





SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Havbruksteknologi

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

Anker og holdekraft
Fullskala forsøk

FORFATTER(E)

Erik Høy, Svein Martinsen

OPPDRAKSGIVER(E)

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

RAPPORTNR.	GRADERING	OPPDRAKSGIVERS REF.	
SFH80 A106029	Åpen	Terje Flatøy	
GRADER. DENNE SIDE	ISBN	PROSJEKTNR.	ANTALL SIDER OG BILAG
Åpen	978-82-14-04945-9	860147	13
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.)	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.)
Rapport_fullskala.doc		Ulf Winther	Østen Jensen
ARKIVKODE	DATO	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.)	
	2010-04-07	Arne Fredheim	

SAMMENDRAG

SINTEF Fiskeri og havbruk AS gjennomførte fullskala forsøk med ankere til havbruksanlegg i uke 41, 2009. Anker fra fire ulike leverandører ble testet i fullskala og holdekraft ble dokumentert. Forsøkene ble gjennomført nord for Frøya ved hjelp av fartøy fra Namsos Dykkerselskap og Taubåtkompaniet. Prosjektet utgjorde en del av FHF-prosjektet "Utvikling av sikre oppdrettsanlegg – Fase 2 Arbeidspakke III: Anker og holdekraft (nr 900192)".

Resultatene indikerer at det er store forskjeller mellom de ulike ankerene når det gjelder egenskaper ved gjennomtrengning og innfesting i bunnsedimentet. Ankertypene skiller i egenskaper ved hvor enkelt de finner feste, hvordan de graver seg ned i sedimentet og hvor lett de kan rives ut av sedimentet. Holdekraft målt på de ulike ankertypene var ikke i samsvar med hva som oppgis av de ulike leverandørene.

Målte avvik i holdekraft kan tilskrives at bunnforholdene ved lokaliteten hadde innslag av grov stein og noe berg, slik at en del anker ikke trengte skikkelig ned og ble delvis eller helt deformert. Erfaringene fra forsøket viser at kunnskap om faktiske bunnforhold er viktig før man velger ankertype og før ankersetting. Resultatene viser også at ustabilitet og små avvik i dragretning kan gi utslag i deformasjon og i verste fall brudd i anker. Større vindstyrke og bølgehøyde bør derfor unngås ved setting av anker.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Akvakultur	Aquaculture
GRUPPE 2	Forankring	Mooring
EGENVALGTE	Anker	Anchor
	Holdekraft	Holding power

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	3
2	Materiale og metode.....	3
2.1	Lokalitet	3
2.2	Utstyr.....	4
2.3	Organisering og gjennomføring.....	6
2.4	Ankerleverandører	7
2.5	Resultatformidling	8
3	Resultater	8
4	Diskusjon.....	12
5	Konklusjon:.....	13

