

---

# Fortøyningsanalyse av anlegg

TR-30246-5674-1

Revisjon 6

Lokalitet: Smørdalen

Lokalitetsnummer: 12154

Oppdragsgiver: Nor-Mær AS/Havforskningsinstituttet

---



## Fortøyningsanalyse av anlegg, lokalitet Smørdalen

Rapport nr.:	TR-30246-5674-1	Pålitelighetsklasse:	<input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3
Oppdragsgiver:	Nor-Mær AS/ Havforskningsinstituttet	Kontaktperson	Frode Holdhus/Jan Olav Fosse
Utarbeidet av:	Anne Cecilie Grindstad	Kontrollert av	Håvard Gjøsæter
Rapport for fortøyningsanalyse i samsvar med utlagt anlegg:	<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<sup>[1]</sup>.

Der er 12 stk. 5x5 m bur i den sørlige delen av anlegget, deretter følger 9 stk. 12x12 m bur og ytterst er det 2 stk. 20x20 m bur. Detaljer om nøter er gitt i Tabell 4. Analysert fortøyningskonfigurasjon er oppgitt i Tabell 2 - Tabell 8.

Krav til MBL til de ulike fortøyningskomponentene er gitt i Kap. 1.1.

**Revisjon 6:** Det er gjort samsvarsanalyse etter fortøyningsrapport <sup>[15, 11]</sup> og fortøyningsinspeksjonsrapport <sup>[16]</sup>. Det er antatt at linene med 36mm 3-slått er av typen Danline med MBL 20.6 tonn. Line L22 er montert på lokalitet <sup>[17]</sup>. Det er kjørt nye analyser. Bøye B1 og B2 blir trukket under havoverflaten ved maks strøm. Globalanalysen er gitt i TR-30163-1595-1\_rev2.

Fortøyningskomponenter har nok kapasitet til å benyttes på lokaliteten.

6	18.01.2021	ACG	HG	Samsvarsanalyse
5	13.12.2019	ACG	OM	Line L32, L34 og L36 tatt bort
4	10.12.2019	ACG	OKF	Oppdatert fortøyningsskisse i Figur 1
3	25.11.2019	ACG	OM	Bøye på line L21 tatt bort
2	20.11.2019	ACG	OM	Antall liner er redusert + nottabell oppdatert
1	20.07.2018	ACG	OKF	Fortøyningsanalyse
Revisjon	Dato	Utarbeidet av (init.)	Kontrollert av (init.)	Beskrivelse

## Innhold

1	Konklusjon.....	5
1.1	Krav til MBL for fortøyningskomponenter.....	5
1.2	Analysert fortøyningskonfigurasjon.....	6
1.3	Bøyer.....	8
1.4	Krav til flytekrager og nøter.....	9
1.4.1	Nøter og utspilingsystem.....	9
1.4.2	Flytekrager.....	9
1.5	Ekstrauststyr.....	10
2	Oppdrag og analyseverktøy.....	11
3	Lokalitet.....	11
3.1	Miljølaster.....	12
3.2	Lasttilfeller.....	12
4	AquaSim-modell.....	14
4.1	Flytekrage.....	14
4.2	Not og utspilingsystem.....	14
4.3	Fortøyning.....	14
4.4	Ekstrauststyr.....	14
5	Kapasitetskontroll.....	15
5.1	Last- og materialfaktorer benyttet i analysen.....	16
5.2	Valgte ulykkestilstander.....	17
6	Resultater.....	18
6.1	Intakt fortøyning.....	18
6.2	Ulykkestilstand.....	19
6.3	Holdekraft bunnfester.....	20
6.4	Krefter inn i flyter.....	21
6.5	Bøystørrelser.....	22
6.6	Utmatting.....	23
6.6.1	19 mm kjetting.....	24
6.7	Resultatplott.....	25
7	Diskusjon.....	26
7.1	Intakt anlegg.....	26
7.2	Ulykkesituasjoner.....	26

---

7.3	Holdekraft anker/lodd/bolt og løft ved bunnfester .....	26
7.4	Bøjestørrelser.....	26
7.5	Flytekrager .....	26
7.6	Utmatting.....	26
8	Referanser .....	27
Appendiks A	Definisjoner.....	28
Appendiks B	Parametere i analyse.....	29

## 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]	Krav til MBL koblingspunkt [tonn]
L1	14.0	9.4	14/4.7	2.0	9.4	7.0
L2	13.6	9.1	13.6/4.5	1.9	9.1	6.8
L3	4.7	3.2	4.7/1.6	0.0	3.2	2.4
L4	4.6	3.1	4.6/1.5	0.0	3.1	2.3
L5	4.3	2.9	4.3/1.4	0.0	2.9	2.2
L6	4.2	2.8	4.2/1.4	0.0	2.8	2.1
L7	4.1	2.7	4.1/1.4	0.0	2.7	2.1
L8	4.1	2.7	4.1/1.4	0.0	2.7	2.0
L9	4.0	2.7	4.0/1.3	0.0	2.7	2.0
L10	4.0	2.7	4.0/1.3	0.0	2.7	2.0
L11	4.0	2.7	4.0/1.3	0.0	2.7	2.0
L12	4.0	2.7	4.0/1.3	0.0	2.7	2.0
L13	4.0	2.7	4.0/1.3	0.0	2.7	2.0
L14	4.4	2.9	4.4/1.5	0.0	2.9	2.2
L15	4.1	2.7	4.1/1.4	0.0	2.7	2.0
L16	4.1	2.7	4.1/1.4	0.0	2.7	2.1
L17	4.7	3.2	4.7/1.6	0.0	3.2	2.4
L18	4.8	3.2	4.8/1.6	0.0	3.2	2.4
L21	22.7	15.1	22.7/6.7	0.0	15.1	11.3
L22	22.9	15.2	22.9/7	0.0	15.2	11.4
L25	9.5	6.4	9.5/3.2	0.0	6.4	4.8
L26	10.7	7.1	10.7/3.6	0.0	7.1	5.3
L27	9.3	6.2	9.3/3.1	0.0	6.2	4.6
L28	8.9	5.9	8.9/3.0	0.0	5.9	4.4
L29	9.1	6.1	9.1/3.0	0.0	6.1	4.6
L30	9.3	6.2	9.3/3.1	0.0	6.2	4.7
L31	9.5	6.3	9.5/3.2	0.0	6.3	4.7
L32	9.4	6.3	9.4/3.1	0.0	6.3	4.7
L33	9.3	6.2	9.3/3.1	0.0	6.2	4.6
L34	9.4	6.2	9.4/3.1	0.0	6.2	4.7
L35	9.5	6.3	9.5/3.2	0.0	6.3	4.7
L36	9.0	6.0	9.0/3.0	0.0	6.0	4.5
L37	9.0	6.0	9.0/3.0	0.0	6.0	4.5
L38	11.2	7.5	11.2/3.7	0.0	7.5	5.6
L39	11.0	7.4	11/3.7	0.0	7.4	5.5
L40	12.4	8.2	12.4/4.1	0.0	8.2	6.2

## 1.2 Analysert fortøyningskonfigurasjon

Analysert fortøyningskonfigurasjon er vist i Tabell 2 og Tabell 3. En skisse av fortøyningskonfigurasjonen er vist i Figur 1.

