustrasjoner: SolidWorks.

Rammeverket er det elementet som forener forankringen og føringsanordningen. Hovedelementet er designet for å ivareta maksimal bøyeradius og er justerbart. Justeringen foregår ved at to rør med ulike dimensjoner kan sklis over hverandre (Figur 8.3. A). For å feste rørene i ulike lengder er det benyttet en fjæringsknapp (Figur 8.3.B) og en mekanisme som påfører trykkrefter og dermed låser de to rørene (Figur 8.3.C).

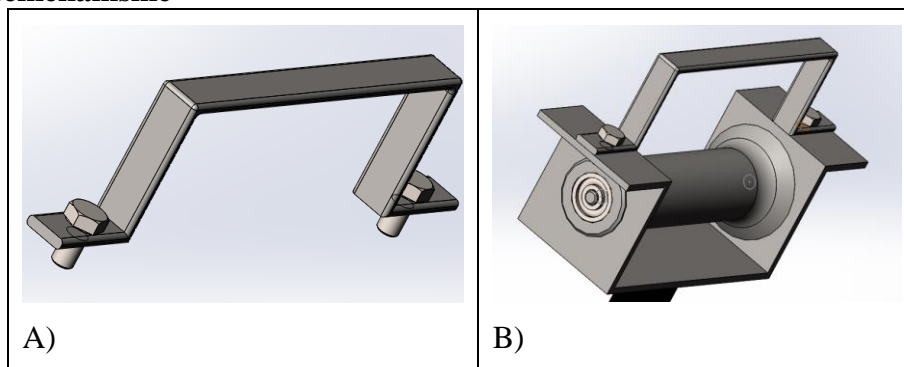
8.2.3 Føringsanordning



Figur 8.4:A) Hele føringsanordningen sett inn forfra fra venstre. B) Detaljert illustrasjon av lager. Illustrasjoner: SolidWorks.

Føringsanordningen består av en spesialdesignet trinse festet i føringshuset ved hjelp av to lagre (Figur 8.4.A). Lagrene er valgt for å holde friksjonskreftene lavest mulig i kontaktflaten mellom trinse og kabel. De to lagrene festes med presspassninger til føringshuset og pressakselen (Figur 8.4.B). Den spesialdesignede trinsen gjør at både tre stk. enkeltfasekabler av typen nevnt i delkapittel 4.2 og en stk. enkeltfasekabel kan føres fremover.

8.2.4 Låsemekanisme



Figur 8.5: A) Nærbilde av dekselet B) Nærbilde av hvordan dekselet festes til føringshuset. Illustrasjoner: SolidWorks.

Dekselet er valgfritt, men gir muligheten til å sikre seg mot at kablene faller utenfor føringsanordningen. Den er designet med avrundede kanter for å unngå skader på kabelen dersom det oppstår kontaktoverflate mellom kabel og mekanismen (Figur 8.5.A). Den er slank i utformingen slik at den ikke skal komme i konflikt med kablene. Festes til føringshuset ved hjelp av skruer (Figur 8.5.B).

8.3 Modulisering og standardkomponenter

Delkapittelet gir innsikt i hvordan designprosessen har tatt hensyn til modulisering samt benyttede standardkomponenter.

Modulisering

Med modulisering menes de komponenter som er enkle å tilpasse nye formål. I delkapittel 5.2 kommer det frem at muligheten for å benytte produktet til ulike kabeldimensjoner er ekstremt viktig. Dette er tatt hensyn til under designprosessen i form av utskiftbare trinser, muligheten til å endre på maksimal bøyeradius og vinkel som dannes mellom de to «trinsearmene».

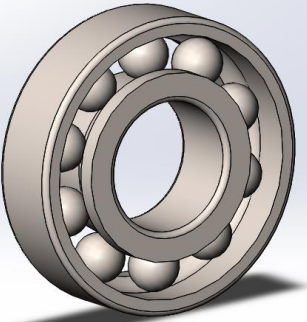
Standardkomponenter

Standardkomponenter er de deler som kan bestilles fra et tredjepartsselskap. Det vil si hyllevarer som er billigere å kjøpe eksternt fremfor egenproduksjon. Disse komponentene er presentert i Tabell 8.2.

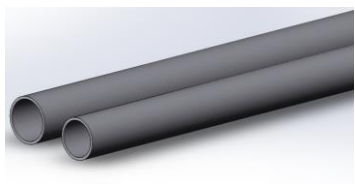

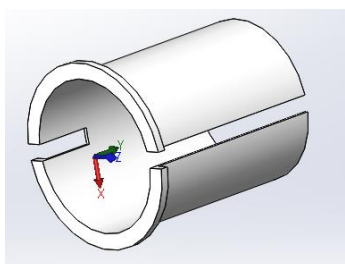
Tabell 8.2: Presentasjon av standardkomponenter med illustrasjon og funksjon. Illustrasjoner: SolidWorks eller SolidWorks Toolbox.

Illustrasjon	Navn/Leverandør	Funksjon
	Bolter og skruer/ Tingstad	<p>Benyttes til å feste, låse eller spenne opp ulike produktkomponenter.</p> <p>Eksempelvis:</p> <p>Forankringsprofil til hang-off-tool.</p> <p>Deksel til føringshuset.</p> <p>Spenne opp klemma.</p>

Forts. Tabell 8.2

Illustrasjon	Navn	Funksjon
	<p>Muttere/ Tingstad</p>	<p>Benyttes til å låse fast festeakselen.</p>
	<p>Kulelager/SKF</p>	<p>Redusere friksjonskrefter mellom trinse og kabel. Skal være et kulelager med tetning.</p>
	<p>Skiver/Tingstad</p>	<p>Fordeler trykket og beskytter grunnmaterialet ved stramming av bolter/skruer. Vil også fungere som forsegling for å unngå at fuktighet trekker inn.</p>
	<p>Bøssing/SKF</p>	<p>Reduserer friksjonskrefter mellom festeaksel og nedre arm. Sørge for at festeakselen ikke sklir.</p>
	<p>Trykknapp og Fjær/Lesjøfors</p>	<p>Trykknappen holder øver arm i korrekt posisjon/lengde. Fjæra lager spenn i trykknappen og muliggjør endring av total armlengde.</p>

Forts. Tabell 8.2

Illustrasjon	Navn	Funksjon
	Rørprofiler/ Norsk Stål	Øvre og nedre arm.
	Sikringsring/ Tingstad	Sørge for at festeakselen ikke faller ut av sporet sitt.
	PEEK pakning/ Tingstad	Beskytte rørprofilene.

8.4 Materialvalg, overflatebehandling og vedlikehold

I delkapittel 6.3 kom det frem at NORSOK M-001 påpeker at antallet ulike materialer skal minimeres. Dette vil forebygge korrosjonen forårsaket av materialenes ulike galvaniske potensialer. I følge samtaler med Eureka Pumps AS er Super Duplex det mest benyttede materialet. Det letteste blir derfor å benytte Super Duplex både med tanke på standarden og styrkeegenskapene. Baksiden er en kostbar pris sammenlignet med andre rustfrie ståltyper. For å holde kostnadene nede bør komponentene, så lang det lar seg gjøre, være av Duplex. Duplex har noe svakere materialeegenskaper enn Super Duplex, men vil etter all sannsynlighet være mer enn godt nok i belastningssituasjonene som kreves av produktet. Det blir viktig å passe på at typen Duplex har samme galvanisk potensiale som «hang-off-toolet». I tillegg til Duplex vil enkelte standardkomponenter være av plastikk og kobber. For fullstendig oversikt med tanke på ulike komponenters materialvalg se vedlegg H. Alle materialene benyttet er oppført i Tabell 8.3.

Tabell 8.3: Oversikt over materialer med fysiske egenskaper hentet fra CES Edupack [71]. Dataene er usikre og er derfor generelle.

Materiale	Spesifisering	Tetthet [kg/m ³]	E-modul [GPa]	Flytegrense [MPa]	Strekfasthet [MPa]	Pris [NOK/kg]
Duplex	UNS S31803	7550-7650	193-204	365-545	670-760	57,2-62,9
Kobber	hc-Cu	8940-8950	122-128	28-40	145-160	42,2-50,3
Plast	PEEK	1300-1320	3,76-3,95	87-95	70,3-103	839

Super Duplex er et svært korrosjonsbestandig materiale med høy styrke. Selv om det er et tyngre materiale, er det både sveisbart og maskinerbart. Noe som gjør det godt egnet til dette produktet. Med tanke på sveising kan de aller fleste sveisemetodene med lysbue benyttes, men Oxy-Acetylene sveising bør likevel unngås. Ved Oxy-Acetylene sveising vil det være fare for at sveisen tar opp karbon som gjør sveisen rustutsatt [72].

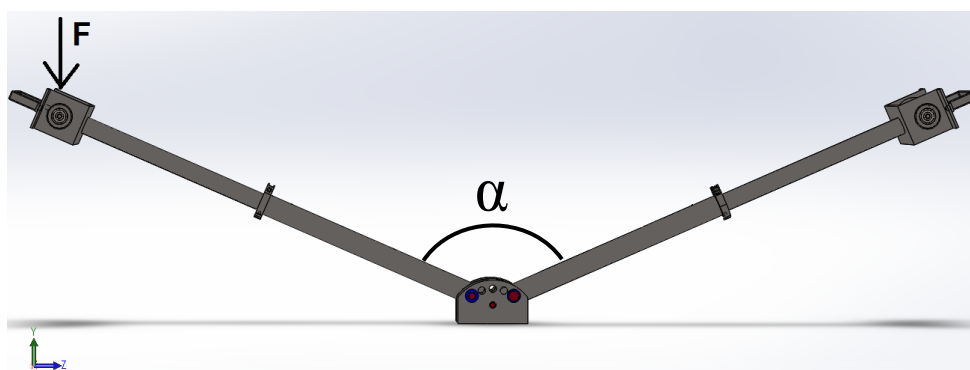
8.5 FEM-analyse og sveisedimensjonering

I dette hovedkapittelet utføres FEM-analyser for å finne maksimal belastning produktet tåler før det går til brudd. Deretter vil dimensjonering av kilsveisen, som fester øvrearm og føringshuset, gjennomføres. Det er kun utført enkle analyser/beregninger etter delkapittel 1.6.

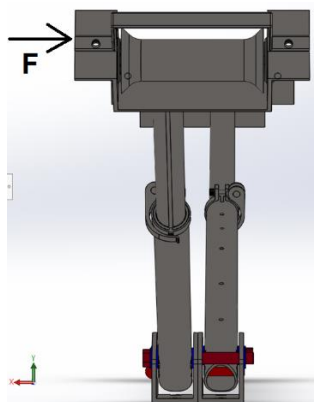
8.5.1 Worst case scenario

Det verst tenkelige tilfellet av belastning (WCS) vil være alle krefter som virker ytterst på armene. Disse vil kunne skape et kritisk moment for strukturen. Denne masteroppgaven definerer verst tenkelige tilfellet som følger:

Virkende ytterst på en av armene og fører til at spenningene i produktet overtrer flytegrensen når produktet er forankret i «hang-off-toolet» med fire bolter. Vinkelen, α , mellom de to armene skal være størst mulig. Kraften kan virke enten vertikalt i y-retning eller horisontalt innover i x-retning.



Figur 8.6: Belastningssituasjon i y-retning. Illustrasjon: SolidWorks.



Figur 8.7: Belastningssituasjon i x-retning. Illustrasjon: SolidWorks.

De illustrerte belastningssituasjonene vist i Figur 8.6 og Figur 8.7 er utgangspunktet for FEM-analysene og håndberegningene. Det forutsettes belastning kun på en side av konstruksjonen. Dette er antatt som verst tenkelige tilfelle da det vil skape en ujevn belastning om tyngdepunktet og dermed høyere spenninger. Friksjonskrefter som følger av kabeltyngden neglisjeres da det benyttes kulelagre mellom føringshuset og akselen.

8.5.2 FEM-analyser

Produktet blir utsatt for ulike belastninger under transport og bruk. FEM-analysene er utført for å vise maks belastning produktet vil kunne tåle før plastisk deformasjon og brudd. Det vil si hvor store krefter som kan påføres før produktet når flytegrensen på ≈ 375 MPa og bruddgrensen på ≈ 670 MPa. Analysene vil foregå separat for krefter i x- og y-retning. For å finne maksimal belastning vil «prøv og feil metoden» benyttes. Det vil si at FEM-analyser blir gjort på bakgrunn av ulike belastningsverdier frem til flytegrensen og strekkfastheten i strukturen nås. For å se fullstendig oppsett og forenklinger for analysene, se vedlegg F.

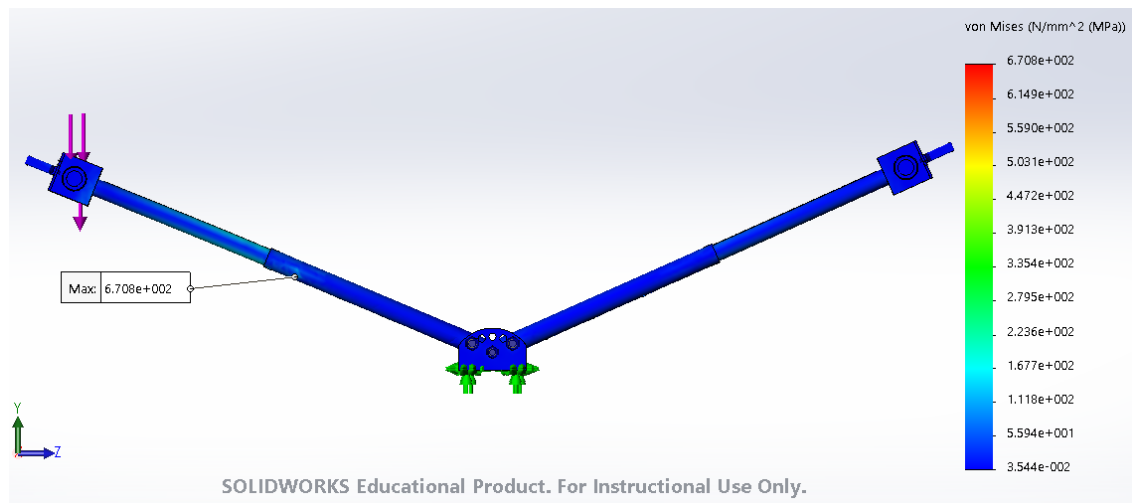
FEM-analyse i y-retning

Produktet ble testet for syv ulike kraftstørrelser i y-retning (Tabell 8.4) ved «prøv og feil metoden».

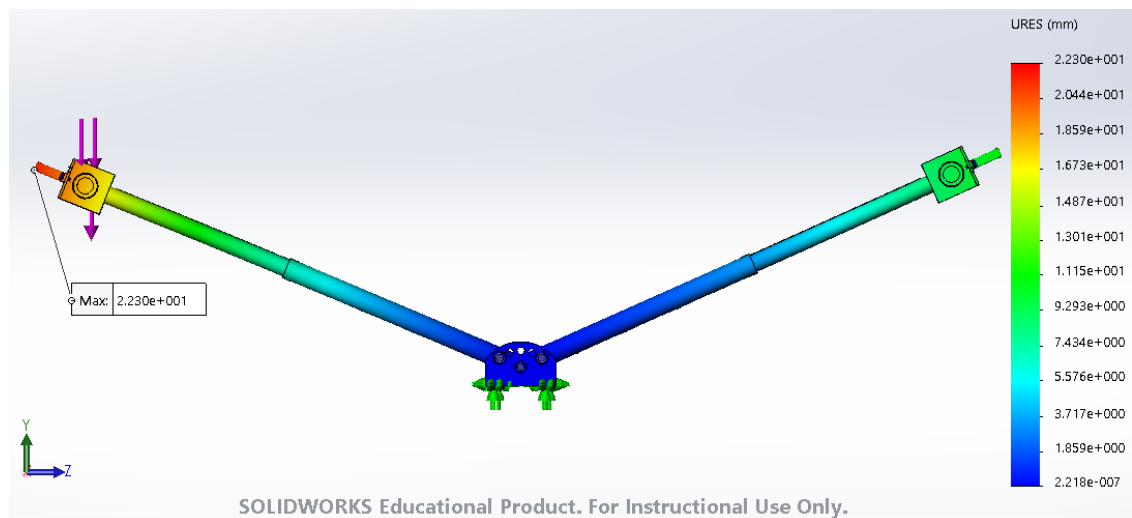
Tabell 8.4: Viser de ulike kraftverdiene benyttet i FEM-beregningene for krefter i y-retning.

Nr.	Krefter i y-retning [N]	Maks spenning [MPa]	Maks deformasjon [mm]
1	1000	154	5
2	2000	308	10
3	2250	346	11
4	2350	362	12
5	4000	601	20
6	4200	640	21
7	4400	671	22

Et spenningsplott ble laget for å vise hvordan spenningen bres utover i produktet ved den kritiske belastningen på 4400 N i y-retning (Figur 8.8). Deformasjonsplottet ble hentet ut for å gi et bilde av hvordan deformasjonen vil bre seg ut under kritisk belastning i y-retningen (Figur 8.5).



Figur 8.8: Spenningsplottet som følge av påsatte krefter ytterst på trinsearmen i y-retning. Påsatt kraft er 4400 N. Fargeskalaen går fra blått, lavest spenning, til rødt, høyest spenning. Spenningen er oppgitt i MPa. Bilde: CosmosWorks.



Figur 8.9: Deformasjonsplot som følge av påsatte krefter ytterst på trinsearmen i y-retning. Påsatt kraft er 4400 N. Fargeskalaen går fra blått, minst deformasjon, til rødt, størst deformasjon. Deformasjonen er oppgitt i mm. Bilde: CosmosWorks.

Overgangen mellom øvre- og nedrearm er produktets kritiske punkt ved belastning i y-retning, jfr. Figur 8.8. Dette er også stedet strukturen først vil deformeres plastisk. Her vil en pakning sitte. Pakningen bør ryke før plastisk deformasjon og brudd da den lett kan byttes. Når det kommer til maksimal deformasjon vil den oppstå ytterst på konstruksjonen og være 22 mm rett før brudd.

