



SINTEF Fiskeri og havbruk AS
Havbruksteknologi

Postadresse: 7465 Trondheim
Besøksadresse:
SINTEF, Forskningscenteret på Rotvoll
Arkitekt Ebbellsvei 10
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

Stabilitet og sikkerhet for havbruksflåter i sjøgang

FORFATTER(E)

Jørgen R. Krokstad, Morten Lønseth

OPPDRAGSGIVER(E)

SIKTEK

RAPPORTNR. STF80 A044001	GRADERING	OPPDRAGSGIVERS REF.	
GRADER. DENNE SIDE Åpen	ISBN 82-14-03-303-9	PROSJEKTNR. 840056	ANTALL SIDER OG BILAG 19
ELEKTRONISK ARKIVKODE STF80F034086.doc	PROSJEKTLEDER (NAVN, SIGN.) Arne Fredheim	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Birger Enerhaug	
ARKIVKODE	DATO 2003-12-02	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Jostein Storøy, Forsknings sjef	

SAMMENDRAG

Studiet bidrar til å bedre krav til dokumentasjonsunderlaget og derigjennom totalsikkerhet for havbruksflåter. Arbeidet er konsentrert opp mot stabilitets- og fribordskrav gitt av ny norsk standard for flytende oppdrettsanlegg, NS9415. Ved hjelp av en anonym eksempelflåte har vi vurdert stabilitet, hydrodynamikk og sikkerhetskrav for havbruksflåter opp mot eksponeringsgrad. I NS9415 er eksponeringsklasse til en forflåte bare knyttet til fribordsformelen. Standarden inkluderer ingen andre kriterier for vurdering av sikkerhetsnivået til en forflåte i høye og steile bølger.

Det er brukt avanserte beregningsverktøy på linje med kvalitetskravene i offshoreindustrien. En har spesielt lagt vekt på sikkerhetsaspekter som funksjon av bølgeeksponeringsgrad. Beregningene indikerer at faren er stor for overslag av vann til tross for tilstrekkelig fribord i følge NS9415. Analysen viser også at eksempelflåten har tilstrekkelig stabilitet i alle testkondisjoner og klart bedre enn det standarden krever. Flåten har også god bevegelseskarakteristikk i relativt eksponerte forhold. Konsekvensen av vannoverslag er vurdert og eksempelflåten har god synkesikkerhet ved vannoverslag. Det understrekes derimot at eksempelflåten har høyere sikkerhet enn gjennomsnittelig standard for forflåter.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Havbrukskonstruksjoner	
GRUPPE 2	HMS	
EGENVALGTE	Hydrodynamikk og stabilitet	

INNHALDSFORTEGNELSE

1	Innledning	3
2	Konklusjoner	4
3	Beregningsverktøy	5
4	Hydrostatisk modellering av forflåten	5
5	Oversikt over lastkondisjonene	6
6	Stabilitetsberegninger	6
7	Hydrodynamiske inputdata	7
8	Resultater	9
8.1	Type resultater	9
8.2	Krav knyttet til NS 9415	9
8.3	Globale transferfunksjoner for lekter, dypgang 1.169 meter.	11
8.4	Beregning av overslag på dekk (grønn sjø).	12
8.5	Kondisjon nr. 3. Dypgang 1.169 meter.	13
8.5.1	Bølgeretning 180 grader (møtende sjø). Bølgeklasse B.	14
8.5.2	Bølgeretning 90 grader (sidesjø). Bølgeklasse B	16
8.5.3	Bølgeretning 180 grader (møtende sjø). Bølgeklasse C.	17
8.5.4	Bølgeretning 120 grader (skrå sjø). Bølgeklasse C.	18
8.5.5	Bølgeretning 90 grader (sidesjø). Bølgeklasse C.	19
8.6	Kondisjon nr.5 (maskinrom fylling). Dypgang 1.655 meter.	20

1 Innledning

Denne rapporten er initiert som en følge av arbeidet med etablering en ny norsk teknisk standard på havbruksanlegg som også inkluderer flåter. SINTEF foreslo under arbeidet med standarden og faglig kvalitetssikre av en rekke av retningslinjene som ble utviklet. Ikke minst gjelder dette forflåter som bør designes og bygges med høy standard både med hensyn på rømming og med hensyn på personsikkerhet. I uvær vil forflåten ofte være den naturlige enheten personalet oppholder seg i. Derfor er dokumentasjonsgrunnlaget for en sertifisering viktig å belyse.

Denne rapporten er et begrenset forstudium finansiert av vårt strategiske prosjekt SIKTEK. Mer omfattende analyser må finansieres eksternt.

Følgende aktiviteter ble prioritert i dette innledende studiet:

- Hydrostatisk stabilitetsanalyse av en typisk fôrflåte, i operasjon (lastet) og skadet tilstand. En eksempelflåte av stål er valgt. Tilgjengelig dokumentasjon av flåtedata var avgjørende for valg.
- Hydrodynamisk analyse av samme konstruksjon med vekt på bevegelser, akselerasjoner og sannsynlighet for overslag av vann ved forskjellig eksponeringsgrad.
- Evaluering av resultater fra hydrostatisk og hydrodynamisk analyse.
- Rapportering. Hovedkonklusjoner fra evaluering tas med.
- Arbeidet baseres på nye krav dokumentert i standard NS9415, kapittel 7 "Krav til flåter/lekter".

