



FISKERI- OG HAVBRUKSNÆRINGENS FORSKNINGSFOND

FORSKNING FOR Å UNNGÅ RØMMING ÅRSAKER OG KONKLUSJONER

Seniorforsker Østen Jensen, SINTEF

INNHALDSFORTEGNELSE

Forskning for å unngå rømming	
Årsaker og konklusjoner	3
Kartlegging av årsaker til rømming	4
Lokalitetsklassifiseringer	6
Strøm	6
Is	8
Fortøyning/forankring	8
Modelltester av holdekraft til anker	8
Fullskalatester av holdekraft til anker	10
Prosedyre for nedsetting av fjellbolt til fortøyning av havbrukskonstruksjoner	12
Fullskalamålinger av krefter i fortøyningsystem	13
Not	17
Notdeformasjon og krefter	17
Notlin og styrkereduksjon	21
Høytrykkspyling	24
Referanser	26

FORSKNING FOR Å UNNGÅ RØMMING

ÅRSAKER OG KONKLUSJONER

Den norske oppdrettsnæringen, som startet i 1969-1970, er ansett som en kommersiell suksesshistorie og i dag er Norge verdens ledende i oppdrett av laks. Rømming av fisk fra oppdrettsanlegg er oppfattet som en trussel mot villfisk, og oppdrettsnæringen har de siste årene hatt fokus på å redusere rømmingsomfanget.

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) har finansiert flere prosjekt for å kartlegge årsaker til rømming og komme frem til nye tekniske og operasjonelle løsninger for å unngå fremtidige rømmingstilfeller.

Nedenfor er noen av resultatene og konklusjonene fra disse prosjektene oppsummert.

- Rømmingsundersøkelsen i 2006 førte til mange endringer i den tekniske standarden for havbruksanlegg (NS9415):
 - o Strengere krav til redundans¹ i fortøyningssystemet, det vil si at enkelt linebrudd ikke skal føre til totalhavari.
 - o Maksimal tillatt avstand mellom innfestingspunkt mellom not og flyter ble redusert.
 - o Strømmålinger må gjøres over et helt år eller så må det brukes en minimums dimensjonerende strømhastighet på 0,5 m/s.
 - o Krav om at ispåvirkninger skal fastsettes i forbindelse med lokalitetsklassifisering.

I videreføringen av rømmingsundersøkelsen ble det jobbet videre med flere av problemstillingene som ble kartlagt. Det ble fokusert på tre hovedtemaer:

- **Lokalitetsklassifiseringer og miljøkrefter.**
 - o Strøm: Det kan ikke brukes langtidsstatistikk på måleserier av en månedsvirighet for å finne dimensjonerende strømhastigheter.
 - o Is: Modeller for ispåslag ble beskrevet sammen med anbefalte drifrutiner for å unngå rømming på grunn av ising.
- **Fortøyningssystemer:**
 - o Modellforsøk på anker viste at økt flukevinkel² gir økt nedtrengingsdybde og dermed økt holdekraft. Avviket mellom beregnet og målt holdekraft var stort, noe som understreker vanskeligheten av å beregne holdekräften til ploganker analytisk.

o Fullskalaforsøk på anker viste store variasjon i holdekraft og nedtrengningsevne. Dette resulterte i at det ble anbefalt å stille følgende krav til anker som brukes i oppdrettsindustrien:

- Ankeret skal yte en minimum dokumentert holdekraft for det spesifikke bunnsedimentet som finnes på lokaliteten.
- Rutiner for utsett av anker må utformes slik at ankersetting kan gjennomføres på en forsvarlig måte med så få gjentak som mulig. At ankeret har en tilfredsstillende geometri og utforming som er egnet for den spesifikke lokaliteten.

o Fullskalamålinger av krefter som virker på oppdrettsanlegg viste at:

- De målte belastningene lå godt under designverdiene som var beregnet i forankringsanalysen.
- Strekk på hanefot viste sterk påvirkning av brønnbåt-ankomstene, hvor belastningene ble 3 - 4 doblet.
- Beregninger av krefter varierte mye sammenlignet med hverandre og i forhold til målte data.

- **Egenskaper til not og notlin:**

- o Krefter og deformasjon:
 - Modellforsøk på nøter viste at en økning i soliditet³ over 0,30 ikke ga en betydelig økning i dragkraft.
 - Denne effekten fanges ikke opp av de numeriske analysene.
 - Ved en soliditet på 45 prosent overestimeres kreftene med over 80 prosent ved en strømhastighet på 0,9 m/s.
 - Faren for gnag er avhengig av både strømhastighet, notutforming og nedlodding.
 - Grunnet kort avstand mellom notvegg og utspilingsystem vil det uansett være en fare for kontakt og gnag, spesielt ved større strømhastigheter.
- o Notlin og svekkelse av styrke:
 - Testmetode ble utviklet for å bestemme gnagmotstanden til forskjellige typer notlin.
 - Gnagmotstand avhenger av materialvalg, produsent og impregnering.
 - Inspeksjon og kartlegging av slitasje og reststyrke til not fra rømmingstilfeller, viser klart at slitasjen skjer over et relativt smalt område.
 - Høytrykkspyling svekker ikke styrken med mindre utstyret brukes feil.

¹ Redundans: Brudd i en ankerline, hanefot eller rammetau som ikke fører til total havari av anlegget ved at kreftene omfordes og tas opp av andre deler av fortøyningssystemet.

² Flukevinkel: Vinkelen mellom platen som graver seg ned (ofte kalt fluk) og leggen (ofte kalt shank).

³ Soliditet kan sammenlignes med lysåpning. Soliditet 1 = helt tett, soliditet 0 = full åpning.

Kartlegging av årsaker til rømming

Våren 2006 gjennomførte SINTEF Fiskeri og havbruk AS (SFH) sammen med Barlindhaug NORFICO en gjennomgang av åtte rømmingshendelser i januar samme året⁴. Arbeidet var finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF). En av rømmingshendelsene var i Sør-Trøndelag, de resterende i Nordland og Troms. Rømmingene skjedde i forbindelse med to uværsperioder i januar 2006, den første med sterk vind fra sørvest, og den andre (stormen Narve) med langvarig sterk vind fra sørøst kombinert med lave temperaturer. Alle åtte anlegg ble besøkt og intervjuer med oppdretterne ble gjennomført. Rømmingene skyldes i de fleste tilfellene en kombinasjon av ulike forhold og fordelte seg som følger:

- Driftsfeil (fem anlegg)
- Drivgods (ett anlegg)
- Feil i antatte miljølaste (seks anlegg)
- Progressive brudd i fortøyning (ett anlegg)
- Progressive brudd i innfesting mellom not og flyter (tre anlegg)
- Sammenbrudd av flyter (fire anlegg)

Undersøkelsen førte til en forbedret forståelse av hvorfor fisk rømmer og hvordan rømmingsårsaken ofte var sammensatt. Et av hovedmålene for undersøkelsen var å få frem kunnskap

som kunne forbedre den tekniske standarden (NS 9415) for havbruksanlegg.

En av hovedkonklusjonene fra undersøkelsen var at kravene til maksimal avstand mellom innfesting av not til flyter var for stor, samt at det måtte stilles strengere krav til redundans i fortøyningssystemet. Begge deler ble adressert i en revidert versjon av standarden som kom høsten 2009. En annen observasjon som ble gjort var at noen av lokalitetsklassifiseringene var mangelfulle, og at det i enkelte tilfeller var gjort en for lite grundig jobb i forbindelse med klassifiseringen.

Ved flere av rømmingstilfellene var ising en medvirkende årsak til rømming. Felles for disse tilfellene var at ising ikke var et årlig problem på lokaliteten, men i følge Meteorologisk Institutt lå alle disse anleggene i områder hvor man måtte forvente kombinasjon av sterk vind og lave lufttemperaturer med noen års mellomrom. I og med at det i standarden brukes 10 og 50 års returperiode for vind, strøm og bølger, bør det samme gjelde for is. En 50 års returperiode vil si at strømhastigheten, for eksempel, overskrides kun en gang på 50 år. Nedising av anlegg er med andre ord noe man må dimensjonere mot og ha gode driftsrutiner for å hindre at nedising kan føre til rømming.



Figur 1 Nedising av plastanlegg (bilde fra Troms Folkeblad).

⁴Gjennomgang av tekniske krav til oppdrettsanlegg – basert på rømmingstilfeller i januar 2006. http://www.tekmar.no/tema/romming/rapporter/Gjennomgang_tekniske_kvav_endelig.pdf

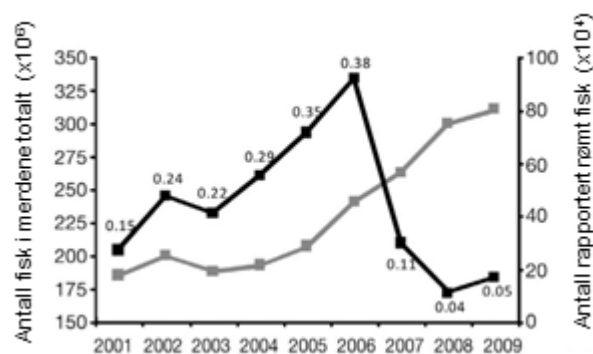
⁵Jensen Ø., Dempster T., Thorstad E. B., Uglem I., Fredheim A. 2010. Escapes of fish from Norwegian sea-cage aquaculture: causes, consequences, prevention. *Aquaculture Environment Interactions* 1: 71-83.

Det ble jobbet videre med bestemmelse av miljøparametere i etterfølgende rømmingsprosjekter som ble utført i FHF regi, noe som førte til innstramming i krav til hvordan ising og dimensjonerende strømhastigheter ble utført. Det ble og foreslått i forbindelse med revisjonen av forskriften (NYTEK) at det skal stilles krav til at firmaer som utfører lokalitetsklassifiseringer må være akkreditert.

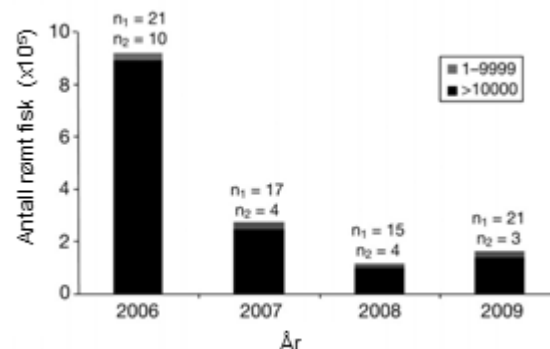


Figur 2 Skade på rekkestøtter og klammer etter at plas-tanlegg har vært nediset (foto fra Barlinthaug NORFICO).

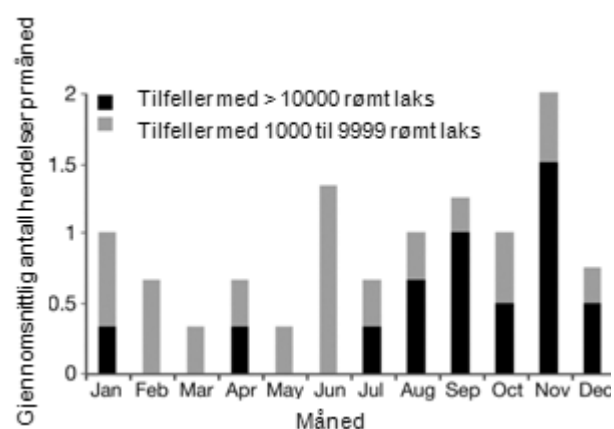
Arbeidet med kartlegging av rømmingsårsaker ble ført videre i prosjektene SECURE og Prevent Escape som er finansiert av henholdsvis Norges Forskningsråd og EU. Resultatet fra disse to prosjektene ble publisert i *Aquaculture Environment Interactions* i 2010⁵. Arbeidet tok utgangspunkt i at Norge har den mest omfattende nasjonale registrering av rømmingshendelser i verden, tilbake til 2001 for laksefisk, og brukte offisielle tall basert på oppdretternes innsendte rømmingsmeldingsskjema. I Norge rømte 3,93 millioner laks, 0,98 millioner regnbueørret og 1,05 millioner torsk fra 2001 til 2009. Storskala rømmings hendelser (> 10 000 individer) stod for kun 19 prosent av de rapporterte hendelsene, men for hele 91 prosent av antall rømte fisk. Dette fremhever viktigheten av å hindre de store rømmingene.



