

STF80 A044018 – Åpen

RAPPORT

Samlerapport Nye rømmingssikre merdkonsept

Mats Augdal Heide og Leif Magne Sunde

SINTEF Fiskeri og havbruk

Havbruksteknologi

Juli 2005

www.sintef.no

**SINTEF Fiskeri og havbruk AS**

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF, Forskningscenteret på Rotvoll
Arkitekt Ebbellsvei 10
7053 Ranheim
Telefon: 73 59 56 50
Telefaks: 73 59 56 60
E-post: fish@sintef.no
Internet: www.fish.sintef.no

Foretaksregisteret: NO 980 478 270 MVA

SINTEF RAPPORT

TITTEL

Samlerapport for prosjekt "Nye rømmingssikre merdkonsept"

FORFATTER(E)

Mats Augdal Heide og Leif Magne Sunde

OPPDRAKSGIVER(E)

Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond

RAPPORTNR. STF80 A044018	GRADERING Åpen	OPPDRAKSGIVERS REF. Svein Hallbjørn Steien, ref. nr. 2002/006494	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-03310-1	PROSJEKTNR. 840099	ANTALL SIDER OG BILAG 24
ELEKTRONISK ARKIVKODE samlerapport uten vedlegg.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Jørgen R. Krokstad	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Pål Lader	
ARKIVKODE	DATO 2005-07-04	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Jostein Storøy, forskningssjef havbruksteknologi	

SAMMENDRAG

Prosjektets hovedmål har vært å bidra med kunnskap som kan medvirke til å redusere rømming av laks fra merdoppdrett, samt bidra med konseptutvikling og verifikasjon slik at målene i "Nasjonal tiltaksplan mot rømming" oppnås.

Følgende punkter oppsummerer prosjektets delmål:

- 1. Utvikle nye kommersielle notløsninger. Det legges vekt på at faren for rømming sterkt reduseres ved å redusere belastningene på notposen og ved opprettholdelse av volum og geometri (for å unngå propell i not).*
- 2. Utvikle ny forankringsteknologi med vekt på kompliserte topografiske forhold for å redusere faren for havari i storm eller når anlegget har blitt utsatt for annen skade.*
- 3. Etablere driftsrutiner for nye konsept.*
- 4. Bidra med generisk teknologi som kan kommersialiseres av enkeltleverandører.*

I prosjektet er det laget 10 rapporter som hver behandler avgrensede deltema. Denne samlerapporten oppsummerer arbeidene som er gjort gjennom hele prosjektet.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbruksteknologi	Aquaculture technology
GRUPPE 2	Design	Design
EGENVALGTE	Rømming	Escapes
	Not	Net
	Forankring	Mooring

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord	3
1 Prosjektet ”Nye rømmingssikre merdkonsept”	4
1.1 Bakgrunn	4
1.2 Fokus	5
1.3 Arbeidsmåte og rapportering	5
2 Notaktiviteten	6
2.1 Innledning	6
2.2 Arbeidsmetode og fokusområder	6
2.3 Oversikt over notsystemer	7
2.4 Alternative notkonsepter	8
2.5 Riving og deformasjon av not	10
2.6 Modellforsøk	13
2.7 Drift og operasjon	15
2.8 Formidling - not	17
2.9 Oppsummering av notaktiviteten	17
3 Forankringsaktiviteten	18
3.1 Innledning	18
3.2 Arbeidsmetode og fokusområder	18
3.3 Oversikt over forankringsløsninger	19
3.4 Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg	20
3.5 Forankring av plastringer	20
3.6 Anbefalt utlegg av enkeltliner	21
3.7 Svaiforankring av oppdrettsanlegg	21
3.8 Formidling - forankring	22
3.9 Oppsummering av forankringsaktiviteten	22
4 Forslag til videre aktiviteter	23
Referanseliste	24

Forord

Gjennom prosjektet "Nye rømmingssikre merdkonsept" har SINTEF Fiskeri og havbruk fått anledningen til å studere not og forankring i oppdrettsanlegg. Arbeidet har gitt ny kunnskap om hvorfor svikt i forankring og not oppstår, og det er foreslått en rekke tiltak som kan bidra til å hindre fremtidige skader og havari.

Gjennom prosjektet er det etablert mange nye kontakter med næringen. Denne rapporten gir en overordnet innsikt i prosjektets aktiviteter, med konklusjoner fra hver delaktivitet. For full dokumentasjon av arbeidet som er utført, henvises det til rapporter som er utarbeidet for hver delaktivitet.

Vi vil takke røktere, teknologileverandører, ingeniørbedrifter og alle andre for deres aktive deltakelse i dette prosjektet. Vi takker også Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond for støtten til å kunne gjennomføre prosjektet.

Vi håper innholdet i rapporten vil være et viktig bidrag til arbeidet med å utvikle en mer rømmingssikker oppdrettsnæring.

SINTEF Fiskeri og havbruk AS, Trondheim, 4. juli 2005

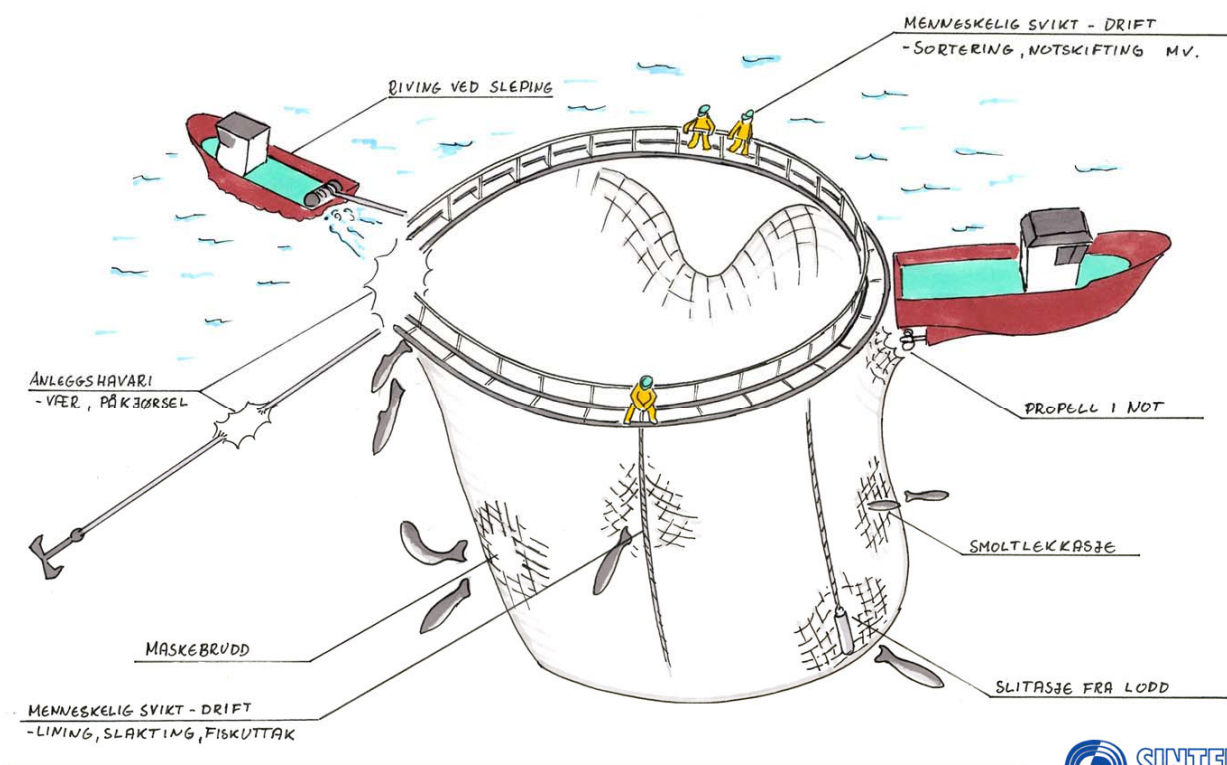
1 Prosjektet "Nye rømmingssikre merdkonsept"

1.1 Bakgrunn

Kvantumet av rømt laks er anslått til minimum 450 000 stk. i 2004, men det er sannsynlig at dette tallet i realiteten er høyere. Mer om disse forhold er presentert i "Nasjonal tiltaksplan mot rømming". Til sammenligning rømte det i følge tall fra Scottish Executive Rural Affairs Department (SERAD) 490 000 laks fra skotsk oppdrettsindustri i år 2000. Det er indikasjoner på at i tillegg til rømminger fra norske anlegg, så har en del av de rømte laksene i norske elver sitt opphav i oppdrettsanlegg i Storbritannia, Irland eller Færøyene. Rømming er følgelig i ferd med å bli et "universelt problem".