I NS9415 er eksponeringsklasse til en forflåte bare knyttet til fribordsformelen. Standarden inkluderer ingen andre kriterier for vurdering av sikkerhetsnivået til en forflåte i høye og steile bølger. På grunn av denne mangelen har en spesielt lagt vekt på sikkerhetsaspekter som funksjon av bølgeeksponeringsgrad.

Det ble valgt en eksisterende flåte for å effektivisere arbeidet med modellering og beregninger. Resultatene fra beregningene for flåten skulle så danne grunnlag for diskusjon rundt sikkerhetskravene representert i NS9415. P.g.a ressursmangel ble studiet avgrenset til en stålfåte. Et sammenligningstudie med en betongflåte bør også utføres. Ikke minst fordi fribordet vil være mindre og overbygget kan være mere utsatt for vanninntregning.

Rapporten beskriver resultater fra den hydrodynamiske analysen. Påliteligheten av resultatene blir også diskutert siden noen hydrodynamiske størrelser kan være vanskelig å estimere med stor grad av sikkerhet uten verifikasjon ved hjelp av modellforsøk.

I løpet av studiet har SINTEF også vært i kontakt med Vik-Sandvik AS for å diskutere påliteligheten av beregningen for overslag av vann. I tillegg er MARINTEK kontaktet for å diskutere diffraksjonsanalyser opp i mot modellforsøk med lekterkonstruksjoner.

2 Konklusjoner

Beregningene viste at eksempelflåten hadde gjennomgående gode beregningsresultater og ligger høyere enn det standarden krever. Konklusjonene baserer seg derfor på generelle betraktninger med basis i standarden:

- Initialstabiliteten til eksempelflåten er gjennomgående svært god i alle kondisjoner.
- Bevegelser og akselerasjoner for kritiske områder på eksempelflåten ligger innenfor NORDFORSK' krav med hensyn på tungt manuelt arbeid i en sjøtilstand tilsvarende bølgeklasse C (stor eksponering) i NS 9415.
- Beregningene viser at overslag er sannsynlig selv ved svært moderat eksponering, bølgeklasse B på eksempelflåten. Beregningene er verifisert mot modellforsøksresultater fra Havbassenget i MARINTEK og er også diskutert med Vik-Sandvik AS. Grunnen til den høye sannsynlighet for overslag er svært høye diffraksjonseffekter i tillegg til at flåten går i motfase med bølgen. Diffraksjonsforsterkning på korte bølger kan gå opp til en faktor på 2. Dvs. at det er bare i tilfeller hvor fartøyet følger bølgen, i lengre bølger enn egenperioden, at overslag unngås. I bølgeklasse C er baug mest utsatt i møtende sjø mens i laveste bølgeklassen B er skipssiden mest utsatt i sidesjø.
- Små bevegelser til flåten fører til høyere sannsynlighet for overslag.
- Konsekvensen av vann på dekk er vanskelig å anslå eksakt, men mulige generelle scenarier er: ødeleggelse av lasteporten, håpløse arbeidsforhold, økt fare for mannskapet på dekk, fri overflate på dekk som fører til sloshing og til slutt mulig fylling av andre rom.
- NS9415 bør oppdateres m.h.p fribordskrav og baseres på rasjonelle beregninger eller modellforsøk. Etter regelverket har eksempelflåten et fribord som tilfredsstillende NS9415 med mer enn 884 mm i bølgekategori C. Beregningene indikerer at en *ytterligere* økning av standardens krav til fribord er nødvendig i bølgekategori C. Nærmere undersøkelser må gjøres, men dette tyder på at fribordsformelen i NS9415 er betydelig underdimensjonert spesielt for de steile og korte sjøtilstandene. Alternativt bør konsekvenser av vann på dekk kartlegges ytterligere.
- Overslag på dekk vil for generelle flåter med "garasjeporter" gi vanninntrengning i deler av overbygg. Standarden stiller krav til værtett dør med terskel ihht. lastelinjekonvensjonen og gitt at dør til maskinromsnedgang blir stående åpen, kan dette gi en sårbar tilstand, ved at maskineri slås ut ved vannfylling.

3 Beregningsverktøy

For hydrostatiske beregninger har vi brukt *Shipshape*. *Shipshape* er et integrert dataverktøy for design og hydrostatikk/stabilitets-beregninger. Systemet er utviklet ved MARINTEK. All videreutvikling og vedlikehold gjøres nå av LODIC AS.

Systemet er spesielt tiltenkt tidligdesign studier og er bygget opp rundt en topologisk definisjon av skrog, intern og ekstern struktur. Verktøyet gjør alle nødvendige beregninger for intakt- og skadestabilitet knyttet til de lastkondisjoner som er definert. Det er basert på anerkjente og godt dokumenterte beregningsmetodikker.

For beregning av hydrodynamiske transferfunksjoner ble et 3-D diffraksjonsprogram (kilde-sluk) program *WAMIT 6.2* brukt. Programmet er utviklet ved MIT og er ansett som det mest veldokumenterte hydrodynamikkprogram for storvolumkonstruksjoner. Med storvolum menes legemer som har en karakteristisk dimensjon større enn 1/5 av bølgelengden. Programmet beregner transferfunksjoner (antatt enhets bølgeamplitude som input) for blant annet 1.ordens bevegelser, diffraktert bølge i nærheten av flåten og andre hydrodynamiske størrelser.

I *WAMIT* beskrives undervannskroget (overflaten) med flateelementer. Som elementnettgenerator til *WAMIT* brukes *Multisurf*.