Figur 3 Rømmingsomfanget i antall (svart kurve), andel (tallverdier) og det totale antall fisk holdt i merder (grå kurve). Rømmingsomfanget steg i form av antall og andel av det totale antall fisk fra 2001 til 2006, før det ble redusert vesentlig fra 2007.



Figur 4 Antall rømt atlantisk laks rømt i små (n₁: 1-9999 fisk), og store rømmingshendelser (n₂: > 10 000 fisk). Den sterke nedgangen i antall rømt fisk skyldes hovedsakelig en nedgang i antall store hendelser som involverer mer enn 10 000 fisk.



Figur 5 Årstidsvariasjon for små og store rømmingshendelser. Strukturelle feil var den dominerende årsak til rømming av laks. Dette er og synlig i den sesongmessige variasjonen til rømmingshendelsene, med flest store hendelser i høstmånedene når kystnære stormer er mest hyppige og intense.

LOKALITETSKLASSIFISERINGER

En av konklusjonene fra rømmingsundersøkelsen i 2006 var at lokalitetsklassifiseringer i enkelte tilfeller var mangelfulle. Det var da spesielt ising og havdønninger som var utilstrekkelig dokumentert og vurdert. Hovedårsaken til dette var at disse to miljølastene ikke var behandlet i den første utgaven av NS 9415. Det ble også observert at de dimensjonerende strømhastighetene var for lave, selv for de tilfellene hvor målinger var gjort i henhold til krav i standarden (NS 9415).

For havdønninger hadde man kunnskap om hvordan dimensjonerende verdier burde fremskaffes og det er i dag konkrete krav i NS 9415 om hvordan havdønninger skal bestemmes. For strøm og ising manglet man gode modeller. I et FHF finansiert rømmingsprogram ble det blant annet undersøkt nærmere hvordan dimensjonerende strømhastigheter og islast kan bestemmes.

Strøm

Det er viktig å ha gode estimater på hvilke strømhastigheter man kan forvente på en lokalitet⁶. Lastbidraget fra strøm dominerer kreftene på nota og dermed i fortøyningssystemet. For lave dimensjonerende verdier kan føre til at kreftene blir underdimensjonert med havari av fortøyningssystem, og påfølgende rømming som resultat.

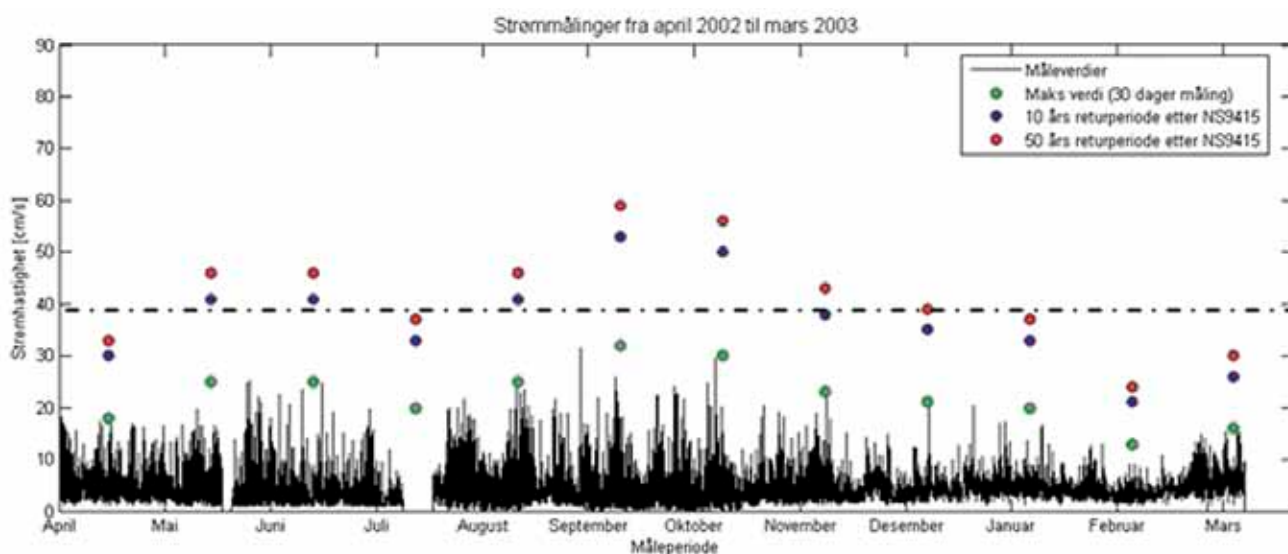
Ifølge NS 9415 skal dimensjonerende strømhastighet med 50 års returperiode beregnes ved å multiplisere maksimal målt strømhastighet fra en fire ukers måling med en faktor på 1,85. Som Figur 6 viser, medfører dette store usikkerheter. Den beregnede verdien kan bli for lav, eller den kan bli urimelig høy.

Med utgangspunkt i eksisterende måleserier på minimum et år ble det vurdert hvorvidt det kunne brukes langtidsstati-

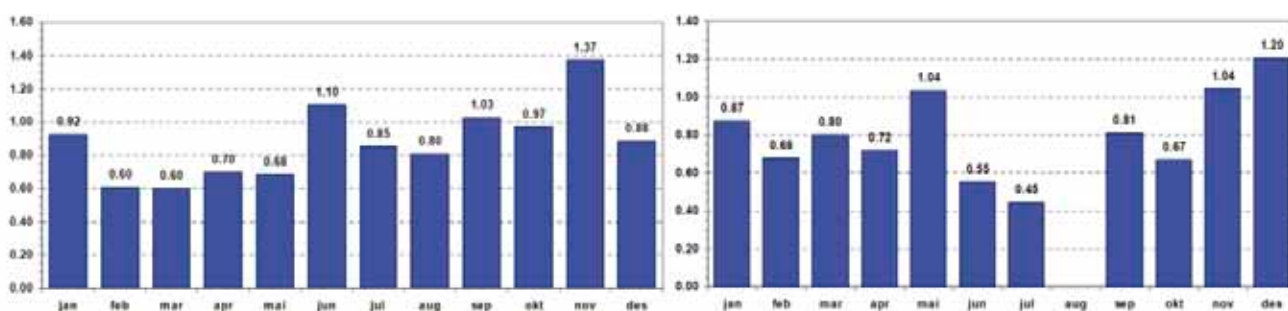
stikk på måleserier som er kortere enn et år for å finne gode estimat på dimensjonerende strømhastighet.

Konklusjonen var at man ikke kunne bruke langtidsstatistikk på måleserier av en månedsvarighet for å finne dimensjonerende strømhastigheter. Som et resultat av dette ble det i forbindelse med revisjonen av NS 9415 foreslått og akseptert at man enten måtte måle i et helt år, noe som vil være meget upraktisk for oppdretterne, eller måtte bruke en minimums dimensjonerende strømhastighet på 0,5 m/s. Vindgenerert strøm kan få en hastighet i overflaten på 2 % av vindhastigheten. Det vil si at en vind på 25 m/s kan gi en strømhastighet på 0,5 m/s, og det er dette som er grunnlaget for valget av minimumsverdi.

⁶ <http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/dimensjonerende-stromhastighet-2010-01-02022010.pdf>



Figur 6 Eksempel på hvordan en måneds målinger kan gi for lave dimensjonerende verdier når multiplikasjonsfaktorene i NS 9415 blir brukt. Fire ukers måling i februar ville gitt en dimensjonerende strømhastighet med 50 års returperiode som ville blitt overskredet fem ganger i løpet av måleperioden. Den sorte stiplede linjen viser beregnet dimensjonerende strømhastighet med 50 års returperiode ved hjelp av langtidsstatistikk på hele måleserien. Ved bruk av multiplikasjonsfaktorene i NS 9415 ville man i fem av månedene ha beregnet en for lav dimensjonerende hastighet, mens man i seks av månedene ville ha kommet frem til en for høy dimensjonerende hastighet. Ved bruk av en månedsmåling fra september ville multiplikasjonsfaktoren i NS 9415 gitt en dimensjonerende strømhastighet som er 50 % for høy.



Figur 7 Dimensjonerende strømhastighet funnet ved hjelp av langtidsstatistikk basert på en måneds målinger i forhold til hastighet funnet fra et års målinger. Metodikken er dessverre meget usikker og kan føre til at dimensjonerende strømhastighet enten overestimeres med opp mot 40 % eller underestimeres med opp mot 55 %. Det er heller ingen klare sammenhenger mellom hvilken måned som brukes, og om dimensjonerende verdier over- eller underestimeres.

Is

Formålet med arbeidet var å finne tommelfingerregler for hvor mye ispåslag man kunne forvente på en lokalitet. En annen viktig del av arbeidet var å gi anbefalinger for hvilke forhåndsregler man kan ta for å hindre at nedising av anlegg fører til havari og rømming. Det finnes mange metoder⁷ for å vurdere fare for ising, og variasjonen mellom dem er relativt stor. Figur 8 viser et eksempel på hvor mange centimeter is man kan forvente at man får per døgn avhengig av vindhastighet og lufttemperatur.

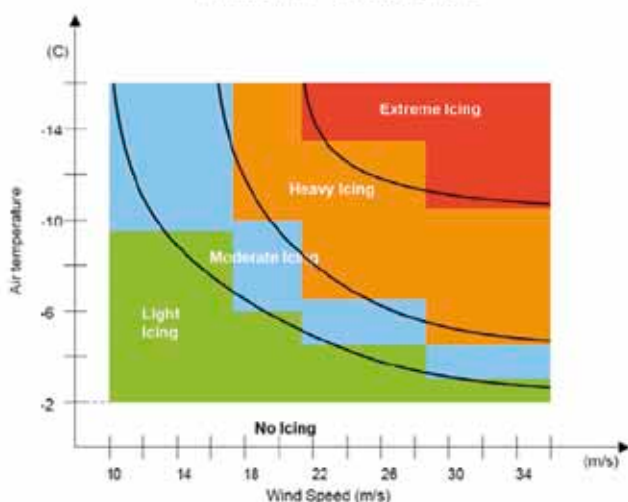
I den reviderte utgaven av standarden ble det innført krav om at ispåvirkninger skulle fastsettes i forbindelse med lokalitetsklassifiseringen. Metodene som ble beskrevet i rapportene⁷ kan brukes som et grunnlag for å gjøre dette.

I rapporten fra Barlindhaug Norfico⁷ blir det også beskrevet gode rutiner for å unngå brudd i rekkestøtter eller at hoppenett faller ukontrollert ned som følge av ising. Som det nederste bildet i Figur 9 viser kan ismengden som fester seg på rekkestøtter og rekke bli såpass store at vekten fører til at flyter presses under vann. Hvis hoppenettet da i tillegg løsner er det en klar fare for rømming av fisk.



Figur 9 Eksempel på is på fuglenett, hoppenett og rekkestøtte (Foto Sponfish AS).

- Light icing: 1 – 3 cm/ 24 hours
- Moderate icing: 4 – 6cm/ 24 hours
- Heavy icing: 7 – 14 cm/ 24 hours
- Extreme icing: ≥ 15 cm/ 24 hours



Figur 8 Mertins diagram gir isingsrate som en funksjon av vindhastighet og lufttemperatur⁸.

⁷ Barlindhaug, Sikkerhet mot is og nedising, 2008.

SINTEF. SFH80 A064062 Islaster – isvekst og forslag til tiltak, 2006. <http://www.tekmar.no/tema/ns9415/Faglig%20underlag%20NS%209415%20IS%20SFH80%20A064062.pdf>

⁸ Mertins, H.O. (1968). Icing on fishing Vessels due to Spray. London Mar.CorR., 38. pp128-130.

⁹ Stud.techn. Åsmund Elgvassien Stud.techn. Christian Rekdal Havnegjerde An investigation of the behaviour of Fluke and Deep Penetration anchors. NTNU 2010.

FORTØYNING/FORANKRING

Ved et par av rømmingstilfellene i rømmingsundersøkelsen i 2006 ble det avdekket at et eller flere anker hadde forflyttet seg i forbindelse med uværet. Dette resulterte i havari

av et stålanlegg og gradvis havari i fortøyningssystemet til et plasthanlegg.