Årsakene til den norske rømmingen av laks er dårlig dokumentert, men i følge "Nasjonal handlingsplan mot rømming" antas hovedårsakene å være følgende:

- Skader forårsaket av uvær
- Skader forårsaket av propell
- Skader forårsaket av påkjørsel
- Skader forårsaket av drivgods
- Svikt i driftsrutiner
- Teknisk svikt i settefiskanlegg
- Predatorskader



Figur 1. Illustrasjon av forskjellige mulige årsaker til rømming.

1.2 Fokus

Med bakgrunn i de nevnte antatte årsaker til rømming ble det i prosjektet fokusert på to hovedtema; not og forankring, hvorav begge er av generisk natur og krever teknologiutvikling. Spesielle innsatsområder har vært:

1. Miljøvennlige notsystemer som opprettholder volum og geometri.
2. Bedre forankringssystemer med spesiell vekt på komplisert bunntopografi og ujevn stivhetsfordeling.
3. Etablere driftsrutiner for nye konsept.

Miljøbestandige notsystemer som opprettholder volum har en direkte effekt på skader fra propell i tillegg til å redusere muligheten for skader p.g.a ujevn strekkbelastning på nota under notskifte og vedlikehold. Et tilleggskrav til en volumbestandig notkonstruksjon vil være lett transport og lagring av notduk for tørke og fjerning av groe.

1.3 Arbeidsmåte og rapportering

Arbeidet i prosjektet har vært inndelt i hovedområdene *not* og *forankring*. I hvert av områdene er det benyttet varierte fremgangsmåter og kompetanse for å nå det overordnede målet. Kapittel 2 gir en nærmere beskrivelse av arbeidet med *notaktiviteten*, og kapittel 3 tar for seg aktiviteter innen *forankring*. Hver delaktivitet har blitt rapportert separat, og hensikten med dette dokumentet er å gi et overblikk over hele prosjektet, samt konkludere arbeidet.

De forskjellige delprosjektene og fokusområder ble bestemt av SINTEF og referansegruppe i samarbeid gjennom to statusmøter. Det ble benyttet mange forskjellige fremgangsmåter for å oppnå målene, blant annet bedriftsbesøk og samtaler med diverse aktører, konseptuelt arbeid og analyser. Underveis har også en rekke eksterne samarbeidspartnere blitt aktivt benyttet. De mest sentrale har vært:

Dag Davik, Mørenot AS
Tor Arne Johansen, NOFI AS
Kjell Maroni og Aina Valland, FHL Havbruk
Kjell Tømmerås, NLTH
Axel Anfinsen, Fiskeridirektoratet
Gunnar Hessen, Liaaen Teknologi AS
Johan Roger Smith-Nilsen, Polarcirkel International
Amund Pedersen, Fjordlaks AS
Tore Håkon Riple, Marine Construction AS
Askil Moe, Namsos Dykkerselskap

2 Notaktiviteten

2.1 Innledning

I dette kapitlet sammenfattes arbeidet som er gjort med utvikling av rømmingssikre notløsninger. Det er sett mye på notkonstruksjonen slik den foreligger i dag, og en rekke forbedringer er foreslått. Spesielt interessante løsninger er analysert i beregningsprogrammer for å gi et faglig grunnlag for egnethet.

Korrekt operasjon av nøter ble tidlig identifisert som en kritisk rømmingsreducerende faktor, og arbeidet behandler derfor også dette temaet.

2.2 Arbeidsmetode og fokusområder

I oppstartsfasen av prosjektet var det viktig å få en mest mulig oppdatert forståelse av problematikken rundt rømming. En begynte derfor med en researchfase, og en rekke næringsaktører ble kontaktet for å innhente deres kunnskaper og synspunkter på rømmingsproblemet. Researchfasen ga en rekke innspill på sentrale utfordringer med dagens notprodukt, som dannet basis for det videre arbeidet med tiltak og forbedringer.

Tiltaksfasen ble delt i flere delprosjekter, med konseptuelle, analytiske og praktiske fremgangsmåter. I den konseptuelle delen ble det utarbeidet konseptuelle løsninger for nye notløsninger, med fokus på produktdesign og operasjon. I den analytiske delen ble det benyttet FEA (Finite Element Analysis) programvare for å modellere og studere nøter, både eksisterende og nye løsninger.

Konsepter vurdert som interessante etter analyser, ble videre formidlet til notprodusent. For å studere konseptene nærmere, ble fem skalamodeller av konseptene utformet av notprodusent. Modellene ble testet ut ved SINTEFs laboratorier.

Avslutningsvis i notaktiviteten ble det gjennomført et arbeid med spesiell fokus på drift og operasjon av store oppdrettsenheter.

Dette kapitlet fortsetter med en sammenfatning av de forskjellige delrapportene i prosjektet:

Rapport tittel:	SINTEF rapportnr.	ISBN:
Oversikt over notsystemer	STF80 A044019	82-14-03312-8
Alternative notkonsepter	STF80 A044017	82-14-03309-8
Riving og deformasjon av not	STF80 A044020	82-14-03313-6
Modellforsøk	STF80 A044021	82-14-03314-4
Drift og operasjon	STF80 A044022	82-14-03315-2

2.3 Oversikt over notsystemer

I dette delprosjektet ble det utført en spørreundersøkelse for å kartlegge hvor, hvorfor og hvordan en not rives. Gjennom et standardisert spørreskjema fikk utvalgte næringsaktører komme med sine synspunkter. Spørreunden ble rettet mot forskjellige aktører; røktere, notprodusenter/bøteri, forskningsinstitusjoner og serviceselskaper for å få et bredest mulig grunnlag å jobbe videre med. Det ble også gjennomført besøk ved notbøteri og oppdrettsbedrift.

Videre ble det gjort et studie på relevant oppdrettsteknologi som brukes i dag, der det ble fokusert på hovedsakelig not og tilgrensende hovedkomponenter.

I samarbeid med notprodusent ble det utarbeidet to standard nøter (en sirkulær og en firkantet) for bruk som referanseprodukter senere i prosjektet. Hensikten med dette var å ha et ”benchmark”-produkt som nye konsepter kunne veies opp mot.

Rapporten fra arbeidet inneholder en sammenfatning av spørreundersøkelsen og dagens notteknologi. Det ble konkludert med at store skader med påfølgende rømminger først og fremst oppstår ved operasjon av nota. Øvrige hovedkonklusjoner fra spørreundersøkelsen var som følger:

Områder på nota hvor skader hyppigst oppstår:

- Notlin i overgang mellom side og bunn er mest utsatt.
- Øverste del av nota er også utsatt for skader, men dette er som regel små skader som kan repareres på stedet.

Årsaker til skader på nota:

- Overbelastning ved heving.
- Begroing øker faren for skader fordi økt vekt øker belastningene ved håndtering, samt at skarpe skjell skjærer i linet.
- Gnag fra lodd, loddliner, ankerliner og skjellbegrodde blåser.
- Feilkonstruert not (feil geometri grunnet feilproduksjon).
- Feil not montert på feil flytekrage.
- Objekter mistes ned i nota.
- Drivende gjenstander.
- Nota krymper og blir utsatt for strekk.
- Riving på opphengskroker.
- Sel.

