



SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Internasjonale prosjekter og
rådgivning

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF Sealab
Brattørkaia 17B

Telefon: 4000 5350
Telefaks: 932 70 701

E-post: fish@sintef.no
Internet: www.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

**Gjennomgang av tekniske krav til oppdrettsanlegg
- basert på rømmingstilfeller i januar 2006**

FORFATTER(E)

Østen Jensen

OPPDRAGSGIVER(E)

FHL havbruk

RAPPORTNR. SFH80 A066056	GRADERING Åpen	OPPDRAGSGIVERS REF. Aina Valland, FHL havbruk	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-03953-8	PROSJEKTNR. 862017	ANTALL SIDER OG BILAG 20
ELEKTRONISK ARKIVKODE	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Ulf Winther <i>Ulf Winther</i>	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Arne Fredheim	
ARKIVKODE	DATO 3. juli 2006	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Marit Aursand, forskningssjef <i>Marit Aursand</i>	

SAMMENDRAG

SINTEF Fiskeri og havbruk AS har med bidrag fra Barlindhaug Norfico AS undersøkt åtte rømmingstilfeller i januar 2006 og gjort en vurdering av årsaken til rømmingene. Undersøkelsen er initiert av FHL havbruk v/ Rømmingsutvalget og er finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond.

I forbindelse med undersøkelsen ble det oppdaget flere tilfeller av progressivt brudd i forankring og innfesting av not som førte til rømming. NS 9415 krever i dag at man skal dimensjonere mot brudd i den mest belastede linen. Dette bør endres til å gjelde brudd i den mest kritiske linen. Det bør også stilles strengere krav til antall festepunkt for innfesting av not og at det dimensjoneres mot progressivt brudd og fare for "totalhavari" av nota.

Det ble også identifisert brudd i og kollaps av flytekrage. Disse var mest sannsynlig en sekundær skade for plastranleggene. Vår anbefaling er at sirkulære rør brukt som flytere bør sjekkes også mot lokal knekking hvis det er en fare for at man kan få lokal knekking av tverrsnitt før man får flyt i materialet.

Det er sannsynlig at antall og omfang av rømmingene kunne vært redusert hvis de beste kjente løsningene hadde vært benyttet. Det er derfor viktig med kontinuerlig fokus på korrekt drift og det bør etableres system for etablering og formidling av "best practice". Driftsrutiner med fokus på å hindre rømming bør også inngå i brukerhåndbøkene.

Som en del av prosjektet ble det i begynnelsen av mai 2006 arrangert en workshop med deltakelse fra oppdrettere, leverandørindustrien, forvaltningen, forsikring, tekniske fagmiljøer og forskningsmiljøer. Innspill fra workshopen er referert i rapporten og tatt hensyn til i oppsummeringen av tiltak for å redusere rømming.

Basert på resultatene fra undersøkelsene settes det nå i gang et forskningsprosjekt med målsetting å finne fram til korrekte metoder for å ta hensyn til og dimensjonere mot is, samt finne fram til metoder som kan gi gode indikatorer for ti- og femtiårs returperioder for strøm basert på målinger over kortere perioder (1-3 mnd).

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbruksteknologi	
GRUPPE 2		
EGENVALGTE	Rømming	

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn	3
2	Oppsummering	3
3	Krefter på anlegg	4
4	Årsakssammenheng ved rømmingene	5
4.1	Oppsummering av medvirkende årsak til rømmingene	5
4.2	Vurdering av faktorer som har bidratt til rømming.....	6
4.2.1	Driftsfeil	6
4.2.2	Drivgods.....	7
4.2.3	Feil i antatte miljølaste.....	7
4.2.4	Progressive brudd i fortøyning.....	10
4.2.5	Progressive brudd i innfesting mellom not og flyter.....	10
4.2.6	Sammenbrudd av flyter	11
5	Svakheter i dagens anlegg	13
6	Innspill fra workshop om rømmingssikring	13
7	Kort sammenstilling av allerede gjennomførte prosjekter innen rømming	15
7.1	Forankring	15
7.2	Flyter	15
7.3	Not, drift og operasjon	15
8	Innspill til revisjon av NS 9415, utvikling av ny teknologi og drift	16
8.1	Erfaringer fra rømmingsundersøkelsen i forbindelse med hendelsene i januar 2006	16
8.2	Utdrag av erfaringer fra annet arbeid	17
9	Referanser	20

1 Bakgrunn

I forbindelse med to uværperioder januar 2006 var det rømming fra flere oppdrettsanlegg. For flere av disse rømmingene ble det antatt at årsaken var teknisk svikt. SINTEF Fiskeri og havbruk AS har med bidrag fra Barlindhaug Norfico AS undersøkt åtte av rømmingstilfellene og gjort en vurdering av årsaken til rømmingene. Basert på den innsamlete informasjon og tidligere FoU-prosjekter innen rømming blir det gitt en del anbefalinger og forslag til endringer i tekniske krav til oppdrettsanlegg.

2 Oppsummering

SINTEF Fiskeri og havbruk AS har med bidrag fra Barlindhaug Norfico AS undersøkt åtte rømmingstilfeller og gjort en vurdering av årsaken til rømmingene. Rømmingene skjedde i to uværperioder: Første halvdel av januar 2006 med sterk vind fra sørvest og andre halvdel av januar 2006 (stormen Narve) med langvarig sterk vind fra sørøst kombinert med lave temperaturer.

Rømmingene skyldes i de fleste tilfellene en kombinasjon av ulike forhold og fordelte seg som følger:

- Driftsfeil (5 anlegg)
- Drivgoods (1 anlegg)
- Feil i antatte miljølaste (6 anlegg)
- Progressive brudd i fortøyning (1 anlegg)
- Progressive brudd i innfesting mellom not og flyter (3 anlegg)
- Sammenbrudd av flyter (4 anlegg)

I forbindelse med undersøkelsen ble det oppdaget flere tilfeller av progressivt brudd i forankring og innfesting av not som førte til rømming. NS 9415 krever i dag at man skal dimensjonere mot brudd i den mest belastede linen. Dette bør endres til å gjelde brudd i den mest kritiske linen. Det bør også stilles strengere krav til antall festepunkt for innfesting av not og at det dimensjoneres mot progressivt brudd og fare for "totalhavari" av nota .

Det ble også identifisert brudd i og kollaps av flytekrage. Disse var mest sannsynlig en sekundær skade for plastringene. Det er allikevel viktig at man bruker de verdiene som er oppgitt i NS 9415 ved dimensjonering av plastringer. Det anbefales at sirkulære rør brukt som flytere bør sjekkes også mot lokal knekking hvis det er en fare for at man kan få lokal knekking av tverrsnitt før man får flyt i materialet.