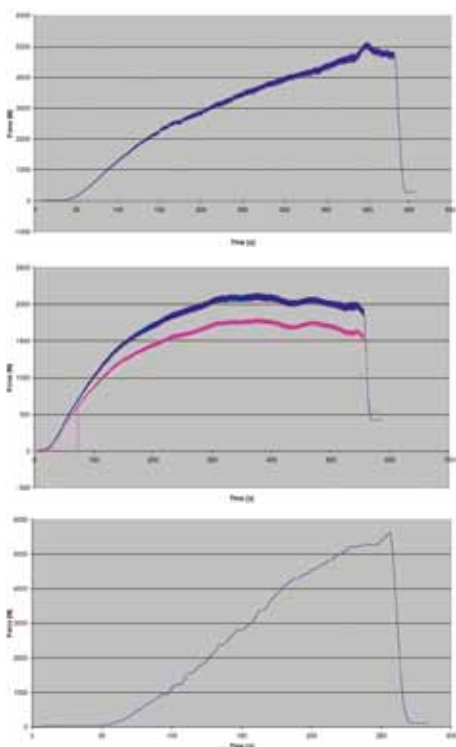
Modelltester av holdekraft til anker

I samarbeid med Institutt for Geoteknikk ved NTNU ble det utført modelltester for å vurdere holdekraft og hvor dypt ankeret trengte ned i bunnen til to forskjellige ankermodeller⁹. Den ene var en modell av et typisk ploganker (skala 1:10) og den andre modellen var av et Stevpris Mk5 anker (skala 1:5). Plogankermodellen hadde en vekt på cirka fem kilo, mens Stevpris Mk5 modellen hadde en vekt på 1,6 kilo. Begge ankermodellene ble testet med forskjellige flukevinkler samt i tørr og våt sand.

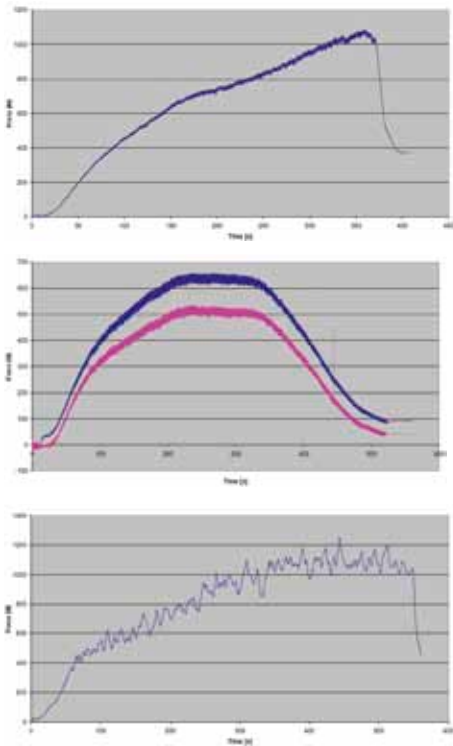
Modellforsøkene viste at økt flukevinkel gir økt penetrasjonsdybde og dermed økt holdekraft. En flukevinkel på 48 grader trenger nesten det dobbelt så langt ned som ved en flukevinkel på 38 grader, og holdekraften øker med 25 prosent. Avviket mellom beregnet og målt holdekraft var stort, noe som understreker vanskeligheten av å beregne holdekraften til ploganker analytisk. Noe av avviket kan skyldes at beregningsmodellen er følsom for forenklinger og skalaeffekter.



Figur 10 Modellene som ble brukt i forsøkene, ploganker øverst og Stevpris Mk5 nederst.



Figur 11 Kraftkurve fra testing av ploganker. De to øverste plottene er fra tester i tørr sand med flukevinkel på henholdsvis 28 og 37 grader, men nederste plottet er fra test på anker med flukevinkel på 37 grader testet i våt sand. En økning i flukevinkel førte til en kraftig økning i makskraft, men førte samtidig til at ankeret mistet holdekraften raskere etter at makskraft var nådd. Det vil i praksis si at holdekraften til ankeret går opp men det blir mer ustabil når flukevinkel økes. Forskjellen mellom tester i tørr og våt sand viste seg først og fremst i at holdekraften steg raskere i våt sand inntil samme makskraft ble nådd, men også at ankeret mistet holdekraft raskere.



Figur 12 Kraftkurve fra testing av Stevpris Mk5 med en flukevinkel på 32 grader. De to øverste plottene er fra tester i tørr sand med henholdsvis wire og kjetting foran ankeret. Det nederste plottet er fra test i våt sand med kjetting foran ankeret. Testene viser at holdekraften er avhengig av om ankerlinen nedre del er av wire eller kjetting, dette er relatert til hvor lett forløperen trenger ned i grunnen. For Stevpris Mk5 var både maksimumskraft og kraftforløpet veldig forskjellig i tørr og våt sand.

Fullskalatester av holdekraft til anker

Aktiviteten var en del av prosjektet "Utvikling av sikre oppdrettsanlegg – Fase 2, Arbeidspakke III: Anker og holdekraft". Forsøkene var en oppfølging av innledende forsøk med testing av holdekraft hos anker som ble gjennomført på Frøya i 2009. Resultatene¹⁰ fra forsøket i 2009 viste store variasjoner i holdekraft, noe som ble relatert til lite homogent bunnsstrat. Som et resultat av dette ble et oppfølgingsforsøk i mer homogene bunnforhold planlagt og gjennomført høsten 2010.

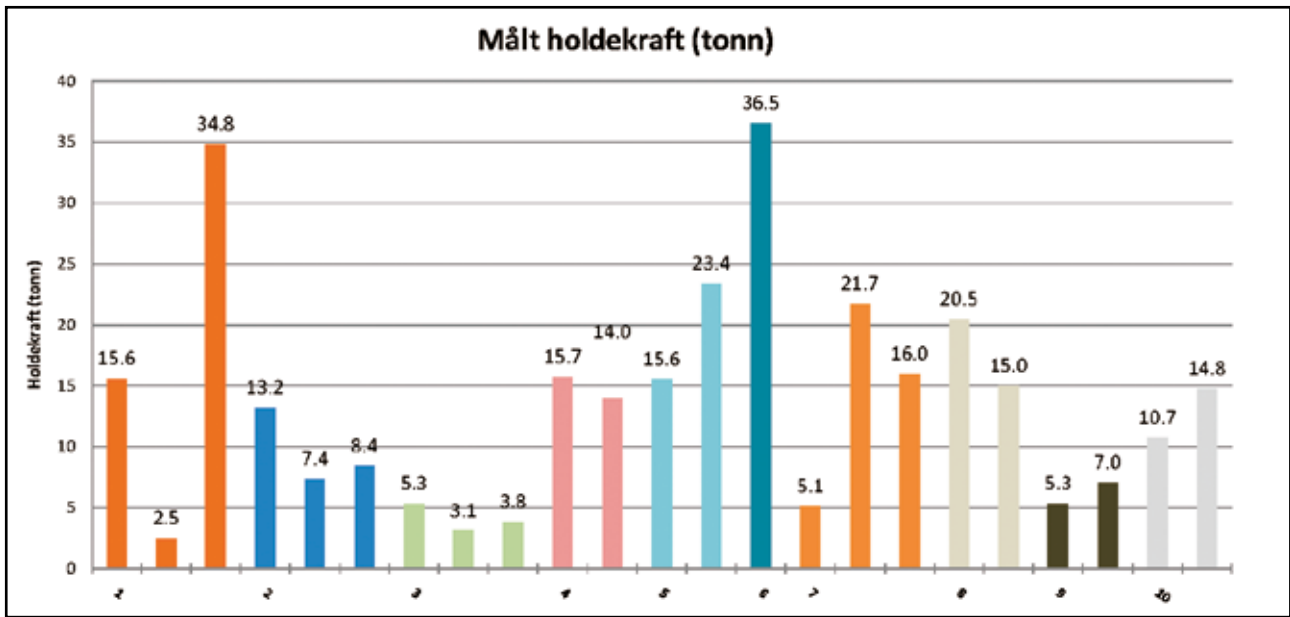
For utsetting av ankere ble M/S "Æge" fra Namsos Dykkerselskap AS benyttet. "Æge" er en servicebåt som vanligvis utfører slike oppgaver for oppdrettselskaper, og de gjennomførte setting av anker samt opphaling av anker i etterkant av ankertrekket. Taubåten "Boa Siw" fra Taubåtkompaniet ble benyttet for trekking av anker. Båten har en trekraft på 39,8 tonn ved 0 knop (Bollard pull), generert av to azimuth-thrustere. Propellene hadde en konstant stigning, slik at thrusten (skyvkraften) ble regulert med propellenes omdreiningstall/turtall (o/min) og retning.

Ti ulike ankermodeller fra seks norske utstyrsleverandører ble testet; anker med enkel eller dobbel shank, samt tilsvarende enkel og dobbel fluke var representert. To ankermodeller var også utstyrt med stukk.

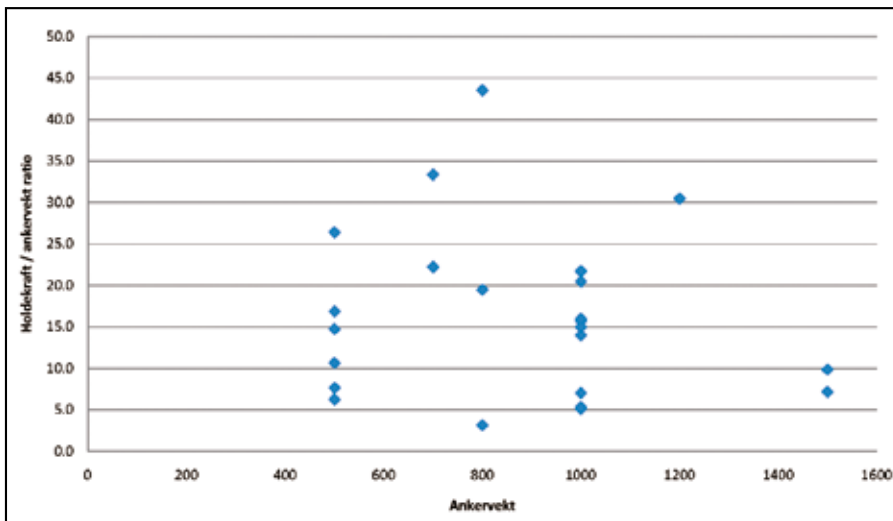
Praktisk gjennomførelse av ankertestene ble tilpasset slik at de var identisk med prosedyrene som Namsos Dykkerselskap AS benytter under tradisjonell ankersetting i havbruksnæringen. Alle anker ble satt ned på bunnen med strekk i opphaler og ankerline slik at de hadde riktig orientering når strekktesten startet. Da ankeret var på bunnen startet fartøyet "Boa Siw" sakte å øke slepekraften. Etter å ha holdt strekket i ett minutt, ble turtallet sakte økt. På nytt ble turtallet holdt konstant i ett minutt før det ble økt. Slik fortsatte prosedyren med en gradvis økning av turtallet, helt til ankeret begynte å "dregge" (dras) med fartøyet, eller til maksimalt turtall ble oppnådd.

Bunnforholdene i testområdet var relativt homogene og godt dokumentert i forhold til sedimenttype og hardhetsgrad, med

¹⁰http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/rapport_fullskala_endelig-13042010.pdf



Figur 13 Holdekraft hos de ulike ankrene som ble testet. Holdekraften er definert som den maksimale strekkraften som ble målt før ankeret begynte å dregge. Det hefter usikkerhet med første måling for anker nr. 7, da det oppsto tekniske problemer under ankertrekket.



Figur 14 Forhold mellom målt holdekraft og ankervekt (holdekraft / kg) som funksjon av ankervekt.

bakgrunnsdata fra NGU. Det finnes likevel ingen garantier for at bunnsedimentene er 100 prosent homogene i forhold til forventningene, og innslag av stein og harde partier ville kunne være utslagsgivende for de resultater som ble oppnådd under testen.

Budsjettet i dette prosjektet tillot 1-3 repetisjoner per anker. Ved fullskala uttesting av anker bør man ideelt gjennomføre i

størrelsesorden 15-20 repetisjoner for å sikre et godt statistisk underlag, samt redusere usikkerheten i hvert enkelt forsøk på grunn av ankerutsett, bunnforhold osv.