Oppgitt vekt for kjetting gjelder vekt i luft. Dimensjoner på tau og kjetting er basert på brukerhåndbok for lokalitet <sup>[11]</sup>, fortøyningsrapport <sup>[15]</sup> og installasjonsrapport <sup>[17]</sup>. Line L1-L2 og L21-L22 er oppdatert i modellen.

**Tabell 2** Analysert fortøyningskonfigurasjon

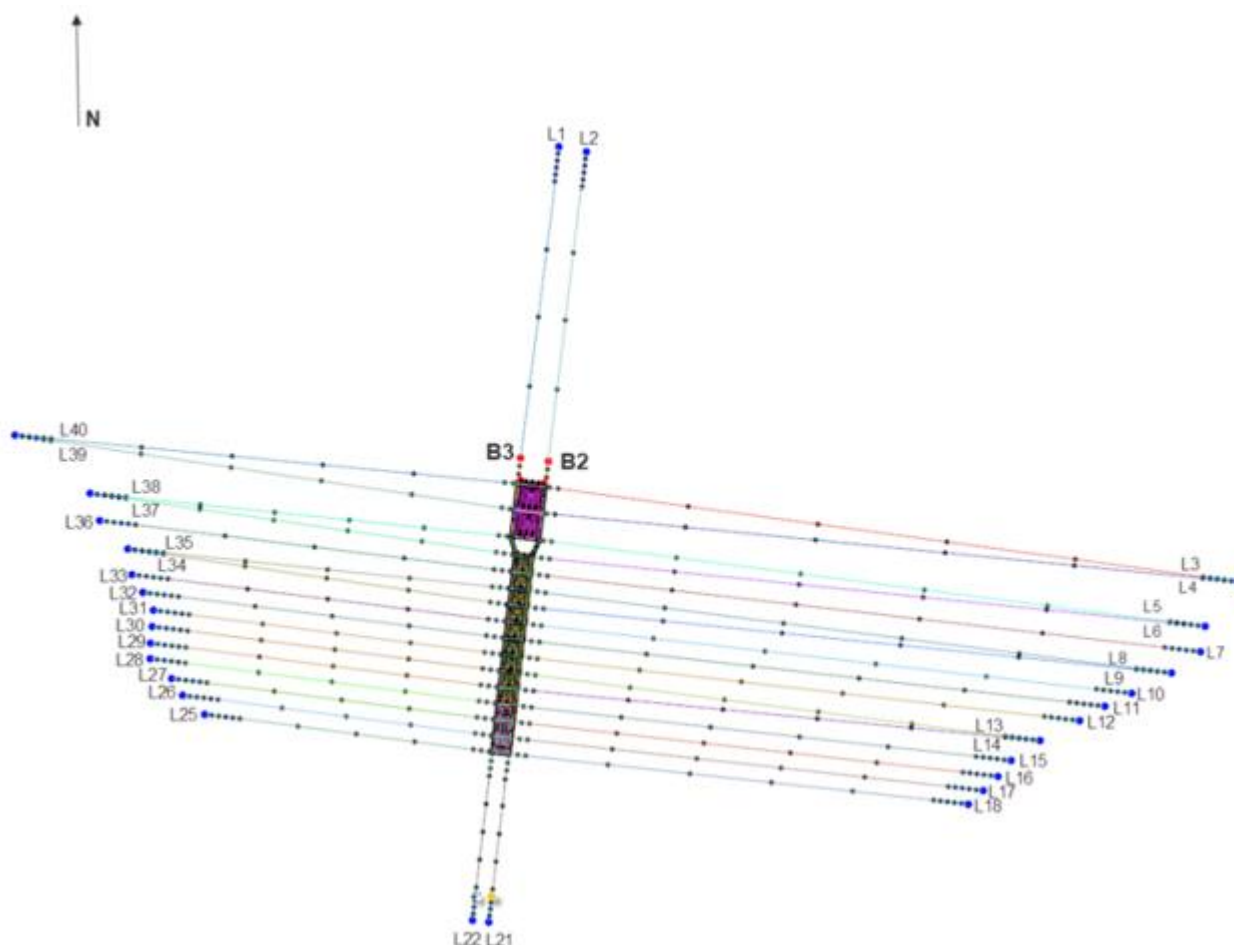
Ankerline [nr]	Forspenning [tonn]	Toppkjetting				Tau			Bunnkjetting				Dybde bunnfeste [m]	Himmel- retning [°]	MBL Bunnfeste [tonn]
		Lengde [m]	Dim. [mm]	MBL [tonn]	Vekt [kg/m]	Lengde [m]	Dim. [mm]	MBL [tonn]	Lengde [m]	Dim. [mm]	MBL [tonn]	Vekt [kg/m]			
L1	0.5	2x10*	30.0	47.6	18.2	255	56.0	52.0	30.0	30.0	47.6	18.2	187	1	45**
L2	0.5	2x10*	30.0	47.6	18.2	254	56.0	52.0	30.0	30.0	47.6	18.2	186	4	45**
L3	0.8	20.0	19.0	34.8	6.4	571	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	11	100	40.0
L4	0.8	20.0	19.0	34.8	6.4	570	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	98	40.0
L5	0.8	20.0	19.0	34.8	6.4	554	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	11	98	40.0
L6	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	563	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	12	97	40.0
L7	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	548	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	97	40.0
L8	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	542	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	99	40.0
L9	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	543	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	12	97	40.0
L10	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	538	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	11	98	40.0
L11	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	522	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	98	40.0
L12	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	502	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	98	40.0
L13	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	470	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	99	40.0
L14	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	469	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	97	40.0
L15	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	444	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	13	97	40.0
L16	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	434	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	96	40.0
L17	1.1	20.0	19.0	34.8	6.4	404	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	96	40.0
L18	1.1	20.0	19.0	34.8	6.4	383	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	11	96	40.0

Tabell 3 Analysert fortøyningskonfigurasjon

Ankerline [nr]	Forspenning [tonn]	Toppkjetting				Tau			Bunnkjetting				Dybde bunnfeste [m]	Himmel- retning [°]	MBL Bunnfeste [tonn]
		Lengde [m]	Dim. [mm]	MBL [tonn]	Vekt [kg/m]	Lengde [m]	Dim. [mm]	MBL [tonn]	Lengde [m]	Dim. [mm]	MBL [tonn]	Vekt [kg/m]			
L21	0.4	2x10*	19.0	34.8	6.4	85	44.0	31.1	27.7	22.0	46.5	7.4	0	188	40.0
L22	0.3	20.0	19.0	34.8	6.4	100	44.0	31.1	30.0	19.0	34.8	6.4	0	190	25.9
L25	1.0	20.0	19.0	34.8	6.4	219	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	11	276	40.0
L26	1.2	20.0	19.0	34.8	6.4	222	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	276	40.0
L27	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	231	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	276	40.0
L28	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	239	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	279	40.0
L29	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	250	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	279	40.0
L30	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	258	36.0	20.2	27.5	19.0	34.8	6.4	13	280	40.0
L31	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	263	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	280	40.0
L32	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	270	36.0	20.2	27.5	19.0	34.8	6.4	13	280	40.0
L33	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	282	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	280	40.0
L34	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	296	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	10	279	40.0
L35	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	297	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	277	40.0
L36	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	324	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	278	40.0
L37	0.9	20.0	19.0	34.8	6.4	347	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	278	40.0
L38	0.8	20.0	19.0	34.8	6.4	342	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	276	40.0
L39	0.8	20.0	19.0	34.8	6.4	379	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	275	40.0
L40	0.8	20.0	19.0	34.8	6.4	381	36.0	20.2	30.0	19.0	34.8	6.4	9	271	40.0

\*Haneft på toppkjetting endestrekene, line L1, L2, L21

\*\* Holdekraft



Figur 1 Linenummerering og anvisning av bøyer for konfigurasjon

Det er lodd på bunnkjettingen på line L21. Detaljer er vist i Tabell 4.