Forslag til metoder for å forbedre styrke i nota, forhindre feil håndtering og slitasje:

- Mer tauverk.
- Krysstau i bunnen. La sidetau fortsette langs notbunnen.
- Dobbelt notlin eller sterkere notlintråd i belastede områder.
- Tynnere loddtau slik at loddtauet ryker før nota.
- Unngå kontakt mellom lodd og not..
- Andre loddløsninger (bunnring, jernbaneskiner eller lignende) som gir mindre konsentrerte punktlaster.
- Innføre ekstra line til loddene slik at lodd kan lastes av før nota heves.
- Feste loddet til flyter i stedet for nota.
- Holde nota ren.

Disse hovedkonklusjonene har blitt benyttet som utgangspunkt for nye konsepter og analyser senere i prosjektet. Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044019 "Oversikt over notsystemer", ISBN nr 82-14-03312-8

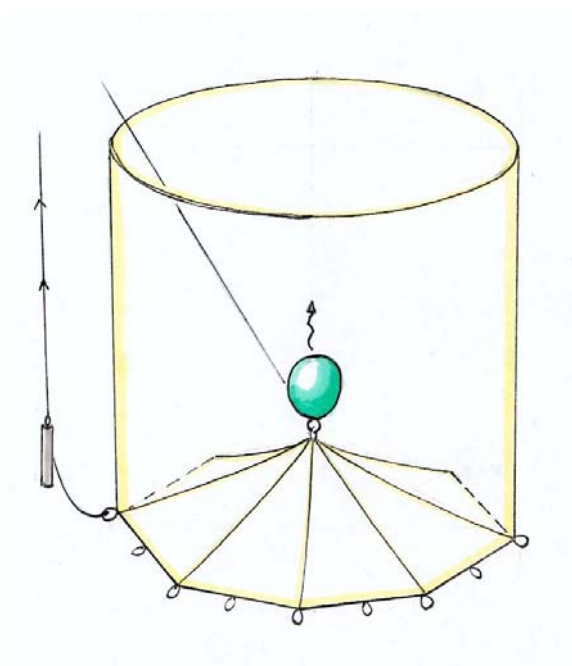
2.4 Alternative notkonsepter

I dette delprosjektet ble det utarbeidet en rekke konseptuelle forslag til forbedring av dagens notprodukt og tilgrensende komponenter der dette er relevant. Med utgangspunkt i notproduktet ble det også sett på noen prinsipielle måter å forbedre operasjon på. Det er jobbet både med totalkonsept og på detaljnivå. Utgangspunktet for arbeidet var de to standard nøtene beskrevet i kapittel 2.3, og konseptarbeidet ble konsentrert om løsninger som kan realiseres innen en periode på 1-2 år.

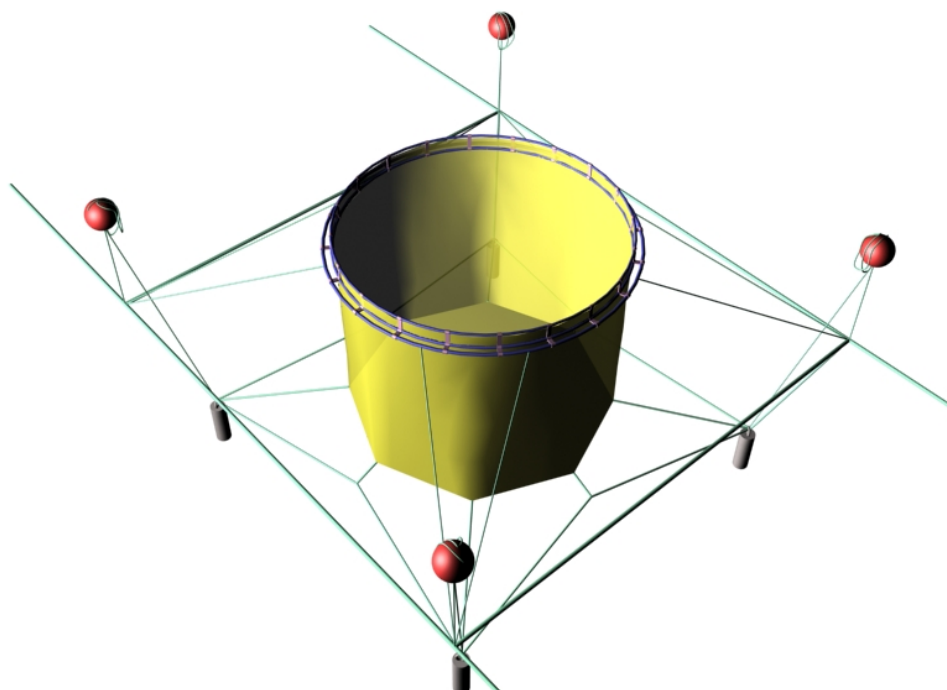
Arbeidet inneholder følgende hovedpunkter:

- Kravliste som spesifiserer innsatsområder for nytt notdesign
- Evaluering av materialer og sammenstillingsmetode benyttet i dagens notprodukter
- Vurdering av nye løsninger, tematisk fordelt:
 - o Flexibilitet i konstruksjon, fordeler og ulemper
 - o Loddsetting
 - o Notlin
 - o Forsterkningstau (stavtau og krysstau)
 - o Innfesting til flytekrage
 - o Gnagslitasje
 - o Drift og operasjon
 - o Volum

Under arbeidet ble det utviklet nye løsninger på bakgrunn av vurderingene. Disse ble visualisert med enkle skisser, som også er vedlagt i fullteksten.



Figur 2. Løsning for heving av not.



Figur 3. Konsept for utspenning av not i interaksjon med forankring.

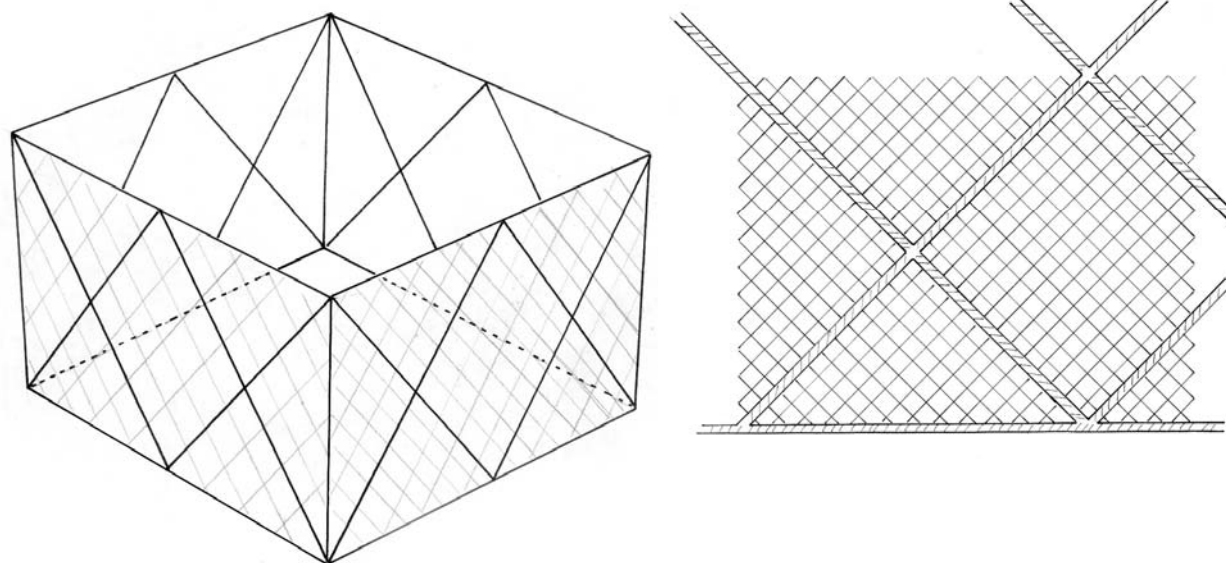
Konklusjoner

Konklusjoner fra arbeidet:

- Rivesikkerhet kan forbedres ved å fjerne mulighetene for feil operasjon, dvs nøter bør i større grad designes for korrekt operasjon.
- Det kan være gunstig å legge inn kontrollert fleksibilitet i nye deler av konstruksjonen for å redusere rykkaster fra bølger eller operasjon. Økt stivhet i delkomponenter kan også være gunstig. Dette må imidlertid utredes nærmere.
- Med hensyn til generell operasjon og tilgjengelig løfteutstyr, vil det være en fordel å utvikle en lett not.
- Globale overbelastninger kan forhindres ved å bygge inn offerkomponenter i konstruksjonen som ryker før påkjenningene overstiger designet styrke. Slik komponent må vurderes nøye, og må ikke medføre økt fare for rømming eller svekkelse av kritiske detaljer.
- Nøyaktig produksjon er viktig for å forhindre lokale og ellers ”unødvendige” lokale belastninger i linet.