Det ble erfart varierende holdekraft for de ankrene som ble testet, og med stor variasjon mellom hvert ankertrekk, og mellom de ulike ankermodellene innenfor samme kategori. Det ble heller ikke funnet noen sammenheng mellom an-

kertype, vekt og holdekraft. Lave holdekrefter indikerer at man i enkelte tilfeller ikke oppnådde penetrering, det vil si at ankrene ikke gikk ned i bunnsedimentet.

Ankrenes holdekraft øker vesentlig med penetreringsdybden. Det er helt essensielt at man har en dyp penetrering i bunnsedimentet for å oppnå tilstrekkelig holdekraft.

Generelt bør følgende krav stilles til anker som skal benyttes for oppdrettsindustrien;

- At ankeret skal yte en minimum dokumentert holdekraft for det spesifikke bunnsedimentet som finnes på lokaliteten.
- Rutiner for utsett av anker må utformes slik at ankersetting kan gjennomføres på en forsvarlig måte med så få gjentak som mulig. At ankeret har en tilfredsstillende geometri og utforming som er egnet for den spesifikke lokaliteten.

Basert på to runder med fullskala uttesting av anker, samt noen forsøk i modellskala kan vi trekke følgende konklusjoner:

- Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom ankertype, vekt og holdekraft. Holdekraft er ikke korrelert med ankerets vekt, verken mellom ulike ankermodeller eller innenfor samme ankertype.
- Ankerets stabilitet under setting og trekking er av stor betydning for å oppnå tilstrekkelig penetrering og holdekraft.
- Ikke alle anker som leveres til havbruksindustrien i dag er tilstrekkelig tilpasset formålet og lokalitetens spesifikke krav.
- Geometriske karakteristika som flukevinkel, tippvinkel og fysisk utforming av ankeret vil sannsynligvis ha større betydning for nedtrenging og holdekraft under anker setting.
- Dokumentasjon av ankers fysiske egenskaper er svært vanskelig å gjennomføre i fullskala, med stor usikkerhet innenfor flere parametere.

Prosedyre for nedsetting av fjellbolt til fortøyning av havbrukskonstruksjoner

Til fortøyning av havbrukskonstruksjoner mot fjellbunn benyttes ofte fjellbolter. Hvilken type bolt som benyttes og hvordan den settes ned er kritisk for fortøyningens holdekraft og videre for å unngå rømming og havari¹¹.

For feste mot fortøyningsline benyttes enten øyebolt, for sjakkell i øyet, eller T-bolt, for sjakkell om boltstammen. Alternativt kan fjellbolten slås direkte gjennom kjettingen om den ikke sprenger ut kjettingløyken. For øyebolt må da en sjakkell monteres i øyet for sikring.

Det finnes to dominerende mekanismer for feste mot fjellet: Kile som presser ut stålet nederst på bolten mot veggen i borehullet, og gysemasse som limer bolten til fjellet. Stort sett blir det benyttet både kile og gysemasse, men det finnes bolter med riller for feste med kun gysemasse. Typiske dimensjoner for en fjellbolt brukt i havbruksnæringen vil være en diameter på 32-45 mm og en lengde på 0,4-0,6 m. Leverandørene oppgir at fjellbolter har en forventet levetid på 10 år.



Figur 15 Bøyd fjellbolt (Foto: Noomas Sertifisering).

I bygg- og anleggsbransjen blir kilebolter ikke lenger brukt til fjellsikring fordi de anses som usikre. Bolter som endeforankres med ekspansjonshylse eller polyesterpatron har erstattet disse. Dimensjoner på bolter brukt til fjellsikring er for endeforankrede bolter på Ø16-Ø25 mm x 1,5-6 m og for fullt innstøpte bolter på Ø20-Ø25 mm x 0,8-6 m.

¹¹ <http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/fjellbolt-fortoyning-havbruk-2010-09.pdf>

¹² http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/sintef_rapport_sfh80_a096050-17022010.pdf

Jevnt over benyttes tykkere og kortere bolter til fortøyning av havbrukskonstruksjoner enn til fjellsikring. Stålet har også en høyere strekkfasthet, noe som vanligvis medfører at stålet er sprøere. Dette kan være kritisk hvis bolter bøyes slik som vist i Figur 15.

I bygg- og anleggsbransjen blir kilebolter ikke lenger brukt til fjellsikring fordi de anses som usikre. Det bør være aktuelt å se på teknologi fra denne bransjen til fortøyningsbolter for havbrukskonstruksjoner.

Det må gjøres en vurdering på om det er forsvarlig å tillate flyt (varige deformasjoner) i bolten. I tillegg til faren for sprekkdannelse og reduksjon av tverrsnittsareal er en konsekvens av at bolten bøyes over fjellet at den samtidig kan trekkes opp av hullet. Dette kan igjen føre til at bolten sprenges ut av gysemassen, eller at kilen løsner fra bolten. En annen årsak til at bolter kan komme opp er utilstrekkelig herdetid på gysemassen før bolten blir belastet. Det er viktig at leverandørers retningslinjer for bruk følges.

Fullskalamålinger av krefter i fortøyningsystem

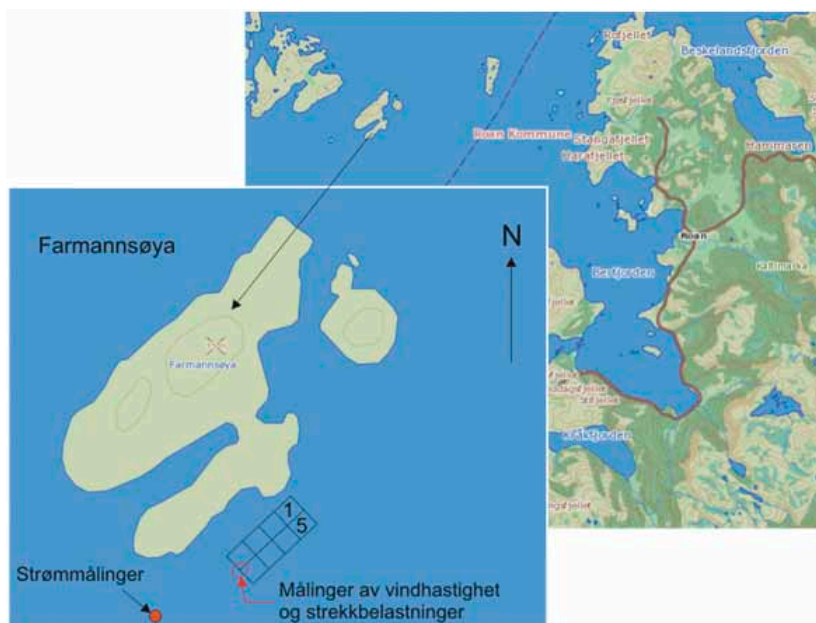
I forbindelse med prosjektet "Utvikling av sikre oppdrettsanlegg Fase 1" ble det målt krefter på ankerline, rammetau og hanefot i et oppdrettsanlegg for å bestemme belastninger fra vind, strøm og bølger¹². Vindhastighet og strøm i området ble også målt.

I forbindelse med lokalitetsklassifiseringen i 2005 ble maksimalverdien på strøm målt til 14 cm/s i retning NØ. I nyere lokalitetsrapport er strømverdiene justert opp etter samtale med driftsleder, som erfarte sterkere strøm på lokaliteten enn de målte verdiene i 2005. Strømverdiene på fem meters dyp ble oppjustert til 28 cm/s med dominant retning SV – NØ retning. Dette stemmer bedre med strømmålinger gjort i

prosjektet der den maksimale strømhastigheten ble målt til 23 cm/s i samme dominerende retning for tidsperiode 17. mars - 30. april 2008.

Figur 17 viser kraft, samt strøm- og vind målingene for hele måleperioden. Med unntak av en kort periode midt i så fungerte måleutstyret bra gjennom hele perioden.

De målte kreftene var relativt lave i store deler av perioden, men det var enkelte perioder hvor det ble målt større krefter. Disse sammenfalt med perioder med sterkere vind/strøm (se Figur 18), eller med operasjoner (se Figur 19) som ble utført på anlegget.

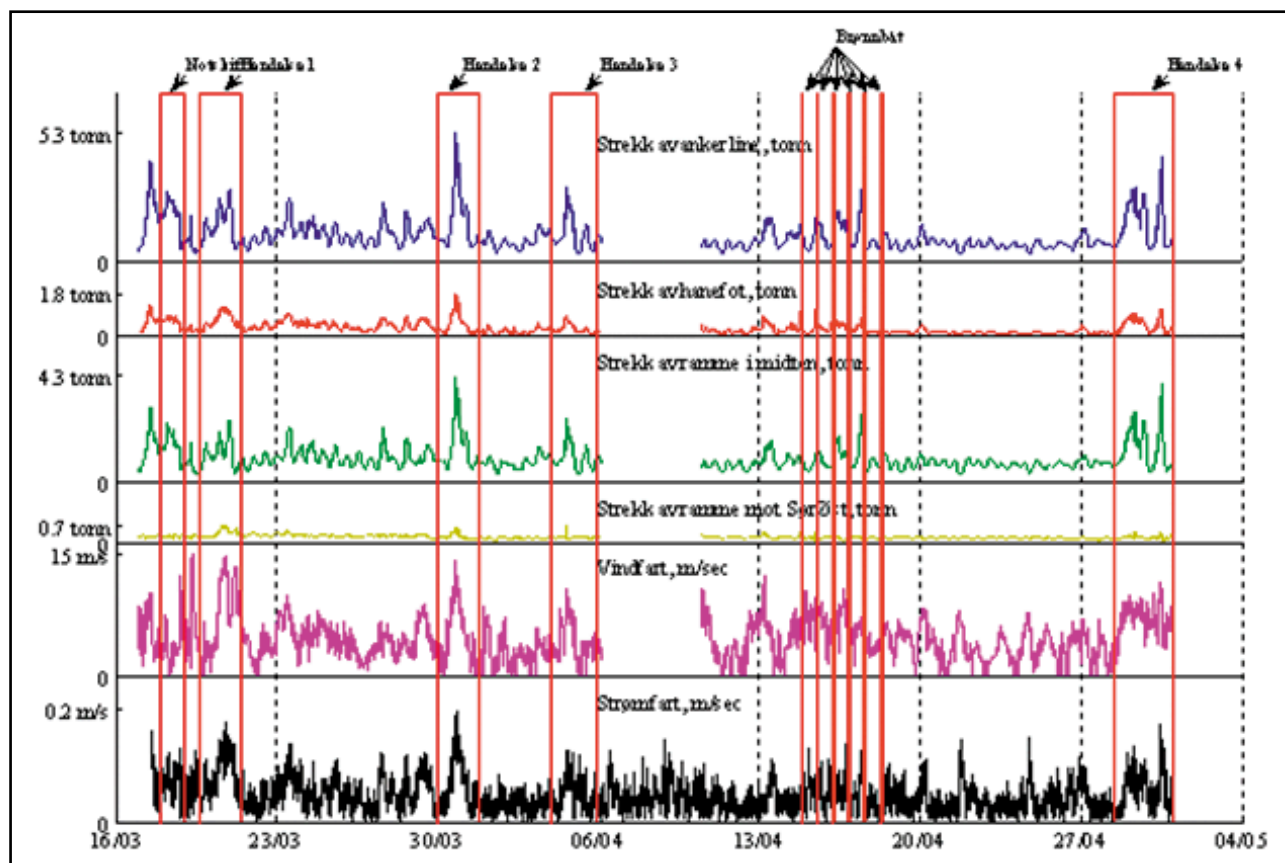


Figur 16 Salmar sitt anlegg ved Farmannsøya i Roan kommune, Nord-Trøndelag ble valgt som forsøksanlegg. Anlegget er et ringanlegg med 8 buer à 70x70 meter og lokaliteten fått lokalitetsklasse Db.

De målte belastningene lå godt under designverdiene som var beregnet i forankringsanalysen, noe som måtte forventes i og med at anlegget er designet for å tåle en storm med 10 års returperiode på strømmen. I løpet av måleperioden overskred ikke utnyttelsesgraden 0,37 for ankerline og 0,29 for rammetau.