Det er sannsynlig at antall og omfang av rømmingene kunne vært redusert hvis de beste kjente løsningene hadde vært benyttet. Det er derfor viktig med kontinuerlig fokus på korrekt drift og det bør etableres system for etablering og formidling av "best practice". Utstyr bør dimensjoneres, designes og konstrueres med tanke på å redusere muligheten for skade eller rømming ved å redusere muligheten for feil bruk og progressiv skade. Etablering av slike krav og retningslinjer

vil kreve forskning og utvikling og en kombinasjon av kunnskap fra oppdrettere, utstyrsleverandører, tekniske fagmiljø og forskningsmiljø.

Som en del av prosjektet ble det i begynnelsen av mai 2006 arrangert en workshop med deltakelse fra oppdrettere, leverandørindustrien, forvaltningen, forsikring, tekniske fagmiljøer og forskningsmiljøer. Innspill fra workshopen er referert i rapporten og tatt hensyn til i oppsummeringen av tiltak for å redusere rømming.

Basert på resultatene fra undersøkelsene settes det nå i gang et forskningsprosjekt med målsetting å finne fram til korrekte metoder for å ta hensyn til og dimensjonere mot is, samt finne fram til metoder som kan gi gode indikatorer for ti- og femtiårs returperioder for strøm basert på målinger over kortere perioder (1-3 mnd).

3 Krefter på anlegg

Det ble ikke gjort målinger av miljølastene og lufttemperatur ved noen av lokalitetene. Vurdering av krefter på anlegg er derfor funnet ved å estimere bølge- og strømkrefter basert på vindmålinger fra nærliggende målestasjoner. Ising av anlegg ble vurdert med bakgrunn i observerte temperaturer og vindhastighet. Alle vind- og temperaturdata ble hentet fra hjemmesidene til Meteorologisk institutt (<http://met.no>).

Vindhastigheten ved de forskjellige lokalitetene har blitt vurdert opp mot dimensjonerende vindhastighet med en returperiode på 50 år basert på NS 3491-4 Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 4: Vindlaster. Sammenligning av vinddata fra Meteorologisk institutt og dimensjonerende vindhastighet fra NS 3491-4 viser at i den første perioden med vind fra sørvest var vinden lavere enn det som er dimensjonerende. I den andre perioden var hastigheten relativt sett noe høyere, men allikevel ikke høyere enn vindhastighet med returperiode på 50 år. For lokaliteter hvor vindgenererte bølger dominerer bølgebildet, vil følgelig ikke bølgene ha vært større enn det man kan forvente i løpet av en 50-årsperiode.

Det er usikkert hvorvidt kombinasjonen av temperatur og vind var verre enn det man må forvente i løpet av 50 år. Meteorologisk institutt ble forespurt og ga følgende svar:

Kun vind:

”Stormen Narve i januar 2006 var ekstrem på grunn av sitt store omfang og sin lange varighet. Men ingen av våre værstasjoner fikk ekstremverdier på mer enn 3 år. Stormen kom ved landvind som slo ned fra fjellene og rammet mange bebygde områder. Med stort omfang, lang varighet og variasjoner i vindretning og luftmassens struktur under stormen var det likevel stor sjanse for at det ble observert sterk vind på steder som sjelden opplever det. Det vil si at det stedvis kan ha vært vind med en del lengre returperioder enn 3 år.”

Vind og temperatur:

”Det ble registrert en del lave temperaturer under Narve og trolig kan ising ved sjøsprøyt ha gjort lokal skade i en del fjorder. Jeg tror ikke det finnes beregninger av hvor ofte slike kombinasjoner kan forekomme. Jeg har liten lyst til å gå inn på slike beregninger, da kombinerte sannsynligheter hvor det er varierende grad av avhengighet i parametrene, ikke er så lett å hankses med uten en større forskningsinnsats. Men vi kan kanskje plukke ut noen stasjoner med lange rekker, og så liste opp slike tilfeller.”

Meteorologisk institutt sendte en oversikt over værforhold (vindhastighet og temperatur) ved målestasjonene i Bodø, Tromsø og Banak. Tilfeller hvor vindhastigheten hadde vært høy, samtidig som temperaturen var lav, var listet opp. Siden 1957 var det 8 tilfeller i Bodø hvor middelvind var høyere enn 18 m/s og temperatur samtidig lavere enn -5 grader, i Tromsø var det tre tilfeller hvor vindhastigheten var høyere enn 12,5 m/s og temperatur samtidig lavere enn -8 grader og i Banak var det 13 tilfeller hvor vindhastighet var høyere enn 13 m/s og temperatur samtidig lavere enn -15 grader. Dette viser at kombinasjonen av sterk vind og lave temperaturer ikke er spesielt vanlig, men indikerer at allikevel at dette er en kombinasjon man bør dimensjonere mot.

I forbindelse med vind, bølger og strøm bruker man vanligvis en returperiode på 50 år. I dette tilfellet har returperioden for kombinasjonen av lav temperatur og kraftig vind vært lavere enn dette. Spørsmålet er hvor lav temperatur og hvor kraftig vind må til for at ising skal bli et problem.

Kompetente organ som gjør strømmålinger ble kontaktet for å få tak i strømmålinger gjort i den aktuelle perioden. Det eksisterer ikke strømdata fra lokalitetene som hadde rømming. Strømdata fra andre lokaliteter ble hentet inn og brukt for å vurdere om kraftig vind kan ha ført til kraftig overflategenerert strøm. Resultatene er ikke entydige, men målingene indikerer at strømmen kan øke når vinden øker. Ikke uventet er strømmen stort sett sterkest i de øvre vannlag. For enkelte målinger ble det opplyst, for andre indikerer strømhastigheten, at lokaliteten lå relativt godt skjermet. Det de fleste målingene viser er en svak generell økning i strømhastighet i perioden når stormen raste.

Vi forsøkte å få tak i strømmålinger fra lokaliteter som lå mer utsatt til for å se hvorvidt disse ville vist en større økning i strømhastighet. Man vet fra målinger gjort i åpent hav at ved kraftig vind vil vindgenerert overflatestrøm kunne ha en hastighet på rundt 2 % av vindhastigheten. I skjermede områder med begrenset strøklengde vil en betydelig høyere strømhastighet kunne bli generert, en overflatestrøm på mer enn 5 % av vindhastighet er blitt observert [Aarsnes et al. 1988]. I og med at det ikke finnes noen oversikt over hvilke maksimale strømhastigheter man kan forvente i løpet av 50 år er det vanskelig å si hvorvidt strømhastigheten var større enn hva man må forvente. I og med at vindhastigheten var lavere enn dimensjonerende vindhastighet med 50 års returperiode kan man generelt anta at ved lokaliteter hvor vindgenerert overflatestrøm er dominerende har strømhastigheten vært lavere enn det man må forvente i løpet av 50 år.

4 Årsakssammenheng ved rømmingene

4.1 Oppsummering av medvirkende årsak til rømmingene

En oppsummering av rømmingstilfellene er presentert i Tabell 1 nedenfor. Faktorer som antas å være den utløsende eller medvirkende årsak til rømming eller omfanget av rømming er merket med X. Faktorer som ikke nødvendigvis har vært medvirkende til rømming, men f.eks. er dårlig eller mangelfullt vurdert i lokalitetsklassifisering er merket med O.