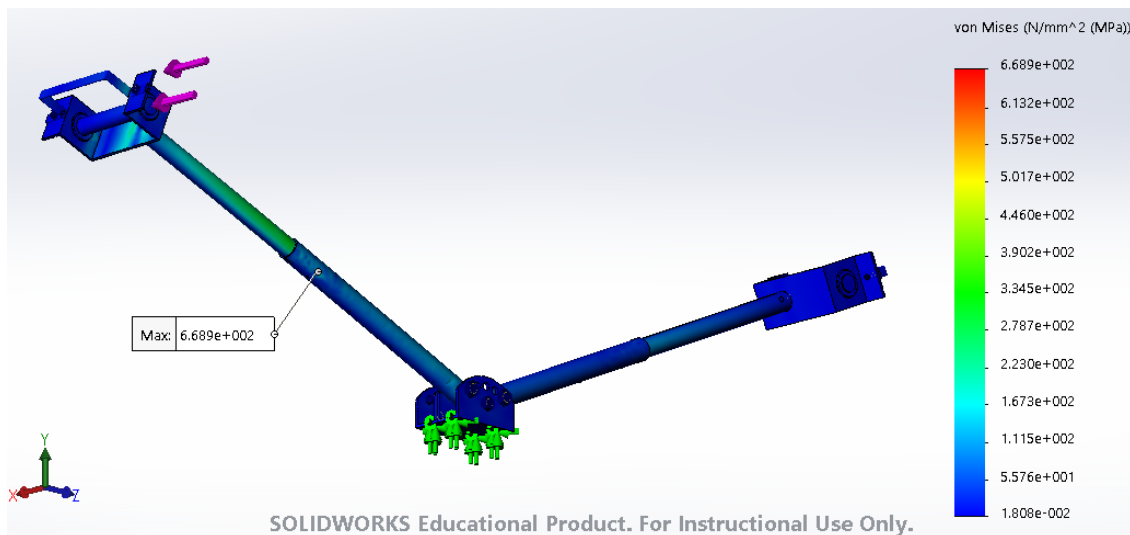
Analyse X-retning

Produktet ble testet for syv ulike kraftstørrelser i x-retning (Tabell 8.5) ved å benytte «prøv og feil metoden».

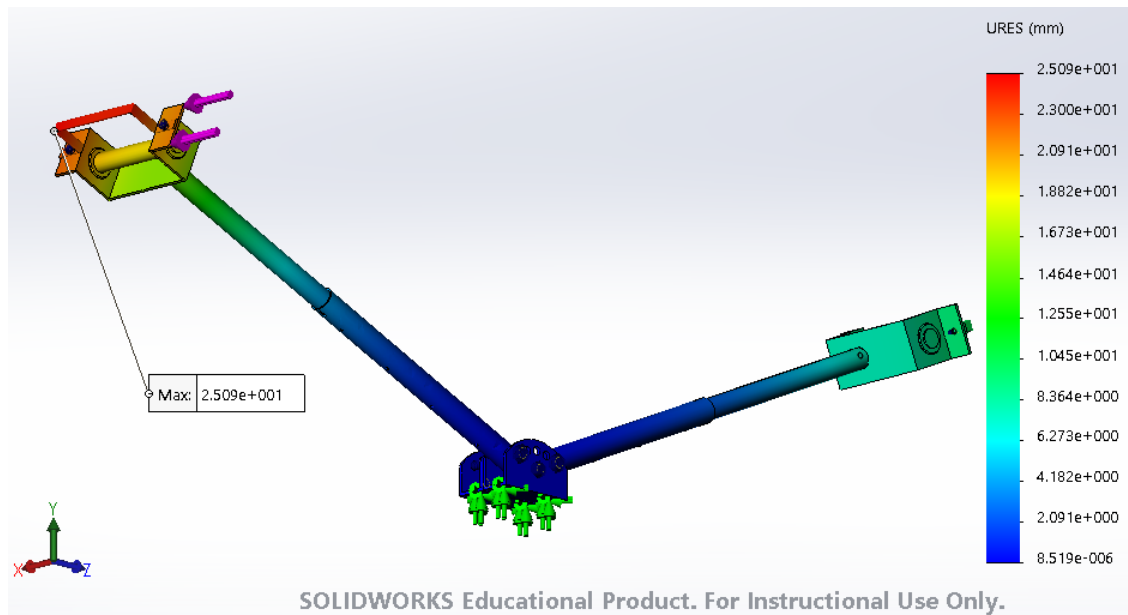
Tabell 8.5: Viser de ulike kraftverdiene brukt i FEM-beregningene for krefter i x-retning.

Nr.	Krefter i y-retning [N]	Maks spenning [MPa]	Maks deformasjon [mm]
1	2500	360	14
2	2600	374	14
3	2550	367	14
4	2525	363	14
5	4400	633	24
6	4600	662	25
7	4650	669	25

Et spenningsplott ble laget for å vise hvordan spenningen bres utover i produktet ved den kritiske belastningen på 4650 N i x-retning (Figur 8.10). Deformasjonsplottet er også lagt ved for å illustrere hvordan deformasjon vil se ut under den kritiske belastningen i x-retning på 4650 N (Figur 8.11).



Figur 8.10: Spenningsplot som følger av påsatte krefter ytterst på trinsearmen i x-retning. Påsatt kraft er 4650 N. Fargeskalaen går fra blått, lavest spenning, til rødt, høyest spenning. Spenningen er oppgitt i MPa. Bilde: CosmosWorks.



Figur 8.11: Deformasjonsplot som følger av påsatte krefter ytterst på trinsearmen i x-retning. Påsatt kraft er 4650 N. Fargeskalaen går fra blått, minst deformasjon, til rødt, størst deformasjon. Deformasjonen er oppgitt i mm. Bilde: CosmosWorks.

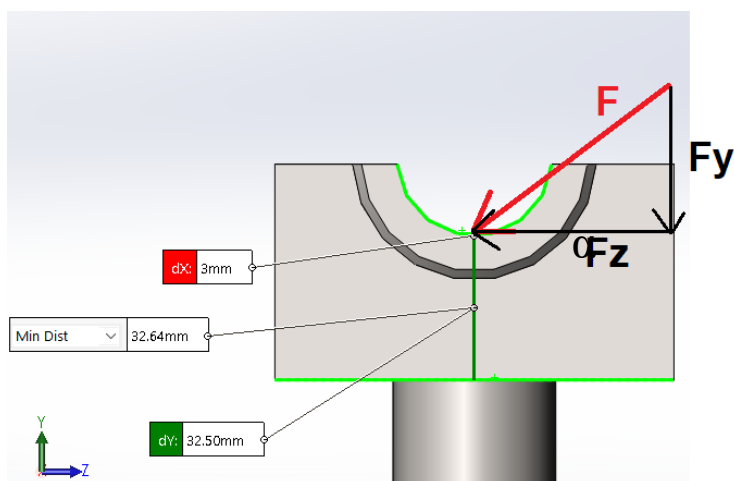
Fra Figur 8.10 kommer det frem at produktets kritiske punkt ved belastning i x-retning, også skjer i overgangen mellom øvre- og nedrearm. Når det kommer til maksimal deformasjon vil denne som forventet oppstå ytterst på konstruksjonen og være 25 mm rett før brudd.

Belastningen i y-retning vil være den mest kritiske. Disse vil lettere føre til brudd i strukturen. For å sette belastningen i perspektiv tåler produktet tyngden av fem voksne menn på 80 kg, eller ni ganger tyngden av tre enkeltkjernede kabler på seks meter hver. Det gir med andre ord en sikkerhetsfaktor på ni, ved bruk av de vanligste kabeldimensjonene (delkapittel 4.2). Det betyr at produktet er dimensjonert for å bygge en prototype ved videre arbeid. I neste hovedkapittel skal det sees nærmere på mulige produksjonsmetoder for bygging av første prototype.

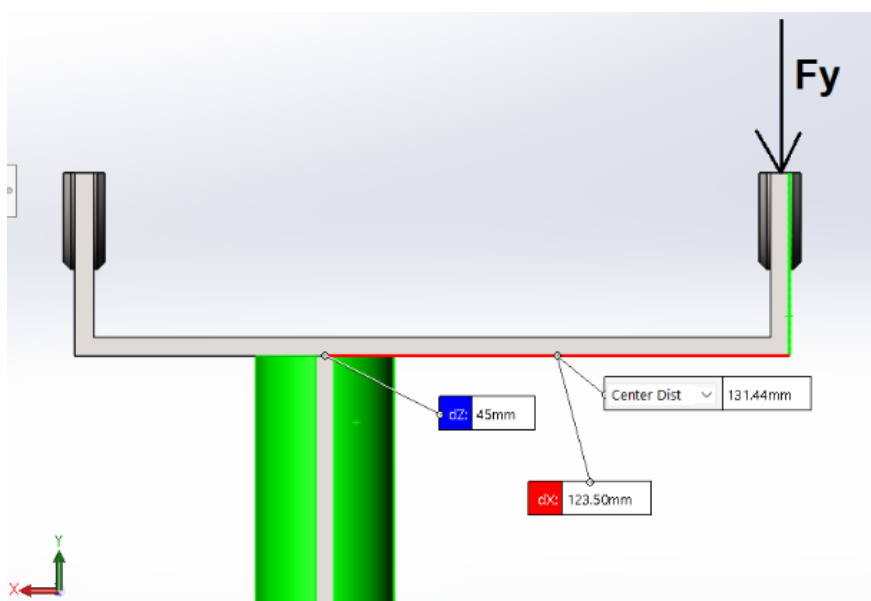
8.5.3 Dimensjonering av sveis

For å sammenstille den øvre armen (komponent nr. 17) og føringshuset (komponent nr. 20) er det hensiktsmessig å bruke sveis. Det anbefales en kilsveis. Sveisen dimensjoneres etter Eurokode 3 i henhold til delkapittel 1.7 og WSC beskrevet i underkapittel 8.5.1. Følgende forutsetninger er gitt:

- Maksimal kraft på produktet er $F = 4400 \text{ N}$.
- Vinkelen kraften virker på sveisen er, $\alpha = 30^\circ$ (Figur 8.12).
- Maksimal tillatte spenning i sveisen er, $\Delta\sigma_{till} = \frac{R_m}{SF} = \frac{670}{3} = 223 \text{ MPa}$.
- Indre diameter på sveis er $d = 40 \text{ mm}$ (Figur 8.14).

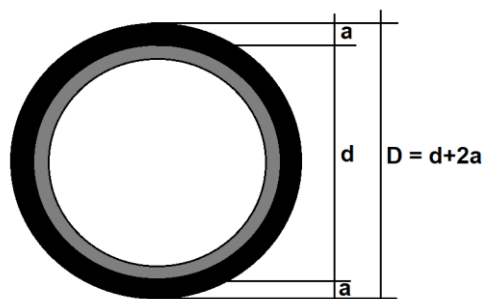


Figur 8.12: Illustrasjon av kreftene som virker på sveisen sett inn fra x-planet. Bilde: privat.



Figur 8.13: Illustrasjon av kreftene som virker på sveisen sett inn fra z-planet. Bilde: privat.

Figur 8.12 viser at kraften F må dekomponeres til to ulike krefter. En fungerer i y -retning, og den andre fungerer i z -retning. De to dekomponerte kreftene skaper to ulike spenningskonsentrasjoner i sveisen. F_y fører til en bøyespenning, F_z fører til skjærspenning/ vridning.



Figur 8.14: Viser tverrsnittet av sveisen (sort) og rørprofilen (grå). Illustrasjon: Privat.

Dekomponert kraft i y-retning [73]:

$$F_y = 4400 * \sin 30 = 2200 \text{ N} \quad (\text{Formel 8.1})$$

Dekomponert kraft i z-retning [73]:

$$F_z = 4400 * \cos 30 = 3811 \text{ N} \quad (\text{Formel 8.2})$$

Bøyesspenning [34]:

Maksimal bøyesspenning i sveisen opptrer når kraften F_y ligger i en lengde, $L_2 = 123,5 \text{ mm}$, fra sveisen. Følgende beregning er gjennomført:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (\text{Formel 8.3})$$

Vinkelrett bøyesspenning [34]:

$$\sigma_{\perp b} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2} * a_{sveis}} \quad (\text{Formel 8.4})$$

Bøyemoment [34]:

$$M_b = F_y * L_2 = 2200 \text{ N} * 123,5 \text{ mm} = \mathbf{278300 \text{ Nmm}} \quad (\text{Formel 8.5})$$

Tverrsnittsmodul [34]:

$$\begin{aligned} W_b &= \frac{\pi}{36} * \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{36} * \frac{(45 + 2a_{sveis})^4 - d^4}{(45 + 2a_{sveis})} \\ &= \mathbf{402577,918 * (2a_{sveis} + 45)^3} \end{aligned} \quad (\text{Formel 8.6})$$

Bruker formel 8.3 og setter inn verdien fra formel 8.5 og uttrykket fra formel 8.6:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{278300}{402577,918 * (2a_{sveis} + 45)^3} \quad (1)$$

Bruker formel 8.4 og setter inn verdien fra formel 8.3.

$$\sigma_{\perp b} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2} * a_{sveis}} = \frac{278300}{\sqrt{2} * a_{sveis} * 402577,918 * (2a_{sveis} + 45)^3} \quad (2)$$

Skjærspenning [34]:

Maksimal skjærspenning i sveisen opptrer når F_z ligger en høyde, $h=33,5 \approx 35 \text{ mm}$, fra sveisen. I tråd med Eurokode 3 settes $\gamma_f = 1,2$. Følgende beregning er gjennomført:

$$\tau_{\parallel} = \frac{M_v * \gamma_f}{W_v} \quad (\text{Formel 8.7})$$

Vridemoment [34]:

$$M_v = F_z * h = 3811 * 35 = 133385 \text{ Nmm} \quad (\text{Formel 8.8})$$

Polar tverrsnittsmodul [34]:

$$W_v = \frac{\pi}{16} * \frac{(45 + 2a_{sveis})^4 + 45^4}{45 + 2a_{sveis}} \quad (\text{Formel 8.9})$$

Bruker formel 8.7 og setter inn verdien funnet ved formel 8.8 og uttrykket fra formel 8.9:

$$\tau_{\parallel} = \frac{133385 * 1,2}{\frac{\pi}{16} * \frac{(45 + 2a_{sveis})^4 + 45^4}{45 + 2a_{sveis}}} \quad (3)$$

Von Mises:

For å beregne total spenning i sveisen som følger av bøyepeningen og skjærspenningen blir Formel 3.2 tatt i bruk og omdefinert til de opptredende spenningene:

$$\Delta\sigma_{till} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3(\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)} \quad (\text{Formel 8.10})$$

Setter inn (2) og (3) i formel 8.10 ved betingelsen om at $\Delta\sigma_{till} = 223 \text{ MPa}$ og $\tau_{\perp} = 0$

$$\Rightarrow 233 = \sqrt{\frac{278300}{\sqrt{2} * a_{sveis} * 402577,918 * (2a_{sveis} + 45)^3} + \frac{3 * 133385 * 1,2}{\frac{\pi}{16} * \frac{(45 + 2a_{sveis})^4 + 45^4}{45 + 2a_{sveis}}}}$$

$$\Rightarrow \underline{a_{sveis} = 0,069 \text{ mm}}$$

Beregningene viser at nødvendig a-mål er 0,069 mm ved belastning på 4400 N. Dette er ikke mulig å utføre i praksis. I tillegg sier Eurokode 3 at minste a-mål er 3mm. Derfor blir a-målet på kilsveisen satt til 3mm. Dette passer godt med godstykkelsen på den øvre armen og føringshuset. Resultatene fra beregningen viser at sveisen som antatt ikke er et kritisk punkt, men er med på å holde delene sammen. Videre skal fremstillingen og produksjonskostnadene sees nærmere på.

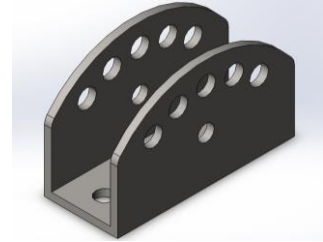
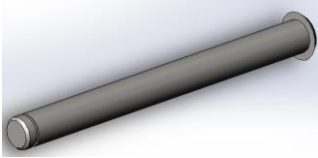

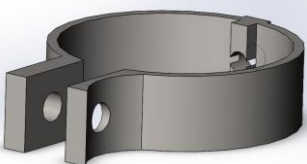
9 FREMSTILLING OG PRODUKSJONSKOSTNADER

Dette hovedkapittelet vil omhandle produksjon og tilknyttede kostnader. Her skal det vurderes kostnader tilknyttet prototypen. Kostnader sett i forhold til konkurrenter uteblir i henhold til delkapittel 1.6.

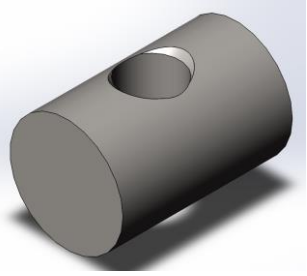
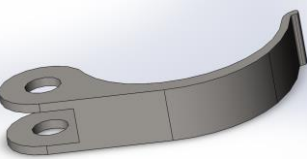
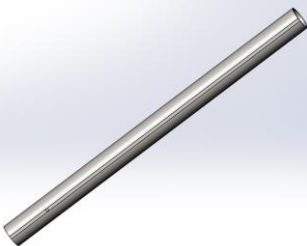
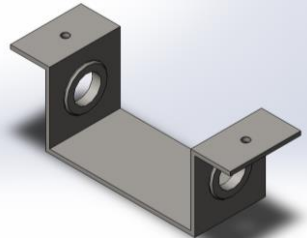

9.1 Produksjonsmetoder

Produktet vil som bestemt i delkapittel 8.4 for det meste bestå av Duplex, med unntak av bøsninger og pakninger. De ulike komponentene vil kreve ulike produksjonsmetoder før sammenstilling. Produksjonsmetodene er listet opp i Tabell 9.1.


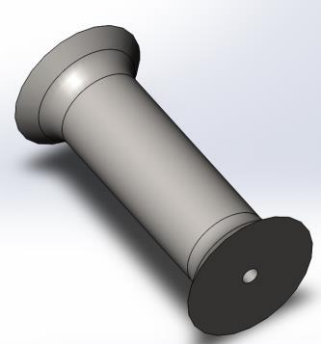
Tabell 9.1: Produksjonsmetoder for ulike komponenter. Illustrasjoner: SolidWorks.

Komponent (nr.)	Illustrasjon	Produksjonsmetoder
Forankringsprofil (1) Materialkvalitet: Duplex		Kjøp inn Duplex-plate, 6mm tykkelse. Laserkutt 2 stk. plateprofiler med hull. Knekk de to sidene av U-profilet
Festeaksel (3) Materialkvalitet: Duplex		Spenn opp emnet av Duplex i dreiebenken. Det er viktig at emnet er større enn beskrevet i deltegning. Plandrei en side og drei ned diameteren med korrekt toleranse. Stikk spor til sikringsring. Stikk av i korrekt lengde.
Nedre arm (5) Materialkvalitet: Duplex		Kjøp inn Duplex rørprofil i samsvar med dimensjoner på deltegning. Kapp 2 stk. lengder på 575mm. Spenn opp røremnet i en fres. Bor og fres hullene og slissespor. Slip ned avrundingen.
Klemme (11) Materialkvalitet: Duplex		Støpes i samsvar med dimensjonene for deltegning.

