

---

En undersøkelse av deformasjonen til snorkelen i  
en snorkelmerd ved ulike miljølaster og forslag til  
forbedring

---



Sindre Samsonsen

Masteroppgave i havteknologi

Juni 2020

---

Institutt for fysikk og teknologi  
Universitetet i Bergen



## Sammendrag

I løpet av de siste årene har det blitt utviklet og testet flere nye konsept innenfor havbruk som har som mål å løse utfordringene knyttet til lakselus og annen sykdom. Ett av disse merdkonseptene er snorkelmerden som Eide Fjordbruk har tatt i bruk. Dette konseptet har gitt svært lovende resultater, men de opplever at snorkelen enkelte ganger får en deformasjon når den utsettes for ulike miljølaster. Denne deformasjonen gjør at lus slipper inn til laksen og dermed mister konseptet litt av sin hensikt, som er å skape avstand mellom laks og lakselus.

Det er to typer deformasjon som oppstår i snorkelen til merden. Den første antas å være knyttet til ulike salt og temperaturforhold i vannet. Varierende salinitet og temperatur gjør at vannet i- og på utsiden av snorkelen skaper en trykkforskjell mellom seg. Veggene midt i snorkelen gir etter for det ytre trykket og snorkelen oppnår en timeglassfasong. Den andre måten snorkelen deformerer seg på er at bølger og strøm skyver snorkelen sidelengs og løfter opp bunnringen. Det er sistnevnte deformasjon denne oppgaven retter sitt søkelys på.

Målet med oppgaven er å undersøke deformasjonen i snorkelen og foreslå forbedringstiltak. Dette gjøres gjennom modellering og simulering av en snorkelmerd i AquaSim ved ulike miljølaster. For å forsøke å unngå deformasjonen eller å gjøre den mindre, gjøres det parameterendringer i bunnringen til snorkelen. I tillegg modelleres to forskjellige designendringer og det belyses hvilken betydning en endring i design vil ha, hovedsakelig i forhold til deformasjon, men også kostnad.

Resultatene viser at effektiviteten av de ulike forbedringstiltakene er varierende. Den billigste og enkleste måten å gjøre en liten forskjell på, i forhold til at bunnringen løfter seg i bølger og strøm, kan være å avstive bunnringen og eventuelt gjøre den tyngre. Teorien viser at selv den minste prosent reduksjon i snorkeldybde kan føre til ekstra lusepåslag. Det vil bli opp til bedriften om en påkostning av ekstra oppdrift og fortøyning blir en gunstig investering i forhold til den nytteverdien de muligens får i form av mindre lus ved å øke disse to nevnte parameterne.

De to designendringene som presenteres i oppgaven viser at det i teorien er mulig å holde snorkelen i opprinnelig posisjon. Den første endringen i design er en tilleggskonstruksjon som er tenkt å kunne installeres etter at merden er satt i produksjon. Den andre designendringen sikter på å erstatte dagens snorkel med en stivere snorkel. Det kommer frem av resultater fra analysene i AquaSim at begge disse tiltakene vil føre til økte fortøyningskrefter, men i tillegg mindre deformasjon. Dersom designendringene optimaliseres er det grunn til å anta at deformasjonen kan hindres helt.

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet gjennom høsten 2019 og våren 2020, som en del av det toårige mastersamarbeidet havteknologi, ved Universitetet i Bergen sammen med Høgskulen på Vestlandet.

Først av alt vil jeg få takke min veileder ved Høgskulen på Vestlandet, Thore Thuestad. Thore har vært en god støtte og ressurs. Jeg setter pris på at han har delt sin kunnskap og tid, alltid med et lunt smil, entusiasme og en god kommentar på lur. Veilederen min fra Universitetet i Bergen, Camilla Sætre, vil jeg også takke for sin støtte gjennom oppgaven.

En stor takk til Erlend Eide fra Eide Fjordbruk. Erlend var en viktig bidragsyter med å finne en passende oppgave til meg og har vært hjelpelig med å skaffe det jeg har trengt av data fra Langøy. I tillegg sørget han for at jeg ble godt mottatt da jeg besøkte lokasjonen våren 2019. Takk til Aquastructures for programvaren AquaSim som har vært helt essensiell for meg gjennom masteren. Takk til Oda Myklebost og Ole C. Wroldsen i Aquastructures for hver sin runde med opplæring i programmet og grundige svar på ulike problemstillinger jeg kom borti. Jeg vil også rette en stor takk til AKVA group og deres ingeniør, Ketil Roaldsnes. Samarbeidet og den tette dialogen med dem har vært helt uvurderlig. I løpet av masteren har de bidratt med flere gode innspill, gode svar, dokumenter, modeller og ikke minst tid til møter.

En stor takk rettes også til mine venner og familien min. Uten deres kontinuerlige og verdifulle støtte gjennom min tidligere utdanning og nå gjennom masteren, hadde jeg ikke klart å gjennomføre på en like god måte.

Helt til slutt, en kommentar med relevans til denne rapporten. I etterkant av flere gjennomførte analyser lanserte Aquastructures en oppdatering av AquaSim. Derfor valgte jeg å gå tilbake på resultatene mine og kjøre nye analyser. Dette på bakgrunn av at den nye versjonen av AquaSim hadde til hensikt å være enda mer nøyaktig på tingene denne rapporten har til hensikt å undersøke, se kapittel 5.2. Dette førte til at ting har tatt litt lengre tid enn det som i begynnelsen var planlagt.

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag.....	ii
Forord .....	iii
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	iv
Liste over figurer.....	vii
Liste over tabeller.....	x
<b>1 Introduksjon</b> .....	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon.....	2
1.2 Målsetting .....	3
1.3 Metode .....	3
1.4 Struktur .....	4
<b>2 Snorkelmerd</b> .....	5
2.1 Komponenter.....	6
2.2 Bakgrunn.....	7
2.3 utfordringer .....	7
2.3.1 Lakselus .....	7
2.3.2 Bølger og strøm.....	9
<b>3 Teori</b> .....	10
3.1 Antagelser .....	11
3.2 Hastighetspotensialet.....	12
3.3 Dispersjonsrelasjonen.....	13
3.4 Bølgekrefter .....	14
3.5 Morisons ligning .....	16
3.6 Diffraksjon .....	17
3.6.1 Diffraksjon i AquaSim .....	18
3.7 Drag .....	19
3.8 Hydroelastisitet .....	19

3.9	Soliditet og begroing .....	20
3.10	Bølger og strøm i AquaSim.....	22
3.11	Strømningsreduksjon .....	24
3.12	Fortøyning .....	26
3.13	Komponenter i et fortøyningssystem .....	26
3.13.1	Bøye.....	27
3.13.2	Bunnfeste .....	27
3.13.3	Kjetting .....	28
3.13.4	Tauverk.....	28
3.13.5	Sjakkell .....	29
3.14	Fortøyningssystemet på Langøy .....	30
3.15	Frihetsgrader.....	31
4	<b>Modellering og simulering</b> .....	32
4.1	Programvaren AquaSim .....	32
4.1.1	AquaEdit.....	33
4.1.2	AquaSim solver.....	34
4.1.3	AquaView .....	34
4.1.4	AquaTool .....	35
4.2	Koordinatsystem og startskjerm.....	35
4.3	Modellering av flytekragen.....	36
4.4	Modellering av not og snorkel .....	38
4.5	Modellering av tau og fortøyning.....	41
4.6	Vektregnskap, statisk analyse og dynamisk analyse .....	41
4.7	Forenklinger .....	42
4.7.1	Den komplette modellen.....	42
4.7.2	Den forenklede modellen.....	43
4.8	Simuleringsparametere og begrensninger.....	45

4.9	Alternative konseptløsninger .....	47
4.9.1	Konsept 1 – Bølgeskjold.....	47
4.9.2	Konsept 2 – Stiv snorkel.....	50
<b>5</b>	<b>Resultater og diskusjon .....</b>	<b>53</b>
5.1	Sammenligning av modeller .....	53
5.2	Oppdatering av AquaSim .....	56
5.3	Parametervariasjon .....	59
5.3.1	Vekt av bunnring.....	59
5.3.2	E-modul i bunnring .....	64
5.4	Designendring 1 - Bølgeskjold .....	69
5.4.1	Forskyvning av bunnring.....	69
5.4.2	Forankringskrefter.....	73
5.5	Designendring 2 - Stiv sylinder .....	79
6	Konklusjon .....	84
7	Videre arbeid .....	86
8	Referanser.....	87

## Liste over figurer

Figur 1 – Illustrasjon av snorkelmerd [10] .....	5
Figur 2 – Snorkel og ytre flytekrage, foto: Sindre Samsonsen .....	6
Figur 3 – Lusepåslag som funksjon av dybde [4] .....	8
Figur 4 – Snorkelmerd lokasjon Langøy, foto: Sindre Samsonsen .....	9
Figur 5 – Sinusbølge .....	10
Figur 6 – Anvendelsesområde av formler for bølgekrefter på vertikal sylinder, s323 [16] På x-aksen: $\pi$ ganget med diameter til konstruksjon delt på bølgelengde På y-aksen: bølgehøyde delt på konstruksjonens diameter .....	15
Figur 7 – Illustrasjon av reflekterte og diffrakterte bølger på en vertikal sylinder [18] .....	17
Figur 8 – Vannpartikler tvinges rundt en sylinder .....	19
Figur 9 – Teoretisk bakgrunn i AquaSim [22] .....	20
Figur 10 – Soliditet til et nett .....	21
Figur 11 – 2D illustrasjon av en maske .....	21
Figur 12 – Marin begroing på not [24] .....	22
Figur 13 – Fremstilling av bølger og strøm i AquaSim .....	24
Figur 14 – Strøm gjennom nett [27] .....	25
Figur 15 – Bøye [29] .....	27
Figur 16 – Anker [30] .....	28
Figur 17 – Eksempel på kjetting [31] .....	28
Figur 18 – Fibertau [32] .....	29
Figur 19 – Sjakkel [33] .....	29
Figur 20 – Fortøyningsystem Langøy [34] .....	30
Figur 21 – Fortøyd merd .....	31
Figur 22 – Frihetsgrader [35] .....	31
Figur 23 – Innhold i AquaSim .....	33
Figur 24 – Tett not funksjon .....	34



Figur 25 – Snorkelmerd i AquaView .....	35
Figur 26 – Startskjerm AquaEdit .....	36
Figur 27 – Ytre flytekrage .....	36
Figur 28 – Snorkelens flytekrage .....	37
Figur 29 – Visuell kontroll av tverrsnitt .....	38
Figur 30 – Isometrisk avbildning .....	38
Figur 31 – Bunnring .....	39
Figur 32 – Snorkel.....	40
Figur 33 – Modellert snorkelmerd.....	40
Figur 34 – Modellert snorkelmerd med fortøyning.....	41
Figur 35 – Modellert snorkelmerd i AquaView .....	42
Figur 36 – Den komplette modellen.....	43
Figur 37 – Den forenklete modellen i AquaEdit .....	45
Figur 38 – Den forenklete modellen i AquaView .....	45
Figur 39 – Illustrasjon av bølgeskjold .....	47
Figur 40 – Modellert bølgeskjold.....	48
Figur 41 – Fortøyning av bølgeskjold .....	49
Figur 42 – Illustrasjon av stiv snorkel .....	50
Figur 43 – Modellert stiv snorkel.....	51
Figur 44 – Fortøyning av stiv snorkel .....	52
Figur 45 – Deformasjon av snorkel, forskyvning i z-retning.....	53
Figur 46 – Forskyvning i to tilstander for forenklet og komplett modell med økende bunnringsvekt.....	56
Figur 47 – Forskyvning ved gammel og ny versjon av AquaSim.....	58
Figur 48 – Vekt vs. forskyvning av bunnring tilstand 1 .....	61
Figur 49 – Vekt vs. forskyvning av bunnring tilstand 2.....	63
Figur 50 – Bøyd bunnring.....	64

Figur 51 – Stål og PE100, tilstand 1.....	67
Figur 52 – Stål og PE100, tilstand 2.....	67
Figur 53 – Snorkel festet i bølgeskjold oppe og nede, sett nedenifra .....	70
Figur 54 – Merd med bølgeskjold i sjø.....	72
Figur 55 – Merd uten bølgeskjold i sjø.....	72
Figur 56 – Nummerering av liner.....	74
Figur 57 – Fargekoder, aksialkraft .....	75
Figur 58 – Tilstand 1, aksialkraft i line 1.....	76
Figur 59 – Tilstand 2, aksialkraft i line 1.....	76
Figur 60 – Tilstand 1, aksialkraft i line 1, med bølgeskjold .....	77
Figur 61 – Tilstand 2, aksialkraft i line 1, med bølgeskjold .....	78
Figur 62 – Kregende snorkel.....	80
Figur 63 – Toppen av stiv snorkel.....	80
Figur 64 – Aksialkraft i line 1 tilstand 1, stiv snorkel .....	81
Figur 65 – Aksialkraft i line 1 tilstand 2, stiv snorkel .....	81

## Liste over tabeller

Tabell 1 – Forhold ved simuleringer .....	46
Tabell 2 – Utvalgte sjøtilstander .....	46
Tabell 3 – Sammenligning .....	54
Tabell 4 – Ulike sjøtilstander, gammel versjon AquaSim .....	57
Tabell 5 – Ulike sjøtilstander, ny versjon AquaSim (2020) .....	57
Tabell 6 – Bunnringsvekt mot neddykking.....	60
Tabell 7 – Varierende bunnringsvekt i tilstand 1 .....	61
Tabell 8 – Varierende bunnringsvekt i tilstand 2 .....	62
Tabell 9 – Stål, varierende bunnringsvekt i tilstand 1 .....	65
Tabell 10 – Stål, varierende bunnringsvekt i tilstand 2 .....	66
Tabell 11 – Forskjell på forskyvning med og uten skjerming .....	69
Tabell 12 – Forskjell på forskyvning med og uten skjerming, med ekstra fortøyning .....	71
Tabell 13 – Maks aksialkraft i line 1 for forskjellige design .....	82

# 1 Introduksjon

Sjømatnæringen i Norge er en solid bidragsyter til økt verdiskapning for samfunnet og den er stadig i sterk vekst. Det totale verdiskapningsbidraget fra sjømatnæringen, inklusive ringvirkninger passerte for første gang 100 milliarder i 2018. Fra disse 100 milliardene er 60 milliarder skapt av fiskeri og havbrukskjeden mens de resterende 40 milliardene kommer fra næringsliv som følge av varer og tjenester direkte tilknyttet næringen. Veksten fra 2014 har vært særlig sterk innen produksjon av laks og ørret. Verdiskapningen per årsverk i sjømatnæringen er svært høy, men spesielt høy innen oppdrett av laksefisk [1].

For oppdrettere er det imidlertid en del utfordringer. Disse utfordringene er knyttet til rømming, sykdom hos fisken, store nok fôrressurser, tilgang til areal og lakselus. For at en ytterligere vekst i norsk sjømatnæring skal være mulig, må utfordringer innenfor oppdrett løses. Høsten 2015 åpnet Nærings- og fiskeridepartementet for å søke om utviklingstillatelser. Dette er tillatelser til å sette i gang prosjekter som bruker nye tekniske løsninger til å møte utfordringene oppdretterne opplever. I løpet av våren 2016 mottok Fiskeridirektoratet 25 søknader på 211 tillatelser [2].

Ett av konseptene som har fått utviklingstillatelse er Aquatraz. Dette er en sirkulær ståltank med åpning i bunn og topp. Hensikten med denne er å bedre fiskehelsen, mindre risiko med tanke på rømming, øke tilgjengelig areal for oppdrett av laks og den skal være tryggere enn konvensjonelle anlegg med tanke på helse, miljø og sikkerhet [3]. Andre slike konsept er blant annet *Egget* fra Marine Harvest, *SalMar* sitt konsept *Havmerd* og *Nordlaks Oppdrett sin Havfarm*.

Et annet interessant og relativt nytt konsept er en snorkelmerd. Dens fokus er å holde en avstand mellom laks og lakselus slik at lusepåslaget blir kraftig redusert. Siden den for første gang ble testet hos Havforskningsinstituttet i 2012 [4] har den fått økt oppmerksomhet. Lusekonsentrasjon i sjøen er antatt å avta raskt med dypet, derfor må snorkelen i en snorkelmerd holdes mest mulig strak. Denne rapportens fokus er å undersøke om deformasjon som observeres i snorkelen og tilhørende løft i bunnringen til snorkelen på tubenøtene til Eide Fjordbruk på sin lokasjon Langøy, kan gjenskapes ved hjelp av programvaren AquaSim. Deretter vil denne oppgavens fokus rettes mot å unngå eventuell deformasjon i form av parameterendring og eventuelt endring i design. Bølger, strøm, soliditet og temperatur er antatt å påføre snorkelen deformasjon. Bølger og strøm er de miljølastene som denne rapporten tar for seg selv om påvirkning fra salinitet og temperatur på snorkelen kan være like relevant.

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

Norsk Industri er NHOs (Næringslivets Hovedorganisasjons) største landsforening med 25 prosent av de samlede årsverk i NHOs medlemsbedrifter. Deres rapport "veikart over havbruksnæringen" viser at et av hovedmålene er at Norge skal eksportere laks for mer enn 200 milliarder kroner innen 2030. Det vil si at lakseeksport skal mer enn dobles fra i dag [5]. Økende eksport av laks vil også føre til en økende verdiskapning, men en vekst uten føringer kan være uheldig for miljøet.

Sykdom er stadig et problem for oppdretterne og lakselus har blitt et av de største. Årlig kostnad for avlusning er beregnet å være rundt 500 millioner kroner [6]. Derfor er det økonomiske aspektet en viktig pådriver til å møte utfordringene. I tillegg til at sykdom rammer økonomien, er det også miljømessige utfordringer. Forskningsrapport fra Norsk institutt for naturforskning (NINA) [7] viser at fiskeoppdrett øker spredningen og hyppigheten til lakselus i områder rundt oppdrettet. Dette påvirker både villaksen og ørreten i form av infeksjoner og økt dødelighet. Påvirkningen er faktabasert gjennom overvåkning av lakselus på villfisk og på bakgrunn av at villfisk i områder rundt fiskeoppdrett har oppnådd samme resistans mot kjemikalier som oppdrettlaks. Lakselus fra oppdrettlaks er dermed identifisert som en av de to største truslene mot villaksen i Norge.

For å få kontroll på dette problemet har regjeringen nylig innført trafikklyssystemet [8]. Landet er delt opp i 13 produksjonsområder hvor produksjonen reguleres i henhold til utbredelsen av lakselus i regionen. Ni deler har fått grønt lys som betyr at de kan øke produksjonen, to har fått gult lys som medfører at det ikke trengs å gjøre noe med produksjonskapasiteten og to har fått rødt lys som betyr at de må redusere sin produksjonskapasitet med hele 6 prosent. Det røde lyset betyr at påvirkningen fra lakselus på villaks er uakseptabel. Det røde lyset gjelder fra Nordhordland til Stadt og fra Stadt til Hustadvika [8].

Eide sitt anlegg på Langøy ligger i den røde sonen og det er her brukt en snorkelmerd som en forebyggende ikke-medikamentell løsning for å møte utfordringen med lakselus. Det er gjort flere tester med slike snorkler som viser at det beste resultatet i reduksjon av lusepåslag kommer med en dyp snorkel [4]. Derfor har Eide Fjordbruk valgt å benytte seg av en snorkel som er 16 m dyp. Effekten av disse er varierende, hovedsakelig som følge av påvirkninger fra bølger og strøm. Derfor er det av interesse å undersøke hvordan snorkelmerden kan bli bedre på det som er dens hensikt, å skape avstand mellom laks og lakselus.

## 1.2 Målsetting

Oppgaven undersøker om Eide Fjordbruk sine observasjoner på lokasjon Langøy kan gjenskapes ved hjelp av modellering og numeriske analyser i AquaSim. Eide har forklart at de opplever to typer deformasjon i snorkelduken. Den første som blir kalt timeglassseffekten er antatt å oppstå på bakgrunn av varierende salinitet og temperaturforhold på innsiden og utsiden av snorkelen, samt øvre og nedre del av vannmassene inne i snorkelen. Det antas at varierende forhold av de overnevnte miljøparameterne fører til at det dannes en innvendig vertikal strøm som leder til et undertrykk inne i snorkelen. Dette kan føre til at veggene i snorkelen trekkes sammen på midten og snorkelen oppnår en timeglassfasong.

Den andre typen av deformasjon antas å oppstå fra bølger og strøm, og da hovedsakelig strøm. Bølger og strøm som treffer snorkelen fører til at den nedre delen av snorkelen forflytter seg vertikalt og blir sammen med bunnringen løftet flere meter opp mot overflaten. Ettersom lusen gjerne befinner seg i øverste del av vannlaget mister dermed den dype snorkelen sin effekt når den i bølger og strøm ikke er like dyp som den i utgangspunktet var tenkt å være. Det er denne andre type deformasjon som er forårsaket av bølger og strøm, denne oppgaven tar for seg.

De numeriske analysene vil videre brukes for å gi svar på hva som kan gjøres for å unngå deformasjoner i snorkelen i en snorkelmerd. Dette vil undersøkes gjennom flere parameterendringer i bunnringen til snorkelen. Omfanget av oppgaven vil også strekke seg til å undersøke nye mulige design av en konvensjonell snorkelmerd, men uten å endre den hensikten snorkelmerden har.

## 1.3 Metode

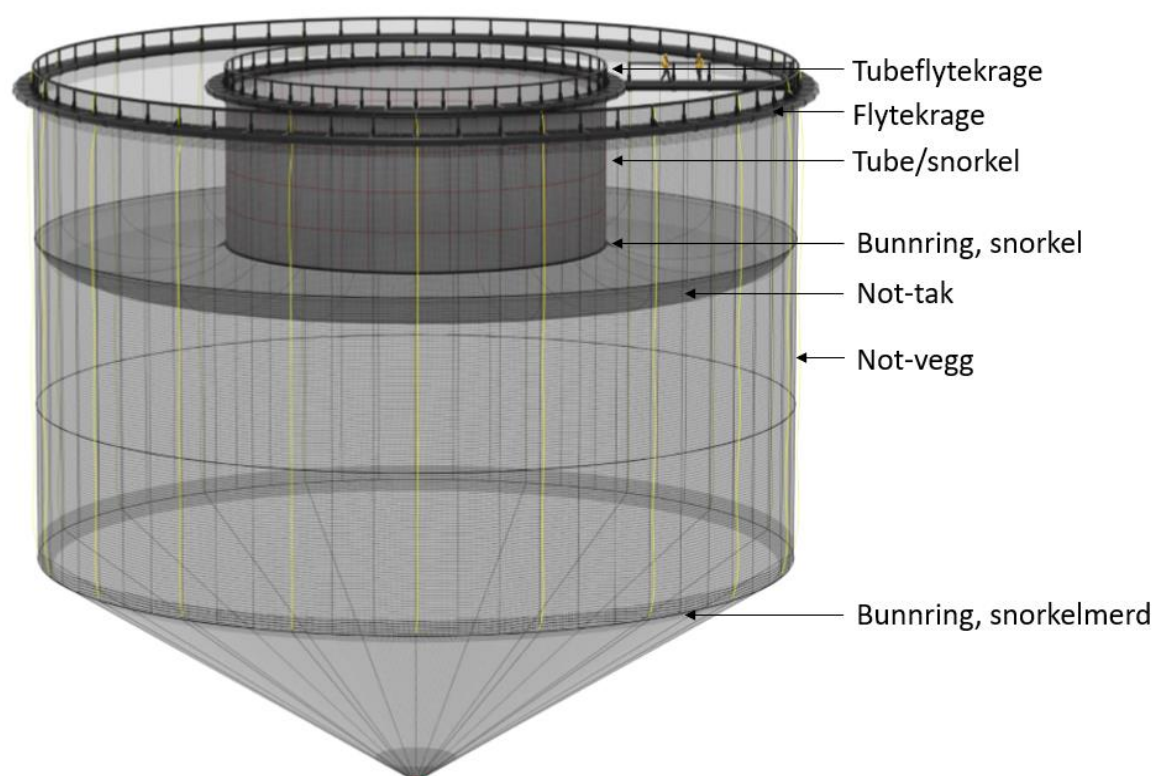
Oppgavens problemstilling vil besvares ved hjelp av resultater fra analyser i AquaSim. Det benyttes dermed en numerisk metode gjennom oppgaven som kombinerer elementmetoden, hydrodynamikk og hydroelastiske analyser på en snorkelmerd. Resultatene sammenlignes ikke med modellforsøk eller eksakte data fra lokalitet, men observasjoner som er gjort i forhold til at snorkelbunnringen løfter seg mot overflaten i sterk strøm og bølger. Ettersom det ikke gjøres sammenligninger opp mot eksakte data, valideres resultater mot en avansert simuleringsmodell. Dette gir en usikkerhet og derfor vil resultatene inkludere avvik i form av systematiske feil som ikke blir kvantifisert.

## 1.4 Struktur

Kapittel 1 beskriver bakgrunn og motivasjon, målsetting og metode. Kapittel 2 går detaljert gjennom snorkelmerdkonseptet. Relevant teori blir i all hovedsak presentert i kapittel 3. Kapittel 4 tar for seg generell informasjon om programvaren AquaSim, modellering av en snorkelmerd, simuleringsparametere, forenklinger og begrensninger. Kapittel 5 og 6 presenterer henholdsvis resultater, diskusjon og konklusjon, før kapittel 7 presiserer anbefalt videre arbeid.

## 2 Snorkelmerd

En Snorkelmerd eller tubenot, begrepene blir brukt om hverandre, er bygget opp av en helt konvensjonell merd med et not-tak på ønsket dybde. Not-taket har åpning i senter, til en vertikalstående tunnel med not innvendig og duk utvendig kalt for snorkel eller tube. Hensikten med not-taket er å holde laksen unna de øverste vannlagene der hyppigheten av lus ofte er høyest. Duken på utsiden av tuben skal beskytte laksen mot lus når den svømmer til overflaten for å fylle luft i svømmeblæren. Tubeduken holdes nede ved hjelp av en egen bunnring som ligger mot not-taket. Not-taket er ført opp gjennom tuben og festet i tubeflytekragen. Snorkelen kan være av varierende diameter, men felles for snorkelmerkene er at snorkelen skal gjøre at det blir en avstand mellom laks og lakselus [9]. En illustrasjon av en typisk snorkelmerd er vist nedenfor i Figur 1.



Figur 1 – Illustrasjon av snorkelmerd [10]



## 2.1 Komponenter

Merden består av en indre flytekrage med rør i PE 100, polyetylen med følgende tverrsnitt: Diameter 400 mm, SDR (diameter delt på tykkelse) 17,6 og omkretsen til flytekragen er 90 meter. Den ytre flytekrage er 160 m i omkrets og har rør med en diameter på 500 mm og SDR 13,6 og er også laget av polyetylen. Snorkelen strekker seg fra den indre flytekragen 16 meter nedover i dypet og har en tetthet på  $1663 \text{ kg/m}^3$  [11]. I bunnen av snorkelen er det festet en bunnring som ligger mot et not-tak. Vekten av bunnringen er  $42 \text{ kg/m}$  og denne er laget i polyetylen. Videre er snorkelen omsluttet av et konvensjonelt not slik som vist i Figur 1 og nederste punkt av denne ligger på en dybde på rundt 51 m [12]. Figur 2 viser tubeflytekragen og ytre flytekrage til en av snorkelmerkene til Eide på lokasjon Langøy.



Figur 2 – Snorkel og ytre flytekrage, foto: Sindre Samsonsen

## 2.2 Bakgrunn

Ideen bak snorkelmerden ble initiert i et av Forskningsrådets sentre for forskningsdrevet innovasjon, CREATE [13]. Videreutvikling av prinsippet og vitenskapelig testing er støttet av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF) siden 2013. Egersund Net har stått for design og produksjon av snorkler og prosjektet har fått gode bidrag fra Lerøy Seafood Group og Marine Harvest [4].

Testing i liten skala har vist en reduksjon i lusepåslag og at konseptet kan være en effektiv løsning på luseproblemet også i stor skala. Effekten er seinere blitt bekreftet i kommersiell skala i et omfattende forsøk gjennom et helt år. Forsøkene som nå er dokumentert og publisert i anerkjente fagtidsskrift viser følgende resultat: I snorkelmerdene ble lusepåslaget redusert med 75 prosent [14].

## 2.3 utfordringer

Tester viser at snorkelmerd-konseptet virker, men det er også noen utfordringer knyttet til miljøparametere. Brakkvannslag med varierende tykkelse, lange perioder med lite dagslys, samt bølger og strøm skaper utfordringer for oppdretterne.

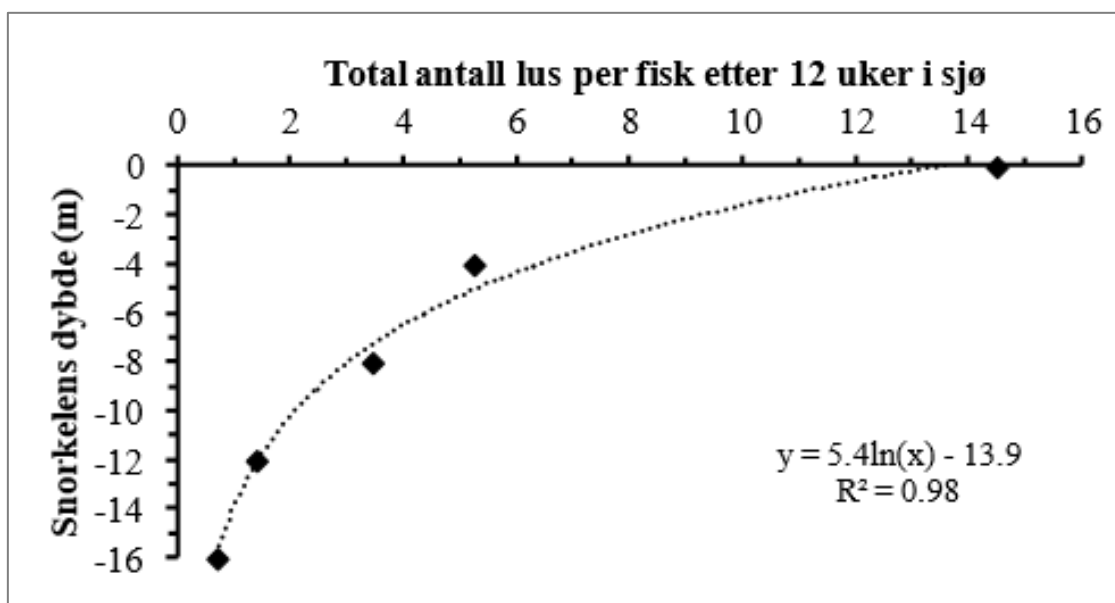
### 2.3.1 Lakselus

Lakselus er i dag den parasitten som er vanligst på oppdrettslaks og hovedfaktoren for sykdom i næringen [6]. I flere år har det blitt lagt ned arbeid for å bekjempe lusen ved hjelp av biologiske midler og kjemiske midler. Overvåkning av lusen viser at bestanden øker og at den i noen tilfeller er blitt immun mot de kjemiske behandlingsmetodene som brukes [6]. Måten lusen påfører laksen skade er at den spiser slim, skinn og blod. Dette fører gjerne til andre infeksjoner fra sopp og bakterier. Lus er en av de største tapsfaktorene i norsk lakseoppdrett og det er beregnet at oppdrettsnæringen taper hele 500 millioner kroner årlig direkte på utgifter til kjemikaliebruk, ekstraarbeid ved avlusing, tap av fisk eller vekttap på grunn av stress eller redusert vekst som er den primære effekten av lakselus [6].

Erfaring viser at populasjonen av lus varierer i dybden og at det ofte er mest lus i de øverste meterne i vannsjiktet. Om natten vil luselarvene synke nedover i vannet, men om dagen vil de svømme mot lyset igjen. Om vinteren vil de mulig synke enda dypere sammenlignet med sommeren ettersom nettene blir lengre [4].

Lusen påvirkes også av mengden saltinnhold i vannet. Brakkvannslaget, som er en blanding mellom ferskvann og saltvann som hovedsakelig oppstår på grunn av elvers utmunning i sjøen, er noe lakselus unngår. Dette er ofte øverste delen av vannlaget og dermed tvinges lusen til å synke nedover i dypet. I teorien er det ikke nøyaktige beskrivelser av hvilke saltholdigheter luselarvene unngår. Selv om litteraturen oppleves som mangelfull rundt dette, antyder den at luselarver unnviker saltholdigheter mellom 20-28 ppt (parts per thousand) og at alle larver dør ved saltholdigheter lavere enn 10 ppt, det vil si 10 gram per kilo sjøvann [4]. Dersom laksen svømmer innover i elver vil lusen til slutt falle av i ferskvannet. Gjennom laboratorieforsøk er det bekreftet at lus kan holde seg på laksen opptil 14 dager etter at den har beveget seg inn i ferskvann [6].