Arbeidet skisserer noen løsninger som kan forbedre notas volumegenskaper. Disse løsningene må vurderes nøye, da bedre volumegenskaper også gir økt belastning på konstruksjonen.

Ved avslutningen av denne aktiviteten ble det bestemt å videreføre ett av konseptene ved analyser senere i prosjektet (figur 4).



Figur 4. Konsept for not med skrå sidetau og skrått notlin. Videreført og analysert i delprosjekt ”riving og deformasjon av not”.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044017 ”Alternative notkonsepter”, ISBN nr 82-14-03309-8

2.5 Riving og deformasjon av not

I delprosjektet ble det fokusert på 2 tema relatert til rømming:

- Deformasjon av not i strøm
- Heving og operasjon av nota

FEA (Finite Element Analysis) softwaren ABAQUS har vært et sentralt hjelpemiddel i dette delprosjektet. Softwaren har bidratt til å gi et detaljert bilde av deformasjoner og belastninger i forskjellige notkonstruksjoner, og ved forskjellige driftstilstander.

Initielt i delprosjektet ble det laget en problemdefinisjon og avgrensing av oppgaven, og spesielle utfordringer med oppgaven ble diskutert. Analyser av notlin er i utgangspunktet vanskelige å håndtere med standard FEA-programmer, fordi deformasjonene blir meget store, og fordi linet går i slakk. Rapporten forklarer nærmere hvordan dette ble løst, og teori/metodikk samt data som benyttes er også spesifisert. Det ble også foretatt en kort vurdering i forhold til NYTEK (Standard NS9415).

Som utgangspunkt for modelleringene er standard firkantnot (beskrevet i kapittel 2.3) benyttet. Denne ble modellert slik at modifikasjoner enkelt kunne implementeres og studeres.

Arbeidet ble konsentrert rundt firkantede nøter, men en del av erfaringene som ble gjort, kan også overføres til sirkulære nøter. Følgende notløsninger ble analysert:

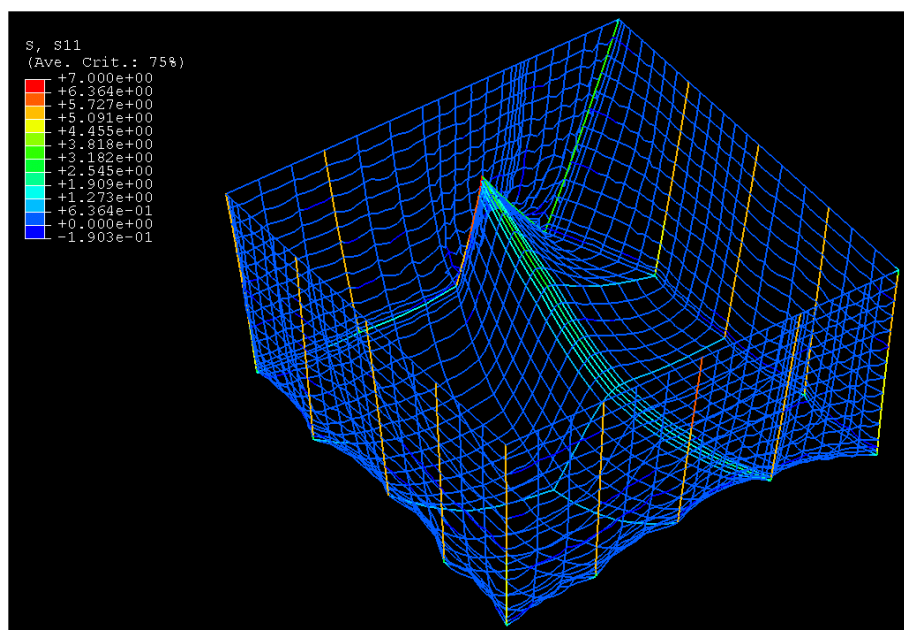
- Standard firkantnot, som spesifisert av notprodusent
- Standard not modifisert med bøyesivt bunntau
- Not med skrått notlin og skrå sidetau, som fremkommet i delprosjekt ”Alternative notkonsepter”
- Fjæringselement i not ved at skrått notlin syes inn mellom notpanel og sidetau.

De forskjellige notkonseptene ble analysert ved følgende driftstilstander:

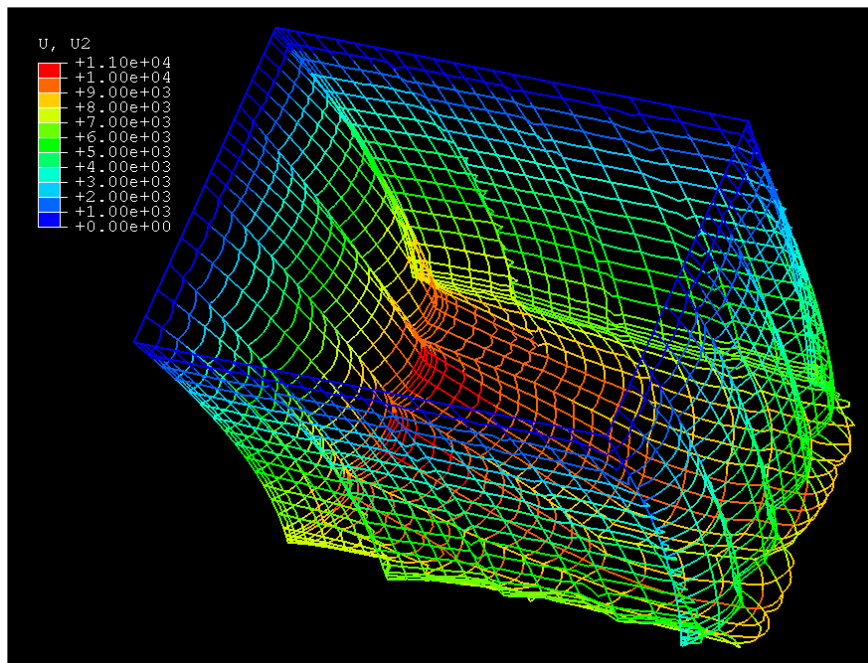
- Nota henger i vann fra flytekrage uten eksterne belastninger (med unntak av lodd)
- Nota løftes fra mest hensiktsmessige løftetau (sidetau med forbindelse til krysstau) med en fast kraft.
- Nota løftes fra mest uhensiktsmessige løftetau med en fast kraft.
- Nota er påført strøm.

