



Forsuaret

Bacheloroppgave

OPG3301

Predefinert informasjon

Startdato:	26-11-2021 09:00	Termin:	2021 HØST
Sluttdato:	10-12-2021 20:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Oppgave		
Flowkode:	1627 OPG3301 1 O 2021 HØST		
Intern sensor:	Gisle Strand		

Deltaker

Navn:	Sondre Lid
Kandidatnr.:	
FHS-id:	sonlid@mil.no, solid@mil.no

Gruppe

Gruppenavn:	Lid & Husebø - Bølgemåling
Gruppenummer:	10
Andre medlemmer i gruppen:	Filip Hatlebrekke Husebø



Sjøkrigsskolen

Bacheloroppgave

Metode for bølgemålinger

av

Filip Hatlebrekke Husebø, Sondre Lid

Lvert som en del av kravet til graden:

BACHELOR I MILITÆRE STUDIER MED FORDYPNING I LEDELSE -
MARINEINGENIØR MASKIN

Antall ord: 10850

Innlevert: Desember 2021

Godkjent for offentlig publisering

Publiseringsavtale

En avtale om elektronisk publisering av bachelor/prosjektoppgave

Kadetten(ene) har opphavsrett til oppgaven, inkludert rettighetene til å publisere den.

Alle oppgaver som oppfyller kravene til publisering vil bli registrert og publisert i Bibsys Brage når kadetten(ene) har godkjent publisering.

Oppgaver som er graderte eller begrenset av en inngått avtale vil ikke bli publisert.

Jeg(Vi) gir herved Sjøkrigsskolen rett til å gjøre denne oppgaven tilgjengelig elektronisk, gratis og uten kostnader	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei
Finnes det en avtale om forsinket eller kun intern publisering? (Utfyllende opplysninger må fylles ut)	<input type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Nei
Hvis ja: kan oppgaven publiseres elektronisk når embargoperioden utløper?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nei

Plagiaterklæring

Jeg (Vi) erklærer herved at oppgaven er mitt eget arbeid og med bruk av riktig kildehenvisning. Jeg (Vi) har ikke nyttet annen hjelp enn det som er beskrevet i oppgaven.

Jeg (Vi) er klar over at brudd på dette vil føre til avvisning av oppgaven.

Dato: 10-12-2021



SONDRE LID



FILIP H. HUSEBØ

Forord

Oppgaven er skrevet av Sondre Lid og Filip Hatlebrekke Husebø som en del av bachelor i militære studier med fordypning i marineingeniør maskinfag, ved sjøkrigsskolen. Oppgaven er skrevet i perioden september 2021 til desember 2021

Oppgaven er en vurdering av hvordan måle bølger fra fartøy i kystnæreområder der vi selv har stått for utvikling av metode. Oppgaven er rettet spesifikt mot bølgemønsteret til Skjold-klassen kystkorvett.

Takk til Steffen Vågenes for hjelp til koordinering opp mot 1. korvettskvadron.

Takk til Lars Olav Tveita for rådgivning rundt sensorteknologi.

Takk til Harald Totland for rådgivning rundt relevant bølgeteori.

Takk til Mats Benserud for utsjekk på Sjøbjørn.

Takk til Gisle Strand for støtte og veiledning.

Takk til Irmelin Moen for korrekturlesing.

Bergen, Sjøkrigsskolen, 10-12-2021



SONDRE LID



FILIP H. HUSEBØ

Oppgaveanalyse

Etter forespørsel fra 1. korvettskvadron skal vi i denne oppgaven illustrere hvordan en kan foreta bølgemålinger på dypt vann i kystnære områder. Hensikten er å produsere data som kan være til hjelp mot å unngå bølgeskader langs strandlinjen og samtidig operere fartøyet kostnadseffektivt. Oppgaven skal demonstrere hvordan en kan gå frem for å designe, bygge og sette opp en målestasjon for å hente inn bølgedata fra fartøy. I tillegg skal det legges til rette for videreutvikling av oppgaven. Fokuset for oppgaven ligger på bølger fra Skjold-klassen kystkorvett, og på at målingene skal kunne gjennomføres på en enkel og kostnadseffektiv måte.

Sammendrag

I denne oppgaven er en veiledning til hvordan måle bølger skapt av fartøy i kystnære områder. Det har blitt designet, produsert, testet og implementert en rigg med tilhørende sensorer for å utføre bølgemålinger og produsere forståelige data. Det er demonstrert hvordan foreta en analyse av de gitte data, og hvordan bruke analysen til å skape dypere forståelse for fartøyets bølgemønster.

Grunnlaget for denne oppgaven er den akademiske og praktiske kunnskapen tilegnet gjennom marineingeniørutdanning ved Sjøkrigsskolen, og teori tilegnet på eget initiativ.

Ettersom at bølgeteori er et komplekst tema og oppgaven har et budsjett på 20 000 kr, er det foretatt avgrensninger på riggens konstruksjon og sted for gjennomføring av målingene.

Ved gjennomføring av oppgaven var det ikke mulig å foreta målinger av Skjold-klassen. Det ble derfor brukt Sjøbjørn til bølgemålinger, som erstatning for korvetten. Analysen av innsamlet data ble brukt for å identifisere svakheter og forbedringspotensialer ved målemetoden.

Måloppnåelsen til oppgaven var moderat. Dette fordi oppgaven demonstrerer potensiale ved målemetoden, men identifiserer også vesentlige feil og mangler. Deler av planen ikke ble gjennomført slik det var tiltenkt.

Forord.....	ii
Sammendrag	iv
Figurer	1
Nomenklatur / Forkortelser / Symboler	4
1 Innledning eller introduksjon	5
1.1 Bakgrunn.....	5
1.2 Mål	5
1.3 Avgrensninger	6
1.4 Plan	7
1.4.1 Fase 1	7
1.4.2 Fase 2	7
1.4.3 Fase 3	7
1.4.4 Fase 4	8
1.5 Struktur	9
2 Teoretisk bakgrunn	10
2.1 Definisjon.....	10

2.2	Grunnleggende bølgefysikk	10
2.3	Bølgetype	12
2.3.1	Kapillærbølger	12
2.3.2	Gravitasjonsbølger	13
2.4	Dypt vann.....	13
2.5	Interferens og bølgegrupper	14
2.6	Strømningsretning	15
2.7	Bølger fra skip.....	16
2.7.1	Generell skipsbølger	16
2.7.2	Skjold-klassen	17
2.7.3	Multihull vessen (MHV).....	18
2.7.4	Air-cushion vehicle (ACV).....	20
2.7.5	Surface effect ship (SES)	21
3	Framgangsmåte.....	22
3.1	Behov og design.....	22
3.2	Valg av sensor.....	22
3.2.1	Målestokk med videoanalyse	22
3.2.2	Pasco ultralyd bevegelsessensor	22
3.2.3	Pasco video analysis	24
3.2.4	Dronefoto	24
3.2.5	Trykksensor.....	25
3.3	Lokasjon.....	25
3.4	Målerigg	27
3.5	Strømkilde.....	30
3.6	Gjennomføring	32
4	Databehandling	34
5	Resultater og drøfting	35
5.1	Måleresultater	35
5.1.1	Hvordan endrer amplituden seg med hastigheten til fartøyet?	35
5.1.2	Hvilke(n) hastighet(er) gir størst amplitude?	37
5.1.3	Hvordan endrer frekvensen seg med hastigheten til fartøyet?	37
5.1.4	Hvilke(n) hastighet(er) gir størst og lavest frekvens?	38
5.1.5	Var det variasjon i antall bølgetopper - og/eller daler?.....	38
5.1.6	Hvordan varierer hastigheten til bølgen?	39
5.1.7	Hvordan endrer bølgelengden seg med hastigheten til fartøyet?	40
5.1.8	Hvilke(n) skiller seg ut?	41
5.1.9	Pasco Video Capture	43

5.2	Målerigg + Sensorer.....	44
5.2.1	Styrker.....	44
5.2.2	Svakheter.....	45
5.3	Målemetode.....	45
6	Konklusjon og anbefaling.....	47
	Referanser	48
	Vedlegg	50

Figurer

Figur 1: Bølgens amplitude	11
Figur 2: Bølgelengde	12
Figur 3: Bølgebevegelser på dypt vann	12
Figur 4: Bølgebevegelse på grunt vann	14
Figur 5: Destruktiv & konstruktiv interferens	14
Figur 6: Bølgegruppe	15
Figur 7: Ikke-uniform & uniform strømming	16
Figur 8: Divergerende bølger (grønn), tverrgående bølger (rød)	17
Figur 9: Skjold-klasse korvett	18
Figur 10: Multihull, catamaran & trimaran	18
Figur 11: Bølgemønster til monoskrog (Øverst), bølgemønster katamaran (nederst)	19
Figur 12: Air cushion Vehicle (ACV)	20
Figur 13: PASCO PASPORT Motion Sensor PS-2103A	23
Figur 14: Graf gjennomføring 2, 25 knt vest	24
Figur 15: PASCO wireless pressure sensor	25
Figur 16: Ledsmarket Lamholmsflu	26
Figur 17: Inspirasjon til design av rigg	27
Figur 18: Indre diameter på stigeletrinn	28
Figur 19: Innfestning av 20x20 fikantrør i stigen	29
Figur 20: Indre diameter 25x25 firkanttrør	29
Figur 21: Innfestning av jekkestropp for å holde riggen horisontal	30
Figur 22: YETI GOAL ZERO 200x k strømstasjon	31
Figur 23: Strømstasjon montert på riggen under måling	32
Figur 24: Funksjonstest av rigg & utstyr	33
Figur 25: Graf bølgehøyde ved sensor 1, gjennomføring 1	35
Figur 26: Graf bølgehøyde sensor 2, gjennomføring 1	36
Figur 27: Graf frekvens ved sensor 1, gjennomføring 1	37
Figur 28: Graf frekvens ved sensor 2, gjennomføring 1	38

Figur 29: Gjennomføring 1, 10 knt øst.....	39
Figur 30: Gjennomføring 1, 15 knt øst.....	39
Figur 31: Gjennomføring 1, 20 knt vest.....	39
Figur 32: Gjennomføring 1, 25 knt øst.....	39
Figur 33: Gjennomføring 2, 10 knt øst.....	41
Figur 34: Gjennomførin 1, 10 knt vest.....	41
Figur 35: Gjennomføring 1, 5 knt øst.....	42
Figur 36: Gjennomføring 1, 5 knt vest.....	43
Figur 37: Bilde fra videomåling til venstre, oppløsning fra forsøk på plott.....	44

Nomenklatur / Forkortelser / Symboler

A	Amplitude [m]
ACV	Air-Cushion Vehicle
Ant.	Antall
c	Bølgehastighet [m/s]
f	Frekvens [Hz]
f.eks.	For eksempel
FLOTEX	Flotilla Exercise
g	Tyngdeakselerasjon [m/s^2]
HSMV	High-Speed Marine Vehicle
KNM	Kongelige Norske Marine
knt	Knop [nm/t]
m	Meter
MHV	Multihull Vessel
min	Minutt
MTB	Motor Torpedo Båt / Missil Torpedo Båt
n	Ant. svingninger
rad	Radian
sek	Sekunder
SES	Surfaceeffect-Ship
SOG	Speed Over Ground
STW	Speed Through Water
T	Periode [sek] (tid per svingning)
w	Vinkelhastighet [rad/s]
λ	Bølgelengde [m]

1 Innledning eller introduksjon

1.1 Bakgrunn

Sjøforsvaret har flere tilfeller hvor Skjold-klassen har skadet sivil eiendom langs kysten som konsekvens av bølgene som skapes av fartøyet. Dette har ført til økonomiske konsekvenser for Sjøforsvaret i form av erstatningskrav fra fornærmede. I dag tilstreber mannskapet på Skjold-klassen å operere fartøyene på en slik måte at dette ikke forekommer. Det innebærer bl.a. å variere pådraget på maskineriet, slik behandling av fartøyets maskineri fører til økt forbruk av drivstoff, kortere vedlikeholds-intervaller og dermed dårligere driftsøkonomi.

Skjold-klassen kystkorvett har siden starten av sin tjeneste brukt bølgedata fra Hauk klassen MTB. Skjold og Hauk har forskjellige skrogkonfigurasjoner, fremdriftssystemer og hastighetsprofiler. Dermed er det usikkerhet rundt hvor dekkende Hauk-klassens bølgedata er for Skjold.

Det er av interesse for 1. korvettskvadron, og Sjøforsvaret, å anskaffe oppdaterte bølgedata og undersøke om det finnes en løsning på denne problematikken som ikke går på bekostning av verken sivil eiendom, eller Sjøforsvarets materiell og økonomi.

I samråd med fagpersonell og veileder fastslo vi til slutt at denne studien skulle ha som primærformål å finne en metode for å løse problemstillingen på. Sekundærformålet ville være å implementere metoden, kartlegge bølgemønsteret til Skjold-klassen og anbefale tiltak for å løse utfordringene. Metodikken skulle være billig, lett å anvende og videreutvikle for de som ønsker å gjennomføre tilsvarende datainnsamlinger ved en senere anledning.

Insentivet for å velge denne oppgaven lå i det faktum at det er et reelt problem som ligger til grunn, og at en løsning vil kunne komme Sjøforsvaret til nytte sett fra et operativt perspektiv.

1.2 Mål

Oppgaven har til hensikt å kartlegge bølgemønsteret til Skjold-klassen kystkorvett. For å oppnå dette skal det lages en metode for å kunne ta bølgemålinger i kystnære områder på dypt vann. Ideell slutttilstand er oppnådd når målinger av bølgene fra Skjold-klassen kystkorvett er kartlagt ved ulike hastighetsforhold. Basert på disse dataene skal vi kunne gi en anbefaling på hvilke hastigheter som bør unngås i nærheten strandsonen som er sårbare for bølger. For å nå ideell slutttilstand må vi oppnå følgende delmål:

-
1. Utvikle en enkel og forståelig metode for bølgemåling.
 - Oppgaven skal gi en tilstrekkelig veiledning på hvordan ta i bruk metoden slik at det er lett å gjennomføre forsøket på nytt ved en senere anledning. Metoden skal være enkel og billig i den hensikt i å minimere sjansen for at faglig kompetanse og økonomi blir begrensende faktorer for gjennomføringsevne.

 2. Bruke metoden i samarbeid med en korvett.
 - Oppgaven kan bare nå ideell slutttilstand om vi har klart å bruke metoden i samarbeid med en korvett for å anskaffe reelle data om bølgene de produserer.

 3. Legge til rette for videreutvikling av metoden.
 - Bølgefysikk er et komplisert fagfelt og kadettene anerkjenner muligheten for at metodikken ikke vil bli optimal. Det må derfor forsikres at de nødvendige erfaringene blir gjort, slik at metodikken kan videreutvikles. Det vil legge grunnlaget for at andre som ønsker å foreta bølgemålinger kan ta gode vurderinger vedrørende hvordan forsøket kan forbedres i fremtiden, og sikre bedre kvalitet på dataene som produseres.

1.3 Avgrensninger

Oppgaven har et budsjett på 20 000 kr, samt et tidsrom på 4 måneder. Budsjettet stiller krav til at metoden er enkel og billig. Bedrifter som driver med slike målinger, har utstyr som er spesialdesignet for å kunne foreta målinger ute på vannet. Dette er utstyr vi ikke har tilgang, da økonomi og Sjøkrigsskolens ressurser er en begrensende faktor. Slik oppgaveteksten er formulert har vi begrenset oss til bølgemålinger på dypt vann. Årsaken til dette er at grunt vann vil kunne påvirke bølgen og øke kompleksiteten i forsøket (dette forklares nærmere senere i teori-delen av oppgaven, [Kap 2](#)). Når det kommer til relevante fartøystyper, vil oppgaven begrenses til Skjold-klassen spesifikt. I bakgrunnen for oppgaven (*Kap. 2.1*) presiseres det at variasjon i hastighet er en viktig del av problematikken. Denne oppgaven kommer derfor kun til å undersøke hvordan hastighet påvirker bølgemønster, og vil se bort ifra faktorer som for eksempel manøvrering eller liknende måter å påvirke bølgene fra fartøyet på.

1.4 Plan

Oppgaven er delt inn i 4 faser; 1) oppdragsanalyse og informasjonsinnsamling 2) sortering av informasjon og metodedesign, 3) koordinering og utførelse av bølgemålinger, 4) analyse og tolkning av data.

1.4.1 Fase 1

Denne fasen gikk ut på å hente inn all relevant informasjon og legge til rette for at oppgaven var gjennomførbar. Vi satt oss inn i hva 1. korvettskvadron ønsket svar på, og diskutere med veileder om hvordan vi skulle gå frem for å løse oppgaven på best mulig måte. Videre i fase 1 fokuserte vi på å hente inn teori om bølgefysikk, skipskonstruksjon og måleteknikk fra pensum som fremsto som relevant for oppgaven. Bølge teori er et komplekst fagfelt, det var derfor viktig å ha tett dialog med veileder Gisle Strand, samt lærer i hydrodynamikk Harald Totland, om hvilke avgrensninger vi kunne foreta oss og hvordan anvende teorien i praksis. I slutten av fase 1 sørget vi for å få utsjekk på Sjøbjørn for å skape oss mest mulig frihet og spillerom på sjøen, i den hensikt å lettere kunne tilpasse oss hvor, når og hvordan vi utfører målingene.

1.4.2 Fase 2

Denne fasen tar for seg sortering og anvendelse av den informasjonen som ble hentet inn i fase 1. Dette innebar å analysere de faktorene fra bølge teori og skipskonstruksjon som var viktige for oppgaven vår. Ut ifra denne analysen kunne vi utrede ulike konsepter for hvilken metode vi kunne bruke til å utføre målingene. Disse konseptene gikk primært ut på å velge sensorer som lett kunne la seg anvende til måling av bølger etter kravene stilt av oppgaven. Deretter kunne vi begynne på design av en rigg hvor vi kunne plassere sensorene vi hadde valgt å bruke. Oppdragsanalysen og bølge teorien kunne også gi oss en pekepinn på hvilke hastigheter som ville være interessante å studere nærmere.

1.4.3 Fase 3

Denne fasen omhandlet selve utførelsen av målingene. Målet var da å få fullstendige målinger av Skjold-klassen korvett. Å legge opp til å gjennomføre testing sammen med et marinefartøy i operativ tjeneste medfører en viss risiko for at dette fartøyet må avbryte eller avlyse testingen på kort varsel. I tidsperioden vi ble gitt til å jobbe med oppgaven var samtlige korvetter satt opp til å delta på øvelse FLOTEX og ville garantert være utilgjengelig under

øvelsen. Av den grunn måtte vi sette opp alternative handlemåter som fremdeles kunne gi oss fornuftige svar på oppgaven:

- Alternativ 1:
 - Gjennomføre måling av bølgene fra Skjold-klassen korvett der man får gjennomført målinger både motstrøm og medstrøms.
- Alternativ 2:
 - Gjennomføre måling av bølgene fra Skjold-klassen korvett på deres seilas mot øvelse FLOTEX.
- Alternativ 3:
 - Gjennomføre måling av bølgene fra en Sjøbjørn, hvis korvett ikke lenger er tilgjengelig, i den hensikt å teste kvaliteten på metodikk.
- Alternativ 4:
 - Gjennomføre forberedelsene til test av kvalitet på metode, hvis verken Sjøbjørn eller korvett lenger er tilgjengelig, slik at målingene er enkle å utføre på et senere tidspunkt.