På bakgrunn av teorien rundt lusen er det dermed nærliggende å anta at desto dypere snorkelen er, desto mindre lus vil synke ned under snorkeldypet og feste seg på fisken. Her er det også resultater som bekrefter hypotesen. Figur 3 er hentet fra Havforskningsinstituttet og viser et mellomskala forsøk over 12 uker, fra november til februar [4]. Laks ble satt i snorkelmerder med ulik snorkeldybde, disse var henholdsvis 0-5, 4-9, 8-13, 12-17 og 16-21 meters dyp. Punktene i grafen viser øvre oppholdsdyp og lusepåslaget er gjennom 12 uker i sjøen.



Figur 3 – Lusepåslag som funksjon av dybde [4]

Etter de 12 ukene viser resultatene henholdsvis 14,5, 5,3, 3,5, 1,4 og 0,7 lus per fisk. Ettersom dette mellomskala forsøket ble gjort om vinteren er det korte perioder med dagslys og lusene trekker seg ikke aktivt mot overflatelyset. Om sommeren ble det observert et enda mindre lusepåslag selv med grunnere snorkler. Potensielt sett viser resultatet at lusepåslag kan bli nærmere null om snorkelen er dyp nok [4]. Snorkelen i snorkelmerdene til Eide Fjordbruk på lokasjon Langøy, se Figur 4, er satt til å være 16 m dyp. Denne dybden anser de som den foreløpig mest gunstige med tanke på kombinasjonen av reduksjon i lusepåslag og for fiskens miljø i snorkelen [12].



Figur 4 – Snorkelmerd lokasjon Langøy, foto: Sindre Samsonsen

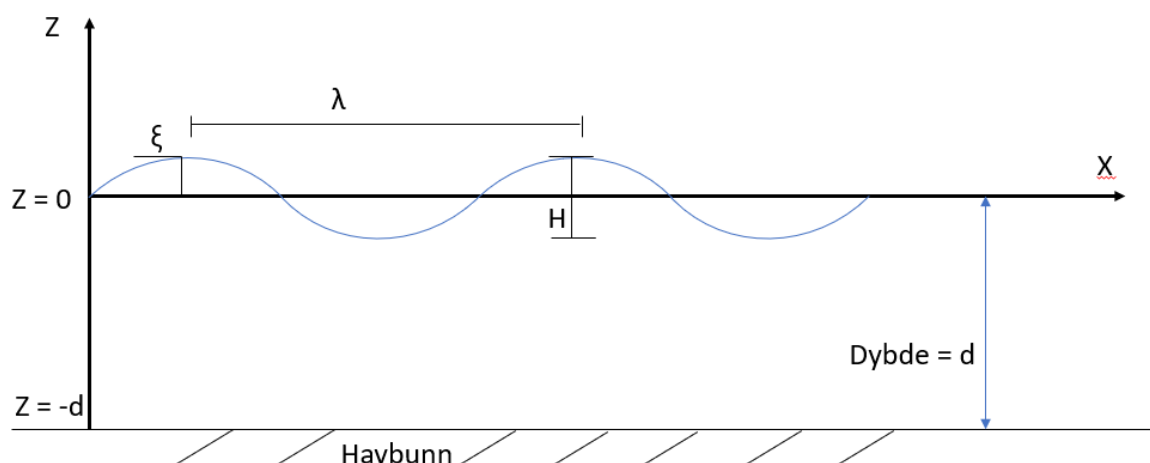
### 2.3.2 Bølger og strøm

Det som viser seg å være en direkte utfordring med snorkelmerdene er at det er krevende å holde bunnringen eller bunnen av tuben i ro på ønsket dybde [12]. Krefter fra bølger og strøm er umulig å unngå på lokaliteter der snorkelmerdene benyttes. Når bølgene og hovedsakelig strømmen beveger seg gjennom den ytre noten i merden og treffer den tette membranen i snorkelen får membranen en deformasjon. Membranen blir presset sammen og trekker med seg bunnringen flere meter både sidelengs og oppover mot vannoverflaten [12]. Når bunnringen løftes opp blir laksen mer eksponert for lakselusen som den er designet for å holde bort fra fisken.

### 3 Teori

I denne delen av rapporten presenteres den teorien som anses å være relevant for å kunne besvare problemstillingen. Kapittelet åpner med en generell gjennomgang av bølgeteori som anvendes i programvaren og som derfor gjelder for oppgaven. Relevante formler, figurer og ligninger blir presentert og det refereres til originalkilden. Hvordan en konvensjonell merd fortøyes inkluderes og hydroelastisitet defineres. Kapittelet avrundes med å forklare frihetsgrader da dette nevnes seinere i forbindelse med forenklinger knyttet til den modellerte snorkelmerden.

Oppgaven benytter seg av analyseverktøyet AquaSim, som baserer utregninger på den lineære bølgeteori. Programvaren AquaSim blir presentert i kapittel 4, men teorien bak blir utdypet i dette kapittelet. For å kunne benytte seg av den lineære bølgeteori er det en del antagelser som må gjøres og krav som må oppfylles [15]. Forenklinger og ligninger som blir presentert i dette kapittelet, blir presentert på bakgrunn av deres nødvendighet i teorien. I lineær bølgeteori ser bølgeprofilen ut som en sinusbølge, som vist i Figur 5.  $H$  står for bølgehøyde,  $\zeta$  er bølgeamplitude,  $\lambda$  er bølgelengde og  $d$  er dybden. Ved vannoverflaten er  $z$  koordinaten 0. Denne blir negativ nedover i dypet og er på det dypeste punktet lik som dybden med negativt fortegn.



Figur 5 – Sinusbølge

### 3.1 Antagelser

Vannet antas å være inkompressibelt, se ligning (1).  $\vec{U}$  er hastighetsvektoren i x-, y- og z-retning,  $\nabla$  er gradienten og  $\rho$  er vannets tetthet. At vannet er inkompressibelt betyr at tettheten  $\rho$  er konstant og ikke endrer seg med tiden.

$$\frac{D\rho}{Dt} + \nabla \cdot \vec{U} = 0 \quad (1)$$

Vannet antas også å ha en rotasjonsfri strømning. Det medfører at det ikke virker skjærkrefter mellom vannpartiklene, som gjør at vannet har en friksjonsfri strømning. Dette kommer frem av ligning (2).

$$\nabla \times \vec{U} = 0 \quad (2)$$

Den siste av 3 viktige ligninger som introduseres under antagelser er Laplace sin andreordens differensialligning (3). Denne forekommer i flere sammenhenger og er generelt ansett som en av de viktigste differensialligningene i ingeniørmatematikken. Hastighetspotensialet,  $\varphi$  er en del av denne ligningen og dette blir introdusert videre i kapitlet.

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (3)$$

### 3.2 Hastighetspotensialet

Ved å benytte seg av de tre ligningene over, er det mulig å finne hastighetspotensialet som uttrykkes ved hjelp av  $\varphi(x,y,z,t)$  [15]. Ved å derivere  $\varphi$  med hensyn på retning, vil det være mulig å finne hastighet og akselerasjon til partiklene under bølgen. Disse verdiene benyttes for å regne ut krefter som bølgen påfører det den treffer. For å finne et uttrykk for hastighetspotensialet må Laplace sin andreordens differensialligning løses. For å løse denne ligningen, settes det 3 betingelser.

Den eksakte løsningen for ligningene til de tre betingelsene er veldig kompleks og det antas liten bølgeamplitude teori. Ved å anta at  $H$  er mye mindre enn  $\lambda$  og  $d$  og ved å se bort fra ikke lineære forhold, vil grensebetingelsene være oppfylt ved  $z = 0$ . Ved å forenkle teorien med antagelsene, vil ligningene tilhørende grensebetingelser bli som beskrevet under. Det settes en grensebetingelse ved bunn som uttrykker at vannet ikke kan strømme gjennom bunnen og det antas flat bunn, se ligning (4).

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad \text{ved } z = -d \quad (4)$$

Det er en dynamisk grensebetingelse ved overflaten, trykket ved vannoverflaten er hele tiden konstant og holder seg likt som det atmosfæriske trykket, se ligning (5).

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + g\xi = 0 \quad \text{ved } z = 0 \quad (5)$$

Her er  $g$  gravitasjonskonstanten og  $\xi$  er bølgens amplitude. Den siste grensebetingelsen er den kinematiske. Væskepartikler ved overflaten av lave bølger, forblir på overflaten, se ligning (6).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad \text{ved } z = 0 \quad (6)$$

Den dynamiske fri overflate grensebetingelsen og den kinematiske fri overflate grensebetingelsen kan kombineres og sammen former disse to ligningene den kombinerte overflate betingelsen, se ligning (7).

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + g \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \text{ ved } z = 0 \quad (7)$$

Ved å løse Laplace sin ligning med de nevnte betingelsene vil hastighetspotensialet kunne finnes. Dette er også en veldig kompleks prosedyre og vil ikke inkluderes her. Resultatet av denne matematiske prosessen blir den to-dimensjonale lineariserte potensialfunksjonen som vist i ligning (8). I formelen er  $k$  bølgetallet,  $\omega$  er vinkelfrekvensen,  $\zeta$  er amplituden og  $x$  er horisontalposisjonen til bølgeforsplantningen.

$$\varphi(x, y, z, t) = \frac{\zeta g \cosh[k(z + d)]}{\omega \cosh(kd)} * \sin(\omega t - kx) \quad (8)$$

### 3.3 Dispersjonsrelasjonen

Dispersjonsrelasjonen er en viktig relasjon mellom bølgelengde  $\lambda$  og bølgeperiode  $T$  [16]. Relasjonen blir uttrykt ved å sette inn førsteordens hastighetspotensialet i ligning (7). Resultatet av dette blir uttrykt i ligning (9). Ved å manipulere denne ligningen kan det finnes et uttrykk for bølgens lengde, som er en essensiell parameter når det gjelder bølgelaster. Ligning (10) viser uttrykket for bølgelengde,  $\pi$  er den matematiske konstanten som defineres ved omkretsen til en sirkel dividert med diameteren.

$$\omega^2 = gk \tanh(kd) \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh(kd) \quad (10)$$



I ligningene er  $\omega$  vinkelfrekvensen,  $d$  er dybden og  $k$  representerer bølgetallet. Bølgetallet finnes gjennom iterasjoner. Dette kan være en krevende prosess dersom det ikke er tilgjengelig programvare som kan løse dette. Det kan gjøres noen forenklinger ut ifra hvilket vanndyp det gjøres beregninger på. Det skilles mellom grunt vann, relativt vanndyp og dypt vann. Sistnevnte vanndyp gjelder i denne oppgaven og gir følgende forenklete ligninger for  $\omega$  (11) og  $\lambda$  (12):

$$\omega^2 = gk \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} T^2 \quad (12)$$

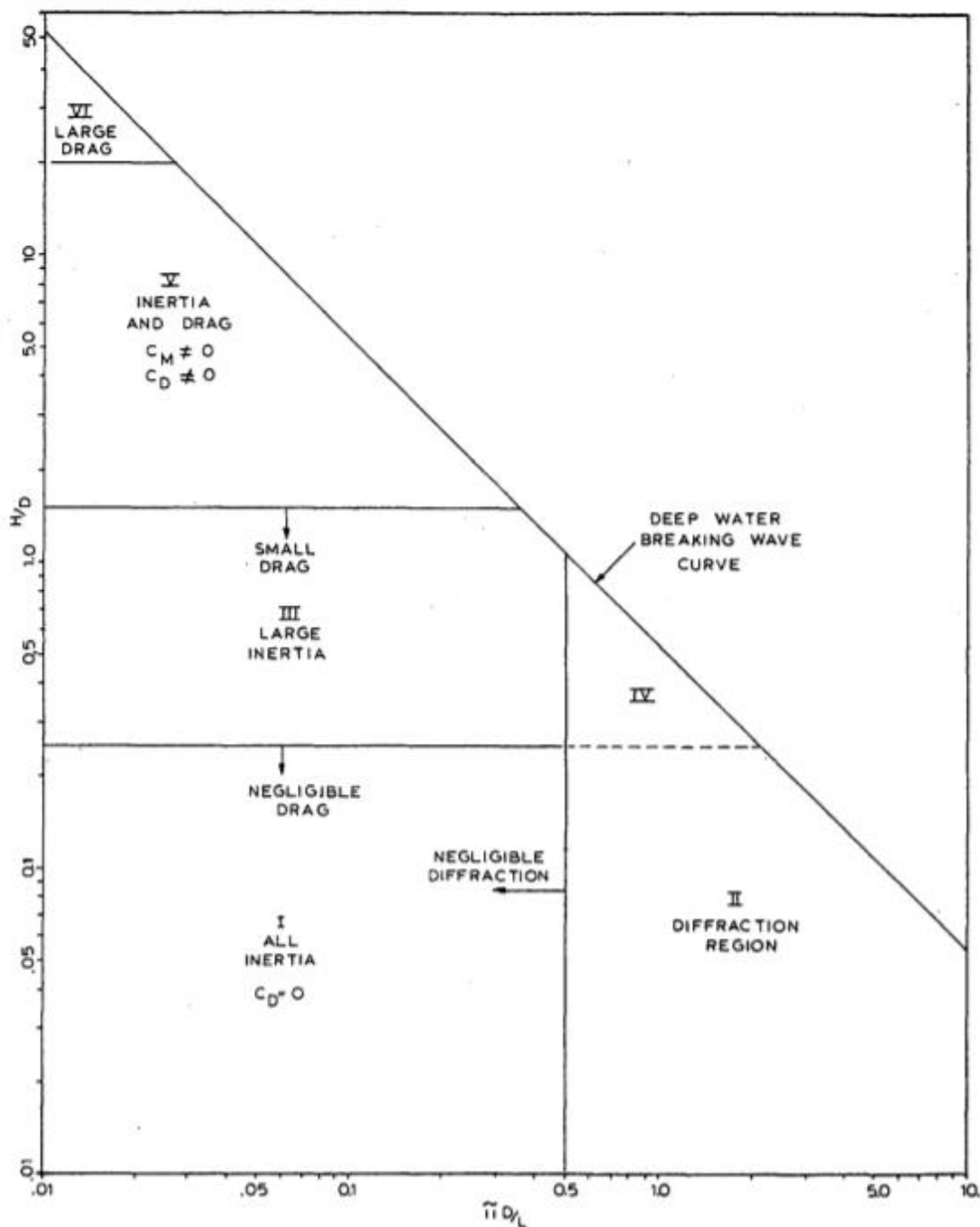
### 3.4 Bølgekrefter

Formler som benyttes for å undersøke bølgekrefter på en konstruksjon, varierer ved ulike forhold. En vertikal sylinder kan brukes for å undersøke hvilke formler som er anvendbare. Figur 6 viser et diagram som er utviklet av Chakrabarti [16] for å kunne besvare hvilken type teori for bølgekrefter som skal anvendes under forskjellige forhold og om en konstruksjon er drag- eller massedominert. Diagrammet er avhengig av Keulegan-Carpenter nummeret  $KC$ , se ligning (13), og  $\pi D/\lambda$ , ofte uttrykt ved  $ka$ , for å kartlegge hvilke områder på diagrammet som skal benyttes, altså hvilken teori som skal anvendes.  $KC$  tallet uttrykkes ofte som  $\pi H/D$ , se ligning (14), dersom det antas dypt vann og ikke brytende bølger. Dette er en del av lineariseringen og antagelsene som gjelder for denne oppgaven.

$$KC = \frac{u_0 T}{D} \quad (13)$$

$$KC = \frac{\pi H}{D} \quad (14)$$

Her er  $u_0$  vannpartiklenes maksimale hastighet på konstruksjonen,  $T$  er bølgeperiode,  $D$  er konstruksjonens diameter og  $H$  er bølgehøyde.



Figur 6 – Anvendelsesområde av formler for bølgekrefter på vertikal sylinder, s323 [16]  
 På x-aksen:  $\pi$  ganget med diameter til konstruksjon delt på bølgelengde  
 På y-aksen: bølgehøyde delt på konstruksjonens diameter

Det første avgrensede området i Figur 6, region I "ALL INERTIA" avgrenset av  $KC = 5$  og  $ka = 0,5$ , representerer forhold hvor konstruksjonen er massedominert og bidraget fra drag er uvesentlig. Diffraksjonseffekten er ubetydelig og bare den delen av Morisons ligning som inkluderer massekraft er nødvendig for å finne bølgekraftene. Region II "DIFFRACTION

REGION" for  $ka > 0,5$ , avgrenset av linjen for brytende bølger, utgjør diffraksjonsområdet og bølgekreftene regnes ut ved hjelp av diffraksjonsteori. Drag-effekten er liten og kan fortsatt utelates i region III "LARGE INERTIA". I region IV kan både drag og diffraksjonsfenomenet være av betydning. I region V er virkningen av drag betydelig og hele Morisons formel må benyttes for å finne de totale bølgekreftene. Helt øverst, i region VI, vil drag være den dominante faktoren, dette gjelder for slanke element. Froude Krylov teorien kan benyttes i region I og II.

Oppsummert vil diffraksjonsteorien gjelde svært store strukturer, masseleddet i Morisons ligning blir dominant med store konstruksjoner og dragleddet dominerer dersom det regnes på slanke strukturer. Generelt anvendes formler i diffraksjonsteori dersom  $\pi D/\lambda > 0,5$  og Morisons ligning kan benyttes dersom  $\pi D/\lambda < 0,5$  [16].

### 3.5 Morisons ligning

Morisons ligning er en av de mest brukte metodene for å finne bølgekrefter på slanke, bunnfaste sylindere i svingende bølger. Ligningen kombinerer massekraft og dragkraft, henholdsvis første og andre leddet i ligning (15), for å finne bølgekreftene på en søyle [17].

$$F = \frac{\pi D^2}{4} \rho C_M \dot{u} + \frac{1}{2} \rho C_D D u |u| \quad (15)$$

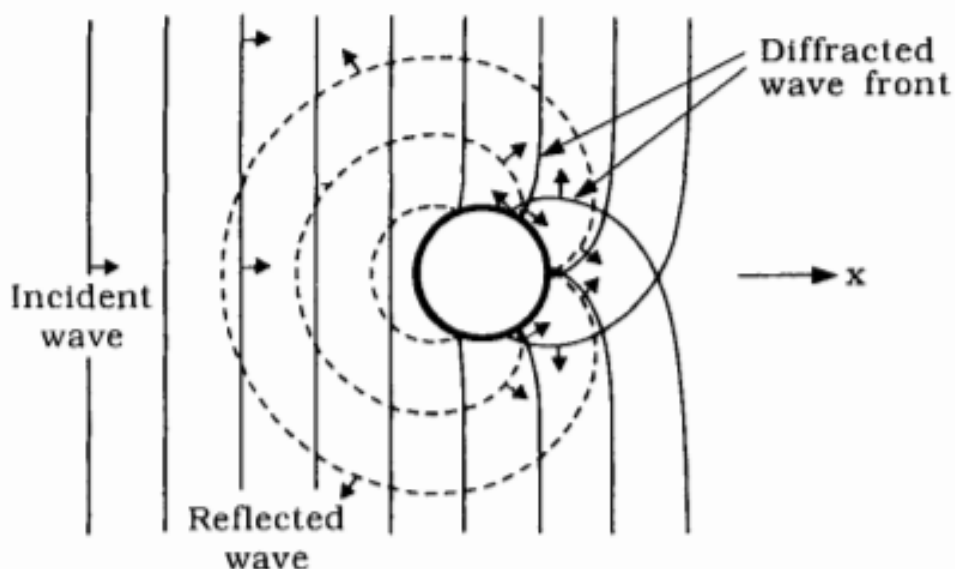
$F$  er kraft,  $D$  er diameteren til strukturen,  $\dot{u}$  og  $u$  er henholdsvis akselerasjon og hastighet til partiklene under bølgen.  $C_M$  og  $C_D$  er masse og dragkoeffisienter som finnes ved hjelp av eksperimenter og  $\rho$  symboliserer vannets tetthet. Selv om teorien er mye benyttet har den en del begrensninger som gjør at det ikke er i alle tilfeller den kan anvendes. Slanke elementer regnes som egnede til å beregne bølgekrefter ved hjelp av Morison. Sett i sammenheng med Figur 6, er det tidligere nevnt at Morisons ligning kan benyttes dersom  $\pi D/\lambda < 0,5$ .

For en typisk snorkel i en snorkelmerd som utgjør 90 m i omkrets, blir den tilsvarende diameteren  $D = 90 \text{ m}$  dividert med  $\pi$ ,  $= 28,65 \text{ m}$ . Siden diameteren er nesten 29 m må det antas at dette er for stort til at snorkelen kan kalles for en slank struktur. Det må derfor introduseres andre metoder for å gjøre beregninger på større konstruksjoner.

### 3.6 Diffraksjon

I forrige delkapittel om Morisons ligning ble det nevnt at den metoden å regne bølgekrefter på, gjerne anvendes på sylindriske konstruksjoner der diameteren,  $D$ , er antatt å være mye mindre enn bølgelengden  $\lambda$ . I slike tilfeller vil ikke konstruksjonen påvirke de innkommende bølger. I tilfeller der den sylindriske konstruksjonen blir vesentlig større derimot, vil den forstyrre de innkommende bølgerne [18]. Da flytter området seg for den anvendbare teorien og regionene som omhandler diffraksjon blir de relevante, se høyre side av Figur 6.

En vertikal, stor og bunnfast sylinder brukes som eksempel på diffraksjonsteorien. Innkommende bølger som treffer sylinderen, vil medføre reflekterte bølger som beveger seg vekk fra konstruksjonen igjen, se Figur 7. På motsatt side av hvor de innkommende bølger treffer sylinderen, vil det bli en sone der de innkommende bølger bøyes rundt konstruksjonen, dette kalles diffrakterte bølger, se Figur 7. Som illustrasjonen viser, forstyrrer sylinderen bølgerne og danner reflekterte bølger og diffrakterte bølger. Denne prosessen kalles diffraksjon og kombinasjonen av reflekterte og diffrakterte bølger, kalles gjerne spredte bølger. Diffraksjonen fører til at trykket som omgir sylinderen blir forandret og derfor blir også kreftene som påvirker konstruksjonen påvirket. Effekten av dette blir viktig når raten  $D/\lambda$  blir større enn 0,2 [18].



Figur 7 – Illustrasjon av reflekterte og diffrakterte bølger på en vertikal sylinder [18]

### 3.6.1 Diffraksjon i AquaSim

Det er flere muligheter knyttet til beregning av krefter fra diffraksjon. AquaSim har følgende 3 muligheter som det går an å benytte seg av: MacCamy-Fuchs, numerisk diffraksjon og skalert diffraksjon. Da MacCamy og Fuchs teori er en av de absolutt mest brukte teoriene, brukes derfor også deres teori i denne oppgaven. Noen relevante ligninger blir introdusert videre i dette kapitlet, men teorien og formlenes utledning er kompleks og beskrives detaljert i kilder henvist til i referanselisten.

MacCamy og Fuchs teori etablerer kreftene på en stor, vertikal sylinder, nedsenket i væske og som strekker seg forbi vannoverflaten, der hastighetspotensialet  $\varphi$  er kjent å eksistere [19]. Dersom det innkommende potensialet er kjent, er det mulig å finne trykket. Trykket blir uttrykt ved hjelp av Bernoullis lineariserte ligning (16), som beskriver trykkvariasjon i en væske. I formelen er det hydrostatiske trykket gitt med vannets tetthet  $\rho$ , tyng akselerasjonen  $g$  og dybden  $z$ . Det dynamiske trykket er gitt med hastighetspotensialet som endrer seg med bølgene og tettheten til vannet. Sammen danner det dynamiske trykket og det statiske trykket, det totale trykket  $P$ .

$$P = -\rho g z - \rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (16)$$

Når formelen for trykk er etablert kan kreftene beregnes, se ligning (17).

$$F_z = \int_0^{2\pi} P \cos \theta d\theta \quad (17)$$

Ved å gjennomføre integreringen som vist i ligning (17), finnes kraftkomponenten som virker i x-retningen på sylindere per enhetslengde i z-retning ved dybde  $z$ , se ligning (18).

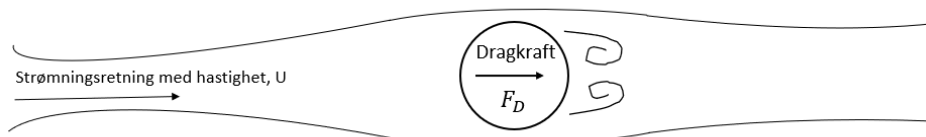
$$F_z = \frac{2\rho g H \cosh[k(z+d)]}{k \cosh(kd)} A \left( \pi \frac{D}{\lambda} \right) \cos(\omega t - \alpha) \quad (18)$$

$H$  er bølgehøyden,  $k$  er bølgetallet,  $d$  er det totale vanddybet,  $z$  er dybden som undersøkes,  $D$  er konstruksjonenes diameter,  $A$  er det projiserte arealet,  $\lambda$  er bølgelengde og  $\omega$  er frekvens. Mer om teorien og videre utledning finnes i MacCamy og Fuchs tekniske rapport om bølgekrefter på sylindriske konstruksjoner [19].

### 3.7 Drag

En konstruksjon som er nedsenket i og omgitt av en væske vil oppleve krefter forårsaket av det statiske trykket fra den omkringliggende væsken. Dersom væsken beveger seg vil den nedsenkede konstruksjonen også oppleve dynamisk trykk som oppstår av at vannpartiklene presses rundt konstruksjonen, dette er vist i Figur 8. Som et eksempel kan tidevannsstrømmer som beveger seg forbi en fiskemerde danne en slik kraft. Denne kraften kalles dragkraft og er uttrykt i ligning (19). Vannets tetthet er gitt med  $\rho$ , det projiserte arealet er uttrykt med  $A$ ,  $C_D$  er dragkoeffisienten og  $U$  er strømmens hastighet [20].

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A C_D U^2 \quad (19)$$



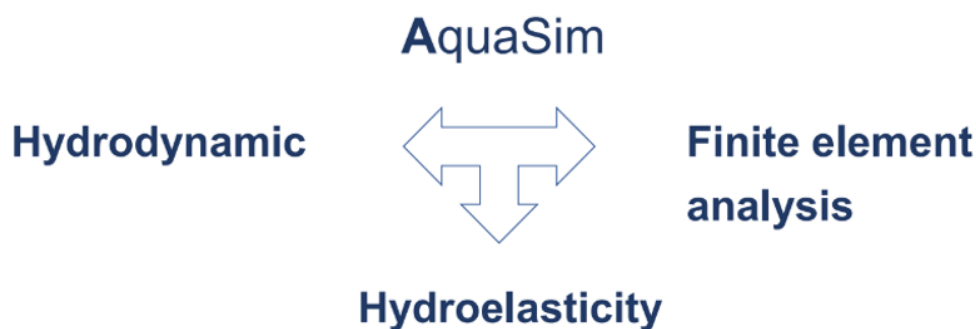
Figur 8 – Vannpartikler tvinges rundt en sylinder

### 3.8 Hydroelastisitet

Fluid-struktur interaksjon også kalt hydroelastisitet, er interaksjonen mellom en deformerbare struktur eller flyttbar struktur- og omkringliggende eller indre fluidstrømning. Eksempler kan være interaksjon mellom vind og et tre, grunnvann og jorden eller vannstrømning på en snorkel. Dette er et tverrfaglig emne som er av interesse for flere forskere innenfor fluiddynamikken. Teorien deles inn etter om fluidet er en væske eller gass. Dersom fluidet er en væske gjøres alltid antagelsen om at denne er inkompressibel, men dersom fluidet er en gass kan det antas

enten kompressibilitet eller inkompressibilitet. Det må også skilles mellom en solid struktur som er flyttbar eller om det er en struktur som er elastisk og deformeres [21]. Om beregningene blir gjort for fluid og struktur individuelt eller om det blir sett på som ett felles system varierer. Den mest praktiske tilnærmingen er å se på det som to forskjellige system og benytte seg av teori og måter å gjøre utregninger på som alt eksisterer. Ligninger finnes i litteraturen omhandlende hydroelastisitet som er henvist til [21].

Den teoretiske bakgrunnen i AquaSim, som vist i Figur 9, inkluderer fluid-struktur interaksjoner i beregningene. Dette i tillegg til hydrodynamikk med diffraksjon og Morisonlaster fra bølger og strøm, vindlaster og FE (finite element) analyser [22]. Det at AquaSim tar høyde for hydroelastisiteten gjør at deformasjonen strukturen oppnår i programmet blir virkelighetsnært og krefter beregnes kontinuerlig for hvert steg i deformasjonen helt til strukturen oppnår full deformasjon.



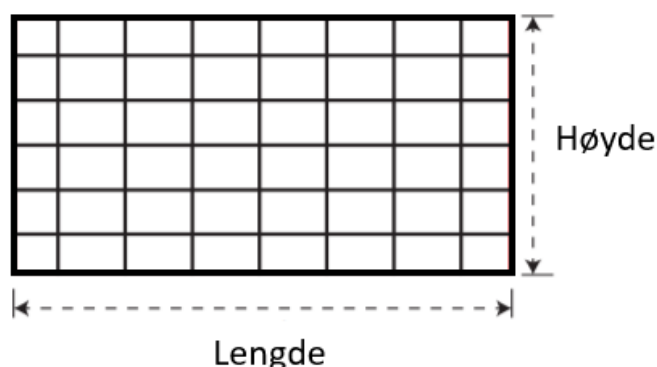
Figur 9 – Teoretisk bakgrunn i AquaSim [22]

### 3.9 Soliditet og begroing

Soliditet og begroing påvirker kreftene som forårsakes av bølger og strøm på et fiskeoppdrett. Snorkelen er i oppgaven en helt tett konstruksjon, men er omgitt av not, tilsvarende noten på en konvensjonell merd. Soliditeten til noten,  $S_n$ , definerer hvor stort areal i noten, prosentvis, som er dekket med tråd [23]. Soliditeten endrer seg med maskevidden eller maskestørrelsen i nettet og diameteren til tråden som former noten. For mindre maskevidde og større diameter i tråden vil soliditeten øke. Formelen for soliditet er vist i ligning (20).

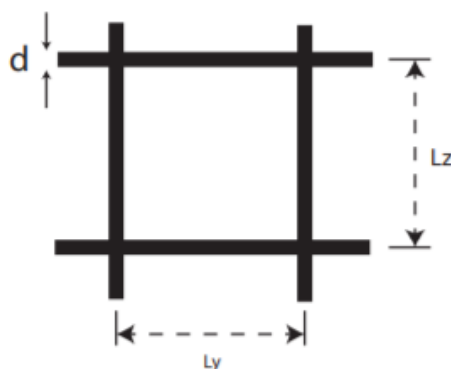
$$S_n = \frac{\text{areal}}{\text{totalt område dekket av nett}} = \frac{d}{L_y} + \frac{d}{L_z} \quad (20)$$

Figur 10 viser et typisk nett med en høyde og lengde, samt en gitt diameter på tråden.



Figur 10 – Soliditet til et nett

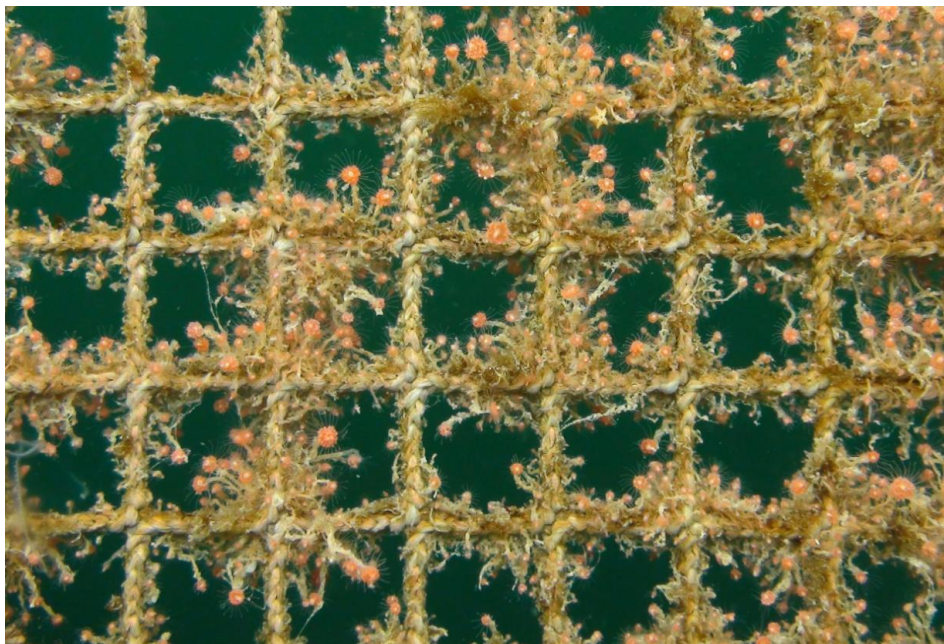
Figur 11 viser en 2D illustrasjon av en maske.  $L_z$  som viser høyden til masken og  $L_y$  som viser bredden til masken, danner sammen nettmaskens størrelse. Øverst i det venstre hjørnet, er  $d$ , diameteren til tråden i masken.