Tabell 1 Årsaker og konsekvenser.

Anlegg	Anleggstype Plastringer (P)/Stål (S)	Fortøyning Ramme (R)/ Stige (S)	Driftsfeil	Drivgods	Ising	Havdønninger	Strøm	Bølger	Progressive brudd i fortøyning	Progressive brudd i innfesting not og flyter	Sammenbrudd flyter
#1	S		X		X		O	X			X
#2	S		X		X		O	X			X
#3	P	S		X		O					
#4	P	S				X				X	X ¹
#5	P	R	X		X	O	X	X		X	
#6	P	S	X		X					X	
#7	P	S				X			X		X ¹
#8	P	R	X			O	O	O			

¹Sammenbrudd i flyter er mest sannsynlig en sekundær skade.

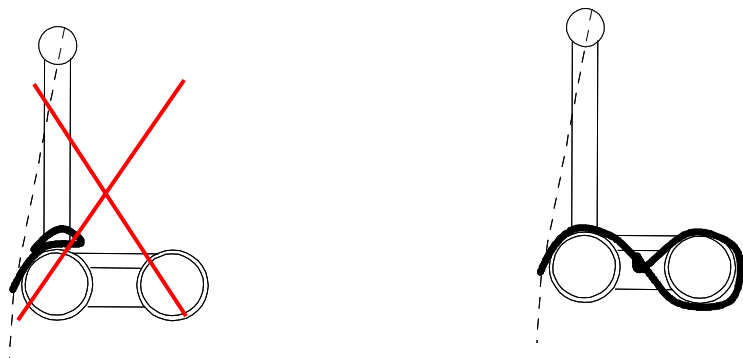
4.2 Vurdering av faktorer som har bidratt til rømming

4.2.1 Driftsfeil

Flere forhold er notert her; lodd festet for høyt i forhold til not slik at gnag på not oppsto, feil innfesting av not, feil plassering av fôrautomat og mangelfull stivhetskontroll på fortøyningssystem.

Lodd som henges for høyt i forhold til dybde på not kan skape kontaktskade mellom not og lodd når not presses inn mot lodd som følge av strøm. Dette er en problemstilling som ikke omtales i NS 9415. Den sier kun at man skal unngå gnag på not ved opphaling av dødfiskhov.

Ved flere tilfeller har nota vært festet til flyter på en måte som øker sannsynligheten for at nota kan miste festet til flyter, for eksempel dersom rekkverkstøtter blir skadet (se figur 1). I enkelte tilfeller er ikke alle innfestingspunktene i nota benyttet til å feste den til flyter, blant annet fordi det har vært praktisk vanskelig å finne et godt feste på ringen siden fotrister har vært i veien.



Figur 1 Ulike måte for innfesting av not til flyter

Selv om feilplasserte fôrautomater ikke direkte førte til rømming i tilfellene vi har sett på, førte feil plassering til at det ble gnaget hull i hoppenett. Fôrautomater og fôringsanlegg bør plasseres slik at de ikke kan medføre fare for gnag på not, eller i verste fall lager hull i den, dersom automaten synker inne i nota.

Vi har ikke hatt anledning til å gjennomføre en detaljert vurdering av stivhetskarakteristikken av noen av fortøyningene på stålanlegg som fikk skade, men sprekkvekst på grunn av skjevbelastninger og innføring av store krefter og momenter fra fortøyning er et velkjent problem for stålanlegg. På bakgrunn av innsamlet informasjon er det likevel grunn til å anta at mangelfull stivhetskontroll av fortøyninger på stålanlegg kan ha vært medvirkende årsak til skadene som har oppstått.

Det er sannsynlig at antall og omfang av rømmingene kunne vært redusert hvis de beste kjente løsningene hadde vært benyttet. Det er derfor viktig med kontinuerlig fokus på korrekt drift og det bør etableres system for etablering og formidling av ”best practice”. Driftsrutiner med fokus på å hindre rømming bør også inngå i brukerhåndbøkene.

4.2.2 Drivgods

En av rømmingene skyldtes totalhavari av ei not på grunn av drivgods, en nærliggende brygge ble revet løs og drev inn i anlegget. Anlegget klarte seg styrkemessig til tross for at miljøkreftene på anlegget antageligvis har vært store. Sjøbuer som har stått i nærområdet i årevis ble tatt av sjøen. At belastningene har vært store bekreftes av at halvparten av fisken i resterende merder var døde. Dette skyldes antageligvis klemskader pga sterk strøm, sjødrag og bølger.

NS 9415 omtaler i dag drivgods kun i forbindelse med bøyer. Den typen drivgods som var årsak til skaden i dette tilfellet er det vanskelig å gardere seg mot og kanskje enda vanskeligere å dimensjonere mot. Spesielt i forbindelse med uvær kan det være umulig å gjøre noe med selv om man oppdager at det er fare for at drivgods kan treffe anlegget.

4.2.3 Feil i antatte miljølaster

4.2.3.1 Ising

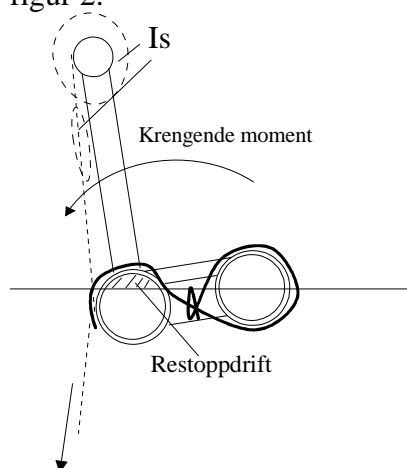
Verdiene som står i NS 9415 er de samme som gis i ”Den Norske Skipskontrollens regler av 1998, paragraf 12 Stabilitet”. De oppgitte verdiene (30 kg/m² for horisontale og 7,5 kg/m² for vertikale flater) synes å være for lave sammenlignet med det som har blitt observert, se Figur 2.



Figur 2 Is på rekkverk, bilde hentet fra <http://www.flextech.no>.

En verdi på 7,5 kg/m² (horisontale flater) tilsvarer kun ca 0,75 cm med is. Som bildet viser kan man få vesentlig mye større ismengder. Det ble og observert at stålanlegg med mye restoppdrift var i ferd med å synke på grunn av ismengdene.

Is ble tidligere ansett for ikke å være et vesentlig problem for plastringer. I forbindelse med Narve ble det observert så store mengder is på plastringene at de var i ferd med å gå under. Hvis indre ring går ned kan man få problemer med knekking og brudd av klammer, rekke og rekkestøtter, se figur 2.



Figur 3 Islast på plastringer.

Ved flere tilfeller ble det observert at rekkestøtter og rekke var knekt og hoppenett falt ned. Dette kan igjen føre økte belastninger på not og føre til nota blir revet løs fra flyter. Når rekke og rekkestøtte faller inn i nota kan det føre til at skarpe detaljer kan rive hull.