Forts. Tabell 9.1

Komponent	Illustrasjon	Produksjonsmetode(r)
Skruefeste (8) Materialkvalitet: Duplex		<p>Spenn opp et emnet av Duplex i dreiebenk. Det er viktig at emnet er større enn beskrevet i deltegningen.</p> <p>Plandrei en side og drei ned diameteren med korrekt toleranse.</p> <p>Stikk av i korrekt lengde.</p> <p>Spenn opp emnet i en skrustikke eller egnet oppspenningsverktøy for boring.</p> <p>Bor hull i samsvar med gjengetabell.</p> <p>Bruk gjengeverktøy og lag gjengehullet i samsvar med standard.</p>
Hendel (16) Materialkvalitet: Duplex		<p>Støpes i samsvar med dimensjonene for deltegningen.</p>
Øvre arm (17) Materialkvalitet: Duplex		<p>Kjøp inn Duplex rørprofil i samsvar med dimensjoner på deltegningen.</p> <p>Kapp 2 stk. lengder på 550 mm.</p> <p>Spenn opp røremnet i en fres.</p> <p>Bor og fres hullene og slissespor.</p>
Føringshus (20) Materialkvalitet: Duplex		<p>Bruk Duplex 6 mm platen og klipp dem i henhold til deltegningen. Husk å ta hensyn til bøyeradiusen som vil oppstå ved knekking av profilet.</p> <p>Bor hull i samsvar med gjengetabellen.</p> <p>Bruk gjengeverktøy og lag gjengehullet i samsvar med standarden.</p> <p>Knekk profilet.</p>
Deksel (14) Materialkvalitet: Duplex		<p>Bruk Duplex 6 mm platen og klipp dem i henhold til deltegningen. Husk å ta hensyn til bøyeradiusen som vil oppstå ved knekking av profilet.</p> <p>Bor hull i samsvar med gjengetabellen.</p> <p>Bruk deretter gjengeverktøy og lag gjengehullet i samsvar med standarden.</p> <p>Knekk profilet.</p>

Forts. Tabell 9.1

Komponent	Illustrasjon	Produksjonsmetode(r)
<p>Pressaksel (21) Materialkvalitet: Duplex</p>		<p>Spenn opp et emnet i dreiebenk. Det er viktig at emnet er større enn beskrevet i deltegningen.</p> <p>Plandrei en side og drei ned diameteren med korrekt toleranse.</p> <p>Stikk av i korrekt lengde.</p>
<p>Føringstrinse (23) Materialkvalitet: Duplex</p>		<p>Spenn opp et emnet i dreiebenk. Det er viktig at emnet er større enn beskrevet i deltegningen.</p> <p>Plandrei en side og drei ned de ulike diameterne med korrekte toleranse.</p> <p>Stikk av i korrekt lengde.</p>

Manglende komponenter i Tabell 9.1 er standardkomponenter. De kjøpes ferdige av underleverandør(er). Det er svært viktig å fjerne eventuelle skarpe kanter og overganger som oppstår under delproduksjonen. All delproduksjon gjøres i samsvar med tilhørende deltegninger. Sammenstillingen av de ulike delene er beskrevet i delkapittel 10.2.

9.2 Kostnadskalkyle

En grov kostnadskalkyle for en prototype presenteres for å gi en føring på forventede kostnader. Det er viktig å påpeke at det kan oppstå uforutsette kostnader utover kalkylen. Kalkyleoppsettet baseres på underlag fra førsteamanuensis Jan Kåre Bøe [74].

Tabell 9.2: Kostnadskalkyle for produksjon av en prototype hvor verdiene er oppgitt i NOK.

Utgiftspost	Timer	Kvantum	Pris	Sum
Konseptutvikling				
Utredningsarbeid	200	-	550	110 000
Formgivning og design	150	-	550	82 500
3D-fremstillinger og FEM-analyse	200	-	550	110 000
Konstruksjonstegninger	50	-	550	27 500
Dokumentasjon	300	-	550	165 000
Delsum konseptutvikling	900	-	-	495 000
Materialer				
Duplex	-	20 kg	52	1 040
Standardkomponenter:		-		
Bolter/skruer/skiver		-	-	500
Kulelagre		4	100	400
Annet		-	-	800
Delsum materialer	-	-	-	2 740
Arbeidskostnader				
Platarbeid	30	-	450	13 500
Maskinering/støpning	30	-	450	13 500
Sveising	2	-	450	9 00
Sammenstilling	10	-	350	3 500
Delsum arbeidskostnader	72	-	-	31 400
Totalkostnad prototyping				<u>529 140</u>

Kommentar til kostnadskalkylen:

Prisen for standardkomponenter er antatt dobbelt så høy da disse komponentene må være godkjent for offshorebruk. Denne forutsetningen skyldes at det stilles høyere sertifiseringskrav til deler som må tåle sjøvann. Tabell 9.2 viser kun et grovt estimat for kostnadene tilknyttet en prototype av produktet. Den totale kostnaden vil komme på 527 660 NOK. Det er her viktig å påpeke at størstedelen av kostnadene er tilknyttet utviklingsarbeidet utført i denne masteroppgaven. Konseptutviklingskostnadene kan derfor sees bort ifra. Kostnaden tilknyttet produksjon av prototype vil dermed ligge på 34 140 NOK. Det er anbefalt å produsere prototypen innad i EP da dette fører til lavere arbeidskostnader.

Kostnadskalkyle for serieproduksjon vil ikke utvikles da det er antatt maksimal produksjon av ti enheter. Dette begrunnes i et produkt ment for utleie ved ulike kundeleveranser. Produktet vil bli tatt i bruk under installasjon/vedlikehold av brannpumpesystemene som tar fra tre dager til et par uker. Deretter vil de bli lagret av EP til neste oppdrag. Det vil derfor ikke være hensiktsmessig å starte en serieproduksjon med det første. For å gi et bedre bilde av hvordan produktet vil se ut i naturlige omgivelser følger en markedspresentasjon i neste hovedkapittel.

10 MARKEDSPRESENTASJON

Markedspresentasjonene inneholder ulike fremstillinger av produktet i realistiske omgivelser etterfulgt av produktets tekniske beskrivelser.

10.1 Renderte fremstillinger

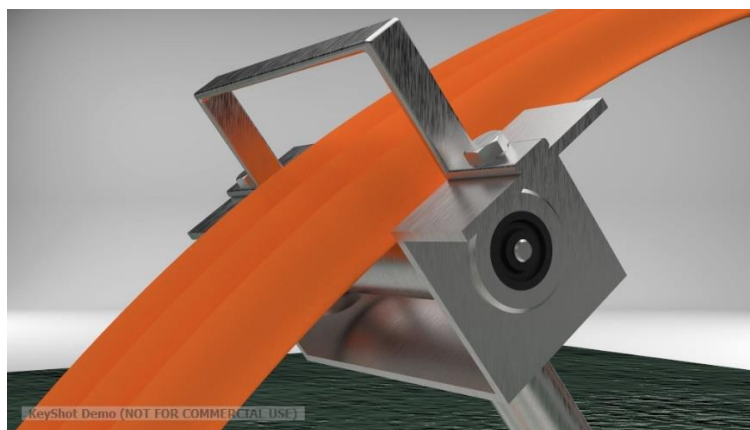
I dette delkapittelet presenteres renderte fremstillinger av designet. De renderte fremstillingen er resultater fra bruk av Keyshot 7 demo og SolidWorks.



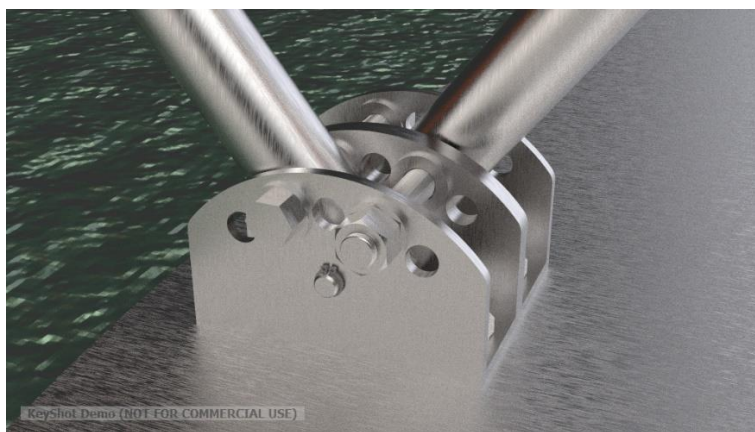
Figur 10.1: Illustrerer kabel- og produkt plassering ved nedsenkning. Sett fra siden bakfra.



Figur 10.2: Illustrerer kabel plassering og produkt ved nedsenkning i sjø. Sett fra siden forfra.



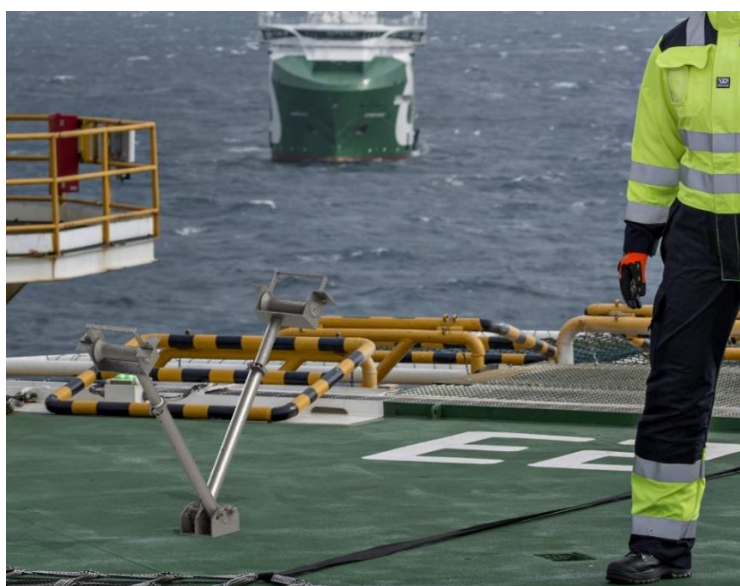
Figur 10.3: Føringsmekanismen med kabler liggende på trinsen. Kulelageret er lukket.



Figur 10.4: Nærbilde av forankringen. Ser hvordan armene låses i en gitt vinkel og at forankringen festes til flensen på «hang-off-toolet».



Figur 10.5: Nærbilde av muligheten til å justere armlengdene.

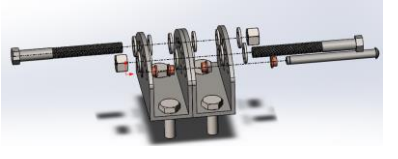

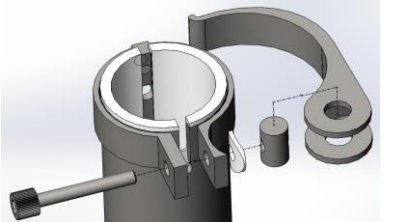
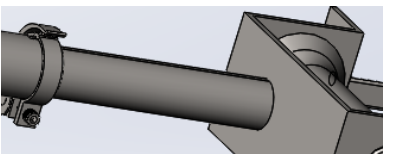
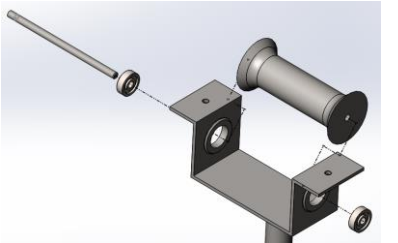
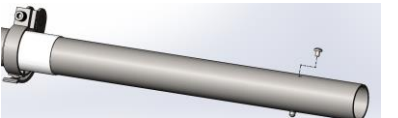


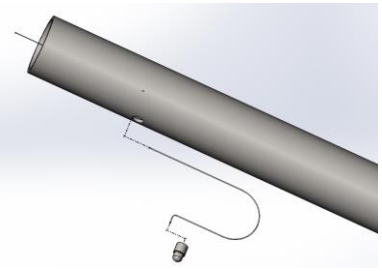
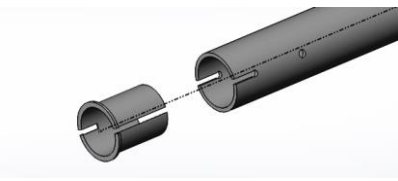
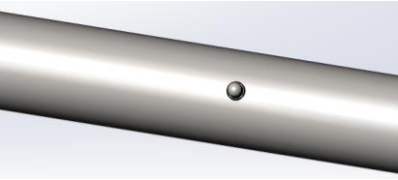
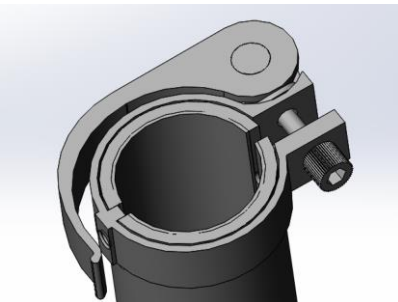
Figur 10.6: Illustrerer produktet plassert i reelle omgivelser. Størrelsesforhold mellom produkt og menneske kommer frem. Innsynsvinkelen er sett vinklet forfra. Bakgrunnsbildet er fra Edvard Grieg Plattformen [75].

10.2 Tekniske beskrivelser

Delkapittelet inneholder informasjon til produksjonsverksted og operatørene som skal montere produktet offshore (Tabell 10.1). Det er ikke produsert en prototype og derfor ikke gjennomført tester i løpet av masterperioden. På bakgrunn av dette er ikke bruksanvisning utarbeidet.

Tabell 10.1: Guide til sammenstilling for verksted og montører ute på dekk. Illustrasjoner: SolidWorks.

Beskrivelse av sammensetting	Illustrasjon
Verksted	
Fest nedre armer til festeordningen ved hjelp av festeakselen og sikringsring. Husk samtidig å montere bøssinger.	
Fest klemmen rundt nedre arm i henhold til teknisk tegning.	
Monter hendelen sammen med skruefeste, strammeskruer og PEEK pakning	
Sveis øvre arm fast i føringshuset i henhold til teknisk tegning.	
Monter kulelagrene i føringshuset. Monter pressakselen gjennom kulelagrene samtidig som føringstrinsen presses på akselen.	
Monter låseskruen i den øvre armen.	

Beskrivelse av sammensetting	Illustrasjon
<p>Monter fjæren på trykknappen og sett dem inn i den øvre armen i henhold til teknisk tegning.</p>	
<p>Operatører ute på dekk</p>	
<p>Fest armene i ønsket vinkel ved hjelp av to stk. M16 bolter, skiver og muttere.</p>	
<p>Legg rørpakningen på plass i den nedre armen.</p>	
<p>Hold inne trykknappen og tre øvre arm i nedre arm. Juster etter ønsket total armlengde. Trykknappen skal gi et «knepp» når den er montert korrekt.</p>	
<p>Stram til overgangen mellom de to rørprofilene ved å benytte strammeskruen og klem hendelen i posisjon for låsing.</p>	

For å sammenstille komponentene, må bolteforbindelser tas i bruk. Unntaket gjelder sammenstillingen mellom øvre arm og føringshuset. Den sistnevnte sammenstillingen vil foregå ved sveising. Dette kan utføres ved hjelp av elektrodesveis eller annen form for lysbuesveising. Sveisen skal gjøres i samsvar med sammenstillingstegning (Vedlegg H) eller som beregnet i underkapittel 8.5.2. Sammenstillingen er delt inn i to prosesser. Den ene prosessen foregår på verkstedet og den andre ute på dekk. På denne måten slipper operatørene å måtte løfte totalvekten av produktet under montering. Dette vil forebygge skader.

11 EVALUERING OG DISKUSJON

I dette hovedkapittelet evalueres og diskuteres konseptutviklingsarbeidets forbedringspotensialer. Revisjon av design og produksjonsmetoder blir også vurdert. Dette gjøres ved å ta et steg ut og se på det nedlagte arbeidet i denne masteroppgaven. Det vil da være enklere å få et inntrykk av hva som kunne vært gjort annerledes samt finne punkter for videre arbeid.

11.1 Konseptutviklingsarbeidet, forbedringspotensialer

Arbeidet utført i masteroppgaven er videreføring av erfaringer fra forprosjektet høsten 2017. Dette arbeidet gjorde planleggingsprosessen for masteroppgaven enklere. Spesielt var dette nyttig med tanken på disposisjonsoppsett og planlegging av rekkefølgen på ulike arbeidsoppgaver i løpet av masterperioden våren 2018. Dette gav et godt overblikk på et tidlig stadium. Det er punkter ved konseptutviklingsarbeidet som har forbedringspotensialer:

- **FTO analyse:** Verdien av FTO analysen kan diskuteres. Dette trinnet ble utført innen en kort tidsperiode og dekker derfor en liten del av patentene på markedet. Søking i patenter er også et eget fag og krever forkunnskaper. Spesielt vanskelig er det å finne relevante patenter uten korrekte søkeord. Patenter blir beskrevet og illustrert slik at minst mulig informasjon gis ut. Dette gjør en FTO analyse svært krevende.
- **Pughs metodikk:** Pughs metodikk var spesielt godt tatt imot av Eureka Pumps AS. Det ble ansett som en spennende og ny måte å tilnærme seg problemstillingen og er derfor en metodikk å anbefale ved videre arbeid eller andre anledninger.
- **FEM-analyser og beregninger:** Igangsettingen av FEM-analysene og beregningene ble forskyvet til påskeuken grunnet avvik fra arbeidsplanen for våren 2018 (Vedlegg A). Forskyvningen førte til at FEM-analyser og beregninger tok lenger tid enn planlagt og det ble nødvendig å tilføye flere begrensninger under delkapittel 1.6. Sett i forhold til kvalitetssikringen av produktet er dette ugunstig. Det vil derfor være essensielt å utføre flere styrkeberegninger og analyser i videre arbeid.
- **Sveisedimensjonering:** Det kan diskuteres hvorvidt fokus på sveisedimensjonering var nødvendig etter at FEM-analysene viste overgangen mellom nedre- og øvrearm som kritisk. Sveisen opplever i tenkt tilfelle store trykkrefter som hjelper sveisen med å holde de to delene sammen. Hadde sveisen vært utsatt for strekk-krefter, ville en beregning på sveis vært mer relevant. I ettertid er det synlig at fokus på hulldimensjonering ville vært mer hensiktsmessig.
- **Antall møter med samarbeidspartner:** Det anbefales å avholde møter minst en gang per måned ved senere anledninger. I tillegg bør samarbeid innledes hvor oppdragsutøver har kontaktpersoner i Eureka Pumps AS, som følger hele veien. For øvrig er det viktig å opprette og vedlikeholde kommunikasjonen under hele samarbeidsperioden. Jevnlig mailkorrespondanse og møter er å anbefale. Ellers viktig å være åpen for konstruktive tilbakemeldinger og innspill.