Figur 11 – 2D illustrasjon av en maske

Marin begroing er en uønsket opphopning av mikroorganismer som planter og dyr på kunstige overflater som er nedsenket i havet og som har tilhørende store økonomiske konsekvenser [24]. Dette kan for eksempel være noten til en merd, der kreftene øker med begroingen. Grunnen til at denne marine begroingen vil påvirke noten er at den påvirker soliditeten og dermed gir dette en økende drag last. Den økende dragkraften vil i tur gjøre at noten opplever en økt deformasjon. En økt deformasjon gjør at risikoen for slitasje og ødeleggelse av denne blir større. Det blir en større sannsynlighet for at noten beveger seg bort i andre deler av systemet som den egentlig ikke burde være i kontakt med. Figur 12 viser tydelig marin vekst på en not. Sett i sammenheng med Figur 10, er det tydelig at den marine begroingen påvirker soliditeten.





Figur 12 – Marin begroing på not [24]

I standarden NS9415 [25] er det tatt hensyn til at marin begroing vil påvirke nøter i praksis. Derfor opplyses det i standarden om at analyser av nøter skal ta begroing til betraktning, dersom det er sannsynlighet for at begroing kan oppstå der noten skal plasseres. Dette gjøres ved å øke tråddiameteren til noten med minst 50 %. I AquaSim er det i egenskapene til membranelement lagt inn en faktor for begroing [26]. Denne er satt til 1.0 som standard, men kan settes til 1.5 for å øke tråddiameteren til 50 % av original størrelse. I tillegg til at begroing fører med seg større laster på nøtene og deres fortnøyning, samt gir økt vekt og ekstra behov for oppdrift, vil begroing føre til et dårligere miljø for fisken. Dette fordi at utskifting av vann i merden blir langt mindre med økende soliditet som følge av begroing [23].

### 3.10 Bølger og strøm i AquaSim

AquaSim bruker lineær bølgeteori i beregninger [27]. Bølgenes påvirkning på en konstruksjon som står i sjøen avhenger av hvor dypt bølgene virker. Partikkelhastigheten avtar i dypet og partiklene følger stadig minkende sirkelbaner nedover dersom det er dypt vann. Bølgetallet  $k$  beregnes ved hjelp av bølgelengden  $\lambda$ . Lengre bølger merkes dypere enn korte bølger. Ligninger benyttet for utregning av partikkelbevegelse følger.

Bølgelengden  $\lambda$  for dypt vann finnes ved hjelp av følgende formel (21).

$$\lambda = \frac{g}{2\pi} * T^2 \quad (21)$$

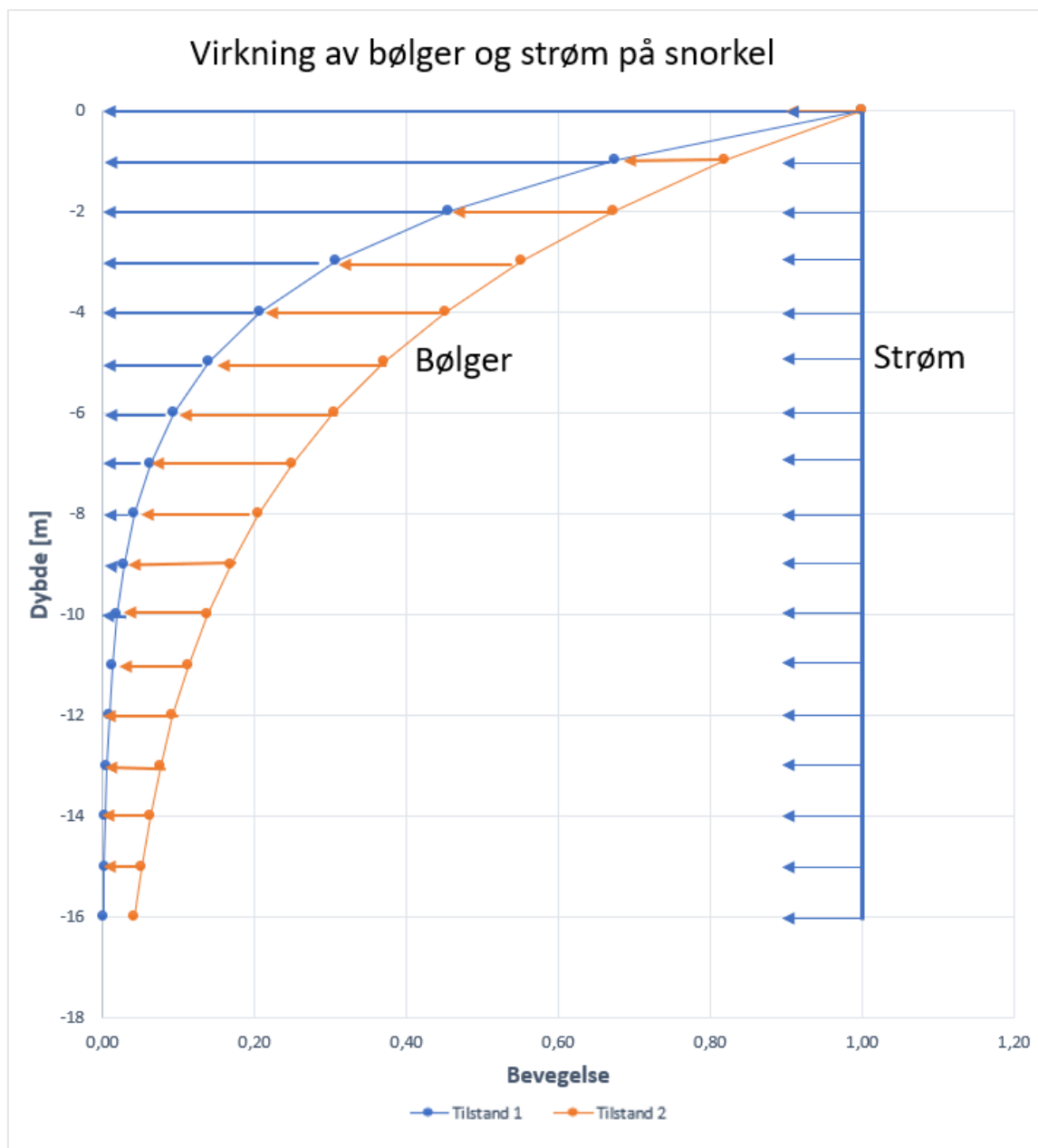
Bølgetallet  $k$  finnes ved hjelp av formel (22).

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (22)$$

For antagelsen om dypt vann gjelder det at radiusen  $r$ , til sirkelbanen for partiklene i bølgen finnes av formel (23).

$$r = \xi_A e^{kz} \quad (23)$$

For å illustrere hvordan partiklenes bevegelse avtar med dypet er det inkludert partikkelbevegelse for bølger under to forhold, et normalt forhold og et ekstremt forhold. Normalforholdet er en bølgehøyde på 1 m og periode på 3,2 s, ekstremforholdet er bølgehøyde 1,82 m og periode 4,51 s. Partikkelbevegelse fra overflaten og ned til snorkelens dypeste punkt er illustrert i Figur 13. Bølgenes amplitude er ikke inkludert i formelen. Dette medfører at partiklenes bevegelse er mellom 0 og 1, der 1 er maksimal bevegelse og 0 er minst bevegelse. Strøm i AquaSim vil være uniform, altså helt lik fra vannoverflaten og hele veien ned til havbunnen. I motsetning til bølgene vil derfor strømmen påvirke snorkelen i stor grad hele dybden fra 0 m i toppen til -16 m i bunnen. For enkelthetskyld er også dette illustrert grafisk i Figur 13. Strømmen i diagrammet er tegnet inn som en tydelig rett strek over verdien 1 på x-aksen, dette forteller at strømmen har maksimal og uniform bevegelse på hele snorkelen.



Figur 13 – Fremstilling av bølger og strøm i AquaSim

### 3.11 Strømningsreduksjon

Vann som strømmer gjennom nett, vil oppleve en reduksjon i hastighet. Dersom det i analyser skal tas hensyn til at hastigheten til vannet reduseres før strømmen treffer neste del av konstruksjonen, må det beregnes en faktor for strømningsreduksjon. Faktor for strømningsreduksjon ( $CRF$ ) for vann som strømmer gjennom en hvilken som helst not er gitt av Løland [28] i formel (24).  $LFC$  i formel (24) er et tall gitt av formel (25).

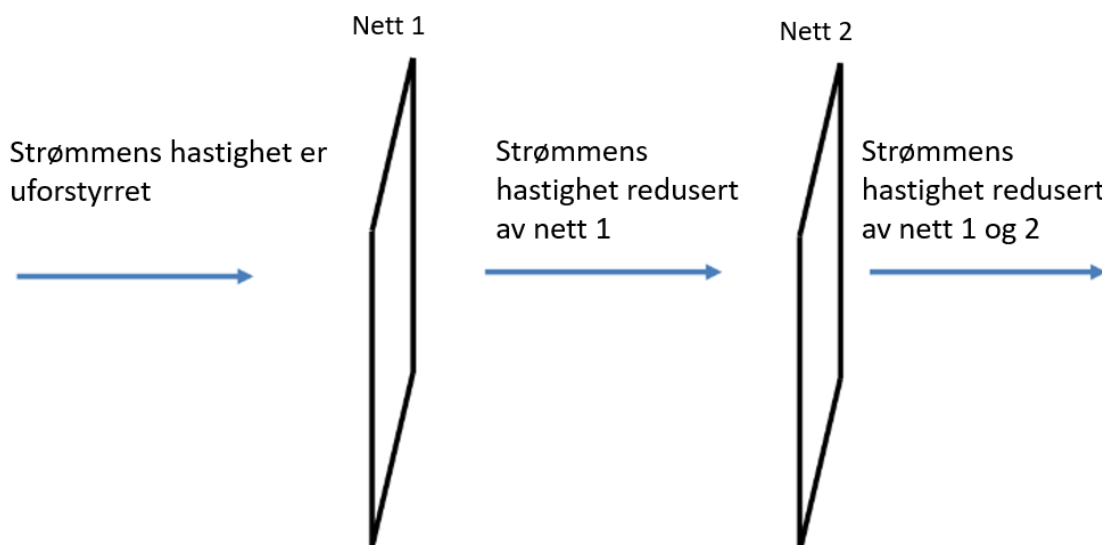
$$CRF = 1 - 0.46LFC \quad (24)$$

$$LFC = 0.04 + (-0.04 + 0.33Sn_{kn} + 6.54Sn_{kn}^2 - 4.88Sn_{kn}^3)\cos(\alpha) \quad (25)$$

I formel 25 er  $\alpha$  vinkelen til nettet relativt til strømmingens retning.  $Sn_{kn}$  er soliditet i henhold til et uttrykk brukt av Løland [28], vist i formel (26). Det er flere formler for soliditet, men historisk sett ble maskene laget med knuter, dette ledet til høyere soliditet [34].

$$Sn_{kn} = \frac{d}{L_y} + \frac{d}{L_z} + \frac{kd^2}{2(L_y^2 + L_z^2)} \quad (26)$$

For AquaSim gjelder det at strømningsreduksjon gjennom not beregnes i programmet uten at bruker trenger å foreta seg noen beregninger på egenhånd [27]. AquaSim benytter seg av formel (24) for å beregne faktor for strømningsreduksjon. AquaSim åpner også for muligheten til å selv legge inn ønsket faktor for strømningsreduksjon i lastegenskapene til enkelte av programmets komponenter. Figur 14 viser strømning gjennom to nett.



Figur 14 – Strøm gjennom nett [27]

### 3.12 Fortøyning

Norsk standard 9415:2009 [25] stiller krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift. Det står skrevet at hensikten med fortøyningen er å holde oppdrettsanlegget i korrekt posisjon og i tredimensjonal stilling. Dette skal gjøres uten at fortøyningen har noen påvirkning på resten av anlegget som kan resultere i økt risiko for rømming av oppdrettsfisk. Det betyr at fortøyningen skal konstrueres på en slik måte at den passer med lokalitetens naturgitte forhold og bruk, samt spesifikasjonene som er gitt sammen med flytekragen som benyttes. Det vil kunne oppstå tilleggslaster fra notposer og ekstrautstyr som for eksempel en tube i en snorkelmerd. Dimensjoneringen av fortøyningen skal gjøre at den tåler disse tilleggslastene. Fortøyningen skal også konstrueres ut ifra opplysninger om hvordan ekstrautstyret beveger seg under vanlig bruk og under andre miljøforhold som kan oppstå. Utgangspunktet for kravene til fortøyning skal hentes fra lokalitetsundersøkelsen.

Generelt gjelder det for dimensjonering av fortøyningssystemet at det skal tåle alle forutsatte laster og deformasjoner med en akseptabel sikkerhet mot brudd. Fortøyningssystemet skal fungere tilfredsstillende ut fra lokalitetens naturgitte forhold og bruk, samt med den valgte flytekragen med tilhørende notpose og ekstrautstyr. Videre skal fortøyningssystemet ha en sikkerhet mot at en uforutsett eller utilsiktet hendelse skal utartes på en slik måte at ulykken som inntreffer blir av enda større omfang enn det den utilsiktede hendelsen i utgangspunktet ville forårsaket. Fortøyningen må også ha tilfredsstillende holdbarhet mot nedbrytende effekter av mekanisk, fysisk, biologisk og kjemisk karakter [25].

### 3.13 Komponenter i et fortøyningssystem

Et fortøyningssystem varierer i omfang etter hvilken konstruksjon som fortøyes. Derimot vil komponentene som systemet består av stort sett være de samme, men med varierende dimensjoner og egenskaper. Typisk er et fortøyningssystem bestående av bunnfester som er valgt på bakgrunn av hvordan havbunnen ser ut, tauverk, kjetting, bøyer og sjakler for å koble sammen de ulike delene av systemet [25].

### 3.13.1 Bøye

Bøyer finnes i flere størrelser og fasonger [29]. De er typisk konstruert i en form for plast og fylt opp med skum. Dersom det blir hull i det ytterste laget, er bøyene laget slik at de fortsatt skal holdes flytende. Hensikten med et flyteelement, som i de fleste tilfeller benyttes på fortøyningsliner i oppdrettsanlegg er å gi større stabilitet til fortøyningslinen og gi ekstra oppdrift for å unngå neddykking av flytekragen. Det er tre grunner til at det benyttes oppdrift i forankringen: Oppdrift skal forhindre at unødig vekt fra forankringskomponentene overføres og påvirker flytekragens oppdrift, sørge for at forankringen gir tilstrekkelig forspenning mot flytekragen samt å fungere som en effektiv støtdemper når anlegget påvirkes av sykliske miljølaster [25]. Figur 15 viser et eksempel på en bøye.



Figur 15 – Bøye [29]

### 3.13.2 Bunnfeste

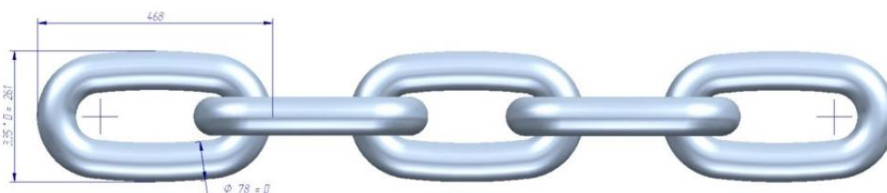
Det er felles for bunnfester at dimensjonering baseres på kunnskap om forholdene på lokalitet som dybde, topografi og bunntype. Holdekraften til havbunnen vurderes med utgangspunkt i bruddgrensetilstand og ulykkesgrensetilstand. Dersom havbunnen er hard, kan det benyttes fjellbolter for å oppnå feste i bunnen. Dersom havbunnen er bløt må det undersøkes om den hovedsakelig er bestående av grus, leire eller sand. I så tilfelle er det mest aktuelt å benytte seg av anker [25]. Anker kan ha flere forskjellige størrelser og utforminger. Disse dimensjoneres etter hvor mye holdekraft de må ha, hvilken type havbunn de skal festes i og blir konstruert typisk i rustfritt eller galvanisert stål [30]. Figur 16 viser et eksempel på en type bunnfeste.



Figur 16 – Anker [30]

### 3.13.3 Kjetting

Det er hovedsakelig to egenskaper ved kjetting som gjør at den er mye brukt i fortøyningssystem. Kjetting har varierende størrelse etter hva den skal brukes til, men er typisk laget i en type stål og er derfor veldig sterk og tung. Eksempler der kjettingens tyngde er den egenskapen som er mest ønskelig, kan være nede ved ankeret og til fortøyning av flåte eller lekter. Eksempler på bruk av kjetting der det primært er kjettingens styrke som er ønskelig, kan være nærmere vannoverflaten, i rammer som en del av haneføtter eller lignende [25]. Et eksempel på kjetting er avbildet i Figur 17.



Figur 17 – Eksempel på kjetting [31]

### 3.13.4 Tauverk

I Norsk standard 9415:2009 [25] for flytende oppdrettsanlegg står det at tauverk og/eller trosser av ulike fibere skal benyttes i fortøyninger når det er behov for fibertau. I motsetning til kjetting er tau lett, mer elastisk og har mindre styrke dersom det antas samme dimensjoner. For fibertau finnes det krav i egne standarder som skal tilfredsstilles for minst bruddstyrke og vekt per lengdeenhet. Dette gjelder for de forskjellige dimensjonene for fibertau av typen polypropen, polyeten, polyester og nylon. Alle fibertau skal være ledsaget av et prøvingssertifikat som bekrefter at det er overensstemmelse med tauverket og standarder. Bruk av syntetiske tau må

gjøres på en slik måte at de ikke legges over skarpe kanter som kan forårsake slitasje ved belastning. I tillegg må knuter unngås ettersom en knute på et syntetisk tau, gjør at det i stor grad blir svekket. Det kan beregnes en styrkereduksjon på rundt 50 % på syntetiske tau med knuter [25]. Avbildet i Figur 18 er et eksempel på fibertau.



Figur 18 – Fibertau [32]

### 3.13.5 Sjakkel

En sjakkel kan for eksempel brukes til kobling eller skjøting av kjetting eller å feste ulike strukturer eller konstruksjoner sammen med tau og kjetting. En sjakkel er bestående av en bøyle og en bolt som ikke skal være støpt, men som skal være smidd eller maskinert, se Figur 19. Etter Norsk standard 9415:2009 skal en sjakkelbolt ha dobbel sikring, dette i form av for eksempel mutter og låsesplint. Låsesplinten som benyttes til sikring skal være laget av et materiale som ikke selv korroderer og som ikke bidrar til at bolt og mutter korroderer. Sjakler kan enten være laget av galvanisert stål eller korrosjonsbestandig stål. Felles for sjakler er at de skal være tilfredsstillende dokumentert. I likhet med tauverk skal sjakler være levert med et prøvesertifikat og opplysninger som gjør det mulig å spore dem tilbake til prøveparti [25].

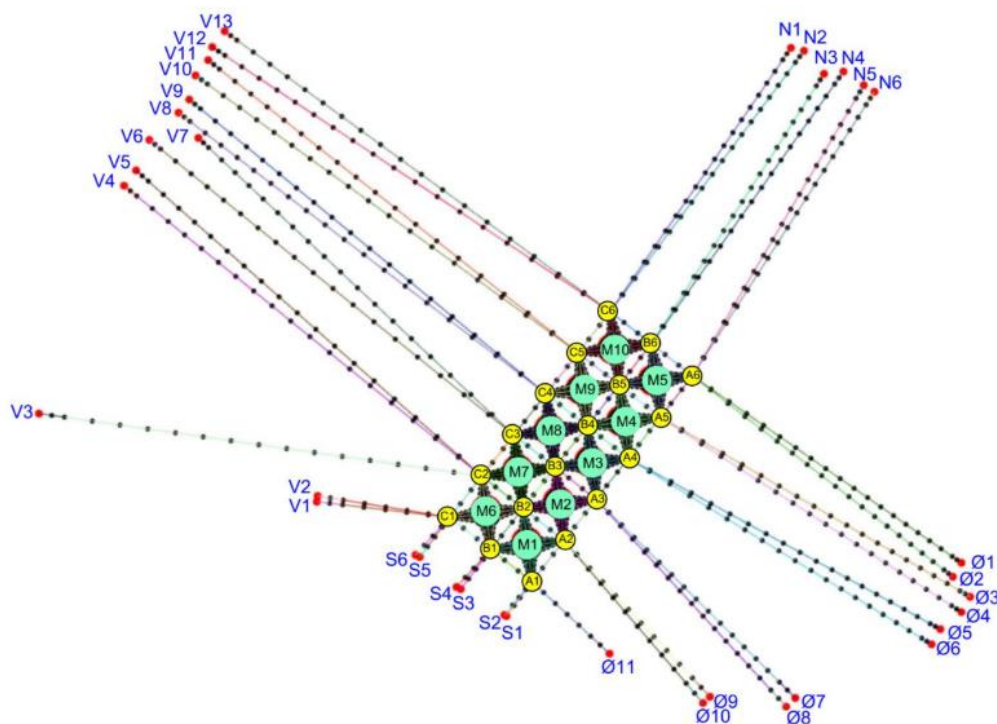


Figur 19 – Sjakkel [33]



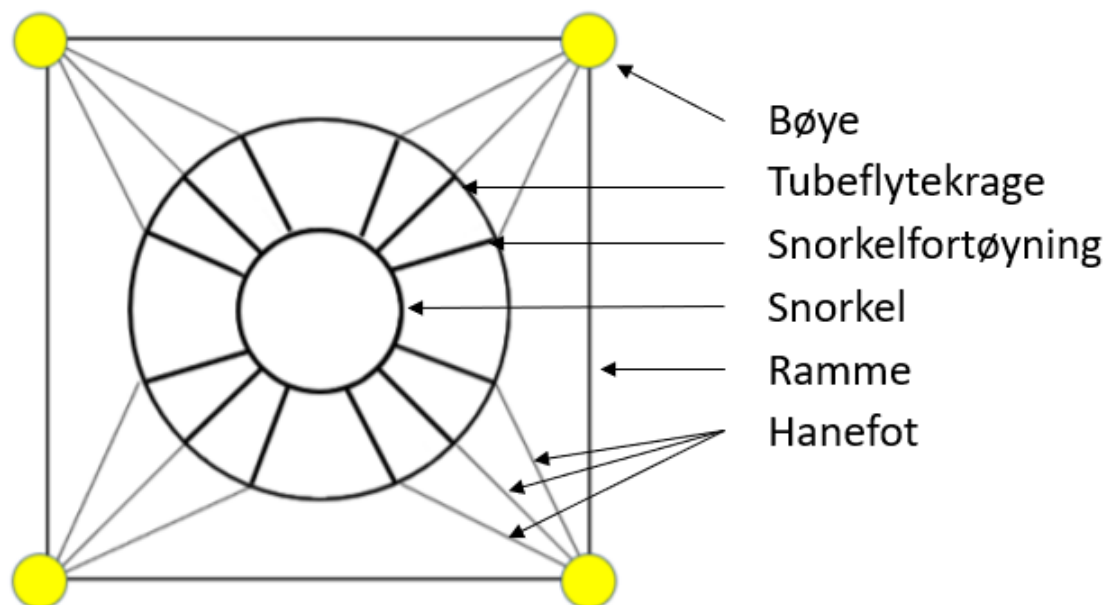
### 3.14 Fortøyningssystemet på Langøy

Merdene til Eide Fjordbruk på deres lokasjon Langøy er fortøyd ved hjelp av en rammefortøyning. Det er til sammen 10 nøter på Langøy, som er festet i hver sin ramme. Rammene er sammenhengende og danner et system med 2 rammer i bredden og 5 rammer i lengden. Hvert rammebur er 110 x 110 meter og ligger på en dybde på 10 meter. Tau og kjetting som er benyttet i fortøyningen varierer med henholdsvis 56-72 mm og 19-36 mm. Forankringslinene har varierende lengde fra 64 meter til 1300 meter og strekker seg fra hjørnene i rammene og ned til et bunnfeste [34]. I hvert av hjørnene på rammeburene er det også festet en bøye som bidrar til oppdrift i vektregnskapet. Hele fortøyningssystemet er vist ovenfra og med riktig retning, der nord er oppover, i Figur 20.



Figur 20 – Fortøyningssystem Langøy [34]

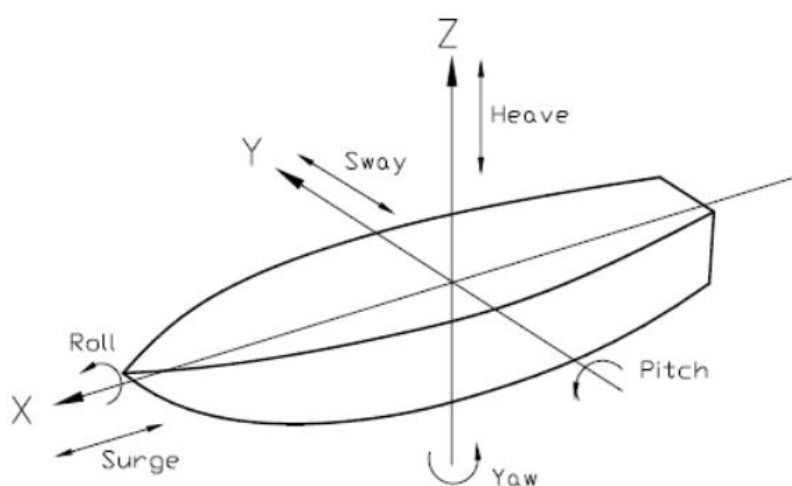
Hver enkelt merd er fortøyd i sin egen ramme, se Figur 21. Rammen er firkanten som strekker seg mellom de fire, gule rundingene som symboliserer bøyer. Fra hjørnene i rammen strekker det seg 3 tau inn til merden, dette kalles for en hanefot. Den ytterste sirkelen symboliserer den ytre flytekragen til merden med omkrets på 160 m. Fra denne strekker det seg 12 tau inn til snorkelen som sammen skal holde denne mest mulig sentrert. Tauene som danner hanefoten, starter på 10 meters dyp i rammehjørnet og festes i flytekragen ved overflaten. Tauene fra ytre flytekrage til snorkelflytekragen strekker seg langs vannoverflaten [34].



Figur 21 – Fortøyd merd

### 3.15 Frihetsgrader

Alt som har en masse, har 6 muligheter å bevege seg på i sjøen. Disse måtene å bevege seg på kalles massens frihetsgrader. Frihetsgradene er delt inn i 3 translasjoner og 3 rotasjoner. Translasjoner er forflytning langs aksene  $x$ ,  $y$ ,  $z$  og rotasjonene er bevegelse om aksene  $x$ ,  $y$ ,  $z$  i koordinatsystemet. I stedet for frihetsgrader, kan man si antall forskyvningsparametere som er til rådighet når bevegelsen til konstruksjonen skal beskrives [35]. De seks frihetsgradene og aksene er navngitt og illustrert med piler på båten i Figur 22.



Figur 22 – Frihetsgrader [35]

## 4 Modellering og simulering

Hensikten med dette kapittelet er å gi en gjennomgang av hvordan en snorkelmerd modelleres i AquaSim, samt gi en introduksjon til programvaren [27]. Eide Fjordbruk sin tubenot på lokasjon Langøy er ikke helt identisk til denne som modelleres her. Hensikten er ikke å gi alle detaljer om denne merden, men å formidle den nødvendige informasjonen som trengs for å forstå oppbygningen og å modellere en enkel snorkelmerd. Merden modelleres ved hjelp av parametere hentet fra brukerhåndboken til tubenoten [10] som er levert av Akvagroup og fortøyningsanalysen utført på anlegget på Langøy [34]. Der er det ikke oppgitt alle viktige materialegenskaper, men størrelsesverdier som omkrets, dybde og enkelte diametere er lik som den komplette tubenoten.

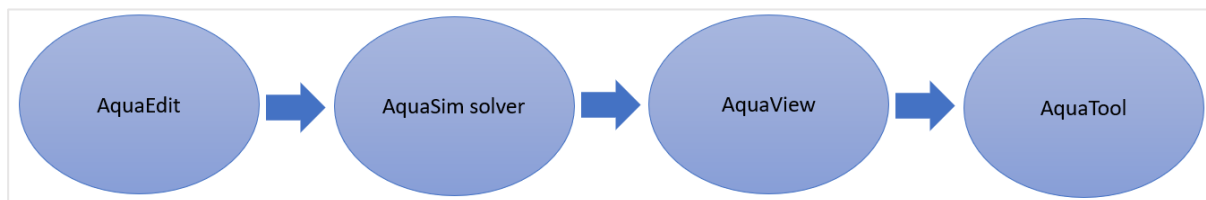
Dette kapittelet vil også belyse viktig informasjon om innstillinger i AquaSim for å kunne kjøre en vellykket simulering, slik at denne rapporten skal kunne være en hjelp for de som ønsker å modellere og simulere ved hjelp av det samme programmet. Siste del av kapittelet inneholder forenklinger som er gjort på den komplette modellen og hvorfor. Kapittelet avsluttes med å gi en introduksjon til to designendringer av snorkelmerden. Dette gjøres for å ha noen alternativer til parameterendring.

### 4.1 Programvaren AquaSim

AquaSim er et analyseprogram som er eid og utviklet av Aquastructures [22]. Programmet er stadig under utvikling og oppdateres fortløpende. Programvaren består av en preprosessor som kalles AquaEdit, en solver og en postprosessor som har fått navnet AquaView. AquaSim håndterer globale analyser og samspill av krefter som overføres mellom stive og fleksible deler. Verdier som forskyvning, akselerasjoner, hastigheter og deformasjoner blir beregnet [27]. De aktuelle resultatene kan hentes ut i hvert steg av analysen for eksempel i form av lokale krefter eller spenning i hver komponent eller hele systemet som seinere kan benyttes til videre å vurdere utmatting, toleranse før brudd, belastning før nedsenkning og lignende.

AquaSim tar også hensyn til hydroelastisitet. Det vil si at programvaren tar hensyn til dynamikken mellom laster og strukturen. Den beregner altså ytre lasters påvirkning på det elastiske materialet etter hvert som materialet deformerer seg. Deformasjoner og forandringer i geometrien til konstruksjonen vil gjøre at lastscenarioet endrer seg med tiden. I tillegg til at AquaSim beregner dette, vil det også produseres en visuell illustrasjon av hvordan strukturen

beveger seg og deformerer seg i de gitte lasttilfellene. Innholdet i programvaren AquaSim er illustrert i Figur 23.



Figur 23 – Innhold i AquaSim

#### 4.1.1 AquaEdit

AquaEdit er modelleringsverktøyet i AquaSim. Det er i denne delen av programmet at geometrien til en struktur som videre skal analyseres blir laget. Strukturen og egenskapene til komponenter blir definert og kobles til den grafiske modellen [26]. En av funksjonene i AquaEdit gir muligheten for å simulere en fleksibel tett duk, slik som snorkelen i en snorkelmerd består av.

##### **Tett not**

AquaEdit sin «tett not» funksjon gjør det mulig å gjøre nøter helt tett og dermed utføre beregninger på luseskjørt og presenninger. I tillegg til å oppgi dragkoeffisient og hvilken type diffraksjonsberegning programmet skal bruke er det en rekke andre verdier som må fylles inn for at programmet skal kunne utføre beregninger på duken. Tett not funksjonen benytter seg blant annet av løftekoeffisient, dempingskoeffisient, friksjonskoeffisient, drift og tilleggsmasse. Figur 24 viser hvordan denne funksjonen ser ut i programmet.

