



Studier av lårelivbåter i lårefasen, ved vannkontakt, i frigjøringsfasen og i seilefasen

Ole Gabrielsen/DNV, Bjørn Helland/ConocoPhillips, Per Otto Selnes/OLF, Lars Rune Helland/Global Maritime (nå ansatt i J P Kenny), Helle Gjersum/Global Maritime og Lex van Rooij/TNO

Denne artikkelen er utarbeidet for å gi generell informasjon om prosjektet og publiseres på OLF sine nettsider, <http://www.olf.no/>. Detaljerte prosjektrapporter, som danner grunnlaget for denne artikkelen, kan kjøpes ved henvendelse til Oljeindustriens Landsforening, postadresse: Postboks 8065 Forus, 4068 Stavanger, eller e-post: firmapost@olf.no.

Dersom det er uoverensstemmelser mellom den norske og den engelske utgaven av denne artikkelen, er det innholdet i den engelske utgaven som er gjeldende.

Publiseringsdato: 31. desember 2011

Sammendrag

Denne artikkelen oppsummerer resultatene fra Lårelivbåtprosjektet (LLBP). Prosjektet ble initiert av Oljeindustriens Landsforening (OLF) i desember 2009, og ble gjennomført som et samarbeidsprosjekt mellom OLF og Norges Rederiforbund (NR). Lårelivbåtprosjektet bygger på funn og anbefalinger fra Rederiforbundets livbåtprosjekt, NSA LAP (Life-saving Appliances Project), og erfaringer fra OLF sitt livbåtprosjekt som hovedsakelig dekker fritt-fall-livbåter. Prosjektet ble delt inn i seks arbeidspakker og avsluttet i juni 2011.

Studiene i Lårelivbåtprosjektet dekket følgende faser i en evakuering med lårelivbåter: (1) lårefasen, (2) vannkontakt, (3) frigjøringsfasen og (4) seilefasen. Funn og anbefalinger for hver av disse fire fasene blir presentert i denne artikkelen.

Medlemmene i Livbåtnettverket, som består av representanter fra tilsynsmyndigheter, fagforbund, OLF og NR, ble informert underveis i prosjektet.

Innledning

I 2005 ble det utført en fullskalatest av en fritt-fall-livbåt på Veslefrikk-feltet. Testen avdekket en rekke svakheter. Siden da har Oljeindustriens Landsforening (OLF) og Norges Rederiforbund (NR) gjennomført en rekke undersøkelser, tester, simuleringer og forbedringer hovedsakelig for fritt-fall-livbåter. Arbeidet har vært rettet mot utvikling av regelverk (ny standard for konstruksjon og bygging av fritt-fall-livbåter), skrogkapasitet (bunnslag), sikkerhet for ombordværende (G-krefter), fremdrift og seiling til sikkert område, Ref. /1/.

På bakgrunn av funn gjort for fritt-fall-livbåter besluttet OLF å igangsette Lårelivbåtprosjektet (LLBP) i desember 2009 for å undersøke tilstanden for liknende problemstillinger for lårelivbåter. I tillegg ble flere funn og anbefalinger til videre arbeid fra NSA LAP, Rederiforbundets lårelivbåtprosjekt, inkludert i Lårelivbåtprosjektet. Lårelivbåtprosjektet var et samarbeidsprosjekt mellom OLF og NR.

Ved prosjektstart var det 170 lårelivbåter av 16 typer på norsk kontinentalsokkel.

Et betydelig arbeid har blitt lagt ned for å sikre at grunnlaget for studiene er fornuftig og har tilstrekkelig nøyaktighet. Noen antakelser og forenklinger har likevel blitt

gjort. I tillegg har noen effekter ikke blitt tatt med – noe som vil innføre usikkerheter. Usikkerhetene vil påvirke resultatene og hvordan de tolkes. Dette bør leseren huske på ved gjennomlesning av denne artikkelen. Klare trender fra resultatene har blitt brukt til å påpeke områder med forbedringspotensiale.

Prosjektet har gjennomført en tredjeparts gjennomgang av metodene for generering av akselerasjonspulser og seile-simuleringer ettersom disse danner grunnlaget for hovedresultatene fra prosjektet.

For å kunne gi klare overganger mellom de forskjellige fasene, ble det etablert beskrivelser av start og slutt for hver fase:

Lårefasen: starter når livbåtføreren igangsetter låring av livbåten fra mønstringsposisjon i daviten og slutter når båten kommer i kontakt med vannet.

Vannkontakt: starter når livbåten kommer i kontakt med vannet og slutter når båten flyter. Denne fasen kalles noen ganger for *landing*.

Frigjøringsfasen: starter når båten flyter og slutter når vaierfallene er frigjort.

Seilefasen: starter når vaierfallene er frigjort og slutter når båten har ankommet et sikkert område.

Seilefasen er basert på et spekter av sjøtilstander (irregulære bølger), mens de øvrige simuleringene er basert på representative, regulære bølger som tilsvarer røffe bølger i en 100-års sjøtilstand.

Denne artikkelen er basert på oppsummeringsrapporten for Lårelivbåtprosjektet, Ref. /8/, som igjen er basert på detaljrapporter fra en rekke delaktiviteter, hovedsakelig referansene /9/ til /24/. Merk at de faktiske typebetegnelsene på livbåtene er anonymisert med hensikt i artikkelteksten og i referanselisten.

Lårefasen

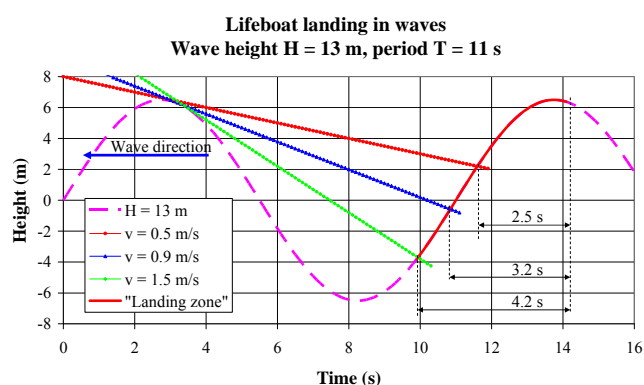
Grunnleggende betraktninger

Før presentasjon av de spesifikke resultatene for lårefasen er det nyttig med noen grunnleggende betraktninger rundt låring av livbåter.

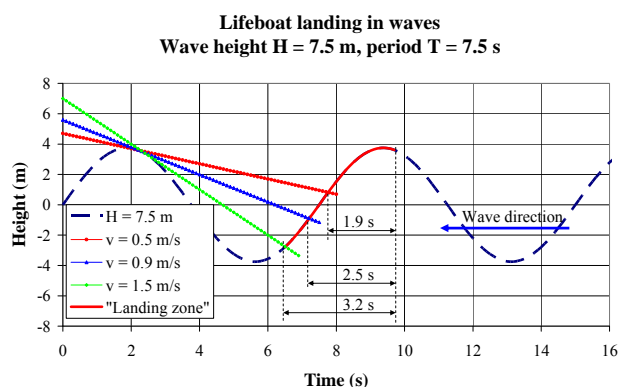
Figur 1 under viser et forenklet tilfelle ved låring av en livbåt i en regulær bølge med en høyde på 13 m og en bølgeperiode på 11 s som beveger seg mot venstre på figuren. Figuren viser bølgens og båtens vertikale posisjon som funksjon av tiden. Tilfellet vist i figuren er når båten så vidt går klar av bølgetoppen. De tre linjene viser hvordan lårehastigheten påvirker treffpunktet i bølgen. Med en lårehastighet på 1,5 m/s

vil båten lande dypere i bølgedalen enn for de to andre lårehastighetene (0,9 og 0,5 m/s). Figuren viser at helningen til de tre linjene stort sett er mindre enn helningen til bølgen. I røft vær med steile bølger, vil båten alltid lande i den delen av bølgen hvor bølgen er på vei oppover. Denne observasjonen er uavhengig av bølgeretning.

En del av bølgen i Figur 1 er merket rødt for å angi landingssonen. Frigjøringsvinduet¹ er vist til å være 4,2 s, 3,2 s og 2,5 s for de tre lårehastighetene. Når båten settes ned på vannet vil den bevege seg horisontalt med bølgen noe som fører til at vaierfallene går på skrått fra daviten til livbåten. Hvis livbåten ikke er frigjort fra vaierfallene før frigjøringsvinduet er over, vil vekten av livbåten blir ført tilbake til vaierfallene, også kalt 're-entry'. Dette skjer fordi den vertikale bølgepartikkelhastigheten i dårlig vær er generelt større enn lårehastigheten. Og siden livbåten har forflyttet seg sideveis med bølgen, vil den svinge tilbake og i de fleste tilfeller ha en helt annen posisjon ved neste landing.



Figur 1 Forenklet tilfelle 1: Treffpunkt og frigjøringsvinduet som funksjon av lårehastighet for bølge med høyde $H = 13$ m og periode $T = 11$ sekunder.



Figur 2 Forenklet tilfelle 2: Treffpunkt og frigjøringsvinduet som funksjon av lårehastighet for bølge med høyde $H = 7,5$ m og periode $T = 7,5$ sekunder.

Som beskrevet over, er tilfellet i Figur 1 forenklet. I virkeligheten kan livbåten lande hvor som helst i den røde sonen avhengig av lårehastigheten og tidspunktet låringen ble igangsatt relativt til bølgen. I de tilfellene hvor livbåten lander rett før bølgetoppen vil frigjøringsvinduet være for kort til at fallene kan frigjøres, noe som fører til 're-entry'. Rykklastene i disse tilfellene er mindre alvorlige ettersom den horisontale bevegelsen er liten, noe som igjen fører til at pendelbeveg-

elsen er liten. Et annet fordelaktig moment er at låringen fortsetter og båten lander dypere i neste bølge sammenliknet med en livbåt som så vidt unngår en bølgetopp, slik som tilfellet i Figur 1. Og ved å lande dypere i den andre bølgen vil frigjøringsvinduet bli større.

Figur 2 viser et annet forenklet tilfelle for en bølge med lavere bølgehøyde og med en kortere bølgeperiode. Figuren viser at frigjøringsvinduet er mindre for denne bølgen enn for bølgen i Figur 1. Dette betyr at det kan være vanskeligere å frigjøre vaierfallene i små, krappe bølger enn i store bølger ettersom frigjøringsvinduet er mindre.

Selv om Figur 1 and Figur 2 er forenklinger, demonstrerer de begrepet 're-entry' og effekten av lårehastighet og bølgeperiode på frigjøringsvinduet.

Beskrivelse av simuleringene

I lårefasen er en lårelivbåt hovedsakelig påvirket av egenvekt og vindlaster. Såkalt 'pull & go'-utsetting² har blitt brukt i alle disse simuleringene. Det betyr at man kan se bort fra dynamiske laster fra en holdebremse. Motstanden fra en typisk sentrifugalbremse er tatt med. Parametre som lårehastighet, lårehøyde og livbåtvekt er også tatt med i studien. Tabell 1 under gir en oversikt over simuleringer og parametre som er utført med MOSES³ for lårefasen.

Tabell 1 Simuleringsmatrise for låresimuleringer.

Laste-kondisjon	Låre-høyde	Låre-hastighet	Beaufort styrke	Vind-retning	Antall simuleringer
Full	22 m	0,5, 0,9 og 1,5 m/s	10, 11 og 12	175, 135 og 90 grader	2700
Full	50 m	0,5, 0,9 og 1,5 m/s	10, 11 og 12	175, 135 og 90 grader	2700
Full	80 m	0,5, 0,9 og 1,5 m/s	10, 11 og 12	175, 135 og 90 grader	2700
Tom	22 m	0,9 m/s	10, 11 og 12	175, 135 og 90 grader	900
Tom	80 m	0,9 m/s	10, 11 og 12	175, 135 og 90 grader	900

Om vindretninger:

0 grader er følgende sjø, 90 grader er sidesjø fra styrbord og 180 grader er møtende sjø

Simuleringene starter med livbåten hengende i vaierfallene. Ved simuleringens begynnelse er kjølen til livbåten plassert 6,0 m under davitene. Vindkreftene blir gradvis påsatt i løpet av de 20 første sekundene av simuleringen for å unngå transiente effekter (pendelbevegelser på grunn av plutselig påsatte laster). Låringen starter når vindlastene er fullt påsatt. Lårehastigheten økes gradvis fra null til den ønskede hastigheten i løpet av de fem første sekundene av låringen.

Postprosessering av resultatene blir gjort ved først å bestemme tidspunktet for når livbåten kommer i kontakt med vannet. Dette er definert som det tidspunktet origo til båten (plassert på kjølen, midt mellom krokene) berører overflaten til bølgen. Koordinatsystemet følger høyrehåndsregelen, der x -

¹ Frigjøringsvinduet: tidsperiode tilgjengelig mellom landing og mulig utrykking av vannet, såkalt 're-entry'.

² Låring av en livbåt uten å bremse; låringen foregår i en sammenhengende bevegelse fra mønstingsposisjon til den flyter.

³ Av Ultramarine, <http://www.ultramarine.com/>

aksen har positiv retning mot akter, y-aksen mot styrbord og z-aksen oppover.

Ved det tidspunktet livbåten treffer vannet rapporteres girvinkelen og plasseringen til tre punkter. Ett punkt er plassert i origo av båten, ett er ved hekken og ett er ved baugen.

x-, y- og z-koordinatene til båtens bane ble rapportert fra det øyeblikk vindlastene er fullt påsatt. Denne rapporteringen stoppet idet båten treffer vannet.

Ulike miljøtilstander har blitt etablert basert på Beaufort-skalaen. Vind- og bølgeparametere tilsvarende Beaufort-styrke 10 til 12 er gitt i Tabell 2.

Tabell 2 Oversikt over sjøtilstander og vindhastigheter brukt i låresimuleringene.

Beaufort styrke	Gj.snittlig vindhastighet 10 m høyde over stille vannsnivå	Signifikant bølgehøyde	Bølge toppperiode	Gammafaktor	Gj.snittlig steilhet (S_p)
10	26 m/s	8 m	11 s	3,6	1/24
11	31 m/s	11 m	13 s	3,5	1/24
12	37 m/s	16 m	17 s	2,4	1/28

Det er ikke rett frem å etablere en sammenheng mellom vindhastighet, bølgehøyde og bølgeperiode. Dette fordi bølgene vokser gradvis etter hvert som vinden blåser, noe som betyr at varigheten til vinden er en viktig parameter som er sett bort fra her. Tabell 2 representerer velutviklede tilstander. Topperioden til hver sjøtilstand er valgt slik at disse er i det bratte området av skalaen. Den gjennomsnittlige steilheten (S_p), som definert i DNV-RP-C205, Ref. /5/, er gitt i tabellen for en sammenligning. Den gjennomsnittlige steilheten er gitt som:

$$S_p = \frac{2\pi H_s}{g T_p^2}$$

der T_p er topperioden og H_s er den signifikante bølgehøyden.