Ved å gjøre noen forenklinger og antagelser på vekter kan man beregne største tillatte islast for forskjellige rørdimensjoner, se Tabell 2.

Tabell 2 Tillatt islast for forskjellige rørdimensjoner.

Rørdimensjon	Oppdriftskapasitet	Estimert tillatt islast*
250 PN4	43 kg/m	20 kg/m
315 PN6	63 kg/m	30 kg/m
400 PN6	101 kg/m	60 kg/m

*Notvekt 10-40 kg/m avhengig av størrelse på merd

Vanligvis benyttes økende rørdimensjon for økende omkrets på flyteringen. Som tabellen viser vil store ringer være bedre egnet til å motstå islaster.

Det settes nå i gang et forskningsprosjekt med målsetting å finne fram til korrekte metoder for å ta hensyn til og dimensjonere mot is.

4.2.3.2 Havdønninger/sjødrag

Havdønninger eller sjødrag omtales i NS 9415, men hvordan dette skal tas hensyn til ser ut til å være mangelfullt beskrevet. På lokaliteter hvor havdønninger vil kunne være et betydelig problem, var temaet enten utelatt helt i lokalitetsrapporten eller svært mangelfullt beskrevet uten noen vurdering av hvilken størrelse man kan forvente seg at havdønning vil kunne ha.

Store havdønninger bringer store mengder vann inn og ut av fjordsystemer og mellom holmer og skaper sterk strøm og sjødrag. Dette vil kunne gi meget sterke krefter på lokaliteter som ligger utsatt for havdønninger. Havdønninger har også lange bølgeperioder som for enkelte type konstruksjoner vil kunne gi kritiske lasttilfeller.

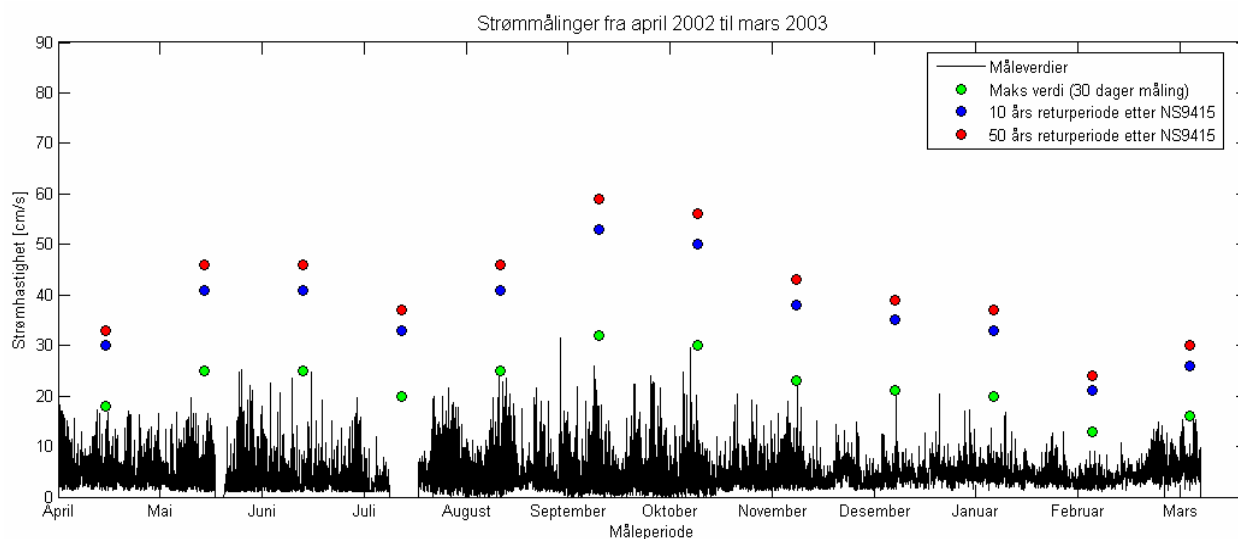
Havdønninger var en medvirkende årsak til tre rømminger, i tillegg var det utilstrekkelig vurdert ved to andre anlegg hvor det ikke hadde noen direkte innflytelse på rømmingen. Havdønninger kan gi store bidrag til kreftene i forankringssystemet i tillegg til krefter på flyter/not. Både ved dimensjonering av fortøyning og ved vurdering av not innfesting til flyter vil det være viktig å vurdere eventuelle bidrag fra havdønninger.

I følge NS 9415 skal det gjøres en vurdering om havdønninger er aktuelt for lokaliteten. Det finnes imidlertid ikke forenklede metoder for å beregne havdønninger. Ved beregning av havdønninger vil lokale forhold være svært viktig på grunn av refleksjon og avbøyning. Hvis havdønninger anses som viktig bør det gjøres en diffraksjon/refraksjonsanalyse for å beregne aktuell bølgehøyde og periode. Dette må gjøres av selskaper med spesiell kompetanse på området.

4.2.3.3 Strømhastighet

For lav dimensjonerende strømhastighet er etter vår vurdering medvirkende årsak til minst en rømming. Ved tre andre anlegg var dimensjonerende strømhastighet for lav uten at det nødvendigvis hadde innflytelse på rømmingen.

Årsaken til for lav dimensjonerende strømhastighet er todelt. I noen tilfeller ble det brukt resultater fra 14 dagers målinger, selv om standarden (NS 9415) krever fire ukers måling. Dette er i disse tilfellene godkjent av de akkrediterte selskapene. Selv om man måler i fire uker og bruker metodikk skissert i standard, kan man ende opp med dimensjonerende strømhastigheter som vil være ikke-konservative, se Figur 4.



Figur 4 Variasjon i strømhastighet over et år.

Hvis man for eksempel baserer lokalitetsklassifiseringen på målinger gjort i februar, vil dimensjonerende strøm med henholdsvis 10 års og 50 års returperiode overskrides i henholdsvis 6 og 5 måneder i løpet av den perioden som det ble målt. Det settes nå i gang et forskningsprosjekt med målsetting å finne fram til metoder for måling av strøm over kortere perioder (1-3 måneder) basert på måletidspunktet i løpet av et kalenderår, som kan gi gode indikatorer for ti- og femtiårs returperioder.

Flere av oppdretterne oppga at de mente at dimensjonerende strømhastighet fra lokalitetsklassing var altfor lav. Spesielt med tanke på at krefter fra strøm er en av de viktigste bidragsyterne til det totale belastningsbildet ved flere tilfeller, burde dette vært fanget opp av de kompetente organene som utfører klassifiseringen.