<input checked="" type="checkbox"/> Dense net	
Drag coefficient	1.0
Lift coefficient, peak value	2.4
Density fluid inside tank	1025.0 kg/m <sup>3</sup>
Height of fluid level inside tank relative to sea level	0.0 m
Added mass coefficient horizontal motion	1.0
Added mass coefficient vertical motion	1.0
Bottom factor, 0 if water flow through bottom	0.0
Area top that water can penetrate over	0.0 m <sup>2</sup>
Damping coefficient	1.0
Include drift	<input checked="" type="checkbox"/>
Skin friction coefficient	0.1
Height of net edge	0.0
Type of diffraction load	MacCamy-Fuchs
Diffraction scaling	1.0
Thickness twines Y	3.5023E-4 m
Thickness twines Z	3.5023E-4 m
Membrane thickness	7.0047E-4 m

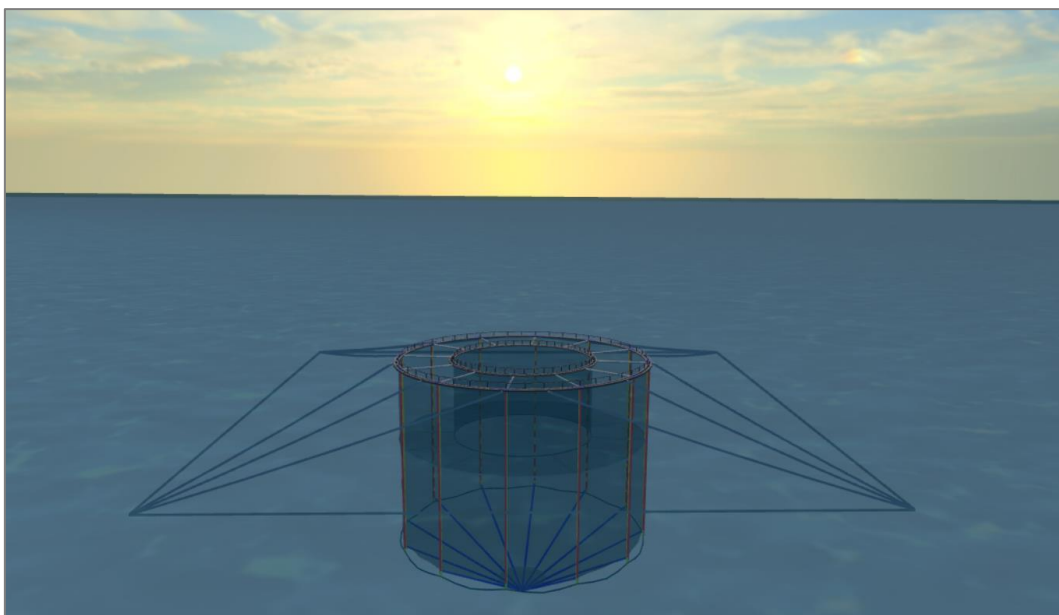
Figur 24 – Tett not funksjon

#### 4.1.2 AquaSim solver

Den ferdige analysemodellen som bygges i AquaEdit kalkuleres i AquaSim solver. Dette verktøyet beregner resultater som krefter og momenter i den gitte geometrien, med de bestemte egenskapene og miljølastene. Solveren utfører simuleringer i tidsdomenet av strukturens respons ved bruk av FEM (Finite Element Method). Systemet kan bli eksponert for forskjellige typer laster som for eksempel bølgekrefter, strøm, vind, tidsvarierende krefter, konstante krefter, støtkrefter og RAO (Response Amplitude Operator) laster [27].

#### 4.1.3 AquaView

AquaView viser modellen i 3D. I løpet av et antall steg som på forhånd er bestemt av bruker, vises bølger og andre miljølaste og hvordan dette påvirker modellen i sjøen. Verdier kan hentes ut i hver komponent og kan fremstilles grafisk. Delene i modellen farges uavhengig av hverandre for å vise hvor modellen vil oppleve sterkest påkjenning. AquaView tillater også endringer på bakgrunn og utseende på sjøen for å tilpasse bildet best mulig til bruker. Figur 25 viser en snorkelmerd i AquaView. Modellering av denne blir gjennomgått seinere i kapittel 4 [36].



Figur 25 – Snorkelmerd i AquaView

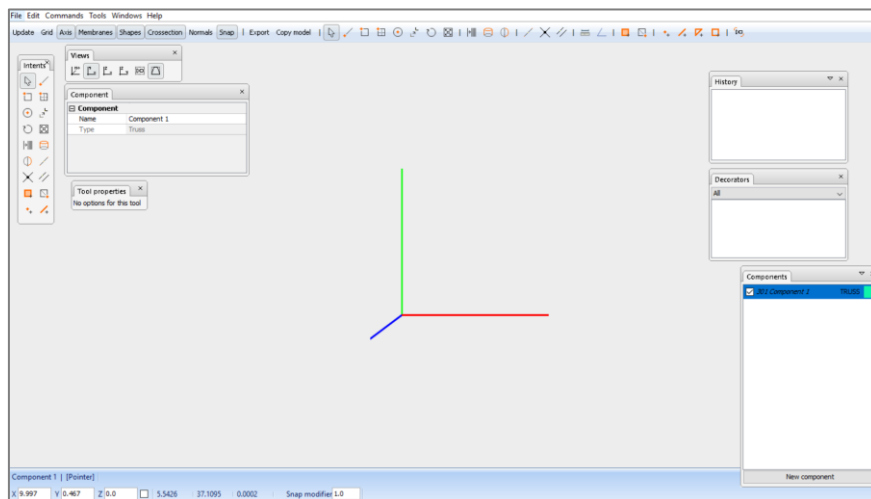
#### 4.1.4 AquaTool

AquaTool brukes til å få tilgang til resultatene som solveren beregner fra noder og elementer. Dette verktøyet tillater at flere filer kan åpnes samtidig og det egner seg godt for sammenligning av resultater. Likheter for den numeriske modellen som finnes i AquaView finnes også i Aquatools, men fremvisningen er annerledes. AquaView viser resultater i farger på toppen av modellen, mens Aquatools blir brukt til å finne en enkel numerisk verdi, for eksempel fra en maks fil eller brukes til å plote data fra flere tids-steg [37].

## 4.2 Koordinatsystem og startskjerm

Dersom AquaEdit startes vises bildet slik som i Figur 26. Både i verktøylinjen øverst og på venstre side av startskjermen er det knapper for alle viktige funksjoner, for eksempel: Tegn en strek, tegn en sirkel, ekstruder, kopier, speil osv. Det er viktig å knytte det som modelleres sammen med en komponent. Komponenter lages ved å trykke på «new component» nederst på høyre side. Der velges enten membran, bjelke eller tau. Videre velges egenskapene til komponenten og komponenten navngis. Dersom komponenten i komponentlisten er farget i blått betyr det at denne er aktiv og det er denne som modelleres. For å undersøke tverrsnittet på bjelkeelementene eller membranen kan man aktivere «crosssection» og «membranes» på menyen øverst. Koordinatsystemet i AquaSim er også vist i Figur 26 og strekker seg ut fra

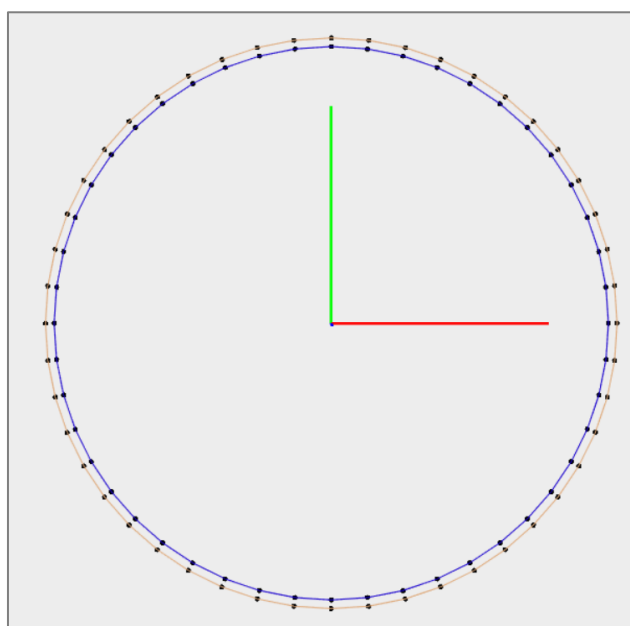
punktet (0,0,0). X-aksen går langs den røde linjen, y-aksen langs den grønne og z-aksen er den blå linjen.



Figur 26 – Startskjerm AquaEdit

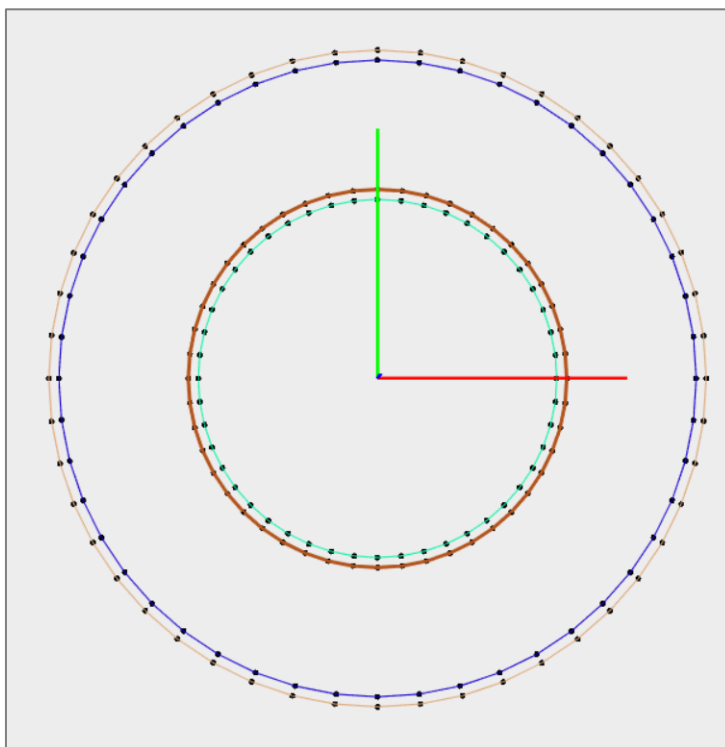
### 4.3 Modellering av flytekragen

Modelleringen starter med å lage to sirkler. Disse sirklene er flyterør som tilhører den ytterste flytekragen på merden. Omkretsen på ytre flytekrage på lokasjon Langøy er 160 m og derfor modelleres omkretsen på denne merden til det samme. Flyterørene er av typen Aqualine FR500-160, der tallene betyr at omkrets er 160 m og rørdiameter er 500 mm. Figur 27 viser den ytre flytekragen.



Figur 27 – Ytre flytekrage

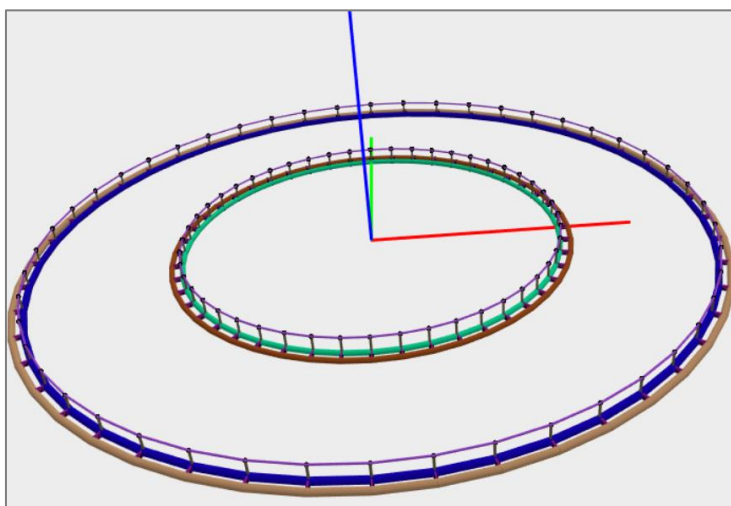
Deretter lages flytekragen til snorkelen. Denne består også av to flyterør som modelleres med senter i origo med litt mindre rørdiameter, noe som skyldes utfordringer med å bøye de største flyterørene. Omkrets til tuben settes lik den på Langøy til 90 m og i likhet med ytterste flytekrage settes antall elementer til 48. Figur 28 viser snorkelens flytekrage og den ytre flytekragen til merden.



Figur 28 – Snorkelens flytekrage

Klammer tegnes som streker mellom hver av nodene i indre og ytre flyterør. Fra innerste punkt på alle klammene tegnes det en strek vertikalt i z-retning, etterfulgt av en sirkel med senter i origo. Dette er stolper og rekkverk. Dersom «crosssection» knappen aktiveres, se Figur 29, vil man kunne se tverrsnittet av alle elementene som er laget og dermed ha en visuell kontroll under modelleringen.

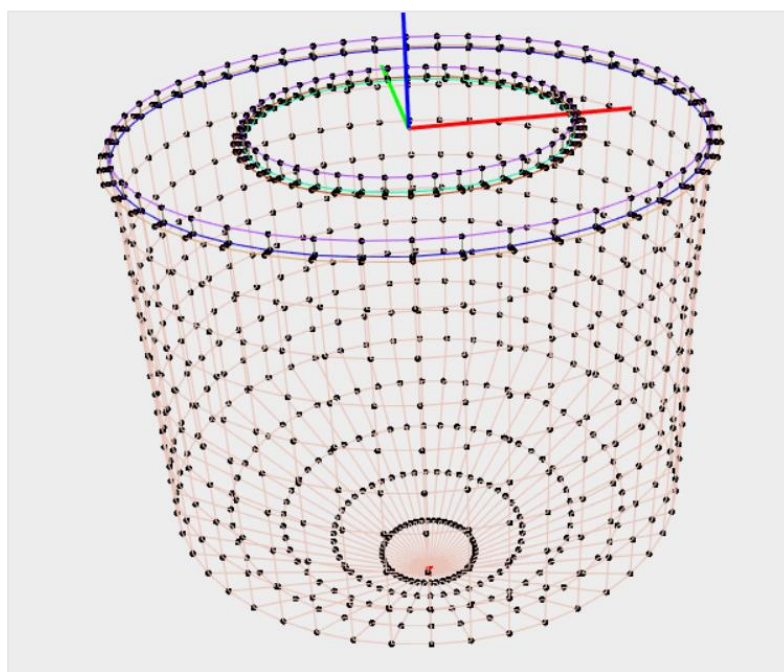




Figur 29 – Visuell kontroll av tverrsnitt

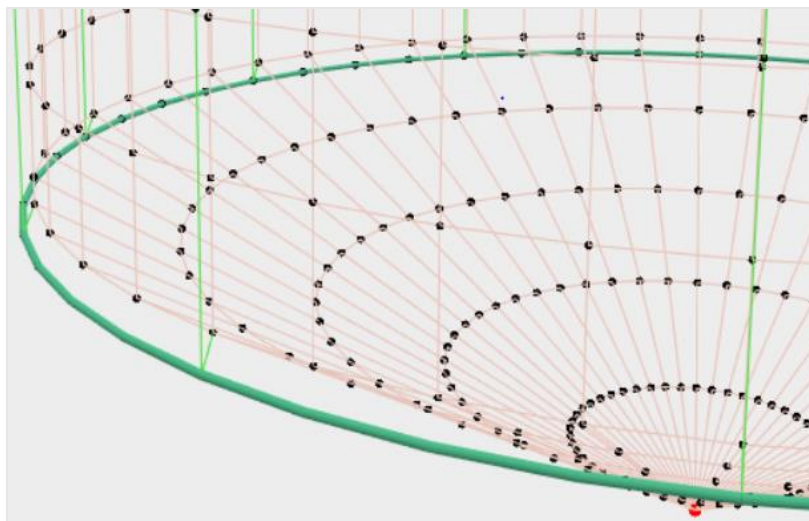
#### 4.4 Modellering av not og snorkel

Noten på merden lages ved at det tegnes en sirkel med samme omkrets som innerste flyterør på ytterste flytekrage. Membran velges som elementtype og ved hjelp av ekstrudering oppnår man ønsket dybde på det sirkulære nettet, i dette tilfellet ned til et dyp på 36 m. Fra dette dypet ekstruderes nettet som en kjegle og får en spiss på 51 meters dybde. Der trådene møtes settes det på et bunnlodd for å holde noten utstrakt. Figur 30 viser dette avbildet isometrisk.



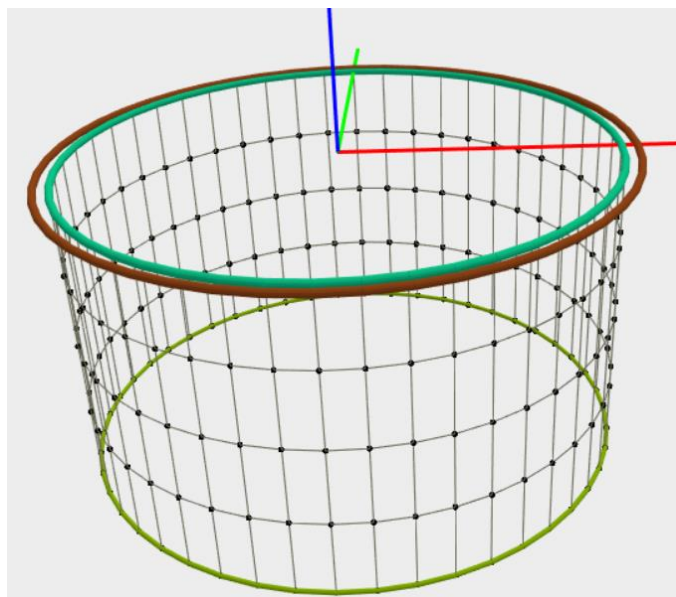
Figur 30 – Isometrisk avbildning

For at noten skal holde tilnærmet lik fasong i bølger og strøm modelleres det også en bunnring på 37 meters dyp. Tau trekkes fra bunnen av noten, via bunnringen og opp til flytekragen. Dersom tauene settes i strekk, vil det være et bidrag til en godt utspilt not. Deler av bunnringen og tau fra bunnen av not til toppen er vist i Figur 31.



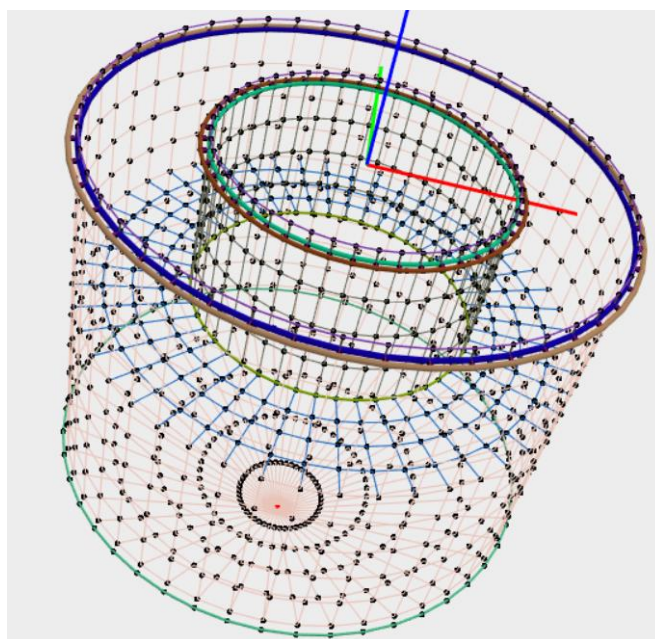
Figur 31 – Bunnring

For at modelleringen skal bli lettere og mer oversiktlig tillater AquaSim å vise og skjule elementer i den grad man ønsker. Dette gjøres ved at man høyreklikker på en komponent i komponentmenyen, deretter «visibility» etterfulgt av «show only this». Ved modellering av snorkelen skjules komponentene rundt for at det skal bli mer oversiktlig. På samme måte som noten, modelleres snorkelen ved at det tegnes en sirkel med senter i origo med 90 meters omkrets. Den ekstruderes til 16 meters dyp og en bunnring festes helt nederst. Figur 32 viser den modellerte snorkelen.



Figur 32 – Snorkel

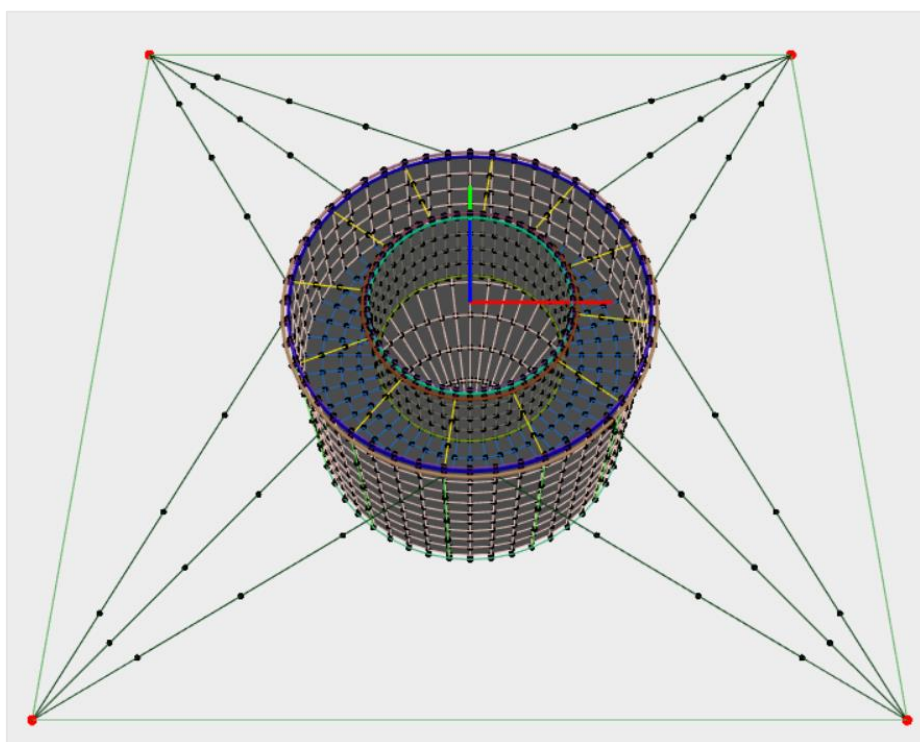
For at laksen skal holde seg på ønsket dyp trengs det et not-tak fra bunn av snorkelen og ut til noten. Dette gjøres ved at det tegnes en strek fra snorkelen og ut til not-veggen. Denne dupliseres 48 ganger med en rotasjon på 360 grader slik at strekene møter de 48 nodene i snorkelens bunnring og not-veggen. Tverrgående streker tegnes på og tau brukes for å holde taket utstrakt. Dersom alle komponenter aktiveres blir det ferdige resultatet av en modellert snorkelmerd som vist i Figur 33.



Figur 33 – Modellert snorkelmerd

#### 4.5 Modellering av tau og fortøyning

Snorkelen holdes fast i senter ved hjelp av 12 tau som strekker seg fra indre til ytre flytekrage. I tillegg strekkes det tau fra not-vegg via not-tak og opp gjennom snorkelen for å holde fasongen. Ytre flytekrage er festet i en ramme ved hjelp av haneføtter. Rammen holdes på plass på 10 meters dyp ved hjelp av bøyer og er videre fortøyd i havbunnen. Det er ikke tatt med i denne modelleringen. I tillegg er det tau som går langs med notveggen i enden av not-taket og langs hele noten ned til bunnlodded for å strekke ut noten. Modellert snorkelmerd med fortøyning er vist i Figur 34.

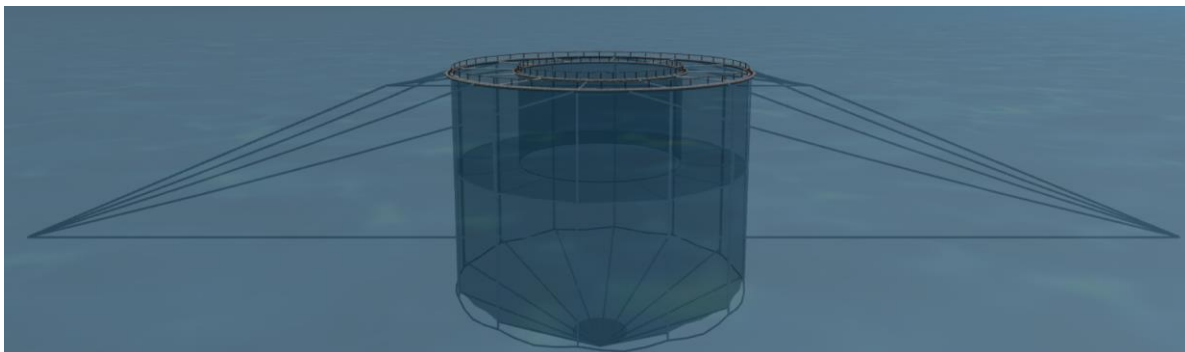


Figur 34 – Modellert snorkelmerd med fortøyning

#### 4.6 Vektregnskap, statisk analyse og dynamisk analyse

Etter modellering kjøres en hydrostatisk analyse for å undersøke om enkelte feil har oppstått i løpet av modelleringen. Det vil bare by på utfordringer dersom man starter dynamisk analyse og får feilmeldinger, men ikke forstår hva disse kommer av. Ofte kan dette skyldes at det er gjort feil knyttet til den hydrostatiske analysen. Det vanlige er at en tekstboks dukker opp hvor man kan man zoome til hvert problem og fikse det. Dersom ingen tekstboks dukker opp, åpner AquaView og hvordan modellen ligger i sjøen vil vises. Dersom vektregnskapet er feil, det er brukt feil parameter eller feil innstilling på enkelte funksjoner før man eksporterer kan det

oppleves en merd som oppfører seg unormalt. Merden som er modellert ovenfor er vist i Figur 35.



Figur 35 – Modellert snorkelmerd i AquaView

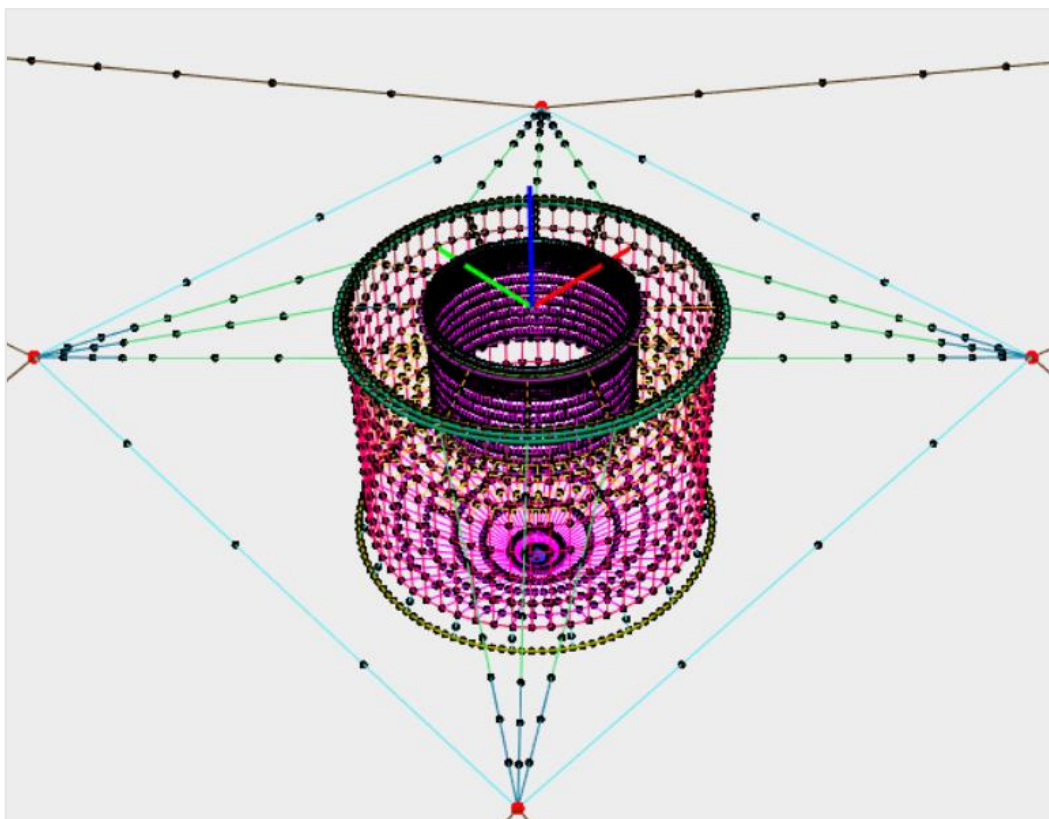
## 4.7 Forenklinger

Den komplette modellen av Eide sin tubenot på Langøy er det AKVA group som har laget og kjørt simuleringer på. For å lette oppgaven med å undersøke hva som kan gjøres for å unngå deformasjon på snorkelen har AKVA group velvillig delt filen i AquaEdit. Denne er meget stor og kompleks, derfor kan forenklinger med fordel gjøre oppgaven lettere.

### 4.7.1 Den komplette modellen

Den komplette modellen av tubenoten på Langøy er avbildet i Figur 36. Merden er festet i en ramme på 10 meters dyp ved hjelp av haneføtter fra den ytre flytekragen. Haneføttene er de tre tauene som strekker seg ut fra hvert hjørne i rammen og treffer flytekragen i forskjellige punkt. Rammen er videre forankret i havbunnen og den holdes oppe av bøyer i hvert hjørne. Modellens dimensjoner er lik den som er modellert i Figur 34. Hovedforskjellen er at det er mye mer tauverk i den komplette modellen som strekker seg langs med not veggen og tak, samt ekstra solid fortøyning. I tillegg er det veldig mange noder for at analysene som gjøres skal oppnå en god nøyaktighet og være pålitelige.





Figur 36 – Den komplette modellen

#### 4.7.2 Den forenklete modellen

Den komplette modellen av snorkelmerden er kompleks og analyser av denne tar tid, derfor gjøres det noen forenklinger som bidrar til at endringer på modellen blir lettere å utføre samt at analysene bruker mindre tid. Ettersom det er snorkelens bevegelse som er interessant i denne oppgaven er det hensiktsmessig å kjøre bare denne i simuleringer, istedenfor å se på hele merden.

#### **Noder og elementer i modellen**

Det første som er redusert fra den fullverdige tubenoten ved modellering av en forenklet modell er antall noder og elementer. Det er i disse nodene at beregningene gjøres og dermed bruker analyser lengre tid jo flere noder og elementer som er med i en konstruksjon. Det er i denne oppgaven viktig at snorkelen er bygget opp av et tilstrekkelig antall noder da det er deformasjonene av denne som analyseres i oppgaven.

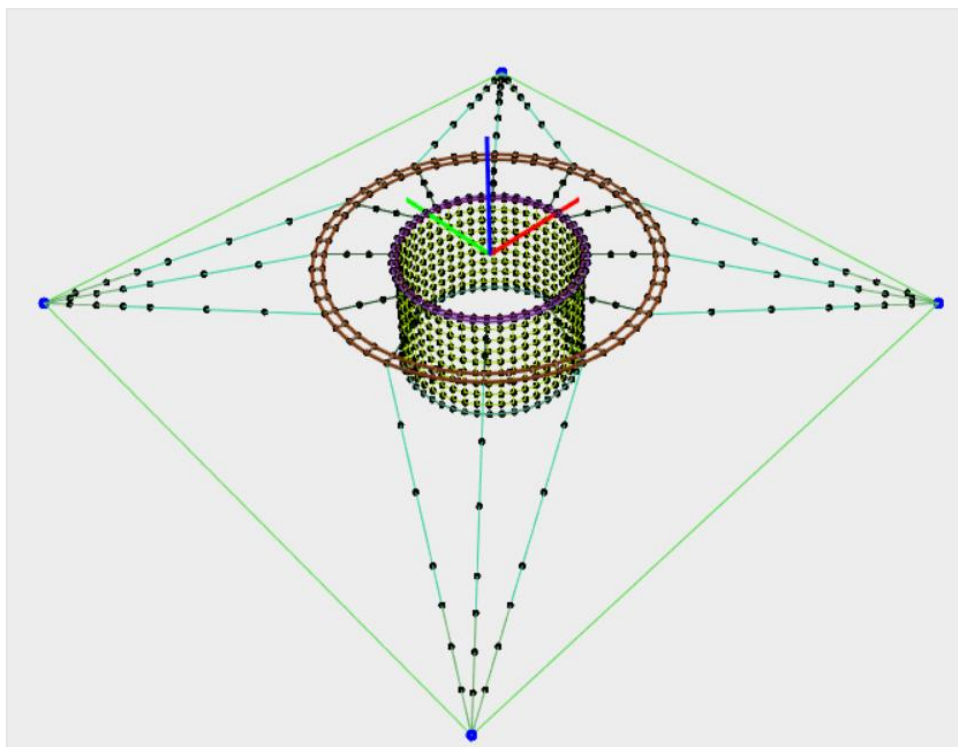
## **Not og duken i snorkelen**

Ytre not og not-tak er tatt vekk for at simuleringene skal bruke mindre tid. Dermed bidrar ikke lenger den ytre noten til strømningsreduksjon. Det fører til at snorkelen opplever sterkere bølger og strøm enn ved installert not og den vil få en tilhørende større bevegelse. I tillegg forsvinner den vertikale kraften som overføres til snorkelen fra merdens bunnring via not-taket. Ved å fjerne ytre not og not-tak fjernes også mye tauverk i tillegg til store områder med membran. Nettet som strekker seg opp gjennom snorkelen er også fjernet. Dette vil si at det stort sett bare er snorkelen igjen.