Tabell 4 Lodd på bunnkjetting

Lodd på line [nr.]	Material	Vekt [kg]	Plassering
21	Betong	2500	Bunnkjetting

### 1.3 Bøyer

Input på bøyer benyttet i analysen er gitt i Tabell 5. Det er benyttet bøyer av typen Cipax 1100 L.

Tabell 5 Bøye-konfigurasjon.

Bøye [nr.]	Oppdrift [liter]	Maks oppdrift i analyse [N]	Bøye stivhet i analyse [N/m]	Nedtrekk av bøye ved statisk likevekt [m]
B2	1100	11061	13530	0.3
B3	1100	11061	13530	0.3



## 1.4 Krav til flytekrager og nøter

### 1.4.1 Nøter og utspilingsystem

Analysen er gyldig for nøter vist i Tabell 6. Ved bruk av andre nøter kontakt Aquastructures AS. Nøtene markert med oransje er dimensjonerende. Loddene er i stål. Oppdriften av loddene er tatt hensyn til i modellen.

Tabell 6 Notparametere

Burstørrelse [m x m]	Dybde blylin/dybde spiss [m]	Utspilings-system	Bunnvekt (tørrvekt) [kg]	Trådtykkelse [mm]	Halvmaskavidde [mm]	Soliditet [-]
5 x 5	7 / 8,5	Kulelodd	25 kg x 4	1.69	22.5	0.15
5 x 5	7 / 8,5	Kulelodd	25 kg x 4	1.47	15.5	0.19
12 x 12	12	Lodd	200 kg x 4	1.69	22.5	0.15
12 x 12	12	Lodd	200 kg x 4	1.47	15.5	0.19
12 x 12	12/15.5	Lodd	200 kg x 4	1.69	22.5	0.15
12 x 12	12/15.5	Lodd	200 kg x 4	1.47	15.5	0.19
20 x 20	30 / 40	Lodd	300 kg x 4	1.53	18.0	0.17
20 x 20	30 / 40	Lodd	300 kg x 4	1.69	22.5	0.15

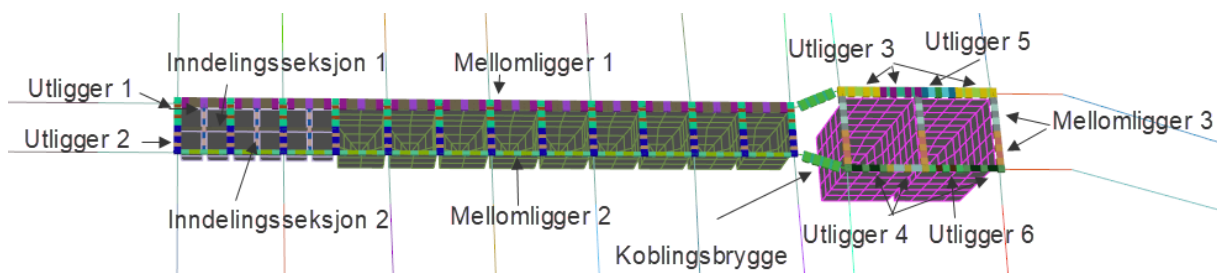
### 1.4.2 Flytekrager

Anlegget er av typen NM1000 hengslet stålanlegg som er produsert av NorMær. Tabell 7 viser hvordan flyteren er delt opp. For mer informasjon om flytekragen se globalanalysen, TR-30163-1595-1 [12].

Tabell 7 Anlegg

Type anlegg	Antall bur	Burstørrelse
NM1000	12 (5x5) + 9 (15x15) + 2 (20x20)	5x5 – 15x15 – 20x20

Plassering komponenter i stålflyteren er vist i figur 2.



Figur 2 Komponenter til flytekragen

Tabell 8 Spesifikasjon av flytekrager benyttet i analyse

Navn	Bredde [m]	Vekt/m [N/m]	Areal [m <sup>2</sup> ]	Masse/m [kg/m <sup>2</sup> ]	Iz [m <sup>4</sup> ]	Iy [m <sup>4</sup> ]	It [m <sup>4</sup> ]
Utligger 1	2.16	1805.5	1.261E-02	14593	9.29E-03	2.86E-05	2.01E-05
Utligger 2	2.16	1788.0	1.261E-02	14451	9.29E-03	2.86E-05	2.01E-05
Mellomligger 1	3.00	1827.2	1.513E-02	12309	2.00E-03	2.86E-05	2.01E-05
Mellomligger 2	1.20	1015.1	9.672E-03	10699	2.34E-03	2.86E-05	2.01E-05
Inndelingsseksjon 1	1.00	705.9	6.520E-03	11036	9.99E-04	8.65E-06	9.22E-06
Inndelingsseksjon 2	1.00	690.3	9.072E-03	7756	1.54E-03	2.86E-05	2.01E-05
Koblingsbrygge	3.00	1839.4	1.513E-02	12391	2.00E-03	2.86E-05	2.01E-05
Utligger 3	3.00	1824.2	1.513E-02	12289	2.00E-03	2.86E-05	2.01E-05
Utligger 4	2.16	1418.8	1.261E-02	11467	9.29E-03	2.86E-05	2.01E-05
Utligger 5	3.00	1863.9	1.513E-02	12556	2.00E-03	2.86E-05	2.01E-05
Utligger 6	2.16	1569.6	1.261E-02	12686	9.29E-03	2.86E-05	2.01E-05
Mellomligger 3	2.16	1569.6	1.261E-02	12686	9.29E-03	2.86E-05	2.01E-05

Flytekragen er laget av stål med E-modul  $2.1E11$  N/m<sup>2</sup> og G-modul  $8.08E10$  N/m<sup>2</sup>.

### 1.5 Ekstraustyr

Det er ikke montert ekstraustyr på anlegget som vil ha en effekt på krefter som virker på fortøyningskomponentene.

