

Appendix to report:

SBJ-33-C5-OON-22-RE-021

K12 - DESIGN OF MOORING AND ANCHORING

Appendix title:

APPENDIX D –ALTERNATIVE MOORING CONCEPT

Contract no: 18/91094
Project number: 5187772/12777
Document number: SBJ-33-C5-OON-22-RE-021 App. D

Date: 15.08.2019
Revision: 0
Number of pages: 12

Prepared by: Dagfinn Sveen
Controlled by: Håkon S. Andersen
Approved by: Kolbjørn Høyland

CONCEPT DEVELOPMENT FLOATING BRIDGE E39 BJØRNAFJORDEN

Norconsult 

 DR. TECHN.
OLAV OLSEN

 Prodtex
Production / Technology / Excellence

 IFE

 Pure Logic
The science of production reasoning

 HEYERDAHL ARKITEKTER AS

 H&BB

 MIKO
MARINE AS

 BUKSÉR OG
BERGING

 FORCE
TECHNOLOGY

 SWERIM

Table of Content

1	GENERELL BESKRIVELSE	3
2	VIRKEMÅTE	5
3	SIKKERHET	7
4	DESIGN AV FORANKRING	8
4.1	Myk line	8
4.2	Anker	9
5	EKSEMPEL PÅ BEREGNING	11
6	VIDERE UTVIKLING OG DOKUMENTASJON	12

1 GENERELL BESKRIVELSE

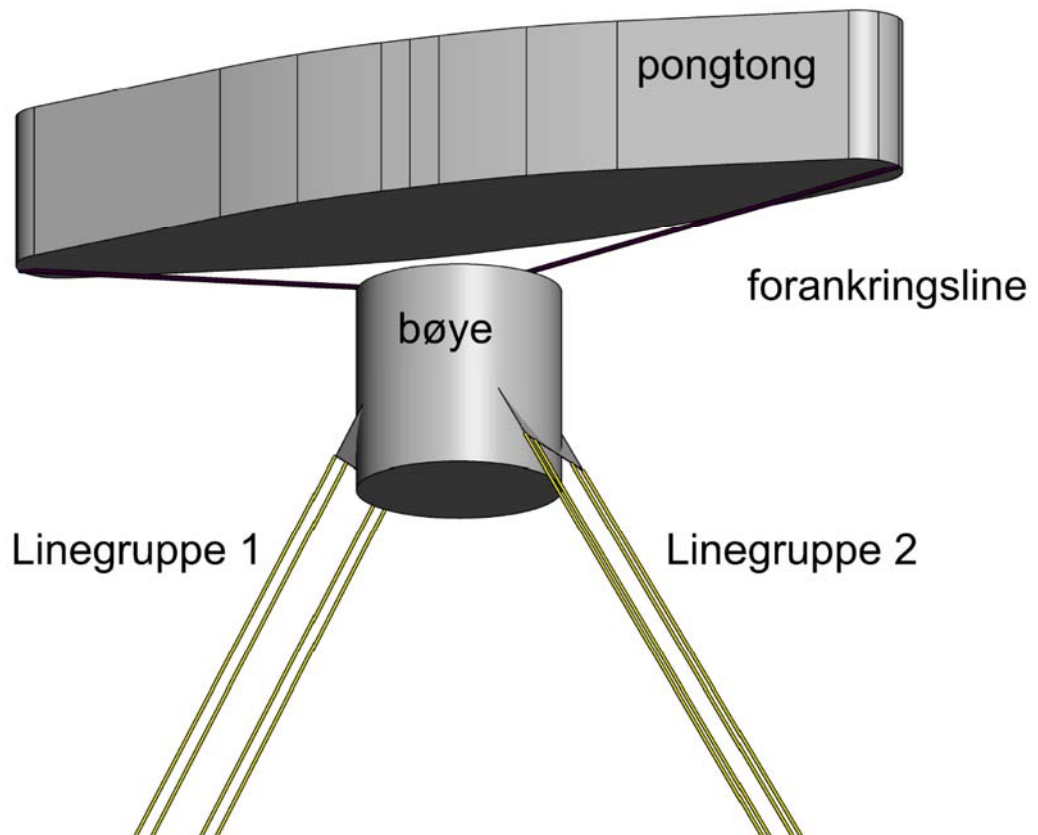
Det beskrives i det følgende et alternativt konsept for sideveis forankring av flytebro over Bjørnafjorden.

