



SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Havbruksteknologi

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF, Forskningscenteret på Rotvoll
Arkitekt Ebbellsvei 10
Telefon: 73 59 56 50
Telefaks: 73 59 56 60
E-post: fish@sintef.no
Internet: www.fish.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Analyse av havari av oppdrettsanlegg tilhørende Nord Senja Fiskeindustri AS

FORFATTER(E)

Jørgen R. Krokstad

OPPDRAGSGIVER(E)

Fiskeridirektoratet

RAPPORTNR. STF80 A044096	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Axel Anfinsen	
GRADER. DENNE SIDE Konfidensiell	ISBN 82-14-03528-7	PROSJEKTNR. 840138	ANTALL SIDER OG BILAG 202
ELEKTRONISK ARKIVKODE STF80A044096.doc		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Jørgen R. Krokstad	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Egil Lien
ARKIVKODE	DATO 2004-11-15	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Jøstein Storøy	

SAMMENDRAG

Rapporten kartlegger gjennom undersøkelser og analyser de viktigste faktorer som kan ha forårsaket havariet den 19.09.04 ved Nord Senja Fiskeindustrier, lokalitet Laukvikneset. Et systemforankret plastanlegg havarerte i stiv kuling men moderate bølgeforhold under observert sterk strøm.

En oversikt over værobservasjoner knyttet til lokaliteten under havariet blir gitt i tillegg til beregnede strøm og bølgeforhold. Eksakte verdier for strømhastighet har ikke blitt verifisert men anslagsvis estimert. Eventuelle data fra nærliggende strømmålinger i havaritidspunktet har ikke latt seg oppdrive.

Kapasiteten til anlegget i form av strøm- og bølgebelastning er regnet i gjennom. Det er konkludert at forankringen til anlegget er underdimensjonert selv om det stort sett følger gjeldende standard for tilsvarende anlegg i Troms. Anlegget med de gitte dimensjonene ble klassifisert i henhold til NS9415 og funnet til å bare tilfredsstille den laveste strømkategori. Det er ikke dokumentert at anlegget har fått skade eller annen vesentlig forringing av bruddstyrke i tauverk. Det er dokumentert at forankringen til anlegget har for lav dimensjonerende sikkerhet. En eventuell høy strøm er bare en av flere mulig hendelser som kan føre til at forankringen til anlegget bryter sammen. Anlegget hadde ingen restsikkerhet mot linebrudd.

Tau med bedret bruddstyrke er foreslått. En ny strømkategori er angitt. Det er svært viktig at denne erfaringen blir formidlet til anlegg med tilsvarende dimensjonering av fortøyningen.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbrukskonstruksjoner	
GRUPPE 2	Forankringsanalyse	
EGENVALGTE	Havari	

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Konklusjon	3
2	Bakgrunn	4
3	Anlegg	6
4	Miljøkrefter	9
	4.1 Observerte vindhastigheter ved Hekkingen.	9
	4.2 Tidevannsstrøm ved Laukvikneset.	9
	4.3 Andre strømeffekter hovedsakelig generert av vind.	11
	4.4 Estimering av bølgehøyder.	12
	4.5 Lokalitetsklassifisering.	13
5	Analyser av anlegget	14
6	Diskusjon av sikkerhetsfaktorer	15
7	Årsak til havari	16
8	Anbefalt dimensjonering av fortøyning	16
9	Referanser	17
Vedlegg A. Conmotion analyse $H_{\max}=1.57$ m, $T_{\text{reg}}=3.1$ sec,		
	$\alpha_{\text{wave}}=160.0$ grader, $V_c=0.5$ m/s, $\alpha_{\text{cur}}=315.0$ grader	
Vedlegg B. Conmotion analyse. $H_{\max}=1.57$ m, $T_{\text{reg}}=3.1$ sec,		
	$\alpha_{\text{wave}}=160.0$ grader, $V_c=0.75$ m/s, $\alpha_{\text{cur}}=315.0$ grader	
Vedlegg C. Conmotion analyse. $H_{\max}=1.57$ m, $T_{\text{reg}}=3.1$ sec,		
	$\alpha_{\text{wave}}=160.0$ grader, $V_c=1.0$ m/s, $\alpha_{\text{cur}}=315.0$ grader	
Vedlegg D. Conmotion analyse. Line breakage. $H_{\max}=1.57$ m, $T_{\text{reg}}=3.1$ sec,		
	$\alpha_{\text{wave}}=160.0$ grader, $V_c=0.5$ m/s, $\alpha_{\text{cur}}=315.0$ grader	

1 Konklusjon

Analyser har vist at forankringen til anlegget har for lav dimensjonerende sikkerhet. En eventuell høy strøm er bare en av flere mulig hendelser som kan føre til at forankringen til anlegget bryter sammen. Analyser viser også at det er ingen restsikkerhet ved et eventuelt linebrudd av mest belastede line. Anlegget har brutt sammen på flere plasser etter at den mest belastede linen sannsynligvis orientert motstrøms brøt sammen.

Det er ikke dokumentert at havariet er knyttet til initiell skade. Forankringsfestene på bunnen var inntakt og sidetau var slitt tvers av i øvre del av fortøyningen. Dette tyder på et rent overbelastningsbrudd.

Lokaliteten har fått anslått lokalitetskategori, Bølgeklasse D ($H_s=3.0$ m, $T_p=5.7$ sec) og Strømklasse c, $V_c=1.0$ m/s. En oppdimensjonering av tauverk i henhold til standarden ville høyst sannsynlig ha hindret havariet.

Eksakte verdier for strømhastighet har ikke blitt verifisert men anslagsvis estimert. Eventuelle data fra nærliggende strømmålinger i havaritidspunktet har ikke latt seg oppdrive. Oppdretter mener at fra observasjoner av nedtrekk på anlegget og nærliggende anlegg har strømhastigheten vært ekstrem (1.0 -1.5 m/s).

