
Fortøyningsanalyse

TR-30246-5674-2

Revisjon 1



Lokalitet: Smørdalen

Lokalitetsnummer: 12154

Oppdragsgiver: Havforskningsinstituttet



Fortøyningsanalyse av flåte, lokalitet Smørdalen

Rapport nr.:	TR-30246-5674-2	Pålitelighetsklasse:	<input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3
Oppdragsgiver:	Havforskningsinstituttet	Kontaktperson	Jan Olav Fosse
Utarbeidet av:	Anne Cecilie Grindstad	Kontrollert av	Ole Kristian Flønes
Rapport for fortøyningsanalyse i samsvar med utlagt flåte:	<input checked="" type="checkbox"/> JA <input type="checkbox"/> NEI		
Tilgjengelighet:	Ingen distribusjon uten tillatelse fra kunde		

Sammendrag:

Denne rapporten inneholder resultatene fra en fortøyningsanalyse i henhold til NS 9415^[1].

Analysen tar høyde for en 12x12 m betongflåte.

Krav til MBL til fortøyningskomponenter er gitt i Tabell 1. Høyeste last oppstår i line F7 som gir et krav til MBL for henholdsvis tau og kjetting på henholdsvis 10.3 og 6.9 tonn.

1	31.07.2018	ACG	OKF	Fortøyningsanalyse betongflåte
Revisjon	Dato	Utarbeidet av (init.)	Kontrollert av (init.)	Beskrivelse

Innhold

1	Konklusjon.....	4
1.1	Krav til MBL for fortøyningskomponenter.....	4
1.2	Analysert fortøyningskonfigurasjon.....	5
1.3	Krav til flåte	6
2	Oppdrag og analyseverktøy	7
3	Lokalitet	7
3.1	Miljølaster	8
3.2	Lasttilfeller	8
4	AquaSim-modell.....	9
4.1	Flåte.....	9
4.2	Fortøyning	9
5	Kapasitetskontroll	10
5.1	Last- og materialfaktorer benyttet i analysen.....	11
5.2	Valgte ulykkestilstander	12
6	Resultater	13
6.1	Intakt fortøyning.....	13
6.2	Ulykkestilstand.....	13
6.3	Holdekraft bunnfester.....	14
6.4	Krefter inn i flåte	14
6.5	Utmatting.....	15
6.5.1	30 mm kjetting	16
6.6	Resultatplott	17
7	Diskusjon	18
7.1	Intakt flåte	18
7.2	Ulykkesituasjoner	18
7.3	Holdekraft anker/lodd/bolt og løft ved bunnfester.....	18
7.4	Innfestningspunkt tilhørende flåte.....	18
7.5	Utmatting.....	18
8	Referanser	19
Appendiks A	Definisjoner.....	20
Appendiks B	Parametere i analyse.....	21

1 Konklusjon

1.1 Krav til MBL for fortøyningskomponenter

Tabell 1 viser krav til MBL for ulike fortøyningskomponenter ut fra analyser. Krav til MBL er beregnet ut fra fortøyningskonfigurasjon vist i Tabell 2.

Tabell 1 Krav til MBL for ulike fortøyningskomponenter samt beregnet løft inn i bunnfester.

Ankerline [nr.]	Krav til MBL tau [tonn]	Krav til MBL Kjetting [tonn]	MBL/Holdekraft forankringskomponent [tonn]	Løft ved bunnfeste [tonn]	Krav til MBL sjakler [tonn]
F1	6.2	4.2	6.2/2.1	0.0	4.2
F2	6.4	4.3	6.4/2.1	0.0	4.3
F3	7.6	5.1	7.6/2.5	0.0	5.1
F4	7.2	4.8	7.2/2.4	0.0	4.8
F5	8.6	5.7	8.6/2.9	0.0	5.7
F6	7.9	5.2	7.9/2.6	0.0	5.2
F7	10.3	6.9	10.3/3.4	0.0	6.9
F8	9.6	6.4	9.6/3.2	0.0	6.4

1.2 Analysert fortøyningskonfigurasjon

Analysert fortøyningskonfigurasjon er vist i Tabell 2. Oppgitt vekt for kjetting gjelder vekt i luft. En skisse av fortøyningskonfigurasjonen er vist i Figur 2.

