

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



*Oljevernberedskap-*  
*Sepaduct*



Av,  
Pernille Marie Hiemeyer & Ole-Jacob G. Birkeli



Masteroppgave ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap  
Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi

Våren 2013

## Forord

Denne hovedoppgaven er utformet ved Instituttet for Matematiske Real FAG og Teknologi (IMT) ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB) våren 2013. Hovedoppgaven tilsvarer 30 studiepoeng pr. student ved masterstudiet maskin-, prosess- og produktutvikling.

Oljevernprosjektet ble introdusert til oss allerede våren 2012 og interessen rundt tema har bare vokst siden den tid. Norge er i dag avhengig av virksomheten som oljen bringer og denne avhengigheten ser ikke ut til å minke med tiden. Vi har brukt mye tid på å forstå betydning av evt. oljesøl og konsekvensene ved dette. BP ulykken utenfor Mexicogulven er et godt eksempel på oljeutvinnings store skader. Motivasjonen til å fortsette Tor Harald Eriksen sitt prosjekt har vært stort og det er virkelig et prosjekt der vi ser store potensialer.

Prosjektoppgaven har vært en lang og god læringsprosess der vi har utfordret og utviklet oss selv og hverandre. Til å være to personer som aldri har jobbet sammen før har samarbeidet vært bra der viktige valg og diskusjoner er blitt tatt sammen. Det å fordype oss i forskjellige områder, for så å lære det videre til hverandre, har gjort at vi har klart å dekke de områdene vi har følt vært nødvendig for dette prosjektet. Både datasimulering og hydrodynamikk var ukjente fagretninger som vi nå behersker. Oljevern er også et område som har gjennom oppgaven fanget vår oppmerksomhet og gitt oss en ny lidenskap. Oljevern er et omfattende og spennende fagfelt som kommer til å være i stor fokus de kommende årene.

Vi vil benytte denne anledning til å takke vår hovedveileder Pål John From for konstruktiv tilbakemelding og det at han gitt oss muligheten til å gjennomføre denne oppgaven slik vi har ønsket. Takk til Jan Kåre Bøe for all hjelp gjennom disse 5 årene her på UMB.

Takk til Bjørn Brenna og hele hans lag på verkstedet. Takk for all hjelp under byggingen av basseng og gode råd underveis. Takk til Bjørn Ronny Frost fra Kystverket og Peder Tyvand for all informasjon og hjelp gjennom hele oppgaven.

Til slutt vil vi veldig gjerne takk kjærester, venner og familie som alltid stiller opp.

Ås, 10. mai 2013

---

Pernille Marie Hiemeyer

---

Ole-Jacob Gjerald Birkeli

## Sammendrag

Ideen bak Sepaduct, var en del av et oljevernskonsept fra 2011. Konseptet, kalt OilSweeper har muligheten til å samle, skille og lagre oljen i en og samme prosess. Sepaduct en sluse som samler og separerer olje på vannoverflaten. Den ble designet i et forprosjekt høsten 2012.

Ved hjelp av lenser vil slusemodulen forflytte oljen ned i vannet. Enheten får da utnyttet forskjellen mellom de fysiske egenskapene til vann og olje. Oljen vil da fortrenge opp i en oppsamler der den blir lagret. Uten mekanisk hjelp har dette produktet en fordel i oljeberedskapen, spesielt i kalde strøk. Prosjektoppgaven skal effektivisere og optimalisere slusen der krav og visjoner er ivaretatt fra tidligere arbeid. Slusens stabilitet og oljens oppførsel gjennom hele prosessen har vært hovedfokus i prosjektet.

Teoretisk kunnskap, håndberegninger og datasimulering i SolidWorks skal bidra til å forstå og danne retningslinjer for praktisk testing. Basert på disse verktøyene sammen med eksisterende løsninger skal konstruksjon av prototype skape realistiske resultater. Beregningsmodeller og fagterminologi er hentet fra litteraturstudier. Prototypen er testet i basseng og sjø, der ulike problemstillinger er satt på prøve, og kontinuerlig forbedret. Bølger, strømninger, sjøvann og kalde temperaturer gjorde testingen mer kompleks, men mer realistisk. Resultater er brukt til sammenligning opp mot fullskalamodellen.

Slusen er avhengig av en bestemt posisjon for å få oljen i ønsket tilstand ved utgangen. Bassenget redegjorde for nødvendig tyngde ved ulike hastigheter slik at produktet holdt den ideelle posisjonen. Løsningen har derimot forskjøvet vektproblemet til resten av slusen. Det er funnet en teoretisk verdi, men må utprøves for å bekreftes. Oljen trenger også en viss hastighet for å gå under og gjennom slusen, ca. 2 knop i vårt tilfelle. Når slusen blir dradd bortover etterlater den seg et tomrom. Dette tomrommet gjør at ved utgangen blir oljen dratt opp på baksiden av slusen. Dette kan utnyttes til å føre oljen opp i oppsamleren. Oppsamleren må derfor designes slik at ikke den ødelegger dette tomrommet. Prosjektet har kommet til et punkt der koblingspunkt til både oppsamler og lense bør videreutvikles samt oppsamlerens design, for å bekrefte prosjektets oppdagelser og løsninger. Produksjonsgrunnlag for produktet vil ikke følge med. Hovedprinsippene til slusen viser at alt ligger til rette for å nå et godt oljeverns produkt.

## Abstract

The idea behind Sepaduct was an outcome of a project started in 2011. The product is a part of a concept called OilSweeper, which has the ability to collect, separate and store oil all in one process. Sepaduct is the duct that collects and separates oil that lies on top of the water. The design was developed in a pre-project Fall 2012.

Sepaduct is a duct that collects and separates oil that lies on top of the water. With the help of oil lenses, the oil will move down the duct. The purpose of this is to take advantage of the physical differences between oil and water. The oil will be lodged up into a storage unit and stored. The fact that this product does not need mechanical aid makes it a one of the kind oil recovery product, especially in cold areas. This project shall make the duct more efficient according to the visions and demands prior stated to OilSweeper. The stability and the oil's performance through the duct will be the research priority.

Theoretical knowledge, calculations and computer simulations through SolidWorks will all contribute to gain understanding and guidelines for practical experimentation. A combination of these tools and the knowledge of existing solution made it possible to gain realistic results through the construction of a prototype. All sciences and terminology is collected from published literature. The prototype has been tested in a pool as well as at sea, where different theses were put to the test as well as improvements being made continuously. The presence waves, tides, seawater and cold temperature made the sea-test more complicated than anticipated, but then again more realistic. The results are compared to the full-scale model.

The prototype is highly dependent on a specific position in order to get the oil in a specific state at the end of the duct. The pool test revealed that in order to hold the prototype in the ideal position at all times, different weights at different speeds were needed. This weight also needs to be distributed all through the duct and not at one point. There has been calculated a theoretical weight value, however this needs to be thoroughly tested. The oil needs a certain speed in order to be pushed down and through the duct. In our case this speed was around 2 knots. When the duct was pulled across the water an empty space appeared behind the duct wall. This empty space forced the oil to rise at the end of the duct. This should be exploited when designing the storage unit and how to raise the oil up into the unit. The project has come to such point where it is necessary to develop the storing unit along with the lenses in order to prove the ducts efficiency. Production layouts will not be a part of this project. The principals behind the duct have shown the possible production of a great oil recovery product.



# Innholdsfortegnelse

<b>Forord .....</b>	<b>II</b>
<b>Sammendrag.....</b>	<b>III</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>IV</b>
<b>1. INNLEDNING.....</b>	<b>7</b>
1.1. Bakgrunn .....	7
1.2. Idébeskrivelse.....	8
1.3. Problemstillinger.....	9
1.4. Målsetninger .....	10
1.4.1. Hovedmål.....	10
1.4.2. Delmål .....	10
1.5. Begrensinger og antagelser .....	10
1.6. Arbeidsplan/planlegging .....	11
1.7. Metodebeskrivelse.....	12
1.7.1. Metodebruk og løsningsverktøy .....	12
1.7.2. Terminologi .....	14
1.7.3. Symboler .....	15
<b>2. OLJEVERN .....</b>	<b>17</b>
2.1. Historie.....	17
2.2. Beredskapsnivåer.....	18
2.2.1. Statlig beredskap .....	18
2.2.2. Kommunal beredskap .....	18
2.2.3. Privat beredskap.....	18
2.2.4. Barriereprinsippet.....	19
2.3. Eksisterende løsninger.....	19
2.3.1. Mekanisk berging .....	20
2.3.2. Ikke mekanisk berging.....	23
2.3.3. Patenter .....	24
2.4. Bruksområder i oljevern.....	24
<b>3. TEORI OG UTREDNING.....</b>	<b>26</b>
3.1. Mekanismer rundt oljevern .....	26
3.1.1. Væsketyper .....	26
3.1.2. Olje sin oppførsel i vann .....	29
3.1.3. Bølger og strømningsforhold.....	32
3.2. Væskens egenskaper.....	33
3.3. Teoretisk grunnlag.....	39
3.3.1. Avgrensninger .....	40
3.3.2. Kontinuitetsprinsippet.....	42
3.3.3. Termodynamikk .....	44
3.3.4. Kraftloven.....	46
3.3.1. Stokes Lov.....	47
<b>4. PRODUKTARKITEKTUR .....</b>	<b>48</b>
4.1. Design .....	48
4.1.1. Enkelte deler .....	49
4.1.2. Sammenstilling.....	51
4.1.3. Rendering .....	53
4.2. Materialvalg .....	54

<b>5. PRODUKTSPEKIFIKASJON</b> .....	<b>55</b>
5.1. <i>Kundebehov</i> .....	55
5.2. <i>Produktegenskaper</i> .....	56
5.3. <i>Metriske grensespesifikasjoner</i> .....	57
5.4. <i>Metriske grovspefiseringer for produkttypen</i> .....	58
<b>6. TEORETISK ANALYSE</b> .....	<b>59</b>
6.1. <i>Teoretiske beregning</i> .....	59
6.1.1. <i>Kontinuitetsprinsippet</i> .....	59
6.1.2. <i>Trykktapet ved separerte væsker, vha. Bernoullis Ligning</i> .....	61
6.1.3. <i>Kjemisk Energi implementert i Bernoullis ligning</i> .....	70
6.1.4. <i>Stigehastigheten vha. Stokes Lov</i> .....	71
6.1.5. <i>Kraftloven</i> .....	72
6.1.6. <i>Prototype-beregninger</i> .....	75
6.2. <i>Datasimuleringer</i> .....	78
<b>7. PRODUKSJON</b> .....	<b>82</b>
7.1. <i>Prototype</i> .....	82
7.2. <i>Basseng</i> .....	86
<b>8. RESULTAT</b> .....	<b>92</b>
8.1. <i>Basseng test</i> .....	92
8.1.1. <i>Før-test av sluse</i> .....	92
8.1.2. <i>Test med vannpumpe</i> .....	94
8.1.3. <i>Test med påhengsmotor, bensin</i> .....	96
8.1.4. <i>Test med påhengsmotor, Elektrisk</i> .....	97
8.1.5. <i>Test, dra-kraft</i> .....	100
8.1.6. <i>Etter Test</i> .....	106
8.2. <i>Sjø-test</i> .....	108
<b>9. DISKUSJON</b> .....	<b>114</b>
9.1. <i>Teori</i> .....	114
9.2. <i>Praktiske resultater</i> .....	116
9.3. <i>Diskusjon opp mot Tor Haralds Oilsweeper</i> .....	121
<b>10. KONKLUSJON</b> .....	<b>123</b>
10.1. <i>Forbedringer</i> .....	124
10.2. <i>Utfordringer og videre arbeid</i> .....	126
<b>11. REFERANSER</b> .....	<b>127</b>
11.1. <i>Skriftlige kilder</i> .....	127
11.2. <i>Muntlige kilder</i> .....	127
11.3. <i>Nettkilder</i> .....	128
<b>12. VEDLEGG</b> .....	<b>132</b>

# 1. INNLEDNING

## 1.1. Bakgrunn

Det norske olje eventyret startet allerede med Ekofisk prosjektet i 1979. Siden den tid har oljeproduksjonen bare vokst og skapt verdier for mer enn 8000 milliarder kroner. (Energidepartementet 2011) Ettersom forbruket på fossilt brennstoff ikke ser ut til å minke, blir utforskning etter olje i nordlige strøk enda mer ettertraktet. Med dette vil det være høyere sannsynlighet for at et eventuelt oljeutslipp kan forekomme i sårbare strøk.

I 2010 ble det fremlagt 21 grunnlagsrapporter av Meteorologisk Institutt på veiene av Bellona, som viser at et evt. oljesøl (som ved Mexicogolfen i 2010 (Deepwater Horizon)) i Lofoten, Vesterålen og Senja vil ha større konsekvenser enn Oljedirektoratet først antok (Sæter 2010). Her viste det seg at mer olje vil nå land og på kortere tid. Slike opplysninger og tester viser bare hvor viktig det er med riktig oljevernstiltak.

Et oljesøl trenger ikke å ha store synlige konsekvenser, men konsekvensene for fauna og økosystemene rundt er store. Små mengder med olje kan ødelegge store områder for de eksisterende organismene som oppholder seg der. I Nordsjøen og Barentshavet er omgivelsene helt forskjellige fra det som eksisterer i for eksempel Mexicogolfen og Atlanterhavet. Lave temperaturer, aggressiv sjø, forskjellige oljetyper er bare noe av det som gjør at kravene til oljevernsredskaper mellom nordlig og sørlige områder blir annenledes.

Innenfor oljevernberedskap er det flere forskjellige produkter som sammen utfører arbeidet med å samle opp oljen etter et akutt oljesøl. Slike oljesøl kan være ukontrollerte og ulovlige, fra offshore installasjoner eller skip. Noen oljesøl kan også komme fra onshore virksomhet. Når et utslipp inntreffer er det viktig at beredskapen er fleksibel, rask og brukervennlig. Den må være rask slik at olje ikke sprer seg utover flere barrierer, og utstyret må tillate at oljen blir raskt samlet opp slik at den ikke blander seg for mye med sjøvannet eller fordampes ut i atmosfæren. Det er vist fra erfaring, at det i unntakstilfeller kun har vært mulig å samle 10-15 prosent av oljeutslippene ved kilden i sjøen (Ly 2011:a). Dette viser da igjen hvor viktig det er med riktig beredskap.

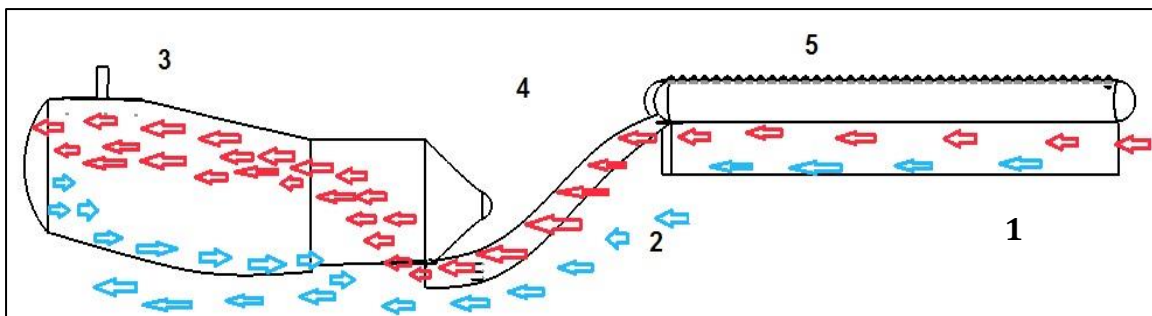
På grunn av at oljen vil spre seg utover store arealer, fordampe og evt. blande seg med sjøvannet er oljevernkonsepter avhengig av at løsninger ligger nært slik at man kan respondere raskt. Det må derfor utvikles ressurser som har muligheten til å samle, skille og lagre oljen. Flere ulike aktører ser på dette, men utviklingen av Oilsweeper er helt spesiell.



## 1.2. Idébeskrivelse

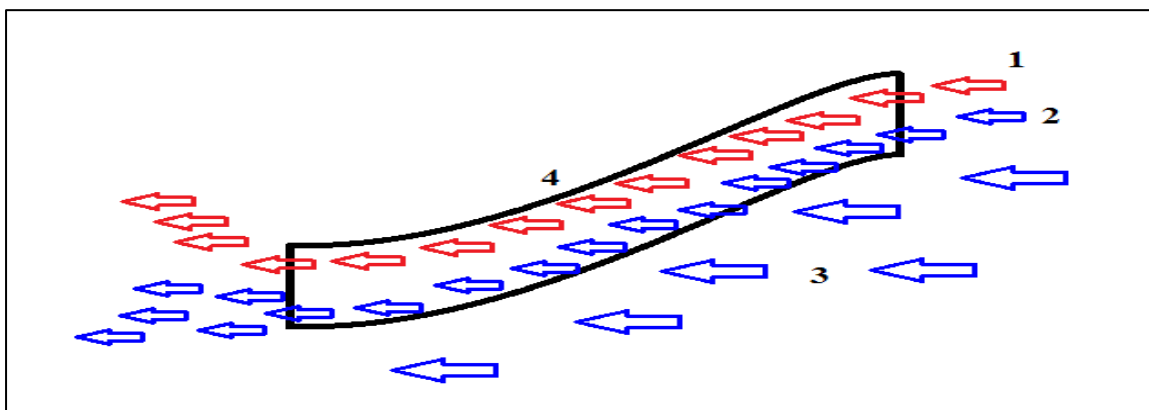
Prinsippet bak Sepaduct er basert på de fysiske egenskapene til vann og olje. Produktet skal kunne skille oljen fra vannet gjennom en enkel sluse.

Oljevernprosjektet til Tor Harald Eriksen startet allerede i 2011. Prosjektet hans var basert på et tre delte produkt; lense, oppsamler og sluse.



Figur 1: OilSweeper. Der 1) Olje, 2) Vann, 3) Oppsamler, 4) Sluse og 5) Lense (Eriksen 2012)

Fra de testene han gjorde kom det frem at hovedelementet i idéen hans var slusen. Det var denne som var dimensjonerende og den som påvirket resultatene. Høsten 2012 ble TIP300 prosjektet Sepaduct startet, som er et videre arbeid på OilSweeper. Prosjektet tar for seg slusen og ser kort på de fysiske og designmessige parameterne.



Figur 2: Slusen vist fra siden. Der 1) Olje, 2) Vann som entrer slusen ved overflaten, 3) Vann som ligger under overflaten 4) sluse

Når væsken entrer slusen blir all væsken forflyttet seg nedover ryggen til slusen. Ettersom oljen allerede ligger på overflaten av vannet, vil olje være i kontakt med ryggen på slusen.

## 1.3. Problemstillinger

### **Konsept**

Konseptet Oilsweeper skal forbedres ved hjelp av effektivisering og optimalisering av slusen. Vi vil ivareta kravene og visjonene som ble stilt til OilSweeper. Slike visjoner innebærer å operere under vanskelige forhold uten spesialutstyr, samtidig som forventning til effektivitet, fleksibilitet og operasjonell brukervennlighet er ivaretatt (Eriksen 2012).

### **Teori**

Tilegne teoretiske analyser som kan hjelpe med å danne forståelse og rettingslinjer rundt praktiske testing. Dette innebærer bruk av teoretisk kunnskap og datasimuleringer.

### **Design og konstruksjon**

Konstruerer en sluse som kan føre væsken i ønsket strømningsbånd samtidig som den alltid ligger i ideell posisjon uansett forhold. Det må kartlegges mulig mannskap, driftsområde og utstyr som skal brukes opp mot produktet. Materialvalget må fokuseres slik at produktet tåler de påkjenningene den blir utsatt for.

### **Prototype**

Konstruere en prototype som kan skape realistiske sammenlignbare resultater opp mot fullskala modell.

### **Test**

Finne testlokasjon som kan utfordre prototypen opp mot realistiske forhold.

## 1.4. Målsetninger

### 1.4.1. Hovedmål

Utvikle, designe og produsere en prototype som vil effektivisere Tor Harald Eriksen sin Oljesweeper. Prototypen skal kunne testes ved ulike forhold. Oppgaven skal holde fokus på funksjonalitet og effektivitet. Hovedfokuset vil være på selve testing av prototype opp mot teoretiske beregninger.

### 1.4.2. Delmål

- Kartlegge eksisterende og konkurrerende løsninger
- Få forståelse for grunnleggende teoretiske begreper innen hydrodynamikken
- Utarbeid mulige løsninger basert på fysiske prinsipper
- Bygge prototype
- Finne testlokasjon og utføre test av prototype
- Utføre 3D-tegninger med basis i erfaringer fra prototypetest

## 1.5. Begrensinger og antagelser

Følgende begrensninger vil gjelde for denne prosjektoppgaven:

- Oppgavens arbeidsområde vil kun gjelde slusen
- Styrkeberegninger på lensene som er mellom fartøyet og slusen
- Analyse av oppsamler og lense
- Design og styrkeberegninger av koblingspunktet mellom oppsamler og kroppens bakre del (utløpet)
- Oppgaven vil gjelde for oljeberedskap i barriere 1, 2 og 3 (se Tabell 5)
- Materialbeskrivelse vil ikke være et fokusområde
- Ser kun på olje som ligger på overflaten
- Sjøppel og andre store gjenstander som vil forstyrre prosessen
- Konsekvens analyse i henhold til HMS krav

Vi antar følgende:

- Skjørtet på lensen ligger helt opp mot innløpet
- Fullskala modell og prototype har samme beregningsgrunnlag. Størrelsen er den eneste variable parameteren.
- Startfarten på væsken ved innløpet er lik farten på fartøyet
- Antar at slusen er en lukket kanal og bruker teorier og fysikken basert rundt dette
- Væsken og omgivelsene er antatt til å være ideelle i de teoretiske beregningene

## 1.6. Arbeidsplan/planlegging

Tabell 1: Arbeidsplanen for oppgaven

Prosjektoppgave	Uke nr.																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Oppstart																				
Bakgrunnsinformasjons og teori																				
Datasimuleringer og teoretisk beregning																				
Godkjenning av rammeverk for prototype																				
Bestilling av materialer og produksjon av prototype																				
Test																				
Evaluering av test																				
Klargjøre oppgavetekst og struktur																				
Drøfting av konklusjon og erfaringer																				
Gjennomgang, korrektur og endringer av oppgave																				
Levering til print																				
Levering til sensur																				

## 1.7. Metodebeskrivelse

### 1.7.1. Metodebruk og løsningsverktøy

For å kunne ferdigstille dette prosjektet er det flere løsningsverktøy vi har måtte anvende for å nå de ønskede resultatene.

#### 1.7.1.1. Integrated Product Development (IPD)

IPD er en produktutviklingsmetodikk som er bygget opp på bakgrunn av "store og små sivile og militære utviklingsprosjekter" (Bøe 2012) i USA. Det integrerer bruken av moderne teknologi med bruken av arbeidsplanlegging, organiseringer og andre ulike trinn i utviklingsprosessen. IPD har 11 hovedelementer som skal sammen "oppnå større effektivitet, lavere gjennomføringstid og bedre læringseffektivitet i industrielle produktutviklingsprosjekter" (Bøe 2012). Disse elementene innebærer:

- a) Kartlegging av kundenes og markedets behov og krav
- b) Planlegging og styring av produktutviklingsprosessen
- c) Bruke grupper og teamarbeid
- d) Integrert prosessdesign
- e) Styring av kostnadene fra starten av
- f) Involvere leverandører og underleverandører ved et tidlig stadiet i prosessen
- g) Robust design utvikling
- h) Integrering av CAD, CAE og CAM verktøy i prosessutviklingen
- i) Datasimulering av egenskapene til produktet samt fremstilling
- j) Generering av en mest mulig tilnærming til utviklingsarbeidet
- k) Kontinuerlig forbedring av prosessen

Hensikten med IPD er å sørge for at ting blir gjort i riktig rekkefølge og at ikke sentrale ting blir glemt. Hovedmålet er å minimere både teknologisk og økonomisk risiko ved prosjektet. Det er derfor hensiktsmessig å dele prosjektet i to faser.

Fase 1: forprosjektet; her skal man kartlegge om det er potensial i et prosjekt.

Fase 2: hovedprosjektet; går ut på at man utvikler produktet parallelt med at man driver med markedsstrategi og produksjon. Her er det viktig at det tas ansvar og at det utnevnes nøkkelpersoner til prosjektet.

### **1.7.1.2. SolidWorks**

SolidWorks er det Computer-Aided Design (CAD) program som omfatter forskjellige ting som design, konstruksjon, analyse og beregninger. Vi kan ved hjelp av CAD-programmet "generere virtuelle modell[er] av den aktuelle delen" (Bøe 2010) for så å analysere former og konverter 3D-modellen slik at vi kan analysere produktet lag for lag.

### **1.7.1.3. FlowSimulation**

FlowSimulation er et tilleggsutstyr til SolidWorks. Programmet går ut på å analysere ulike komplekse situasjoner som ikke er mulig å gjøre for hånd. Programmet simulerer strømminger, varmetransport og fluidkrefter raskt og enkelt (SolidWorks 2013). Programmet kjører virkelige scenarier og gir deg resultater der etter.

### **1.7.1.4. Pugh's Metode**

Pugh's metode er et verktøy for valg av konsept ved hjelp av vekting mellom forskjellige konsept ideer. Den brukes for å få et så objektivt resultat så mulig ved valg av konsept. Man setter opp en seleksjonsmatrise der man definerer bestemte evalueringskriterier opp mot forskjellige design alternativer. Dette er ofte brukt blant ingeniører, men også av investorer, leverandører og andre yrker.

Når man anvender Pugh's metode for å løse et problem, må man først utarbeide flere løsninger til samme problem. Man velger seg så noen kriterier som man føler at løsningen må ta hensyn til. Disse kriteriene blir så vektet i forhold til hvor viktig de er på en skala fra for eksempel 1-5. Når man har dette plassert for seg i en matrise så bygger man videre og vurderer alternativene.

Alternativene blir da vektet hver for seg basert på hvordan de tilfredsstillere kriteriet. Man summerer så verdiene og legger til vektingen. Alternativet med høyest poengsum er så det riktige valget basert på et objektivt og matematisk standpunkt.



## 1.7.2. Terminologi

Tabell 2: Terminologiliste

Term	Forklaring
<b>Ballast</b>	Loddet som henger på skjørtet slik at den holdes stabilt
<b>Bend</b>	Overgangsbøyningen i slusen
<b>Depoter</b>	Lagringsposter på land av oljevernberedskap
<b>Dra-kraft</b>	Kraften som blir påsatt slusen ved hjelp av å dra den bortover vannet
<b>Dykke</b>	Oljen som går under vannet
<b>Dykkehastighet</b>	Hastigheten det tok for oljen til å gå under vann
<b>Emulsjonen</b>	Dråper i en væske
<b>Etterarbeid</b>	Rengjøring og rensing av olje
<b>Fartøy</b>	Transportmiddel til vanns
<b>Fordampningsprosessen</b>	Væske som fordamper av høy temperatur i omgivelsene
<b>Fribord</b>	Høyden av delen til lensen som ligger over vannoverflaten
<b>Førere</b>	Utstikkerne på innløpet – veggen
<b>Grenseflatespenning</b>	Spenningen mellom to ikke blandbare væsker
<b>Hydraulisk radius</b>	Væskens virkningsradius
<b>Hydrokarboner</b>	Organisk-kjemiske forbindelser som bare inneholder karbon og hydrogen - hydrokarbon kilde
<b>Fraksjoner</b>	Hydrokarboner med samme kokepunkt
<b>Knop</b>	Betegnelse på et fartøys hastighet. En knop er det samme 1852m per time
<b>Lukket kanal</b>	Rektangulært rør
<b>Nordadrag-strømmen</b>	Havstrømning som kommer fra nord
<b>Offshore</b>	Petroleumsvirksomhet som foregår langt fra land
<b>Onshore</b>	Petroleumsvirksomhet som foregår på land
<b>Oppdrift</b>	Kan forklares med Arkimedes lov: hvis et materiale har lavere egenvekt enn væsken den blir plassert i så vil materialet flyte. I vårt tilfelle så er dette materialet olje. Ettersom egenvekten til oljen er lavere enn vann så vil oljen ligge å flyte på toppen av hav overflaten.
<b>Oppdriftskraft</b>	Ved oppdrift så er oppdriftskraften lik vekten som materialet presser bort. Ettersom at oljen har lavest egenvekt så vil oppdriftskraften være ca. 15% større enn kraften til vannet. Dette er grunn til at olje vil presse seg opp i taket til slusen
<b>Overflatestrøm</b>	Strømmen som eksisterer på vannoverflaten
<b>Skjørt</b>	Delen av lensen som ligger under vannet, som stopper og fører oljen
<b>Stasjonærfart</b>	Konstant fart uansett punkt i væsken
<b>Strømrør</b>	Væskens strømningsvei gjennom slusen
<b>Stuking</b>	Tetting av rør pga. turbulens og alt for mye væske som føres gjennom et rør
<b>Tidevannstrømmen</b>	Når det er forandringer mellom flo og fjære oppstår det tidevannsstrømming som kan være av forskjellig styrke
<b>Turbulens</b>	Turbulens oppstår der det eksisterer strømninger med ”forholdsvis høy hastighet, store friksjonskrefter og lav viskositet. Dvs. at det skjer ved høy Reynoldstall
<b>Væskeblanding</b>	Blanding av olje og sjøvann

### 1.7.3. Symboler

Tabell 3: Symboliste

Symbol	Navn	Enhet	Kommentar
$l$	Lengde	m	
$b$	Bredde	m	
$bg$	Gjennomsnittsbredde	m	Bredde inngang dividert på bredde utgang
$h$	Høyde	m	
$t$	Tykkelse	m	
$r$	Radius	m	
$rh$	Hydraulisk radius	m	Strømrørets tverrsnitt dividert på strømrørets våte omkrets
$d$	Diameter	m	
$dh$	Hydrauliske diameter	m	
$D$	Krumningens diameter	m	
$l_k$	Karakteristiske lengden	m	Strømrørets virkningsgrad
$y$	Avstand	m	Avstand fra sentrum og ut
$\bar{y}$	Deformasjonsrate		
$A$	Areal	m <sup>2</sup>	
$O$	Omkrets	m	
$V$	Volum	m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup> = 1 L (liter)
$\alpha$	Vinkel	grader	
$F$	Kraftvektor	N	Bestemt i x-,y- og z-retning
$F_b$	Oppdriftskraft	N	Gitt i z-retning
$\rho$	Tetthet	kg/ m <sup>3</sup>	10 <sup>-3</sup> kg/l
$^\circ\text{API}$	Tetthetstall olje	grader	I forhold til vann
$\sigma$	Grenseflatespenning	N/ m <sup>2</sup>	
$\tau$	Skjærspenning	N/ m <sup>2</sup>	
$p$	Trykk	N/ m <sup>2</sup>	
$v$	Hastighet	m/s	Bestemt i x- og y-retning
$v_m$	Hastighet	m/s	Gjennomsnittlig fart
$v_i$	Hastighet	m/s	Fart inn
$v_u$	Hastighet	m/s	Fart ut
$v_{maks}$	Hastighet	m/s	Maks hastighet
$v_s$	Stigehastighet	m/s	
$x_i$	Indeks inngang	-	
$x_u$	Indeks for utgang	-	
$x_o$	Indeks olje	-	
$x_{sw}$	Indeks sjøvann	-	
$\mu$	Viskositet	cP	Kan konverteres til 10 <sup>-6</sup> Ns/ m <sup>3</sup>
$\nu$	Kinematisk viskositet	cSt	Kan konverteres til 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
$Re$	Reynolds tall	-	
$Re_{kr}$	Kritisk Reynolds tall	-	Kritisk strømningstall fra laminær- til turbulent strømning
$\lambda$	Friksjonskoeffisient	-	

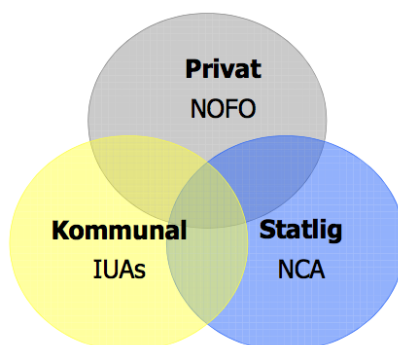
Tabell 4: Fortsettelse av symboliste

Symbol	Navn	Enhet	Kommentar
$\zeta$	Tapsfaktor	-	
Q	Volumstrøm	$\text{m}^3/\text{s}$	
E	Energi	J	
$\Delta\rho$	Energitap	$\text{N}/\text{m}^2$	
H	Entalpi	J	
U	Indre Energi	J	
S	Entropi	J	
T	Temperatur	K	
q	Varme	J	Varme påført et system
G	Gibbs frie energi	J	
K	Kjemisk energi	J	
$\pi$	Pi	-	Fast verdi 3,14
g	tyngdeakselerasjon	$\text{m}/\text{s}^2$	Fast verdi 9,81
m	Masse	kg	
Knop	Hastighetsverdi fartøy	-	tilsvarer 0,51 m/s
fot	Lengdeverdi fartøy	-	tilsvarer 0,31 meter
mg	Gravitasjonskraft		

## 2. OLJEVERN

### 2.1. Historie

Allerede i 1954 ble det avholdt en internasjonal konferanse i London, England med tema: Oljevern. Dette var en konvensjon mot oljeutslipp til sjøs som senere ble omarbeidet i 1962 og igjen i 1969 (Tuntland 1978). I Norge derimot ble det ikke satt stor fokus på oljevern før etter ulykken på Bravo plattformen ved Ekofiskfeltet 1977 (Knudsen 2012). Det viste seg at selv om myndighetene hadde vedtatt en lov om vern mot oljeskader (Gurandsrud 2011) så var ikke nivået bra nok. I 1974 ble Statens forurensingstilsyn opprett med den intuisjon at det skulle ha overordnet kontroll over oljevernberedskapen. Allerede året etter ble det bestemt at det skulle omorganiseres slik at beredskapen skulle bygges i tre beredskapsnivåer; privat, kommunal og nasjonal (Gurandsrud 2011). Denne ordningen ble dannet slik at Norge ville ha til en hver tid tilgjengelig beredskapsressurser samt at ansvarsområder klart definert.



Figur 3: Sammenkobling mellom de tre nivåene: privat, kommunal og nasjonal beredskapsaktører (Knudsen 2012)

## **2.2. Beredskapsnivåer**

### **2.2.1. Statlig beredskap**

Hovedfokuset til de statlige aktørene er beredskap rundt skipsvrak. De har 16 depoter langs norskekysten og på Svalbard, der det er tilgang på lette og tunge lenser samt oljeopptakere. Kystverket (NCA: Norwegian Coastal Administration) er det statlige organet som har ansvar for oljeberedskapen. Kystverkets hovedkontor for oljeberedskap ligger i Horten. Det er de som bestemmer hvordan depotene blir plassert utover og hvordan lageret fordeles. I de neste to årene vil beredskapsressursene økes på alle depoter (Frost 2013). Dersom de private og kommunale aktørene ikke har tilstrekkelig med beredskap, skal Kystverket overta aksjonen i samarbeide med de andre aktørene. De har tilgang til 11 kystvaktfartøy og 4 oljevernfarfartøy og ved et akutt søl, så er det også muligheter for å ta i bruk både sivile og militære fartøy.

### **2.2.2. Kommunal beredskap**

Kommunene har, ved mindre tilfeller av forurensing, beredskap- og aksjonsplikt innenfor sine kommunegrenser. Slike tilfeller kan være olje utslipp i en havn. Gjennom det Interkommunale Utvalg mot Akutt forurensing (IUA), samarbeider kommunene om beredskapen gjennom de 33 interkommunale beredskapsregionene (Ly 2011:b). Tilgjengelig materialet ved opprydning, er i form av lette lenser og oljeopptakere. Om beredskapsplanene til kommunene er gode nok avgjøres av tilsynsmyndighetene Klima og Forurensningsdirektoratet (KLIF). Her ligger beredskapsansvaret hos brannvesenet og havnevesenet.

### **2.2.3. Privat beredskap**

Det er omkring 70 landbaserte industribedrifter som må følge beredskapskrav som er stilt av KLIF. Dette er fordelt på raffinerier, tankanlegg og andre operatører innen oljevirksomhet. Alle operatørselskaper på norsk sokkel er medlemmer av Norsk Oljevernforening for Operatørselskap (NOFO). NOFO ble dannet i 1977 etter Bravoulykken for å etablere og ivareta oljeberedskapen på norsk sokkel (Knudsen 2012). Det er disse som stiller med personell og teknisk materialer til operatørselskapene dersom akutt forurensing skal forekomme.

## 2.2.4. Barriereprinsippet

Når man skal forklare områder hvor de forskjellige beredskapsnivåene har bekjempelsesansvar holder man fokus på de fire barrierene.

**Tabell 5: Barriereprinsippene**

Barriere	Områder
1	Åpent farvann nær kilden
2	Åpent farvann mot kystsonen
3	Kyst og fjordsone
4	Land og strand

NOFO har store systemer som har mulighet til å arbeide i barriere 1 og 2. Kommunale og IUA har hovedfokus på barriere 3 og 4.

Ulike beredskapsløsninger kan brukes ved de forskjellige barrierene. Mekanisk berging brukes gjerne i alle barrierer, mens manuell berging er mer brukt i barriere 4.

## 2.3. Eksisterende løsninger

Prinsippet bak Sepaduct er ikke originalt. Det er flere aktører som arbeider med å separere olje og vann ved bruk av væskenes egenskaper. Siemens har utarbeidet et produkt med navnet API Oil Water Separators (*API Oil Water Separators* 2011). Disse er stasjonære produkter som er landbaserte.

Når vi snakker om oljevernsredskaper som blir brukt direkte til akutte søl så kan det dele det inn i tre kategorier: mekanisk, ikke mekanisk og manuell berging. Med mekanisk berging mener man fysiske barrierer som blir dannet rundt oljen. Ikke mekanisk berging er av typen brenning og bruk av dispergeringsmidler. Manuell berging brukes langs strand og kyst der man må bruke hånd-apparater om olje treffer.



## 2.3.1. Mekanisk berging

### 2.3.1.1. Lenser

Det er to hovedkategorier innen oljevernslenser; konvensjonelle og aktive. En oljelense brukes for å redusere konsekvensene av oljesøl på vann eller sjø ved å samle, konsentrere, lede, ringe inn, stoppe eller absorbere olje som flyter på overflaten (Nilsen 2012). Tradisjonelt så er lenser operert med 2 fartøy som drar linsen på havoverflaten.



**Figur 4: Konvensjonell Lense**

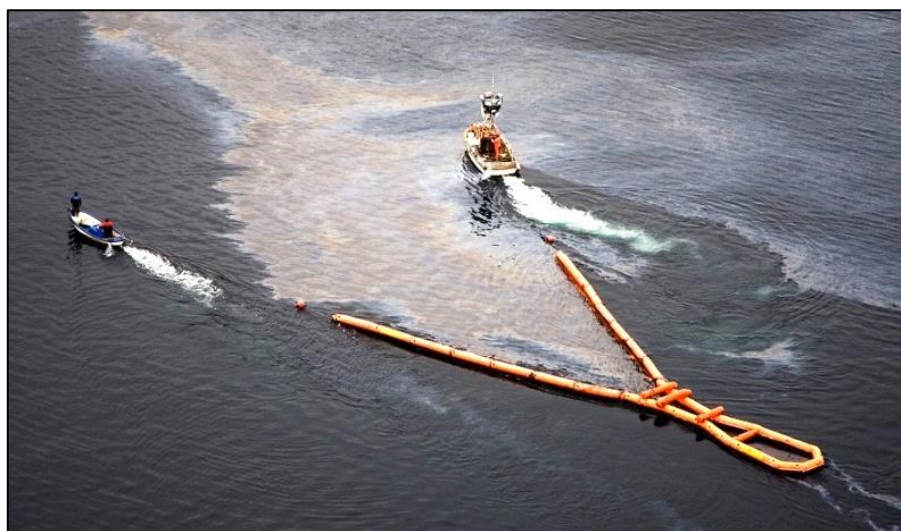
En typisk konvensjonell lense, for eksempel Norlense sin NO-1200-R (Figur 4), har et fribord på 1,2m og et skjørt på 1,5m (Norlense 2009). De har også en ballast som er koblet til skjørtet slik at skjørtet holdes så stabilt som overhode mulig i vannet. Den totale lengden på en slik lense er virkårlig. Konvensjonelle lenser kan lett kobles sammen. Ettersom en slik lense er relativt stiv og robust blir operasjonen avhengig av at det er rolige sjøtilstander samt at dra-hastigheten fra fartøyene er lav. Hastighetene vil ligge på gjennomsnitt 0,5 knop. Ifølge Kystverket så vil en hastighet høyere en 0,8 knop forårsake at oljen går under skjørtet på linsen (Frost 2013). Pr. nå har konvensjonelle lenser vært primærverktøyet i enhver oljevernaksjon (Nilsen 2012).

