

Dynamisk bevegelse til flytende vindturbin for rensing av sjøvann

Henrik Uthaug Brügger

Bacheloroppgave i [Marinteknikk]
Bergen, Norge [2020]





Dynamisk bevegelse til flytende vindturbin for rensing av sjøvann

Henrik Uthaug Brügger
Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

English title: Seakeeping of floating wind turbine for desalination off seawater

Forfatter(e), studentnummer: Henrik Uthaug Brügger 181314

Studieprogram: [Marinteknikk]
Dato: Mai 2020
Rapportnummer: IMM 2020-5-25 (M35)
Veileder ved HVL: Jan Michael Simon Bartl
David Roger Lande-Sudall
Oppdragsgiver: Rwpower as
Oppdragsgivers referanse: Torger Tveter
Antall filer levert digitalt: 1

Forord

Denne oppgaven går ut på å teste bølgeresponsen i forskjellige sjøtilstander for en flytende spar-buoy vindturbin modell. Vindturbinen er en del av et prosjekt av Torger Tvetter som ser på bruken av vindkraft til å produsere rent vann. Prosjektet blir utført ved Institutt for Maskin og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Veiledere ved IMM er Jan Michael Simon Bartl og David Roger Lande-Sudall. Prosjektet er et samarbeid mellom Torger Tvetter har og Hurum Plastindustri.

Underveis i prosjektet her jeg fått mye god hjelp av veilederen mine Jan Michael Simon Bartl og David Roger Lande-Sudall som gav gode tilbakemeldinger, hjelpe med fagstoff og dataprogrammer samt praktiske ting under testingene. Spesiell god takk til dem. Også en takk til Gloria Stenfelt, Bernt Hustad Hembre og Torger Tvetter for all hjelpen med forberedelser til forsøkene og selve forsøkene.

Sammendrag

Mangel på ferskvann er et kjent problem mange steder på jorda. Også områder som har rikelig med vann kan ha store problemer med å få nok ferskvann. Et prosjekt av Torger Tvetter har som formål å teste bruken av en flytende vindturbin for å drive et omvendt osmoseanlegg for å rense sjøvann til ferskvann.

I denne oppgaven testes den flytende spar-buoy vindturbin på Marin lab ved Høgskolen på Vestlandet med tanke på dens dynamiske bevegelse. Vindturbinen har en enkel fortøyningsmetode som er en mono-linefortøyning til et lodd på havbunnen og en ny fortøyningsmetode med ei plate undersom skal hjelpe med å stramme linen slik at modellen dras tilbake på plass. Modellen som er skalert 1:10 testes i et bølgebasseng med ulike bølgehøyde og periode. Bevegelsene til modellen tas opp i Qualisys Motion Capture system i de seks frihetsgradene mens bølgene blir målt med to bølgehøydemålere. Testene ser på om den nye fortøyningsmetode vil gi en merkbar forbedring på den dynamiske bevegelsen.

Resultatene fra prosjektet viser at den nye fortøyningsmetoden ikke vil gi en merkbar bedre dynamisk bevegelse enn mono-linemetoden og at for irregulære bølger vil mono-linemetoden være bedre.

Abstract

This project aims to find the seakeeping of a spar-buoy wind turbine. The wind turbine is intended to produce power for a mechanical reverse osmosis plant. The project looks at two mooring methods for the wind turbine and compares their seakeeping to find out if there are any significant differences between them.

The results from the project show that a new mooring method does not give the wind turbine better seakeeping.

Innhold

Forord.....	1
Sammendrag.....	3
Abstract.....	5
1. Innledning	9
2. Teoretisk metode	11
2.1 Bølgespekter.....	11
2.2 Response Amplitude Operator.....	11
3. Eksperimentell Metode.....	13
3.1 Marin lab	13
3.2 Modell	14
3.2.1 Ny fortøningsdel.....	14
3.2.2 Oppdriftspongtonger.....	14
3.3 Ballast.....	15
3.4 Bølgegenerator	16
3.5 Bølgehøydemåling.....	17
3.6 Bevegelsesanalyse	17
3.7 Fortøyning	18
3.7.1 Mono-line Fortøyning.....	18
3.7.2 Nytt fortøyningskonsept	18
3.8 Decay test	18
3.9 Vindlast	18
3.10 Databehandling.....	18
3.11 Eksperimentelle usikkerheter.....	19
3.11.1 Problemer med vindlast	19
3.11.2 Mindre usikkerheter.....	19
4. Resultater og diskusjon.....	21
4.1 Bevegelsesanalyse av Irregulære bølger	21
4.1.1 Modell med mono-line fortøyning.....	21
4.1.2 Ny Fortøyningsmetode	26

4.2	Bevegelsesanalyse med regulære bølger.....	29
4.3	Forankring (lodd)	33
5.	Konklusjon	35
	Referanser	36

1. Innledning

Selv om vann dekker mesteparten av jordas overflate, er det meste av dette saltvann som ikke er nyttig for oss mennesker. Mye av det vannet som ikke er saltvann finnes som is eller under jordas overflate og er derfor ikke lett tilgjengelig. Dette gjør at rent vann er en ettertraktet resurs som det blir mindre tilgang til ettersom 70 prosent av ferskvannet blir brukt til matproduksjon (1), og disse vannkildene blir overbrukt. Spesielt isolerte områder sliter med tilgangen på rent vann på grunn av geografiske begrensninger eller mangel på teknologi til å utnytte de vannkildene som finnes.

Et slik geografisk begrenset område er øyer som gjerne er isolert fra fastlandet og andre øyer. De har bare tilgang på de lokale vannkildene noe som gjør øysamfunn sårbare for endringer i vannkildene, enten som følge av klimaendringer eller naturlige og menneskeskapte katastrofer. For å minske sårbarheten kan øysamfunn mangfoldiggjøre hvor de får vannet fra.

En løsning har vært å filtrere ut saltet fra sjøvann ved å presse vannet gjennom en membran slik at man får ferskvann. Dette kalles omvendt osmose og er den vanligste måten og lage ferskvann fra sjøvann og brakkvann (2). For en slik prosess trenger høyt trykk for å kunne fungere noe som gjør omvendt osmose plass og energikrevende. Et dilemma med omvendt osmose av sjøvann er at det produseres et avfallsprodukt av svært saltholdig vann som ikke er bra for naturen. Fordi slike anlegg ofte er plasskrevende og plassert i områder mindre utsatt for havet, skapes det lokal forurensning av vann med mye saltinnhold.

En løsning er å plassere disse anleggene til havs der havstrømmer kan ta med seg det avfallsproduktet, og spre det over et større område slik at det blir ufarlig for naturen. Et dilemma med dette er at det trengs mye energi i prosessen. Et anlegg på land vil kunne få strøm fra det vanlige strømmettet mens til havs blir dette vanskelig. Dermed må man produsere energien på selve anlegget. Dette kan for være gjennom vindkraft som det allerede finnes til havs, enten plassert på bunnen eller flytende.

Flytende vindturbiner er et ganske nytt konsept som først ble introdusert på 1970 tallet, men ble ikke tatt i bruk før i 2009 da Equinor (Statoil) satte ut Hywind utenfor Karmøy i Norge (4). Vindturbinene blir plassert på flyteelement som kan varieres med ulike fasong og konsept. De mest vanlige flyteelementene er Spar-buoy og Semi-submersible som stabiliseres på forskjellige måter. En Spar-buoy [1] er stabilisert ved hjelp av ballasten mens en Semi-submersible [1] er stabilisert ved hjelp av oppdrift (6). Både flytelementene og fortøyningsystemet brukt på flytende vindturbiner har i stor grad blitt påvirket av tidligere havgående petroleumsinstallasjoner.

Dette prosjektet handler om å kunne produsere energien fra en flytende vindturbin for til en pumpe, for å lage det nødvendige trykket for å kunne drive ett omvendt osmose system. Vindturbinen vil drive en mekanisk pumpe på mellom 6 og 10 kilowatt direkte med den mekaniske energien fra turbinen som

vil sitte i selve tårnet. Dette gjør at det ikke trengs strøm til denne prosessen da energien fra turbinen blir direkte overført til pumpen. Vindturbinen vil også være konstruert slik at den vil følge vinden og plassere seg medvinds og dermed vil alltid ha vindlasten direkte mot seg. Flyteelementet som er en Spar-buoy [1] vil være konstruert slik at den kan tas fra hverandre ved behov, og lett flyttes til et nytt område eller pakkes sammen. For å gjøre prosessen enklest mulig vil vindturbinen ha en enkel mono-line fortøyning festet til et lodd slik at den kan raskt settes på plass eller tas vekk. Fortøyningen vil også trekke flyteelementet ned i vannet slik at det vil være en kraft som vil trekke det oppover.

Forsøket har som mål å finne ut om flyteelementet og fortøyningen gjør vindturbinen stabil nok til å tåle små og moderate bølger samt vinden som vil virke på turbinen. Også bevegelsene og den naturlige frekvensen til vindturbinen skal måles for å finne responser som kan skade stabiliteten og føre til slitasje på konstruksjonen. Et nytt fortøyningssystem vil også testes i tillegg til den enkle mono-line fortøyningen, for å se om denne har en merkbar forbedring på stabiliteten og bevegelsene.