Konklusjoner

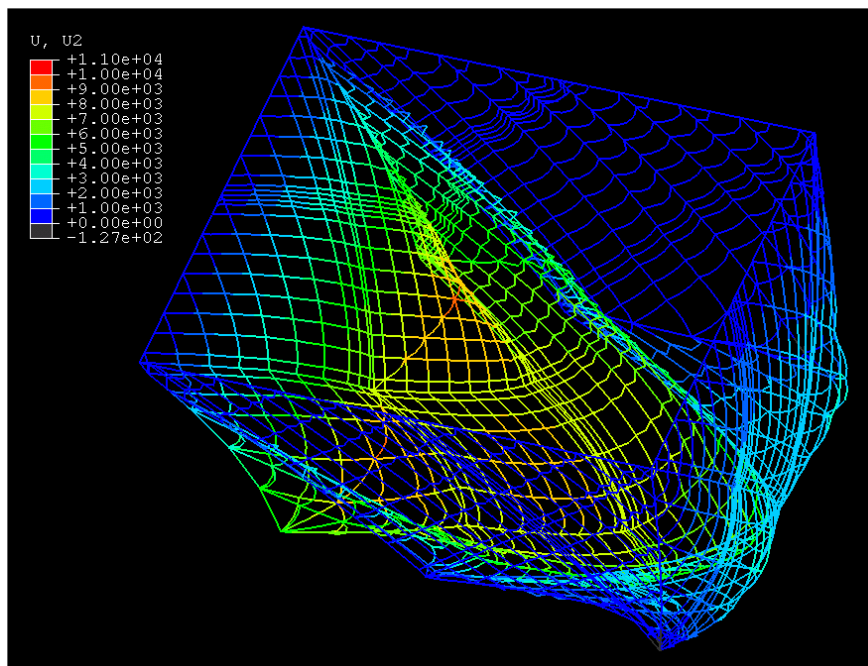
Arbeidet konkluderer med at de numeriske beregningene som er utført, sammenfaller godt med praktisk erfaring (figur 5, 6 og 7). Den valgte fremgangsmåten vurderes derfor som egnet for å analysere nøter og modifikasjoner på nøter. Videre viser analysene at det er viktig å heve nota via tau med forbindelse til krysstau. Hjørnetau kan også benyttes, men anbefales ikke ved begrodd not. Begroing må unngås, da dette øker belastningene på nota vesentlig. Dessuten bør nota heves sakte, og rykk må unngås.



Figur 5. Analyse av belastninger i notlin ved heving etter sidetau. Analyse utført i ABAQUS.



Figur 6. Analyse av notpose deformasjon i strøm. Eksisterende løsning (standard not).



Figur 7. Analyse av notpose deformasjon i strøm. Nytt konsept med skrå sidetau.

Følgende konklusjoner ble gjort for hvert av de analyserte konseptene:

Standard not: I strøm får en relativt store belastninger i notlinet i bunnen ved lodd som ikke har forbindelse til krysstau. Dobbelt notlin hjelper ikke mot dette, da belastningene sprer seg over et stort område av bunnen (4 meter). Heving av nota via tau med forbindelse til krysstau ser ikke ut til å introdusere økte belastninger.

Not med bøystivt bunntau: Spenninger i notlin reduseres betydelig ved heving via loddtau uten forbindelse til krysstau sammenlignet med standard not.

Not med skrå tau: Generelle belastninger i nota blir høyere enn for standard not, men belastningene blir mer jevnt fordelt. I strøm blir belastningene i notlinet redusert betydelig i forhold til standard not. Løsningen får større tap av volum i strøm.

Fjæringselement i not: Analysen avdekket ingen effekter av et slikt fjæringselement.

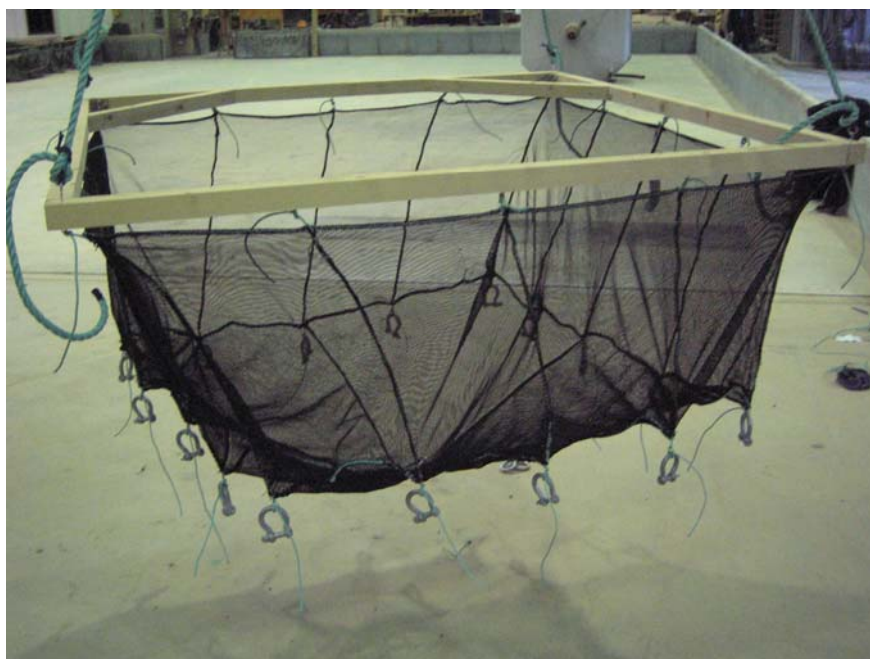
Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044020 "Riving og deformasjon av not", ISBN nr 82-14-03313-6.

2.6 Modellforsøk

I dette delprosjektet var hensikten å teste noen notløsninger fysisk, ved å lage skalamodeller av nøter, og så gjennomføre sammenlignbare forsøk på dem. Til delprosjektet ble det bygget fem modeller av oppdrettsnøter. Det ble laget to modeller med variasjoner av referansenot (figur 8), og tre modeller med variasjoner av en not med skrå sidetau og skrått notlin (diamond notlin – figur 9).

Nøkkeldata for modellnøter:

<i>Not nummer</i>	<i>Bredde/lengde/dybde [m]</i>	<i>Antall krysstau</i>
1 – standard not	1,6/1,6/0,8	2
2 – standard not	1,6/1,6/1,6	6
3 – diamond not	1,6/1,6/0,8	(6)
4 – diamond not	1,6/1,6/1,2	(6)
5 – diamond not	1,6/1,6/1,6	(6)



Figur 8. Modell med standard konstruksjon.



Figur 9. Modellforsøk av nytt konsept med skrå sidetau og skrått notlin.

Modellene ble laget i skala 1:15, slik at nøtene som i virkeligheten skulle være 24x24 meter ble 1.6x1.6 meter.

Nøtene ble festet i en testjigg laget av en treramme fritt hengende fra en kran. For å loddsette nøtene, ble det festet sjakler i løkkene langs notbunnen. Nøtene ble så studert mens de hang fritt fra jiggen. Deretter ble det satt på en bestemt kraft på ett løftetau, og notas respons på denne påkjenningen ble studert.

Konklusjoner

Nøtene var ikke nøyaktige skalamodeller, med tanke på korrekt nedskalering av alle delkomponentene i modellnøtene. Dermed må det bemerkes at modellenes oppførsel ikke nødvendigvis stemmer helt overens med oppførselen til en virkelig not. Det ble også benyttet større lodd på modellene enn det som benyttes i virkeligheten. På overordnet nivå kan man likevel trekke en del konklusjoner fra arbeidet.

Nota med skrå sidetau ville ikke stå pent, det ble kraftig utstrekking av linet, og mye poser i linet under forsøkene. Nota med minst dybde (0,8 m) fungerte best, men for de andre ble det konkludert med at de neppe vil fungere i praksis. Opprinnelig var teorien for denne nota at det ikke skulle bli krefter i notlinet uansett hvilke punkter man løftet fra. Dette ble tilbakevist for løftepunktet midt på bunntauet.

Standard not "sto" derimot mye penere, uten rynker i linet. Det hadde imidlertid lettere for å oppstå poser i bunnen av nota med 6 krysstau. Forsøkene viste at det kan oppstå belastninger i notlinet ved heving fra hjørne.