For å kunne regne om bevegelsene fra transferfunksjoner til RMS verdier og maksimal verdier for flåten ut i fra en gitt input irregulær sjøtilstand brukes simuleringsprogrammet *SIMO*. *SIMO* regner blant annet globale bevegelser, akselasjoner og diffrakterte bølger i en gitt irregulær bølgesjøtilstand.

Et egent regneprogram, *Relextreme*, ble utviklet for å beregne overslag av bølger over fribordet v.h.a globale bevegelsestidserier, antatt stivlegeme translasjon og diffraktert bølge. *SIMO* manglet infrastruktur for denne beregningen.

Fordi *WAMIT* er potensialteori er det nødvendig å estimere viskøs demping i rull og stamp og å legge det inn som lineærisert viskøs demping fra input.

4 Hydrostatisk modellering av forflåten

Det er tatt utgangspunkt i en typisk forflåte med følgende hoveddimensjoner:

L_{pp}	=	32.2 meter (lengde mellom perpendikulærer)
B	=	12.9 meter (bredde)
D	=	3.1 meter (dekkshøyde over kjøll)

5 Oversikt over lastkondisjonene

1. Lettskip (ingen last, bemanning eller utrustning)
2. Lettskip m/tanker (fulle tanker ellers ingen last, bemanning eller utrustning)
3. Fulle siloer (fullt lastet med bemanning og utrustning)
4. Halvfulle siloer (siloene halvt lastet ellers fulle tanker, bemanning og utrustning)
5. Skadet maskinrom (som kond.3, men i en situasjon der maskinrom er fylt med vann som følge av vann inntrengning gjennom garasjeport og ned leder)
6. Forventet misbruk (som kond.3, men med ekstra last på dekk og truck plassert i et hjørne og fylling av aktre void som følge av skade fra påkjørsel)

6 Stabilitetsberegninger

En sammenfatning av beregningsresultatene er gitt i Tabell 1

	Kond. 1	Kond. 2	Kond. 3	Kond. 4	Kond. 5	Kond. 6
Draught at LPP/2 (m)	0.400	0.509	1.169	0.847	1.655	1.676
Draught at AP (m)	0.392	0.475	1.134	0.813	1.680	2.755
Draught at FP (m)	0.407	0.543	1.203	0.881	1.631	0.597
Trim over LPP (m)	-0.015	-0.068	-0.069	-0.068	0.049	2.157
Heel angle (St.b. +) (deg.)	0.000	0.315	0.378	0.338	0.095	0.328
Water density (tonnes/m ³)	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025	1.025
Displacement (tonnes)	170.000	216.620	499.019	361.319	707.227	716.062
LCB (rel. to midship) (m)	0.001	0.281	0.126	0.170	-0.103	-3.483
LCB (relative to AP) (m)	16.101	16.381	16.226	16.270	15.997	12.617
VCB (relative to BL) (m)	0.200	0.255	0.585	0.425	0.829	0.955
LCF (rel. to midship) (m)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
LCF (relative to AP) (m)	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100	16.100
Immersion (tonnes/cm)	4.154	4.154	4.154	4.154	4.154	4.154
Trim mom. (tonnes*m/cm)	11.067	11.146	11.146	11.146	11.146	11.146
KG (incl. correction) (m)	2.60	2.439	3.294	2.666	2.756	2.800
Free surf. Corr. (GG ^o) (m)	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
KGmax, intact, calc. (m)		12.700	9.581	11.811	7.074	6.160
KMT (metasentr.height) (m)	36.046	27.844	12.487	16.877	9.222	12.869
GM (incl. correction) (m)	33.446	25.404	9.193	14.211	6.465	10.068

Tabell 1. Oppsummering av stabilitetsberegninger fra lastkondisjonene.

7 Hydrodynamiske inputdata

Positiv x-akse er lagt mot baug og bølgeretninger blir definert rundt positiv z-akse pekende oppover i himmelretning. y-aksen er definert positiv mot babord side. 0-grader bølgeretning er følgende sjø og definert som bølger propagerende i positiv x-retning. 180 grader bølgeretning er motsjø. z-aksen er definert ved $L_{pp}/2$ midtskips og i vannoverflata.

Følgende lasttilstander er analysert:

Normal operasjon. Kondisjon nr. 3.

T	=	1.169 meter (dypgang)
F	=	1.931 meter (fribord)
M	=	497087 kg (deplasement masse)
x_g	=	0.12 meter (tyngdepunkt i x-retning, LCG=16.22 m)
y_g	=	0 meter (tyngdepunkt i y-retning)
z_g	=	2.12 meter (tyngdepunkt i z-retning, VCG= 3.29 m)
r_{44}	=	4.52 meter (treghetsradius i rull, $0.35*B$)
r_{55}	=	9.66 meter (treghetsradius i stamp, $0.3*L_{pp}$)
r_{66}	=	9.66 meter (treghetsradius i gir, $0.3*L_{pp}$)
GMT	=	9.19 meter (tverrskips metasenterhøyde)

Siden treghetsradier er estimert i henhold til tyngdepunktet for flåten må massene transformeres til en 6x6 matrise med referanse i koordinatsystemets origo som ligger i overflate, som beskrevet før. Dvs. lokalt aksesystem vil forandres for hver lastetilstand.

Trim er ikke tatt hensyn til i analysen. *Shipsshape* analysen ga en liten men neglisjerbar langskips trim.

Merk at treghetsradier er estimert og sannsynligvis noe underestimert. En følsomhetsanalyse ble derimot foretatt.

