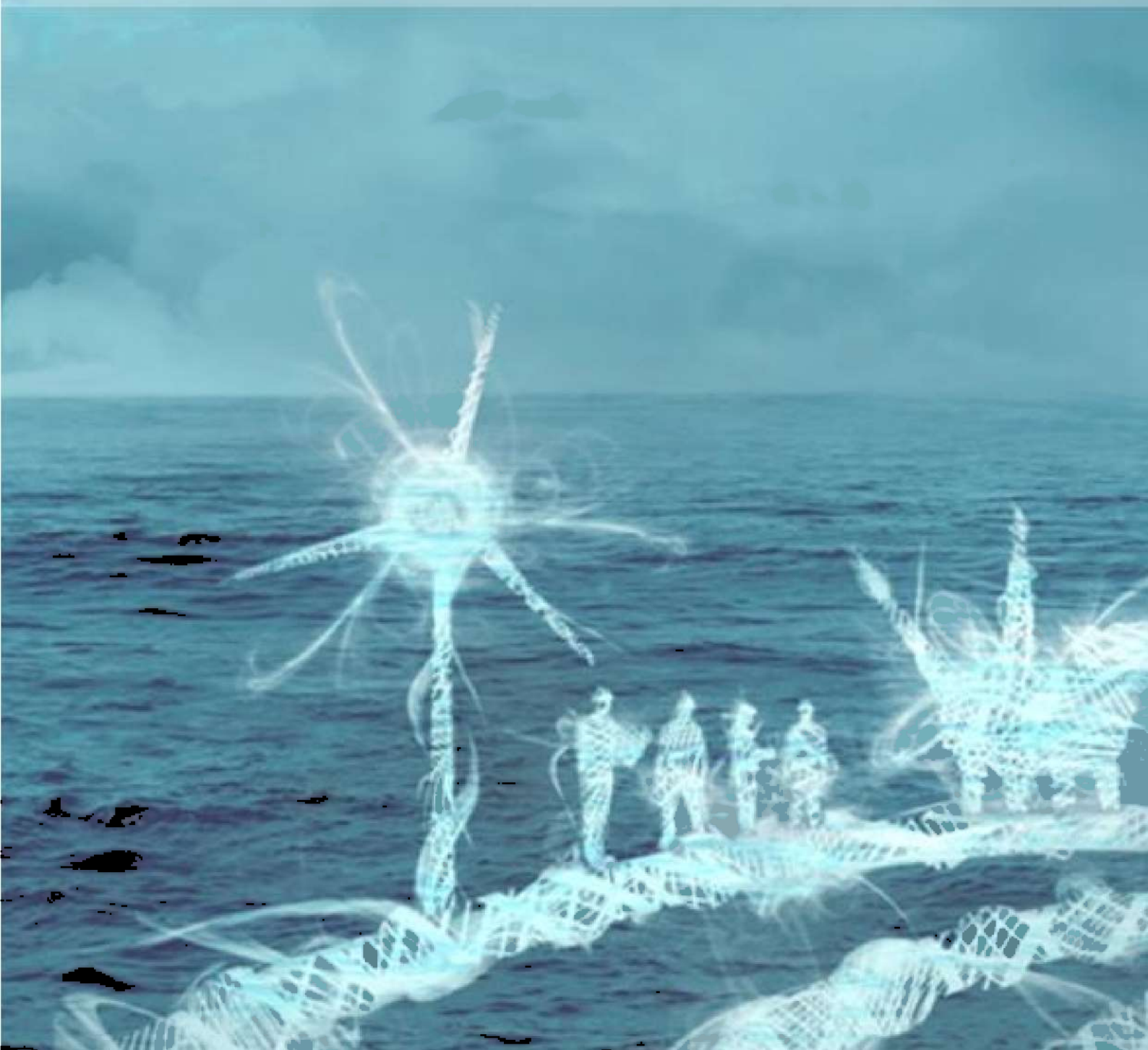


RAPPORT

NÆRØYFJORDEN VERNEOMRÅDE

Måling og registrering av erosjon



Report no
20209-R001

Date
2016.11.01

Security level
Konfidentiell



Prosjektnummer: 20209	Rev. no.: 1	Antall sider: 16
Oppdragsgiver: Nærøyfjorden verneområdestyre	Forfattere: Martin Mathiesen, Torleif Lothe, Konstantinos Christakos	
Referanse: Saksnummer 2014/4243		

Forfatter:
MARTIN MATHIESEN

Kvalitetssikring
OLE HENRIK HOLVIK

Direktør Uni Research Polytec
GUNNAR W BIRKELAND

SAMMENDRAG

Bakgrunn og hensikt

Over lengre tid har man hatt problemer med hensyn til erosjon og utvasking langs Nærøyfjorden. Dette regner man med at i hovedsak skyldes bølger fra skip, men muligens også fra lokal vindsjø. Denne konklusjonen bør imidlertid underbygges bedre slik at man lokalt får et godt beslutningsgrunnlag for innføring av eventuelle seilingsrestriksjoner i Nærøyfjorden.