Modellene ble også sammenlignet med FEA-analyser gjort tidligere i prosjektet, og analysenes resultater ble i stor grad bekreftet av modellforsøkene.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044021 "Modellforsøk", ISBN nr 82-14-03314-4.

2.7 Drift og operasjon

Næringen har den siste tiden tatt i bruk nye plastring-merder med omkrets på inntil 157 meter. I forhold til ”vanlig” størrelse, med merder på 70-120 meter, er dette en drastisk oppskalering av oppdrettsvolumene. I dette arbeidet ble det derfor valgt å fokusere spesielt på drift av store enheter. Det drøftes hvilke utfordringer slik stor-skala drift vil ha, og det foreslås noen driftsrelaterte (konseptuelle) forbedringsforslag.

En generell diskusjon rundt drift av store enheter

I forhold til en 90-meters ring, øker oppdrettsvolumet i en 157-meter med mer enn 3 ganger. Disse nye enhetene er i all hovedsak oppskaleringer av eksisterende teknologi, og rømmingssikkerheten kan i utgangspunktet anses å være som for mindre enheter. En satser derfor ”mer på ett kort” med å plassere større mengder fisk i en slik enhet.

Når operasjoner må utføres, vil det være mer kritisk at disse utføres korrekt, da større krefter må benyttes og større verdier står på spill f.eks. når nota heves. Kanskje skal kun spesielt opplærte personer utføre slike operasjoner?

Det vises videre at oksygentilgangen i en stor enhet sannsynligvis vil være dårligere enn for mindre, forutsatt samme gjennomsnittlige biomasse pr m³. Drift i store enheter kan derfor av hensyn til fiskehelse være mindre optimale, og tiltak kan bli nødvendig. Risiko ved katastrofesituasjoner er også diskutert.

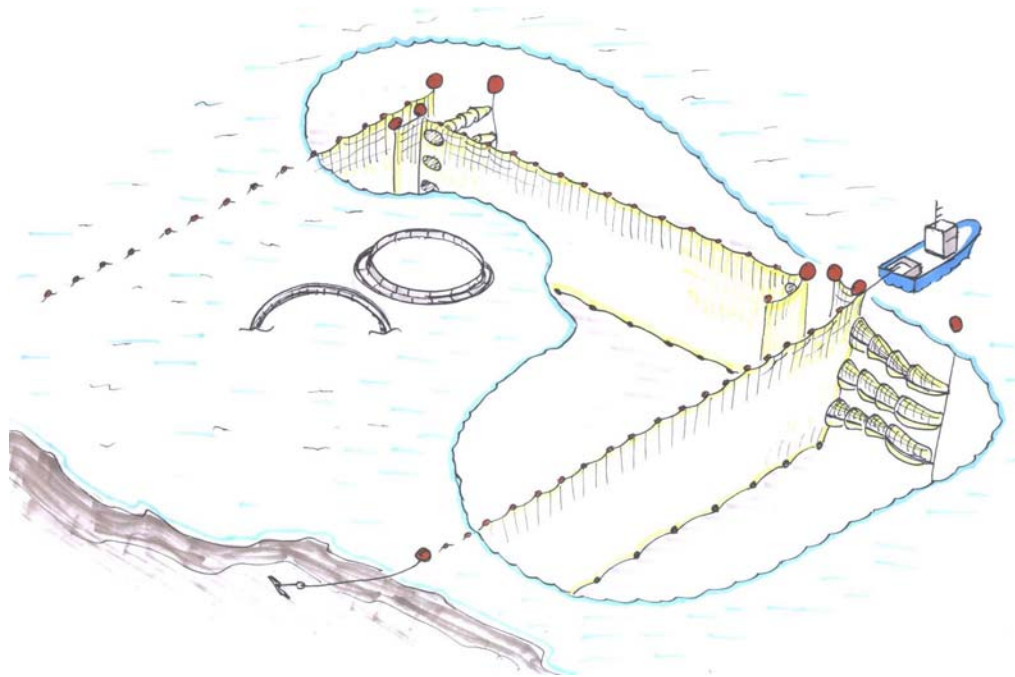
Arbeidet konkluderer med at den økte størrelsen medfører nye og større utfordringer for røkterne. Det vil også være vanskeligere å håndtere farer og katastrofer (mulig løsningsforslag skissert i figur 10).

Forslag til forbedringer

I andre del av arbeidet foreslås konseptuelle forbedringer i konstruksjon og operasjonsmetoder ved drift av store enheter.

Følgende tema er gjennomgått og diskutert:

- Forsterkninger av flyterkonstruksjon
- Båttrafikk
- Fôring
- Oppbevaring og setting av not
- Uttak av fisk
- Logistikk ved frakt av fisk
- Inspeksjon
- Heving av not
- Prosedyrer ved vanlig drift, inkludert katastrofehandling



Figur 10. Forslag til produkt for konsekvensreduksjon ved havari. Spesialtilpassede nett kan settes ut raskt for gjenfangst av rømt fisk.

Konklusjoner

Ved å plassere større mengder fisk i en enhet, satses også mer på "ett kort". Ett totalhavari av en enkelt enhet med antatt maksimal biomasse 800-1000 tonn fisk kan gi store bidrag til rømmingsstatistikken.

Store enheter vil både være vanskeligere å drifte, og kan ikke sies å ha tatt i bruk mer rømmingssikre teknologiløsninger. Det stilles spørsmål ved om mulige konsekvenser er tilstrekkelig gjennomtenkt. Det bør muligens etableres en konsensus om hvilke risikoer næringen kan ta. Også med en stormerd driftsstrategi er det mulig å redusere maksimal konsekvens. For eksempel, skal store merder enkeltfortøyes?

Dersom stormerd-strategien viser seg å være en riktig vei å gå, kan en forvente enda større merder i fremtiden. Det bør i så tilfelle være aktuelt å investere i mer avansert teknologi på hver enkelt enhet for å sikre seg mot rømming.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044022 "Drift og operasjon", ISBN nr 82-14-03315-2.

2.8 Formidling - not

Følgende populærvitenskapelig formidling er gjennomført i notaktiviteten av prosjektet:

Artikkel i Norsk Fiskeoppdrett nr 17/2003: "Riving av not – er det not eller røkter som svikter?"
Artikkelen presenterer hovedpunkter og konklusjoner fra arbeidene "Oversikt over notsystemer" og "Riving og deformasjon av not".

Artikkel i Norsk Fiskeoppdrett nr 4/2004: "Løsninger gjennom nye konsepter"
Artikkelen presenterer hovedpunkter fra arbeidet med "Alternative notkonsepter"

Øvrig formidling/deltakelse:

- Prosjektet ble presentert med eget grafisk materiale og modellnot på SINTEFs stand ved AquaNor-2003
- Alle ferdigstilte arbeider fra prosjektet er presentert på <http://www.tekmar.no>
- SINTEF har bidratt aktivt ved utforming av NYTEK NS 9415.
- Foreløpige resultater ble presentert for medlemmer av NLTH (Norske leverandører til havbruksnæringen) ved årsmøtet november 2003.

2.9 Oppsummering av notaktiviteten

Dette arbeidet har gitt vesentlige nye kunnskaper på området, samt innspill til nye produkter og videre forskningsaktiviteter. Det er også vist at generell FEA-software med de riktige metoder og tilpasninger effektivt kan benyttes som evalueringsverktøy.

Arbeidet har gitt en rekke forslag til forbedringer, og en håper at videre arbeid med noen av disse kan medføre positive bidrag til rømmingsproblemet.

Det har vært en givende og takknemlig oppgave å jobbe tett sammen med næringen gjennom prosjektet.

3 Forankringsaktiviteten

3.1 Innledning

I dette kapitlet sammenfattes arbeidet som er gjort ved utvikling av forbedrede forankringsløsninger. Arbeidet ble iverksatt med en forundersøkelse, der eksisterende forankringsløsninger ble studert, i tillegg til at det ble utført en brukerundersøkelse. Eksisterende og forslag til nye forankringsløsninger ble deretter analysert grundig.