Det er viktig av erfaringene fra denne rapporten blir formidlet m.h.p. utstedelse av dugelighetsbevis. Standard dataanalyser viser at fortøyningen til denne type anlegg er underdimensjonert. Uten dataanalyser er dette derimot vanskelig å avdekke. Et dugelighetsbevis må derfor ikke bare omfatte lokalitetsklassifisering og inspeksjon men også gjennomregning av belastninger.



Figur 1. Bilde av havarert anlegg. Laukvikneset.

2 Bakgrunn

Om morgenen søndag 19 september ca. kl. 9:30 havarerte et fiskeoppdrettsanlegg på lokaliteten Laukvikneset (se Figur 1), Nord-Senja, Troms fylke. Anlegget består av 12 stk 70 m (i diameter) plastringer forankret i to rekker i et rammefortøyningsystem. Lokaliteten tilhører Nord-Senja Fiskeindustri AS, har konsesjonsnummer 11434 og posisjonskoordinater N69 34 00.67 E17 53 59.60 med et maksimum konsesjonsvolum på 12.000 m³. Lokaliteten ligger ytterst i Malangenfjorden like innenfor Hekkingen fyr med åpent hav like utenfor, se også Figur 2. Fiskeridirektoratet har fått oppgitt 10000 rømte fisk fra anlegget.

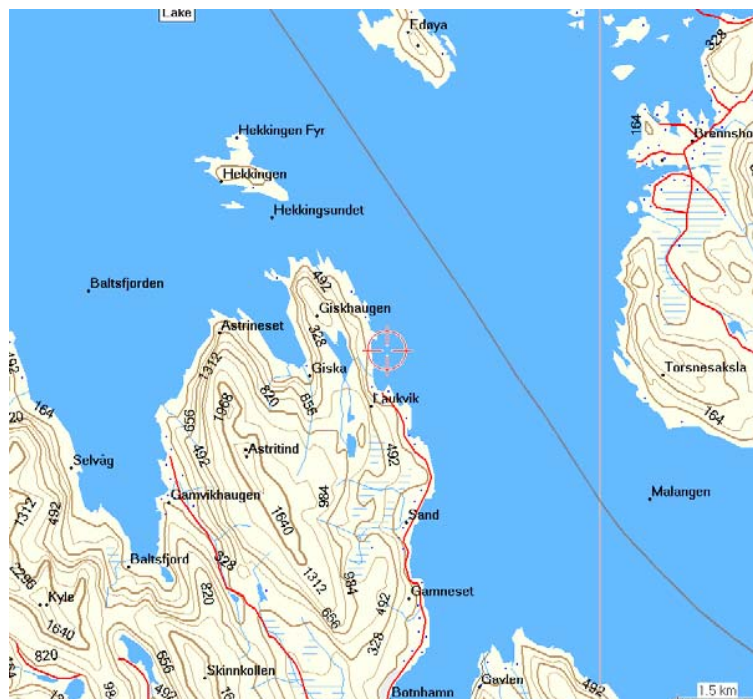


Figur 2. Oversiktskart over Malangen fjorden med lokaliteten Laukvikneset markert innenfor sirkelen.

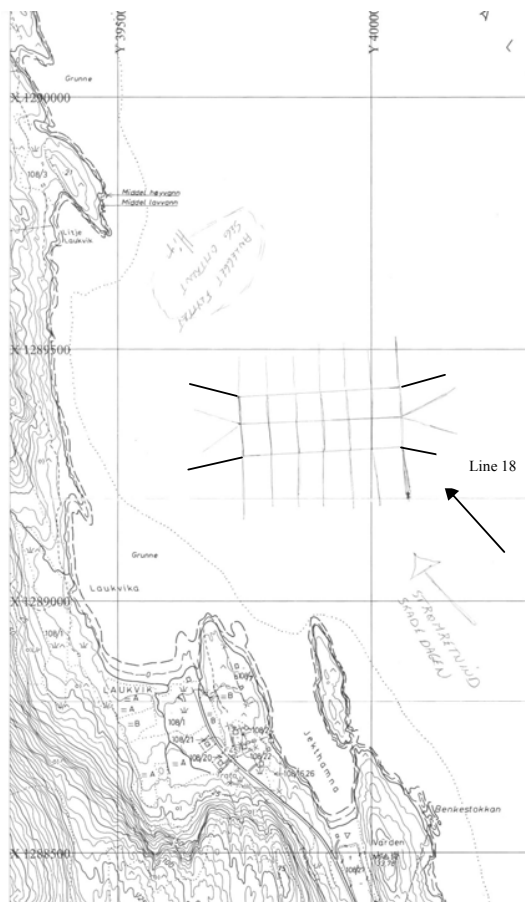
Figur 4 viser orienteringen til anlegget. Utgående strøm ser ut til å ha virket tilnærmet 45 grader på anlegget, definert som 315 grader i analysen. Oppdretter påpekte derimot at strømretningen varierte med ca. 45 grader avhengig av om det var inngående eller utgående strøm. P.g.a dette var det vanskelig å legge anlegget optimalt m.h.p strømretningen.

Det ble arrangert et telefonmøte med oppdretter ved Nord-Senja Fiskerindustri AS, Egil Johansen, Vesta, Svein Tore Rabben, Axel Anfinnsen, Fiskeridirektoratet og 3 SINTEF Forskere. Det ble poengtert at tau ble observert revet rett av lang opp ved ramma som lå på ca. 5 meters dyp. Ingen anker så ut til å ha flyttet seg. Alle sidetauene var røket etter at havariet hadde skjedd. Det ble poengtert at tauene var satt ut i mai 2003 men Vesta hadde observert at både ny og gammelt tau var brukt.