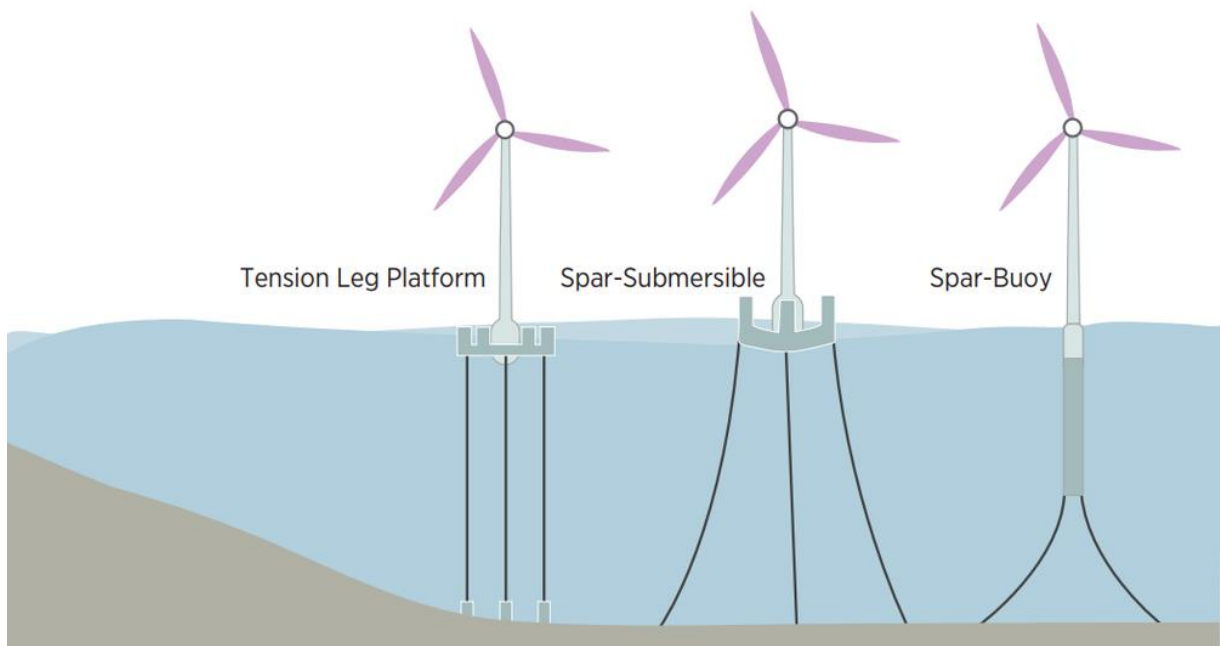


Figure 1: Illustrasjon av de tre mest brukte flytelegemene for flytende vindturbiner (Illustrasjon IRENA) (5) [1]

2. Teoretisk metode

Denne delen inneholder en beskrivelse av de teoretiske begrepene brukt i forsøkene

2.1 Bølgespekter

Standardiserte bølgespekter blir brukt når det ikke finnes et virkelig bølgespekter for området og sjøtilstanden som ønskes i analysen. De standardiserte bølgespektrene blir brukt som en form for gjennomsnitt for et bestemt spekter. Disse bølgespektrene er basert på forskjellige havområder slik som Nord-Atlanteren for Pierson-Moskowitz og Nordsjøen for JONSWAP (8). I dette forsøket er JONSWAP brukt da vindturbinen er tenkt å også kunne brukes i oppdrettsnæringen som finnes langs norskekysten.

2.2 Response Amplitude Operator

Response Amplitude Operator RAO er en statesikk som viser størrelsen på bevegelser i forskjellige sjøtilstander. Statistikken blir regnet ut ifra forholdet mellom respons amplituden og bølge amplituden.

$$RAO = \frac{Y_A}{X_A}$$

3. Eksperimentell Metode

Denne delen inneholder en beskrivelse av metodene som er brukt i forsøket og teorien bak, samt en beskrivelse av modellen og forskjellene på forsøkene.

3.1 Marin lab

Marin lab ligger på Høgskolen på Vestlandet sitt campus på Kronstad i Bergen og er en del av ingeniør labbene der. Labben har et basseng på 50 gange 3 meter og en vanndybde på 2.2 meter med en «6 force-feedback flap-type wave paddles»-bølgemaskin (3) som kan lage regulære og irregulære bølger med en amplitude på opp til 0.25 meter. Bassenget har også en slepevogn for å slepe modeller.

For å produsere irregulære bølger har labben programmet Njord som kan lage bølgespekter samt vanlige sinus-bølger. Programmet ble i forsøkene brukt til å produsere Jonswap spekteret.

For analyse av bevegelse har labben et kamerasystem kalt Qualysis Motion Capture System som kan fange opp bevegelsen til modellen ved å fokusere på flere markører som blir plassert på modellen.

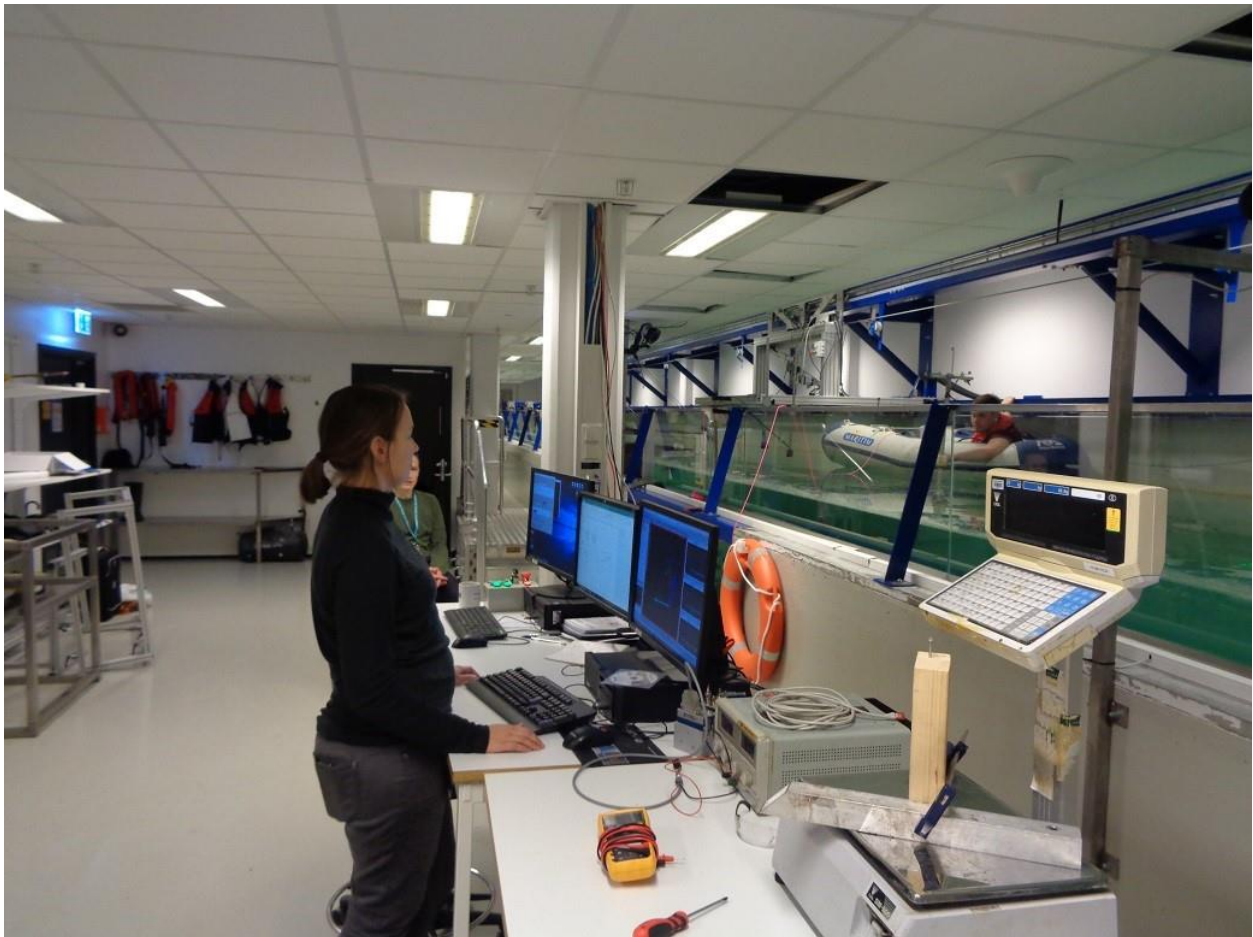


Figure 2: Marin lab. Student i gummibåt i tank og lærere som konfigurere Qualysis Motion Capture System

3.2 Modell

Modellen ble gitt av oppfinner Torger Tvetter til prosjektet. Den har et flyteelement laget av et 1.4 meter langt plastrør med en diameter på 0.09 meter. På toppen av flyteelementet er det en flens som kobler sammen et metallrør med en diameter på 0,045 meter og en lengde på 0,95 meter. I tillegg er det et metallrør med en diameter på 0,05 meter og lengde 0,96 meter som kan tres på det første metallrøret og så justeres for å få riktig høyde på modellen. Dette siste metallrøret ble ikke tatt med i forsøket fordi det gav en nesten dobling av vekten på toppen av modellen mens den ekstra høyden utgjorde bare en fjerdedel.