Noen konvensjonelle lenser går også under kategorien Sorbente lenser. Disse lensene vil ikke ha et skjørt som er koblet til fribordet, men fribordet vil innehold et materiale som absorbere oljen og kun oljen fra overflaten.



**Figur 5: *venstre*) viser innmaten på en sorbent lense brukt av kystverket. *Høyre*) En sorbent-lense som ligger i olje (Corp 2008).**

En aktivlense, også kalt høyhastighetslense, kjennetegnes ved at den er konstruert for å samle og konsentrere opp oljesøl i kraftigere strøm enn en konvensjonell lense. (Nilsen 2012) Der en konvensjonell lense ser hindringer, som for eksempel høye hastigheter, strømminger og bølger, skal en aktivlense kunne operere uten vanskeligheter. NOFI har ved hjelp av sin kompetanse innen oljevern utviklet høyhastighets lensen Current Buster®.



**Figur 6: Current Buster i aksjon (NOFI 2012)**

Produktet kan ved hjelp av sin unike evne samle og konsentrere olje i strømutsatte farvann og ved høye slepehastigheter (Nilsen 2012). Den ble også brukt under Deepwater Horizon-ulykken i Mexicogolfen i 2010. Aktive lenser kan opereres av en eller to fartøy. De er ikke av ubegrenset lengde slik som en konvensjonell linse. De har derimot mulighet til å samle oljen til et mellom lager der oljen vil i noen utgaver pumpes opp i et tauefartøy. Erfaring viser at disse pumpene blir fort ødelagt ettersom at det eksisterer mer enn bare olje i farvannet slik at de opplever at de samler også opp søppel og andre store gjenstander.

### 2.3.1.2. Skimmere

Når oljen er samlet ved hjelp av konvensjonelle lenser, er man avhengig av å ha et apparat som pumper oljen opp. De kan sorteres i forskjellige kategorier; overløpsskimmere, Hi-Wax skimmere og Foxtail. De har alle i oppgave å pumpe opp oljen som ligger på havoverflaten. En overløpsskimmer flyter på væsken og suger til seg væsken slik at den blir samlet i en annen tank der det blir skilt. En Hi-Wax skimmer har en trommel som graver til seg oljen og Foxtail er et mopaktig skimmer system. Det er flere faktorer som kan redusere ytelsesgraden på skimmeren. Dette kan skje om olje stivner og blir voksaktig eller om viskositeten til oljen øker og det blir for tykke emulsjoner. Alle skimmere er avhengig av spesialbåter som har kunnskapen rundt bruken av produktet og tilgangen til spesialutstyr. Det er viktig at fartøyene er store nok da det ikke bare blir pumpet opp olje, men også store mengder vann.



Figur 7: *venstre*) overløpsskimmer (Lamor 2013), *midt*) Hi-Wax skimmer (Knudsen 2009), *høyre*) Foxtail skimmer (Eureka 2013)

### 2.3.1.3. Andre løsninger

De siste årene har oppmerksomheten rundt oljevernberedskap økt. Det er blitt arrangert flere konkurranser der interessante konsepter har fått sett dagens lys. Ett av disse er OilShaver produsert av Akrehamn & Tralboteri AS og HUSEN AS (OilShaver 2010). Den er formet som en lense som står 45° ut fra en følgefartøy. Lensen ligger på vannoverflaten og barberer oljen av vannet. Dette blir så samlet og pumpet opp inn i følgefartøyet.



Figur 8: Oljevern prosjektet Oilshaver ved testing i USA (OilShaver 2010)

## 2.3.2. Ikke mekanisk berging

### 2.3.2.1. Dispergering

Dispergeringsmiddel er kjemikalier som akselererer den naturlige dispergeringseffekten til oljen. Det sprøytes på oljeflak fra enten fartøy eller luftfartøy; fly og helikopter. Etter påføringen av midlet vil bølgeenergien føre til at oljeflakene brytes opp i små oljedråper som raskt fortynnes og deretter brytes ned av mikroorganismer som forekommer naturlig i havet (Harald Tvedt 2012). Når man skal bruke dispergering som en beredskapsmetode er det viktig at begrunnelse for valget er gått nøye gjennom da det kan ha store miljøkonsekvenser og at oljen må være dispergerbar. Dette blir mye brukt i nordlige strøk og er grunnen til at Kystverket bruker mye ressurser på utvikling av akkurat denne type berging.



### 2.3.2.2. Brenning

Brenning er et alternativ som ikke er ukjent for mange. Det brukes der oljen flyter på overflaten eller i nordlige strøk midt i blant ødelagt is. Det er viktig at brenningen er kontrollert, så ved bruk av brenning er det viktig at oljen er sperret av ved bruk av lenser. Dette er også gunstig slik at man får en riktig tykkelse på oljen før man brenner det. Ettersom oljen fordamper er det gunstig å begynne brenningen så fort så mulig, da det er det tennbare middelet som fordamper først. Vanninnholdet i oljen er også en faktor som avgjør om oljen er brennbar. Ved mye vann blir olje vanskelig å få tent.

### 2.3.3. Patenter

Oppmerksomheten rundt oljeberedskap har økt de siste årene etter at det ble aktuelt med oljeboring i Lofoten, Vesterålen og Senja. Dette har ført til at flere aktører har begynt å forsøke på nye beredskapsmetoder. Antall patenter innen oljevern har økt og flere med gode utfall, slik som Karl-Atle Stenevik's 'Sweeper for Collecting Impurities at Sea' (Stenevik 2011). Stenevik's Sweeper er en god blanding av en aktiv linse og Tor Harald Eriksen sin OilSweeper. Den har muligheten til å bli dratt med en hastighet på 4-5knop og har en oppsamlingsenhet bakerst. Forskjellen på OilSweeper og Sweeper ligger hovedsakelig i slusens utforming og at Sweeper trenger å være koblet til en pumpe under hele operasjonen.

## 2.4. Bruksområder i oljevern

Konvensjonelle lenser er i dag primærberedskap når et akutt oljesøl fremkommer. Disse kan bli så lange som overhode nødvendig og er enkle å bruke. Problemet med disse lensene og mange andre beredskapsprodukter, er at de er veldig avhengig av omgivelsene sine.

Omgivelsene i nord og sør er ikke bare forskjellig geografisk, men også forskjellige i temperaturer, strømninger, bølger og oljetyper. Tabell 6 under viser hvordan forholdene i nord vil påvirke den beredskapen som allerede eksistere på dagens marked. Disse konsekvensene følger i sørligere strøk som i Mexicogolfen.

Tabell 6: Forholdet mellom nordlige naturforhold og effekten det har på oljevernberedskap

Forhold	Mekanisk Berging	Ikke Mekanisk Berging
<b>Kalde temperaturer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konvensjonelle lenser blir stive</li> <li>• Skimmerne fryser</li> <li>• Pumper fryser</li> <li>• Viskositeten i olje øker</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propanen fordamper sakte som gjør at man forlenger antenningstiden</li> <li>• Olje brenner saktere</li> <li>• Maskiner for å fordele dispergeringsmidler fryser</li> </ul>
<b>Sterk vind</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konvensjonelle lenser klarer ikke å ligge stabilt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umulig å sprøyte dispergeringsmidler</li> <li>• Vanskeligheter med å få kontrollert brann</li> </ul>
<b>Sjø forhold - stor bølger, strømninger</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lenser og skimmere fungere ikke bra ved høye bølger pga. for mye bevegelse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Store bølger kan forårsake ukontrollert brenning</li> <li>• Båter vil ha minimal manøvrering som gjør det vanskelig å sprøyte dispergeringsmiddel</li> </ul>
<b>Sikt - lys/mørketider</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mekanisk berging kan ikke brukes i mørket</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikke mekanisk berging kan ikke brukes i mørket</li> </ul>

Som vi ser i Tabell 6 over, kan opprydningen i Nordsjøen og arktiske strøk være vanskelig, og ved ekstreme forhold til og med være umulig. Mer utvinning i nord vil tilsa at man kommer nærmere og nærmere områder der det er mye is til stedet, som igjen gjør opprydningsarbeidet vanskelig. Det er viktig at utvikling av ny teknologi tar hensyn til de problemene som eksisterer i nord, da vi ser i dag at teknologi som fungerer i sørlige strøk ikke er tilstrekkelig i nord.



## 3. TEORI OG UTREDNING

### 3.1. Mekanismer rundt oljevern

For å kunne angripe teorien bak produktet er vi avhengig av å ha en grundig utredning av væskene og dens egenskaper.

#### 3.1.1. Væsketyper

De typiske oljene man forbinder med oljevern er råolje og tungolje. Råolje er aktuelt ved utslipp direkte fra brønner og offshore installasjoner før vann og naturgasser er fjernet. Ved utslipp fra tankbåter og skip vil tungolje være mest aktuelt.

Egenskapene og oppførselen til oljetyperne samt værforholdene den oppfører seg i, er viktige faktorer som er med på å gi hver oljevernaksjon en personlighet.

##### 3.1.1.1. Råolje

Grunnlaget for dannelsen av oljefeltene i Nordsjøen ble lagt for nesten 200 millioner år siden. Høy temperatur og CO<sub>2</sub> konsentrasjon ga mange alger, plankton og planterester som la seg på havbunnen. Når havbunnen sprakk sank dette organiske laget ned og et nytt lag med leire la seg over som et tak. Det organiske laget ble presset ned, og gjennom en lang tidsperiode hvor reservoaret ble utsatt for høyt trykk og temperatur ble olje og gass dannet (viten.no 2003).

#### Råoljens sammensetning og egenskaper

Før man fjerner vann og naturgasser, er olje betegnet som råolje. Denne råoljen kan kjemisk defineres som en flytende blanding av hydrokarboner, ettersom den består hovedsakelig av hydrokarboner (50-98%). Den resterende parten kan defineres som organiske ikke-hydrokarboner.

Hydrokarbonene består av alt fra enkle flyktige gasser, som Metan (CH<sub>4</sub>), til store molekyler med mer enn 100 hydrokarboner. Viskositeten til oljen øker ved økning av karbonatomer i olje (Carroll et al. 1999). De organiske ikke-hydrokarbonene har forbindelser som i tillegg til hydrogen- og karbonatomer, kan inneholde nitrogen, svovel, oksygen eller spormetaller som vanadium og nikkel (Kooyman 2010). Mengden av disse forbindelsene varierer stort mellom de ulike reservoarene, som gir råoljen ulike egenskaper som varierer fra reservoar til reservoar (Lundberg 2009).

Denne geografiske variasjonen i de fysikalske-kjemiske egenskaper gjør oljeoppsamling mer kompleks ettersom oljens viskositet og oppførsel er ulik ut ifra hvor en driver oppsamling. Viskositeten til råolje varierer fra 3 til 2000 cP ved 13 °C. Til sammenligning har vann viskositet 1 cP ved 20°C.

Råoljen i Nordsjøen er en middels lett råolje med hensyn på tetthet. Nordsjøoljen har et høyt voksinnhold noe som gjør den svært seig når den nærmer seg stivnepunktet (Lundberg 2009).

**Tabell 7: Råoljens egenskaper rundt om i verden (Lundberg 2009)**

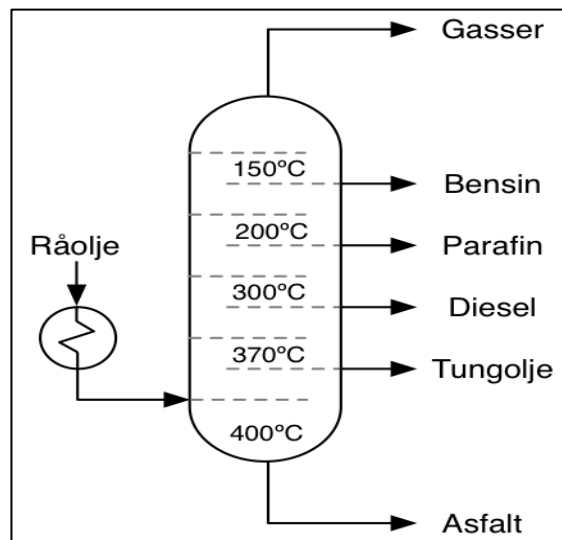
Området	Enhet	Nord-			Nord-	Sør-
		Afrika	Nordsjøen	Midtøsten	Amerika	Amerika
Tetthet(15°C)	kg/l	0,801	0,842	0,869	0,89	1
Svovel	Vekt %	0,1	0,3	2,5	1	5,5
Viskositet(38°C)	cP	1,4	4,5	9,6	13,4	19400
Stivnepunkt	°C	-51	0	-24	0	15
Voks	Vekt %	3	9	6	7	2

Fra Tabell 7, ser vi at tetthet og viskositet varierer en stor del geografisk. Også i Nordsjøen vil en kunne se store forskjeller i verdier fra de ulike feltene.

**Tabell 8: Råolje-egenskaper i Nordsjøen (Singsaas et al. 2002)**

Området	Enhet	Njord	Norne	Troll	Oseberget	Gjennomsnitt
Tetthet(13°C)	kg/l	0,835	0,864	0,893	0,853	<b>0,86</b>
Viskositet(13°C)	cP	51	117	27	11	<b>51,50</b>
Stivnepunkt	°C	-9	15	-18	-9	<b>-5,25</b>
Voks	Vekt %	6,4	8,4	2	2,8	<b>4,90</b>
Grenseflatespenning	mN/m	12	10	13	18	<b>13,25</b>

Denne forskjellen i fysikalsk-kjemisk egenskaper gir også ulik mengde av de forskjellige råoljefraksjonene. Ved å raffinere råoljen får vi destillert ut de ulike oljefraksjonene. Dette hjelper oss med å finne ut hvordan råoljen oppfører seg over tid på overflaten. Er det stor andel lette fraksjoner, gir det oss en indikasjon på at råoljen vil forandres relativt hyppig bare de første 24 timene (Singsaas et al. 2002). Andelen av fraksjonene gir også et bilde på hvor karbonrikt oljen er ettersom karbonatener øker med økning i kokepunkt.



Figur 9: Oljefraksjoner ved ulike temperaturer (bitjungle 2010)

Figur 9, viser hvilke grader der ulike fraksjonene fordampes. Det lave svovelinnholdet i Nordsjøen gir høyt utbytte av mellomdestillater (200°C-350°C) og fyringsolje. For eksempel har Nordsjøen 19,1 % utbytte av diesellolje. Bare Nord-Amerika har mer med sine 19,6 % (Lundberg 2009).

### 3.1.1.2. Drivstoff i skipsindustrien

Tungolje er som vist på Figur 9 en fraksjonstype i destilleringsprosessen. Den blir benyttet som drivstoff til skip og er en halvraffinert olje. Som drivstoff for alle typer skip bruker man samlebegrepet bunkersolje der vi skiller mellom de lette og tunge bunkersoljene. Lette bunkersoljer er diesel og gassoljer, mens tyngre bunkersoljer er mer rene tungoljer. I oljeoptak-sammenheng er en overgang mellom lettere og tyngre bunkeroljer mest relevant. De forskjellige produktene blir inndelt i ulike viskositetsgrupper fra A til E. De relevante gruppene som nevnt ovenfor holder til i viskositetsklasse D (viskositet mellom 80 og 180 cSt) og E (viskositet mellom 180 og 379,9 cSt). Det er 21 % av skipstrafikken som bruker viskositetsklasse D og 55 % som bruker E.

**Tabell 9: Viser hvordan de utseilte distansene fordeler seg innenfor Kystverkets fem regioner over lettere og tyngre drivstoff. Tallet viser 1000x nautiske mil, og parenteser viser andelen av total skipstrafikk (DNV-Rapport 2013). DNV rapporten er ikke 100 % kvalitetssikret, men er svært troverdig ifølge Bjørn R. Frost ved Kystverket**

1000 x nautiske mil	Sør-Øst	Vest	Midt-Norge	Nordland	Troms og Finnmark
<b>Lettere produkter</b>	1 352 (28 %)	6 017 (51 %)	3 756 (56 %)	3 606 (62 %)	3 244 (66 %)
<b>Overgang mellom lettere og tyngre</b>	1 921 (40 %)	3 643 (31 %)	2 107 (32 %)	1 586 (27 %)	1 015 (21 %)
<b>Tyngre produkter</b>	1 508 (32 %)	2 035 (17 %)	797 (12 %)	659 (11 %)	667 (14 %)
<b>Total</b>	4 780 (100 %)	11 694 (100 %)	6 659 (100 %)	5 851 (100 %)	4 926 (100 %)

Ut ifra Tabell 9, ser man at det er større andel lettere oljeprodukter i nord enn i sør. Hovedgrunnen er lov restriksjoner om bruk av tungoljer i arktiske strøk.

Bunkersolje er mye seigere og tyngre enn råoljer, noe som gjør det svært vanskelig for oljevernutstyr å håndtere. I tillegg er de mye verre for miljøet, spesielt ved landsonen (Oljevern.no 2010).

### 3.1.1.3. Sjøvann

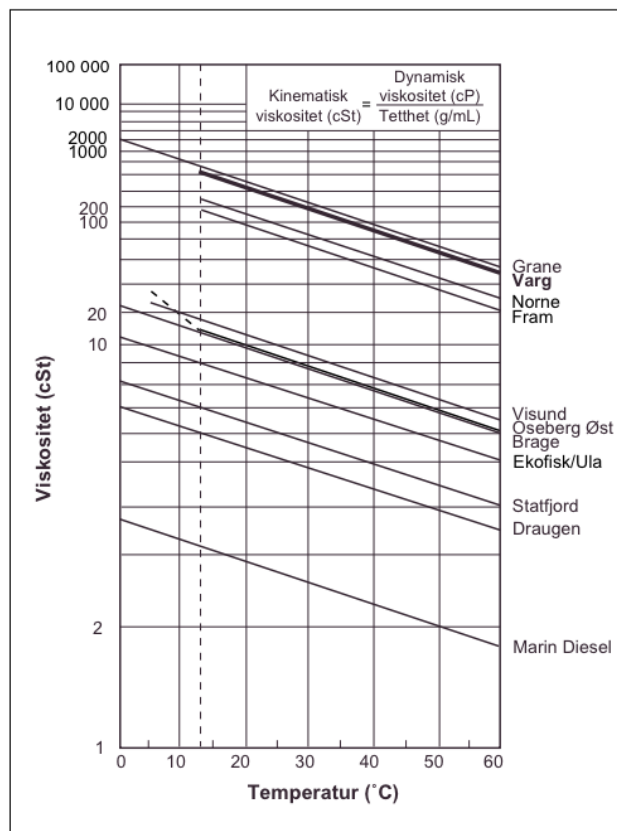
Egenskapene til sjøvann avhenger av temperatur, saltinnhold og trykk. Standard sjøvann har et saltinnhold på ca. 35 g per liter. Dette er en balansert verdi i åpent hav, men kan variere noe med klima. Tettheten vil avta ved økende temperatur. Ved 4°C, 35g/l salt og 1atm. trykk er tettheten på 1028 kg/m<sup>3</sup> på sjøvann ifølge "UNESCO equation of state" (UNESCO 2010). Saltet i havet er derfor med på å favorisere separasjonsprosessen ved å øke tetthetsforskjellen mellom olje og sjøvann.

### 3.1.2. Olje sin oppførsel i vann

Gjennom forvitring, spredning og sedimentering av oljen vil oljen få endret mye av sine egenskaper. Hvordan de influeres av de ulike prosessene avhenger av de fysikalsk-kjemiske egenskapene, miljømessige forhold og vannets egenskaper (Carroll et al. 1999). Siden oljen endres over tid vil effekten endres etter hvor raskt man reagerer.

## Vinter vs. sommer

Egenskapene til oljen vil endre seg avhengig av om det er vinter eller sommer. Generelt anses vintertemperaturen i sjøvann å være 5 °C og sommertemperatur til 13 °C . Fordampningsprosessen vil da naturligvis være hurtigere om sommeren enn vinteren. Denne temperaturforskjellen gir en radikal viskositetsendring. Dette ser vi på Figur 10, der det er store forskjeller innad en oljetype, samtidig som de forskjellige råoljer har markante variasjoner seg i mellom (Resby & Moldestad 2000).



Figur 10: Forholdet mellom temperatur og viskositet (Resby & Moldestad 2000)

## Fordampning

Råoljen i Nord-Afrika har lav tetthet, noe som gir en høy mengde av lett olje fraksjoner. Lave oljefraksjoner har som sagt en lett tendens til å fordampe. Oljen vil da tape mye av sin volumandel raskere enn tyngre oljer. For eksempel vil bunkersolje (IF180) fordampe lite de første 3-5 dagene (IEA 2012).

Gjennom fordampningen vil oljen få en høyere tetthet, viskositeten vil øke og voksinnholdet vil bli mer konsentrert. Bare viskositeten kan øke mellom 5-20 cSt det første døgnet. I områder der råoljens tetthet er høy, som i Midtøsten (Tabell 7), vil ikke fordampnings-

hastigheten være like hurtig, og man har bedre tid til å samle opp oljen. Nordsjø-olje er middels-lett og består mest av lette fraksjoner. Siden temperaturene er såpass lave er ikke det like kritisk med fordampnings muligheter som andre steder. Som regel fordamper alle komponenter med et kokepunkt lavere enn 200°C innen 12-24 timer, mens komponenter med kokepunkt 200-270 °C fordamper innen noen dager (Singsaas et al. 2002). Fordampningshastigheten avhenger av sjø- og lufttemperaturen, solstråling, vindstyrke, bølger og emulsjonsdannelse.

### **Vann-i-olje emulsjon**

Ved kraftige bølger og vindstyrke kan vann-i-olje (V/O) emulsjon oppstå. Vannet trekker da inn i oljen som fører til at fordampningsprosessen vil avta og oljen forblir på havoverflaten over lengre tid. Hvor mye vann oljen tar opp, bestemmes av oljens kjemiske sammensetning, men med riktige forhold kan emulsjonens vanninnhold bli opp til 70 % (Carroll et al. 1999). Ved et slikt stort vanninnhold vil oljeflaket være 2-3 ganger så stort som det opprinnelige utslippsvolumet. Med en økning i vindstyrke fra 5m/s til 10m/s kan vannopptakshastigheten bli 20 % større. I tillegg øker emulgeringshastigheten med voksinnholdet. Det er derfor stor mulighet for V/O emulsjon i det voksrrike Nordsjøen. Viskositeten og elastisiteten øker også med økningen av vanninnholdet (Resby & Moldestad 2000).

### **Olje-i-vann emulsjon**

Hastigheten på olje-i-vann (O/V) dispergering vil på lik linje som V/O -emulgering være avhengig av værforholdene. Kraftige bølger og sterk vind vil påvirke oljens energi og redusere grenseflatespenningen mellom væskene, slik at oljen brytes opp og dispergerer i vannet. Sannsynligheten for at den dispergerte oljen flyter opp på overflaten igjen avhenger av tetthetsforholdet mellom oljedråpen og vannet, dråpestørrelsen og turbulensnivået i sjøen (Carroll et al. 1999). Generelt sier man at "0,5 % -2 vol % olje vil dispergere per time ved starten av et søl ved moderate forhold" (Singsaas et al. 2002).

### **Spredning**

Egenskapene til oljen og grenseflatespenningen mellom oljen og vannet har stor betydning for spredningen av oljeflakene. Grenseflatespenningen støter vannet fra oljen slik at oljeflaket ikke forstyrres av vannet. Ved høy spenning vil oljeflaket ha gode spredningsegenskaper. Ved høy oljetetthet og oljeviskositet vil spredningen avta. Dette betyr at spredningen vil avta etter

hvert som oljen fordampes. I tillegg vil olje med stivnepunkt 10 til 15 °C høyere enn sjøtemperaturen ha større vanskeligheter for å spre seg (Singsaas et al. 2002).

Vind og strøm er de viktigste faktorene som påvirker spredningshastigheten. Erfaringsmessig har oljespredningen en 3 % hastighet i forhold til vindhastigheten samtidig som den styrer 30 grader til høyre (med vind i ryggen) (Carroll et al. 1999).

Utformingen på oljeflakene har som regel et 90/10 forhold. 10 % av arealet vil bestå av 90 vol% tykk V/O-emulsjon. Disse flakene har en tykkelse fra 1 til 5 mm. De resterende 10 vol% av oljen har bare en tykkelse på mindre enn 0,001 mm og vil dekke resten av arealet til oljeflaket på 90 % (Singsaas et al. 2002).

### 3.1.3. Bølger og strømningsforhold

Ved oljeoppsamling på åpent farvann vil vind, bølger, og strømninger skape utfordringer. Siden oljen ligger som et tynt lag på vannoverflaten vil vinden ha en direkte effekt på oljen ved å skape en overflatestrøm på vannet. Overflatestrøm kan generere en hastighet opptil 3-5% av vindens hastighet (Fenton 2013). Vinden vil også påvirke kyststrømmen. Kyststrømmen vil få en større styrke enn overflatestrøm, ettersom den har en større dybde. Kyststrømmen er en strøm som lever kontinuerlig og blir også påvirket av tidevannet og atlantiske vannmasser (Dahl et al. 2010). Tidevannstømmer kan også by på problemer, spesielt der det er undervannsskjær.

Det er flere lokale strømninger som vil påvirke systemet. Ved ikke-brytende bølger får vi orbitalstrøm, som er en type sirkelstrøm. Denne kan forstyrre væsketransporten av oljen i det den går under vann (fra innløpet til inn i oppsamler). Ved brytende bølger vil man få en kraftig lokal strøm som vil forstyrre oljeflaket før det entrer slusen. Strømninger fra båtpropell og båt vil også skape unaturlig bevegelse i vannet.

Når oljen skjermes av lensene mot slusen kan man få 3 ulike tapsfaktorer; lokale virvelstrømmer og hydrodynamiske sug, med-rivning av oljedåpene grunnet strøm og "kritisk akkumulering" av oljen ved høy viskositet (NOFI 2011).

For slusen og koblingspunktet til oppsamler vil undervannsstrømmer være mest kritisk.

## 3.2. Væskens egenskaper

Oljen vil legge seg på vannoverflaten da den har en mindre tetthet enn vannet. Olje og vann sammen er ikke-blandbare, men de kan danne V/O- eller O/V emulsjon. Hvilket avhenger av forholdene rundt og væskens egenskap. Hvorfor de ikke blandes avhenger både av den kjemiske sammensetningen og de fysikalske egenskapene. Forskjellen i molekylstrukturen til væskene forklarer kjemisk hvorfor de ikke blandes. Vann er en polar molekyl, mens olje er bygd opp av ikke polare molekyler. Polare molekyler blandes kun med polare molekyler, og ikke polare blandes kun med ikke-polare (Oak 2012). Vannet har veldig sterke kjemiske bindinger som gjør vannmolekylene veldig energirike. Saltvann er også energirik, men ikke i samme grad som fersk vann. Olje derimot er mer energifattig enn saltvann (Tyvand 2013).

Fysikalsk er spenningen mellom væskene grunnet til at de ikke blandes. Denne spenningen er en kraft på overflaten som minimaliserer overflaten, danner en barriere mot andre materialer og holder sammen sitt eget material. Den er generelt stabil og kommer av de ubalanserte kreftene på overflaten. Begge væskene har høy overflatespenning. Den endres med temperatur og molekylsammensetning. Synker temperaturen, stiger overflatespenningen.

Når olje og vann blandes og settes i bevegelse får vi en flerfasestrømning. Hvordan væskene oppfører seg mot hverandre i bevegelse avhenger av væskens tykkelse (viskositet). Hvordan tykkelsen forandrer seg med forholdene vil avhenge om de er newtonske eller ikke-newtonske.

### Tetthet

Tetthet er masse per volumenhet, med temperatur og trykk som parametere. Ved normalt trykk er temperatur den kritiske parameteren. Dette er fordi ved normalt trykk kan de fleste væsker kategorisere seg som ikke-kompressibel. Ved svært høyt trykk derimot kan tetthetsendring være relevant. Radikale trykkvariasjonene har ingen effekt på vann, men på væsker som inneholder hydrokarboner, som olje (Fox et al. 2010). I Sepaduct vil trykket være til en hver tid rundt normalt trykk på 1atm, og vi går derfor ut ifra at all væske benyttet i oppsamlingen er ikke-kompressibel.

For vann vil ikke tettheten endre seg noe spesielt ved temperaturendring. Den vil stige litt av avtagende temperatur, og har maksimal tetthet ved 4°C, og vil deretter avta igjen. Olje vil endre sin tetthet ved forskjellig temperatur i større grad. I dette tilfelle med hensyn på de temperatur- og trykkendringene som oppleves i de aktuelle aksjonsområdene, vil



tetthetsendring ligge på en brøkdel (Powley 2006). Dette gjør at vi kan se bort fra tetthetsendringer. Men som vann har olje stigende tetthet ved avtagende temperatur, bare at olje har stigende tetthet nærmere stivnepunktet. Tetthet blir ofte oppgitt i enheten API. Det er en dimensjonsløst målenhet som måler tettheten til olje i forhold til vann med referansetemperatur på 15,56 °C:

$$API_{\text{tyngde}} = \frac{141,5}{\text{Relativ tetthet}} - 131,5, \quad \text{Relativ tetthet} = \frac{\rho_{\text{olje}}}{\rho_{\text{vann}}}$$

Råolje kan kategoriseres i ulike nivåer:

- Lett råolje har API-vekt høyere enn 31,1 °API.
- Midlere råolje har API-vekt mellom 22,3 °API og 31,1 °API.
- Tung råolje har API-vekt under 22,3 °API.

Råolje med en tetthet på 0,86 (som er tetthetsmedianen i Nordsjøen fra Tabell 8) får vi:

$$API_{\text{tyngde}} = \frac{141,5}{\frac{0,86}{1}} - 131,5 = 33,0^\circ \text{ API}$$

Dette beviser at råoljen i Nordsjøen kan benevnes som lett råolje, men kan ved ulike steder med litt høyere tetthet (> 0,87) være en midlere råolje.

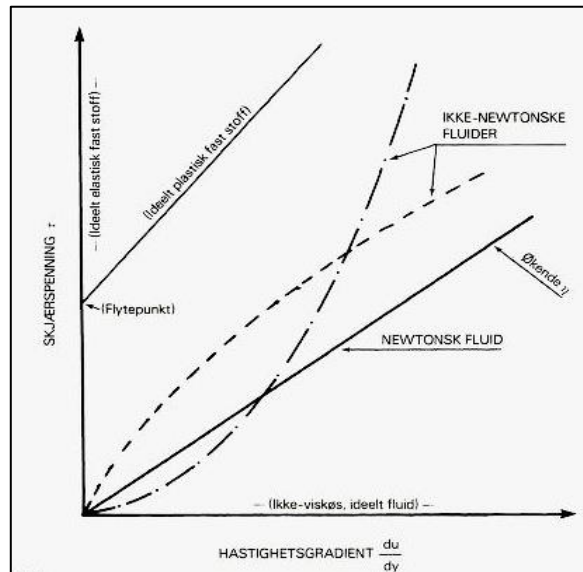
### Viskositet

Det virker ulike kontaktkrefter på væsken, som trykk og friksjon som fører til spenninger. Væsker deformeres når de utsettes for disse skjærspenningene. Viskositeten er en måling som viser forholdet mellom skjærspenningen og deformasjonsraten. Skjærspenningen vil avta jo nærmere sentrum man kommer.

$$\tau = \mu * \left( \frac{du}{dy} \right)$$

Visuelt kan viskositet si noe om hvor seig en væske er, og måler væskens resistans mot flyt. Viskositeten, som sammen med interfasespennning holder væskene adskilt i en flerfasestrømning, vil forandre seg hovedsakelig med temperaturen. Hvordan væskene oppfører seg med forandringer i forholdene må de defineres som enten newtonske eller ikke-newtonske væsker. Forholdet mellom skjærspenningen og skjærraten (deformasjonsraten) er lineær i newtonske væsker, men ikke i ikke-newtonske. Skjærraten er farten til toppvæsken delt på tykkelsen på laget (Fox et al. 2010).

Vann er en newtonsk væske i normale forhold. Råolje kan både være newtonsk eller ikke-newtonsk. Lett vannfri olje vil viskositeten være uavhengig av skjærhastigheten og kan defineres som newtonsk. Voksrike og viskøse oljer som tungolje og V/O-emulsjoner varierer med skjærhastigheten, spesielt nært stivnepunktet og kan karakteriseres som ikke-newtonsk. Nordsjøolje har stivnepunkt rundt 0 °C, og har høyt voksinnhold. Viskositeten avtar ved økende skjærspenning, også kaldt skjær tynnende væske (Bird et al. 1987)



Figur 11: Newtonsk og ikke-newtonsk væske (Brautaset 1999)

Viskositet har to måleenheter. Dynamisk, eller absolutt viskositet og kinematisk viskositet. Dynamisk viskositet måler væskens indre resistans og har benevnningen  $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$ , som også betegnes som 1 poise. Matematisk er dynamisk viskositet proporsjonal med skjærspenningen til væsken ( $K/A$ ) og tykkelsen ( $s$ ), mens omvendt proporsjonal med hastigheten ( $v$ ) (Brautaset 1999):

$$\mu = \left( \frac{K * s}{A * v} \right)$$

For newtonske væsker ved laminær strøm har man en konstant hastighetsgradient gjennom væskelaget. Ved turbulent strømning er ikke gradienten konstant og man kan ikke måle viskositeten. For ikke-newtonske væsker må man finne den tilsynelatende viskositeten gjennom ulike verdier av den dynamiske viskositeten ved bruk av forskjellige skjærhastigheter (Wergeland 2010).

Den kinematiske viskositet er et forholdstall mellom den absolutte viskositet og tettheten, og brukes som målenhet på hvor mye væske som beveger seg over et tidsintervall grunnet sin egen tyngde ( $m^2/s$ ). Denne verdien har en viktig innflytelse på væsken, om den er laminær eller turbulent. Oppsummert måler viskositet en substans resistans mot flyt, mens kinematisk viskositet måler hvor enkelt en substans kan flyte. Matematisk viser den:

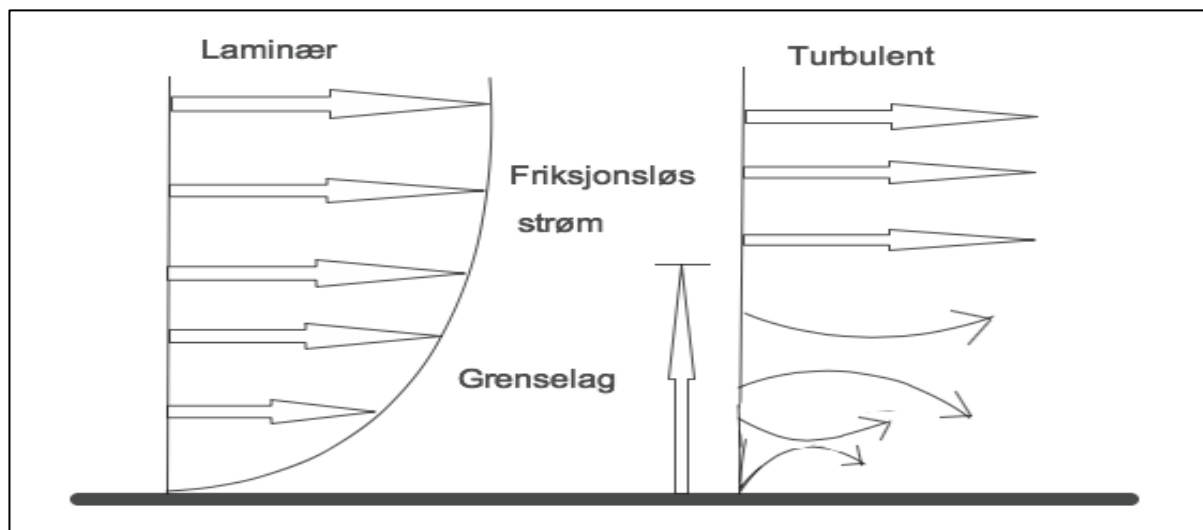
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Den kinematiske viskositeten bruker centi Stokes (cSt) som enhet. Viskositet blir påvirket av temperatur og trykk. Den avtar ved synkende temperatur og øker ved økende trykk. Hvor mye den blir påvirket av temperaturforskjellen blir bestemt av en viskositets indeks  $VI$ . En væske med  $VI=0$  forandrer seg maksimalt, mens  $VI=100$  minst (Brautaset 1999). Den mest kritiske temperaturforandringen skjer ved innløpet til slusen. Dette er fordi, den delen av slusen som er over vann vil holde lufttemperatur, i motsetning til oljen som vil ha sjøtemperatur. Lufttemperatur i Nordsjøen kan bevege seg ned mot  $-20^{\circ}C$ , sammenlignet med sjøtemperatur som ligger mellom  $5^{\circ}C$  til  $13^{\circ}C$ . Når oljen da entrer slusen og blir ledet av det kalde sluse materialet, vil oljen kunne forandre sine egenskaper, i største fall til under stivnepunktet. Om den blir forandret avhenger av om hvordan materialet holder på sin temperatur, om hastigheten er lav nok til at den i det hele tatt for tid på seg til å forandre seg og hvilke viskositets indeks oljen har.

### **Strømningstyper, Reynolds tall**

I strømninger med reelle væsker er treghets- og viskøse krefter fremtredende. Styrkeforholdet mellom disse bestemmer hvilke strømningstype som oppstår. Blir strømmingen dominert av viskøse krefter får vi laminær strømning. Dette er en jevn og rolig væskestrøm som foregår i parallelle væskesjikt der væskepartiklene beveger seg i samme retning.

Domineres derimot væskestrømmen av treghetskrefter defineres strømmingen som turbulent. Dette er en urolig, virvlende strømning som ikke har noen bestemt hastighetsgradient (Haugenes 1994).

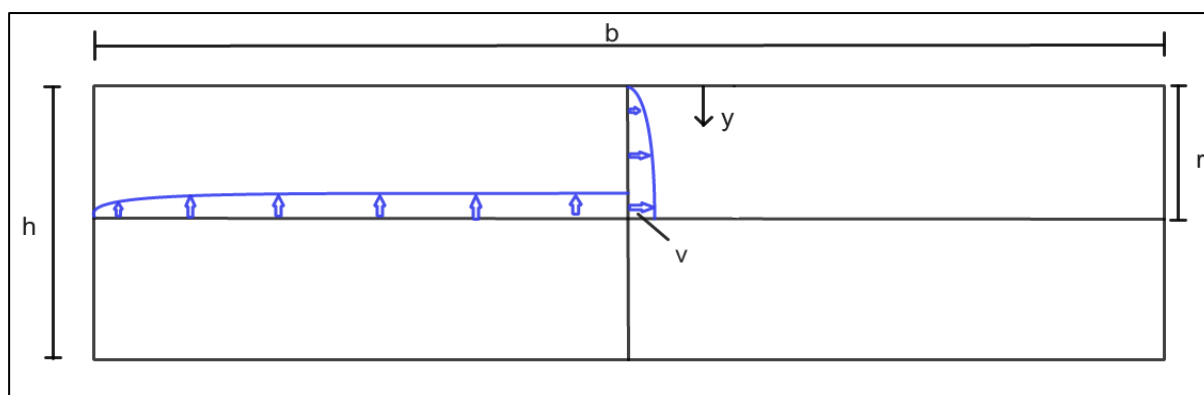


Figur 12: Laminær strømning og turbulent strømning

Når væskestrømningen er i kontakt med flatene i slusen, vil de viskøse kreftene dominere helt inntil flaten. Derfor vil væsken omtrent stå i ro nært kontaktflaten. Utover fra kontaktflaten vil væskens hastighet økes ved vært grensesjikt helt til grensesjiktene ikke forandres og det er en friksjonsløs strømning.