Løsningen er basert en skråforankret undervannsbøye. Skråforankringen består av to line-grupper, en på hver side av bøya og presumtivt med samme vinkel i forhold til vertikalen. Bøya er plassert under en pongtong med tilstrekkelig vertikal avstand til å unngå kontakt med pongtongen ved vannstandsvariasjoner og bevegelser i bølger. Linene er spent med oppdriften av bøya og vil således gi oppløft på ankringspunktene på bunnen. Det er forutsatt at bøya er laget av stål for minimalt volum og 100% tetthet. Ankerpunktene på bunnen må kunne motstå en kombinasjon av løftekraft og horisontal kraft. En kan følgelig se for seg tyngdeanker, eventuelt kombinert med skjørt. Andre forankringsløsninger og detaljer vil bli vurdert når eventuell lokasjon og geotekniske forhold er bestemt.



Skråforankringen vil bestå av to line-grupper, en til hver side. Karakteristiske parametere vil være bøyens oppdrift som bestemmer forspenningen av linene, vinkelen til line-gruppen i forhold til vertikalen, vertikal avstand fra bøye til bunnforankring og line-gruppens stivhet. Den horisontale stivhetskarakteristikken til bøya er relatert til aksial stivhet i line-gruppene. For å styre aksialstivheten i linene, er de satt sammen av to komponenter, en line med høy aksialstivhet og en line med lav aksialstivhet (eks. stålwire og polyesterline). Ved å kombinere riktige lengde av eksempelvis stålwire og Polyesterline, kan den ønskede stivheten oppnås.

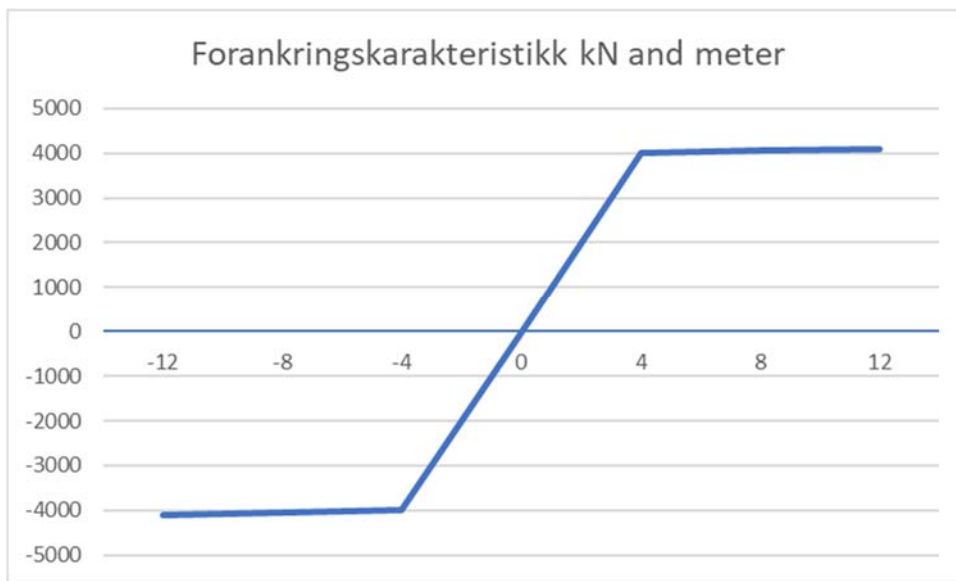
Pongtongen er relativt stramt forankret i sideretning av broa til bøya rett under. Forankringen må være slik at den tillater vertikale bevegelser, uten at den slakker for mye. Det kan her brukes polyesterline som forspennes. Dette vil gi en vertikal bevegelsesfrihet uten at det blir slakk i lina.



2 VIRKEMÅTE

Bøya har en oppdrift som tilsvarer behovet for forspenning av kablene. Når bøya er ubelastet i horisontal retning vil strekkraften i kabelgruppene være lik på hver side.

Når bøya utsettes for en sidekraft vil denne motvirkes av at den ene kabelgruppa strammes og den andre slakkes. Dette forårsaker strekkdeformasjon på den ene siden og kontraksjon på den andre siden. Når sidekraften oppnår en viss størrelse vil kabelgruppa på lesiden bli helt avlastet og bli slakk. Karakteristikken vil således være lineær til et visst punkt og deretter nærmest flate ut.