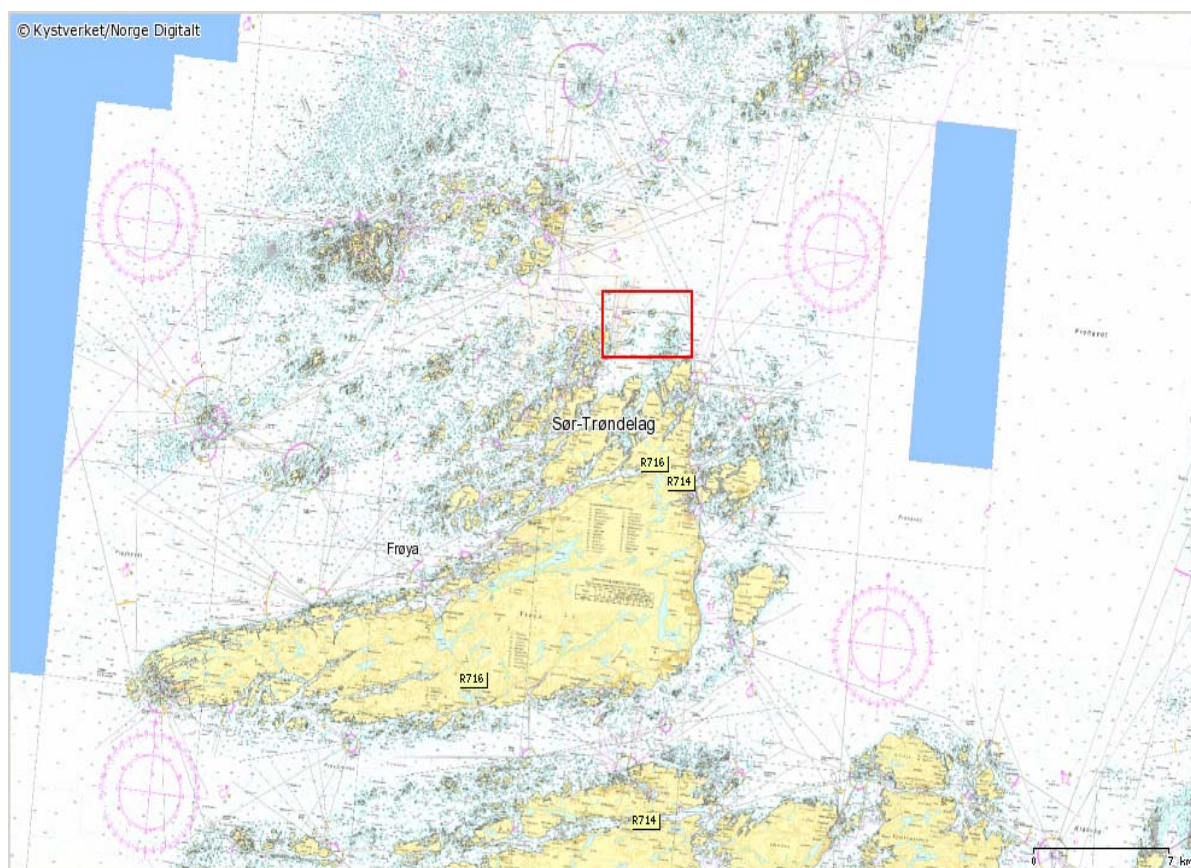
1 Innledning

Aktiviteten er en del av prosjektet “Utvikling av sikre oppdrettsanlegg – Fase 2, Arbeidspakke III: Anker og holdekraft”. Oppdragsgiver er Fiskeri – og havbruksnæringsens forskningsfond.

