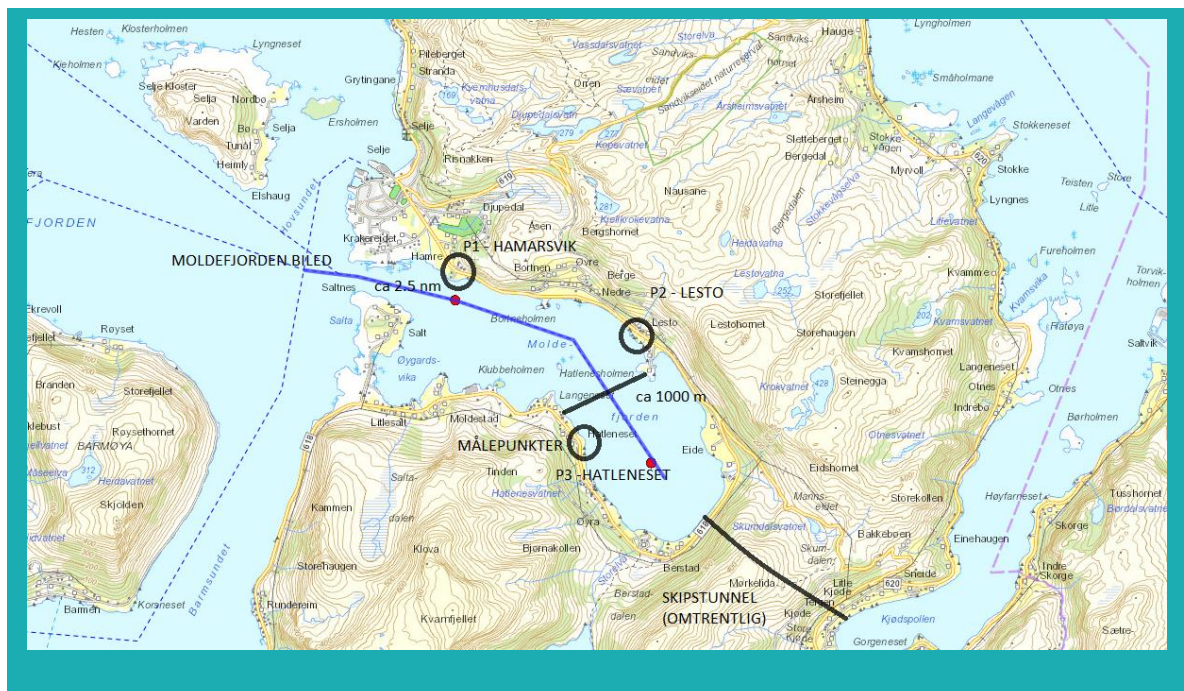


STEREOKAMERAMÅLING OG VIDEOANALYSE AV SKIPSBØLGER I MOLDEFJORDEN, VESTLAND.

Forfattere:

Torleif Lothe og Tony Oosterkamp

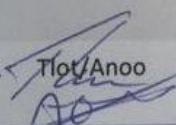

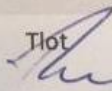


Rapporttittel/ Report title	STEREOKAMERAMÅLING OG VIDEOANALYSE AV SKIPSBØLGER I MOLDEFJORDEN, VESTLAND.
Prosjektnummer/ Project No	103486
Institusjon/ Institution	NORCE Technology – Coastal and Ocean Systems
Oppdragsgiver(e)/ Client(s)	Dr. Techn Olav Olsen
Gradering/ Classification:	Classified
Rapportnr/ Report No.	103486
ISSN/ ISBN	[ISBN/ISSN]
Antall sider/ No. of pages	22
Publiseringsmnd/ Month of publ.:	Feb 21
CC-lisens/ CC-licence	[CC-lisens]
Sitering/ Citation	[Sitering]
Bildekreditering/ Photo Credit	[Bildekreditering]
Geografisk område/ Geographical area	Haugesund
Stikkord/ Keywords	Bølger, skipsbølger, Stad, Skipstunell, bølgekamera, oseanografi
Sammendrag/ Summary	

NORCE har gjennomført observasjoner og målinger av bølger generert fra to representative skipstyper i Moldefjorden. Målingene ble gjennomført ved hastighet 8 knop, som er fartsbegrensningen i farleden.

Påvirkning på strandsonen fra bølger fra skip som går inntil 8 knop i Moldefjorden fremstår som svært liten. Det er ikke observert slagsjø og det er observert svært moderat vaskesjø.

Revisjoner

Revisjoner/Revisions					
Rev./ Rev.	Dato/ Date	Forfatter/ Author	Kontrollert av/ Checked by	Godkjent av/ Approved by	Årsak til revisjon/ Reason for rev.
1	3. nov 2020	TLot			Plandok
2	7.feb 2021	Tlot/Anoo 	OIHo 	Tlot 	Oppdatert med resultater