Tabell 2 Analysert fortøyningskonfigurasjon

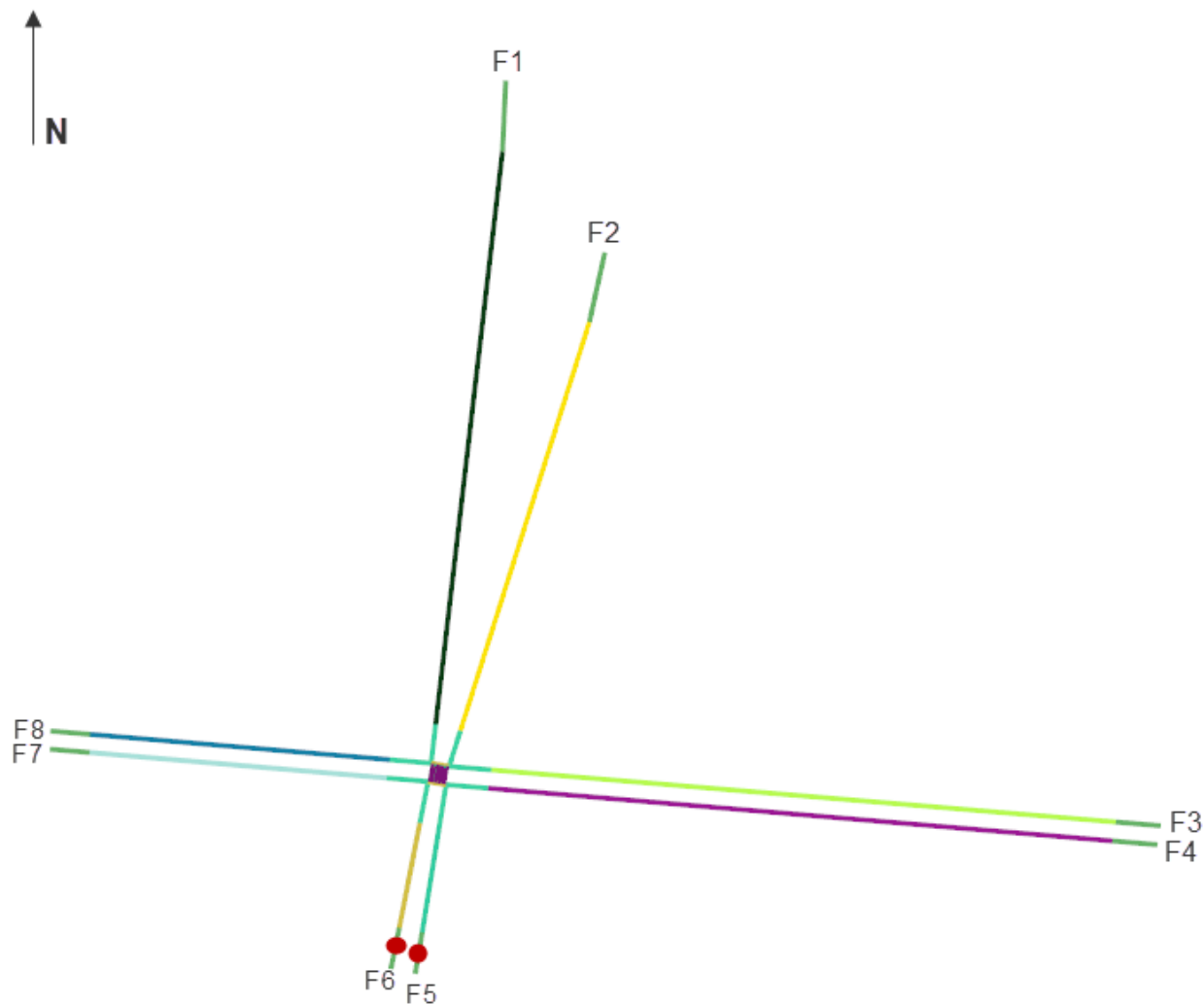
Lasttilfelle	Sektor	Hs [m]	Tp [s]	Bølgeretning fra [°]	Strøm 5 m [m/s]	Strømretning 5 m mot [°]	Strøm 15 m [m/s]	Strømretning 15 m mot [°]	Vindhastighet [m/s]	Kommentar
1	N	0.7	2.4	9	0.19	180	0.19	180	27.4	50 års vind/bølge/strøm
2	NØ	0.5	2.2	52	0.26	225	0.24	225	18.3	
3	Ø	0.6	2.5	73	0.28	290	0.19	290	24.3	
4	SØ	0.5	2.1	109	0.28	315	0.19	315	30.4	
5	S	0.4	1.8	177	0.28	0	0.22	0	30.4	
6	SV	0.5	2.0	255	0.37	45	0.22	45	30.4	
7	V	0.7	2.7	294	0.67	90	0.30	90	30.4	
8	NV	0.7	2.5	306	0.28	125	0.28	125	30.4	
9	V	0.7	2.7	294	0.67	90	0.30	90	30.4	Brudd i line F7
10	V	0.7	2.7	294	0.67	90	0.30	90	30.4	Brudd i line F8

Orientering av flåte ift. nord [grader]
10

Figur 1 Orientering av flåte

Det er festet 2 kg lodd på bunnkjettingen på line F5 og F6.

Figur 2 Skisse av fortøyning med anvisning linenummerering.



1.3 Krav til flåte

Flåten er en betongflåte. Videre detaljer er gitt i Tabell 3.

Tabell 3 Flåte.

Flåtetype	Lengde [m]	Bredde [m]	Fribord [m]	Dypgang [m]	Vekt [tonn]	KG [m]	Høyde overbygg [m]	Kapasitet fortøyningsfeste [tonn]
Betongflåte	12	12	0.63	0.99	146.12	1.08	4	27