Det er viktig å poengtere at oppdretter har vært meget behjelpelig med informasjon i dette studiet.



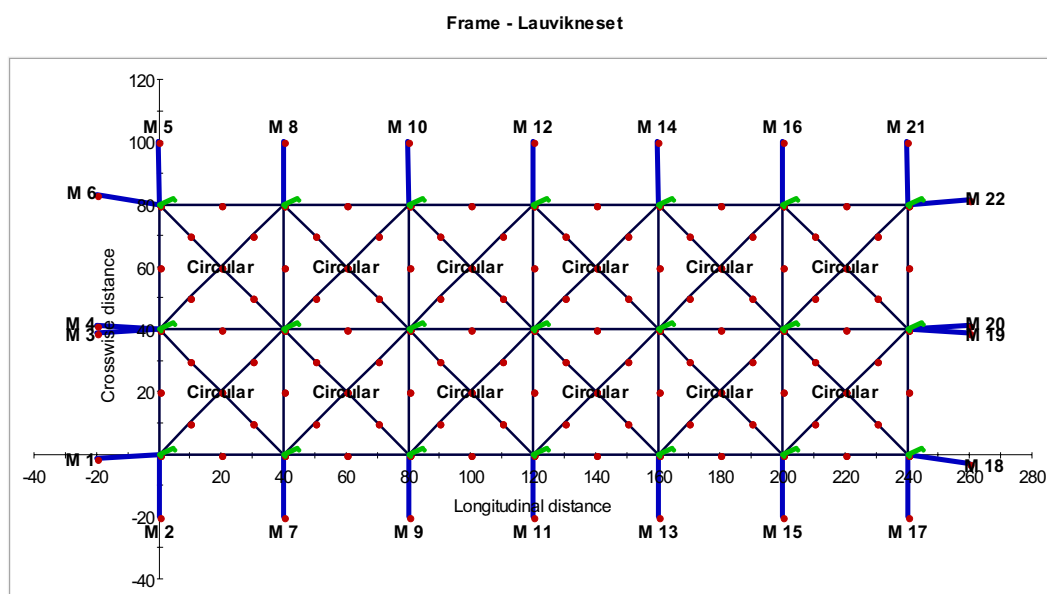
Figur 3. Detaljkart av Laukviken med Hekkingen fyr.



Figur 4. Plassering og orientering av anlegg og anslått strømretning ved havartidspunktet

3 Anlegg

En prinsippstegning av anlegget er vist nedenfor i Figur 5. Blå linjer angir forankringslinjer. Grønn kortstreker angir oppdriftsbøyer. Diagonal kryss angir hanefot inn mot sirkulær plastring. Plastringen er antatt stiv. Angivelsene M1 til M22 angir ankerlinenummer fra 1 til 22. Merk at haneføtter er beskrevet med en enkelt line inn til plastringene (avmerket med kryss). Dette er en konservativ antagelse fordi vi antar at line nr. 2 i hanefoten alltid er slakk i et ekstremtilfelle.



Figur 5. Prinsippskisse av anlegget.

I Tabell 1 er alle forankringsdata beskrevet. Alt baseres på oppdretters beskrivelse og delvis mottatte data fra Refa og tauleverandører. Merk at vanddyper øker fra line nr. 1 til line 22. Nøyaktig batymetri f. eks Olex data var ikke å oppdrive.

Tabell 1 Forankringslinjer

Line Nr.	Horisontal avstand[m]	Vanddyper anker [m]	Linelengde [m]	Segm.	Segment lengde [m]	Material navn
1	113.2	40.0	120.0	1	40.0	40mmtau
				2	40.0	40mmtau
				3	40.0	40mmtau
2	113.2	40.0	120.0	1	40.0	32mmtau
				2	40.0	32mmtau
				3	40.0	32mmtau
3	113.2	40.0	120.0	1	40.0	40mmtau
				2	40.0	40mmtau
				3	40.0	40mmtau
4	113.2	40.0	120.0	1	40.0	40mmtau
				2	40.0	40mmtau
				3	40.0	40mmtau
5	141.4	50.0	150.0	1	50.0	32mmtau
				2	50.0	32mmtau

				3	50.0	32mmtau
6	113.2	40.0	120.0	1	40.0	40mmtau
				2	40.0	40mmtau
				3	40.0	40mmtau
7	113.2	40.0	120.0	1	40.0	32mmtau
				2	40.0	32mmtau
				3	40.0	32mmtau
8	141.4	50.0	150.0	1	50.0	32mmtau
				2	50.0	32mmtau
				3	50.0	32mmtau
9	113.2	40.0	120.0	1	40.0	32mmtau
				2	40.0	32mmtau
				3	40.0	32mmtau
10	226.3	80.0	240.0	1	80.0	32mmtau
				2	80.0	32mmtau
				3	80.0	32mmtau
11	141.4	50.0	150.0	1	50.0	32mmtau
				2	50.0	32mmtau
				3	50.0	32mmtau
12	226.3	80.0	240.0	1	80.0	32mmtau
				2	80.0	32mmtau
				3	80.0	32mmtau
13	141.4	50.0	150.0	1	50.0	32mmtau
				2	50.0	32mmtau
				3	50.0	32mmtau
14	339.4	120.0	360.0	1	120.0	32mmtau
				2	120.0	32mmtau
				3	120.0	32mmtau
15	226.3	80.0	240.0	1	80.0	32mmtau
				2	80.0	32mmtau
				3	80.0	32mmtau
16	339.4	120.0	360.0	1	120.0	32mmtau
				2	120.0	32mmtau
				3	120.0	32mmtau
17	226.3	80.0	240.0	1	80.0	32mmtau
				2	80.0	32mmtau
				3	80.0	32mmtau
18	282.8	100.0	300.0	1	100.0	40mmtau
				2	100.0	40mmtau
				3	100.0	40mmtau
19	339.4	120.0	360.0	1	120.0	40mmtau
				2	120.0	40mmtau
				3	120.0	40mmtau
20	339.4	120.0	360.0	1	120.0	40mmtau
				2	120.0	40mmtau
				3	120.0	40mmtau
21	339.4	120.0	360.0	1	120.0	32mmtau
				2	120.0	32mmtau
				3	120.0	32mmtau
22	566.0	200.0	600.0	1	330.0	40mmtau
				2	200.0	40mmtau
				3	70.0	Kjetting Anker Stolpekjetting 32mm