4.2.4 Progressive brudd i fortøyning

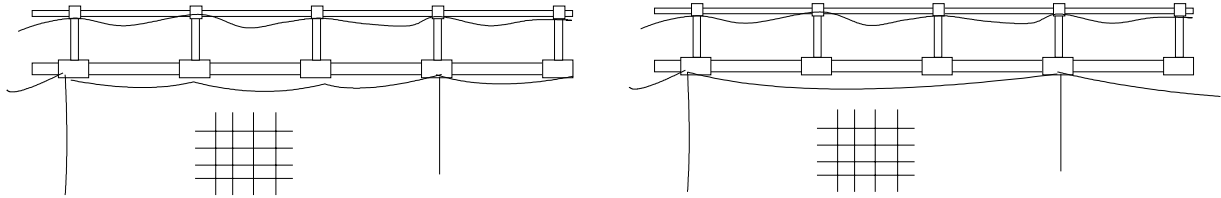
Kun ved ett av anleggene som er gjennomgått var det progressivt brudd i fortøyningslinjer. Ved andre store havarier har dette vært en viktig faktor. Denne type havari skyldes ofte at et bunnfeste løsner og man får store belastninger på ei line som deretter ryker. Andre årsaker kan være at man har linjer med forskjellig forspenning og stivhetskarakteristikk. Det vil da være den stiveste lina som får det meste av lasten. Hvis først ei line ryker, og da spesielt i hovedstrekket, øker risikoen for at flere av linene i hovedstrekket ryker og at omfanget av skaden øker.

NS 9415 krever i dag at man skal dimensjonere mot brudd i den meste belastede linen. Dette bør endres til å gjelde brudd i den mest kritiske linen. Både ramme- og stige fortøyning vil være sårbare for å få en stor skade hvis man får et brudd i f.eks. hovedstrekk eller et av festepunkt for hovedstrekk ryker. Spesielt med tanke på at man ved progressive brudd i fortøyning har en stor fare for svært omfattende rømminger, er det viktig at man fokuserer på dette.

4.2.5 Progressive brudd i innfesting mellom not og flyter

Progressive brudd i innfesting førte ved enkelte tilfeller til at store deler av hovedtau og hoppenett hang ned under vann og førte til at fisk rømte. Dette forholdet omtales ikke i NS 9415 i dag.

Det bør stilles strengere krav til antall festepunkt og det bør også spesifiseres hvor og hvordan nota skal festes til flyter, se Figur 5. Samtidig med krav til innfesting bør man kreve at det sjekkes mot progressivt brudd og fare for "totalhavari" av nota.



Figur 5 Innfesting av not til flyter.

At innfesting ryker skyldes hovedsakelig strømbelastning. Hvis det er store mengder dødfisk i not kan dette skape en ekstra treghet som kan føre til at også de dynamiske belastningene fra bølgene blir større.

4.2.6 Sammenbrudd av flyter

Både plastringer og stålanlegg ble ødelagt under uværet.

Plast har kompliserte materialegenskaper i forhold til andre konstruksjonsmaterialer som stål og aluminium. Egenskapene til plast er avhengig av varighet til belastning og temperatur, se Figur 6.

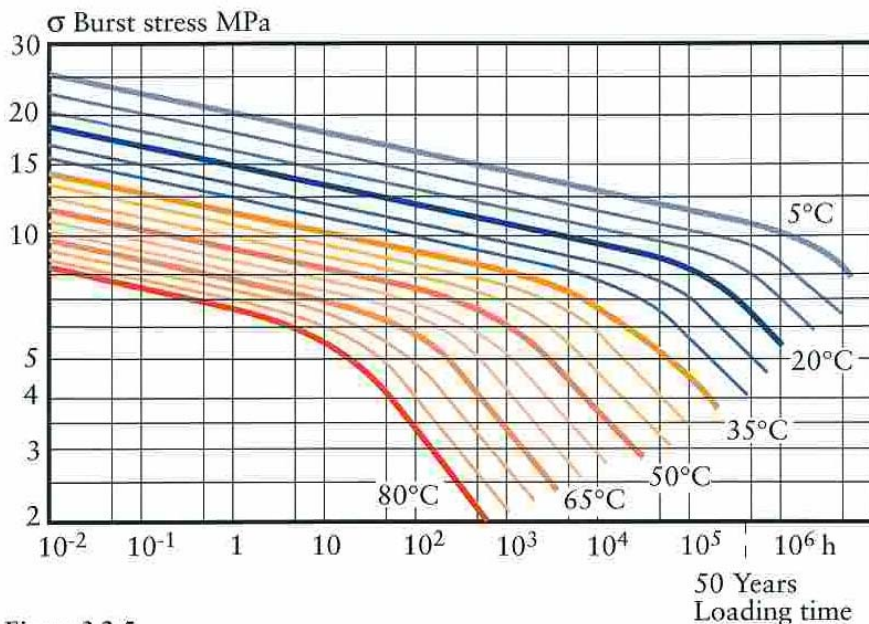


Figure 3.2.5

Figur 6 Kapasitet som en funksjon av belastningstid og temperatur.

Som figuren viser svekkes kapasiteten til materialer når belastningstiden og temperatur øker. Det er derfor viktig at man bruker de verdiene som er oppgitt i NS 9415 ved dimensjonering av plastringer. Det gjelder for både flyter og klammer/rekkestøtter hvis de er laget av plast. Lokal knekking av plastrør i forbindelse med ovalisering av flyter på grunn av strøm er et annet vanlig problem, se Figur 7.



Figur 7 Lokal knekking av plastrør.

Tilgjengelig beregningsmetodikk finnes for å unngå kollapsmekanismen vist i figuren over. Janson (1999) gir en kritisk bøyeradius for rør som er basert på ovalisering på tversnittet til røret:

$$R_b = \frac{D}{1.12s/D_m}$$

Her er R_b kritisk bøyeradius, D er ytre diameter av røret, s er veggtykkelsen og D_m er diameter til midt i rørveggen ($D_m = D - s$). Formelen brukes f.eks. til å bestemme hvilken diameter som må brukes på trommel når man kveiler PE-rør på trommel. Dette er et krav som også kan stilles til PE-rør brukt som flytere i havbruksnæringen. I tillegg bør det vurderes å undersøke hvorvidt det er fare for at man kan få siging på grunn av bøyespenningen.

Når en plastring kollapser er det alltid stor risiko for at også klammer, rekkestøtter og rekke blir ødelagt. Dette vil gi flere mekanismer som kan medføre rømming.

- Hull i nota fra skarpe kanter (fra klammer eller rekkestøtter).
- Økte krefter på nota fra miljøet kan gi brudd i festetau.

Videre progressivt brudd i andre deler av anlegget på grunn av tapt integritet.

Stålanlegg brytes ofte sammen fordi anlegget ikke er hengslet på en slik måte at det kan ta opp den tvungne deformasjon det blir påført fra bølgene. Disse bevegelsene vil introdusere skjær og torsjonsbelastninger på anlegget og sprekker oppstår ofte i eller like ved hengsler. Hvis man jevnlig finner sprekker og må utføre reparasjoner er dette en indikasjon på at anlegget ikke er egnet for denne lokaliteten. Et annet problem for stålanlegg er ofte ulik stivhet i ankerliner, som vil føre til skjevbelastninger i anlegget og introdusere store momenter i anlegget.