2 Oppdrag og analyseverktøy

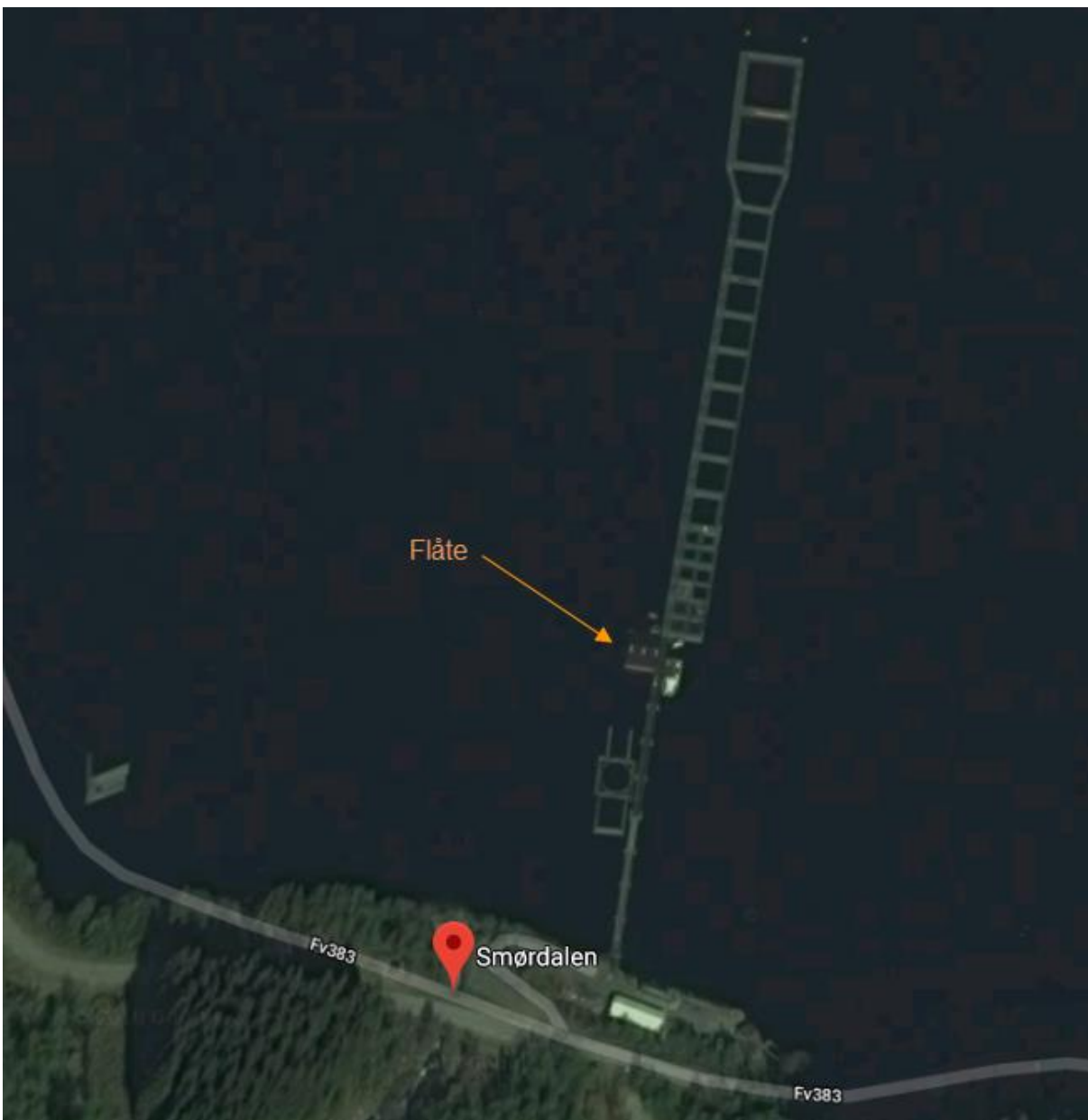
Aquastructures AS har blitt engasjert til å foreta en fortøyningsanalyse i henhold til krav i NS 9415^[1].

All input til analyser er mottatt og bekreftet av kunde.

Analysene har blitt utført med bruk av AquaSim, et verktøy utviklet av Aquastructures AS. AquaSim beregner respons i marine konstruksjoner ved påførte statiske og dynamiske laster, i dette tilfellet strøm, vind og bølger. For detaljer om AquaSim vises det til litteratur^[3-7].

3 Lokalitet

Flåten er lokalisert i Masfjord kommune, i Hordaland Fylke. Flåten er vist i Figur 3.



Figur 3 Satellittbilde av lokalitet Smørdalen

3.1 Miljølaster

Flåten har blitt vurdert opp mot lokalitet med miljøvariabler i henhold til Tabell 4. Verdier er hentet fra lokalitetsundersøkelse^[2]. Som vist Tabell 4 inkluderer dette strøm og bølge med 50 års returperiode.

3.2 Lasttilfeller

Tabell 4 viser lasttilfeller som er simulert for flåten. Det er analysert med 8 lasttilfeller som dekker 8 retninger og miljøkombinasjonene som beskrevet av Tabell 6 i NS 9415^[1]. I tillegg er det kjørt egne analyser for hver ulykkessituasjon.

Det er analysert med irregulære bølger av typen JONSWAP, som bygges opp av 100 bølger.

Tabell 4 Lasttilfeller.

Lasttilfelle	Sektor	Hs [m]	Tp [s]	Bølgeretning fra [°]	Strøm 5 m [m/s]	Strøm 15 m [m/s]	Strømretning mot [°]	Vindhastighet [m/s]	Kommentar
1	N	0.7	2.4	9	0.19	0.19	180	27.4	50 års vind/bølge/strøm
2	NØ	0.5	2.2	52	0.26	0.24	225	18.3	
3	Ø	0.6	2.5	73	0.28	0.19	290	24.3	
4	SØ	0.5	2.1	109	0.28	0.19	315	30.4	
5	S	0.4	1.8	177	0.28	0.22	0	30.4	
6	SV	0.5	2.0	255	0.37	0.22	45	30.4	
7	V	0.7	2.7	294	0.67	0.30	90	30.4	
8	NV	0.7	2.5	306	0.28	0.28	125	30.4	
9	V	0.7	2.7	294	0.67	0.30	90	30.4	Brudd i line F7
10	V	0.7	2.7	294	0.67	0.30	90	30.4	Brudd i line F8

4 AquaSim-modell

4.1 Flåte

Flåte er analysert med både lettskipskonfigurasjon og fullastet konfigurasjon, som vist i Tabell 3. Krav til MBL for hver komponent er basert på dimensjonerende konfigurasjon.

Flåte er modellert inn i tre ulike komponenter. 1) Hovedbjelke: modellert som et hydrodynamisk bjelkeelement med lengde lik lengden til flåte. 2) Tverrbjelke: modellert som et hydrodynamisk bjelkeelement, med lengde lik bredde av flåte og på tvers av midtpunktet til hovedbjelken. 3) Dummies til fortøyningsfester: modellert som Morrison-type bjelkeelement, for å simulere at fortøyning går ut fra fortøyningsrør/fortøyningsører. Se ellers [8] for videre beskrivelse av modellering av forflåter i AquaSim.