Oppsummering av resultatene for lårefasen

Figur 22 i Vedlegg A viser et eksempel på resultat fra låresimuleringene. Datapunktet med rang 91 (av 101) er valgt i plottene av den kumulative fordelingen og vist i Tabell 14, Tabell 15 and Tabell 16 (også de i Vedlegg A). Dette datapunktet er en estimator for 90 % sannsynligheten for ikke-overskridelse ($91/101=0.9$). Forskyvningen i x-retning er forskyvning inn mot plattformen, og er ansett som den kritiske parameteren. Hovedkonklusjonene er som følger:

1. Pendelbevegelser kan reduseres ved å øke lårehastigheten.
2. Låring av livbåt fra store høyder (mer enn 50 m) i sterk vind kan føre til farlige pendelbevegelser og store posisjons- og vinkelavvik. Situasjonen forverres dersom livbåten er lett lastet.

Høyere lårehastighet gir høyere bunnslag og dermed større akselerasjoner idet båten treffer vannet. Høyere lårehastighet vil også øke frigjøringsvinduet. Denne tendensen kan være mindre tydelig i irregulær sjø, og ved låring fra store høyder i sterk vind. På den andre siden vil en lavere lårehastighet gi lavere akselerasjoner idet båten treffer vannet, men samtidig redusere frigjøringsvinduet. Generelt sett virker det som at en lårehastighet rundt 1,0 m/s er et godt kompromiss mellom akselerasjoner og krav til frigjøringsvinduet.

Evaluering av 'Pull & Go'

Generelt sett anbefaler LLBP 'pull & go'-låring av lårelivbåter som beskrevet i NORSOK R-002 A.3.4.3, Ref. /3/. Grunnlaget for denne anbefalingen er:

- Forenklet låreprosedyre; mannskapet trenger ikke holde i bremsevaieren og trenger ikke å stoppe låringen for å sikte på en passende bølge eller unngå skrot;
- Man fokuserer på de viktige oppgavene, som rask frigjøring og å redusere tilbakedrift, noe som er viktig for å sikre et vellykket utfall;
- Uavbrutt låring reduserer pendelbevegelser sammenlignet med låringer med innlagte stans i låringen;
- Unngå dynamiske laster som kommer når man brems under låringen;
- Bruk av gravitasjonsbrems (og ingen holdebremser) vil redusere de dynamiske lastene i tilfelle 're-entry';
- 'Pull & go'-tilnærmingen er mer sammenlignbart med sjøsetting av fritt-fall-livbåter som kan bli sjøsatt uten å ta hensyn til skrot eller andre flytende objekter.

Prosjektet erkjenner at det er konflikt mellom LSA-koden og anbefalingene i NORSOK R-002, og også anbefalingene fra dette prosjektet. Dette vil i hovedsak være et tema for flyttbare enheter som er under maritimt regelverk. Likevel er fordelene så klare at 'pull & go'-låring er sterkt anbefalt av dette prosjektet.

Vannkontakt

Studiene av fasen der livbåten treffer vannet (vannkontakt) dekker i hovedsak to viktige aspekter: Det første er menneskelige aspekter som "Hva er skadepotensialet til akselerasjonstopper ved vannkontakt?" Det andre aspektet er relater til estimering av skrogkapasitet ved bunnslag (strukturell styrke) av to typiske livbåtskrog.

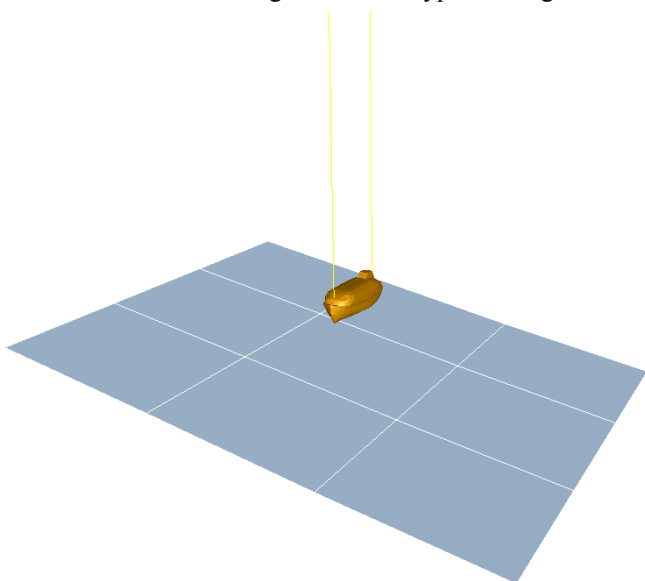
Spissakselerasjoner

Et stort antall akselerasjonspulser ble generert for bruk i biomekaniske studier. Noen akselerasjonspulser ble generert i en tidlig fase slik at biomekaniske ingeniører kunne gjennomføre en valideringsstudie og en parameterstudie. De fleste av akselerasjonspulsene, bestående av 21 000 pulser, ble generert fra 3 500 datasimuleringer. Disse ble brukt i en omfattende biomekanisk studie av landingsfasen, se under. De 3 500 datasimuleringene i MOSES var basert på følgende inputparametere:

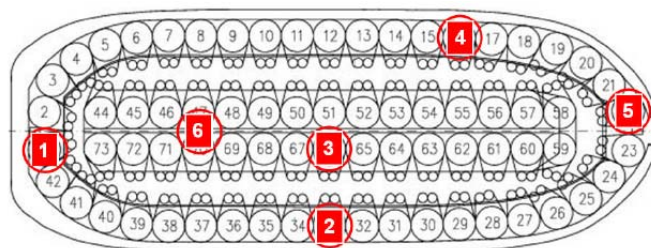
- 5 båter (kalt Boat A, B, C, D and E)
- 2 lårehastigheter (0,9 m/s og 1,5 m/s)
- 5 bølgeretninger (0, 45, 90 (sidesjø), 135, 180 (møtende sjø) grader)
- 7 bølgetilstander (see Tabell 3) – regulære bølger
- 10 landingsposisjoner i hver bølge.

Figur 3 viser et skjermbilde fra en av MOSES-simuleringene. Lårehøyden er 30 m for alle disse simuleringene. For hver simulering fikk man rapportert seteakselerasjoner for seks seter, deriblant førerasetet. De andre fem setene var spredt ut-

over båten, slik at ytre styrbord sete, senteretsetet, fremste og bakerste sete ble dekket. Figur 4 viser et typisk utvalg av seter.



Figur 3 Skjerm bilde fra simulering.



Figur 4 Typisk utvalg av seter for vurdering av personskader.

Et sett av irregulære sjøtilstander ble valgt som grunnlag for simuleringene. Disse sjøtilstandene, gitt av signifikant bølgehøyde, H_s , og topperperioden, T_p , ligger alle på eller nær 100-årskonturen i et typisk H_s-T_p -diagram for nordlige Nordsjøen. Fra de utvalgte irregulære sjøtilstandene ble høyden av de representative bølgene valgt som gjennomsnittet av den høyeste tidelen, $H_{1/10} \approx 1,27 \cdot H_s$. Korresponderende bølgeperiode, T , er valgt slik at det er 10 % sjanse for å ha en brattere bølge, gitt bølgehøyden.

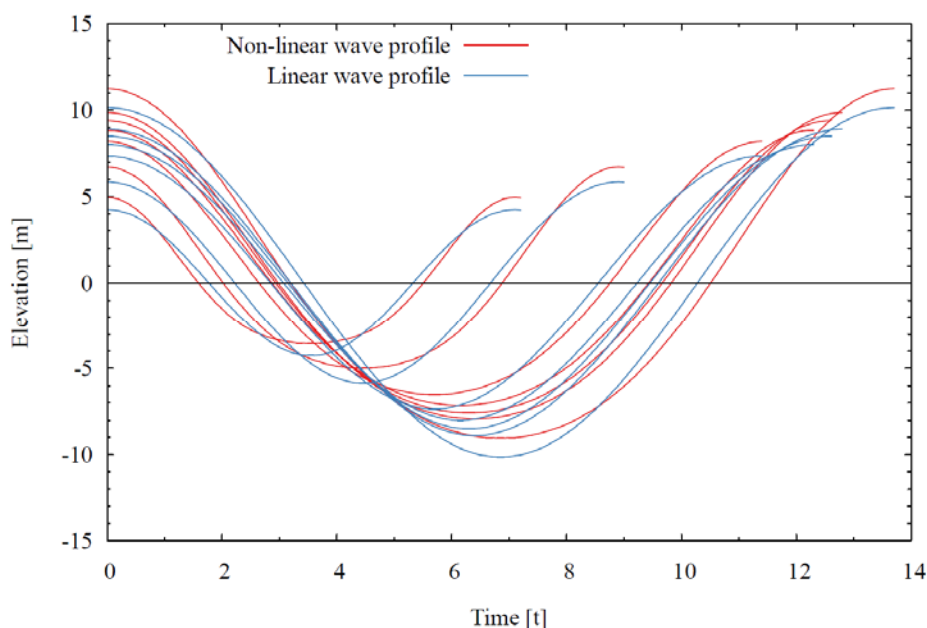
De representative bølgene som ble brukt for å generere akselerasjonspulsene, er gitt i Tabell 3 og visualisert i Figur 5. De ikke-lineære bølgene ble brukt i simuleringene.

Tabell 3 Irregulær sjø-parametere og representative regulære bølger for simuleringer av vannkontakt.

Topp- periode	Gj. steilhet	Sign. høyde	H	T	Fase- hastighet	Bølge- lengde	Steilhet	Hastighet *)	Akselerasjon *)
T_p [s]	S_p [-]	H_s [m]	[m]	[s]	[m/s]	[m]	[-]	[m/s]	[m/s ²]
16,0	1/25	15,99	20,3	13,7	21,4	292	1/14	4,66	2,14
15,0	1/25	14,05	17,8	12,8	20,0	257	1/14	4,37	2,14
14,0	1/23	13,41	17,0	12,6	19,7	249	1/15	4,24	2,11
13,0	1/21	12,56	16,0	12,3	19,2	236	1/15	4,08	2,08
12,0	1/19	11,56	14,7	11,4	17,8	203	1/14	4,04	2,23
10,0	1/17	9,22	11,7	8,9	13,9	124	1/11	4,13	2,92
8,0	1/15	6,66	8,5	7,1	11,1	79	1/9	3,73	3,30

Fotnoter:

*) Amplitude evaluert i stillevannsnivå. (Airybølge – dypt vann)



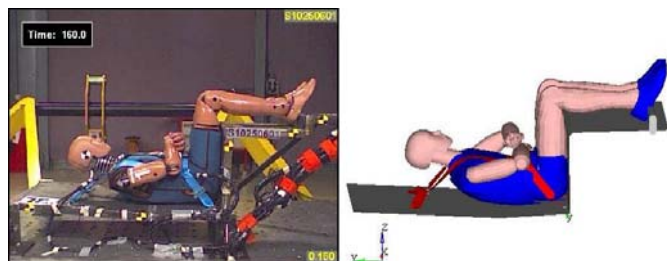
Figur 5 Ulineært bølgeprofil brukt i simuleringene plottet over lineære bølgeprofiler.

Krefter på personell i livbåten ved vannkontakt

Numeriske simuleringer ble gjort i MADYMO⁴ der man brukte akselerasjonspulsene som er generert som beskrevet over. Simuleringene ble brukt til å avdekke mulige skader på ombordværende ved å se på seks ulike seter i tre ulike livbåter. Sikkerhetsnivået for de ulike livbåtene ble evaluert ved å bruke en standardisert krasj-dukke (RID^{3D}) som tilsvarer en 50 percentil mannlig passasjer.

Akselerasjonspulser for tre av de fem livbåtene som ble simulert i MOSES ble valgt for de biomekaniske simuleringene. Akselerasjonspulsene for de to siste livbåtene var dekket av pulsene for de tre som ble benyttet. I tillegg, av 10 treffpunkt for hver bølge brukte man bare det settet med høyest gjennomsnittlig CAR⁵-verdi i de biomekaniske simuleringene.

Et laboratorieforsøk ble utført for å kunne sammenlikne de numeriske simuleringene med en fullskala krasj-dukke. Akselerasjonspulsen tilsvarte et for dropp fra 3 m høyde. Resultatene viste at de simulerte (numeriske) skadeverdiene er sammenlignbare med de målte skadeverdiene. Figur 6 viser et bilde fra laboratorieforsøkene side ved side med et bilde fra de numeriske simuleringene (samme tidssteg).



Figur 6 Eksempel: Sammenligning av kinematikk mellom laboratorieforsøk (venstre) og simuleringer (høyre).

Testoppsettet i de tre simuleringene tilsvarer oppsettet per dags dato i de tre aktuelle livbåtene. Dukken er fastspent i setene på samme måte som det faktiske beltesystemet (2-punkts eller 4-punkts beltesystem). Referanseoppsettet for alle biomekaniske simuleringene er et stivt sete der dukke-modellen sitter oppreist med armene i kryss. Føreren og resten av personellet om bord holder seg i skulderstroppene dersom slike finnes. 4-punktsbeltet består av et hoftebelte og to skulderstropper koblet til en horisontal stropp mellom de øvre innfestningspunktene. I simuleringene har 4-punktsbeltet i 'Boat A' justerbare skulderstropper, mens 4-punktsbeltet i 'Boat C' har ikke-justerbare skulderstropper.

Skadekriterier etablert av LBP2 SOL underprosjekt, Ref. /2/, har blitt brukt. Dette settet av skadekriterier er generelt sett uttrykt ved nedre og øvre grense for utvalgte parametere. Nedre grense tilsvarer ingen eller uvesentlige skader, mens øvre grense tilsvarer alvorlige skader. Både nedre og øvre grense representerer lav risiko av respektive skader, tallfestet til <25 % risiko for at skaden vil oppstå. Vurderingen av grensene tar hensyn til at en skade som er alvorlig på AIS-skalaen, se Tabell 4 under, kan være fatal under en livbåtevakking på grunn av omstendigheter som hindrer medisinsk assistanse.

Tabell 4 "Abbreviated Injury Scale" (AIS), fra Ref. /4/.

AIS-kode	Skade	Eksempel på karakteristikk og indikasjoner	
		Hjerne-/hodeskader	Skjelett/benskader
0	Ingen skade		
1	Mindre	Hodepine	Blodmerke eller mindre brudd
2	Moderat	Tap av bevissthet i mindre enn 1 time	Moderat brudd, f.eks. 2 brukne ribbein
3	Alvorlig	Tap av bevissthet i mellom 1 og 6 timer	Ikke livstruende, slik som en fastklemt fot
4	Meget alvorlig	Tap av bevissthet mellom 6 og 24 timer	4 eller flere ribbeinsbrudd på en side, 2 eller 3 brukne ribbein med blodakkumulering i brystkassen eller lungekollaps
5	Kritisk		Dødelig på kort sikt, slik som forårsaket av nakkebrudd
6	Uhelbredelig	Ikke overlevbar	Umiddelbar død, slik som forårsaket av halshugging

Tabell 5, Tabell 6 og Tabell 7 oppsummerer resultatene fra studien. Hver fargede celle i tabellene representerer en simulering. Dersom cellen er grønn er skaden mindre enn nedre nivå (AIS-nivå 0 og 1). Dersom cellen er gul er skaden mellom nedre og øvre nivå (AIS-nivå 2 til 3). En rød celle indikerer at skaden er større enn øvre nivå (høyere enn AIS-nivå 3 til 4).