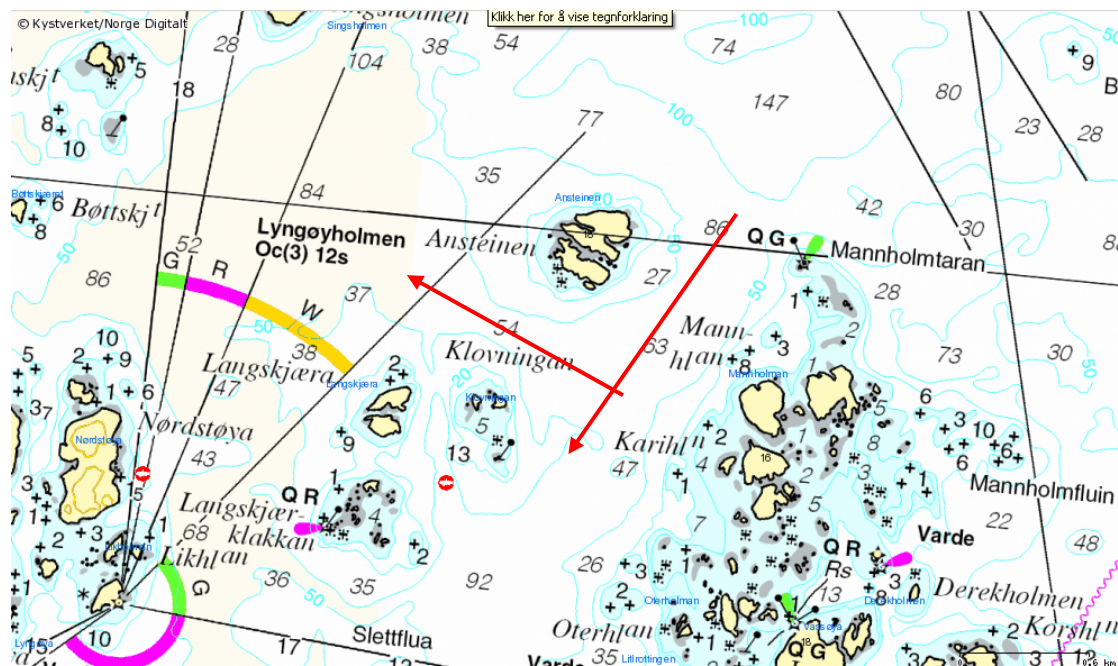
2 Materiale og metode

2.1 Lokalitet

Lokalitet for fullskalaforsøkene ble valgt ut av Knut Reitan fra Midt Norsk Akvaservice, i samarbeid med Anders Sæther fra Marine Harvest. Det ble lagt vekt på å finne et flatt område med homogen sandbunn lokalisert i Frøya-Hitra-regionen. Området som ble valgt, ligger like nord for Norddyrøy ved Frøya (fig. 1 og fig. 2). Forsøkene ble gjennomført i uke 41, etter flere utsettelse på grunn av ugunstige værforhold. Første forsøksdag ble gjennomført med noe vind og bølgehøyde som følge av noen vindfulle dager i forkant, mens andre forsøksdag ble gjennomført med smulere sjø. Bunnforholdene ved testlokaliteten viste seg å være mindre homogent enn først antatt, med jevnlig innslag av større stein og sannsynligvis også noe berg.



Figur 1. Forsøksområdet er markert med rød firkant rett nord for Frøya.



Figur 2. Dragretning for ankerforsøk. Linjene markerer etter hvilken hovedretning ankrene ble trukket (SV og VNV).

2.2 Utstyr

De praktiske forsøkene ble gjennomført i samarbeid mellom to fartøy, Namsos Dykkerselskap sin servicebåt "Frigg" og Taubåtkompaniets slepebåt "Boa Hårek" (figur 3 og 4). "Boa Hårek" er tidligere benyttet i slike testdrag for oppdrettsankere, men ønsket ikke å sette / ta opp anker på grunn av risiko for å få tau i propellen. Med bakgrunn i dette ble det derfor besluttet å benytte en ekstra servicebåt. "Frigg" yter lignende serviceoppdrag til daglig i næringen og var det fartøyet som var tilgjengelig akkurat i denne perioden. Det ble lagt vekt på å benytte fartøy med erfaring og kunnskap vedrørende ankersetting og testing. I tillegg benyttet man Knut Reitan fra Midt Norsk Akvaservice AS som rådgiver under ankertesting. Servicebåten "Frigg" festet ankrene som utgangspunkt for trekkeprøvene, samt hevet og inspiserte dem for skade etter drag og resetting etter løsriving fra bunnen. "Frigg" gjennomførte også en dokumentasjonsrunde med ROV i området etter ankerforsøket for å dokumentere hva slags bunnforhold forsøkene hadde foregått på.

"Boa Hårek" gjennomførte selve holdekraftforsøkene ettersom dette fartøyet har langt større trekk kraft (45 tonn) enn det som var tilfelle for servicebåten "Frigg".



Figur 3. Servicebåten "Frigg" fra Namsos Dykkerselskap under operasjon.



Figur 4. Taubåtkompaniets slepebåt "Boa Hårek".

2.3 Organisering og gjennomføring

Gjennomføringen av forsøkene ble i forkant planlagt av deltagende partner, representert ved Knut Reitan (Midt Norsk Akvaservice AS), Erik Høy, Egil Lien, Svein Martinsen (SINTEF Fiskeri og havbruk), samt mannskapet på de assisterende båtene "Frigg" og "Boa Hårek". Geir Furberg (Aqualine AS) var også tilstede under planleggingen.