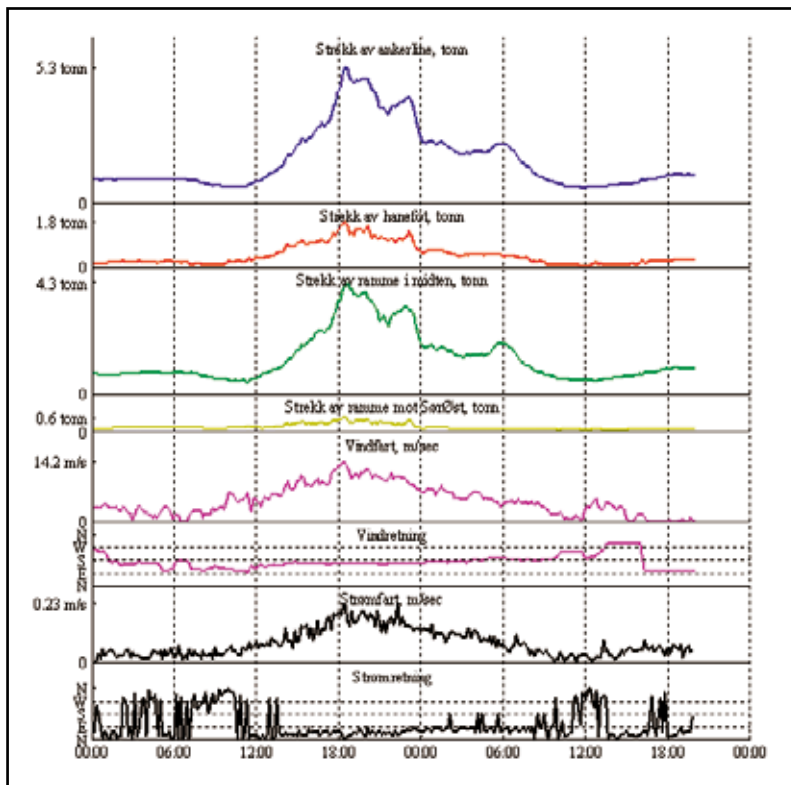
Akkrediterte sertifiseringsorganer ble invitert til å gjennomføre en forankringsanalyse basert på målte miljødata og krefter i anlegget¹³. To forskjellige miljøtilstander ble beregnet og resultatene er gjengitt i Figur 20 og Figur 21. De akkrediterte sertifiseringsorganene fikk en detaljert beskrivelse av anleggskonfigurasjon, samt opplysninger om strøm og vindhastighet. Bølgehøyde og periode skulle estimeres fra vindhastighet og strøklengde.

Konklusjonen er at de gjennomførte analytiske resultatene varierte mye sammenlignet med hverandre og i forhold til målte data, dog de har samme størrelsesorden. Det er ikke mulig å si om avviket skyldes forskjeller i reelle strøm/bølgeforhold eller svakheter i analysene. Det ble kun målt strøm i ett punkt og denne strømhastigheten ble antatt å virke på hele anlegget. Vindhastighet ble brukt til å estimere bølgehøyde, noe som er en potensiell feilkilde fordi det da er en mulighet for at bølgehøyden i analysene er høyere enn reell bølgehøyde. Det kan skje hvis vinden ikke har vart lenge nok til at fullt utviklet sjøtilstand er nådd.

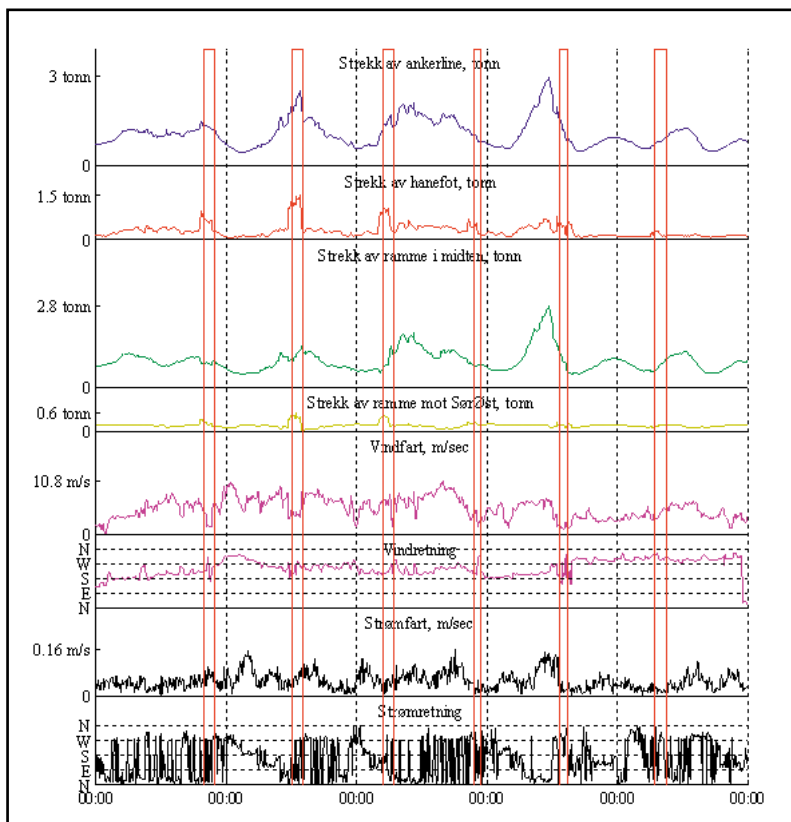


Figur 17 Det ble målt strekkklaster på opp mot 6 tonn i en ankerline mens gjennomsnittlig belastning lå på cirka 1,1 tonn. Sentralrammen hadde maksimal last på 5,3 tonn og middellast på 0,95 tonn. Den delen av ramme som går mot SØ hadde den minste belastningen og var for det meste slakk.

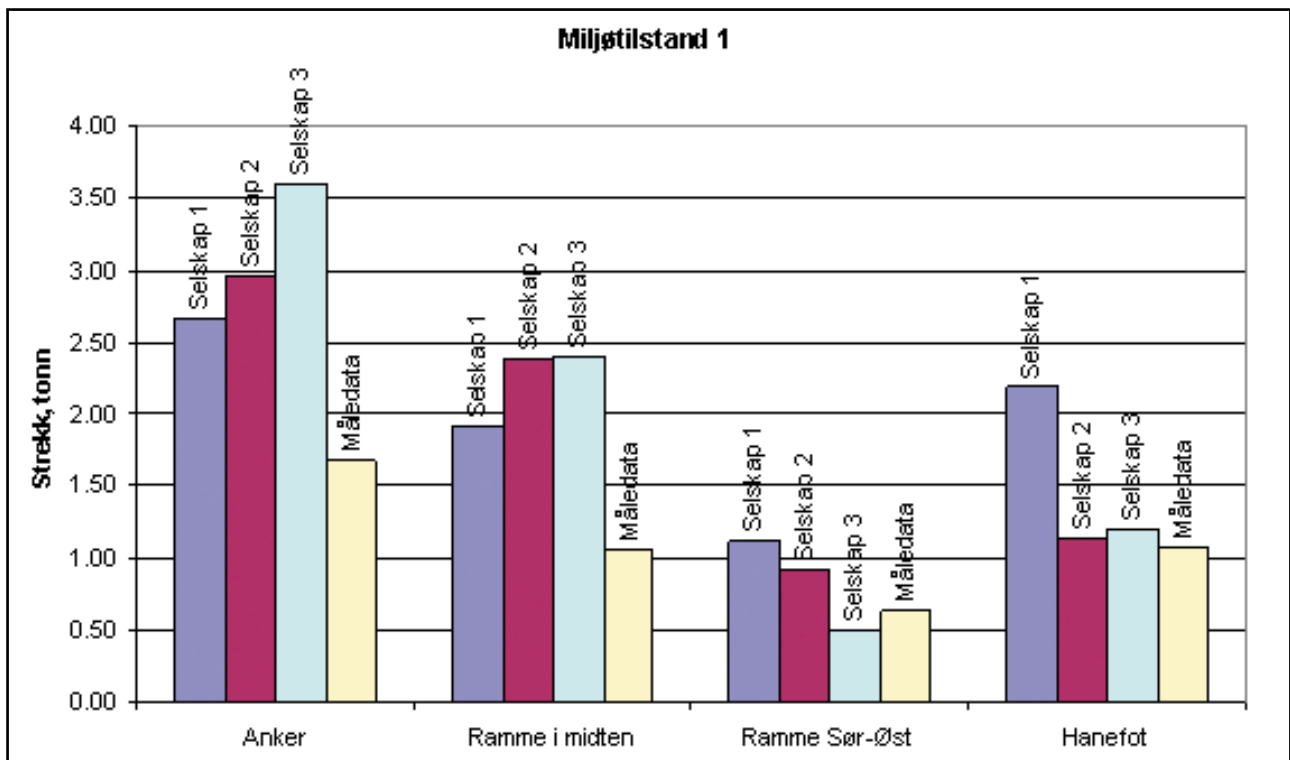
¹³ http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/sintef_rapport_sfh80_a096051-17022010.pdf



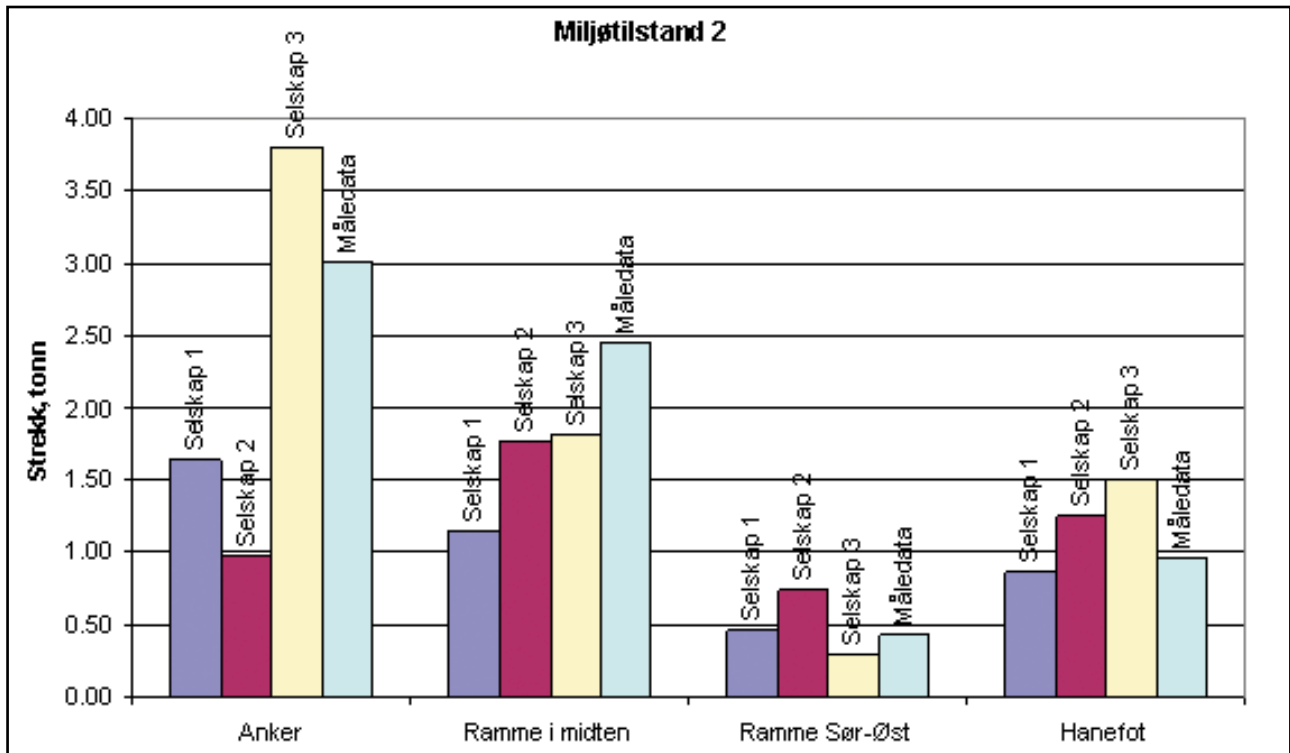
Figur 18 Strekk av ankerline, hanefot, sentral ramme og ramme mot SØ samt vindhastighet og strømhastighet fra 30.mars kl. 00, til 31.mars kl. 20. Dette er fra den perioden hvor den høyeste strømhastigheten ble målt. På samme tid ble det målt relativt store krefter i anlegget.