De tre tabellene består av flest grønne celler. Generelt sett er det bare noen seter i sidesjø hvor cellene ikke er grønne. Videre kan man se at antallet celler som ikke er grønne er høyere for en lårehastighet på 1,5 m/s enn for en lårehastighet på 0,9 m/s.

Siden alle setene i 'Boat B' har et 2-punkts beltesystem er ikke overkroppen til personene fastspent, og kan dermed bevege seg fremover og treffe andre personer. For å undersøke om dette kan føre til skader, har prosjektet utført to simuleringer for å studere samvirkingen mellom to dukker. Selv om det ikke er observert direkte i simuleringene, kan den ukontrollerte bevegelsen av overkroppen på grunn av manglende skulderbelte føre til skadelig kontakt.

For 'Boat A' and 'Boat C' var tilfellene som angir skaderisiko (som oversteg nedre grense) relatert til nakkeskader/nakkesleng. I fire tilfeller med sidesjø for 'Boat C' var de høye skadeverdiene forårsaket av hodet treffer seteryggen under kast bakover. Spesielt for 'Boat C', med et 4-punkts beltesystem med fast lengde på skulderstroppene, kan skaden reduseres når man bruker et optimalisert 4-punkts beltesystem med justerbare skulderstropper (og hoftebelter).

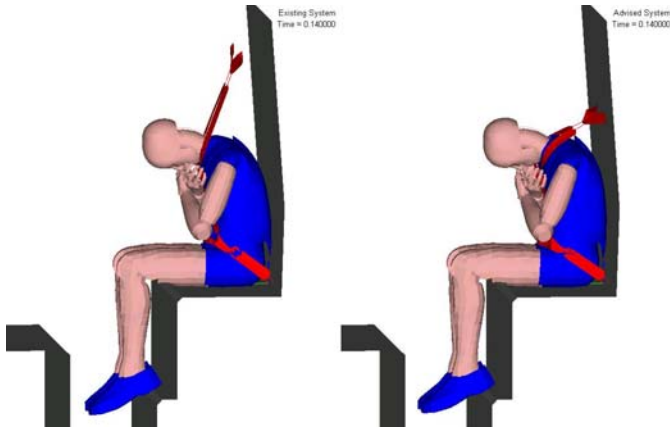
Når man tar høyde for at akselerasjonspulsene som ble brukt i de numeriske simuleringene var basert på voldsomme bølger i en 100-årstilstand, og at de tilsvarer den verste av ti simulerte treffpunkt midlet over de seks utvalgte setene, anses den totale risikoen for å bli skadet i landingsfasen som svært lav.

For å undersøke i hvilken grad CAR-verdien kan bli brukt til å forutsi skadenivåene eller til å velge ut de verste tilfellene har man undersøkt korrelasjonen mellom CAR og maks normalisert skadeverdi (F_{max}) for hvilket som helst kriterie. Generelt sett er det en positiv trend mellom CAR-verdien og F_{max} for de vurderte tilfellene, noe som viser at høyere skader generelt sett er relatert til høyere CAR-verdier. CAR-verdien korrelerer til F_{max} med en determinasjonskoeffisient, R^2 , på

⁴ Av TASS (TNO Automotive Safety Solutions), <http://www.tass-safe.com/>

bruke ansiktsmaske, siden den dominerende retningen for akselerasjoner er ukjent.

5. Utplassering av puter i setene gir lavere skader, men likevel ikke lavt nok til å forsvare montering av puter i alle eksisterende livbåter.
6. De setene som har tilkoblingspunktene for skulderbeltene plassert høyt oppe (ved åpninger og noen indre seter) bør, der mulig, få senket disse punktene til samme nivå som resten av setene, se Figur 7.



Figur 7 Eksempler på tilkoblingspunkt for skulderbeltene; høy plassering (venstre) og optimal plassering (høyre).

Resultatene for førersetet er som følger:

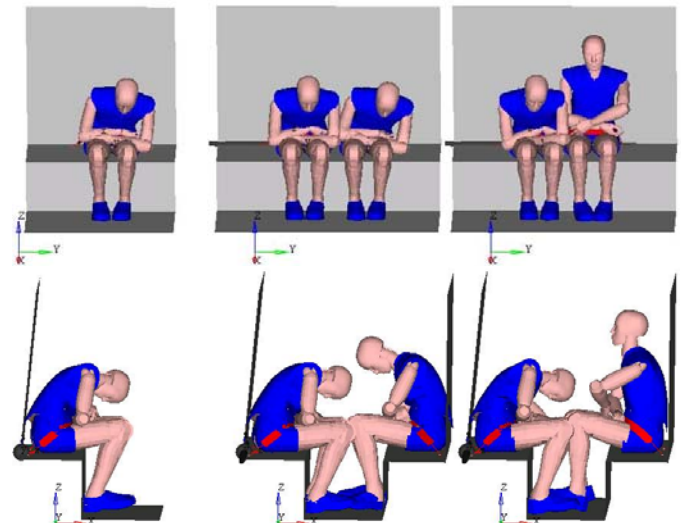
1. Et 4-punkts beltesystem er anbefalt sammenlignet med et 2-punkts beltesystem.
2. Det er anbefalt å montere pute på nakkestøtten.
3. Noen førersetet har innfestningspunktet for hoftebeltet for langt fremme. Disse bør flyttes bakover og oppover. Optimalt tilkoblingspunkt er i nærheten av overgangen mellom selve setet og seteryggen.
4. Det er anbefalt å ha armene i kryss foran brystet.

Dukke-dukke kontaktstudie

Studien av dukke-dukke kontakt innebar numeriske undersøkelser av risikoen for kontakt mellom to personer i tre setearrangementer for et 2-punkt beltesystem for tre ulike lasttilfeller, se Figur 8. Akslerasjonspulsene brukt i studien representerer følgende sjø, skråsjø bakfra og sidesjø.

Fra disse simuleringene kan det konkluderes at når to personer sitter ved siden av, vis-a-vis eller med ryggen mot hverandre vil dette påvirke skadenivået sammenlignet med en person uten naboer. Begge personene kan risikere å treffe hverandre med hode, bryst, hofter, armer og/eller bein, noe som muligens kan resultere i mer alvorlige skader. Basert kun på denne analysen er det derfor anbefalt å bruke skulderstropper for å unngå at personene treffer hverandre med hodet eller overkroppen.

Seating arrangement scenario		Joints	Seatback plane
Next	Dummy1	Free	Yes
	Dummy2	Free	
Opposite	Dummy1	Free	Yes
	Dummy2	Locked	
Back	Dummy1	Free	Yes
	Dummy2	Free	
	Dummy1	Free	No
	Dummy2	Free	



Figur 8 Dummy-dummy kontaktstudie: Setescenarier og fastholdning.

Noen andre spesifikke resultater fra studien er:

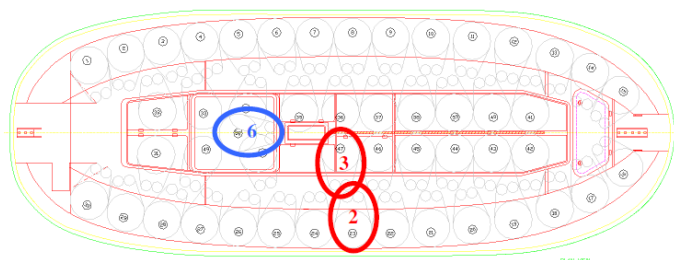
- 1) Side-ved-side-scenario:
 - a) Begge dukkene kan bevege seg: Skadenivået er sammenlignbart med en dukke som sitter alene.
 - b) Bare en dukke kan bevege seg: Ulik oppførsel og høyere skadenivå for noen skader. Disse skadene kan unngås ved bruk av skulderbeltene.
- 2) Front-mot-front-scenario:
 - a) Samme oppførsel i kinematikken når man sammenligner den ytre dukken med en dukke som sitter alene. Man har i starten kontakt mellom beina på begge dukkene, noe som kan resultere i skader under sammenstøtet (bein- og hodesammenstøt). Hodesammenstøt kan unngås ved bruk av skulderbeltene.
- 3) Rygg-mot-rygg-scenario:
 - a) Når man har ryggstøtte på senterbenken i båten gir simuleringene det samme resultatet som for en dukke som sitter alene.
 - b) Når man ikke har ryggstøtte (eller f.eks. en stoffduk) vil begge dukkene treffe hverandre, noe som resulterer i høyere hastighet ved sammenstøtet. Dette fører til at overkroppens bevegelser forover blir raskere og lengre. I dette tilfellet førte det til lavere rotasjonsakselerasjoner for hodet. Dette indikerer en

reduksjon i skaderisiko for at dukkene treffer hverandre i dette spesifikke tilfellet. Likevel kan det resultere i hodesammenstøt med en annen dukke. Ved bruk av skulderstropper er bevegelsen forover forhindret og hodesammenstøt dermed ikke mulig.

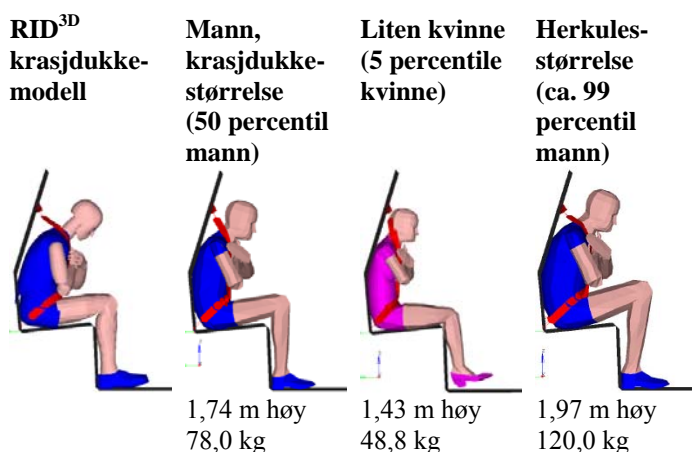
Selv om det ikke er simulert som en del av denne studien, bør man være klar over at store personer som sitter nær hverandre in en båt med 2-punkt beltesystem har større risiko for skade som følge av sammenstøt med hverandre enn to mindre personer.

Variasjon av personstørrelse

De fleste biomekaniske studiene har brukt en standardisert krasjdukke (RID^{3D}) som er tilsvarende for en 50 percentil mannsperson. En separat studie for å undersøke effekten av variasjon i personstørrelser (ulik antropometri) ble gjennomført. Denne studien dekket tre ulike størrelser i tre ulike seter for tre ulike bølger (samme bølgeretning) i en utvalgt båt ('Boat C'). Figur 10 nedenfor viser noen nøkkelkarakteristikker for de menneske-modellene brukt i studien. Beltesystemet som ble brukt var et 4-punkt beltesystem som består av et hoftebelte og to ikke-justerbare skulderstropper. Aksele-rasjonspulser tilsvarende en lårehastighet på 1,5 m/s ble brukt.



Figur 9 Utvalgte seter i studien av variasjon av personstørrelse.



Figur 10 Simuleringsoppsett i sete 2, illustrasjon av RID^{3D} og menneske-modellene.

Sammenligningen mellom RID^{3D} krasjdukke-modellen og menneske-modellen (mann) viser generelt en veldig lik oppførsel. En av de største forskjellene mellom krasjdukken og menneske-modellen er ryggradskonstruksjonen, som er mer fleksibel hos menneske-modellen enn hos dukke-modellen. Forskjellene i utgangsposisjon og ryggradsstivhet resulterer i ulike bevegelser av menneske-modellen sammenlignet med krasjdukken under sammenstøtet. Menneske-

modellen bøyer seg generelt sett mer fremover og til siden sammenlignet med krasjdukke-modellen.

Oppførselen til 5 percentil-kvinnen, mannen av krasjdukke-størrelse og Herkules-størrelsen er veldig lik for identiske lasttilfeller. Det er kun for simuleringene av fører-setet Herkules-modellen har annerledes oppførsel sammenlignet med de andre modellene. Dette henger sammen med at posisjonen til Herkules-modellen ikke er den samme som for de mindre modellene, fordi den ikke passer mellom stolpene til fører-setet.

Ingen av de simulerte lasttilfellene med menneske-modellene ga skadeparametere høyere enn den øvre grensen. I 10 av 27 simulerte lasttilfeller med menneske-modeller kan man se skadenivåer høyere enn nedre verdi for minst ett lasttilfelle.

Særlig for 'Boat C', som har et 4-punkts beltesystem med fast lengde på skuldestroppene, kan skaderesponsen reduseres ved bruk av et optimalt 4-punkt beltesystem med justerbare skulderstropper (og hoftebelte). I tillegg kan personene treffe vegger og utstyr inni båten under låring.

Beltekonfigurasjonen som er evaluert har innfestningspunkter for skulderstroppene som ikke er justerbare i høyden, men som har fast høyde. Tidligere forskning viser at høyden på skulderstroppene har en effekt på skadevirkningen, særlig når man tar hensyn til ulike personstørrelser. Muligheten til å justere høyden på skulderstroppene kan redusere skadene.

Skrogkapasitet

Bunnslag og skrogkapasitet for to båter, 'Boat F' og 'Boat G', har blitt vurdert ved bruk av CFD (Computational Fluid Dynamics) og programvare basert på elementmetoden (FEM – Finite Element Method). Metoden som ble brukt her er i hovedsak den samme metoden som ble utviklet og brukt for fritt-fall-livbåter, med passende justeringer.

De to båtene ble valgt fordi de representerer de største båtene i prosjektet. En stor og tung båt vil gi større krefter fra bunnslag. I tillegg representerer disse to båtene to ulike leverandører og to ulike produksjonsmetoder.

Analysemetoden kan oppsummeres som følger:

1. Velge dimensjonerende laster og lastfaktorer. Dette innebærer å velge dimensjonerende bølge, bølgeretning, lårehastighet og treffpunkt.
2. Etablere en overflatemodell av livbåten med indikatorpaneler.
3. Gjennomføre CFD-analyse for å finne trykket på indikatorpanelene. Velge tidspunkt for trykk-toppene som skal inkluderes i kapasitetsberegningene.
4. Lage styrkemodell av livbåten.
5. Overføre trykkreftene fra CFD-analysen til styrkemodellen.
6. Evaluere spenning og deformasjoner.

Tre ulike bølger med ulik karakteristisk last ble anvendt på 'Boat F', mens kun én bølge ("Wave 1") ble anvendt på 'Boat G' for å undersøke kapasiteten mot bunnslag. Karakteristikken til de dimensjonerende bølgene er gitt i Tabell 8. For hver bølge ble totalt 5 låringer simulert med CFD (Star-CCM+⁵) og 10 lasttilfeller for styrkeberegninger ble analysert i NX I-DEAS⁶.