Forsøkene ble organisert slik at fartøyene arbeidet etter tur med et anker av gangen. Ankeret ble først satt av "Frigg" og dratt fast i bunnen. For å begrense mengden løst tauverk i sjøen samt redusere faren for å få tau i propellene, ble det ikke benyttet egen opphaler.

Ankrene ble derfor satt i liten fart forover med maskinen koblet inn for å sikre at de skulle gå ned riktig vei på bunnen. Da ankeret hadde festet seg tilfredsstillende, ble ankerrossen sluppet med en blåse på kausen, slik at det lett kunne plukkes opp av taubåten. "Frigg" benyttet tiden mens taubåten gjorde dragforsøk, til å ta opp anker som var ferdig testet, eller å sette ut nye anker. På den måten var begge fartøyene i arbeid kontinuerlig og det ble kun anvendt to ankerrosser med kjetting til alle forsøkene.

Alle ankrene ble satt i samsvar med et anbefalt 1:3 forhold mellom dybde og ankerline. Det ble brukt ett lås kjetting (kortet inn til 27,5 meter, 30mm) på ankerrossene (220 meter, 56mm tau). Før utstrekking målte ankerrosse og kjetting til sammen ca. 250 meter, under strekk noe mer. For beregninger i rapporten er det brukt 270 meter som utgangspunkt. Ved fullstendig løft på hele kjettinglengden tilsvarer det en vinkel på 18,5 grader mellom ankerrossen og horisontal bunn.

De ulike ankertypene ble utprøvd langs en av de to linjene markert på kartet i figur 2. Det ble lagt vekt på å forsøke å sikre at ankrene ikke skulle gå i samme furen langs bunnen eller krysse opprotet bunn og derfor ble alltid neste anker satt ned litt til siden for det forrige. Dette ble sjekket opp mot GPS koordinater. Det ble antatt at de to retningene representerte like bunnforhold og lignende stigning. Ankrene ble trukket i svak oppoverbakke for begge retningene og det var tilfeldig hvilke ankre som ble dratt i hvilken retning.

Mannskapet på servicebåten kommuniserte til taubåten hvilket anker som var i sjøen, den nøyaktige ankerposisjonen i form av GPS - koordinater og den planlagte trekkeretning. Om bord i taubåten ble posisjon for ankeret lagt inn på GPS som waypoint og forskyvning av ankeret langs bunnen, og fartøyets trekkretning og vinkel ble så lagret i form av GPS slepespor mens trekkeoperasjonen pågikk. Lasten i ankerrossen ble dokumentert i form av avleste verdier fra lastcellen (Straightpoint Radiolink plus 100 tonn) som var montert mellom slepekroken i fartøyet og ankerrossen (fig. 5). Lastcellen ble kalibrert i juni 2008 og dokumentasjon på dette forelå sammen med instrumentet.



Figur 5. Lastcellen montert i koblingen mellom ankerrossen og wireløkke fra slepekrok

Ankrene ble fotografert før utsett og etter forsøk så godt det lot seg gjøre på dekket av servicefartøyet og på kai. Spesielt fokus ble lagt på å dokumentere skurestriper i stål og maling som tegn på grad av nedgraving. Eventuelle bruddflater, utbøyninger og andre deformasjoner ble også dokumentert ved hjelp av foto.

Etter endt forsøk ble det gjort en undersøkelse av bunnen der forsøkene var blitt utført, med tanke på å avdekke et dypere tverrsnitt av sedimenter som var blitt veltet opp av ankrene. Bunn sedimentets art er viktig ettersom dette utgjorde arbeidsbetingelsene til ankrene under forsøkene. Undersøkelsen ble gjort med ROV og lagret som videofilm for senere analyser.

2.4 Ankerleverandører

Et utvalg av produsenter av fortøyningskomponenter til havbrukssektoren ble forespurt om deltakelse i prosjektet. Til dette forsøket leverte fire leverandører til sammen 10 ankertyper (tab.1). Ankrene i forsøkene varierte i utforming fra nedskalerte ankre anvendt i offshoresektoren, et tradisjonelt patentanker i støpegods, tradisjonelle ploganker med enkel stokk og flat fluke med enkel tann, enkelt stamme med flat, dobbelt tannet fluke og tre ulike varianter av anker med dobbel stamme og multivinklet, dobbelt tannet fluke.