Figur 19 Strekk av ankerline, hanefot, sentral ramme og ramme mot SØ samt vindhastighet og strømhastighet fra 14. april kl. 00, til 19. april kl. 00. I denne perioden var det hyppige brønnbåtanløp. I følge loggboken for brønnbåten ble båten forankret i merdene flere ganger i løpet av perioden. Røde linjer i figuren avgrensner tidspunktene for brønnbåtanløp. Strekk på hanefot viste spesielt sterk påvirkning av brønnbåtankomstene, hvor belastningene ble 3 - 4 ganger doblet i forhold til andre perioder med lignende strøm og vindforhold.



Figur 20 For miljøtilstand 1 overestimerte alle analytiske verktøy strekkrefter både i ankerline og i ramme mot SØ med avvik mellom 26% og 129%. I og med at bølgemålinger ikke var tilgjengelige måtte selskapene estimere bølgehøyde og periode fra vindfart og strøklengde. Dette kan ha medført at bølgehøyden brukt i fortøyningsanalysen var forskjellig fra reell bølgehøyde på lokalitet ved måletidspunkt.



Figur 21 I miljøtilstand 2 var det noe overraskende flere tilfeller av at beregningene underestimerte det målte lastnivået. På grunn av et begrenset antall lastsjakler kunne ikke alle ønskelige krefter måles. Dette kan ha medført at en mulig forskjell i hvordan kreftene fordeles i ankerliner, rammetau og haneføtter ikke fanges opp.

¹⁴ http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/86014709_-_nter_med_hy_soliditet_-_modellforsk_endelig.pdf

NOT

Kreftene som virker på nota er som regel mange ganger så store som krefter på andre deler av anlegget. 2/3-deler av alle rømmingstilfeller og 2/3 av all rømt fisk skyldes hull i not.

I rømmingsprogrammet fase to ble det derfor jobbet med både krefter som virker på not, notdeformasjon og svekkelse av styrken til notlin.

Notdeformasjon og krefter

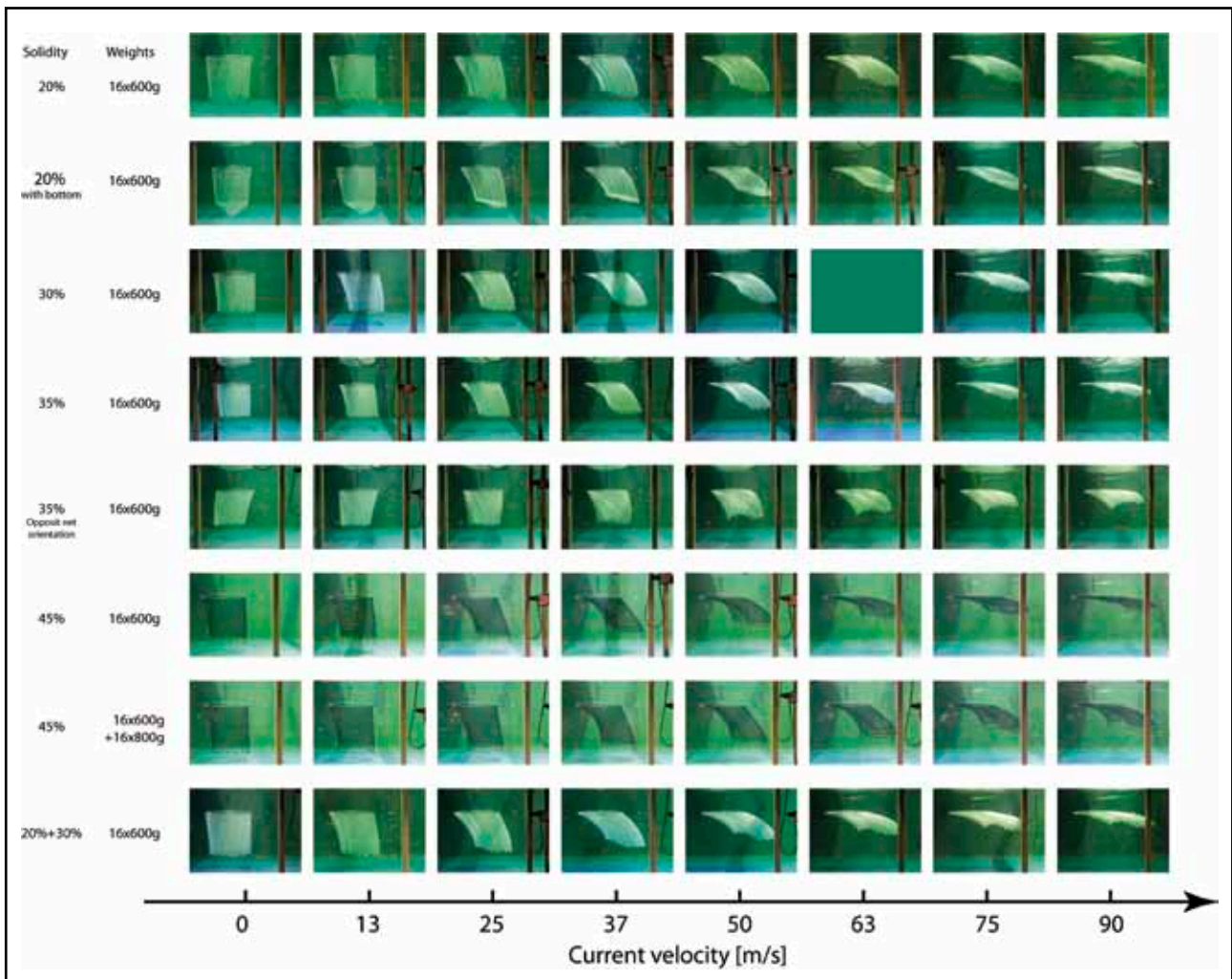
Forsøk på nøter av forskjellig soliditet ble gjort i flumetanken i Hirtshals. Formålet med testene¹⁴ var å validere de eksisterende modellene for krefter og deformasjon for høye soliditeter og høye strømhastigheter. Det var usikkert hvorvidt eksisterende analytiske modeller gir gode estimat av krefter på notlin med høy soliditet og ved høy strømhastighet.

Modellforsøkene viser at en økning i soliditet over 0,30 i dette tilfellet ikke ga en betydelig økning i dragkraft. Dragkraften er tilnærmet lik for nøter med soliditet på 0,30, 0,35 og 0,45 med lik nedlodning. Denne effekten fanges ikke opp av de numeriske analysene. Beregningene vha Morrisons ligning viser at ved en soliditet på 0,20 stemmer beregninger og modellforsøk godt over ens. I dette tilfellet kan man anta at det meste av vannet faktisk strømmer gjennom nota for hastigheter mindre eller lik 0,9 m/s. Når soliditeten økes til 0,30, ser vi at vi begynner å overestimere kreftene som virker på nota når hastigheten er høyere enn ca 0,6 m/s. Ved en

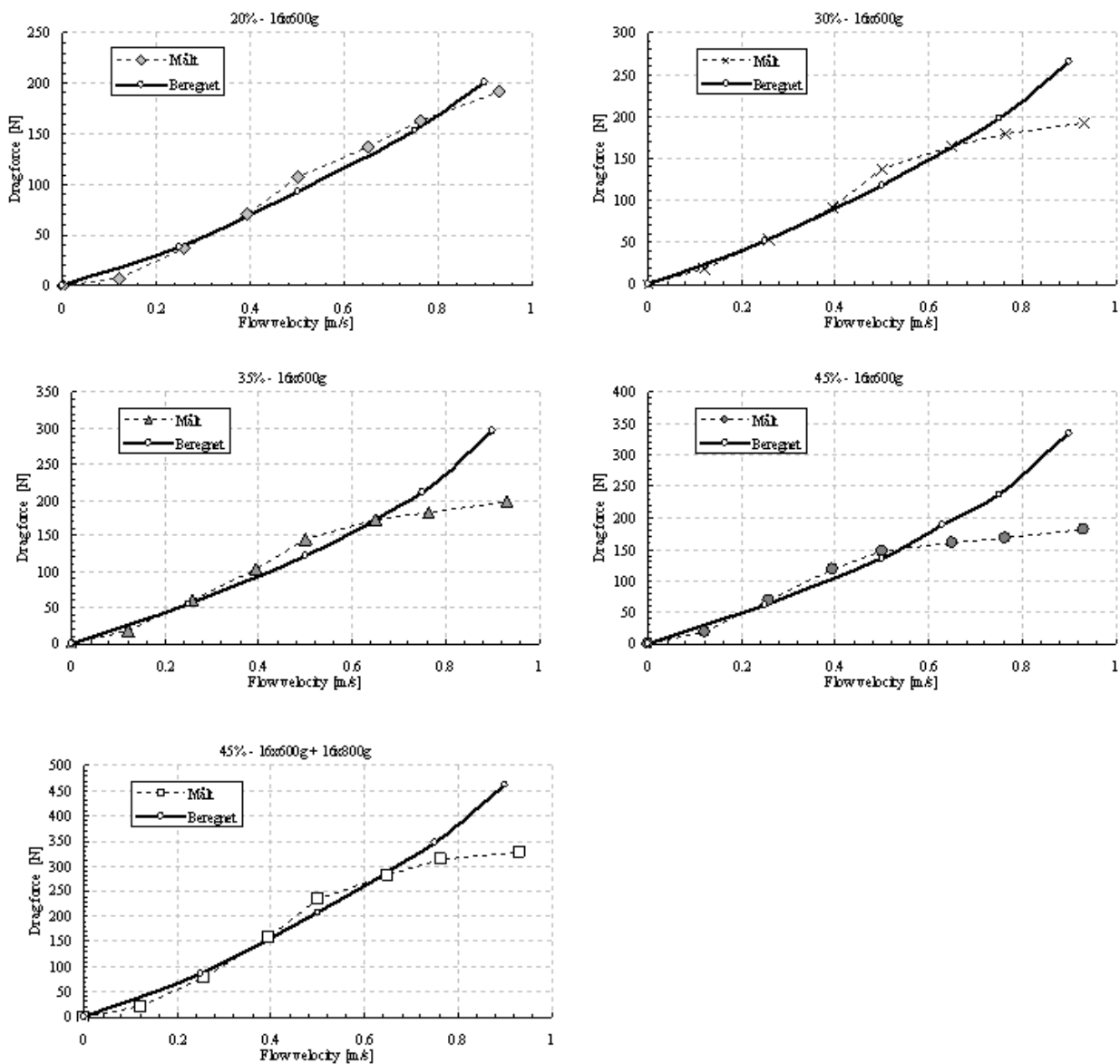
soliditet på 45 prosent overestimeres kreftene med over 80 % ved hastighet på 0,9 m/s. Dette medfører at dragkraften som beregnes i forbindelse med fortøyningsanalyser overestimeres.

Arbeidet med notdeformasjon og spesielt med tanke på gnag mot bunnringkjetting ble videreført i SECURE og Prevent Escape. I desember 2009 ble det gjennomført en serie med modellforsøk hos United States Naval Academy i Annapolis. Formålet med forsøkene var å vurdere hvorvidt forskjellige notdesign og valg av nedlodning kunne påvirke faren for gnag mellom utspilingsystem og not.