Hensikten med denne rapporten er å foreslå et måleprogram (eller lignende) som kan gi en klar beskrivelse av:

- hva erosjonen og utvaskingen i Nærøyfjorden skyldes
- hvordan erosjonen oppstår
- hvor erosjonen oppstår

slik at man eventuelt kan utforme regler (for skipstrafikken) som kan bidra til å forhindre en videre erosjon og utvasking i strandsonen i Nærøyfjorden

Arbeidsbeskrivelse

Rapporten gir en kort beskrivelse av:

- Lokal vindsjø
- Bølger fra skip
- Vannstandsvariasjoner
- Bølgemålinger

Videre gis en beskrivelse av:

- Måleprogram
- Analyse av måledata

Konklusjoner

De viktigste konklusjoner er:

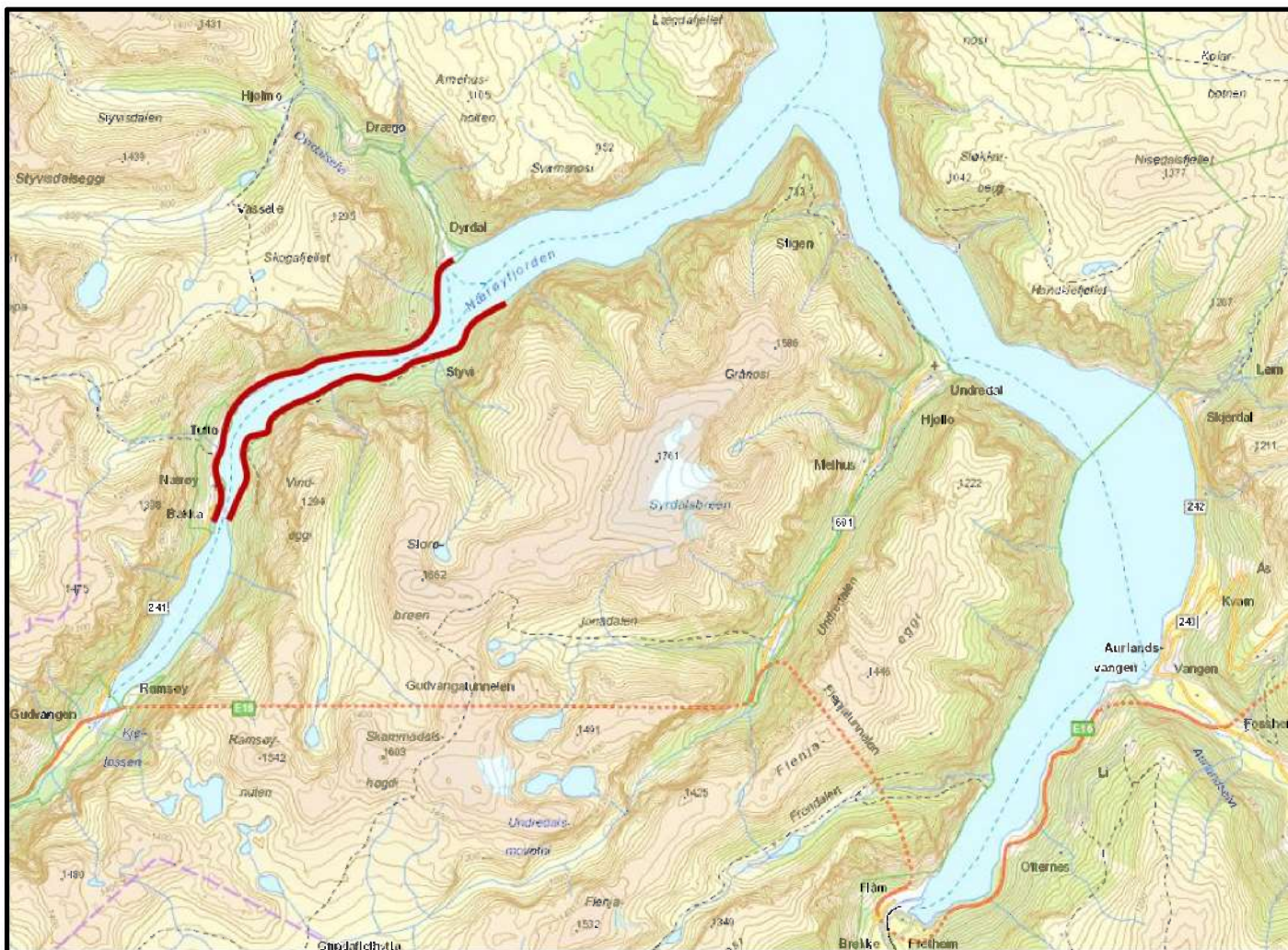
- Bølgemålinger gjøres mest effektivt og best ved bruk av videokamera
- Erosjon og utvasking i Nærøyfjorden skyldes høyst sannsynlig skipsbølger, men i Aurlandsfjorden trolig både av skipsbølger og vindsjø
- De største skipsbølgene opptrer høyst sannsynlig i områder der skipene senker farten: Bølgene som kommer bakfra når da igjen de bølgene som genereres lenger framme
- Erosjon og utvasking avhenger av vannstanden, og er størst ved høyvann.