11.2 Design- og produksjonsrevisjon

Mulige endringer i design- og produksjon vil diskuteres i løpet av dette delkapittelet.

Designrevisjon

Nedenfor listes de punkter som gjelder deler av designet hvor det er rom for forbedringer:

- FEM-analysene viser at den høyeste spenningen vil forekomme i overgangen mellom rørprofilene. Det vil derfor være fornuftig å øke veggtykkelsen hvor spenningen er størst dersom det ikke fører til en totalvekt over 25 kg.
- Det vil oppstå store spenninger på trykknappen. En bør vurdere annen festemekanisme
- Dimensjonering av hull og bolter er ikke gjennomført. Over- eller underdimensjonering kan være en konsekvens og bør undersøkes nærmere. Eventuelle endringer som følger av beregningene bør utføres. Alle hull i produktet fører til fare for utmattingsbrudd. Det bør derfor tas en evaluering på antall nødvendige hull. Antallet bør være minimalt.
- Undersøk CE-merking av produktet, samt om det er påkrevd endringer i henhold til sertifisering til offshore bruk.
- Dekselet bør prøves og justeres i forhold til faktiske kabeldimensjoner, slik at det ikke kommer i konflikt med kablene ved bruk.

Produksjonsrevisjon

Nedenfor listes punkter tilknyttet forenklinger i produksjon for å senke tilknyttede kostnader.

- Ved å se på alternativer til støpning av «klemme», «hendel» og «trykknapp», kan kostnadene senkes. Eventuelt lage delene i en og samme støpeform.
- Se på muligheter rundt kostnadsreduksjon utover masteroppgavens omfang. Eksempelvis produksjonsland, underleverandører eller om det er andre lønnsomme markeder enn brannpumpemarkedet.
- Undersøkelse av andre alternativer for materialvalg kan føre til reduksjon i materialkostnader. Viktig at dette ikke går på bekostning av kvalitet, sikkerhet og produkt-egenskaper.

Ved å ta et steg ut og se på det nedlagte arbeidet i denne masteroppgaven er det identifisert flere punkter med forbedringspotensialer. Det vil det nå være enklere å definere resultatene av masteroppgaven og det videre arbeidet mot å produsere en prototype.

12 KONKLUSJON

I løpet av de 900 arbeidstimene brutto satt av til denne masteroppgaven, er det gjort rede for og utviklet et produkt som gjør håndtering av HV-kabler mer sikkert og samtidig minsker risikoen for kuttskader på kabler og på operatørene. Det endelige produktet består av 25 komponenter hvor flesteparten av komponentene har materialkvaliteten Duplex. Total vekt er estimert til 15,2 kg. Transport og montering vil derfor være uavhengig av kran. For å gjøre transporten enklere er det anbefalt å ta i bruk en «Peli case» av typen P1700. For å muliggjøre denne formen for transport kan produktet legges sammen til en kompakt størrelse på 770x280x95mm.

Monteringsarbeidet anses som lett å utføre og består hovedsakelig av boltede forbindelser. Bolteforbindelsene brukes blant annet til å justere vinkel mellom to teleskoparmer. Teleskoparmene gjør produktet fleksibelt med tanke på ulike kabeldimensjoner. Maksimal ivaretatt bøyeradius for bruk er 1020 mm. Det tilsvarer en kabeldiameter på 68mm. Produktet kan brukes både til tre enkeltfasekabler eller en trefasekabel. Effektmålet og produktmålene er dermed dekket. Videre vil en punktvis beskrivelse av oppnådde resultatmål og videre arbeid presenteres.

12.1 Resultater

I løpet av masterperioden er det utviklet et konsept fra tidlig idéfase til et produkt klart for prototypeproduksjon og utprøvinger. Arbeidet er nøye dokumentert i denne masteroppgaven. Det designede produktet oppfyller resultatmålene satt i introduksjonskapittelet på følgende måter:

- Det er utført en litteraturstudie for å kartlegge nåværende marked, liknende løsninger og relevante standarder for petroleumsbransjen i henhold til oppdragsbeskrivelsen.
- En FTO analyse er gjennomført.
- Problemstillingen er definert med tilhørende mål og begrensninger. Dette har ført til en konkretisering av nedlagt arbeid i løpet av perioden.
- Relevant metodebruk og teorigrunnlag er tatt i bruk og beskrevet.
- Produktspesifiseringer, konseptgenerering, funksjonsanalyse og materialvurdering er gjennomført i samarbeid med Eureka Pumps AS.
- 3D-design ved hjelp av SolidWorks Student Edition 2017 er utarbeidet.
- Beregninger tilknyttet dimensjonering av sveis er gjennomført.
- For å finne maksimal belastning produktet tåler før plastisk deformasjon eller brudd, er FEM-analyser satt opp og kjørt.
- Materialvurdering er gjennomført og Duplex er valgt som hovedmateriale.
- Mulige metoder for utvikling av produktet er anbefalt.
- Det er satt opp en kostnadskalkyle for produksjon av prototype.
- Markedspresentasjon er utført ved renderte bilder laget ved hjelp av SolidWorks Student Edition 2017.
- Evaluering, diskusjon og konklusjon er gjennomført.
- Masteroppgaven er ferdigstilt og klar til levering. Det gjenstår å forsvare oppgaven.

Ut fra momentene listet under resultater, kommer det frem at det omtalte produktet dekker alle mål satt for masterperioden. Måloppnåelsen viser at det er forbedringspotensial, og det vil fremdeles gjenstå arbeid og testing for å fremstille produktet.

12.2 Videre arbeid

Det gjenstår en del arbeid før prototypeproduksjon og testing. Arbeidsoppgavene som gjenstår er basert på begrensningene for masteroppgaven og produktmålene som ikke er 100% oppfylt. Punktene for videre arbeid:

- Kontakte underleverandører for prisoverslag av standardkomponenter etc.
- Sammenlikne nåværende kostnader tilknyttet reparasjon og vedlikehold på høyspentkabler med utviklingskostnadene tilknyttet denne masteroppgaven, prototypeproduksjon og testing.
- Undersøke påkrevde endringer for å få produktet sertifisert til offshore bruk.
- Utføre grundige sikkerhetsbetraktninger for maksimale påkjenninger produktet må tåle. Eks. miljøkrefter, forspenning av skruer (spesielt med tanke på hullkantrykk, brudd i grunnmaterialet og blokkutrivning), fare for knekking, vipping etc.
- Beregninger tilknyttet utmatting ved sveis må foretas.
- Kontakte Patentstyret for en konsultasjon rundt muligheten til å ta patent på produktet.
- Etablere kontakt med mulige kunder og brukere for tilbakemeldinger på mulige forbedringer.
- Utføre bruker- og markedsundersøkelse.
- Se på muligheten til å maskinere klemme, hendel og trykknapp for å redusere arbeids og materialkostnader.
- Utføre flere og nøyere FEM-analyser.
- Produsere og teste prototype.

13 REFERANSER

13.1 Vitenskapelige artikler og bøker

- [6] Det Kongelige Arbeids- og Administrasjonsdepartementet, "St.Meld. Nr. 7 (2001-2002) om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten," Regjeringen Bondevik II 2001.
- [7] Det Kongelige Arbeids- og Administrasjonsdepartementet, "St.Meld. Nr. 12 (2005–2006) helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten," Regjeringen Stoltenberg II 2005.
- [8] Det Kongelige Arbeids- og Administrasjonsdepartementet, "Helse, arbeidsmiljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten.," Partsammensatt arbeidsgruppe 2016.
- [10] M. L. Naphaug, "Høyspentkabelsklie: Produktutviklingsrapport for håndtering av høyspentkabler.," *NMBU, 14312, Ås*, 2017.
- [31] E. B. Magrab, S. K. Gupta, F. P. McCluskey og P. Sandborn, *Total design: Integrated product and process design and development: The product realization process (environmental & energy engineering series)*, 1. utg. New York: CRC Press, 1997.
- [32] S. Pugh, *Total design: Integrated methods for successful product engineering*. Michigan: Addison-Wesley, 1991.
- [33] M. Baxter, *Product design (design toolkits)*, 1. utg. Celtenham, United Kingdom: CRC Press, 1995.
- [34] G. Dahlvig, S. Christensen og G. Strømsnes, *Konstruksjonselementer*, 2. utg. Asker: Gyldendal Norsk Forlag AS, 2000.
- [35] A. P. Boresi og R. J. Schmidt, *Advanced mechanics of materials*, 6. utg. New York: Wiley, 2002.
- [36] M. F. Ashby, *Materials and the environment : Eco-informed material choice*, 2. utg. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012, s. 628.
- [44] G. F. Moore, *Electric cables handbook*, 3. utg. 550 Swanston Street, Carlton, Victoria 3053, Australia: Blackwell Science Ltd, 1997.
- [47] G. W. vanLoon og S. J. Duffy, *Environmental chemistry a global perspective*, 3. utg. Oxford: Oxford University Press Inc, New York, 2011.
- [48] T. Grønneberg, M. Hannisdal, B. Pedersen og V. Ringnes, *Kjemien stemmer 2*, 4. utg. Norge: Capellen Damm, 2014.
- [70] W. D. Callister og D. G. Rethwish, *Materials science and engineering: An introduction*, 8. utg. USA: John Wiley and Sons, 2009.
- [71] Granta Design, "Ces edupack," vol. 1, 2017 utg.: Cambridge, 2017.
- [73] C. H. Verlag, *Gieck engineering formulas*, 8. utg. München: McGraw-Hill Companies, Inc., 2006.

13.2 Lovverk, standarder og produktkataloger

- [45] Nexans, "60-500 kv high voltage underground power cables," 1 utg., 2017.
- [51] GRUNDFOS INDUSTRY, "Pump handbook," 1. utg., 2016.
- [56] Nexans, "Bfou/b halogen free mud resistant," 1. utg., 2001.

- [57] H. Tyler, "Packing, handling, shipping and installation procedure," 1. utg., upublisert.
- [65] GREENLEE, "Instruction manual 6810-22 ultra cable feeder," 1. utg., 2010.
- [72] ABBEY FORGED PRODUCTS, "Uns s32760 f55 – super duplex stainless steel," 1. utg., 2017.
- [78] Current Tools, "Operating, maintenance, safety and parts manual," 1. utg., 2010.
- [86] *Design of steel structures, rev 3*, NORSOK N-004, 2013.
- [87] *Lifting equipment*, NORSOK R-002, 2017.
- [88] Lovdata, *Forskrift om maskiner*, 2009.
- [90] *Sikker bruk av løfteutstyr*, NORSOK R-003N, 2017.
- [91] *Recommended practice - fatigue design of offshore steel structures*, DNVGL-RP-C203, April 2016.
- [92] Petroleumstilsynet, Miljødirktoratet, Helsedirktoratet, Mattilsynet og Strålevernet, *Forskrift om helse, miljø og sikkerhet i petroleumsvirksomheten og på enkelte landanlegg*, 2017.
- [93] *Renblad nr 9000 ver. 3.3 kabel - montasje*, 2015.

13.3 Personlige meddelelser

- [9] T. Indrestrand og P. Støbakk, "Møtereferat," 12.01.2018.
- [46] A. Ryen, "Personlig kontakt via mail, "bfou, 1x150mm², 6/10kv"," 16.03.18, 2018.
- [52] Eureka Pumps AS, "Drawing title: General arrangement fire water pumps (nr: C134-fs-012002-xd-0015-01," Upublisert.
- [54] Eureka Pumps AS, "Edvard grieg pumps, eureka leveranse," Upublisert.
- [55] Hayward Tyler, "Power cable repair procedure," 2012.
- [74] J. K. Bøe, "Prototypeøkonomi og økonomiske analyser"," upublisert.
- [89] M. I. Volent, "Svar på spørsmål vedrørende klassifisering av løfteutstyr," 2012.

13.4 Nettkilder

- [1] NORSK PETROLEUM. 2017. *Statens inntekter* [Online]. Hentet fra: <http://www.norskpetroleum.no/okonomi/statens-inntekter/>. Lastet ned: 21.01.18.
- [2] N. Gundersen og NH. Lundberg. 2017. *Petroleum*. Hentet fra: <https://snl.no/petroleum>. Lastet ned: 25.01.18.
- [3] Petroleumstilsynet. 2018. *Forskriftene og virkeområdet*. Hentet fra: <http://www.ptil.no/virkeomrade-for-hms-forskriftene/category832.html>. Lastet ned: 29.01.18.
- [4] A. Aabø. 2016. *Sikkerhet på norsk sokkel* [Online]. Hentet fra: <https://ndla.no/nb/node/166305?fag=137414>. Lastet ned: 15.01.18.
- [5] M. Smith-Solbakken. 2018. *Alexander I. Kielland-ulykken* [Online]. Hentet fra: https://snl.no/Alexander_L._Kielland-ulykken. Lastet ned: 15.01.18.

-
- [11] CISION PR Newswire. 2016. *Global water pump market size, share, development, growth and demand forecast to 2022 - industry insights by technology, by positive displacement water pump type and by end-user, by geography* [Online]. Hentet fra: <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-water-pump-market-size-share-development-growth-and-demand-forecast-to-2022--industry-insights-by-technology-by-positive-displacement-water-pump-type-and-by-end-user-by-geography-300324414.html>. Lastet ned: 15.02.18.
- [12] PERSISTENCE MARKET RESEARCH. 2018. *Water pump market - global industry analysis and forecast to 2020* [Online]. Hentet fra: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/water-pump-market.asp>. Lastet ned: 15.01.18.
- [13] GARNER INSIGHTS. 2018. *Global fire pump market by manufacturers, countries, type and application, forecast to 2022* [Online]. Hentet fra: <http://garnerinsights.com/Global-Fire-Pump-Market-by-Manufacturers-Countries-Type-and-Application-Forecast-to-2022#description>. Lastet ned: 15.02.18.
- [14] Future Market Insights. 2018. *Fire pump market: Global industry analysis and opportunity assessment 2016-2026* [Online]. Hentet fra: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/fire-pump-market>. Lastet ned: 15.02.18.
- [15] Market Research HUB. 2018. *Global fire pump market insights & future growth analysis, 2017 – 2025* [Online]. Hentet fra: <https://steemit.com/machinery/@ajaysing/global-fire-pump-market-insights-and-future-growth-analysis-2017-2025>. Lastet ned: 20.02.18.
- [16] Align Group. 2017. *Divisions and brands* [Online]. Hentet fra: <http://www.align.no/align/divisions-brands/>. Lastet ned: 30.01.18.
- [17] Eureka Pumps AS. 2017. *About us - history*. Hentet fra: <http://www.eureka.no/about-us/history/>. Lastet ned: 30.01.18.
- [18] FRAMO. 2017. *About framo* [Online]. Hentet fra: <https://www.framo.com/About-Framo/>. Lastet ned: 30.01.18.
- [19] FRAMO. 2017. *Technical description - high-capacity systems for firefighting, framo diesel-electric fire water pumps* [Online]. Hentet fra: <https://www.framo.com/globalassets/pdf-files/Electric-firewater-pumps.pdf>. Lastet ned: 30.01.18.
- [20] FRAMO. 2017. *Framo seawater lift pumps* [Online]. Hentet fra: <https://www.youtube.com/watch?v=ot2ZG48LtcY>. Lastet ned: 12.04.18.
- [21] ENSTO. 2018. *Verktøy for kabelhåndtering* [Online]. Hentet fra: <http://docplayer.me/27685667-Verktoy-for-kabelhandtering-kabeltrinser-trommelutstyr-kniver-og-avisoleringsverktoy-kabelkuttere-maleapparater-for-kabel-m.html>. Lastet ned: 01.02.18.
- [22] BRETTEVILLE TALJER & MASKINER AS. 2018. *Kabeltrinser* [Online]. Hentet fra: <https://www.brettevilletaljer.no/kabeltrekk/kabeltrinser>. Lastet ned: 02.02.18.
- [23] Therma Elektro AS. 2018. *Trinser* [Online]. Hentet fra: <http://www.therma-elektro.com/trinser?tm=tilbud>. Lastet ned: 02.02.18.
- [24] GS Elektro. 2018. *Utvalgte produkter* [Online]. Hentet fra: <https://www.gs-elektro.no/>. Lastet ned: 02.02.18.
-

- [25] NORTELCO. 2018. *Sprint trekkeffjærer industri "junior" ks-j-2028-4, 80 m* [Online]. Hentet fra: <http://www.nortelco.no/Sprint-trekkeffjærer-industri-Junior-KS-J-2028-4-80-m>. Lastet ned: 22.02.18.
- [26] Patent Nord. 2018. *Freedom-to-operate analyse* [Online]. Hentet fra: <http://patent-nord.dk/index.php/fto-analyse>. Lastet ned: 23.01.18.
- [27] M. Chang og H. V. Anderson. 2002. *Apparatus and methods for laying underwater pipelines* [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/US3616651A/en?q=cable&q=pulling&q=offshore&oq=cable+pulling+offshore>. Lastet ned: 30.01.18.
- [28] F. H. Awebro. 1972. *Device for supporting and transporting a cable drum* [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/US3652026A/en?q=cabledrum&oq=cabledrum>. Lastet ned: 30.01.18.
- [29] J. Roodenburg og A. J. Rodenburg. 2003. *Hoisting device, with compensator built into hoisting cable system* [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/US6595494B1/en?q=cable-pulley&oq=cable-pulley>. Lastet ned: 30.01.18.
- [30] J. G. Santoro. 2012. *Cable suspended dumbbell and barbell weightlifting apparatus* [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/US20100224844A1/en?q=cable&q=handling&q=offshore&oq=cable+handling+offshore>. Lastet ned: 30.01.18.
- [37] N. Gundersen. 2012. *Norsok* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/Norsok>. Lastet ned: 25.01.18.
- [38] DNV GL. 2017. *Kort om dnv gl*. Hentet fra: <https://www.dnvgl.no/om/index.html>. Lastet ned: 25.01.18.
- [39] Standard Norge. 2017. *Standard norge*. Hentet fra: <https://www.standard.no/toppvalg/om-oss/standard-norge/>. Lastet ned: 25.01.18.
- [40] Lovdata. 2018. *Om lovdata* [Online]. Hentet fra: https://lovdata.no/info/om_lovdata. Lastet ned: 27.04.18.
- [41] REN. 2018. *Historie* [Online]. Hentet fra: https://www.ren.no/om_ren/historie. Lastet ned: 30.01.18.
- [42] UCSanDiego ECTENSION. 2017. *Electrical high voltage standards - federal* [Online]. Hentet fra: <http://osha.ucsd.edu/index.cfm?vAction=singleCourse&vCourse=FPM-40419>. Lastet ned: 20.02.18.
- [43] K. A. Rosvold. 2013. *Høyspenning* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/h%C3%B8yspenning>. Lastet ned: 22.02.18.
- [49] B. Pedersen. 2018. *Oksidasjon* [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/oksidasjon>. Lastet ned: 30.01.18.
- [50] B. Rodriguez. 2018. *The effects of saltwater on metals* [Online]. Hentet fra: <https://sciencing.com/effects-saltwater-metals-8632636.html>. Lastet ned: 07.03.18.
- [53] ValveMan. 2018. *View jflow 6833 series specification sheet* [Online]. Hentet fra: <https://valveman.com/products/jflow-6833-inline-check-valve/>. Lastet ned: 07.02.18.