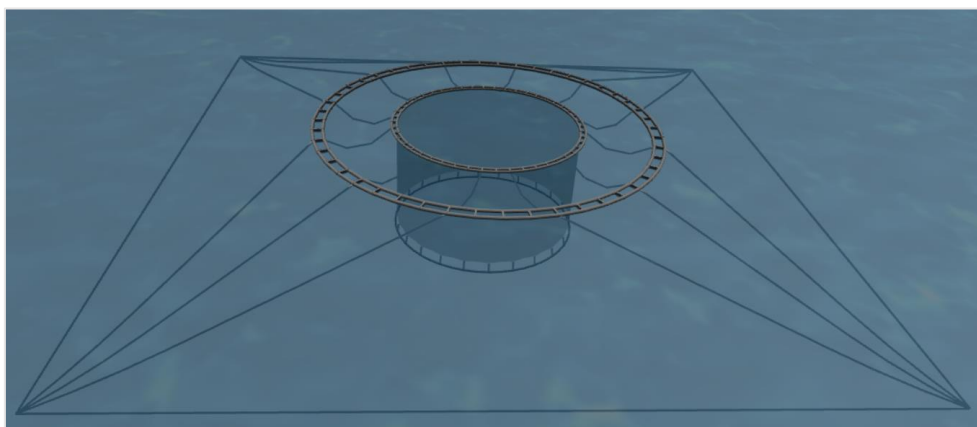
Duken som brukes i snorkelmerden til Eide Fjordbruk er tilnærmet tett, små partikler slipper gjennom, men lusen stoppes. For de første simuleringene gav tett duk store konvergensproblemer i AquaSim. Simuleringer ble kjørt med en stadig mindre maskevidde og konvergerende løsninger. Ettersom snorkelen på Langøy har en helt tett duk, er forenklinger knyttet til en mer åpen duk ikke å foretrekke. For å undersøke om konvergensproblemene kunne unngås sattes antall iterasjoner til 3000 fra 1000 før analysen ble kjørt. Dette var tilstrekkelig for å få de ønskede tilstandene til å konvergere. Den forenklede modellen har altså helt lik duk som den komplette modellen.

## **Andre forenklinger**

Tube er festet direkte i flytekragen. I den komplette modellen festes tube ved hjelp av tau. Bevegelsen av bunnringen og tilhørende deformasjon av snorkel som skal analyseres vil nok ikke ha for stor påvirkning av dette. Muligheten til å sammenligne diverse endringer i design av snorkelen vil ikke bli hindret av dette, men heller gjøres lettere. Fortøyningen blir også forenklet. De fire bøyene i hvert hjørne av rammen er faste punkt som ikke har mulighet for å bevege seg. Dette gjøres ved at de 6 frihetsgradene, se Figur 22, som alle elementer tildeles som en standard etter de er modellert, fjernes. Ved at hjørnene holdes fast i posisjon er det heller ikke behov for fortøyningen til havbunnen, derfor fjernes også denne. Den forenklede modellen er avbildet i AquaEdit i Figur 37, i AquaView i Figur 38 og består av følgende: 2 x flytekrage, tube med omkrets 90 m og dybde 16 m, bunnring, bunnringsstropp, hanefot, fortøyning snorkel, ramme og klammer. Det er denne modellen som benyttes i det videre arbeidet.



Figur 37 – Den forenklede modellen i AquaEdit



Figur 38 – Den forenklede modellen i AquaView

#### 4.8 Simuleringsparametere og begrensninger

Innkommende bølger og strøm på anlegget har i denne rapporten en og samme retning. I tillegg til dette vil merden som undersøkes ha samme type fortøyning, selv om det gjøres endringer på konstruksjonen. Bølger, periode og strøm som oppgaven tar utgangspunkt i kommer av krav til lokalitetsklassifisering fra NS9415 [25]. Eide Fjordbruk sin fortøyningsanalyse fra lokasjon Langøy gir 50 års verdier på bølger og strøm og inngår som et ekstremforhold der disse opptrer



samtidig [34]. På bakgrunn av det som nevnes over, viser Tabell 1 et utgangspunkt for relevante sjøtilstander.

Tabell 1 – Forhold ved simuleringer

<i>Strøm, Us</i>	<i>Bølger, Hs</i>	<i>Periode, Tp</i>
0,3 m/s	0,5 m	2 s
0,3 m/s	1 m	3,2 s
0,3 m/s	2 m	5,1 s
0,5 m/s	0,5 m	2 s
0,5 m/s	1 m	3,2 s
0,5 m/s	2 m	5,1 s
1 m/s	0,5 m	2 s
1 m/s	1 m	3,2 s
1 m/s	2 m	5,1 s
0,72 m/s	1,82 m	4,51 s

Det anses som hensiktsmessig å plukke ut enkelte av de relevante sjøtilstandene for simuleringer. Dette er det hovedsakelig to grunner til. Den første grunnen er at det vil ta for lang tid å undersøke alle forhold. Den andre grunnen er at det som er av interesse er å undersøke normale driftsforhold, men også ekstreme forhold som gir maksimalverdier på det denne oppgaven har sitt søkelys på. Det er derfor tatt ut to tilstander som skal brukes i videre testing. Den første tilstanden er 0,5 m/s strøm, 1 m Hs og 3,2 sekunders periode, heretter referert til som tilstand 1. Den andre tilstanden som blir kjørt i analysene er ekstremverdier for bølger og strøm (50års verdier) kjørt fra samme retning, heretter bare referert til som ekstremtilstand eller tilstand 2. Tilstand 1 er valgt på bakgrunn av at dette er reelle verdier for bølger og strøm som kan inntreffe uten at det er uvanlig. Forankringsanalysen til Langøy gir verdier for 10års strøm på 0,64 m/s, derfor vil tilstand 1 kunne oppstå plutselig [34]. Tilstand 2 blir valgt for å undersøke ekstremverdier. Tabell 2 viser de utvalgte sjøtilstandene som benyttes i simuleringene i denne rapporten.

Tabell 2 – Utvalgte sjøtilstander

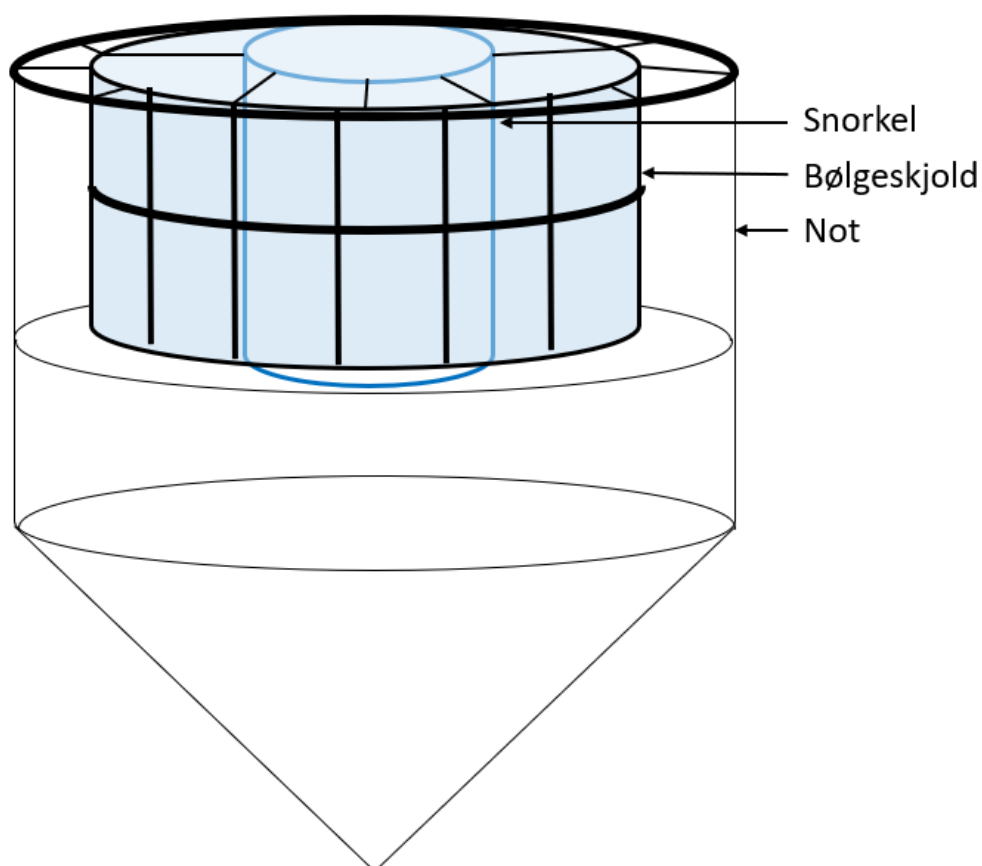
<i>Tilstand</i>	<i>Strøm, Us</i>	<i>Bølger, Hs</i>	<i>Periode, Tp</i>
1	0,5 m/s	1 m	3,2 s
2	0,72 m/s	1,82 m	4,51 s

## 4.9 Alternative konseptløsninger

Som et alternativ til simuleringer med parameterendringer er det også tenkelig at det kan gjøres noen endringer for å forbedre dagens konsept. Derfor modelleres det to alternative konseptløsninger som har som mål å forhindre deformasjon i snorkelen og dermed holde snorkelen på ønsket dyp.

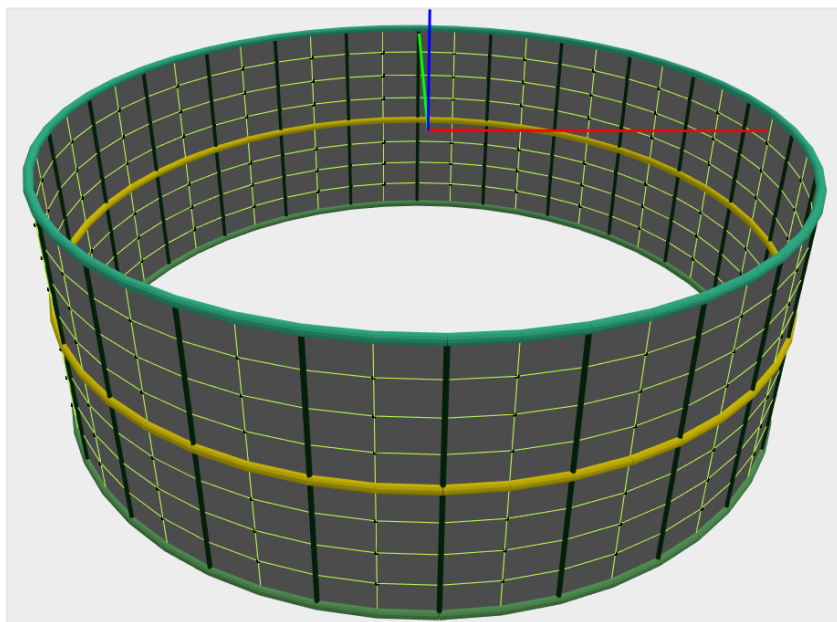
### 4.9.1 Konsept 1 – Bølgeskjold

Tubeøtene på lokasjon Langøy har et stort område mellom snorkel og flytekrage som ikke utnyttes maksimalt. Snorkelen har en omkrets på 90 m og flytekragen på utsiden har en omkrets på 160 m. Hva om dette området kunne brukes til å installere en konstruksjon for å ta opp krefter fra bølger og strøm? I så tilfelle ville det være mulig å installere en slik beskyttelse på de merdene som allerede er satt i sjøen og har startet produksjon av laks. Figur 39 viser ideen bak konseptet.



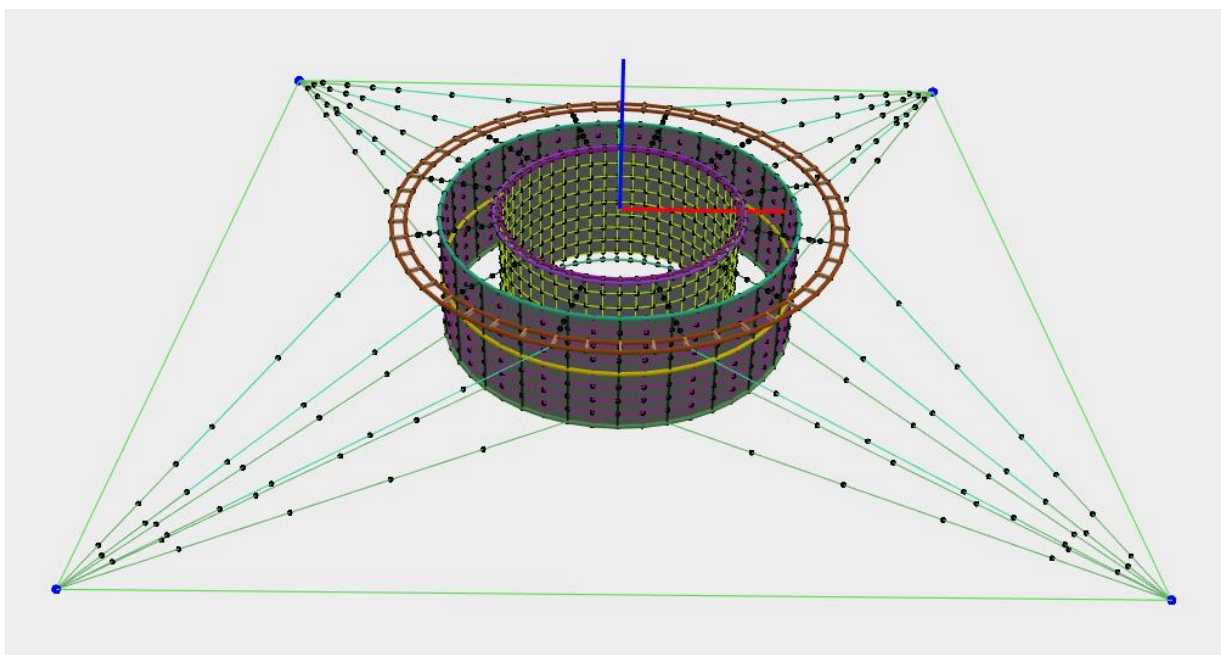
Figur 39 – Illustrasjon av bølgeskjold

For å unngå direkte kontakt med snorkelen modelleres bølgeskjoldet med en omkrets på 135 m som et førsteutkast. Skjoldet blir bestående av en toppring, midtring og bunnring, samt vertikale stålstengre som sammen danner en solid ramme. Rundt rammen vil det strekkes en duk som hjelper å ta opp krefter som skjoldet utsettes for av bølger og strøm. Duken som benyttes er tenkt å være identisk med duken i snorkelen. For at det ikke skal oppstå friksjon mellom bølgeskjoldet og not-taket i snorkelmerden som ligger på 16 meters dyp, settes dybden på bølgeskjoldet til 15 m. Toppringen til skjoldet vil være en flytekrage som gir god nok oppdrift til denne delen av konstruksjonen. Flytekragen til skjoldet festes i merdens ytre flytekrage og flytekragen hvor snorkelen er innfestet. Hvor store fortløyningskrefter bølgeskjoldet medfører og i hvilken grad det hjelper mot deformasjon av snorkelen undersøkes i kapittel 5. Bølgeskjoldet modellert i AquaEdit er vist i Figur 40.



Figur 40 – Modellert bølgeskjold

Bølgeskjoldet fortøyes som vist i Figur 41. Det eneste nye som ble gjort i forbindelse med fortøyning er å dele opp tauene som i utgangspunktet gikk fra ytre flytekrage til tubeflytekragen. Nå strekkes tauene først fra ytre flytekrage til bølgeskjold, deretter fra bølgeskjold til tubeflytekragen. Disse tauene ligger i vannoverflaten. I tillegg er det antatt at bølgeskjoldet vil oppleve store krefter og lett vil kunne krenge i sjøen. Derfor festes det tre ekstra liner fra hver bøye inn til bunnen av bølgeskjoldet for å forhindre krenkning og for å holde skjoldet i ønsket posisjon.



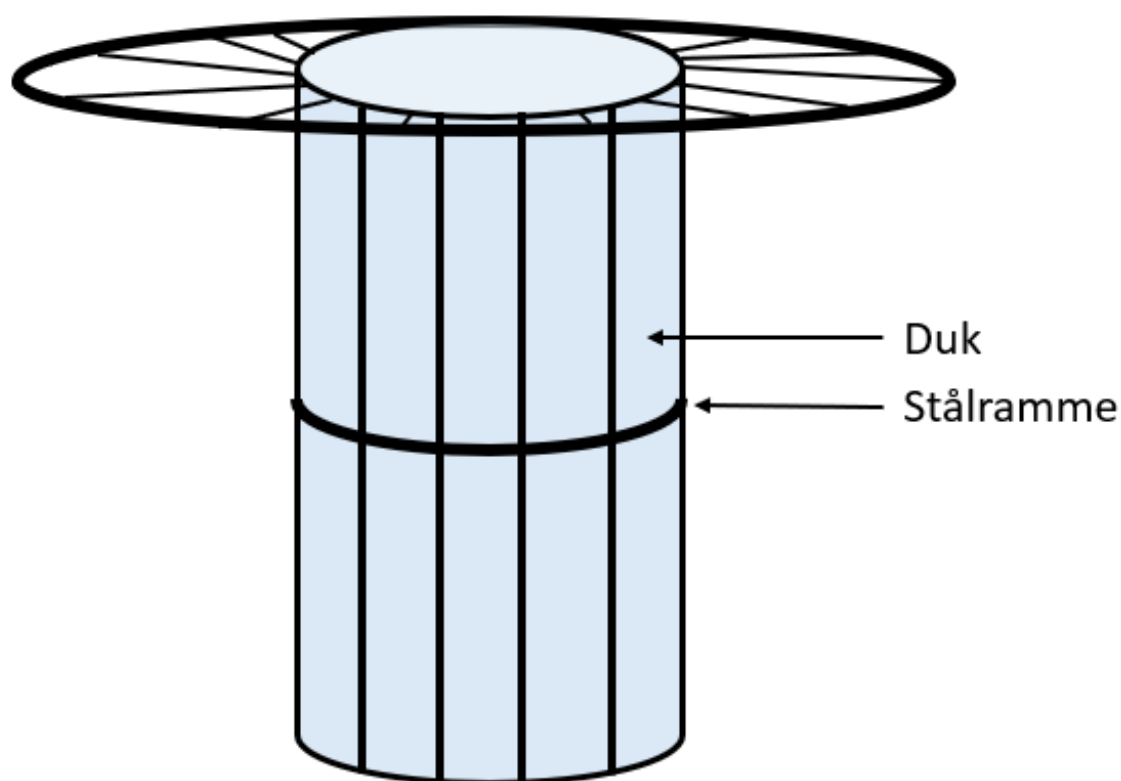
Figur 41 – Fortøyning av bølgeskjold

Ved første simulering ble det bemerket at strømmen tilsynelatende strømmet rett gjennom bølgeskjoldet og traff snorkelen med like stor kraft som om det ikke skulle vært noe skjold montert. Antageligvis betyr det at strømreduksjon og bølgedemping ikke automatisk er tatt med ved bruk av den tette duken i bølgeskjoldet. Dette går imidlertid an å løse ved hjelp av å benytte seg av en åpen not med en gitt soliditet.

AquaSim beregner strømningsreduksjon gjennom åpne not uten at brukeren av programvare trenger å foreta seg egne beregninger [27]. Derfor ble løsningen, med rådføring sammen med AKVA group [11], å benytte seg av en åpen not som del av bølgeskjoldet. Dersom noten på bølgeskjoldet gis en soliditet på ca 64 % vil strømlastene som virker på bølgeskjoldet tilsvare de strømlastene som virker på en tilsvarende tett sylinder. Dette er vanlig å gjøre ved fortøyningsanalyser for å redusere tiden det tar å utføre simuleringer. Bølgedemping må legges inn manuelt, men er mindre kritisk og ikke tatt med i simuleringene. Strømningen er antatt å være det som hovedsakelig fører til deformasjon av snorkelen.

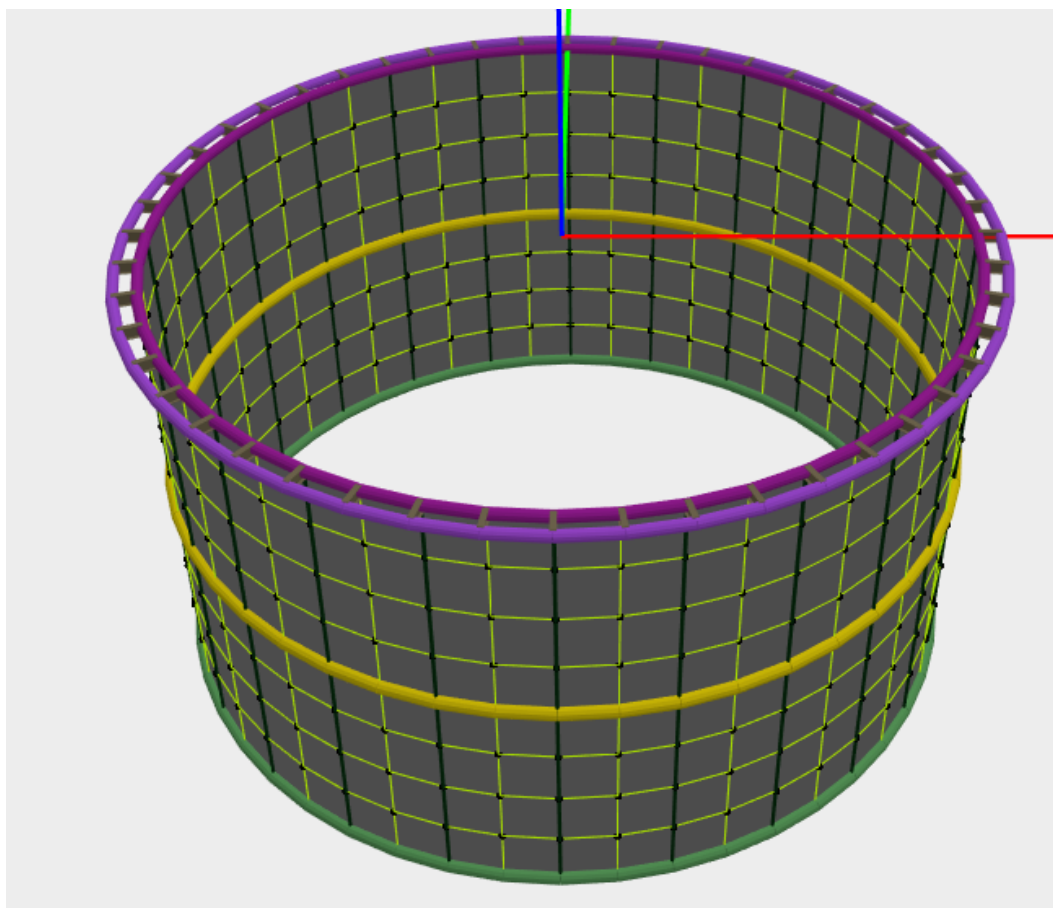
#### 4.9.2 Konsept 2 – Stiv snorkel

Det er flere løsninger som vil kunne gjøre deformasjonen i snorkelen mindre, men det er vanskelig å komme fram til en løsning som vil forhindre den. Dette konseptet går ut på å gjøre snorkelen helt stiv. Bølgeskjoldet som er beskrevet i konsept 1 består av en stålramme og en identisk duk som snorkelen i den forenklede modellen består av. Hva om man kan erstatte snorkelen med dette skjoldet, bare litt mindre? Da vil man slippe mye ekstra fortøyningskrefter som bølgeskjoldet antas å gi og man forhindrer samtidig deformasjon i snorkelen. Dette vil være en designendring i selve konstruksjonene. Derfor vil det være ønskelig å installere snorkelen i det man installerer merden, men det kan også tenkes at den fleksible snorkelen kan byttes ut med en stiv snorkel selv etter merden er installert på lokasjon. En illustrasjon av en stiv snorkel er vist i Figur 42.



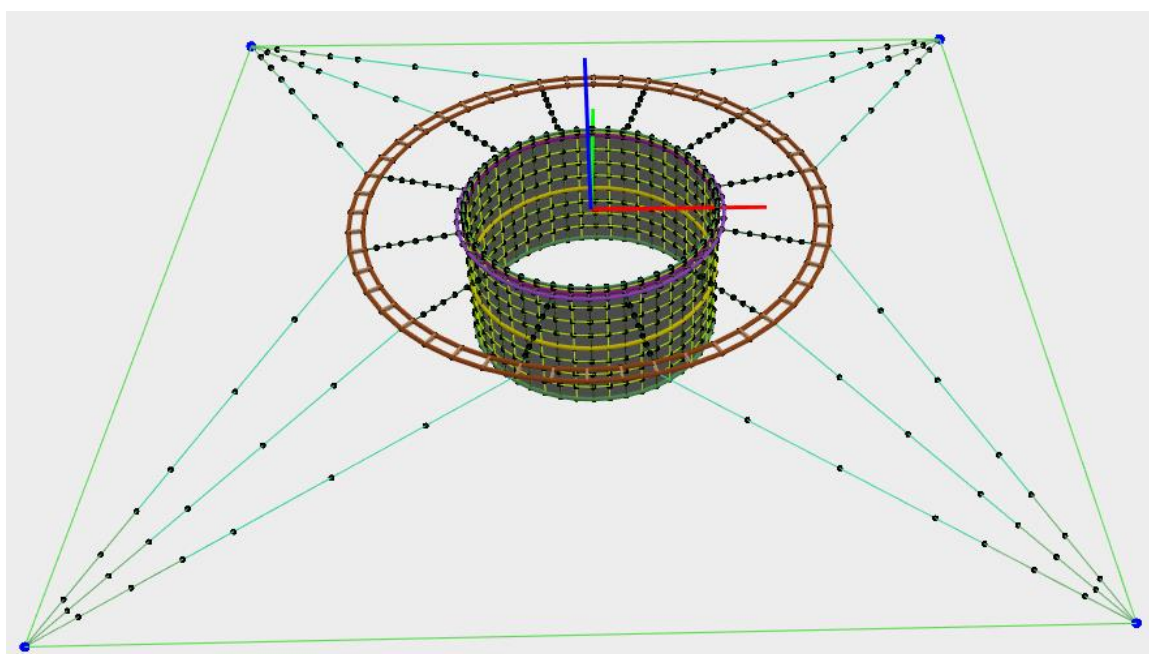
Figur 42 – Illustrasjon av stiv snorkel

Grunnen til at den stive snorkelen er bygget opp av duk og stålramme istedenfor bare stål, er at det helt klart er ønskelig å opprettholde et godt miljø for fisken inne i snorkelen samtidig som man ønsker å beholde de gode egenskapene som stål vil gi i forhold til deformasjon. Duken er bygget opp på en slik måte at lus ikke kommer gjennom, men det vil allikevel være mulig for oksygenholdige vannpartikler å trenge seg gjennom. I tillegg vil en solid stålkonstruksjon veie betraktelig mye mer enn en ramme bestående av stålstengre ikledd en duk. Dette medfører ekstra fortøyningskostnader og store oppgraderinger av flyteelement. Den modellerte stive snorkelen er vist i Figur 43. Den er tilnærmet lik som bølgeskjoldet, men er skalert ned i omkrets, fra 135 m til 90 m og gjort like dyp som den originale snorkelen.



Figur 43 – Modellert stiv snorkel

Den stive snorkelen er fortøyd helt likt som den forenklete modellen som er vist tidligere i Figur 37. Tolv tau strekker seg fra flytekragen til snorkelen og ut til merdens ytre flytekrage. Haneføtter strekker seg fra rammen og inn til merdens ytre flytekrage. Det er ventet at snorkelen vil legge seg litt sidelengs i simuleringer på grunn av at den er helt stiv og bare er fortøyd i toppen. Dette vil være bekymringsverdig ettersom det åpner muligheten for at lus kan komme seg inn til laksen fra den øvre åpningen i snorkelen. I så tilfelle vil det fortløpende gjøres endringer og nye simuleringer vil gjøres med tau strekt fra hjørnene i rammen og inn til bunn av den stive snorkelen. Dersom snorkelen fortøyes på topp og bunn, antas det at den ikke vil krenge like mye som med fortøyninger bare festet i toppen. Den fortøyde stive snorkelen er vist i Figur 44.

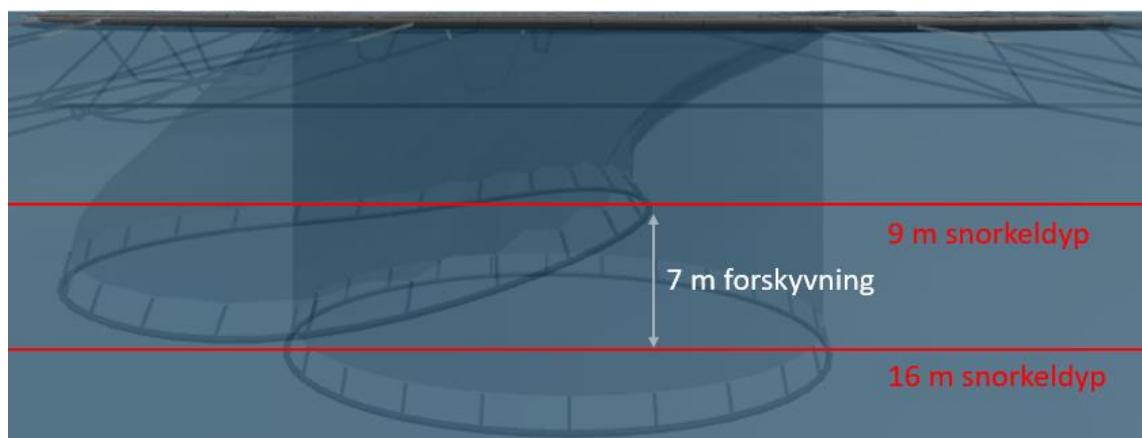


Figur 44 – Fortøyning av stiv snorkel



## 5 Resultater og diskusjon

For å besvare problemstillingen om forslag til forbedring for å unngå deformasjoner som en snorkel opplever i bølger og strøm er det gjort diverse endringer på parametere i bunnringen. Disse resultatene presenteres og kommenteres i dette kapittelet i den rekkefølgen de er undersøkt. I tillegg til parametervariasjoner på den forenklete modellen blir det gjort forsøk på videre designendring av konseptet. Resultatene av simuleringer på nye konsept blir presentert etter parametervariasjon. Før dette, sammenlignes den komplette snorkelmerdmodellen og den forenklete modellen for å validere at de oppfører seg likt og at resultatene fra den forenklete modellen er troverdige. I tillegg presenteres og kommenteres det noen resultat fra simuleringer kjørt med to forskjellige versjoner av AquaSim og hvorfor den ene versjonen blir brukt videre. Resultatene fra analysene som blir brukt til å svare på hvor mye snorkelen deformerer seg er hvor høyt bunnringen til snorkelen løfter seg i bølger og strøm, altså forskyvningen av denne i z-retning ved ulike miljølaster, dette er illustrert i Figur 45.



Figur 45 – Deformasjon av snorkel, forskyvning i z-retning

### 5.1 Sammenligning av modeller

For å bekrefte gyldigheten til resultatene og undersøke om alle resultater av den forenklete modellen er pålitelig, utføres det simuleringer på den komplette modellen som sammenlignes med den forenklete modellen. Dersom det ikke blir vesentlige avvik fra simuleringer med de to modellene, kan det argumenteres for at resultatene den forenklete modellen gir kan overføres til den komplette modellen relativt sett.

Resultater fra den komplette- og forenklete modellen sammenlignes etter simuleringer med varierende bunnringsvekt for tilstand 1 og tilstand 2. Forventninger er ikke at resultatene skal



samsvare 100 %. Det er naturlig at det er noen avvik fordi at en del av konstruksjonen er fjernet fra den komplette modellen for å oppnå den forenklete modellen.

Absoluttverdiene i resultatene er ikke validert mot eksakt målte verdier i modellforsøk eller i stor skala på lokalitet, men det er bekreftet at snorkelen deformerer seg i praksis og at bunnringen løfter seg flere meter opp mot overflaten ved sterk strøm og bølger. Ettersom resultatene i oppgaven ikke valideres mot eksakte målinger kan de derfor avvike fra reelle observasjoner, men sammenligninger med relative verdier vil bidra til å gi nyttig informasjon for bedriften om hva som påvirker mest/minst. Det er på bakgrunn av manglende tilgang på disse eksakte målingene at sammenligninger begrenser seg til den forenklete modellen med komplett modell som referanse. Som nevnt under metodekapittelet vil dette gi en usikkerhet ettersom avvik vil forekomme i numeriske analyser i form av systematiske feil.