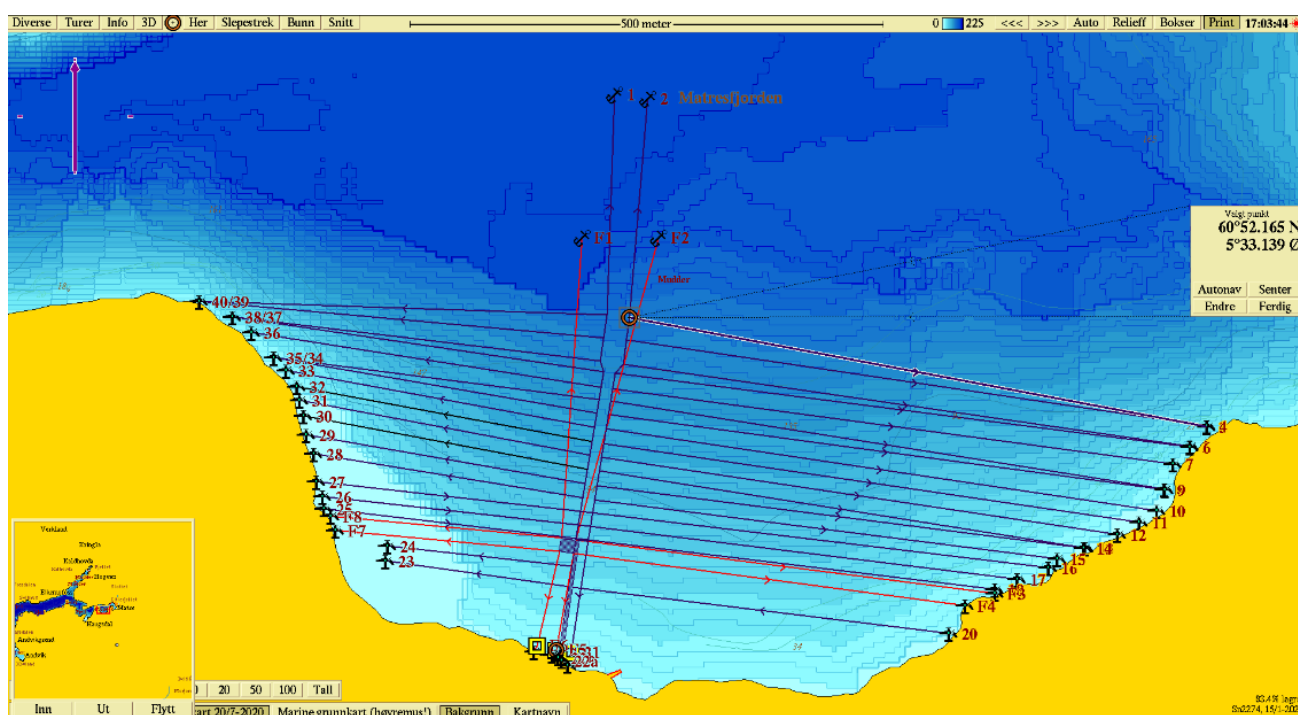
## 2 Oppdrag og analyseverktøy

Aquastructures AS har blitt engasjert til å foreta en fortøyningsanalyse i henhold til krav i NS 9415<sup>[1]</sup>. All input til analyser er mottatt og bekreftet av kunde. Grunnlagsdokumentasjon har blitt vurdert i henhold til sjekklister INSP\_203.

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<sup>[3-7]</sup>.

## 3 Lokalitet

Anlegget er lokalisert i Masfjorden kommune, i Vestlandet Fylke. Skissen i Figur 3 viser fortøyningskonfigurasjonen i olex.



Figur 3 Olex-plott av lokalitet Smørdalen

### 3.1 Miljølaster

Anlegget har blitt vurdert opp mot lokalitet med miljøvariabler i henhold til Tabell 9. Verdier er hentet fra lokalitetsundersøkelse<sup>[2]</sup>. Som vist i Tabell 9 inkluderer dette strøm og bølge med både 10 års og 50 års returperiode, med tilsvarende retninger.

### 3.2 Lasttilfeller

Tabell 9 viser lasttilfeller som er simulert for anlegget. Det er analysert med 16 lasttilfeller som dekker 8 retninger og miljøkombinasjonene som beskrevet av Tabell 6 i NS 9415<sup>[1]</sup>. I tillegg er det kjørt egne analyser for hver ulykkessituasjon.

Tabell 9 Lastkondisjoner

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	0.60	2.30	9	0.19	180	0.19	180	24.7	10 års vind/bølge 50 års strøm
2	NØ	0.40	2.10	52	0.26	225	0.24	225	16.5	
3	Ø	0.50	2.30	73	0.28	290	0.19	290	22.0	
4	SØ	0.50	2.20	109	0.28	315	0.19	315	27.4	
5	S	0.40	1.85	177	0.28	0	0.22	0	27.4	
6	SV	0.50	2.10	255	0.37	45	0.22	45	27.4	
7	V	0.60	2.60	294	0.67	90	0.30	90	27.4	
8	NV	0.60	2.40	306	0.28	125	0.28	125	27.4	
9	N	0.70	2.50	9	0.17	180	0.17	180	27.4	50 års vind/bølge 10 års strøm
10	NØ	0.50	2.20	52	0.23	225	0.21	225	18.3	
11	Ø	0.60	2.40	73	0.25	290	0.17	290	24.3	
12	SØ	0.50	2.10	109	0.25	315	0.17	315	30.4	
13	S	0.40	1.85	177	0.25	0	0.20	0	30.4	
14	SV	0.50	2.10	255	0.33	45	0.20	45	30.4	
15	V	0.70	2.70	294	0.59	90	0.26	90	30.4	
16	NV	0.70	2.50	306	0.25	125	0.25	125	30.4	
17	SV	0.50	2.10	255	0.37	45	0.22	45	27.4	Brudd i line L21
18	SV	0.50	2.10	255	0.37	45	0.22	45	27.4	Brudd i line L22
19	SV	0.50	2.10	255	0.37	45	0.22	45	27.4	Springflo

## 4 AquaSim-modell

### 4.1 Flytekrage

Flytekrager er modellert som beskrevet i Kap 1.4.2.

### 4.2 Not og utspilingsystem

Analyser har blitt utført med notparametere som vist i Tabell 6.

### 4.3 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.

### 4.4 Ekstraustyr

Det er ikke modellert ekstraustyr på anlegget.

## 5 Kapasitetskontroll

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

Følgende er tatt hensyn til:

- Alle laster fra vekt av anlegg og oppdrift er inklusive.
  - Der anlegget er forspent vil kraften fra denne også være inklusive. Likeledes er kraftvirkningen fra vind, bølge og strøm tatt med<sup>[2]</sup>.
- 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 i det flytende oppdrettsanlegget, spesielt flytekragen.
    - 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.
- Vertikale krefter i bøyer.
- Krefter inn i flyter.