Tabell 2 Flyter og nett

Flyte r no.	Beskrivelse	Omkrets [m]	Lengde [m]	Dybde av nett [m]	Soliditet	Maske størrelse [mm]	Tråd diameter [mm]	Total bunnvekt [kg]
1	Laukvikneset	70.0		18.0	0.25	15.0	1.8	640.0

Som vist i Tabell 2 er det antatt en litt dypere not enn standard 15 meter for å ta hensyn til dødfisk håven. Det er antatt standard begrodd nøter. Det er brukt en typisk soliditetsfaktor for begrodd nøtter på 0.25. Alle nøtene er antatt begrodd av konservative hensyn. Bunnvekt er oppgitt av oppdretter.

Tabell 3 Tilbehør (bøyedata)

Tilb. nr.	Tilbehør navn	Til. type	Net. oppdrift/ Vekt [kg]	Bøye fom	Bøye diam [mm]	Bøye leng. [mm]
1	Laukvikneset	Float	283.6	Kule	808.0	0.0
2	Firkant blåse	Float	1000.0	Rektangulær	1000.0	1000.0
3	A-6	Float	490.2	Kule	970.0	0.0
4	Cyl	Float	813.9	Sylinder	1200.0	700.0

Det ble brukt større bøyer på østsiden av anlegget hvor bruddet sannsynligvis oppsto først.

Tabell 4 Materialer i fortøyningsliner

Mat. nr.	Material navn	Brudd styrke [kg]	Diameter [mm]	Vekt [kg/m]	Elastisitet (EA)
1	40mmtau	21000.0	40.00	0.10	2.262E+06
2	22mmtau	8000.0	22.00	0.10	6.842E+05
3	32mmtau	17500.0	32.00	0.42	1.448E+06
4	Kjetting Anker Stolpekjetting 32mm	60550.5	32.00	23.40	1.689E+08

Materialedata for de brukte tauene er oppgitt fra leverandøren Refa. Bruddstyrken ligger en del over, spesielt på 32 mm, det som er standard for Danline tau p.g.a høyere massetetthet enn vanlig.

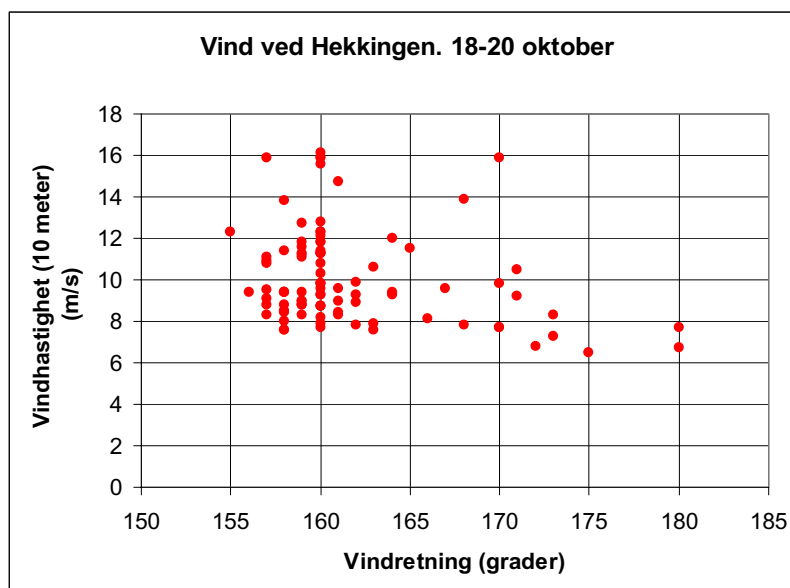
4 Miljøkrefter

4.1 Observerte vindhastigheter ved Hekkingen.

Hekkingen fyr ligger utenfor innløpet til Malangen fjorden, se Figur 3. Ved fyret måles det ikke strøm eller bølge men vanlige metrologiske data som lufttemperatur, luftfuktighet, vindretning, vindhastighet i 10 meters høyde midlet over 10 minutter, vindkast i 10 meters høyde og høyeste vindhastighet 10 minutters middel. Målingene er gjort hver time i perioden 18-20 oktober. De høyeste vindhastighetene, som tilsvarer stiv kuling ble målt kl. 7-10, 19 oktober og er gitt i Tabell 5 nedenfor. Den dominerende vindretningen kan leses ut av Figur 6 og er gitt ved 160 grader. Som basis for bølgeberegninger har vi tatt utgangspunkt i en middelveirdi over fire timer basert på høyeste vindhastighet i 10 minutters middel målt i 10 meters høyde.

Tid (timer)	Retning	Vindhastighet (m/s)
7	157	15.9
8	160	16.1
9	161	14.7
10	160	15.6
Middel	160	15.7

Tabell 5. Vindretninger og hastigheter. Hekkingen fyr.



Figur 6. Vindhastighet som funksjon av vindretning.

4.2 Tidevannsstrøm ved Laukvikneset.

Tidevanssbølgen forplanter seg nordover langs kysten og medfører en periodisk fylling og tapping av fjordene innenfor. På åpent hav kan tidevanssbølgen beskrives som en progressiv Kelvinbølge der strømmen er i fase med bølgehøyden. Maksimal tidevannsstrøm på åpent hav opptrer derfor samtidig med høyvann og lavvann.