Det var laget fullstendige planer for hvordan det var tiltenkt å gjennomføre målinger av Skjold-klassen. Planen som ble sendt ut til korvettskvadronen ligger vedlagt i oppgaven. Det var laget prosedyrer for målinger, dermed hadde vi en plan dersom et fartøy ikke hadde mulighet til å gjennomføre målinger i alle de ulike hastighetene. Hensikten var også å gjøre kommunikasjonen mellom kadettene og fartøyet enklere, og at gjennomførelsen kunne være mer tilpasningsdyktig. Enten grunnet tidspress, eller manglende data ved en hastighet. Denne målingen ville gitt informasjon om hvilke fartsområder som satt mest sjø. Dette ville åpne muligheten for 1.Korvettskvadron å sammenligne bølgedataen opp mot bølgedataen fra Hauk klassen MTB.

Ettersom at kadettene slet med å få tak i sjøbjørn ved seilas til øvelse FLOTEX. Samt at korvettene ikke hadde mulighet til å avsette tid før øvelse FLOTEX. Var det ikke lenger mulig til å gjennomføre målinger av Skjold-klassen. Dermed var ikke delmål to oppnåelig, og vi ble nødt til å gå handlemåte tre for oppgaven.

1.4.4 Fase 4

Fase 4 var analysedelen av oppgaven. Hensikten med denne fasen er todelt.

Første del var å behandle alle bølgedata vi hadde hentet inn fra målingene. Dersom alternativ

1 eller 2 hadde blitt gjennomført kunne komme da med en anbefaling til 1. korvettskvadron på bakgrunn av data samlet inn fra målinger.

Den andre delen var å sortere alle erfaringene vi hadde gjort oss under målingene og komme med anbefalinger til endringer i metodikk som må/bør/kan gjøres om forsøket skal gjentas ved en senere anledning. Oppgaven skulle altså kulminere i en sammensatt anbefaling om konkrete tiltak som kan implementeres umiddelbart, og videre utvikling av metodikk for økt kvalitet på innhentet data.

1.5 Struktur

Oppgaven vil først forklare relevant teori rundt bølgefysikk og skipskonstruksjon i den hensikt å danne et grunnlag for leserens forståelse og tolkning av oppgaven. Teorien vil være sentral i analysen av resultater senere i oppgaven, samt være en pekepinn for den som måtte ønske å videreutvikle oppgaven.

Videre beskrives fremgangsmåten for hvordan oppgaven har blitt løst. Dette for å forsikre at leser forstår vurderingen bak valg som har blitt tatt underveis. Disse valgene omhandler design av målerigg, valg av lokasjon for målinger, valg av sensorer og plan for gjennomføring.

Avslutningsvis vil resultatene fra målingene presenteres, etterfulgt av analyse og drøfting. På bakgrunn av analysen, og de mål som er satt for oppgaven, vil vi konkludere med en evaluering av metodikkens måloppnåelse og komme med anbefalinger for videreutvikling av oppgaven.

2 Teoretisk bakgrunn

Denne oppgaven tar utgangspunkt i at leseren har begrenset med kunnskap rundt bølgefysikk og hvordan Skjold-klassen kystkorvett er bygd opp. Av den grunn vil vi introdusere grunnleggende teori for å gi leseren et bedre utgangspunkt for videre lesing og forståelse av oppgaven. Det teoretiske grunnlaget har til hensikt å illustrere de sentrale faktorene innenfor bølgeteori og fartøyets skrogutforming. Dette for å skape forståelse for de valg som er tatt underveis i oppgaven. I tillegg skal det bidra til å gi en pekepinn på hva som må tas hensyn til om oppgaven skal videreutvikles i fremtiden. En viktig presisering er at denne oppgaven ikke vil inneholde noen konkrete prediksjoner basert på teorien, men heller forklare observasjoner og underbygge valg tatt underveis.

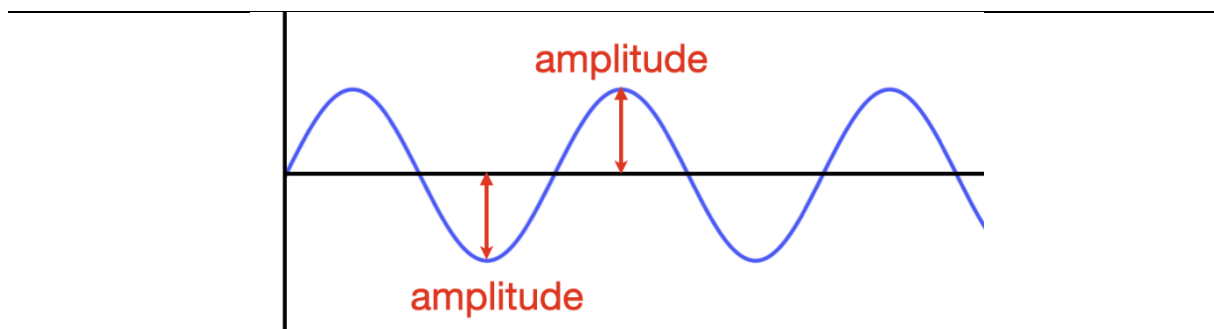
2.1 Definisjon

Hva er en bølge? Dette er et av de mest fundamentale spørsmålene for denne oppgaven, og paradoksalt nok det vanskeligste å besvare. Det finnes til nå ingen klar definisjon på hva en bølge er, men vi har modeller som kan beskrive hvordan bølger oppfører seg og hvordan de er bygd opp. I denne oppgaven skal vi derfor forholde oss til den delen av bølgeteori som omhandler bølger som forplanter seg gjennom vann. Vi kommer til å legge vekt på de modellene som lettest lar seg anvende når det kommer til praktiske målinger innenfor de rammene satt i avgrensningene for oppgaven (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 9).

2.2 Grunnleggende bølgefysikk

En bølge består av flere grunnleggende komponenter: 1) bølgehøyde, 2) amplitude, 3) frekvens, 4) periode, 5) bølgelengde, og 6) bølgehastighet (Slaomon, 2021, ss. 5-7).

Bølgehøyde er avstanden fra toppen av bølgen (bølgetopp) til bunnen av bølge (bølgedal). Amplituden er halvparten av bølgehøyden, altså avstanden fra bølgens midtlinje til bølgetoppen eller bølgedalen. Se figur 1. For bølger på havet er det vanligst å operere med bølgehøyde, da det kan være forskjell mellom amplituden til bølgetopp og bølgedal.



[utslag – fysikk – Store norske leksikon \(snl.no\)](http://snl.no/utslag-fysikk)

Figur 1: Bølgens amplitude

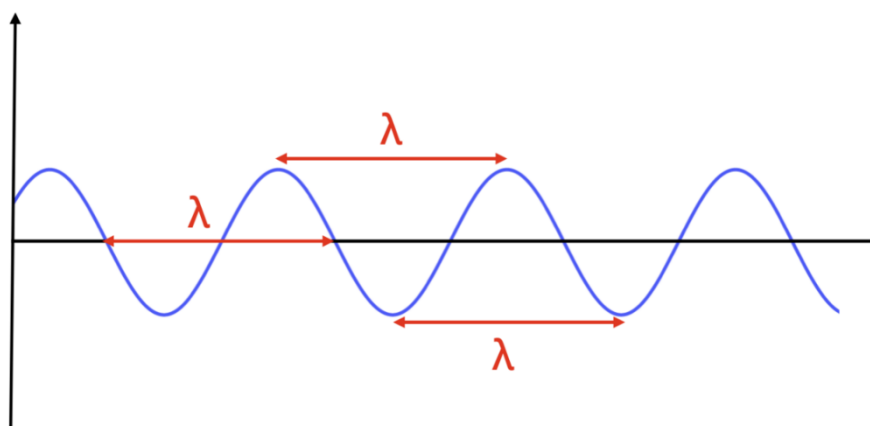
Frekvensen til en bølge er hvor mange svingninger som forekommer per sekund. Én svingning er at bølgen beveger seg fra midtlinjen, via bølgetopp og bølgedal, og tilbake til midtlinjen. Periode er den inverse av frekvensen og er et mål på hvor lang tid én svingning tar.

$$f = \frac{n}{t} \quad \text{Formel 1: Frekvens (2.1)}$$

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{Formel 2: Periode (2.2)}$$

Bølgelengden (λ) er avstanden mellom bølgetoppene, eller bølgedalene. Bølgehastighet er hvor fort bølgen forplanter seg gjennom fluidet, og kan uttrykkes ved hjelp av bølgelengden og perioden.

$$c = \sqrt{\frac{g \times \lambda}{2\pi}} \quad \text{Formel 3: Bølgefart (2.3)}$$

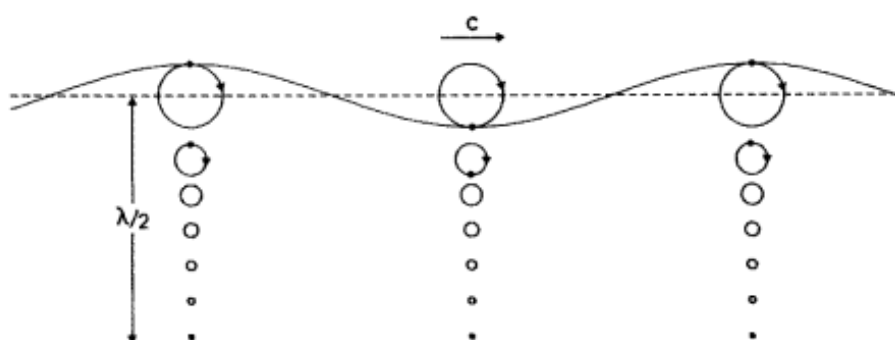


[bølgelengde – Store norske leksikon \(snl.no\)](http://snl.no/bølgelengde)

Figur 2: Bølgelengde

Bølger i vann beskrives som *dispersive* bølger (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 9). At bølger er dispersive betyr at hastigheten ikke er konstant, men er avhengig av en variabel. For vann er hastigheten avhengig av bølgelengden, altså avstanden mellom bølgetoppene. Bølger med kort bølgelengde beveger seg saktere enn de med lange bølgelengder.

Generelt sett beveger bølger seg gjennom fluid i en bevegelse som enten beskrives som sirkulær (todimensjonalt plan) eller sfærisk (tredimensjonalt rom). Uten ytre faktorer som på virker bølgens bevegelse, er det rimelig å anta at energien i bølgen sprer seg isentropisk gjennom fluidet. Altså, bølgens bevegelse vil være lik i alle retninger.



[UIO kompendium.pdf](#) (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 21)

Figur 3: Bølgebevegelser på dypt vann

Dispersjon og isentrop energifordeling er prinsipper som danner grunnlaget for vår forståelse av bølgefysikk i vann. Disse beskriver bølger under ideelle forhold, men slike forhold finner vi sjelden. Videre vil vi illustrere hvordan bølgekilden og andre eksterne faktorer påvirker bølgemønsteret.

2.3 Bølgetype

I denne oppgaven er det interessant å se nærmere på bølgene i overflaten av fluidet, også kalt overflatebølger. Denne typen bølger er den mest relevante for problemstillingen vår. Overflatebølger deles hovedsakelig inn i to grupper; kapillærbølger og gravitasjonsbølger.

2.3.1 Kapillærbølger

Kapillærbølger er de små bølgene på overflaten som drives av overflatespenningen mellom vannmolekylene. Kapillærbølger opererer på veldig små avstander og har veldig liten påvirkning på skip eller objekter i strandlinjen (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 11). Vi velger derfor å ikke se

på denne typen bølger i oppgaven vår. Allikevel er det viktig å være klar over at disse bølgene skaper ujevnheter i vannoverflaten, og kan mulig virke forstyrrende på eventuelle bølgemålinger.

2.3.2 Gravitasjonsbølger

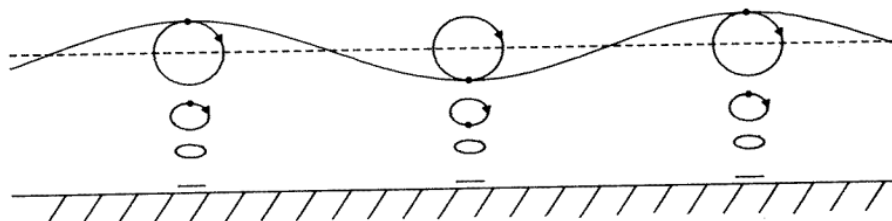
Gravitasjonsbølger er svingninger som oppstår i et fluid når likevekten i fluidet forstyrres. Denne forstyrrelsen kan oppstå på flere måter. Forstyrrelser i stor skala kan komme gjennom trefninger mellom to ulike fluid ved at f.eks. havet tilføres energi fra større værssystemer som skaper vind. Forstyrrelser kan også oppstå lokalt ved at f.eks. et skip beveger seg gjennom vannet. Fordi skipet ikke er uendelig langt, vil et slikt tilfelle omtales som en forstyrrelse fra en kilde med endelig utstrekning (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 34).

Bølger forårsaket av skip kalles også for “overflatebølger”. Denne typen bølger er fokuset for denne oppgaven vår. Overflatebølger fra skip beskrives nærmere i [Kap. 2.7](#).

2.4 Dypt vann

Problemstillingen i oppgaven spesifiserer at bølgene som skal studeres skal befinne seg på dypt vann. “Dypt vann” defineres i denne sammenheng som en dybde som overstiger halvparten av bølgens bølgelengde. Som beskrevet i [Kap. 2.2](#), beveger bølger seg sirkulært i vannet. Radiusen på disse sirkelene minker jo dypere i vannet man måler. Ved en dybde på en halv bølgelengde opphører denne bevegelsen. Ved dypt vann, og ellers ideelle forhold, antas disse bevegelsene for å være perfekte sirkler (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 21).

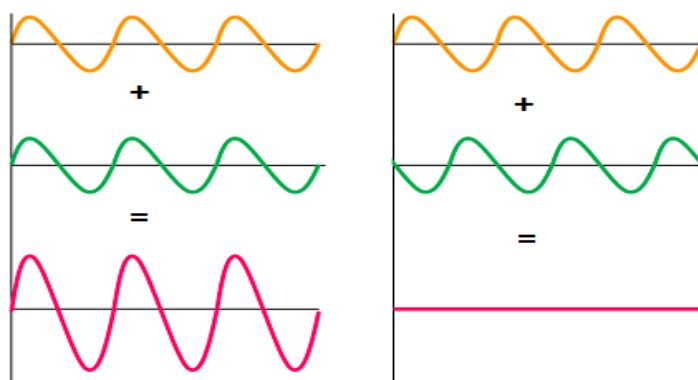
Grunt vann er når de sirkulære bevegelsene til bølgen treffer bunn før de opphører. Da komprimeres de og blir ellipseformet. Grunt vann bringer med seg en rekke faktorer som øker kompleksiteten i systemet. Bunnforhold, helning og bølgerrefleksjon (om bølgen bryter mot land eller et objekt), er noen av de sentrale faktorene som påvirker bølgens bevegelse. Bølgemønsteret endrer seg og blir vanskeligere å predikere og det er ikke like tydelig hvilke faktorer som er relevante for de observasjonene som gjøres (Slaomon, 2021, s. 10). Av disse årsaker skal denne oppgaven ta for seg på bølger på dypt vann.



Figur 4: Bølgebevegelse på grunt vann

2.5 Interferens og bølgegrupper

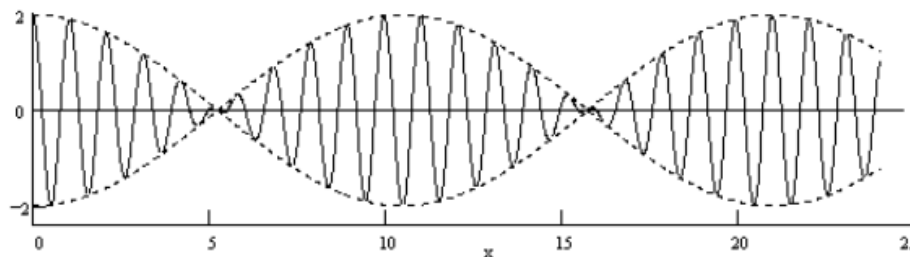
I denne oppgaven er det viktig å unngå bølgerrefleksjon. Årsaken til det er at de reflekterte bølgene kan interferere med bølgene som kommer etter og føre til enten destruktiv eller konstruktiv interferens. Det betyr at bølgen kan dempe eller øke amplituden og frekvensen til bølgen, alt etter som hvordan de treffer hverandre. Med andre ord, interferens endrer bølgens karakteristik. Dette gjelder dog ikke bare bølger på grunt vann, som beskrevet i [Kap. 2.3](#). Interferens er også til stede på dypt vann, men her kan det ha andre utfall. Dette vil beskrives nærmere senere i oppgaven.



[Wave Interference - Constructive Interference & Destructive Interference \(physics-and-radio-electronics.com\)](http://physics-and-radio-electronics.com)

Figur 5: Destruktiv & konstruktiv interferens

Når flere bølger virker samtidig, i samme område, og kan påvirke hverandre, omtales dette som et bølgesystem. I et slikt system vil energien til alle bølgene som befinner seg i systemet kunne summeres til én felles netto energi for systemet. Resultatet blir et bølgesystem hvor hver enkelt bølge er satt sammen av flere mindre bølger med ulike frekvenser og amplituder. Dette kalles en «bølgegruppe» (Figur 6). Felles for bølgene som «bølgegruppen» består av er at de beveger seg med en felles hastighet kalt «gruppe hastighet». I en slepetank under ideelle forhold vil dette fenomenet være lite fremtredende, men ved forsøk i et komplekst system som på sjøen er dette uunngåelig. Det er derfor viktig å presisere at de målingene som gjøres av bølger produsert av skip ute på sjøen er sterkt avhengig av det allerede eksisterende bølgesystemet det beveger seg gjennom og strømningsretningen i sjøen (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 30).



[FULLTEXT01.pdf \(diva-portal.org\)](#) (Goicoechea, 2019, s. 13)

Figur 6: Bølgegruppe

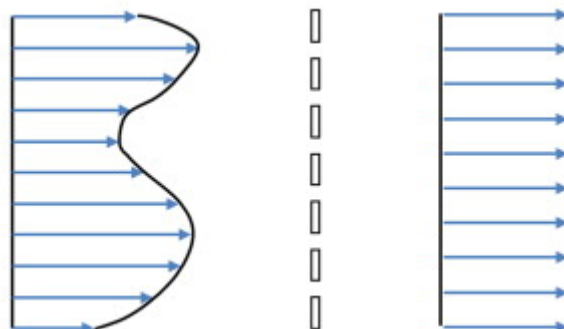
2.6 Strømningsretning

Strømninger i sjøen påvirker bølgemønsteret. Å predikere nøyaktig hvordan strømningsretningen påvirker overflatebølger er svært kompliserte matematiske beregninger, og vil derfor ikke være en del av denne oppgaven. Det er derimot lettere å generalisere den effekten strømmen har på bølgemønsteret ved å si noe om hvilke enkeltfaktorer som er relevante og hvorfor de er relevante. Strømninger i vann kategoriseres hovedsakelig på to måter; retning og form. Vi skiller med andre ord mellom mot- og medstrøms, og mellom uniform og ikke-uniform strømning. Det er nødvendig å vite tilstanden til begge parametere for å kunne si noe om den endelige effekten det har på systemet, da systemet i sin helhet er både sammensatt og komplekst (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 98 & 99).