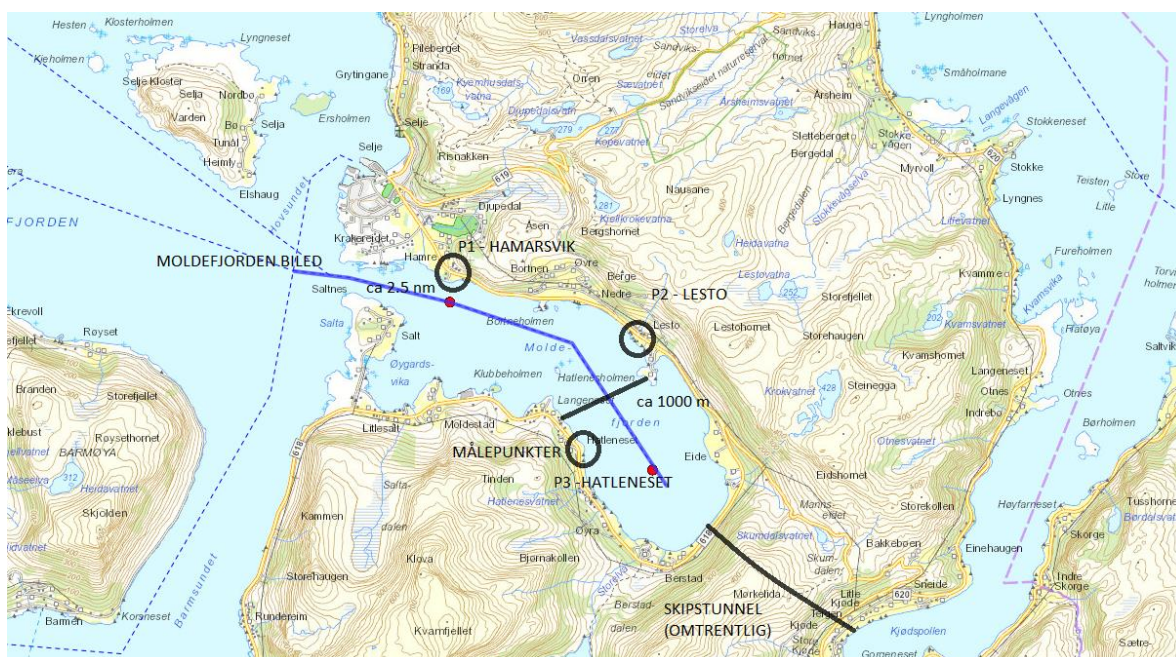
Innhold

1.	Introduksjon	3
1.1.	Innledning.....	3
1.2.	Sammendrag og konklusjon	3
2.	Eksperimentelt oppsett	4
2.1.	Testfartøy	4
2.2.	Seiling	4
3.	Metode	6
3.1.	Generelt om skipsbølger[1].....	6
3.2.	Definisjoner og ordforklaring	8
4.	Observasjoner og målinger.....	9
4.1.	Observasjoner ved P1 - Hammersvik	9
4.2.	Observasjoner ved P2 – Lesto	11
4.3.	Observasjoner ved P3-Hatleneset.....	13
5.	Konklusjon	16
6.	Referanser	17
7.	Appendix 1 Raw Field Report	18
7.1.	Stereo camera setup	18
7.2.	Location 1 – Hammersvik	19
7.3.	Location 2 – Naustvika	20
7.4.	Location 3 -	20

1. Introduksjon

1.1. Innledning

I forbindelse med planlegging av en skipstunnel ved Stad er det av interesse å kartlegge effektene av endret seilingsmønster for skip i området. Tunnelen planlegges i enden av Moldefjorden ved Stad. Dr. Techn Olav Olsen har gitt NORCE i oppdrag å vurdere bølger fra skip ved hjelp av stereokamera og vanlig videoanalyse. To representative fartøyer gikk gjennom farleden i representativ hastighet og målinger ble utført i tre målepunkt langs farleden.



Figur 1 Kart over Moldefjorden. Moldefjorden biled (ca 2.5 n. mil), målepunktene P1, P2 og P3 er vist.

1.2. Sammendrag og konklusjon

NORCE har gjennomført observasjoner og målinger av bølger generert fra to representative skipstyper i Moldefjorden. Målingene ble gjennomført ved hastighet 8 knop, som er hastighetsbegrensningen i farleden.

Påvirkning på strandsonen fra bølger fra skip som går inntil 8 knop i Moldefjorden fremstår som svært liten. Det er ikke observert slagsjø og det er observert svært moderat vaskesjø.

2. Eksperimentelt oppsett

2.1. Testfartøy

To fartøy var bestilt inn til testen, M/S Øyglimt og M/S Frøya (Figur 2),

M/S Øyglimt er en relativt liten, hurtiggående enskrogs passasjerbåt på LBD 18.65 x 4.63, bygget i stål, med tverr hekk og (antatt) flat bunn -og er en planende/halvplandende båt. Lokale kilder oppgir at Øyglimt er kjent for å lage mye sjø.

M/S Frøya er et katamaranskroget passasjerfartøy på LB 35.15x10.60 m. Katamaranskrog er kjent for å kunne lage svært mye sjø (se også kap 3.1)



BÅT 1 M/S Øyglimt

BÅT 2: M/S Frøya

Figur 2 Testfartøyene M/S Øyglimt og M/S Frøya.

2.2. Seiling

Strekningen er ca 2.5 n mil, og hastighet er 8 knop – opprinnelig plan var å få fire passeringer per for begge fartøyene. Hvert legg tar da ca 20 min.

NORCE' stereokamera som ble veksles mellom posisjonene P1 til P3. På de målepunkter som ikke betjenes av stereokamera ble det observert det manuelt ved hjelp av mobilkamera og målestav. Turnusen mellom manuell observasjon og seiling er vist i Tabell 1.

Pga krav til hviletid på Frøya ble det kun to passeringer (en inn og en ut) med dette fartøyet, mens seilingene til Øyglimt ble gjennomført som planlagt.

Stereokamera stående i posisjon 3 fra Cruise 3 og utover. Dette skyldes at lokal vindsjø i P1 og P2 dominerte skipsbølgene fullstendig i disse posisjonene.

Tabell 1 –Oversikt over seilinger og observasjonsposter.