Når tidevannsbølgen sprer seg innover i fjordene endres formen til en stående bølge. Tidevannsstrøm forskyves nå 90° slik at det er maksimal tidevannsstrøm midt mellom høyvann og lavvann, det vil si ved halvflødd og halvfelt tidevann.

Fjordsystemet innenfor Laukvikneset består av flere fjordarmer og åpninger ut mot åpent hav. På sørsiden av Senja er det rimelig å forvente at tidevannsbølgen ved fløende sjø forplanter seg innover Solbergfjorden, forbi Finnsnes og inn i Gisundet. Samtidig sprer den seg inn Malangen (ved Laukvikneset) på nordsida av Senja. Hvor disse to bølgene møtes, er noe usikkert, men det trange Gisundet ved Gibostad kan være et naturlig sted.

Bølgen som forplanter seg inn Malangen sprer seg sørover til Indre Malangen (Nordfjord) og østover Straumsfjorden, forbi Ryøy som Rystraumen og ut i Balsfjorden. Strømmålinger ved Tromsø viser at strømmen her har retning sørover når det flør. Sørlig strøm i Tromsundet og østlig i Rystraumen tyder på at tidevannsbølgene møtes der Rystraumen munner ut i Balsfjorden.

Det antas altså at på fløende sjø fylles fjordsystemet bestående av Malangen, Stønnesbotn, Lysbotn, Gisundet (sør til Gibostad), Rossfjorden, Nordfjorden, Straumsfjorden og Rystraumen ut til Balsfjorden. Arealet av dette fjordområdet er beregnet med planimeter til ca 413 km².

I tidevannstabellen er Laukvik oppført som sekundærhavn til Tromsø. Høyvann og lavvann ved Laukvik inntreffer 35 min før høyvann og lavvann i Tromsø. Høydekorreksjonsfaktoren er ukjent for Laukvik, men den er beregnet til 0,81 ved Ansneset og 0,84 ved Aursfjordgård. Begge stedene ligger lenger inn i fjordsystemet. Vi har valgt å benytte 0,8 som høydekorreksjonsfaktor ved Laukvik.

Med disse korreksjonsfaktorene inntraff lavvann ved Laukvik kl 10:40 (lokal tid) den 19. september 2004, og det var høyvann kl 16:50. Høydeforskjellen var 170 cm. Til sammenligning er gjennomsnittlig tidevannsforskjell ved Laukvik 134 cm og ved spring er den 178 cm. Det var med andre ord noe høyt tidevann i Laukvik den aktuelle dagen, men ikke høyere enn at det 14-daglige spring/nipp tidevannet er høyere. For eksempel var tidevannsforskjellen tre dager tidligere (16. september) 207 cm. Alle disse høydene er det astronomiske tidevannet beregnet ut fra tidevannstabellen. Ved oppstuvning og lavtrykks- og høytrykkspassasjer kan de reelle verdiene avvike noe fra de astronomiske.

Når et areal på 413 km² skal fylles med 170 cm vann over en periode på 6 timer 10 min, skaper dette en volumstrøm inn ved Laukvik på $413 \text{ km}^2 \cdot 170 \text{ cm} \cdot 6 \text{ t } 10 \text{ min} = 3 \text{ } 170 \text{ m}^3/\text{s}$. Bredden av Malangen mellom Laukvikneset og Rødbergnese er 4,5 km og middeldypet er beregnet til ca 375 m. Det gir et tverrsnittsareal på 1,69 km². Den gjennomsnittlige tidevannsstrømmen ved Laukvik på fløende sjø 19. september 2004 blir med dette $3 \text{ } 170 \text{ m}^3/\text{s} / (1,69 \text{ km}^2) = 2 \text{ cm/s}$.

Tidevannsstrømmen ved Laukvikneset kan ikke sammenlignes med tidevannsstrømmer gjennom trange sund som for eksempel Rystraumen. Rystraumen passerer et sund som er 500 m bredt og med et terskeldyp på 55 m. Arealet er bare 1 – 1,5 % av tverrsnittsarealet mellom Laukvikneset og Rødbergnese.

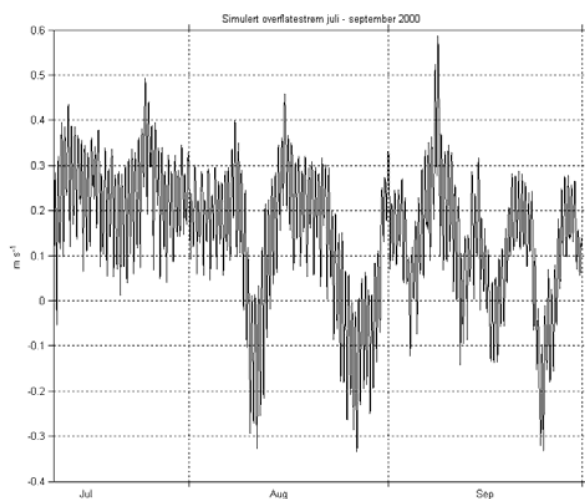
Tidevannsstrømmen er drevet av trykkforskjeller gjennom hele vannsøylen, og er derfor relativt konstant med dypet. Bunnfriksjonen reduserer riktignok strømhastigheten ved bunnen.