Med “mot – og medstrøms” menes den relative hastigheten partiklene i fluidet har i forhold til et fremmedobjekt som befinner seg i fluidet. Et typisk eksempel vil være et skip som seiler gjennom et sund hvor tidevannet har en tendens til å skape sterke strømmer. Om skipet seiler med strømmen vil den relative hastigheten være mindre enn om skipet seiler mot strømmen. Forventede observasjoner er at bølger i motstrøm blir komprimert (bølgelengden blir kortere) og visa versa for bølger som beveger seg med strømmen. Av den grunn er man interessert i å vite både hvor fort et fartøy beveger seg i forhold til land og i forhold til vannet det beveger seg gjennom. Hastigheten over land kalles “speed over ground” (SOG), og hastigheten gjennom vann kalles “speed through water” (STW) (Faltinsen, 2005, s. 78).

Med “uniform og ikke-uniform” strømning menes hastighetsprofilen til fluidet som funksjon av dybden. Det vil si at i en uniform strømning vil ikke hastigheten endre seg uansett hvilken dybde eller annen plassering man har i fluidet. I en ikke-uniform strømning vil det være motsatt, at hastigheten endrer seg etter hvilken plassering man har i fluidet. For ikke-uniforme strømninger er det ikke gitt at hastigheten endrer seg proporsjonalt med dybden, da det er flere faktorer enn bare dybden som

påvirker strømmingen. Ikke-uniform strømming oppstår i strømminger hvor det er mye friksjon og derfor skjærkrefter til stede. Av den grunn finner man oftest denne typen strømmingstypen på grunt vann med ujevn bunn. Kort oppsummert er uniforme strømming mindre komplekst enn ikke-uniform fordi det er en generell forenkling av virkeligheten og er derfor lettere å forholde seg til i et scenario hvor man studerer bølger. For dypt og åpent vann vil det være rimelig å anta at strømmingen er uniform, gitt at vannet er av samme saltinnhold og viskositet (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 97).



[Flow uniformizing distribution panel design based on a non-uniform porosity distribution - ScienceDirect](#)

Figur 7: Ikke-uniform & uniform strømming

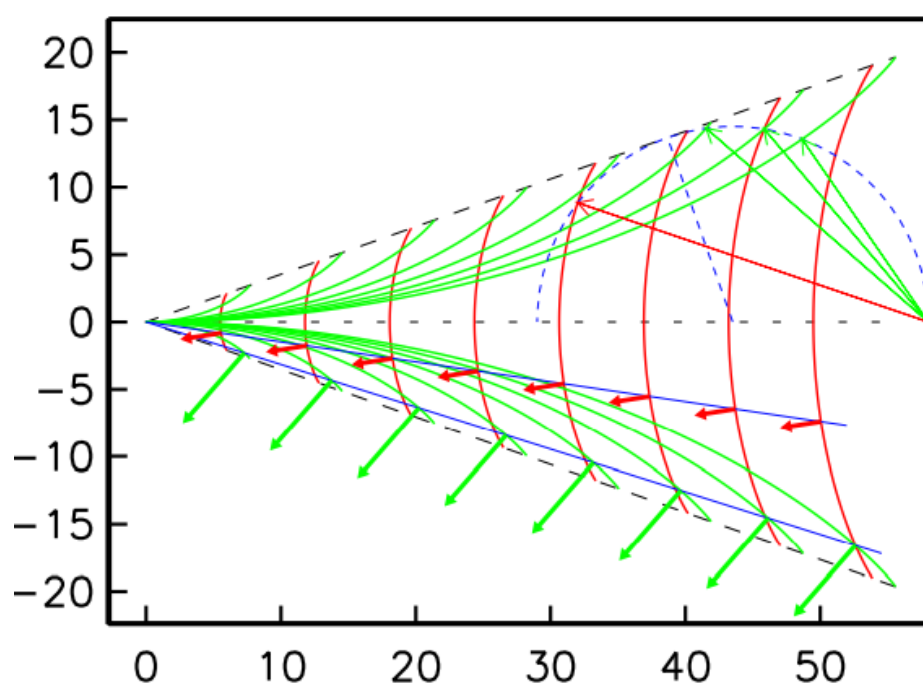
Sett i sammenheng vil vi kunne ende opp med ganske forskjellige bølgekarakteristikker etter hvilke kriterier vi operer under. Så lenge strømmingen er ikke-uniform vil bølgesystemet preges av høy grad av kompleksitet og vil være vanskelig å analysere, både for med – og motstrøm. Uniform strømming derimot, er en generalisering som gir grunnlag for en omfattende forenkling når det kommer til bølgegenerering i med – og motstrøm. Denne forenklingen er at bølge systemet er uavhengig av om det er fluidet eller fremmedobjektet som beveger seg så lenge den relative hastigheten er den samme. Altså, en stillestående båt i en elv og en båt som seiler gjennom stille vann kunne lage samme bølger om de har lik relativ hastighet (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 97).

2.7 Bølger fra skip

2.7.1 Generell skipsbølger

Som nevnt i [Kap. 2.3](#), er bølger fra skip kategorisert som lokale forstyrrelser i fluidet fra en kilde med endelig utstrekning. Bølgemønsteret som oppstår, er bygd opp av to komponenter primært; 1) divergerende bølger og 2) tverrgående bølger. De divergerende bølgene beveger seg vekk fra skroget, mens de tverrgående bølgene beveger seg i fartsretningen til fartøyet. De viktigste faktorene som påvirker hvordan disse bølgene ser ut er fartøyets hastighet og utforming (Goicoechea, 2019, ss. 17-

19). Det er de divergerende bølgene som utgjør størst trussel for objekter i strandsonen, og er derfor fokuset i denne oppgaven (Dubrovsky & Lyakhovitsky, 2001).



[UIO kompendium.pdf](#) (Gjevik, Pedersen, & Trulsen, 2015, s. 114)

Figur 8: Divergerende bølger (grønn), tverrgående bølger (rød)

De divergerende bølgene beveger seg bort fra fartøyet med en spesifikk vinkel kalt Kelvin-vinkel. Denne vinkelen er konstant ved alle hastigheter på dypt vann, og ligger på 19,28 grader i forhold til fartsretningen til fartøyet (Faltinsen, 2005, s. 105).

2.7.2 Skjold-klassen

Denne oppgaven er rettet spesifikt mot bølgemønsteret til Skjold-klassen kystkorvett. Av den grunn er det relevant å adressere hvilke faktorer som er utslagsgivende for hvordan bølgemønsteret blir til og hvordan det ser ut for et slikt fartøy. Dette vil hovedsakelig innebære å beskrive skrogutformingen til Skjold-klassen.

Korvettene klassifiseres det som kalles «High speed marine vehicle» (HSMV) (ITTC - International Towing Tank Conference, 2014) og faller under kategorien som en kombinasjon av to forskjellige skrogkonfigurasjoner. Skjold-klassen er et «Surfaceeffect-ship» (SES), noe som er en blanding mellom «Multihull vessel» (MHV) og «Air-cushion vehicle» (ACV). Hver av disse skrogkonfigurasjonene har særegne karakteristikk som kan studeres individuelt. For å forstå SES-fartøy er det viktig å først forstå hvordan MHV - og ACV - elementene til fartøyet virker individuelt.

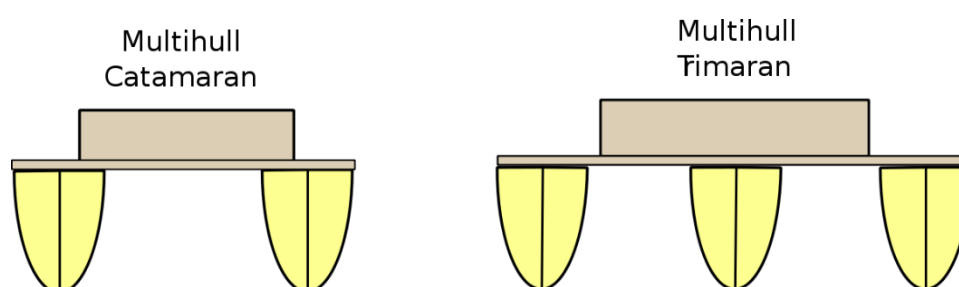


[Storm \(10/2010\) | Maritimt Magasin](#)

Figur 9: Skjold-klasse korvett

2.7.3 Multihull vessen (MHV)

MHV er et fartøy som tar i bruk flere skrog, også kalt delskrog, for å skape oppdrift. De vanligste variantene vi ser i dag er katamaraner (to skrog) og trimaraner (tre skrog). Fordelene med MHV er at de generelt sett er mer stabile og at de kan ha tynnere skrog fordi det nødvendige deplasementet er fordelt på to eller flere delskrog. Dette minker motstand og fartøyet kan lettere oppnå høye hastigheter (Dubrovsky & Lyakhovitsky, 2001, s. 112 & 121).

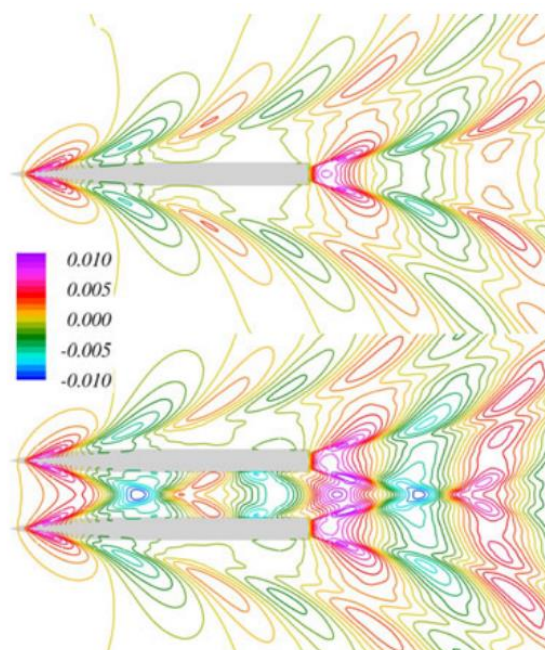


[Multihull - Wikipedia](#)

Figur 10: Multihull, catamaran & trimaran

Som nevnt i Kap. 3.6.1, er det de divergerende bølgene som er av interesse i denne oppgaven, da det er disse som kan forårsake skader på materiell langs strandlinjen. Den særegne formen til f.eks. en

katamaran vil frembringe to sett med divergerende bølger. Ett sett med bølger som beveger seg ut til hver side av fartøyet, og ett sett som beveger seg inn mot senterlinjen av fartøyet. De bølgene som beveger seg inn om senterlinjen er bare relevant for hvilken motstand fartøyet opplever og ikke for problemstillingen i denne oppgaven (Faltinsen, 2005, ss. 120-122). Disse bølgene vil derfor ikke beskrives noe nærmere.



[Catamaran simulation.pdf](#) (Broglia, Di Mascio, & Zaghi, 2014, s. 9)

Figur 11: Bølgemønster til monoskrog (Øverst), bølgemønster katamaran (nederst)

De divergerende bølgene ut fra fartøyet derimot, vil oppføre seg i stor grad likt som om fartøyet var et monoskrog. Forutsetningen er at delskrogene til MHV'en har samme utforming som monoskroget. Det er sjeldent tilfelle. En MHV er designet på andre premisser enn et monoskrog og er derfor formet på en annen måte. Fordi mengden vann som skal fortrenses er fordelt på to (eller flere) skrog, kan disse være slankere enn på et monoskrog med samme deplasement. De slanke skrogene skjærer lettere gjennom vannet. De entrer også vannet mer loddrett ned i slik at det vannet som fortrenses ikke skyves ut fra fartøyet med like stor vinkel som monoskrog gjør. Dette vil i utgangspunktet føre til mindre bølger, men som nevnt tidligere gir slanke skrog muligheter for høye hastigheter. Hastighet er en sentral faktor når det kommer til generering av bølger for skip. Om hastigheten har en reduserende eller en forsterkende effekt på frembring av bølger kommer an på om fartøyet er planende eller ikke.

Planende skrog løftes opp av vannet ved høye hastigheter og dette har en bølgereduserende effekt. For ikke-planende skrog vil bølgene bare bli større etter hvert som hastigheten øker. Det er fartøyets hastighet relativt til vannet (STW) som er avgjørende for når det kommer opp i plan.

2.7.4 Air-cushion vehicle (ACV)

ACV er en fellesbetegnelse for fartøy som tar i bruk aerostatisk trykk (lufttrykk) for å skape oppdrift. Den vanligste måten å skape dette løftet på er å øke lufttrykket under fartøyet ved hjelp av store vifter, og et «skjørt» som henger rundt hele skipet og stenger luften inne. Sammen skaper de en «luftpute» som fartøyet svever på (Yun & Bliault, 2000, ss. 46-47). Hele hensikten med et slikt design er å redusere kontaktoverflaten mellom vannet og fartøyet så mye som mulig.



[Air cushion vehicle \(ACV\), hovercraft \(wartsila.com\)](https://www.wartsila.com)

Figur 12: Air cushion Vehicle (ACV)

En særegen egenskap for ACV'er er at de skaper bølger i alle retninger. Dette kommer av at luften i «luftputen» lekker ut fra skjørtet i alle retninger rundt fartøyet. Om fartøyet beveger seg fremover eller bakover, og i hvilken hastighet, har selvfølgelig en påvirkning på hvordan disse lekkasjene er fordelt. En annen unik karakteristikk med ACV'er er at det er en signifikant nivåforskjell mellom vannstanden under luftputen og utenfor fartøyet, selv om fartøyet i prinsippet kun skal sveve på luft. Lufttrykket ender opp med å fortrenge vannet under fartøyet og presse det ut under skjørtet. Bølgene som skapes formes også av at deler av skjørtet er i kontakt med vannoverflaten. Resultatet blir et bølgemønster som er en kombinasjon av luft i høy hastighet som skaper forstyrrelser på overflaten, et lufttrykk som fortrenge vannet under «luftputen» og et skjørt som skyver vannet vekk fra fartøyet (Gougoulidis, 2005, ss. 27-29). Når det er sagt, selv om bølgemønsteret produsert av ACV'er er sammensatt av flere forskjellige variabler vil denne fartøystypen skape små bølger i forhold til størrelsen sin, sammenlignet med MHV'er og monoskrog.

2.7.5 Surface effect ship (SES)

SES er på mange måter en kombinasjon av de største fordelene ved MHV'er og ACV'er. Fartøyet er bygget som en katamaran, men tar i bruk skjørt i baugen og i hekken. Store vifter fyller rommet under fartøyet med luft og en «luftpute» skapes. Delskorgene bidrar altså her til å stenge luften inne.

Katamaran delen av SES er som regel designet for å plane ved høye hastigheter. Dette løfter fartøyet vider opp av vannet, noe som er fordelaktig med tanke på både friksjon – og bølgemotstand (Yun & Bliault, 2000, ss. 46-47).

En SES vil som regel alltid skape større bølger enn en ACV med samme lengde og bredde. Årsaken til dette er at tilnærmet 100% av løftet i en ACV kommer fra luftputen, og som forklart tidligere resulterer dette i lite bølgeskapning i forhold til fartøyets størrelse. SES på sin side har oppdrift fordelt på både «luftpute» og delskrog. Hvordan oppdriften til en SES er fordelt mellom luftpute og skrog kommer helt an på hva fartøyet som brukes til. I tillegg kan det variere med hastigheten til fartøyet. Av disse årsaker kan belastningen på luftputen variere mellom 60 – 90 %, noe som gjør at den er å betrakte som den dominante faktoren for bølgegenerering. Selv om dette er et bredt variasjonsområde, har det uansett stor positiv innvirkning på å redusere størrelsen på bølgene fra fartøyet.

Svakheten med SES, når det kommer til bølger, kommer ved lave hastigheter. Med lave hastigheter mens hastigheter hvor fartøyet ikke har kommet opp i plan. Da vil deler av fordelene med MHV forsvinne (Faltinsen, 2005, ss. 101-103). Hvordan bølgene ser ut ved disse hastighetene kommer helt an på hvor mye løftekapasitet luftputen har. Hvis den er i det lavere skitet vil det være mulig at skjørtene vil begynne pløge vann. Dette eliminerer nok en fordel ved MHV og vil ha en negativ effekt på bølgene fra fartøyet. Det er rimelig å anta at sistnevnte er en av de ledende årsakene til at Skjold-klassen lager så mye sjø som det gjør.

3 Framgangsmåte

3.1 Behov og design

Problemstillingen for oppgaven presiserer at kartleggingen av bølgemønsteret skal gjøres på dypt vann og i kystnære forhold. Dette medbringer en del utfordringer som vi måtte finne en løsning på. Vi måtte finne ut hvilken type utstyr vi skulle bruke for å hente inn nødvendige data, hvordan vi skulle sette opp dette utstyret på en hensiktsmessig måte og hvor vi skulle foreta målingene.

Vi foretok en behovsanalyse for å definere hva vi måtte være i stand til å gjøre for å hente inn tilstrekkelig med data til å besvare oppgaven. Denne analysen gikk ut på å forstå følgende; 1) hvilke sensorer som var relevante og tilgjengelige for oss, 2) hvilke lokasjoner som var gunstige ifm. dybde, avstand fra land og muligheter for opprigging, og 3) hvordan få plassert sensorene i riktig posisjon for å måle bølgene.

Designfilosofien vår gikk ut på å identifisere de begrensende faktorene fra behovsanalysen, for så å bruke disse som utgangspunkt for resten av designet. I dette tilfellet identifiserte vi sensorutvalg og lokasjon som de mest begrensende faktorene. Med sensorene var vi begrenset til hva Sjøkrigsskolen selv kunne forsørge oss med. Med lokasjon var vi begrenset til områder med godt egnede staker eller andre “strukturer” på tilstrekkelig dypt vann, uten for mye sivil bebyggelse i nærheten og innenfor rekkevidde med Sjøbjørn fra Sjøkrigsskolen. Av den grunn valgte vi å designe en “målerigg” med utgangspunkt i at det skulle være enkelt å sette opp ved den/de lokasjonene vi hadde sett for oss, og enkelt å operere sensorene på riggen.

3.2 Valg av sensor

3.2.1 Målestokk med videoanalyse

Det er nok den enkleste løsningen. Den er kort fortalt at man fester målestokk til en sjøstake med et kamera som filmer, så bruke video til å avlese resultatet. Denne metoden er billig, men kan fort bli upresis. Målemetoden står også i fare for å ikke oppfylle “bølgemåling på dypt vann”. Grunnen til at den står i fare for å ikke oppfylle dypt vann, er ved at sjømerker ofte er plassert på grunner. Denne metoden ble dermed ikke tatt i bruk.

3.2.2 Pasco ultralyd bevegelsessensor

Det er sensorene som blir brukt for forsøk i bølgetanken på skolen. Sensorene bruker dataprogrammet Pasco capstone til å samle inn data. Dette gjør at vi enkelt kan få ut grafer over

bølgehøyde over tid. Disse måler da avstanden ned til vannoverflaten. Ettersom at de er tilgjengelig fra skolen, gjør det at disse sensorene var veldig attraktive for oss å ta i bruk.