4.2 Fortøyning

Fortøyning er modellert etter parametere vist i Tabell 2. Verdi for E-modul brukt i analysen er 2.1 GPa og 110.0 GPa for hhv. tau og kjetting. Verdi for minimum bruddlast (MBL) for tau og kjetting er gitt fra kunde.

5 Kapasitetskontroll

Det er utført beregninger for å dokumentere at flåte tåler krefter som påføres for den gjeldende lokalitetsklasse.

Følgende er tatt hensyn til:

- Alle laster fra vekt av flåte og oppdrift er inklusive.
 - Der flåten er forspent vil kraften fra denne også være inklusive. Likeledes er kraftvirkningen fra vind, bølge og strøm tatt med ^[2].
- Kontroll av aktuell grensetilstand
 - Bruddgrensetilstand
 - Grensetilstand knyttet til brudd eller andre lignende former for konstruksjonsvikt.
 - Tilsvarende vanligvis den maksimale bæreevnen/kapasitet til fortøyning
 - Ulykkesgrensetilstand er vurdert og kontrollert ut fra følgende hendelser:
 - Brudd i line med størst last.
 - Brudd i line som er kritisk for styrke til flåte.
 - Brudd i line som er kritisk med tanke på posisjonering av flåte
 - Springflo.
 - Bruksgrensetilstand
 - Bruksgrensetilstand er ikke analysert.

Resultater er tatt ut i form av:

- Maksimale krefter i liner.
- Krav til holdekraft og løft anker/lodd/bolt.
- Krefter inn i flåte.

5.1 Last- og materialfaktorer benyttet i analysen

Utnyttelsesgraden for fortøyningen beregnes med følgende uttrykk:

$$\frac{F_{maks} \times \gamma_f}{\frac{F_{brudd}}{\gamma_m}}$$

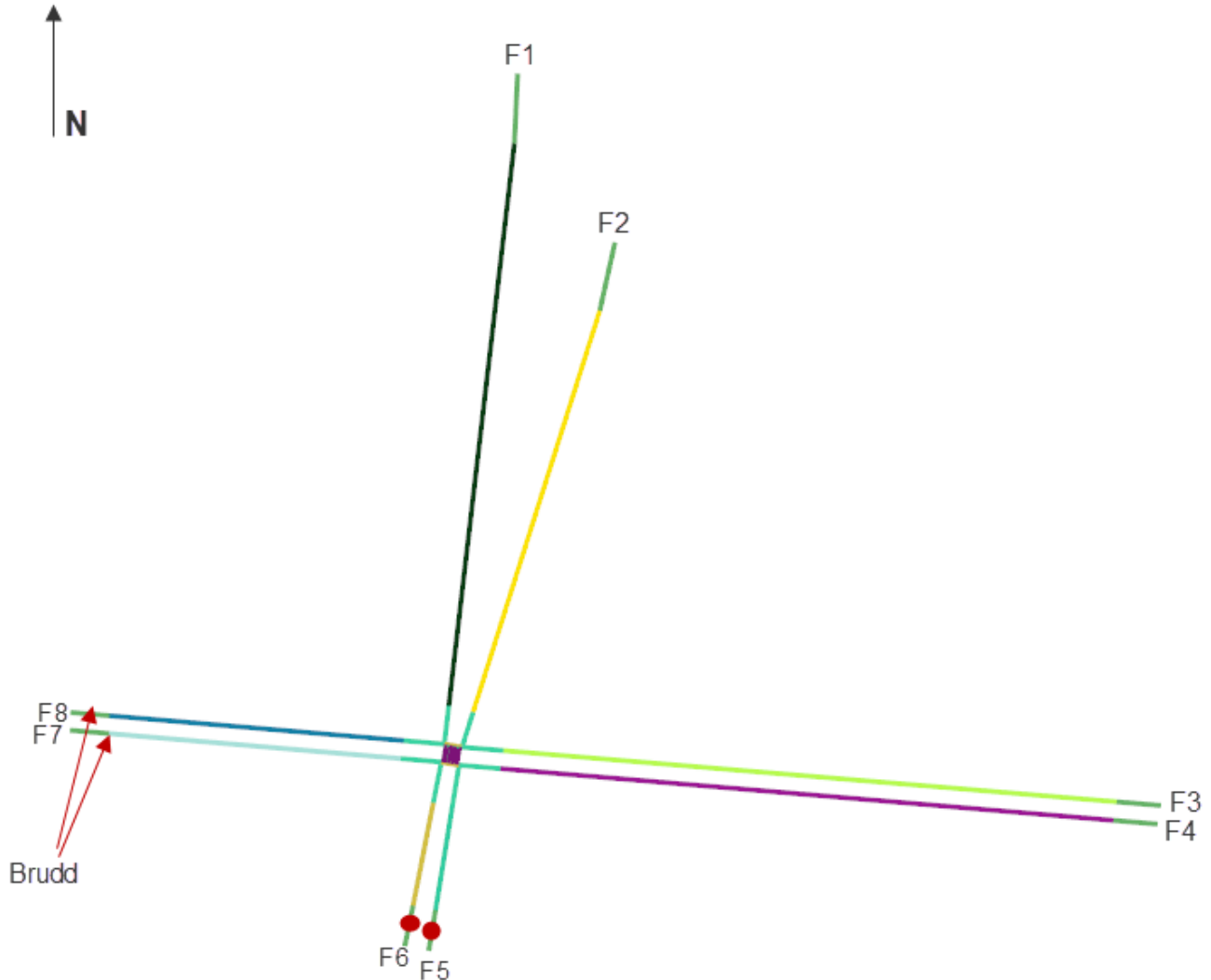
Tabell 5 Forklaringer til uttrykk, last og materialfaktor