Beregningene ovenfor er basert på en del antagelser om hvor tidevannsbølgene møtes (noe som er bestemmende for fjordarealets utstrekning). Det er heller ikke tatt hensyn til vind- og lufttrykkseffekter. Inkluderes disse skjønnsmessig, står man likevel igjen med at den rene

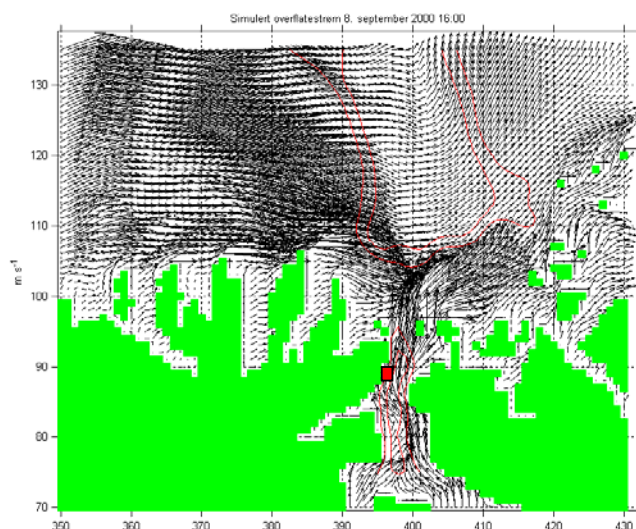
tidevannsstrømmen den aktuelle dagen neppe oversteg 10 cm/s i overflatelaget ved Laukvikneset. Tidevannsstrømmen alene kan med andre ord utelukkes som en utløsende faktor for havariet.

4.3 Andre strømeffekter hovedsakelig generert av vind.

I Figur 7 er eksempel på variasjon av strømhastighet numerisk simulert ved hjelp av en global vindrevet havmodell basert på Hindkast data. Data for havaritidspunktet er tilgjengelig men det er ikke ressurser til å foreta simuleringer. Derfor er denne tidsserien ment som et eksempel men viser at hastighetene (utgående strøm fra fjorden er positiv verdi) kan komme betydelig over tidevannsnivået, se diskusjon kapittel 4.2. Vindretningen er tilsvarende retningen på havari tidspunktet ca. 160 grader. Figur 8 viser hvordan strømfeltet ser ut i Malangen fjorden ved Laukvikneset (litt grov modell for nøyaktig topografi gjengivelse) og viser tydelig utgående strøm som ikke skifter retning. Den viktigste drivende kraften i modellen er syd-østlig vind, ikke andre fjerntliggende værsystem.



Figur 7. Tidsserie av numerisk simulerte strømhastigheter fra SINTEF datasimuleringer ved utløpet Malangen fjorden basert på globale vinddata.



Figur 8. Utgående strømfelt i numerisk modell av Malangen fjorden ved maksimumshastighet 0.59 m/s september 2000. Sørøstlig vindretning. Rød firkant angir posisjon til anlegget ■.

Strømverdiene simulert har en usikkerhet p.g.a lokal terreng topografi. En feilmargin på +/- 0.20 m/s kan forsvares. Slike fenomener kan derfor muligens forklare strømhastigheter opp til 0.8 m/s.

Det kan være trykkdrevet strøm skapt av utenforliggende trykkgradienter. Disse er av mer ukjent årsak. Det kan være sterke strømmer som har bygd seg opp i havområdet utenfor, det kan være et såkalt utbrudd i Kyststrømmen (men siden disse utbruddene genereres i Skagerrak ville strømmen ha forårsaket mye skader på veien nordover før den traff Ytre Senja), det kan være passasje av et polart lavtrykk. Disse er kortvarige, av liten utstrekning, men meget sterke. De bygges opp i Barentshavet, og svekkes normalt en god del på sin vandring sørover slik at de sjelden gjør stor skade på fastlandet. Men unntakstilfeller har blitt rapportert.

Oppdretter har fra sine egne strømdata (foringsautomat) registrert maksimum 0.65 m/s i mai 2004. SINTEF kan ikke dokumentere strømhastigheter over 1.0 m/s med tilgjengelig data. Oppdretter har derimot fra egne observasjoner basert på nedtrekk til anlegget og fra observasjoner av andre oppdrettsanlegg anslått strømhastigheter i størrelsesorden 1.0 -1.5 m/s i havaritidspunktet.

4.4 Estimering av bølgehøyder

Ved å bruke formlene i NS9415 ref /1/ under kapittel 5.4.2 side 13, og en antatt strøklengde fra vindretning 160 grader og varighet på 4 timer i henhold til Tabell 5 ble det estimert en midlere vindhastighet på 15.6 m/s. Effektiv strøklengde ble estimert til ca. 6 km i den retningen vinden virket. Lokal topografi kan forandre denne retningen siden den var målt ved Hekkingen fyr men observasjoner anslo lave bølger etter havariet. Derfor antas mer sydøstlig fralandsvind i stede for en konservativ antagelse om at vinden følger hele fjordstrøket fra øst-sørøst.

Fra formelen ble H_s beregnet til 0.83 m. Ved å bruke en ekstremverdi faktor på 1.9 som angitt i NS9415 får vi en H_{max} på 1.57 m mens T_p ble beregnet til 3.1 sek som gir en antatt regulær

ekstrembølgeperiode på 3.1 sek. Merk at ekstrembølgeantagelsen innebærer at det er en statistisk sannsynlighet for at det i 3 timers perioden har oppstått en ekstrembølge med denne bølgehøyden.

4.5 Lokalitetsklassifisering

Fra strømmåledata på foringsautomaten hvor det ble målt en maks hastighet på 0.65 m/s er det estimert en 10 års strømhastighet på 1.0 m/s, dvs Strømklasse c. Vesta har beregnet teoretisk maksimale bølgeverdier til $H_s=3.0$ m, $T_p=5.7$ sec. Disse beregningene er dokumentert av oppdretter. Bølgehøydeberegningene følger dokumentasjonskravene i NS 9415. Ut i fra dette har lokaliteten fått Bølgeklasse D.