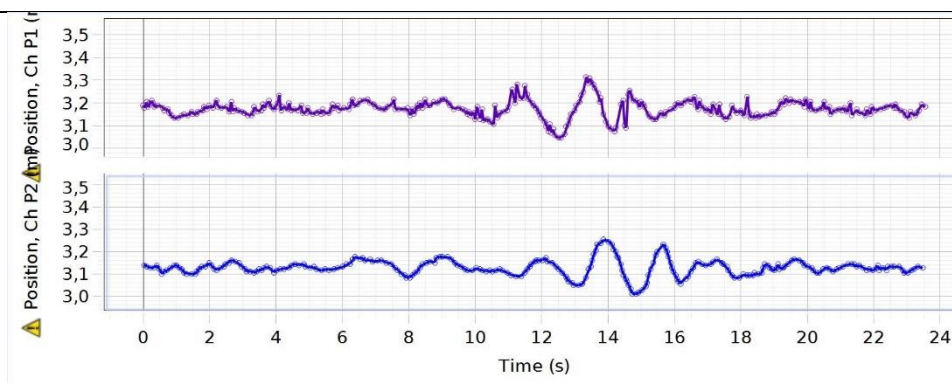


[PASPORT Motion Sensor - PS-2103 - Products | PASCO](#)

Figur 13: PASCO PASPORT Motion Sensor PS-2103A

For å gjøre det mest mulig nøyaktig har vi valgt å ta i bruk to av disse sensorene. Ved bruk av en sensor så kan man kun støtte seg på målt bølgelengde for å bestemme hastigheten. Ved bruk av to sensorer kan man da i teorien fastslå en mer nøyaktig bølgefart på en individuell bølge, gitt at vi ved distansen mellom sensorene. Problemer som kan oppstå med denne metoden er ved asymmetriske bølger, du avhenger da også å få vite hva den eventuelle vinkelen mellom bølgen og målesensorene er (se [Vedlegg E](#)). Måleriggen gjør det mulig å få sensoren ut på dypere vann, for å sikre at målingen blir gjort ved dypt vann. Det vil også hindre at de to første bølgene blir påvirket av staken i vannet.

Under er et eksempel på hvordan målingene visualiseres i programmet. Denne grafen viser bølgene som skapes når en Sjøbjørn passerer med en hastighet på 25 knt.



Figur 14: Graf gjennomføring 2, 25 knt vest

Grafene er bygd opp på følgende måte:

All data kommer i sett på to grafer grunnet at riggen er utstyrt med to bevegelsessensorer. Den øverste grafen tilhører sensor 1 (Ch P1), plassert lengst ute på måleriggen. Den nederste grafen tilhører sensor 2 (Ch P2), plassert lengst inne på måleriggen. Y-aksen representerer avstand over vannoverflaten. Som eksempelet over viser, starter målingene i dette tilfellet mellom 3,1 og 3,2 meter. Denne avstanden varierer fra måling til måling (3,05 – 3,25 m) med tidevannet, og alle grafene avleses med hensyn på dette. X-aksen viser tiden som har gått siden målingen begynte. Det som er å ha i bakhodet ved behandling av grafene er at bølgen er snudd opp ned. De minste avstandene er fra bølgetoppen som beveger seg nærmere sensoren.

3.2.3 Pasco video analysis

Gjennom Pasco capstone får vi også muligheten til å ta i bruk et videoanalyse-verktøy som vi kan bruke på et objekt som flyter i vannet. Dette gir oss muligheten til å sammenligne bølgedata fra sensorene opp mot blåse som flyter fritt i vannoverflaten. Programmet fungerer ved å vite diameteren på objektet du filmer, for å så bruke denne kjente lengden til å plote inn objektets bevegelser. Det som kan være vanskelig med denne metoden, er å forsikre oss at vi har blåsen på omtrent samme lokasjon hver gang. Samt må blåsen være nære nok kamera for å få en nøyaktig måling.

3.2.4 Dronefoto

Ved bruk av drone kan man få et bilde på om det er forskjell på bølgemønster ved ulike fartsforhold. Bildene fra dronen kan gi informasjon om hvordan bølgene slår inn mot bevegelsessensorene, hva vinkelen er mellom sensorrigg og bølgen. Vinkelforholdet mellom bølgen og sensorene er sentral for å kunne regne ut hastighet. Når en måling gir et uforventet resultat, kan dronefoto bygge opp under eventuelle hypoteser. Dette er ønskelig for å kunne forstå måledataen du får inn.

3.2.5 Trykksensor

Bølger skaper også endringer i trykk. Vi kan samle inn data via en trykksensor, dette er en sensor vi også kan få igjennom Pasco.



Figur 15: PASCO wireless pressure sensor

Ved montering av sensor må man feste lodd til enden av slangen. Dette for å forsikre at den er utstrakt igjennom hele målingen. Sensoren fungerer ved at når bølgen slår inn vil vannsøylen i plastslangen prøve å klatre opp slangen. Vannsøylen presser sammen luften som er i slangen, og dette trykke blir avlest.

3.3 Lokasjon

Det å utføre målinger ute på vannet krever at du finner en lokasjon som er egnet. Ettersom at man ønsker å minimere effekten av ytre forhold. Lokasjonen må være dyp nok til at man ikke påvirker bølgehøyden. Langt nok unna land for å minimere refleksjon. Samtidig er det ønskelig at lokasjonen ikke påvirkes av mye trafikk i leden. Kravene for lokasjon ble satt fra samtaler med veiledere, teori og tidligere forsøk gjort av KNM Storm. Forsøket til KNM Storm ligger vedlagt i oppgaven. Den ga informasjon om hvilke bølgehøyder som kan forventes under et slikt forsøk.

Utvalgt lokasjon må passe de ulike alternativene i planen, dette med tanke på at korvettene skulle opp igjennom hjeltefjorden på seilas til øvelse FLOTEX.

Etter utsjekk på sjøbjørn i uke 41 brukte vi to økter på å rekognosere etter egnet lokasjon for målinger.

Det ble også ringt til kystverket for å spørre om tillatelse for å gjennomføre målinger ved hjelp av deres sjømerker. Kystverket svart at det skulle ikke være et problem for dem, så lenge vi ikke gjorde merket vanskelig å tyde eller gjorde skade på dem.

Første tur gikk da i leden utenfor Alvøen ned mot Haakonsvern, her fant vi et par lokasjoner som kunne fungere. Skipstrafikken i område var noe vi så på som en ødeleggende faktor for en potensiell målelokasjon.

Andre tur tok vi da opp mot Hjeltefjorden. Det ble funnet et par lokasjoner som kunne fungere. Ved nærmere undersøkelser fant vi ut at lokasjonene ikke var på dypt nok vann. Lokasjonen vi falt til ro med var da ledsmerket Lamholmsflu i innløpet mot Hjeltefjorden.



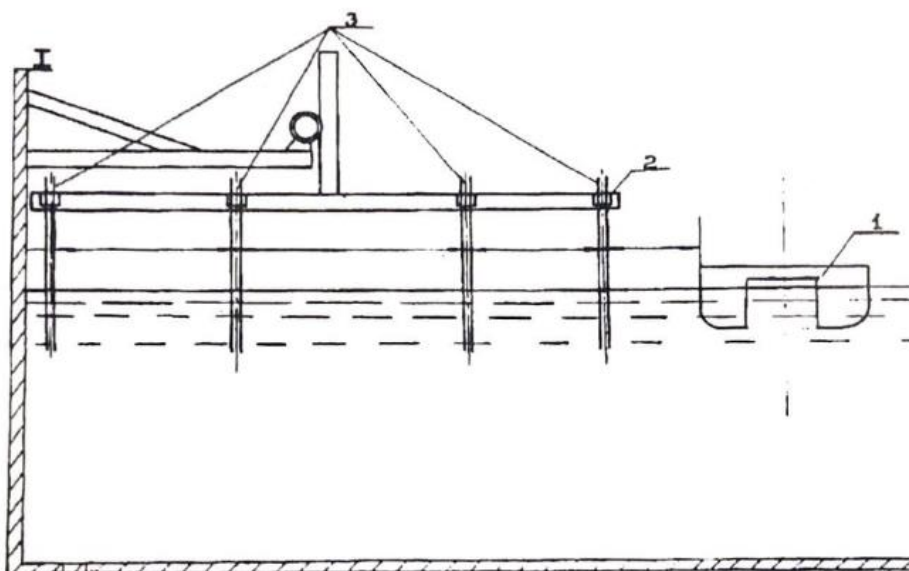
Figur 16: Ledsmerket Lamholmsflu



Lokasjonen oppfylte de kravene vi hadde satt. Det var lokasjonen som var lengst unna land og ved dypest vann (rundt 5 m). Til forskjell fra en sjøstake hadde ledsmerket en stige på staken. Dette gjorde det enklere å rigge opp, samt ledsmerket åpnet muligheten for at en person kunne styre målingen fra ledsmerket.

3.4 Målerigg

Måleriggen er grunnleggende for at oppgaven kan gjennomføres. Det er av ren nødvendighet at den er så enkel som mulig. Grunnen til dette er at budsjettet ikke er uendelig stort, samt at det skal kunne settes opp fra en Sjøbjørn. Vi vurderte mange ulike løsninger. Inspirasjon til utforming av riggen kom fra en figur i boken “Multi hull ships” (Dubrovsky & Lyakhovitsky, 2001, s. 112)



Figur 17: Inspirasjon til design av rigg

Bevelgesesensorene ble tatt i bruk for å ligner denne riggen. Dette var da utgangspunktet for videre design.

Første ide var å lage riggen av tre med boltgjennomføring for montering. Løsningen passer budsjettet samt at det enkelt å bygge med. Problemet blir da vanskelighet rundt å skulle montere dette på sjøen, samt vekten av komponentene.

Løsning nummer to var å lage riggen fra metall, med sveise- og bolt-forbindelse. Denne løsningen falt bort grunnet kost av materiale, samt at det var usikkert om vi hadde nødvendig verktøy for å kunne bygge riggen. Vekten av en målerigg i stål var noe som ble sett på som et problem. Ettersom at det skal settes opp fra en sjøbjørn, og vekt gjør dette vanskeligere.

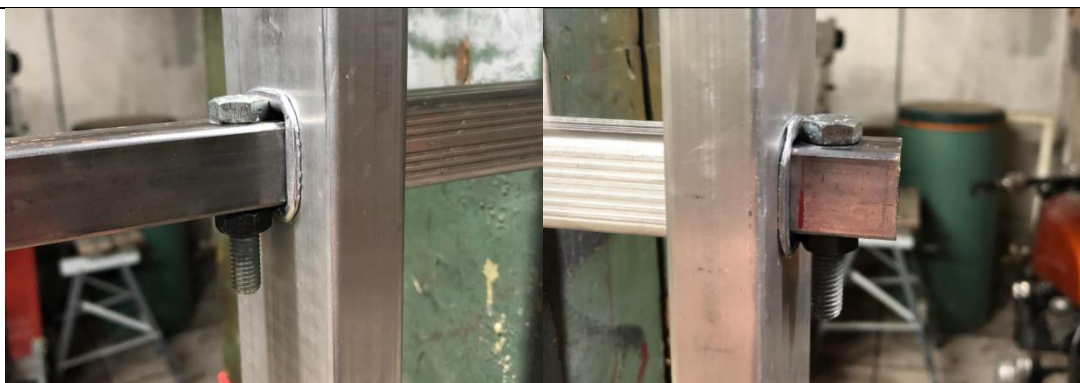
Løsning tre var å ta i bruk en stige som festes til sjømerket, fra stigen tas det i bruk firkantrør ut fra trinnene for å kunne feste sensorene. Vi valgte denne fordi det var den løsningen som krevde minst verktøy, lettest vekt og minst bearbeiding for å få bygget.

For å feste stigen til ledsmerket var jekkestropper den enkleste løsningen. Ved bruk av stige, kan man også bestemme hvor høyt over vannoverflaten sensorene monteres, dette ved at du kan bruke de ulike trinnene. Trinnene i stigen hadde en indre diameter på 22 mm (Figur 18).



Figur 18: Indre diameter på stigetrinn

Firkantrør i stål med dimensjonene 20x20x2000mm ble tatt i bruk. Pasningen i stigen var god, og ga relativt like spill. For å feste firkantrøret ble det laget to hull til bolter, en på hver side av stigen (Figur 19).



Figur 19: Innfestning av 20x20 fikantrør i stigen

For å få sensorene lengre ut enn hva 20x20 røret tillot, ble det tatt i bruk et firkantrør på 25x25x2000 mm. 25x25 fikantrøret har en indre diameter på 22mm vist på bilde under. Ved å tre 25x25 røret utenpå 20x20 røret, kunne man få den ytterste bevegelsessensoren lengre ut på vannet.



Figur 20: Indre diameter 25x25 firkantrør

I 25x25mm røret boret og gjenget vi et hull i M10 dimensjon for å hindre at 25x25 røret skulle skli på 20x20 røret. Ytterst på 25x25mm røret boret vi et hull for å kunne feste en jekkestropp. Dette for å kunne stramme opp riggen, og holde den så horisontal som mulig.



Figur 21: Innfestning av jekkestropp for å holde riggen horisontal

3.5 Strømkilde

For å kunne drifte sensorer, samt pc tilknyttet målinger trengte vi en strømkilde. En generator var første tanke. Vibrasjonene som kommer fra motoren i generatoren så vi på som en utfordring, ettersom at det kunne skape vibrasjoner som lagde svingninger i måleriggen. Vår løsning ble en stor batteribank. Disse kommer i mange forskjellige varianter. Det eneste kravet vi stilte, var at den kunne lade komponenter med stikkontakt. Vi endte med en modell med navnet *Goal Zero Yeti 200X* som avbildet under (Figur 22).



[GOAL ZERO YETI 200X BÆRBAR STRØMSTASJON - Power.no](#)

Figur 22: YETI GOAL ZERO 200x k strømstasjon

Modellen kan levere 187 wattimer, som vil gi systemet tilstrekkelig utholdenhet for å kunne måle en arbeidsdag. Ved krav til lengre utholdenhet må man da oppgradere batteribanken. Dette var ikke ønskelig ettersom at prisen på denne komponenten stiger raskt.

Batteribanken ble da plassert i en plastboks og festet til riggen ved bruk av strips. Boksen var hovedsakelig for å vanntettpakke batteribanken, samtidig å opprettholde luft til avkjøling av komponenten. Det er en vifte på enheten som ikke skal dekkes til, en plastpose var dermed ikke å foretrekke av den grunn.

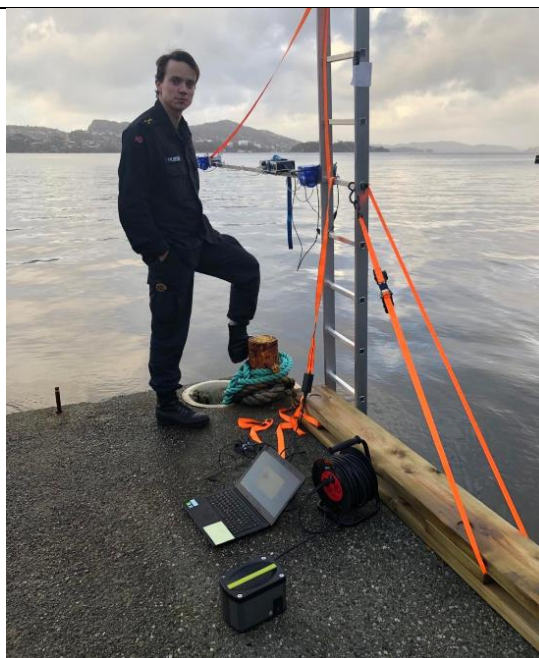


Figur 23: Strømstasjon montert på riggen under måling

Ledningene som gikk ut fra plastboksen var også gjort “vanntett” ved hjelp av teip. Det ble vurdert å ta i bruk et tetningsmiddel av silikon. Skulle måleutstyret stått ute over lengre tid, eller om det regnet masse ville dette blitt gjort. Ettersom at måledagen var en overskyet dag med lite regn, vurderte vi det til at det ikke var nødvendig å lage mer arbeid ved å tette med silikon.

3.6 Gjennomføring

Før gjennomføring av de faktiske målingene, ble det gjennomført testmålinger fra havnebassenget ved skolen. Dette for å forsikre oss om at utstyret fungerte, samt forstå programvaren som fulgte med bevegelsessensorene. Vi fikk ikke tatt i bruk sjøbjørn ved disse målingene ettersom at de var på vedlikehold. Skolefartøyene Kvarven og Nordnes la til kai ved målingen, noe som gjorde det mulig å se på faktiske bølger i forhold til overflatesjø. Bildet under viser hvordan vi rigget opp for å testmålingene. Ettersom at hensikten ikke var å ta målinger annet enn å verifisere funksjonaliteten til utstyr og målerigg, samt at måleriggen var satt opp på et flytende objekt. Gjorde at dataen samlet inn ble ikke sett på som nødvendig å lagre.



Figur 24: Funksjonstest av rigg & utstyr

20. November ble målingene gjennomført. Denne dagen var veldig attraktiv å velge ettersom at det da ikke var meldt vind, samt rolige sjø. Vi fikk låne sjøbjørn H6 av havnekontoret på Haakonsværn Orlogsstasjon (HOS) ettersom at Sjøkrigsskolens båter var inne til vedlikehold. Denne ble da kjørt fra HOS ut til Sjøkrigsskolen. Derfra hentet vi måleriggen og satte kursen mot Lamholflu (utvalgt målested). Der var vi på plass på ved ledsmerket klokken 15:00. Vi brukte 30 min på å sette opp målestasjonen. Den kunne nok blitt satt opp raskere, men ettersom at dette var første gang vi rigget den opp fra båt var det enkelte momenter som tok noe lengre tid enn vi antok. Da riggen var oppe, monterte vi også opp et kamera i forsøk på å få måledata igjennom Pasco Video analysis.

Kadettene ble enige om at sjøbjørnen skulle kjøre forbi målestasjonen i ulike hastigheter (5knt, 10knt, 15knt, 20knt, 25knt). Det var da også viktig å få 2 sett målinger for hver hastighet, en når båten kjørte i østlig retning og en mot vestlig retning. Dette var i håp om å kunne få se påvirkning fra strømninger i leden.

Ved første gjennomføring ble det merket at sjøbjørnen kom litt nær målesensorer, noe som kunne gi forstyrrelser på dataen vi fikk ut av målingen. Derfor ble en ytterlig gjennomføring tatt, med sjøbjørnen lenger unna sensorene.

Etter alle målingen var gjennomført tok vi ned målestasjonen, noe som var gjort på 15 min.

4 Databehandling

Til nå har vi illustrert de leddene i fremgangsmåten som var rettet mot det å hente inn data. Neste steg i prosessen er det å behandle dataene for å kunne gjøre det om til nyttig informasjon. Som forklart i teoridelen av oppgaven er bølgeteori et komplisert fagfelt. Gjennom de målingene som oppgaven baserer seg på regnet vi med å produsere store mengder data.

Det er mye informasjon som kan trekkes ut fra disse dataene, og vi ønsket å filtrere ut informasjonen med størst nytteverdi så effektivt som mulig. På bakgrunn av teoridelen i oppgaven, satt vi derfor opp en liste med spørsmål vi ønsket svar på som. Hensikten med spørsmålene var å effektivisere analysen, samt snevre inn fokusområdet til det vi antok var mest relevant for oppgaven. Disse vurderingene og antakelsene er tatt på bakgrunn av teorien (Kap. 3) og vår forståelse av hvilke faktorer som står sentralt innen bølgeteori.

Analysen av data-sett består av følgende spørsmål:

1. Hvordan endrer amplituden seg med hastigheten til fartøyet?
2. Hvilke(n) hastighet(er) gir størst amplitude?
3. Hvordan endrer frekvensen seg med hastigheten til fartøyet?
4. Hvilke(n) hastighet(er) gir størst og lavest frekvens?
5. Var det variasjon i antall bølgetopper - og/eller daler per utslag?
6. Hvordan endrer hastigheten til bølgene seg?
7. Hvordan endrer bølgelengden seg med hastigheten til fartøyet?
8. Hvilke(n) skiller seg ut?