3.2 Arbeidsmetode og fokusområder

Researchfasen i begynnelsen av prosjektet hadde som hensikt å dokumentere dagens forankringsteknologi og utfordringer relatert til denne. Det ble også gjennomført bedriftsbesøk og intervjuer med næringsaktører for å få en best mulig oppdatert problemforståelse. Dette arbeidet er dokumentert i rapport "Oversikt over forankringsløsninger".

Det ble i videre arbeider gjort omfattende analyser av forankring og oppdrettsanlegg, med særlig fokus på interaksjonen mellom anlegg og forankring. I arbeidet ble det benyttet mange forskjellige beregningsprogrammer, og disse ble også kalibrert opp mot hverandre for å verifisere resultatene. Arbeidet ga både erfaringer med bruk av programvare, men også en økt forståelse av oppdrettsanleggs oppførsel ved forskjellige tilstander.

Rapport "Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg" ser spesielt på vanlige stålanlegg som er direkte forankret i flytekraige. "Forankring av plastringer" ser nærmere på plastmerder i rammeforankring. "Svaiforankring av oppdrettsanlegg" studerer og foreslår forbedringer for enkeltpunktsforankrede anlegg. "Anbefalt utlegg av enkeltliner" ser nærmere på problemstillinger først presentert i "Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg", og ser enda nærmere på hvordan enkeltliner påvirker oppdrettssystemet.

Dette kapitlet fortsetter med en sammenfatning av de forskjellige delrapportene i prosjektet:

Rapport tittel:	SINTEF rapportnr.	ISBN:
Oversikt over forankringsløsninger	STF80 A044023	82-14-03316-0
Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg	STF80 A044024	82-14-03317-9
Forankring av plastringer	STF80 A044025	82-14-03317-7
Anbefalt utlegg av enkeltliner	STF80 A044026	82-14-03319-5
Svaiforankring av oppdrettsanlegg	STF80 A044027	82-14-03320-9

3.3 Oversikt over forankringsløsninger

Denne rapporten dokumenterer arbeid som ble gjort under informasjonsinnhenting i begynnelsen av prosjektet. Det ble gjort et studie av forskjellige oppdrettsanlegg og deres tilhørende forankringssystemer. Oppdrettsanleggene ble kategorisert i tre klasser, etter hvor stor avhengighet oppdrettsvolumet har av en fungerende forankring. ”Oppdrettsanlegg i interaksjon med forankring” ble definert som et kjernetema, og ble utgangspunktet for analysene gjort i senere arbeid (kapittel 3.4).

Det ble også utført en spørreundersøkelse hos oppdrettere, produsenter og et engineeringsselskap for å identifisere brukerrelaterte utfordringer ved dagens forankringssystemer. Spørreundersøkelsen ble utfylt med besøk hos en oppdrettsbedrift.

Forundersøkelsen konkluderte med at totalhavari av oppdrettsanlegg i hovedsak er knyttet til:

- Feil dimensjonering av anlegg i forhold til de lokalitetene de er designet for.
- Uheldig oppbygging av forankringssystemet.
- Liten eller ingen kunnskap om fortøyningskrefter og de krefter dette påfører flyteren.
- Forskjellig dynamikk i flytekrage og fôrflåte som er fortøyd til flyteren. Fører til store belastninger i flyteren og fortøyningen mellom flåte og flyter.

Det ble videre gjort konstruksjonstekniske betraktninger på interaksjonen mellom flyter og forankring, samt mellom flyter og not. Hengslingsteknikk samt relevante regelverk ble også diskutert.

Avslutningsvis ble noen teoretiske betraktninger innen problemområdet ”kompleks bunntopografi” og effekt på forankringskrefter utført.

Arbeidet konkluderte i at tematikken rundt ”oppdrettsanlegg i interaksjon med forankring” og ”kompleks bunntopografi” er vesentlige problemområder.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044023 ”Oversikt over forankringssystemer”, ISBN nr 82-14-03316-0.

3.4 Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg

Dette arbeidet tar utgangspunkt i konklusjonene fra "Oversikt over forankringsløsninger". En godt innarbeidet leggeregel for forankringer, $L/b = \text{konstant}$, ble diskutert nærmere og utfordret. Det ble presentert en forbedret regel som sier at *horisontal fleksibilitet i forankringer skal være konstant eller lineært økende langs lengden av anlegget*. Det ble videre presentert noen metoder for å regulere fleksibiliteten i en ankerline. I denne sammenhengen ble det demonstrert at blåser montert på ankerline nært anlegget gir minimalt bidrag til linefleksibiliteten.

Videre ble det jobbet systematisk med et utvalg av stålmerd-konfigurasjoner (1x4, 2x2, 2x3 bur og en spesial 5 burs utgave) med henblikk på å forenkle leggemønsteret. En rekke analyser ble utført for disse konfigurasjonene, både med en definert "standard forankring" og forenklede, alternative løsninger. En dynamisk analyse som vurderer faren for resonans i oppdrettsanlegg ble videre foretatt.

Konklusjoner

Analysene konkluderer med at belastningene i flytekragen blir høyere for forenklede forankringskonfigurasjoner, med unntak av en løsning der tverrlinjer i enden av et anlegg fjernes. De fleste forenklede løsningene vil derfor kreve at flytekragen redesignes for å tåle disse ekstra belastningene. Ved kompleks bunntopografi (stor variasjon i forankringsliners fleksibilitet) medfører imidlertid en forenklet forankring at flytekragen blir mindre følsom for linebrudd.

Rapporten inneholder 10 vedlegg som blant annet presenterer tallmateriale og resultater fra analysene.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A0440224 "Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg", ISBN nr 82-14-03317-9.

3.5 Forankring av plastringer

I dette arbeidet ble karakteristikkene ved plastringer montert i rammefortøyning studert. Plastringer og rammefortøyninger er fleksible, og har helt forskjellige egenskaper fra fortøyninger av stålanlegg, der det fortøyes direkte i flytekragen. Forankring av plastringer er av denne grunn mindre avhengig av et optimalt leggemønster. Rammefortøyningen kan også sies å være med på å stive av plastringene.

I rapporten beskrives anbefalte utlegg av enkeltlinjer, samt utlegging av hele rammen. Anbefalinger for ramme inkluderer anbefalinger for orientering, størrelse, dybde og visningsvinkler.

Det ble også gjort et studie mot forbedring av oppdrettsystemer i rammefortøyning, bl.a. analyser med fokus på styrkemessige forbedringer. Arbeidet konkluderte med følgende:

- Statisk moment i plastring kan reduseres i en 4-punkts forankring ved å legge haneføttene med så stor spredning som mulig (men ikke så bredt at to liner festes i samme punkt).
- Lange liner på hanefot reduserer belastningene på plastringen.
- Ved å strekke liner over plastringen i forlengelsen av haneføtter, slik at de spennes som eiker i et hjul, kan deformasjon og moment på ringen reduseres. I tilfelle et linebrudd vil denne avstivingen redusere faren for havari (knekking) av ringen.
- På lokaliteter med ekstrem strømhastighet, kan flere innfestingspunkter (haneføtter) redusere belastningene på plastringen.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A0440225 "Forankring av plastringer", ISBN nr 82-14-03318-7.

3.6 Anbefalt utlegg av enkeltliner

Hengslede eller lange stålanlegg er meget følsomme for forankringsmetoden som benyttes. En overordnet mål er å minimalisere de globale bøyemomentene som påføres anlegget. I denne rapporten ble det utført analyser på anlegg og forankringskomponenter, og nye kunnskaper for forbedret forankring på stålanlegg ble frambrakt.

Ved bruk av beregningsprogrammet AquaSys ble det utført analyser på tre forskjellige leggemønstre for et stålanlegg med 1 x 6 bur. Det ble vist vesentlige forskjeller i globale bøyemomenter på eksempelanlegget under strømbelastning, både i intakt og skadet tilstand. Dette illustrerer viktigheten av å benytte et optimalt leggemønster.