⁵ Av CD-adapco

⁶ Av Siemens PLM Software.

Tabell 8 Designbølger for strukturanalyse.

Bølge-ID	“Wave 0”	“Wave 2”	“Wave 1”
Bølgehøyde	17 m	20,3 m	16,0 m
Bølgeperiode, T	10,4 s	13,7 s	12,3 s
Steilhet, S_p	1/10	1/14	1/15
Vertikal bølgepartikkelhastighet	5,1 m/s	4,7 m/s	4,1 m/s

En lastfaktor på 1,0 ble brukt for eksisterende båter. Materialfaktoren ble satt til 1,75 (matriksdominerte laminat)

Resultater for ‘Boat F’

For alle de tre dimensjonerende bølgen viser resultatene for ‘Boat F’ at den har lavere kapasitet enn påkrevd i store deler av konstruksjonen. Den globale analysen viser tre områder på båten som har høyt spenningsnivå. Dette er akterskroget, siden på skroget og store områder i overbygget. Det høye spenningsnivået i overbygget skyldes store globale deformasjoner.

Styrkeberegningene viser at båten kan bli utsatt for global kollaps. Analysen viser også at det er CSM-lagene (Chopped Strand Mats) i laminatet som ryker først. Resultatene for sidesjø viser store sideveis deformasjoner i overbygget relativt til skroget. Disse deformasjonene kan skade ombordværende.

Man bør merke seg at det er en del usikkerheter relatert til modelleringen av konstruksjonsdetaljer. Eierne av denne livbåt typen bør vurdere disse usikkerhetene med assistanse fra livbåtprodusenten.

Resultater for ‘Boat G’

Her er det bare to lasttilfeller med spenningsnivå nær eller over kapasiteten. Dette er lasttilfelle 3 og 6. Lasttilfelle 3 er et låringstilfelle med sjø skrått bakfra. Analysen viser høye utnyttelser, men det er ikke forventet å gi progressiv kollaps. Lasttilfelle 6 er fra et låringstilfelle der bølgen treffer skroget fra siden. Styrkeberegningen av dette tilfellet gir høye spenningsnivå i den nedre delen av skroget, innerkledningen, oppdriftsskummet og overbyggets laminering. Dette lasttilfellet har også en stor deformasjon mellom skroget og overbygget, noe som kan skade ombordværende. Maksimal deformasjon i den ikke-lineære analysen er 206 mm. Både globale sideveis deformasjoner og globale vertikale deformasjoner er store og kan, som for ‘Boat F’, skade ombordværende. Livbåteieren bør, med assistanse fra livbåtprodusenten, vurdere mulige forsterkninger.

Frigjøringsfasen

Frigjøringsystem

I det følgende er NORSOK R-002-definisjonen av et frigjøringsystem, Ref. /3/, brukt (egen oversettelse):

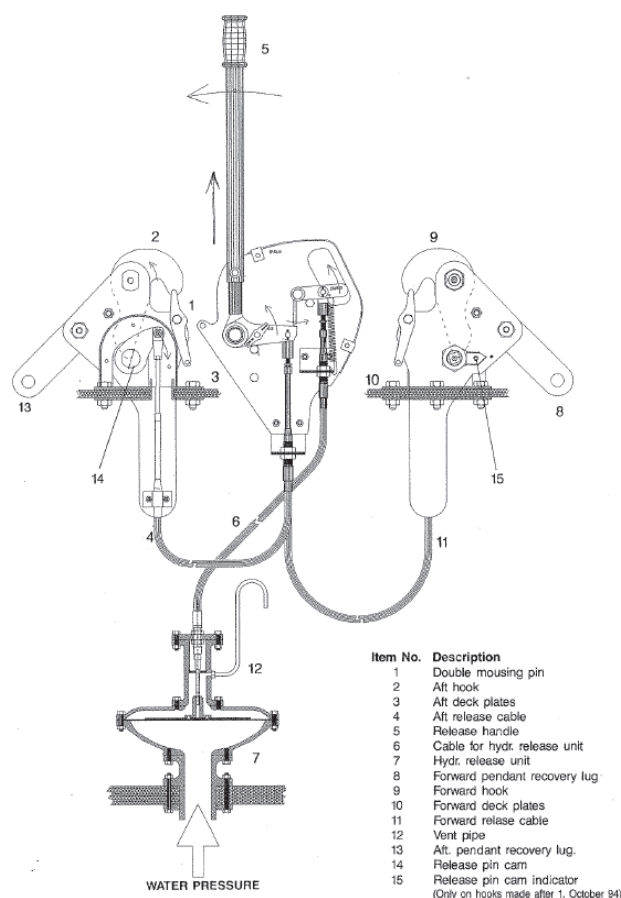
Frigjøringsystem Kombinasjon av frigjøringsmekanisme og aktiveringssystem.

der

frigjøringsmekanisme deler av tilkoblingsmidlene som er bevegelige med den hensikt å koble fra livredningsutstyret fra sitt utsettings- og opphentingsarrangement.

aktiveringssystem

sammenkoblede deler som er nødvendige for motordrevet eller manuell åpning av frigjøringsmekanisme, inkludert kraftforsyning og kontrollsystem eller manuell kontrollinnretning.



Figur 11 Typisk konvensjonelt frigjøringsystem.

Figur 11 viser et typisk konvensjonelt frigjøringsystem (et såkalt ‘on-load’-system). Systemet består av en hydraulisk frigjøringsenhet plassert i kjølen midt i båten. Denne enheten er åpen mot sjøen og vann vil strømme inn når båten treffer vannet. Det hydrostatiske trykket vil da resultere i en kraft på membranen i frigjøringsenheten og flytte membranen oppover. En kabelforbindelse er koblet til membranen i den ene enden og er avsluttet i en sikring i motsatt ende. Når bunnen av kabelen blir presset oppover blir sikringen frigjort og gjør det mulig for føreren av livbåten å operere frigjøringshendelen. Når hendelen blir rotert drar den i to nye kabler som igjen frigjør fremre og aktre krok. Figur 12 viser noen eksempler på frigjøringsmekanismer.

To kartlegginger av frigjøringsystem ble foretatt ved å samle informasjon om frigjøringsystemer. Ytelsen til frigjøringsystemene ble etablert ved å lage en testprosedyre og samle resultatene fra tester hvor man målte tid til frigjøring. En gapanalyse ble gjennomført ved å identifisere kravene til frigjøringsystemene gitt i NORSOK R-002, foreløpig utgave fra april 2010, for så å systematisk sammenligne hvert system opp mot disse kravene. Til slutt ble en samlet evaluering gjennomført ved å gå gjennom hvert enkelt system.



Figur 12 Eksempler på frigjøringsmekanismer.

Konklusjonene fra kartleggingen av frigjøringsystemene er som følger:

1. Da kartleggingen ble utført, var det ingen frigjørings-systemer, verken eksisterende eller nye, som fullt ut tilfredsstilte alle krav i den foreløpige NORSOK R-002 standarden. Utvikling av nye produkter er dermed nødvendig dersom kravene blir stående i den endelige versjonen av standarden.
2. Resultatene fra testene av tid til frigjøring viser at noen systemer er i stand til å frigjøre innen 1,5 sekund, mens andre systemer typisk trenger 3 til 4 sekunder. Viktigheten av rask frigjøring er diskutert videre i det følgende avsnittet.

Studie av forsinket frigjøring

Studien omfattet 3600 tidsplansimuleringer for å undersøke effekten av varierende lårehastighet og forsinket frigjøring på bunnslag, vaierstrekk og tilhørende akselerasjoner. Følgende parametere ble undersøkt:

- To livbåter ('Boat A' og 'Boat B')
- To lårehøyder (28 m og 80 m)
- Tre lårehastigheter (0,5 m/s, 0,9 m/s og 1,5 m/s)
- Seks bølgetilstander
- Fire bølgeretninger
- Ti ulike landeposisjoner (treffpunkt) i hver bølge

For hver simulering har man undersøkt 4 ulike forsinkelser i frigjøringsmekanismen; 1, 3 og 5 sekunder. Simuleringene er også basert på bruk av såkalt 'pull & go'; vinsjen er modellert som en friksjonsbrems uten holdebremser.

Et sett av representative (regulære) bølger ble valgt som grunnlag for simuleringene, se Tabell 9. Høyden til disse bølgene ble satt til gjennomsnittet av de 10 % høyeste bølgene, typisk $H \approx 1,27 \cdot H_s$. Steilheten S_p til bølgene er $1/15$ for toppperiode $T_p \leq 8$ s og $1/25$ for $T_p \geq 15$ s og interpolert lineært mellom grensene.

Det ble brukt en spesiell algoritme i simuleringene for å finne ut om kjølenes midtpunkt var neddykket lengre eller kortere enn tiden for forsinkelsen (1, 3 eller 5 sekunder). Hver simulering ble definert som en vellykket frigjøring, dersom vaierfallene ble frigjort før simuleringen var ferdig, uavhengig av antall ganger båten treffer vannet. Varigheten til hver simulering var typisk mellom 20 og 40 sekunder.

Resultatene virker uavhengige av båttype. Lastene fra bunnslag og rykkklaster fra vaieren er avhengige av bølgepartikkelhastigheten. Dette betyr at den høyeste bølgen ikke nødvendigvis er den verste, men heller en ugunstig kombinasjon av bølgehøyde og -periode.

Resultatene viser at tiden fra første vannkontakt til frigjøring av vaierfallet er en kritisk parameter. Denne tiden er

summen av varigheten til flere hendelser i løpet av frigjøringsfasen:

1. Iboende reaksjonstid til den hydrauliske frigjørings-enheten: Denne sikkerhetsenheten kan være enten mekanisk eller en elektronisk sensor. En mekanisk løsning krever et gitt vanntrykk over en viss tid for å frigjøre sikringen. En elektronisk sensor må være i stand til å fastslå at livbåten flyter helt og ikke løse ut på grunn av sjøsprøyt.
2. Reaksjonstid til livbåtføreren: De fleste frigjørings-systemene krever at føreren sitter klar til å handle på et gitt signal eller en indikator. Stress, distraksjoner og båtbevegelser kan øke reaksjonstiden til livbåtføreren.
3. Varighet til operasjonen som kreves av livbåtføreren.

Dersom summen av varighetene til disse hendelsene er for lang, vil det i enkelte situasjoner være vanskelig å frigjøre båten. Økt lårehastighet ser ikke ut til å være nok til å kompensere. Man bør derfor redusere tiden fra vannkontakt til frigjøring av vaierfall så mye som mulig. Dette kan gjøres ved å gjennomgå alle komponenter som er involvert i prosessen med å frigjøre vaierne. Enhver forsinkelse i systemet bør reduseres så mye som mulig, og operasjonene livbåtføreren må gjøre bør være raske og enkle.

Figur 13 viser den kumulative fordelingen av tiden fra vannkontakt til frigjøring for lårehastigheter på 0,9 m/s og 1,5 m/s. Figuren viser at for en tid-til-frigjøring på 3 sekunder ble livbåten frigjort på første bølge i ca. 71 % av simuleringene. For en tid-til-frigjøring på 5 sekunder ble livbåten frigjort på første bølge i ca. 22 % av simuleringene ved en lårehastighet på 0,9 m/s, og i 31 % av simuleringene ved en lårehastighet på 1,5 m/s. Figur 13 viser også at for en frigjøringsforsinkelse på 1 sekund ble livbåten frigjort i første bølge i neste alle simuleringene (97 %).

I Figur 13 går ikke den røde kurven, som tilsvarende en tid-til-frigjøring på 5 sekunder, helt opp til 100 %. Grunnen til dette er at varigheten til simuleringene ble begrenset til en gitt lengde, typisk 20 til 40 sekund, for å holde tiden på simuleringene innenfor praktiske rammer. Dersom simuleringstiden hadde vært lengre, ville båten blitt frigjort ved et senere tidspunkt.

Figur 13 viser en drastisk økning i antall mislykkede frigjøringer når forsinkelsen i frigjøringsmekanismen øker. Figuren viser også at en høyere lårehastighet vil øke frigjøringsvinduet og dermed redusere risikoen for re-entring ('re-entry'), som diskutert i 'Grunnleggende betraktninger' ovenfor. Dette kan man se ved å sammenligne plottene for de to ulike lårehastighetene for en frigjøringsforsinkelse på 3 og 5 sekunder, der andelen frigjøringer på første bølge er størst for den høyeste lårehastigheten.

Figur 14 er en kumulativ fordeling av maksimalt strekk i en av de to vaierfallene før frigjøring når man antar en forsinkelse i frigjøringsmekanismen på 1, 3 og 5 sekunder. Man kan observere at 85 % til 90 % av simuleringene gir vaierstrekk under 30 tonn for en tid-til-frigjøring på 3 sekund. Et vaierstrekk på 30 tonn er valgt som en grenseverdi for diskusjonen rundt re-entring nedenfor. Dette tilsvarende en last på 6 ganger den nominelle lasten (når livbåten typisk veier 10 tonn, gir det 5 tonn i hver vaier), som er nær bruddlasten til vaieren. For mer detaljerte vurderinger er det anbefalt å identifisere den svakeste komponenten i utsettings-

arrangementet / frigjøringsystemet og bruke dette som grenseverdi.

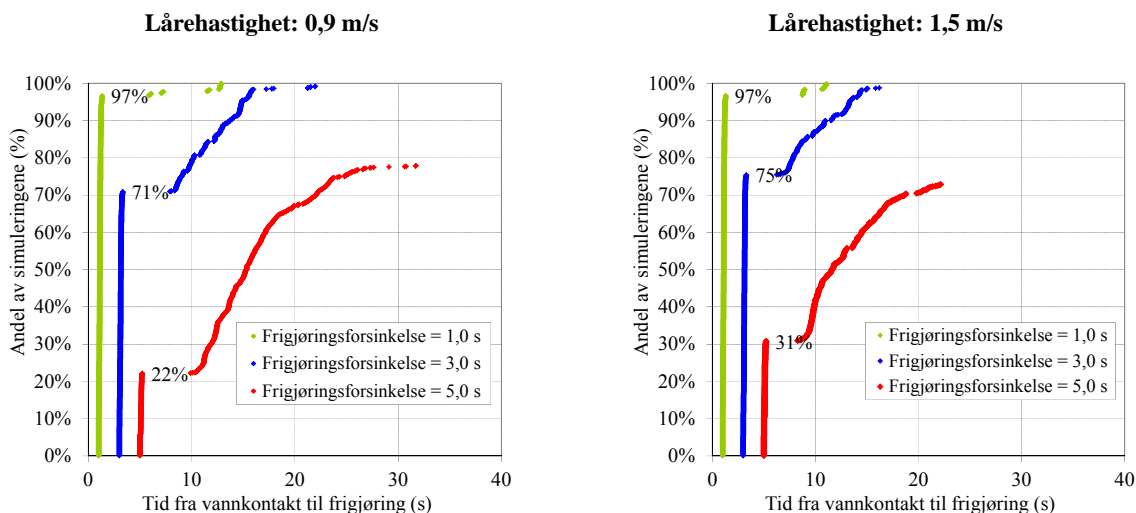
Figur 14 indikerer også at økt lårehastighet reduserer risikoen for rykkklaster i vaierne. Dette ser man ved å sammenligne høyre og venstre plott for 0,9 og 1,5 m/s lårehastighet; det er bare små forskjeller mellom de to grafene.