## 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 10 Forklaringer til uttrykk, last og materialfaktor**

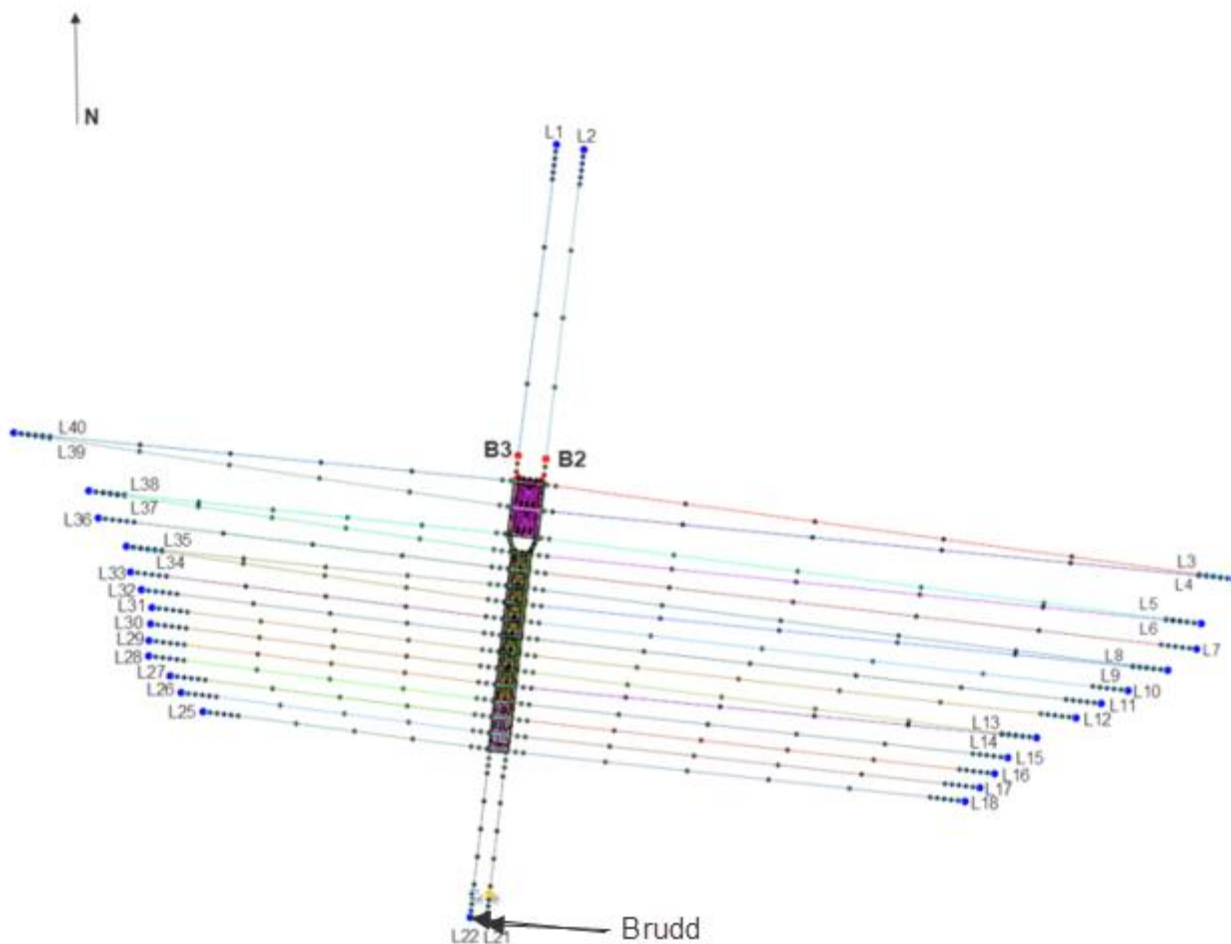
Utrykk	Forklaring	Verdier			
$F_{maks}$		Maks kraft i ankerline			
$F_{brudd}$		Bruddkapasitet ankerline			
$\gamma_f$	Lastfaktor	1.15		Dynamisk analyse	
$\gamma_f$ Ulykkestilstand	Lastfaktor	1.0		Dynamisk analyse	
$\gamma_m$	Materialfaktor	Tau	Tau m knute	Kjetting	Brukt kjetting
		3.0	5.0	2.0	5.0
$\gamma_m$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

Alle data er hentet fra NS 9415, Tabell 4, 13 og Kap. 11.2.2. Dersom utnyttelsesgraden havner over 1.0 indikerer dette at maksimalt opprettede 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, revisjon 1

Tidevannsdata for lokaliteten er hentet fra nærmeste målestasjon, Masfjord kommune <sup>[7]</sup>. Differansen mellom høyeste astronomiske tidevannsnivå (HAT) og middelvann (MSL) er 93 cm. Ved simulert springflo er vannstands nivå hevet ytterligere én meter iht NS 9415, totalt 193 cm.

## 6 Resultater

Påfølgende kapitler viser resultater fra utført analyse.

### 6.1 Intakt fortøyning

Tabell 11 viser maksimale krefter i anleggsfortøyning i intakt tilstand ved lastkondisjoner 1-16 beskrevet i Tabell 9.

**Tabell 11 Maksimale aksielle krefter i fortøyning ved intakt tilstand**

Ankerline [nr.]	Maks last [N]	Krav til MBL tau/bunnfeste [tonn]	Krav til MBL kjetting [tonn]	Utnyttelse (toppkjetting)	Utnyttelse (tau)	Utnyttelse (bunnkjetting)	Utnyttelse (bunnfeste)
L1	39900	14.0	9.4	0.1	0.3	0.2	0.1
L2	38710	13.6	9.1	0.1	0.3	0.2	0.1
L3	13490	4.7	3.2	0.1	0.2	0.1	0.1
L4	13040	4.6	3.1	0.1	0.2	0.1	0.1
L5	12310	4.3	2.9	0.1	0.2	0.1	0.1
L6	11860	4.2	2.8	0.1	0.2	0.1	0.1
L7	11720	4.1	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L8	11560	4.1	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L9	11400	4.0	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L10	11350	4.0	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L11	11440	4.0	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L12	11440	4.0	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L13	11490	4.0	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L14	12390	4.4	2.9	0.1	0.2	0.1	0.1
L15	11550	4.1	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L16	11660	4.1	2.7	0.1	0.2	0.1	0.1
L17	13490	4.7	3.2	0.1	0.2	0.1	0.1
L18	13610	4.8	3.2	0.1	0.2	0.1	0.1
L21	57410	20.2	13.5	0.2	0.6	0.3	0.5
L22	59690	21.0	14.0	0.2	0.7	0.4	0.8
L25	27100	9.5	6.4	0.2	0.5	0.2	0.2
L26	30400	10.7	7.1	0.2	0.5	0.2	0.3
L27	26320	9.3	6.2	0.2	0.5	0.2	0.2
L28	25240	8.9	5.9	0.2	0.4	0.2	0.2
L29	25990	9.1	6.1	0.2	0.5	0.2	0.2
L30	26490	9.3	6.2	0.2	0.5	0.2	0.2
L31	27000	9.5	6.3	0.2	0.5	0.2	0.2
L32	26670	9.4	6.3	0.2	0.5	0.2	0.2
L33	26400	9.3	6.2	0.2	0.5	0.2	0.2
L34	26620	9.4	6.2	0.2	0.5	0.2	0.2
L35	26890	9.5	6.3	0.2	0.5	0.2	0.2
L36	25620	9.0	6.0	0.2	0.4	0.2	0.2
L37	25540	9.0	6.0	0.2	0.4	0.2	0.2
L38	31930	11.2	7.5	0.2	0.6	0.2	0.3
L39	31390	11.0	7.4	0.2	0.5	0.2	0.3
L40	35180	12.4	8.2	0.2	0.6	0.2	0.3

\*hanefot toppkjetting på linene på kortsiden

## 6.2 Ulykkestilstand

Tabell 12 viser maksimale krefter i fortøyning ved anlegg ved ulykkesituasjoner beskrevet i Tabell 9 og Kapittel 5.2.