Skadet tilstand. Fylling lasterom. Kondisjon nr. 5:

T	=	1.655 meter (dypgang)
F	=	1.445 meter (fribord)
M	=	703582 kg (deplasement masse)
x_g	=	-0.10 meter (tyngdepunkt i x-retning)
y_g	=	0.00 meter (tyngdepunkt i y-retning)
z_g	=	1.10 meter (tyngdepunkt i z-retning)
r_{44}	=	4.52 meter (massetregghetsradius i rull, $0.35*B$)
r_{55}	=	9.66 meter (massetregghetsradius i stamp, $0.3*L_{pp}$)
r_{66}	=	9.66 meter (massetregghetsradius i gir, $0.3*L_{pp}$)

Treghetsradier er antatt som i operasjonstilstand siden langskipsfordelingen etter fylling er noenlunde lik. Trim er fortsatt neglisjert noe som ikke er urimelig p.g.a symmetri til lasterommet.

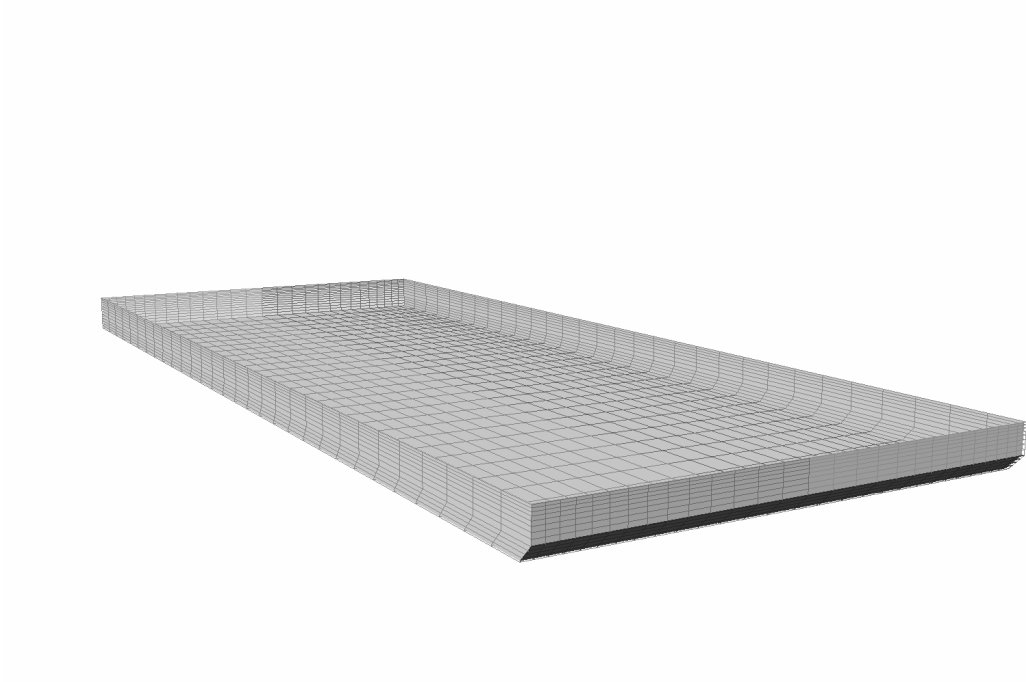


Figure 3 Beregningsgrid, flatelementer, av undervannskroget til flåte som input til *WAMIT* analysene. Generert i *Multisurf*.

8 Resultater

8.1 Type resultater

Alle størrelser er beregnet for irregulær sjø i form av enten RMS (tilsvarende standardavvik når middelveien er null) til bevegelser og akselerasjoner eller ekstremverdi til overskytende bølgeamplitude i forhold til fribordet for en korttids 3 timers stasjonær bølgetilstand. Merk at bare en ekstremverdi er brukt i stede for en statistisk tilpasning av ekstremverdifordelingene. Dette gir en høyere statistisk usikkerhet på ekstremverdianslagene. Med en samplingsperiode på 0.25 sec blir det brukt 43200 samples på en korttids simulering.

Akselerasjoner og relativbølger blir beregnet i følgende punkt ved $z=0$:

Punkt nr.	Beskrivelse	x-koordinat (m)	y-koordinat (m)
1	Senterline i baug	16.2	0.0
2	Styrbord side og baug	16.2	-5.0
3	Styrbord side og baug	16.1	-6.55
4	Styrbord side og baug	15.0	-6.55
5	Styrbord side, midtskips	0.0	-6.55

Tabell 2. Punktnummer og koordinater for relativ bølgeberegning og bevegelser.

Merk at punkt er lagt med en 10 cm avstand til flåtesiden for å unngå numeriske problemer.

Alle irregulære resultater er for bølgeretningene 90, 120 og 180 grader hvor 180 grader er møtende sjø og 90 grader fra styrbord side. De mest kritiske retningene ble plukket ut men det er nesten symmetri mellom forskip og akterskip og dermed for eksempel 60 og 120 grader.

8.2 Krav knyttet til NS 9415

Det er ingen krav knyttet til maksimale bevegelser eller akselerasjoner for å kunne arbeide trygt ombord i en forflåte i standarden. Sannsynligvis har dette sin årsak i at dette ikke har direkte betydning for rømmingsfaren av fisk. Umulige arbeidsforhold vil derimot kunne øke sannsynligheten for havari og dermed øke rømming.