Ut fra de simulerte resultatene er en frigjøringstid på 5 sekunder tydelig ikke akseptabelt fordi det gir høy risiko for å overbelaste vaierne/daviten på grunn av rykkklaster etter at livbåten har landet på vannet (re-entring). I ca. 50 % av simuleringene får man vaierstrek over bruddlasten, se Figur 14.

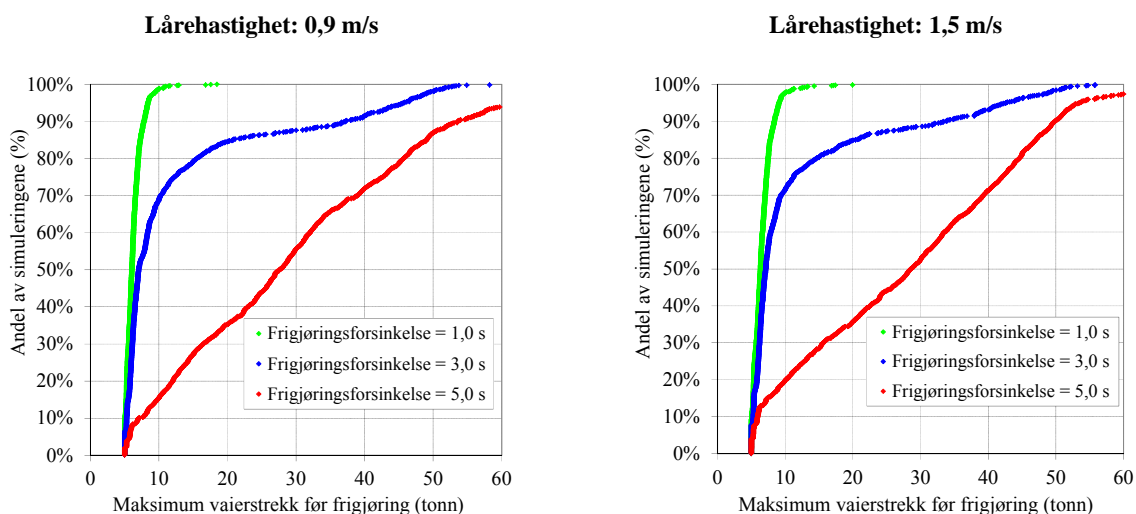
Tabell 9 Valgte sjøtilstander og representative regulære bølger for studie av forsinket frigjøring.

Valgte sjøtilstander			Representative regulære bølger						
H_s (m)	T_p (s)	S_p^* (-)	H (m)	T (s)	Fase- hastighet (m/s)	Bølge- lengde (m)	Steilhet (-)	Hastighet** (m/s)	Akselera- sjon** (m/s ²)
16,0	16,0	1/25,0	20,0	16,0	25,0	400	1/20	3,93	1,54
14,0	14,9	1/24,8	18,0	15,0	23,4	351	1/20	3,77	1,58
12,0	12,4	1/20,1	15,0	12,5	19,5	244	1/16	3,77	1,89
10,0	10,6	1/17,7	13,0	10,5	16,4	172	1/13	3,89	2,33
8,0	9,0	1/15,9	10,0	9,0	14,1	126	1/13	3,49	2,44
6,0	7,6	1/15,0	7,5	7,5	11,7	88	1/12	3,14	2,63

* S_p = Gjennomsnittlig bølgesteilhet
 ** Amplitude evaluert i stillevannsnivået (Airy-bølge – dypt vann)



Figur 13 Kumulativ fordeling av tid-til-frigjøring for lårehastigheter på 0,9 m/s og 1,5 m/s.



Figur 14 Kumulativ fordeling av maksimum strekk i vaieren (en av de to vaierne) før frigjøring for lårehastigheter på 0,9 m/s og 1,5 m/s.

Effekt av ekstreme akselerasjoner under re-entring på ombordværende

Et sett akselerasjonspulser med ca. 30 tonn vaierstrekk ble brukt som grunnlag for de biomekaniske simuleringene av ekstreme re-entringslaster. Disse lastene anses for å være ekstreme fordi de er basert på verdier fra den øvre andelen av resultater fra store representative (regulære) bølger i en 100-års sjøtilstand. En oversikt over disse kjøringene er gitt i Tabell 10. Dersom vaierfallene blir frigjort raskt, bør disse lastene anses som ekstraordinære med en lav sannsynlighet for å oppstå. Akselerasjonene under re-entringen kommer primært fra den brå overføringen av livbåten fra bølgen tilbake til vaierne idet bølgen beveger seg nedover.

Tabell 10 Oversikt over kjøring for generering av akselerasjonspulser for vurdering av ekstreme re-entringslaster.

Kjøring	Beskrivelse	Maks CAR	Sete	Maks vaierstrekk (av de to vaierne)
9929	Bølge fra styrbord	0,99	35	34 tonn
9939	Bølge fra styrbord baug	1,17	35	30 tonn
9955	Følgende sjø	1,43	37	32 tonn
9966	Bølge fra styrbord låring	1,62	37	32 tonn
9991	Møtende sjø	1,44	37	33 tonn

Figur 24 i Vedlegg B er et eksempel på en akselerasjonspuls. Figuren viser hvordan lineær- og rotasjonsakselerasjoner varierer med tiden.

Referanseoppsettet for alle setene i de biomekaniske simuleringene av re-entring er et stivt sete der dukkemodellen sitter oppreist med armene i kryss. I første omgang benyttet man det eksisterende beltesystemet; et 2-punkts beltesystem (hoftebelte) for passasjerene og et 4-punkts beltesystem (hoftebelte og skulderstropper) for livbåtføreren. Deretter ble et 4-punktsbelte, bestående av hoftebelte og to skulderstropper tilkoblet et horisontalt belte mellom de øvre innfestningspunktene, undersøkt for passasjeretene. Livbåtføreren og passasjerene holder seg i skulderstroppene der de finnes.

Totalt 55 simuleringer ble utført som en del av denne arbeidspakken.

Resultatene fra denne studien er:

1. Med det eksisterende 2-punkts beltesystemet ble skadeverdier som overskrider øvre grense funnet i en rekke simuleringer. De andre evaluerte scenariene ga ekstrem dukkeoppførsel som resulterte i en urealistisk skadevurdering. Dette på grunn av ekstremt store akselerasjoner som er utenfor gyldighetsområdet både for krasjdukken og den numeriske dukkemodellen. Basert på den voldsomme oppførselen til dukkemodellen kan man derfor forvente at 2-punktsbelte-scenariet resulterer i en risiko for store skader. Man bør likevel merke seg at disse scenarioene er veldig usannsynlige. Hvis de ekstreme re-entringslastene skulle oppstå, er et 4-punkts beltesystem bedre enn et 2-punkts beltesystem.

2. I alle de simulerte scenariene av en livbåtfører med et 4-punkts beltesystem overskred skaderesponsen nedre eller til og med øvre grenseverdi. I 4 av 5 simulerte fører-sete-scenarier overskred skaderesponsene en eller flere av de øvre skadetersklene. Passasjer-seter med et 4-punkts beltesystem resulterte fortsatt i et stort antall scenarier der skadeverdien overskred nedre og øvre grense. Simuleringene med et 4-punkts beltesystem ga mer realistiske og mindre voldsomme bevegelser, men fortsatt overskred mange simuleringer øvre grenseverdi.
3. En sammenligning ble utført mellom akselerasjonene for første vannkontakt og de valgte re-entringsakselerasjonene for å vurdere forskjellene i dukke-modelloppførsel mellom de to fasene. Hovedforskjellen mellom de to er størrelsen og varigheten til akselerasjonene (og derfor også maksimal CAR-verdi og energi i pulsene) som generelt sett er høyere / lengre for re-entringspulsene enn for første vannkontakt. Derfor kan man anse disse høyere og lengre pulsene som hovedårsaken for den voldsomme oppførselen til dukkemodellen som igjen gir en verre skaderespons for re-entringspulsene.
4. Selv om alle skaderesponsene kan være lavere enn nedre grense for første vannkontakt, er risikoen for skade under re-entring mye større. De simulerte re-entrings-scenariene resulterer i veldig høye skadeverdier både for livbåtføreren og passasjerene, uavhengig av beltesystem (2-punkts eller 4-punkts). Derfor er det anbefalt å forsikre seg om at sannsynligheten for store re-entringslaster blir redusert så mye som mulig.

Figur 23 i Vedlegg B viser eksempler på dukkemodell-oppførsel for re-entringslaster.

Styrkemessig vurdering av ekstreme re-entringslaster

En kapasitetsvurdering av store re-entringslaster ble også gjort for to båter; 'Boat F' og 'Boat G'. De gitte lastene er seks ganger den statiske vekten av båten, og pulsene har typisk en varighet mellom 0,6 og 1,2 sekund.

Disse re-entringslastene er antatt kvasi-statisk og fordelt likt mellom fremre og aktere krok på båten. Elementstørrelsen i områdene rundt kroken er redusert i re-entringsmodellen. Krokene er representert i modellen som en kombinasjon av økt tykkelse av skallelementene og en stiv forbindelse opp til vaierkoblingen. Den stive forbindelsen er koblet til skall-elementene der boltene er plassert.

Analysene ble utført i NX I-DEAS.

Resultater for 'Boat F'

Re-entringssimuleringen av 'Boat F' viser at store områder i fronten og hekken av båten vil oppleve spenninger over laminatkapasiteten. Resultatene viser at båten vil få utrivningsbrudd dersom den blir utsatt for de samme re-entringslastene som i analysen. Det er ikke mulig å avgjøre hvilket område som ryker først. Feilmoden er avhengig av første brudd.

Utrivning kan skje dersom skjærspenningene rundt krokfestet er større enn laminatkapasiteten. Laminatbrudd kan skje i de omkringliggende områdene dersom skjærspenningene er høyere enn kapasiteten.

Kroken er festet til båten med stålplater og bolter. En analytisk beregning er foretatt med antagelsen om at hele re-entringslasten er tatt opp av den horisontale platen i krokboksen. Med en jevnt fordelt last over platen, får man en skjærspenning på 18,62 MPa i laminatet. Den tverrgående skjærspenningen i laminatet er 26,2 MPa.

De analytiske beregningene viser at skjærspenningen er innenfor skjærkapasiteten til laminatet for det gitte idelle lasttilfellet. Dette lasttilfellet er imidlertid ikke sannsynlig. Det er ikke mulig å forutsi hvilken feilmode som kommer først uten å gjøre en progressiv kollaps analyse.

Resultater for 'Boat G'

Re-entringsanalysene for 'Boat G' brukte også en last på seks ganger vekten av båten. Denne ekstreme re-entringslasten gir spenningsnivå nær den globale kapasiteten av båten. Analysen viser to områder med høye spenninger litt i fra krokfundamentet. Dette kan være på grunn av lokal eller global knekking. Analysene gir også høye utnyttelser nær fremre og aktere krokfundament. Det kan være noe reservekapasitet i disse områdene siden FE-modellen er litt grov.

Seilefasen

Simulering av fremdrift og seiling

Man har foretatt simuleringer av seilefasen for å vurdere den positive bevegelsen fremover for en typisk livbåt under ulike forhold. En Monte Carlo-tilnærming ble brukt i simuleringene siden bølgehevingen og vindhastigheten er stokastiske variable. 100 simuleringer ble gjennomført for hvert sett av parametere (lårhøyde, vindhastighet, etc.). Et enkelt bølge- eller vindtog ble brukt i de 100 simuleringene. Tilfeldigheten ble sikret ved å velge 100 tilfeldige tidspunkter mellom 0 og 3600 sekund. Disse tidspunktene representerer starttidspunktet for låringen av livbåten, slik at livbåten lander i 100 forskjellige posisjoner i bølgene.

Simuleringen av livbåt-seilingen starter med låringen. En full livbåt med en lårhøyde på 22 m og en lårhastighet på 0,9 m/s ble brukt i alle simuleringene.

Irregulære, langkammede bølger ble generert fra et JONS-WAP spekter med bølgehøyden, topperioden og gamma-faktoren som variable, se Tabell 11. Et Picard-estimat av det ulineære trykkledet ble brukt i beregningen av bølgehevingen. Bølgekinematikken ble beregnet fra bølgehevingen, og dypt vann ble brukt.

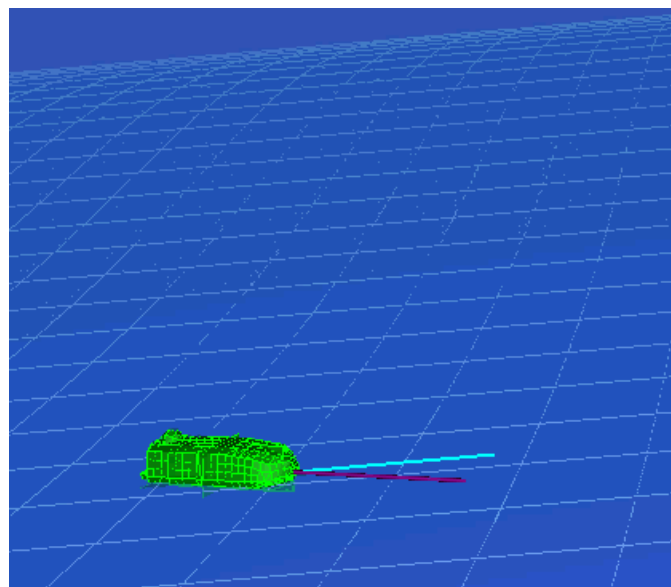
Tabell 11 Oversikt over sjøtilstander og vindhastigheter brukt i simuleringene.

Beaufort skala	Gj.snittlig vindhastighet ved 10 m	Signifikant bølgehøyde	Bølge toppperiode	Gamma-faktor	Gj.snittlig steilhet (S_p)
5	10 m/s	2 m	5 s	5,0	1/20
6	13 m/s	3 m	6 s	5,0	1/19
7	16 m/s	4 m	7 s	5,0	1/19
8	19 m/s	5 m	8 s	5,0	1/20
9	22 m/s	6 m	9 s	4,6	1/21
10	26 m/s	8 m	11 s	3,6	1/24
11	31 m/s	11 m	13 s	3,5	1/24

Skyvkraften brukt i simuleringene var 0,3, 0,5 og 0,8 tonn. Dette tilsvarer omtrent til en liten motor (27/29 hk), en

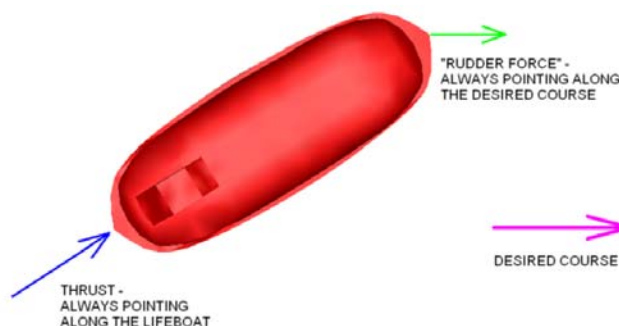
middels motor (70 hk) og en stor motor (100 hk). Livbåten var en generisk livbåt for 70 personer med en totalvekt på 9 tonn.