I videre analyser ble ett leggemønster studert nærmere ved at linestrekke ble fjernet, samtidig som nøter ble fjernet. Fjerning av nøter gir ekstra bøyemomenter på anlegget fordi "strømningsmotstanden" i anlegget ikke lenger er jevnt fordelt. Bøyemomentene ble redusert ved å fjerne (slakke) utvalgte liner når også nøter var fjernet.

Det er gitt anbefalinger for bruk av kjettinger og blåser i enkeltstrekke, og rapporten avsluttes med noen generelle tips for utlegg av linestrekke på stålanlegg.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A044026 "Anbefalt utlegg av enkeltliner", ISBN nr 82-14-03319-5.

3.7 Svaiforankring av oppdrettsanlegg

Svaiforankring av oppdrettsanlegg er fra et styrkemessig synspunkt en ideell forankring, og er spesielt gunstig ved kompleks bunntopografi. På den annen side legger svaiforankring beslag på mer areal, og vil derfor være mindre gunstig i trange sund eller nær skipsleder. Dessuten er det i utgangspunktet ingen redundans i et svaiforankringssystem.

I dette arbeidet ble svaiforankringens egenskaper studert nærmere. Særlig en utfordring er spesiell for svaiforankrede anlegg: I flerburs anlegg kan en ved spesielle værforhold oppleve at anlegget driver over sin egen forankring, og forankringen kan da komme i kontakt med nøter og rive disse.

En rekke løsninger som kan bidra til å redusere denne risikoen er videre presentert. Hovedfokus for løsningene var å innføre en rettende tilbakeføringskraft på et tidlig tidspunkt, slik at anlegget dreide rundt før det drev over forankringen.

Foreslåtte løsninger inkluderte både passive og aktive systemer.

Avslutningsvis presenteres to løsninger som integrerer fôrflåte i et svaiforankringssystem. Det presenteres også en styrkeanalyse av et nytt svaiforankret stålmerd-konsept.

I vedlegg A tas også med en komplett statisk og dynamisk analyse av en eksisterende fôrflåte.

Arbeidet i fulltekst finnes i delrapport STF80 A0440227 "Svaiforankring av oppdrettsanlegg", ISBN nr 82-14-03320-9.

3.8 Formidling - forankring

Hovedkonklusjoner fra arbeidet gjort i rapport "Konsept og styrkemessig vurdering for stålanlegg" ble presentert i artikkel i Norsk Fiskeoppdrett nr 10/2004: "God forankringsskikk for stålanlegg". Artikkelen fokuserer på samspillet mellom oppdrettsanlegget og forankringen, og det presenteres noen tips for bedre forankring.

3.9 Oppsummering av forankringsaktiviteten

Det er mange faktorer å ta hensyn til ved utlegging av forankringer. Der en har fått konsesjon skal forankringene legges ut best mulig, ofte over kompleks bunntopografi. Forankringene må være tilpasset størrelsen på merdene som skal forankres, og en ønsker at belastningene på merdene skal bli minst mulig.

Svaiforankring av merdene er prinsipielt den enkleste måten å forankre anlegget på. Her unngås alle problemer med kompleks bunntopografi. På den annen side krever denne forankringen relativt stort havareal å bevege seg på, og det vil være risiko for havari i tilfelle merdene driver over forankringen. Arbeidet i dette prosjektet presenterer noen løsninger som kan innføre en tidlig tilbakeføringskraft på forankringen, og således redusere denne risikoen.

Stålanlegg er følsomme for uhensiktsmessige forankringer. Liner med forskjellige fleksibilitetsegenskaper kan påføre stålanlegg store belastninger, det er derfor viktig å tilstrebe horisontalt konstante eller lineært økende fleksibilitet på linene.

Med dagens flytekrager er det begrenset hvilke forenklinger som kan gjøres på forankringene. Forenklete forankringskonfigurasjoner vil være mindre følsomme for kompleks bunntopografi, men vil kreve redesign av flytekragene slik at de skal tåle de ekstra belastningene.

4 Forslag til videre aktiviteter

I det følgende foreslås videre aktiviteter i forlengelse av prosjekt ”Nye rømmingssikre merdkonsept”.

Aktuelle problemstillinger for oppdrettsnot:

- Videreføring av interessante konseptløsninger. Utvikling må foregå i samarbeid med utstyrproduzent, og bør inkludere uttesting av løsningene.
- Studere mekanismene når notlin revner. Eventuelt vurdere effekter av dynamiske belastninger på notlin med maskebrudd.
- Etablere data for materialeegenskaper til notlin. Både for av- og pålastning. For nytt og brukt notlin, impregnert, begrodd, vått, tørt etc. Tallfeste elastisk og plastisk deformasjon.
- Analyser med ABAQUS Aqua for å få direkte beregning av drag- og massekrefter.
- Finne riktig diameter av notlintråd for bruk i styrkeberegninger med strikket notlin.
- Tallfeste effekter ved å benytte alternative materialer i notlin, eksempelvis Dyneema.
- Utvikle metoder som kan redusere belastninger på not under håndtering.
- Problemstillingen har økt i aktualitet de siste år med stadig større og tyngre notposer.
- Sannsynlighet/konsekvensvurdering ved drift i store merdenheter, med tanke på å etablere en konsensus for akseptable risikonivå.
- Studie av drift av store notposer (157m) i samarbeid med serviceselskap og oppdrettsbedrift, fulgt av anbefalinger for drift og teknologiutvikling.
- Sammenligne produksjonstall og fisketrivsel i merder av ulik størrelse.
- Utvikle overvåkingsteknologi for merdvolum (også etterspurt av røktere).
- Få på plass en ”best practice” for storvolum merder.

Aktuelle problemstillinger for forankring:

- Utvikle metode og verktøy for å kunne legge ut optimale forankringer på kompleks bunntopografi. Verktøyet skal bli et hjelpemiddel for røktere og serviceselskaper som utfører utlegg av forankringslinjer.
- Analyser av oppdrettsanlegg i samarbeid med anleggsproduzent. Fokus vil rettes mot analyser ved skade og uoptimale tilstander, slik at en kan få bedre kunnskaper om reell havarisikkerhet.
- Vurdering av teknisk driftsikkerhet og konsekvensvurdering i oppdrettsanlegg som benytter store plastringer. Studie gjøres av eksisterende anlegg og forankringsløsninger, og det vil foreslås forbedringer.
- Forankringsstrategier for storvolum merder.

Referanseliste

Håvard Vannebo et.al. *Nasjonal tiltaksplan mot rømming*. 2000

Heidi Moe, Roar Pedersen og Mats A. Heide. *Oversikt over notsystemer. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2004.

Mats A. Heide og Heidi Moe. *Alternative notkonsepter. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2004.

Heidi Moe og Mats A. Heide. *Riving og deformasjon av not. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2004.

Heidi Moe og Egil Lien. *Modellforsøk. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2004.

Mats A. Heide, Leif Magne Sunde og Egil Lien. *Drift og operasjon. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2005.

Jørgen R. Krokstad. *Oversikt over forankringsløsninger. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2005.

Heidi Moe, Jørgen R. Krokstad, Egil Lien og Mats A. Heide. *Konsept og styrkemessig vurdering av nye forankringssystemer for stålanlegg. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2005.

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

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

Egil Lien, Jørgen R. Krokstad og Mats A. Heide. *Svaiforankring av oppdrettsanlegg. Nye rømmingssikre merdkonsept*. SINTEF Fiskeri og havbruk 2005.

Artikkel i Norsk Fiskeoppdrett nr 17/2003. *Riving av not – er det not eller røkter som svikter?*

Artikkel i Norsk Fiskeoppdrett nr 4/2004. *Løsninger gjennom nye konsepter*.

Artikkel i Norsk Fiskeoppdrett nr 10/2004. *God forankringsskikk for stålanlegg*.