Utrykk	Forklaring	Verdier			
F_{maks}		Maks kraft i ankerline			
F_{brudd}		Bruddkapasitet ankerline			
γ_f	Lastfaktor	1.15		Dynamisk analyse	
γ_f Ulykkestilstand	Lastfaktor	1.0		Dynamisk analyse	
γ_m	Materialfaktor	Tau	Tau m knute	Kjetting	Brukt kjetting
		3.0	5.0	2.0	5.0
γ_m Ulykkestilstand	Materialfaktor	Tau	Tau m knute	Kjetting	Brukt kjetting
		2.0	3.33	1.33	3.33
γ_m	Materialfaktor	Bunnfester		Sjakler	Koblingsplater
		3.0		2.0	1.5
γ_m Ulykkestilstand	Materialfaktor	Bunnfester		Sjakler	Koblingsplater
		2.0		1.33	1.0
γ_m	Materialfaktor	Plast		Stål	
		1.25		1.1	
γ_m Ulykkestilstand	Materialfaktor	Plast		Stål	
		1.0		1.0	
γ_m	Materialfaktor	Skruer, bolt friksjon og sveiseforbindelser			
		1.25			

Alle data er hentet fra NS 9415, Tabell 4, 13, Kap. 9.11.2.1 og Kap. 11.2.2. Dersom utnyttelsesgraden havner over 1.0 indikerer dette at maksimalt opptrædende kraft er for stor i forhold til de krav som settes i NS 9415. Se ellers anmerkninger i avsnittet der resultater diskuteres.

5.2 Valgte ulykkestilstander

Ulykkestilstander er valgt på bakgrunn av kriteriene i Kapittel 5. De simulerte bruddsituasjonene er vist i Figur 4.



Figur 4 Simulerte bruddsituasjoner.

Det er ikke analysert med springflo da forholdet mellom linelengde og dybde er høyt, og økt vannstands nivå vil dermed ikke være en dimensjonerende ulykkesituasjon.

6 Resultater

Påfølgende kapitler viser resultater fra utført analyse.

6.1 Intakt fortøyning

Tabell 6 viser maksimale krefter i fortøyning i intakt tilstand ved lastkondisjoner 1-8 beskrevet i Tabell 4.

Tabell 6 Maksimale aksielle krefter i fortøyning ved intakt tilstand

Ankerline [nr.]	Maks last [N]	Krav til MBL tau [tonn]	Krav til MBL kjetting [tonn]	Utnyttelse (toppkjetting)	Utnyttelse (tau)	Utnyttelse (bunnkjetting)
F1	17740	6.2	4.2	0.1	0.3	0.1
F2	18170	6.4	4.3	0.1	0.3	0.1
F3	21640	7.6	5.1	0.1	0.4	0.1
F4	20580	7.2	4.8	0.1	0.4	0.1
F5	24490	8.6	5.7	0.1	0.4	0.1
F6	22380	7.9	5.2	0.1	0.4	0.1
F7	29410	10.3	6.9	0.1	0.5	0.1
F8	27270	9.6	6.4	0.1	0.5	0.1

6.2 Ulykkestilstand

Tabell 7 viser maksimale krefter i fortøyning ved ulykkesituasjoner beskrevet i Tabell 4 og Kapittel 5.2.

Tabell 7 Maksimale aksielle krefter i fortøyning ved ulykkestilstander

Ankerline [nr.]	Maks last [N]	Krav til MBL tau [tonn]	Krav til MBL kjetting [tonn]	Utnyttelse (toppkjetting)	Utnyttelse (tau)	Utnyttelse (bunnkjetting)
F1	18260	3.7	2.5	0.1	0.2	0.1
F2	17950	3.7	2.4	0.1	0.2	0.1
F3	7899	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
F4	8476	1.7	1.1	0.0	0.1	0.0
F5	21800	4.4	3.0	0.1	0.2	0.1
F6	15780	3.2	2.1	0.0	0.2	0.0
F7	45170	9.2	6.1	0.1	0.4	0.1
F8	43170	8.8	5.9	0.1	0.4	0.1

6.3 Holdekraft bunnfester

Tabell 8 viser maksimale aksielle og vertikale krefter (løft) i bunnfester i intakt tilstand.

Tabell 8 Maksimale aksielle og vertikale krefter ved bunnfester

Ankerline [nr.]	Maks last [N]	Holdekraft bunnfeste [tonn]	MBL forankringskomponent [tonn]	Løft ved bunnfeste [tonn]
F1	17740	2.1	6.2	0.0
F2	18170	2.1	6.4	0.0
F3	21640	2.5	7.6	0.0
F4	20580	2.4	7.2	0.0
F5	24490	2.9	8.6	0.0
F6	22380	2.6	7.9	0.0
F7	29410	3.4	10.3	0.0
F8	27270	3.2	9.6	0.0

6.4 Krefter inn i flåte

Ved sammenligning av laster i Tabell 9 med kapasitet til flåte gitt i Kap. 1.3 kan det konkluderes innfestninger har kapasitet til å benyttes på lokaliteten.

Opgitt kapasitet inkluderer sikkerhetsfaktor.

Tabell 9 Maksimale krefter inn i flåte. Oppgitt kapasitet inkluderer sikkerhetsfaktor.