Cruise#	Kl	RUTE	P1	P2	P3	Fartøy
1	1100-1120.	Østover 8 kn	CAM	DT001	DT002	Øyglimt
2	1130-1150	Vestover 8kn	DT001	CAM	DT002	Øyglimt
3	1200-1220	Østover 8kn	DT001	DT002	CAM	Øyglimt
4	1230-1250	Vestover 8kn	DT001	DT002	CAM	Øyglimt
5	1300-1320.	Østover 8 kn	DT001	DT002	CAM	Njord
6	1330-1350	Vestover 8kn	DT001	DT002	CAM	Njord

CAM: NORCE Personell med stereokamera

DT001: Rep1 fra Dr Tech Olav Olsen

DT002: Rep 2 fra Dr, Tech Olav Olsen

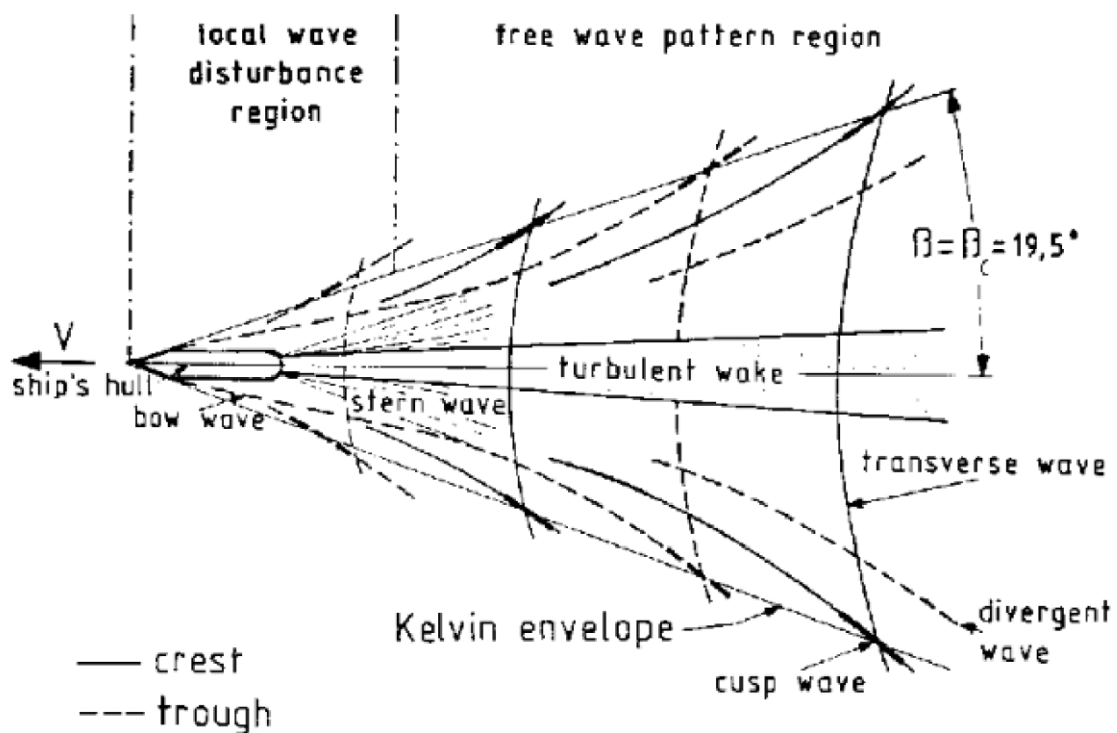
3. Metode

3.1. Generelt om skipsbølger[1]

Skipsbølger er i hovedsak bestemt av:

- skipets dyptgående
- skipets lengde
- skipets hastighet
- skrogform

Figur 3 viser bølgemønsteret rundt et deplasementfartøy.



Figur 3 Bølgemønster rundt et deplasementsfartøy[2]

Baugbølge ("bow wave"), hekkbølge ("stern wave") og tverrbølge ("transverse wave") er vist.

Følgende bølgetyper eller bølgeeffekter (kan) opptre:

- **Baugbølgen:** Når båtens baug bryter vannet oppstår en bølge som brer seg ut fra fartøyet med en gitt vinkel. Den er lett observerbar og er synlig ved at vannet fosser omkring baugen.
- **Hekkbølgen:** Hekkbølgen oppstår ved akterenden på skipet. Størrelsen på denne er svært avhengig av skrogform, en tverr hekk gir en mye mer markant bølge enn en "pen" rund hekk. En tverr hekk gir også en stripe av turbulent kjølvann etter båten med omtrent samme bredde som båten. Hekkbølgen brer seg ut fra fartøyet med en gitt vinkel.
- **Tverrbølgen** ("Transverse wave") er en bølge som «reiser» i samme retning som båten. Bølgekammen er på tvers av fartsretningen, derav navnet tverrbølge («transverse wave»).
- **Nedhuking** ("Squatting") er også en effekt som har betydning for bølgefeltet, spesielt for tverrbølgen. Når fartøyet går over grunt vann vil det skapes et undertrykk under båten og båtens suges nedover.

I hovedregelen sier man at et deplasementsfartøys maksimale hastighet er gitt ved skrogets lengde. Dette er fordi båten ikke greier å reise fra tverrbølgen. Denne farten blir ofte kalt skrogfarten. Hvis man forsøker å øke hastigheten etter at skrogfarten er oppnådd går det meste av energien fra maskinen til å lage bølger.