Spørsmålene er satt opp slik at det først presenterer observasjoner som er gjort, for så at årsaken til disse observasjonene kan adresseres og diskuteres nærmere.

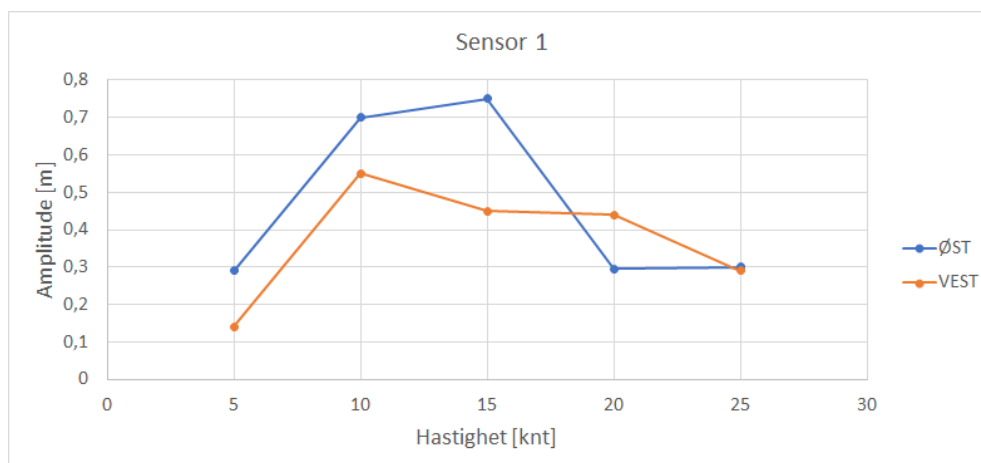
5 Resultater og drøfting

I denne delen av oppgaven vil resultatene av målingene og drøftingen av disse være presentert i samme kapittel. Oppgavens natur gjør dette til en mer hensiktsmessig fremstilling. De aktuelle observasjonene vil presenteres, etterfulgt av drøfting rundt de dataene som kan trekkes ut av observasjonen. Viktig å minne om at alle funn som er relatert til Sjøbjørnen ikke har en verdi i seg selv, men brukes til å demonstrere hvordan en analyse av bølgedata kan gjennomføres. Dataen vil også brukes til å evaluere funksjonaliteten til riggen. Videre vil vi diskutere målemetoden gjennom å drøfte innsamlet data og måleriggens funksjonalitet vil vi kunne drøfte måloppnåelsen.

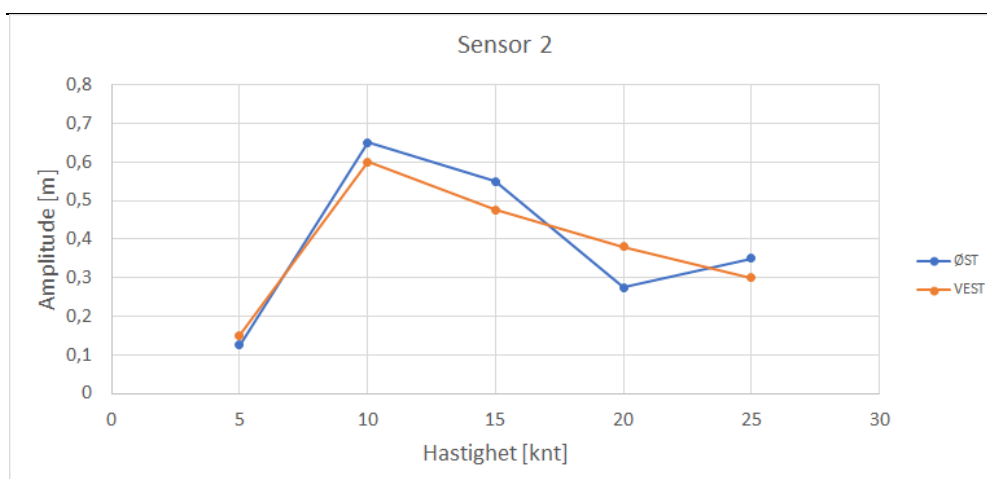
5.1 Måleresultater

5.1.1 Hvordan endrer amplituden seg med hastigheten til fartøyet?

Grafene under viser bølgens amplitude som funksjon av Sjøbjørnens hastighet. Utslaget til bølgen varierer mellom 0,15 – 0,75 meter, og at den er størst ved moderate hastigheter, altså i området mellom lave og høye hastigheter. Amplituden øker hurtig fra 5 til 10 knop i samtlige tilfeller. Utslaget avtar etter hvert, men noe ulikt fra måling til måling. Den avtar raskest i de målingene som ble tatt mens Sjøbjørnen beveget seg østover, og saktest i vestgående retning. Det er også en antydning til at amplituden øker mellom 20 og 25 knop i østgående retning. Ellers stemmer resultatene fra sensor 1 og 2 godt overens.



Figur 25: Graf bølgehøyde ved sensor 1, gjennomføring 1



Figur 26: Graf bølgehøyde sensor 2, gjennomføring 1

Årsaken til at grafene ser slik ut er at Sjøbjørn er et fartøy med planende skrog. Disse grafene er gode eksempler på hvordan et planende skrog oppfører seg og påvirker sjøen når den beveger seg gjennom vannet. Basert på målingene er det rimelig å anta at Sjøbjørnen planer mellom 10 og 15 knop.

Grunnen til denne antakelsen er at disse hastighetene markerer overgangen fra økende til avtakende amplitude. Når et fartøy planer løftes den opp av vannet, fortrenger mindre vann og skaper dermed mindre bølger.

Når det kommer til antydningen om økt amplitude fra 20 til 25 knop, i østgående retting, kan det ha sammenheng med at når fartøyet når maksimal plan. Da vil den bølgereduserende effekten stagnere, men hastigheten øker og fortrenger mer vann. Altså kan bølgehøyden øke, avhengig av skogret.

Nøyaktig hastighet for maksimalt plan hos Sjøbjørn er ukjent, men figur 25 og 26 kan tyde på at dette forekommer i nevnte hastighetsintervall. Når et fartøy planer er avhengig av dets hastighet gjennom vannet (STW).

På en annen side viser målingene fra vestgående retning imot denne antakelsen. Her ser vi en jevn reduksjon i amplitude fra 10 til 25 knop, og det er ingen antydninger til stagnering. Årsaken til dette kan være forskjellen mellom SOG og STW. For samme SOG vil fartøyet ha ulik relativ hastighet til vannet, STW, i de forskjellige retningene. Grafene vil derfor se annerledes ut. SOG og STW kan være ulike er på grunn av strømninger i sjøen hvor målingene tas.

Problemet som oppstår med påstanden gitt over er at man da ville sett at fartøyet oppnår plan tidligst i østgående retning, grunnet at amplituden øker mot 25 knop. Det er ikke tilfellet. Grafene viser tydelig at Sjøbjørnen kommer opp i plan i vestgænderetning først, eller samtidig i begge retninger.

Årsaken til økt amplitude ved 25 knop i østgående retning kan derfor være sammensatt av flere faktorer, og dermed mer komplekst. Disse faktorene kan være relatert til både utstyr og støy fra andre bølger under tidspunktet for målingen.

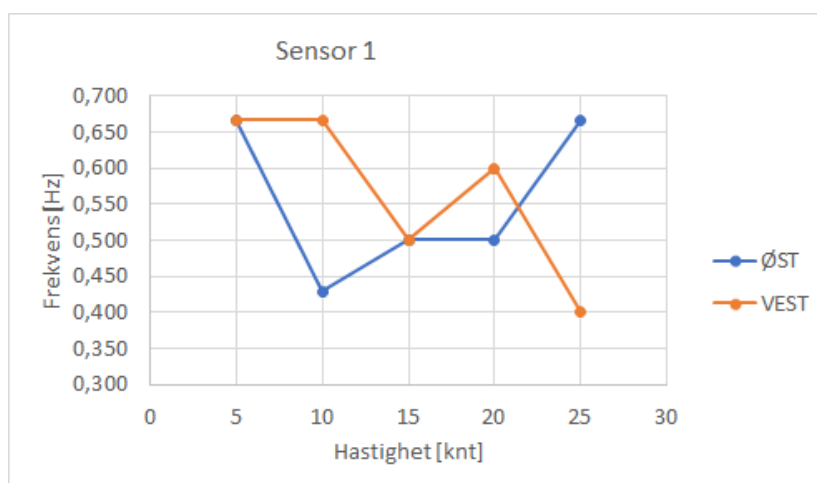
5.1.2 Hvilke(n) hastighet(er) gir størst amplitude?

De samme figurene (Figur 25, Figur 26) viser tydelig hvor de største utslagene på sensorene forekommer. I vestgående retning måles høyest amplitude ved 10 knop. Utslaget varierte mellom 0,55 og 0,6 meter. I østgående retning måler vi høyest amplitude ved 10 og 15 knop. Utslaget varierer mellom 0,65 og 0,75 meter.

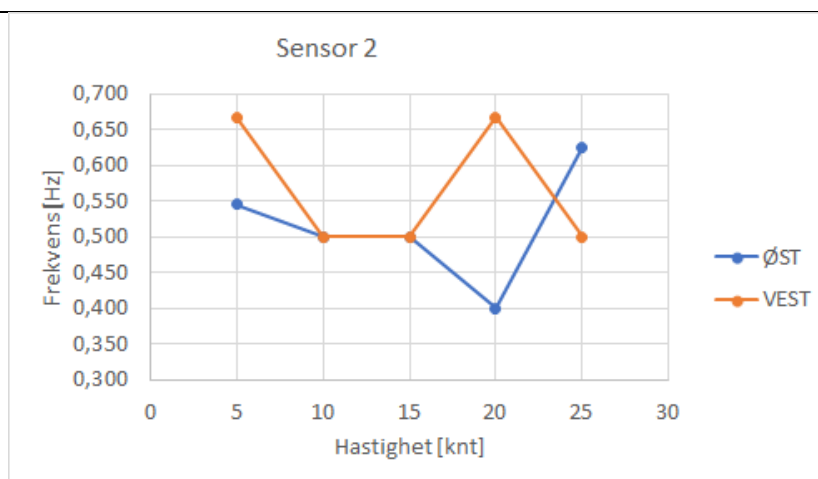
Årsaken til at størst amplitude oppstår ved forskjellige hastigheter for øst - og vestgående retning har samme årsak som diskutert i spørsmål 1. Om det er strømninger i vannet fartøyet beveger seg gjennom vil én av retningene ha høyere relativ hastighet til vannet og oppnå plan tidligere. Derfor vil også de største bølgene fartøyet produserer oppstå tidligere. Av den grunn er det rimelig å anta at det var motstrøm i vestgående retning.

5.1.3 Hvordan endrer frekvensen seg med hastigheten til fartøyet?

Hvordan frekvensen utvikler seg er tvetydig slik grafene ser ut. I østgående retning er frekvensen størst ved lave og høye hastigheter, mens den er lavest ved moderate hastigheter. Den varierer her mellom 0,4 og 0,675 Hz. I vestgående retning utvikler frekvensen seg mer uregelmessig, og det er store forskjeller mellom utslagene på sensor 1 og 2.



Figur 27: Graf frekvens ved sensor 1, gjennomføring 1



Figur 28: Graf frekvens ved sensor 2, gjennomføring 1

5.1.4 Hvilke(n) hastighet(er) gir størst og lavest frekvens?

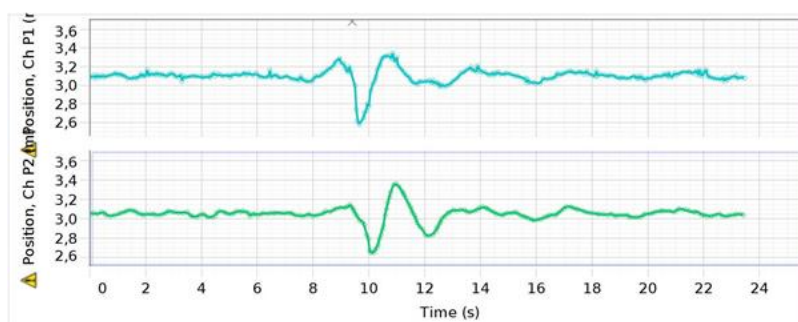
I østgående retning er frekvensen størst ved 5 og 25 knop, med utslag på 0,675 Hz. Den er laveste frekvensen oppstår ved 10 og 20 knop, med utslag på 0,4 og 0,425 Hz.

I vestgående retning er frekvensen størst ved 5, 10 og 20 knop, med et utslag på 0,675 Hz. Den laveste frekvensen oppstår ved 25 knop, med et utslag på 0,4 Hz. For vestgående retning varierer frekvensene mye fra sensor til sensor for samme hastighet, med en differanse på 0,175 Hz på det meste.

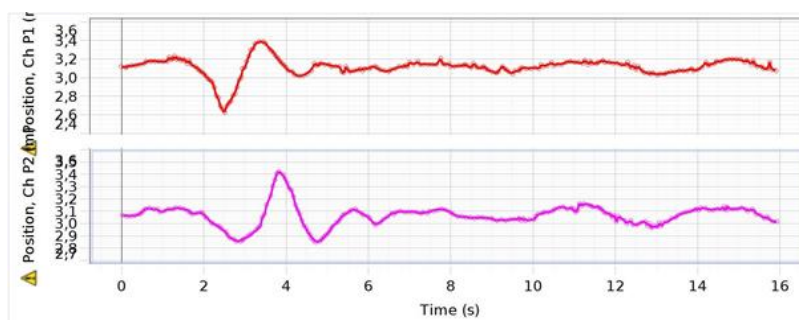
5.1.5 Var det variasjon i antall bølgetopper - og/eller daler?

Grafene under er viser bølgene ved 10, 15, 20 og 25 knop, i den rekkefølgen. 5 knop er ikke inkludert på grunn av vanskeligheter med å differensiere utslag fra fartøyet og støy.

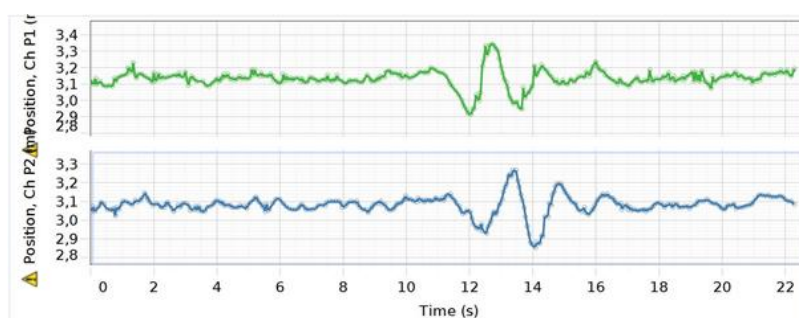
Vi kan se på alle målingene, utenom fra sensor 1 ved 10 og 15 knop, at samtlige bølger har to markante bølgetopper og én markant bølgedal. Det er lite som skiller bølgene fra hverandre i oppbygning, bortsett fra at det begynner å utvikle seg et nytt sett med bølgetopper - og daler på hver sin side av bølgen ved høye hastigheter (20-25 knt).



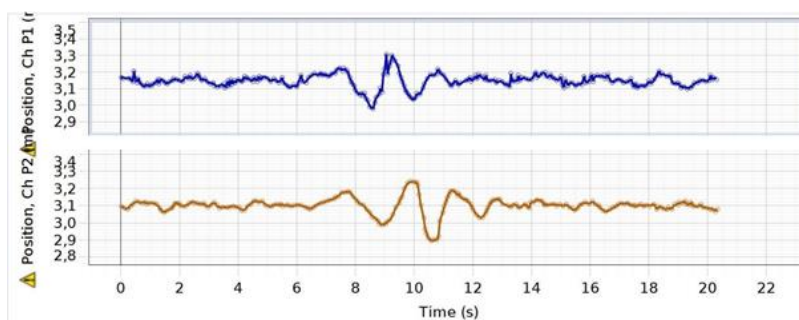
Figur 29: Gjennomføring 1, 10 knt øst



Figur 30: Gjennomføring 1, 15 knt øst



Figur 31: Gjennomføring 1, 20 knt vest



Figur 32: Gjennomføring 1, 25 knt øst

5.1.6 Hvordan varierer hastigheten til bølgen?

Hastigheten til bølgene er ukjent. Metodikken som ble brukt for å produsere denne informasjonen var ikke tilstrekkelig og må opp til revidering.

Årsaken til at denne informasjonen ikke var mulig å oppdrive er sammensatt. Bølgehastighet kan beregnes på to måter, men ingen av dem var mulig å gjennomføre på en pålitelig måte etter målingene.

5.1.6.1 Innfallsvinkel

Én måte å beregne hastighet på er om det er kjent hvor lang avstand et objekt har beveget seg og hvor lang tid den brukte. Bølgemålingene ble utført ved bruk av to sensorer, og tidspunktet mellom utslag på disse sensorene er lett å finne. Det er kjennskap til avstanden som er utfordringen.

Avstanden bølgen må gå fra Sensor 1 til Sensor 2 varierer med innfallsvinkelen. Dette var en av grunnene til at to sensorer ble tatt i bruk i utgangpunktet. Selve utregningen krever Pythagoras' teorem og er således ukomplisert. Problematikken ligger i at denne utregningen er ikke mulig å gjennomføre om man ikke kjenner innfallsvinkelen.

Vinkelen bestemmes av hvilken retning fartøyet passerer målestasjonen med. Ideelt sett treffer fartøyet vinkelrett på armen hvor sensorene er plassert og ta i bruk Kelvin-vinkelen for å finne innfallsvinkelen. Under gjennomførelsen av målingene var det vanskelig å være konsekvent på manøvreringen og det er stor fare for unøyaktigheter om man kompenserer med grove antakelser.

En mulig løsning kunne vært å bruke et fastmontert kamera over armen hvor sensorene sitter og sammenlikne armens retning med bølgens innfallsvinkel. En drone ville også vært et godt alternativ for å samle inn denne informasjonen. Dette var elementer vi planla å implementere, men dette lyktes vi ikke med.

5.1.6.2 Bølgelengde og frekvens

Andre alternativ vil være å bruke formlene fra bølgeteorien til å beregne hastighet. Problemet oppstår når man ikke har målt bølgelengden. Formlene viser at bølgens hastighet er avhengig av vinkelhastigheten og bølgetallet.

Vinkelhastigheten regnes ut ifra frekvensen, som vi har funnet gjennom analysen (se spørsmål 3). Bølgetallet derimot, er definert av bølgelengden. Det er altså ikke mulig å finne denne verdien uten å ha målt bølgelengden. Dette har ikke blitt gjort i denne oppgaven.

En løsning kunne vært å bruke kamera eller drone, på samme måte som i eksempelet over. Ved hjelp av videoanalyse ville disse dataen vært mulig å oppdrive.