Tabell 1. Oversikt over de ulike ankrene som ble benyttet i forsøkene.

<i>Ankertype</i>	<i>Vekt i luft</i>	<i>Type, beskrivelse</i>
1	500 kg	Dobbel, bred stamme. To tenner, dobbelt bunn med bly i fluken. Nedskalert offshoreanker.
2	700 kg	Enkel stamme med stokk. En tann, flat fluke. Ploganker.
3	700 kg	Dobbel stamme. To tenner, dobbelt bunn i fluke, komplisert geometri. Nedskalert offshoreanker.
4	800 kg	Dobbel, smal stamme. To tenner, vinklet fluke.
5	1000 kg	Dobbel, bred stamme. To tenner, bukket fluke.
6	1000 kg	Enkel stamme med stokk. En tann, flat fluke. Ploganker.
7	700 kg	Enkel stamme. To tenner, flat fluke med to små sidevinger.
8	1200 kg	Dobbel, smal stamme. To tenner, vinklet fluke.
9	1200 kg	Enkel stamme. To tenner, flat fluke med to små sidevinger.
10	1500 kg	Enkel stamme, støpejern. To tenner, hengslet fluke. AC 14 Patentanker.

2.5 Resultatformidling

Dokumentasjon av holdekraft og andre egenskaper for de testede ankertypene, er oversendt de ulike leverandører. Informasjonen fra prosjektet er vurdert som sensitiv. Data i denne rapporten er derfor anonymisert.

3 Resultater

Alle ankrene ble satt på mellom 63 og 83 meters dyp, med de fleste mellom 65 og 70 meter og med vel 250 meter ankerline var det godt i samsvar med det anbefalte forholdet 1:3 mellom dybde og ankerline. Den gjennomsnittlige stigningen langs bunnen for de to trekkretningene var 1-2 grader. I starten av draget ble det brukt lite motorkraft og dermed kan vi regne med at kjettingen hang ned og vi hadde et drag mer eller mindre parallelt med bunnen. Ved maksdrag opp mot 20 tonn antar vi at kjettingen nærmest ble fullstendig løftet og at ankeret da ble utsatt for et drag omlag 15 grader opp fra bunnen.