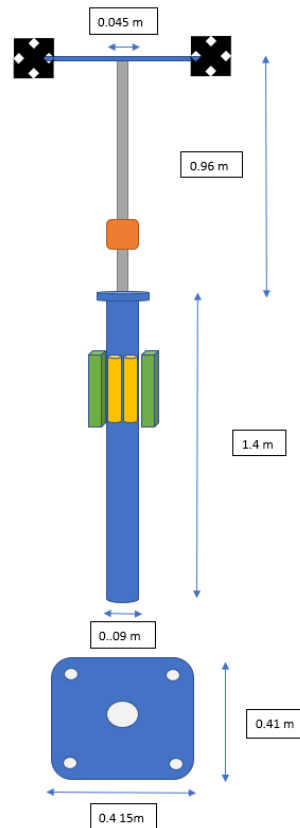


Figure 3: Modell uten ballast og med ny fortøyningsmetode

3.2.1 Ny fortøyningsdel

En plate på 0,41 gange 0,415 meter med en tykkelse på 0,025 meter blir festet til modellen. Denne har et tynt rør i midten med en diameter på 0,09 meter og høyde på 0,1 meter slik at delen kan tres på nederst på flyteelementet. Røret har et kutt på langs slik at det kan klemmes seg på flyteelementet ved hjelp av å spenne en skrue.

3.2.2 Oppdriftspongtonger

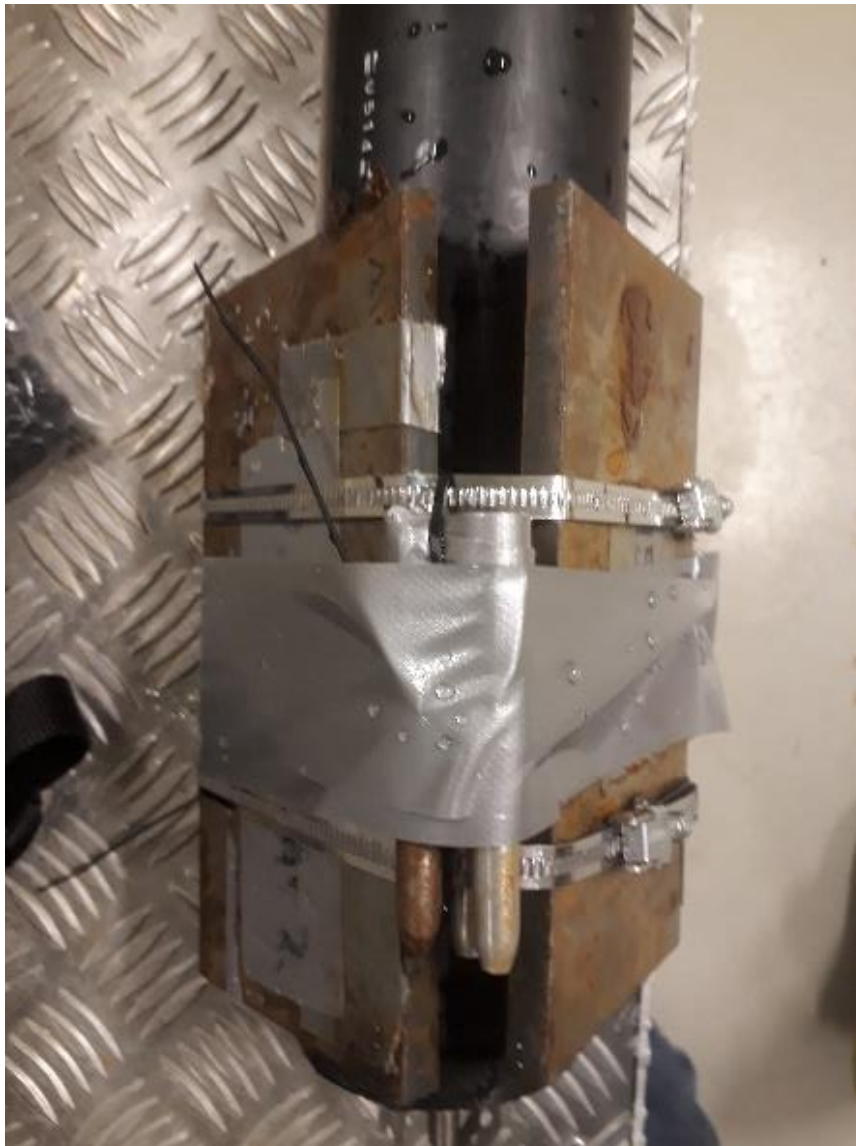
Det ble brukt to typer pongtonger på modellen i forsøkene for å gi modellen mer oppdrift. Den første typen pongtonger ble brukt i de første forsøkene med fire pongtonger. Disse ble laget ved å fylle små plastrør med skum. Pongtongene ble festet til modellen med strips med to plassert foran på modellen langs x-aksen mens to ble plassert motsatt på baksiden.

For de siste forsøkene ble det lagt til to nye pongtonger av en annen type. Disse ble laget ved å skjære ut to rektangel fra et flyteelement. De ble plassert på hver sin side av modellen langs y-aksen slik at pongtongene har en avstand på 60 grader. Pongtongene ble lagt til på grunn av den ekstra vekten av det nye fortøyningsystemet.

3.3 Ballast

For å få riktig dypgang på modellen trengs det å legges til ballast på modellen. Ballasten blir regna ut ifra modellens volumdeplasement ved den tenkte dypgangen. Dette gjøres ved å bruke formlene for vektdeplasement og volumdeplasement for å finne forskjellen mellom lettskips deplasementet og det nye vektdeplasementet. Lettskipsdeplasementet er blitt målt ved bruk av vekt mens det nye vektdeplasementet blir regna ut fra det nye volumdeplasementet.

Selve ballasten er tre stålplater som blir plassert med 120 graders mellomrom rundt nedre del av oppdriftslegemet. Disse blir festet med stålstrips for at de ikke skal falle av mens forsøket foregår eller mellom forsøkene. Det er også lagt til flere brukte strekkprøver i stål og aluminium for å få den riktige vekten.



Figur 4: Ballast med tre stålplater plassert med 120 graders mellomrom

3.4 Bølgegenerator

I forsøket brukes bølgetanken på Marin lab med «6 force-feedback flap-type wave paddles» bølgemaskin. Bølgemaskinen brukes enten gjennom et egent program som kan lage regulære sinusbølger eller ved hjelp av Njord programmet som lager ulike spekter av irregulære bølger.

Ut ifra skaleringen til modellen blir det laget en testmatrise med hvilke bølgehøyder og perioder som skal testes. Modellen har en skalering på 1:10 slik at en bølge på 1m blir 0.1 meter i testen. Dette tilsvarer en amplitude på 0.05 meter. Fra testmatrisen blir det kjørt tester med regulære bølger på 5 minutter på bestemte amplituder med forskjellige bølgeperioder. For de irregulære brukes det et JonSWAP spekter med forskjellige amplituder på 20 minutter.

Testmatrise

Sinusbølger

Amplitude	Bølgeperiode	Mono-line fortøyning	Ny fortøyning
0.05	1.40	Ja	
0.05	1.20	Ja	
0.05	1.00	Ja	
0.05	0.80	Ja	
0.05	0.60	Ja	
0.05	0.40	Ja	
0.05	1.40		Ja
0.05	1.00		Ja
0.05	0.60		Ja
0.05	0.40		Ja
0.05	0.20		Ja
0.10	1.00	Ja	
0.10	0.75	Ja	
0.10	0.50	Ja	
0.10	0.40	Ja	
0.10	1.00		Ja
0.10	0.75		Ja
0.10	0.50		Ja
0.10	0.40		Ja
0.20	1.00	Ja	
0.20	0.75	Ja	
0.20	0.50	Ja	
0.20	0.40	Ja	
0.20	0.70		Ja
0.20	0.60		Ja
0.20	0.70		Ja

Irregulære bølger (JONSWAP spekter)

Amplitude	Bølgeperiode	Mono-line fortøyning	Ny fortøyning
0.05	1.00	Ja	
0.05	1.00		Ja
0.10	1.00	Ja	
0.10	1.00		Ja

3.5 Bølgehøydemåling

Langs bølgetanken er det plassert ut en bølgemåler som måler høgden på bølene i det området av tanken som modellen befinner seg. Denne er koblet opp mot programmet til bølgemaskinen som kan lagre dataen slik at den kan brukes i dataanalysen.

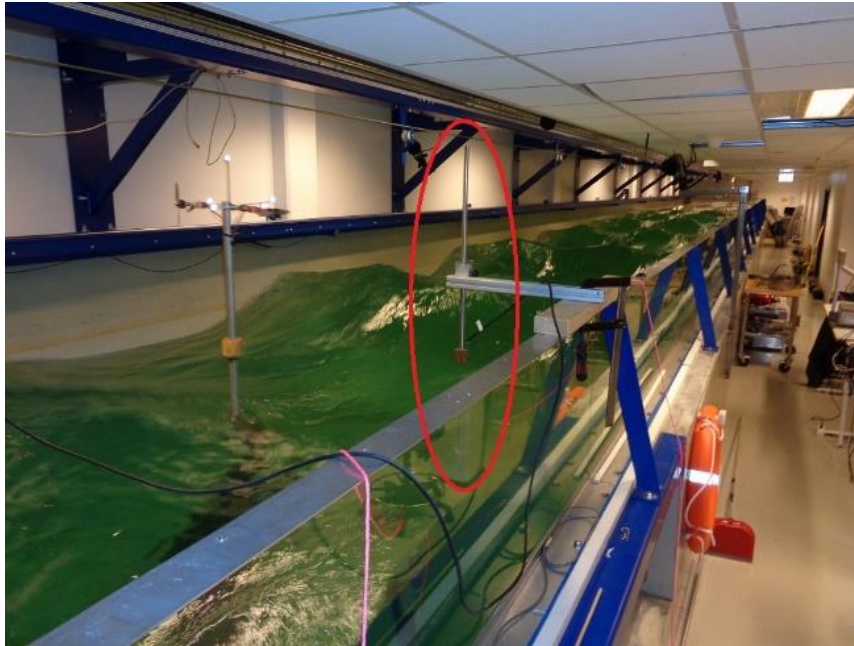


Figure 5: Bølgehøydemåler

3.6 Bevegelsesanalyse

Qualisys Motion Capture System er et data og kamerasystem som fanger opp bevegelsene til flere markører som plasseres på modellen. Programmet lager så et koordinatsystem ut ifra posisjonene til markørene som dataprogrammet bruker til å se bevegelsen til modellen. Disse bevegelsene blir lagret som numeriske data for posisjonen til modellen i forhold til koordinatsystemet. Systemet har til sammen fire kameraer. Et foran og et bak testområdet og to på hver sin side bak for å få en tredimensjonal effekt.