Slusen har et rektangulært tverrsnitt, noe som gjør at den vil ha maksimal hastighet i senter hvor de midterste grensesjiktene krysses (Figur 13). Høyden er mindre enn bredden noe som gjør at hastighetsfordelingen vil avta fortere i høyden enn i bredden. Hastighetsprofiler innover i tverrsnittet mot senter ved  $Re < 150000$  gjelder følgende hastighetsfordeling (Kjølle 1995):

$$v = v_{maks} \left( \frac{y}{r} \right)^{\frac{1}{7}}$$



Figur 13: Hastighetsprofil av viskøs strømning i slusen der hastigheten øker mot sentrum

Skjærspenningen ved laminær strømning er helt avhengig av viskositeten og uavhengig av væskens tetthet, i motsetning til turbulent strømning der skjærspenningen er en funksjon av væskens tetthet (engineeringtoolbox).

For å skille mellom turbulent og laminær strømning brukes Reynolds tall. Det er et dimensjonsløst forholdstall mellom væskes akselerasjon og friksjonskraft. "Stort Reynolds tall betyr at treghetskraftene dominerer (turbulent strømning), lite Reynolds tall betyr at de viskøse kreftene dominerer (laminær strømning)" (Brautaset 1999). Reynolds tall uttrykkes slik:

$$Re = \frac{(v * l)}{\nu} = \frac{(\rho * v * d_h)}{\eta}$$

Funksjonen viser at Reynolds tall er proporsjonal med hastighet og lengde, mens omvendt proporsjonal med den kinematiske viskositeten. Ved høy viskositet vil Reynolds tall være liten.

Ut ifra vedlegg 1 vil avtagende temperaturendring resultere til økende kinematisk viskositet, som stemmer overens med økende viskositetsendring ved avtagende temperatur.

### **Interfasespenning (IFS)**

Når oljen ligger i ro uten forstyrrelser fra omgivelsene vil olje og vann skape hver sin overflatespenning i kontakt med luft som former kroppen og holder på sine væskemolekyler. Overflatespenning skjer ved at alle væskemolekylene trekker like mye på hverandre fra alle kanter med kohesive krefter. Dvs. tiltrekning mellom like molekyler. Vann, som er en polar væske, har høyere kohesive krefter enn adhesive krefter og molekylene trekkes mot sentrum. Dette gjør at molekylene gjør overflaten så liten som mulig siden ingen molekyler vil være ytterst og vi får en sterk elastisk overflate (Clugston & Flemming 2000). Vann har av den grunn en større overflatespenning enn olje (Tyvand 2013).

Interfasespenning, som er overflatespenning mellom to ikke-løselige væsker, vil være en viktig parameter i separasjonsprosessen. Den forklarer blandbarheten mellom væskene. Er spenningen liten mellom oljen og vannet vil de være blandbare. Det er derfor viktig å opprettholde så stor spenning som mulig. IFS er definert som en kraft normalt gitt i N/m eller energi per areal. Netto effekten av IFS er fri energi, dvs. forskjellen i IFS mellom væskene kan defineres som ren fri energi. Typiske IFS-verdier mellom destillert vann og råolje ligger rundt 20-50 mN/m. (Xu 2005).

IFS øker med mengden asfaltener som er en molekylær substans i råoljen. IFS øker også med viskositeten (Fan 2005), men dette er vanskelig å måle. IFS er tidsbestemt og avhenger om væsken er i ro eller i bevegelse i henhold til den andre væsken. Ved mye bevegelse blir også dråpestørrelsen og formen annerledes noe som gjør måling vanskelig.

### 3.3. Teoretisk grunnlag

Hovedmålet er å skille olje og vann, for så å kun samle oljen i en oppsamler ved hjelp av de fysiske forskjellene til vann og olje. Oppdrift, sammen med viskositet og IFS er hovedparameterne i fysikken bak prosjektet. Viskositeten og IFS bidrar med å holde væskene separert. Viskositeten gir væsken personlighet, mens IFS gjør alt den kan for å holde væskene adskilt. For å effektivisere konseptet må oljen få så store oppdriftsegenskaper som mulig. For å få dette til bør oljen opprettholde sin størrelse, eller i bestefall samle seg mer gjennom slusen. Da blir målet om maksimert mengdevolumet nådd når oljen kommer til utløpet. For å ikke få for stort hastighetstap ønskes det at trykktapet er så minimalt som mulig. Dette trykktapet kan forekomme gjennom turbulens i strømmingen og overganger. Med overganger menes det kanter og flater som forstyrrer flyten til væsken. Når vi får trykktap mister væsken hastighet og det forekommer stuing. Dette fører til at væsken ikke får noe spesiell retning og all væsken vil blande seg. Vannet vil da dra med seg oljen i denne turbulensen og vi får negativ separasjonseffekt.

Slusen er designet med en innsnevring i håp om å effektivisere separasjonsprosessen.

Som målsetting ønsker vi å gjøre slusen så stabil som mulig. Vi er avhengig av at den ligger i ønsket posisjon i vannet under hele sekvensen. Kraftloven blir derfor satt på prøve for å finne hvilke krefter som påvirker slusen og eventuelt hvor stor tyngde det trengs for å overvinne vannskiprinsippet.

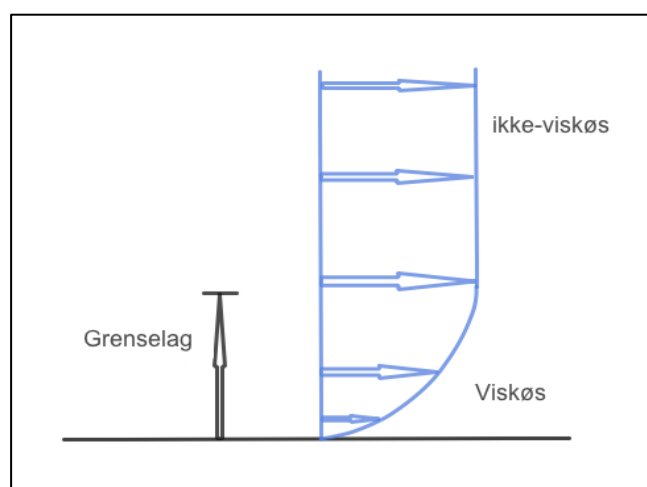
Vannskiprinsippet vil skje når et legeme med ett gitt overflateareal blir dratt bortover vannoverflaten med en gitt hastighet. Slusen har en utforming som nettopp utsettes for dette. Ved økende hastighet blir dette enda mer inntredende, og større tyngde påkrevs på slusen for å holde den i ønsket posisjon.

### 3.3.1. Avgrensninger

I hydrodynamikken må en tilfredsstillende del betingelser for å benytte ulike matematiske metoder. Hvordan væskens egenskaper forandrer seg ved endring i temperatur og trykk over tid vil variere. Det er derfor viktig å kartlegge væsken og væskens omgivelser for å få et godt teoretisk grunnlag. All fysikk er basert på hvordan væsken oppfører seg i en lukket kanal.

Som nevnt tidligere anser vi væsken som en inkompressibel væske. Trykkforandring i strømfeltet (strømrørret) vil ikke gi noen store tetthetsendringer i væsken, og man har konstant massetetthet.

For å finne ut om viskositeten har noe betydning i væskestrømningen er man avhengig av Reynoldstallet. Er tallet svært høyt dominerer treghetskreftene og vi har en ikke-viskøs strømning. Dominerer de viskøse kreftene har vi en viskøs strømning. Siden strømningen blir påvirket både i hastighet og retning grunnet veggens innsnevring og bend, vil viskositeten senke væskens hastighet desto nærmere væsken kommer veggen. Strømmen i slusen blir derfor påvirket av viskositeten, spesielt ved et tykt oljeflak. Man kan derfor gå ut ifra at det eksisterer en viskøs strøm i nærheten av veggen, og en ikke-viskøs strøm utenfor grenselaget. I grenselaget er hvor de viskøse kreftene har betydning (Fox et al. 2010). Ideelt vil oljeflaket holde seg stabil og vil under hele prosessen bevege seg langs veggen. Man får da en tofasestrøm med oljen innerst som en viskøs strøm, og sjøvann fra det ytterste oljegrenselaget og utover som en ikke-viskøs strømning.

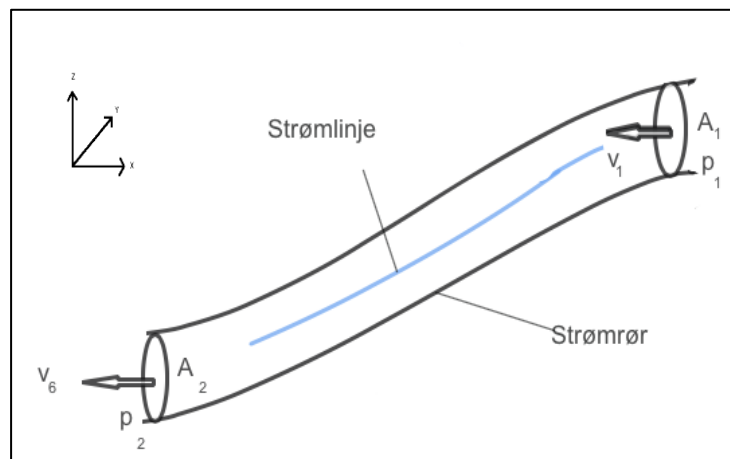


Figur 14: Grenselag til viskøs strømning og ikke viskøs strømning

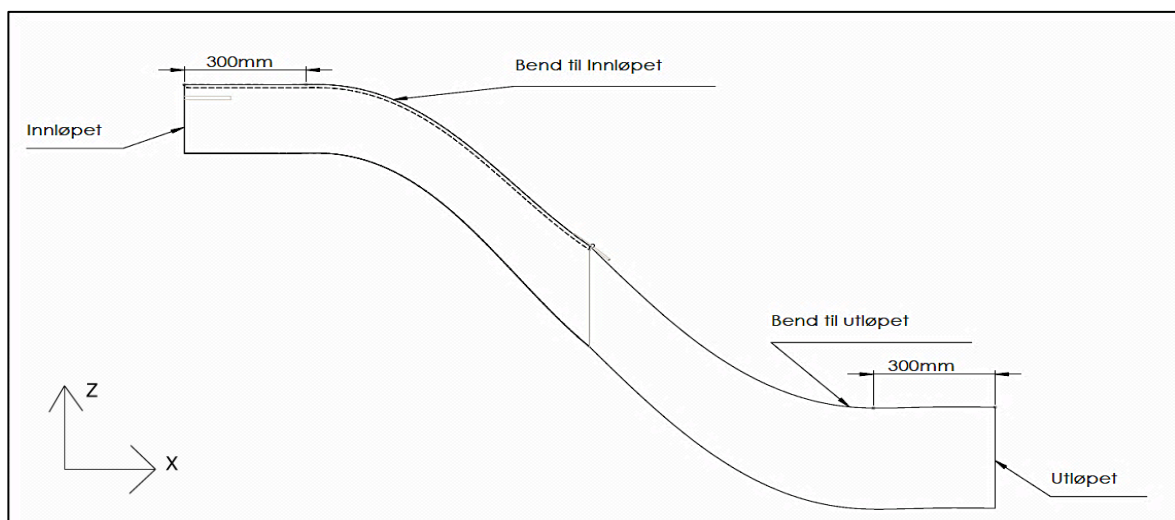


Hvordan væsken beveger seg i forhold til veggen avhenger også av friksjonen i væsken og mellom væsken og veggen. Hvis væskepartiklene kan bevege seg fritt i forhold til hverandre uten friksjon, har væsken ingen indre friksjon. Ved ingen indre friksjon vil det heller ikke være friksjon mellom væsken eller veggen den strømmer gjennom.

En annen betingelse er å avgjøre hvorvidt strømmingen er stasjonær eller ikke. En stasjonær strømming eksisterer hvis strømningslinjen til en væskestrøm ikke forandrer seg med tiden. Dette avhenger av at væskepartikler ikke kan komme inn eller forlate strømrøret. Et strømrør er hvor alle strømlinjene beveger seg gjennom. Hvis man ser for seg ideelle forhold med lukket sluse, har systemet stasjonær strømming. Hvis slusen er åpen, samtidig som strømminger og bølger er tilstede, vil vi ha en ikke-stasjonær strømming (Davidsen 2012).



Figur 15: Strømlinje og strømrør i slusen



Figur 16: Forklarings figur med innløpet, bendet og utløpet

### 3.3.2. Kontinuitetsprinsippet

Fartsøkningen i systemet kan vi beregne oss frem til ved hjelp av kontinuitetsprinsippet. Kontinuitetsprinsippet sier at volumstrøm inn ( $Q_{inn}$ ) er lik volumstrøm ut ( $Q_{ut}$ ) (Brautaset 1999), forutsatt at det er en inkompressibel væske.

Altså:

$$Q_{inn} = Q_{ut} \rightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2.$$

For å få en hastighetsendring er vi avhengig av å forandre tverrsnittets areal. Energilikningen, Bernoullis ligning på trykkform

Vi bruker kunnskapen om energibetraktninger for å finne ut hvordan slusen skal utformes og konstrueres. Energiligningen sier at energi inn ( $E_{inn}$ ) er lik energi ut ( $E_{ut}$ ). Ettersom vi ser bort fra endringen i indre energi kan de ulike energiformene endres i væsken. Disse formene er kinetisk energi, trykkenergi og stillingsenergi. Hvis vi ser på energiligningen også kalt Bernoullis ligning basert på energi pr. masseenheter kan setningen forenkles til:

$$E_{inn} = E_{ut} = \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gh = \text{konstant}$$

Ligningen gjelder kun for stasjonær strøm i en inkompressibel væske uten indre friksjon (uten viskositet) (Davidsen 2012).

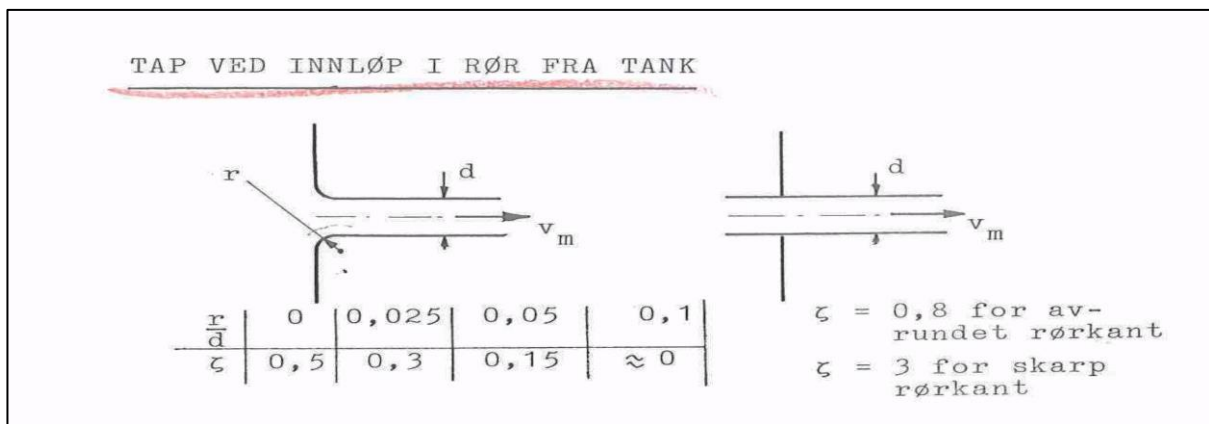
“Væsken, som består hovedsakelig av olje og vann, har ulik viskositet. Dette gjør at ved strømning oppstår [det] skjærkrefter [mellom væskene], slik at man får en irreversibel prosess” (Brautaset 1999). Med dette menes det at den opprinnelige energien ikke holdes konstant og det vil oppstå et energitap i prosessen. Trykket i væsken vil reduseres og den indre energien avtar. Ved å ta hensyn til denne indre friksjonen vil Bernoullis ligning se slik ut i trykkform:

$$\rho \frac{v_i^2}{2} + p_i + gh_i = \rho \frac{v_u^2}{2} + p_u + gh_u + \Delta p_{tap}$$

Vi ønsker å få energitapet så lite som mulig, dvs. minimum trykktap. Dette forekommer i innløp, bend, kropp og utløp. Trykktapet for innløp er definert

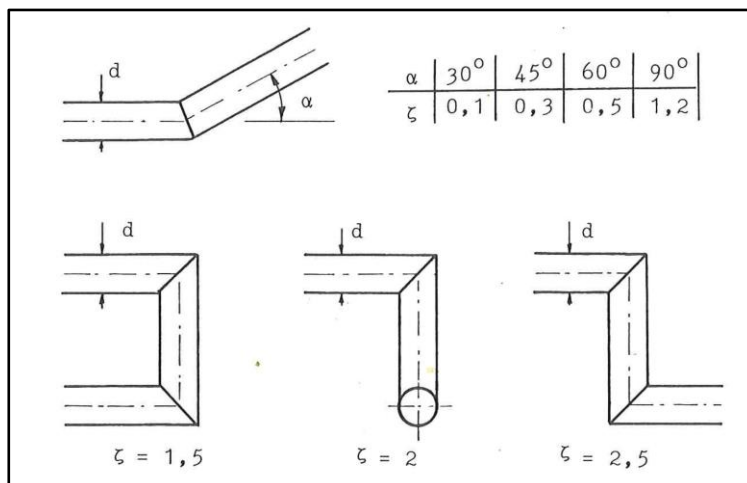
$$\Delta p_{tap} = \zeta * \rho * \frac{v_m^2}{2}$$

der  $\zeta$  er en tapsfaktor basert på erfaringer i Figur 16 (Brautaset, 1999).



Figur 17: Tapsfaktor ved innløp (Brautaset 1999)

I kroppen vil væsken møte formmotstand i "bendet" og en eventuell rørfriksjon. Disse tilfellene vil skape energitap slik at vi ikke får maksimal effekt ut av slusen. Dette energitapet øker med vinkelen på bendet, og blir bestemt av en tapsfaktor  $\zeta$ . Denne baseres på erfaringsverdier vist i Figur 18 og har lik formel som tap ved innløp.



Figur 18: Tapsfaktor i bend (Brautaset 1999)

Det vil også forekomme tap for rette rør. Dette tapet avhenger om væsken har laminær eller turbulent strømning. Hvilken type strømning avhenger av den kinematiske viskositeten til væsken (Brautaset 1999). Ut fra vedlegg 1, ser vi at den er svært avhengig av temperaturen. Den aktuelle temperaturen er lav, derfor høy kinematisk viskositet.

$$\Delta p_{tap} = \lambda * \frac{l}{d} * \rho * \frac{v_m^2}{2}$$

Lambda ( $\lambda$ ) bestemmes ved laminær og turbulent strømning.  $l$  er den karakteristiske lengden på strømlinjen, mens  $d$  er indre diameter på strømrøret.

### 3.3.3. Termodynamikk

Termodynamikk er grunnleggende teori om sammenhengen mellom energi, varme og arbeid (Pedersen 2009). Denne energien blir også kalt for den kjemiske energien i en prosess. I prosjektet vårt så har vi to ulike komponenter; olje og sjøvann. Disse to lager ikke noen kjemisk reaksjon seg imellom, men derimot lager en blanding.

Termodynamikken har to lover:

1. Energi kan hverken lages eller ødelegges
2. Den totale entropien i et univers vil alltid øke, ikke reduseres

For å forklare disse må vi forklare mer om entalpi, entropi og Gibbs frie energi.

#### 3.3.3.1. Entalpi (H)

Indre energi oppstår når et system forandrer energi med omgivelsene sine i form av varme eller arbeid. I tilfeller der det eksisterer konstant trykk kan vi måle energien i et system ved hjelp av Entalpi. I likhet med den indre energien er det ikke mulig å måle den nøyaktige entalpiverdien, men derimot forandringen i entalpi ( $\Delta H$ ):

$$\Delta H = H_{produkter} - H_{reagent}$$

Entalpi forandringen kan også forklares ved hjelp av indre energi:

$$\Delta H = \Delta U + pV$$

Der  $\Delta U$  er forandringen i indre energi,  $p$  er trykket og  $V$  er volum.

### 3.3.3.2. Entropi (S)

Entropi måler uorden i et system. Entropien til et system øker dersom massen eller energi til et system fordeles utover et større areal. Den øker også dersom det er faseforandring, for eksempel fra is til vann, om en substans oppløses eller blandes sammen med et annet.

Entropi, likhet med entalpi, måles i som en forandring av energi ( $\Delta S$ ) og er generelt sett definert som:

$$\Delta S = \frac{q}{T}$$

Akkurat som entalpi, er alt avhengig av forholdene mellom systemet og omgivelsene. Når man bruker verdier for entropi, snakker man som oftest om standard entropi for en substans. Denne standarden er da forandringen av entropien mellom produktene og reagentene i en reaksjon:

$$\Delta S^\theta = S_{\text{produkt}}^\theta - S_{\text{reagent}}^\theta$$

Det er dette som da blir entalpien til systemet.

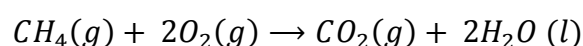
Når man har mulighet til å regnet ut entalpi til en reaksjon samt entropi kan man bruke dette til å finne den kjemiske energi til en reaksjon. Denne energien er også kalt for Gibbs frie energi.

### 3.3.3.3. Gibbs frie energi (G)

Gibbs frie energi kombinerer entalpi og entropi med definert konstant temperatur:

$$\Delta G^\theta = \Delta H^\theta - T\Delta S^\theta$$

Denne energien forklarer energi endringen fra reagent i standardfase omgjort til et produkt i deres standard fase ved gitt temperatur. Dette kan for eksempel være:



Her blir metan gassen og oksygenet forandret fra deres standard fase til karbondioksid og vann i deres standard fase. Om denne verdien er negativ så får vi en spontan reaksjon og om denne er positiv så er det en ikke spontanreaksjon. Fra dette kan vi også se om en ligning er

høyre- eller venstre orientert. Om en reaksjon er spontan, altså Gibbs frie energi er negativ, favoriserer reaksjon høyre siden av ligningen. Dvs. at ved eksempelet over så vil reaksjonen holdes seg som komponenter av vann og karbondioksid. Hadde reaksjon vært venstre orientert ville reaksjonen holdes sin opprinnelige situasjon, altså metan og oksygen.

I dette tilfelle med olje og sjøvann som går igjennom slusen, vil den totale Gibbs energi ( $\Delta G_{tot}$ ) være et produkt av Gibbs energien til sjøvannet og Gibbs energien til oljen.

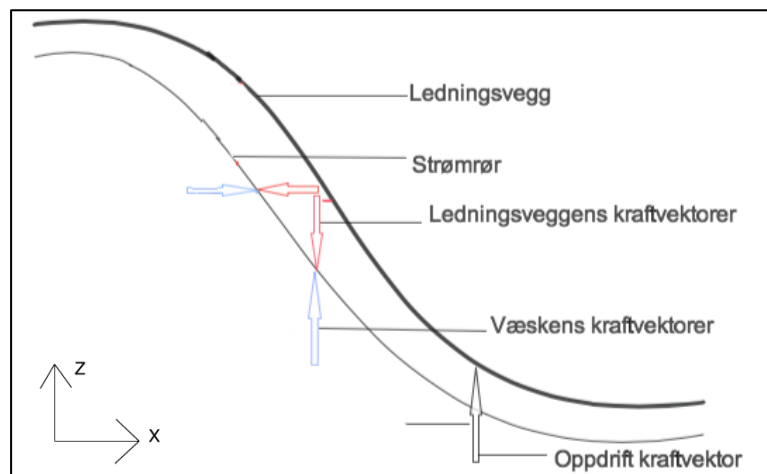
$$\Delta G_{tot} = \Delta G_{sjøvann} + \Delta G_{olje}$$

Saltvannet igjen vil også være delt i to Gibbs ligninger ettersom væsken har en salt komponent og et vann komponent med forskjellige egenskaper.

Ved hjelp av denne informasjon om Gibbs frie energi, kan vi implementere dette inn i Bernoullis ligning ettersom denne energien påvirker hele systemet.

### 3.3.4. Kraftloven

“Kraftloven for stasjonær strømning i x- og y-retningen” (Brautaset, 1999) brukes for å finne ut hvor store påkjenninger sluseveggene får av strømningene og hvor mye krefter som skyver slusen opp.



Figur 19: Kraftpåkjenninger til slusen

Ligningene under sier noe om kreftene som virker på strømrøret fra ledningsveggen grunnet hastighetsendring.

$$\Sigma F_x = \rho Q(v_{ux} - v_{ix})$$

$$\Sigma F_y = \rho Q(v_{uy} - v_{iy})$$

Andre krefter som vil virke på slusens oppførsel er oppdriftskreftene til oljen og tyngdekreftene til materialet. Oppdriftskreftene som virker på et legemet i er gitt ved:

$$F_b = -\rho V g$$

### 3.3.1. Stokes Lov

“Stokes lov er en matematisk metode for å finne kraften ( $F_d$ ) som trengs for å bevege en sfære gjennom en stillestående, viskøs væske med en bestemt hastighet” (Hudson & Shearer). Denne dra-kraften er gitt ved:

$$F_d = 6\pi\mu v d$$

For å finne stighastigheten til en dråpe gjennom en viskøs væske må interne og eksterne krefter som fungerer på sfæren tas med. Disse er gravitasjonskraften ( $mg$ ), oppdriftskraften i tillegg til dra-kraften. Free-body diagram viser:

$$F_b + F_d = mg \rightarrow V_{sfære}\rho g + 6\pi\mu v d = mg, \quad V_{sfære} = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3$$

Stighastigheten til en sfære i en væske kan derfor skrives ut ifra dette:

$$v_{s,o} = \frac{g * d^2 * (\rho_o - \rho_{sw})}{18\mu}$$

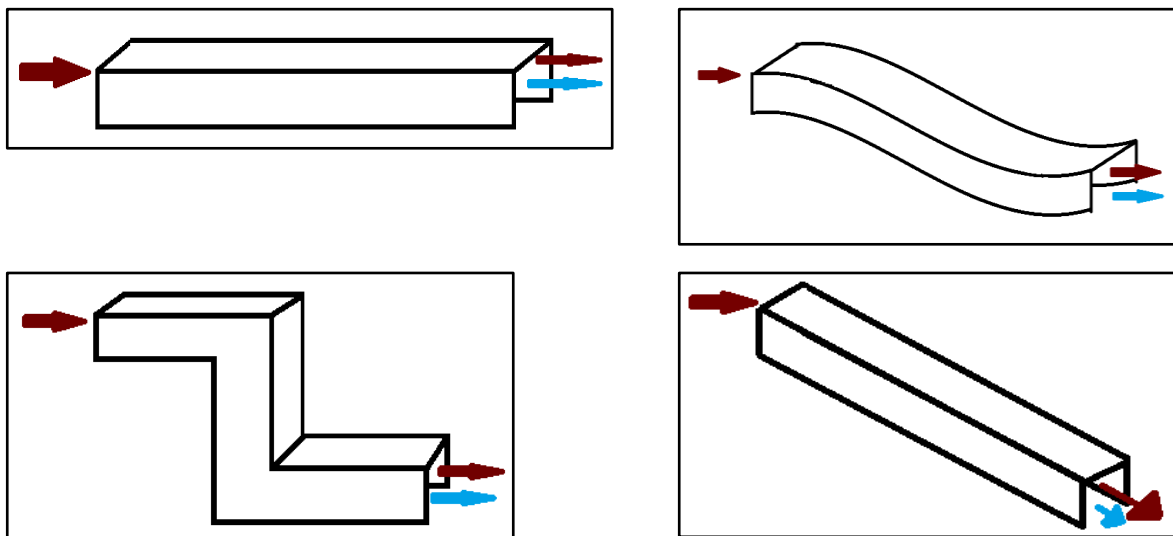
Fra formelen kommer det tydelig frem hvor avgjørende dråpestørrelsen er. For at stighastigheten skal være gjeldende må det være laminær strømning,  $Re > 500$  (Technologies 2002).



## 4. PRODUKTARKITEKTUR

### 4.1. Design

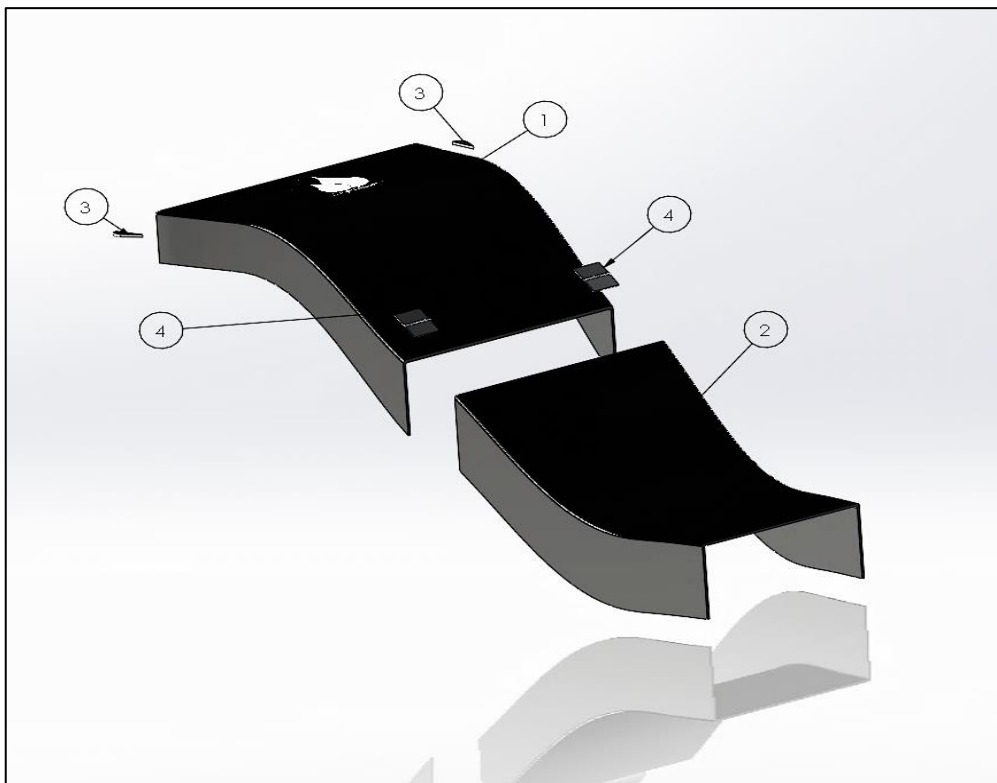
Designet til Sepaduct er basert på en S-formet sluse da det er denne formen som er mest gunstig. Det er erfart fra tidligere prosjekter at formen av typen rett, vinklet og Z gir ugunstige verdier i forhold til energitap og muligheten til å dra nytte av oppdriftsegenskapene til væskene.



Figur 20: *Topp venstre*) rett kropp, *topp høyre*) S-kropp, *ned venstre*) Z-kropp *ned høyre*) vinklet kropp

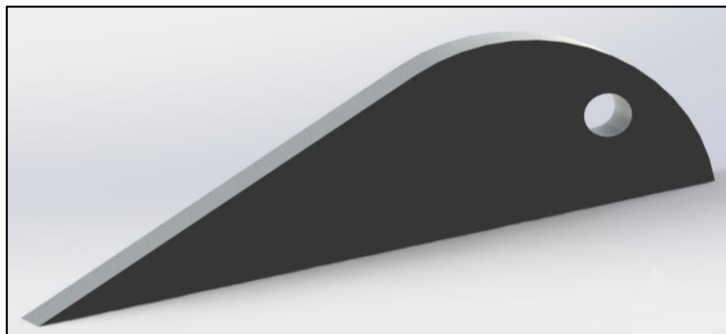
### 4.1.1. Enkelte deler

Sepaduct er fire forskjellige komponenter satt samme til en. Disse komponenter er da front sluse, bakre sluse, braketter og sluse. Verkstedstegninger er gitt i vedlegg 3.



Figur 21: Sepaduct og alle komponentene som følger 1) Front 2) Bakre del 3) Braketter 4) Hengsel

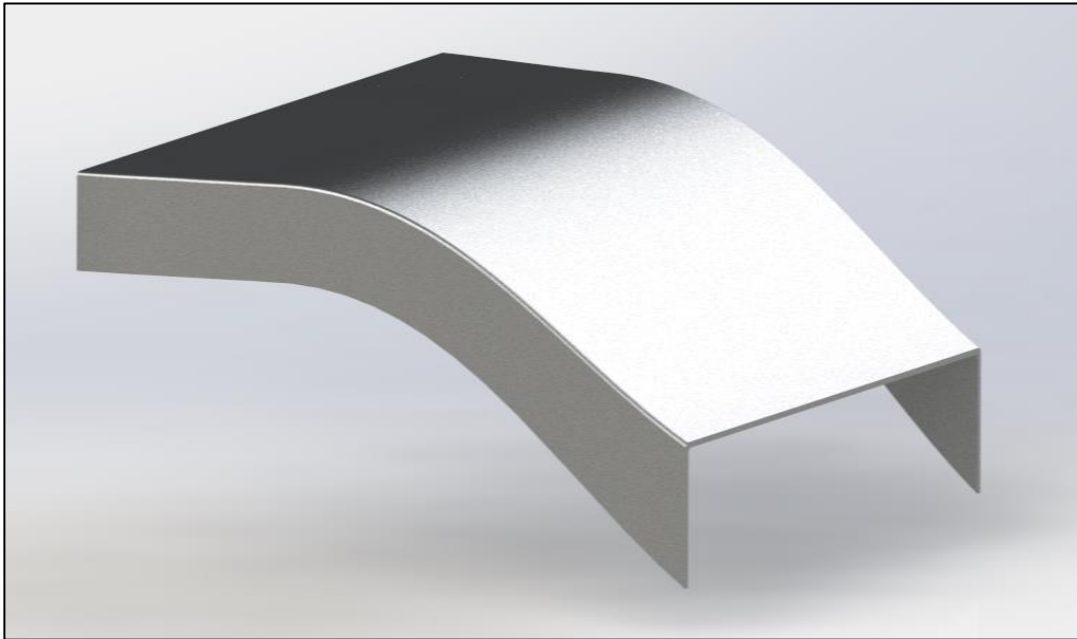
### Braketter



Figur 22: Brakett

Det eksisterer to braketter som blir festet på hver side av innløpet. Formen representerer en halv dråpe.

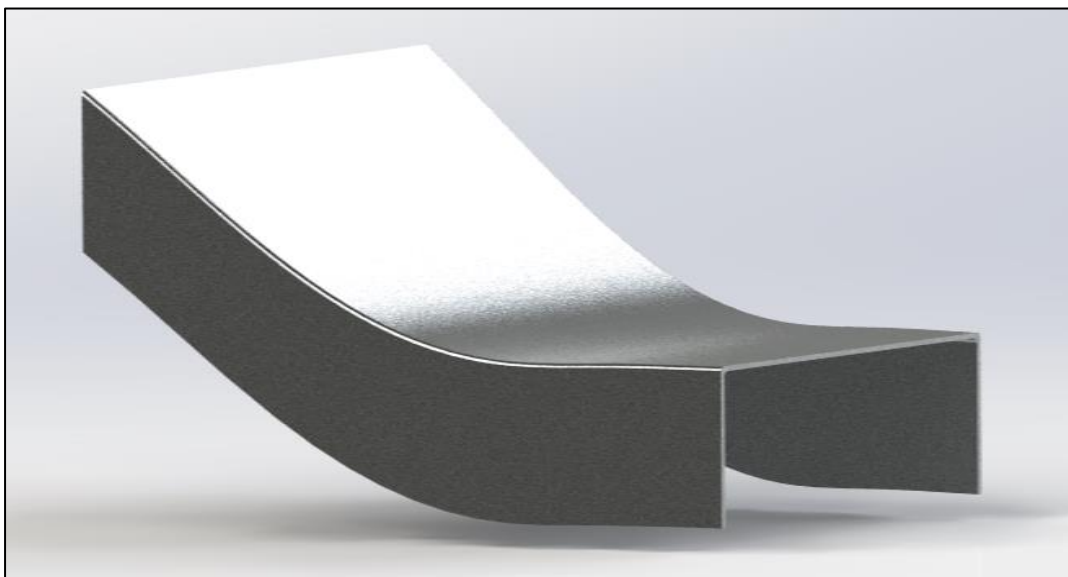
## Fronten



Figur 23: Front del av slusen

Fronten og bakre del av slusen er delt i to, slik at man skal kunne brette den ene del over den andre ved lagring og transportering av produktet.

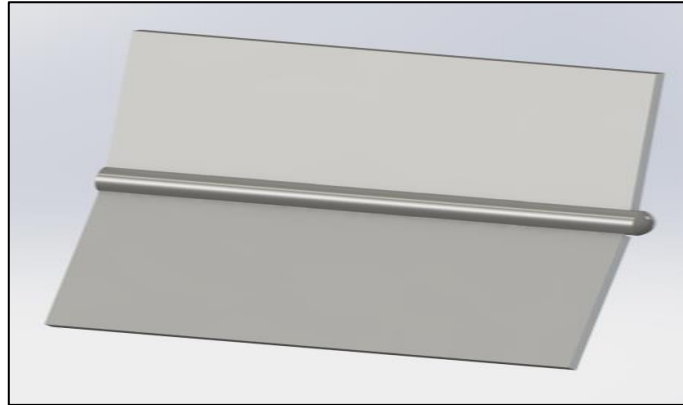
## Bakdel



Figur 24: Bak del av slusen

## Hengsler

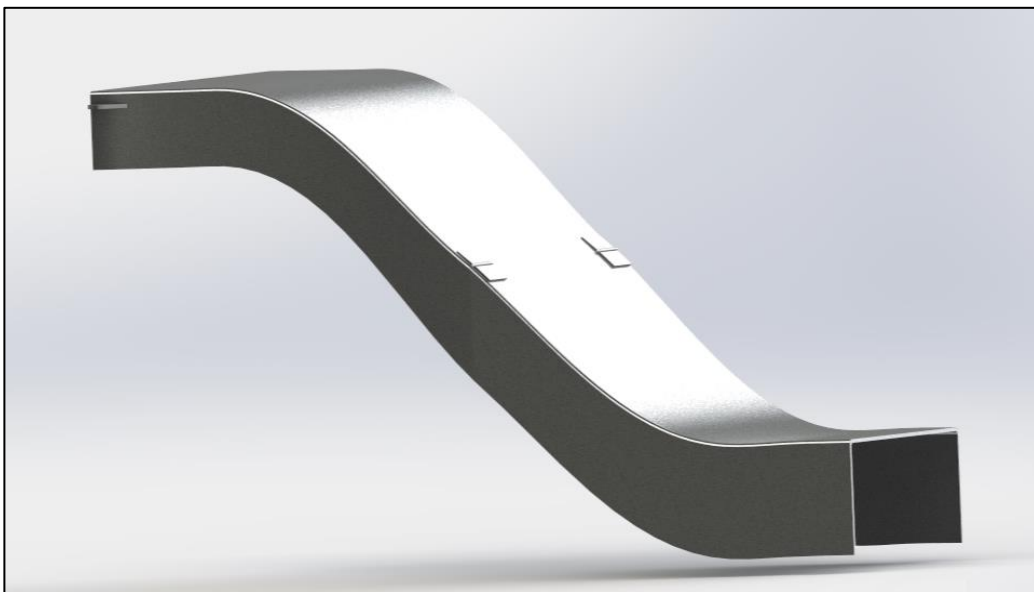
Hengslene fester fronten og bakre del sammen. Det er to stykk av lik type som er festet på delen.