- [58] PELI. 2018. *Pelicense 1700 med skum* [Online]. Hentet fra: <https://www.pelishop.no/products/pelicense-1700>. Lastet ned: 17.04.18.
- [59] Sverderup Steel. 2017. *Informasjon om materialet super duplex* [Online]. Hentet fra: www.sverderupsteel.com. Lastet ned: 20.08.17.
- [60] Norsk Stål. 2018. *Stål, metaller, aluminium, rustfritt, fb-tjenester, prisliste februar 2018* [Online]. Hentet fra: <http://pub.webbook.no/norskstaal/prisliste/15/#zoom=z>. Lastet ned: 28.02.18.
- [61] HOLZMANN. 2018. *Fri frakt holzmann mbm450lre / mbm600lre magnetboremaskin* [Online]. Hentet fra: <https://www.finn.no/bap/webstore/ad.html?finnkode=79536483>. Lastet ned: 13.04.18.
- [62] Infobilder. 2018. *Bilde å fargelegge hånd* [Online]. Hentet fra: <https://www.infobilder.com/bilde-a-fargelegge-hand-i22119.html>. Lastet ned: 19.04.18.
- [63] Norwegian Digital Learning Arena. 2010. *Pneumatikk* [Online]. Hentet fra: <https://ndla.no/nb/node/58089?fag=35>. Lastet ned: 19.03.18.
- [64] Norwegian Digital Learning Arena. 2010. *Hydraulikk og hydraulisk kraftoverføring* [Online]. Hentet fra: <https://ndla.no/nb/node/58059?fag=35>. Lastet ned: 19.03.18.
- [66] Current Tools. 2017. *8885 mantis mobile cable pulling package - basic* [Online]. Hentet fra: <http://www.currenttools.com/products/cable-pulling/33-8885-mantis-mobile-cable-pulling-package-basic.html>. Lastet ned: 02.02.18.
- [67] Matte Leverandøren. 2018. *Gummimatter* [Online]. Hentet fra: <http://www.matteleverandoren.no/arbeidsplassmatter>. Lastet ned: 10.04.18.
- [68] TECHFLEX Danmark. 2018. *Flexopet ø 5/8" (16mm)* [Online]. Hentet fra: <http://www.techflex.dk/shop/flexopet-oe-5-182p.html>. Lastet ned: 19.04.18.
- [69] Eلسykkelsenteret. 2018. *Stopper for takstativ nordic cab*. Hentet fra: <https://nettbutikk.elsykkelsenteret.no/products/stopper-for-takstativ-nordic-cab>. Lastet ned: 13.04.18.
- [75] Lundin Norway. 2016. *Lundin skal lete mer i barentshavet* [Online]. Hentet fra: <https://www.ntbinfo.no/pressemelding/lundin-skal-lete-mer-i-barentshavet?publisherId=8488571&releaseId=13183517>. Lastet ned: 18.04.18.
- [76] Southwire. 2014. *Maxis feeder* [Online]. Hentet fra: <http://www.southwiretools.com/tools/tools/MCF01>. Lastet ned: 02.02.18.
- [77] Southwire. 2014. *Southwire maxis feeder* [Online]. Hentet fra: http://www.southwiretools.com/tools/file.get.do?file_id=425. Lastet ned: 02.02.18.
- [79] HellermannTyton. 2017. *Heat shrinkable cable repair sleeves rms 139-38* [Online]. Hentet fra: <http://www.hellermanntyton.co.uk/products/heat-shrinkable-tubing/rms-139-38/450-20041>. Lastet ned: 02.02.18.
- [80] 3M. 2018. *Scotch cable repair tape 2234, 50 mm x 1.8 m, black* [Online]. Hentet fra: http://solutions.3m.com.au/wps/portal/3M/en_AU/EMD_APAC_CI/Home/Products/ProductCatalog/~/Scotch-Cable-Jacket-Repair-Tape-2234-50-mm-x-1-8-m-Black?N=5427287+4294890692&rt=d. Lastet ned: 02.02.18.

- [81] AIRBUS DEFENCE AND SPACE S A. 2018. *Device and method for laying cables* [Online]. Hentet fra: https://patentscope.wipo.int/search/docservice_image/EP@@@16382361@@@EP210569112@@@6505061@@@imgf0001.tif?psAuth=AvjmkFToGU7VrfQ3ao2d63sy9M8i2TVmit7gW2wHg2U. Lastet ned: 29.01.18.
- [82] TONGMYONG UNIVERSITY INDUSTRIAL-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION. 2017. *Cable winding apparatus* [Online]. Hentet fra: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2017142152&recNum=20&tab=Drawings&maxRec=2378&office=&prevFilter=&sortOption=Pub+Date+Desc&queryString=FP%3A%28Cable-feeder%29>. Lastet ned: 30.01.18.
- [83] F. E. Baptiste. 2018. *Hand-held cable handling device and method* [Online]. Hentet fra: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=US210003044&recNum=6&office=&queryString=FP%3A%28Cable+handling%29&prevFilter=&sortOption=Pub+Date+Desc&maxRec=3776>. Lastet ned: 30.01.18.
- [84] J.-P. Boussaton og K. Konate. 2007. *Winch for pulling cables, in particular synthetic cables used offshore* [Online]. Hentet fra: <https://patents.google.com/patent/US20100224844A1/en?q=cable&q=handling&q=offshore&oq=cable+handling+offshore>. Lastet ned: 30.01.18.
- [85] ATLAS COPCO INDUSTRIAL TECHNIQUE AB. 2018. *Cable winder* [Online]. Hentet fra: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2018001774&recNum=18&office=&queryString=FP%3A%28Cable+drum%29&prevFilter=&sortOption=Pub+Date+Desc&maxRec=12288>. Lastet ned: 30.01.18.

14 VEDLEGG

VEDLEGG A: PROSJEKTPLAN

Prosesstrinn



Arbeidsplan og milepæler

Arbeids- og milepælsplanen gir en oversikt over fremgangen til prosjektet. Her er resultatmålene fra det øvrige delkapittel 1.5 satt opp som milepæler i et tidsperspektiv. Prosjektet vil anses som ferdig ved endt presentasjon av arbeidet. Denne rapporten viser en grov fremstilling ved hjelp av GANTT-skjema. Avvik fra planen vil kunne forekomme, men den bør følges for optimal ferdigstilling av masteroppgaven. Den ferdige arbeids- og milepælsplanen er vist i GANTT-skjemaet som følger:

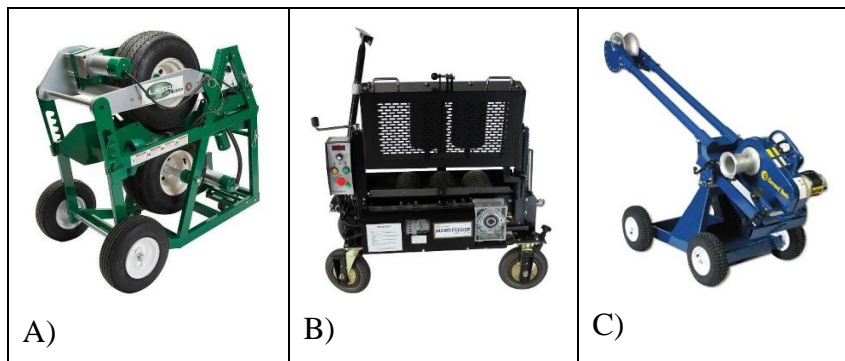
oppgaven er forsvart ovenfor sensor. Totalt skal sju ulike milepæler nås. Den siste milepælen er forsvaring av masteroppgaven og er ikke vist i tabellen da den vil foregå i løpet av juni mnd. Tabellen viser oversikt over tidspunktene for milepælene:

Milepæl	Dato	Milepæl	Dato
1	01.02.2018	5	06.04.2018
2	23.02.2018	6	15.05.2018
3	09.03.2018	7	18.06.2018
4	30.03.2018		

Som eksempel kan man se fra tabellen at alle design, beregninger, simuleringer og 3D-modellering skal være utført innen 30.mars.

VEDLEGG B: EKSISTERENDE MARKEDSKONKURRENTER**Kabelmatere**

Kabelmatere innebærer de produktene som letter arbeidet med å skyve kablene fremover. Her finnes det ulike utforminger og løsninger.



A) Greenlee Ultra Cable Feeder. B) Maxis Cable Feeder. C) Mantis Mobile Cable Pulling. Bildene er hentet fra [65, 66, 76].

Greenlee Ultra Cable Feeder [65]

Materiale: Stål med lakkering

Kapasitet: Kabler $\lt; \text{Ø}152 \text{ mm}$

Vekt: 130 kg

Dimensjon: 1040 x 699 x 953 mm

SWL: 11 300 kg

Pris: 76 000 NOK

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Kan føre flere kabler gjennom samtidig + Justerbar hastighet ved fotpedal + Tvillinghjul som gjør at kablene føres stødig gjennom + Tar vare på kabelens isolasjonskappe. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Tar stor plass og vil dermed være vanskelig å lagre når den ikke er i bruk. ÷ Er avhengig av strømtilførsel. ÷ Tung og vanskelig å flytte rundt og trenger tilsyn ved bruk.

Maxis Cable Feeder [77]

Pris: ca. 60 000 NOK

Dimensjon: 1120x600x900 mm

Vekt: 166 kg

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Kan føre flere kabler gjennom samtidig. + Trenger kun en operatør til å sette opp og passe på. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Tar stor plass og vil dermed være vanskelig å lagre når den ikke er i bruk. ÷ Kontrollenheten er festet til produktet og den er avhengig av strømtilførsel.

Fordeler	Ulemper
+ Forlengs og baklengs mating av kabelen(e). + Bruker riflede ruller for å øke overflateareal og dermed øke trekraft.	÷ Står på hjul og vil derfor være en viss fare for at den ikke står stødig.

Mantis Mobile Cable Pulling[78]

Pris: ca. 77 000 NOK

Dimensjon: 1370x700x700 mm

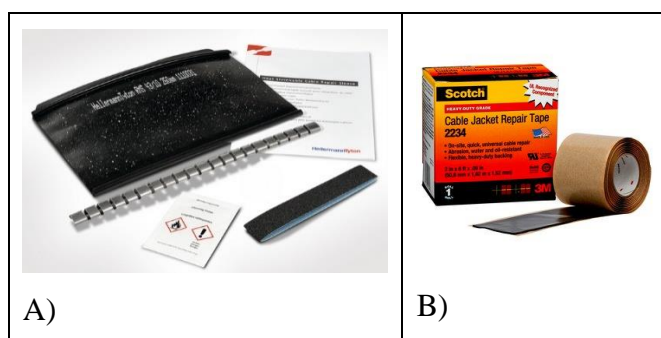
Vekt: 157 kg

ekt: 166 kg

Fordeler	Ulemper
+ Har en arm med to ledd som øker muligheten for å tilpasse ift. Omgivelser og nødvendig bøyeradius på kabler. + Mulig å manøvrere gjennom en vanlig dør. + Lett å installere og manøvrere. + Kommer med mulig tilbehørsutstyr.	÷ Kommer på hjul og ingen form for «brems». Vil derfor være ustabil. ÷ Kan ikke brukes i fuktige omgivelser. ÷ Kabelen må stå 90o på ved inn og utgang. ÷ Maks 10° helning på kablene ut gjør at kabelmateren er lite fleksibel i y-retning.

Reparasjonsverktøy

Reparasjonsverktøy innebærer de produktene som gir mulighet til å reparere skader på kablene. Dette sees på som en konkurrent spesielt med tanke på kostnader. Dersom det vil være billigere å reparere skadene i etterkant, enn å installere konseptet som er utviklet i masteroppgaven, vil det ikke være lønnsomt.



A) Illustrasjon av "Hellermann Tyton Heat Shrink Cable Repair Sleeves" sett. B) Scotch Cable Jacket Repair Tape 2234. Bildene er hentet fra [79, 80].

Hellermann Tyton Heat Shrink Cable Repair Sleeves

Pris: 700 NOK per stk.

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Kjapp å montere. + Værresistent og halogen fri i takt med standarder for HVC til offshore bruk.. + Kommer i 4 ulike lengder og 6 ulike bredder. + Kan monteres ved omgivelsestemperaturer på -40°C til +120°C 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Må monteres etter at skaden har oppstått og behøver varmetilførsel. ÷ Krymper i lengden og kan krympe i bredde ved avkjøling. ÷ Ikke flammeforsinkende som betyr at den kan ta fyr.

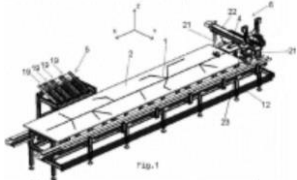
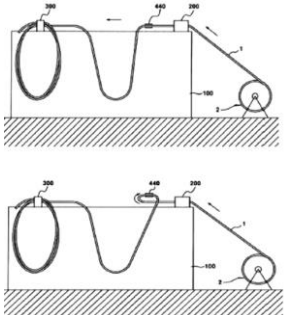
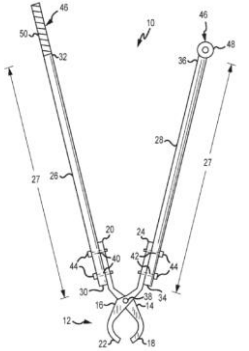
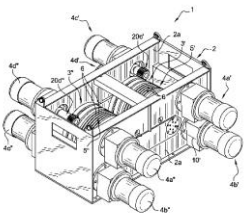
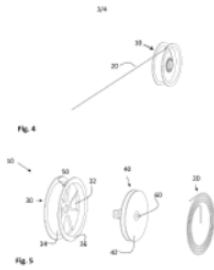
Scotch Cable Jacket Repair Tape 2234

Pris: 218 NOK per 1,8 m teip

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> + Tar liten plass å lagre og tåler temperaturer på +90°C. + Skjøtebåndene smelter godt og har god isolerende effekt. 	<ul style="list-style-type: none"> ÷ Må bruke flere pakker for å være sikker på at kabelkuttet blir tettet igjen etter forskrifter. ÷ Manuell montering som krever tid og stødighet.

VEDLEGG C: FTO ANALYSE

Resterende funn i FTO .analysen. Kilder til tegninger ligger som kilde til det engelske navnet på produktet.

Tegninger	Engelsk navn	Beskrivelse	Søkeord
	<p>Device and method for laying cables. [81]</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Brukes under produksjon av kabler. • Legger kabelen på produktet slik at den får jevn og kontrollert føring. • Elektrisk drevet. 	<p>Cable feeder</p>
	<p>Cable winding device [82].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • System for å nøste sammen kabler på skip, uten vridning på kabel. • Består av en ramme, elektrisk mateenhet, fastspent aksel. 	<p>Cable feeder</p>
	<p>Hand-held cable handling device and method [83].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • System for endringer på elektriske kabler i gruvedrift. • Sammenslåing av ulike nåværende produkter på markedet. En tang for å løfte på kabler, trinse på en ende og isolasjon på den andre. • Person unngår å bøye seg ved løft på kabler. 	<p>Cable handling</p>
	<p>Winch for pulling cables, in articular synthetic cables used offshore [84].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Består av to motoriserte tromler som kabelen kan nøstes rundt. Hver trommel består av flere taljer som roterer om samme akse. 	<p>Cable handling</p>
	<p>Cable winder [85].</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Brukes for å holde orden på den delen av kabel som ikke er i bruk. • Består av en innvendig og utvendig trommel. Kabelen vil bli transportert mellom de to ulike tromlene. 	<p>Cable pulley</p>

VEDLEGG D: STANDARDER

Utdrag av viktige momenter fra standarder som er brukt i rapporten blir forklart. Dette ble skrevet for at undertegnede skulle bli bedre kjent med standardene og hvilke krav som er utgangspunktet for produktutviklingen. Det vil si at hver enkelt person som skal jobbe med produktet selv står ansvarlig for å sette seg inn den fullstendige standarden. Figurene som er brukt er hentet rett fra standardene.

NORSOK N-004 [86]

Alle NORSOK standarder som er skrevet innenfor N-serien er tilknyttet strukturer (Eng: Structural). NORSOK N-004 spesifiserer retningslinjer og krav for design og dokumentasjon av offshore stålkonstruksjoner og kom til nytte ved «eks: beregning av ??». Standarden strekker seg over alle former for offshorekonstruksjoner av stål med en spesifisert flytegrense (Eng: yield strength) på mindre enn eller lik 500 MPa. Dersom stålkvaliteten er høyere enn 500 MPa, eller tykkelsen på elementet er større enn 150 mm må det gjøres en nøye vurdering i hvorvidt dette er hensiktsmessig for bruken av elementet.

I følge standarden skal levetiden for utmatting baseres på strukturlevetiden **som** er bestemt av bruker/operatør. Dersom det ikke foreligger et krav skal det gås ut ifra at en levetid på 15 år. Det er viktig at det utføres utmattingsberegninger på hvert element i strukturen. Spesielt de deler som blir utsatt for belastning og gir fare for utmattingsbrudd. Det er viktig å huske på elementer hvor sveis eller andre former for spenningskonsentrasjoner kan oppstå. Disse er ofte kilden til utmattingsbrudd.