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning.....	- 6 -
2	Vindsjø	- 8 -
3	Skipsbølger	- 10 -
4	Vannstand	- 12 -
5	Bølgemåling	- 13 -
6	Målemetode.....	- 14 -
7	Analyse.....	- 15 -
8	Referanser.....	- 16 -

1 INNLEDNING

Nærøyfjordområdet, se Figur 1.1, ble i 2005 innskrevet på UNESCOs liste over verdens kultur- og naturvernsteder. Dette tilsier at man har strenge krav til naturvern i området.



Figur 1.1 Kart over Nærøyfjordområdet i Sogn og Fjordane [5]. De områdene somer mest utsatt for erosjon er markert med rødt. [7].

Over lengre tid har man hatt problemer med hensyn til erosjon og utvasking langs Nærøyfjorden [7]. Dette regner man med at i hovedsak skyldes bølger fra skip, men muligens også fra lokal vindsjø. Denne konklusjonen bør imidlertid bedre underbygges.

Hensikten med denne rapporten er å foreslå et måleprogram (eller lignende) som kan gi en klar beskrivelse av:

- hva erosjonen og utvaskingen i Nærøyfjorden skyldes
- hvordan erosjonen oppstår
- hvor erosjonen oppstår

slik at man eventuelt kan utforme regler (for skipstrafikken) som kan bidra til å forhindre en videre erosjon og utvasking av strandsonen i Nærøyfjorden.

Erosjon og utvasking i Nærøyfjorden antas å være bestemt av:

- bølgehøyden
- bølgeperioden
- vannstanden

Vannstanden er særlig viktig fordi høy vannstand flytter brytningssonen innover slik at bølgene kan angripe konstruksjoner og lignende direkte. Dette tilsier at man ved et eventuelt måleprogram må registrere vann-nivået.

2 VINDSJØ

Den lokalgenererte vindsjøen er bestemt av vindfarten, lengden av det sjøområdet blåser over (regnet i vindretningen) og den tiden vinden blåser.

Norsk Standard NS 3491-4 angir referansevindhastigheten (10 min middelvind, terreng-ruhetkategori II, returperiode 50 år, i Nærøyfjordområdet til 25 m/s. Ett-års 1 times middelvind fra nord over Nærøyfjorden og Aurlandsfjorden anslås (av Polytec) til henholdsvis 18 og 20 m/s.

Bølgeberegninger er gjennomført for 3 steder (punkter) som vist i Figur 4.1. Tabell 2.1 viser beregnet signifikant bølgehøyde og tilsvarende bølgeperiode (pik-periode).



Figur 2.1 Kart som viser steder, Punkt 1 - 3, der bølgehøyden for vindsjø er beregnet.

Tabell 2.1 Signifikant bølgehøyde og tilsvarende bølgeperiode i Punkt 1 – 3 ved vind fra nord.