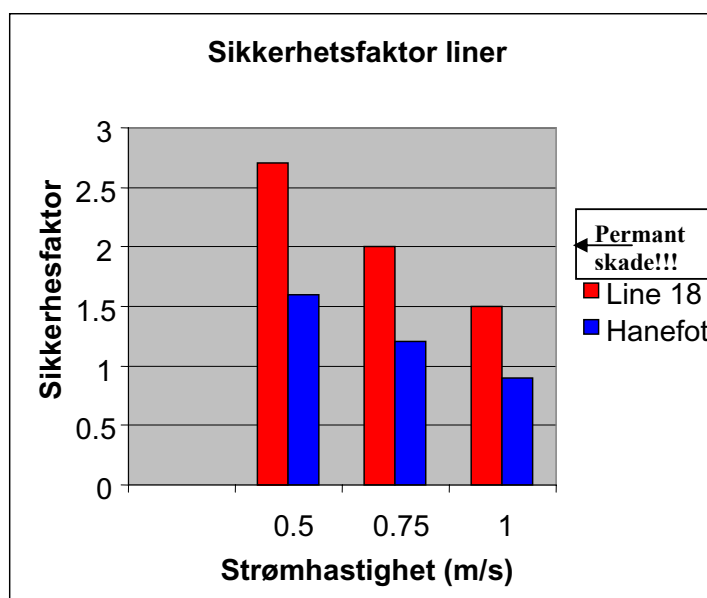
5 Analyser av anlegget

Alle analyser har blitt utført med en kombinasjon av bølger og strøm. Det ble gjort beregninger i et 90 graders sveip med strømretning fra langsmed anlegget til på tvers av anlegget. En følsomhetsanalyse av strømretninger konkluderte med at de største belastningen fås ved strømretningen 315 grader, dvs. strømmen kommer fra SØ (sør-øst). Dette er også den antatt mest konservative strømretningen, dvs. den retningen som gir mest belastning på kritiske ankerlinjer. Dette følger også de antatte observasjonene oppdretter gjorde på havaristedet.

Det er antatt følgende bølgetilstander i alle kjøringene, $H_{\max}=1.57$ m, $T_{\text{reg}}=3.1$ sec, $\alpha_{\text{wave}}=160.0$ grader (25 grader lengre sør enn for strømretningen).

Fire analyser er vedlagt med vårt statiske FEM (Finite Element Modell) analyseprogram Conmotion. Dette programmet brukes av flere akkrediterte sertifiseringsmiljø m.h.p. analyser av forankrede platanlegg. Analysene er sortert under Vedlegg A ($V_c=0.5$ m/s), Vedlegg B ($V_c=0.75$ m/s), Vedlegg C ($V_c=1.0$ m/s), Vedlegg D (linebrudd line 18, $V_c=0.5$ m/s). Alle kjøringene er med strømretning 315 grader, sør-øst (45 grader inn på anlegget fra fjordsiden, utgående strøm).

I Figur 9 har vi plottet sikkerhetsfaktor som funksjon av strømhastighet for den mest belastede ankerlinjen, nr 18 (32 mm), Figur 5, som vender rett mot strømmen og den mest belastede hanefot linen (22 mm) som går i forlengelsen av line 18 innenfor rammen. Totalt skal sikkerhetsfaktoren ligge over 4.8, dvs en materialefaktor på 3.0 (statisk analyse, ubemannet) multiplisert med en lastfaktor på 1.6 (se diskusjon i kapittel 6).



Figur 9. Sikkerhetsfaktor mest belastede ankerlinjer. Sikkerhetsfaktor 4.8. Ikke tilfredsstillende sikkerhet ved noen av strømhastighetene.

Ved 0.75 m/s beregnes en sikkerhetsfaktor på 2.0 på forankringslinjene og bare 1.2 for hanefot (merk antagelsen om enkeltline). Alle regelverk som tar utgangspunkt i syntetiske liner forlanger at maksimum strekk aldri skal overskride 40-60% av bruddstyrken. Dette viser at det kan

påregnes meget kort levetid og at ankerliner får permanent skade. Analysene viser derimot at anlegget er orientert spesielt ugunstig m.h.p strømrerningen. Men det er flere liner enn line 18 som har alt for lav sikkerhetsfaktor. Mange av tverrlinene har alt for lav sikkerhetsfaktor. Dette understøttes også ved at det ble observert at flere av tverrlinene var brutt sammen.

Det ble lagt inn en analyse av anlegget når line nr. 18 var antatt brutt. Kravet i NS9415 er at det minst skal være en sikkerhetsfaktor på 2.78 (materialefaktor 2.0*lastfaktor 1.39 i ulykkesgrensetilstand) i gjenværende liner for å ha tilstrekkelig sikkerhet mot progressivt sammenbrudd av anlegget. Fra analysen med en strømhastighet helt ned i 0.5 m/s finner vi at sikkerhetsfaktor på enkelte hanefotliner er på bare 1.6 men forankringsline 13 og 18 er henholdsvis 2.4 og 2.5. Det er derfor forventet at vi får et progresivt sammenbrudd hvis en line bryter ved større strømhastigheter.

6 Diskusjon av sikkerhetsfaktorer

Tauverk i sjø er utsatt for betydelig uforutsett slitasje. Aldringsegenskapene varierer meget ut fra miljøet. Spesielt vil begroing, rur og skjell forårsake betydelig slitasje. Det er stor forskjell på tauverk. De mest dominerende materialene er PA(nylon), PP, (polypropylene), PE (polytethylene) og PES (polyester). En grundig gjennomgang av taumaterialer er gitt i rapporten "Materialer og egenskaper for notlin og tau" /3/. Her indikeres et bruksområde for disse standardtau på 20-25% av bruddstyrken, dvs en materialfaktor på 4- 5.

Ved høye belastninger oppstår det permanente skader på tauverk før tauet går i brudd. Allerede ved ca 50-75% av bruddlastene vil tauet kunne få permanente skader. Ved vel 50% bruddbelastning vil tauet "sette" seg betraktelig. Fibrene nærmest klistrer seg sammen. Ved ca 75% belastning vil enkelte fibere ryke. Av den grunn opererer man med relativt høye sikkerhetsfaktorer, materialfaktorer, på normalt tauverk.