**Tabell 12 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)
L1	9473	1.9	1.3	0.0	0.0	0.0
L2	9908	2.0	1.3	0.0	0.0	0.0
L3	6769	1.4	0.9	0.0	0.1	0.0
L4	6802	1.4	0.9	0.0	0.1	0.0
L5	7283	1.5	1.0	0.0	0.1	0.0
L6	7910	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L7	8020	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L8	8020	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L9	7784	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L10	7836	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L11	7750	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L12	7819	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L13	7942	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L14	7739	1.6	1.0	0.0	0.1	0.0
L15	7849	1.6	1.1	0.0	0.1	0.0
L16	8125	1.7	1.1	0.0	0.1	0.0
L17	10050	2.0	1.4	0.0	0.1	0.0
L18	10320	2.1	1.4	0.0	0.1	0.0
L21	111100	22.7	15.1	0.2	0.7	0.3
L22	112200	22.9	15.2	0.2	0.7	0.4
L25	14340	2.9	1.9	0.1	0.1	0.1
L26	15780	3.2	2.1	0.1	0.2	0.1
L27	12050	2.5	1.6	0.0	0.1	0.0
L28	11640	2.4	1.6	0.0	0.1	0.0
L29	11810	2.4	1.6	0.0	0.1	0.0
L30	12130	2.5	1.6	0.0	0.1	0.0
L31	12430	2.5	1.7	0.0	0.1	0.0
L32	12520	2.6	1.7	0.0	0.1	0.0
L33	12510	2.6	1.7	0.0	0.1	0.0
L34	12170	2.5	1.6	0.0	0.1	0.0
L35	12980	2.6	1.8	0.1	0.1	0.1
L36	12090	2.5	1.6	0.0	0.1	0.0
L37	11630	2.4	1.6	0.0	0.1	0.0
L38	13090	2.7	1.8	0.1	0.1	0.1
L39	12470	2.5	1.7	0.0	0.1	0.0
L40	13300	2.7	1.8	0.1	0.1	0.1

\*hanefot toppkjetting på linene på kortsiden

### 6.3 Holdekraft bunnfester

Tabell 13 viser maksimale aksielle og vertikale krefter (løft) i bunnfester ved anlegg i intakt tilstand.

Tabell 13 Maksimale aksielle og vertikale krefter ved bunnfester

Ankerline [nr.]	Maks last [N]	Holdekraft bunnfeste [tonn]	Løft ved bunnfeste [tonn]
L1	39900	4.7	2.0
L2	38710	4.5	1.9
L3	13490	1.6	0.0
L4	13040	1.5	0.0
L5	12310	1.4	0.0
L6	11860	1.4	0.0
L7	11720	1.4	0.0
L8	11560	1.4	0.0
L9	11400	1.3	0.0
L10	11350	1.3	0.0
L11	11440	1.3	0.0
L12	11440	1.3	0.0
L13	11490	1.3	0.0
L14	12390	1.5	0.0
L15	11550	1.4	0.0
L16	11660	1.4	0.0
L17	13490	1.6	0.0
L18	13610	1.6	0.0
L21	57410	6.7	0.0
L22	59690	7.0	0.0
L25	27100	3.2	0.0
L26	30400	3.6	0.0
L27	26320	3.1	0.0
L28	25240	3.0	0.0
L29	25990	3.0	0.0
L30	26490	3.1	0.0
L31	27000	3.2	0.0
L32	26670	3.1	0.0
L33	26400	3.1	0.0
L34	26620	3.1	0.0
L35	26890	3.2	0.0
L36	25620	3.0	0.0
L37	25540	3.0	0.0
L38	31930	3.7	0.0
L39	31390	3.7	0.0
L40	35180	4.1	0.0

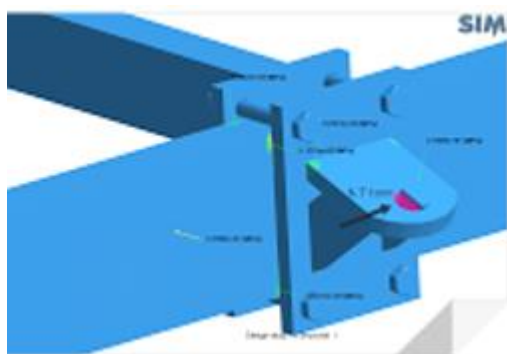
## 6.4 Krefter inn i flyter

Tabell 14 viser maksimale krefter inn i flytekrage. Tillatt kraft inkluderer lastfaktor på 1.3 og materialfaktor på 1.1 for stål i intakt tilstand. I ulykkestilstand er sikkerhetsfaktoren 1.0.

Kortside benytter hanefot inn mot endebyggenes bøyer (dette gjelder ikke line L22). Bøyle er lik bøyle brukt i kjettingkasser som analysert i rapport TR-30163-1055-1<sup>13)</sup>. Sveisemål på sveis mellom bøyle og boss, er lik den som er brukt på kjettingkassen. Da høyest spenning i kjettingkasse er funnet i selve bøyle, antas dette fortøyningsfestet ha samme kapasitet som kjettingkassen som er 4.0 tonn. Med hanefot vil da øvre grense for krefter i ankerliner inn mot kortside være 8 tonn. Dette er maks kraft inkl. material og lastfaktor.

Line 22 har toppkjetting inn mot fortøyningsfeste med kapasitet 8.0 tonn, som vist i Figur 5.

Fortøyningsfester inn mot langside er tidligere beregnet i rapport TR-30163-1105-1<sup>14)</sup> som konkluderer med maks kraft 4,5 tonn. Dette er maks kraft inkl. material og lastfaktor.



Figur 5 Fortøyningsfeste line L22.

Tabell 14 Maksimale krefter inn i flyter. Tillatt kraft inkluderer sikkerhetsfaktorer.

Fortøyningsfeste	Lasttilfelle	Aksialkraft [tonn]	Vertikalkraft [tonn]	Tillatt kraft [tonn]	Utnyttelse
Langside	Intakt	3.6	0.2	4.5	0.8
	Ulykke	1.6	0.1	6.4	0.2
Kortside*, line 1-2, 21	Intakt	2.9	1.3	4.0	0.7
	Ulykke	5.7	0.3	5.7	1.0
Kortside, Line 22	Intakt	6.1	0.1	8.0	0.8
	Ulykke	11.4	0.1	11.4	1.0

\*Det er hanefot inn til flyteren på kortside. Linelasten er delt på to.

## 6.5 Bøystørrelser

Tabell 15 viser maksimale krefter i bøypunkter ved anlegg i intakt tilstand.

**Tabell 15 Maksimale vertikale krefter i bøyer ved intakt tilstand**

Bøye [nr.]	Dimensjonerende vertikal kraft i bøye [N]	Minimum netto oppdrift bøye		Oppdrift nåværende bøye [liter]	Restoppdrift [liter]	Nedtrekk av bøye [m]
		[liter]	[tonn]			
B2	11060	1100	1.1	1100	0	-4.5
B3	11060	1100	1.1	1100	0	-4.6

Null restoppdrift tilsier at de vertikale kreftene i bøye overgår oppdrift i bøye. Dette betyr at bøyen blir trukket ned. Iht NS 9415 skal bøylene være dimensjonert til å tåle neddykkingen ved største last på fortøyningslinene.