Planende fartøy og halvplanende (semideplasementsfartøy) har et annet bølgemønster. De vil i varierende grad kunne reise fra tverrbølgen og økende hastighet gjør at skrogets dypgående blir redusert. Bølgemønsteret er svært variabelt fra skrog til skrog. Det blir også dannet nye mønstre når fartøyet reduserer farten og går fra planing til deplasement. De største bølgene fra et skip (på dypt vann) opptrer når skipets hastighet V er:

$$V = 0.4 \sqrt{gL}$$

der $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ er tyngdeakselerasjonen og L er skipets lengde. Bølgelengden for tverrbølgen er da lik skipets lengde. Når skipets lengde $L = 28.75 \text{ m}$ opptrer de høyeste bølgene når skipets hastighet $V = 6.7 \text{ m/s}$ (13 knop). Bølgeperioden er 4.3 s.

Tabell 3.1 viser målt bølgehøyde (i Trondheimsfjorden) ved passering av katamaranen «Agdenes». Bølgehøyden er størst ved hastigheter rundt 16 knop

Tabell 3.1 Maksimum bølgehøyde H og bølgeperiode T i avstand 30 og 75 m fra katamaranen "Agdenes". Skipets lengde er 28.75 m, bredde 8.0 m og dypgående 1.30 m.[3]

Skipets hastighet [knop]	Avstand fra skipet			
	30 m		75 m	
	H [m]	T [s]	H [m]	T [s]
10	0.41	2.8	0.34	2.7
16	0.88	4.0	0.72	4.2
26	0.40	4.0	0.44	4.5

Den beskrivelse som er gitt av de ulike bølgetypene er idealiserte i det man stilltiende antar at skipets hastighet er konstant. Når skipet endrer retning eller fart endres bølgeperioden slik at bølgene utbres med ulik hastighet. En får dermed en vekselvirkning som kan gi en økning i bølgehøyden. Dette kan skje når skipet reduserer hastigheten: Bølgene som kommer bakfra når igjen de bølgene som genereres lenger framme.

3.2. Definisjoner og ordforklaring

I det følgende blir det gitt en kort, forenklet forklaring på ord og uttrykk som brukes i denne rapporten.

Periode (Bølgeperiode): Bølgens periode, dvs tiden det tar for bølgen å gjennomføre en hel syklus fra topp til bunn og til topp igjen. Perioden kan estimeres ut ifra en video ved å telle antall bølgeslag og dividere med tiden. Den kan også beregnes ut ifra observert bølgelende.

Bølgehøyde: Bølgehøyde er bølgens høyde fra topp til bunn. Den kan estimeres ganske godt ut ifra vanlig video ved å observere nivået ved en struktur som står i sjøen, f eks en stake, Bølgehøyden endres mye avhengig av vandypet.

Slagsjø: Slagsjø er sjø som er krapp nok til at den slår imot strukturer som brygger og båter. Den kan forårsake umiddelbar skade eller skade over tid..

Vaskesjø: (wake wash) er bølger som blir liggende over lengre tid med høyere periode og lavere bølgehøyde enn hovedbølgetoget fra skipet. Den kommer fra transversbølgen. Vaskesjø kan være et problem og forårsake betydelig erosjon over tid.

4. Observasjoner og målinger

4.1. Observasjoner ved P1 - Hammersvik

Ved Hammersvik var stereokamera plassert ved kun en passasje. Bølger fra Øyglimt var svært små, 20-30 cm og lot seg ikke skille ut fra den bakenforliggende vindsjøen.

5. nov 2020 lokal tid 11:07:09. Øyglimt passerer i 8 kn.

Vind 8-10 m/s fra SW, lokal vindsjø med Hs 20-25 cm. Bølger fra Øyglimt er ikke knapt detekterbare.

Eksempel på sjøtilstand ved passering tvers er vist i Figur 4, og sjøtilstand når bølgefeltet når land er vist i Figur 5. Eksempel på bølgehøydekart når bølgene fra båten når land er vist i Figur 6.