Figur 15 viser et skjermbilde av en seilingssimulatoren. De to linjene fra baugen representerer båten retning og ønsket kurs.



Figur 15 Skjermbilde av en seilingssimulatoren.

Rorets virkning ble ivaretatt ved å sette på en konstant kraft i baugen på båten som alltid pekte langs den ønskede kursen. Når båten var ute av kurs ville denne kraften skape et gir-moment som trakk båten tilbake til den ønskede kursen, se Figur 16. Dette ligner på et kontrollsystem kun med et proporsjonalledd (P-kontroller). I simuleringene ble 30 % av den tilgjengelige fremdriften brukt som en styrende rorkraft, mens de resterende 70 % ble brukt som skyvkraft. Denne forenklete kontrolleren gav en relativt stor stasjonær kursfeil for tøffe værforhold. Et mer sofistikert kontrollsystem kunne redusert denne feilen ved å øke proporsjonalleddet, eller introdusere et integralledd, noe som vil være ennå mer effektivt. I noen av livbåtbanene økte den stasjonære kursfeilen med økende vind. Den stasjonære kursfeilen er en svakhet i kontrollsystemet, men det betyr ikke at livbåten er ute av stand til å holde kursen.



Figur 16 Rormodell.

Hovedfokuset i denne studien var å undersøke ytelsen til livbåten de første sekundene etter landing, siden tilbakedriften er en nøkkelparameter for vellykket evakuering. Det forenklete kontrollsystemet er ansett som godt nok til dette formålet.

For seilesimuleringene ble det brukt sjøtilstander tilsvarende Beaufort-styrkene 5 til 11. Det ble utført 2800 basissimuleringer (100 simuleringer for hver Beaufort-styrke og retning) for å etablere startbetingelser for seilingssimuleringene. En komplett simulering fra start av låring til slutten av seilingsfasen ble delt opp i en basissimulering og en sub-simulering. Basissimuleringen representerer delen fra låring til vannkontakt, mens sub-simuleringen representerer delen fra vannkontakt til slutten av simuleringen. Generelt sett var der flere sub-simuleringer for hver basissimulering. På denne måten fikk hver sub-simulering identiske startbetingelser. Dette er fordelaktig når man skal sammenligne effekten av parametere som skyvkraft og kurs; identiske startbetingelser gjør sammenligningen lettere. Flere sub-simuleringer ble gjennomført i første omgang ved å gjennomføre en basissimulering frem til tidspunktet for vannkontakt. Så ble simuleringen lagret så den kunne bli startet igjen. En kjøring ble startet på nytt flere ganger med ulike kjøreparametere (f.eks. skyvkraft, kurs, etc.). Parametrene for basissimuleringer og subsimuleringer er listet i Tabell 12 and Tabell 13.

For hver simulering er det er definert tre viktige hendelser:

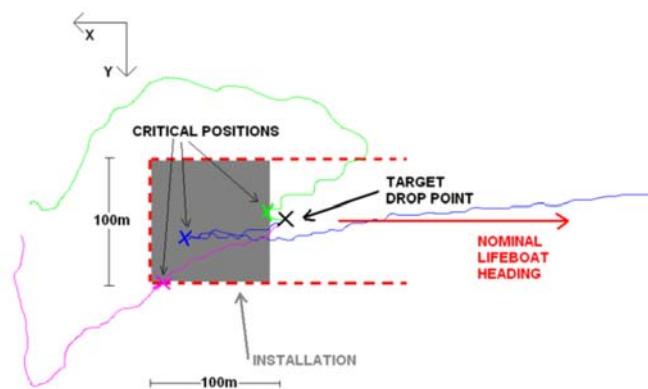
1. Vannkontakt: Dette er tidspunktet når origo til båten blir neddykket. Her blir gir-momentet redusert til 80 % av verdien i luft. (Vindkreftene fra jag og svai er automatisk redusert siden den neddykkede delen ikke blir utsatt for vindkrefter.)
2. Frigjøring: Dette er tidspunktet når vaierfallene blir deaktivert i simuleringen. Tidsstegene blir også endret fra 0,01 sekund til 0,05 sekund.
3. Fremdrift: Dette er tidspunktet der skyvkraften blir satt på i simuleringen.

I tillegg finner man et viktig tidspunkt under postprosesseringsen av livbåtanene. Dette er tidspunktet når livbåten er i sin mest "kritiske" posisjon. Algoritmen som ble benyttet for å

finne den mest kritiske posisjonen kan oppsummeres slik (se også Figur 17):

1. Fjern alle deler av banen som har y -koordinat større enn 50 m og mindre enn -50 m fra droppunktet (grensen er indikert med røde, stiplede linjer).
2. Fjern alle deler av banen som har x -koordinat større enn 100 m fra droppunktet (grensen er indikert med røde, stiplede linjer).
3. Finn posisjonen med høyest x -verdi i banene innenfor de røde, stiplede linjene, og merk dette tidspunktet som kritisk (kryssene på figuren).

Algoritmen over tillater livbåten å bevege seg utenfor grensene til en 100 m x 100 m "installasjon" uten at posisjonen blir flagget som kritisk.



Figur 17 Definisjon av kritiske posisjoner. Banene utenfor de røde, stiplede linjene er sett vekk fra når man skal finne den kritiske posisjonen.

Tabell 12 Kjøreparametere for basissimuleringene av seilefasen.

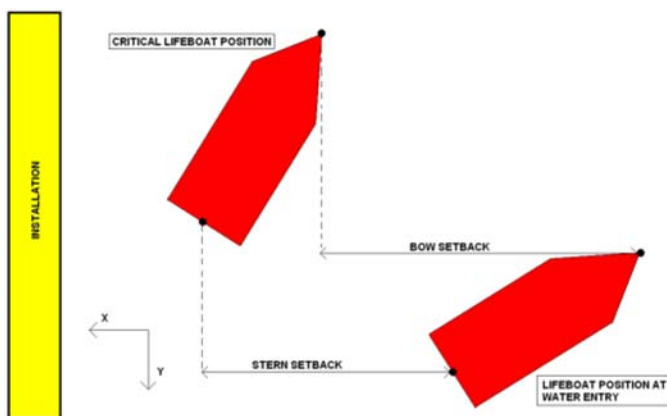
Kjørnummer	Beaufort skala	Vindretning*	Antall basissimuleringer	Subsimuleringer	Totalt antall simuleringer
30000-30699	5, 6, 7, 8, 9, 10 og 11	175	700	a, b, c, d, e, f og g	4900
30700-31399	5, 6, 7, 8, 9, 10 og 11	135	700	a, b, c, d og e	3500
31400-32099	5, 6, 7, 8, 9, 10 og 11	90	700	a, b, c, d og e	3500
32100-32799	5, 6, 7, 8, 9, 10 og 11	45	700	a	700

Noter:

* 0 grader er følgende sjø, 90 grader er sidesjø mot styrbord og 180 grader er møtende sjø

Tabell 13 Kjøreparametere for sub-simuleringene av seilefasen.

Subkjøring	Ønsket kurs relativt til nominell livbåtretning	Skyvkraft	Tid fra vannkontakt til frigjøring	Tid fra vannkontakt til fremdrift
a	Rett frem	0,3 tonn	3 s	5 s
b	Rett frem	0,5 tonn	3 s	5 s
c	Rett frem	0,8 tonn	3 s	5 s
d	45 grader babord	0,5 tonn	3 s	5 s
e	Rett frem	0,5 tonn	0,1 s	0,2 s
f	Rett frem	0,3 tonn	3 s	0,3 s
g	Rett frem	0,5 tonn	3 s	0,5 s

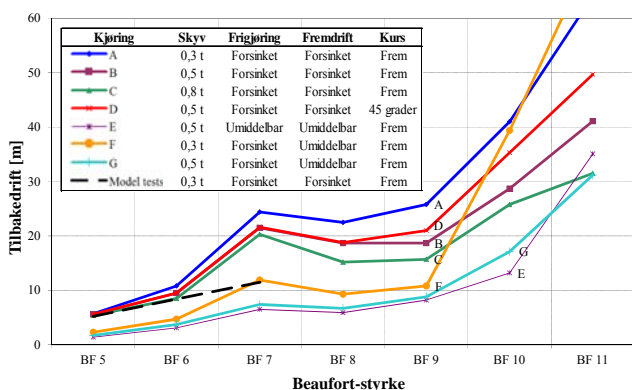


Figur 18 Definisjon av tilbakedrift ('setback').

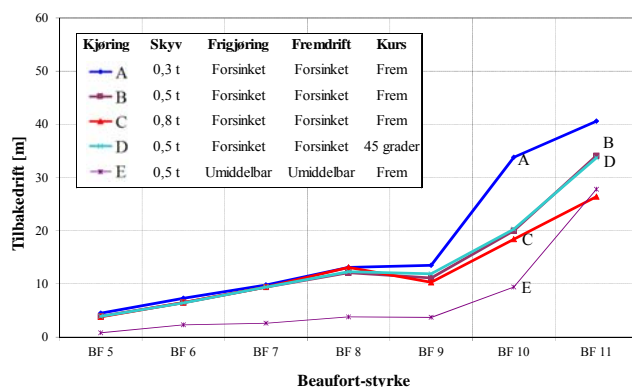
Et fullt sett med resultater er gitt i rapporten for seilingssimuleringene, Ref. /9/. Hovedresultatene er presentert i Figur 19 og Figur 20. Disse grafene er basert på datapunkter med rang 91 fra de plottene av den kumulative fordelingen. Disse datapunktene er estimatorer for 90 %-sannsynligheten for at man ikke overskrider en gitt tilbakedrift (91/101=90 %).

Hovedkonklusjonene fra seilingssimuleringene er:

1. Tilbakedriften i møtende sjø kan være betydelig, selv i moderate værforhold (BF 7).
2. I moderate værforhold bør propellen kobles inn så fort som mulig for å hindre stor tilbakedrift.
3. I moderate værforhold er tilbakedriften følsom for når propellen blir koblet inn og ikke så følsom for varierende motorstørrelse.
4. I dårlige værforhold er tilbakedriften følsom for varierende motorstørrelse og ikke så avhengig av når propellen blir koblet inn.
5. I baugsjø er tilbakedriften mindre enn i møtende sjø.
6. I sidesjø og med sjø skrått bakfra er tilbakedriften liten.
7. Med en middels stor motor (70 hk) og hurtig innkobling av propellen er risikoen for kontakt med innretningen dramatisk redusert sammenlignet med en liten motor (29 hk) og sen tilkobling av propellen.



Figur 19 Tilbakedrift i møtende sjø (90 percentiler) som funksjon av Beaufort styrke. Stiplede linjer er basert på resultatene fra kanadiske modellforsøk, Ref. /25/.



Figur 20 Tilbakedrift i skråsjø forfra (90 percentiler) som funksjon av Beaufort styrke.

Anbefalt prosedyre for testkjøring av livbåtmotorer

Ett funn i NSA-LAP-prosjektet var at det er forskjeller i hvordan eierne gjennomfører testkjøringer av livbåtmotorer. Målet for denne studien var derfor å etablere en felles prosedyre for testkjøring av livbåtmotorer. Denne aktiviteten involverte dermed gjennomgang av relevante regelverk og data funnet fra brukermanualer, eksisterende testprosedyrer fra livbåteierne og NSA-LAP Design-rapporten, Ref. /26/. Et møte med livbåteiere og motorprodusenter ble avholdt og noen flere forespørsler ble gjort.



Figur 21 Typisk livbåtmotor

Fra vurderingene som er gjort, blir det konkludert at testing av livbåtmotor (og også tilhørende systemer) er viktig for å sikre at man får full effekt i en evakueringsituasjon.

Konklusjonen er det optimale intervallet for testing er annenhver uke.

Man bør merke seg at flytende rigger er pliktet å følge SOLAS-regelverket (Ref. /6/) i henhold til 'Life Saving Regulation', (Ref. /7/). SOLAS-regelverket krever ukentlig testkjøring av motorene. Arbeidsmøtet konkluderte med at testkjøring annenhver uke er et bedre alternativ, ettersom all tomgangskjøring av livbåtmotoren vil forårsake nedsoing og vil svekke motorens maksimale effekt. Men så lenge det ikke foretas endringer i regelverket bør man ha testkjøringer ukentlig. Uansett bør ikke tomgangskjøring overskride 3 minutter.

Faste installasjoner, som ikke er forpliktet av SOLAS-regelverket, bør følge anbefalingen om testkjøring annenhver uke.

Konklusjoner

Hovedkonklusjonene fra prosjektet for hver av de fire fasene er:

Lårefasen:

1. En lårehastighet på rundt 1,0 m/s er anbefalt.
2. Implementering av 'pull & go'-låring av lårelivbåter er anbefalt.

Vannkontakt:

3. Det er en mindre, men tilstedeværende risiko for skade på ombordværende under vannkontakt. Den største risikoen er i sidesjø, og er i hovedsak relatert til store belastninger på hode og nakke.
4. CAR-indeksen kan kun bli brukt til å oppnå en grov indikasjon på det forventede skadenivået. For å forut-si skadenivået mer eksakt kreves det numeriske simu-leringer.
5. Forsterkninger av overbygget bør vurderes for å forbedre skrogkapasiteten mot bunnslag.

Frigjøringsfasen:

6. Store re-entringslaster bør unngås ved enten å sørge for hurtig frigjøring av vaierfallene, eller på andre måter hindre høye akselerasjoner. Slike laster kan forårsake alvorlige skader på passasjerene og skader på livbåten.
7. Utvikling av frigjøringssystemer er påkrevd for å kunne tilby utstyr som fullt ut tilfredsstiller kravene i NORSOK R-002.

Seilingsfasen:

8. Tilbakedriften for konvensjonelle livbåter i møtende og baugsjø kan være betydelig. Man bør utøve forsiktighet når man lårer livbåter i møtende sjø eller skråsjø forfra under dårlige værforhold. Dette er spesielt viktig for innretninger der det er liten klaring til beina eller stagene.
9. Tilbakedriften under utsetning kan reduseres ved å optimalisere skyvkraften og låreprosedyren.