## 6.6 Utmatting

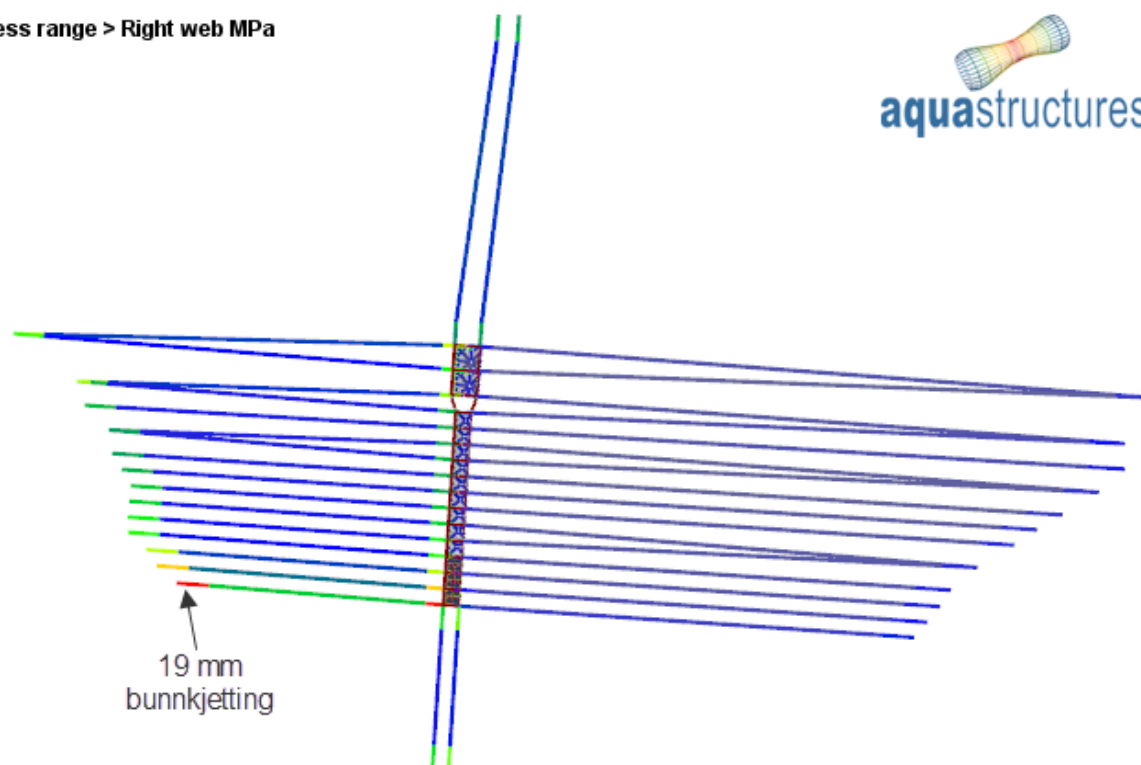
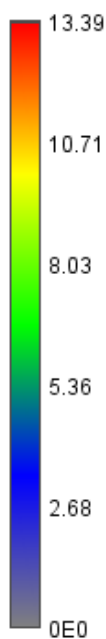
Det er utført utmattingsberegninger av kjettingkomponenter i henhold til NS 9415. Ingen taukomponenter har en høyere spenningsvidde enn 170 MPa og utmattingsanalyser av tau utelates derfor (ref. NS 9415). For forklaring av algoritme for utmatting i dette dokument vises til litteratur <sup>[4]</sup>.

Med utgangspunkt i signifikant bølgehøyde fra lastkondisjoner i Tabell 16 er det etablert 10 nye lastkondisjoner (blokker vist i Tabell 17. Det har blitt benyttet en strøm- og vindhastighet på halvparten av verdiene i Tabell 16.

**Tabell 16 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	0.70	2.70	294	0.59	90	0.26	90	30.4

**Nominal stress range > Right web MPa**



**Figur 6 Anvisning av komponent kontrollert i utmattingsberegninger**

### 6.6.1 19 mm kjetting

Amplituder, perioder og spenningsvidder for komponent vist i Figur 6 er gitt i Tabell 17.

**Tabell 17 Spenningsvidder for komponent for hver blokk.**

A [m]	T [s]	Spenningsvidder [MPa]
0.03	0.63	0.00
0.05	0.90	0.12
0.08	1.10	0.28
0.11	1.27	0.25
0.14	1.42	0.62
0.16	1.55	0.47
0.19	1.68	0.77
0.22	1.79	0.49
0.24	1.90	1.01
0.27	2.00	1.85

Ut fra spenningsvidder i Tabell 17 er det beregnet utmattingslevetid som vist i Tabell 18.

Det er også oppgitt utmattingslevetid ved bruk av andre kjettingdimensjoner i komponenten, om det skulle være ønskelig for oppdragsgiver.

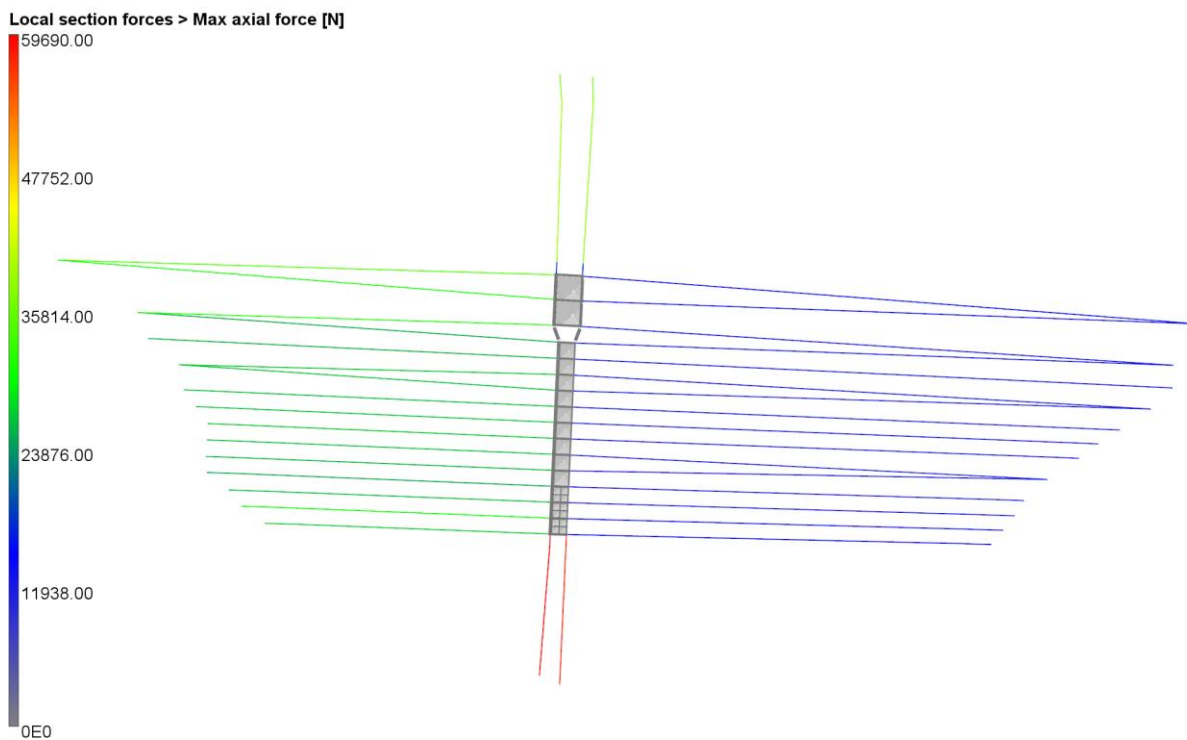
**Tabell 18 Utmattingslevetid for komponent.**