	Lasttilfelle	Aksial kraft [tonn]	Vertikal kraft [tonn]	Kapasitet [tonn]	Utnyttelse
Flåte	intakt	3.0	0.9	20.8	0.1
	ulykke	4.6	0.9	29.7	0.2

6.5 Utmatting

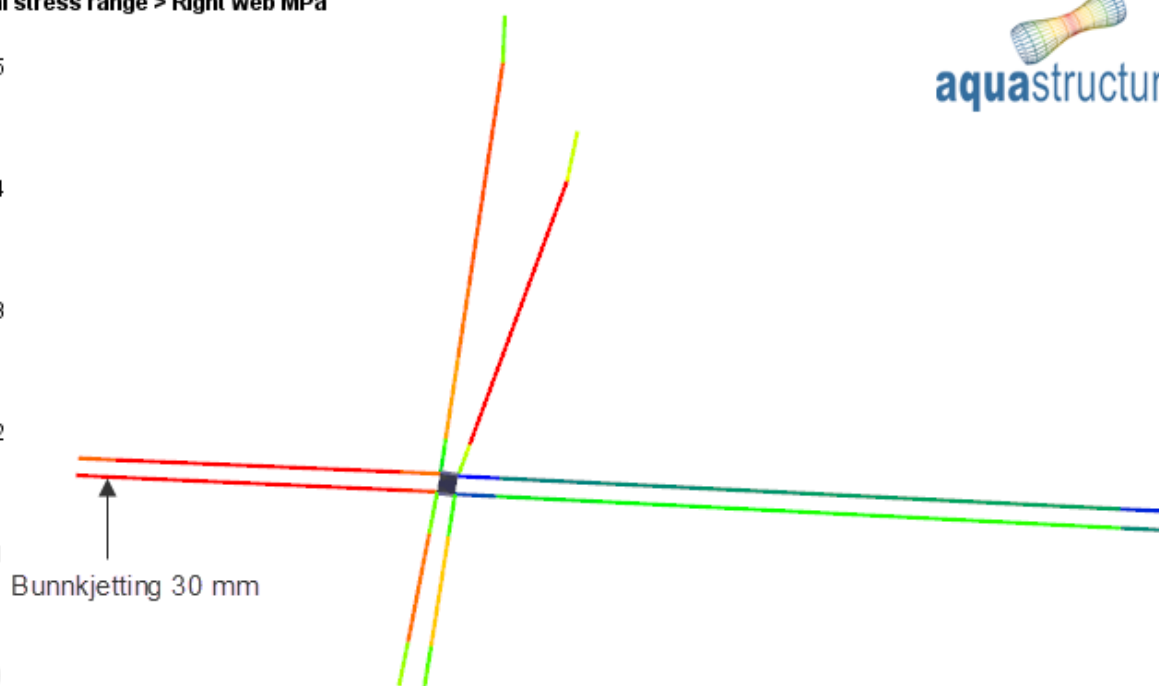
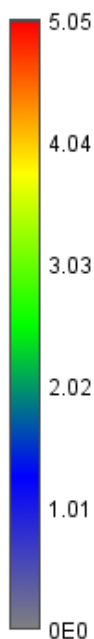
Det er utført utmattingsberegninger av kjettingkomponenter i henhold til NS 9415. Ingen taukomponenter har en høyere spenningsvidde enn 170 MPa og utmattingsanalyser av tau utelates derfor (ref. NS 9415). For forklaring av algoritme for utmatting i dette dokument vises til litteratur [4].

Med utgangspunkt i signifikant bølgehøyde fra lastkondisjoner i Tabell 10 er det etablert egne lastkondisjoner for å kontrollere spenningsvidde på komponent vist i Figur 5. For hver lastkondisjon i Tabell 10 er det etablert 10 nye lastkondisjoner (blokker). Amplituder og perioder til disse lastkondisjonene er vist i Tabell 11. Det har blitt benyttet en strøm- og vindhastighet på halvparten av verdiene i Tabell 10.

Tabell 10 Lastkondisjoner som bakgrunn for utmattingsberegninger.

Lasttilfelle	Sektor	Hs [m]	Tp [s]	Bølgeretning fra [°]	Strøm 5 m [m/s]	Strømretning 5 m mot [°]	Strøm 15 m [m/s]	Strømretning 15 m mot [°]	Vindhastighet [m/s]
1	V	0.71	2.74	294	0.67	90	0.30	90	30.4

Nominal stress range > Right web MPa



Figur 5 Anvisning av komponent kontrollert i utmattingsberegninger

6.5.1 30 mm kjetting

Amplituder, perioder og spenningsvidder for komponent vist i Figur 5 er gitt i Tabell 11.

Tabell 11 Spenningsvidder for komponent for hver blokk.

A [m]	T [s]	Spenningsvidder [MPa]
0.03	0.64	0.00
0.06	0.90	0.26
0.08	1.10	0.41
0.11	1.28	0.67
0.14	1.43	0.18
0.17	1.56	1.23
0.19	1.69	0.95
0.22	1.80	0.02
0.25	1.91	0.04
0.28	2.02	0.11

Ut fra spenningsvidder i Tabell 11 er det beregnet utmattingslevetid som vist i Tabell 12.