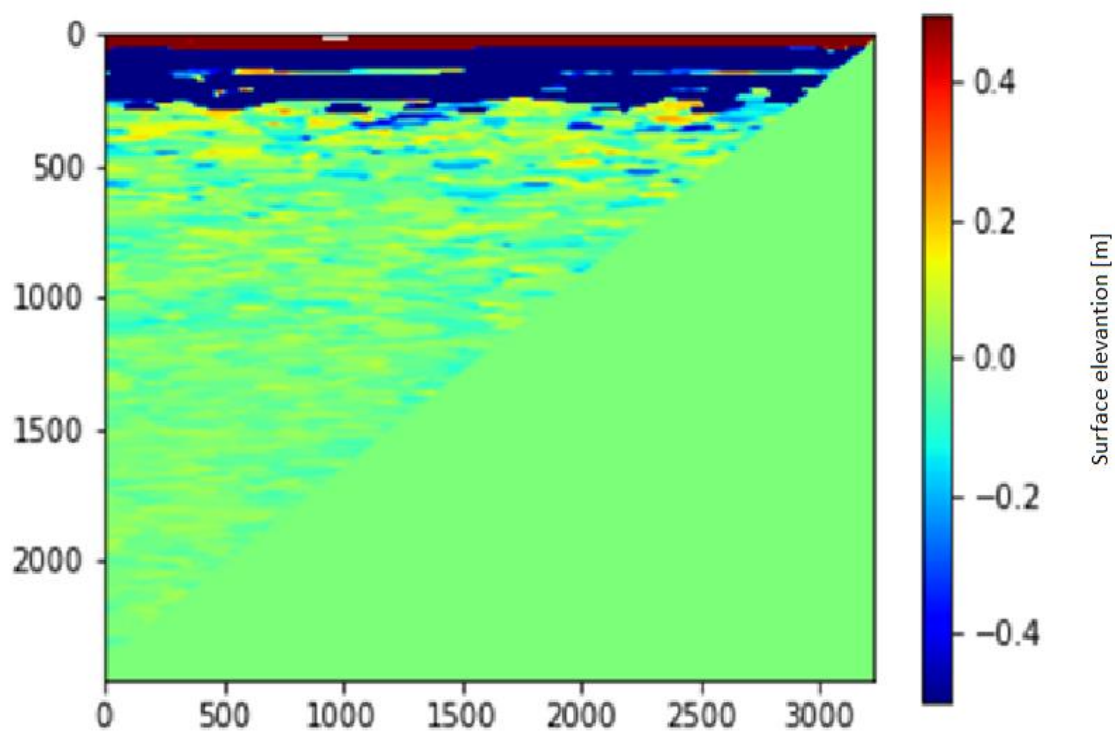
Observasjoner er oppsummert i Tabell 2



Figur 4 Øyglimt passerer inn fjorden



Figur 5 Bølger fra Øyglimt



Figur 6 Stereokamera bølgehøydekart (meter) for P1-Hammersvik (Cruise1).

Tabell 2 – Oppsummering av observasjoner ved P1 – Hammeresvik.

Cruise #	Metode	Bølgehøyde [m]	Bølgeperiode[s]	Ringetid [s]	Vaskesjø?
Cruise 1	S-CAM	<30 cm	1-2 s	<30 s	Nei
Cruise 2	Kamera	< 30 cm	1-2 s	<30 s	Nei
Cruise 3	Kamera	< 30 cm	1-2 s	Kort	Nei
Cruise 4	Kamera	< 30 cm	1-2 s	Kort	Nei
Cruise 5	Kamera	< 30 cm	1-2 s	Kort	Nei
Cruise 6	Kamera	< 30 cm	1-2 s	Kort	Nei

4.2. Observasjoner ved P2 – Lesto

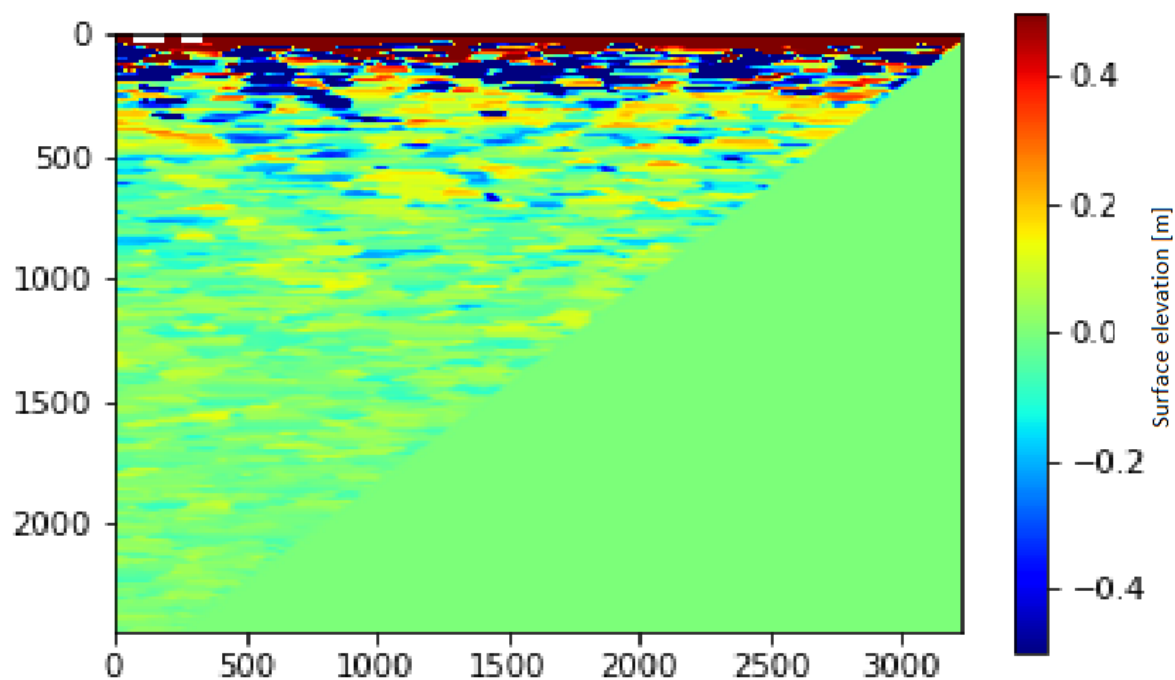
Ved Lesto var stereokamera plassert kun ved Cruise 2. Bølger fra båtene var svært vanskelig å skille ut fra den bakenforliggende vindsjøen. Generelt var det svært liten påvirkning fra skipsbølger. Bølgeperiode og høyde var noe høyere her ca opptil 40 cm enkeltbølger og perioden noe lenger (3 s). Det ble ikke observert vaskesjø.

Eksempel på sjøtilstand ved passering tvers er vist i Figur 7, og sjøtilstand når bølgefeltet når land er vist i Figur 5. Eksempel på bølgehøydekart når bølgene fra båten når land er vist i Figur 9. Stereokamera bølgehøydekart (meter) for P2 -Lesto, (Cruise2).