Tabell 3 – Sammenligning

Forskyvning av bunnring ved varierende bunnringsvekt					
<b><i>Tilstand 1</i></b>					
<b>Komplett modell</b>		<b>Forenklet modell</b>		<b>Avvik</b>	
<i>42 kg</i>	6,46 m	<i>42 kg</i>	6,70 m	0,24 m	
<i>50 kg</i>	5,91 m	<i>50 kg</i>	5,97 m	0,06 m	
<i>58 kg</i>	5,39 m	<i>58 kg</i>	5,38 m	-0,01 m	
<i>66 kg</i>	4,93 m	<i>66 kg</i>	4,88 m	-0,05 m	
<i>74 kg</i>	4,55 m	<i>74 kg</i>	4,44 m	-0,11 m	
<i>82 kg</i>	3,81 m	<i>82 kg</i>	4,08 m	0,27 m	
<i>90 kg</i>	3,51 m	<i>90 kg</i>	3,75 m	0,24 m	
<b><i>Tilstand 2</i></b>					
<b>Komplett modell</b>		<b>Forenklet modell</b>		<b>Avvik</b>	
<i>42 kg</i>	10,13 m	<i>42 kg</i>	9,97 m	-0,16 m	
<i>50 kg</i>	9,62 m	<i>50 kg</i>	9,56 m	-0,06 m	
<i>58 kg</i>	9,13 m	<i>58 kg</i>	9,35 m	0,22 m	
<i>66 kg</i>	8,19 m	<i>66 kg</i>	8,71 m	0,52 m	
<i>74 kg</i>	7,79 m	<i>74 kg</i>	8,17 m	0,38 m	
<i>82 kg</i>	7,42 m	<i>82 kg</i>	7,68 m	0,26 m	
<i>90 kg</i>	6,93 m	<i>90 kg</i>	7,25 m	0,32 m	

### **Tilstand 1, normaltilstand**

Det ble simulert syv gjennomkjøringer av tilstand 1 på begge modellene. Den parameteren som ble endret gjennom simuleringene var bunnringsvekten til snorkelen. Simuleringene startet med dagens bunnringsvekt på 42 kg og økte med steg på 8 kg, slik at siste simulering ble gjort med 90 kg. Gjennomkjøringene på den komplette modellen tok i gjennomsnitt rundt fem timer og gjennomkjøringene på den forenklete modellen tok i gjennomsnitt tre timer.

Det minste avviket er når bunnringen er 58 kg, se Tabell 3. Ved bunnringsvekt på 58 kg avviker simuleringene fra hverandre med -0,01 m for forskyvning av bunnringen. Bunnringen til den komplette modellen forflytter seg 5,39 m og bunnringen til den forenklete modellen forflytter seg 5,38 m i z-retning. Dette er et avvik på -0,19 %. Det største avviket finner vi ved en bunnringsvekt på 82 kg. Tabell 3 viser at avviket i det tilfellet er på 0,27 m, hvilket tilsvarer 7,09 %. Bunnringen til den komplette modellen løfter seg 3,81 m og bunnringen til den forenklete modellen løfter seg 4,08 m.

I alle de syv simuleringene avviker resultatene med rundt 7 % eller mindre. De fleste og de største verdiene av avvik er positive, som betyr at modellen gjerne er mer konservativ enn den komplette modellen. Det må gjøres flere tester for å si dette sikkert, men i så tilfelle vet man at den forenklete modellen sannsynligvis ikke underestimerer utslagene. Endringer som iverksettes bør testes på en modell som er mer nøyaktig, men det er lettere å gjøre endringer på en forenklet modell. Derfor kan det gjøres flere tester på denne og ved gode resultat kan man gjøre tilsvarende endringer på den nøyaktige modellen og kjøre samme simuleringer på den for å se om de gode resultatene er like gode for denne.

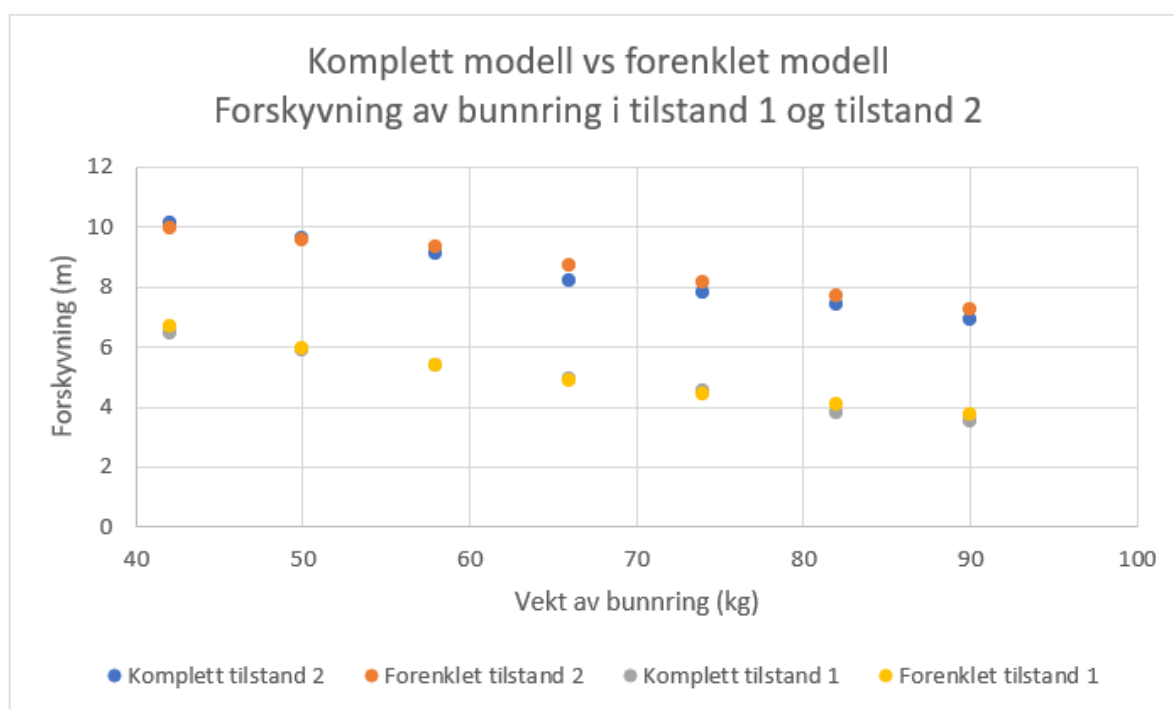
### **Tilstand 2, ekstremtilstand**

Analyser ble også gjennomført for begge modellene i tilstand 2, med samme variasjoner i bunnringsvekten, se Tabell 3. I denne ekstremtilstanden økte gjennomkjøringstiden fra fem til seks timer for den største modellen og fra tre til gjennomsnittlig fire timer for den forenklete modellen.

Som forventet avviker resultatene noe mer fra modell til modell for denne ekstremtilstanden. Det største avviket i forskyvning av bunnringen til snorkelen forekommer med en bunnringsvekt på 66 kg. Bunnringen til den komplette modellen forskyver seg vertikalt 8,19 m og bunnringen til den forenklete modellen forskyver seg totalt 8,71 m på det meste i dette tilfellet. Dette er et avvik på 0,52 m, eller et prosentvis avvik på 6,35 %. Det minste avviket for

ekstremtilstanden er ved en bunnringsvekt på 50 kg. I dette tilfellet forskyver bunnringen til den komplette modellen seg 9,62 m og den forenklete modellens bunnring forskyver seg 9,56 m. Dette tilsvarer et avvik på -0,06 m, se Tabell 3, eller et prosentvis avvik på -0,62 %.

Det gjennomsnittlige avviket ligger mellom 0,27 – 0,28 m, om man ser på absoluttverdiene av avvikene. Slik som i tilstand 1 gjelder det at det stort sett er den forenklete modellen som opplever mest forskyvning i bunnringen. For å danne et bilde av hvor små avvikene er, blir verdiene til sammenligning illustrert nedenfor i Figur 46.



Figur 46 – Forskyvning i to tilstander for forenklet og komplett modell med økende bunnringsvekt

## 5.2 Oppdatering av AquaSim

Tidlig i 2020 annonserte Aquastructures en ny versjon av AquaSim, dette var blant annet for å gjøre simuleringer med tett duk mer nøyaktige [22]. Ettersom denne rapporten i stor grad baserer seg på resultater fra simuleringer gjennomført med en tett duk ble modellen testet i ulike sjøtilstander med både den nye versjonen og den gamle versjonen av AquaSim. Dette ble gjort med dagens bunnringsvekt på 42 kg/m for å finne ut hvilke utslag oppdateringen ville gjøre på de relevante resultatene.

Tabell 4 – Ulike sjøtilstander, gammel versjon AquaSim

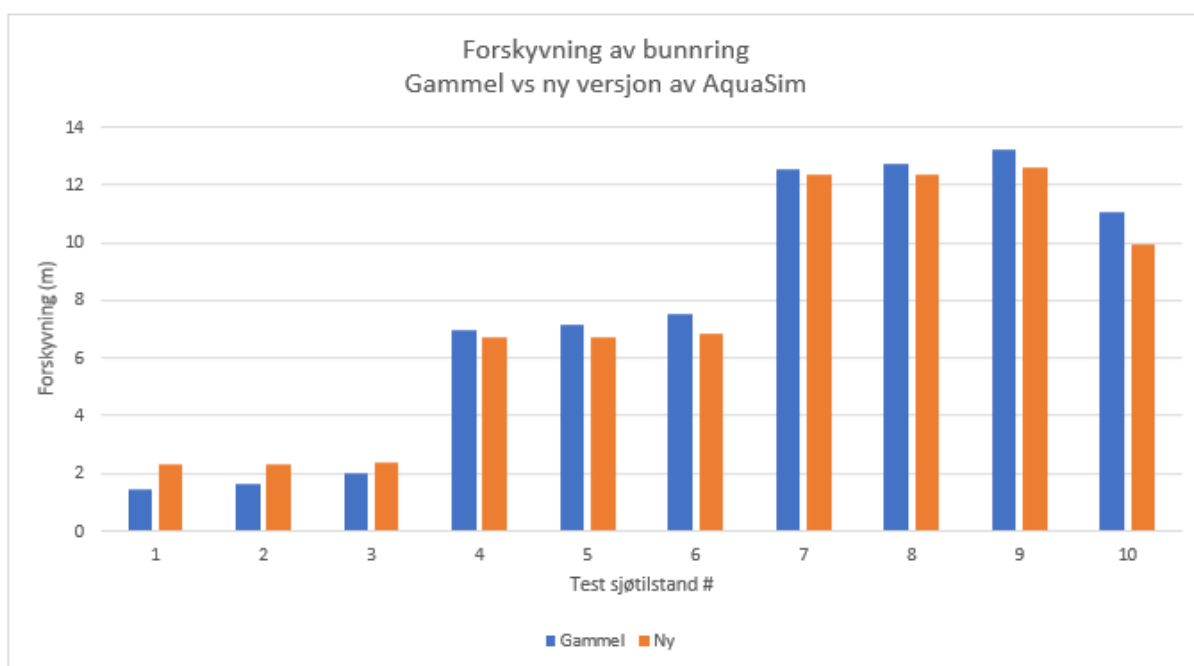
Forskyvning ved ulike sjøtilstander - Tidligere versjon			
<i>Strøm, Us</i>	<i>Bølger, Hs</i>	<i>Periode, Tp</i>	<i>Maksimal forskyvning av bunnring i z-retning</i>
0,3 m/s	0,5 m	2 s	1,42 m
0,3 m/s	1 m	3,2 s	1,62 m
0,3 m/s	2 m	5,1 s	2,02 m
0,5 m/s	0,5 m	2 s	6,99 m
0,5 m/s	1 m	3,2 s	7,13 m
0,5 m/s	2 m	5,1 s	7,55 m
1 m/s	0,5 m	2 s	12,57 m
1 m/s	1 m	3,2 s	12,74 m
1 m/s	2 m	5,1 s	13,24 m
0,72 m/s	1,82 m	4,51 s	11,06 m

Tabell 5 – Ulike sjøtilstander, ny versjon AquaSim (2020)

Forskyvning ved ulike sjøtilstander - Oppdatert versjon			
<i>Strøm, Us</i>	<i>Bølger, Hs</i>	<i>Periode, Tp</i>	<i>Maksimal forskyvning av bunnring i z-retning</i>
0,3 m/s	0,5 m	2 s	2,29 m
0,3 m/s	1 m	3,2 s	2,29 m
0,3 m/s	2 m	5,1 s	2,37 m
0,5 m/s	0,5 m	2 s	6,70 m
0,5 m/s	1 m	3,2 s	6,70 m
0,5 m/s	2 m	5,1 s	6,84 m
1 m/s	0,5 m	2 s	12,34 m
1 m/s	1 m	3,2 s	12,37 m
1 m/s	2 m	5,1 s	12,63 m
0,72 m/s	1,82 m	4,51 s	9,97 m

Tabell 4 og Tabell 5 viser maksimal forskyvning av bunnringen til snorkelen i z-retning med henholdsvis gammel og oppdatert versjon av AquaSim. Det kommer tydelig frem av resultatene at oppdateringen har en relativt betydelig innvirkning på det denne rapporten undersøker. Tilstand 1 og tilstand 2 blir gjennomgående brukt i denne rapporten og derfor er det disse som kommenteres.

Tilstand 1 med 0,5 m/s strøm, 1 m bølgehøyde og 3,2 s periode fører i den gamle versjonen av AquaSim til at bunnringen hever seg 7,13 m. I den oppdaterte og mer nøyaktige versjonen gir simuleringen at bunnringen løfter seg 6,70 m ved samme forhold. Dette gir en differanse mellom de to versjonene på 0,43 m. Det prosentvise avviket for den gamle versjonen i forhold til den nye er på rundt 6 %. Ekstremtilstanden med 0,72 m/s strøm, 1,82 m bølgehøyde og en periode på 4,51 s gir en enda høyere differanse på forskyvningen av bunnringen, men i likhet med tilstand 1 vil bunnringen forskyve seg mindre med den nyere versjonen av AquaSim. Tilstand 2 gir en forskyvning av bunnringen på 11,06 m i den gamle versjonen og 9,97 m i den nye versjonen. Dette tilsvarer en differanse på 1,09 m, eller rundt 11 % dersom det tas utgangspunkt i at den nye versjonen er mer nøyaktig og at den gamle versjonen avviker fra den nye. Resultatene avviker i en så stor grad ved de forholdene som blir undersøkt at det blir naturlig å benytte seg av den oppdaterte versjonen til videre testing. Figur 47 viser forskyvning av bunnring for den gamle og nye versjonen av AquaSim.



Figur 47 – Forskyvning ved gammel og ny versjon av AquaSim

### 5.3 Parametervariasjon

For å oppnå resultater må det gjøres en endring. Snorkelmerden er en teknisk løsning på luseproblemet, men konseptet møter utfordringer. For å prøve å løse problemet med at snorkelen deformerer seg og at bunnen løftes til et mindre dyp må det gjøres endringer på ulike deler i merden. Som en begynnelse undersøkes det om parametervariasjoner i den forenklete snorkelmodellens bunnring kan gi mindre deformasjon av snorkelen. Hvor mye snorkelen deformerer seg måles ved å se hvor høyt bunnringen til snorkelen hever seg i de to ulike sjøtilstandene som går igjen i oppgaven. Det som gjøres for å undersøke om det er mulig å oppnå mindre deformasjon er å variere vekt av bunnringen til snorkelen og variere stivhet i bunnringen. Det antas selvsagt at en økende bunnringsvekt vil gjøre at tuben holder seg mer strak, men hvor mye vekten påvirker deformasjonen er interessant å undersøke. I tillegg er stivheten til bunnringen en parameter som gjerne ikke får mye oppmerksomhet. Plast er stort sett veldig bøyelig og en bunnring fylles gjerne med grus eller andre ting for å avstive den. Derfor undersøkes det i rapporten hvilken innvirkning bøyeligheten til bunnringen har på deformasjon av snorkelen og hvordan det gjør at fisken eksponeres for grunnere vann som typisk har høyere tetthet av lus.

#### 5.3.1 Vekt av bunnring

Hydrostatiske simuleringer med økende bunnringsvekt ble kjørt på den forenklete modellen for å undersøke hvor tung bunnring tubeflytekragen kan tåle før den opplever å være helt neddykket. Resultatet viste at ved dagens vekt på 42 kg/m vil det være så god oppdrift at flytekragen får en positiv forskyvning i z-retning. Dette er dersom man ser for seg at midten av flytekragens sirkulære tverrsnitt ligger ekvivalent med vannlinjen før vekten settes på, altså i  $z = 0$ . Dersom bunnringsvekten settes til 100 kg/m vil flytekragen begynne å trekkes nedover i z-retning, se Tabell 6.

Tabell 6 – Bunnringsvekt mot neddykking

<i>Vekt av bunnring i vann</i>	<i>Forskyvning i z-retning flytekrage</i>	<i>Total vekt i vann</i>
42 kg/m	0,0376 m	3,9 t
50 kg/m	0,0299 m	4,6 t
100 kg/m	-0,0185 m	9,2 t
150 kg/m	-0,0675 m	13,8 t
200 kg/m	-0,1626 m	18,4 t
210 kg/m	-0,3188 m	19,32 t

Full neddykking av flytekragen oppstår i simuleringen dersom bunnringsvekten settes mellom 200 kg/m og 210 kg/m. En bunnring på 210 kg/m vil ha en tilnærmet total vekt i vann på 19 t. Henholdsvis er de røde markerte radene i Tabell 6 dagens vekt på bunnringen til Eide og den bunnringsvekten som i analysen fører til at tubeflytekragen synker. Resultatene informerer om neddykking av det ytterste flyterøret av de to flyterørene som sammen bygger opp flytekragen. Dette fordi denne delen er den som sist trekkes under vann da snorkelen i modellen er festet direkte i det indre flyterøret.

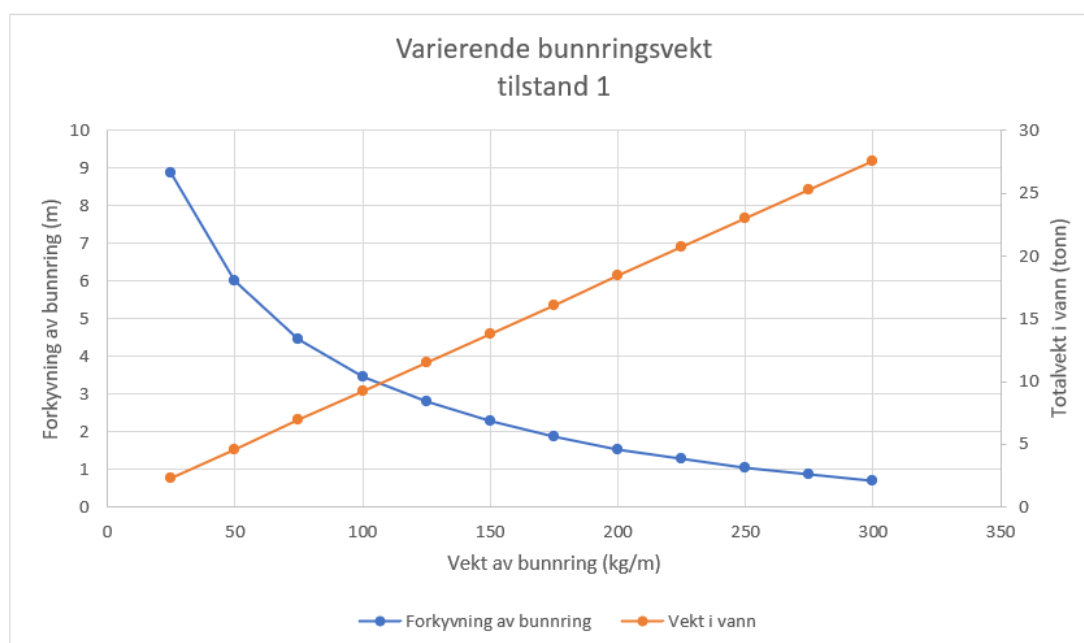
Etter å ha simulert den tyngden av bunnringen som vil trekke flytekragen ned under vann, er det av interesse å undersøke hvor tung bunnring som må benyttes for å oppnå en ubetydelig deformasjon av snorkelen. Å definere hvilken deformasjon som vil være ubetydelig er vanskelig, men må sees i sammenheng med lusepåslag. For å fastsette en verdi som kan brukes i oppgaven defineres det her at en ubetydelig deformasjon av snorkel oppstår dersom bunnringen løfter seg rundt 1 m. For å undersøke dette får nodene i tubeflytekragen ingen frihetsgrader, det vil si at de holdes helt fast slik at flytekragen holdes flytende uansett hvor tung bunnringsvekten settes til å være.

Tabell 7 viser modellen simulert i sjøtilstand 1 med en bunnringsvekt fra 25 kg/m til og med 300 kg/m med økning på 25 kg/m for hver simulering. Det nederste markerte feltet viser forskyvning av bunnring med dagens vekt. Resultatet fra simulering av modellen med den vekten Eide har på sin bunnring i dag er en vertikal forskyvning på 6,71 m. For å oppnå en forskyvning på rundt 1 m, som tidligere er definert som ubetydelig, viser resultatet av simuleringene at modellen må ha en bunnring med en vekt på 250 kg/m.

Tabell 7 – Varierende bunnringsvekt i tilstand 1

Tilstand 1		
Vekt av bunnring i vann	Forskyvning i z-retning bunnring snorkel	Total vekt i vann
25 kg/m	8,88 m	2,3 t
50 kg/m	6 m	4,6 t
75 kg/m	4,45 m	6,9 t
100 kg/m	3,47 m	9,2 t
125 kg/m	2,79 m	11,5 t
150 kg/m	2,28 m	13,8 t
175 kg/m	1,86 m	16,1 t
200 kg/m	1,54 m	18,4 t
225 kg/m	1,27 m	20,7 t
250 kg/m	1,05 m	23 t
275 kg/m	0,85 m	25,3 t
300 kg/m	0,69 m	27,6 t
42 kg/m	6,71 m	3,86 t

For å danne et bilde av hvilken betydning bunnringsvekt har for forskyvning er dette plottet i et diagram, se Figur 48. Grafene viser at en økende bunnringsvekt gir mindre forskyvning.



Figur 48 – Vekt vs. forskyvning av bunnring tilstand 1

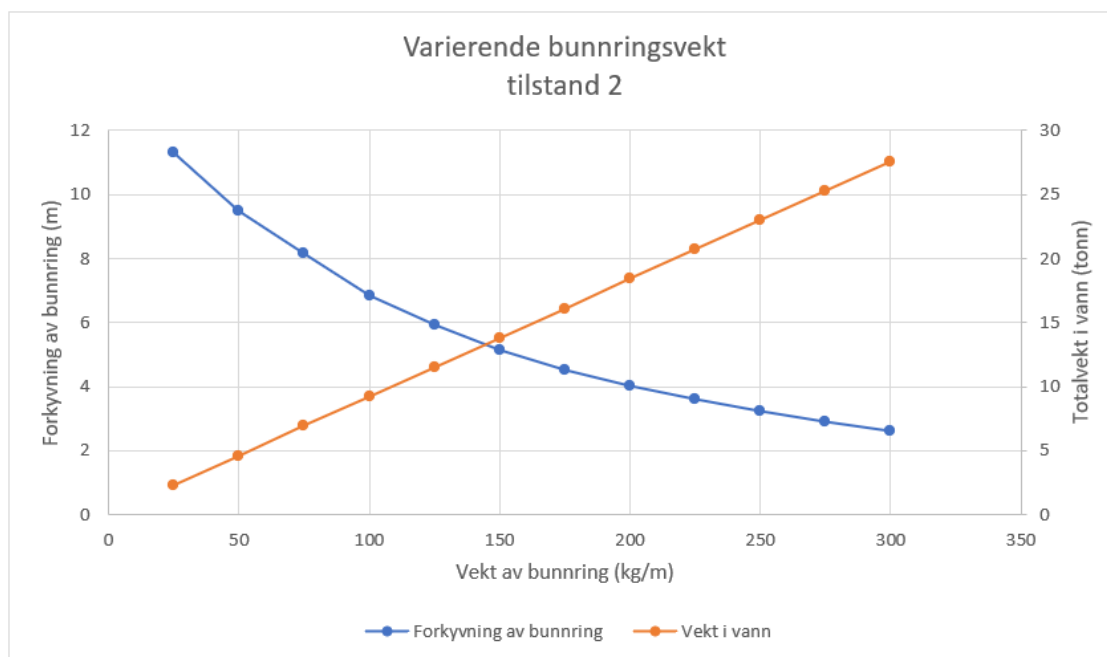


Tabell 8 viser resultatene fra simuleringene med varierende bunnringsvekt i tilstand 2. Dagens bunnringsvekt fører til at bunnringen hever seg tilnærmet 10 m opp mot overflaten i simuleringen. I en så heftig sjøtilstand vil det måtte bli benyttet en svært tung bunnring for å oppnå en ubetydelig forskyvning av bunnringen. Som Tabell 8 viser vil det med en bunnring på 300 kg/m fortsatt være en betydelig forskyvning på hele 2,61 m.

Tabell 8 – Varierende bunnringsvekt i tilstand 2

<i>Tilstand 2</i>		
<i>Vekt av bunnring i vann</i>	<i>Forskyvning i z-retning bunnring snorkel</i>	<i>Total vekt i vann</i>
25 kg/m	11,32 m	2,30 t
50 kg/m	9,49 m	4,6 t
75 kg/m	8,17 m	6,9 t
100 kg/m	6,86 m	9,2 t
125 kg/m	5,91 m	11,5 t
150 kg/m	5,15 m	13,8 t
175 kg/m	4,54 m	16,1 t
200 kg/m	4,03 m	18,4 t
225 kg/m	3,6 m	20,7 t
250 kg/m	3,23 m	23 t
275 kg/m	2,90 m	25,3 t
300 kg/m	2,61 m	27,6 t
42 kg/m	9,96 m	3,86 t

For å danne et oversiktlig bilde av hvilken betydning bunnringsvekt har for forskyvning i tilstand 2 er dette plottet i et diagram, se Figur 49. Grafene viser at en økende bunnringsvekt gir mindre forskyvning.



Figur 49 – Vekt vs. forskyvning av bunnring tilstand 2

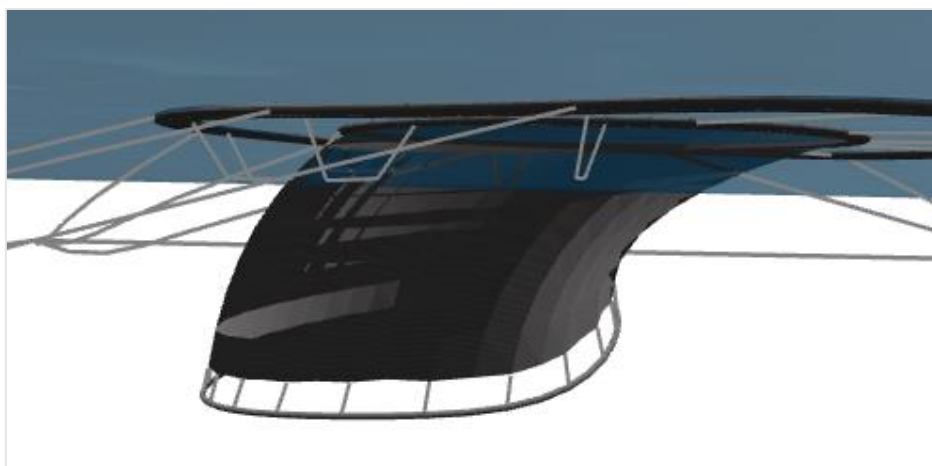
Endring i vekten på bunnringen ble undersøkt som en enkel løsning på å holde duken i snorkelen strakere, eller helt strak. Dersom det er ønskelig å foreta en endring i vekt på bunnringen til en merd kreves det ikke mye ressurser. Resultatene fra analysene er entydige og viser at å øke bunnringens vekt er en direkte løsning på hvordan å holde snorkelen strakere i bølger og strøm. Det viser seg imidlertid at selv om bunnringsvekten økes drastisk så vil ikke snorkelen holdes helt strak. Bunnringsvekt og forskyvning har ikke et lineært forhold til hverandre. For hver økning på 25 kg/m bunnringsvekt blir differansen i forskyvningen stadig mindre. Det åpner muligheten for en løsning der bunnringsvekten ikke overdrives. Vekten kan økes litt og det hjelper litt på problemet, istendefor at man overdriver vekten på bunnringen for å oppnå en lite betydelig endring i forskyvningen av denne.

Negative konsekvenser med å øke bunnringsvekten vil i all hovedsak være at bedriften får en utgift knyttet til oppgradering av hele anlegget. Ettersom et fiskeopprettsanlegg er et system der alle komponentene i stor grad dimensjoneres av hensyn til hverandre vil også andre komponenter måtte økes. En tyngre bunnring gjør at anlegget må ha ekstra oppdrift. Dimensjonene på oppdriftsrørene i Eide sine merder er så store som de kan bli per dags dato. Det er vanskelig å bøye enda større rør til å oppnå 90 m omkrets. Kanskje dette kan løses med enda flere mindre flyterør. Eventuelt utforske nye metoder å bøye store plastrør på. I tillegg må muligens snorkelduken gjøres enda sterkere ettersom det blir økt risiko for at denne kan revne ved sterk sjø og økt bunnringsvekt. Videre må også fortøyningssystemet oppgraderes om

bunnringsvekten økes. Snorkelen holdes strakere og derfor kreves det mer styrke i fortøyningen for å holde denne fast. Bunnfester, tau, kjetting, bøyer, sjakler osv må dimensjoneres for å tåle disse ekstra lastene.

### 5.3.2 E-modul i bunnring

Observasjoner i AquaView etter fullført simulering av endringer i bunnringsvekt viser noe som kan være aktuelt å påpeke. Forskyvningen av snorkelens bunnring vil ikke være uniform over hele tversnittet. Som Figur 50 viser vil bølger og hovedsakelig strømmen som treffer snorkelen på høyre side føre til at duken blir dyttet inn og bunnringen bøyer seg oppover. På motsatt side er det ikke like stor vertikal forskyvning av bunnringen og duken til snorkelen holdes strakere. Dersom dette stemmer overens til hvordan den faktiske bunnringen beveger seg i sjøen, kan oppbøyningen til en elastisk bunnring være en hovedfaktor til at det blir mer lus på fisken i snorkelmerkene. Lusebestanden øker mot overflaten og derfor er det viktig at bunnringen ikke holder et visst dyp på ene siden mens den på andre siden blir løftet opp. Da vil potensielt lusen følge strømmen og slippes inn i snorkelen der bunnringen bøyer seg opp. Derfor kan det være interessant å undersøke om stivheten i bunnringen kan være med på å minske eller unngå deformasjon i snorkelen og forskyvning av bunnringen. I så tilfelle vil en stivere bunnring være veldig kostnadsbesparende.



Figur 50 – Bøyd bunnring

Ettersom AquaView gav indikasjoner på at bunnringen til snorkelen bøyer seg oppover på grunn av at den er relativt elastisk, kjøres samme simuleringer som i forrige delkapittel, men med en bunnring med langt høyere stivhet. AquaSim har plast og stål som standardmaterialer der materialegenskaper er lagt inn på forhånd. Derfor brukes stål som materiale i bunnringen i de neste simuleringene. Vekten til bunnringen holdes lik selv om stivheten øker og tverrsnittet er det samme. Stivheten, også kalt elastisitetsmodulen, er til stål og PE100 henholdsvis  $2,1 * 10^{11} \text{N/m}^2$  og  $1,1 * 10^9 \text{N/m}^2$ .