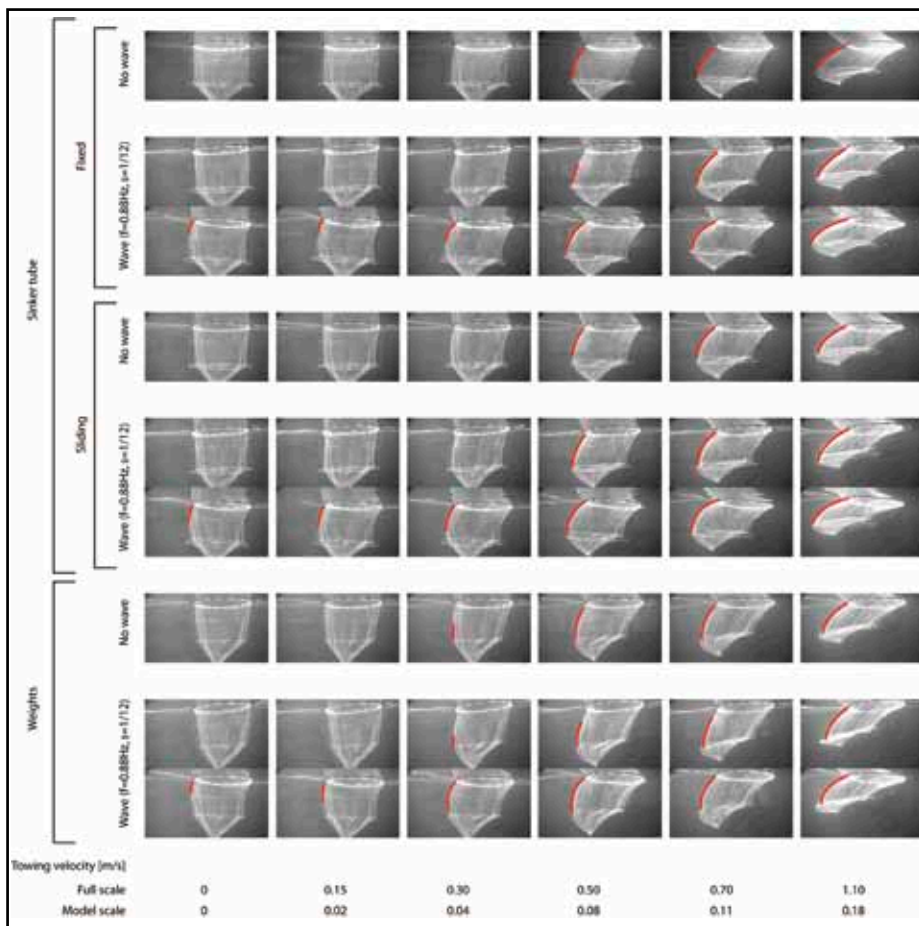
Forsøkene viste at faren for gnag er avhengig av både strømhastighet, notutforming og valg av nedlodning. Grunnet kort avstand mellom notvegg og utspilingsystem vil det uansett være en fare for kontakt og gnag, spesielt ved større strømhastigheter.



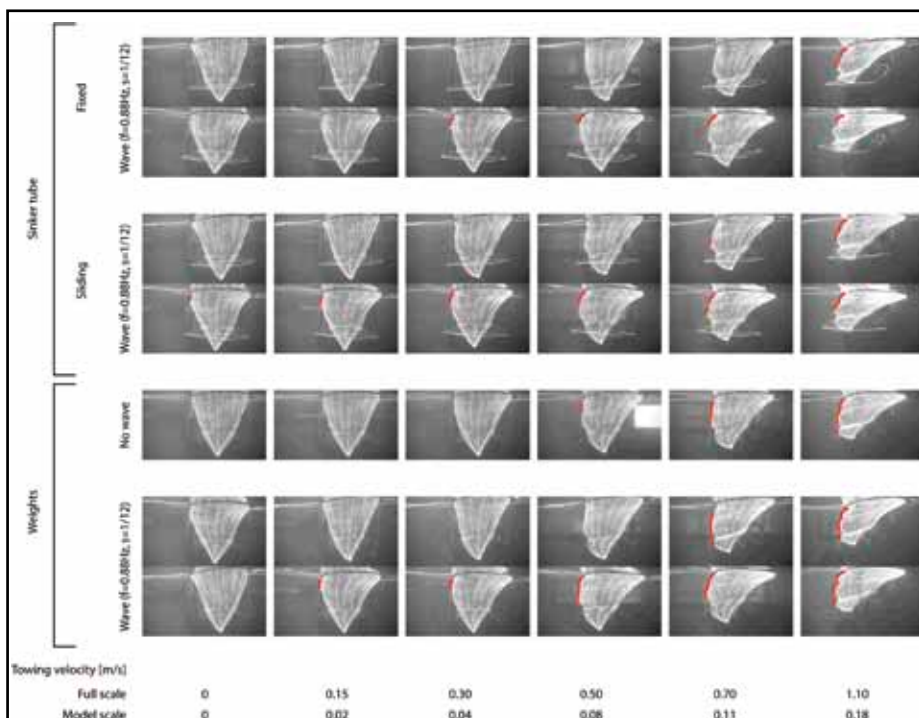
Figur 22 Deformasjon av nøter med forskjellige soliditet ved økende strømhastighet. Modellnøtene var i skala 1:29 og hadde en diameter på 1,75 m. Deformasjonen øker kraftig med økende hastighet og noe mindre for økende soliditet. Det er også tydelig at en økning i bunnvekt resulterer i betydelig mindre deformasjon.



Figur 23 Målt og beregnet kraft på nøter med forskjellig soliditet. For et stivt legeme (for eksempel en båt eller en sylinder) vil dragkraften være proporsjonal med kvadratet av hastigheten. For lavere hastigheter (under 0,4 m/s) vil dragkraften på nettmodellen også tilnærmet følge dette, men for høyere hastigheter flater kurven for forsøkene ut. Det er dermed tydelig at dragkraften på en fleksibel not ikke er proporsjonal med hastigheten i andre potens. Dette kommer av at noten deformerer seg og tiltar en annen form etter hvert som hastigheten øker. Samtidig vil også vannstrømmen rundt nota endres. Det er tydelig at den numeriske modellen ikke klarer å fange opp dette fenomenet til fulle, da kraften fortsetter å vokse tilnærmet kvadratisk med økende strømhastighet. En kvadratisk økning vil si at hvis hastigheten doubles så firedobles kraften (en tredobling av hastighet fører til en nidobling av kraft).



Figur 24 Notdeformasjon og fare for gnag mot bunnringkjetting for sylindrerformede nøter. Forsøkene viste at faren for gnag var noe større ved bruk av enkeltlodd enn ved bruk av bunnring. Om nota var festet til bunnringen eller via glidelodd til bunnringkjettingen hadde ingen innvirkning på sannsynligheten for gnag.



Figur 25 Notdeformasjon og fare for gnag mot bunnringkjetting for koniske nøter. Sannsynligheten for gnag mot bunnringkjetting ble redusert ved koning av nota. Dette skyldes antageligvis en økt avstand mellom notvegg og kjetting.

¹⁵ http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/svekkelse_av_notlin_pga_kontaktslitasje_endelig-20122010.pdf

¹⁶ http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/900098_ffh_faktaark_gnagslitasje-siste_versjon1.pdf

Notlin og styrkereduksjon

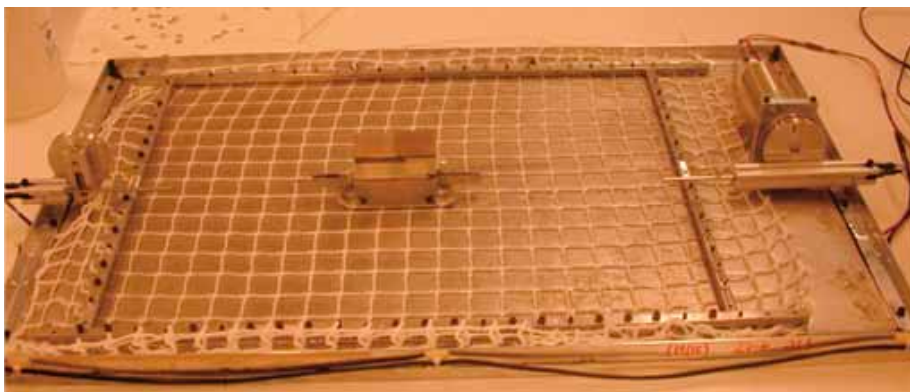
Gnag har vært en av hovedårsakene til hull i not, men det finnes i dag ingen anerkjente objektive testmetoder for å bestemme gnagmotstanden til notlin. Som en del av rømmingsprogrammet fase 2 ble det utviklet en testmetode som ble brukt for å bestemme gnagmotstanden til forskjellige typer notlin med og uten impregnering¹⁵. Stykker av notlin strekkes ut og senkes i vann mens en slede med ru meier trekkes over med gitt hastighet og varighet. På den måten kan man utsette forskjellige typer notlin for samme gnagslitasje og vurdere forskjell i gnagmotstand til forskjellige notmaterialer.

Notlin av nylon fra to forskjellige leverandører samt Dyneema not ble testet. Alle tre nøtene hadde samme maskestørrelse, maskestyrke for Nylon not 2 var ca 60 prosent høyere enn for nylon not 1, mens maskestyrken for Dyneema nota var ca 50% høyere enn maskestyrken til den sterkeste nylon nota. De to nylon nøtene ble testet i både impregnert og uimpregnert

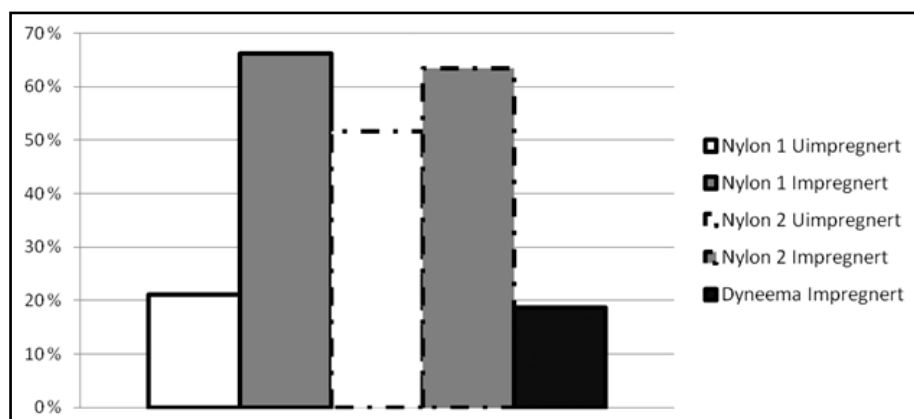
tilstand, mens Dyneema noten kun ble testet i impregnert tilstand. Samme impregnering ble brukt på begge nylon og Dyneema noten.

Testene viste store variasjoner i styrkereduksjon. I uimpregnert tilstand var styrkereduksjonen mer enn dobbelt så stor for nylon notlinet som hadde lavest maskestyrke i utgangspunktet. I impregnert tilstand var styrkereduksjonen den samme for begge nylon nøtene mens den var relativt mye større for impregnert Dyneema notlin. Forskjellen i styrkereduksjon er delvis relatert til forskjellig antall filamenter i de tre notlinmaterialene.

Sommeren 2010 ble Fiskeridirektoratet varslet om at det var oppstått hull i not i et anlegg. En nærmere undersøkelse¹⁶ viste at hullet skyldtes gnag fra bunnringkjetting mot notveggen. I løpet av relativt kort tid ble det oppdaget to hull, samt



Figur 26 Innspenning av notlin for påføring av gnag. Det abrasive elementet har tilnærmet samme ruhet som en galvanisert kjetting av typen som brukes for å feste bunnring til flyter.



Figur 27 Reststyrke for forskjellige typer notlin etter en time med påføring av gnag.

et område som viste klare tegn på gnagslitasje. Alle områdene var på lesiden av nota sett i forhold til dominerende strømretning, og i umiddelbar nærhet av bunnringkjetting

Etter at nota var tatt på land for inspeksjon ble det klippet ut stykker av nota rundt områdene med hull og synlig gnagslitasje. 256 maskestyrketester under, over og ved siden av hullet i det ene notstykket ble gjort i henhold til ISO 1806.

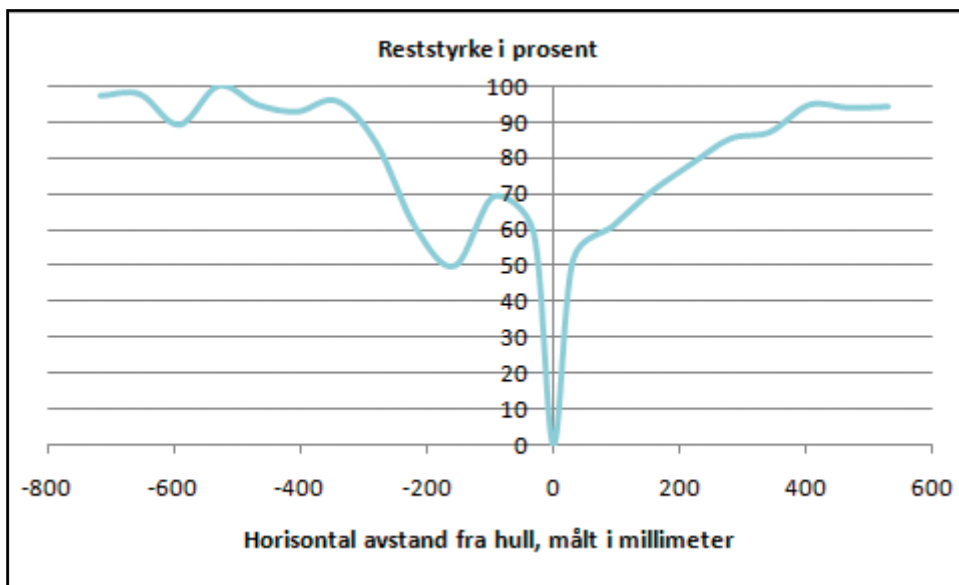
Som figuren viser øker styrken gradvis når man beveger seg horisontalt bort fra hullet og man når opp til cirka 80 prosent reststyrke ved en horisontal avstand på 200 – 300 mm fra hullet. Hullet oppstod like til høyre for stavtauet i nota som ligger utenfor notlinet og beskytter det mot gnagslitasje. Dette gjenspeiles i figuren hvor en ser en kraftig økning i maskestyrke cirka fem centimeter til venstre for hullet, før maskestyrken igjen synker utenfor det beskyttede området. Ved en avstand på cirka 250 mm. fra hullet har maskestyrken også på denne siden økt til et nivå på cirka 80 prosent av maksimum.