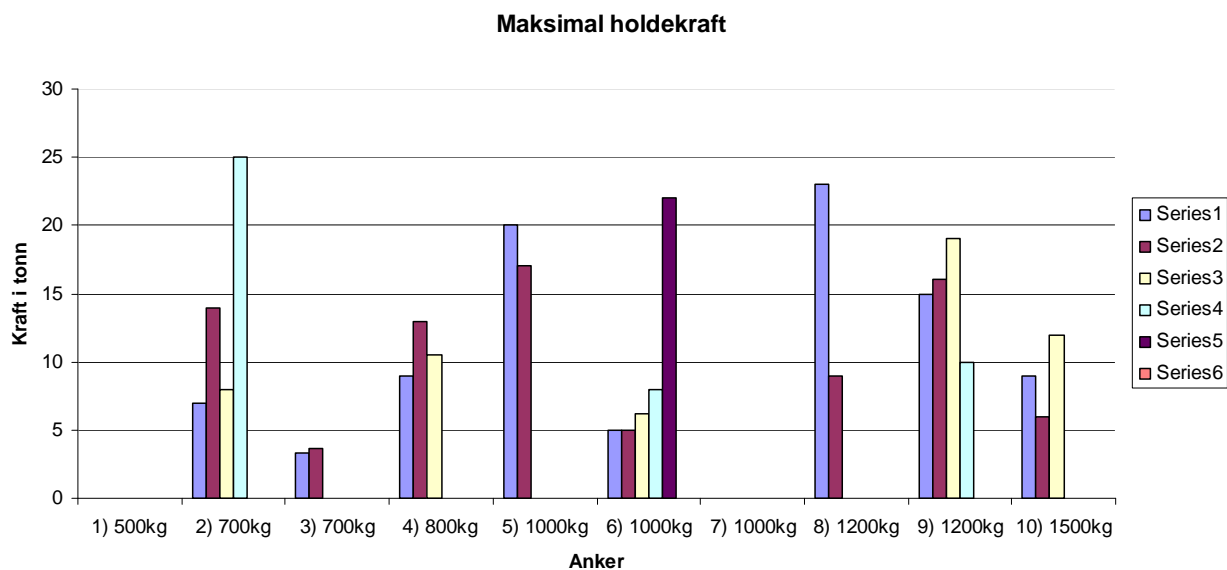
Den målte holdekraften hos de ulike ankrene er vist i tabell 2. Det ble erfart svært stor variasjon i holdekraft hos de ulike ankrene (fig. 6), og også stor variasjon i gjennomtrengnings- og innfestningsevne. Enkelte av ankrene viste gode egenskaper til å finne nytt feste etter at de var revet ut av sedimentet og har derfor flere maksimalverdier for holdekraft (tab. 2). Disse verdiene var likevel et godt stykke unna holdekraft spesifiserte fra leverandøren. Andre anker veltet opp igjen, noe som medførte brått tap av holdekraft. To av ankrene festet seg ikke i bunnsedimentet overhodet, noe som nok skyldtes den lite homogene partikkelsammensetningen i havbunnen (fig. 7). Ved hjelp av ROV ble det avdekket en vesentlig grovere bunnsedimentstruktur enn først antatt. En del anker fikk også bøyd ankertenner som følge av innslag av større steiner eller berg i sedimentet (fig. 8), slik at det ikke var mulig å gjennomføre triplikate forsøk for alle ankrene som planlagt.

På grunn av strøm og vind fra siden og begrenset manøvrerbarhet på slepebåten under drag, ble det enkelte ganger en del avdrift til siden under slep. Det førte til at noen ankre ble utsatt for skjevdrag i forhold til den strekkretningen det opprinnelig var satt fast. GPS - plottene viser at dette skjevdraget initielt ofte lå opp mot 20 grader vekk fra settelinja, men var enkelte ganger oppe i omlag 40 grader. Etter at ankeret ble dratt ytterligere ned kunne også slepebåten drifte

sideveis i vinden slik at ankeret ble utsatt for ytterligere skjevdrag på opptil 20 grader men vanligvis ikke mer enn 10 grader.

Tabell 2. Oversikt over de ulike ankrenes holdekraft og kommentarer til resultatene.

Anker	Maks drag (tonn)						Sette dybde	Setteposisjon	Kommentarer
1) 500kg								Festet ikke, for bratt vinkel på fluke?	
2) 700kg	7	14	8	25			65m	63° 49.709 8° 45.984	Satt godt, jevn dregging. Aldri skikkelig slipp. Røyk i stammen etter feste i berg? (vridd bruddflate)
3) 700kg	3	4					63m	63°49.696 8°46.074	Festet dårlig, ble revet ut og snudd på rygg. Stammen bøyd og ville ikke sette seg igjen
4) 800kg	9	13	11				70m 73m 68m	63°49.798 8°46.410 63°49.852 8°45.507 63°49.801 8°46.434	Velter opp og snur seg, brått tap av holdekraft. Det ble noe skeivdrag her. Legger seg på ryggen og snur seg ikke når det først er revet ut av bunnen.
5) 1000kg	20	17					69m	63° 49.708 8° 45.866	Fikk ikke 100% feste, dregget sakte bortover langs bunnen, men gikk godt ned i sedimentet. Røyk i stammen
6) 1000kg	5	5	6	8	22	12	83m 66m	63°49.774 8°46.501	Gikk godt ned. Nesten fullstendig under. Ble hindret av feil vinkel på distansestykke i stammen?
7) 700 kg									Festet ikke, for bratt vinkel på fluke?
8) 1200kg	23	9					66m	63°49.714 8°45.778	Festet veldig bra med en gang og ble revet ut på høy kraft, ble sannsynligvis ødelagt da. Brakk stammen ved andre forsøk.
9) 1200kg	15	16	19	10			68m 70m	63°49.793 8°46.470 63°49.803 8°46.475	Velter opp og snur seg. Godt feste før det. Virker stabilt når det går ned, men vi opplever brått tap av feste.
10) 1500kg	9	6	12				69m	63°49.709 8°45.854	Festet stabilt. Noe lav holdekraft. Dregger tilsynelatende jevnt bortover i bunnen.