For å kunne vurdere bevegelser og akselerasjoner vil vi bruke NORDFORSK sine verdier som sier at for tungt, manuelt arbeid skal RMS verdiene av en rull eller horisontal og vertikal akselerasjon i et kritisk punkt på dekket være mindre enn:

Horisontal akselerasjon:	$0.07 \text{ g} = 0.69 \text{ m/s}^2$
Vertikal akselerasjon:	$0.15 \text{ g} = 1.47 \text{ m/s}^2$
Rull	4 grader

Når det gjelder faren for vannoverslag er følgende formel for fribord i millimeter lagt til grunn:

$$F_{\min} > 17xL_{PP} + K_1 + K_2$$

hvor K_1 er faktor som øker fribordet med økende bølgeeksponering og K_2 er ekstra fribordskrav grunnet kryssfortøyning. K_1 er definert fra følgende tabell

Bølgeklasse	H_s (m)	Betegnelse	K_1 (mm)
A	0.0-0.5	Liten eksponering	300
B	0.5-1.0	Moderat eksponering	400
C	1.0-2.0	Stor eksponering	500
D	2.0-3.0	Høy eksponering	600
E	> 3.0	Svær eksponering	700

Tabell 3. Fribordskrav som funksjon av eksponeringsgrad.

Følgende eksponeringsklasser er undersøkt:

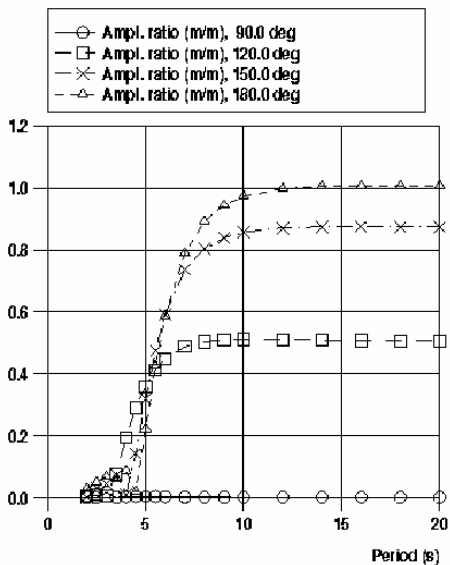
1. **Bølgeklasse B** (Moderat eksponering): $H_s = 1.0$ meter og $T_p = 3.0$ sec, $F_{\min} = 947$ mm
2. **Bølgeklasse C** (Stor eksponering): $H_s = 2.0$ meter og $T_p = 5.0$ sec, $F_{\min} = 1047$ mm

Til å beskrive bølgetilstandene er det brukt et standard Jonswap spektrum med $\Gamma = 1.55$ som fast verdi.

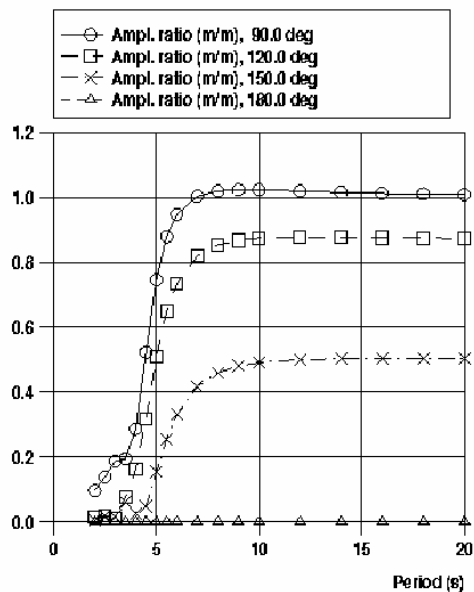
Det er antatt uendelig vanddyb for enkelhets skyld.