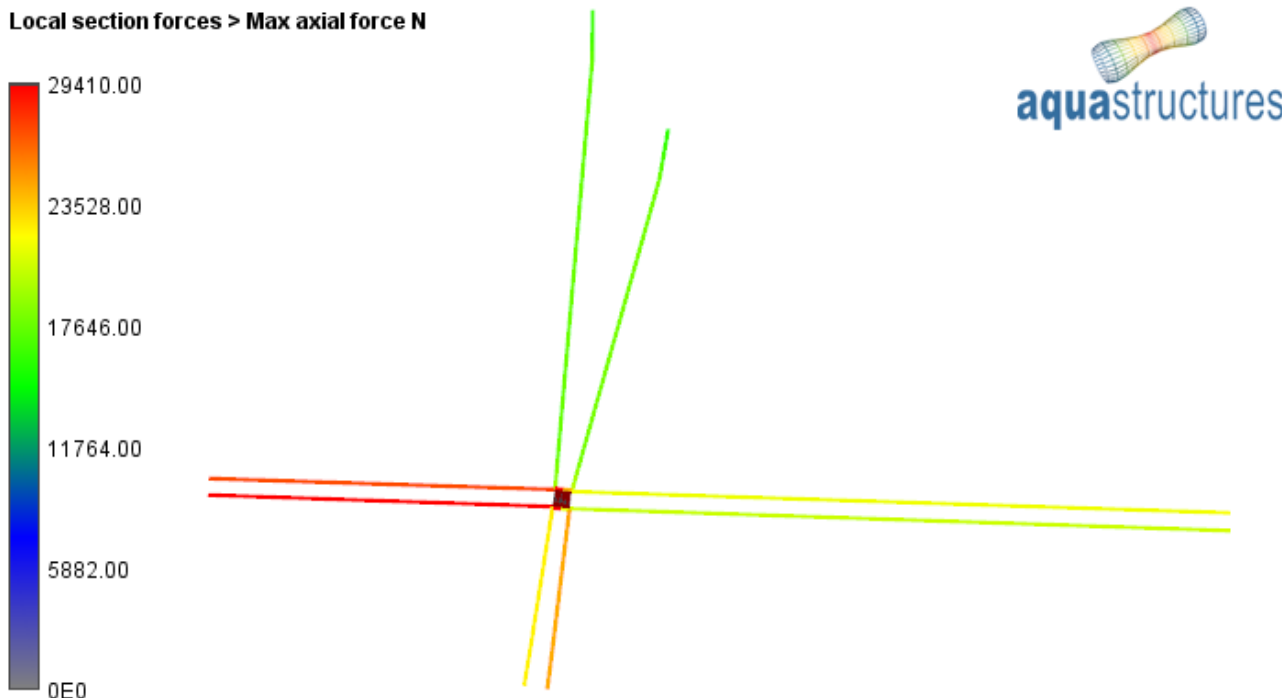
Tabell 12 Utmattingslevetid for komponent.

Diameter på kjetting [mm]	Beregnet levetid [år]
30	over 20

6.6 Resultatplott

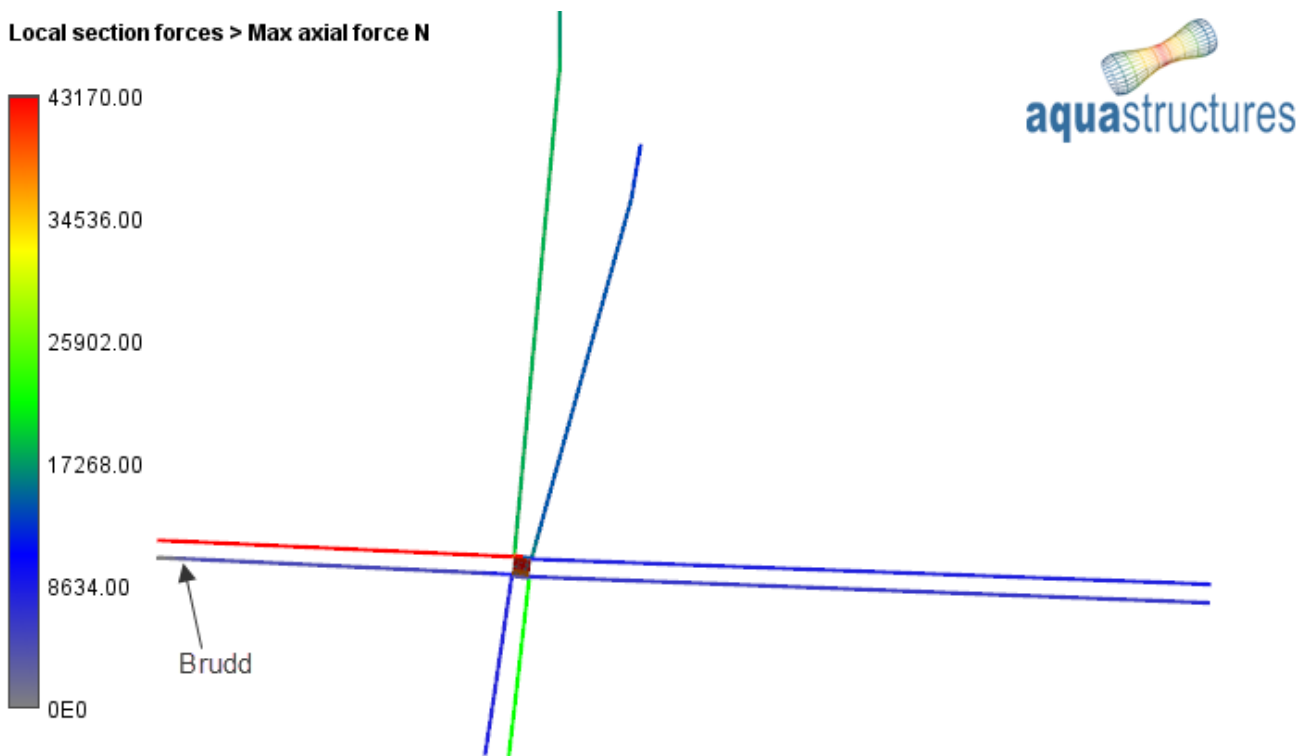
Følgende figurer viser fordelingen av aksialkrefter i fortøyningsystemet ved intakt fortøyning samt ved ulykkestilstander. Dette korresponderer til lasttilfeller vist i Tabell 4. For tilstander med intakt fortøyning er maksimalkreftene for alle lasttilfeller samlet i samme figur.