Observasjoner er oppsummert i Tabell 3



Figur 7 «Øyglimt» passerer tvers av P2 Lesto på vei inn i fjorden **Figur 8 Bølger fra "Øyglimt" ved Lesto**



Figur 9 Stereokamera bølgehøydekart (meter) for P2 -Lesto, (Cruise2)

Tabell 3 Oppsummering av observasjoner ved P2 – Lesto

Cruise #	Metode	Bølgehøyde [m]	Bølgeperiode[s]	Ringetid [s]	Vaskesjø?
Cruise 1	Kamera	<40 cm	2.5-3 s	<30 s	Nei
Cruise 2	S-CAM	< 40 cm	2.5-3 s	<30 s	Nei
Cruise 3	Kamera	< 40 cm	2.5-3 s	Kort	Nei
Cruise 4	Kamera	< 40 cm	2.5-3 s	Kort	Nei
Cruise 5	Kamera	< 40 cm	2.5-3 s	Kort	Nei
Cruise 6	Kamera	< 40 cm	2.5-3 s	Kort	Nei

4.3. Observasjoner ved P3-Hatlenseset

Stereokamera ble benyttet ved P3 Hatlenseset for Cruise 3-6. P3 lå i le for vindsjøen og var med det et bedre sted å observere bølger som kan tilskrives fartøyene. Den visuelt observerte bølgehøyden fra Øyglimt var mindre ca 15 cm og perioden større (3-4 s) og ringetiden lenger (2-3 min) enn ved de andre lokasjonene.

For Frøya, Cruise 5 og 6 var ringetiden betydelig lengre 6-8 minutter. Det ble også observert at det bølger kom i flere pulser men noen minutters mellomrom.

Stereokamera gir 30-40 cm bølger lenger ute, men mindre 10-20 cm ved land.

Det var svak vaskesjø.

Det ble ikke observert slagsjø ved naustet og moderat vaskesjø.

Eksempel på sjøtilstand ved passering tvers er vist i Figur 10, og sjøtilstand når bølgefeltet når land er vist i Figur 11 og Figur 13. Eksempel på bølgehøydekart når bølgene fra båten når land er vist i Figur 12 og Figur 14.

Observasjoner er oppsummert i Tabell 4 – Oppsummering av observasjoner ved P3-Hatlenseset.

Tabell 4 – Oppsummering av observasjoner ved P3-Hatlenseset.

Cruise #	Metode	Bølgehøyde [m]	Bølgeperiode[s]	Ringetid [s]	Vaskesjø?	Slagsjø?
Cruise 1	Kamera	>15 cm	3-4 s	2-3 min	Svak	Nei
Cruise 2	Kamera	< 15 cm	3-4 s	2-3 min	Svak	Nei
Cruise 3	S-CAM	< 15 cm*	3-4 s	2-3 min	Svak	Nei
Cruise 4	S-CAM	< 20 cm	3-4 s	2-3 min	Svak	Nei
Cruise 5	S-CAM	< 25 cm	3-4 s	6-8 min	Moderat	Nei
Cruise 6	S-CAM	< 25 cm	3-4 s	6-8 min	Moderat	Nei

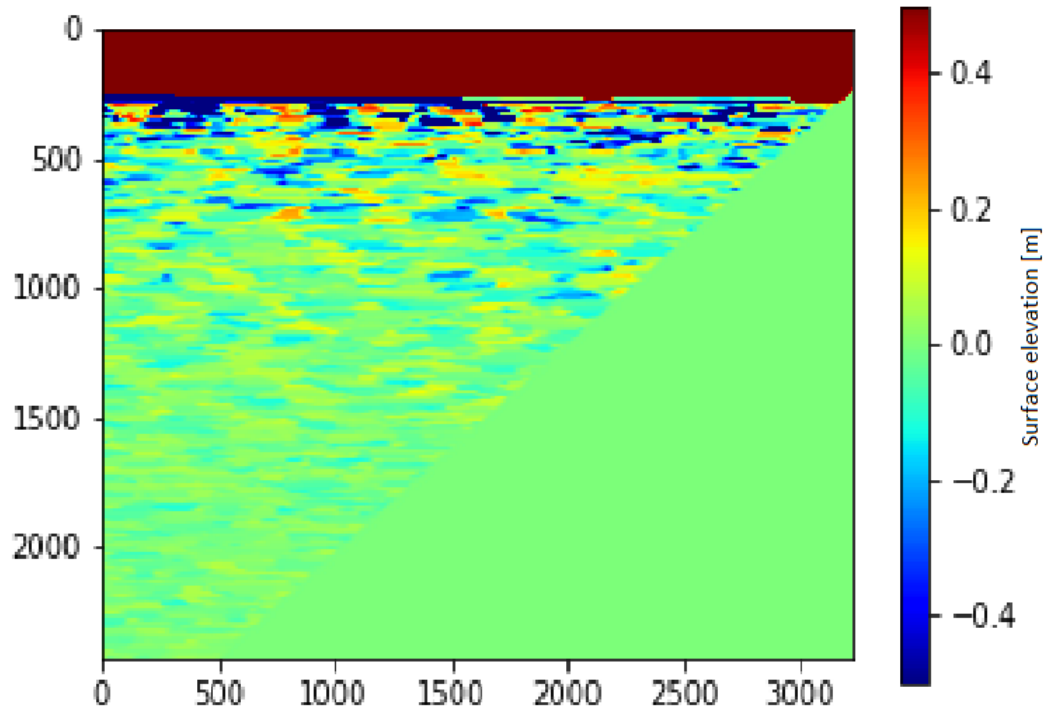
* Observasjon lenger ute fra stereokamera ca 40 cm ved cruise 5 (Frøya, østgående) og 40-60 cm ved cruise 6 (Frøya vestgående).