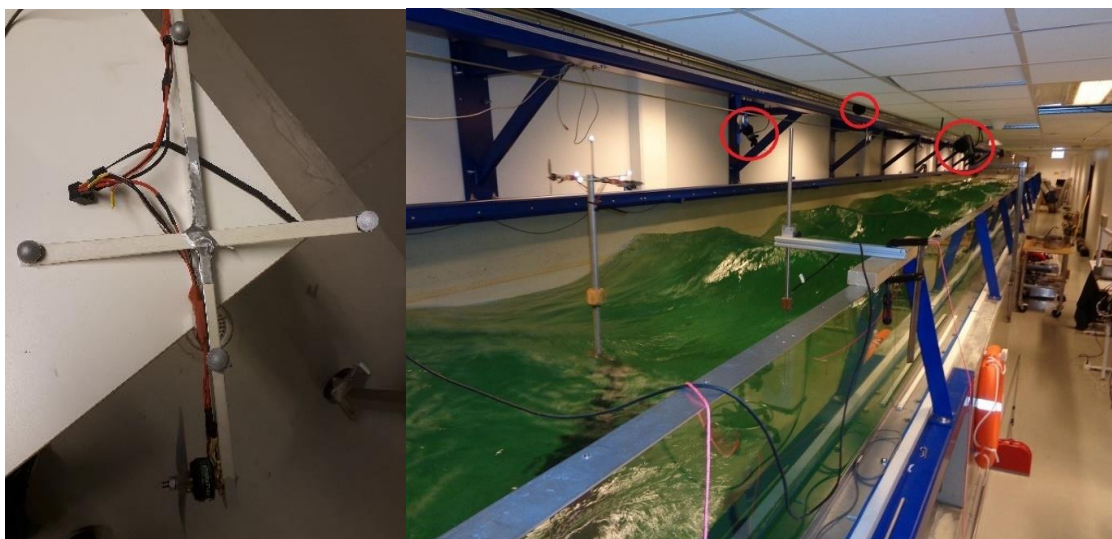


Figure 6: Markører montert på ramme til propellene

Figure 7: Qualisys Kamerasystem

3.7 Fortøyning

I dette forsøket blir det brukt to forskjellige fortøyningsmetoder som skal testes for å se om den mer avansert metoden vil gi noen merkbar forbedring i forhold til bevegelse.

3.7.1 Mono-line Fortøyning

For de første testene brukes en mono-line som er festet til et lodd i bunn av tanken. Denne linen har en viss lengde som holder modellen på den ønskede dypgangen. Denne trekker modellen ned litt ekstra som gir en ekstra kraft som presser modellen oppover, og gjør at modellen beveger seg mindre i hiv-retning.

3.7.2 Nytt fortøyningskonsept

Et nytt fortøyningsystem blir brukt for den andre delen av forsøket. Denne bruker også en mono-line og det samme loddet fra første forsøk, og den bruker samme dypgang. Det som er nytt er en kvadratisk plate plassert nederst på modellen med fester for liner i hver ende. Disse fire linene går til et lodd som henger vinkelrett under modellen. Fra loddet går den samme mono-linen fra de første testene ned til loddet på bunnen. Loddet har som funksjon å få vekstsentret så lavt som mulig samt å gi en kraft som virker på mot den retningen som modellen blir skyvet. Dette har so hensikt å dempe bevegelsen.

3.8 Decay test

For å finne modellens naturlige frekvens slik at den kan sammenlignes med testresultatene og for å finne de mest interessante bølgelengdene for de forskjellige bølgehøydene. Dette gjøres ved at modellen dyttet ut av sin naturlige posisjon for så å slippe modellen og la den svinge tilbake mot den naturlige posisjonen. Svingningene som oppstår vil være lik den naturlige frekvensen (7).

3.9 Vindlast

For å simulere vindlast på modellen brukes formler for «Thrust» koeffisient og Kraft koeffisient, for beregning av aerodynamikk for vindmøller (5). «Thrust» formelen brukes for å finne den vindlasten som må virke på modellen. Til denne mangler arealet på den skalerte turbinen og selve koeffisienten. Arealet kan regnes ut gjennom å bruke «kraft formelen» med den tenkte effekten av turbinen og regne seg bakover til arealet. Selve koeffisientene for begge formlene blir valgt ut fra erfaring med turbiner med den tenke effekten på 10 kw.

For å få vindlast på modellen brukes et sett med propeller plassert på en ramme på modellen. Rammen går vinkelrett på yz-planet og har midtpunkt på toppen av modellen som er også er origo for Qualisys systemet. Disse gir en bestemt last som skyver modellen mot den retningen som det ønskes at vinden skal virke. Propellene konfigureres ved hjelp av et dataprogram utviklet på Marin lab denne type tester.

3.10 Databehandling

For behandling av dataen fra forsøket brukes matematikkprogrammet Matlab. Verktøy fra programmet brukes til å gjøre de store utrekningene slik som RAO.

3.11 Eksperimentelle usikkerheter

Denne delen inneholder usikkerheter og feilkilder som oppsto under forsøket

3.11.1 Problemer med vindlast

Under oppsett av propellene ble en av de skadet slik at programvaren ikke fikk styrt den. Dette førte til at den andre propellen forsøkte å snurre rundt på modellen istede for å dytte den over ende slik som var planlagt. Med systemet skadet og med begrenset tid ble denne delen av forsøket ikke gjennomført. Dette medfører at alle data som er samlet inn bare er for respons til bølger.

3.11.2 Mindre usikkerheter

- Fortøyning var ikke vinkelrett under i origo på begge fortøyningsmetodene
- Geometrien på delene av ballasten var ikke lik
- Geometrien på pongtongene var ikke lik
- Lengden på linene brukt i testene med den nye fortøyningsmetode var ikke like lange
- Mindre kraft som presser modellen oppover med den nye metoden kontra den første

4. Resultater og diskusjon

Denne delen inneholder de resultatene som ble funnet i testene og ved analyse av tekstdataen samt en diskusjon av disse.

4.1 Bevegelsesanalyse av Irregulære bølger

Resultatene fra testene gjort med de irregulære bølgene, beskrivelse av figurer og diskusjon rundt resultatene

4.1.1 Modell med mono-line fortøyning

Bølgespekter

Her vises de to JONSWAP spektrene som ble brukt for modellen med mono-line fortøyning. Figuren viser de målte høydene med den svarte og taggete grafen mens den blå og rette grafen viser det teoretiske spekteret. Spektrene har amplituder på 0.05 og 0.1 meter med en gamma på 3.3.