Andre:

10. Funnene i dette prosjektet bør innarbeides i opp-læringsprogrammer for livbåtførere.
11. Tomgangskjøring av motorene bør ikke overskride 3 minutter for å forhindre nedsoting. Optimalt intervall for testkjøringer av motoren er hver andre uke

Takk til

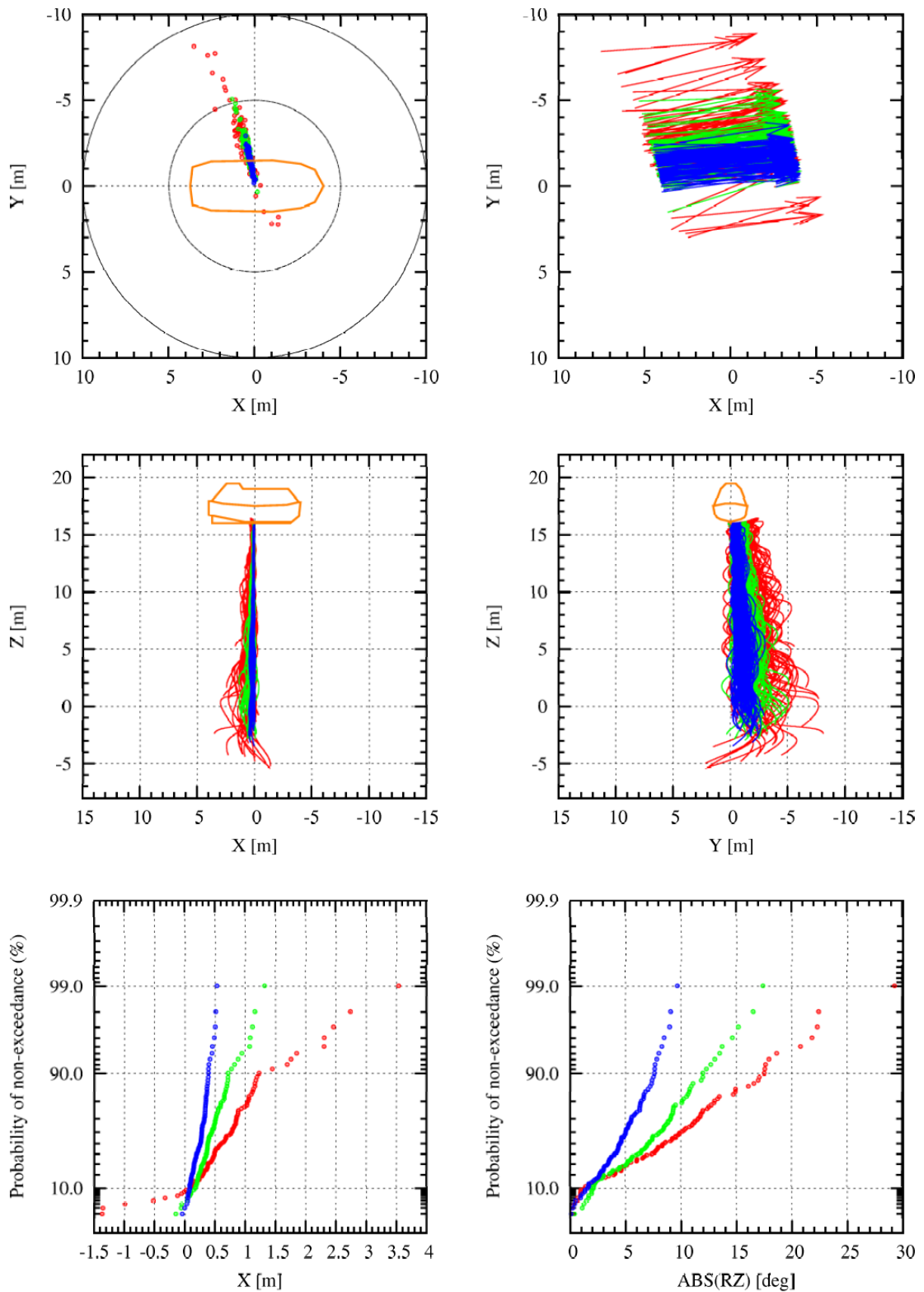
Forfatterne ønsker å takke sine respektive organisasjoner for muligheten til å publisere denne artikkelen. OLF og NR ønsker å takke Global Maritime, TNO Science and Industry, Fedem Technology, MARINTEK og Safetec Nordic for deres bidrag.

Referanser

- /1/ Skjæveland, R., Selnes, P. O., "The Norwegian Lifeboat Project", SPE 2010-127341.

- /2/ Skjæveland, R., Rooij L. van (2009a), "Revised injury criteria and limits for the OLF LBP2 SOL project. August 2010 revision", LBP2-R009, OLF rapport.
- /3/ NORSOK standard, "Lifting Equipment", NORSOK R-002 foreløpig utgave 2 datert april 2010.
- /4/ DNV Standard, "Design of Free Fall Lifeboats", DNV-OS-E406 datert april 2010.
- /5/ DNV Standard, "Environmental Conditions and Environmental Loads", DNV-RP-C205.
- /6/ IMO, International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974.
- /7/ NMD, FOR 2007-07-04 nr. 853: Forskrift om evakuerings- og redningsredskaper på flyttbare innretninger (redningsforskriften).
- /8/ Gabrielsen O., "Summary Report DLLBP", LLBP-R006 datert 21. juni 2011.
- /9/ Sandtorv, T., "Gap Analysis against NORSOK R-002", LLBP-GM-OLF-RE-0013 datert 7. februar 2011.
- /10/ Kollsgård, I., "Evaluation Report on Release Systems", LLBP-GM-OLF-RE-0014 dated 29. april 2011.
- /11/ Helland, L. R., "Study of Lifeboat Lowering Speed and Delayed Release", LLBP-GM-OLF-RE-0004 datert 21. mars, 2011.
- /12/ Helland, L. R., "Study of Lifeboat Peak Accelerations During Landing", LLBP-GM-OLF-RE-0005 datert 16. mars 2011.
- /13/ Helland, L. R., "Study of Lifeboat Lowering and Sail-Away", LLBP-GM-OLF-RE-0006 datert 25. mars 2011.
- /14/ Uittenbogaard, J., "Validation testing of the 'Boat A'", LLBP-TNO-OLF-RE-0001 datert 25. februar 2011.
- /15/ Welten, J. *et al.*, "Parameter Study 'Boat A'", LLBP-TNO-OLF-RE-0002 datert 21. februar 2011.
- /16/ Welten, J., " 'Boat B' Dummy-Dummy Contact Study", LLBP-TNO-OLF-RE-0003 datert 2. mars 2011.
- /17/ Welten, J. *et al.*, "Numerical Simulations for 'Boat B'", LLBP-TNO-OLF-RE-0004 datert 2. juni 2011.
- /18/ Welten, J. *et al.*, "Numerical Simulations for 'Boat A'", LLBP-TNO-OLF-RE-0005 datert 20. juni 2011.
- /19/ Welten, J. *et al.*, "Numerical Simulations for 'Boat C'", LLBP-TNO-OLF-RE-0006 datert 20. juni 2011.
- /20/ Montfort, S. v. *et al.*, "Re-entry Assessment of the 'Boat B'", LLBP-TNO-OLF-RE-0007 datert 31. mai 2011.
- /21/ Montfort, S. v. *et al.*, "Occupant Size Variation", LLBP-TNO-OLF-RE-0008 datert 20. juni 2011.
- /22/ Dahle, E. *et al.*, "Recommended Procedure for Test Run of Lifeboat Engines", LLBP-ST-OLF-RE-0002 datert 22. oktober 2010.
- /23/ Tøndevoldshagen, J., "Structural Verification of Lifeboat Hull - 'Boat F'", LLBP-FT-OLF-RE-0001 datert 22. juni 2011.
- /24/ Tøndevoldshagen, J., "Structural Verification of Lifeboat Hull - 'Boat G'", LLBP-FT-OLF-RE-0002 datert 22. juni 2011.
- /25/ Woolgar, R. *et al.*, "Safe Evacuation from Offshore Petroleum Installations", OTC 14161, mai 2002.
- /26/ NSA-LAP, "Design Verification", NSA-LAP DESI datert 26. juni 2009.

VEDLEGG A – Eksempel på resultatplott og tabelldata fra låresimuleringene



Figur 22 Eksempel på plot fra låresimuleringene; 'Boat B', fullt lastet, 22 m lårehøyde, 0,9 m/s lårehastighet, vind fra skrå forfra (baugvind); BLÅ = BF 10, GRØNN = BF 11, RØD = BF 12.

Tabell 14 90 percentil posisjons- og retningsavvik under livbåtlåring i motvind BLÅ = BF 10 (26 m/s), GRØNN = BF 11 (31 m/s), RØD = BF 12 (37 m/s).

Last-tilfelle	Låre-høyde	Låre-hastighet	X-avvik ved landing			Y-avvik ved landing			Retningsavvik ved landing		
Full båt	22 m	0,5 m/s	0,3 m	0,5 m	0,8 m	-0,3 m	-0,5 m	-0,8 m	2°	2°	3°
		0,9 m/s	0,3 m	0,4 m	0,6 m	-0,3 m	-0,4 m	-0,7 m	1°	2°	4°
		1,5 m/s	0,3 m	0,5 m	0,6 m	-0,3 m	-0,5 m	-0,7 m	1°	2°	4°
	50 m	0,5 m/s	0,9 m	1,4 m	3,6 m	-1,1 m	-2,0 m	-6,3 m	5°	12°	27°
		0,9 m/s	0,8 m	1,4 m	4,5 m	-1,0 m	-2,1 m	-6,7 m	5°	9°	25°
		1,5 m/s	0,7 m	1,0 m	3,3 m	-0,8 m	-1,5 m	-6,0 m	5°	8°	24°
	80 m	0,5 m/s	2,3 m	8,7 m	20,6 m	-3,5 m	-10,5 m	-11,4 m	16°	45°	88°
		0,9 m/s	1,7 m	4,4 m	19,2 m	-2,7 m	-6,6 m	-14,8 m	12°	43°	80°
		1,5 m/s	1,6 m	4,2 m	19,4 m	-2,7 m	-5,5 m	-10,9 m	11°	29°	73°
Tom båt	22 m	0,9 m/s	0,6 m	0,9 m	2,6 m	-0,8 m	-1,2 m	-4,6 m	3°	6°	15°
	80 m	0,9 m/s	22,5 m	27,9 m	27,3 m	-12,1 m	-14,0 m	-18,8 m	74°	110°	154°

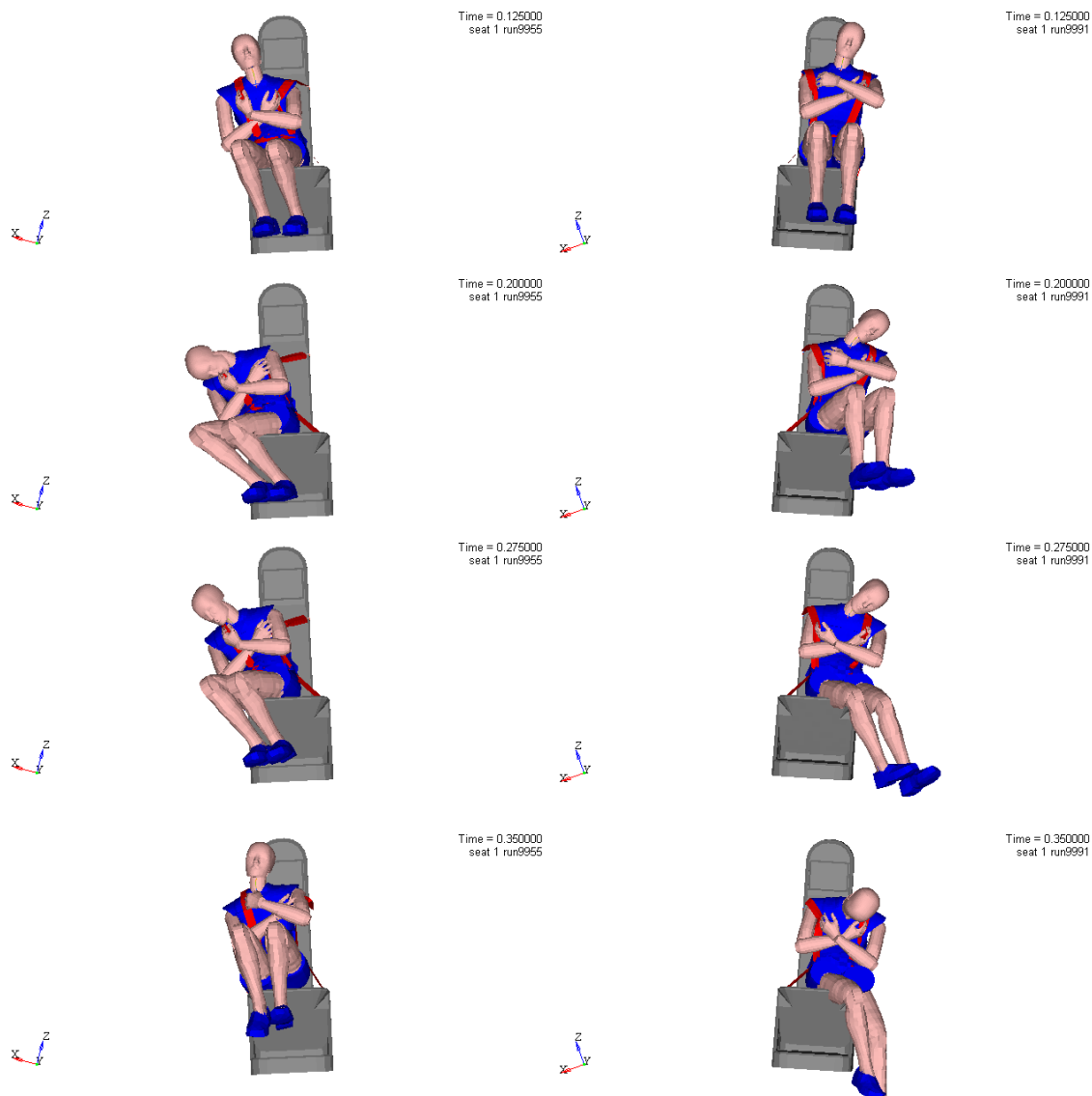
Tabell 15 90 percentil posisjons- og retningsavvik under livbåtlåring i baugvind BLÅ = BF 10 (26 m/s), GRØNN = BF 11 (31 m/s), RØD = BF 12 (37 m/s).