Local section forces > Max axial force N



Figur 6 Maksimale krefter i fortøyning ved intakt tilstand

Local section forces > Max axial force N



Figur 7 Maksimale krefter i fortøyning ved brudd i line F7

7 Diskusjon

7.1 Intakt flåte

Maksimale aksielle krefter i fortøyningsliner er oppgitt i Tabell 9.

7.2 Ulykkessituasjoner

Maksimale aksielle krefter ved ulykkessituasjoner er oppgitt i Tabell 10. En ulykkessituasjon sies å være dimensjonerende for en komponent hvis krav til MBL til under én eller flere ulykkestilstander er høyere enn krav til MBL ved intakt fortøyning.

Følgende ulykkessituasjoner er tatt høyde for i denne fortøyningsanalysen:

- Brudd i line med størst aksialkraft.
- Brudd i line som er kritisk for styrke til flåte.
- Brudd i koblingspunkt
- Brudd i line som er kritisk m.t.p. posisjon til flåte relativt til anlegg.
- Progressivt brudd.
- Springflo.

Dersom en eller flere av de overnevnte ulykkessituasjonene er dimensjonerende for komponenter tilhørende fortøyning, er det denne verdien som fremkommer i tabeller listet opp i Kapittel 1.1.

7.3 Holdekraft anker/lodd/bolt og løft ved bunnfester

Maksimale aksielle og vertikale krefter samt krav til holdekraft i bunnfester er oppgitt i Tabell 8.

7.4 Innfestningspunkt tilhørende flåte

Maksimal aksiellast inn i flåte er kontrollert og resultater er gitt i Kap 6.4. Med utgangpunkt i flåte med spesifikasjoner som gitt i Kap. 1.3 viser analysene at fortøyningsfester tåler miljølastene på lokaliteten.

7.5 Utmatting

Resultater fra utmattingsanalyser er iht. NS 9415:2009.

8 Referanser

1. NS 9415:2009 Flytende oppdrettsanlegg. Krav til lokalitetsundersøkelse, risikoanalyse, utforming, dimensjonering, utførelse, montering og drift.
2. LK-30246-5667-1_Rev1. Lokalitetsklassifisering. Av: Aquastructures.
3. Aquastructures (2006) «AquaSim the Aquastructuresimulator. Theoretical Formulation of structure and load modeling». Report no. Report NO. 2006-FO06.
4. Aquastructures (2010), Teknisk Rapport. Klasse notat utmatting Aquastructures notat prosjekt 1219, 10.08.2010.
5. Aquastructures (2012) «Verification and Benchmarking of AquaSim, a Softwaretool for Simulation of Flexible Offshore Facilities Exposed to Environmental and Operational Loads» Report no. 2012-1755-1.
6. Berstad et al (2012) "Loads from Current and Waves on Net Structures" Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. OMAE2012 July 1-6, 2012, Rio de Janeiro OMAE2012-83757
7. TR-2263-1, Brukermanual AquaSim fortøyningsanalyse av fórflåter. Aquastructures AS

Appendiks A Definisjoner

Aksial last	Last som virker langs aksen til en komponent. For eksempel lasten som virker i et tau.
Vertikal last	Den dekomponerte lasten i et element som virker vertikalt.
Horisontal last	Den dekomponerte lasten i et element som virker horisontalt.
Miljølaster	Laster som påføres det flåten fra miljøforhold som vind, bølger, strøm og is.
Hs	Dimensjonerende signifikant bølgehøyde.
Vc	Strømhastighet
T	Bølgeperiode.
Lastfaktor	Partialfaktor for last, som gir uttrykk for mulige avvik for lastene i forhold til karakteristiske kapasiteter. Redusert sannsynlighet for at forskjellige laster opptrer samtidig med sine karakteristiske kapasiteter og usikkerheter ved modellering av analyse ved bestemmelse av lastvirkning.
Materialfaktor	Faktor som gir uttrykk for mulige avvik i styrke av materialer i forhold til karakteristiske verdier, mulig styrkereduksjon av materialer i konstruksjoner som helhet i forhold til karakteristiske verdier avledet fra prøvinger og usikkerheter ved modellering og bestemmelse av konstruksjonens kapasitet, innbefattet spesifiserte toleranser.
Utnyttelse	Hvor stor andel av kapasitet til en komponent som er utnyttet.
MBL	Minste bruddlast.
Utmattingsgrensetilstand	Grensetilstand som kvantifiserer faren for brudd i løpet av flåtens dimensjonerende brukstid på grunn av repeterende laster.

Appendiks B Parametere i analyse

Analysene i AquaSim er utført med analyseparametere beskrevet i Tabell 13. Analysene utføres ved først å kontrollere statisk likevekt av konstruksjonen uten strøm eller bølger. Deretter kjøres det et sett initielle steg hvor strøm påføres inkrementelt til strømmen er fullt utviklet. Ved fullt utviklet strøm påføres bølger. Påfølgende bølger har full bølgehøyde i henhold til det som er angitt i input.

Ulike parametere for tidssimuleringen i AquaSim er gitt i Tabell 13. Detaljer angående teori og formuleringer i AquaSim kan sees i litteratur ^[3-7]. I disse referanser kan det også finnes videre referanser til relevant litteratur.

Tabell 13 Nøkkelparametere i tidssimulering

Parameter	Verdi
Antall inkrementelle steg	5
Antall bølger i dynamisk analyse	1200
Antall steg per bølge	12
Slamming	Nei
Vannlinjekorreksjon	Ja
Konvergenzkriterium	1.0
Global dempekoeffisient	0.5