Figur 25: Hengsel

### 4.1.2. Sammenstilling

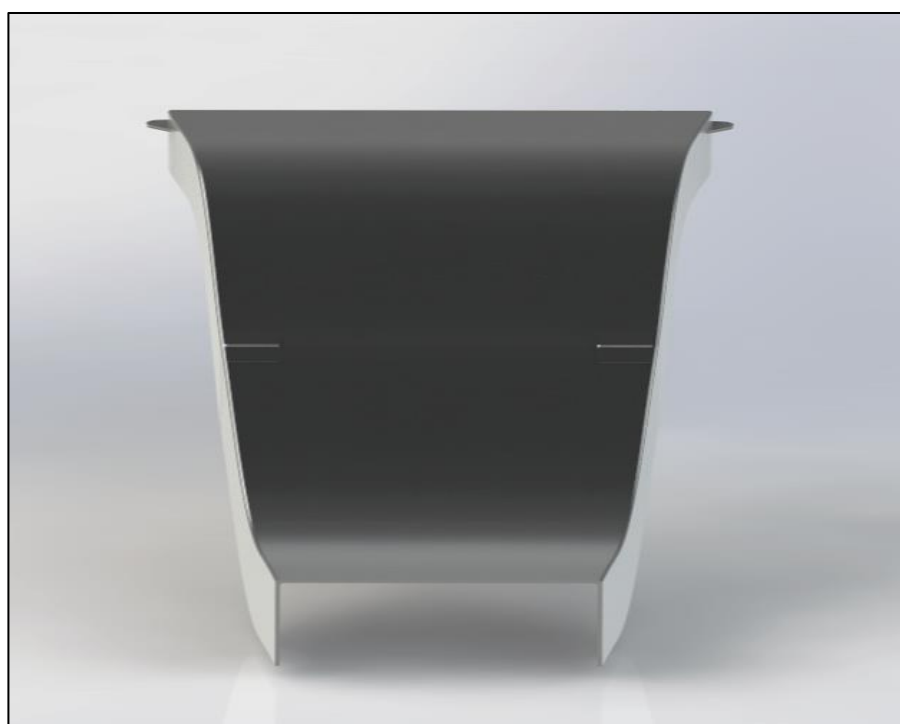
Hele produktet sett som ett.



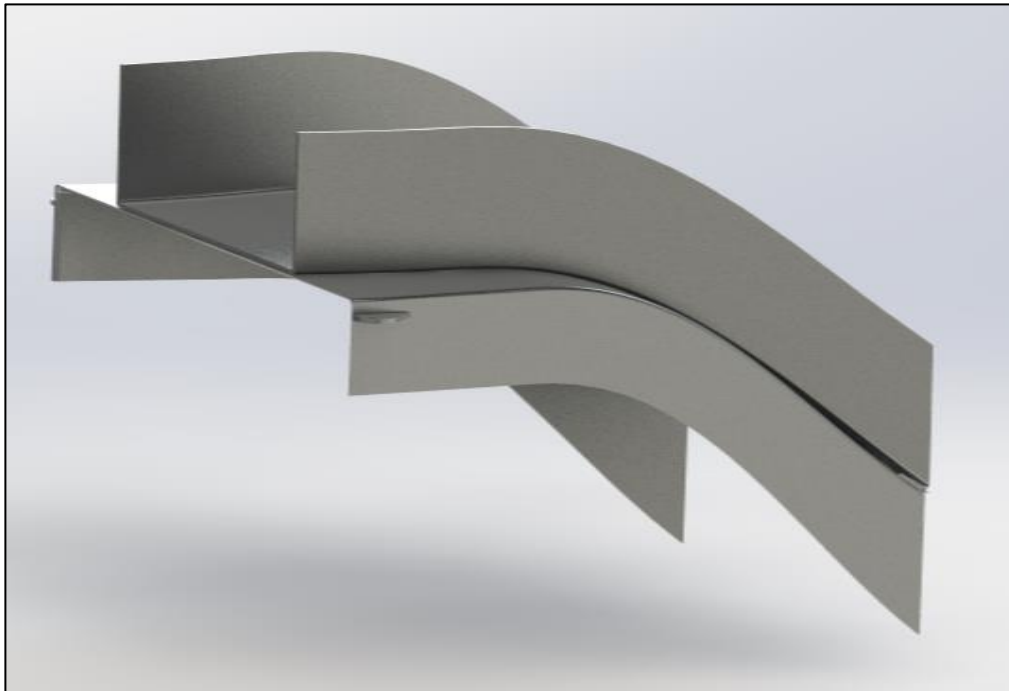
Figur 26: Sepaduct sett fra siden



**Figur 27: Sepaduct sett forfra**

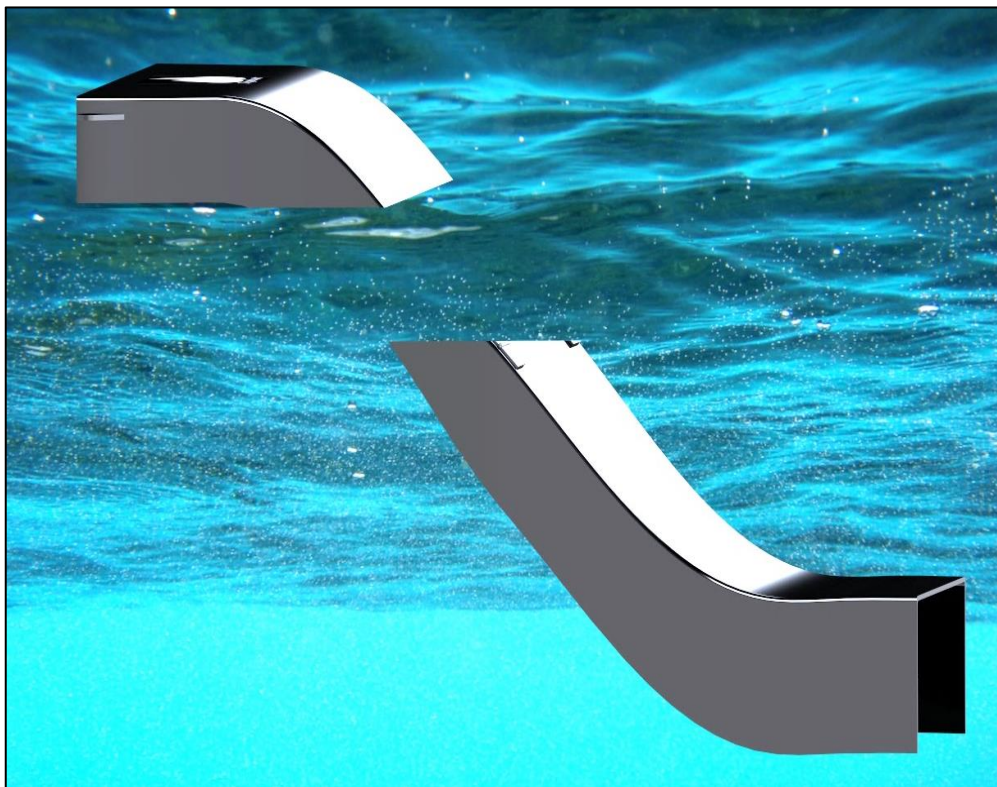


**Figur 28: Sepaduct sett bak ifra**

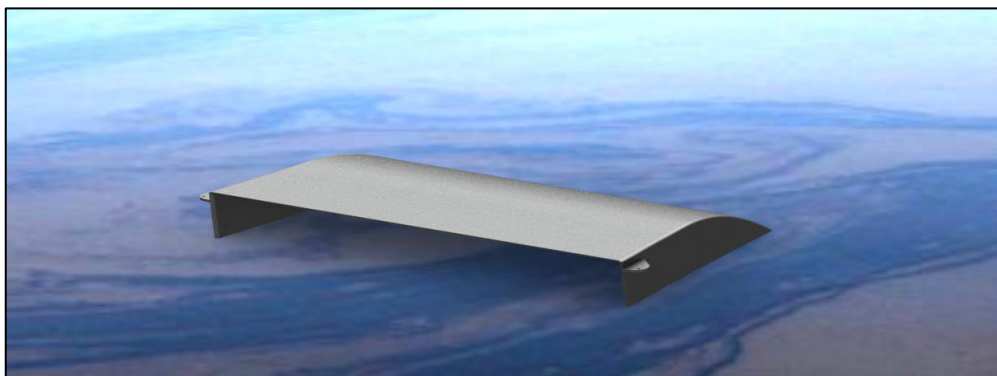


**Figur 29: Brettet versjon av Sepaduct. Bakre del er brettet over fronten slik at produktet trenger mindre lagrings plass**

### 4.1.3. Rendering



**Figur 30: Rendert sammenstilling i sjøvann (Skroski 2008)**



Figur 31: Rendert sammenstilling i oljevann (Conazon 2010)

## 4.2. Materialvalg

De viktigste egenskapene for slusen er at den tåler olje, sjøvann og lave temperaturer. Syrefast stål er kanskje det vanligste å bruke i slike områder, spesielt hvis det skal ligge over lengre tid i sjøvann. Sepaduct skal være i sjøvann over en kort periode, og derfor kan aluminium bli benyttet. Dette produktet må testes, og derfor er det lurt å se på pris og hvor lett det er å få produktet framstilt. Plast kan brukes, spesielt ved masseproduksjon. Vekten gjør at bølger og strømninger vil ha for stor innflytelse på stabiliteten til slusen. Aluminium er lettere å forme. Epoxy med glassfiber er enkelt å lage, og tåler greit olje og saltvann. Den er ikke så god mot slag og støy og kan bli for svak i harde områder.

Tabell 10: Viser forskjellige materialer og deres egenskaper (Rukki 2011) (Grøndalen 2007) (Christensen & Almar-Næss 2009)

Egenskap	Enhet	Aluminium	Syrefast stål	Plast(POM)	Glass fiber epoxy
Sjø,korr,kav bestandig		God	God	God	God
Slagseighet		God	Lav	Høy	Ok
Slagfasthet		Ok	Høy	Høy	Lav
Formbarhet		Bra	Ok	Bra	Bra
Flytgrense, Strekkfasthet	Mpa	100-260(f)	340-510(S)	60-80	-
E-modul	Gpa	70	210	3200	-
Termisk		Bra	Bra	Bra	Bra
Kjemikalere		Bra	Bra	Bra	Bra
Egenvekt	kg/m <sup>2</sup>	2,5-2,9	7,85	1,4	2,7
Pris	NOK/kg	14-	50	8	-

Syrefast stål er dyrere enn aluminium, så aluminium vil være et godt valg både i prototypen og i fullskala modell.



## 5. PRODUKTSPEKIFIKASJON

Sepaduct er et oljevernsprodukt og har av den grunn alle aktører innen oljeindustrien som målgruppe, samt kystnære kommuner og fylker. Slusens omfang er i førsteomgang i farvannsområde (barriere 1 og 2). Produktet må derfor kunne tåle saltvann, olje, lave temperaturer og kreftene fra sjøvannet som bølger- og strømningskrefter.

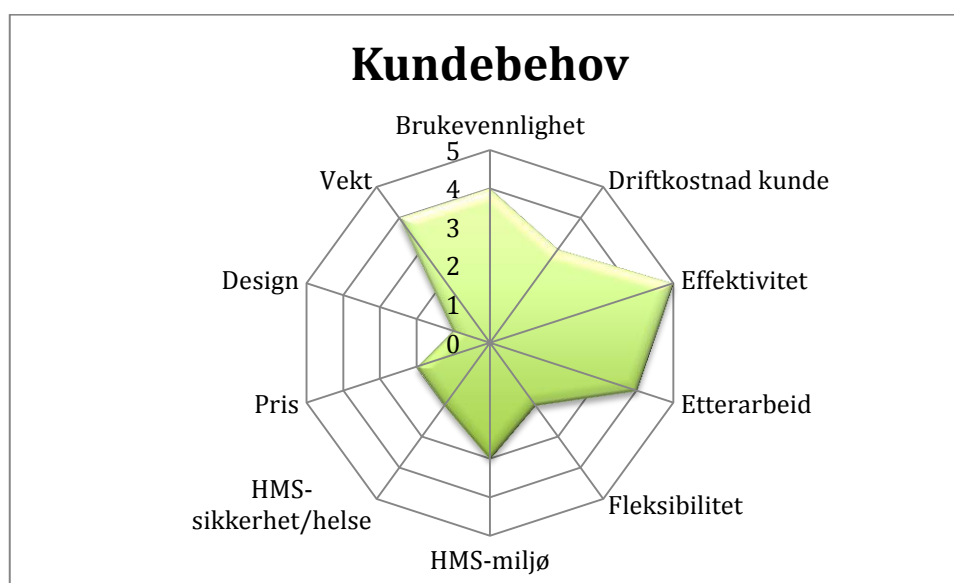
Slusen skal være lett håndterlig både i bruk og ved lagring. Alle HMS-krav skal kunne tilfredsstilles.

### 5.1. Kundebehov

Etter et møte med Bjørn Ronny Frost ved Kystverket i Horten ble følgende behov kartlagt for oss i forhold til oljevernberedskapsprodukter.

**Tabell 11: Kundebehovene opp mot oljevernsprodukter**

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
<b>Brukervennlighet</b>	Lett å håndtere	4	Lett å håndtere og kunne tas fort i bruk
<b>Driftskostnad for kunde</b>	Driftskostnaden så lav som mulig	3	Lave driftskostnader på rengjøring, klargjøring og utskifting av deler
<b>Effektiv</b>	Fungere effektivt	5	Den må samle opp og skille oljen effektivt
<b>Etterarbeid</b>	Rengjøring og klargjøring	4	Den skal være lett å rengjøres og klargjøres til et nytt oppdrag på en lett og rask måte.
<b>Fleksibilitet</b>	Operere ved ulike barrierer	2	Må kunne fungere ved farvann og nær kystlinjen
<b>HMS, miljø</b>	Miljøvennlig	3	Resirkulerbar, og ingen bruk av skadelige midler
<b>HMS, sikkerhet og helse</b>	Uten fare for bruker	2	Ingen farlige stoffer og skal fungere operasjonelt uten fare for liv og helse
<b>Pris</b>	Utsalgspris så lav så mulig	2	Holde prisen nede gjennom lave produksjonskostnader
<b>Design/ fremstilling</b>	Være synlig	1	Må være synlig slik at den ikke er til fare for andre fartøy
<b>Vekt</b>	Transport fra depot til fartøy	4	Skal kunne håndteres av en mannskap på 2-5 mann (fiskebåt størrelse)



Figur 32: Radardiagrammet viser vektleggingen når det gjelder kundebehovene

## 5.2. Produktegenskaper

Tabell 12: Produktegenskaper

Egenskap	Beskrivelse	Vekting	Begrunnelse
<b>Produserbarhet</b>	Produktet skal kunne reproduseres	5	Forutsetning for salg og kommersialisering
<b>Material-egenskaper</b>	Må tåler de mekaniske, fysiske og termiske kravspesifikasjoner som stilles til produktet	4	Grunnet store fysiske belastninger er det viktig at materialet tåler de forholdene den blir utsatt for, samt tåle sjøvann og olje. I tillegg må det velges riktig materialer som effektiviserer effekten på slusen.
<b>Konstruksjoner</b>	Solid konstruksjon som minimerer spenningene i slusen	5	Må tåle belastninger som strekk/trykk fra slep og oppsamler, svingninger fra bølger og strømninger. Gjennomtenkt design vil kunne minimere spenninger for konstruksjonen
<b>Kostnader</b>	Lave produksjonskostnader	3	Lave produksjonskostnader gjennom enkel konstruksjon og riktig materialvalg

### 5.3. Metriske grensespesifikasjoner

#### Spesifiseringer:

Oljens tetthet og viskositet varierer etter hvor den kommer fra. I hht. API-standard har olje med tetthet mindre enn 0,860 kg/l karakterers som lettolje, tetthet mellom 0,861-0,89 kg/l er gjennomsnittlig olje, mens tetthet over 0,891 kg/l karakterers som tungolje. Råolje i Nordsjøen er lett eller middels lett olje. Bunkersolje karakteriseres som tungolje.

#### Begrensninger:

- Vi tar for oss Nordsjøen som bruksområdet. Her må vi ta hensyn til sjøvann. Bølger og strømminger ses vekk ifra. Sommer- og vintertemperatur i Nordsjøen ligger på 13°C og 5°C (Meterologiske, 2008). I beregningene benyttes vintertemperatur.
- Mellomstor fiskebåt på størrelsesorden på 2-5 personer, med lengde på 40 fot og bredde på 4000 mm.
- Vi bruker olje med en tetthet på 0,860 kg/m<sup>3</sup> i beregningene.

#### Dimensjoner:

Dette er et produkt som skal tilrettelegges for fiskebåter og lignende. Oppsamleren skal kunne tas plass i fartøyet slik at den kan vil være operasjonell så raskt som mulig. Fiskebåtene har allerede mye utstyr fra før, og må i tillegg ha plass til fangst. Et mannskap på 2 personer bør kunne løfte den. Den bør ha en vekt som gjør den stabil og optimal opp mot bruksområdet.

Tabell 13: Metriske grensespesifikasjoner til slusen

Dimensjoner	Maks	Min	Middel	Kommentar
Lengde (m)	3	1	2	Bør få plass på tvers av fartøyet
Bredde (m)	2	0,5	1.25	Plass effektiv
Vekt (kg)	80	10	45	40 kg per mann

## 5.4. Metriske grovspesifiseringer for produkttypen

### Dimensjonering:

Når vi skal dimensjonere slusen må både bruksområdet og dimensjonene på fartøyet tas i betraktning. Slusen må ha en størrelse som gjør at den kan håndteres om bord et fiskefartøy, samt at et mannskap på 2 til 3 personer må kunne manøvrere produktet. Lensene må ha en koblingsvinkel til slusen som gjør at mest mulig olje blir samlet inn mot innløpet av slusen. Innløpet skal ha en bredde som er stor nok til å la olje entre uten komplikasjoner og dannelsen av staking. Dybdeforskjellen mellom innløpet og utløpet må være stor nok slik at vi kan dra nytte av det hydrostatiske trykket mellom væskene ved utløpet. Vinkelen mellom innløpet og utløpet må også være tilpasset slik at den tar opp minst mulig krefter i fartsretningen.

Tabell 14: Metriske grovspesifikasjoner

	Spesifisering	Beskrivelse	Max	Tilpasset	Enhet
<b>Innløp</b>	Bredde	Bredde på starten av slusen	1,5	1,25	m
	Høyde	Høyde på veggen ved starten	0,5	0,2	m
	Lengde	Lengde på definert innløp	0,5	0,3	m
	Krumningsvinkel	Krumningsvinkel ved enden av innløpet	45	45	grader
<b>Utløp</b>	Bredde	Bredde på slutten av slusen	1	0,75	m
	Høyde	Høyde på veggen ved slutten	0,5	0,3	m
	Lengde	Lengde på definert utløp	0,5	0,3	m
	Krumningsvinkel	Krumningsvinkel ved enden av innløpet	45	45	grader
<b>Kropp</b>	Lengde	Avstanden mellom enden på innløpet og starten av utløpet	2	1,5	m
<b>Total Sluse</b>	Lengde	Lengden i luftlinje	3	2	m
	Vekt	Total vekt på slusen	80	70	Kg

## 6. TEORETISK ANALYSE

### 6.1. Teoretiske beregning

Grunnlagsberegningene gjøres på grunnlag av fullskala-modellen etter dimensjoner fra Tabell 14. Disse resultatene baseres ikke på erfaringer etter test-resultater, men gjennom ønsket og optimal prosess. Beregningene vil bli satt opp mot ulike problemstillinger som vil bli prøvd ved testing, og går derfor inn på ulike matematiske modeller:

- Kontinuitetsprinsippet; får å kunne gjøre de beregningene som er nødvendig er vi avhengig av å vite hastigheten i alle overgangene i slusen.
- Bernoullis-ligning; for beregning av energitapet i sluseprosessen.
- Kraftloven; for å finne hvor store krefter som virker på slusen i henhold til vannskiprinsippet.
- Stokes lov; brukes for å finne stigehastigheten til oljen.

#### 6.1.1. Kontinuitetsprinsippet

Strømrøret trenger en konstant tykkelse gjennom hele slusen for å kunne analyseres. Ettersom det er en høydeforskjell mellom utløpet og innløp, blir innløpet dimensjonerende da denne er minst. Strømrøret får derfor en tykkelse på 0,2m gjennom hele slusen. Volumstrømmen ses på som konstant. Antar at farten ved inngangen av innløpet ( $v_1$ ) er konstant ettersom lensene blir dratt av fartøyet med en konstant hastighet. Tar utgangspunktet i en hastighet på 2 knop da dette er lavest ønsket fart.

$$v_1 = 1,0 \frac{m}{s}$$

Fra Tabell 14, vet vi at inngangsbredden ( $b_1$ ) på innløpet er 1,25 m og utgangsbredden ( $b_2$ ) til utløpet 0,75 m. Ved hjelp av kontinuitetsprinsippet blir da farten ut:

$$A_1 = b_1 * h_1 = 1,25 m * 0,2 m = 0,25 m^2$$

$$A_2 = b_2 * h_1 = 0,734 m * 0,2 m = 0,15 m^2$$

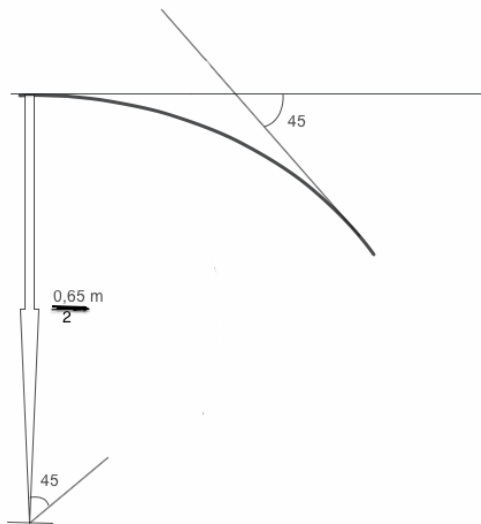
$$A_1 v_1 = A_2 * v_6 \rightarrow v_6 = \frac{A_1 * v_1}{A_2} = 1,7 \frac{m}{s}$$

Vi har da en hastighetsøkning ( $\Delta v$ ) gjennom hele slusen på:

$$\Delta v = v_6 - v_1 = 1,7 - 1,0 = 0,7 \frac{m}{s}$$

I Tabell 15, er det angitt hastighet til hvert punkt gjennom slusen som brukes til videre beregninger. Dette er hastighetsendring basert kun på innsnevringen. Lengdeforholdet er basert på strømlinjens vei,  $l_2$ , gjennom hele slusen. Lengdene på bend ved innløp og utløpet er lik (Figur 17). Innløpet og utløp har lik lengde,  $l_1$ .

Strømlinjens diameter  $D$ , og retningsendring for bendene er vist i figuren under.



Figur 33: Lengde krumning

Finner total lengde,  $l_2$ :

$$l_2 = 2l_b + l_3 + 2l_1$$

Der lengden på bendene,  $l_b$ , er gitt ved:

$$l_b = \frac{\pi * D}{\frac{360^\circ}{45^\circ}} = 0,26 \text{ m}$$

$$l_2 = 2l_b + l_3 + 2l_1 = 2 * 0,26 * 1,64 + 2 * 0,35 = 2,90 \text{ m}$$

Vi ser vekk ifra hastighetstap i overganger og bend.

Tabell 15: Hastigheter i sluse

Spesifisering	Beskrivelse	Lengdeforhold	indeks	Verdi	Enhet
<b>Innløp</b>	Inngang	-	$v_1$	1	m/s
	Utgang	12 %	$v_2$	1,08	m/s
	Gjennomsnitt	-	$v_{1m}$	1,04	m/s
<b>Kropp</b>	Inngang	12 %	$v_3$	1,08	m/s
	Utgang	88 %	$v_4$	1,62	m/s
	Gjennomsnitt	-	$v_{2m}$	1,35	m/s
<b>Utløp</b>	Inngang	88 %	$v_5$	1,62	m/s
	Utgang	100 %	$v_6$	1,7	m/s
	Gjennomsnitt	-	$v_{3m}$	1,66	m/s

### 6.1.2. Trykktapet ved separerte væsker, vha. Bernoullis Ligning

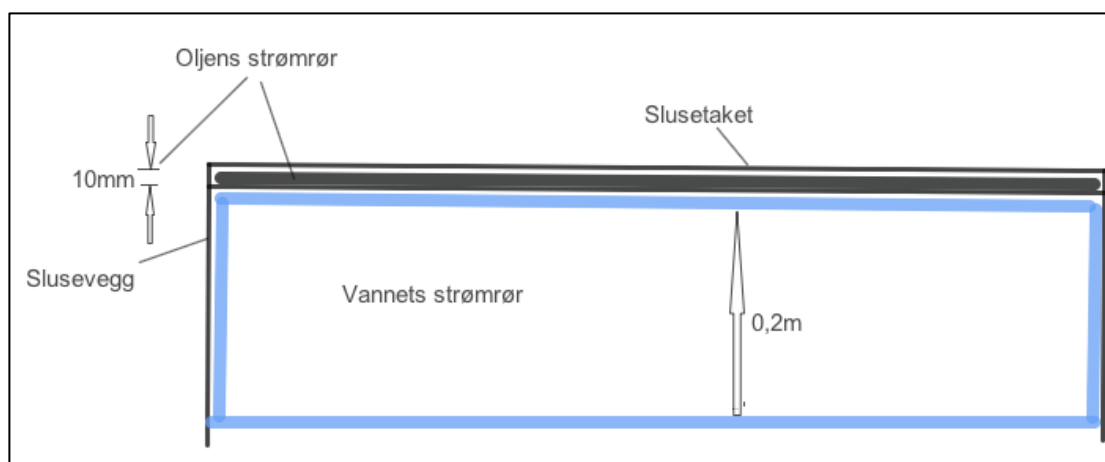
Ved å bruke bevaringsloven om energi, finner man energitapet som forårsaker ujevn strøm. Trykktapet i væsken vil øke gjennom slusen, og det er derfor viktig å finne teoretisk hvor de kritiske stedene befinner seg.

Begrensninger og antagelser:

- Energitalp i væskestrømmen grunnet lensene
- Strømrørene beregnes ut ifra en lukket kanal som stasjonær strømning. Kun strømning fra innløpet til utløpet blir beregnet.
- Strømningens historie før innløpet
- Trykktapet som finner sted når væskeblandingen treffer saltvannet etter utløpet
- $Re_{kr}$  er gitt fra et sirkulært rør
- Væsken antas å være en inkompressibel væske.

Det totale energitalp vil ikke bli beregnet, men forklart teoretisk hvordan man kan beregne det. Tapsverdien er hovedsakelig til for å finne hvor de kritiske områdene er på grunnlag av de andre.

Vi har en tofasestrømning med olje og sjøvann. Dette angripes ved å regne strømningene separert. Sjøvannet vil være av samme strømrør-tykkelse som i avsnittet over. Oljen vil ligge som et flak over sjøvannet. Ved beregninger brukes en gjennomsnitts filmtykkelse på 10 mm fra overflateutslipp (Resby & Moldestad 2000).



Figur 34: Beskrivelse av strømrør til olje og sjøvann

Oljens kinematiske viskositet settes til 1000 cSt, som passer med oljeflakets filmtykkelse. Sjøvannets kinematiske viskositet med 35g/kg saltinnhold settes til 1,68 cSt (Kaye&Laby 2013). Alle inputverdiene og beregningene er gjort på hensyn på vintertemperaturer på 5°C.

Tabell 16: Væskeegenskaper til olje og sjøvann

Væske	Egenskap	Index	Verdi ved 5 °C	Enhet
Olje	Tetthet	$\rho_o$	860	kg/m <sup>3</sup>
	Kinematisk viskositet	$\nu_o$	1000	10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
Sjøvann	Tetthet	$\rho_{sw}$	1028	kg/m <sup>3</sup>
	Kinematisk viskositet	$\nu_{sw}$	1,68	10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s

Innsnevringforholdet er det samme for sjøvannet og oljen så hastighetene gjennom slusen er det samme som beregnet i Tabell 15.

Tabell 17: Dimensjoner til sluse

Spesifisering	Indeks	Verdi	Enhet
Strømrør vann	$h_1$	0,2	m
Strømrør olje	$h_2$	0,01	m
Lengde innløp og utløp	$l_1$	0,35	m
Lengde kropp	$l_3$	1,638	m
Lengde bend	$l_b$	0,26	m
Lengde kropp total	$l_2$	2,9	m
Tykkelse sluse	t	0,008	m



For beregning av Reynolds tall for strømming med rektangulære tverrsnitt i lukkede kanaler (Brautaset 1999) finner vi den karakteristiske lengden  $l_{k,o}$  til oljen:

$$l_{k,o} = 4 * r_h = 4 * \left( \frac{A_{t,o}}{O_{t,o}} \right) = 4 * \left( \frac{h_2 * b_1}{2h_2 + 2b_1} \right) = 0,02 \text{ m}$$

Den karakteristiske lengden  $l_{k,sw}$  til sjøvann:

$$l_{k,sw} = 4 * r_h = 4 * \left( \frac{A_{t,sw}}{O_{t,sw}} \right) = 4 * \left( \frac{h_1 * b_1}{2h_1 + 2b_1} \right) = 0,35 \text{ m}$$

Innsnevringen er konstant  $9,9^\circ$  (Birkeli & Hiemeyer 2012) gjennom hele slusen, noe som er for lite med hensyn på tap i bend (Figur 18). Vi anser derfor energitapet i innsnevringen som null.

#### 6.1.2.1. Innløp

Det vil forekomme energitap i innløpet grunnet inngangen og lengden på innløpet. Tap ved innløp i slusen fra sjø:

$$\Delta p_{tap} = \zeta * \rho * \frac{v_{1m}^2}{2} = 0$$

Lensene vil overlappes innløpet. Ut i fra Figur 18 gir dette en  $r/d \gg 0,1$ . Dette tilsvarer en tapsfaktor tilnærmet null.

Tap grunn av lengde på innløpet:

$$\Delta p_{tap} = \lambda * \frac{l_k}{d} * \rho * \frac{v_{1m}^2}{2}$$

For å finne friksjonskoeffisienten  $\lambda$  må vi finne ut om strømmingen er turbulent eller laminær med hensyn på Reynolds tall.

**Olje**

$$Re_1 = \frac{v_{m1} * l_{k,o}}{v_o} = 20,8$$

Ut ifra kritisk verdi for et sirkulært tverrsnitt får vi en:

$$Re_1 < Re_{kr} = 2300, \rightarrow \text{Laminær strømning}$$

Friksjonskoeffisienten  $\lambda$  for laminær strømning:

$$\lambda_{laminær} = \frac{64}{Re_1} = 3,1$$

Trykktapet i innløpet for olje:

$$\Delta p_{tap,innløp,olje} = \lambda_{laminær} * \frac{l_{k,o}}{h_2} * \rho_o * \frac{v_{1m}^2}{2} = \mathbf{2862 \text{ N/m}^2}$$

**Sjøvann**

$$Re_2 = \frac{v_{m1} * l_{k,sw}}{v_{sw}} = 216666$$

Ut ifra kritisk verdi for et sirkulært tverrsnitt får vi en:

$$Re_2 > Re_{kr} = 2300, \rightarrow \text{Turbulent strømning}$$

Friksjonskoeffisienten  $\lambda$  for turbulent strømning:

$$\lambda_{turbulent} = \frac{0,316}{Re_2^{0.25}} = 0,015$$

Trykktapet i innløpet er:

$$\Delta p_{tap,innløp,sw} = \lambda_{turbulent} * \frac{l_{k,sw}}{h_1} * \rho_{sw} * \frac{v_{1m}^2}{2} = \mathbf{14,3 \text{ N/m}^2}$$

### 6.1.2.2. Kropp

Væskestrømmen i kroppen for en S-formet kurve. Kroppen gir væskestrømmen en retningsforandring nedover. Deretter følger det slusetaket et lite stykke før den får en retningsforandring oppover. Vi får i dette tilfelle:

1. To trykktap på hensyn av retningsforandring.
2. Et tap ved strømning gjennom kanalen.

### Olje

1. Tap i bend beregnes ved formelen:

$$\Delta p_{tap} = \zeta * \rho * \frac{v_2^2}{2}$$

Tapsfaktoren finner vi ut ifra vedlegg 2:

$$D = 0,65m, d = h_2 = 0,01m \rightarrow \frac{D}{d} = 65$$

D/d forholdet er for stort til å få en tapsfaktor. Bendet kan derfor sies til å være tilnærmet et rett rør.

2. Tap i rett rør

$$Re_3 = \frac{v_{m2} * l_{k,o}}{\nu_o} = 27,0$$

Ut ifra kritisk verdi for et sirkulært tverrsnitt får vi en:

$$Re_3 < Re_{kr} = 2300, \rightarrow \text{Laminær strømning}$$

Friksjonskoeffisienten  $\lambda$  for laminær strømming:

$$\lambda_{laminær} = \frac{64}{Re_3} = 2,4$$

$$\Delta p_{tap,kropp} = \lambda_{laminær} * \frac{l_{k,o}}{h_2} * \rho_o * \frac{v_{2m}^2}{2} = 3715 \text{ N/m}^2$$

### Sjøvann

1. Tapsfaktoren i bendene beregnes ut ifra vedlegg 2:

$$D = 0,65 \text{ m}, d = h_1 = 0,2 \text{ m} \rightarrow \frac{D}{d} = 3,25$$

D/d forholdet gir en tapsfaktor på  $\zeta = 0,25$ . Vi har to like bend så trykktapet for bendene blir

$$2\Delta p_{tap,sw,b} = 2 * \zeta * \rho_{sw} * \frac{v_3^2}{2} = 300 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

2. Tap i rett rør

$$Re_4 = \frac{v_{m2} * l_{k,sw}}{v_{sw}} = 310416$$

Ut ifra kritisk verdi for et sirkulært tverrsnitt får vi en:

$$Re_4 > Re_{kr} = 2300, \rightarrow \text{turbulent strømming}$$

Friksjonskoeffisienten  $\lambda$  for turbulent strømming:

$$\lambda_{turbulent} = \frac{0,316}{Re_4^{0,25}} = 0,014$$

$$\Delta p_{tap,sw,kropp} = \lambda_{turbulent} * \frac{l_{k,sw}}{h_1} * \rho_{sw} * \frac{v_{2m}^2}{2} = 34,5 \text{ N/m}^2$$

### 6.1.2.3. Utløp

I utløpet vil vi ha trykktap grunnet lukket kanal med rektangulært tverrsnitt.

Tap grunnet lengde på utløpet:

$$\Delta p_{tap, utløp} = \lambda * \frac{l_k}{d} * \rho * \frac{v_{3m}^2}{2}$$

#### Olje

$$Re_5 = \frac{v_{m3} * l_{k,o}}{\nu_o} = 33,2$$

$$Re_5 < Re_{kr} = 2300, \rightarrow \text{Laminær strømning}$$

Friksjonskoeffisienten  $\lambda$  for laminær strømning:

$$\lambda_{laminær} = \frac{64}{Re_1} = 1,9$$

Trykktapet i innløpet for olje:

$$\Delta p_{tap, utløp, olje} = \lambda_{laminær} * \frac{l_{k,o}}{h_2} * \rho_o * \frac{v_{3m}^2}{2} = 4568 \text{ N/m}^2$$

#### Sjøvann

$$Re_6 = \frac{v_{m3} * l_{k,sw}}{\nu_{sw}} = 345833$$

$$Re_6 > Re_{kr} = 2300, \rightarrow \text{Turbulent strømning}$$

Friksjonskoeffisienten for turbulent strømning:

$$\lambda_{turbulent} = \frac{0,316}{Re_6^{0.25}} = 0,013$$

Trykktapet i innløpet er:

$$\Delta p_{tap,utløp,sw} = \lambda_{turbulent} * \frac{l_{k,sw}}{h_1} * \rho_{sw} * \frac{v_{3m}^2}{2} = 32 \text{ N/m}^2$$

Det totale trykktapet,  $\Delta p_{tap,olje}$ , i oljen gjennom hele slusen er:

$$\Delta p_{tap,olje} = \Delta p_{tap,innløp,olje} + \Delta p_{tap,kropp,olje} + \Delta p_{tap,utløp,olje} = 11145 \text{ N/m}^2$$

Det totale trykktapet,  $\Delta p_{tap,sw}$ , i sjøvannet gjennom hele slusen er:

$$\Delta p_{tap,sw} = \Delta p_{tap,innløp,sw} + 2\Delta p_{tap,sw,b} + \Delta p_{tap,sw,kropp} + \Delta p_{tap,utløp,sw} = 381 \text{ N/m}^2$$

For å finne total energien til væskene trenger man å vite trykkenergien ved innløpet. For å få en væske til å gå gjennom et rør trengs det et mottrykk. I vårt tilfelle er mottrykket dra-kraften fra båten. Mottrykket kommer av at slusen blir trukket fremover i en så stor hastighet at vannet ikke greier å stå imot og blir presset ned. Denne kraften som må til for å få presset ned oljen er da motkraften. Matematisk kan man finne total energi ved innløp:

### Olje

$$E_{inn} = \rho_o \frac{v_1^2}{2} + p_1 + \rho_o gh = E_{ut} + \Delta p_{tap,olje}$$

### Sjøvann

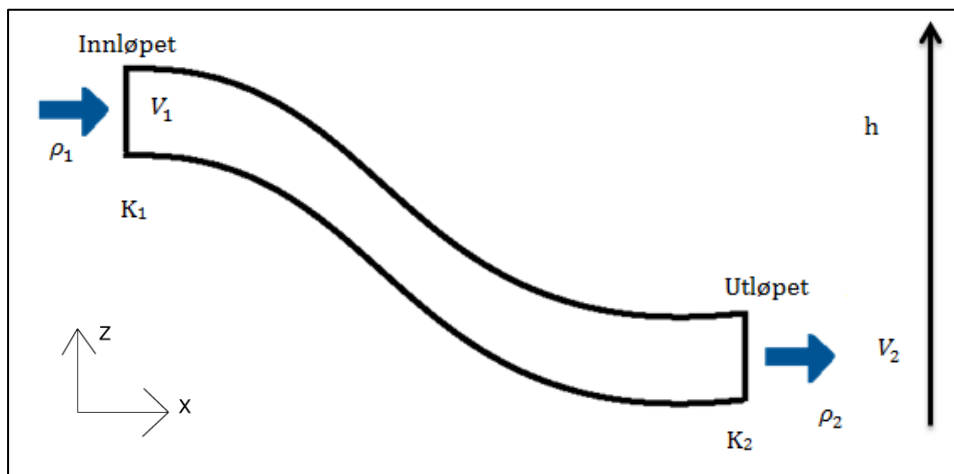
$$E_{inn} = \rho_{sw} \frac{v_1^2}{2} + p_1 + \rho_{sw} gh = E_{ut} + \Delta p_{tap,sw}$$

## Oppsummering

- Energitalpet i oljen er en del større enn sjøvannet. Dette skyldes viskositetsforskjellen. Reynoldstallet blir lavt i alle oljeberegningene slik at strømmingen blir laminær. Reynoldstall for olje varierer fra 20,8 til 33,2, mens sjøvannet varierer fra 216000 til 345000. Friksjonskoeffisienten som er omvendt proporsjonal med Reynoldstall blir derfor høy i disse tilfellene. Denne koeffisienten er igjen proporsjonal med energitalpet. Ut ifra dette lærer man da at viskøse væsker er mer rolig, men er mer kritisk opp mot energitalp. Dermed blir det totale energitalpet 30 ganger så stort for olje som for sjøvann gjennom slusen.
- Resultatene i energi-beregningene forteller oss også hvor de kritiske overgangene og delene ligger. Energitalpet er nokså konstant gjennom slusen. Dette forteller oss at slusen som passasje er hydrodynamisk optimal. Den gjør at den eneste faktoren som er avgjørende for energitalpet grunnet utformingen er hastigheten. Utløpet har derfor størst energitalp grunnet væskens hastighetsøkning.
- Tykkelsen på strømrøret har mye å si. Oljens trykktap blir 20 ganger større med en høyde på 1 cm enn med en høyde på 20 cm.
- Selv med et hydrodynamisk design er det umulig å unngå energitalp. Dette energitalpet gjør at væsken mister hastighet. Oljepartiklene får da større vanskeligheter med å gå smertefritt gjennom slusen. Den vil blande seg med væsken rundt og bli mer turbulent. Dette gjør separasjonsprosessen enda mer utfordrende. Ideelt ønsker vi en helt rolig strømming frem mot utløpet.