Vindfart [m/s]	Punkt 1		Punkt 2		Punkt 3	
	H_s [m]	T_p [s]	H_s [m]	T_p [s]	H_s [m]	T_p [s]
10	0.23	3.51	0.23	1.45	0.16	1.42
12	0.29	3.79	0.29	2.37	0.20	1.82
14	0.35	4.04	0.36	2.76	0.24	2.13
16	0.42	4.28	0.42	3.09	0.29	2.38
18	0.49	4.50	0.49	3.38	0.33	2.61
20	0.56	4.71	0.56	3.65	0.38	2.81
22	0.64	4.91	0.64	3.89	0.43	3.00
24	0.71	5.10	0.72	4.12	0.49	3.18

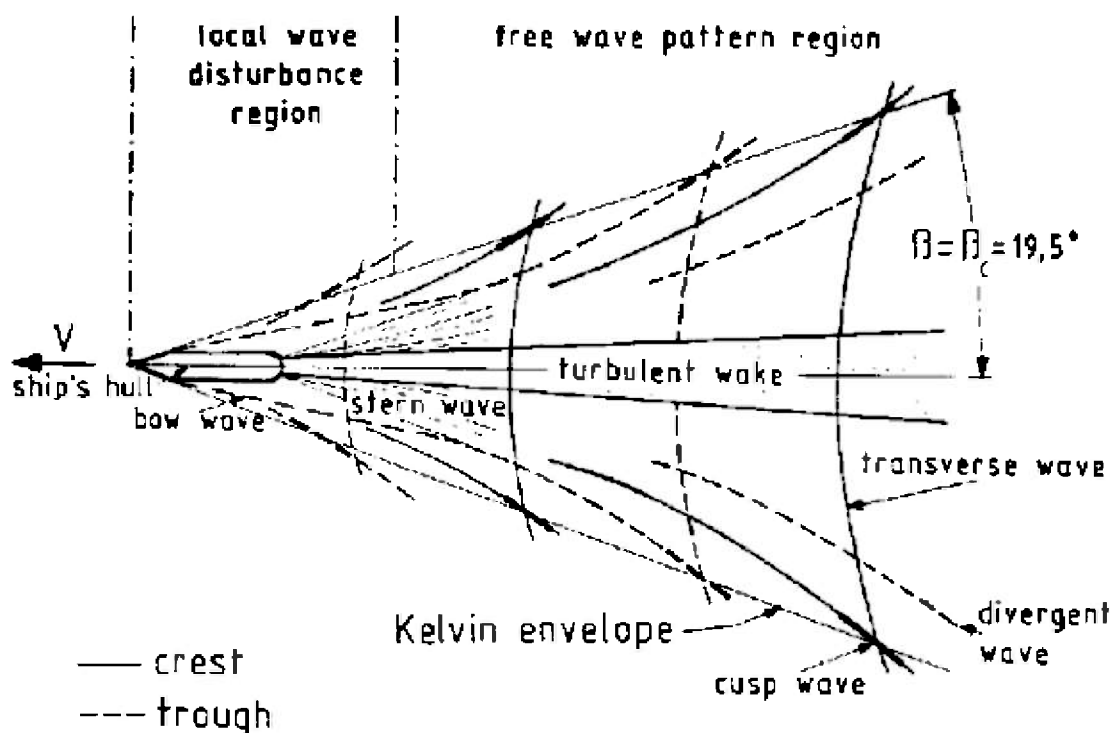
Dersom vi antar at bølger fra skip er rundt 0.4 m skulle man forvente at erosjon i Nærøyfjorden i hovedsak skyldes skipsbølger, mens både skipsbølger og vindsjø er medvirkende til erosjon og utvasking langs Aurlandsfjorden.

3 SKIPSBØLGER

Skipsbølger er i hovedsak bestemt av:

- skipets dyptgående
- skipets lengde
- skipets hastighet
- skrogform

Figur 3.1 viser bølgemønsteret rundt et deplasementfartøy.



Figur 3.1 Bølgemønster rundt et deplasementsfartøy [1].