8.3 Globale transferfunksjoner for leker, dypgang 1.169 meter.

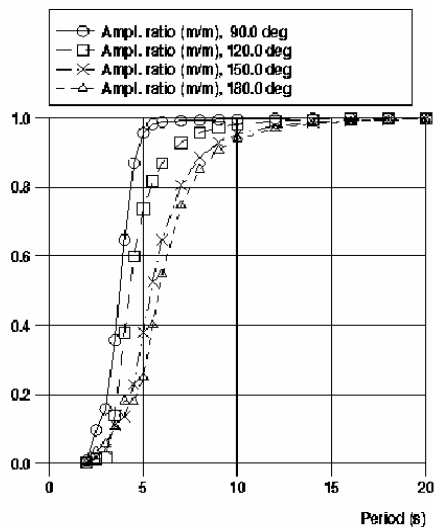
Motion transfer function (RAO), X-dir



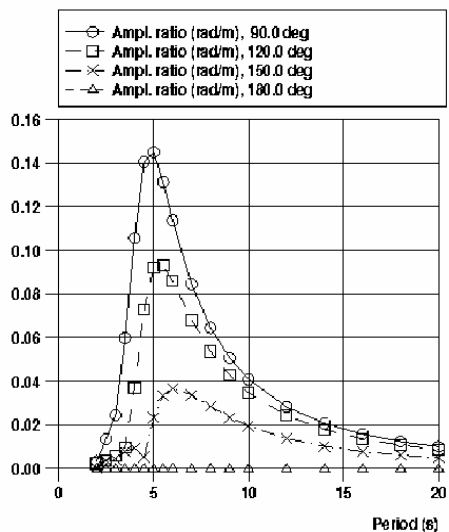
Motion transfer function (RAO), Y-dir



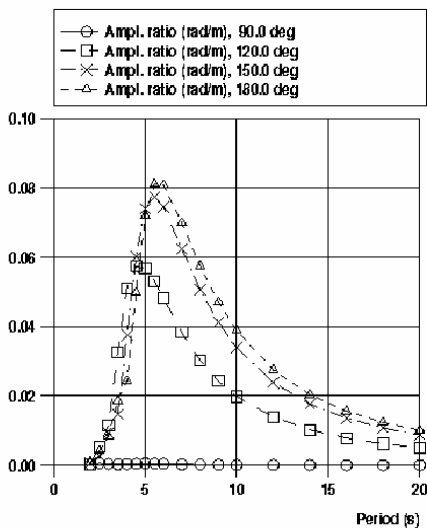
Motion transfer function (RAO), Z-dir



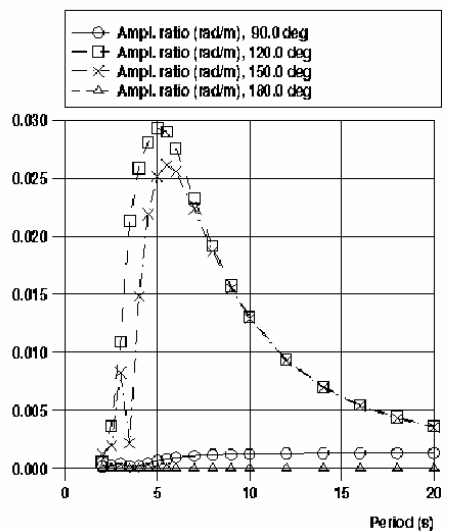
Motion transfer function (RAO), X-rot



Motion transfer function (RAO), Y-rot



Motion transfer function (RAO), Z-rot



De globale bevegelsene er definert i koordinatsystemets midtpunkt i vannlinja ved dyppgang 1.169 meter og ved $L_{pp}/2$.

I stede for notasjonen x-dir, x-rot etc kan følgende notasjon brukes:

h_1	->	x-dir	->	jag	->	frihetsgrad nr. 1
h_2	->	y-dir	->	svai	->	frihetsgrad nr. 2
h_3	->	z-dir	->	hiv	->	frihetsgrad nr. 3
h_4	->	x-rot	->	rull	->	frihetsgrad nr. 4
h_5	->	y-rot	->	stamp	->	frihetsgrad nr. 5
h_6	->	z-rot	->	gir	->	frihetsgrad nr. 6

8.4 Beregning av overslag på dekk (grønn sjø).

For å regne vertikal relative bevegelse $h_{3,rel}$ i ett punkt like ved skipssiden brukes følgende formel:

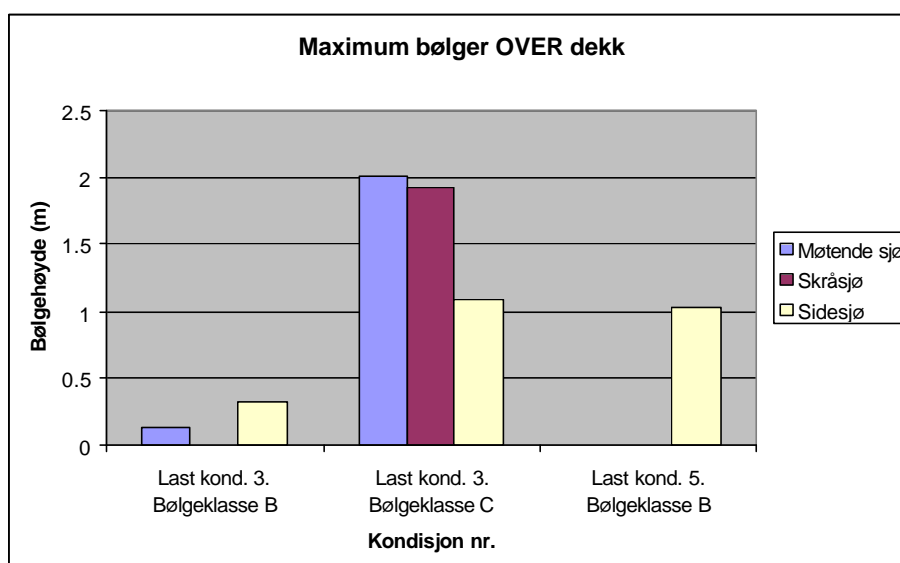
$$h_{3,rel} = h_3 + y h_4 - x h_5$$

hvor h_3 er global hiv bevegelse, h_4 er global rull bevegelse, h_5 er global stamp bevegelse og x,y er x- og y- koordinaten til punktet i forhold til fartøyets origo. Alle bevegelse regnes i tidsplanet v.h.a programmet SIMO.

Relativ bølgehøyde som slår over dekk, z_{over} med fribord F , i punktet x, y regnes ut i fra følgende formel

$$V_{over} = V_{diff} - h_{3,rel} - F$$

hvor z_{diff} er diffraktert bølgehøyde beregnet v.h.a WAMIT i punktet x,y. z_{over} beregnes i tidsplanet med programmet *Relextreme* som også estimerer maksimumsverdier fra 3 timers simuleringens varighet. Merk maksimumsverdiene kan ha statistisk usikkerhet på opp til 30 %.



Figur 4. Oppsummering av alle statistiske resultater for bølger over dekk.

8.5 Kondisjon nr. 3. Dypgang 1.169 meter.

Fribord i stille vann er 1.931 meter.