### 6.1.3. Kjemisk Energi implementert i Bernoullis ligning

Systemet til slusen er som tidligere definert basert på to ulike væsker; olje og vann. Disse har da ulike fysiske egenskaper, men også kjemiske egenskaper. Når to væsker blandes sammen opplever system en forandring i energi, noe som er et krav for at en termisk energiforandring skal være gjeldende. Denne energiforandringen vil påvirke det totale trykk tapet i et system. Vi kan forklare det på følgende måte:



Figur 35: Bilde viser de kjemiske parameterne ved start og slutt

Tabell 18: Forklaring på Figur 35 sine indekser

Symbol	Betydning
$\rho_1$	Tettheten til væsken ved innløpet
$\rho_2$	Tettheten til væsken ved utløpet
$v_1$	Væskens hastighet ved innløpet
$v_2$	Væskens hastighet ved utløpet
$K_1$	Kjemiske energien i væsken ved innløpet
$K_2$	Kjemiske energien i væsken ved utløpet
$h$	Høyden til slusen fra utløpet opp til overflaten av innløpet

Setter vi opp Bernoullis ligning mellom innløpet og utløpet med implementert kjemisk energi får vi følgende ligning:

$$\rho_1 g h + \frac{\rho_1 v_1^2}{2} + \rho_1 g K_1 = P_2 + \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \rho_2 g K_2 + \Delta p_{1-2}$$



Fra teorien om kjemisk energi vet vi at entropien øker dersom væsken fordeles utover et større areal. Når væsken strømmer ut av slusen opplever vi nettopp dette. Oljen holdes innen rammene til slusen inntil det blir dyttet ut der plutselig rammene blir borte. Dette forårsaker en økning i uro og økning i entropi.

Fra formelen til Gibbs frie energi:

$$\Delta G^\theta = \Delta H^\theta - T\Delta S^\theta$$

kan man konkludere med at  $\Delta G^\theta$  blir mer negativ. Dette tilsier da at  $H_2 > H_1$  ettersom den har høyere negativ energi.

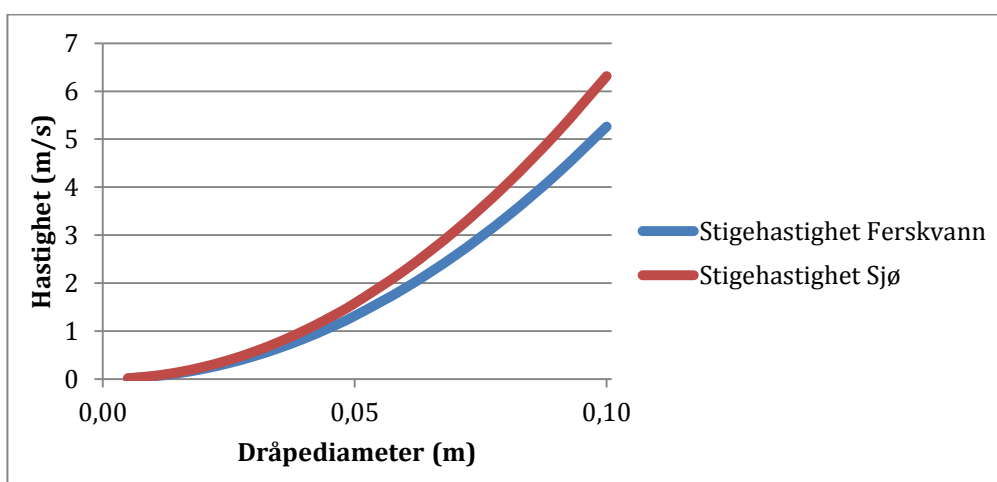
Ved forenkling av Bernoullis ligning kommer man frem til at det effektive tapet i slusen øker dersom kjemisk energi blir tatt hensyn til.

$$\Delta p_{eff} = \Delta p_{1-2} + (\rho_2 H_2 - \rho_1 H_1)$$

#### 6.1.4. Stigehastigheten vha. Stokes Lov

For å finne ut om oppdriftsegenskapene for olje er gjeldene i prosessen blir stigehastigheten funnet. Dråpestørrelsen er ukjent, og må erfares gjennom test. Under viser en tabell med stigehastigheten ved ulike dråpestørrelser.

$$v_{s,o} = \frac{g * d^2 * (\rho_o - \rho_{sw})}{18\mu}$$



Figur 36: Viser forholdet mellom størrelse på dråpe stigehastigheten i sjø og ferskvann. Størrelsen er oppgitt i meter.

### 6.1.5. Kraftloven

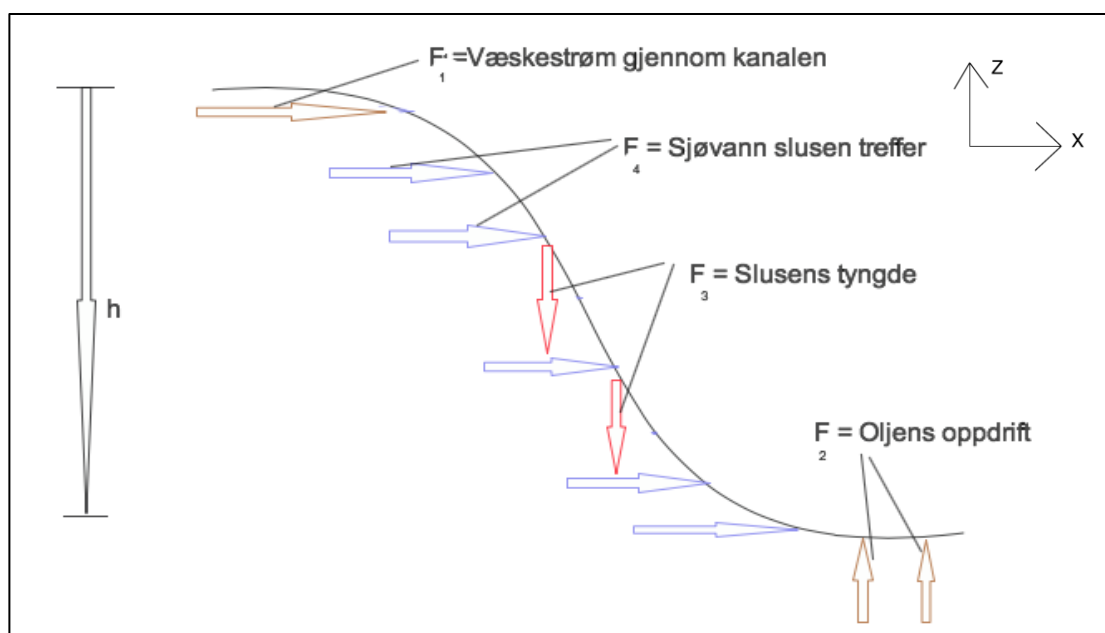
#### Krefter på kroppen:

Vi ønsker å finne ut hvor mye krefter som skyver opp slusen. Slusen vil dra seg opp på samme måte som vannski når den kommer opp i høy hastighet. Vi ønsker at slusen skal holde seg stabil i vannet slik at vi får benyttet oss av oppdriftsegenskapene til oljen.

Vi antar at fartøyet kjører i konstant fart på 1 m/s og at væskestrømmen er stasjonær.

Krefter som vil påvirke vannskiprinsippet er:

- Væskestrømmen gjennom slusen
- Oppdriftskraften fra oljen
- Materialets tyngde
- Sjøvannet som slusen møter når den dras bortover



Figur 37: Krefter som påvirker vannskiprinsippet

Vi ser først på kraften  $F_1$  som virker fra væske strømmen som går gjennom slusen som en lukket kanal. Vannstrømmen vil alltid få slusen til å søke en horisontal vinkel. Det vil kun være væskestrømmen i  $x$ -retningen som da vil gjelde.

Kraftloven sier noe om kreftene som virker på strømrøret fra ledningsveggen grunnet hastighetsendring. Vi har kun en hastighetsendring ved bendet mellom innløp og kropp.

Bendet mellom kropp og utløp har ingen betydning siden her er det ikke bunn, slik at væsken ikke har en tvungen hastighetsendring.

Vi ser på strekningen mellom inngangen til kroppen til midten av kroppen. Vi antar jevn krumning på  $45^\circ$  og konstant hastighetsøkning gjennom hele dette løpet. Strømrørets høyde settes til konstant 0,2 meter gjennom slusen.

$$Q_1 = v_1 * A_1 = 1 * 0,365 = 0,25 \frac{m^3}{s}$$

Setter  $\rho_{sw} = 1028 \frac{kg}{m^3}$ , siden det er den største tettheten sluseveggene opplever.

$$F_{1x} = -\rho_{sw} Q_1 (v_{2mx} - v_{3x}) = -(1028 * 0,25 * (1,35 * \cos(45) - 1,08)) = \mathbf{32 N}$$

Som vi ser vil væsken skyve på slusetaket med en kraft på 32 N.

Vi ser på oppdriftskraften til oljen i enden ( $F_{2Y}$ ). Oljens oppdriftskraft virker med hensyn på sjøvannets tetthet. Antar at oljeflaket er 750mm bredt og 10mm tykt. Lengden  $l_4$  som oljens oppdrift virker på:

$$l_4 = l_1 + l_b + l_3 = 2,25m$$

$$V_1 = 0,750m * 0,01m * 2,25m = 0,017 m^3$$

$$F_{2Y} = (\rho_{sw} - \rho_o) V_1 g = (1028 - 860) \frac{kg}{m^3} * 0,017m^3 * 9,81 \frac{m}{s^2} = \mathbf{28 N}$$

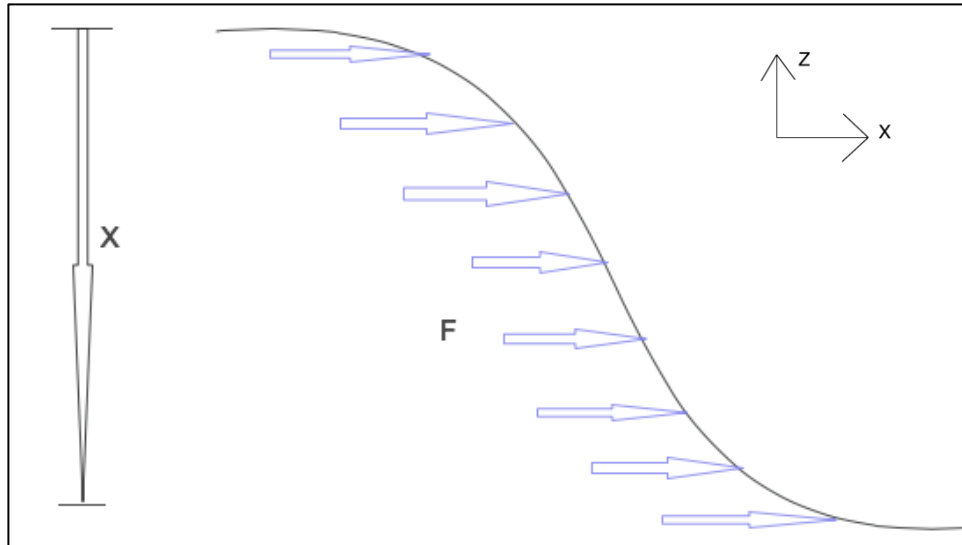
I tillegg må vi ta med materialets tyngde i vann. Hvis vi bruker aluminium (alu) vil denne ha en negativ oppdrift. Vi ser her kun på enden av kroppen, samme sted som på oljen. Tyngden på slusen vil være funksjon av sjøvannets tetthet:

$$\rho_{sluse} = \rho_{alu} - \rho_{sw}, \text{ der } \rho_{alu} = 2700 \frac{kg}{m^3}$$

$$V_{sluse} = (b_g + 2 * h_1) * l_4 * t = 0,023 m^3$$

$$F_3 = -(\rho_{alu} - \rho_{sw}) * V_{sluse} g = -(2700 - 1028) * 0,023 * 9,81 = \mathbf{-377 N}$$

All væsken som møtes på veien vil dra slusen oppover.



Figur 38: Motstrømning som påvirker vannskiprinsippet

Tverrsnittet  $A_s$  strømmen møter:

$$x = \cos 45 \cdot l_3 = 1,15m$$

$$A_s \approx x \cdot b_g = 1,15 m^2$$

Volumstrømmen som vil treffe slusetaket har lik fart som båten.

$$Q_s = A_s \cdot v_1 = 1 \frac{m^3}{s}$$

$$F_4 = \rho_{sw} Q_s v_1 = \mathbf{1028 N}$$

Dette gir en ny total kraft ( $F_{tot}$ ) som driver slusen opp:

$$F_{tot} = 32 + 24 - 377 + 1028 = \mathbf{707 N}$$

Vi kan da konkludere med at oppdriftskreftene på olje har minimal påvirkning mens væskestrømmen ( $F_4$ ) fra omgivelsene og materialets tetthet ( $F_3$ ) er avgjørende.

Det trengs en ekstra tyngde for å holde slusen i ideell posisjon på:

$$m = \frac{707N}{9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)} = \mathbf{72kg}$$

## 6.1.6. Prototype-beregninger

Beregninger av prototype dimensjoner er gjort på samme grunnlag som ved fullskala-modell.

Det viktigste verdiene er plukket ut.

Dimensjonene til prototypen:

**Tabell 19: Dimensjoner for prototype**

Dimensjoner for prototype	Verdi	Enhet
Bredde inngang	0,605	m
Høyde	0,150	m
Bredde utgang	0,310	m
Lengde innløp	0,170	m
Lengde kropp	0,910	m
lengde bend	0,070	m
Lengde utløp	0,170	m
Hydrostatisk høyde	0,450	m
Tverrsnitts areal inngang	0,091	m <sup>2</sup>
Tverrsnitts areal utgang	0,047	m <sup>2</sup>
Inngangsfart	1,000	m/s <sup>2</sup>
Utgangsfart	1,952	m/s <sup>2</sup>
Hastighetsøkning	0,952	m/s <sup>2</sup>
Oljeflak	0,010	m
Vannstrømning	0,140	m
Karakteristisk lengde olje	0,020	m
Karakteristisk lengde sjøvann	0,227	m
Gjennomsnittsbredde	0,458	m
Tykkelse	0,002	m

### Kontinuitetsprinsippet

Fartsforandringen er basert ut ifra samme starthastighet som ved fullskala,

$$v_1 = 1m/s$$

**Tabell 20: Hastighetsforløp prototype**

Spesifisering	Beskrivelse	Lengdeforhold	indeks	Verdi	Enhet
Innløp	Inngang	-	$v_1$	<b>1,00</b>	<b>m/s</b>
	Utgang	<b>13 %</b>	$v_2$	<b>1,12</b>	<b>m/s</b>
	Gjennomsnitt	-	$v_{1m}$	<b>1,06</b>	<b>m/s</b>
Kropp	Inngang	<b>13 %</b>	$v_3$	<b>1,12</b>	<b>m/s</b>
	Utgang	<b>87 %</b>	$v_4$	<b>1,84</b>	<b>m/s</b>
	Gjennomsnitt	-	$v_{2m}$	<b>1,48</b>	<b>m/s</b>
Utløp	Inngang	<b>87 %</b>	$v_5$	<b>1,84</b>	<b>m/s</b>
	Utgang	<b>100 %</b>	$v_6$	<b>1,95</b>	<b>m/s</b>
	Gjennomsnitt	-	$v_{3m}$	<b>1,89</b>	<b>m/s</b>

## Trykktap

Energitapet i form av trykk blir beregnet ved å se på olje og vann i to separate prosesser.

**Tabell 21: Trykktap prototype olje**

Trykktap olje	Steg	Verdi	Enhet
<b>Innløp</b>	Re	20,8	Laminær
	Lamda	3,1	
	Tap	2912,1	N/m <sup>2</sup>
<b>Kropp</b>	Re	29,0	Laminær
	Lamda	2,2	
	Tap	4061,4	N/m <sup>2</sup>
<b>Utløp</b>	Re	18,9	Laminær
	Lamda	3,4	
	Tap	10251,9	N/m <sup>2</sup>
<b>Sum trykktap</b>		<b>17225,5</b>	N/m <sup>2</sup>

**Tabell 22: Trykktap prototype sjøvann**

Trykktap Sjøvann	Steg	Verdi	Enhet
<b>Innløp</b>	Re	143222,88	Turbulent
	Lamda	0,02	
	Tap	15,18	$\frac{N}{m^2}$
<b>Bend</b>	D/d	1,50	
	Tapsfaktor	0,60	
	Tap	321,55	$\frac{N}{m^2}$
<b>Kropp</b>	Re	199745,62	Turbulent
	Lamda	0,01	
	Tap	27,18	$\frac{N}{m^2}$
<b>Bend</b>	D/d	1,50	
	Tapsfaktor	0,60	
	Tap	1038,71	$\frac{N}{m^2}$
<b>Utløp</b>	Re	0,43	Turbulent
	Lamda	0,39	
	Tap	1167,54	$\frac{N}{m^2}$
<b>Sum trykktap</b>		<b>2570,2</b>	$\frac{N}{m^2}$

## Stigehastigheten

Fra test i basseng ble oljen revet i stykker øyeblikkelig den dykket. Fra video ble størrelsen på oljedråpene målt til 0,5 cm til 3 cm. Ut ifra Stokes lov blir stigehastigheten i disse størrelsene både i sjøvann og ferskvann gitt i tabellen under:

**Tabell 23: Stigehastiget olje prototype**

Dråpestørrelse	Stigehastighet Ferskvann	Stigehastighet Sjø
0,005 m	0,01 m/s	0,02 m/s
0,010 m	0,05 m/s	0,06 m/s
0,015 m	0,12 m/s	0,14 m/s
0,020 m	0,21 m/s	0,25 m/s
0,025 m	0,33 m/s	0,39 m/s
0,030 m	0,47 m/s	0,57 m/s

## Kraftloven

Kreftene som vil fungere på prototypen er beregnet både i sjøvann og ferskvann.

**Tabell 24: Krefter som påvirker vannskiprinsippet prototype**

Kraftvektorer	Sjøvann	Ferskvann	Enhet
$F_1$	6,4	6,2	N
$F_2$	5,9	4,9	N
$F_3$	-28,6	-29,1	N
$F_4$	211,6	205,9	N
$F_{total}$	195,3	187,9	N
Tyngde	19,9	19,2	Kg

Tyngde-verdien er hvor mye det trengs i form av kilo for å holde slusen i ønsket posisjon, slik at vannskiprinsippet blir eliminert.

## 6.2. Datasimuleringer

Ved hjelp av SolidWorks FlowSimulation kan vi lage strømningsbilder som forklarer hvordan olje og vann vil flyte igjennom slusen ved optimale forhold. Dette kan hjelpe med å få en bedre forståelse på hvordan væsken forflyttes ned slusen.

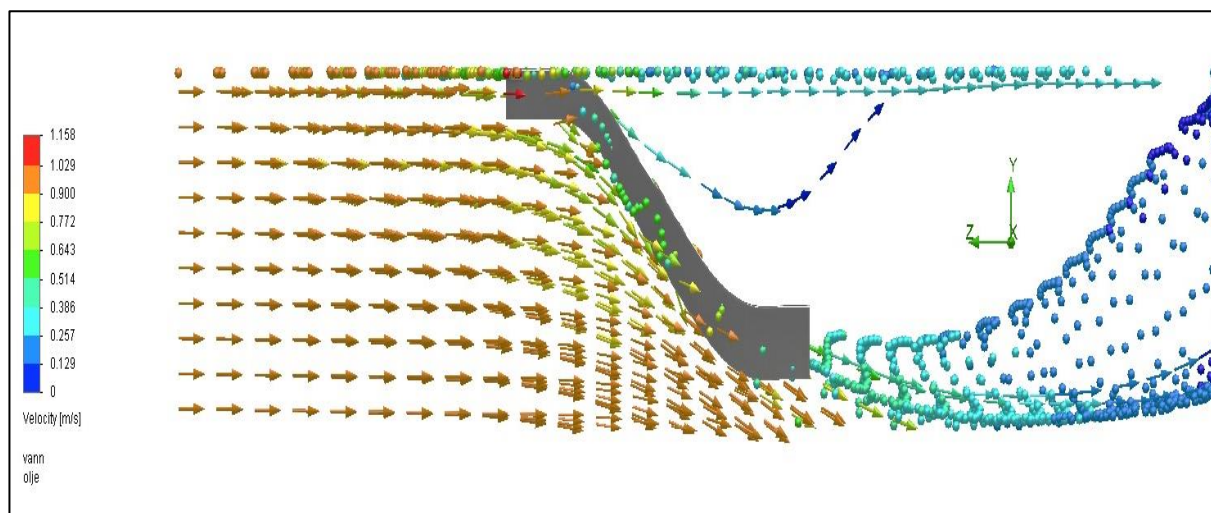
Væskene er programmert slik at det er et 10mm tykt lag øverst med olje og resterende er av sjøvann. Verdiene på de to forskjellige væskene er som følger:

**Tabell 25: Datasimuleringens inputverdier**

	Olje	Sjøvann	Enheter
<b>Tetthet</b>	860	1028	kg/m <sup>3</sup>
<b>Dynamisk viskositet</b>	0,86	0,00168	Pa*s
<b>Spesifikk varme</b>	2000	3985	J/kg*K
<b>Termisk konduktivitet</b>	0,2	0,57	W/m*K

Gjennom teoretiske beregninger er det vanskelig å se nøyaktig hvor de kritiske punktene vil oppstå, men SolidWorks klarer å gi oss et estimat på dette.

Ideelt sett skal slusen ha en minimums hastighet på 1m/s (2knop). Setter vi dette som et krav i programmet får vi et strømningsystem som ser slikt ut.



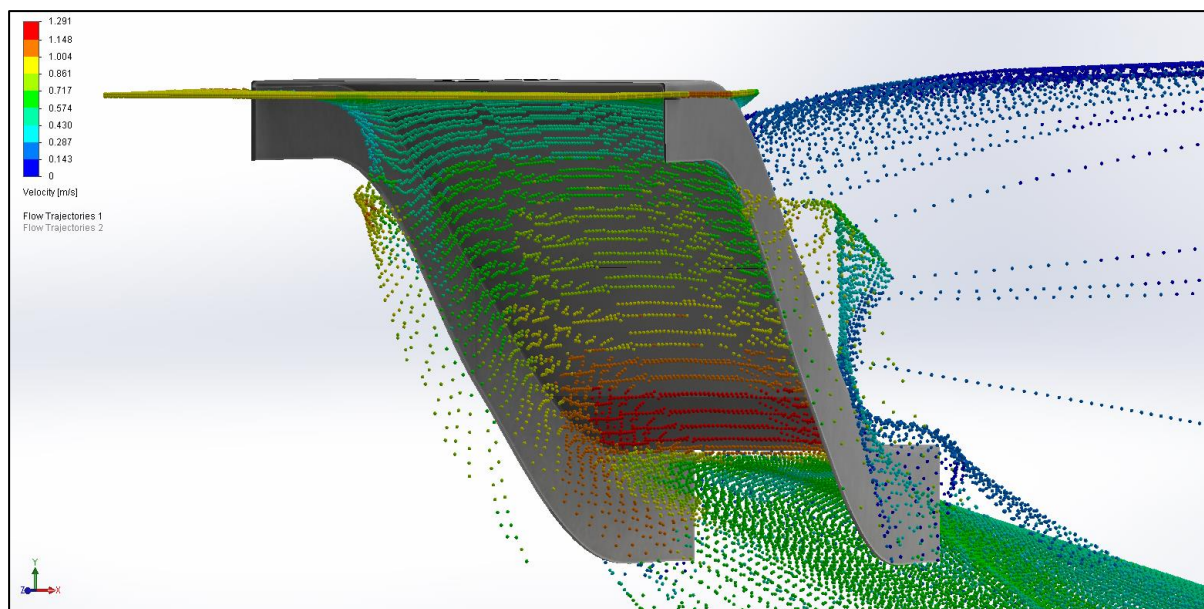
**Figur 39: Strømningsbilde. Hastighetene går fra blå (sakte) til rødt (fort)**

Pilene representerer sjøvannstrømningen mens kulene er oljeflaket. Fra strømningsbilde ser vi at vi har en liten hastighetsøkning i væskene når de når utløpet som er konsekvent med de



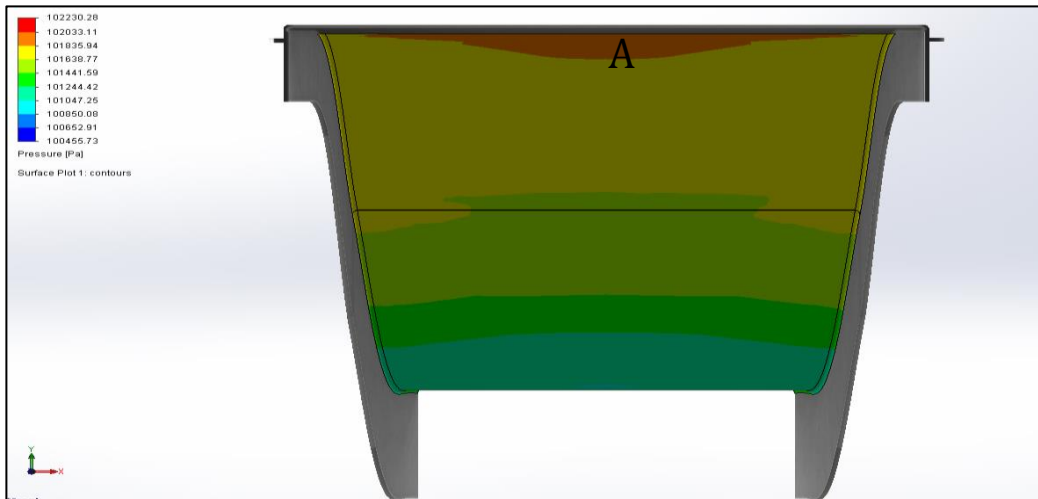
teoretiske beregningene våre. Kontinuitetsprinsippet tilsier at med redusert areal så øker hastigheten til væsken som strømmer igjennom.

Slusen ligger helt inntil vannoverflaten slik at oljen vil kunne følge hele sluseløpet. Ser vi på oljens bevegelse gjennom slusen får vi følgende analyse:



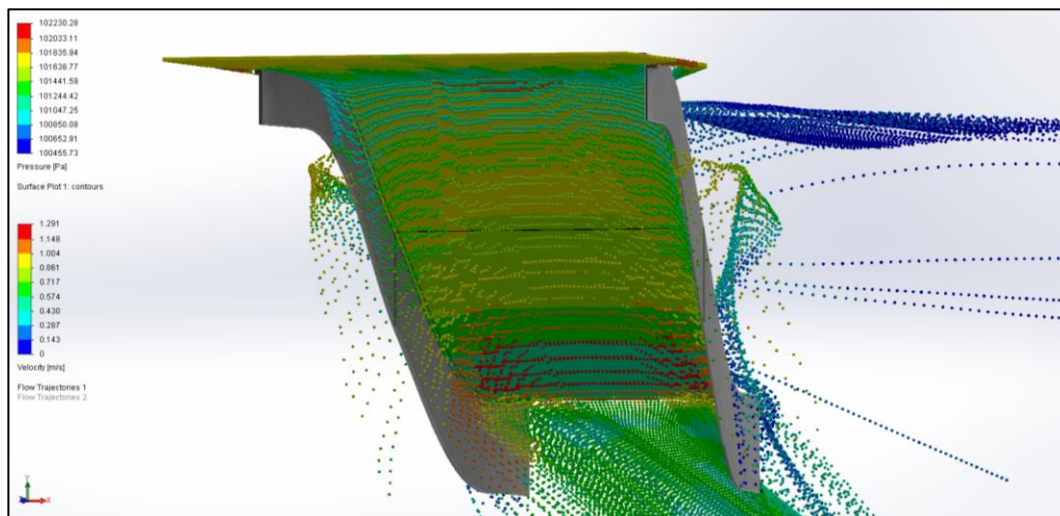
**Figur 40: Hastighetsbilde på oljestrømmen. Slusen ligger rett ved vannoverflaten**

Fargene i Figur 40 viser hastighetsforskjellene i strømmingen. Her representerer blå lavest hastighet mens det går gradvis oppover til grønt, gult så rødt som er maks hastighet. Ved krumningen i innløpet opplever vi lavest hastighet og ved utløpet har vi maks hastighet.



**Figur 41: Trykkbilde case 1. Viser trykket påførte slusen når slusen taket ligger helt ved vannoverflaten**

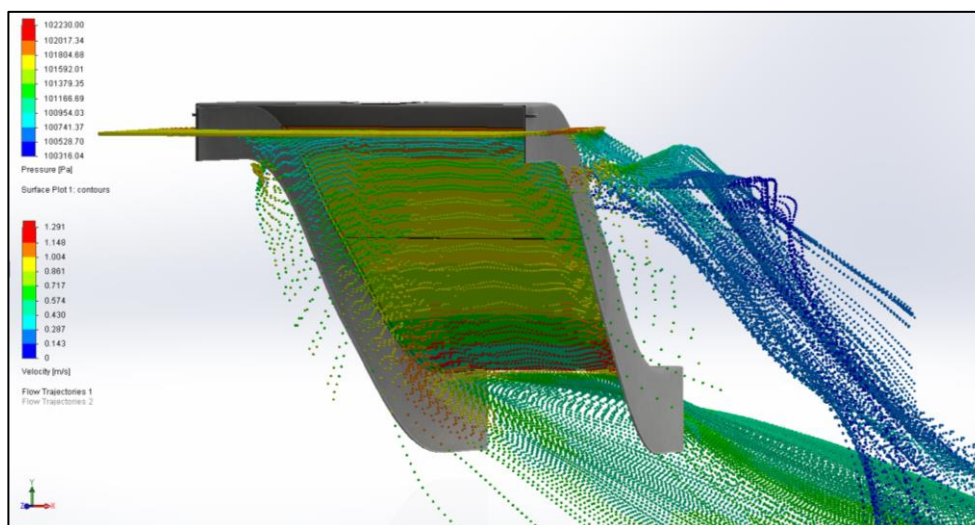
Ved analyse av trykket på slusen kan man se at trykket er størst i krumningen ved innløpet (Figur 42 punkt A). Det er også ved dette punktet at hastigheten er lavest. På grunn av krumningen som eksisterer her og at slusen ligger såpass lavt i vannet, blir dette trykket størst.



**Figur 42: Trykk og strømningsbilde av olje case 1. Slusen ligger rett over vannoverflaten**

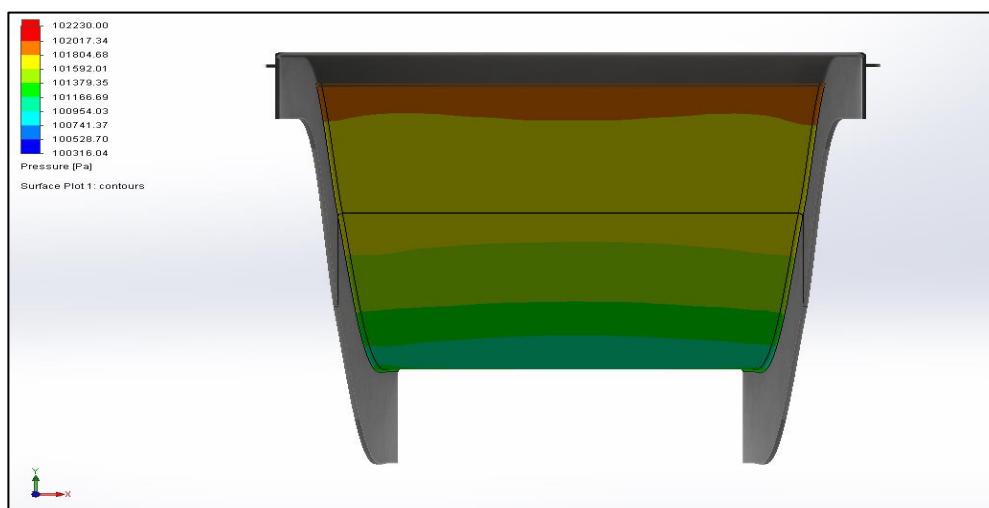
Ettersom at slusen skal brukes i åpent farvann der forholdene er veldig ustabile vil slusen har problemer med å holde seg i riktig posisjon. Gjennom SolidWorks kan vi se hvordan strømmingen vil forholde seg gjennom slusen ved ulike posisjon på innløpet.

I case 2 vil oljeflaket treffe midtveis på sluseveggene ved innløpet:



**Figur 43: Trykk og strømningsbilder case2. Slusetaket ligger høyt over vannoverflaten.**

Figur 42, viser at case 2 har større trykk og hastighetstap ved innløpet enn det man opplevde ved case 1. Dette tilsier at det må være et større energitap i case 2 kontra case 1.



**Figur 44: Trykkbilde case2. Slusetaket ligger høyt over vannoverflaten**

Alle figurene ligger som vedlegg der det er lettere å lese trykk- og hastighetsverdiene.

## 7. PRODUKSJON

For å kunne vite om teorien rundt Sepaduct fungerte i praksis var det nødvendig å få testet en prototype. Ettersom at vi ville se om slusen kunne skille olje og vann var vi avhengig av en testarena som kunne tåle olje.

### 7.1. Prototype

For å kunne få noen testresultater som er sammenlignbare med de teoretiske resultatene, må prototypen være så lik designet så mulig. Både stabiliteten og væskens oppførsel gjennom slusen skal analyseres. Fra tidligere testing som ble gjennomført av Tor Harald Eriksen, skal det ikke mye til for at resultatet forandrer seg. Vi er derfor avhengig å velge materialer som vil kunne utformes i ønsket design, samt å skaffe et realistisk bilde på hvordan materialene til slusen vil oppføre seg i det virkelige bildet.

Slusedimensjonene i tidligere oppgave ble spesifisert opp mot en fiskebåt med en bredde på 4 meter. Dette betyr at ved testing må sluse-åpningen være på tilvarende bredde. Siden både basseng og prototype skal bygges vil en slik testdimensjon overgå de budsjettmessige rammene prosjektet har tilgjengelig. I tillegg bør slusen kunne lett transporteres og behandles da vi kun er to personer som skal behandle slusen. Konklusjonen ble derfor å lage en prototype med omtrent halvert størrelse og som ikke hadde muligheten til å klappes sammen (Figur 29). Se vedlegg 3 for verkestedtegninger

Ved bygging av slusen vil krumningen være en utfordring. Krumningen må være så jevn som mulig slik at hovedprinsippet med å følge væskens naturlige bevegelse blir fulgt. I tillegg må materialet være stivt nok slik at slusen opprettholder sin posisjon.

Et annet krav for testingen er å observere hele væskestrømmingen til oljen gjennom slusen. Ved å dele slusen i to hoveddeler, taket og veggene, vil 3 ulike fremgangsmåter være mulige for å tilfredsstille alle ønskelige krav:

- 1) Lage alt i metall
- 2) Lage alt i et gjennomsiktig material
- 3) Lage taket i metall, og veggene i et gjennomsiktig material.

Materialvalget for metallet falt naturlig på en tynn eloksert aluminiumsplate (alu-plate) med en tykkelse på 2 mm. Som gjennomsiktig materialet blir polykarbonat(PC) med en tykkelse på 10 mm et optimalt valg både for slusen og bassenget. PC er svært vanskelig å forme ved tilsetning av varme og bør derfor skjæres i den ønskede formen. Tykkelse bør være så stor at delene kan skrues sammen i tverrsnittet.

**Tabell 26: Vekting av materiale til prototype**

Løsninger	Hel aluminium	50/50 Alu/PC	Hel PC
<b>Positiv</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Billig</li> <li>• Stabil –alt en del</li> <li>• Optimal overgang mellom vegg og tak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Krumming av taket kan gjøres manuelt</li> <li>• Optimal væskeobservasjon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visuelt overblikk fra alle kanter</li> </ul>
<b>Negativ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen optimal observasjon av væskestrømmen</li> <li>• Krumming i både y- og z-retningen kan være krevende</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegg og tak må spleises</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegg og tak må spleises</li> <li>• Kostbar</li> </ul>

For å imøtekomme de økonomiske rammene og ulike krav falt valget på aluminiums-tak og PC- vegger.

### Framgangsmåte

Aluminiumsplate er enkel å kappe og kan krummes ved menneskekraft. PC-veggene skjæres ut med båndsgag i ønsket S-form. For å få en helt jevn overflate ble hver vegg filt i etterkant. Formen til PC-veggene og alu-platen ble tilpasset opp mot hverandre ved å spenne fast delene til et bord ved hjelp av klammer. Delene ble festet sammen ved hjelp av skruer, med diameter på 4mm, fra alu-platen ned i PC-platene. Ved å skru får man strammet delene til hverandre slik at overgangen blir så tett som mulig. For å tette overgangene helt brukte vi en silikonlignende lim; Tek7. Denne fungerte som lim og tetting av åpne hull mellom aluminiumsplate og plastveggene.





Figur 45: Konstruksjon av prototype. Kapping, montering og sluttprodukt (foto: eget)

### Utløpsstang

For å holde slusen stabil i stillestående vann monterte vi en stang med håndtak til utløpet. Dette gjorde det enkelt å manøvrere utløpet i vannet. Lengden på stangen var litt lengre enn høyden på slusen. Stangen, som var en hul aluminiums stang, ble gjenget i hver ende slik at man kunne feste et håndtak og en gjenget bolt i hver ende. Boltene ble festet på undersiden av slusetaket for å feste stangen til slusen. Bolthodet ble filt ned slik at ikke væskestrømmen ble påvirket. Håndtaket ble laget av en massiv stålstav. Håndtaket ble også gjenget slik at man kunne ta av og på håndtaket.



Figur 46: Produksjon av stativ til slusen (foto: eget)

### Ledelense

Ledelenser er viktig for å gjøre testingen så realistisk og visuelt riktig som mulig. Lensene er ikke avgjørende for testingen, men vil være med på å holde innløpet over vann samt og lede oljen til innløpet. Lensen ble laget av et avkappet plastikk rør som ble tettet med plastlokk på hver side. Lokkene ble festet med et par skruer og plastlim av typen Tangit. Tauet, som ble festet med en knute på innsiden av hvert lokk, gikk gjennom røret ved å lage to hull i hvert lokk.

For å lage skjørtet og tette lensen ble det laget en plastduk rundt lensen. Røret ble festet til plastduken ved hjelp av to tynne aluminiumsplater som fungerte som klemmer ved hjelp av bolter som strammet platene sammen. Boltene ble plassert jevnt utover platen. Skjetting ble brukt som ballast i skjørtet og ble festet med nylontråd. Videre ble isoporbiter i samme diameter som røret tredd på så nærme røret som mulig. Dette var både for å stramme opp duken og forsterke flyteegenskapene til lensen. Til slutt ble nylontråd brukt for å tette lensen slik at verken olje eller vann skulle trenge inn.