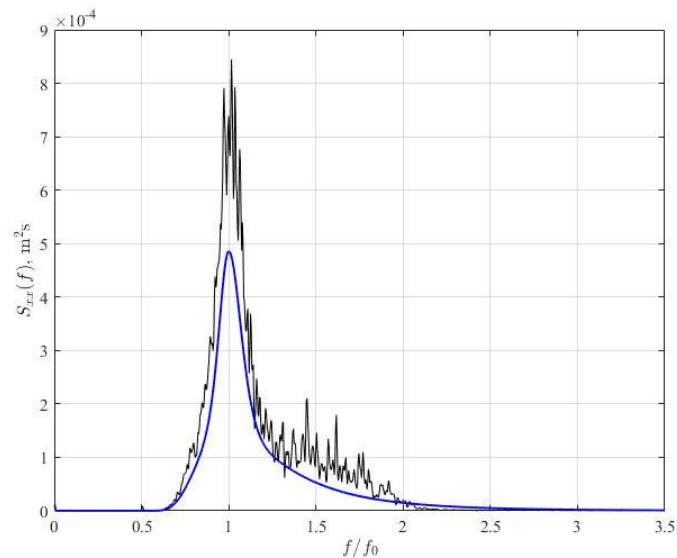


Figure 8: Teoretisk og ekte JONSWAP spekter for amplitude på 0.05 meter

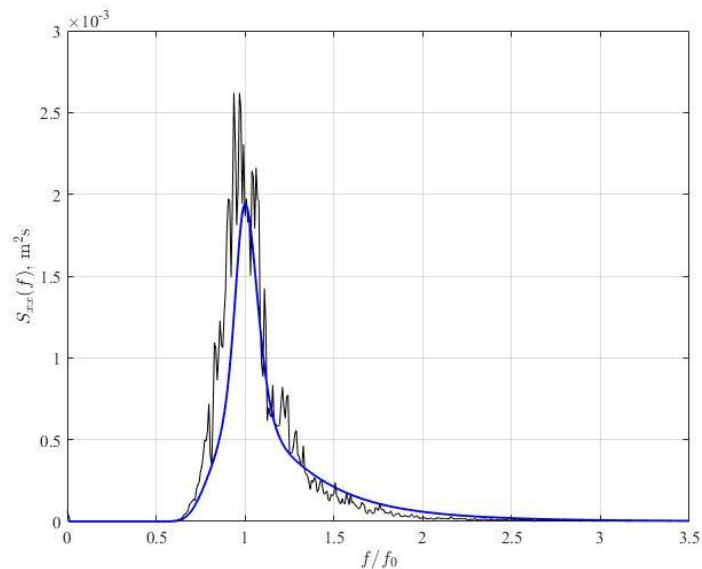
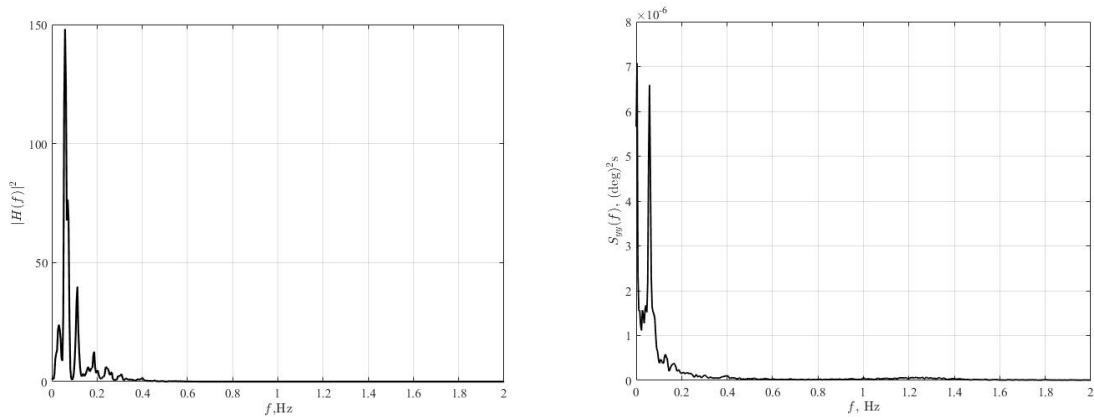


Figure 9: Teoretisk og ekte JONSWAP spekter for amplitude på 0.10 meter

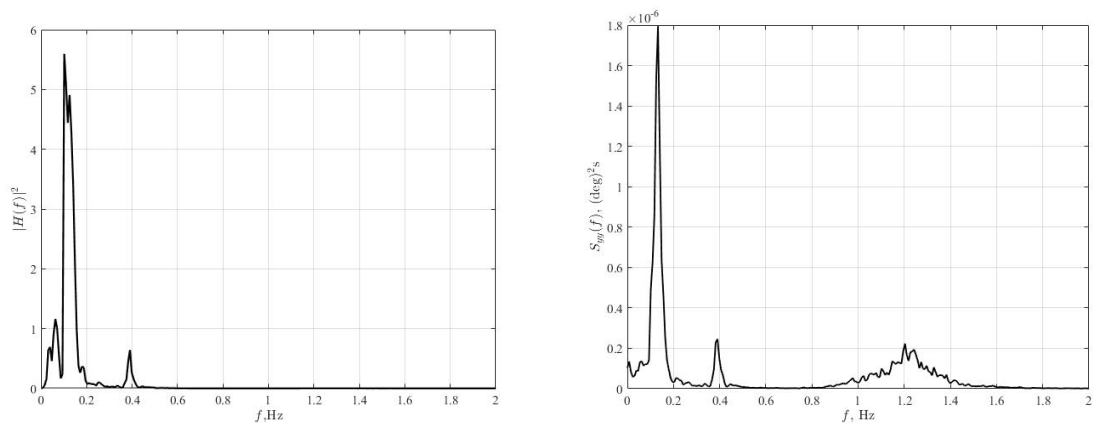
Hiv

For RAO i Hiv retting er på figurene med det målte verdien fra forsøkene mye bevegelse på de aller lengste periodene. Dette kan ha med høyden på tanken å gjøre og at det i disse periodene oppstår bevegelser i vannet på grunn av at bølgene tar i bunnen av tanken. Derfor vil resten av resultatdelen se på bevegelsene med det teoretiske JONSWAP spekteret som kan ses på figur 11 og 13. På disse figurene er det mulig å se et område fra 1.0 Hz til 1.4 Hz med bevegelse, og et punkt rundt 0.4 Hz med mindre bevegelse. På grunn av de store verdiene på de aller lengste periodene er det vanskelig å se disse bevegelsene på figur 11 med amplitude på 0.05 meter, men det er mulig å se at det er bevegelse i samme område som på figur 13.



Figur 10: RAO av ekte JONSWAP spekter med amplitude på 0.05 meter

Figur 11: RAO av teoretisk JONSWAP spekter med amplitude på 0.05 meter

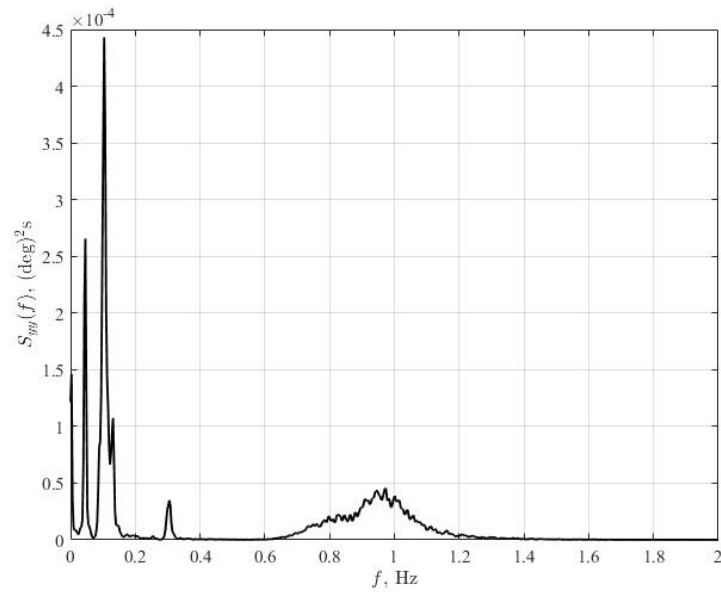


Figur 12: RAO av ekte JONSWAP spekter med amplitude på 0.10 meter

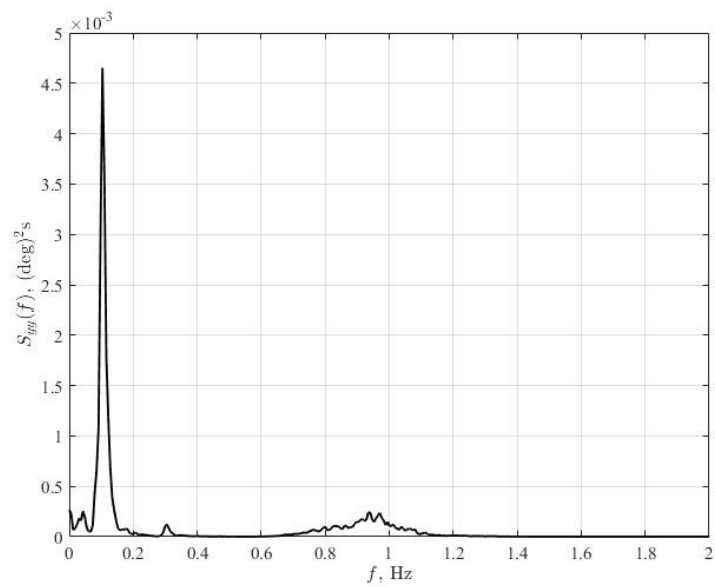
Figur 13: RAO av teoretisk JONSWAP spekter med amplitude på 0.10 meter

Jag

For RAO til Jag med det teoretiske spekteret er det et klart område mellom 0.7 og 1.1 Hz med et mindre område rett før 0.3 Hz. Det er også mulig å se at denne bevegelsen blir mindre ved større amplitude mens bevegelsen mellom 0.1 og 0.2 Hz er nærmest uendret.



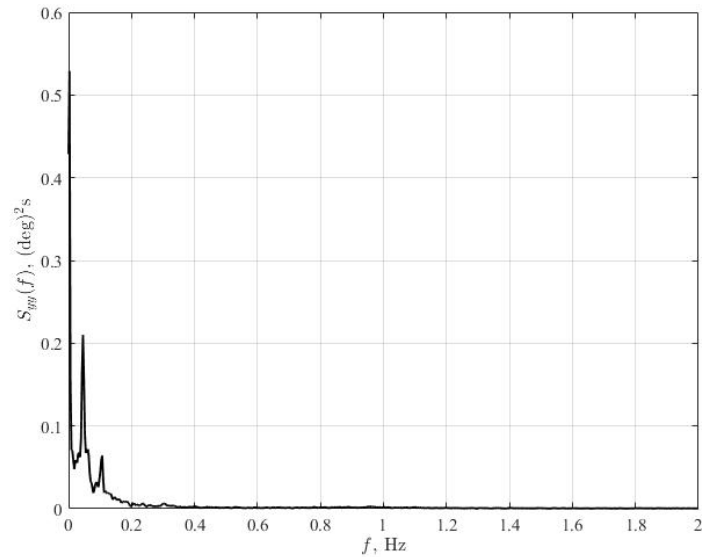
Figur 14: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.05 meter



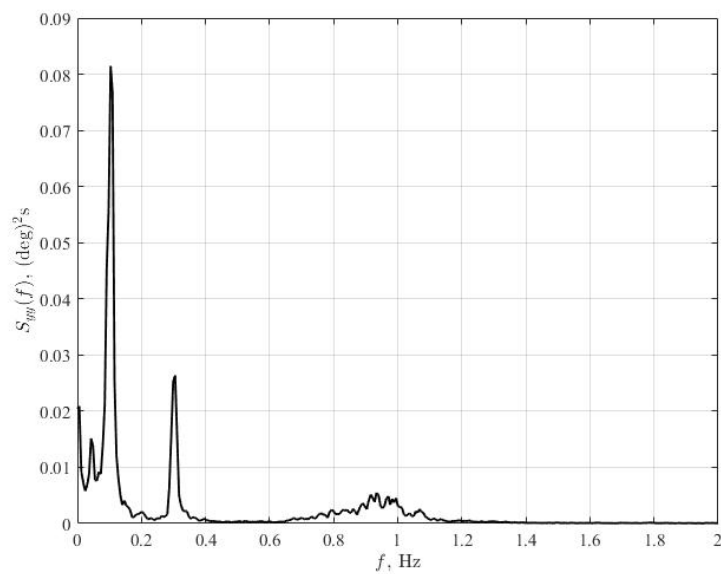
Figur 15: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.10 meter

Gir

For RAO til Gir er det lite bevegelse på figur 16 med amplitude på 0.05 meter mens det nesten ikke er bevegelse på figur 17. På grunn av modellens asymmetri er det vanskelig å si om bevegelsene i Gir er på grunn av virvler som oppstår bak sylindren. Men det også sett store bevegelser i testene med regulære bølger noe som kan tyde på at det oppstår virvling som vrir på modellen.