Tabell 4, 7, 9, 12, 15 og 18 gir RMS, maksimum- og minimumsverdi av globale bevegelser for en kortidssimulering i to sjøtilstander, bølgeklasse B og C og 3 bølgeretninger. Resultatene viser at rull RMS ikke overstiger NORDFORSK krav på 4 grader for tungt manuelt arbeid og at bevegelsene generelt er moderate. Rull i sidesjø bølgeklasse C begynner derimot å nærme seg et kritisk nivå.

Tabell 5, 8, 10, 13, 16 og 19 gir statistiske verdier for akselerasjoner i fem forskjellige punkt rundt flåtesiden. RMS verdiene ligger klart innenfor akseptable grenseverdier for å kunne utføre tungt manuelt arbeid om bord. Enkelte ekstremverdier vil derimot kunne forstyrre arbeidet midlertidig.

Tabell 6, 11, 14, 17 og 20 gir maksimumsverdi av bølge over dekk. Dette er en statistisk enkelthendelse og inneholder derfor statistisk usikkerhet. En oppsummering av resultatene er gitt i Figur 4. Hvilken bølgeretning som er mest kritisk vil være avhengig av bølgeperioden. Resultatene viser derimot at i moderat sjø, bølgeklasse B, lave bølgeperioder, vil sidesjø være mest kritisk. Dvs lasteportområdet er litt utsatt. I høyere sjø med bølgeperioder rundt 5 sekund, vil baugen være mest utsatt gitt møtende sjø. I enda tyngre sjø forventes en reduksjon av grønn sjø fordi flåten forventes i større grad å følge bølgene.

8.5.1 Bølgeretning 180 grader (møtende sjø). Bølgeklasse B.

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.134E-01	0.552E-01	-.553E-01
Svai (m)	0.000	0.000	0.000
Hiv (m)	0.1607E-01	0.6380E-01	-.6669E-01
Rull (grad)	0.000	0.000	0.000
Stamp (grad)	0.1483	0.6371	-.6318
Gir (grad)	0.000	0.000	0.000

Tabell 4. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet.
Bølgeklasse B. Møtende sjø.

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.7553E-01	0.3197	-.3017
		y-dir	0.000	0.000	0.000
		z-dir	0.2067	0.7923	-.8475
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.7553E-01	0.3197	-.3018
		y-dir	0.000	0.000	0.000
		z-dir	0.2058	0.7887	-.8437
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.7553E-01	0.3125	-.3070
		y-dir	0.000	0.000	0.000
		z-dir	0.6122E-01	0.2329	-.2325

Tabell 5. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde.
Bølgeklasse B. Møtende sjø.

Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
0.134	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabell 6. Maksimum relativ bølgehøyde over dekk. Bølgeklasse B. Møtende sjø.
Bølgeretning 120 grader (skrå sjø). Bølgeklasse B.

8.5.2 Bølgeretning 120 grader (skråsjø). Bølgeklasse B.

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.1266E-01	0.5619E-01	-.5126E-01
Svai (m)	0.1230E-01	0.5135E-01	-.5513E-01
Hiv (m)	0.2461E-01	0.9846E-01	-.1072
Rull (grad)	0.1488	0.6012	-.6057
Stamp (grad)	0.2444	1.109	-1.156
Gir (grad)	0.1596	0.6879	-.7732

Tabell 7. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet.
Bølgeklasse B. Skråsjø.

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.2259E-01	0.1068	-.8362E-01
		y-dir	0.1598	0.7191	-.6862
		z-dir	0.2631	1.212	-1.213
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.6261E-01	0.2824	-.2585
		y-dir	0.1588	0.7198	-.6800
		z-dir	0.2366	1.088	-1.083
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.6257E-01	0.2782	-.2676
		y-dir	0.3720E-01	0.1602	-.1466
		z-dir	0.6443E-01	0.2720	-.3043

Tabell 8. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde.
Bølgeklasse B. Skråsjø.

Det ble ikke beregnet bølgeoverslag i denne kondisjonen.

8.5.3 Bølgeretning 90 grader (sidesjø). Bølgeklasse B

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.2208E-02	0.8047E-02	-.8104E-02
Svai (m)	0.3990E-01	0.1731	-.1987
Hiv (m)	0.5345E-01	0.2376	-.2271
Rull (grad)	0.4963	2.262	-2.080
Stamp (grad)	0.5426E-02	0.2305E-01	-.2280E-01
Gir (grad)	0.3993E-02	0.1724E-01	-.1689E-01

Tabell 9. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet.
Bølgeklasse B. Sidesjø.

(m)

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.9998E-02	0.3726E-01	-.3621E-01
		y-dir	0.2093	0.9123	-.8838
		z-dir	0.1885	0.7671	-.7984
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.8203E-02	0.3088E-01	-.3038E-01
		y-dir	0.2094	0.9160	-.8643
		z-dir	0.8448E-01	0.4021	-.3448
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.8203E-02	0.3085E-01	-.3037E-01
		y-dir	0.2141	0.9351	-.8882
		z-dir	0.8046E-01	0.3753	-.3239

Tabell 10. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde.
Bølgeklasse B. Sidesjø.

Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
0.000	0.000	0.000	0.094	0.315

Tabell 11. Maksimum relativ bølgehøyde over dekk. Bølgeklasse B. Sidesjø.

8.5.4 Bølgeretning 180 grader (møtende sjø). Bølgeklasse C.

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.1360	0.5402	-.5300
Svai (m)	0.000	0.000	0.000
Hiv (m)	0.1408	0.5805	-.5521
Rull (grad)	0.000	0.000	0.000
Stamp (grad)	1.523	6.047	-6.024
Gir (grad)	0.000	0.000	0.000

Tabell 12. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet.
Bølgeklasse C. Møtende sjø.