Under Annex A.4 omtaler standarden fallende objekter. Dette er hensiktsmessig med tanken på beregninger av energitap og krefter produktet blir utsatt for dersom en operatør skulle miste produktet ved transport eller illustrasjon. Fallende objekter karakteriseres som kinetisk energi. Den styres av objektets masse. Her inkluderes det altså hvilke som helst hydrodynamiske energier som er tilført samt hastigheten ved fallet. Energi kan ikke forsvinne. Den kan kun overføres. I de fleste tilfellene blir store deler av den kinetiske energien gå over til støt energi ved et fall. Effekten ved et fall kan enten bestemmes ved ikke-lineære analyser eller ved å vurdere energioverføringen ved enkle elastisk-plastiske metoder. Standarden belyser følgende tre metoder for å vurdere energioverføringen ved et fall:

Se på hastigheten i det gjenstanden blir utsatt for støt.

Den kinetiske energien til et fallende objekt er gitt ved:

$$E_{Kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

For objekter som faller i luft er den kinetiske energien til et fallende objekt gitt ved:

$$E_{Kin} = \frac{1}{2}(m + a)v^2$$

Der hastigheten er gitt ved

$$v = \sqrt{2gs}$$

s = strekningen fra slippunktet til støtet

v_0 = starthastighet

For objekter som faller i vann er den kinetiske energien gitt ved:

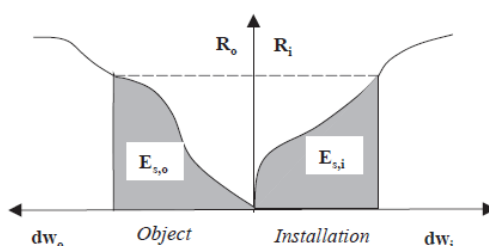
$$E_{Kin} = \frac{1}{2}(m + a)v^2$$

Der a = den tilsatte hydrodynamiske massen ved betraktet bevegelse

Når gjenstander faller fra luften loddrett ned i vann, blir deres hastighet påvirket av støtet som skjer ved vannoverflaten og den totale strekningen fra slippunktet.

Se på spredningen av bevegelsesenergi i det objektet blir utsatt for støt.

$$E_s = E_{s,o} + E_{s,i} = \int_0^{W_{o,maks}} R_o dw_o + \int_0^{W_{i,maks}} R_i dw_i$$



Se på spredningen av potensiell energi i form av varme i det objektet blir utsatt for støt.

Under Annex A.5 omtaler standarden det som skjer ved brann og hva gjenstanden må tåle. Stål utvider seg ved høyere temperaturer og skaper indre spenninger. Disse indre spenningene kan forårsake strukturendring. Det er derfor viktig å utføre vurderinger basert på enkle kalkulasjonsmetoder for hvert utsatt element eller ved hjelp av generelle kalkulasjonsmetoder. Enkle kalkulasjoner vil kunne gi konservative resultater. Standarden viser til formler oppgitt i Eurokode 3. Det er også anbefalt å utføre modellering av brannsituasjoner.

NORSOK R-002 [87]

Løfteredskap defineres som komponenter eller utstyr som ikke er påmontert maskinene, men disse gjør det mulig å gripe tak i lasten. Komponentene skal være plassert mellom lasten og maskinen eller på selve lasten [88]. Komponentene skal ikke være en integrert del av arbeidsutstyret for løfting av last, men kan være et separat redskap [89]. Kjettinger, tau, stropper, sjakler, ringer med mer regnes som løfteredskap.

Alle NORSOK standarder som er skrevet innenfor R-serien er tilknyttet løfteredskap (Eng: Lifting Equipment). NORSOK R-002 spesifiserer design av løfteredskap og omfatter alle løfteredskap på faste og flytende installasjoner, mobile offshoreenheter, skipsfartøy og landbaserte plan hvor det foregår petroleumsvirksomhet. Det er påkrevd bruk av mekanisk løfteredskap dersom lasten veier over 25 kg. Ved last over 200 kg skal permanente ordninger som løfteøyne eller skinner installeres på lasten. Dette for at materialhåndteringen av en slik last skal bli mer sikker.

Med materialhåndtering menes alle aktiviteter som er relatert til håndtering av gods og/eller materialer brukt før, under og etter installasjon. All gjennomføring av materialhåndtering skal

verifiseres og dokumenteres, helst ved hjelp av 3D designverktøy. I forkant (designfasen) skal en «generell filosofi» utvikles og godkjennes for prosjektet/anlegget/plattformen. Ettersom designet revideres skal filosofien også endres. Dette gjøres for å ha en samlet forståelse for hva som kreves og må derfor inneholde følgende punkter:

- Generell materialhåndteringsfilosofi for installasjon
- Hovedmaterialhåndteringsutstyr
- Hovedmaterialhåndteringsruter
- Designkriterier for alle transportruter
- Løfterstriksjonskart for installasjon
- Nedlegg og lagringsareal
- Værbegrensninger (vind og bølger)
- Definisjon for største/tyngste produkt som kan håndteres per areal
- Dekk/lastkapasitet
- Evaluering av nåværende kranoperasjon og rørhåndtering
- Begrensninger for beskyttelser
- Spesielle krav for bruk av riggeutstyr
- Standardisering av løfteutstyr.

I designfasen er det flere viktige aspekter å ta hensyn til. Løftredskapet må designes slik at en enkelt teknisk feil ikke vil utgjøre en uakseptabel fare. Det vil blant annet si at de strukturelle og mekaniske styrkeelementene skal designes slik at konsekvensene ved uaktsom overlast eller ikke forventet last som kan forårsake brudd, bli minimale. Samtidig skal løfteredskapet kunne stå imot de virkende spenningene, lastene, omgivelsenes påvirkning og andre relevante faktorer. Et annet viktig aspekt at installasjonen skal tåle dynamiske laster slik som bølger. I tillegg skal installasjonen designes slik at antall løfteoperasjoner holdes til et minimum, selv ved temperaturer under -20°C . Løfteredskap som er ment for sjeldent bruk, men som eksponeres for vind, regn, snø eller sjøsprøyt skal være designet for lett og sikker demontering, reinstallasjon og lagring i et varehus eller liknende.

Under designfasen er det også viktig å gjøre beregninger samt sørge for at redskapet blir korrosjonsbestandig. Det sistnevnte er spesielt viktig å ta hensyn til ved materialvalget. Samtidig er det viktig at all overflatebehandling og beskyttende lag skal være i samsvar med NORSOK M-501 og/eller ISO 12944-1. Til eksempel skal alle bolter og muttere lages korrosjonsbestandig enten i rustfri stål kvalitet, galvanisering eller fettfylt deksel m.m. Med mindre boltene/mutterne er brukt på lakkerte/malte komponenter eller har spesiell høy flytegrense skal de være av rustfritt stål A4 hvis de er mindre enn $\text{Ø}10\text{mm}$. Alle beregninger skal utføres med et utgangspunkt i 100% fuktighet. For beregning av utmattingsgrenser skal DNVGL-RP-C203 benyttes.

Alt arbeid med design, produksjon, installasjon, bruk og vedlikehold skal utføres i tråd med NS-EN ISO 9001 eller liknende godkjent kvalitetssikringssystem. Vedlikehold av løfteredskapet skal være lett å utføre og skal i henhold til standarden utføres årlig dersom utstyret veier 25-200kg og er installert permanent. Dersom løfteredskapet med samme vekt er installerer midlertidig skal vedlikehold skje hvert 2-4. år.

Når det kommer til risikoanalyse skal grensene til løfteredskapet bestemmes. Her er det listet opp en rekke viktige punkter som må inkluderes:

- Bruk grenser som inkluderer tiltenkt bruk og mulig forutsett misbruk.
- Ulike driftsformer og operatørrinnblanding
- Plassbegrensninger
- Tidsbegrensninger
- Miljøbegrensninger

I tillegg er det viktig å tenke over mulige farlige situasjoner som kan oppstå på alle nivåer. Med nivåer menes i forhold til konstruksjonen, sammenstillingen, testing, transport, installasjon, igangsetting, bruk og forutsett misbruk, vedlikehold, reparasjoner, reinstallasjon, nedmontering og fjerning. Før et løfteredskap kan tas i bruk er det påkrevd å utføre en kontroll/sertifisering av en tredjepart som har kompetanse i henhold til NORSOK R-003.

NORSOK R-003

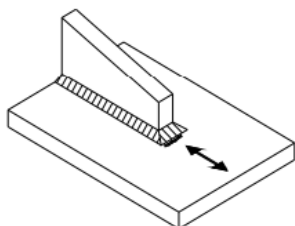
NORSOK R-003 beskriver sikkert bruk av løfteredskap som brukes under løfteoperasjoner i petroleumsvirksomheten. Beskrivelsene gjelder kun for løfteoperasjoner det mekanisk løfteredskap tas i bruk og dekker dermed ikke manuelle løft eller bruk av fallsikringsutstyr. Alle løfteredskaper må være sertifisert i henhold til denne standarden før de tas i bruk. [90]

DNVGL-RP-C203 [91]

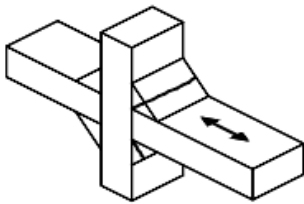
DNVGL-RP-C203 beskriver anbefalt praksis når det kommer til analyse og testing av utmattingsbrudd på stålkonstruksjoner offshore. På denne måten kan man forsikre at strukturen har en tilstrekkelig utmattingslevetid. Standarden er omfatter konstruksjoner som utsettes for utmattende krefter i luft og sjøvann. Konstruksjonene som er stasjonert i luft må være av et carbon mangan stålmateriale (C-Mn) med flytegrense på mindre enn 960 MPa. Dersom materialet har lav karbonprosent, legeringsprosent eller er maskinert vil S-N kurvene være gyldige opp til en flytegrense på 862 MPa. Temperaturen må ikke overstige 100 °C. For konstruksjoner som er utsatt for sjøvann må materialet ha katodisk beskyttelse eller være korrosjonsfritt stål med flytegrense opp til 690 MPa. Dette gjelder også dersom materialet har lav karbonprosent, legeringsprosent eller er maskinert. Standarden kan også brukes for beregninger tilknyttet rustfritt stål.

Det finnes flere ulike utmattingsbrudd. DNVGL-RP-C203 dekker følgende typer utmattingsbrudd:

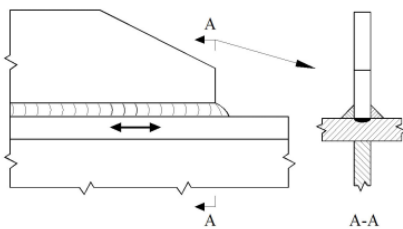
Utmattingsbrudd som oppstår ved sprekk i sveisetå og vokser inn i grunnmaterialet.



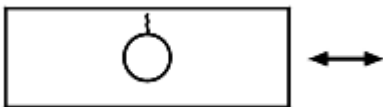
Utmattingsbrudd som oppstår ved sprekk i sveiserot og vokser utover i sveisen. Også kalt root-cracking.



Utmattingsbrudd som oppstår ved sprekk i sveiserota og brer seg til grunnmaterialet under sveisen. (Root-cracking)



Utmattingsbrudd som oppstår grunnet uregelmessigheter i grunnmaterialet. Dette kan være kjerver, hull etc.



Standarden bruker kalkulasjoner som baseres på Miner-Palmgren med antagelse om lineær kumulativ skade og bruk av S-N kurver. S-N kurvene som er oppgitt i standarden tar utgangspunkt i gjennomførte utmattningstester på små prøvestaver på DNVGLs testlaboratorier. Testene utføres ved å påføre ulike spenninger på prøvestaven frem til den gir etter. S-N kurvene kan også fremstilles ved likningen:

$$\log N = \log \bar{a} - m \log \Delta\sigma$$

N = predicted number of cycles to failure for stress range $\Delta\sigma$

$\Delta\sigma$ = stress range with unit MPa

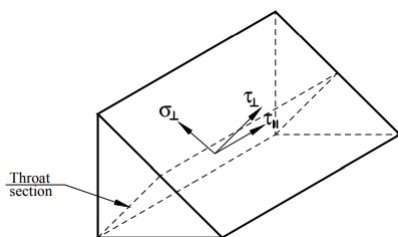
m = negative inverse slope of S-N curve

$\log \bar{a}$ = intercept of log N-axis by S-N curve

Ut i fra disse utmattningstestene er det utviklet en rekke aktuelle caser som kan brukes for å beregne total levetid begrenset av utmattingsbrudd. Standarden oppgir at opparbeidet utmattingskade (D) skal være lavere enn bruksfaktoren (η).

Relevant spenningsvidde for mulig sprekkvekst i kilsveiser som bærer last kalkuleres ved:

$$\Delta\sigma_w = \sqrt{\Delta\sigma_{\perp}^2 + \Delta\tau_{\perp}^2 + 0.2\Delta\tau_{\parallel}^2}$$



Ved beregning av buttsveiser må spenningskonsentrasjonsfaktoren SCF (Eng. Stress Concentration Factor) beregnes. Standarden oppgir formel for dette avhengig av om grunnmaterialene som skal sammenføres har lik eller ulik tykkelse. Beregninger av utmatting ved rør er også dekket av standarden. Her blir det delt inn i små rør som ha ytterdiameter fra 10-100 mm. Store rør er alt over 100mm i ytterdiameter.

Rammeforskriften

Denne forskriften er gjeldende både til havs og på land og skal fremme et høyt nivå for helse, miljø og sikkerhet for petroleumsvirksomheten og for enkelte landanlegg jf. §6 bokstav g. Forskriften skal også hjelpe til oppnåelse av systematiske fjennomføringer av tiltak. Disse skal være i samsvar med målene som er satt i helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen. Dette inkluderer også videreutvikling og forbedring av eksisterende rutiner.

I følge rammeforskriften har alle og enhver som er med i virksomheten eller oppholder seg på anlegget selv ansvar for å følge forskriften og påse at alt som skjer til enhver tid møter kravene for helse, miljø og sikkerhet. Rettighetshavere, eierne av anleggene og arbeidsgivere står spesielt ansvarlige for oppfølgingen av kravene som helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen blir fulgt [92].

REN blad 9000 [93]

REN blad 9000 gir generelle retningslinjer knyttet til håndtering av kabel ved oppbevaring, transport, utdragning, forlegning og montasje. Retningslinjene knyttet til behandling og forlegning av kablene er spesielt interessante.

Behandling

«Kabler skal behandles med forsiktighet. Skade på kabelens kappe kan etter kort tid føre til feil på kabelen noe som igjen kan gi store samfunnsmessige og økonomiske konsekvenser»[93].

Bladet tar utgangspunkt i at kablene blir transportert på tromler og dermed ulik behandling av trommelen ved løfting, transport og lagring. Ved løfting skal trommelen heises med parallelle oppheng. Det er også viktig at trommelkabelen oppbevares ved jevn, lav fuktighet og ikke utsettes for store temperatursvingninger. Dersom trommelen er plassert ute på anlegg må den sikres mot skade. Det vil si at underlag må være jevnt og stabilt for å unngå skade på kablene.

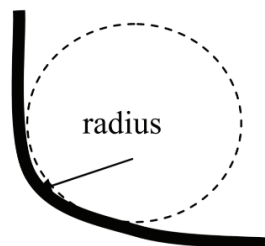
Forlegning

I prosessen med å legge kablene er det flere faktorer å ta hensyn til. For det første bør området hvor kabelen skal legges være fri for skarpe kanter og objekter som kabelen kan henge fast ved. Det er også viktig å unngå vridning på kabelen og unødvendig rykk den. For å unngå dette anbefaler REN blad 9000 å ta i bruk trekktrinse/kabelrulle. De belyser også trekkrefter og maksimal bøyeradius som viktige faktorer. Når det kommer til trekkrefter skal denne normalt være oppgitt av kabelleverandør, men dersom dette ikke eksisterer skal følgende formel brukes:

Grunnmateriale i leder	Formel	Enhet
Aluminium	$30 \times A$	N
Kobber	$50 \times A$	N

Maksimal bøyning på kabel skal også oppgis av leverandør. Dersom dette ikke er tilfelle kan følgende formler tas i bruk:

Kraftkabel 1-24kV	Utdragning	Montering (en gangs bøyning)	Enhet
Plastisolert:			
Enleder	$15 \times \emptyset$	$10 \times \emptyset$	mm
Treleder	$12 \times \emptyset$	$8 \times \emptyset$	mm
Papirisolert	$20 \times \emptyset$	$15 \times \emptyset$	mm



VEDLEGG E: DESIGN OG MATERIALBESKRIVELSE AV BFOU



BFOU/B
Halogen Free Mud Resistant

6/10 kV

Type Approval Certificates

Det Norske Veritas

Applications

For fixed installation on offshore units in all locations.

Cables meet the flame test requirements on bunched cables according to IEC 60332-3 Cat.A and follow the intention of Norwegian Petroleum Directorate (NPD). All materials used to manufacture cable are halogen free. No off-splitting of corrosive gases occurs in case of fire. The off-splitting of toxic gases is minimized.