5 Svakheter i dagens anlegg

Undersøkelsene viste at både stål og plasthanlegg får problemer når man store mengder is opptrer på anlegget sammen i kombinasjon med strøm og bølger. Det vil som regel ikke være mulig å få fjernet is hvis vinden er for sterk og bølgene for store. Mengden is kom nok som en overraskelse for enkelte og de dimensjonerende verdier i NS 9415 synes å være for lave.

Ulike løsninger kan tenkes; anlegg må dimensjoneres for å kunne motstå de store ismengdene, man må etablere løsninger som fører til at is blir automatisk fjernet eller så må man finne alternative lokaliteter med mindre sannsynlighet for ising.

En rekke forskjellige metoder og løsninger blir brukt for både innfesting av not og haneføtter. Enkelte av disse metodene synes ikke å være ideelle og kan øke risikoen for rømming fra anlegget. Et bedre fokus på hvordan teknologien skal brukes savnes, sammen med utvikling av teknologi som ikke kan brukes feil. Det er sannsynlig at antall og omfang av rømmingene kunne vært redusert hvis de beste kjente løsningene hadde vært benyttet. Det er derfor viktig med kontinuerlig fokus på korrekt drift og det bør etableres system for utveksling og formidling av ”best practice”. Driftsrutiner med fokus på å hindre rømming bør også inngå i brukerhåndbøkene.

NS 9415 krever at man skal dimensjonere mot et brudd i en fortøyningssline. Til tross for dette ser man ofte at man får store skader på grunn av at enten en hovedfortøyning, eller et bunnfeste, ryker. Tilsvarende kreves det ikke at man skal dimensjonere mot brudd i innfesting av not mot flyter. Et generelt økt fokus på å hindre progressive brudd og restsikkerhet er sterkt ønskelig.

Utstyr bør dimensjoneres, designes og konstrueres med tanke på å redusere muligheten for skade eller rømming ved å redusere muligheten for feil bruk og progressiv skade. Krav og retningslinjer for design og dimensjonering med tanke på både feil bruk, dimensjonering og HMS er etablert innen andre bransjer. Der legges det blant annet vekt på både sekundær- og tertiærstikringer for å hindre en skade med stort omfang.

I dag finnes det gjennom NS 9415 kun krav relatert til dimensjonering av konstruksjoner med formål og redusere rømming. Krav og retningslinjer med fokus på drift og operasjoner i hele konstruksjonenes livsløpsfase bør også utvikles for flytende oppdrettsanlegg. Etablering av slike krav og retningslinjer vil kreve forskning og utvikling og en kombinasjon av kunnskap fra oppdrettere, utstyrsleverandører, tekniske fagmiljø og forskningsmiljø.

6 Innspill fra workshop om rømmingssikring

Den 3. mai 2006 ble det holdt en workshop på Rica Hell Hotell der resultater fra rømmingsundersøkelsen og status fra arbeidet med å revidere NS 9415 ble presentert. Et referat fra workshopen, inkludert momenter fra diskusjonen, er vedlagt denne rapporten.

Viktige innspill som ikke er behandlet ellers i denne rapporten (se vedlagte referat for mer detaljer):

- Det er svært viktig å ha gode rutiner, spesielt for håndtering av store nøter og kritiske operasjoner. Mulighet for etablering av ”best practice”
- Opplæring av operatørene i gjeldene rutiner er svært viktig.

- Brukerhåndbøkene kan bli bedre; det er viktig med en samordning av brukerhåndbøker for ulikt utstyr som er satt sammen og trekke inn brukerne i utformingen.
- Opplæring av operatørene i kravene og innhold i brukerhåndbøkene er svært viktig.
- Kan man lage soner der man bør ta hensyn til ising?
- Det er ising kombinert med sterk vind som er hovedutfordringen, da kommer man ofte ikke til anlegget og får fjernet is.
- Ulike løsninger for å fjerne is fra hoppenett på plastringer ble diskutert; elastiske bånd, vekter og fjærsystem, feste hoppenett med tau med ulik dimensjon, henge hoppenett lavere om vinteren.
- Et annet potensielt problem for både plast- og stålanlegg er nedising av foringsautomater, og da spesielt i kombinasjon med store bølger. Bevegelsen av foringsautomaten vil kunne gi store belastninger på flyteren. Hvis automaten rives løs kan den falle inn i nota og rive hull.
- Kan ising føre til at hengsler på stålanlegg låser seg og dermed bidrar til at anleggene lettere skades?
- Drivis i fjordbasseng omtales i standarden, men hvorvidt det finnes gode nok rutiner til å unngå rømming på grunn av drivis er usikkert. Standarden gir ikke føringer for hvordan man skal unngå skader på grunn av drivis.
- Standarden gir føringer for hvor mange fester nota skal ha til flyter, men gir ikke føringer for hvordan nota skal festes til flyter.
- Med dagens kunnskap er det ikke mulig å si noe om størrelsen på enhetene har sammenheng med sannsynlighet for rømming.
- Menneskelige faktorer vil kunne spille en rolle når det gjelder problemer med fortøyning som fører til rømming, blant annet på grunn av det store antallet komponenter i fortøyninger.
- Det er lov å bruke knuter ihht NS 9415, men man må merke at spesielle sikkerhetsfaktorer gjelder.
- Det er viktig at alle relevante egenskaper til koplingskiver og andre nøkkelementer i fortøyninger dokumenteres.
- Stigefortøyning kan benyttes ihht NS 9415 så lenge de tilfredsstillende de samme krav til sikkerhetsfaktorer og restsikkerhet som rammefortøyning.
- Taudimensjonene er i ferd med å bli så store at det er vanskelig å håndtere dem effektivt, en mulig løsning er å skifte til andre typer tau som har høyere bruddstyrke ved samme dimensjon.
- Kravet for hva som skal til for å kunne defineres som et sertifisert tau bør spesifiseres i standarden.

- Bør nøter ha krav til egen oppdrift når enhetene kommer over en viss størrelse?
- Standarden bør fokusere mer på risiko (sannsynlighet x konsekvens) og ikke bare sannsynlighet.
- Bør det kreves en risikoanalyse for ulike løsninger, spesielt for store enheter?
- Bør det settes begrensninger for hvor mange merder og hvor mye fisk som bør stå i samme fortøyningsssystem?

7 Kort sammenstilling av allerede gjennomførte prosjekter innen rømming

7.1 Forankring

Krokstad [2005] ga en oversikt over forankringssystemer brukt i havbruksnæringen og et par forslag til alternative forankringsmåter. Viktigheten av god stivhetskontroll for fortøyninger til stålanlegg ble understreket.

Moe et. al. [2005] ser nærmere på forankring av stålanlegg. Det blir påpekt at ”regelen” om at man skal ha et konstant forhold (ca lik 3) mellom lengde på forankringsliner og vandyp kan gi uheldige belastninger på anlegg hvor vandypet varierer. Det bør etterstrebtes at linene enten har en konstant eller lineært varierende stivhet. Dette for å unngå global bøying av anlegg.