Tabell 9 – Stål, varierende bunnringsvekt i tilstand 1

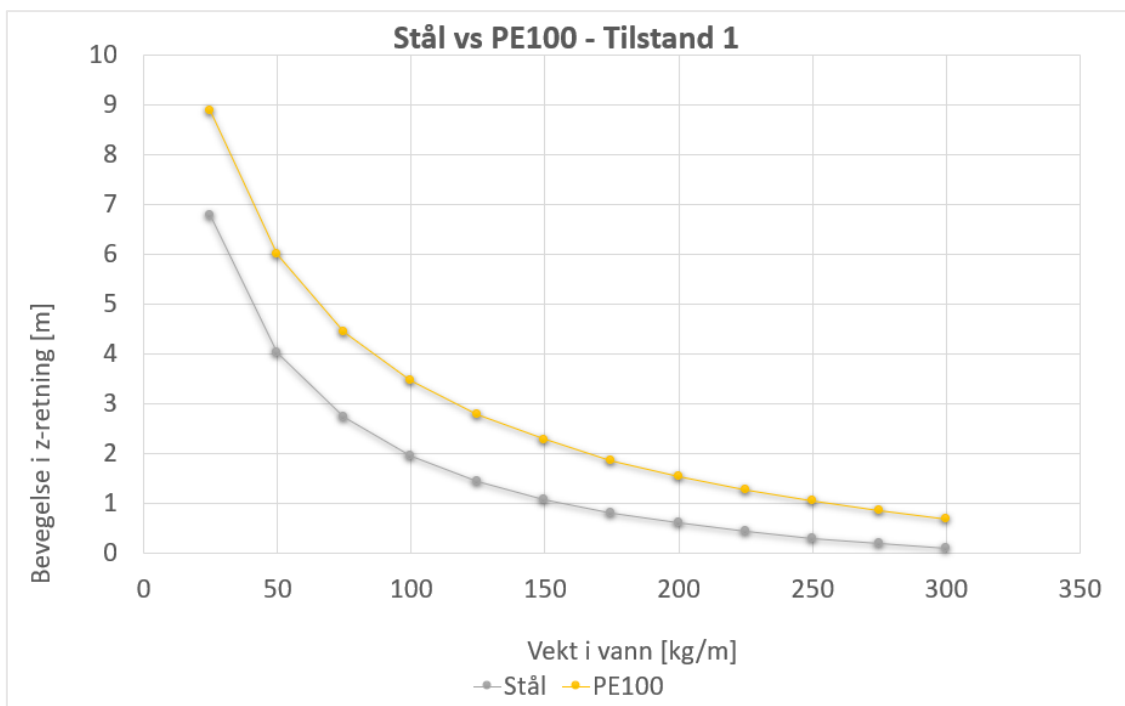
<i>Tilstand 1</i>		
<i>Vekt av bunnring i vann</i>	<i>Forskyvning i z-retning bunnring snorkel</i>	<i>Total vekt i vann</i>
25 kg/m	6,77 m	2,3 t
50 kg/m	4,03 m	4,6 t
75 kg/m	2,74 m	6,9 t
100 kg/m	1,96 m	9,2 t
125 kg/m	1,44 m	11,5 t
150 kg/m	1,07 m	13,8 t
175 kg/m	0,81 m	16,1 t
200 kg/m	0,60 m	18,4 t
225 kg/m	0,44 m	20,7 t
250 kg/m	0,30 m	23 t
275 kg/m	0,19 m	25,3 t
300 kg/m	0,09 m	27,6 t
42 kg/m	4,66 m	3,86 t

Tabell 9 viser resultater fra simulering med modellen med økende bunnringsvekt i tilstand 1 på samme måte som i Tabell 7, men her er bunnringen i stål og den har betraktelig høyere stivhet. Resultatene viser at den maksimale verdien av forskyvning blir mindre med høyere stivhet i bunnringen. I tilstand 1 viser resultatene at ved å endre bunnringen som Eide bruker i dag fra polyetylen til stål vil bunnringen oppnå en maksimal forskyvning vertikalt på 4,66 m. Dette er en forskyvning som er hele 2,05 m mindre.

Tabell 10 – Stål, varierende bunnringsvekt i tilstand 2

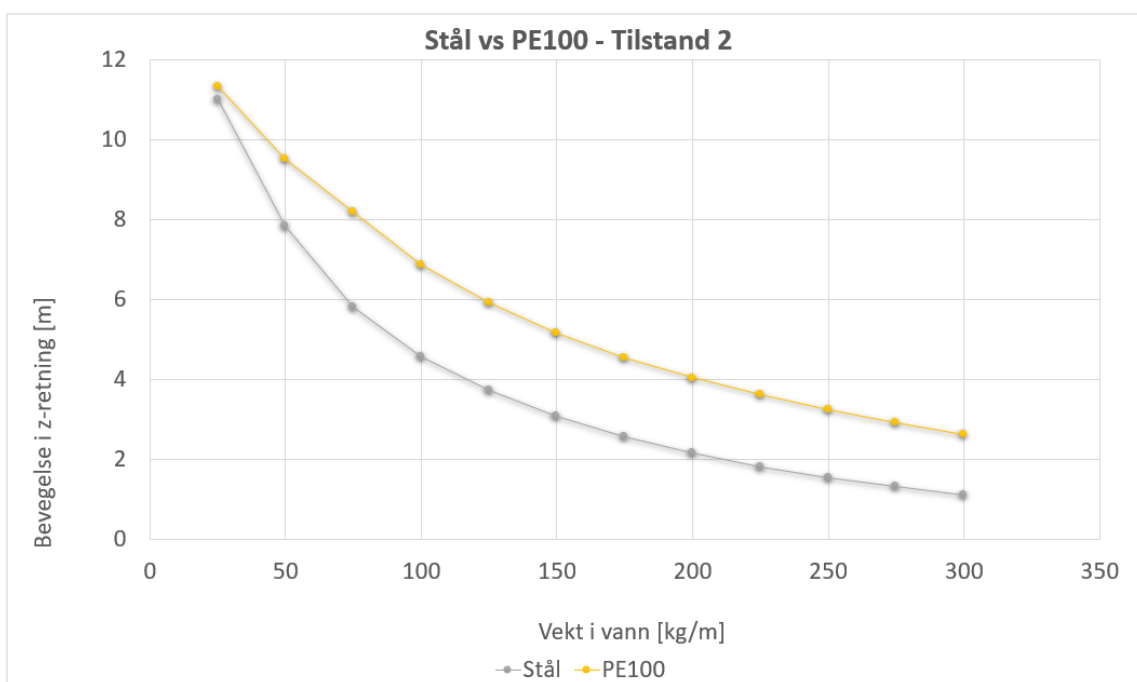
<i>Tilstand 2</i>		
<i>Vekt av bunnring i vann</i>	<i>Forskyvning i z-retning bunnring snorkel</i>	<i>Total vekt i vann</i>
25 kg/m	10,99 m	2,30 t
50 kg/m	7,82 m	4,6 t
75 kg/m	5,8 m	6,9 t
100 kg/m	4,56 m	9,2 t
125 kg/m	3,71 m	11,5 t
150 kg/m	3,06 m	13,8 t
175 kg/m	2,56 m	16,1 t
200 kg/m	2,15 m	18,4 t
225 kg/m	1,81 m	20,7 t
250 kg/m	1,54 m	23 t
275 kg/m	1,31 m	25,3 t
300 kg/m	1,11 m	27,6 t
42 kg/m	8,13 m	3,86 t

I tilstand 2 er verdiene for forskyvning fortsatt større enn i tilstand 1, men i likhet med tilstand 1 minker forskyvningen til bunnringen betraktelig dersom den er stivere. Med dagens bunnringsvekt på 42 kg/m vil bunnringen i polyetylen ifølge Tabell 8 heve seg 9,96 m, mens i stål vil den samme bunnringen heve seg 8,13 m. For den økende bunnringsvekten gjelder også det at høyere stivhet fører til mindre deformasjon av snorkel og dermed mindre forskyvning av bunnringen til snorkelen. For bunnringen i PE100 gjaldt det at i tilstand 2 var det nærmest umulig å oppnå en forskyvning mindre enn 1 m i vertikal retning, en såkalt ubetydelig forskyvning. For den i stål derimot skjer dette omtrent ved en bunnringsvekt på 150 kg/m for tilstand 1 og 300 kg/m for tilstand 2. For å illustrere hva forskjellen i stivhet betyr for forskyvning er dette vist for tilstand 1 og 2 henholdsvis i Figur 51 og Figur 52.



Figur 51 – Stål og PE100, tilstand 1

Diagrammet i Figur 51 viser bunnring med økende vekt i tilstand 1. Den ene grafen viser en bunnring i polyetylen og den andre viser en bunnring i stål. Målet var å undersøke om elastisitetsmodulen hadde noen innvirkning på forskyvning av bunnringen.



Figur 52 – Stål og PE100, tilstand 2

Figur 52 viser resultater fra økning av vekten til bunnringen på modellen i tilstand 2 og hvor mye dette påvirker bevegelse i z-retning. Diagrammet viser også forskjellen mellom en bunnring i stål og en bunnring i PE100. Av diagrammet er det mulig å lese at høyere bunnringsvekt vil gi mindre forskyvning i z-retning for bunnringen, i tillegg vil en bunnring i stål med samme vekt som en bunnring i polyetylen gi mindre forskyvning.

De simuleringene som er gjort viser at det det kan være gunstig med en bunnring av høyere stivhet enn PE100. Bunnringene som benyttes i dag kan være fylt med for eksempel sand for å oppnå ønsket vekt. Dette påvirker også hvor stiv bunnringen er. Sett i sammenheng med lusepåslag synes de foreløpige resultatene å vise at å øke stivheten kan være med på å minimere lusepåslag ettersom dette har direkte sammenheng med deformasjonene i snorkelen. De økonomiske konsekvensene av å endre stivheten kan være av en mindre natur enn å endre bunnringsvekten. Dersom snorkelen holdes strakere med en stiv bunnring enn en i plast, vil den ta opp mer krefter. Det er en mulighet for at forankringssystemet dermed må oppgraderes, men det antas det kreves mer omorganisering ved å øke vekten av ringen for å få tilsvarende resultat som oppnås med en stivere ring. En annen ting å ta i betraktning er at en bunnring i stål kan forårsake større slitasje mot både not-taket som den ligger mot og til not-veggen som den kan dyttes borti, enn det plastringen gjør. Her må det gjøres en risikovurdering opp mot utbytte. Dersom rømming av laks kan være en direkte konsekvens av en stivere ring, vil konsekvensene bli for store. I så tilfelle kan om mulig ringen i stål dekkes inn i en form for plastikk.

Konklusjonen etter å ha undersøkt parametervariasjon i bunnringen er at det kan være gunstig med tyngre og stivere bunnring for å unngå deformasjon av snorkelen. Resultatene viser at det blir størst forskjell i startfasen av endringene. Etter hvert som stivheten og bunnringsvekten blir veldig stor, blir ikke forskjellen i deformasjon så mye større. Derfor er det en mulighet for at snorkelens deformasjon kan forminskes ved å gjøre små, men betydelige endringer i både vekt og stivhet i bunnringen. Som Figur 3 viser vil selv en liten reduksjon i deformasjon av snorkelen føre til et mindre påslag av lus. Mindre påslag av lus, vil føre til at kostnadstunge tiltak knyttet til avlusing reduseres. En nedside er at det er vanskelig å bytte ut bunnringen når denne allerede er installert, men for fremtidige anlegg kan det vurderes om bunnringen som installeres burde være tyngre og stivere.

## 5.4 Designendring 1 - Bølgeskjold

I snorkelmerden er det et område fra flytekrage og not-vegg, bort til snorkel som ikke benyttes. Ettersom det kan være problematisk å endre bunnringen til snorkelen etter at denne er installert og fisk er satt i sjøen, kan det tenkes at det finnes tiltak som kan iverksettes etter dette er gjort. I det området som ikke benyttes vil det være plass til en demper mot bølger og strøm, som om ønskelig kan installeres etter snorkelmerden er satt i sjøen og produksjon av laks har startet. Hvilken forskjell det gjør i forskyvning av bunnringen i z-retning undersøkes i dette kapitlet, men det antas at en demper for kreftene kan føre til at snorkelen holdes strak. I tillegg undersøkes det i hvor stor grad et bølgeskjold påvirker fortøyningskreftene i merden.

### 5.4.1 Forskyvning av bunnring

Ved første gjennomkjøring med bølgeskjoldet er deformasjonen av snorkelen og dermed forskyvningen av snorkelens bunnring i z-retning kraftig redusert. Uten bølgeskjoldet løftet snorkelens bunnring seg 6,70 m i tilstand 1. Med en bølgeskjerming eller bølgeskjold, løftet snorkelens bunnring seg bare 2,77 m i samme sjø. Dette er en forbedring og forskyvningen har blitt redusert med 58,66 %, se Tabell 11.

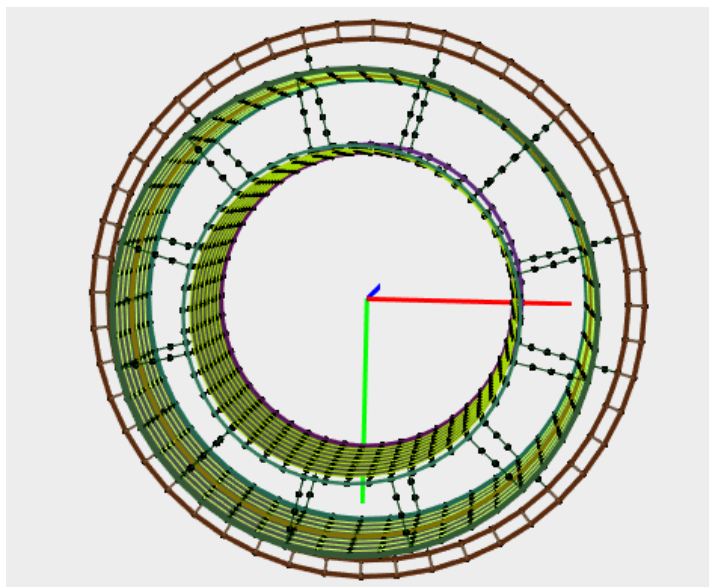
I tilstand 2 opplevde bunnringen til snorkelen en forskyvning på 9,97 m uten bølgeskjoldet. Med bølgeskjoldet installert, løftet bunnringen seg 4,05 m. Dette er en forbedring på 59,38 %. Resultatene er vist i Tabell 11.

Tabell 11 – Forskjell på forskyvning med og uten skjerming

	<i>Design</i>	<i>Forskyvning av bunnring</i>
<i>Tilstand 1</i>	m/skjold	2,77 m
	u/skjold	6,70 m
	<u>Prosentvis endring</u>	<u>58,66 %</u>
<i>Tilstand 2</i>	m/skjold	4,05 m
	u/skjold	9,97 m
	<u>Prosentvis endring</u>	<u>59,38 %</u>



Det oppdages imidlertid at snorkelen og bølgeskjoldet kommer i konflikt med hverandre i tilstand 2. Det ser tilsynelatende ut som at snorkelen beveger seg gjennom bølgeskjoldet. Derfor festes det også tau helt nederst på snorkelen. Disse tauene strekker seg fra bunnringen på snorkelen ut til bølgeskjoldet for å holde snorkelen utstrakt og mest mulig sentral. Dette er vist i Figur 53.



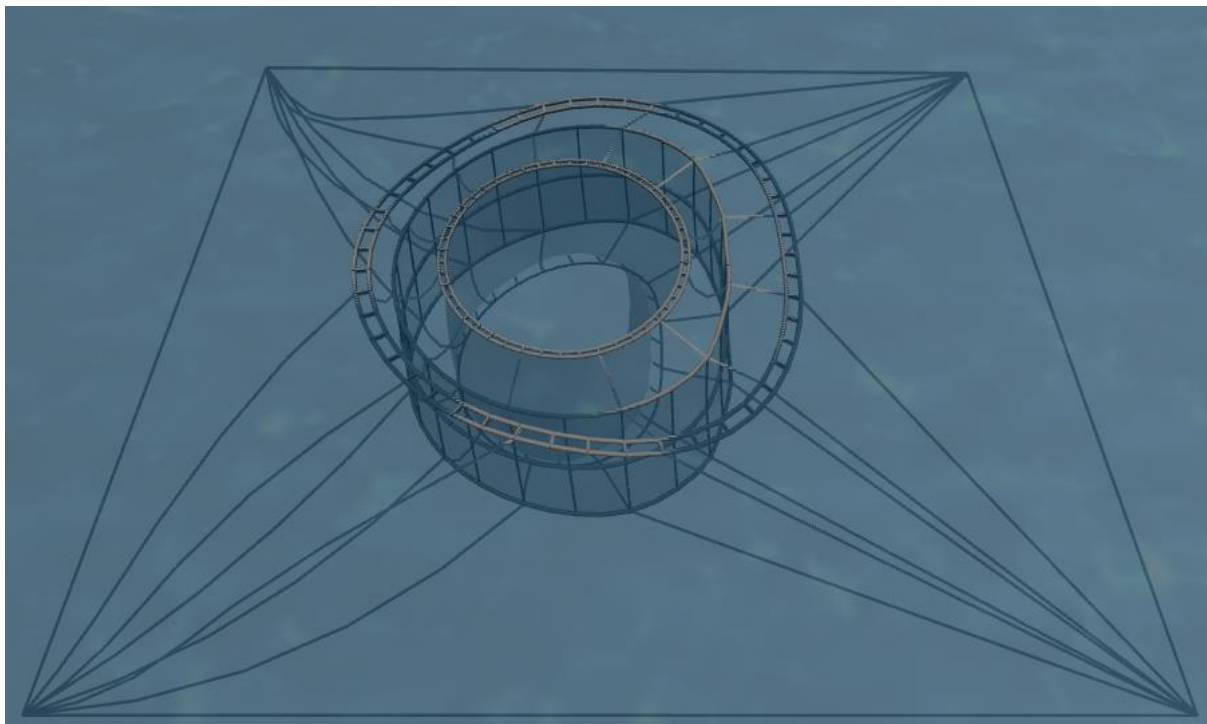
Figur 53 – Snorkel festet i bølgeskjold oppe og nede, sett nedenifra

En innfestning av snorkelens bunnring ut i bølgeskjoldet viser seg å gi gode resultater både med tanke på konflikten mellom bølgeskjoldet og snorkelen, men også med tanke på forskyvningen av bunnringen vertikalt. Med skjoldet og den ekstra fortøyningen viser analysen at bunnringen vil heve seg 2,57 m i tilstand 1 og 3,52 m i tilstand 2, se Tabell 12. Dette er henholdsvis en forbedring på rundt 62- og 65 % fra de opprinnelige verdiene på forskyvning av bunnring uten et skjermende bølgeskjold. I forhold til skjerming med bølgeskjold uten ekstra fortøyning og skjerming med bølgeskjold med ekstra fortøyning er det i tilstand 1 en prosentvis forbedring på forskyvning av bunnringen på 7,22 % og i tilstand 2 er det en prosentvis forbedring på 13,09 %.

Tabell 12 – Forskjell på forskyvning med og uten skjerming, med ekstra fortøyning

	<i>Design</i>	<i>Forskyvning av bunnring</i>
<i>Tilstand 1</i>	m/skjold	2,57 m
	u/skjold	6,70 m
	<u>Prosentvis endring</u>	<u>61,64 %</u>
<i>Tilstand 2</i>	m/skjold	3,52 m
	u/skjold	9,97 m
	<u>Prosentvis endring</u>	<u>64,69 %</u>

Figur 54 viser hvordan bølgeskjoldet og snorkelen oppfører seg i bølger og strøm i tilstand 2. For tilstand 2 er det nevnt at skjoldet vil gi en forbedring, altså en reduksjon av bunnringens forskyvning på rundt 65 %. For å gi et inntrykk av hvor mye det er, er det inkludert en illustrasjon av merden fra AquaView i tilstand 2 uten bølgeskjold, se Figur 55. Denne figuren kan sammenlignes med Figur 54 for å se hvor stor forskjell bølgeskjoldet er simulert til å utgjøre.



Figur 54 – Merd med bølgeskjold i sjø



Figur 55 – Merd uten bølgeskjold i sjø

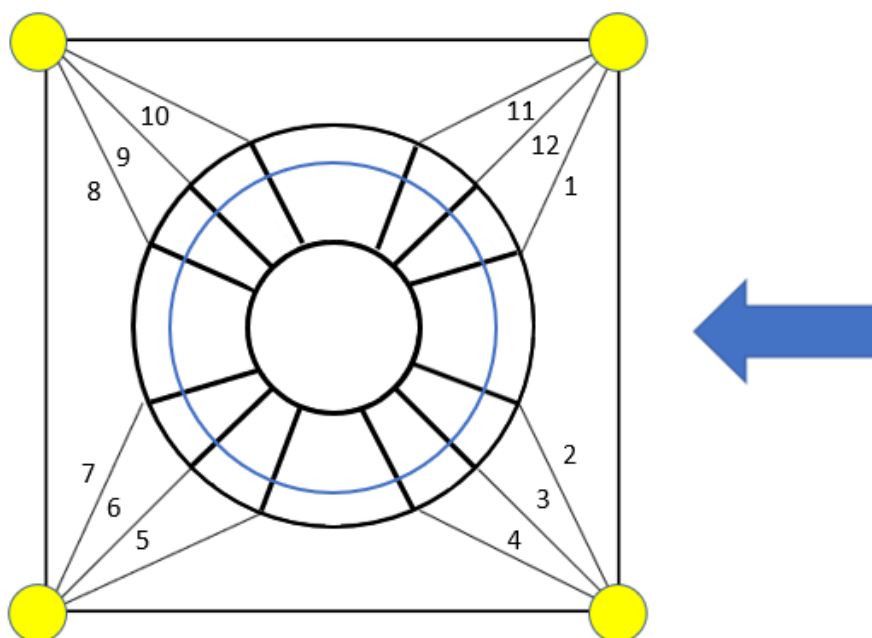
Simuleringene av et bølgeskjold som beskyttelse for krefter rundt snorkelen viser at skjoldet fungerer til sin hensikt. Beskyttelsen gjør at snorkelen holdes tilnærmet strak i moderate sjøtilstander, men oppnår en deformasjon i sterk sjø. Det antas at den videre kan modifiseres og fortøyres på andre måter for å gi enda bedre motstand mot deformasjon i snorkelen. For å se reduksjonen av deformasjonen til snorkelen i sammenheng med reduksjon av lus, kan Figur 3 trekkes frem igjen. Denne er som nevnt innledningsvis hentet fra Havforskningsinstituttets rapport, Snorkelmerd: Produksjonseffektivitet, adferd og velferd [4], og viser antall lus per fisk i gjennomsnitt, over 12 uker i sjø. Bølgeskjoldet vil muligens ikke løse luseproblemet, men det vil helt klart føre til mindre lus per fisk og dermed er behovet for avlusning mindre. Dersom snorkelen hever seg 7 meter som simulering i tilstand 1 uten bølgeskjold viser, kan man tolke figuren fra Havforskningsinstituttet som at det er fare for mer enn firedobling av lusepåslag sammenlignet med det dypet som snorkelen egentlig skal ha. Riktignok indikerer grafen i figuren påslag av lus over 12 uker, men det antas at dersom åpningen i bunn av snorkelen blir løftet opp så mange meter som simuleringene viser, så vil vann med mye lus trekke inn i snorkelen og feste seg på laksen over tid. I simulering av tilstand 2 blir forskyvning av bunnringen nærmest tredoblet for modell uten bølgeskjold sammenlignet med modell med bølgeskjold og bunnringen ender opp på 6-7 meters dyp. Når man ser Figur 3 med dybde på snorkel mot antall lus, ser man hvor mye en tredobling av forskyvningen betyr i forhold til lusepåslag. Derfor konkluderes det med at å installere en bølgedemper, basert på simuleringer i denne rapportens forhold, helt klart vil minske deformasjon i snorkelen og direkte føre til at påslag av lus blir mindre basert på det erfaring viser om lus.

#### 5.4.2 Forankringskrefter

Forankringskreftene er antatt å øke når massen som senkes ned i vannet får økte vekter, men fortøyres med samme fortøyning. For å gi en indikasjon på hvor mye forankringskreftene øker er det gjort simuleringer der kreftene i tauverk er undersøkt. Først er det kartlagt hvilken line som opplever den største aksialkraften, deretter er aksialkraften i den mest utsatte linen undersøkt. Dette er både gjort for den forenklede modellen og den forenklede modellen med bølgeskjold. Til slutt sammenlignes de, både for tilstand 1 og tilstand 2. Dersom kreftene i fortøyningen ikke øker på en slik måte at det må gjøres altfor mye endringer, kan den økonomiske gevinsten med et bølgeskjold være enorm.

## Lineinndeling

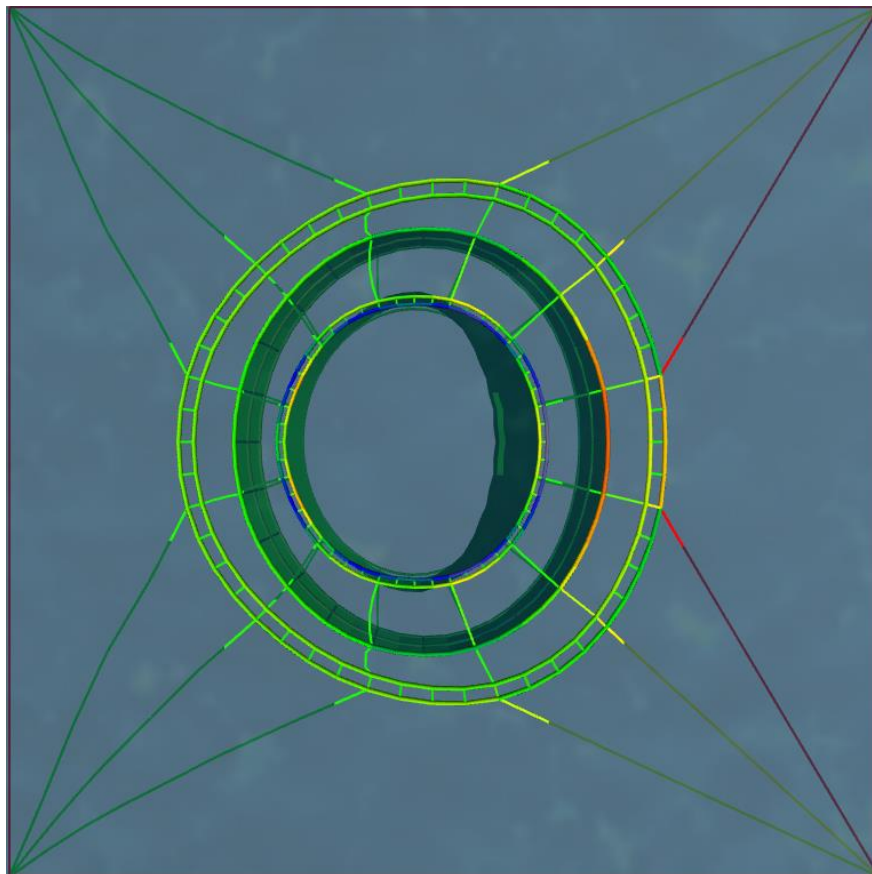
Ettersom bøylene er fastlåste punkt og fortøyningen til havbunnen er fjernet, er det linene i haneføttene som undersøkes. Det er disse som strekker seg fra bøylene til flytekragen og som har i oppgave å holde merden fast. Dermed er det disse tauene som er mest utsatt for krefter. Figur 56 viser merden ovenfra, med bølgeskjoldet montert og alle tauene/linene er nummerert. Bølger og strøm er satt på og kommer inn fra høyre side, illustrert med en blå pil. For å gjøre simuleringene mest mulig lik, fjernes linene som går fra bunnen av bølgeskjoldet og ut til de fire bøylene. På den måten er det de samme tolv linene som til enhver tid holder fast de forskjellige modellene.



Figur 56 – Nummerering av liner

De første simuleringene viser at det er line 1 og line 2 som er mest strekt og opplever høyest horisontale aksialkrefter. Disse er tilnærmet identiske ved simulert bølge- og strømretning på grunn av den symmetriske formen på strukturen og den symmetriske fortøyningen. Figur 57 viser merden og fortøyning sett ovenfra med fargekoder som illustrerer størrelsen av aksialkrefter. Fargekodene strekker seg fra blå, til gul og så til rød. De blå delene opplever minst krefter, mens der det er rød fargekode er kreftene størst. Ser av figuren at deler av line 1 og line 2 er farget i rødt. Dette gjelder også toppen av bølgeskjoldet der bølgene treffer. Dette betyr at disse delene er utsatt for størst aksialkrefter, hvilket er fornuftig siden bølgene og strømmen

kommer fra høyre side, som Figur 56 viser. Merden blir dyttet mot venstre og de tauene som holder igjen, på høyre side av konstruksjonen, blir mest strekt, se Figur 57.

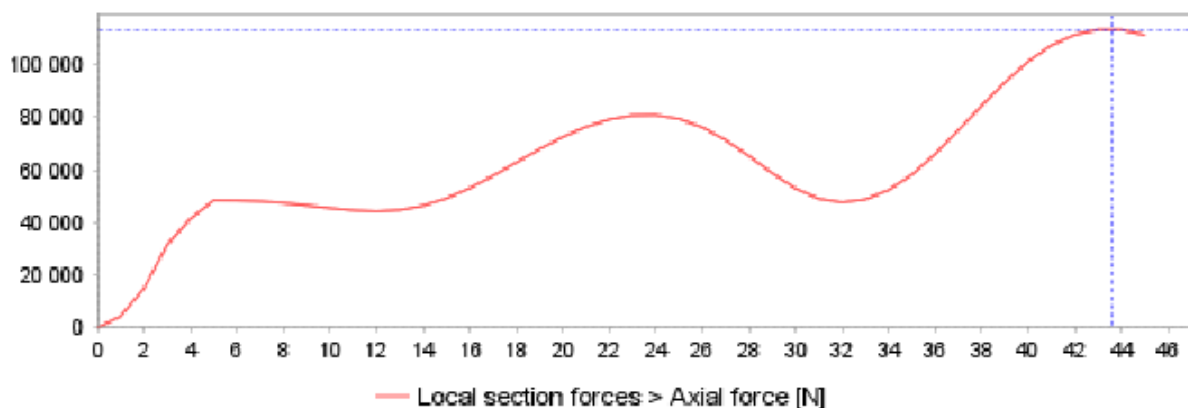


Figur 57 – Fargekoder, aksialkraft

### Tilstand 1 uten bølgeskjold

Figur 58 viser stegvis aksialkraften i line 1 i tilstand 1 for den forenklete snorkelmerden uten bølgeskjoldet montert. X-aksen viser tidssteg og y-aksen gir kraft i N. Statiske laster settes trinnvis på i løpet av de første stegene. Antall trinn for å bygge opp vind og strøm settes som en input. I de første 5 stegene settes strømmen på trinnvis og lineært. Når systemet oppnår statisk likevekt etter de første stegene starter den dynamiske analysen i tidsdomenet. Antall steg per bølge blir satt til 20, dette gir hvor mange tidssteg en bølgesyklus har for en regulær bølge. Input parameteren for å velge antall tidssteg i den totale dynamiske analysen kalles antall totale steg for bølger, denne settes til 40. Den første toppen, mellom steg 22 og steg 26, viser at bølgen er i ferd med å bygge seg opp, mens ved den siste toppen har både bølger og strøm bygget seg helt opp. Ved den siste toppen ser det ut til at analysen stabiliserer seg innenfor den

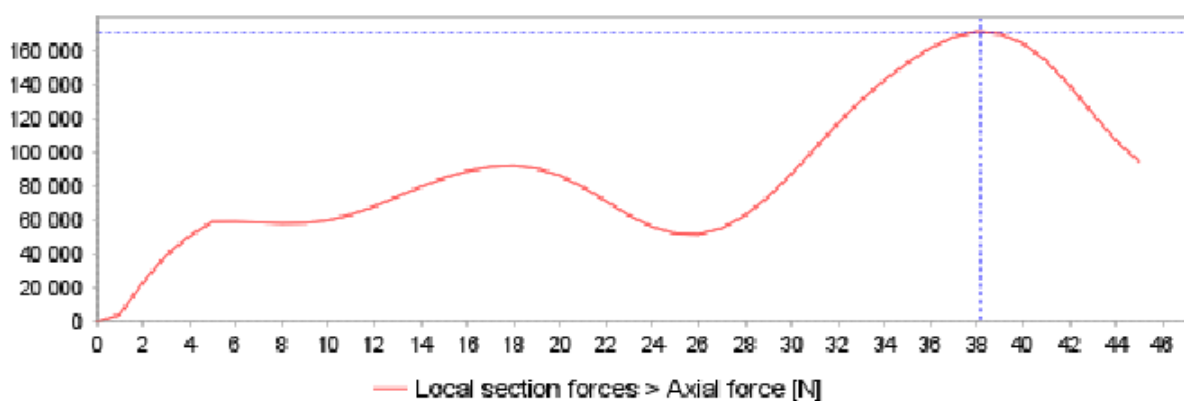
valgte simuleringslengden. Toppen for maksimal aksialkraft ser ut til å stabilisere seg på rundt 110 kN. Helt eksakt av analysen leses verdien for maksimal aksialkraft av i en tabell i AquaView til å være 113 300 N. De stiplede blå linjene i figuren er ment å indikere maksimumsverdi for aksialkraft.