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 deplasementfartøys 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 dyppgående 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 dyppgående 1.30 m. [6]

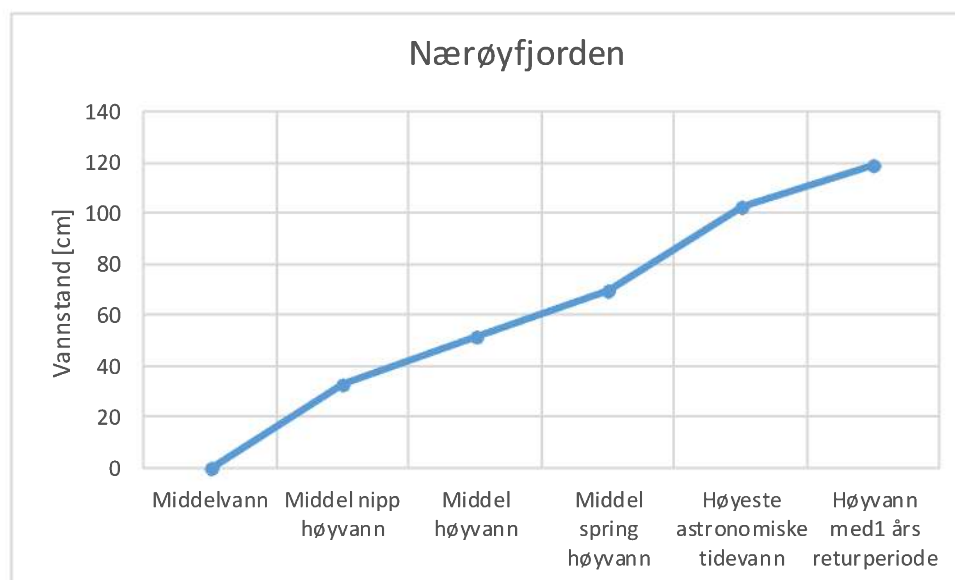
Skipets hastighet [knop]	Avstand fra skipet			
	30 m		75 m	
	H [m]	T [s]	H [m]	T [s]
10	0.41	2.8	0.34	2.7
16	0.88	4.0	0.72	4.2
26	0.40	4.0	0.44	4.5

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.

4 VANNSTAND

Vannstanden i Nærøyfjorden variere som følge av tidevann og værrets virkning (stormflo). Stormflo opptrer vanligvis ved sterk vind fra sørvest langs kysten.

Figur 4.1 og Tabell 4.1 viser karakteristiske vannstands nivå i Nærøyfjorden. Tabellen viser at midlere høyvann er 52 cm over middelvann. Landkart-null er ved middelvann, mens sjøkart-null er 104 cm under middelvann.



Figur 4.1 Vannstands nivå i Nærøyfjorden [3]

Tabell 4.1 Vannstands nivå i Nærøyfjorden [3].

Beskrivelse	Vannstands nivå [cm]
Høyvann med 1 års returperiode	119
Høyeste astronomiske tidevann	103
Middel spring høyvann	70
Middel høyvann	52
Middel nipp høyvann	33
Middelvann	0
Middel lavvann	-52

Variasjoner i vannstanden som følge av tidevann og værrets virkning finner man på Kartverkets «Se havnivå»-sider på Internett [3].

Forventet vannstandsøkning som følg av klimaendringer fram til år 2100 er anslått til 70 cm [2] mens landhevingen i samme periode er anslått til 27 cm. Dette gir en netto vannstandsøkning fram til år 2100 på rundt 40 cm.

5 BØLGEMÅLING

Det finnes flere typer bølgemålere som kan være aktuelle for måling av skipsbølger, som for eksempel:

- Akselerometerbøyer. Måler vertikal akselerasjon av en flytende bøye
- Invertert ekkolodd: Måler avstanden fra ekkolodd (plassert på bunnen) til overflaten
- Laser. Måler avstanden fra laseren ned til vannoverflaten
- Bølgestav: Måler bølgehøyden ved å måle hvor høyt vannet beveger seg langs en stav

Vi vil imidlertid ikke anbefale noen av disse målertypene. Dette fordi man erfaringsmessig har dårlig erfaring med disse når det gjelder måling av kortvarige hendelser.

Vi foreslår i stedet at man registrerer bølgene på steder der man forventer erosjon og/eller utvasking ved hjelp av Video-kamera. Bølgehøyden registreres ved at man plasserer en vertikal «meterstav» på 1 – 2 m dybde der man måler bølgene.

Ved måling av skipsbølger bør man starte registreringen når skipet er 1.0 – 1.5 km fra måleområdet. Dette for å dokumentere sammenhengen mellom skipspassasje og bølgehøyde.

Med en bølgeperiode på skipsbølgene på 4.0 s er bølgeenergiens utbredeshastighet 3.1 m/s. Bølgene bruker etter dette 320 s på en 1.0 km lang strekning.