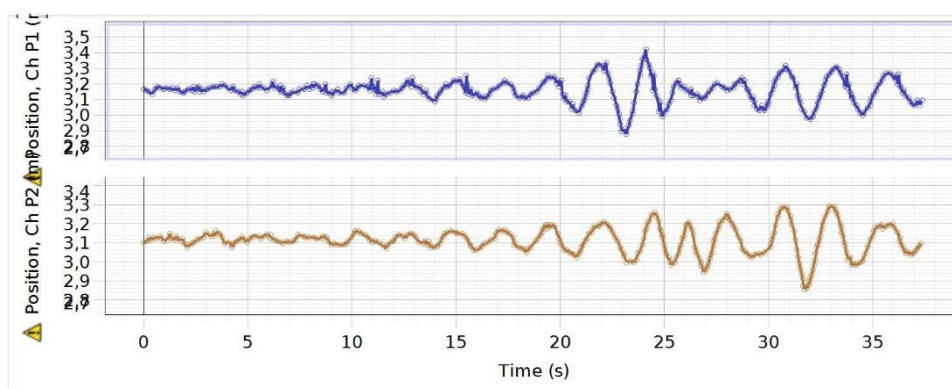
5.1.7 Hvordan endrer bølgelengden seg med hastigheten til fartøyet?

Det ble ikke hentet inn data som kan besvare dette spørsmålet (se spørsmål 5.1.6).

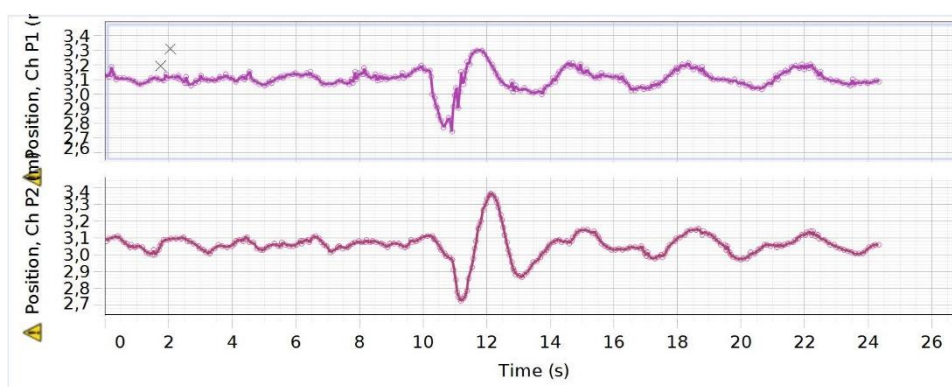
5.1.8 Hvilke(n) skiller seg ut?

5.1.8.1 10 knop i hastighet

Det første tilfellet som skiller seg ut, er bølgemønsteret ved 10 knop hastighet. Den gir resultater som er noe ulik resten av målingene. I dette tilfellet oppstår først et bølgemønster som i de andre målingene. Like etter at den innledende bølgen opphører, oppstår et nytt mønster. Dette mønsteret ligner ikke bølgemønsteret fra de andre målingene. I tillegg samsvarer ikke mønsteret med den tilstanden sjøen var i før den første bølgen inntraff. Sjøen går altså ikke rett tilbake til “normaltilstand”.



Figur 33: Gjennomføring 2, 10 knt øst



Figur 34: Gjennomførin 1, 10 knt vest

Samtlige målinger bortsett fra de ved 10 knop viser ikke tegn til at dette fenomenet. Årsaken til at disse bølgene oppstår kan derfor være en sammensetning av to faktorer.

Først og fremst, hvor kommer disse bølgene fra og hvorfor vedvarer de så lenge? De oppstår kort tid etter den første bølgen har passert og har mindre amplitude. Det er derfor rimelig å anta at vi får utslag fra de tverrgående bølgene (Kap. 2.6) fra Sjøbjørnen. De tverrgående bølgene er som regel ikke like

høye som de divergerende bølgene, og vil bare kunne slå ut på måleriggens sensorer etter at de divergerende har passert.

Ved 10 knop vet vi også fra tidlige analyse (se spørsmål 2) at 10 knop gir størst amplitude på bølgene som er målt. Skroget har ikke kommet opp i plan enda og vil på dette tidspunktet fortrenge mest vann. Av den grunn kan vi anta at de tverrgående bølgene følger dette mønstret og gi oss tydelige utslag på målingene.

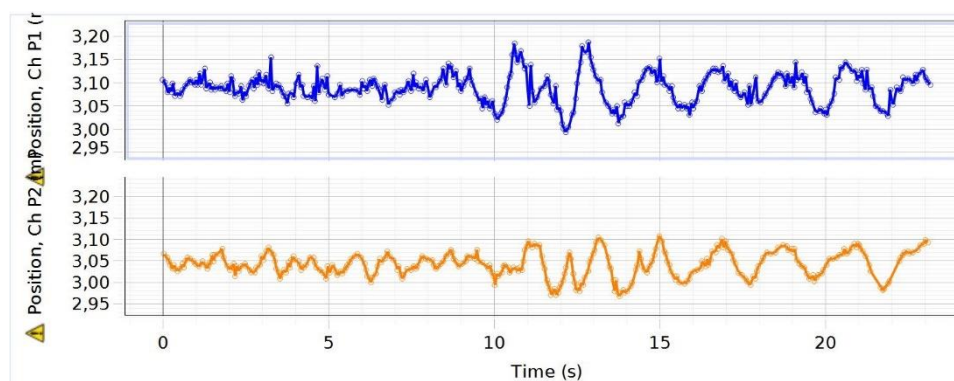
En annen faktor som kan være underliggende for målingene er måten Sjøbjørnen har blitt brukt på og tidsintervallet mellom målingene. Hvis det ikke har vært tilstrekkelig med tid mellom målingene kan det tenkes at bølger fra en tidligere passering med Sjøbjørn har påvirket målingen.

Det som taler for denne påstanden, er at på forhånd av gjennomføringene ble det aldri satt et krav om nøyaktige tidsintervaller mellom målingene. Det kan derfor tenkes at disse utslagene er et resultat av forhastede gjennomføringer.

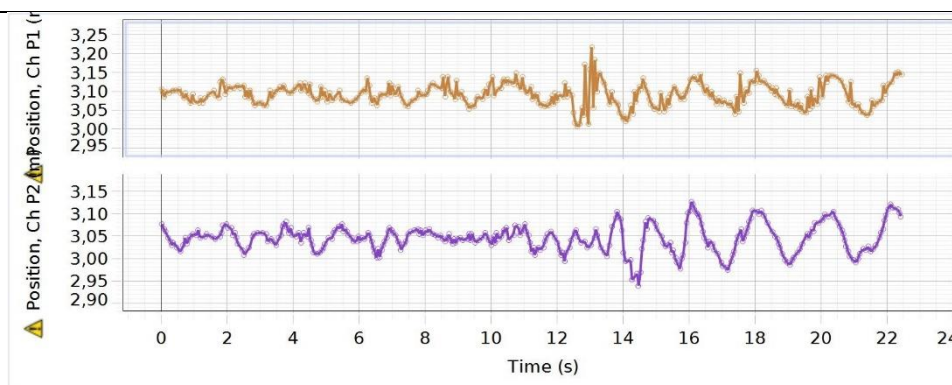
Det som taler imot denne påstanden, er at det ikke er noen antydning til forstyrrelser før første bølge inntreffer. Altså har forstyrrelsene måttet oppstå eller blitt forsterket etter passeringen av en ny bølge. Det er lite i teorien som tilsier at dette er tilfellet, og i så fall burde disse bølgemønstrene vært mer fremtredende ved de andre målingene også.

5.1.8.2 5 knop i hastighet

Det andre tilfellet som skiller seg ut, er bølgemønstret ved 5 knop hastighet. Disse er også noe ulik resten av målingene. På disse grafene er det vanskelig å skille ut hva som er bølger fra Sjøbjørnen og hva som er bølger fra sjøens “normal-tilstand” på dette tidspunktet. Det er også tydelig at grafene preges av mer “støy” og ujevnheter enn resten av målingene ved høyere hastigheter. Dette gjelder både Sensor 1 og 2.



Figur 35: Gjennomføring 1, 5 knt øst



Figur 36: Gjennomføring 1, 5 knt vest

Ut ifra grafen kan det se ut som at Sjøbjørnen setter ved 5 knop så lite sjø at det går i ett med sjøens “normal-tilstand”. Det går an å se på bølgene at Sjøbjørnen har passert på et tidspunkt, men det er ikke åpenbart når bølgene fra fartøyet inntreffer. Overgangen er mer gradvis her enn ved høyere hastigheter.

Grunnen til at bølgene ved 5 knop ikke følger et likt mønster som ved andre målinger kan ligge i interferens med bølgene som allerede er på sjøen. Om bølgene fra Sjøbjørnen er like store som de på sjøen vil positiv og destruktiv interferens ha større påvirkning enn om størrelsesforholdet mellom bølgene er mer ubalansert. Sjøens “normaltilstand” har et uregelmessig mønster i utgangspunktet, og vil derfor føre til at bølgene fra Sjøbjørnen også blir mer uregelmessig. Målingene blir da vanskeligere å tyde.

5.1.9 Pasco Video Capture

Det ble filmet med mobiltelefon for å kunne få ut data ved hjelp av *Pasco Video Analysis*. Der ble kameraet plassert ut for å filme en blåse som vi hadde plassert ut i vannet. Blåsen hadde et lodd festet i enden av et tau, dette i et forsøk på å hindre at blåsen driver vekk. Programmets virkemåte står mer om i 3.2.3.

Videoen resulterte ikke i noe data. Dette er grunnet distansen til blåsen ble for stor, samt at den drev vekk fra ønsket posisjon før sjøbjørnen hadde fått gjennomført en måling. Under er det lagt ved to bilder fra en gjennomføring.



Figur 37: Bilde fra videomåling til venstre, oppløsning fra forsøk på plott

Fra bildene kommer det tydelig fram hvorfor programmet vil slite med å hente ut data fra målingen. Bildeoppløsning var ikke høy nok til å kunne få ut pålitelig data fra gjennomføringen. Målemetoden har potensiale til å produsere data som oppgaven kunne dratt nytte av. Dette i og med at du får ytterligere data som kan ses opp mot bevegelsessensorene. Ved bedre planlegging og bruk av en annen metode for å forsikre at blåsen forblir på samme lokasjon, vil denne metoden være mulig å ta i bruk.

5.2 Målerigg + Sensorer

Riggen som ble konstruert for denne oppgaven hadde både sterke og svake sider ved seg. På enkelte områder hadde den høy grad av funksjonalitet, mens på andre presterte den ikke som tiltenkt. Riggens styrker og svakheter avsløres av de data allerede diskutert i kap 5.1.

5.2.1 Styrker

En av styrkene ved riggen kommer frem i det faktum at den, med tilhørende sensorpakke, har produsert faktiske bølgedata fra en Sjøbjørn. Disse data ble grafisk fremstilt på en lettfattelig måte slik at det har vært mulig å foreta en analyse av dem. Med andre ord, riggen har oppfylt sitt mest grunnleggende formål.

Etter å ha montert riggen både på flytebryggen til Sjøkrigsskolen og på blinken Lamholmflu, er det tydelig at riggen er fleksibel når det kommer til hvor den kan settes opp. Bildene fra flytebryggen (Kap. 2.6) og ved Lamholmflu illustrerer hvordan konstruksjonen kan settes opp på veldig forskjellige områder på en fornuftig måte.

Måleriggen består av komponenter som er lett tilgjengelige i vanlige jernvare – elektrovare – og dagligvarebutikker. Prisen for en slik anordning er også svært lav. Slik konstruksjonen er designet er det også relativt ukomplisert å sette sammen og ta i bruk systemet.

5.2.2 Svakheter

En av de største svakheter med måleriggen er at den ikke er robust nok, noe som resulterer i vibrasjoner. Disse vibrasjonene gir utslag på sensorene. Dette antas å være årsaken til at grafene fra Sensor 1 er mer ujevne enn de fra Sensor 2. Årsaken til dette kan være at Sensor 1 sitter lengst ute på stangen hvor de er montert. Denne ujevnheten er å betrakte som støy på målingene. Støyet gjør analysen vanskeligere og setter tvil ved målingenes troverdighet.

Slik måleriggen og sensorene er satt opp i denne oppgaven trenger man to personer til å gjennomføre testene. Én til å bemanne Sjøbjørnen og én til å bemanne PC og sensorer. Det faktum at PC og sensorer må bemannes er en stor ulempe. Ressurser blir bunnet opp i en del av systemet som burde være mulig å gjøre autonomt.

5.3 Målemetode

Drøftingen i punkt 5.1 har omhandlet de sensorene vi har hatt tilgjengelig igjennom analysespørsmål. Sensorer som kunne blitt tatt inn i framtidige forsøk bør også diskuteres nærmere.

For å besvare bølgelengde og bølgehastighet har dronemåling blitt tatt opp. Hvorfor er denne sensoren blitt sett på som så viktig?

Dronen i seg selv klarer ikke å måle bølgehøyde. Uten pakken av sensorer rundt er det en dårlig investering. Totalbildet man får fra selve målingene er det helt sentrale dronen kan levere. Dette ville klart ha gitt metoden et bedre utgangspunkt.

Prismessig så er dette en relativt dyr komponent, sett fra et budsjett på 20 000 kr. Det vil da anbefales å se på om det er en drone tilgjengelig, at man dermed slipper å måtte gå til innkjøp av en enhet. Dette var ikke undersøkt godt nok, og man fant da ut i etterkant at det fantes en drone som var blitt brukt av en medkadett i sin bachelor.

Ved gjennomføring av denne oppgaven har vi vært to kadetter. Skal man ha mer utstyr som krever at noen står bak spakene, ville det vært hensiktsmessig å ha med seg en person til ut for å gjennomføre målinger. Ved tester har det vært nødvendig å ha en person ved PC-en for å styre målingene, samt en person ute i båt. Det kunne vært mulighet for personen som sitter i båten å kontrollere dronen. Ut ifra at det sikkerhetsmessige perspektiver så er ikke dette hensiktsmessig. Dette i og med at personen i båten har som jobb å kunne reagere dersom et uhell skulle oppstå.

Trykksensor ble nevnt som en tilgjengelig sensor i punkt 3.2.5. Ved gjennomføring av sin egen måling tok KNM Storm i bruk et barometer i form av en dykkercomputer (denne testen er vedlagt i oppgaven). Det viser at man kan bruke en trykksensor for å registrere forholdene under vann. Måleriggen ble designet rundt bevegelesesensoren, og ikke trykkmåleren som var tilgjengelig ved skolen. Denne sensoren har mulighet til Bluetooth tilkobling. Gjennom forsøket var PC-en koblet via Bluetooth for signaler fra terminalen hvor bevegelesessensorene var tilkoblet. Dermed måtte den blitt

koblet til PC-en med kabel. Enheten tåler ikke vann, grunnet at den er produsert for å brukes ved labforsøk. Dette er uheldig ettersom at den monteres i nærheten av vannoverflaten. Det var ikke laget et tiltenkt monteringspunkt på måleriggen for denne enheten. Grunnet disse punktene ble ikke enheten tatt med ut ved gjennomføring av målinger.

Hva sensoren kunne tilført måleresultatene er vanskelig å forutsi. Ettersom at det ikke har blitt gjennomgått nødvendig teori for forholdet mellom bølgehøyde og trykk. Ved at teori ikke er gjennomgått, er å framstå som en svakhet ved fase 1 og 2 i gjennomføringen av oppgaven. Fra KNM Storm sin måling (se Vedlegg C) var det vanskelig å lese av verdier på trykk ved de ulike målingene, annet at det står at høyest trykk er logget ved høyeste bølgetopp. Dykkercomputeren logget kun data hvert 2 sekund, dette var noe de selv så på som en svakhet. Trykkmåleren levert av pasco har muligheten til å ta opp til 1000 målinger per sekund, dermed ville den gitt mer data per måling, enn hva dykkercomputeren oppnådde. Det er å anbefale ved videre arbeid å teste verdien av å ha trykkmåler med i sensorpakken.

6 Konklusjon og anbefaling

Oppgaven omhandler et svært komplisert fagfelt. Den har kombinert teoretisk undersøkelse med praktisk arbeid innenfor de avgrensninger som ble satt. Oppgaven har krevd dybdeforståelse innenfor tekniske fag, nøye planlegging og koordinering.

Mål 1 om å utvikle en enkel og forståelige metode for bølgemåling er delvis oppnådd. I denne oppgaven er det blitt utarbeidet en metode for bølgeanalyse, der det er designet målerigg med tilhørende sensorer. Måleriggen har evnet å samle inn og fremstille forståelige bølgedata fra en Sjøbjørn. Det har blitt foretatt analyse av de gitte bølgedata. Analysen av disse dataene har ført til økt forståelse rundt Sjøbjørnens bølgemønster. Metodikken fungerte dog ikke optimalt på alle områder den var tiltenkt, og dekker ikke alle nødvendige aspekter ved bølgemålinger. Allikevel har denne oppgaven demonstrert potensialet til metodikken, og vist at det er mulig å undersøke bølgemønsteret til et fartøy på en enkel, billig og effektiv måte.

Mål 2 om å bruke metoden i samarbeid med en korvett er ikke oppnådd. Øvelse, vedlikehold, vær og vind, satt en stopper for å utføre målinger og foreta analyse av bølgemønsteret til Skjold-klassen kystkorvett. Denne oppgaven kan dermed ikke komme med noen anbefalinger til 1. korvettskvadron om hvilke tiltak de kan implementere for å unngå skader på objekter i strandsonen. Ettersom Mål 1 er delvis oppnådd vil denne oppgaven kunne fungere som en veiledning til hvordan 1. korvettskvadron kan undersøke bølgemønsteret på egenhånd. Dette forutsetter at metodens feil og mangler tas høyde for.

Mål 3 om å legge til rette for videreutvikling av metoden er oppnådd. Som konstatert i Mål 1 er ikke metodikken å anse som optimal ved nåværende tilstand. Denne oppgaven belyser metodens forbedringspotensialer og presenterer konkrete forslag til hvordan metoden bør utvikles videre.

Basert på målene satt for oppgaven vurderer vi oppgavens totale måloppnåelse som delvis oppnådd. Endelig anbefaling er at metoden videreutvikles ytterligere før den tas i bruk for å produsere data som skal være av operativ betydning.

Referanser

- Broglia, R., Di Mascio, A., & Zaghi, S. (2014, Mai). Hentet fra ResearchGate, Catamaran simulation.
- Busch, T. (2013). *Akademisk Skrivning*. Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- CDIP. (2021). *Coastal Data Information Program*. Hentet fra https://cdip.ucsd.edu/m/documents/wave_measurement.html?fbclid=IwAR1dMAawRFsqinlwqGed6OgUS5Gx60HbLz1TZzhO22HVgbFATpG-sYIsptU
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design*. Glasgow: Bell and Bain Ltd.
- Dubrovsky, V., & Lyakhovitsky, A. (2001). *Multi-Hull Ships*. Fair Lawn: Backbone Publishing Company.
- Faltinsen, O. M. (2005). *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. New York: Cambridge University Press.
- Gjevik, B., Pedersen, G. K., & Trulsen, K. (2015, Sommer). *Hydrodynamic Wave Theory*. Oslo, Oslo, Norge.
- Goicoechea, M. (2019). *Methodology for the Assessment of the Effect of Wave Wash on Moored Small Craft*. Stockholm, Sverige.
- Gougoulidis, G. (2005, Mai). Mathcad model for the estimation of cost and main characteristics of Air-Cushion Vehicles in the preliminary design stage. Massachusetts, USA.
- ITTC - International Towing Tank Conference. (2014). *Evaluation and Documentation of HSMV*.
- ITTC - International Towing Tank Conference. (2021). *Wave Profile Measurements and Wave Pattern Resistance Analysis*.
- Johnson, L. (2020, December 14). *Sciencing.com*. Hentet fra <https://sciencing.com/calculate-wavenumber-5152608.html>
- Katz, I. (1964, September-Oktober). *Ocean Wave Measurements*.
- Munson, B. R., Okiishi, T. H., Huebsch, W. W., & Rothmayer, A. P. (2013). *Fluid Mechanics*. Singapore: John Wiley & Sons.

Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). *Basic Ship Theory v2*. Oxford: Butterworth & Heinemann.

Slaomon, R. (2021). *Introduction to Ocean Waves*. California, San Diego, USA.

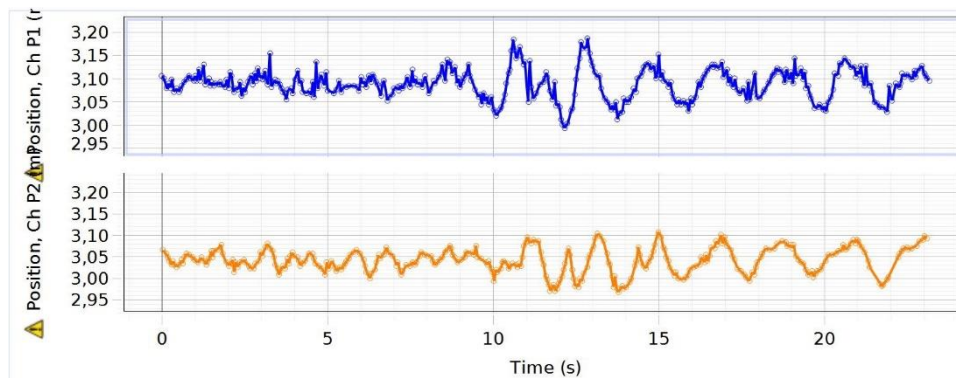
Yun, L., & Bliault, A. (2000). *Theory and Design of Air Cushion Craft*. London: Arnold, Hodder Headline Group.

Yaakob, O., Nasirudin, A., Ghani, M. A., Lazim, T. M., Mukti, M. A., & Ahmed, Y. (2012, April). Parametric study of a low wake-wash inland waterways catamaran. Skudai, Malaysia. *Hentet fra Scientia Iranica*.

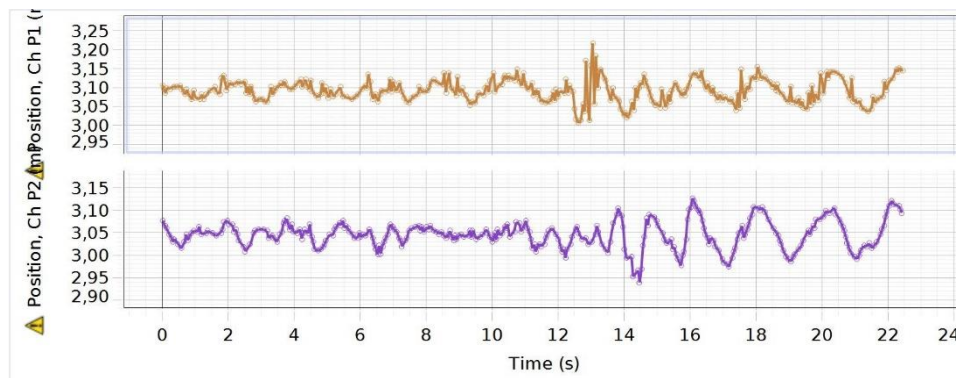
Vedlegg

A. Måleresultater fra bevegelsessensorer

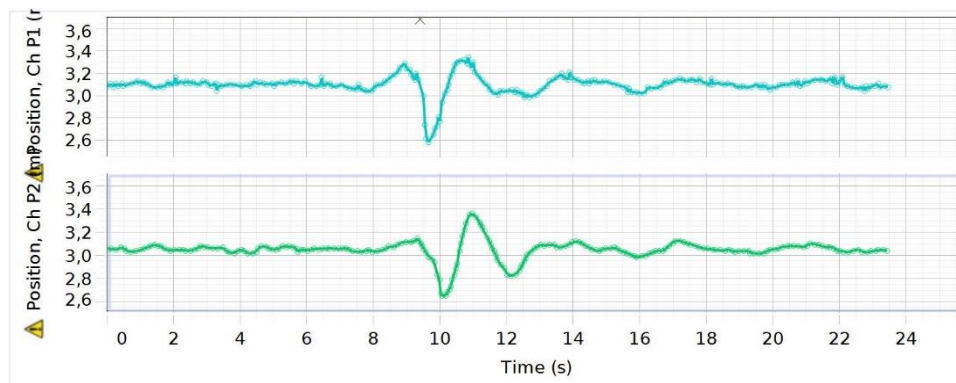
Gjennomføring 1:



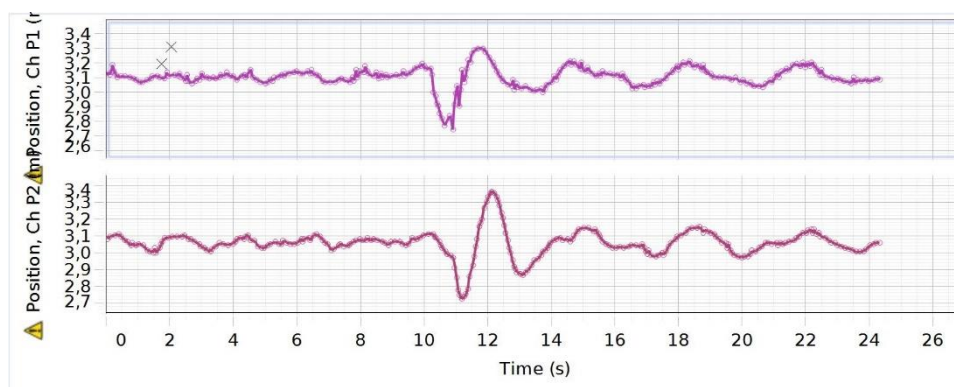
Run 1: 5 knop mot øst



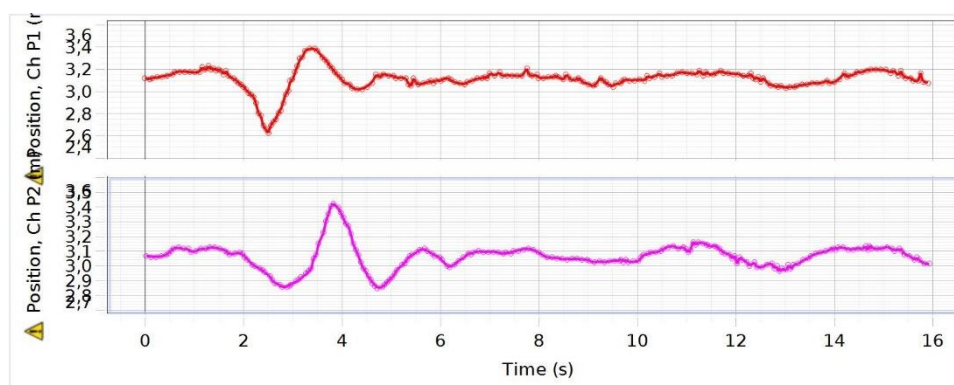
Run 2: 5 knop mot vest



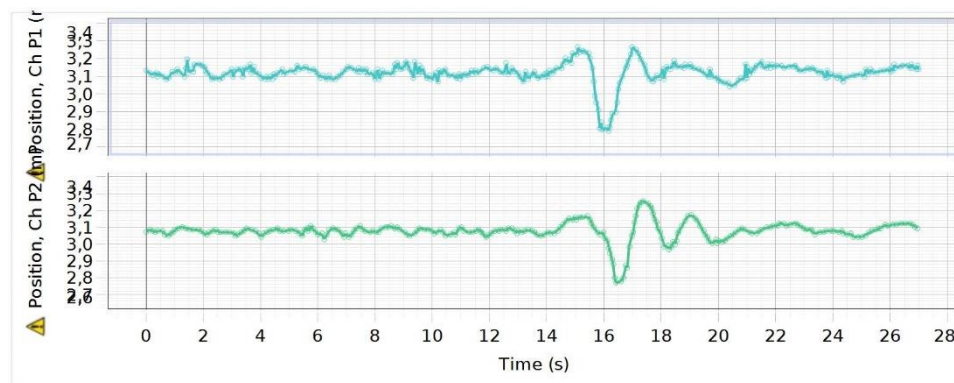
Run 3: 10 knop mot øst



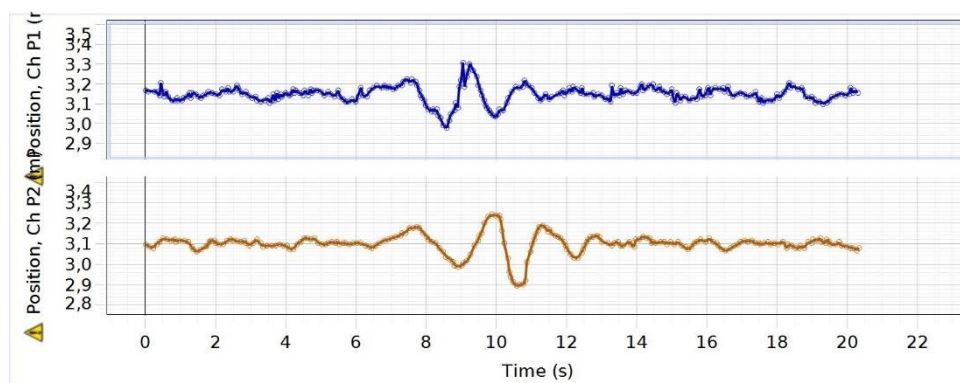
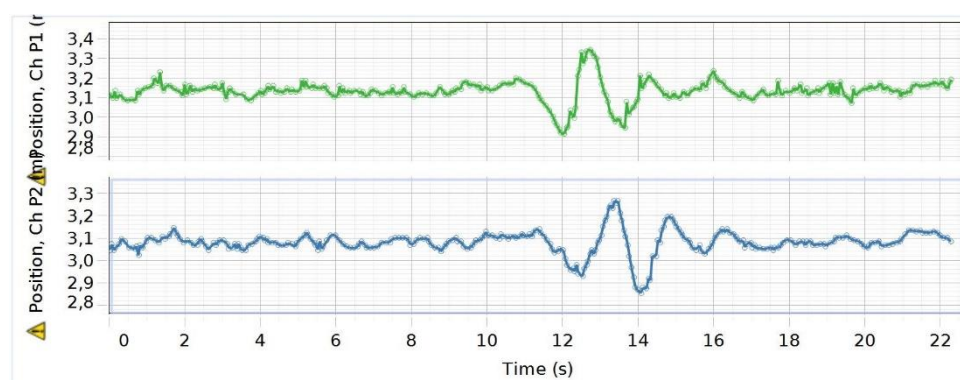
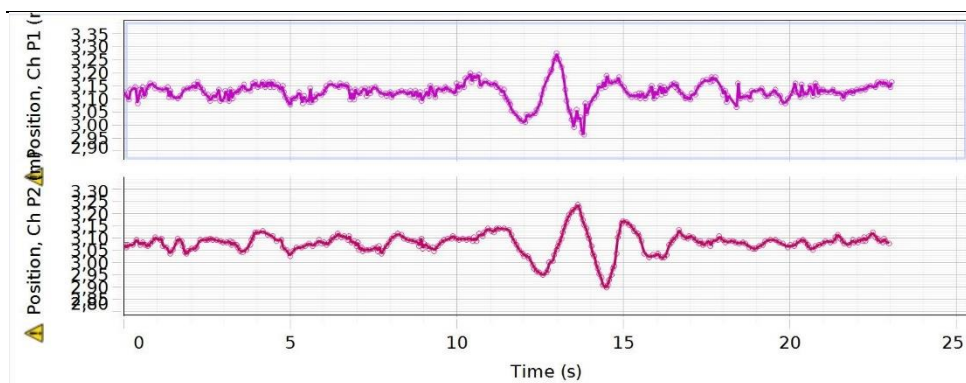
Run 4: 10 knop mot vest

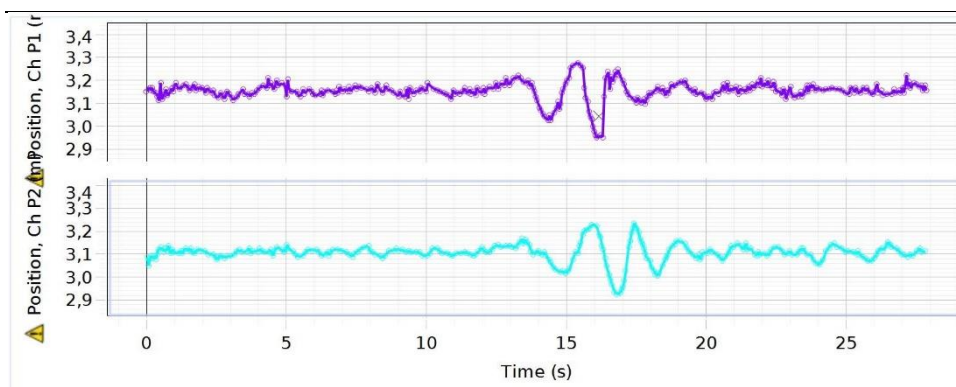


Run 5: 15 knop mot øst

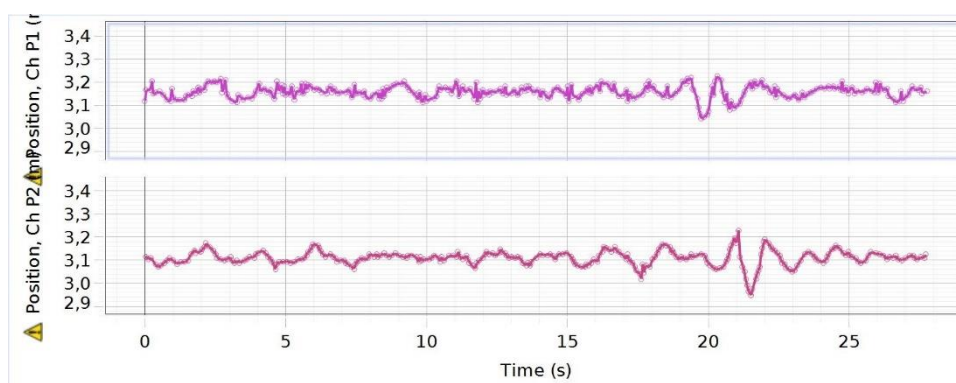


Run 6: 15 knop mot vest

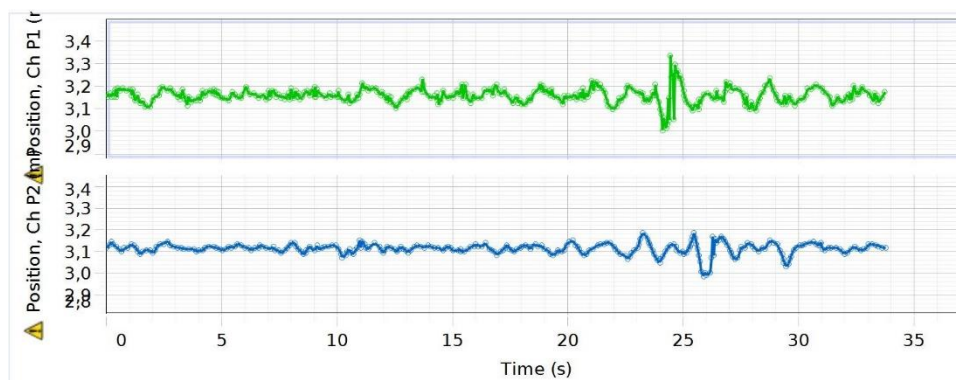




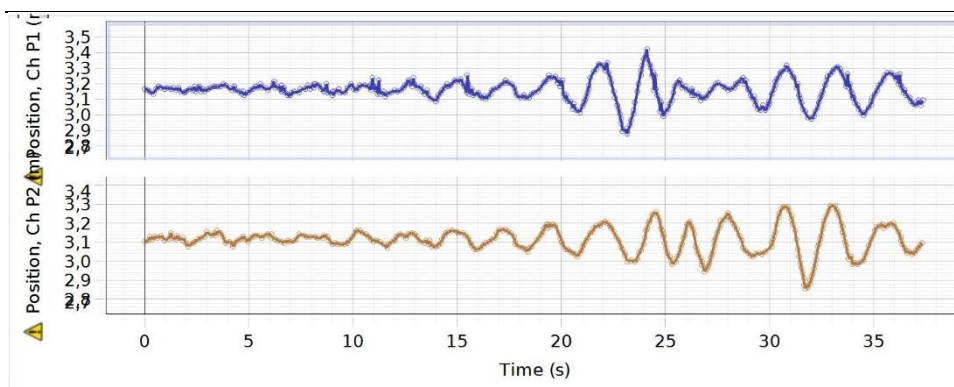
Run 10: 25 knop mot vest

Gjennomføring 2:

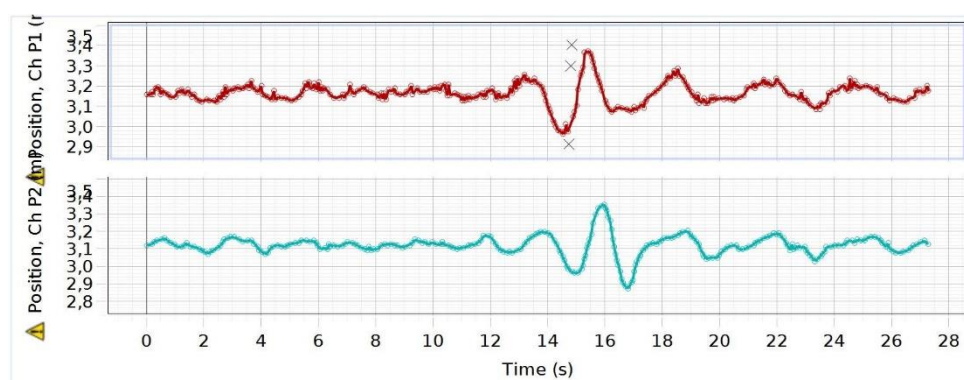
Run 11: 5 knop mot øst



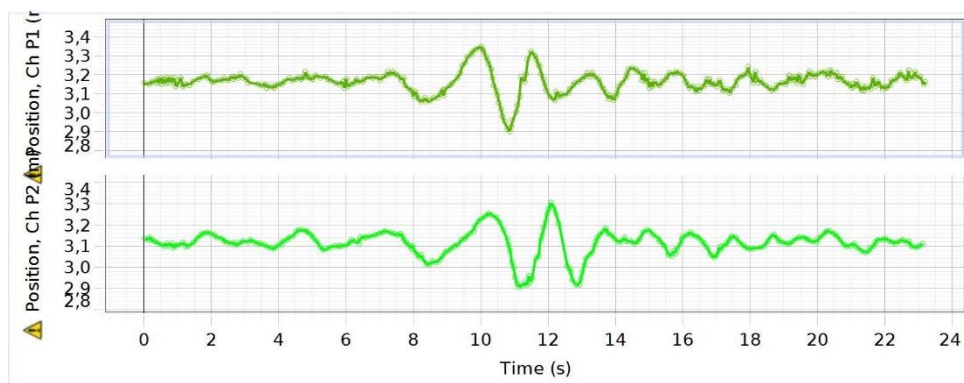
Run 12: 5 knop mot vest



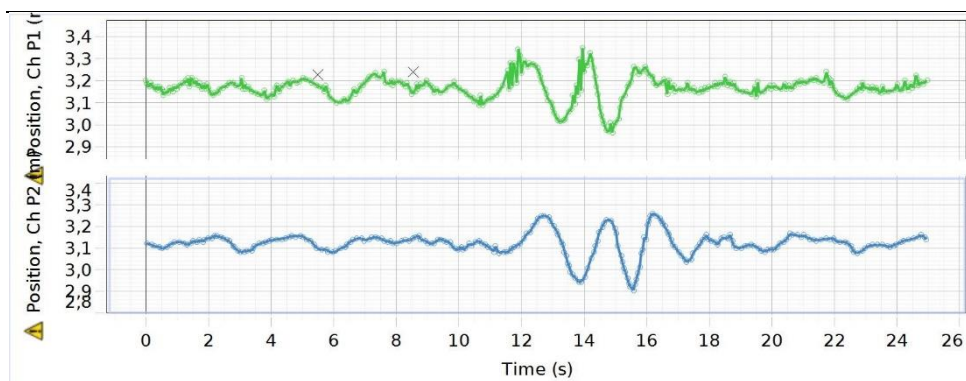
Run 13: 10 knop mot øst.