Lien og Heide [2005] gir anbefalinger for forankring av stålanlegg. I tillegg til stivhetskontroll på ankerliner er det viktig at man tar hensyn til om belastningen er den samme for hele anlegget. Hvis man ukritisk fjerner nøter fra anlegget kan dette skape statiske moment som kan være med og bryte i stykker anlegget. Innvirkning fra bøyer på fleksibilitet i forbindelse med forankring av stålanlegg blir også studert. Konklusjonen er at bruk av bøyer har en svært begrenset innvirkning på fleksibiliteten til anlegget, spesielt når de blir brukt så nære anlegget som er vanlig i dag (dvs 10 – 20 meter fra anlegget). Det lille de bidrar med sv geometrisk fleksibilitet er forsvunnet når anlegget har forskjøvet seg i størrelsesorden 0,5 – 1,0 meter horisontalt. Bruk av bøyer gjør det også vanskeligere å ha en god stivhetskontroll på fortøyningslinene. I tillegg kan bøylene skape store strekkrefter i anlegget ved at den beveger seg i bølgene.

7.2 Flyter

Innføring av liner som går igjennom senterpunkt av ring vil hjelpe til å motstå ovalisering og knekking av plastringer [Lien 2005]. Ovalisering og påfølgende knekking av plastringer er et typisk problem for plastringer i både ramme- og stigeftøyning når strømkreftene blir store. Slike tau vil og være med å hindre ovalisering ved linebrudd. Også innfestingsvinkel til haneføtter vil ha en effekt på ovalisering. Innfestingsvinkel bør være så stor som mulig men dog ikke så stor at man får sammenfallende innfestingspunkt. Dette gjelder for både ramme- og stigeftøyning.

7.3 Not, drift og operasjon

Moe et. al [2004] oppsummerer, basert på intervjuer med oppdrettere og notprodusenter, en del typiske skadeårsaker for nøter. Blant annet nevnes drivende gjenstander og gnag på not fra lodd etc. Det nevnes spesifikt i rapporten at man ved design av not og utspilingssystem må unngå slitasje fra lodd på not. Notprodusenter oppgir at antallet belastningsskader i forbindelse med håndtering har økt.

Heide og Moe [2004] presenterer alternative notkonsepter og drift og operasjon av disse. Det ble fokusert på utspiling, innfesting og håndtering av not.

Rist [2004] undersøkte et utvalg rømminger i 2001 og 2002 og gjorde en risikoanalyse av årsaker. Konklusjonen var at et flertall av rømmingstilfellene kunne føres tilbake til mangelfulle eller manglende rutiner, prosedyrer og opplæring.

Worum og Guneriussen (Akvaplan-niva) [2005] så på tiltak for å redusere rømming ved typiske operasjoner og ved bruk av not. Faktaark hvor anbefalinger for produksjon/reparasjon, transport/løft, innfesting/utspiling, overlining, bruk av brønnbåt og sleping av merd blir gitt.

8 Innspill til revisjon av NS 9415, utvikling av ny teknologi og drift.

8.1 Erfaringer fra rømmingsundersøkelsen i forbindelse med hendelsene i januar 2006

- Krav om brudd i mest belastede line bør endres til å gjelde den mest kritiske linen med hensyn til progressivt brudd i forankringssystemet.
- Det bør settes som krav at man unngår et progressivt brudd i innfesting mellom not og flytekrage selv om en innfesting ryker. Tilsvaret hva man krever for fortøyning.
- Man bør vurdere om not skal ha eget flytelegeme, eventuelt for store nøter på utsatte lokaliteter.
- Man bør vurdere krav til antall innfestinger mellom not og flyter avhengig av lokalitetsklasse.
- Ising (ikke drivis) bør tas inn som et eget element i lokalitetsklassifisering.
- Det bør sterkere fokuseres på hvordan styrken beregnes for rekkestøtte og rekkerør. Det kan ikke brukes flytespenning funnet fra quasi-statisk test. Siging vil være et problem ved f.eks. islaster, og man bør bruke samme dimensjonerende verdier for rekkestøtter som brukes for dimensjonering av flyteringene.
- Erfaring viser at det er tilnærmet umulig å legge til ved anlegget når uværet raser. Man kan av den grunn ikke basere seg på at man skal kunne gjøre noe med anlegget for å prøve å bedre situasjonen.
- Flere anker har flyttet på seg. Man bør vurdere krav for å sikre seg mot at dette skjer.
- Strømmålingene over fire uker gir ofte for lave dimensjonerende verdier. Det settes nå i gang et forskningsprosjekt med målsetting å finne fram til metoder for måling av strøm over kortere perioder (1-3 måneder) basert på måletidspunktet i løpet av et kalenderår, som kan gi gode indikatorer for ti- og femtiårs returperioder.
- Det bør spesifiseres bedre i NS 9415 at man må sørge for at lodd henger tilstrekkelig langt under not for å unngå gnag.

- Man må sikre at foringsautomater ikke lager hull i not og hoppenett.
- Fare for ising på lokalitet må vurderes på linje med vurderinger av vind, strøm og bølger ved lokalitetsklassifisering.
- Fare for havdønninger på lokalitet må vurderes på linje med vurderinger av vind, strøm og bølger ved lokalitetsklassifisering.
- NS 9415 må spesifisere hvordan man tar hensyn til havdønninger ved dimensjonering av både forankring og notinnfesting.
- Det er svært viktig å ha gode rutiner, spesielt for håndteringer av store nøter og kritiske operasjoner. Det bør utarbeides system for formidling av "best practice".
- Brukerhåndbøkene bør i større grad beskrive samspill og interaksjon med andre komponenter. Opplæring av operatørene i kravene og innhold i brukerhåndbøkene er svært viktig.
- Utstyr bør dimensjoneres, designes og konstrueres med tanke på å redusere muligheten for skade eller rømming ved å redusere muligheten for feil bruk og progressiv skade.
- Det bør vurderes om det skal kreves akkreditering for å kunne gjennomføre lokalitetsklassifiseringer under NYTEK.
- Det er viktig at det blir en enhetlig håndheving og tolkning av kravene i NYTEK og NS 9415 blant de sertifiserte inspeksjonsorganene.