I DNV's tentative regler av 1988 opererer man med en materialfaktor på 3.5 i bruddgrensetilstand og 3.2 i ulykkestilstand. Ekstreme miljølaster skal i bruddgrensetilstand multipliseres med 1.3. Dette gir en total sikkerhetsfaktor på 4.55. Ellers operere forskjellige leverandører med forskjellige sikkerhetsfaktorer. Normalt ligger disse i størrelsesorden 5 til 12.

I NS9415 opererer man med følgende materialfaktorer for ankerliner:

- Utprøvd og dokumentert syntetisk tau : 1.5 ¹⁾
- Syntetisk tau : 3.0
- Syntetisk tau med knute : 5.0

¹⁾ Utprøvd med hensyn til virkning av aldring, vannabsorpsjon, slitasje, terminske virkninger og sig.

Som over nevnt sier man at for såkalte "utprøvd og dokumentert syntetisk tau" kan materialfaktoren settes til 1.5. Dette veldig lite restriktive kravet harmonerer ikke med all opparbeidet erfaring siden alle tau i dag er utprøvd med hensyn til virkning av aldring, vannabsorbosjon, slitasje, termiske virkninger, fotooksidasjon og sig. Problemet er at ingen av testene tar høyde for dynamiske belastninger som er høyere enn 33% (sikkerhetsfaktor 3.0) av bruddstyrken. En tar heller ikke høyde for utmattingseffekter som like godt kan oppstå p.g.a for

lav forspenning (slakkehendelser). Vi opererer i et kompleks dynamisk miljø med gjentatte bølgebelastninger. Det er derfor et mildt krav at maksimumstrekk ikke skal overskride 33% av bruddstyrken. Som sagt før opererer alle regelverk med et minimumskrav på et maksimalt strekk på 40-60% av bruddstyrken. Dette er før man tar hensyn til mekaniske levetidseffekter som også forringer egenskapene til fibertauet.

NS 9415 opererer med en lastfaktor for ubemannede anlegg gitt statistisk analyse på 1.6. Denne faktoren tar høyde for at man ikke tar hensyn til dynamikk i både anlegg og dynamisk variasjon av linestrekk, forsterkningseffekter, slakkeeffekter etc. En skal derimot merke seg at denne faktoren ikke er dokumentert på plasthanlegg. Den vil også sannsynligvis være en funksjon av eksponeringsgrad og da spesielt for bølger. Det er bare gjennom sammenligning av statistisk og dynamisk analyse eventuelt med fullskala eller modellforsøk at man kan kvantifisere gyldigheten til denne faktoren.

7 Årsak til havari

Fra samtaler og vedlagt informasjon fra oppdretter og forsikringsselskap er det ikke dokumentert at anlegget har fått skade eller annen vesentlig forringing av bruddstyrke i tauverk.

Det er konkludert at forankringen til anlegget er underdimensjonert selv om det stort sett følger gjeldende standard for tilsvarende anlegg i Troms. Anlegget med de gitte dimensjonene ble klassifisert i henhold til NS 9415 og funnet til å bare tilfredsstille den laveste strømkategorien. Dette sannsynliggjør at forankringen til anlegget har for lav dimensjonerende sikkerhet. En eventuell høy strøm er bare en av flere mulig hendelser som kan føre til at forankringen til anlegget bryter sammen. Om strømhastigheten er 0.5, 0.8, 1.0 eller 1.5 (m/s) er ikke av vesentlig betydning siden man allerede ved den laveste strømhastigheten har for lav dimensjonerende sikkerhet i henhold til NS 9415 kravet om en sikkerhetsfaktor på minst 4.8 i alle fortøyningslinjer.

8 Anbefalt dimensjonering av fortøyning

Vi tar utgangspunkt i en simulering av strekk i anlegget i strømsituasjonen $V_c=1.0$ m/s og strømretning sør-øst, fra 160 grader, se oppstilling under.

Beregnete maksimale strekk-krefter er:

Hanefot elem. 140 *	:	8941	kg
32 mm sidetau	:	11974	kg
40 mm hovedstrekk	:	16107	kg

* Denne hanefotlina er i forlengelsen av line 18, se Figur 5.

Ved å ta hensyn til en sikkerhetsfaktor på 4.8 må tau med følgende bruddstyrker velges:

Hanefot elem. 140	:	42920	kg (56 mm Danline tau)
32 mm sidetau	:	57474	kg (72 mm Danline tau)
40 mm hovedstrekk	:	75843	kg (80 mm Danline tau)

Analysene indikerer en økning av linediameter på standard blandingstau av polypropylen og polyetylen fra 22 mm, 32 med mer og 40 med mer til indikativ minst dobbelte linediameter. Maksimalt tilgjengelig diameter 72-80 mm er påkrevd for å tilfredsstille sikkerhetsfaktoren. Alternativt brukes mer høyverdige materialer med høyere egenvekt og effektiv bruddstyrke. Usikkerheten ligger i om plastringene har tilstrekkelig momentkapasitet til å tåle kreftene fra oppdimensjonert tauverk.

9 Referanser

- /1/ Norsk Standard. NS 9415. *Flytende oppdrettsanlegg. Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift.* ICS 65.150; 67.260. 1. utgave August 2003. Oslo. 2003.
- /2/ *Det Norske Veritas Standard for Flytende Oppdrettsanlegg.* Høringsutkast. Rev. C -14. desember 1987. R Ø321/87-Q4. Oslo. 1987.
- /3/ *Materialer og egenskaper for notlin og tau.* MARINTEK rapport nr. MT40 F93-0021 OR401026.00.02.93. Trondheim. 1993.