Figur 47: Konstruksjon av lensene: *øverst venstre*) materialet brukt, *øverst midt*) tau festet til enden på rør, *øverst høyre*) rør dekket med plast, *nederst venstre*) innsydd isoporbiter, *nederst midt*) to ferdige lenser, *nederst høyre*) linse i vannet (foto: eget)

## 7.2. Basseng

Vi ville gjerne bruke et basseng som testarena, og kom frem til tre mulige alternativer; låne bassenget til Norlense i Fiskebøl, Kystverket sitt basseng i Horten eller laget et eget basseng.

Tabell 27: Vurdering av forskjellig testarenaer

	Norlense	Kystverket	Bygge eget
<b>Positivt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stort basseng</li> <li>• Tåler olje</li> <li>• Fagpersonell tilgjengelig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stort basseng</li> <li>• Fagpersonell tilgjengelig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingen tidsbegrensings på test periode</li> <li>• Spesial laget til behov</li> </ul>
<b>Negativt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langt unna</li> <li>• Tidsbegrenset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidsbegrenset</li> <li>• Bassenget ikke tilgjengelig før 2014</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tar tid å lage</li> <li>• Ingen fagpersonell tilgjengelig</li> </ul>



Tabell 27 viser de forskjellige faktorene som vi tok hensyn til når vi valgte testarena. Å bygge et eget basseng ga oss mye frihet i forhold til antall tester man kunne foreta, og når man eventuelt kunne utøve disse eksperimentene. Det ble derfor det mest logiske valget for oss å ta. Allerede i januar begynte vi planleggingen av bassenget. Dimensjoner, form, materialer, skulle det bygges intern eller ekstern, var alle faktorer vi måtte bestemme oss for. På et tidlig stadiet hadde vi følgende krav:

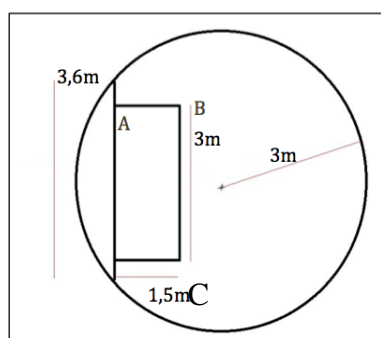
- Bassenget skulle være 4m x 1,2m x 1m
- Måtte tåle en strømming på minst 2 knop
- Ha minst et vindu i veggen

Da tid er en begrenset ressurs, så vi for hos at en ekstern leverandør kunne produsere bassenget. Verkstedet på universitetet hadde mulighet til å bygge bassenget, men kunne ikke love oss en fast dato på når bassenget kunne være ferdig grunnet lav bemanning. Leting etter andre leverandører ble rask igangsatt. Vi kontaktet forskjellige leverandører i Ski som kanskje kunne produsere et slikt basseng for oss i plast, men prisen ble for høy. Med lav bemanning på verkstedet og alt for dyre eksterne leverandører hadde vi bare ett valg; å bygge bassenget selv.

### Byggeprosessen

Før vi begynte på bassenget måtte slusen konstrueres slik at dimensjonene til bassenget passet overens med slusen. UMB hadde et enkelt sirkulært basseng på seks meter i diameter tilgjengelig som ble rammeverket til testarenaen.

Inni bassenget måtte det lages en arbeids-plattform, som ville skape et rektangulært testarena for slusen og som hindret at det kom skade på bassengets plast duk, slik som vist i bilde under.



Figur 48: Testarenalayout i bassenget

Av den grunn hadde vi flere krav til materialet:

- Billig
- Ingen oppdrifts mulighet i vann
- Må kunne ligge i vann i lengre perioder
- Motstå store krefter
- Lett å anvende
- 3 meter må være gjennomsiktig

Med anbefalinger fra både Tore Ensby og verkstedleder Bjørn Brenna, bestemte vi oss for å bruke finér plater som vårt underlag og side vegg, samt polykarbonat som fungere som vinduer.



Figur 49: *venstre*) bunnplate til testarena. *høyre*) sidevegg A til testarenaen (foto: eget)

Sidevegg A består av:

- 2 polykarbonat (PC) plater på størrelse:
  1. 1,0m x 1,25m
  2. 2,05m x 1,25m
- 1 finér plate på 1,2m x 1,2m
- 11 flate stål hengsler
- 66 skruer

Sideveggen starter med finér platen. Denne platen er koblet til den største PC platen ved hjelp av 5 stålhengsler. PC platene på enden av veggen er festet sammen med 6 stålhengsler.

Sidevegg B består av:

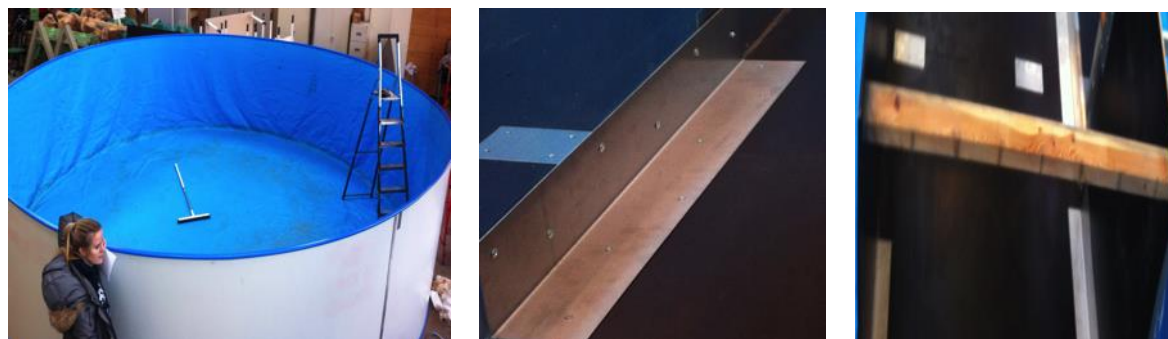
- 2 finér plater
  - 2,4m x 1,2m
  - 1,2m x 1,2m
- 30 skruer
- 5 stål hengsler

Slik som sidevegg A er denne veggen også satt sammen med stål hengsler og skurer.

Bunnen består av:

- 3 finér plater av størrelse 2,4m x 1,2m
- 8 stål hengsler
- 48 skruer

Alle platene har 2 spor som er hakket frem ved hjelp av hammer og meisel. Sporet er 13-14mm bredt og 2mm dypt. Mellom sporene måler det 1,5m. Dette vil være selve testarenaen der slusen vil ligge. To av platene er kuttet på sidene slik at det vil passe med den sirkulære formen på bassenget. Hengslene er festet med skruer og det er 4 hengsler ved hver kobling.



**Figur 50:** *venstre*) bassenget *midt*) vinkelstativ, *høyre*) bro mellom veggene (foto: eget)

Selve bassenget er 6m i diameter og 1,5m høyt. Den har en tykk plast duk som er holdt opp av en sirkulær stål vegg. Når veggene og bunnen til testarenaen var satt sammen ble alle tre delen båret opp i bassenget ved hjelp av andre studenter. Veggen ble festet til bunnen ved hjelp av 12 vinkelstativ (Figur 50 *midt*). Disse ble skrudd da ned i bunnen og inn i sideveggene. Det var 5 stativer i sidevegg B og 7 i side vegg A. For å sikre at veggene motstår trykket i vannet, festet vi tre broer jevnt fordelt på veggene. Disse broene var av enkle tre-bjelker som måler 1,5m langt (Figur 50 *høyre*).



Figur 51: Ferdigstilt testarena (foto: eget)

### Pumpesystemet

For å kunne skape en jevn strømning i hele bassenget bestemte vi oss for å bruke en enkel dykkpumpe. For at denne skulle fungere i bassenget måtte vi lage et stativ som ville holde slangen og pumpen stødig samt en dyse som kunne stå for seg selv.

Vi begynte med å få skaffet oss følgende ting:

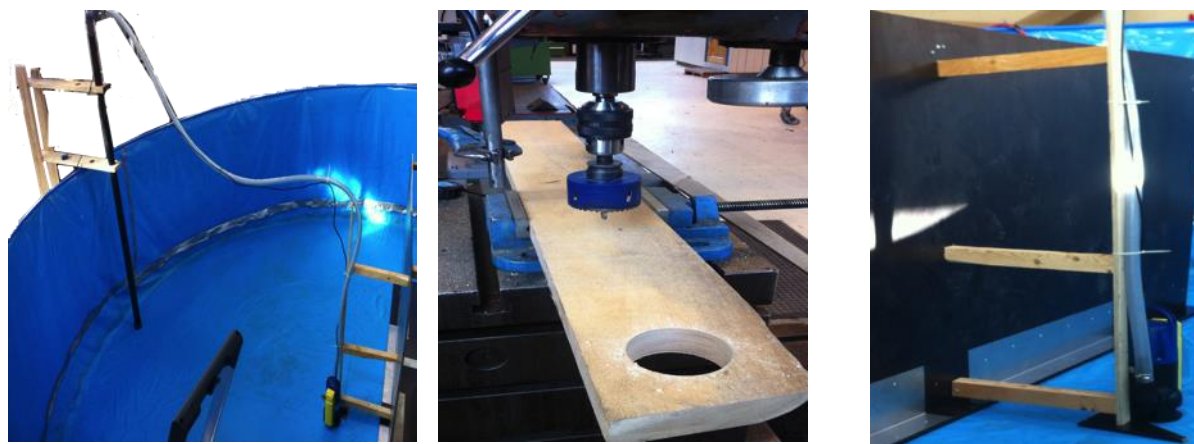
- 2 meter rør med koblingsmuligheter til slange
- 5,5m slange
- Bjelker
- Tre plate
- Stativ

Her fikk vi mye hjelp fra Bjørn Reidar Hansen på Fiskelaben ved UMB. Han ga oss tilgang til en 550W (9600l/time) dykkpumpe og et 2m langt rør med koblingsmuligheter. I røret måtte vi lagde 6 hull med 10mm slik at røret ville fungere som en dyse. Ved eventuelt svak strømning kan man utvide eller lage flere hull for å øke trykket i strømmingen.

Vi lagde så et stativ som kunne holde røret støtt uten at vi trengte å være nær det. Stativet inneholder 2 armer med hull i seg slik at røret kan bli tredd ned. Disse armene er skrudd inn i et stativ som står støtt på bakken.

Når stativet til dysen ble ferdig begynte vi på stativet til pumpen. Vi måtte lage en løpe bane som kunne føre en slange ut av vannet på kortest avstand. Vi lagde et enkelt stativ som vi

festet til veggen av testarenaen. Pumpen ble da plassert midt i bassenget ved siden av pumpestativet. Slangen ble satt på pumpen og strippset opp over stativet som vist i Figur 52 *høyre*.



**Figur 52: *venstre*) ferdigstilt pumpesystem *midt*) konstruksjon av rørstativ *høyre*) slangestativ inntil testarenaen (foto: eget)**

Når pumpen var installert og bassenget var klar til fylling så hele installasjonen slik ut:



**Figur 53: Ferdigstilt testarena med pumpesystem (foto: eget)**

Det tok 3 dager å fylle bassenget til 1m merket. Mens dette foregikk, prøvde vi å sikre bassenget ved hjelp av hengestetau. Dette plasserte vi nederst på basseng og rundt hele. Med dette antok vi at vi fikk fordelt kreftene vannet påsatte veggen på bassenget.

## 8. RESULTAT

### 8.1. Basseng test

Produktet er såpass uprøvd at man må ha slusen i vann for å få en pekepinn på hvordan den presterer og hva som må til for å optimalisere den. Det er derfor helt nødvendig med et basseng i nærheten slik at man kan gjøre kontinuerlig forbedringer gjennom testingen.

Siden bassenget blir bygget parallelt med slusen, vil ferdighetene til bassenget avgjøre i hvilken grad forskjellige teorier vil kunne bli testet. Både strømhastighet eller strømningsstyper er umulig å vite før bassenget er ferdigstilt. Målene vil derfor være å utfordre prinsippene ved slusen opp mot de omstendighetene bassenget vil gi.

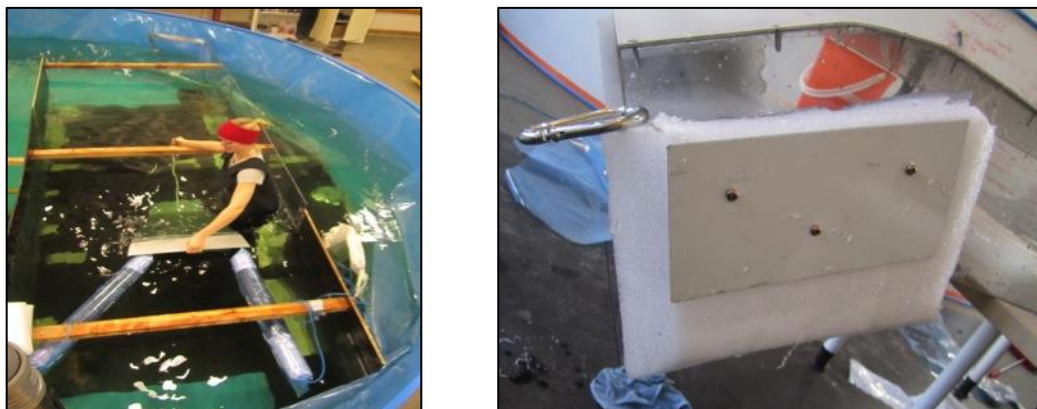
#### 8.1.1. Før-test av sluse

For å gjøre slusen så klar som mulig for testing var det avgjørende med en før-test av slusen i bassenget uten forstyrrelser som strømninger eller olje. Ulike kriterier ble satt opp:

- Hvordan vil slusen ligge i vannet uten hjelp fra andre flytemekanismer
- Slusens oppførsel ved dra-kraft
- Hvor bør festepunktet mellom sluse og lense være
- Hvordan oppføre slusen seg sammen med lensene

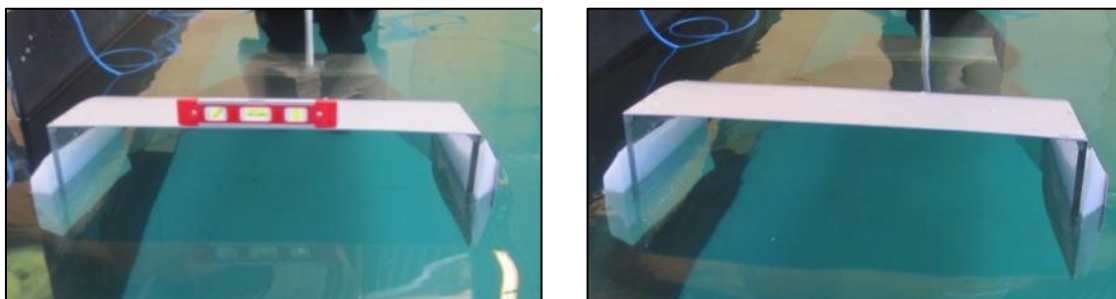
Ved første bassengsetting fant vi fort ut at innløpet trengte å flyte av seg selv. Det var ikke tilstrekkelig å bare feste tauet fra lensene til slusen. Vi prøvde derfor å legge lensene inn i slusen slik at slusetaket hvilte på lensen, men selv dette holdt ikke. Slusen sank og lensen var ikke bærekraftige nok. Ved å feste på isoporelementer på hver side av innløpet ville det holde seg stabilt over vann uten hjelp fra andre mekanismer. Isoporbitene ble skåret ut fra noen testlenser som vi hadde fått av Kystverket i Horten. Isoporelementene ble limt på med Tangit plastlim, og ble deretter forsterket med en stålplate. Platen vil også fungere som en beskyttelse.





**Figur 54: venstre) Test av lensenes kapasitet til å holde innløpet oppe høyre) Innløpsvegg med isopor (foto: eget)**

For å nå ønsket posisjon av innløpet måtte isoporet avskjæres litt etter litt. Ved stille posisjon bør innløpets tak være litt høyere enn optimalt for å ha noe høydemarginer for å sikring mot bølger. Men i motsetning må den ikke være for høy. Hvis innløpet er for høyt over havoverflaten vil ikke oljeflatene dra nytte av krumnings-overgangen.



**Figur 55: Balansetesting av innløpet (foto: eget)**

Etter å ha funnet ønsket flyt-høyde på innløpet ved å avskjære litt og litt isopor, ble innløpets helning målt med et vater for å få så rett innløp som mulig.

Før slusen ble festet til lensene ble den dratt forsiktig langs vannet for hånd. Med dette opplevde vi at slusen hevet seg mens den ble dratt bortover. Med den nye kunnskapen om slusens oppførsel i vann, ble det funnet frem vektorer som kunne blitt satt på utløpsstangen.

Festepunktene til lensene ble laget etter at innløpet fløt av seg selv. Ved å se hvordan de lå i forhold til hverandre, var det enkelt å se hvor lensen og slusen burde festes. På den ene enden av lensen ble en karabinkrok festet til en spleiset løkke. Etter å ha boret et hull til karabinkroken i slusen, kunne lensene bli lett koblet av og på slusen. Videre ble den

overflødig plastduken strukket frem og festet til karabinkroken med nylontråd for å dekke det åpne rommet mellom delene, slik at ikke oljen skulle lekke ut.



Figur 56: *Venstre*) Karabinkor kvestet til innløpsvegg, *høyre*) linsen festet helt opp i innløpsvegg  
(foto: eget)

### 8.1.2. Test med vannpumpe

På dette tidspunktet var strømming i bassenget det eneste som manglet før vi kunne begynne å produsere resultater. Disse usikre forholdene gjorde at en del kriterier ville bli bestemt etter hvert som vi fullførte testen.

#### Testforhold

Forholdene i testlokasjonen:

- Mål om en strømhastighet opp mot 1 knop. Vil bli målt under testing kontinuerlig.
- Minimalt med bølger. Eventuelle bølger vil komme ved turbulens fra strømsetter.
- Vannet er ferskvann fra springen.
- Vanntemperatur på 13°C, tilsvarende sommertemperatur i Nordsjøen.
- Lufttemperatur på ca. 17°C.

#### Utstyr

Foruten prototypen er vi avhengige av ulike verktøy og utstyr for å få ønskede resultater:

- Olje fikk vi fra Kystverket i Horten. Dette er olje som brukes til testing hos kystverket, NOFO og andre selskap. Oljen ble tappet direkte fra testlokalene i Horten og har stått avkjølt i oljevennlige halvliter-flasker frem til bruk. For å få en pekepinn på hvordan



væskens oppførsel vil variere med viskositet og andre egenskaper valgte vi å bruke to svært varierende oljetyper:

- 1000 cSt: tynn olje som er blandet med diesel og har en veldig dieselduft
- 8000 cSt: tykk olje som er blandet med vann og lukter grusomt

Oljen vil bli manuelt sluppet ned på overflaten rett fra flasken. Rundt 0,2 liter vil bli brukt til hver test, avhengig av hvor store flak de ulike oljetypene lager.

- Undervannskamera som tåler vann og olje. Brukes til å dokumentere oppførselen til oljen gjennom slusen og slusens stabilitet og oppførsel. Under denne testen ble typen GoPro kamera brukt
- Kamera til å dokumentere testingen. Gjøres av en tredje person, da det trengs 2 personer til uttesting.
- 3 stk. vadebukser i neopren. Vannet er såpass kaldt i tillegg til at man må stå relativt lenge i vannet under testing. Vadebuksen gjør at vi kan konsentrere oss om testingen, ikke om å holde varmen.
- Sorbente olje ark. Brukes til oljeoppsamling. Vi vil fokusere på hvordan oljen oppfører seg for å kunne optimalisere Oilsweeper konseptet ved seinere anledning. I tillegg tåler verken basseng eller bukser spesielt med olje, samt at ved tilgrising av olje i vannet vil det være vanskelig å få målt og dokumentert det som skjer under vann ved testing.
- Sorbent teppe som legges på vannoverflaten over utløpet. Dette er for å fange opp oljen umiddelbart etter at oljen forlater utløpet. Den vil også gi oss en pekepinn på hvor oljedråpene stiger opp. Teppet blir teipet sammen av 6 sorbent ark.

### Testkriterier

- Slusens oppførsel ved ulike strømhastigheter. Spesielt hvordan utløpet oppfører seg og eventuelt når vil vannskiprinsippet inntreffe.
- Samspillet mellom linse og sluse.
- Oljens oppførsel ved innløpet, gjennom kroppen og ved utløpet. Vil slusen kunne lede oljen gjennom slusen. Eventuelt hva er den kritiske hastigheten som må til for å få det til. I tillegg er det spesielt relevant å måle oljens stige-hastighet, form og oljens samspill med vannet fra utløpet.
- Hvordan vil de ulike materialene og delene respondere på oljen.

## Testrapport

Vi så kjapt at vannet ble skitnere for hver dag ettersom ulike deler på testarenaen rustet og støv og rusk fra rommet havnet i vannet. Vi hadde derfor ikke ubegrenset med tid.

Når vannpumpen ble skrudd på merket vi raskt at strømmingen var for svak. Vi valgte både å utvide hullene til 13,5 mm og øke antall hull til 8 stk. Vi kjente på vannstrålene at det var fortsatt for svakt trykk. Vi forandret posisjonen på dysene ved å flytte hele installasjonen nærmere testarenaen. Vannstrålene ble da mer sentrert rett inn i kanalen, men trykket var for svak til å dra med seg vannet rundt. Vi byttet ut pumpen med en sterkere vannpumpe på 1100W (18000 L/time), men fortsatt ingen tydelige forandringer. For å finne ut at det var vannpumpen som ikke var god nok, og ikke at det gikk for mye trykktap gjennom rørbend og dysehull hektet vi av vannpumpeslangen og holdt den direkte foran slusen.



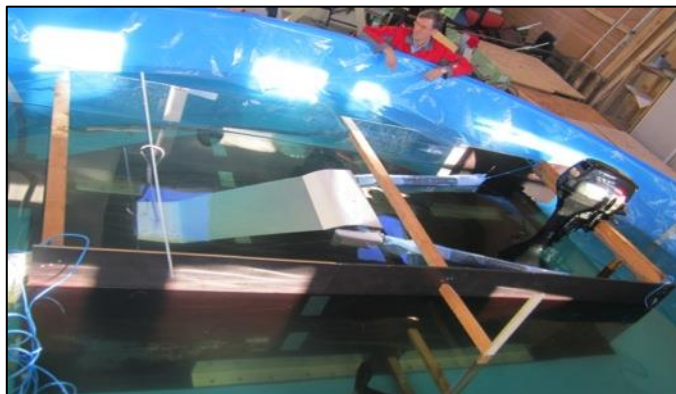
Figur 57: Strømningsforsøk med vannpumpeslange (foto: eget)

Dette skapte kun turbulens på overflaten og kunne ikke brukes til noe. Vi flyttet også vannpumpen til utgangen til kanalen i håp om at det skulle bli en mer sirkulerende strømning, men fortsatt uten hell. Vi måtte derfor tenke alternativt. Vi hadde allerede en nokså stødig plattform som man kunne montere en påhengsmotor på. Vi tok motet til oss og festet en 9,9H påhengsmotor på den fremste broen i testarenaen vår.

### 8.1.3. Test med påhengsmotor, bensin

I første omgang installerte vi da en påhengsmotor med 9,9 Hk på starten av kanalen (vist på Figur 58). Vi forsterket støttebjelken med en ekstra bjelke horisontalt og en vertikalt. Vi fikk fort erfart at en slik motor har enorme krefter, og ved svak fart kom vannet i bevegelse. Her var det viktig at propellen stod i riktig posisjon. Ved feil posisjon forflyttet slusen seg

umiddelbart ut til en av kantene. Den voldsomme kraften gjorde det derfor vanskelig å holde slusen stabil. I tillegg ble det en enorm turbulens foran og rundt slusen. Det var derfor unødvendig å få til noe testing med olje.



Figur 58: Strømningsforsøk med motor (foto: eget)

#### 8.1.4. Test med påhengsmotor, Elektrisk

På grunn av kraften i 9.9Hk motoren var for sterk bestemte vi oss for å bytte til en mindre elektrisk motor med trekk kraft på 13.6kg. Vi festet motoren på det samme stativet som den mekaniske motoren. Denne elmotoren hadde 5 hastighetsnivåer fremover og 3 bakover. Den lille propellen gjorde at strømmingen ble svært sentrert i den retningen propellen pekte, men det ble likevel en mer kontrollert strømming enn ved den mekaniske motoren. Vi fant derfor ut at vi skulle kjøre et par tester med olje med de samme testkriteriene som ved vannpumpen.

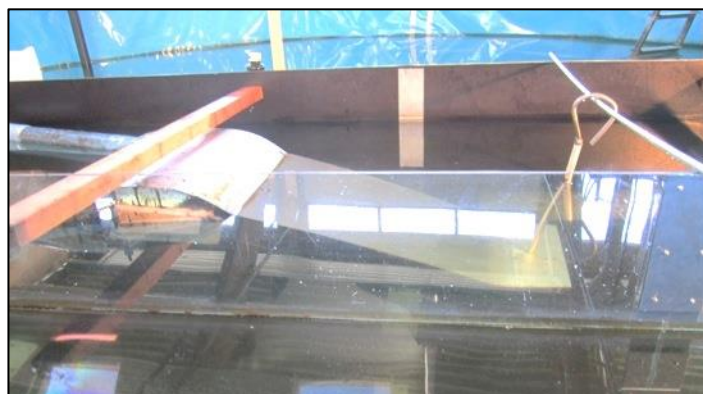


Figur 59: *Venstre*) Elektrisk motor, *Høyre*) Elektrisk og mekanisk motor side ved side (foto: eget)

## Kort testrapport

Testingen med elektrisk motor foregikk med de samme forholdene som ved vannpumpen. Vannstrømmen hadde en hastighet opp mot 2m/s (1 knop) ved inngangen til slusen. Hastigheten avtok utover kanalen ettersom det ble mer en vannstråle enn en vannstrøm. I tillegg slo en del vann tilbake i kanalen når vannet traff bassengkanten i enden. Dette var fordi vannet ikke hadde en helt fri utgang (se Figur 55). Vi hadde muligheten til å montere en ekstra påhengsmotor på enden for å hjelpe strømmingen til å forlate kanalen. Men siden vi ønsket å se hva som skjedde ved utgangen til slusen ville propellen bare lage forstyrrelser. Dette betød at vannet som væskestrømmen gjennom slusen traff ved utløpet var tilnærmet null.

Siden ikke motorstrømmen greide å holde sluseutløpet oppe ble utløpet holdt oppe av en stålstang som gikk gjennom håndtaket til utløpstangen. Lengden på utløpstangen var gjennomtenkt til dette, så slusen lå i ønsket posisjon 60 cm under overflaten.



**Figur 60: Utløpstang som holder oppe utløpet (foto: eget)**

Til denne testingen trengte vi 3 personer. En til å lage et oljeflak foran slusen og styre motoren, en til å filme, og en til å holde sorbent teppet.

Vi gjorde noen forsøk med hver oljetype, der vi begynte med tungoljen og sluttet med lettoljen. Ved alle forsøkene ble oljeflaket plassert et sted mellom motor og innløp. Motoren hadde hastighetsnivå 4. I tillegg ble motoren startet i noen av testene før oljen ble introdusert, og i noen av testene var motoren i gang. Gjennom hele testingen hadde vi på oss et sorbent belte som vi lagde for å beskytte draktene mot olje på overflaten.

## Resultat med Elmotor

Vannstrømmen fra propellen var ikke kraftig nok til å løfte utløpet til slusen. Utløpet var derfor stilt inn i ønsket posisjon ved hjelp av utløpsstang.

### Forsøk med tungolje:

Om motoren ble startet før eller etter oljen kom i vannet hadde ikke så mye å si. Det som var avgjørende var plasseringen til oljeflaket. I de forsøkene var oljen nærme propellen og turbulensen fikk tak i oljen slik at oljeflaket delte opp i millioner av små biter. Disse bitene ble dyttet nedover slusen slik vi ønsket, men på en litt annen måte enn forventet. Oljedråpene søkte ikke opp i slusetaket. De holdt sin dråpe-form og oppførte seg som små sprettballer som ikke ble påvirket av slusetaket. Grunnet de små bitene ble oppdriften for lav og de fortsatte i samme fart som resten av vannet ved utløpet. Det var ikke før turbulensen og strømmingen var forsvunnet at oljen begynte å stige opp igjen. Dette ser vi også på det sorbente teppet (Figur 61).



**Figur 61: Sorbentteppe som viser spredningen til oljen. Toppen er nærmest slusen mens bunnen er lengst vekk fra utløpet (foto: eget)**

Oljen holdt seg inni fartsfeltet, men ellers stor spredning i fartsretningen.

I de forsøkene der den kraftigste turbulensen ikke fikk tak i oljen var det ikke nok strømning og kraft i vannet til å skyve oljeflaket gjennom slusen. Oljen ble bare skjøvet inn i innløpet og møtte slusetaket som en vegg og ble dyttet tilbake.

Det vi ser i film "El.motor\_2", etter ca 12 sek, er at oljen stiger opp med en gang den forlater utløpet. Dette er fordi i dette tidspunktet stoppes motoren. Turbulensen er forsvunnet og oljen blir ikke påvirket av noen ytre faktorer og får da tid til å stige opp. Gjennomsnittlig oljedråpe brukte ca 7 sekunder opp. Det vil si en stigehastighet på 0,6 meter per 7 sekund (0,09 m/s).

### Forsøk med lettolje

Når propellstrømningen treffer oljeflaket blir oljen så ødelagt og turbulensen så dominerende ovenfor oljen, at den ikke får noen bestemt fartsvektor. Oljen blir bare kastet rundt om og stiger opp der vannet er rolig. Den oljen som kom seg gjennom slusen var såpass påvirket av turbulensen at slusen ikke hadde noe å si for hvor den beveget seg.

Denne testen ga ingen spesielt gode resultater, ettersom turbulensen ble så dominerende. Vi fikk ingen naturlig strømning slik vi ønsket oss. I disse forsøkene ble oljen skutt gjennom slusen av propellen. Det var ikke slusen som fysisk presset ned oljen. Vi måtte nok en gang tenke alternativt for å få bedre resultater opp mot virkeligheten. Løsningen ble å dra slusen over vannoverflaten med håndkraft over oljeflaket.

### **8.1.5. Test, dra-kraft**

For å få til optimal testing ved å fysisk dra slusen, var vi avhengig å gjøre noen få rekonstruksjoner på testarenaen. Den midterste støttebjelken ble fjernet slik at slusen fikk fritt spillerom gjennom hele testarenaen. For å få dratt slusen enklest mulig fjernet vi lensene. Da fikk vi også se hvordan slusen greide seg på egenhånd. Utenfor bassenget ble det laget en liten plattform som den ene kunne stå på for så å dra slusen. Ved å stå utenfor bassenget fikk vi mulighet for å dra den hurtigere og det ble mindre forstyrrelser i vannet. Vi festet et langt tau i hvert festepunkt i slusen.

#### **Forhold og utstyr**

- Testen hadde like forhold som ved de andre testene.
- Ulike vekter til å feste på utløpsstangen, á 0.5 kg, 1.5 kg, 8 kg.
- Den effektive dra-lengden er på 2,4 meter før den stoppet momentant i en støttebjelke.

#### **Testkriterier**

I denne testseansen vil det, i tillegg til de testkriteriene gitt i kapt. 8.1.2, testes for:

- Hvilke tyngde utløpet bør ha ved forskjellige hastigheter. Slusen er konstruert slik at utløpet bør ha en horisontal stilling eller nedover for å få optimal oppdrift fra oljen.
- Hvor stor hastighet er nødvendig for å få de ulike oljetyperne til å gå gjennom slusen.
- Om vinkelen til slusen har noe å si for oljens oppførsel ved innløpet og ellers gjennom slusen



## Kort testrapport

I denne seansen trengte vi to personer. En til å dra slusen på utsiden av bassenget og en til å filme, søle olje samt ta på vekter. Dra-tauet gikk under en støttesøyle i enden slik at slusen ble trukket helt horisontalt med vannoverflaten. Før vi begynte å måle og dokumentere, ble det gjort en del dra-tester. Siden oljen forurenset så mye var vi avhengig å ikke feile i testkjøringen. Det var heller ikke vits å begynne med filming før trekkingen ble så jevn som mulig. Under før-testingen så vi at innløpet hevet seg når vi dro. Dette gjorde at oljen ikke traff innløpet, men gikk rett i kroppen. For å forbedre dette senket vi innløpet ved å skjære av nok isopor slik at innløpet lå bare et par centimeter over vannoverflaten.

Det første som ble testet var hvordan slusen oppførte seg ved forskjellige hastigheter. Her fokuserte vi på å se på to ting, posisjonen til utløpet og oppførselen til innløpet.

Utallige mange tester ble dokumentert foran, ved siden og bak slusen. Håndtaket til utløpsstangen ble fjernet for å komme under den første støttebjelken, slik at man ikke fikk anledningen til å holde utløpet. Utløpet ble derfor noen ganger plassert på en stol, og noen ganger ble den dratt med utgangsposisjon fra bunnen. Ved å plassere slusen på stolen fikk vi også startet den i en naturlig posisjon.

For å få justert vekten til utløpet brukte vi utløpstangen og ulike vekter. Vektene var hullet slik at de kunne enkelt plasseres på stangen. Uttestingen forgikk ved å dra i en hastighet og ta på nødvendig tyngde slik at det ble en ønsket vinkel på slusen.

Når utløpet nådde den ønskede posisjonen ble det gjort noen forsøk med olje. Både tung- og lettolje med forskjellige hastigheter ble testet. Mengden på oljevlakene var på samme størrelse som før, og ble plassert så nært innløpet som mulig.

## Resultat med dra-kraft

Ønsket utløpsposisjon vil være fra horisontal stilling og nedover. Innløpet bør være så stabilt som mulig i henhold til startposisjon. Det bør ikke heves noe særlig ved oppsamling.

### Utløpets og innløpets oppførsel

Uten tilleggs vekter ble slusens vekt i vannet målt til 1,95 kg. For å holde oss innenfor rammene til ønsket utløpsposisjon måtte slusen dras med en hastighet på 0,5 m/s (film "dra\_utenvekker\_1"). I alle de tre dokumenterte resultatene er utløpets utgangsposisjon fra bunnen. Innløpet hevet seg selv med helt horisontalt dra-retning i alle forsøkene. Etter hvert som den møter motstand i vannet søker kroppen vannoverflaten. Dette gjør at innløpets krumming ikke blir en del av prosessen og væsken møter først kroppen til slusen. En annen interessant ting er hvordan starthastigheten har å si for innløpet. Ved brå start ble posisjonen til innløpet høy, mens ved rolig og jevn start holdt innløpet seg mer stabilt i utgangsposisjonen. Dette kan selvfølgelig utjevne seg over en lengre periode enn de 3 meterne vi hadde. Dette er en ting som blir bedre å se nærmere på ved testing i sjøen.

**Tabell 28: Resultater fra Bassengtest med bruk av dra-kraft (foto: eget)**

Hastighet	Utløp	Bilde av utløp	Innløp
0,5 m/s	Ønsket posisjon.		Middels heving
0,8 m/s	Litt høyt. Cirka 5-10° over ønsket posisjon.		Middels høy heving
1,1 m/s	For høyt. Utløpet flyter nesten halvveis opp til overflaten.		Middels høy heving. Kroppen heves så høyt at innløpet blir vinklet nedover.



En annen ting som kan ha innvirkning på innløpets oppførsel er hvordan innløpet er formet helt i begynnelsen. Ut ifra bilde under ser man at utformingen gjør at slusen møter stor motstand i vannet.

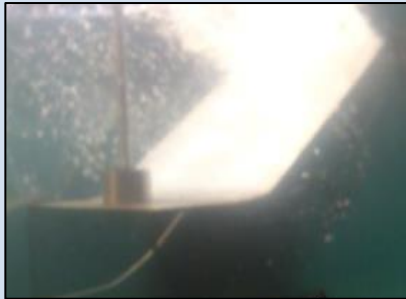



Figur 62: Innløpets vannmotstand (foto: eget)

#### Tyngde på utløpet

Ved høy hastighet ble vannskiprinsippet svært fremtredende. Slusen ble derfor avhengig av eksterne vekter ved høyere hastigheter for å holde utløpet i ønsket posisjon. I en under er de viktigste forsøkene vist. Disse bekrefter at det er en sammenheng mellom fart og tyngde.

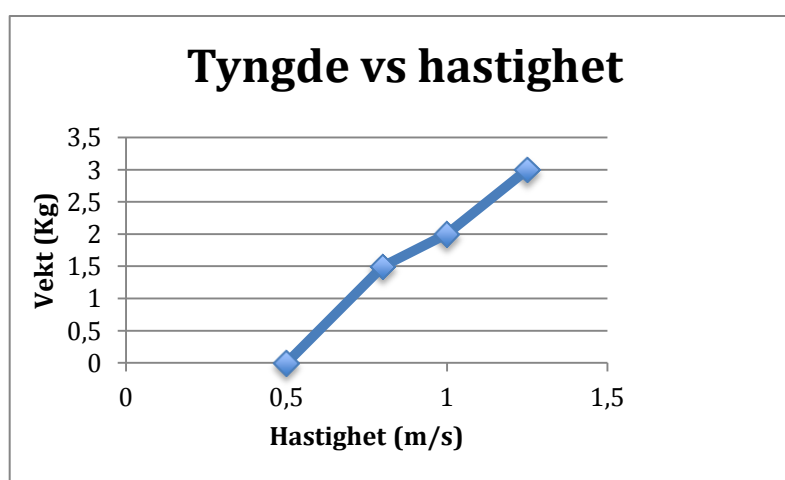
Tabell 29: Resultater basert på påsatt vekt (foto: eget)

Vekt	Hastighet	Figur	Beskrivelse
1,5 Kg	0,7 m/s		Ønsket posisjon. Holder en helt horisontal stilling.
1,5 kg	1,0 m/s		Litt høy. Utløpet er vinklet oppover med 10-15°

Tabell 30: Fortsettelse av Tabell 29

2 kg	0,9 m/s		Utløpet er vinklet litt nedover. Den har fortsatt litt fart å gå på.
3 kg	1,1 m/s		- holder seg noen få grader under 0 grader.
8 kg	-		Ble for ustabil. Veltet med en gang.

Figuren under for seg forholdet mellom tyngde og hastighet. Mange faktorer kan spille inn og endre størrelsen på verdiene, men alle forsøkene er gjort på lik måte noe som gjør forholdet svært nøyaktig.



Figur 63: Grafen viser tyngde på utløpet opp mot hastigheten på slusen

Noe som kom frem av testing med større tyngde på utløpet var at slusen ble mye mer stabil i fart. Ved ingen ekstra vekt hadde slusen en slengende tendens i fart. Med tyngde var den jevnt stabil fra start av. Dette kan ha med at tregheten til slusen blir større og dermed vanskeligere for vannet å flytte.

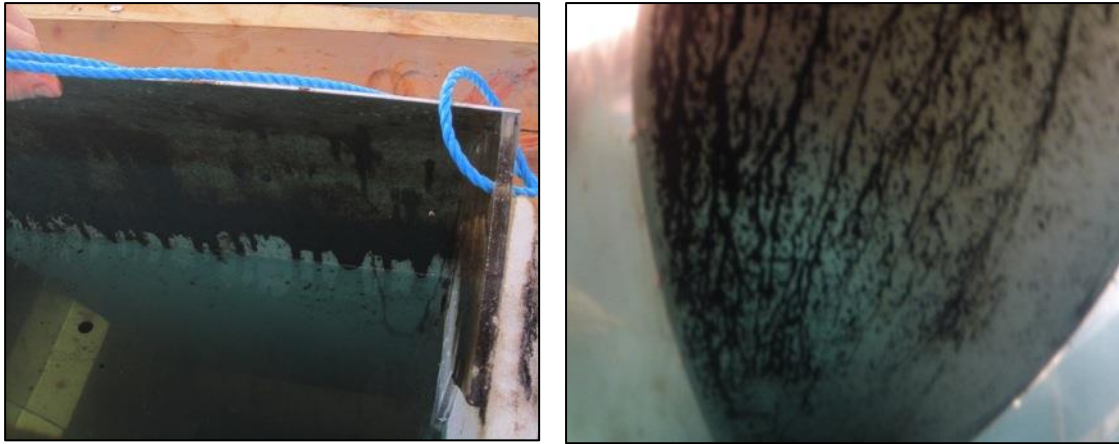
### Olje gjennom sluse

Oljen hadde store problemer med å komme gjennom slusen. Vi var avhengig av å skape en så stor hastighet som mulig. Tyngden til utløpet hadde stor betydning for hvor fort vi greide å dra slusen, slik at de fleste forsøkene ble gjort med 1,5kg plassert på utløpet. Med denne tyngden ble hastigheten maksimal, samt at utløpet, holdt noenlunde sin posisjon ved høy fart. Oljetypene hadde ulike resultater og under er et lite sammendrag.