Figuren på neste side viser et system hvor F_b er oppdrift av bøyen. Vinkelen til linegruppen i forhold til vertikalen er a . Forspenningen F_m til hver av linegruppene er da $0.5 F_b / \cos a$

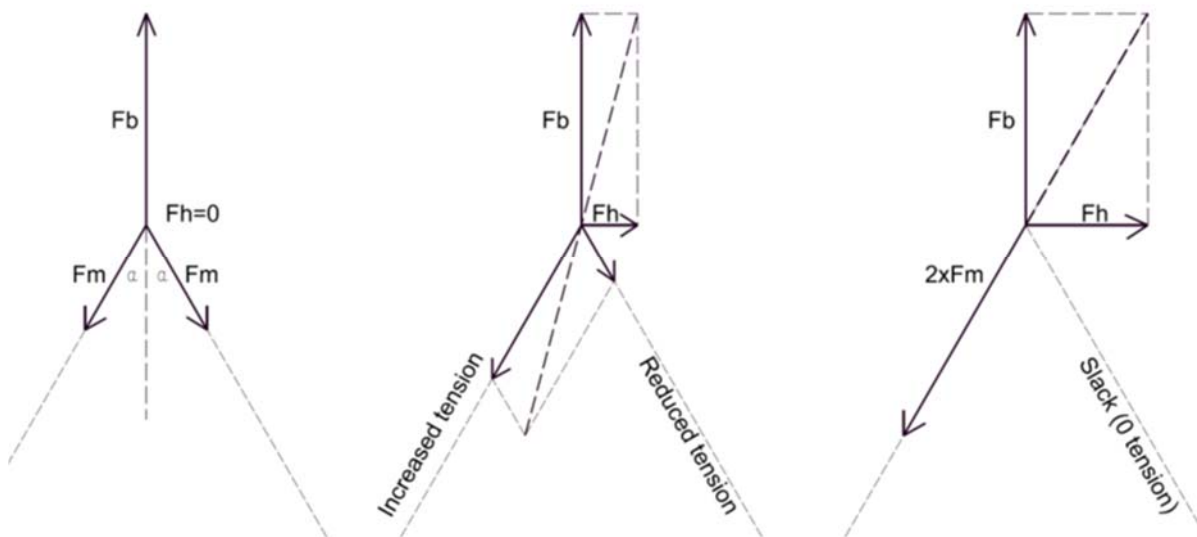
Når bøyen utsettes for en horisontal last F_h , strammes den ene linegruppa og strekkes, mens den andre gruppa får tilsvarende redusert last og trekker seg sammen.

Når horisontallasten er lik $F_b \times \tan a$ vil det bli slakk i linegruppa til høyre. Lasten vil da ikke kunne øke men være nær konstant med en svak økning etter hvert som vinkelen til linegruppa øker.

Det vil således være en lineær stivhet mot sideveis bevegelse på grunn av elastisiteten til linene. Lina som strammes vil bli lengre og lina som slakkes vil bli kortere. Linegruppas aksielle stivhet vil bestemme hvor mye bøya kan trekkes sideveis før det blir slakk i den ene linegruppa. Denne stivheten kan justere ved å sette sammen to liner etter hverandre, Eksempelvis stål-line og polyesterline, men makslasten blir den samme siden denne bestemmes av bøyens oppdrift og vinkelen til linene.

Stivhetskarakteristikken blir følgelig en lineær del og en konstant del. Det antas at det vil være akseptabelt å tillate slakk i en linegruppe slik at en kan bevege seg langs den horisontale delen.

Bøyas bevegelse vertikalt vil i prinsipp være 0 under den elastiske delen, mens den vil trekkes nedover nå en går over til den konstante delen.



En viktig design faktor er hvor mye maksimallasten i lina kan være i forhold til bruddlasten. Dette bestemmer dimensjoneringen av linene. Dersom sikkerheten mot brudd er en faktor 2, vil forspenningen av lina måtte tilsvare ca 25% av bruddlasten slik at lina strekkes opp til 50% av bruddlasten når den andre linegruppa slakkes. Dimensjonering av linetverrsnittet bestemmes dermed av bøyas oppdrift, som igjen bestemmes av hvilken maksimumslast en ønsker når stivhets-kurven går til maksimallast og flater ut. Når tverrsnittet for linene er bestemt ut i fra styrkekravet kan aksialstivheten bestemmes for den stive og den myke lina. Kravet til totalstivheten bestemmer lendene til de to linekomponentene.

3 SIKKERHET

Systemet vil sikre linene mot overlast, siden maksimum last er relatert til bøyas oppdrift. Det forutsettes flere liner i gruppa, slik at brudd i en line ikke gir sammenbrudd av systemet. Det som vil skje er at de gjenværende linene må ta hele forspenningen slik at de vil strekke seg. Det betyr at bøya vil bevege seg litt sideveis og opp, men det vil ha moderat betydning for forankringen.