8.2 Utdrag av erfaringer fra annet arbeid

- Havdønninger
Det finnes ikke enkle metoder for beregne havdønninger. Ved beregning av havdønninger vil lokale forhold være svært viktige på grunn av refleksjon og avbøyning. Det må gjøres en vurdering om havdønninger er aktuelt for lokaliteten. Hvis havdønninger anses som viktig bør det gjøres en diffraksjon/refraksjonsanalyse for å beregne aktuell bølgehøyde og periode. Dette må gjøres av selskaper med spesiell kompetanse på området.
- Strøm
Beregning av dimensjonerende strøm på en lokalitet er komplisert. Flere komponenter bidrar til det totale strømbildet. Tidevannsstrøm, vindgenerert overflatestrøm, utbrudd fra kyststrømmen og vårflom på grunn av smelting av snø og is er som regel de viktigste bidragsyterne. Størrelsen på bidragene er årstidsavhengig. Hvis det er vindgenerert strøm som dominerer bør det måles om høsten og vinteren, mens hvis strømmen er dominerende tidevannsdominert bør det måles rundt vår eller høstjevndøgn. Å kun måle en måned og benytte høyest målte verdi for estimering av dimensjonerende strømhastighet kan gi ikke konservative estimat av strømhastighet. For å oppnå pålitelige verdier må det måles i minimum 6 måneder og bruke langtidsstatistikk for å finne en dimensjonerende strøm med en gitt returperiode. Helst bør man måle et helt år for å få med seg alle mulige sesongvariasjoner og det må benyttes en returperiode på 50 år også for dimensjonerende strøm. Hvis man velger å kun måle i en måned bør det vurderes å innføres et krav om en minimumsverdi for dimensjonerende strømhastighet. Det er

vanskelig å dokumentere hva denne verdien eksakt bør være. I DNVs tentative regelverk var det et krav om en minimumsverdi for strøm på 0,5 m/s. Det settes nå i gang et forskningsprosjekt med målsetting å finne fram til metoder for måling av strøm over kortere perioder (1-3 måneder) basert på måletidspunktet i løpet av et kalenderår, som kan gi gode indikatorer for ti- og femtiårs returperioder.

- Lasttilfeller

Det er ingen grunn til å dimensjonere kun mot returperiode 10 år for strøm og 50 år for bølger og ikke returperiode 50 år for strøm og 10 år for bølger. Det anbefales at man dimensjonerer mot både 10 år strøm/50 år bølger og også 50 år strøm/10 år bølge. Bakgrunnen for å bruke 10/50 og 50/10 og ikke 50/50 er at bølger og strøm med returperiode på 50 år sjelden vil opptre samtidig. Det er viktig at man vurderer alle kombinasjoner av strøm og bølger, inkludert retninger, som kan være dimensjonerende for fortøyningssystemet.

- Sikkerhetsnivå

Man bør ta hensyn til både konsekvensen (antall fisk som rømmer) ved et brudd i en komponent og hyppigheten av inspeksjoner. Konkret kan dette gjøres ved at man relaterer materialkoeffisienten direkte til størrelsen på enten anlegget hvis det er snakk om en komponent som styrer total anleggets sikkerhet, f. eks. et kritisk forankringstau i en rammefortøyning. Eller størrelsen på merden, for eksempel ved dimensjonering av notpose eller flyter. En økende lastfaktor for økende eksponeringsgrad kan forsvares ut fra en risikovurdering. Når det gjelder dimensjonering av plastringer som kan være utsatt for belastninger i forbindelse med langvarige uværssituasjoner (for eksempel en tre timers storm) er kapasitetene gitt i Tabell 9 i NS 9415 inkludert reduksjon i kapasitet grunnet siging. En materialfaktor på 1,0 (6.8.2.4 i NS 9415) var ment å relateres til spenningene i Tabell 9 og siging på grunn av belastningsvarighet er inkludert. Skal man tillate høyere dimensjonerende verdier enn de som er gitt i tabell 9 i NS 9415 er det viktig at egenskapene til materialet er grundig dokumentert. Det tenkes da spesielt på strekktesting med en mer langvarig belastning, i størrelsesorden et par timer. Ved hvilken hastighet/varighet materialforsøk eller komponentforsøk er utført, og også ved hvilken temperatur, må oppgis. Det er viktig at man også i en statisk analyse tar med bøyebidrag fra bølger, det vil da ikke være noen grunn til å ha en høyere lastfaktor for dimensjonering av plastrør ved statisk analyse sammenlignet med dynamisk analyse. Lokal knekking av plastrør bør taes inn som et dimensjoneringskriterium i NS 9415. En plastring utsatt for bøyning på grunn av laster fra strøm og bølger kan kollapse lokalt ved en spenning lavere enn flytespenningen.

- Generelle krav til oppdrettsanlegg og dets komponenter

Analyser av hengslete stålanlegg utsatt for tvungen deformasjon viser at anlegget får store belastninger når det beveger seg i bølgene. Det bør foretas en vurdering av om det finnes bølgelengder innenfor mulige bølger på lokalitet som kan gi uheldige konstruktive virkninger. Man må analysere bølgelengder som kan gi farlig konstruktiv respons i anlegg (f.eks bølgelengde som gir maksimalt "sagging/hogging"-moment) i tillegg til de maks-kriterier som er angitt i NS 9415. Ved brudd i fortøyning antas i dag at én fortøyning går i brudd. Dette er greit for stålanlegg hvor en og en fortøyning går rett inn i anlegget, men for rammefortøyninger der flere fortøyninger går inn i koblingsplater eller koblingspunkter kan flere fortøyninger ryke om koblingen ryker. Det må i slike tilfeller antas brudd i den mest kritiske innfesting.

- Interaksjon not, flyter og utspilingsystem

Hvis lodd eller utspilingsystem (bunnring) har lav synkehastighet kan det oppstå

rykkrefter i tau og notlin. Dette er ikke enkelt å beregne på grunn av usikkerhet rundt oppførselen til not, lodd og bunnring i vann (drag, løft, added mass etc). Disse kreftene skal hvis løftetau og loddtau er korrekt festet til not ikke gå i notlin, men i tau og burde ikke øke faren for at nota revner. Størrelsen til rykkreftene er også relativt liten sammenlignet med kapasiteten til tauet og belastningen fra strøm.

9 Referanser

Aarsnes, Otterå & Rudi, Bølge- og strømkrefter på havbruksanlegg. Marintek rapport nummer 516001, 1988.

Heide, Sunde og Lien. *Drift og operasjon. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2005.

Heide og Moe. *Alternative notkonsepter – delrapport i prosjekt ”nye rømmingssikre merdkonsept”*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2004.

Janson. Plastic pipes for water supply and sewage disposal, BOREALIS, 1999.

Krokstad. *Oversikt over forankringssystemer. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2005.

Lien. *Forankring av plastringer. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2005.

Lien. *Forankring av plastringer. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2005.

Lien og Heide. *Anbefalt utlegg av enkeltliner. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2005.

Moe, Pedersen og Heide. *Oversikt over notsystemer. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS 2004.

Moe, Krokstad, Lien og Heide. *Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk AS.

Rist. *Fisken Rømmer. En Risikoanalyse av driftsrelaterte årsaker*. Aqua Management AS 2004.

Worum og Guneriussen. *Tiltak for å redusere rømming av oppdrettsfisk*. Akvaplan-niva AS 2005.

Trondheim

Adresse: 7465 Trondheim

Telefon: 73 59 30 00

Fax: 73 59 33 50

Oslo

Adresse: P.O. Boks 124, Blindern, 0314 Oslo

Telefon: 22 06 73 00

Fax: 73 06 73 50