- 1000cSt:
  - Test 1, hastighet på 1m/s (tid: 2,2 sek med 1,5 kg): Selv med høyt utløp vil ikke oljen gå gjennom.
  - Test 2, hastighet på 1,2m/s (tid: 1,9 sek med 1,5 kg): Her går oljen gjennom slusen, men den får ikke tid til å komme gjennom hele kroppen og ut utløpet. Akkurat når slusen treffer enden av testarenaen blir oljen presset ut (film "dra\_1,5kg\_1000cP\_2.MP4"). Dette beviser at oljen er entret slusen, men kanalen er for kort til å få fullført hele prosessen.
- 8000cSt:
  - Tungolje ville ikke ved noen av forsøkene gå gjennom slusen, selv med en hastighet på 1,2 m/s. I tillegg ble utløpet dradd oppover, noe som gjør det lettere for oljen å gå gjennom slusen. Dette medfører at for å få olje med så høy viskositet til å bli forskjøvet nedover slusen, må hastigheten økes betraktelig og testarenaen forlenges. Nok en gang økes nødvendigheten for en større testarena.

### **Andre resultater**

I de fleste tilfellene hopet oljen seg opp ved innløpet. Dette ser man klart og tydelig på Figur 64 *venstre* under. Optimalt sett skal det ikke være et klart skille her ettersom alt skal gjennom slusen. Figur 64 *høyre* viser hvordan oljedråpene har vandret på slusetaket. Dette viser at når oljen er kommet under vann, vil den drive rett frem mot utløpet. Avtrykket er avtakende ned taket.

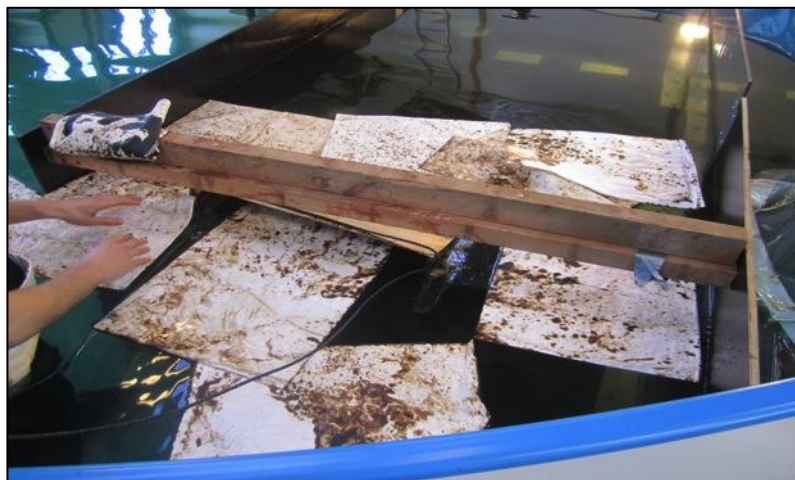


Figur 64: Oljevetrykk på slusetaket etter utført bassengtest, *venstre*) ved innløpet *høyre*) ned slusetaket. (foto: eget)

### 8.1.6. Etter Test

Prototypen var ikke bygd med en oppsamler. Dette betydde at etter hvert forsøk måtte all olje samles opp for å ikke tilgrise basseng og andre materialer, samt å få et så klart vann som mulig til neste test. Dette gjorde også at vi fikk erfare hvordan oljeoppsamling foregår. Som oppsamlingsmetode brukte vi sorbente ark. Dette er oppsamlingsvektøy som blir spesielt benyttet nært land, helt i strandsonen.

Etter hvert forsøk brukte vi testlenser fra kystverket til å avgrense området både foran og bak testkanalen. Dette gjorde at vi enkelt kunne samle opp oljen uten for store problemer.



Figur 65: Bruk av sorbentark for å rydde opp oljen etter hver test (foto: eget)

Opprydningen ga oss ulike erfaringer:

- 8000 cSt
  - Setter seg godt fast i materialet. Håpløst å ta av enten det er tre eller aluminium
  - Veldig enkelt å absorbere på åpent vann siden oljeflaket holder seg samlet. Dette gjør derimot at oljeflaket opprettholder sin tykkelse, slik at du må la oljen få god tid til å bli absorbert inn i arkene.
- 1000 cSt
  - Setter seg ikke like godt fast i ting, noe som gjør det enklere å ha med å gjøre
  - Vanskelig å rydde i åpent vann. Den løser seg fort opp og deler seg utover overflaten umiddelbart.

### Rengjøring

Ved ferdig testing prøvde vi å rengjøre materialene ved ulike forhold og med forskjellige metoder. Rengjøring av olje ved  $-10^{\circ}\text{C}$  er en umulig oppgave selv med bruk av høytrykkspyler og Zalo. Vannet frøs umiddelbart, uavhengig kaldt eller varmt vann. Man er avhengig av å få rengjort i romtemperatur. Beste måten vi fant ut av, var å bruke Zalo og varmtvann, for så å spyle av med høytrykkspyler. Zalo er genialt for oljeopløsning siden den bryter overflatespenningen til oljen slik at den løser seg fra materialene. Slusen var utmerket designet for rengjøring da man kommer til med høytrykkspyler over alt. Etter rengjøring var verken plast- eller aluminiums materialene påvirket av olje eller andre kjemikaler.

### Opprydning

Vannet ble pumpet ut av en vannpumpe. Varmt vann med Zalo ble brukt til vasking. Under hele testingen ble kun rundt 2 liter olje brukt. Etter testingen så det derimot ut som vi hadde brukt minst 10 ganger så mye. Dette poengterer bare hvor omfattende oljeoppsamling kan være og hvor mye den brer seg utover.



Figur 66: Opprydningsarbeid. Tømming og vask av bassenget (foto: eget)



## 8.2. Sjø-test

Testarenaen fra bassengtesten viste seg å ha visse negative sider. Den største av de negative sidene, var at den ikke var lang nok. For oss var det viktig at vi kunne se at oljen virkelig hevet seg ved utløpet. Fra dette konkluderte vi med at vi skulle ta en ny gjennomgang av slusen, men denne gangen så skulle testen foregå i Oslofjorden.

Ved å teste den i sjøvann ville vi skaffe oss et innblikk i hvordan strømminger, bølger og andre forstyrrelser i vannet ville påvirket slusen.

Etter påsken fikk vi tilgang til to små båter; en på 10 fot og en på 8 fot.



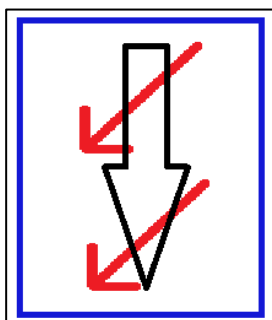
Figur 67: Båtene som ble brukt under sjø-testen (foto: eget)

Disse fylte vi med alt utstyr som vi måtte trenge:

- 3 flytevester
- boks med sorbenter
- 1 liter olje
  - 0,5 liter med 8000 cSt olje
  - 0,5 liter med 1000 cSt olje
- kamera
- tau
- sluse
- åre

Vi utført eksperimentet med tre personer. En som satt i en blå 8 fots båten og to som oppholdt seg i en grå 10 fots båten. Den blå båten var koblet til den grå ved hjelp at et langt tau ettersom det kun var motor på den grå. Personen i den blå båten hadde ansvar å filme slusen

fra siden og bak, samt å holde slusen fra i å drukne i vannet når båtene var i ro. Den ene i den grå båten hadde ansvar for tauene som var festet til slusen. Tauene til slusen ble ikke bunnet fast i båten ettersom vi var avhengig av å flytte på slusen inn og ut av kjølevannet til motoren. Den andre hadde i oppgave å kjøre båten, samt helle olje og filme forfra. Ettersom testen ble gjort i april var temperaturen i både luft og vann fortsatt kaldt. Temperaturen i vannet lå på en 4°C mens det var 5°C i luften. Sjø-forholdene var relativt rolige med små til ingen bølger, men det tok seg opp utover dagen og det var en god norddrags-strømning med en overflatestrøm på 45° på hovedstrømmen.



**Figur 68:** Visning av norddrags-strømning og overflatestrømmen. Stor pil er norddrag-strømmen, liten pil er overflatestrømmen

Testen ble delt i to: med olje og uten olje og slik var resultatene.

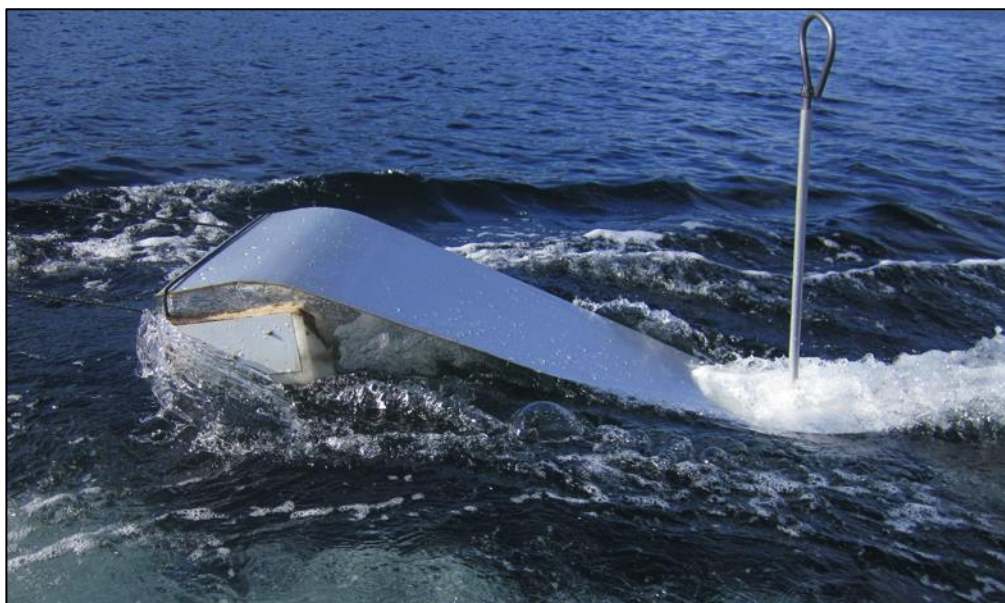
### Uten olje

Så fort vi hadde kommet oss langt nok fra stranden kastet vi slusen ut i vannet.



**Figur 69:** Første sjøsetting av slusen (foto: eget)

Med en hastighet på mellom 3-5km/t, altså fra 1,5 til 2,5 knop, kunne vi raskt konkludere at vi var avhengig av å sette vekter på utløpet. Når slusen dras bortover løfter hele slusen seg opp og fremover slik at kun en liten del ligger i vannet.



**Figur 70: Slusen uten vekter dratt bortover vannet ved hjelp av båt (foto: eget)**

Vi stoppet båten og fikk satt på flere vekter og var klare for en ny runde.



**Figur 71: Påføring av vekter på vektstangen (foto: eget)**

Her begynte også filmingen vår. Dessverre fikk vi problemer med undervannskameraet, men takket være PC-veggene på slusen fikk vi sett hvordan vannet og oljen strømmet ned.

Fra bassengtesten fant vi ut at ideelt sett skulle det være 1,5kg ekstra vekt på utløpet. Med dette og det faktumet at saltvann har høyere tetthet enn ferskvann, bestemte vi oss for at vi skulle prøve oss først med en vekt økning til 3 kg. Med en hastighet på ca. 4,3km/t (2,3knop)



klarte vi å få en fin posisjon på slusen, men at den la temmelig vinglete i vannet (se film "3\_kg\_4\_3kmt"). Fra filmen ser man at vi får noe turbulens både ved innløpet og ved utløpet i og med at det former seg skum ved begge plasser.



Figur 72: Sluse i sjø med 3 kg vekt (foto: eget)

Testen med 3 kg viste at taket på innløpet lå for høyt over vann enn ønsket. Tyngre vekter ble satt på utløpet.

Med vekt på 8kg på utløpet ble slusen vanskeligere å kontrollere.



Figur 73: Vinglene sluse sett fra siden med 8 kg vekt (foto: eget)

Vi startet denne testen med en hastighet på ca. 3km/t (1,5knop) og at personen i den blå båten holdt fast i kroken på utløpet. Ved dette tidspunktet holdt slusen seg stabil i vannet. Når kroken ble sluppet måtte hastigheten økes slik at utløpet ikke sank nedover. Med dette ble slusen veldig vinglete og la seg aldri til rett. (se film "8\_kg\_3kmt.mov").

Vi så også at uansett om vekten på utløpet hadde blitt tyngre så lå innløpet alt for høyt opp over vannet.

Etter flere prøvelser kom vi frem til at en hastighet på 4km/t (2,1knop), vekt på 3 kg med posisjon utenfor kjølevannet ga minst vingling på slusen (se film 3\_kg\_min\_ving). Disse oppdagelsene ble derfor brukt for videre testing med olje.

### Med Olje

Så fort slusen sluttet og vingle seg for mye begynte vi å helle i olje. Det først var på 8000 cSt. Her opplevde vi noen vanskeligheter med det å kaste ut oljen mens båten var i fart. Når oljen kom seg inn i innløpet traff den veggen på slusen lenger ned en tidligere antatt.



**Figur 74: Første forsøk med olje i vannet. Bilde viser innløpet på slusen (foto: eget)**

Her ble oljen liggende til det etter noen sekunder ble forskjøvet nedover.

På grunn av bevegelse både fra båten og strømmingene i vannet, var det vanskelig å se om det faktisk kom noe olje opp fra utløpet. Under siste test derimot klarte vi å se at olje fløt oppover fra midten av utløpet. Med en hastighet på 4km/t kom oljen opp bare 20-30 cm etter slusen. Den viste seg i kjølevannet til slusen (rød sirkel i Figur 75). Under denne testen brukte vi olje med 1000cSt.



Figur 75: Slusen i fart sett fra siden. Rød sirkel viser hvor oljen steg opp (foto: eget)

Når vi skulle ta slusen opp av vannet så vi at oljen ikke hadde satt seg fast i hele sluse taket, men bare fra der den entrete innløpet og ca. 15cm nedover.

Tabell 31: Oppsummering av sjø-test resultater

Vekt	Kommentar
Ingen ekstra vekt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hele slusen løfter seg</li> <li>• Vannskiprinsippet gjelder</li> </ul>
3 kg ekstra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vingler en del</li> <li>• Mulig å få kontroll</li> <li>• Innløpet lå høyt over vannet</li> <li>• Vannskiprinsippet gjelder</li> </ul>
8 kg ekstra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vinglet</li> <li>• Umulig å få kontroll uten å holde</li> <li>• Innløpet lå høyt over vann</li> <li>• Vannskiprinsippet gjelder</li> </ul>

## 9. DISKUSJON

### 9.1. Teori

Vi viste tidlig at beregninger av prosessen ville være vanskelig, grunnet manglende teori. Hydrodynamikken var også et felt som vi var svært ukjent med, så alt måtte læres fra bunn av. Vi fant tidlig ut at beregningene ville være mer en læreprosess om prinsippene rundt sluseprosessen. Hvordan de ulike parametere oppførte seg opp mot andre parametere, ble viktigere enn de kvantitative verdier.

#### Hydrodynamikk

For å i det hele tatt benytte oss av ulike teorier, ble vi avhengige av ulike begrensninger. Ulike verdier som bølger, strømminger og klima måtte ses bort ifra, selv om dette var parametere som er helt essensielle i sluseprosessen. For å gjøre hydrodynamikken teoretisk mulig opp mot vår prosess, måtte rammene ses som ideelle. Beregningene ble gjort med hensyn på en lukket kanal. Påvirkning av strømminger som væsken vil ha uten bunn ble ikke da tatt hensyn til. Også væskene ble sett på som ideelle og newtonske. Oljen og vannet gjennom slusen ble sett på som to separate strømminger, uten påvirkning av hverandre eller andre omgivelser. Oljen vil da bare bli påvirket av veggene. I et realistisk tilfelle vil oljen bli påvirket i stor grad av bevegelsene til vannet. Oljen vil ha vegg kun rundt halvparten av strømrøret. Det vil derfor være mer realistisk å halvere tapsverdiene i avsnitt 5.1.2. Turbulens i vannet vil forstyrre oljen straks væskeblandingen entrer innløpet, slik at det blir en flerfasestrøm med en olje-i-vann blanding. Dette begrunner Bernoullis-ligning ved at oljen er laminær gjennom hele prosessen og holder sin form, mens sjøvannet derimot blir omformet til en turbulent strømning ved øyeblikkelig virkning. Sjøvannet vil da dra med seg og påvirke oljeblandingen til en mer turbulent strømning. Strømningsforskjellen kan begrunnes hovedsakelig av viskositetsforskjellen, der Reynoldstall og friksjonskoeffisienten har direkte tilknytning. Viskositetsforskjellen var også hovedparameteren til energitapet. Sjøvannet vil ikke ha store forandringer i energien. Tapsverdiene viser at de mest kritiske områdene er i krumningene. Tapet er 10 ganger så stort her (hhv. 300Pa) som ellers i innløpet, kropp og utløp (14-34Pa). Oljen derimot har betydelig større energitap som varierer fra 2900-4600Pa. Beregningene viser at energitapet ikke er kritisk i krumningene, men i resten av slusen. Tapet grunnet retningsendring er så å si null. Energitapet for oljen forekommer bare av lengden den

strømmer gjennom. Det høye energitapet påvirkes ikke bare av viskositeten, men også at oljen ble beregnet ut ifra et svært snevert tverrsnitt. Dette gjør at en stor del av strømmingen setter seg fast seg i veggen. Når oljen da blir trykket på av oljen som kommer bak blir friksjonen så høy og skjærspenningene så store at den taper energi. Sjøvannet har i større grad fri passasje. I realiteten vil sjøvannet være oljeflakets vegg. Dette gjør oljestrømmingen mer friksjonsløs og energitapet blir betydelig mindre.

Hastigheten, som er i andre potens i Bernoullis-ligning er den avgjørende faktoren for størrelsen på energitapet. Hastigheten vil avta når det forekommer energitap. Dette er ikke tatt hensyn til i beregningene. Utløpet tar for eksempel ikke hensyn til tap som forekommer i innløpet. Med dette blir tapene i de ulike slusedelene uavhengige av hverandre, og det totale tapet blir større i beregningene. Tar hastighetstapet hensyn til vil det totale energitapet avta.

Den nødvendige vekten utløpet trenger i fullskalamodell ble beregnet til 72 kg. Prototypen derimot trenger en tyngde på 19 kg. Prototypen er litt større en halvparten av størrelsen slik at flate-arealet til fullskala-modellen er fire ganger større. Derfor er også nødvendig tyngde 4 ganger større enn prototypen. Vannskiprinsippet vil øke kvadratisk med størrelsen. Dette viser hvor kritisk størrelsen er med hensyn på vannskiprinsippet.

I begrensningene våre antok vi at beregningene for prototype og fullskala-modell var lik. Fra test har vi erfart at dette ikke vil stemme. Vi kan derfor kun sammenligne resultatene fra test med prototype-beregningene. Fullskala-modell beregninger bør kun sammenlignes med test-resultater i samme størrelse.

### **Termodynamikk**

Når vi snakker om tapet gjennom slusen kan vi heller ikke glemme tapet som den kjemiske energien i væskene tilfører. Olje og sjøvann har ulike kjemiske egenskaper som vil påvirke hvordan disse virker mot hverandre. Prosessen danner ingen kjemisk reaksjon, men derimot en blanding mellom væskene. Vi har begrenset oss og sier at væsken ved innløpet ikke er delt i to sånn som i realiteten, men at det er en og samme væske. Vi har også måtte begrense oss for hvilke rammer vi har for denne blandingen.

I liket med beregningene basert på Bernoullis-ligning sier vi at væskeblandingen går igjennom en lukket kanal som møter et større areal ved utgangen av utløpet. Det er denne økningen i areal som gjør at vi kan si at entropiverdien øker. Dette igjen tilsier at Gibbs frie

energi øker mot en spontan reaksjon, altså at verdien blir mer negativ. Teorien viser til at en spontan reaksjon favoriserer en høyre orientert reaksjonsligning, noe som i vårt tilfelle ikke er mulig ettersom at væskeblandingen ikke vil forandre seg. Væskeblandingen vil heller gå mot en venstre orientert reaksjonsligning der olje og vann skilles fra hverandre. Her må det mer arbeid for å virkelig forstå betydningen av denne energi forandringen.

## 9.2. Praktiske resultater

Vi startet dette prosjektet med den intuisjon at vi skulle teste en prototype i et kontrollert basseng. Vi ville gjerne ha muligheten til å regulere strømmingen på vannet slik at vi kunne teste prototypens oppførsel ved forskjellige hastigheter. Dette var lettere sagt enn gjort og vi måtte tilslutt lage en enkel testarena i et basseng som var tilgjengelig ved UMB. I bassenget ville vi ikke kunne regulerer hastigheten på strømmingen slik vi hadde sett for oss i starten. Med dette kom vi frem til at vi ville gjøre et tilleggs forsøk i Oslofjorden. Resultatene fra bassengtesten og testen ute i sjøvann viste seg å være ganske så forskjellige.

### Stabilitet

Når vi testet stabiliteten til slusen i basseng var dette under ideelle omstendigheter. Vannet hadde ingen strømning eller andre forstyrrelser som kunne påvirke slusen. Ved hjelp av isoporplatene som ble limt på slusen, klarte innløpet og ligge stabilt og med perfekt høyde over vannet. Dette skjedde derimot ikke i sjøvannet der omgivelsene var helt forskjellige fra bassengtesten. Her hadde vi strømninger i vannet samt små bølger å forholde oss til. Slusen ble dyttet alt for høyt opp over vannet slik at bruken av isoporplatene ble overfladisk. Når veggene ved innløpet endelig hadde kommet seg ned i vannet, hadde isoporplatene en negativ effekt da de heller ville dytte veggene over vannet. Innløpet ble derfor vinglete. Vi innså senere at all testing burde blitt gjort uten disse platene. Dette gjør at koblingspunktet blir viktig mellom lense og sluse. Lensene må kunne holde innløpet over vann samtidig som det holder innløpet så stabilt at vinglingen ikke oppstår. Dette kan evt. være mulig ved å feste eller sveise lensen inntil veggen av innløpet, slik at det blir en enhet og ikke med en karabin krok slik det ble gjort i bassengtesten.

Hvor slusen ble plassert i vannet var også en avgjørende faktor på hvor mye vingling det forekom på slusen. Ved at personen som holdt slusen flyttet slusen ut fra båtens kjølevann minket vinglingen, men det ble ikke helt eliminert. Vi måtte derfor bruke krefter ved hjelp av



tauene for å holde slusen i ro. Dette forsterker for viktig det er å dra slusen enten med to båter, eller en oterløsning av type paravan.

### Vekt

Optimalt sett så skal slusen ligge så langt ned i vannet som mulig. Slusen er formet slik at innløpet skal ha en høyde over vannet som gjør at oljeflaket akkurat kan passere igjennom og ned sluseveggen. For å få innløpet og utløpet til å ligge horisontalt måtte ekstra tyngde plasseres på utløpet. I bassengtesten oppnådde slusen god posisjon når det ble påsatt 3kg med jevn hastighet på ca. 1,0m/s. Gjennom sjø-testingen av prototypen kom vi frem til en bestemt hastighet som måtte opprettholdes. Med en hastighet på 1m/s og påsatt 3 kg, lå slusen med utløpet horisontalt i vannet. Om hastigheten minket falt utløpet nedover og slusen snudde seg fort rundt. Dette kan være pga. at medstrøms hastigheten nå var høyere en hastigheten på prototypen og kraften fra strømmen samt tyngden på slusen skjøv slusen nedover.

Blir dra-kraften fra båten for stor klarer ikke slusen å holde seg i ideell posisjon da den blir dratt oppover. Her kommer ideen om vannskiprinsippet godt frem, men på en litt annen måte en forventet. Istedenfor at utløpet heves kommer innløpet høyere og drar med seg kroppen. Vi så antydninger til dette i bassenget, men arenaen var for kort til å få det bekreftet. Dette reduserer mengden av slusetaket under vann. Det gjør at vannskiprinsippet nå kun gjelder for et mindre tverrsnitt. Strømningen mot slusen blir såpass liten at utløpet klarer å holde seg horisontalt. For å nå ideell posisjon på slusen må da ekstra tyngde plasseres jevnt, ikke bare på utløpet. Plasseringen bør konsentreres mer på krumningene.

Ut fra sjø-testen konkluderte vi at utløpets posisjon ikke var avhengig av ytterligere vekt for å være optimal. Åtte kilo gjorde utløpet veldig baktung slik at vi måtte øke hastigheten. Dette førte til at innløpet ble enda høyere.

Vektingen bør sentreres nært masse-senteret, eller på en slik måte at treghetsmomentet blir så minimalt som mulig. I testingen ble vektene plassert i høyden på en stang. Dette skapte et moment på slusen som gjorde den svært ustabil.

Koblingspunktene til lense og oppsamler vil være en viktig brikke. Innløpet bør være tungt nok til å holde noenlunde ønsket posisjon i en ønsket hastighetsramme. Da kan lensen holde den stabil ved små hastighetsendringer og forstyrrelser fra bølger og strømninger. Oppsamleren må hjelpe utløpet og kroppen med å holde seg i optimal posisjon. Tyngden på kropp og utløp bør minst være så tung at den er lik motkraften fra vannet. Da kan

oppsamleren eventuelt holde den oppe hvis tyngden overstiger denne motkraften. Det blir derimot vanskelig for oppsamleren å holde den nede. Teoretisk vil dette være større enn 19 kg, minus den vekten innløpet har som linsen holder oppe.

Når innløpet ligger helt optimalt vil det ikke være et stort slingringsmonn mellom tak og vannoverflate. Dette gjør balansen mellom innløpet og utløpet viktig. Blir utløpet da for høyt blir hele slusen tiltet fremover. Innløpet heves bakfra og starten av innløpet kan være utsatt for å gå under overflaten.

### Utformingen

Ved høyt innløp blir ikke krumningen benyttet til væskestrømningen. Væsken møter først krumningen i slusetaket, som vist ved hjelp av datasimulering i Figur 44. Her påfører væsken et trykk på krumningen. Denne markante overgangen fører til ytterligere energitap i væsken. Teoretisk vil energitapsfaktoren i bendet gå fra 0,25 til 0,3 (Figur 18). Blir energitapet for stort vil mottrykket som må skapes for lite og væskeblandingen har vanskeligheter med å dykke. Prototypen hadde en vinkel på  $45^\circ$ , noe som kan gjøre det vanskelig for oljen i overgangen. Her bør det vurderes om vinkelen til slusen skal minkes, hvis man ikke får benyttet seg av krumningen. Kroppen bør da forlenges slik at det hydrostatiske trykket opprettholdes.

Designet til slusen ble tidlig fastsatt til å være åpen. Rengjøring og at det er bedre mulighet for å samle opp olje i høyden var gode grunner for dette. Ved testing ble denne problemstillingen ganske klar. Ved en lukket sluse vil vannskiprinsippet bli enda mer utfordrende. Bunnen på slusen blir et nytt tak som vannet vil prøve å komme under. Selv om innløpet ble for høyt i testingen fungerte oppsamlingen. Ved en lukket slusen kan i verstefall ingen væske komme seg inn i innløpet. Ved bølger vil dette være veldig kritisk.

Slusen vil fungere bedre i varierte forhold uten bunn. Den kan sammenlignes med en katamaran der veggene er skrogene. Dette gjør at det blir svært vanskelig for vannet å hvelve slusen. Det negative vil være at ved åpen sluse vil motstrømmen forstyrre og kunne virke ødeleggende for væskestrømmen gjennom slusen. Her kan designet forandres ved å ha bunn i kroppen. Dette kan gjøre utløpet mer stabilt, i tillegg til at væskestrømmen blir skjermet.



## Oljens forløp

Det at slusen vinglet fra side til side ved innløpet gjorde det vanskelig å samle oljen inn i slusen. Vinglingen gjorde heller at olje ble sluppet under slusens vegger.

Kjølevannet gjorde det også verre for oljen å gå uforstyrret mot slusetaket. Hvor mye det forstyrrer avhenger av oljens tykkelse. Propelltesten i bassenget viste at et flak med lettolje ble fort ødelagt av kraften i kjølevannet. Tungolje klarte bedre å holde sin form. Dette gjenspeiler nødvendigheten ved bruk av paravan.

Ved test viste det seg at oljen oppholdt seg litt inni innløpet før den trakk ned i vannet og gjennom kroppen. Slusetaket i kroppen ble som en vegg da overgangene på 45° ble for kraftige. Væsken ble skjøvet tilbake og dannet et sjikt med fartsretningen. Oljen blir da skjøvet litt tilbake når den kom i dette sjiktet. Den må jobbe seg gjennom dette før det går under. I bassenget ble det erfart at tungoljen hadde mer problemer med å dykke enn lettoljen. Tungolje er tyngre slik at mottrykket må være sterkere. Dette kan være en svakhet ved bassengtesten, siden man skulle tro at tyngre partikler har enklere med å dykke enn lettere. Friksjonen kan være negativ mot tungolje, siden den er seigere og vil klebe seg mer fast i slusetaket. Oljemengden kan også ha en innvirkning på dykkehastigheten. Ved større mengde vil oljepartiklene hjelpe hverandre. Økt oljemengde kan også favorisere oppsplittingen av oljeflaket. I testen ble det observert at alle oljeflakene ble ødelagt. Dette kan muligens være grunnet mottrykket var for stort i forhold til mengde som ble brukt.

Gjennom testen viste det seg at så fort oljen hadde dykket under vann, holdt det sin form. Med større oljeflak kan vannet få det vanskeligere med å ødelegge flaket, slik at vi heller får store flak som blir skjøvet ned enn små dråper.

Utfordringen med den bestemte dykkehastigheten gjør at slusen trenger en bestemt hastighet for å fungere. Mottrykket som må skapes for at oljen skal dykke er direkte proporsjonal med hastigheten. Ved test viste det seg at slusen må ha minst 2 knop. Dette bør testes i bølgebasseng for å få en bedre forståelse på hva som faktisk skjer. Med dagens utforming, vil slusen også ha en topphastighet. En hastighet opp mot 4 knop gjør vannskiprinsippet så fremtredende at vekten vil bli for utfordrende å håndtere.

Utløpets design har reviderings potensial. Ut ifra datasimulering ser vi at oljen ikke følger taket til utløpet. Dette kan vi også bekrefte fra begge testene og ved beregninger. Etter test

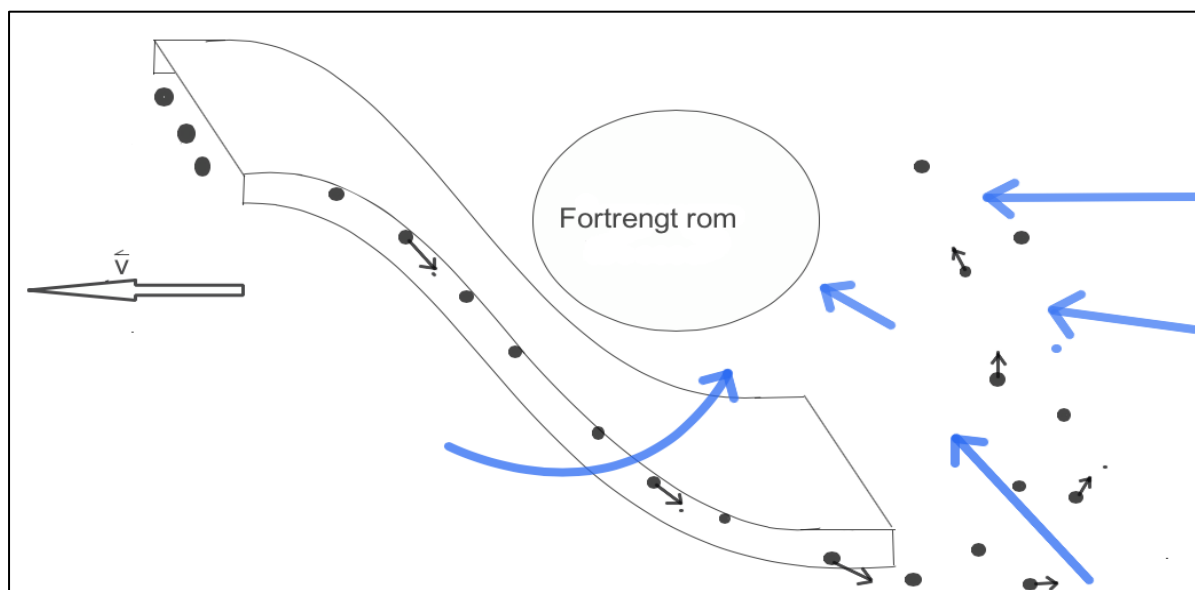
med olje kunne man se hvor oljen hadde klistret seg fast. I bassengtesten så man tydelig et skille ved den siste krumningen til utløpet der oljens avtrykk forsvant. I sjøen forsvant oljeavtrykket noe tidligere. Dette kan være fordi med høyt innløp ble motstrømmen såpass kraftig at oljen ble vasket av taket.

Spørsmålet er da nødvendigheten til utløpet. Den gjorde slusen mer stabil ved at den økte tregheten til slusen. Men den forsterker vannskiprinsippet med at mer material møter væskemotstand. En mulighet her er å lage en motsatt vannski effekt i utløpet. Enten ved å ta vekk hele slusetaket eller ved å lage vinkler som presser utløpet nedover ved økende hastighet.

Oljens oppdrift med hensyn kun på det hydrostatiske trykket bekrefter at oppdriften blir overflødig. Test i basseng ble oljens stigehastighet målt til gjennomsnitt 0,09m/s. Her lå dråpens diameter rundt 1-2 cm. Den bruker da 7 sekunder opp til overflaten fra utløpet. Stigehastigheten vil øke noe i sjøvann. Beregningene viser en stige hastighet i sjøvann på 0,14 m/s med en dråpediameter på 1,5 cm. Stigehastigheten vil heller ikke gjelde ved utløpet. Teoretisk viser Stokes lov at strømming med  $Re > 500$ , vil ikke oljen stige vha. oppdrift. Vi kan derfor ikke si at vi separerer oljen fra vannet ved utløpet grunnet oppdrift. I oppsamleren derimot vil oppdriften være avgjørende. Her blir vannet rolig slik at oljen kan stige opp og fortrenge vannet ned.

I OilSweeper begrunnet Tor Harald Eriksen med at oppdriften ble overflødig. Turbulensen ved utløpet gjorde at oljen slo opp i oppsamleren. Den samme erfaringen ble gjort med Sepaduct ved sjø-test. Med en hastighet på 2-3 knop dukket oljen opp 20-30cm etter utløpet. Det betyr en stigehastighet på ca. 4-5 m/s. Dette forsterker teorien vår om at andre krefter spiller inn. Når slusen blir dradd fremover tar den med seg vannet. Dette danner så et tomrom som må erstattes. Gravitasjonskraften sammen med at vannet er såpass ikke-viskøst (friksjonsløs) gjør at oppfyllingshastigheten vil være rask. Vannet fra alle sider vil prøve å fylle opp dette tomrommet øyeblikkelig. Vannet som tidligere ble tatt fra dette rommet vil etter gjennomgang i slusen ta denne veien mot det fortrenge rommet. Vannet som tar med seg oljen forandrer sin hastighetsvektor opp mot vannoverflaten. Innsnevringen gjør at oljen får høyest hastighet ved krumningen til utløpet i følge datasimuleringen. Dette gjør at væsken har en høyere fart enn væskeomgivelsene slik at oljen vinner kappløpet til dette fortrenge rommet. Utløpet kan derfor ha en positiv effekt på separeringsprosessen selv om oljen ikke

bruker utløpet som retningsveileder. Utløpet kan være med på å fortrenge vannet slik at mer vann strømmer mot baksiden av sluseryggen. En eventuell design revisjon må derfor passes på slik at denne hendelsen fortsatt vil forløpe. For mye turbulens kan også være ødeleggende. Høy hastigheten vil øke strømmen som fyller tomrommet slik at olje kan bli helt ødelagt. Her bør det finnes en mellomting.



Figur 76: Viser ideen rundt det fortrengte rommet bak slusen. Blå piler er vann, og svarte prikker er olje

### 9.3. Diskusjon opp mot Tor Haralds Oilsweeper

Prosjektet vårt er et videre arbeid på Tor Harald Eriksen sin masteroppgave OilSweeper. Fra dette kommer det flere punkter der vi både ser likheter og ulikheter med Eriksen. Slusen er dominerende i forhold til hvor mye væske som kan bli ført mot oppsamleren, men uten fokus på koblingspunktene mellom slusen og oppsamler, vil ikke effektiviseringen til slusen være nødvendig. Her er man avhengig av å analysere hvor olje treffer når det er ute av utløpet og begynner å stige oppover.

Gjennom testen til Eriksen kom det frem at oppdriften til væskene ble overfladiske og det måtte dannes turbulens ved enden av slusen får å kunne forskyve olje oppover og inn i oppsamleren. Ved bassengtesten vår hadde vi et helt horisontalt utløp uten noen dannelse av turbulens. Her ble det ikke noe stigning av olje rett etter utløpet, men heller senere da strømmingen rundt oljedråpene hadde roet seg. Under sjø-testen dannet det fortrengte rommet en turbulens ved utløpet da mye væske ville fylle dette tomrommet. Her steg olje rett opp etter

utløpet med relativ stor hastighet. Hvorfor ikke Eriksen oppnådde dette og måtte i stedet lage egen turbulens er et godt spørsmål. Løsningen kan være oppsamlerens posisjon i testen. Det må derfor settes fokus på utformingen av oppsamleren. Vi fant at turbulensen rundt dette tomrommet var essensielt. Ved å feste en oppsamler på enden av utløpet er det viktig fra sjøtestens resultater at væske må kunne søkes mot tomrommet og ikke blir hindret av denne installasjonen.

Under prototypetesting til Eriksen opplevde han ikke at oljen ble hindret i å dykke under slusen og forskyve seg nedover slik som vi gjorde. Dette kan komme av mengde olje som ble brukt under Eriksen sin test kontra det vi hadde tilgang til. Flakene til Eriksen var store og sammenhengene, mens både basseng- og sjø-testen hadde små flak som tilslutt ble brutt ned til små partikler. Vinkelen på krumningen til Sepaducten kontra Oilsweeper er også en mulig faktor til skildringer. Sepaduct er designet slikt at væsken forflytter seg nedover en jevnt fordelt krumning på totalt  $45^{\circ}$ . Ved ideelle forhold vil væsken kunne ta nytte av dette. Derimot opplevde vi ved testing at væsken ikke brukte krumningen som planlagt og at den heller ble for brå. Her skapte nok Eriksen en bedre overgang ved å kun ha en vinkel på  $30^{\circ}$ .

Vi er helt enig med Tor Harald Eriksen i at oppdriften til væskene ikke er en faktor når det kommer til hvorfor oljen søker seg oppover rett etter utløpet. Stigehastigheten til partiklene er for lav noe som kommer klart frem til alle testene og teoretiske beregninger.