Figur 10 Frøya passerer P3 – Hatlenseset, Cruise 5 (østgående)



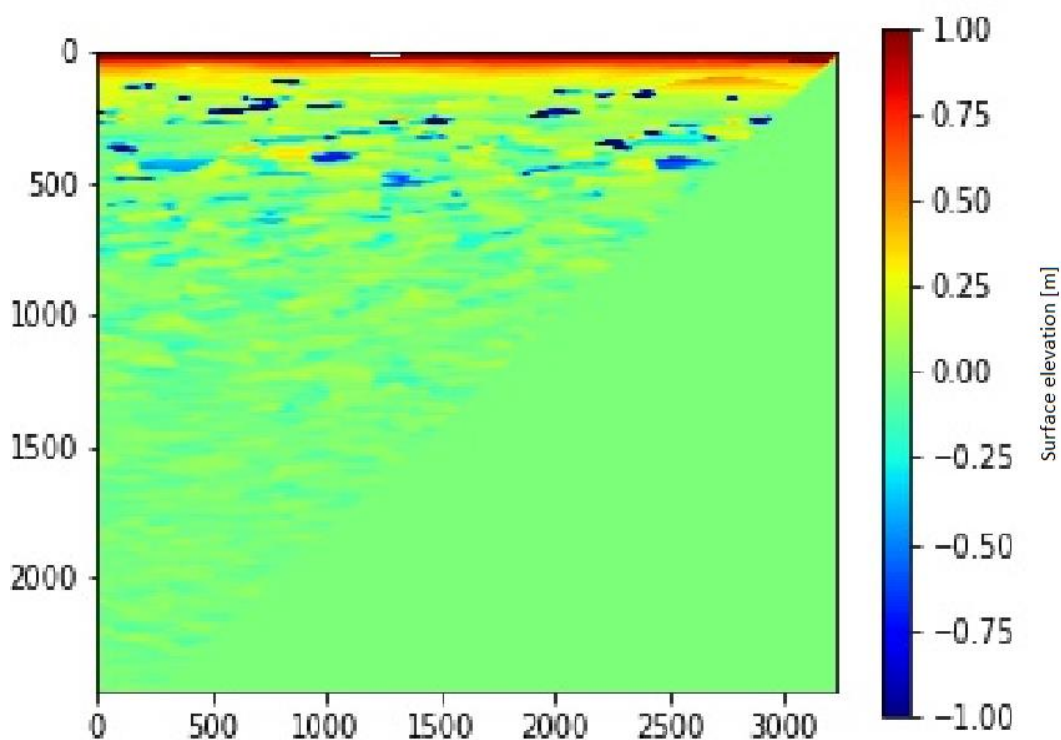
Figur 11 – Bølger fra Frøya ved P3 Hatlenseset, Cruise 5.



Figur 12 Stereokamera bølgehøydekart (m) for P3 Hatleneset, Cruise 5.



Figur 13 -Bølger fra «Frøya», ved P3 Hatleneset, Cruise 6.



Figur 14 Bølgrhøydekart fra Frøya ved P3 Hatleneset, Cruise 6

5. Konklusjon

NORCE har gjennomført observasjoner og målinger av bølger generert fra to representative skipstyper i Moldefjorden. Målingene ble gjennomført ved hastighet 8 knop, som er hastighetsbegrensingen i farleden.

Konklusjoner:

Påvirkning på strandsonen fra bølger fra skip som går inntil 8 knop i Moldefjorden fremstår som svært liten. Det er ikke observert slagsjø og det er observert svært moderat vaskesjø.

6. Referanser

- [1] T. Lothe, M. Mathiesen, and H. Heiberg-Andersen, 'Nærøyfjorden Landskapsverneområde - Erosjon fra Skipsbølger', Metocean Group, Uni Research Polytec, Haugesund, M17025-R001, Jun. 2018.
- [2] 'Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing, CRISP'.
<https://crisp.nus.edu.sg/~research/shipwakes/shipwakes.htm> (accessed Feb. 08, 2021).
- [3] "Agdenes" full scale wave tests, Wave parameter analysis.', Marintek.

7. Appendix 1 Raw Field Report

7.1. Stereo camera setup

Field report wave measurements Moldefjorden

Pitch and roll calibration

Pitch: 0 degrees reads 3.75

Roll: 0 degrees reads -1.00

Camera settings IMX219 (1/4):

Resolution= 3280x2464

Sharpness=0

Contrast=0

Brightness=50

Saturation=0

ISO=auto

Exposure_mode=auto

Meter_mode=average

Shutter_speed=auto

Lens: Computar M1224-MPW2, focal length 12 mm, F2.4, FIELD OF VIEW 17.2 DEGREES

Clock synchronization at each location by NPT pool server

On each location the two cameras are focused at objects at far distance (>1000 meter)