Max core temperature: 85 °C

Design

- 1. Conductor**
Stranded tinned copper class 2
- 2. Insulation**
Mica tape
EPR
- 3. Extruded conductor**
- 4. Screen**
Tinned copper braid

- 5. Inner covering**
Polyolefin
- 6. Armouring**
Tinned copper braid
- 7. Outer sheath**
SHF2 Halogen free and mud resistant thermoset compound
Colour: red



Marking

NEXANS 205 P7/P14
BFOU/B 331 6/10 kV
«n» x «s» mm²/«Braid section» mm² *
85 C IEC 60332-3A "year"
+ Metric Marking

* For 3 phases cable

Core Identification

By coloured thread:
off-white-black-red

Standards

- IEC 60228
- IEC 60092-354
- IEC 60331
- IEC 60332-3 cat A
- IEC 60754-1/60754-2
- IEC 61034
- NEK 606



I BFOU/B 6/10 kV

Cables (mm ²)	Permissible current in open air (A)	Outer diameter			Weight approx. (kg/km)
		Min. (mm)	Nom. (mm)	Max. (mm)	
1 x 25	120	25.0	25.9	28.0	1 090
1 x 35	145	26.0	26.9	29.0	1 230
1 x 50	180	27.0	28.3	30.5	1 440
1 x 70	225	28.5	29.7	32.0	1 700
1 x 95	275	30.5	31.6	34.0	2 020
1 x 120	320	32.5	33.3	35.5	2 340
1 x 150	365	33.5	34.9	37.0	2 700
1 x 185	415	35.5	36.9	39.5	3 140
1 x 240	490	38.5	40.0	42.5	3 870
1 x 300	560	40.5	42.0	44.5	4 530
3 x 25/16	84	48.5	50.4	53.5	3 930
3 x 35/16	102	51.5	53.1	56.5	4 520
3 x 50/25	126	54.0	55.9	59.5	5 250
3 x 70/35	158	57.5	59.3	63.0	6 200
3 x 95/50	193	61.5	63.6	67.5	7 420
3 x 120/60	224	65.0	67.5	71.5	8 590

Stocked products
Product on request

	Code Letter	
Conductor		Tinned annealed stranded circular copper (STCC), IEC 60228 class 2
Insulation	B	Mica-tape + EP-rubber, IEC 60092-360 (EPR)
Lay up / Shielding		Cores laid up in concentric layers
Inner covering	F	Flame retardant and halogen-free thermoplastic compound
Tape over inner covering		PET tape
Armour/screen	O	Tinned annealed copper wire braid
Tape over armour/screen		PET tape
Outer sheath	U	Flame retardant, halogen-free and mud resistant thermoset compound, SHF2 (IEC 60092-360)
Marking text		E.g. "meter" "year" DRAKA 01 BFOU 0,6/1kV P5/P12 3 x 25/16 mm ² FLEX - FLAME IEC 60331-1*) or IEC 60331-2*) IEC 60331-21**) IEC 60332-3-22
Manufacturing unit		DRAKA 01 = Draka Norsk Kabel
Outer sheath colour		Black

*) IEC 60331-1 for cables with an overall diameter exceeding 20 mm and IEC 60331-2 for cables with an overall diameter not exceeding 20 mm

**) IEC 60331-21 also at enhanced temperature 1000°C for 180 minutes

VEDLEGG F: OPPSETT FEM-ANALYSE

Det ble valgt å kjøre en statisk simulering ved hjelp av SolidWorks Student Edition 2017. For å utføre og kjøre FEM-analysen var det nødvendig å gjøre en del strukturforenklinger:

- Alle bolteforbindelser ble fjernet og satt på i simuleringsverktøyet.
- Kulelagrene, pressaksel og styretrinse ble erstattet med en kompakt sylinder.
- Detaljdelene rundt innklemmingen av rørprofilene ble fjernet.

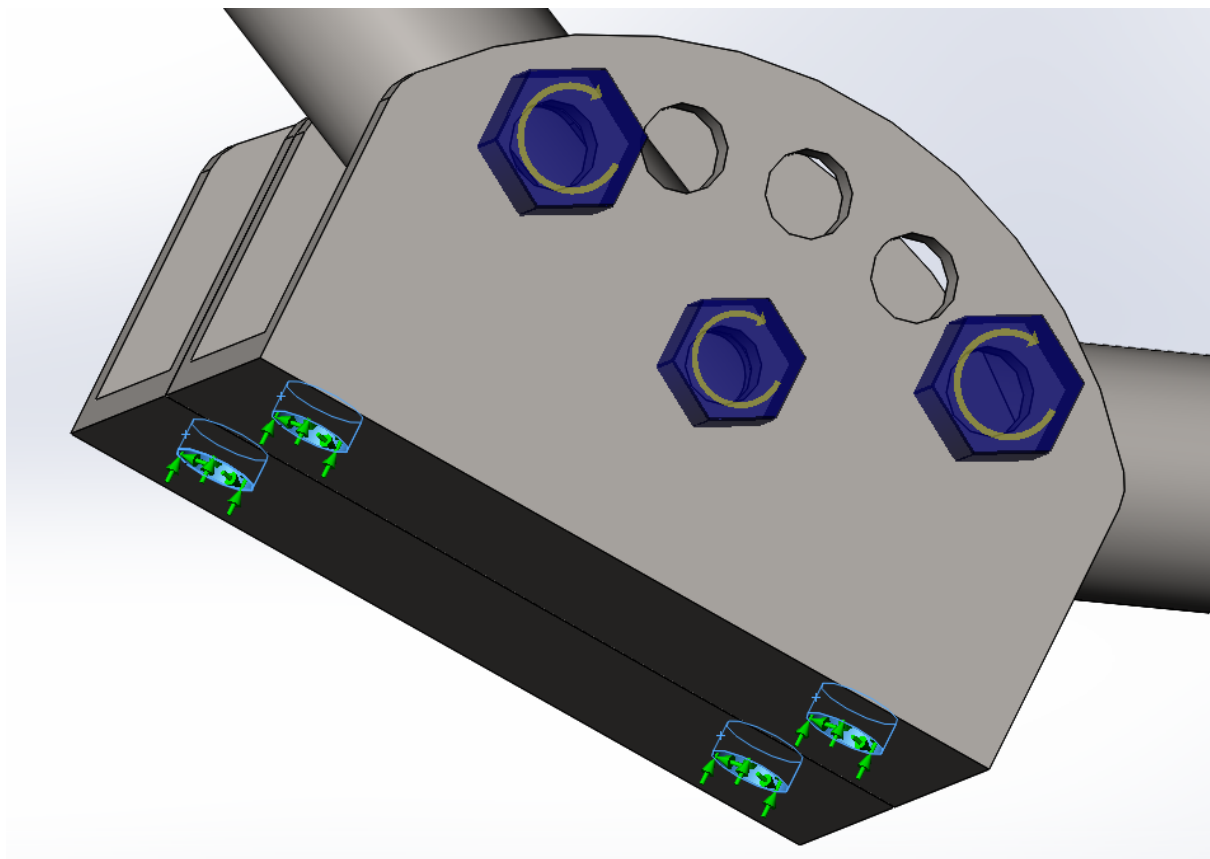
1. Det ble definert et eget materiale for Duplex med verdier hentet fra CES Edupack 2017. **Edit Material > Høyreklikk > New Material.** Definer materialegenskapene som følger:

The screenshot shows the 'Material properties' dialog box in SolidWorks. The 'Model Type' is set to 'Linear Elastic Isotropic', 'Units' to 'SI - N/m^2 (Pa)', and 'Category' to 'Stainless steels'. The material name is 'Duplex' and the 'Default failure criterion' is 'Max von Mises Stress'. The 'Description' field also contains 'Duplex'. Below the input fields is a table of material properties.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2e+011	N/m^2
Poisson's Ratio	0.285	N/A
Shear Modulus	8.1e+010	N/m^2
Mass Density	7650	kg/m^3
Tensile Strength	760000000	N/m^2
Compressive Strength	545000000	N/m^2
Yield Strength	545000000	N/m^2
Thermal Expansion Coefficient	0.00015	/K
Thermal Conductivity	16	W/(m·K)
Specific Heat	470	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

At the bottom of the dialog are buttons for 'Apply', 'Close', 'Save', 'Config...', and 'Help'.


2. For å klargjøre den forenklete strukturen til FEM-analysene ble produktet definert som fast innspennt i de fire boltehullene. Innspenningen er illustrert ved grønne piler:



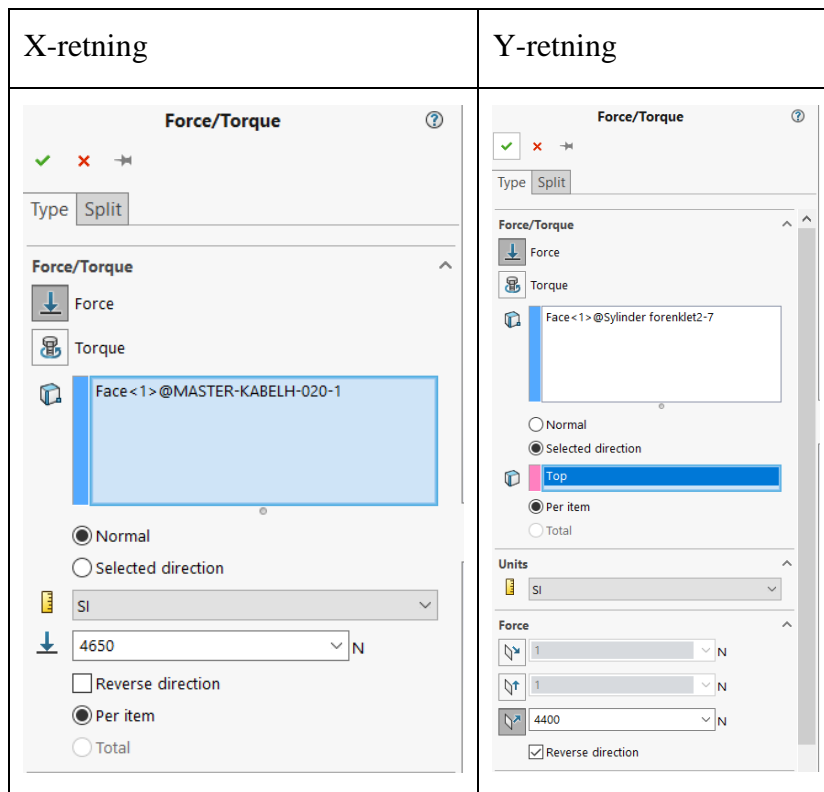
3. Deretter ble de ulike bolteforbindelsen definert ved hjelp av **Connecions Advisor > Bolts**.

Bolt-forbindelse	Type	Materiale	Forspenningskraft	Avhukninger
Festeaksel	Standard or Counterbore with Nut	Duplex	Toque = 10 Nm	Same head and nut diameter Bolt series under Advanced Options. Velg deretter kontaktflater
Nedre låseskruer	Standard or Counterbore with Nut	Duplex	Toque = 20 Nm	Same head and nut diameter Bolt series under Advanced Options. Velg deretter kontaktflater
Øvre låseskrue	Standard or Counterbore Screw	Duplex	Torque = 10 Nm	

4. **Globale Contacts** ble satt til typen **No Penetration**.

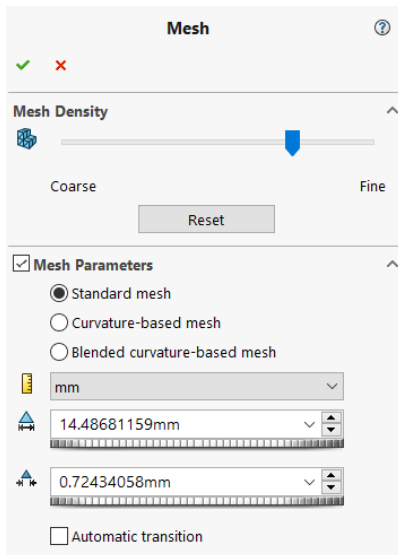
- Connections Advisor > Contact Sets > Automatically find contact sets** velg deretter de ulike delene som skal defineres som fastlåste i hverandre. Og trykk på «**Find contact sets**». Det vil på bakgrunn av valgene dukke opp resultater. Marker alle resultatene og velg **bonded**. Trykk deretter . Gjør denne prosessen mellom følgende komponenter:


 - Begge øvre og nedre armer.
 - Begge føringshus og deksel
 - Begge føringshus og øvre arm.
 - Begge føringshus og kompakte aksler.
- Definer tyngdekraft på hele systemet ved **External Loads Advisor > Gravity**. Under **Selected Reference** velg **Top**-planet. Og skriv inn $9,81 \text{ m/s}^2$ dersom verdien ikke dukker opp automatisk.
- Definer kraften i x- eller y-retning. **External Loads Advisor > Force**.



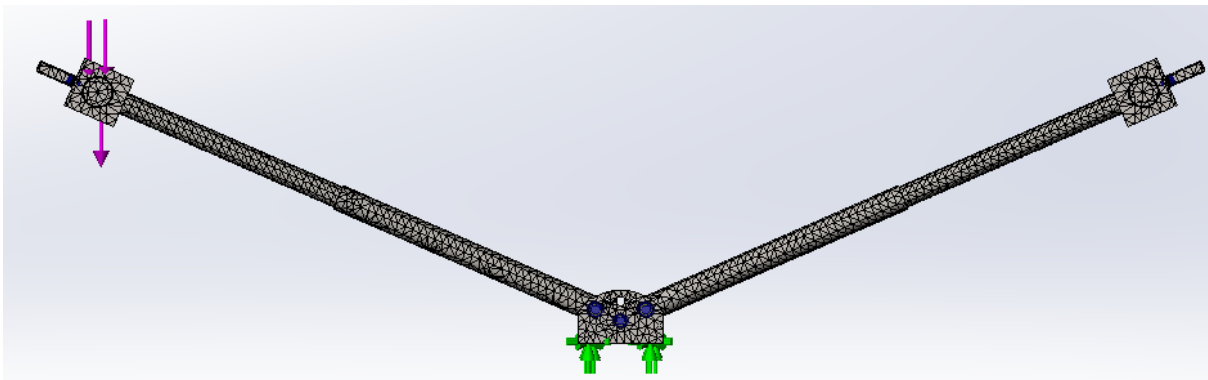
Trykk deretter .

- Oprett et elementnett (mesh) for simuleringen. **Run This Study > Create Mesh**.



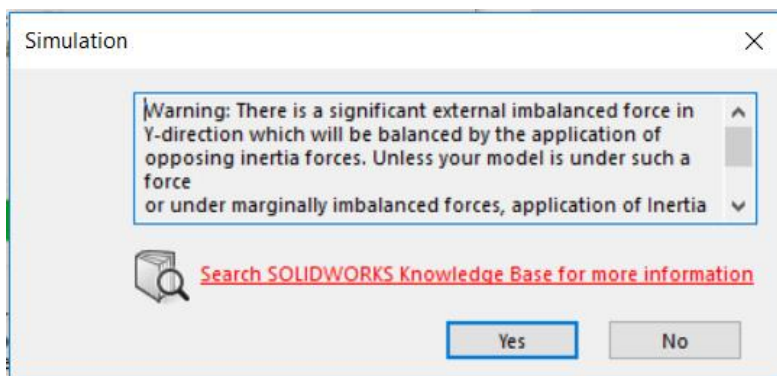
9. Trykk .

Meshet på konstruksjonen vil da se slik ut:



10. Fullfør simuleringen ved å klikke på **Run This Study**.

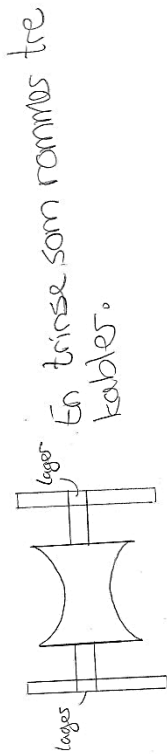
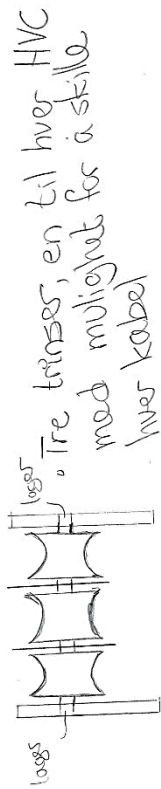
Grunnet ujevn belastning vil følgende feilmelding dukke opp:



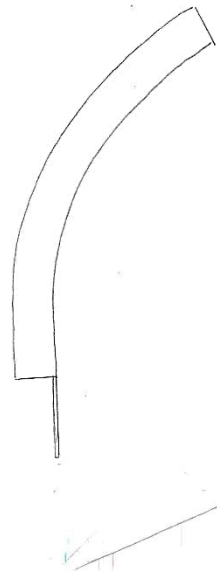
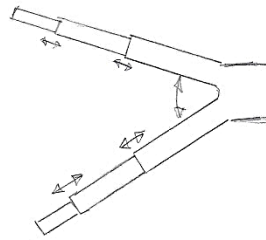
11. Klikk **Yes**, da det er meningen at kreftene skal være i ubalanse. Simuleringen vil deretter fortsette å kjøres frem til resultatene kan presenteres.

VEDLEGG G: SKISSETE TIDLIGE LØSNINGER

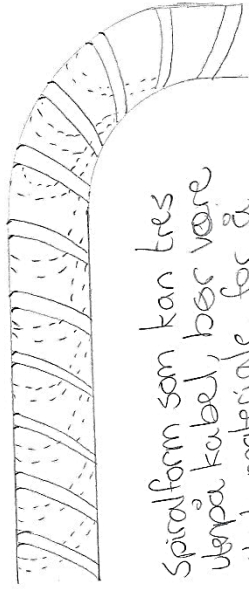
FØRINGSANORDNING



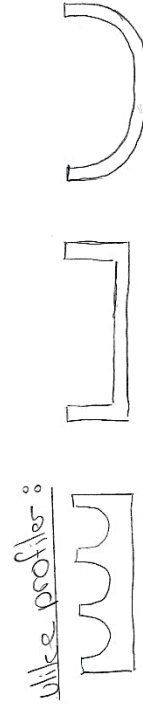
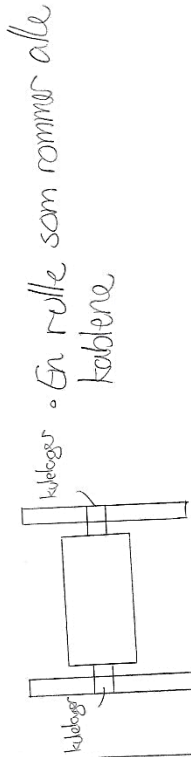
- Bøvedige "blestop"-armar som kan tilpasses maks bøyeradius
 ↳ Fra en måte å løse hvert ledd ved de ulike lengdene?



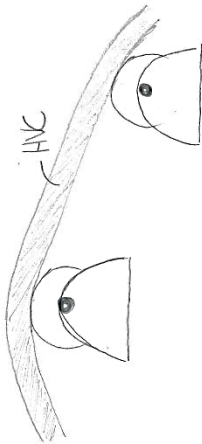
anordning hvor "snabelen" som er festet i baren kan monteres og brukes tilføring



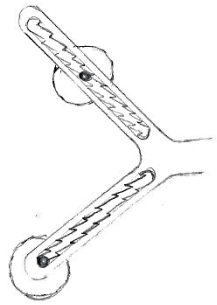
- Spiralform som kan tres ut på kabel, bør være stivt materiale for å overholde maks bøyerad.



FØRINGSANORDNING



- To trinser som er plassert på to nivåer for å danne en 'ove ved plassering av kabel

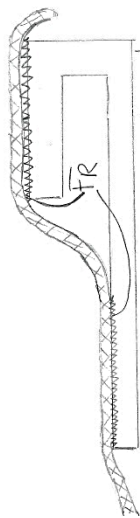


- To trinser/ruller som kan skyves/låses i ulik posisjon
↳ Holder det med to?