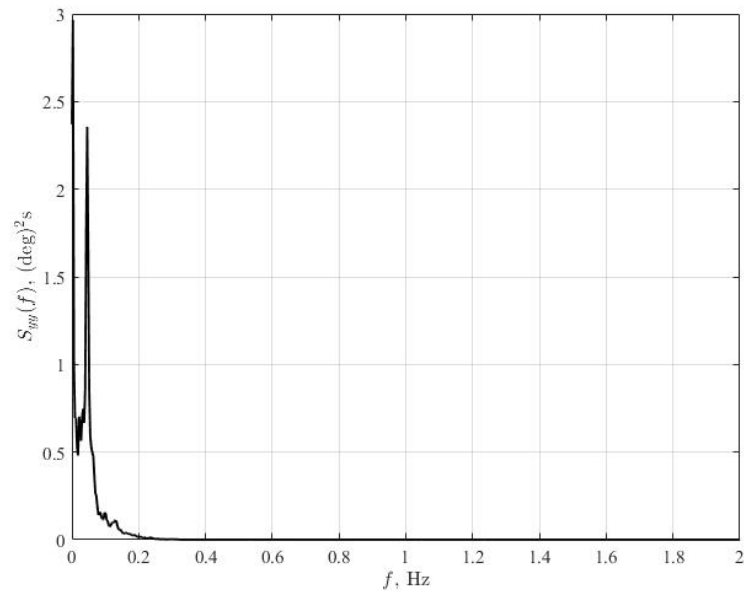
Figur 16: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.05 meter



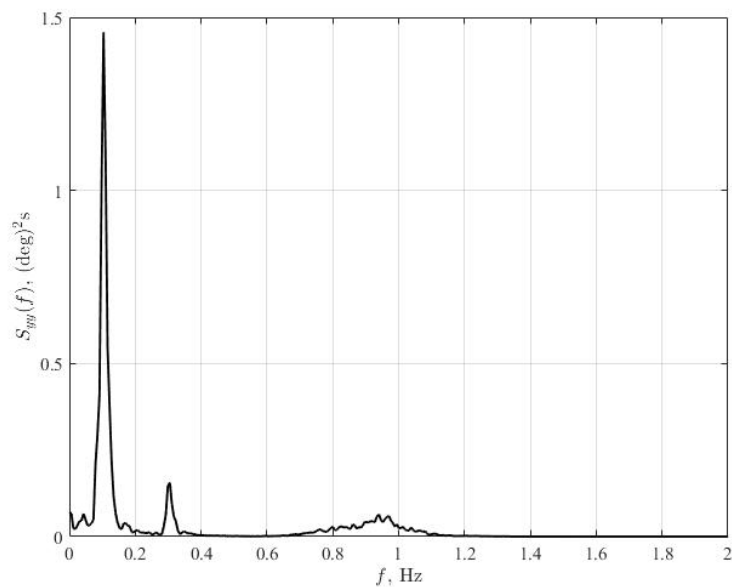
Figur 17: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.10 meter

Stamp

For Stamp er veldig lite bevegelse utenom ved de lengste periodene på Figur 18 mens på figur 19 er det et tydelig område mellom 0.7 og 1.1 Hz samt en topp rundt 0.3 Hz. Som vist på figur 8 og 9 har JONSWAP spektrene i gjennomsnitt en periode på 1.0 Hz noen som ikke gir bølger med mye energi og greier derfor ikke å flytte på modellen i noen stor grad.



Figur 18: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.05 meter



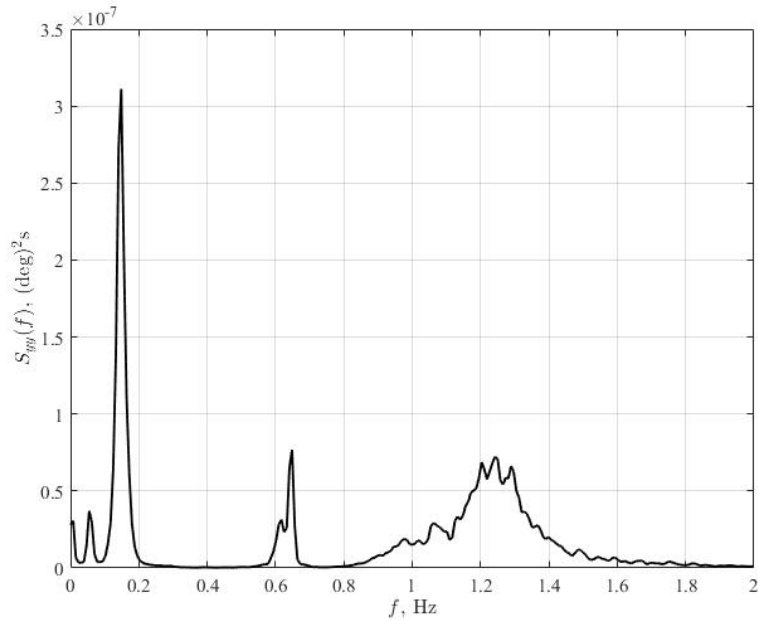
Figur 19: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.10 meter

4.1.2 Ny Fortøyningsmetode

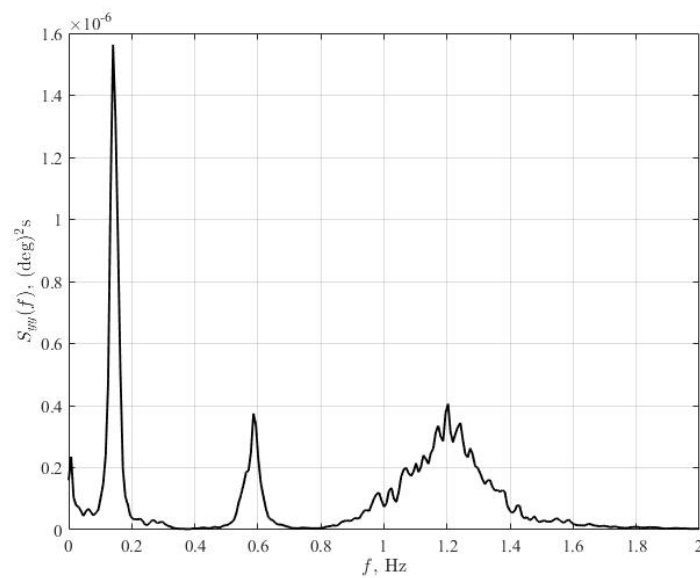
Her vises resultatene fra testene med den nye fortøyningsmetoden og sammenlikning med resultatene fra forsøkene med mono-line

Hiv

RAO for Hiv med den nye fortøyningsmetoden har et mønster som er likt det som finnes på RAO for mono-line metoden. Men her er toppen på 0.4 Hz fra figur 13 flytte seg til 0.6 Hz som vist på figur 20 og 21. Området med bevegelse er også større og går nå fra 0.8 til 1.5 Hz og bevegelsen er markant større en for mono-line metoden. I likhet med mono-linemetoden er bevegelsene mindre ved høyere amplitude.