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.1620	0.7463	-.6913
		y-dir	0.000	0.000	0.000
		z-dir	0.8304	3.124	-3.464
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.1619	0.7449	-.6903
		y-dir	0.000	0.000	0.000
		z-dir	0.8263	3.110	-3.448
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.1577	0.6813	-.6108
		y-dir	0.000	0.000	0.000
		z-dir	0.2072	0.9562	-.8894

Tabell 13. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde.
Bølgeklasse C. Møtende sjø.

Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
2.007	1.576	1.103	0.591	0.000

Tabell 14. Maksimum relativ bølgehøyde over dekk. Bølgeklasse C. Møtende sjø.

8.5.5 Bølgeretning 120 grader (skrå sjø). Bølgeklasse C.

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.1452	0.6071	-.6261
Svai (m)	0.2087	0.8502	-.8311
Hiv (m)	0.2901	1.112	-1.263
Rull (grad)	1.869	7.411	-7.663
Stamp (grad)	1.329	6.139	-5.637
Gir (grad)	0.7059	3.303	-3.081

Tabell 15. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet. Bølgeklasse C. Skråsjø.

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.1862	1.155	-.7128
		y-dir	0.4444	2.059	-2.096
		z-dir	0.9312	4.189	-4.134
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.2127	0.9174	-.9849
		y-dir	0.4434	1.989	-2.129
		z-dir	0.6308	2.883	-2.972
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.2146	1.169	-.8258
		y-dir	0.2619	1.029	-1.327
		z-dir	0.3288	1.336	-1.462

Tabell 16. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde. Bølgeklasse C. Skråsjø.

Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
0.178	1.630	1.919	1.907	1.183

Tabell 17. Maksimum relativ bølgehøyde over dekk. Bølgeklasse C. Skråsjø.

8.5.6 Bølgeretning 90 grader (sidesjø). Bølgeklasse C.

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.2959E-02	0.1311E-01	-.1295E-01
Svai (m)	0.2951	1.201	-1.120
Hiv (m)	0.3797	1.510	-1.697
Rull (grad)	3.161	13.58	-13.50
Stamp (grad)	0.1167E-01	0.5386E-01	-.4925E-01
Gir (grad)	0.1595E-01	0.6287E-01	-.6583E-01

Tabell 18. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet.
Bølgeklasse C. Sidesjø.

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.1048E-01	0.4669E-01	-.4858E-01
		y-dir	0.4332	1.874	-2.024
		z-dir	0.6744	3.059	-2.836
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.9675E-02	0.4413E-01	-.4430E-01
		y-dir	0.4398	1.857	-2.308
		z-dir	0.4869	2.161	-2.047
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.9675E-02	0.4412E-01	-.4436E-01
		y-dir	0.4472	1.889	-2.330
		z-dir	0.4813	2.140	-2.010

Tabell 19. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde.
Bølgeklasse C. Sidesjø.

Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
0.000	0.297	0.857	0.974	1.090

Tabell 20. Maksimum relativ bølgehøyde over dekk. Bølgeklasse C. Sidesjø.

8.6 Kondisjon nr.5 (maskinrom fylling). Dypgang 1.655 meter.

Alle resultater med unntak av fare for vann på dekk er ikke vesentlig forverret fra operasjonsdypgang. Det er opplagt at med et mindre fribord blir faren for vann på dekk større. Vann på dekk i denne tilstanden er derimot ikke like kritisk som selve fyllingen av maskinrommet. Derimot kan mye grønn sjø forverre situasjonen.

Bølgeretning 90 grader (sidesjø). Bølgeklasse B.

Frihetsgrad	RMS (Root mean square)	Max. verdi	Min. verdi
Jag (m)	0.7950E-03	0.2942E-02	-.3007E-02
Svai (m)	0.4363E-01	0.1924	-.2143
Hiv (m)	0.9768E-01	0.4331	-.4256
Rull (grad)	0.3736	1.651	-1.623
Stamp (grad)	0.5009E-01	0.1926	-.1935
Gir (grad)	0.2808E-02	0.1159E-01	-.1170E-01

Tabell 21. Globale bevegelser i nullpunkt til koordinatsystemet.
Bølgeklasse B. Sidesjø.

Punkt nr.	Koordinat	Frihetsgrad	RMS (Root mean square) [m/s ²]	Max. verdi [m/s ²]	Min. verdi [m/s ²]
1 baug	x= 16.2 y= 0.00	x-dir	0.7619E-02	0.2825E-01	-.2651E-01
		y-dir	0.2228	0.9845	-.9236
		z-dir	0.4131	1.587	-1.657
3 baug-side	x= 16.1 y= -6.55	x-dir	0.8067E-02	0.3201E-01	-.3111E-01
		y-dir	0.2228	0.9855	-.9180
		z-dir	0.3292	1.191	-1.201
5 midtskips- side	x= 0.0 y= -6.55	x-dir	0.8065E-02	0.3142E-01	-.3146E-01
		y-dir	0.2200	0.9736	-.9082
		z-dir	0.2948	1.032	-1.071

Tabell 22. Akselerasjoner i x, y, z retning for punktene 1, 3 og 5, se Tabell 1 i dekkshøyde.
Bølgeklasse B. Sidesjø.

Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5
0.000	0.000	0.360	0.636	1.032

Tabell 23. Maksimum relativ bølgehøyde over dekk. Bølgeklasse B. Sidesjø.