En egenskap med polyesterliner er at de vil strekke seg plastisk under last og forblir forlengt. Dette betyr i praksis at forankringsliner strekkes på forhånd før installasjon for å initiere forlengelsen. Under konstant forspenning vil det også kunne oppstå kryp i linene. Dette betyr i praksis at bøya vil heve seg litt, men det vil ikke endre systemets funksjon. Følgelig er ikke dette noe som krever justering i drift, men det må være tilstrekkelig klaring under pongtongen

4 DESIGN AV FORANKRING

Med de gitte variable parametere, kan systemet designes slik at det gir ønsket stivhet og kapasitet. Det som da vil beregnes er sammensetning av linene med hensyn til lengde av stålwire og lengde polyesterline samt dimensjoner av disse (diameter/aksialtverrsnitt). Det er satt opp en parametrisk beregningsmodell for dimensjonering av systemet. Viktige parametere er ønsket stivhet, maksimallast og utsving

4.1 Myk line

4.1.1 Polyester

Bruk av polyester ankerliner i offshore sammenheng er en moden teknologi som benyttes spesielt for store vandyp. Derfor kan den brukes uten problemer i forbindelse med flytebrøløsningen for Bjørnafjorden.

For bruk i beregninger er følgende data benyttet

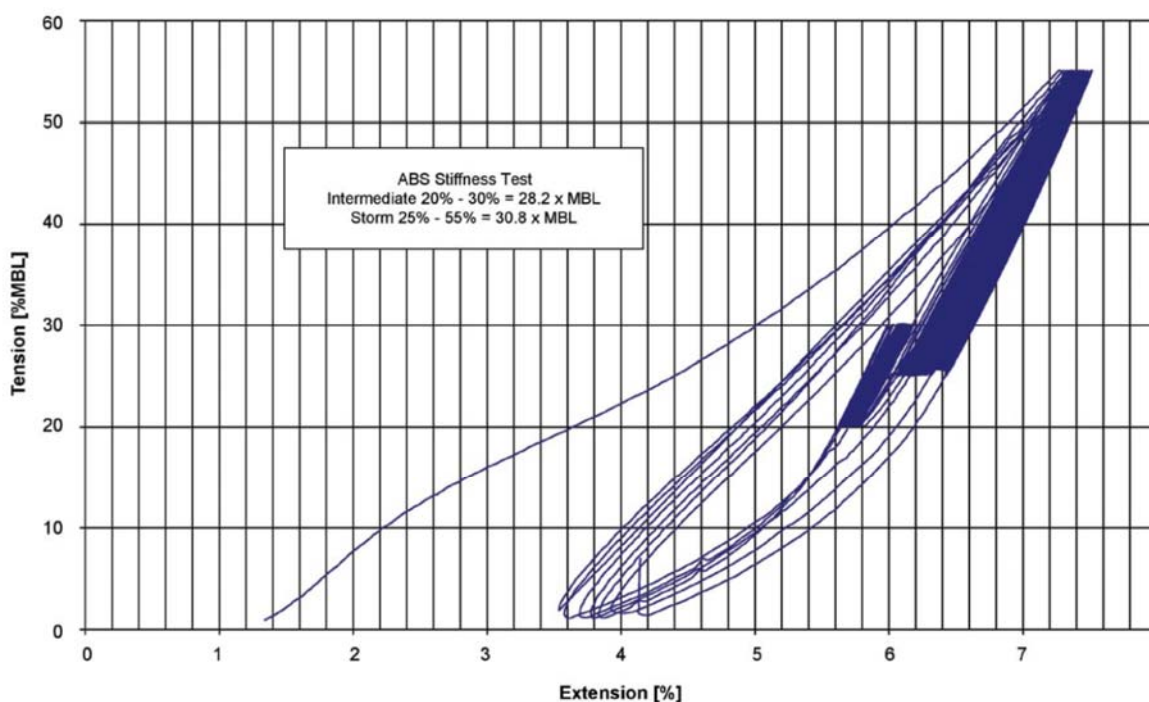
Bruddstyrke: 369 MPa

Modifisert E-modul: 4733 N/mm²

Forlengelse av polyesterline under permanent belastning

Polyesterliner vil strekke seg permanent under vedvarende statisk og dynamisk last, Linens stivhetsegenskaper vil være dynamisk (frekvensavhengig) og den vil ha en hysterese karakteristikk. Det siste betyr at linen vil oppta energi under dynamisk last, men det vil ikke ha noen praktisk betydning annet enn at det kan gi en positiv dempende effekt på dynamisk respons.

For analyser vil en benytte en midlere stivhetskarakteristikk.



> Figure 4-1 typisk stivhetskarakteristikk til polyesterline under dynamisk last

4.1.2 Stiv line

Stålkabel (Scan Rope)

Data for beregning av stålwire line er basert Scan Rope.