The three measurement locations are shown in Figure 1



Figure 1: Measurement locations

7.2. Location 1 – Hammersvik

The measurement location and direction of the camera is shown in Figure 2

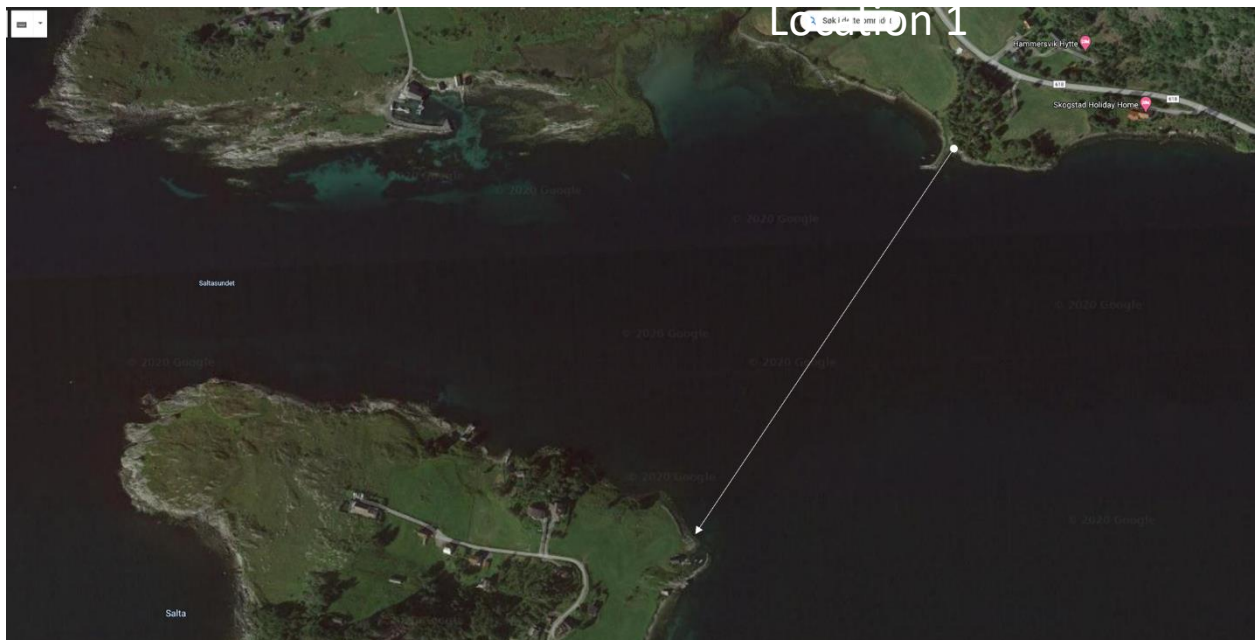


Figure 2: Location 1 measurement location and direction.

The passage of the boat is recorded in series 3 (003P and 003S), occurring at 11:07:09. The arrival of the wake is recorded in series 4 (004P and 004S), starting at 11:08:11. The height of the camera above the ground level is 60 cm. The height from the ground level at the measurement location to the water level was not recorded. Camera roll is 0.63° , camera pitch is -2.94° .

The following series are with passage of the larger catamaran. The first passage is eastward and occurs at 13:29:22 shown in series 35 (035P/035S). The direction of view is now according to arrow 2. At 13:31 to bow wake comes in, as recorded in series 38 and 39, (038P/038S/039P/039S). At 13:35:05, the second set of wake waves come in, as recorded in series 41 and 42 (041P/041S/042P/042S). The wake dies out after about eight minutes.

At 13:45:58 the boat passes again in the westward direction as recorded in series 46 (046P/046S). Series 51 (051P/051S) at 13:50:44 shows the wake coming in. This is recorded more distinct from 13:52:28 in series 54, 57,58 (054P/054S/057P/057S/058P/058S). The wake waves die out around 13:58.

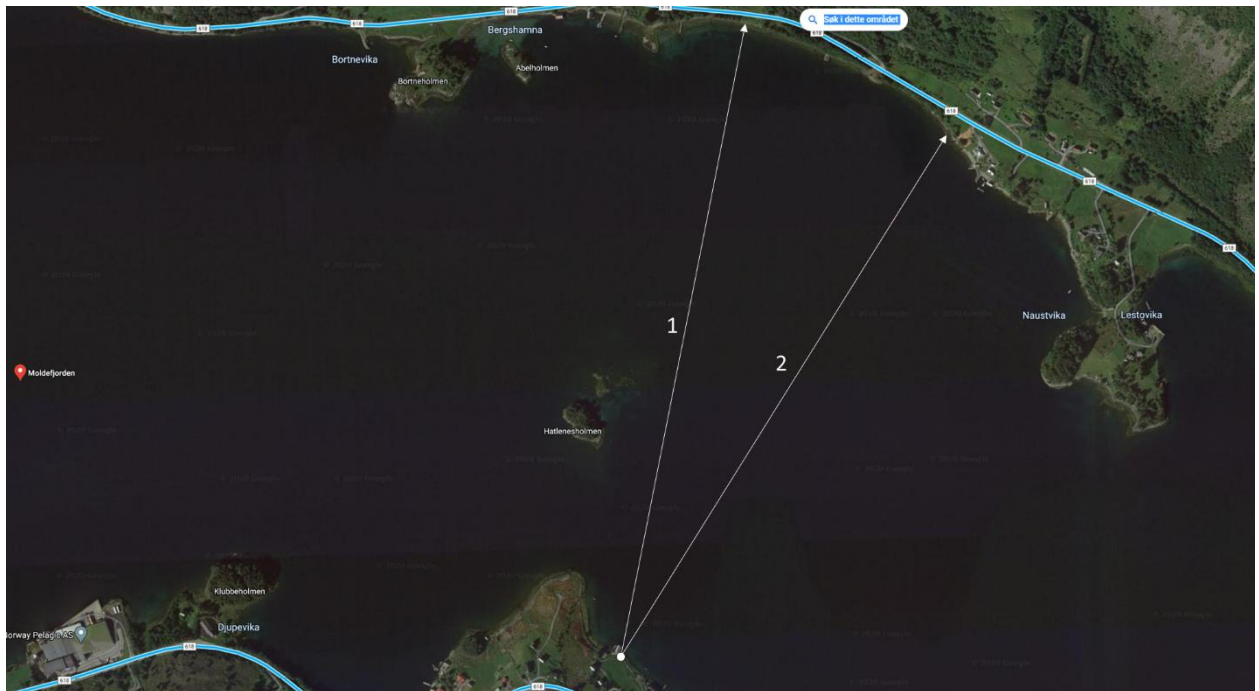


Figure 4: Location 3 measurement location and direction.