Basert på kartleggingen av reststyrke av notlin gjennomført i denne undersøkelsen, sammen med visuelle inspeksjoner av notlin utsatt for gnagslitasje ved tidligere rømmingstilfeller, virker det klart at slitasjen skjer over et relativt smalt område. Den vertikale utstrekningen varierer noe mer, men det er primært området midt på notveggen som er mest utsatt for gnag. Et mulig tiltak for å redusere faren for rømming på grunn av hull i not forårsaket av gnag fra bunnringkjetting, kan da være å sy inn relativt smale notstykker. Disse bør være cirka 1-1,5 meter brede, og plasseres i området nær bunnringkjettingen. Vertikal utstrekning av slitasjen varierer mer, og det anbefales å sy inn et notstykke som går fra hovedtau til bunntelne. Disse notstykkene bør sys inn på utsiden av nota, og kan dermed byttes ut hvis de viser tegn til slitasje når nota er inne til vask og inspeksjon. Notstykkene trenger ikke nødvendigvis settes inn ved alle bunnringkjettinger. Det bør vurderes ut fra hovedstrømretningene, og legges inn i lesida av nota. Hvis det observeres at begroingen slites vekk som vist i Figur 28 bør det iverksettes tiltak umiddelbart.

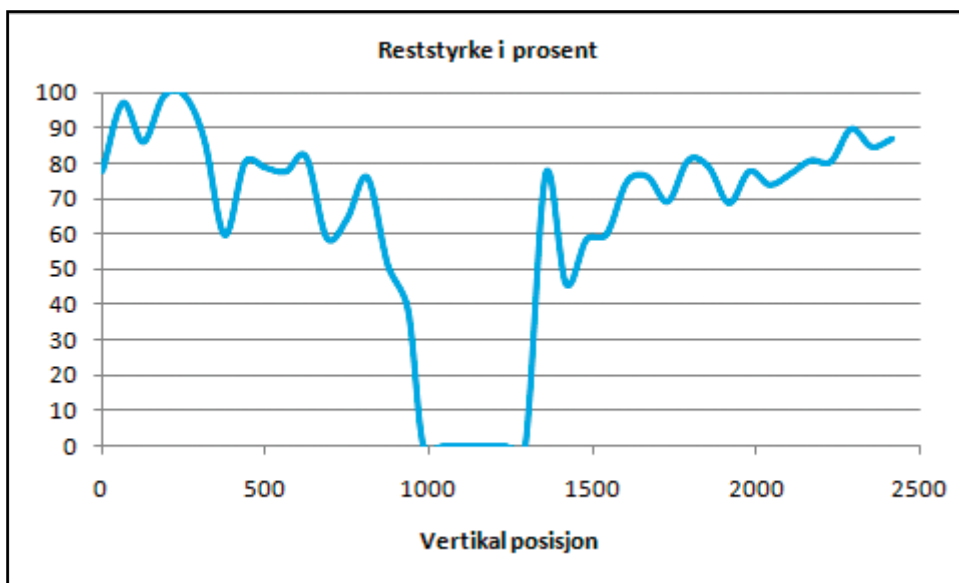


Figur 28 Not med synlig slitasje fra bunnringkjetting.

Foto: Fiskeridirektoratet



Figur 29 Gjennomsnittlig reststyrke til notlin på begge sider av hullet. For hver horisontale avstand ble maskestyrken testet ved flere vertikale posisjoner.



Figur 30 Vertikal variasjon av reststyrke til notlin i et vertikalt snitt gjennom hullet. Figur 5 viser vertikal variasjon i reststyrken til notlinet langs en linje gjennom hullet. Som figuren viser var hullet ca. 400 mm i utstrekning, mens slitasjen hadde svekket notlinet over et betraktelig mye større område i vertikal retning.

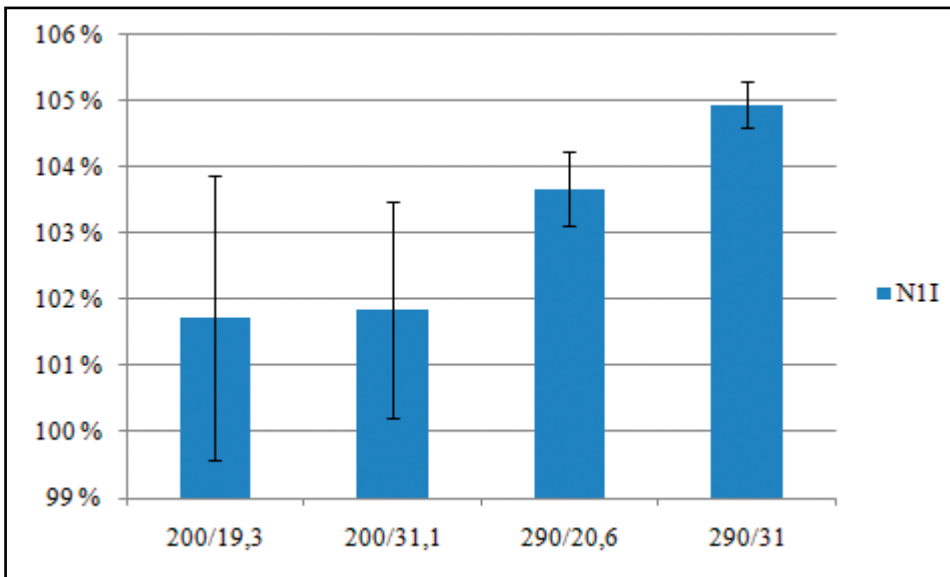
Høytrykkspyling

For å fjerne begroing på nota blir det i dag ofte brukt spesialutviklede vaskeskiver som spylet notlinet med vann under høyt trykk¹⁷. Notleverandører og oppdrettere har hatt mistanke om at vaskingen med slike vaskeskiver kunne skade notlinet.

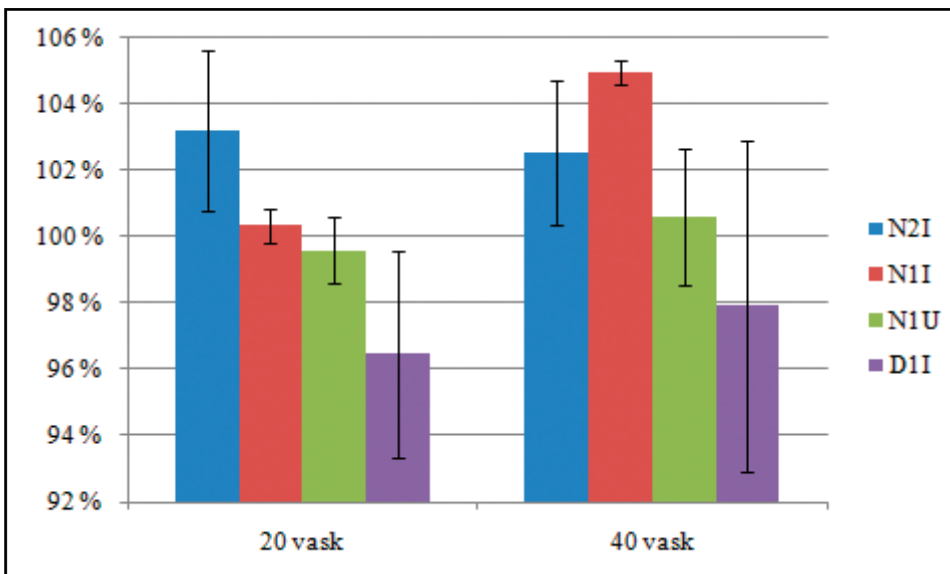
Notlinet av nylon fra to forskjellige leverandører ble testet. Notlinet fra leverandør 1 hadde en halvmaskevidde på 25 mm., og var av tråd #32, mens notlinet fra leverandør nummer 2 hadde en halvmaskevidde på 25,5 mm., og var av tråd #36. Notlinet fra leverandør 1 (N1) ble testet både i ubehandlet og i impregnert tilstand, mens notlinet fra leverandør 2 (N2) kun ble testet i impregnert tilstand. Det ble også testet notlinet med Dyneema fiber (D1). Dette linet hadde en maskevidde på 22,5 mm., og var av tråd #23 og ble kun testet i impregnert tilstand. Forsøkene ble delt opp i to serier. I serie 1 ble antall vask variert, mens det i serie 2 ble brukt forskjellige kombinasjoner av vanntrykk og vannmengde. Etter at notlinet var blitt vasket ble det utført maskestyrtester for å vurdere om styrken var blitt redusert.

I Figur 31 og Figur 32 blir resultatene fra testene oppsummert som forholdet mellom styrken til vasket notlin og referansetestene. En styrke på 1,0 tilsvarer med andre ord ingen endring i styrke, mens styrke mindre enn 1,0 tilsvarer en reduksjon, og styrke større enn 1,0 tilsvarer en økning i styrke. I tillegg til gjennomsnittlig maskestyrtstyrke er også standardavviket presentert for å vise variasjonen i styrke. Som figurene viser er endringen i styrke ubetydelig, selv etter 40 vask ved høyeste trykk og største vannmengde. Det var av tidsmessige årsaker ikke mulig å la notlinet bli begrodd mellom hver vask, noe som kan ha hatt noe innflytelse på resultatene. Begroing i form av for eksempel blåskjell vil muligens kunne redusere styrken til notlinet når de spyles løs, forutsatt at de får vokse til en størrelse hvor de er såpass store og robuste at de kan kutte filamenternår de spyles av. Basert på resultatene er det lite sannsynlig at høytrykkspyling skader notlinet. Dette forutsetter naturligvis at utstyret som brukes er tilpasset oppgaven og brukes riktig. Ved et par av de kjente tilfellene hvor not har blitt skadet og fisk har rømt i forbindelse med høytrykkspyling har det skyldtes feil bruk, eller at vaskeskivene har hektet seg fast i nota og revet hull når den løftes med nokke eller kran.

¹⁷ http://www.fiskerifond.no/files/projects/attach/hytrykkspyling_notlin_endelig.pdf



Figur 32 Relativ styrke etter 40 vask med forskjellig kombinasjon av vanntrykk og vannmengde.



Figur 31 Relativ styrke etter 20 og 40 vask for forskjellig notlin.

REFERANSER/ACKNOWLEDGEMENT

Mesteparten av arbeidet som her ble presentert har blitt utført i følgende FHF-finansierte prosjekter:

- Gjennomgang av tekniske krav til oppdrettsanlegg (#543011-1)
- Utvikling av sikre oppdrettsanlegg (#543024)
- Utvikling av sikre oppdrettsanlegg: Fase 2 (#900192)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

Guolástus- ja mearrageavahanealáhusa dutkanfoanda
The Fishery and Aquaculture Industry Research Fund

Tollbugata 32
Postboks 429 Sentrum
0103 Oslo
Telefon: 23 89 64 08
Telefaks: 23 89 64 09
E-post: post@fhf.no
www.fhf.no

Kontaktpersoner:

Kjell Maroni, Fagsjef FoU havbruk, FHF. E-post: kjell.maroni@fhf
Østen Jensen, Seniorforsker, SINTEF. E-post: Osten.Jensen@sintef.no

Design: Treehouse

Trykk: GRØSET™

Denne trykksaken er produsert etter miljøstandarden Svanemerket.