## 10. KONKLUSJON

Utvikling og forbedringer til slusen i konseptet OilSweeper er gjort gjennom teoretiske analyser og praktiske testinger. Tiden har vist at praktisk testing er helt essensielt for å utvikle slusen til et realistisk produkt. Det er for mange faktorer og prinsipper som er ukjente, at selv grundige analyser i datasimulering og fysikalske teorier ikke kan gi gode nok svar. I motsetning har svarene blitt enklere å forstå fra de praktiske testene grunnet gode forståelser bak det teoretiske. Bernouillis-ligning har svart på hvilke strømningstyper og væske-trykktrap de ulike delene i slusen kan forvente seg. Litteratur basert på hydrodynamikk og rapporter iht. oljevern har forklart hvordan råolje og bunkersolje påvirkes av temperaturer og andre forhold væskene kan vente seg i sjøen. Her har det kvalitative blitt sett som viktigere enn det kvantitative. Disse prinsippene har igjen gjort det mulig å analysere resultatene i SolidWorks. Det vil derfor være viktig i videre arbeid å forstå alle parameterne i prosessen grundig for å i det hele tatt kunne bruke dette dataverktøyet til noe nyttig. Datasimuleringen ga oppgaven en ny dimensjon da den bekreftet resultater som kom i testingen og den teoretiske analysen.

Produktet har nå kommet så langt at vi kan se potensialer, utfordringer og om dette konseptet i det hele tatt er mulig. Både test i basseng og sjø var begge helt nødvendige for å komme til det stadiet vi har kommet. Bassenget gjorde det mulig å evaluere og revidere kontinuerlig for å optimalisere slusen. Dette førte til at slusen ble forberedt slik at den var klar til test i sjø. Bassenget ga svar på hvilke tyngde det behøvdtes for å eliminere vannskprisnippet og innløpets oppførsel ved ulike hastigheter. Også oljens oppførsel før, gjennom og etter prosessen var viktige observasjoner. Oljen trenger tid og en viss hastighet (2 knop) for å dykke. Oljemengden og vinkel på slusen er parametere som ble funnet svært avgjørende.

Spørsmål og forberedelser ble derfor enkle å redegjøre opp mot sjø-test. Bølger, strømninger, saltvann og flere hastighetsvalg tilførte produktet en ny dimensjon. Et realistisk bilde ble vist på hvordan slusen bevegde seg i vannet, og hvordan rekonstruksjonene som ble gjort i bassenget svarte til forventningene. Oppdagelsen om at innløpet er minst like viktig som utløpet ble fort fremtredende. Høyden og stabiliteten til innløpet er utfordringer som må være optimal for at utløpet i det hele tatt skal fungere. Denne utviklingen må skje parallelt da de er proporsjonale opp mot hverandre.

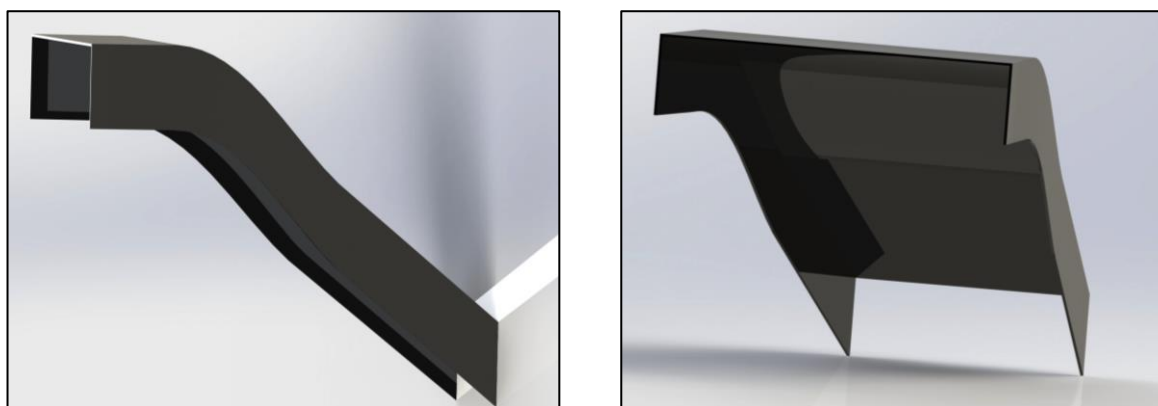
Sjø-testen ble svært nyttig for å forstå hvilke utfordringer og videre steg som må gjøres i både Sepaduct og OilSweeper. For å nå et reproduserbart og revolusjonerende produkt gjenstår det

mye testing. Dette bør først og fremst skje i koblingspunktene til slusen, spesielt til oppsamler. Observasjoner og lærdommen som ble gjort av turbulensen ved utløpet, og hvordan man kan dra nytte av denne opp i oppsamleren, vil være helt essensielt for videreutvikling av produktet. Oppdriften er bevist overflødig ved teori og test både i OilSweeper- og Sepaduct-prosjektet. Oppsamleren må utvikles slik at det tas hensyn til at det fortrenge rommet bak slusen opprettholdes. En turbulens-setter bør også tas i betraktning opp mot dette for å nå en optimal og effektiv prosess.

Et besøk til Kystverket i Horten gjorde oss bevisst på at det satses mer på dispergeringsmidler enn på mekanisk beredskap. Dette stryker vår oppfatning at det ikke finnes gode nok oppsamlere for bruk ved nordlige strøk. Ved bruk av erfaringer oppnådd gjennom prosjektet Sepaduct, vil OilSweeper kunne konkurrere mot eksisterende beredskap. Slusen blir ikke påvirket av at oljens forandring i konsistens på lik linje som med andre oljeoppsamler; eksempelvis skimmere. Slusen er holdt innenfor de kravene og visjonene stilt av prosjektet OilSweeper.

## 10.1. Forbedringer

Gjennom analyse av test og teori er det kommet frem til at designet slik det er i dag kanskje må revurderes. Fra basseng- og sjø-testen viste det seg at utløpet ble overfladisk ettersom at olje aldri fulgte taket slik som vi tidligere hadde antatt. Fra dette har vi kommet frem til en mulig design der den horisontale delen av utløpet blir eliminert.



Figur 77: Nytt design på slusen uten utløp.

### Fordeler

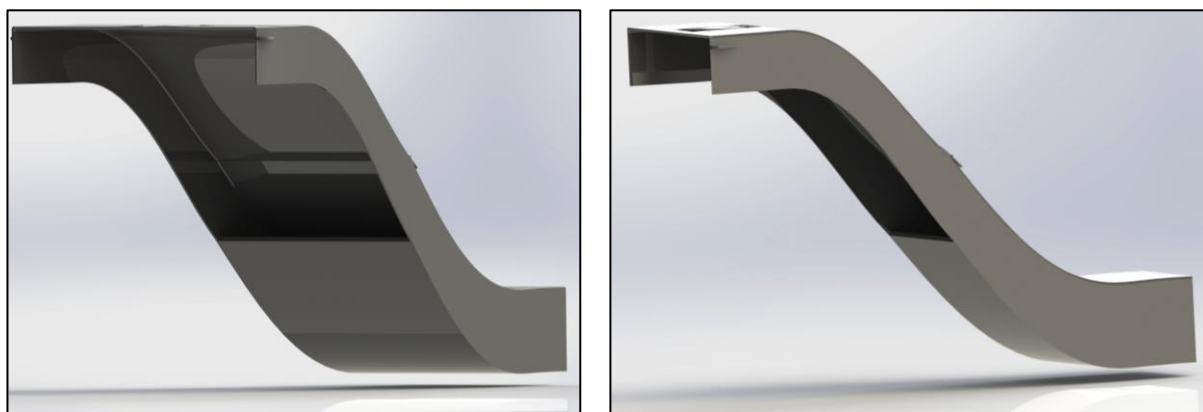
- Slusen størrelse minker
- Unødvendig materialer blir borte
- Vannskiprinsippet blir ikke så fremtredende

### Ulemper

- Mister stabilitet
- Brå slutt på strømningsrøret

Ved å fjerne den horisontale delen av utløpet blir overgangen fra sluse og vannet relativt brå. Det opprinnelige designet hadde et utløp som fungerte mer som en stabilisator enn som fører av olje. Ved å fjerne utløpet kan man spørre seg om stabiliteten til slusen nå blir forverret.

Slusen er i dag designet uten bunn. Det negative med dette kan være at motstrømmen som møter slusen kan skape for mye forstyrrelser på den væsken som presses ned langs slusen. Denne forstyrrelse kan gjøre at oljeflaket blir brutt ned i partikkelform, slik at partiklene blir spredt rundt omkring og ikke blir samlet før mot utløpet og videre inn i oppsamleren. For å hindre at motstrømmen får mulighet til dette kan det være en ide å tette deler av bunnen på slusen. Ved kun å tette deler av slusen og ikke hele, vil vannskiprinsippetets innvirkning fortsatt holdes til ett minimum, samtidig som man hindrer at motstrømmen har full tilgang til oljen som blir dyttet ned.



Figur 78: Nytt design på sluse med halv bunn.

Ved å ha en bunn på bakre del av kroppen blir etterarbeidet på slusen noe vanskeligere.

### Fordeler

- Beskytter oljestrømmen fra motstrømmen
- Ivaretar stabiliteten til utløpet

### Ulemper

- Vanskeliggjør etterarbeidet
- Bunnen kan skape turbulens midt på slusen



Det bør også vurderes å designe slusen slik at det blir lettere for innløpet å holde seg mer under vann. Innløpet er designet i dag på en slik måte at den møter vannet svært drastisk. Det er ikke noe myk overgang. Utformingen av innløpets start bør rundes av for å gjøre den mer hydrodynamisk. Her kan man dra paralleller opp mot skip hvordan de møtet vannet. For eksempel kan en bulk plasseres helt foran for å bryte bølgemønsteret rundt båten.

Prosjektet har potensialet til å bli et ledende produkt innen oljevernberedskap om riktig arbeid fremover bli anlagt. Det viktig at oppsamleren og lensene blir konstruert og utprøvd sammen med slusen for å få et helhetlig perspektiv på produktet.

## 10.2. utfordringer og videre arbeid

Sepaduct er en del av et oljeoppsamlingskonsept. Denne slusen vil ved dette ståsted kunne ta imot og føre olje gjennom slusen slik at oljen har en ønsket form og hastighet til oppsamler. Mye arbeid er gjort for å forstå hvordan olje og vann beveger seg og hvordan vi ønsker at denne strømmingen sammen skal forløpe. Prosjektet har nå kommet så langt at neste steg må fokusere på slusens koblingspunkt, oppsamler og lense. Mye testing gjenstår nettopp i disse delene for å kunne kommersialisere Sepaduct sammen med OilSweeper.

Vi anbefaler at følgende arbeid blir utredet videre:

- Videre analyse av design gjennom god teknisk kunnskap innen datasimulering
- Test med paravan
- Test produkt ved Kystverket i Horten. Tilbyr test med kontrollerbare oljemengder, bølger, strømninger, saltvann og ulike temperaturer
- Mer kontakt med andre aktører. Utvikling sammen med NOFI og Norlense
- Utforske nye materialer for å forbedre stabiliteten av slusen
- Konstruksjon av oppsamler
- Gjøre slusens posisjons ideell gjennom koblingspunkt
- Styrkeberegninger i koblingspunkt
- Praktisk analyse av slusens fullskala modell
- Finne ideell hastighet slik at oljen går gjennom ønsket strømningsbane

## 11. REFERANSER

### 11.1. Skriftlige kilder

- Bird, R. B., Armstrong, R. C. & Hassager, O. (1987). *Dynamics of polymeric liquids*. 2 utg., b. 1. New York: John Wiley & Sons.
- Birkeli, O.-J. G. & Hiemeyer, P. M. (2012). *Sepaduct, TIP 300*. Ås: UMB.
- Brautaset, K. (1999). *Oljehydraulikk*.
- Bøe, J. K. (2010). *Produktutvikling og Produktdesign*. Ås: UMB.
- Bøe, J. K. (2012). *Konsept- og Produktrealisering*. Ås: IMT v/ UMB.
- Clugston, M. & Flemming, R. (2000). *Advanced Chemistry*. University of Oxford: Oxford.
- DNV-Rapport. (2013 ). *Analyse av drivstofftyper og fordeling av skipstrafikk langs norskekysten*. Høvik: DNV.
- Fox, R., Pritchard, P. & McDonald, A. (2010). *Introduction of fluid mechanics*.
- Grøndalen, Ø. (2007). *Materiallære*: Fagbokforlaget.
- Haugenes, S. (1994). *Olje Hydraulikk*.
- J.Burger, P. S., M.Combarous. (1985). *Thermal methods of oil recovery*. France: Technip.
- Kjølle, A. (1995). *Oljehydraulikk*: Tapir forlag.
- Michael Clugston, R. F. (2000). *Advanced Chemistry*. First utg. 616 s.
- Rukki. (2011). *Lagerprogram 2011*. Furuset: Rukki. 224 s.
- Schreiner, E. *Fysikalsk kjemi*.
- Tuntland, Ø. B. (1978). *Oljeforurensning og oljevern*. Stabekk: NKI-forlaget. 189 s. : ill. s.

### 11.2. Muntlige kilder

- Frost, B. R. (Mars, 2013). *Personlig kommunikasjon med Kystverket*. Horten: Kystverket.
- Tyvand, P. (April, 2013). *Samtale rundt Hydrodynamikk*.

## 11.3. Nettkilder

- API Oil Water Separators*. (2011). Georgia: Siemens. Tilgjengelig fra:  
[http://www.water.siemens.com/en/products/separation\\_clarification/oil\\_water\\_separators/Pages/envirex\\_products\\_api\\_separator.aspx#content-zone](http://www.water.siemens.com/en/products/separation_clarification/oil_water_separators/Pages/envirex_products_api_separator.aspx#content-zone) (lest 12.02).
- Bernatek, E. R. (2009). *Hydrokarboner*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra:  
<http://snl.no/hydrokarboner> (lest 26.04).
- Bitbok. (2008). *Introduksjon til kjemisk prosessindustri*. Norge. Tilgjengelig fra:  
[http://www.bitbok.no/kjemiprosess/boka/1-prosesser/eksempler-pa-industrielle-prosesser/\(lest 26.01\)](http://www.bitbok.no/kjemiprosess/boka/1-prosesser/eksempler-pa-industrielle-prosesser/(lest%2026.01)).
- bitjungle. (2010). *kjemiprosess råolje*. Tilgjengelig fra:  
[http://www.bitjungle.no/kjemiprosess/boka/1-prosesser/eksempler-pa-industrielle-prosesser/ \(lest 02.02.13\)](http://www.bitjungle.no/kjemiprosess/boka/1-prosesser/eksempler-pa-industrielle-prosesser/(lest%2002.02.13)).
- Carroll, M., Evenset, A. & Kogeler, J. (1999). *Sanering av akutt forurensning på land* [Report]. Oslo: Statens Forurensningstilsyn KLIF. Tilgjengelig fra:  
<http://www.klif.no/publikasjoner/vann/1658/ta1658.pdf> (lest 18.02).
- Christensen, N. & Almar-Næss, A. (2009). *Stål*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra:  
<http://snl.no/stål> (lest 15.01)..
- Conazon, J. (2010). *For big oil, the N-word is nationalized*. Tilgjengelig fra: [www.salon.com](http://www.salon.com) (lest 26.11.12).
- Corp, N. (2008). *Oil-Only Sorbent Boom, Premium Green Bay*: NPS Corp. Tilgjengelig fra:  
<http://www.npscorp.com/spilftyter/m-50> (lest 24.03).
- Dahl, E., Naustvoll, L. J. & Albertsen, J. (2010). *Kyst og Hav, hvordan henger dette sammen*: KLIF. Tilgjengelig fra:  
[http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vannportalen.no%2FKyst\\_og\\_hav\\_hvordan\\_henger%2520dette%2520sammen\\_kOjf1.pdf.file&ei=vbODUc6xB4bbtAbew4DYDA&usg=AFQjCNHxvUPf5sbLx4NUH1AgECeCOFgazw&sig2=nlVM\\_WnWvJgTJp2OxxLNIQ&bvm=bv.45960087,d.Yms](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.vannportalen.no%2FKyst_og_hav_hvordan_henger%2520dette%2520sammen_kOjf1.pdf.file&ei=vbODUc6xB4bbtAbew4DYDA&usg=AFQjCNHxvUPf5sbLx4NUH1AgECeCOFgazw&sig2=nlVM_WnWvJgTJp2OxxLNIQ&bvm=bv.45960087,d.Yms) (lest 24.02).
- Daidsen, B. (2012). *Fluidmekanikk*. Tromsø: Universitetet i Tromsø. Tilgjengelig fra:  
<http://ansatte.uit.no/bjorn.daidsen/FysikkNotater/Fluidmekanikk> (lest 04.03).
- Energidepartementet, O.-o. (2011). *Norsk Oljehistorie på 5 minutter* [Internet]. Oslo: Olje-ogEnergidepartementet. Tilgjengelig fra:  
[http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/tema/olje\\_og\\_gass/norsk-oljehistorie-pa-5-minutter.html?id=440538](http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/tema/olje_og_gass/norsk-oljehistorie-pa-5-minutter.html?id=440538) (lest 24.01).
- engineeringtoolbox. *Laminar, turbulent and transitional flow*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.engineeringtoolbox.com> (lest 14.02.13).
- Eriksen, T. H. (2012). *Oil sweeper Oljeoppsamling* [Teknologi]. Institutt for Matematiske Realvalg og Teknologi. Ås: Universitetet for Miljø og Biovitenskap.

- Eureka. (2013). *Foxtail VAB (Vertical Adhesion Band) Oil Skimmer*. Lierskogen: Eureka Nordic d.o.c. Tilgjengelig fra: <http://eurekanordic.com/products/foxtail.html> (lest 05.04).
- Fan, J. B. T. (2005). *Crude oil/Brine interfacial Tensions*. USA. Tilgjengelig fra: [http://www.scaweb.org/assets/papers/2005\\_papers/1-SCA2005-01.pdf](http://www.scaweb.org/assets/papers/2005_papers/1-SCA2005-01.pdf) (lest 05.03).
- Fenton, J. (2013). *Costal and Ocean Engineering*. Ocean current. Wien: Institut WuI. Tilgjengelig fra: <http://johndfenton.com/Lectures/Coastal-and-Ocean-Engineering/Coastal-and-Ocean.pdf> (lest 03.02).
- Gurandsrud, E. (2011). *Norsk Oljevernberedskaps historie* [Internet]. Ålesund: Kystverket. Tilgjengelig fra: [http://www.kystverket.no/PageFiles/12329/Fra%20Ekofisk%20til%20Goliat\\_oljeindustrien%20utvikling%20av%20oljevern%20NOFO.pdf](http://www.kystverket.no/PageFiles/12329/Fra%20Ekofisk%20til%20Goliat_oljeindustrien%20utvikling%20av%20oljevern%20NOFO.pdf) (lest 05.02).
- Harald Tvedt, D. M., Torleiv Stien Grimsrud, Jon Roar Andersen. (2012). *Oljevern beredskapsanalyse for lokasjoner i det nordøstlige Norskehavet* [Rapport]. Oslo: Det Norske Veritas. Tilgjengelig fra: [http://www.regjeringen.no/upload/OED/pdf%20filer/Barentshavet\\_S/KI/19\\_oljevernbereds kap\\_ny.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/OED/pdf%20filer/Barentshavet_S/KI/19_oljevernbereds kap_ny.pdf) (lest 20.01).
- Hudson, J. R. & Shearer, S. A. *Fluid Mechanics: Stokes law and viscosity*. Tilgjengelig fra: <http://www.engr.uky.edu/~egr101/ml/ML3.pdf> (lest 20.04).
- IEA. (2012). *Egenskaper til IF-180-bunkerolje*. Norge: Newton. Tilgjengelig fra: <http://newton.no/uploads/moduler/1468/IF%20180-oljens%20egenskaper.pdf> (lest 07.02).
- Kaye&Laby. (2013). *Physical properties of sea water*. Tilgjengelig fra: [http://www.kayelaby.npl.co.uk/general\\_physics/2\\_7/2\\_7\\_9.html](http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_7/2_7_9.html) (lest 27.01).
- Knudsen, M. S. (2009). *NOFOs nye HiVisc skimmer benyttes under Full City aksjonen*. Hammerfest: NOFO. Tilgjengelig fra: [http://db4.nof.no/modules/module\\_123/proxy.asp?D=2&C=143&I=75&mid=90](http://db4.nof.no/modules/module_123/proxy.asp?D=2&C=143&I=75&mid=90) (lest 15.02).
- Knudsen, S. W. (2012). *Fra Ekofisk til Goliat - Oljeindustriens Utvikling av Oljevern*. Norsk Oljevern gjennom 40 år 1972-2012. Tilgjengelig fra: [http://www.kystverket.no/PageFiles/12329/Fra%20Ekofisk%20til%20Goliat\\_oljeindustrien%20utvikling%20av%20oljevern%20NOFO.pdf](http://www.kystverket.no/PageFiles/12329/Fra%20Ekofisk%20til%20Goliat_oljeindustrien%20utvikling%20av%20oljevern%20NOFO.pdf). (lest 30.01).
- Kooyman, S. (2010). *Ecological effects of acute oil spills*. Ecology and natural resource management. Ås: UMB. Tilgjengelig fra: [http://brage.bibsys.no/umb/bitstream/URN:NBN:no-bibsys\\_brage\\_17592/1/Master%20thesis%20S.%20Kooyman.pdf](http://brage.bibsys.no/umb/bitstream/URN:NBN:no-bibsys_brage_17592/1/Master%20thesis%20S.%20Kooyman.pdf) (lest 26.01).
- Lamor. (2013). *Lamor Weir Skimmer (LWS) 500/800*. Finland: Lamor Corporation Ab. Tilgjengelig fra: <http://www.lamor.com/about-us/site-terms/> (lest 05.04).
- Leksikon, S. N. (2009). *Ikke-Newtonsk*: Store Norsk Leksikon. Tilgjengelig fra: [http://snl.no/.versions/list/ikke-newtonsk\\_veske](http://snl.no/.versions/list/ikke-newtonsk_veske) (lest 30.01).
- Leksikon, S. N. (2009). *Newtonsk Væske*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: [http://snl.no/.versions/list/newtonsk\\_veske](http://snl.no/.versions/list/newtonsk_veske) (lest 30.01).

- Lundberg, N. H. (2009). *Råolje*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/råolje> (lest 28.01.13).
- Ly, J. M. (2011:a). *Muligheter og Begrensninger ved forurensningsberedskap* [Internet]. Ålesund: Kystverket. Tilgjengelig fra: <http://www.kystverket.no/Beredskap/Forurensningsberedskap/Muligheter-og-begrensninger/> (lest 21.01).
- Ly, J. M. (2011:b). *Kommunal Beredskap* [Internet]. Ålesund: Kystverket. Tilgjengelig fra: <http://www.kystverket.no/Beredskap/Forurensningsberedskap/Kommunal-beredskap/> (lest 16.01).
- Nilsen, D. (2012). *NOFI kvalitet i detaljer - styrke i helhet Årsrapport 2011*. Tromsø: NOFI. Tilgjengelig fra: <http://nofi.mediabok.no/aarsrapport2011/index.html#/1/zoomed> (lest 19.01).
- NOFI. (2011). *Årsrapport 2011*. Tromsø: NOFI. Tilgjengelig fra: <http://nofi.mediabok.no/aarsrapport2011/index.html#> (lest 02.02).
- NOFI. (2012). *NOFI Current Buster 4*. Trømsø: NOFI. Tilgjengelig fra: <http://www.nofi.no/nofi-current-busterareg-4.4663348-139608.html> (lest 24.03).
- Norlense. (2009). *Offshore* [Internet]. Fiskebøl: Norlense. Tilgjengelig fra: [http://norlense.no/index.php?option=com\\_content&view=article&id=11&Itemid=6&lang=nb](http://norlense.no/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Itemid=6&lang=nb) (lest 24.01).
- Oak, M. (2012). *Why oil and water dont mix*. Tilgjengelig fra: <http://www.buzzle.com/articles/why-oil-and-water-dont-mix.html> (lest 14.02).
- OilShaver. (2010). *Products* [Internet]: oilshaver. Tilgjengelig fra: <http://www.oilshaver.com/p/products.html> (lest 01.02).
- Oljevern.no. (2010). *Store forskjeller på oljetyper og miljørisiko*. Tilgjengelig fra: <http://www.oljevern.no/no/page/?nr=22> (lest 07.02).
- Pedersen, B. (2009). *Termodynamikk*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/Termodynamikk> (lest 07.04).
- Powley. (2006). Tilgjengelig fra: <http://www.searchanddiscovery.com/documents/2006/06015powley/images/a09.htm> (lest 19.01).
- Resby, J. L. M. & Moldestad, M. Ø. (2000). *Egenskaper og forvitring på sjøen relatert til beredskapstiltak*. Trondheim: SINTEF Kjemi. Tilgjengelig fra: <http://www.nofo.no/reports/Varg%20handbok.pdf> (lest 03.02).
- Singsaas, I., Strøm-Kristiansen, T. & Daling, P. S. (2002). *Forvitringsegenskaper på sjøen og kjemisk dispergerbarhet for Njord råolje*. Trondheim: SINTEF Kjemi. Tilgjengelig fra: <http://www.nofo.no/reports/Njord.pdf> (lest 06.02).
- Skroski, F. (2008). *Underwater World*: flickr. Tilgjengelig fra: <http://www.flickr.com/photos/56755410@N00/2387821887> (lest 20.11).
- SolidWorks. (2013). *SolidWorks Flow Simulation*. Waltham: SolidWorks. Tilgjengelig fra: <http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/flow-simulation.htm> (lest 23.03).

- Stenevik, K.-A. (2011). *Sweeper For Collecting Impurities at Sea*. Norway. Tilgjengelig fra: [http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=WO&NR=2011087368&KC=&FT=E&locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=WO&NR=2011087368&KC=&FT=E&locale=en_EP) (lest 21.02).
- Sydney, U. o. Tilgjengelig fra: [http://www.physics.usyd.edu.au/teach\\_res/jp/fluids/viscosity.pdf](http://www.physics.usyd.edu.au/teach_res/jp/fluids/viscosity.pdf) (lest 02.04.13).
- Sæter, R. A. (2010). *Mulige Konsekvenser av et Oljesøl* [Internet]. Oslo: Bellona. Tilgjengelig fra: [http://www.bellona.no/artikler/artikler\\_2010/Miscenarier](http://www.bellona.no/artikler/artikler_2010/Miscenarier) (lest 24.01).
- Technologies, H.-f. (2002). *Oil/water separator Theory of operation*. Tilgjengelig fra: <http://www.oil-water-separator.hydroflotech.com/Engineering%20Data/Oil%20Water%20Separator%20Theory%20of%20Operation.htm> (lest 04.02).
- UNESCO. (2010). *The international thermodynamic equation of seawater*. Tilgjengelig fra: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001881/188170e.pdf> (lest 07.02).
- viten.no. (2003). *Olje blir dannet i Nordsjøen*. Tilgjengelig fra: <http://www.viten.no/?olje> (lest 04.02.13).
- Wergeland, D. (2010). *Modellering av dynamiske dreiemoment i forbindelse med oljeboring*: UIS. Tilgjengelig fra: [http://brage.bibsys.no/uis/bitstream/URN:NBN:no-bibsys\\_brage\\_13949/1/Wergeland,%20Daniel.pdf](http://brage.bibsys.no/uis/bitstream/URN:NBN:no-bibsys_brage_13949/1/Wergeland,%20Daniel.pdf) (lest 17.02).
- Xu, W. (2005). *Experimental investigation of dynamic interfacial interactions at reservoir conditions*. China: University of Petroleum. Tilgjengelig fra: [http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04112005-141253/unrestricted/Xu\\_thesis.pdf](http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-04112005-141253/unrestricted/Xu_thesis.pdf) (lest 10.04).

## 12. VEDLEGG

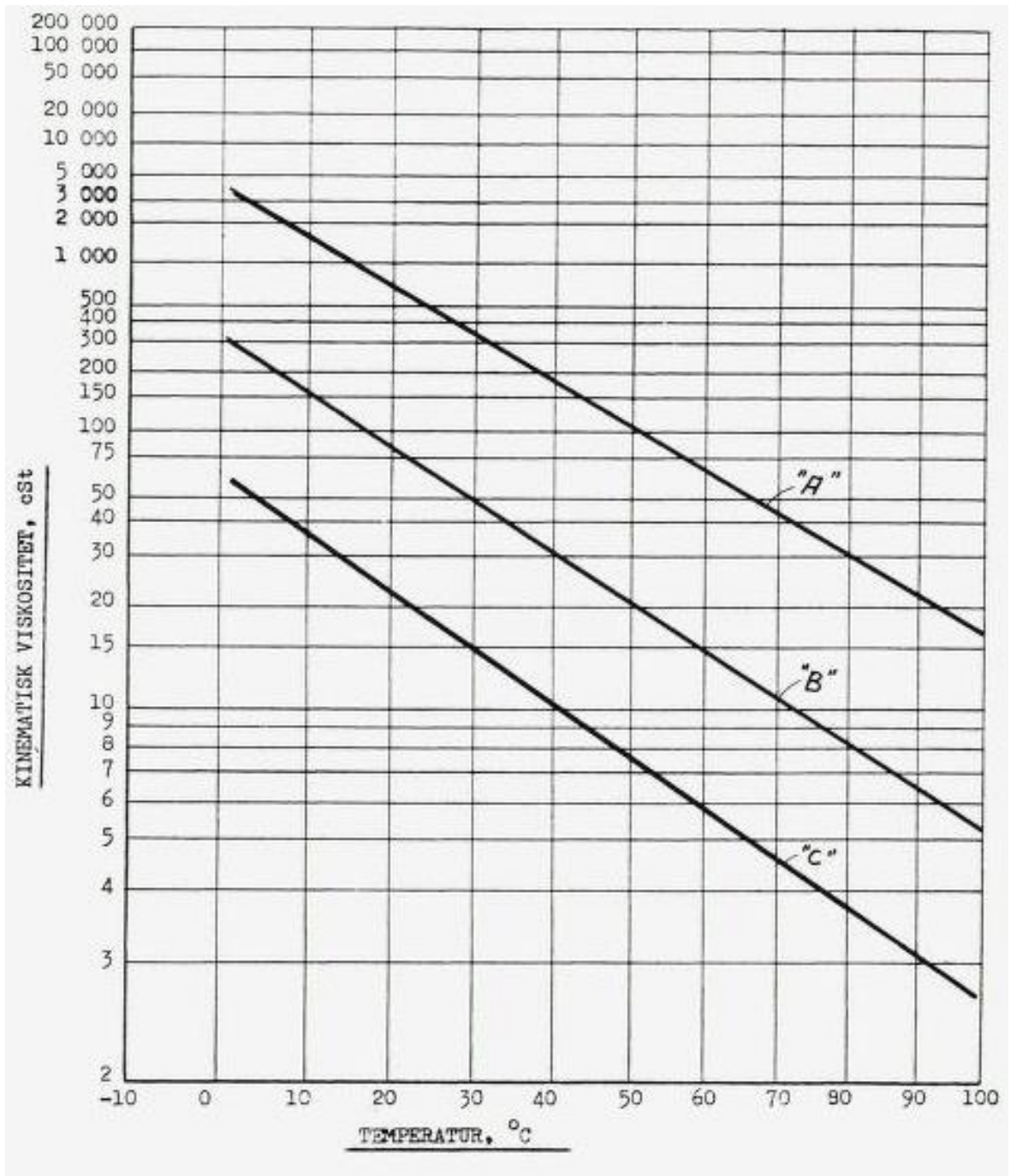
### Skriftlige vedlegg

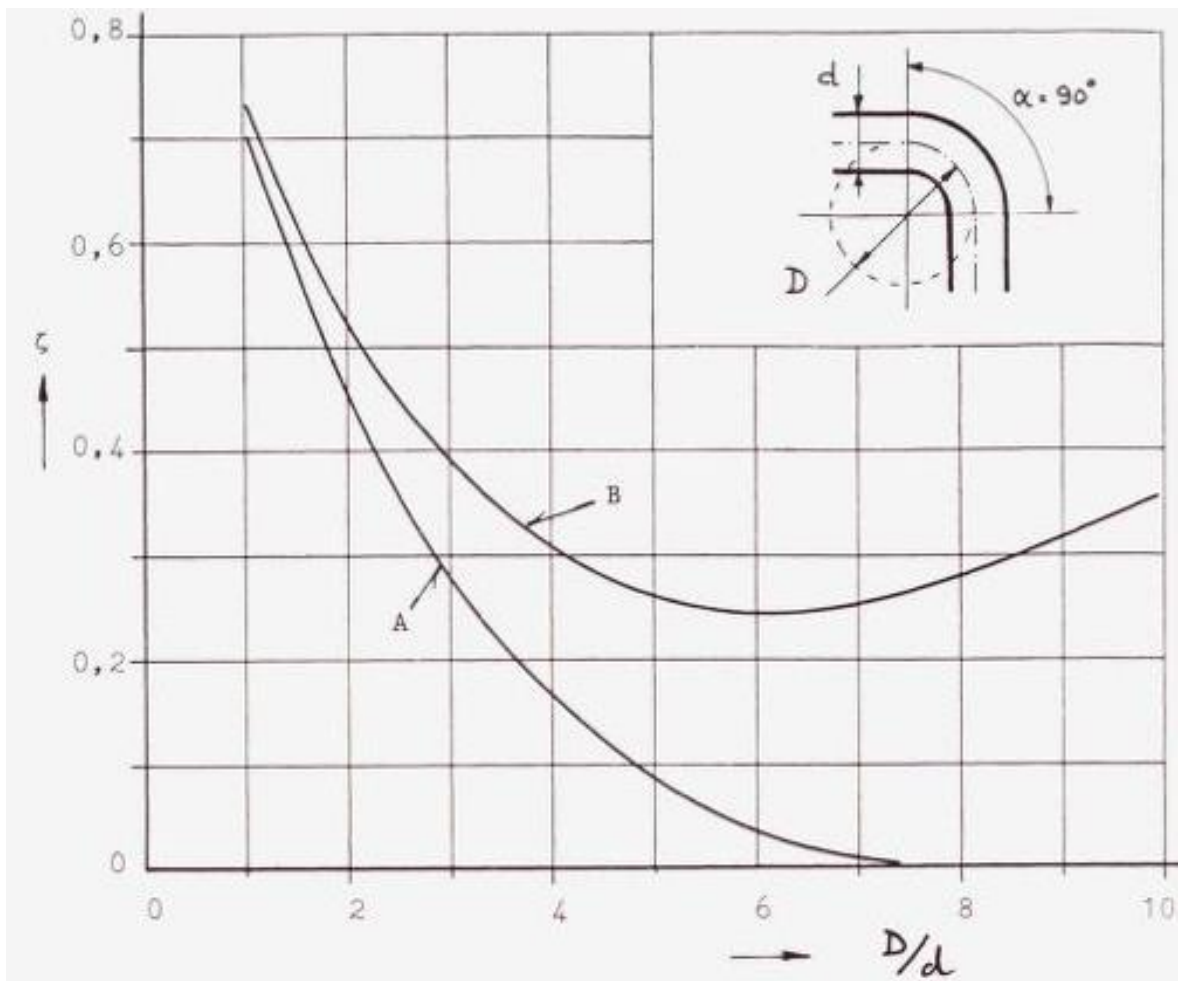
Vedlegg 1: Kinematisk viskositets endring med hensyn på temperatur	I
Vedlegg 2: Tap i bend	II
Vedlegg 3: Verkstedtegninger	III
Vedlegg 4: Budsjett og regnskap for masteroppgaven	IV
Vedlegg 5: Datasimuleringer Case 1	V
Vedlegg 6: Datasimuleringer Case 2	VII

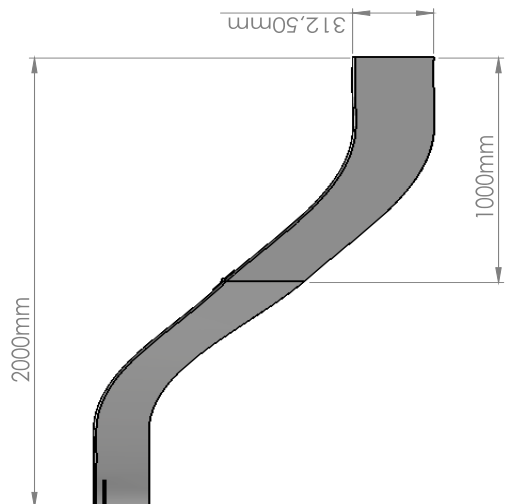
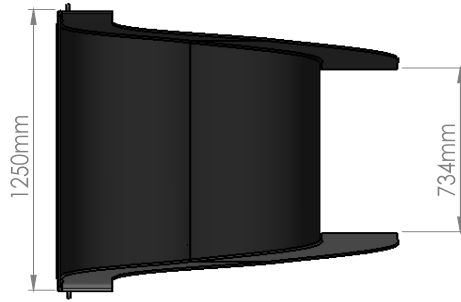
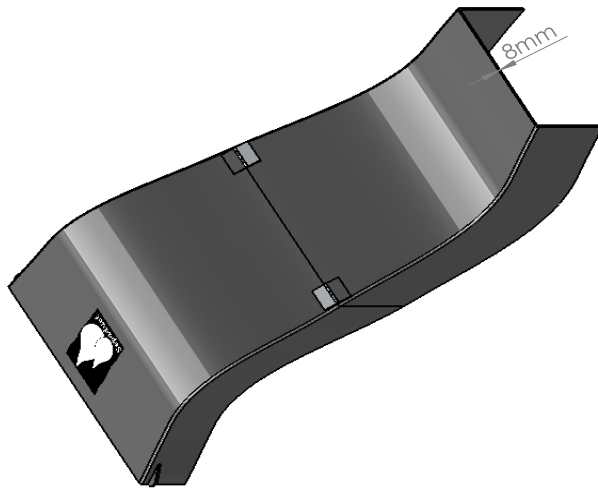
### Elektroniske vedlegg

Vedlegg 5: El_motor_1.MP4
Vedlegg 6: El_motor_2.MP4
Vedlegg 7: El_motor_3.MP4
Vedlegg 8: El_motor_4.MP4
Vedlegg 9: Dra_utenveker_1.MP4
Vedlegg 10: 3_kg_4_3kmt.MOV
Vedlegg 11: 8_kg_3kmt.MOV









Dato	Tegnet av:		Tittel: Sepaduct Hoveddimensjoner
02.12.12	Pernille M. Hiemeyer	Ole-Jacob G. Birkeli	Tegningsnummer
Prosjekt: Sepaduct	Målestokk: 1:20		Alle mål i mm
Henvising	Beregninger		

**Budsjett:**

Prototype	Beskrivelse	Stk.	Pris
<b>Sluse</b>	Materialer	1	1500
<b>Lense</b>	Materialer	2	400
<b>Basseng</b>			
<b>Kanal</b>	Finer	6	7500
	PC	2	4000
	Annet	-	900
<b>Transport</b>	Olje,ferge,bensin		500
<b>Sum utlegg til test</b>			<b>14800</b>

**Regnskap:**

	Type	Beskrivelse	Stk.	Str.	Pris
<b>Prototype</b>	<b>Sluse</b>	PC	0,5		kr 1 550
	<b>Lense</b>	Plastikk duk	1		kr 267
		Nylon tråd	1		kr 50
		Tau	1		kr 58
		Karabin kroker	2		kr 40
<b>Basseng</b>	<b>Kanal</b>	Finer	5	2,4*1,2	kr 6 327
		PC	1,5		kr 4 650
		Skruer			kr 116
		Teip			kr 50
		Sorbente ark	200		kr 1 400
		Slange	1	5 m	kr 550
<b>Annet</b>		Annet			kr 900
		Bøker	1		kr 1 282
		Printing	3		kr 1 800
<b>Reise</b>	<b>Horten</b>	Ferge	2		kr 232
		Bensin			kr 200
<b>Sum utgifter</b>					<b>kr 19 472</b>