Figur 6. Diagram over de ulike ankrenes holdekraft målt som den maksimale oppnådde kraft før ankeret ble revet ut av bunnen.



Figur 7. ROV bilder fra havbunnen ved testlokaliteten, som viser innslag av stein i bunnsedimentet.



Figur 8. Eksempel på deformasjon av ankertenner som følge av møte med stein i bunnsedimentet.

4 Diskusjon

Resultatene viser at det er store forskjeller mellom de ulike ankrene når det gjelder egenskaper på bunnen. De ulike ankertypene viser stor variasjon i hvilken grad de finner feste, hvor stabilt ankeret virker mens det graver seg ned i bunnen og hvor lett det er å rive ut av sedimentet. Enkelte av ankertypene finner lett tilbake til nytt feste etter å ha vært dratt ut mens andre ankere vrir seg rundt på ryggen og klarer ikke å vende seg tilbake igjen til rett stilling.

Det er også stor forskjell på målt holdekraft innenfor de ulike replikatene i forsøkene for de ulike ankertypene. Høye maksimalverdier som ble målt (fig. 6) kan tyde på at enkelte ankere med lav vekt har fått veldig godt hold på fast grunn. Det motsatte gjelder for anker nr. 8 som sannsynligvis ble deformert og skadet i det første forsøket og derfor kan ha fått en lav verdi og havari i andre forsøk. Anker nr. 6 gikk godt ned i bunnen, men veltet lett opp igjen og fikk ikke godt feste før fjerde forsøk. Andre er noe mer konsistente i resultatene.

Ankertrossen ble lagt over akterspeilet og en avrundet kant her før det kunne festes til slepekroken og lastcellen. Dette medførte en viss vinkel mellom trekkretningen nedover i sjøen og lastcellen. Dette kan ha medført noe lavere målinger enn det faktiske strekket i ankertrossen. Likevel ble det ikke registrert noen høyere målinger da trossen enkelte ganger hoppet til en ny posisjon på akterspeilet på grunn av vinkelendring på fartøyet og dermed var fri for kanten et øyeblikk. Denne typen feil vil det være vanskelig å unngå ettersom alle slepebåter har slepefeste inne i båten og har et lavt akterspeil for å hindre sjøen i å slå inn på dekk.

Etter opptak av ankrene etter testen, ble det ikke observert skurestriper i stål eller maling som tyder på at ankrene har vært neddykket mer enn til at deler av stammen, samt at sjakkell hele tiden har vært over sedimentet. Det er derfor naturlig å stille spørsmålsteget ved gjennomføringen av tester for maksimal holdekraft over kort tidskala. De ulike ankertypenes maksimale holdekraft er ut ifra våre resultater vanskelig å validere, ettersom det tar tid for et anker å bevege seg ned til full neddykking i den forholdsvis harde bunnen der forsøkene foregikk. Med økende neddykking vil trykket omkring ankeret og vekten over ankeret øke med vekten av sedimentene.

På grunn av til dels kraftig sidevind og begrenset manøvrerbarhet under slep, opplevde slepebåten problemer med å holde seg opp mot vinden underveis i ankerforsøkene. Vi kan ikke utelukke at skjevdrag kan ha medført at anker ble lettere revet ut eller deformert og ødelagt. En slepebåt med kraftig baugpropell ville kanskje kunne lykkes i å holde seg lettere opp mot vinden og opprettholde et mer stabilt drag i riktig vinkel.