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

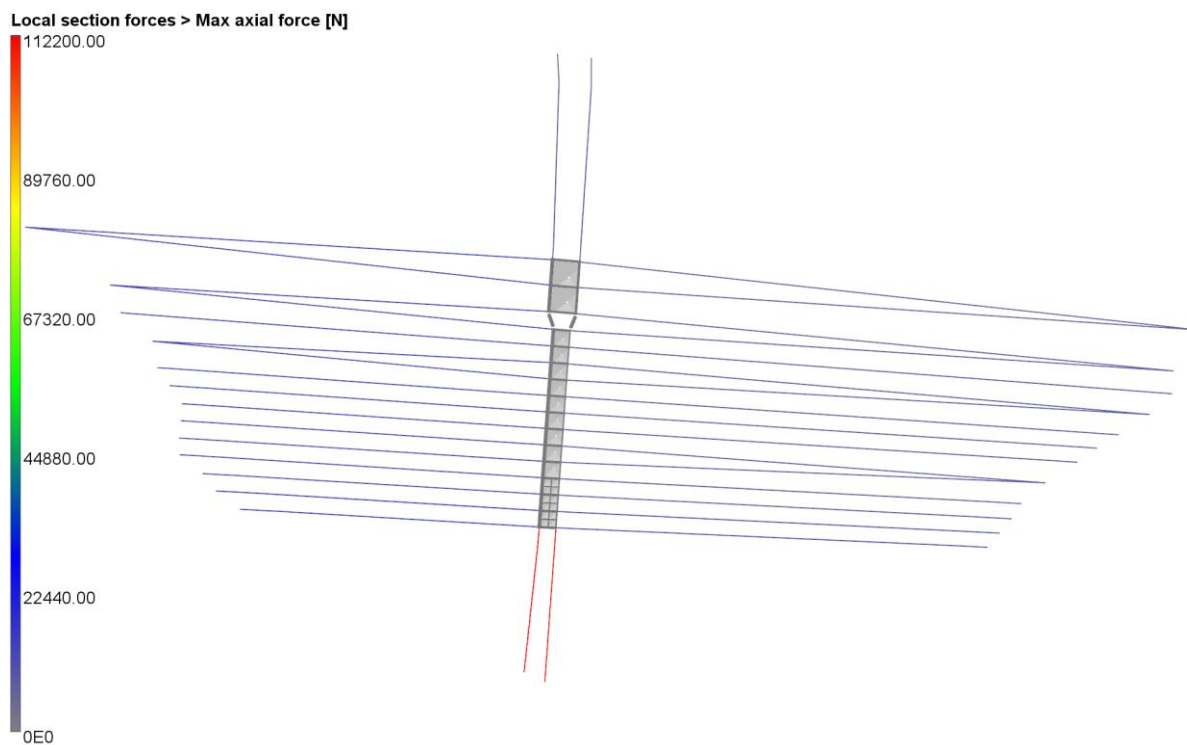


### 6.7 Resultatplott

Følgende figurer viser fordelingen av aksialkrefter i fortøyningssystemet ved intakt fortøyning samt ved ulykkestilstander. Dette korresponderer til lasttilfeller vist i Tabell 9. For tilstander med intakt fortøyning er maksimalkreftene for alle lasttilfeller samlet i samme figur.



Figur 7 Maksimale krefter i fortøyning ved intakt tilstand



Figur 8 Maksimale krefter i fortøyning ved brudd i line 21

## 7 Diskusjon

### 7.1 Intakt anlegg

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 i det flytende oppdrettsanlegget.
- Brudd i koblingspunkt
- Brudd i line som er kritisk m.t.p. posisjonering.
- Progressivt brudd.
- Bortfall av bøye.
- 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 13.

### 7.4 Bøystørrelser

Vertikalt løft i bøypunkt er oppgitt i Tabell 15. Disse er basert på strøm med en returperiode på 50 år. Ønskes bøyer som er 50 % neddykket, ved en strøm med 50 års returperiode, må bøystørrelse være to ganger oppgitt minimum netto oppdrift oppgitt i tabellen.

### 7.5 Flytekrager

Maksimal aksiallast inn i flytekrage er kontrollert og resultater er gitt i Kap 6.4. Med utgangpunkt i flytekrager med spesifikasjoner som gitt i Kap. 1.4.2 viser analysene at flytekragene tåler miljølaster på lokaliteten.

### 7.6 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. 04.07.2018
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. <https://www.kartverket.no/sehavniva/sehavniva-lokasjonside/?cityid=512992&city=Masfjorden%20kommune>
8. TR-FOU-2692-1, Impermeable nets in AquaSim. Aquastructures AS.
9. Teknisk notat, Numerisk og analytisk analyse på tett duk. Dok.nr. 2454-02. Aquastructures AS.
10. TR-30163-1595-1. Teknisk rapport. Av Aquastructures. 23.02.2012.
11. Brukerhåndbok for forankring. Lokalitet Smørdalen. M/S Solvik. År: 2012.
12. TR-30163-1595-1\_rev2, Globalanalyse. Av: Aquastructures. Dato: 18.11.2019
13. TR-30163-1055-1. FEM-analyse av kjettingkasser. Av: Ole Kristian Flønes. Dato:17.11.2009
14. PS-30163-1105-1 FEM-analyse av fortøyningskryss for NM1000. Av: Ole Kristian Flønes. Dato: 27.01.2010.
15. Fortøyningsrapport. Av: FSV Group. Dato: 01.08.2018
16. Fortøyningsinspeksjonsrapport. Av: FSV Group. Dato: 05.08.2018
17. 433-20. Installasjon av fortøyningsline nr 22. Av: Nor-Mær. Dato: 05.03.2021

## Appendiks A Definisjoner

<b>Aksial last</b>	Last som virker langs akse til en komponent. For eksempel lasten som virker i et tau.
<b>Vertikal last</b>	Den dekomponerte lasten i et element som virker vertikalt.
<b>Horisontal last</b>	Den dekomponerte lasten i et element som virker horisontalt.
<b>Miljølast</b>	Laster som påføres det flytende oppdrettsanlegget fra miljøforhold som vind, bølger, strøm og is.
<b>Hs</b>	Dimensjonerende signifikant bølgehøyde.
<b>Vc</b>	Strømhastighet
<b>T</b>	Bølgeperiode.
<b>Lastfaktor</b>	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.
<b>Materialfaktor</b>	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.
<b>Utnyttelse</b>	Hvor stor andel av kapasitet til en komponent som er utnyttet.
<b>MBL</b>	Minste bruddlast.
<b>Utmattingsgrensetilstand</b>	Grensetilstand som kvantifiserer faren for brudd i løpet av det flytende oppdrettsanlegget dimensjonerende brukstid på grunn av repeterende laster.

## Appendiks B Parametere i analyse

Analysene i AquaSim er utført med analyseparametere beskrevet i Tabell 19. 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. Ved første bølge øker bølgehøyde lineært til fullt utviklet bølge. Påfølgende bølger har full bølgehøyde i henhold til det som er angitt i input.

Analysen er utført med regulær sjø, hvor bølgehøyde er lik:

$$H = H_{max} = 1,9 \times H_s$$

Og med en regulær bølgeperiode, T, som gir en bølgesteilhet lavere enn 1/7.

Ulike parametere for tidssimuleringen i AquaSim er gitt i Tabell 19. Detaljer angående teori og formuleringer i AquaSim kan sees i litteratur <sup>[3-7]</sup>. I disse referanser kan det også finnes videre referanser til relevant litteratur.

**Tabell 19 Nøkkelparametere i tidssimulering**

Parameter	Verdi
Antall inkrementelle steg	5
Antall bølger i dynamisk analyse	2
Antall steg per bølge	12
Notmodul	M1
Type strømreduksjon for nøter	Deformed by current and waves
Begroingskoeffisient for nøter	1.5
Slamming	Ja
Vannlinjekorreksjon	Ja
Konvergenzkriterium	1.0
Global dempekoeffisient	0.55