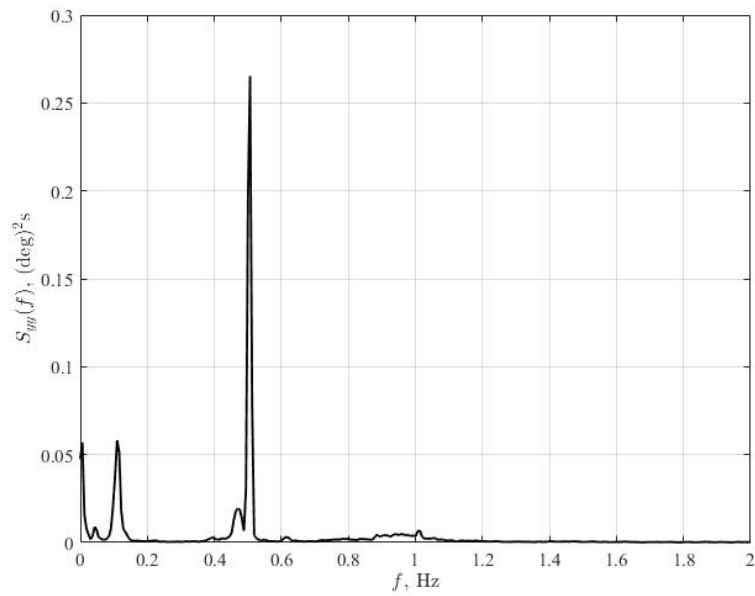
Figur 20: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.05 meter



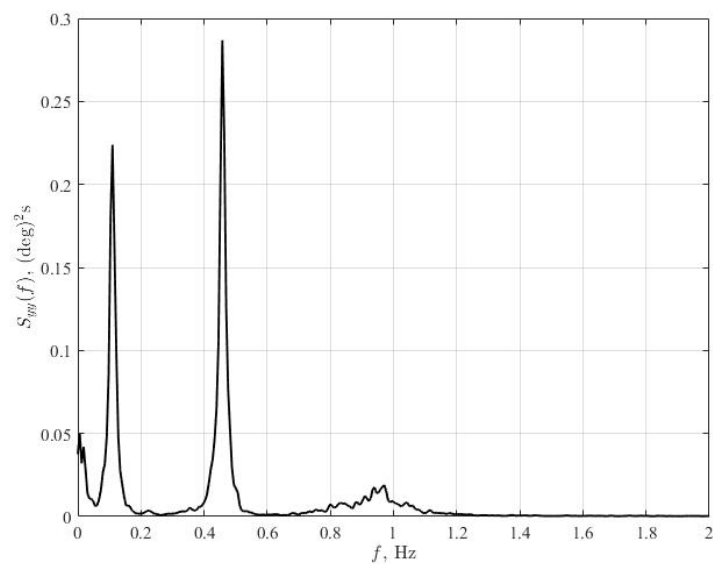
Figur 21: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.10 meter

Gir

RAO for Gir viser at det er en topp på 0.5 Hz som gir mye bevegelse og øker ved høyere amplitude. I likhet med mono-line metoden er det et område rundt 1.0 Hz som gir noe bevegelse, men det er ikke mye.



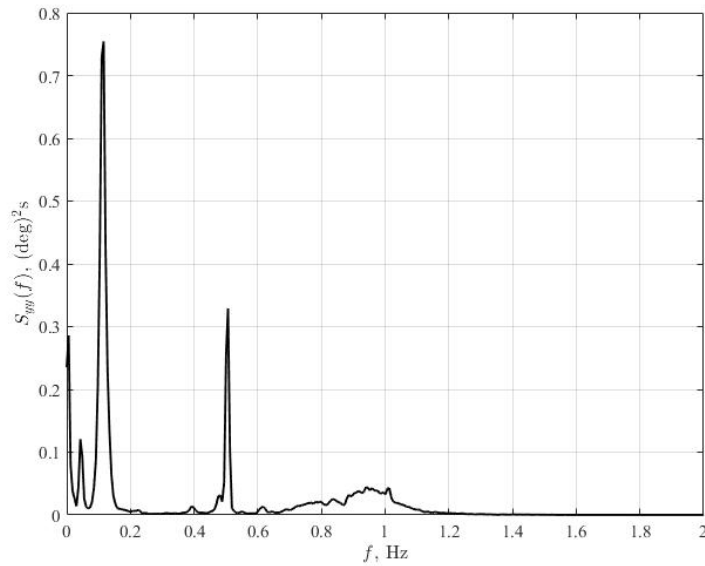
Figur 22: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.05 meter



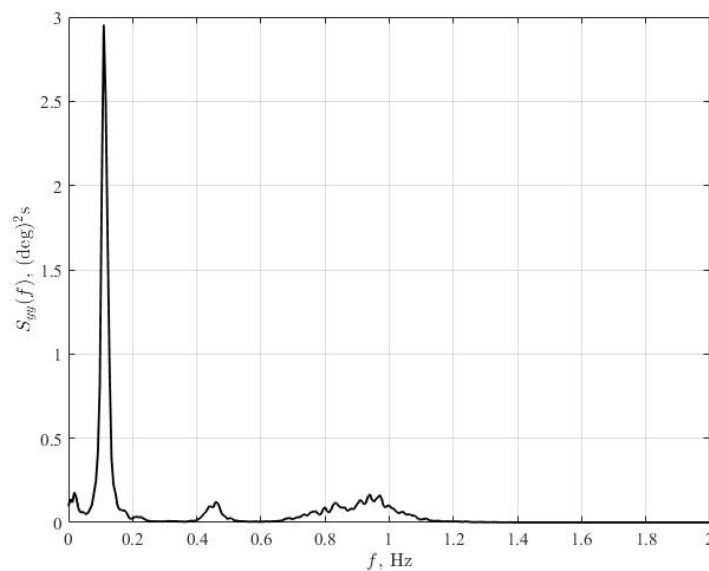
Figur 23: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.10 meter

Stamp

RAO for Stamp har et område mellom 0.8 og 1.0 Hz der det oppstår noe bevegelse og ved amplitude på 0.05 meter er det en topp på 0.5 Hz som minsker ved høyere amplitude. Figurene har de samme store bevegelsene på lange perioder, men i motsetning til mono-linemetoden vært bevegelsen større ved høyere amplitude.



Figur 24: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.05 meter



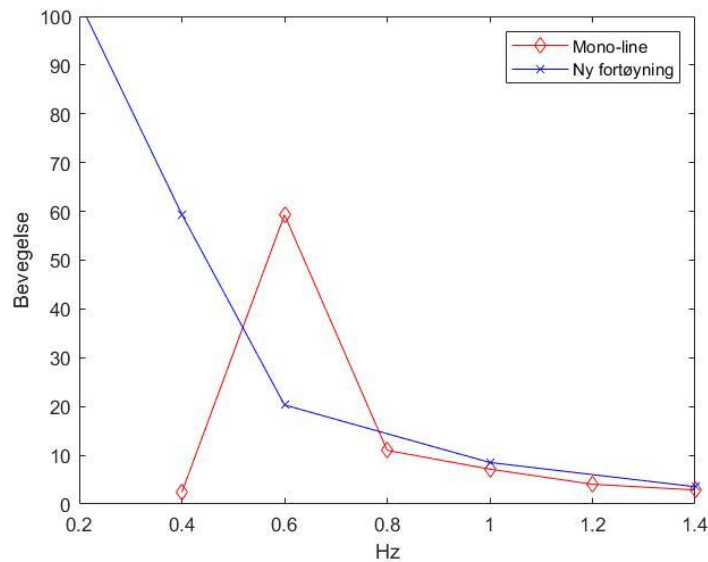
Figur 25: RAO med teoretisk JONSWAP spekter og amplitude på 0.10 meter

4.2 Bevegelsesanalyse med regulære bølger

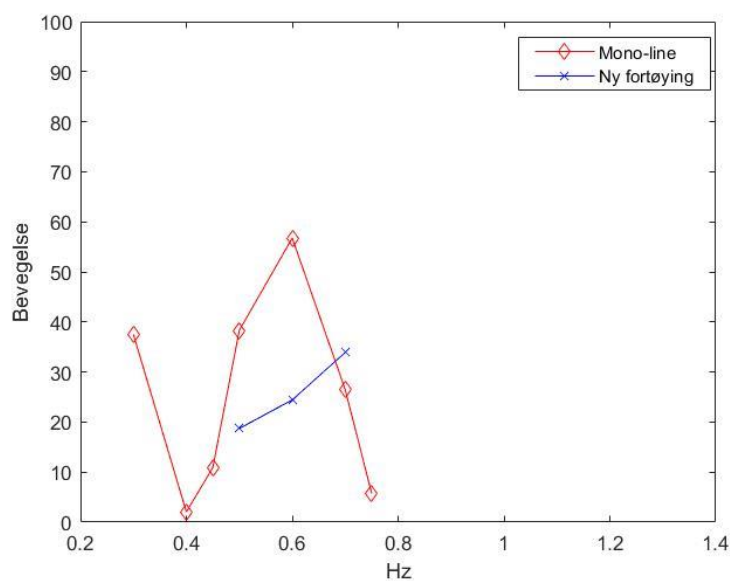
Denne delen inneholder resultatene fra testene gjort med regulære bølger og en diskusjon om det som RAO viser.

Stamp

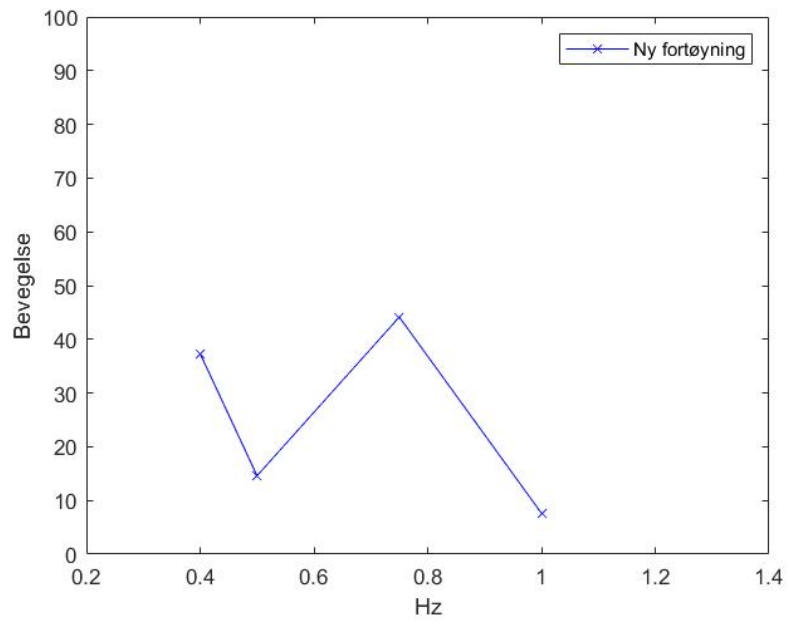
Fra mono-line fortøyningen ligger det et område mellom 0.4 og 0.8 Hz der det oppstår bevegelse som vist på figur 26 og 27. Senteret for dette området ligger rundt 0.6 Hz. For den nye fortøyningsmetoden ligger et lignende området lenger borte på x-aksen med et senter rundt 0.8 Hz som vist på figur 26 og 27. På figur 7 er ikke det et punkt i 0.6 Hz på denne frekvensen så det er vanskelig å se hvor mye forskjell der er fra mono-line metoden, mens bevegelsene er størst for de aller lengste periodene.