ROV - undersøkelse av bunnen etter forsøkene var ferdige, avdekket store forskjeller i bunnsediment. Filmen viser variasjon mellom fin og grovere sand, store og mindre kampestein og også bergnabber. Masser som er blitt veltet opp av ankrene, og masser som fulgte med ankrene opp, viser at de dypere sedimentene består av en blanding av grus og sand. Det er naturlig å anta at de ulike ankrene derfor ikke nødvendigvis har blitt undersøkt under fullstendig like forhold. Det var tydelig også i enkelte tilfeller at ankrene fikk feste i berg eller svært store stein før ankerstammen for eksempel ble brutt av.

Målingene av strekk ble utført med manuell avlesing fra et display på et trådløst instrument. Dette gav kun mulighet til å registrere enkeltverdier av strekk. Det ville vært en klar fordel å ha et instrument som gjør det mulig å logge kraftutviklingen med høyere frekvens og overføre direkte til datamaskinen.

De to avanserte, nedskalerte offshoreankrene fikk ikke feste i bunnen og skurestriper på ankrene viser tydelig hvordan kun den ytterste delen av ankertennene har vært nede i bunnen. Etter forsøkene viste det seg at begge disse to ankertypene hadde justerbar innstilling for vinkel mellom ankerstammen og ankerfluken. Begge ankrene var levert med denne innstillingen satt for maksimal vinkel. Det som kjennetegnet de ankrene som lett gikk ned i bunnen og oppførte seg stabilt, var nettopp at denne vinkelen var forholdsvis lav og dette sannsynliggjør at den høye vinkelen kan ha medvirket til at disse to spesielle ankrene ikke fikk feste. Samtidig var også ”holdeflaten” for den delen av ankeret som først skal gå ned i bunnen, mye mindre enn de andre ankrene og dermed vil den drivende kraften også bli mindre og det vil sannsynligvis resultere i mer plogging bortover enn skjæring nedover.

Basert på våre resultater og erfaringer fra fullskala forsøk på anker, er det grunn til å tolke data fra denne testen med sunn skepsis. For å oppnå sikkerhet i datamaterialet, er vi avhengige av å ha kontrollerte forhold, både i forhold til bunnsediment og vær-situasjon. Tiltak for å gjennomføre bedre fullskalaforsøk er bruk av geologiske undersøkelser eller OLEX kartlegginger ved valg av lokalitet, eller bruk av småskala testfasiliteter på lab under identiske forhold.

5 Konklusjon:

Basert på de resultatene vi fikk under fullskala testing av anker, og de erfaringene som ble gjort; har vi laget følgende konklusjoner;

- Det er stor forskjell mellom ulike ankertyper i forhold til evne til å penetrere forskjellige typer bunnsediment.
- Kunnskap om bunnforhold er viktige for å velge riktig anker med optimal holdekraft og for å være sikker på at ankeret fester seg.
- Noen ankertyper kan velte opp av sedimentet igjen etter setting.
- Dårlig vær og avdrift under ankersetting kan føre til bøyd ankerstammer og tenner, og i verste fall havari.
- Krav innenfor hvert av disse parametrene bør være oppfylt for å få tilfredsstillende resultat.
- Gjennomføring av fullskala test av anker er komplisert med mange variabler som skal fungere sammen. Strenge krav til lokalitet, gunstig værforhold og riktig testutstyr er suksessfaktorer. Småskala lab-testing bør vurderes for slike typer fullskalaforsøk.

Vi foreslår følgende tiltak for å sikre tilstrekkelig holdekraft under forankring av oppdrettsanlegg;

- Vi anbefaler å gjennomføre kartlegginger av bunntype i det relevante innfestningsområdet før anker utsett.
- Riktig ankertype velges sammen med leverandør, basert på vurderinger av bunnsediment og ønsket holdekraft.
- Bruk ROV under ankerinnfesting for å sjekke at anker går skikkelig ned i havbunnen.
- Sørg for riktig posisjonering og unngå avdrift under ankersetting for å sikre at skader på anker ikke oppstår.

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