6 MÅLEMETODE

Erosjon og utvasking langs Nærøyfjorden antas i hovedsak å være avhengig av bølgehøyde og vannstand. Særlig viktig er vannstanden som typisk varierer med 0.5 m omkring middelvann, men kan variere opp imot 1 m ved spring høy og lav-vann. Ved høyyvann kan bølgene «angripe» direkte på konstruksjon eller lignende. Beregnet vannstand som omfatter tidevann og værrets virkning finner man på Kartverkets Internett-sider [3].

Bølgemålere som akselerometerbøye, invertert ekkolodd, laser og bølgestav er punktmålere; det vil si at de bare angir bølgehøyden i ett punkt. Målingene viser bølgehøyden i ett punkt og gir derfor ingen informasjon om variasjon av bølgehøyden i området rundt målepunktet.

Den beste målemetoden antas å være målinger ved hjelp av videokamera på 5 (eller flere) målesteder. Det anbefales å benytte to eller eventuelt tre videokameraer for hver måleperiode eller målested. Disse tenkes å ha funksjon som sammenfattet nedenfor:

- Kamera plassert ved sjøkanten i områder der man forventer størst bølgepåkang. Dette kameraet vil gi et godt bilde av hvor bølgene angriper og hvilken skade de eventuelt gjør.
- Kamera plasser høytliggende i området rundt 500 m ut fra området der bølgene treffer land. Hensikten med dette kameraet er å kartlegge skipets posisjon og hastighetsendring utenfor erosjonsområdet.
- Kamera plassert om bord på båten (dersom dette tillates). Hensikten med dette kameraet er å gi en detaljert beskrivelse av bølgene nær skipet.

Ved videomåling får man vist variasjonen i bølgehøyde over et større område. Dette er særlig fordelaktig ved måling av skipsbølger da disse forventes å endres over relativt korte avstander.

Ved videomåling av vindsjø bør man velge tidsperioder da det er varslet kuling fra nordlig retning.

Videokamera (4K Ultra HD) koster rundt 5 000 – 10 000 kroner.

7 ANALYSE

En videre analyse av videofilmene vil gi en bedre forståelse av hvorfor og hvordan erosjonen opptrer langs Nærøyfjorden. Dersom vi antar at erosjon i hovedsak skyldes vekselvirkning av bølger fra skip som reduserer hastigheten i området innen en kilometers avstand fra erosjonsområdet vil analysen bestå i:

- Bestemme hvilke skip som gjør skade og hvilken type skade de gjør
- Beregning av skipets bevegelse og bølgeutbredelse (vekselvirkning) for å kunne forklare eller beskrive hvorfor høye bølger opptrer. Det kan her være aktuelt å benytte AIS data fra Kystverket [4] eller AIS system.

Målet med analysen må være å:

- Gi et sikkert grunnlag for beslutning om eventuelle seilingsrestriksjoner i Nærøyfjorden
- Komme fram til anbefalte «seilingsmønstre» som hindrer eller minimaliserer erosjon og utvasking.

8 REFERANSER

1. CRISP's Research (2001), Ship Wakes Observed with ERS and SPOT.
URL: <https://crisp.nus.edu.sg/~research/shipwakes/shipwakes.htm>
2. Hanssen-Bauer, I., H. Drange, E.J. Førland, L.A. Roald, K.Y. Børsheim, H. Hisdal, D. Lawrence, A. Nesje, S. Sandven, A. Sorteberg, S. Sundby, K. Vasskog og B. Ådlandsvik (2009): *Klima I Norge 2100. Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing*, Norsk klimasenter, September 2009, Oslo.
URL: http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpassing/Bilder/NOU/Klima-Norge-2100_lavoppl_2opplag_okt2009.pdf
3. Kartverket, Se havnivå Styvisvika (Sogn og Fjordane).
URL: <http://www.kartverket.no/sehavniva/sehavniva-lokasjonside/?cityid=776614&city=Styvisviki>
4. Kystverket, AIS.
URL: <http://www.kystverket.no/AIS>
5. Kystverket, Kystverkets karttjeneste, KystInfo.
URL: <http://www.kystinfo.no/>
6. Marintek, «Agdenes» full scale wave tests, Wave parameter analysis.
7. Statens Naturoppsyn Aurland (2014), Erosjon i strandsona. Nærøyfjorden landskapsverneområde. Rapport til Nærøyfjorden verneområdestyre datert 5 november 2014.

== End report