Last-tilfelle	Låre-høyde	Låre-hastighet	X-avvik ved landing			Y-avvik ved landing			Retningsavvik ved landing		
Full båt	22 m	0,5 m/s	0,4 m	0,9 m	1,2 m	-2,3 m	-3,7 m	-4,4 m	9°	15°	18°
		0,9 m/s	0,4 m	0,7 m	1,2 m	-2,1 m	-3,2 m	-4,6 m	8°	12°	18°
		1,5 m/s	0,4 m	0,6 m	1,2 m	-2,2 m	-2,9 m	-4,2 m	8°	11°	17°
	50 m	0,5 m/s	2,2 m	4,7 m	9,0 m	-6,4 m	-10,1 m	-14,2 m	21°	31°	46°
		0,9 m/s	2,2 m	3,6 m	7,6 m	-5,7 m	-8,8 m	-12,4 m	21°	29°	39°
		1,5 m/s	1,6 m	3,5 m	6,3 m	-4,8 m	-8,0 m	-11,1 m	18°	28°	35°
	80 m	0,5 m/s	5,7 m	7,0 m	16,9 m	-11,6 m	-11,8 m	-18,3 m	35°	48°	90°
		0,9 m/s	4,5 m	6,9 m	17,7 m	-9,9 m	-13,7 m	-20,9 m	30°	42°	58°
		1,5 m/s	3,8 m	6,4 m	12,6 m	-9,0 m	-12,2 m	-17,2 m	29°	34°	46°
Tom båt	22 m	0,9 m/s	1,6 m	2,6 m	5,8 m	-5,3 m	-6,9 m	-9,5 m	18°	22°	30°
	80 m	0,9 m/s	14,4 m	20,1 m	29,8 m	-19,3 m	-22,2 m	-25,9 m	54°	100°	150°

Tabell 16 90 percentil posisjons- og retningsavvik under livbåtlåring i sidevind BLÅ = BF 10 (26 m/s), GRØNN = BF 11 (31 m/s), RØD = BF 12 (37 m/s).

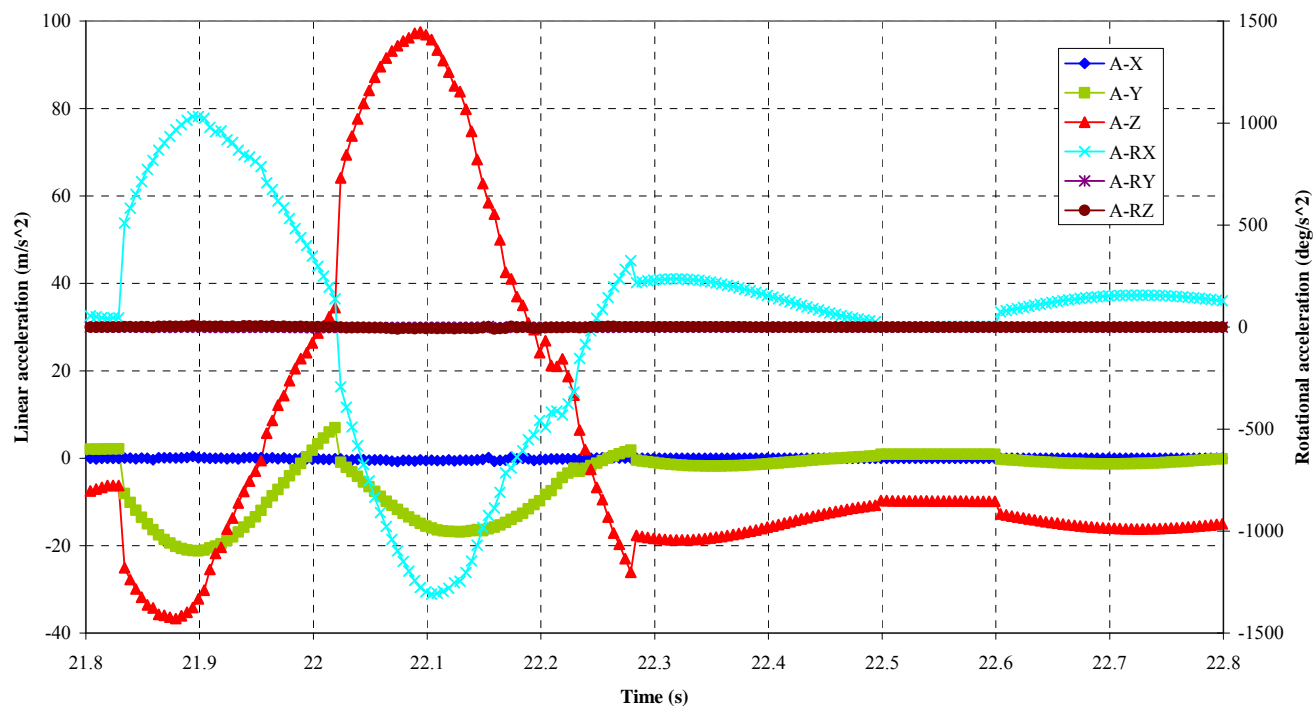
Lasttilfelle	Låre-høyde	Låre-hastighet	X-avvik ved landing			Y-avvik ved landing			Retningsavvik ved landing		
Full båt	22 m	0,5 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-3,1 m	-4,1 m	-6,6 m	0°	0°	0°
		0,9 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-2,8 m	-4,5 m	-6,2 m	0°	0°	0°
		1,5 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-2,9 m	-3,7 m	-5,8 m	0°	0°	0°
	50 m	0,5 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-8,0 m	-11,6 m	-17,0 m	0°	0°	0°
		0,9 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-6,8 m	-10,8 m	-15,0 m	0°	0°	0°
		1,5 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-6,6 m	-9,0 m	-14,0 m	0°	0°	0°
	80 m	0,5 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-13,2 m	-15,3 m	-29,2 m	0°	0°	0°
		0,9 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-13,1 m	-15,4 m	-25,6 m	0°	0°	0°
		1,5 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-9,8 m	-16,0 m	-22,3 m	0°	0°	0°
Tom båt	22 m	0,9 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-6,1 m	-8,7 m	-12,3 m	0°	0°	0°
	80 m	0,9 m/s	0,0 m	0,0 m	0,0 m	-24,0 m	-30,5 m	-37,5 m	0°	0°	0°

VEDLEGG B – Utvalg av bevegelsessekvensplott og akselerasjonspulsplott for ekstreme re-entringsimuleringer



Figur 23 Eksempel på bevegelsessekvens for en ekstrem re-entringspuls for sete 1 for følgende sjø (run9955) og møtende sjø (run9991) på 125, 200, 275 og 350 ms.

Seat acceleration for seat 37
Run 9955 'Boat B' (lh30_ls0.9_lc8.05_wh11.7_wp8.9_wd0)



Figur 24 Re-entringseksempel: Seteakselerasjoner for sete 37, kjøring 9955; 0,9 m/s lårehastighet, bølgehøyde 11,7 m, bølgeperiode 8,9 s, følgende sjø.

VEDLEGG C – Tabeller over tilbakedrift

Tabell 17 Tilbakedrift i møtende sjø (90 percentil) for ulike kombinasjoner av skyvkraft, kurs og sjøtilstand.

Kjøring	Skyv-kraft	Fri-gjøring	Frem-drift	Kurs	BF 5	BF 6	BF 7	BF 8	BF 9	BF 10	BF 11
a)	0,3 t	Forsinket	Forsinket	Frem	5,7 m	10,8 m	24,4 m	22,5 m	25,8 m	41,0 m	64,1 m
b)	0,5 t	Forsinket	Forsinket	Frem	5,6 m	9,5 m	21,5 m	18,7 m	18,7 m	28,7 m	41,1 m
c)	0,8 t	Forsinket	Forsinket	Frem	5,4 m	8,5 m	20,3 m	15,2 m	15,7 m	25,8 m	31,5 m
d)	0,5 t	Forsinket	Forsinket	45 deg.	5,6 m	9,5 m	21,6 m	18,8 m	21,0 m	35,3 m	49,7 m
e)	0,5 t	Umiddelbart	Umiddelbart	Frem	1,4 m	3,1 m	6,5 m	5,9 m	8,2 m	13,2 m	35,1 m
f)	0,3 t	Forsinket	Umiddelbart	Frem	2,3 m	4,7 m	11,9 m	9,3 m	10,8 m	39,4 m	72,2 m
g)	0,5 t	Forsinket	Umiddelbart	Frem	1,7 m	3,7 m	7,4 m	6,7 m	8,8 m	17,1 m	31,2 m

Tabell 18 Tilbakedrift i skråsjø forfra (90 percentil) for ulike kombinasjoner av skyvkraft, kurs og sjøtilstand.

Kjøring	Skyv-kraft	Fri-gjøring	Frem-drift	Kurs	BF 5	BF 6	BF 7	BF 8	BF 9	BF 10	BF 11
a)	0,3 t	Forsinket	Forsinket	Frem	4,5 m	7,3 m	9,8 m	13,1 m	13,5 m	33,8 m	40,6 m
b)	0,5 t	Forsinket	Forsinket	Frem	3,9 m	6,5 m	9,4 m	12,1 m	11,1 m	20,0 m	34,1 m
c)	0,8 t	Forsinket	Forsinket	Frem	3,8 m	6,5 m	9,4 m	13,1 m	10,3 m	18,4 m	26,4 m
d)	0,5 t	Forsinket	Forsinket	45 deg.	3,9 m	6,4 m	9,4 m	12,3 m	11,9 m	20,3 m	33,7 m
e)	0,5 t	Umiddelbart	Umiddelbart	Frem	0,8 m	2,3 m	2,6 m	3,8 m	3,7 m	9,4 m	27,8 m

Tabell 19 Tilbakedrift i sidesjø (90 percentil) for ulike kombinasjoner av skyvkraft, kurs og sjøtilstand.

Kjøring	Skyv-kraft	Fri-gjøring	Frem-drift	Kurs	BF 5	BF 6	BF 7	BF 8	BF 9	BF 10	BF 11
a)	0,3 t	Forsinket	Forsinket	Frem	0,0 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,3 m	1,2 m	6,8 m
b)	0,5 t	Forsinket	Forsinket	Frem	0,0 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,2 m	0,8 m	5,9 m
c)	0,8 t	Forsinket	Forsinket	Frem	0,0 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,2 m	0,8 m	5,3 m
d)	0,5 t	Forsinket	Forsinket	45 deg.	0,0 m	0,1 m	0,1 m	0,1 m	0,2 m	0,8 m	5,9 m
e)	0,5 t	Umiddelbart	Umiddelbart	Frem	0,0 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m	0,0 m

Tabell 20 Tilbakedrift i skråsjø bakfra (90 percentil).

Kjøring	Skyv-kraft	Fri-gjøring	Frem-drift	Kurs	BF 5	BF 6	BF 7	BF 8	BF 9	BF 10	BF 11
a)	0,3 t	Forsinket	Forsinket	Fwd	1,8 m	2,8 m	3,2 m	3,1 m	4,3 m	4,3 m	2,8 m

VEDLEGG D – Oversikt over simuleringene

Fase(r)	Arbeidsomfang / Mål	Beskrivelse av parametere	Antall simuleringer / Programvare
Låring/frigjøring	Effekt av forsinket frigjøring og lårehastighet på slamming, vaierlaster og CAR-indeks	To båter: 'A' og 'B' To lårehøyder: 28 og 80 m Tre lårehastigheter: 0,5, 0,9 og 1,5 m/s Fem retninger: fra hekk til baug Seks representative regulære bølger: 7,5, 10, 13, 15, 18 og 20 m Ti treffpunkter per bølge	3600 / MOSES
	Studie av pendelbevegelser og retningsavvik som funksjon av lårehøyde og total vekt	En båt: 'B' – full og nesten tom Tre lårehøyder: 22, 50 og 80 m Tre vindhastigheter: 26, 31 og 37 m/s Tre vindretninger: 175, 135 og 90 grader 100 repetisjoner (ulike tidspunkt)	9900 /MOSES
Vannkontakt	Etablere maksimums-akselerasjonene	Fem båter: 'A', 'B', 'C', 'D' og 'E' Syv representative bølger: 8,5, 11,7, 14,7, 16,0, 17,0, 17,8 og 20,3 m Fem retninger: fra hekk til baug To lårehastigheter: 0,9 og 1,5 m/s Ti treffpunkter per bølge Seks seter per båt	3500 (gir 21000 akselerasjonspulser) / MOSES
	Biomekanisk parameterstudie: beltesystemer, sittestillinger	En båt: 'A' Seks seter To akselerasjonspulser 13 konfigurasjoner	156 / MADYMO
	Kontakt mellom to passasjerer med 2-punkts beltesystem	En båt: 'B' Tre konfigurasjoner: motsatt, rygg-mot-rygg, side-ved-side Tre kombinasjoner av enten løse eller låste ledd Tre bølgeretninger: følgende sjø, sidesjø og sjø skrått bakfra En lårehastighet: 1,5 m/s	18 / MADYMO
	Vurdering av skrogkapasitet mot bunnslag	Båt 'F' Tre bølger: H1=17 m, T1=10,4 s H2=20,3 m, T2=13,7 s H3=16 m, T3=12,3 s Fem retninger: fra hekk til baug Båt 'G': En bølge: H3=16 m, T3=12,3 s Fem bølgeretninger: fra hekk til baug	20 CFD-analyser / Star-CCM+ 40 styrkeberegninganalyser / NX I-DEAS
	Båtspesifikke numeriske biomekaniske simuleringer	Tre båter: 'A', 'B' og 'C' Syv representative bølger: 8,5, 11,7, 14,7, 16,0, 17,0, 17,8 og 20,3 m Fem retninger: fra hekk til baug To lårehastigheter: 0,9 og 1,5 m/s Ett treffpunkt per bølge Seks seter per båt	1260 / MADYMO
	Sammenligning av numeriske simuleringer av dukkemodell og menneskemodell	Tre kroppsstørrelser: 5 percentil kvinne (liten kvinne), krasjdukkestørrelse mannsperson (50 percentil mann) og Herkules-størrelse (ca. 99 percentil mann) Tre seter Tre bølgehøyder: 8,5, 14,7 og 20,3 m En bølgeretning: sidesjø En lårehastighet: 1,5 m/s	27 / MADYMO
Frigjøring	Etablere re-entringsakselerasjoner for bruk i biomekaniske simuleringer	En båt, fem retninger, en lårehastighet (0,9 m/s), to bølger (11,7 m/s og 20,3 m), seks seter	5 (30 akselerasjonspulser) / MOSES
	Styrkeberegning av skrog for ekstreme re-entingslaster	To båter: 'G' og 'F' Et lasttilfelle	2 / NX I-DEAS
	Studie av skadepotensiale av ekstreme re-entingslaster	Seks ulike seter To beltesystemer: 2- og 4-punkts Fem akselerasjonspulser/bølgeretninger: følgende sjø, skråsjø bakfra, sidesjø, skråsjø forfra og møtende sjø	55 / MADYMO
Seiling	Simulering av tilbakedrift og fremdrift i en rekke sjøtilstander	En båt: Forenklet 'Boat B' Syv sjøtilstander: BF 5, 6, 7, 8, 9, 10 og 11 Fire værretninger: 175, 135, 90 og 45 grader Tre skyvkrefter: 0,3, 0,5 og 0,8 tonn To frigjøringsforsinkelser: 3 og 0,1 s To forsinkelser til fremdrift: 0,5 og 5 s	12600 / MOSES