Figur 58 – Tilstand 1, aksialkraft i line 1

### Tilstand 2 uten bølgeskjold

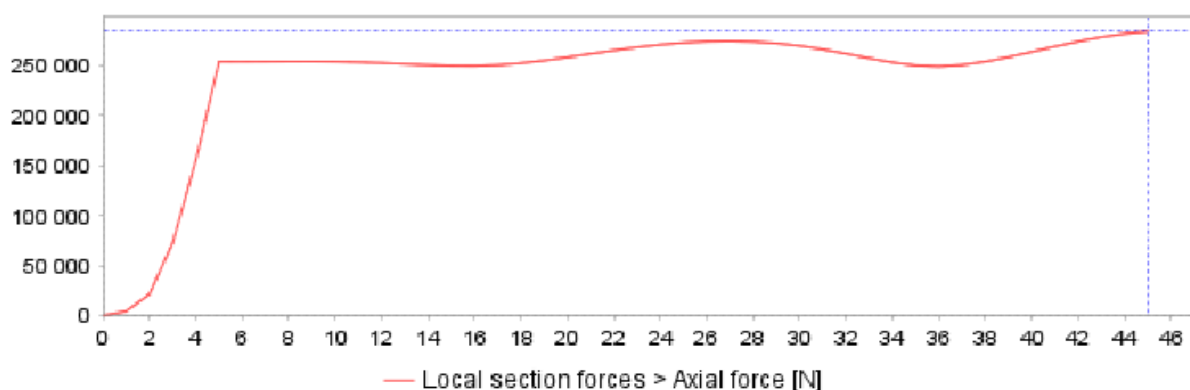
Figur 59 viser aksialkraften i line 1 i tilstand 2 for den forenklede modellen uten installert bølgeskjold. Dette ser fornuftig ut og som forventet er denne kraften større enn kraften i line 1 på samme modell kjørt i tilstand 1. Toppen til grafen ser ut til å treffe rundt 170 kN. Helt eksakt fra analysen leses verdien for maksimal aksialkraft av i en tabell i AquaView til å være 171 100 N i line 1.



Figur 59 – Tilstand 2, aksialkraft i line 1

### Tilstand 1 med bølgeskjold

Figur 60 viser aksialkraften i line 1 for tilstand 1 i de forskjellige stegene i analysen. Den maksimale aksialkraften line 1 opplever med et bølgeskjold montert i tilstand 1, ser ut til å være rundt 280 kN. Dette er betraktelig mer enn den maksimale kraften i linen til modellen uten bølgeskjold, hvilket er som forventet. Helt eksakt av analysen leses verdien for maksimal aksialkraft av i en tabell i AquaView til å være 284 400 N.

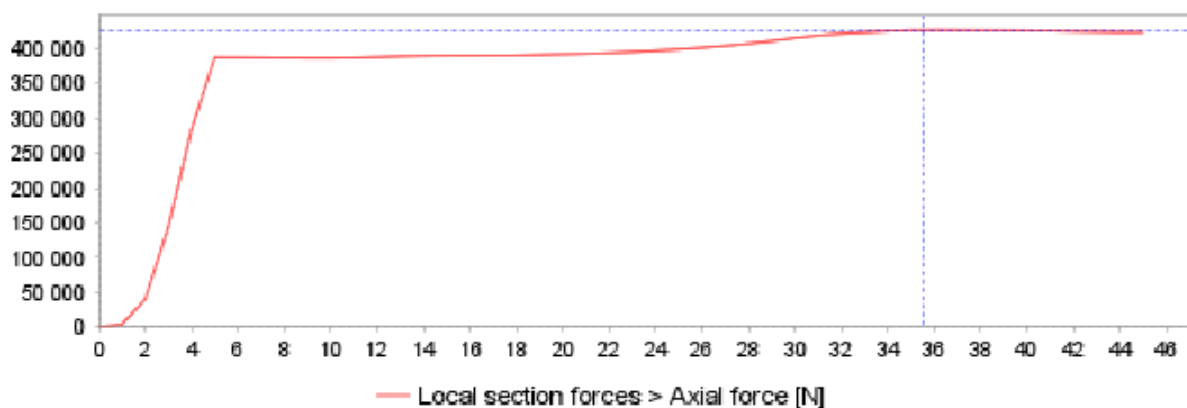


Figur 60 – Tilstand 1, aksialkraft i line 1, med bølgeskjold

### Tilstand 2 med bølgeskjold

Figur 61 viser aksialkraft i line 1 i hvert steg av analysen av den forenklete modellen med et installert bølgeskjold. Aksialkraften er økende ettersom strømmen gradvis settes på og bølgene bygger seg opp. Aksialkraften ser ut til å nå den høyeste verdien rundt 425 kN. AquaView gir maksimalkraften i line 1 i denne analysen en eksakt avlest verdi på 426 500 N. I forhold til at tilstand 2 har en økning på strømmen på ca 1,5 og større bølger ser dette ut til å være fornuftige verdier sammenlignet med maks aksialkraft i den samme linen i tilstand 1.





Figur 61 – Tilstand 2, aksialkraft i line 1, med bølgeskjold

### Sammenligning

Både med og uten bølgeskjold vil det være line 1 og line 2 i fortøyningen som opplever størst aksialkraft. I begge tilstandene som går igjen i oppgaven, tilstand 1 og tilstand 2, er det størst aksialkraft i linene til fortøyningen for modell med bølgeskjold. Dersom et stivt bølgeskjold plasseres rundt en deformerbar snorkel, vil bølgeskjoldet ta opp de kreftene som egentlig skulle gått til deformasjon av snorkelen og overføre disse kreftene videre til fortøyningen. I motsatt tilfelle med en deformerbar snorkel vil deformasjonen føre til at systemet ikke trenger å ta opp like mye krefter.

I tilstand 1 opplever den forenklede modellen en maksimal aksialkraft i den mest utsatte linen i fortøyningen på rundt 113 kN i denne simuleringen. I line 1 på en modell som har installert bølgeskjold, vil kraften være ca 284 kN. Det er en økning på 171 kN som er mer enn en dobling av kreftene. I tilstand 2 er den maksimale aksialkraften i den mest utsatte linen rundt 171 kN for modellen som ikke har bølgeskjold installert. For den modellen med installert bølgeskjold gir simuleringen en maksimal aksialkraft i line 1 på ca 427 kN. I tilstand 2 øker dermed aksialkreftene med rundt 256 kN.

Analysene viser at for begge tilfellene gjelder det at aksialkraft i den mest utsatte linen øker med mer enn dobbelt så mye, men mindre enn tredobbelt. Hva betyr dette for bedriften? For å være på den sikre siden antas det at fortøyningssystemet som bedriften benytter i dag må tredobles. Fortøyninger er dyrt og det antas en pris på omtrent 60 000 – 100 000 per line, med anker, tau og kjetting [12]. Haneføttene samt bøyer må gjerne også oppgraderes. Det antas en total kostnad på 10 millioner for å dekke oppgradering av fortøyninger.

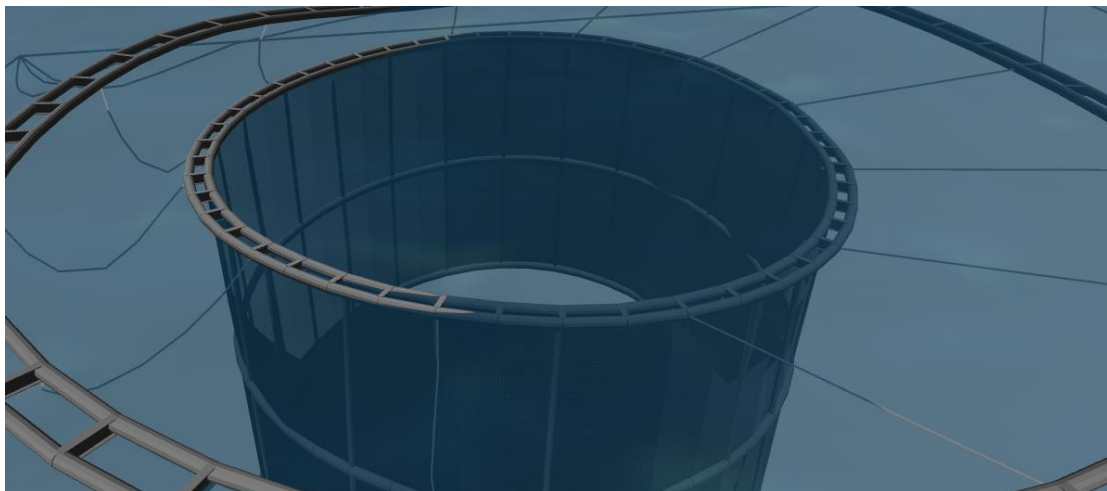
Bølgeskjoldet må lages og installeres. Det antas en kostnad på 200 000 kroner for selve skjoldet og for å leie et kranfartøy og få installert skjoldet regnes det en kostnad på 250 000 kroner per døgn. For 10 merder og leie av kran over 2 døgn blir kostnaden på 2 500 000 kroner. Dette medfører at oppgradering av fortøyning, innkjøp og installering av bølgeskjold kommer på rundt 12 500 000 kroner.

Kostnadene med å skaffe seg skjoldet og de oppgraderingene som hører med, må ses i sammenheng med reduksjon i kostnader knyttet til avlusning. Tanken er at bølgeskjoldet skal ha mulighet til å ligge i sjøen over lengre tid, gjerne rundt 5 sykluser med produksjon av fisk. Avlusning vil variere i kostnad etter hvilken størrelse det er på fisken, men det kan settes et generelt tall som omtrentlig økning i produksjonskostnader på 1 kr/kg per avlusning. For stor fisk antas en gjennomsnittlig kostnad på 5 millioner kroner per avlusning for et gjennomsnittlig norsk anlegg. Det antas at bedriften sparer minst en avlusning årlig på stor fisk og at det brukes ca 2 500 000 kroner til vedlikehold gjennom de fem årene. Da vil det i teorien være mulig for bedriften å spare rundt 10 millioner kroner over de fem årene.

## 5.5 Designendring 2 - Stiv sylinder

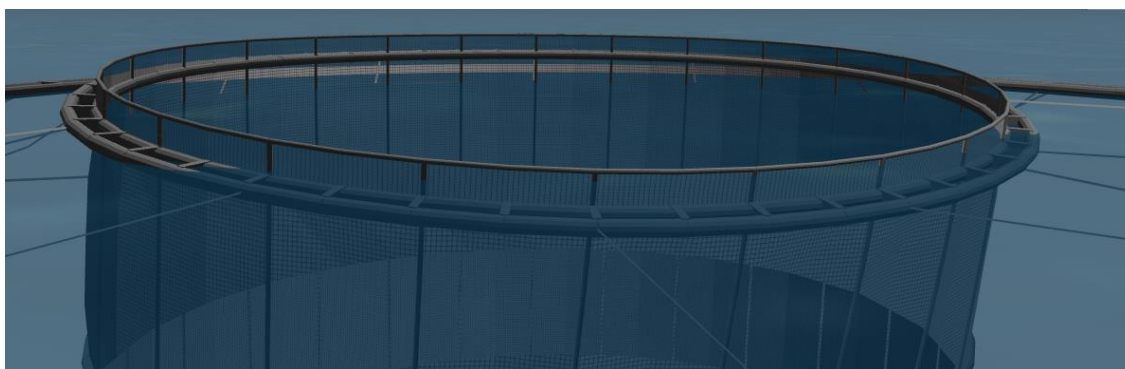
Dersom designendring 1 ses i sammenheng med den forenklede snorkelmodellen, er det fornuftig at det blir økte krefter i fortøyningen med et bølgeskjold installert. I tillegg blir det mer tauverk som benyttes fordi det er to sylindre som står i sjøen og må holdes fast. Bølgeskjoldet er veldig stort, kan være vanskelig å installere, vanskelig å fjerne ved avlusning og vil i tillegg være dyrt for en bedrift som skal benytte seg av dette. Tanken bak designendring 2 er å minimere kostnadene ved å minimere bølgeskjoldet og sette dette inn som en snorkel, eller med andre ord gjøre snorkelen helt stiv. I så tilfelle vil snorkelen være stiv, men duken og dens egenskaper vil være de samme med tanke på miljøet for fisken. I tillegg viser analysene av merd med bølgeskjold at selv om bølgeskjoldet tar opp krefter vil den ikke hindre snorkelen 100 prosent fra å bevege seg.

En testgjennomkjøring i tilstand 1 viser følgende: Snorkelen oppnår et nivå av krenkning, se Figur 62. Ettersom den bare er fortøyd i toppen vil den stive formen gjøre at deler av flytekragen vil trekke seg under når snorkelen krenger. Snorkelen holdes igjen i toppen og bunnen skyves sidelengs av bølger og strøm. Problemet med deformasjon er løst, men lus vil kunne strømme inn fra toppen og infisere laksen. Derfor må det gjøres det noen modifikasjoner på den stive snorkelen før denne kan settes i sjøen.



Figur 62 – Kregende snorkel

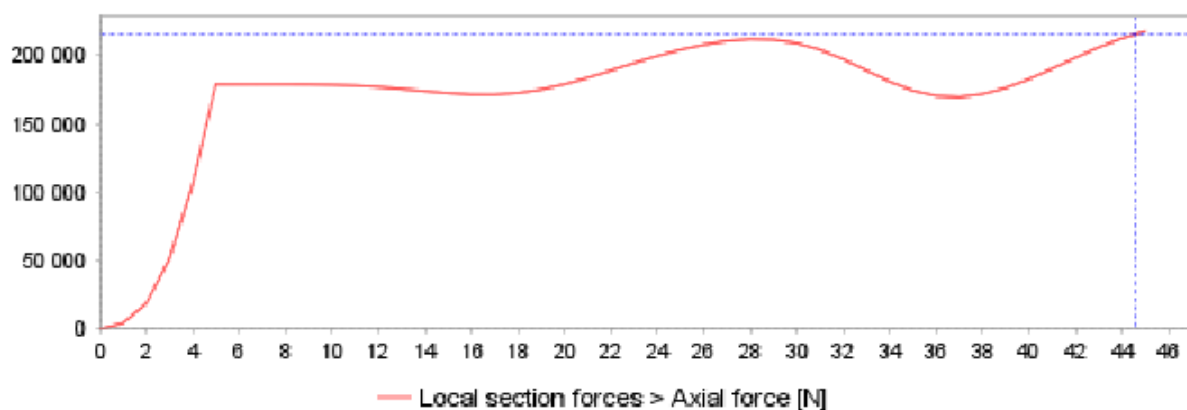
De vertikale stålstengene i stålrammen til den stive snorkelen strekkes 1 m lengre opp fra snorkelens flytekrage. På toppen av disse er det en ring i stål som kobler sammen stålstengene. Tuben strekkes også 1 m oppover og tetter rommet mellom stålstengene. Dette gjør det mulig for snorkelen å krenge til en viss grad uten at vann strømmer inn fra toppen. Snorkelen fortøyes også i nedre del fra hvert rammehjørne. Figur 63 viser toppen av snorkelen strekt 1 m opp fra vannoverflaten testet i en mild bølgetilstand.



Figur 63 – Toppen av stiv snorkel

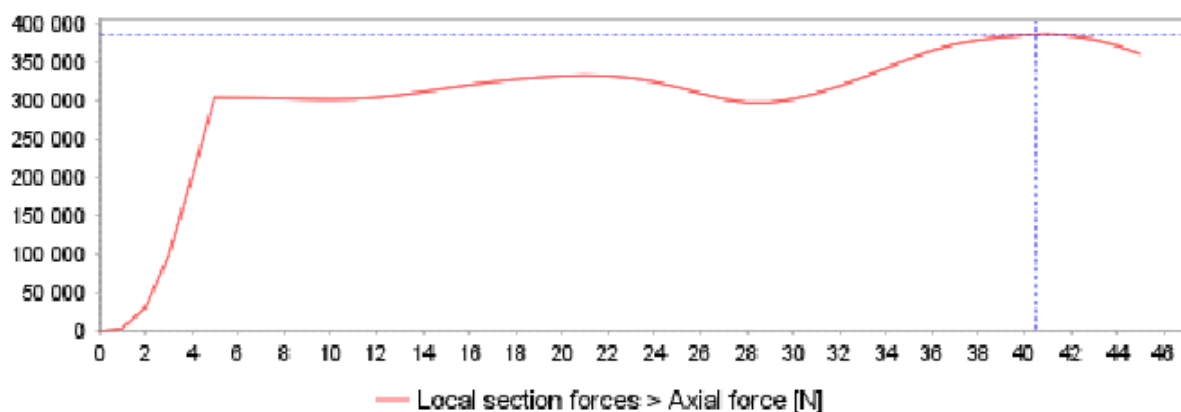
For tilstand 2, ekstremtilstand vil bølger fortsatt strømme over kanten, men for denne analysen er 1 m heving av snorkelen godt nok. Dette underbygges med at det hovedsakelig er sammenligning av krefter i linene denne analysen tar for seg. Dersom konseptet testes og utvikles videre kan høyden på snorkelen optimaliseres for å forhindre at lus trekker inn ovenfra. Selv om snorkelen bør fortøyes i topp og bunn når den skal installeres i sjø, gjøres analysen av maks aksialkraft uten at tau er festet i bunnen av snorkelen. Dersom snorkelen installeres i sjø

med tau i topp og bunn, er det tauene i toppen som er mest utsatt, det kommer av bølgeteori. I tillegg er det mest hensiktsmessig at alle modellene er festet på samme måte, slik at de lettere kan sammenlignes. Med andre ord tar også denne modellens analyse av fortøyingskrefter utgangspunkt i line 1, som tidligere vist i Figur 56. Vist grafisk i Figur 64 er aksialkraften i line 1 i tilstand 1 for den stive snorkelen. Den ser ut til å nå et maksimum der de stiplede blå linjene krysses, ved ca 215 kN. Helt eksakt av analysen leses verdien for maksimal aksialkraft av i en tabell i AquaView til å være 217 400 N.



Figur 64 – Aksialkraft i line 1 tilstand 1, stiv snorkel

For tilstand 2 ser aksialkraften i line 1 til den stive snorkelen ut til å stabilisere seg på et maksimum rundt 380 kN. Helt eksakt av analysen leses verdien for maksimal aksialkraft av i en tabell i AquaView til å være 385 600 N. Grafen for aksialkraften er vist i Figur 65.



Figur 65 – Aksialkraft i line 1 tilstand 2, stiv snorkel

For å gjøre det enklere å sammenligne kraften i line 1 i de forskjellige tilstandene og med forskjellig design er de eksakte maksimumsverdiene som er avlest i AquaView i de tre designene satt inn i Tabell 13.

Tabell 13 – Maks aksialkraft i line 1 for forskjellige design

Maks aksialkraft i line 1 [N]			
	Vanlig snorkel	Stiv snorkel	Bølgeskjold
Tilstand 1	113 300	217 400	284 400
Tilstand 2	171 100	385 600	426 500

Anslagvis på bakgrunn av simuleringene i oppgaven vil det være mulig at den maksimale aksialkraften en av linene i fortøyningen vil oppleve, på et tidspunkt øker med 90-120 % fra en vanlig snorkel til det designet med en stiv snorkel. Det er viktig å poengtere at dette fortsatt bare gjelder forenklete design der det er tatt utgangspunkt i snorkelen, ikke noten rundt, bunnringsvekt til den totale merden osv. Ettersom den komplette merden består av så mye mer, vil sannsynligvis de totale kreftene ikke mer enn doble seg.

Hva betyr dette for bedriften? En stiv snorkel vil ikke deformere seg. Ved å benytte seg av en stiv snorkel, er det eneste som påvirker hvor mye lus som kan komme på fisken hvor dypt lusen går og i hvilken grad det går an å holde den stive snorkelen vertikalt i sjøen. Dermed kan en løsning på problemstillingen i oppgaven være at bedriften installerer en stiv snorkel, oppbygd av en stålramme og den samme duken som den vanlige snorkelen består av. I forhold til avlusning vil dermed mange millioner kroner være spart, men det vil bli behov for oppgradering av fortøyningssystemet med tilhørende oppdrift for den stive snorkelen. Den stive snorkelen kan ha samme dimensjoner som den tidligere snorkelen og passer dermed godt inn i den originale merden. På bakgrunn av de opplysningene som kommer frem gjennom denne oppgaven ser det ut til å være flere fordeler enn ulemper med å benytte seg av en stiv snorkel.

For å gi et svar på om dette er en endring som bedriften kan tjene penger på må det gjøres et grundig regnskap der ingenting utelates. Produksjonskostnad på stiv snorkel, ekstra oppdrift, demontering ved avlusning, ekstra fortøyning, installering og vedlikehold. På den andre siden kan det med et kjapt overslag antas at dersom avlusning ikke blir nødvendig og den stive snorkelen egner seg til gjenbruk, vil en stiv snorkel med stor sannsynlighet være en fordelaktig

investering for bedriften. Disse antagelsene gjøres på bakgrunn av dette helt simple førsteutkastet. Det tenkes at snorkelen utvilsomt kan optimaliseres mer og den må testes grundigere.

## 6 Konklusjon

Målet i denne oppgaven var å undersøke deformasjonen til snorkelen i en snorkelmerd og svare på om det finnes tiltak som forbedrer motstanden mot deformasjon. Deformasjonen gjør at lus slipper inn til laksen og dermed mister konseptet litt av sin hensikt, som er å skape avstand mellom laks og lakselus. Oppgaven sikter på å formidle tiltak for å løse denne utfordringen med snorkelmerden ved hjelp av numeriske analyser uten sammenligning med eksakte data fra modellforsøk eller fra lokalitet.

Undersøkelser i forhold til deformasjon i snorkelen, er gjort gjennom modellering og simulering av en forenklet snorkelmerd i AquaSim med parameterendringer i bunnringen til snorkelen. Tidlig i resultatkapittelet ble det gjort til kjenne at den forenklete modellen er representativ for den komplette modellen basert på innledende analyser som sammenligner disse to. Det er også presentert to nye designendringer basert på det originale konseptet, bølgeskjold og stiv snorkel. Resultater fra analyser av forenklet snorkelmerd med parameterendring, bølgeskjold og stiv snorkel har ledet til to typer forbedringstiltak. En type tiltak som med bakgrunn i analysene ser ut til å gjøre det mulig å forminske deformasjonen og en type tiltak som kan forhindre deformasjonen.

De tiltakene som ser ut til å delvis kunne løse utfordringen med deformasjon i snorkelen er å øke stivheten i bunnringen og hovedsakelig vekten i bunnringen. Dette er også de tiltakene som kan være enklest å iverksette ettersom de ikke krever at designet til merden endres. Analysene antyder at ved for liten stivhet i bunnringen vil bunnringen bøye seg opp på den siden bølger og strøm kommer fra, se Figur 50. Dette kommer av deformasjon i snorkelen og vil gjøre det mulig for lus å komme inn til fisken. Bunnringsvekten har en direkte sammenheng med deformasjonen i snorkelen og hvor høyt bunnringen løfter seg. Resultatene viser at det må en veldig tung bunnring til for å holde snorkelen tilnærmet strak. Det må derfor gjøres en avveining om en liten økning i vekten, samt stivheten i bunnringen er godt nok og dermed godta en liten deformasjon. En økning i vekten og stivheten i bunnringen må ses i sammenheng med kostnad for å øke fortøyning og oppdrift, i tillegg til risiko for at duken ikke tåler den ekstra påkjenningen.

Bølgeskjoldet er et tiltak som har som mål å delvis forminske deformasjonen i snorkelen, eventuelt hindre deformasjonen helt dersom skjoldet optimaliseres. I utgangspunktet er dette et tiltak som kan iverksettes på merder som alt står i sjøen og har satt i gang med lakseproduksjon. Bølgeskjoldet er en stor konstruksjon som vil kreve en økonomisk satsing fra selskapet.

Analysene antyder at deformasjonen i snorkelen reduseres med mellom 60 - 70 % med et installert bølgeskjold, men i tillegg mer enn dobles aksialkraften i den mest utsatte linen i fortøyningen. Simuleringene tyder på at fortøyningssystemet må dobles eller tredobles for å tåle kreftene som tas opp av bølgeskjoldet. Det må gjøres flere analyser for å kunne konkludere med om dette er en gunstig investering. Snorkelen oppnår ikke en like stor deformasjon dersom skjoldet er installert, men om bedriften fortsatt må avluse vil et bølgeskjold i merden føre til praktiske utfordringer. Uansett er det fornuftig å anta at dersom bølgeskjoldet konstrueres med lang levetid, høy motstandsdyktighet og dermed lite behov for vedlikehold og i tillegg optimaliseres slik at det er mulig å unngå avlusing, vil det gi bedriften en økonomisk fordel.

Dersom selskapet ikke godtar noen grad av deformasjon i snorkelen antyder analysene at snorkelen må avstives. Gjerne i form av en stålramme kledd i duken fra den originale snorkelen, som denne oppgaven beskriver. En optimalisert stiv snorkel som er fortøyd på korrekt måte vil hindre deformasjon, men oppgaven gir ikke løsninger på andre problemer som vil kunne oppstå med et slikt design. Analysene antyder at aksialkreftene i den mest utsatte linen vil dobles med den stive snorkelen. Derfor må fortøyningssystemet oppgraderes og muligens må duken gjøres enda sterkere for å tåle kreftene. Uansett vil fortøyningskrefter ikke bli like store som de blir dersom et bølgeskjold installeres. I tillegg er det naturlig å anta at ved å tilpasse snorkelen den merden som blir brukt i dag, kan mye av det samme utstyret direkte overføres fra fleksibel til stiv snorkel. Dersom avlusing blir nødvendig, vil også den stive snorkelen være til hinder i denne prosessen, men tanken er at dersom denne konstrueres på riktig måte og fortøyes helt strak, så kan avlusing være mulig å unngå.

Det er viktig å poengtere at konklusjonene i denne oppgaven baserer seg på teoretiske enkeltscenarier og det benyttes modeller som er veldig forenklet. Ingen resultater er testet i praksis og designendringene er ideer som må videreutvikles og som med stor sannsynlighet kan optimaliseres til å gi bedre resultat. Oppgaven har ikke tatt hensyn til praktiske utfordringer som parameterendringer og designendringer kan forårsake, men har forsøkt å undersøke og svare på problemer knyttet til å unngå deformasjon.



## 7 Videre arbeid

Som en del av det videre arbeidet fra denne oppgaven kan det være av interesse å sammenligne analysene gjort i AquaSim med forsøk gjort på modeller i en bølgetank. Det kan være interessant å optimalisere modellene og det bør gjøres flere analyser i AquaSim for å finne ut hvilken modell det burde satses på. Etter oppnådde resultater fra en optimalisert modell må den valgte modellen skaleres og bygges.

Det kan også være interessant å se på den såkalte timeglasseffekten som Eide opplever på sin lokalitet Langøy. Det kan gjøres undersøkelser av hva som forårsaker denne og hvordan det er mulig å unngå den. Teorien er at vann med forskjellig temperatur og saltholdighet forårsaker en vertikal strøm på innsiden av duken som fører til undertrykk i snorkelen.

## 8 Referanser

- [1] Richardsen R, Myhre MS, Tyholt IL, Johansen U. Nasjonal betydning av sjømatnæringen. Rapport fra Sintef, rapportnummer: 2019:00469, 20.06.2019.
- [2] Lekre O. Norsk oppdrettsnæring. [Internett]. Barentswatch i samarbeid med fiskeridirektoratet. Oppdatert 03.05.2012 [hentet 15.01.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.barentswatch.no/artikler/Norsk-oppdrettsnaring/>
- [3] Midt-Norsk Havbruk AS. Aquatraz – Morgendagens lakseproduksjon. [Internett]. [Hentet 01.02.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.mnh.no/aquatraz/>
- [4] Oppedal F, Dempster T, Stien LH. Snorkelmerd: Produksjonseffektivitet, adferd og velferd. Rapport fra Havforskningsinstituttet, Nr.9-2016
- [5] Norsk Industri. Veikart for havbruksnæringen. [Internett]. [Hentet 05.02.2020] Tilgjengelig fra: <https://www.norskindustri.no/siteassets/dokumenter/rapporter-og-brosjyrer/veikart-for-havbruksnaringen---kortversjon.pdf>
- [6] Havforskningsinstituttet. Tema: Lakselus. [Internett]. Publisert 17.12.2018, oppdatert 07.02.2020 [hentet 10.02.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus>
- [7] Norsk institutt for naturforskning. Thorstad EB, Finstad B. Impacts of salmon lice emanating from salmon farms on wild Atlantic salmon and sea trout. [Internett]. Publisert 2018 [hentet 10.02.2020]. Tilgjengelig fra: <https://brage.nina.no/nina-xmlui/handle/11250/2475746>
- [8] Regjeringen. Regjeringen skrur på trafikklyssystemet i havbruksnæringen. [Internett]. Publisert 04.02.2020 [hentet 10.02.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-skrur-pa-trafikklyset-i-havbruksnaringen/id2688939/>
- [9] Stien LH, Dempster T, Bui S, Glaropoulos A, Fosseidengen JA, Wright DW, Oppedal F. Snorkel' sea lice barrier technology reduces sea lice loads on harvest-sized Atlantic salmon with minimal welfare impacts. ScienceDirect Aquaculture, volume 458. 1. Mai 2016, side 29-37
- [10] Egersundnet. Tubenot. [Internett]. [Hentet 15.02.2020] Tilgjengelig fra: <https://www.egersundnet.no/produkter/tubenot>
- [11] Kommunikasjon med Roaldsnes K, Akvagroup, 2019-2020
- [12] Kommunikasjon med Eide E, Eide Fjordbruk, 2019-2020
- [13] Sintef. CREATE. [Internett]. Publisert 08.11.2011 [hentet 15.02.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/prosjekter/create/>

- [14] Havforskningsinstituttet. 75 prosent færre lakselus med ny merdtype. [Internett]. Publisert 11.11.2019, oppdatert 18.11.2019 [hentet 15.02.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/hi/nyheter/2019/november/75-prosent-ferre-lakselus-med-ny-merdtype>
- [15] Sarpkaya T. Wave Forces on Offshore Structures. Cambridge University Press, 2010
- [16] Chakrabarti SK. Hydrodynamics of offshore structures. Computational Mechanics Publications, 1987
- [17] Morison JR, O'Brien MP, Johnson JW, Schaaf SA. The Force Exerted by Surface Waves on Piles. Petroleum Transactions, Aime, Vol. 189, 1950
- [18] Sumer BM, Fredsøe J. Hydrodynamics around cylindrical structures. Advanced Series on Ocean engineering – Volume 26, World Scientific
- [19] MacCamy RC, Fuchs RA. Wave Forces on Piles: A Diffraction Theory. U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, teknisk memorandum nr. 69, 1954
- [20] Çengel YA, Cimbala JM. Fluid Mechanics – Fundamentals and Applications. McGraw-Hill Companies, 3.utgave, 2014
- [21] Zienkiewicz OC, Taylor RL, Nithiarasu P. The Finite Element Method for Fluid Dynamics. 7. utgave, 2014
- [22] Kommunikasjon med Wroldsen OC, Aquastructures, 2019
- [23] Gansel LC, Plew DR, Endresen PC, Olsen AI, Misimi E, Guenther J, Jensen Ø. Drag of Clean and Fouled Net Panels – Measurements and Parameterization of Fouling. PLOS ONE, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0131051
- [24] Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering. Effektivitet ved alternative metoder for begroingskontroll. [Internett]. Publisert 05.12.2016 [hentet 23.03.2020] Tilgjengelig fra: <https://www.fhf.no/nyheter/nyhetsarkiv/begroing/>
- [25] Standard Norge, NS 9415.E:2009. Flytende oppdrettsanlegg - Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift. 1. utgave 10.11.2009
- [26] Aquastructures AS. User manual AquaEdit. Trondheim, 2017
- [27] Aquastructures AS, A. J. Berstad. The AquaSim Package Theory user manual. Teknisk rapport, dokument nr: TR-30000-2049-2018

- [28] Løland G. Current forces on and flow through fish farms. Doktor ingeniøravhandling, Norges tekniske høgskole. Trondheim, 1991
- [29] CERTEX. Forankringsbøyer. [Internett]. [Hentet 03.03.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.certex.no/produkter/havbruk/forankringsboyer-cb-p45307>
- [30] CERTEX. Bunnfeste. [Internett]. [Hentet 03.03.2020] Tilgjengelig fra: <https://www.certex.no/produkter/havbruk/bunnfeste-c39243>
- [31] CERTEX. Anker og mooring kjetting. [Internett]. [Hentet 10.03.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.certex.no/produkter/ankring-og-fortoyning/anker-og-mooring-kjetting-c45269>
- [32] CERTEX. Fibertau. [Internett]. [Hentet 19.03.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.certex.no/produkter/fibertau-c42119>
- [33] CERTEX. Sjakler. [Internett]. [Hentet 19.03.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.certex.no/produkter/ankring-og-fortoyning/sjakler-c45411>
- [34] Akvasafe AS. Rapport - Fortøyningsanalyse anlegg Langøy. Teknisk rapport, dokument nr: FR-12001-0268
- [35] NauticalCampus. Skip i sjøgang, belastning i bølger. [Internett]. [Hentet 22.03.2020]. Tilgjengelig fra: <http://naca.no/skip-i-sjogang-belastning-i-bolger/>
- [36] Aquastructures AS. User manual AquaView. Trondheim, 2017
- [37] Aquastructures AS. User manual AquaTools. Trondheim, 2017