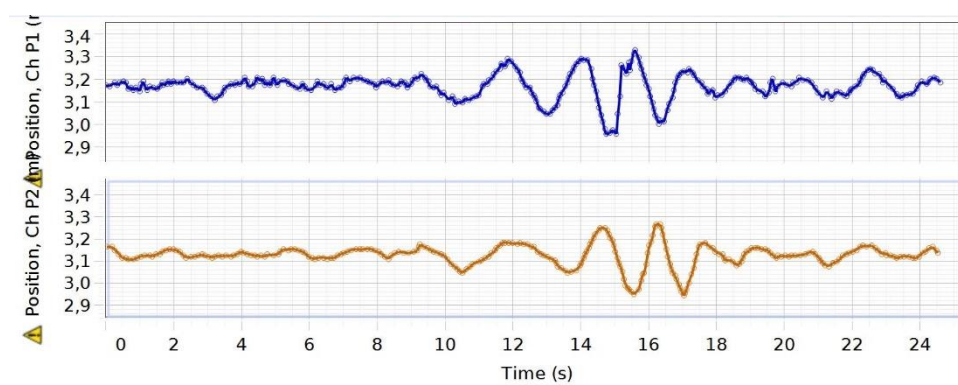
Run 14: 10 knop mot vest.



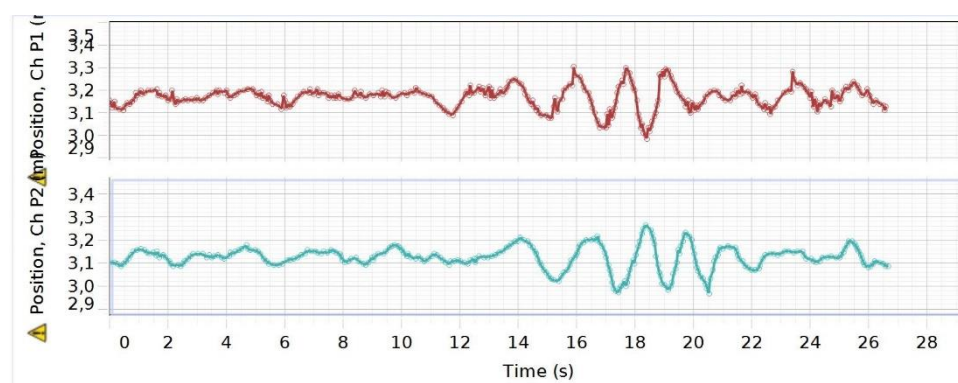
Run 15: 15 knop mot øst.



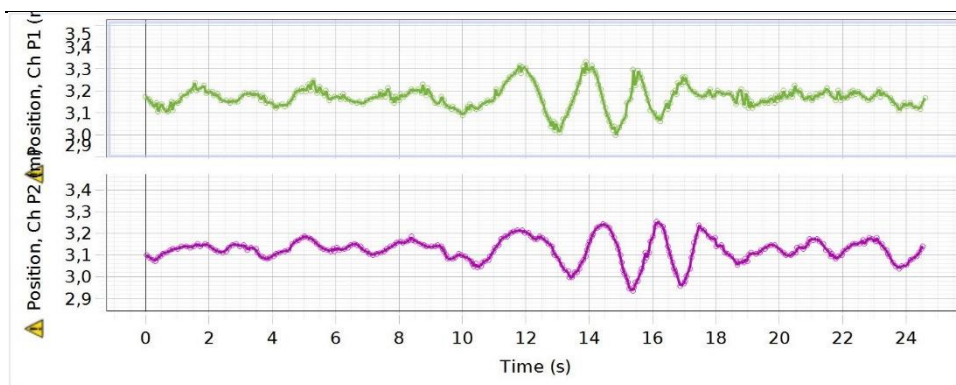
Run 16: 15 knop mot vest.



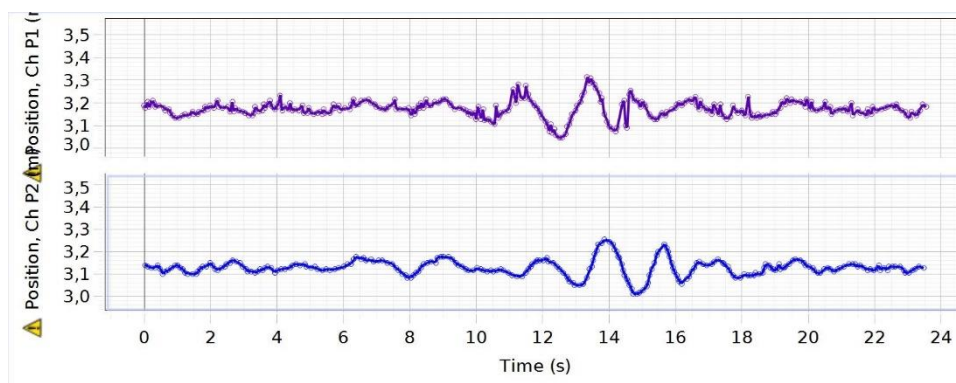
Run 17: 20 knop mot øst.



Run 18: 20 knop mot vest.



Run 19: 25 knop mot øst.



Run 20: 25 knop mot vest

B. Plan for bølgemålinger sendt ut til korvettskvadronen.

Plan for bølgemålinger for Skjold-klasse Kystkorvett

1. Situasjon

- o Generelt

I forbindelse med bachelor-oppgave for avgangskull (teknisk linje) på SKSK skal det gjøres målinger av bølgene produsert av Skjold-klasse kystkorvett. Hensikten er å få bedre forståelse for hvordan fartøyene påvirker objekter i strandsonen. Bakgrunnen for målingene er at korvettene har ved flere anledninger ødelagt privat eiendom langs kysten etter å ha satt for mye sjø ved passering, noe som fører til erstatningsansvar. Tiltakene som brukes i dag for å unngå disse skadene kommer på bekostning av drivstoff – og vedlikeholdskostnader. Det er i Sjøforsvarets interesse å undersøke om det finnes en mulighet for å løse problemet.

- o Egne

- i. 1 stk Sjøbjørn (X) m. 2 stk. kadetter
- ii. 1 stk Skjold-klasse korvett (X) m. besetning

2. Oppdrag

Kadettene skal legge til rette for at korvetten, på best egnet måte, kan seile forbi oppsatt målestasjon ved Lamholmflu (blink mellom Askøy og Litlesotra) for å foreta målinger av bølgene som oppstår ved passering. Målingene skal innebære et bredt hastighetsspekter og/eller «moder» for å dekke størst mulig del av korvettens operasjonskarakteristikk.

3. Utførelse

- a. Intensjon:

Hensikten med oppdraget er å skaffe tilstrekkelig informasjon om bølgene produsert av Skjold-klassen. Slutt-tilstand er nådd når tilstrekkelig mengde data, ved ulike hastigheter og/eller «moder», er hentet inn.

b. Plan:

Kort fortalt: Korvetten melder hvilken prosedyre (*se tabell under Adm. & Fors.*) den ønsker å gjennomføre og hvilket tidspunkt den er tilgjengelig for gjennomføring.

Per dags dato (03.11.21) er det ikke koordinert en nøyaktig tidsplan, da det ikke er fast bestemt når korvettene er tilgjengelige. Tidspunkt for utførelse avtales mellom kadetter og skipssjef for hvert enkelt skrog.

Det eneste kravet som stilles er at det er dagslys ved gjennomføringen. Estimert tidsbruk for målingene er noe usikkert, men avhengig hvilken prosedyre som fartøyet har mulighet til å teste og fartøyets tidsvindu.

Ideelt vil alle hastighetene/«modene» av interesse kunne testes ila. 5 timer.

c. Roller og ansvarsområder

o Kadettene skal:

§ Sette opp målestasjon ved Lamholmflu

§ Stå for koordinering av tidspunkt for gjennomføring

§ Informere korvetten om hvilke hastigheter/«moder» som er av interesse.

o Korvetten skal:

§ Gjennomføre passeringer av målestasjon i avtalt hastighet, og/eller på et vis som er likest mulig vanlig drift av fartøyet.

§ Være ansvarlig for at passeringen gjennomføres på sikker måte (mtp. skipstrafikk, bunnforhold i området, etc.).

§ Tilstrebe å gi anbefalinger til gjennomførelsen av målingene for best mulig resultat i henhold til hensikten.

d. Fellesbestemmelser

- o Sikkerhet skal til enhver tid være prioritert

4. Samband

- o Kommunikasjon FØR gjennomføringen holdes primært via e-post (BEGRENSET) og/eller telefon. Kan også tilpasses for hvert individuelle skrog.
- o Kommunikasjon UNDER gjennomføring holdes primært via VHF. Kanal avtales nærmere dagen målingene skal gjennomføres.

5. Adm. og Fors.



		Prosedyre							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Fart [knt]	8	X		X	X				
	12	X	X			X			
	20	X	X				X		
	30	X		X				X	
	45	X	X						X

C. Bølgemålinger gjennomført av KNM Storm

RAPPORT ETTER BØLGEMÅLINGER

KNM STORM – Juni 2016

1 SITUASJON

Det har lenge vært kjent at Skjold-klassen setter mye sjø, spesielt i fartsområdet over 8 knop. Dette har ført til flere farlige situasjoner i tilfeller der navigasjonsteamet ikke har vært tilstrekkelig tidlig ute med å redusere hastighet eller «kaste av» for andre fartøyer. Høy hastighet er en viktig taktisk fordel for Skjold-klassen og det er ønskelig å kunne benytte fartøyenes potensiale fullt ut, også i fredstid, for å etablere og ivareta et godt erfaringsgrunnlag langs norskekysten. Vanlig handlemåte ved passering av fartøy til kai er å holde 8 knop eller mindre når disse er mellom 30 og 60 grader på baugen, eller å stevne og «kaste av». I en taktisk sammenheng er det allikevel viktig å vite om det er andre alternativer hvor man opprettholder høy hastighet som kan fungere like godt.

2 OPPDRAG

Gjennomfør bølgemålinger av Skjold-klassen i forskjellige hastigheter, med og uten avkast, for å gi navigasjonsteamene et bedre vurderingsgrunnlag for gunstig fart til passering av små fartøyer og fartøy til kai.

3 UTFØRELSE

En frittliggende søyle rett øst for Trollneset på Bjarkøy i Troms ble valgt som hensiktsmessig forsøkslokasjon. Lettbåten ble satt på vannet for å registrere målinger etter hvert som fartøyet passerte i forskjellige hastigheter, på forskjellig avstander, med og uten avkast. Et teleskopskaft med merkinger for vannflaten og hver 50. cm i høyden ble festet til søylen. I tillegg benyttet vi en Suunto DM5 dykkercomputer i andre enden av teleskopskaftet for logging av vanddybdevariasjon over bunnen ved søylen.

Værforhold:

Overskyet, bygevær, 10m/s N-NV. Bølgehøyde ca.30cm fra nordøst.

Svakheter med forsøket:

Dykkecomputeren ble montert på 1,2m dyp, da det ikke var dypere på stedet (burde vært på 3m).

Dybde loggingen ble på forhånd innstilt til hurtigste frekvens, men computeren kunne bare logge hvert 2. sekund. Max og min utslag er derfor noe mindre i loggen enn i virkeligheten.

Lettbåten var til å begynne med fortøyd i søylen for å best mulig kunne lese av bølgehøyden på den noe grove skalaen på teleskopskaftet. Etter 2. gjennomføring måtte lett båten ligge lengre vekk fra søylen da den grunne dybden medførte at bølgene brøt og ble farlige. Selv om det var to personer i båten som leste av, er verdiene veldig grove anslag. I tillegg medførte været uroligheter i sjøen som igjen vanskeliggjorde avlesningen. Området var relativt åpent. I trangere farvann kan man få effekt av refleksjoner i tillegg til førstebølgen.

4 RESULTAT OG DRØFTING

R un	Klokkeslet t	Fart	Avstand (Nm)	Bølgehøyde (cm)	Avk ast	Meds jø	Motsjø	MRK
1	19:26	20	0,1	70			X	
2	19:32	20	0,1	150		X		Usikker Måling
3	19:39	20	0,1	50	X		X	
4	19:44	20	0,1	100	X	X		
5	19:52	35	0,1	50			X	
6	19:56	38	0,1	70		X		
7	20:00	40	0,1	45	X		X	
8	20:04	40	0,1	50	X	X		
9	20:08	40	0,2	70			X	
10	20:14	40	0,2	40		X		

Tabellen over viser avlesningene foretatt av personer i lett båten. Som det fremstår i tabellen er det ingen forskjell av betydning om man doubler avstanden fra 0,1 til 0,2. Allikevel belyser ikke dette forsøket hvordan bølgene oppfører seg over lengre avstander som f.eks 0,5 – 1 Nm. Ved en dobling av fart ser man derimot at bølgene avtar noe, og bølgene opplevdes bedre (lengre) i lett båten. På de passeringene hvor fartøyet «kastet av» var bølgehøyden merkbart mindre, men siden variasjonene var små ble det vanskelig å gi eksakte tall på effekten. Beregninger viser ca. 30% reduksjon av bølgehøyde når fartøyet «kaster av».

En faktor vi ikke hadde tatt med i beregningene på forhånd var den konstante sjøen i området. Det viste seg at det var stor forskjell på om man opplevde bølger som var generert med- eller mot sjøen (Resonans). Bølgene ble forsterket med ca. 30% når fartøyet seilte med sjøen.

Passering nr.2, fart 20knop, medsjø, uten avkast, satte så kraftig sjø at lett båten ble fylt med vann og nesten kantret. En medvirkende årsak til dette var det grunne farvannet rundt søylen som førte til at bølgene brøt. Denne kombinasjonen av faktorer hevdes av personell i lett båten å være den verste i forhold til bølger.

Ved alle passeringer var det de to første bølgene som var høyest og med kraftigst. Resterende bølger virket svært svekket i forhold.

Bildet over viser loggdata fra dykkercomputeren. Ved sammenligning av klokkeslett med manuelle data, ser vi at de høyeste toppene treffer samtidig. Dykkerutstyret kan i så måte sies å være nyttig for bølgerregistrering, men det hadde vært bedre med utstyr som logget oftere enn hvert 2. sekund.

Utslagene fremkommer mindre enn de avleste dataene fra lett båten.

Dataene i dette forsøket er kun gode nok til å gi indikasjoner og trender. Et grundigere forsøk med modell i bølgebasseng hadde gitt mer eksakte data.

5 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

KNM Storm har gjennomført bølgemålinger av Skjold-klassen ved å logge bølgehøyde ved passeringer av en jernsøyle i forskjellig fart, med forskjellig avstand, med og uten avkast. Forskjellig avstand til søylen utgjorde ingen merkbar forskjell på bølgehøyden. Bølgene ble derimot merkbart mindre (opplevdes lengre) ved høy fart (40knop) og enda mindre dersom fartøyet «kastet av».

At det ikke var flatt hav under forsøket medførte at vi ble observant på en stor forskjell i bølgehøyde når fartøyet seilte med og mot sjøen (resonans). Å «kaste av» reduserte bølgehøyden med ca. 30%, men dersom man seilte med sjøen økte bølgehøyden med ca. 30%.

De største og «verste» bølgene med tanke på andre fartøy ble generert i 20 knop, med sjøen, uten avkast. Grunt vann antas å forsterke den negative effekten av bølgene ytterligere på grunn av brottsjø.

Værforhold i området og avstand til jernsøylen svekker forsøket i forhold til nøyaktighet på avlesningene. Allikevel gir det en god indikasjon på hvilke betraktninger broteamet må gjøre seg i forhold til passering av mindre fartøy og fartøy til kai.

For mer eksakte forskningsresultater anbefales et grundigere forsøk med modell i bølgebasseng.

D. Tekniske spesifikasjoner og vedlikehold av strømstasjon





Storage and Downtime Maintenance

Having your Goal Zero Yeti connected to a power source, like a solar panel or wall plug, between adventures or while in storage keeps its battery healthy and topped off. This prolongs battery life and will ensure your Goal Zero Yeti is charged and ready to go all day, every day.

If you can't keep your Goal Zero Yeti plugged into a power source during storage, fully-charge your Goal Zero Yeti every 3 months and store it in a cool, dry place.

Failure to maintain your Goal Zero Yeti by following these steps can result in battery damage which will void the product warranty.

Technical Specifications

Battery:	
Cell Chemistry	Li-ion NMC
Pack Capacity	Up to 187Wh (14.4V, up to 13Ah)
Single Cell Equivalent Capacity	Up to 52000mAh @ 3.6V
Lifecycles	500 Cycles to 80% capacity
Shelf-life	Charge every 3-6 months
Management System	MPPT charge controller, low battery protection
Ports:	
USB port (output)	5V, up to 2.4A (12W max), regulated
USB-C port (output)	5-12V, up to 3.0A (18W max), regulated
USB-C port (input/output)	5-20V, up to 3.0A (60W max), regulated
6mm port (output, 6mm)	12V, up to 10A (120W max)
12V car port (output)	12V, up to 10A (120W max)
120V AC Inverter (output, modified sine wave)	120VAC 60Hz, 1A (120W, 200W surge)
230V AC Inverter (output, modified sine wave)	230VAC 50Hz, 0.5A (120W, 200W surge)
Charging Port (input, 8mm, blue, circle)	13-22V, up to 7A (100W max)
General:	
Chainable	No
Weight	5 lbs (2.27 kg)
Dimensions	7.9 x 5.1 x 5.1 in (20.0 x 13.0 x 13.0 cm)
Operating usage temp.	32-104 F (0-40 C)
Certs	   
Warranty	12 months

E. Regeneksempel innfalsvinkel

$$t_{S1-S2} = 0,550 \text{ s}$$

$$t_{S3-S4} = 0,516 \text{ s}$$

19,47° - KELVIN ANGLE

①

$$t_{S1-S2} = 0,550 \text{ s} \quad h = 2$$

$$U = \frac{h}{t_{S1-S2}} = \frac{2}{0,550} = \underline{\underline{3,64 \text{ m/s}}}$$

②

$$t_{S3-S4} = 0,516 \quad h = 2$$

$$U \neq \frac{h}{t_{S3-S4}} = \frac{2}{0,516} = 3,88 \text{ m/s}$$

$$U = \frac{2 \times \sin(70^\circ)}{0,516} = \underline{\underline{3,64 \text{ m/s}}}$$

$a = 2h$
 $c = a \cdot \sin(70^\circ)$