Figur 26: RAO med amplitude på 0.05 meter



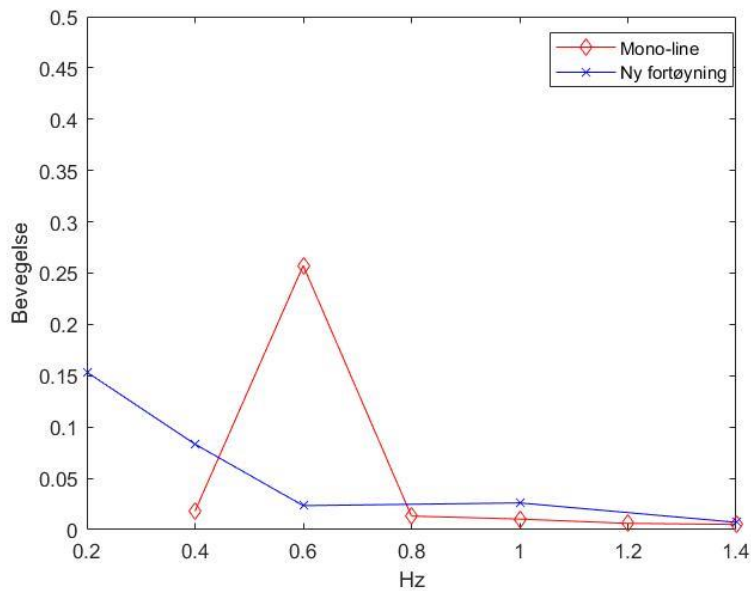
Figur 27: RAO med amplitude på 0.20 meter



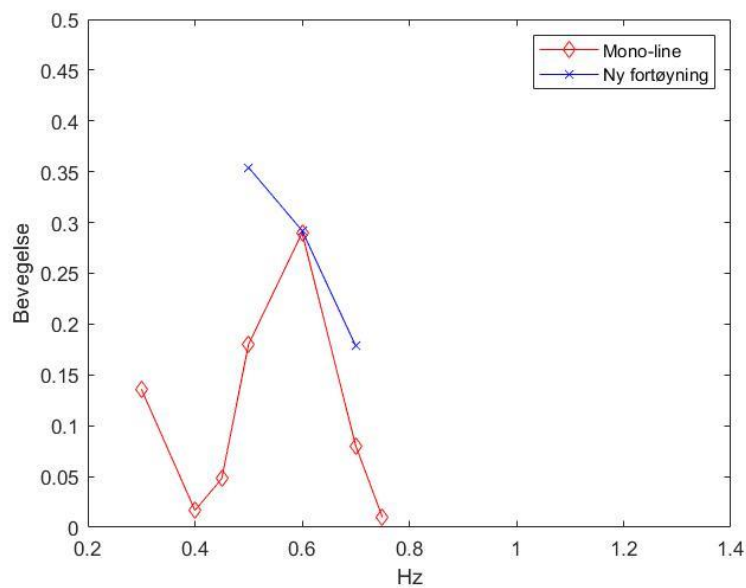
Figur 28: RAO med amplitude på 0.10 meter

Hiv

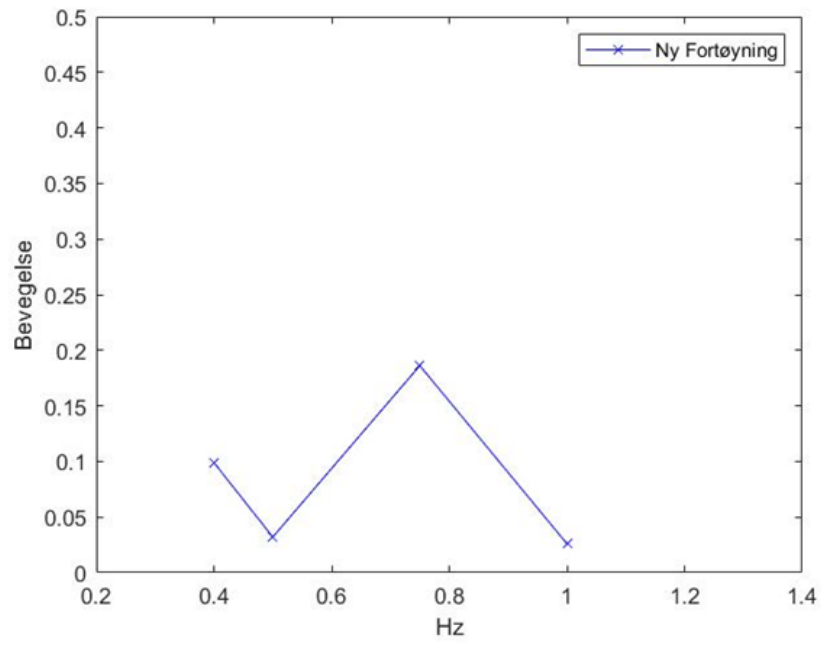
RAO for bevegelsen i Hiv retting viser at området med mest bevegelse for mono-line fortøyningen ligger i samme området som for RAO for Stamp med senter rundt 0.6 Hz. Figur 12 viser at den nye fortøyningsmetoden også beholder det samme område med bevegelse rundt 0.8 Hz. For figur 29 og 30 er det mye bevegelse på de lengste periodene for den nye metoden. Dette kan ha med å gjøre at dybden på tanken ikke er lang nok og det oppstår bevegelser nede ved bunden av tanken. Det gjør at den nye fortøyningsmetoden får mer bevegelse på de lengste periodene enn mono-line metoden fordi den på monterte modulen ligger nederst på modellen



Figur 29: RAO for amplitude på 0.05 meter



Figur 30: RAO for amplitude på 0.2 meter



Figur 31: RAO for amplitude på 0.1 meter

4.3 Forankring (lodd)

Under testingen ble det observert bevegelse i loddet ved de laveste bølgefrequensene. For bølgehøyder på 0.2 meter begynte modellen å dra med seg loddet i retning med bølgene. For bølger med høyde over 0.2 var bevegelsen så stor at modellen flyttet seg fra testområdet i tanken. Vekten på loddet på 9.265 kg ble valgt isteden for et mye tyngre lodd med tanke på at det mulig ikke ville være nok til å holde modellen på plass. Observasjonene fra testen gir kunnskap på hvordan den flytende vindmøllen vil oppføre seg vist loddet er for lett, og dermed vikle tegn å se etter om vindmøllen flytter på seg.

5. Konklusjon

Resultatene fra testene med de irregulære bølgene viser at den nye fortøyningsmetoden ikke gir bedre dynamisk bevegelse enn for mono-line metoden. For de to viktigste frihetsgradene Hiv og Stamp er bevegelsene med den nye metoden dobbel så stor som ved mono-line metoden. Det er også en tendens til at den nye metoden også har større spekter av frekvenser som det oppstår bevegelse.

For testene med de regulære bølgene starter med svært lave verdier for nye fortøyningsmetoden metoden på de laveste amplitudene og bevegelsene holder seg mye lavere enn for mono-line metoden. Men ved høyere amplituder er det i likhet testene med irregulære bølger flere frekvenser der det oppstår bevegelse for den nye metoden samt at forskjellen på bevegelsene blir mindre markant.

Med tanke på at sjøtilstanden hvor en mulig fullskala vindturbin skal plasseres vil være mest lik de irregulære bølgene laget av et bølgespekter, vil ikke den nye fortøyningsmetoden gi noe bedre dynamisk bevegelse enn mono-linemetoden.

Videre for dette prosjektet vil det være nyttig å skalere modellen, se på effekten av bruken av pongtongene og hvilke metoder for å plassere ballast vil være mest gunstig.

Referanser

[1] Forente nasjoner. «Water and Sanitation»

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>

[2] Store Norske Leksikon. «Membranseperasjon»

<https://snl.no/membranseparasjon> (2)

[3] Høgskulen på Vestlandet. «Marinlab info sheet»

[https://home.hvl.no/ansatte/gste/ftp/MarinLab_files/Manualer_utstyr/MarinLab_info_sheet_\(005\).pdf](https://home.hvl.no/ansatte/gste/ftp/MarinLab_files/Manualer_utstyr/MarinLab_info_sheet_(005).pdf)

[4] Wikipedia. “Floating wind turbine”

https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_wind_turbine

[5] Wikipedia. “Wind-turbine aerodynamics”

https://en.wikipedia.org/wiki/Wind-turbine_aerodynamics

[6] Andrew J. Goupee, Bonjun J. Koo, Richard W. Kimball, Kostas F. Lambrakos, Habib J. Daghe. exsperimetal comperison of three florting wind turbine concepts. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. May 2014

[7] Felix Kelberlau. Free decay testing of a semisubmersible offshore floating platform for wind turbines in model scale. Department of Mathematical Sciences and Technology of the Norwegian University of Life Science. 2 October 2013

[8] Marin teknikk 3 hydrodynamikk, Bjørnar Pettersen, kap 5.2 (9) 2017