På grunn av måten stålwiren er bygget opp vil den få en redusert stivhet sammenlignet med rent ståltverrsnitt. Typisk redusert stivhet er gitt ved en modifisert E-modul som er 110000 MPa

ScanRopes verdier for forankringslinjer er gitt i tabellen under

Scan Rope		Tensile strength		1770	N/mm2		
Nom diameter		Spec	Min breaking	Section	yield	Axial	Modified
mm		weight	Load	Area	N/mm2	Stiffness	E-module
		kg/m	kN	Steel (mm2)		MN	N/mm2
80	1,615734	26,96	5317	3111	1709	342	109932
83	1,617521	29,02	5713	3345	1708	368	110015
86	1,610426	31,26	6142	3607	1703	397	110064
89	1,609193	33,53	6581	3866	1702	425	109933
95	1,614996	38,4	7404	4389	1687	483	110048
102	1,608204	44,03	8504	5081	1674	559	110018
108	1,604358	49,5	9324	5710	1633	628	109982
114	1,607913	55,05	10017	6348	1578	698	109956
121	1,644596	60,97	11225	6992	1605	769	109983
127	1,645154	67,07	12043	7700	1564	847	110000
133	1,638121	74,14	13971	8481	1647	933	110011
140	1,63851	82,1	15211	9395	1619	1033	109952
146	1,640203	89,01	16239	10207	1591	1123	110023
152	1,634024	96,92	16965	11105	1528	1222	110041

Et alternativ til Stålwire kan være syntetisk line av typen Dynema med egenskaper som gitt under:

Typical stiffness synthetic rope							
	Diameter	MBL	Weight	Elongation	Section	Breaking	E-module
	mm	tonne	kg/m	at break	area	stress	
					mm2	Mpa	Mpa
Dynema	105	630	5,1	0,020	8659	714	35687
Polyester	146	630	14,9	0,078000	16742	369	4733

4.2 Anker

Det vil være to ankre med relativt stor avstand. Det enkelte ankret vil være utsatt for en vertikal og en horisontal lastkomponent som i prinsipp vil variere. Med ca 30 grader vinkel vil forholdet mellom lastkomponenten være ca 1/0,58. Vertikalkomponenten vil variere mellom 0,5 til 1,0 av bøyens oppdrift.

Ankeret kan være vektbasert, noe som vil si at vekten må være tilstrekkelig til å motstå løft og samtidig ha tilstrekkelig overvekt til å kunne motstå horisontallasten med friksjon mot bunnen.

Et gravitasjonsanker kan være i betong i en slags kassedesign i betong som kan fylles med grus.

5 EKSEMPEL PÅ BEREGNING

11

Det er etablert en enkel beregningsprosedyre på regneark hvor input er parameterisert for raske overslagsberegninger.

Et eksempel er gitt under

Ønsket forankringsstivhet	1600	kN/m
Maksimalt utsving uten slakk	4	m
Designfaktor for utsving	1	
Sikkerhetsfaktor mot bruddlast	2,1	
Antall liner i en gruppe	8	
Linevinkel	30	deg
Vertikal avstand til anker	400	m
Total lengde til forankringsline	461,88	m
Lengde av stål wire	445,36	m
Diameter stålline	63	mm
Lengde av polyester line	16,52	m
Diameter polyesterline	108	mm
BØYE		
Deplasement	1554	ton
Diameter = Height =	12,6	m
Cirka stålvekt	311	ton
GRAVITASJONSANKER		
Max løftekraft	11085	kN
Max horisontal last (ved slakk)	6400	kN
Antatt friksjonsfaktor	0,5	
Minimum ankervekt neddykket	23885	kN
Antatt høyde	6	m
Sidelengde (kvadrartisk)	16	m
Cirka betongvolum	435,0	m ³
Cirka ballastvolum (grus/stein)	1188	m ³

6 VIDERE UTVIKLING OG DOKUMENTASJON

Beskrivelsen over inkluderer ikke vurdering av direkte bølge og strømbelastning på bøya og hvilken grad dette må tas med i analysene av brosystemet.

Det vil bli utført separate analyser på bøya med forankring for å klarlegge noe av dette. Når en ser hvilken effekt dette har kan en vurdere hvordan en videre må inkludere dette i den globale analysen av broa.

Videre aktivitet vil være å teste hvordan løsningen kan brukes i forbindelse med brukonseptene og hvilke resultater dette vil gi på dimensjonering og plassering av ankre. Dersom dette er positivt vil en kunne videreutvikle konseptet med hensyn til mer detaljerte tekniske løsninger samt installasjon.

Den eventuelle videre utviklingsplan utvikles nå dette er avklart.