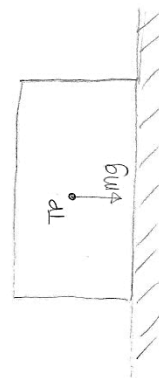
- Strempe som kan tres uter på kabel, festes med bolter/lås?

FORANKRING - FRIKSJØN



- Matte som holdes på plass vha. friksjonskrefter.

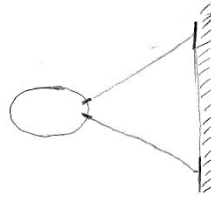
FORANKRING - TYNGDE



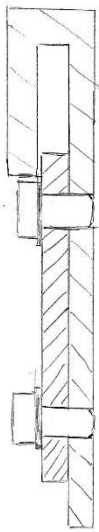
- Holdes på samme sted grunnet total tyngde og gravitasjonskraft større enn påvirkende ytre krefter

FORANKRING - KRANOPPHENG

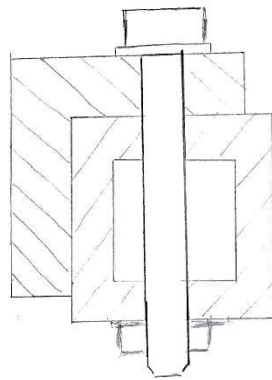
- Et kranoppheng som er festet til produktet. På bruke kran (løfteanordning)
- Evt. to kranoppheng med to wire/slynger og et løfteeye



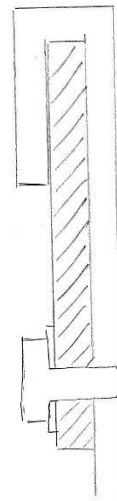
FORANKRING - BOLTER



• Festet med bolter til "hang-off-tool"

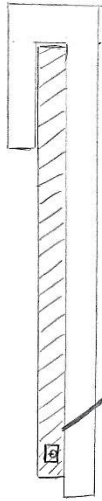


• Festet med bolter til krybbe
 ↳ Kan enten festes med møtter/skive på andre siden (foretrukket?) eller være gjenget tvers gjennom

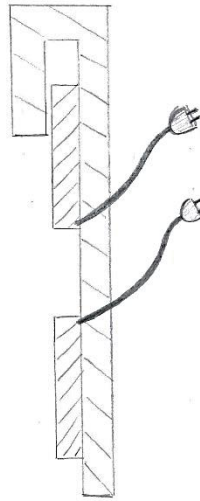


• Festet ved hjelp av en bolt og pasning ved "hang-off-tool"

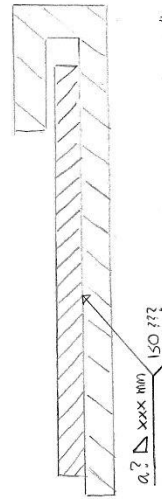
FORANKRING - MAGNETISKE



• Festet via elektromagneter
 ↳ Kan festes på alle overflater som har magnetiske egenskaper



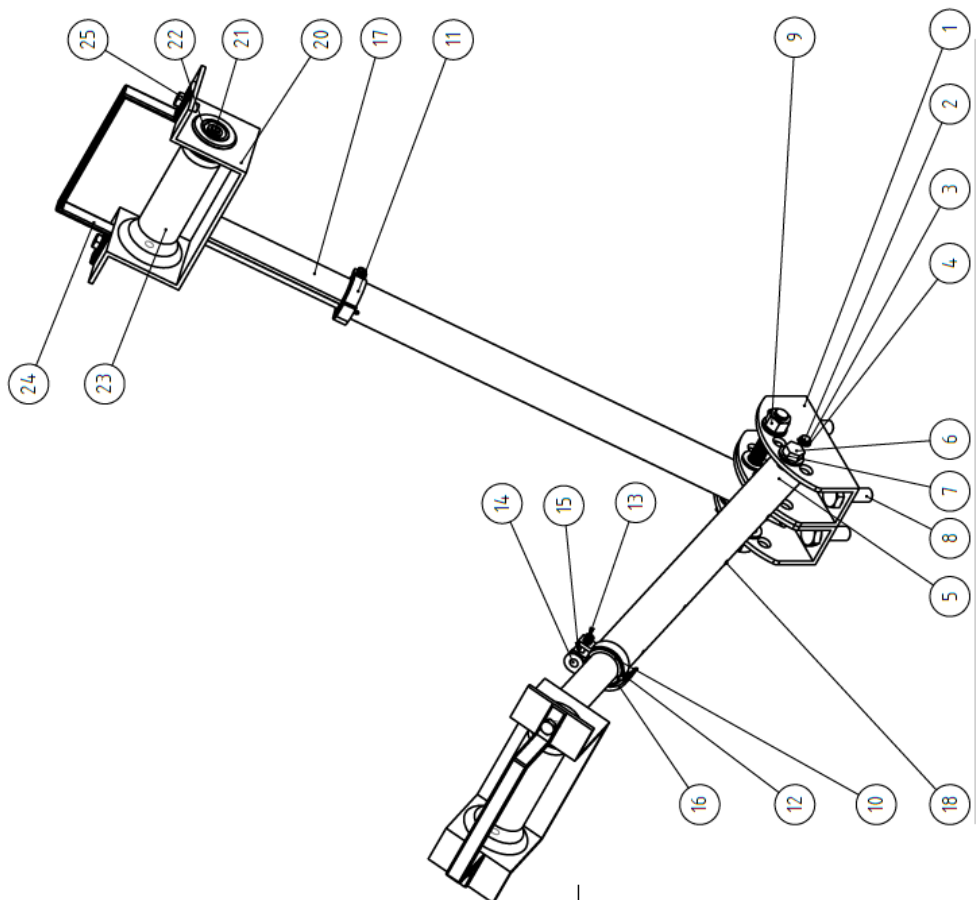
FORANKRING - SVEIS



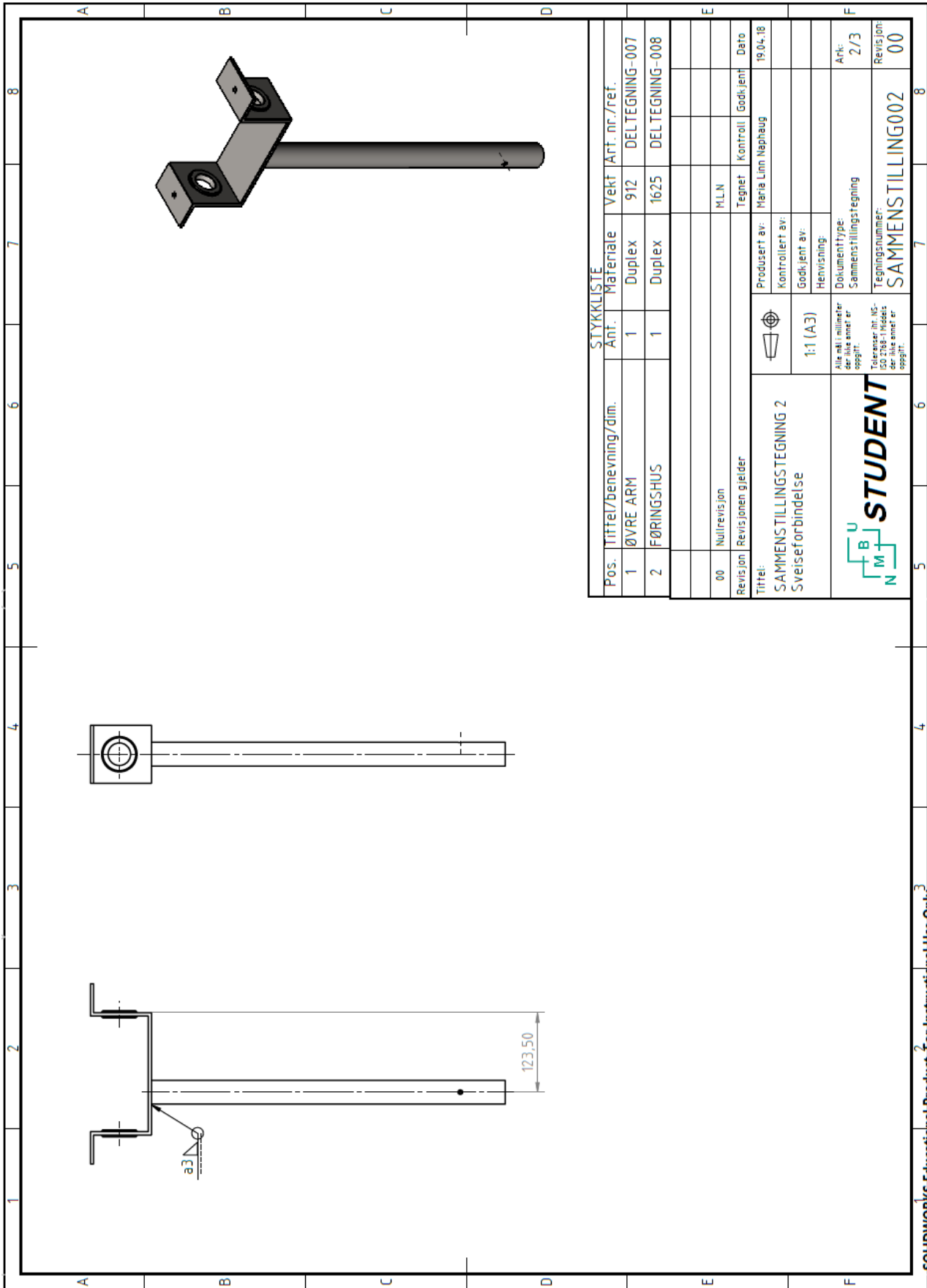
• Feste permanent til "hang-off-tool" med klisveis

VEDLEGG H: TEKNISKE SAMMENSTILLINGSTEGNINGER

STYKKELISTE							
Pos.	Tittel/benevning/dim.	Ant.	Materiale	Vekt	Art. nr./ref.		
1	FORANKRINGSPROFIL	2	Duplex	1354	DELTEGNING-001	A	
2	BØSSING	4	Copper	5	UNDERLEVERANDØR		
3	FESTEAKSEL	1	Duplex	0	DELTEGNING-002		
4	Clip-SGA-7826-Lesjofors	1	Duplex		UNDERLEVERANDØR		
5	NEDRE ARM	2	Duplex	2	DELTEGNING-003		
6	FESTEBOLT M16	2	Duplex	242	DELTEGNING-004		
7	Washer ISO 7091 - 16	12	Duplex		UNDERLEVERANDØR		
8	ISO 7412 - M16 x 45 --- 26-WN	4	Duplex		UNDERLEVERANDØR	B	
9	ISO - 4034 - M16 - N	2	Duplex		UNDERLEVERANDØR		
10	PEEK PAKNING	2	Polyethereth erketone (PEEK)	7	UNDERLEVERANDØR		
11	KLEMME	2	Duplex	47	DELTEGNING-005		
12	ISO 7045 - M4 x 6 - Z - 6N	2	Duplex		UNDERLEVERANDØR		
13	STRAMMESKRUE M5	2	Duplex	9	DELTEGNING-006	C	
14	SKRUEFESTE	2	Duplex	8	DELTEGNING-007		
15	PEEK SKIVE	2	Polyethereth erketone (PEEK)	0	UNDERLEVERANDØR		
16	HENDEL	2	Duplex	64	DELTEGNING-008		
17	ØVRE ARM	2	Duplex	912	DELTEGNING-009		
18	TRYKKNAPP	2	Duplex	3	UNDERLEVERANDØR		
19	FJÆR	2	Duplex	0	UNDERLEVERANDØR	D	
20	FØRINGSHUS	2	Duplex	1625	DELTEGNING-010		
21	PRESSAKSEL	2	Duplex	120	DELTEGNING-011		
22	SKF - 6300 - 6.S1JNC.6_68	4	Duplex		UNDERLEVERANDØR		
23	FØRINGSTRINSE	2	Duplex	2798	DELTEGNING-012		
24	DEKSEL	2	Duplex	299	DELTEGNING-013		
25	ISO 4018 - M10 x 20-WN	4	Duplex		UNDERLEVERANDØR		
00	Nullrevisjon					E	
Revisjon Revisjonen gjelder				MLN			
Tittel:		Produisert av:		Tegnet:	Kontroll:	Godkjent:	Dato:
TOTAL SAMMENSTILLING		Maria Linn Naphaug					19.04.18
Underittel:		Kontrollert av:		Tegnet: 1:5 (A3)			
		Godkjent av:		Hensvisning:			
		Alle mållinjer er i millimeter med mindre er oppgitt.		Ark: 1/3			
		Alle mållinjer er i millimeter med mindre er oppgitt.		Tegningsnummer: SAMMENSTILLING001		Revisjon: 00	
		Alle mållinjer er i millimeter med mindre er oppgitt.		Tegningsnummer: SAMMENSTILLING001		Revisjon: 00	

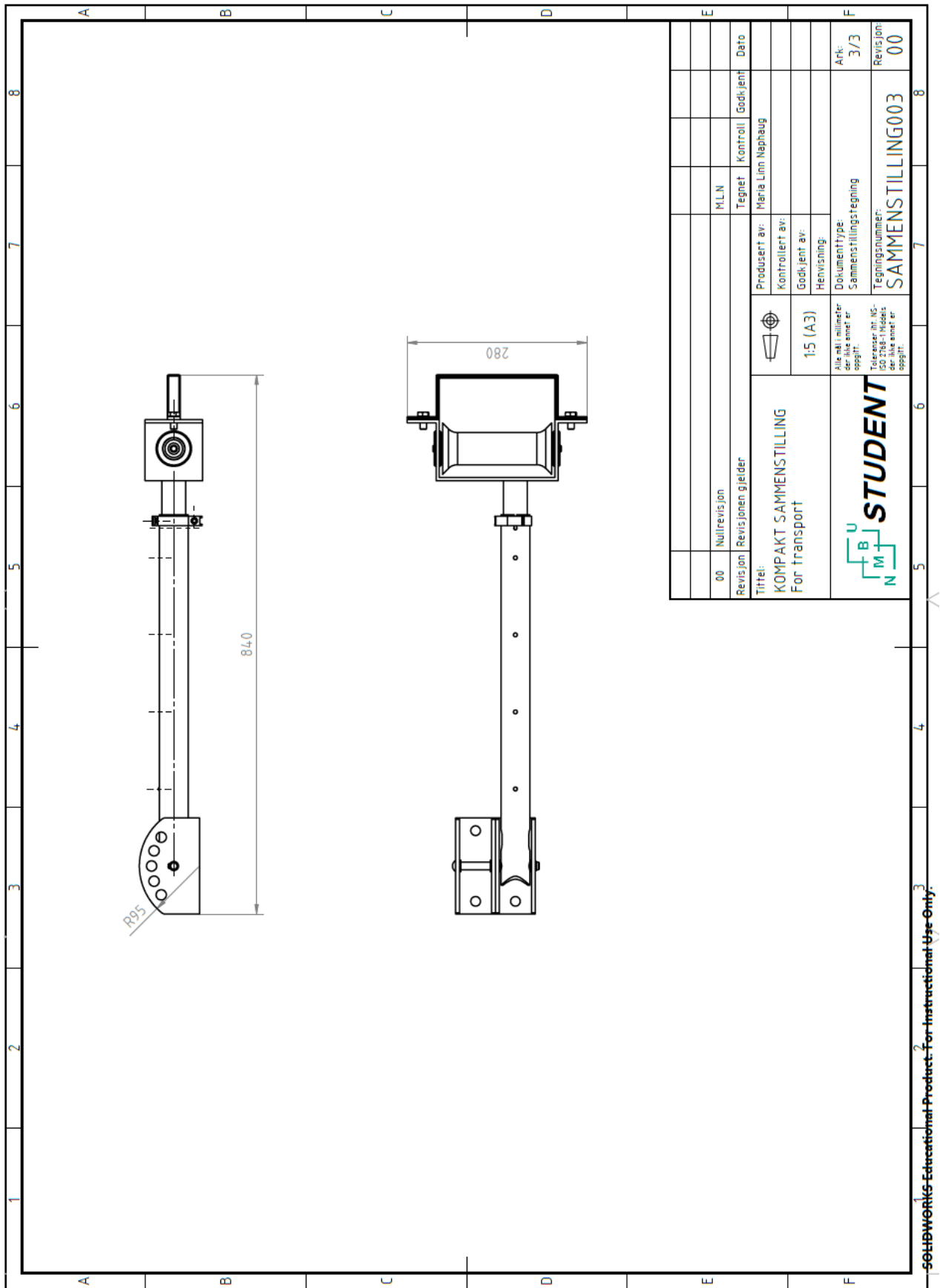


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



STYKKELISTE																																					
Pos.	Titel/benevnning/dim.	Ant.	Materiale	Vekt	Art. nr./ref.																																
1	ØVRE ARM	1	Duplex	912	DELTEGNING-007																																
2	FØRINGSHUS	1	Duplex	1625	DELTEGNING-008																																
00	Nullrevisjon			MLN																																	
Revisjon Revisjonen gjelder																																					
Tegnet Kontroll Godkjent Dato																																					
Tittelt: SAMMENS TILLINGS TEGNING 2																																					
Sveiseforbindelse																																					
<table border="1"> <tr> <td>Produisert av:</td> <td>Maria Linn Naphaug</td> <td>Dato</td> <td>19.04.18</td> </tr> <tr> <td>Kontrollert av:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Godkjent av:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Henvisning:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Alle mål i millimeter der ikke annet er foresatt.</td> <td colspan="2">Ark:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Toleranser iht. NS-50 2768-1 Hoveds</td> <td colspan="2">Sammenstillings tegning</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Tegningsnummer:</td> <td colspan="2">Revisjon:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">SAMMENSTILLING002</td> <td colspan="2">00</td> </tr> </table>						Produisert av:	Maria Linn Naphaug	Dato	19.04.18	Kontrollert av:				Godkjent av:				Henvisning:				Alle mål i millimeter der ikke annet er foresatt.		Ark:		Toleranser iht. NS-50 2768-1 Hoveds		Sammenstillings tegning		Tegningsnummer:		Revisjon:		SAMMENSTILLING002		00	
Produisert av:	Maria Linn Naphaug	Dato	19.04.18																																		
Kontrollert av:																																					
Godkjent av:																																					
Henvisning:																																					
Alle mål i millimeter der ikke annet er foresatt.		Ark:																																			
Toleranser iht. NS-50 2768-1 Hoveds		Sammenstillings tegning																																			
Tegningsnummer:		Revisjon:																																			
SAMMENSTILLING002		00																																			

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.



SOLIDWORKS Educational Product For Instructional Use Only



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway