

STATENS VEGVESEN
DETALJREGULERINGSPLAN FOR NY FASTLANDSFORBINDELSEN FRA FÆRDER

BRUALTERNATIV OVER VESTFJORDEN

FAGRAPPORT

OPPDAGSNR.

A122639

VERSJON

1.0

UTGIVELSESDATO

2019-10-29

BESKRIVELSE

1. versjon

UTARBEIDET

JEPI

KONTROLLERT

SWI

GODKJENT

SWI

DOKUMENTINFORMASJON	
Rapporttittel:	Detaljreguleringsplan for Ny fastlandsforbindelsen fra Færder - Brualternativ over Vestfjorden
Dato:	29.10.2019
Utgave:	1. versjon
Filnavn:	RAP Kon-001_Brualternativ over Vestfjorden
Oppdragsgiver:	Statens vegvesen
Kontaktperson hos Statens vegvesen:	Nils Brandt
Utfører:	COWI AS
Prosjektleder COWI AS:	Olav Eriksen
Utarbeidet av:	Jesper Pihl
Kontrollert:	Sverre Wiborg

INNHOOLD

FORORD	5
1 Sammenstilling og sammendrag	7
1.1 Kostnader	7
1.2 Risiko	7
1.3 Estetikk	8
2 Innledning	9
2.1 Om prosjektet	9
3 Alternative bruløsninger	11
3.1 Grunnlag	11
3.2 Skipstrafikk	11
3.3 Innledende vurdering av alternativer	11
3.4 Estetikk	12
4 Grunnlag, metode og antagelser	13
4.1 Samvirkebru	13
4.2 Hengebru	17
4.3 Fritt frambygg bru	19
5 Kostnader	21
5.1 Samvirkebru	21
5.2 Hengebru	22
5.3 Fritt frambygg bru	23
5.4 Extradosed bru	24
6 Arkitektonisk vurdering	25
6.1 Samvirkebru	25
6.2 Hengebru	26
6.3 Fritt frambygg bru	26
6.4 Extradosed bru	27
6.5 Betongbue	27
6.6 Bjelke med Y-tårn	27
7 Risiko	28
7.1 Samvirkebru	28
7.2 Hengebru	28
7.3 Fritt frambygg bru	29
7.4 Extradosed bru	29
7.5 Skipsstøt	30

8	Referanser / kilder	32
9	Vedlegg	33

FORORD

Denne fagrapporten er utarbeidet som en del av arbeidet med Ny fastlandsforbindelse fra Færder.

Rapporten tar for seg valg av brukonsept for kryssing av Vestfjorden

Tiltakshaver og ansvarlig for utredningen er Statens vegvesen.

10.2019

Oslo

1 Sammenstilling og sammendrag

Etter avtale med Statens vegvesen, har COWI utført en vurdering av mulige alternativer for kryssing av Vestfjorden ved Tønsberg.

Med utgangspunkt i vurderinger fra Vegdirektoratet, har vi vurdert brutypene samvirkebru stål/betong, hengebru og fritt frambygg bru. Vi har i tillegg utført en svært forenklet vurdering av extradosed bru. I dette sammendraget behandles kun samvirke bru, hengebru og fritt frambygg bru. For extradosed bru henvises det til etterfølgende kapitler.

1.1 Kostnader

Vi har kommet fram til følgende entreprisekostnader for bruene:

- › Samvirke bru: 837 mill. NOK
- › Hengebru: 723 mill. NOK
- › Fritt frambygg bru: 1231 mill. NOK

Kostnadene er basert på at bruene skal ha tilstrekkelig kapasitet i ordinær bruddgrense. Det er ikke vurdert kostnader for ekstra sikring mot skipsstøt.

Det er lagt vekt på at estimatene skal være mest mulig sammenlignbare. Kostnadene vurderes generelt å være noe til sikker side. Det kan ikke på det nåværende tidspunkt fastlegges med sikkerhet om samvirke bru eller hengebru vil ha lavest kostnader etter en detaljert studie. Det er imidlertid klart at fritt frambygg bru med to piler i sjøen blir betydelig dyrere enn de to andre alternativene. Dette skyldes først og fremst at en så tung bru vil få svært høye fundamenteringskostnader.

1.2 Risiko

I det etterfølgende sammenfattes de største risikoene for de ulike alternativene

1.2.1 Skipsstøt

Den største risiko som er avdekket er knyttet til skipsstøt mot samvirkebrua. Om man skal opprettholde tilgangen til Tønsberg havn på tilnærmet samme nivå som i dag, vil det måtte gjøres betydelig sikringstiltak på fundamentene til brua.

For hengebru og fritt frambygg bru vurderes ikke støt fra skip å utgjøre noen vesentlig risiko.

1.2.2 Øvrig risiko

Montasje av peler vil utgjøre en betydelig kostnadsrisiko for samvirkebrua. I kostnadsestimatet er det lagt til grunn at pelene kan rammes. Om pelene må bores vil dette øke kostnadene for pelene med ca. 25%. I tillegg er det utfordrende å montere så store peler. Spesielt er det utfordrende å montere lange peler på skrå i dårlige masse.

For hengebrua er det ikke avdekket spesielt stor risiko. Det knytter seg noen utfordringer til forankringer av hovedkabelene. Dette kan medføre noen ekstra kostnader, men vurderes ikke å være noen trussel for gjennomføringen eller vesentlig å forrykke kostnadsbildet.

Det er tre vesentlige risikoer knyttet til fritt frambygg brua.

- › Fundamentene blir svært store og har et stort antall peler. Dette kan gi utfordringer både med innsigelser fra miljømyndigheter i fylket, og ha uheldige konsekvenser for fjorden om brua bygges.
- › Stivheten i et pelefundament er betydelig mindre enn ved direkte fundamentering. Spesielt er ulikheten stor ved lange peler i dårlige masser slik det er tilfelle her. For så store spenn som det er snakk om i Vestfjorden vil redusert stivhet i fundamentene kunne skape betydelige utfordringer med svingninger på grunn av vind i byggefasen.
- › Det er tilsvarende usikkerhet knyttet til montasje av peler som for samvirkebrua.

1.3 Estetikk

Det er foretatt en visualisering av et utvalg av ulike løsninger. Disse visualiseringene gir en støtte til vurdering av hvordan bruene vil se ut i landskapet. Det framgår at flere ulike løsninger kan benyttes med godt resultat, deriblant både samvirke bru, hengebru og fritt frambygg bru. Valget vil først og fremst være om man ønsker en synlig og monumental bru eller en mest mulig diskret bru.

Hengebrua er den mest synlige løsningen. Den vil gi en flott avstandsvirkning i fjorden og passer godt inn i landskapet. For enkelte beboere på Nøtterøy vil imidlertid det ene tårnet være godt synlig, uten at det oppfattes som en helhet med øvrige deler av brua.

Samvirkebru er en svært diskret løsning. Den vil i liten grad være synlig for nærliggende boliger på Nøtterøy, men vil heller ikke framstå som spesielt spennende hverken nære eller fra avstand.

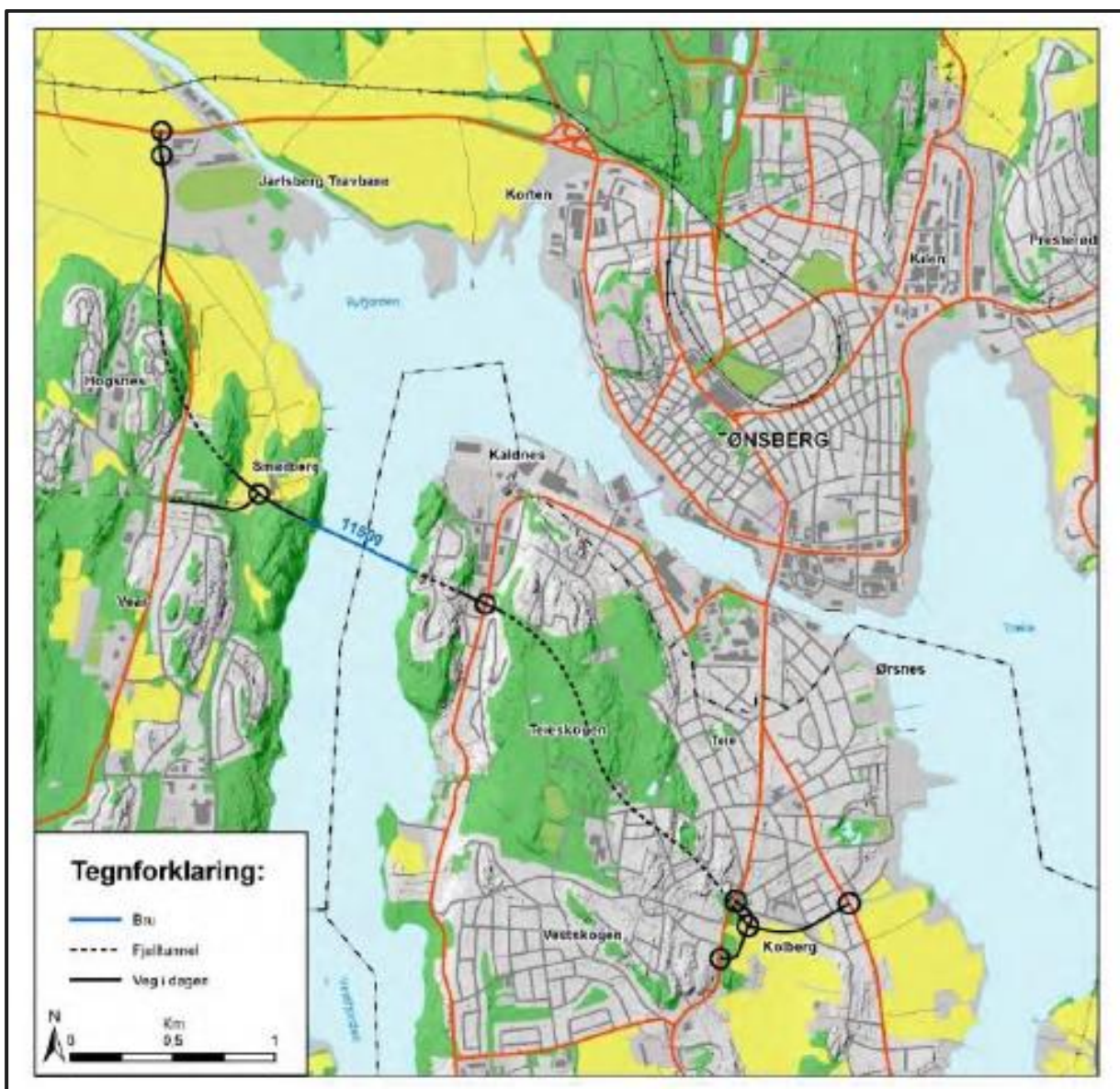
Fritt frambygg brua vil heller ikke være særlig synlig fra Nøtterøy. Det er god høyde mellom underside bru og vannet i fjorden. Sammen med relativt bratte sider langs fjorden vil også denne brutypen fungere bra. Fritt frambygg vil imidlertid også kunne oppfattes som lite spennende og ordinær.

2 Innledning

2.1 Om prosjektet

En ny fastlandsforbindelse fra Færder kommune skal bidra til at øykommunen får en robust og samfunnssikker vegforbindelse og at trafikkøkningen fra forventet befolkningsvekst håndteres på en miljøvennlig måte.

Ny fastlandsforbindelse fra Færder kommune er et delprosjekt i Bypakke Tønsberg-regionen. Bypakken er et samarbeidsprosjekt mellom Vestfold fylkeskommune, Tønsberg og Færder kommuner. Bypakkesamarbeidet bygger på Konseptvalgutredning for transportsystemet i Tønsberg-regionen (KVU) som ble godkjent i regjeringen i oktober 2015.



Figur 2-1: Oversikt over Ny fastlandsforbindelse til Færder

2.1.1 Høybru over Vestfjorden

I forbindelse med reguleringsplanen skal brutype og utforming av brua bestemmes. Det er gitte forutsetninger angående seilingshøyde og bredde for skipstrafikken i Vestfjorden. Tunnel under Rambergåsen gir også føringer for bruas vertikalkurvatur for å sikre fjelloverdekning.



Figur 1-2: Høybru over Vestfjorden som hengebru med H-tårn.

Under arbeidet med kommunedelplanen ble ulike brualternativ vurdert. For vurdering av kostnader i KDPen ble hengebru med H-tårn lagt til grunn (skissen over). Ved oppstart av reguleringsarbeidet har det ikke framkommet noen tekniske hindringer for å utføre brua dette alternativet.

Statens vegvesen ønsker en gjennomgang av ulike alternativ for brua for å kunne velge optimal løsning. Dette notatet gir en vurdering av ulike alternativer for ny bru med tanke på økonomi, risiko og estetikk som støtte til Statens vegvesens endelige valg av bruløsning.



Figur 1-3: Høybru over Vestfjorden med seilingsled.

3 Alternative bruløsninger

3.1 Grunnlag

Før oppstart av denne studien, har Statens vegvesen, Vegdirektoratet foretatt en gjennomgang av mulige alternativ. Dette arbeidet resulterte i en anbefaling om å bygge en samvirkebru. Videre ble det utført ett predesign og kostnadsanalyse av en samvirkebru med hovedspenn 130m. Dette arbeidet er sammenfattet i rapportene listet under.

/1/ Bru over Vestfjorden til Nøtterøy – Bruplanlegging. Datert 02.08.19

/2/ Bru over Vestfjorden til Nøtterøy – Anbefalt bru. Datert 30.08.2019

Rapportene danner grunnlag for den videre studien av alternative løsninger.

3.2 Skipstrafikk

Det er ønskelig at tilgang til Tønsberg havn skal opprettholdes på dagens nivå. For å tilfredsstille dette krever Kystverket en minste seilingsled med høyde 40m og bredde 80m. Størrelse av leden vil kunne tilfredsstilles med alle alternativ løsninger behandlet i /1/.

Studier av skipstrafikk de senere år viser et antall anløp av skip med betydelig størrelse. Med bredde av seilingsled 80m, vil det foreligge en fare for støt fra skip mot brupilarene inntil skipsleden. Dette forholdet er ikke inkludert i vegdirektoratets vurdering av alternativ.

Denne rapporten omfatter en vurdering av konsekvenser for valget av bru, om skipstrafikk skal opprettholdes.

3.3 Innledende vurdering av alternativer

Følgende alternativ er vurdert:

- Samvirke stål og betong. I samsvar med Vegdirektoratets anbefaling har vi utført innledende analyser av dette alternativet.
- Hengebru. I KDPen er det anbefalt en hengebru. Vi har følgelig inkludert dette i studien. Hengebru er spesielt interessant sett i lys av dette alternativet ikke har fundamenter i sjøen.
- Fritt frambygg i betong. Fritt frambyggbruer er i mange tilfeller optimalt kostnadsmessig. Imidlertid er denne brutypen tung, og stiller derfor ekstra krav til fundamentering.
- Extradosed. Estetisk vil en extradosed bru kunne fungere svært godt. Det er gjort noen enkle vurderinger av denne brutypen.

Følgende alternativ er ikke vurdert:

- Skråstagbru vil trolig bli relativt dyr da hovespenn 500-600m er langt, samt at det ikke er behov for bakspenn. Løsningen vil medføre svært høye tårn, noe som heller ikke er ønskelig.
- Buebru. Denne løsningen gir ofte vakre bruer, men en bue over hele fjorden vil være i overkant av hva som er mulig. Det vil være mulig å benytte en bue i midtspenn, men montasje vurderes som vanskelig. Samlet sett vurderes buebru å bli kostnadskreven, og utredes derfor ikke videre.

3.4 Estetikk

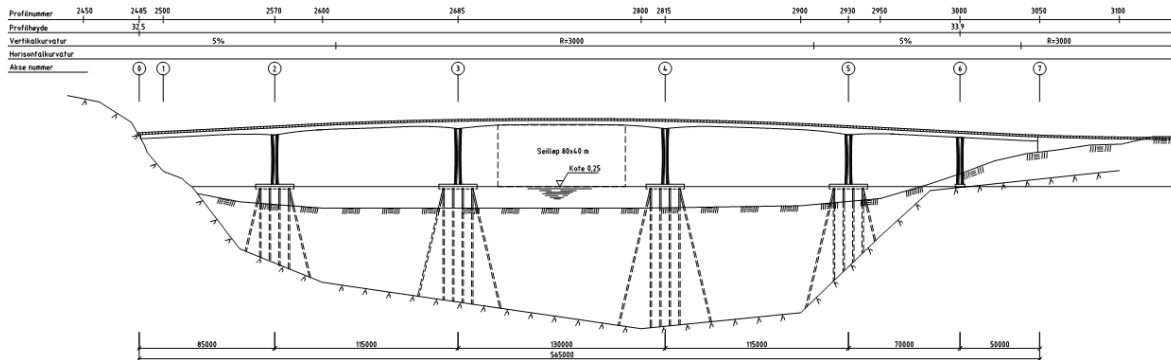
Vi har utført en vurdering og visualisering av ulike løsninger for ny bru. Dette arbeidet er gjort parallelt med de tekniske og økonomiske vurderingene, og det har ikke vært tid til koordinering av de ulike vurderinger.

Spesielt nevnes at extradosed brua som vist av arkitekt, er mer skråstagsbru enn egentlig extradosed. Det er andre krav til kabler for en skråstagsbru og dette vil ha betydelige konsekvenser for kostnadene.

4 Grunnlag, metode og antagelser

4.1 Samvirkebru

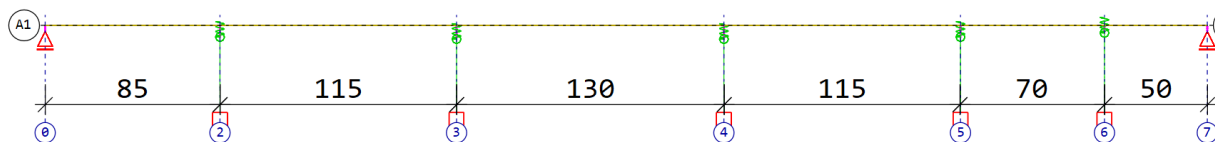
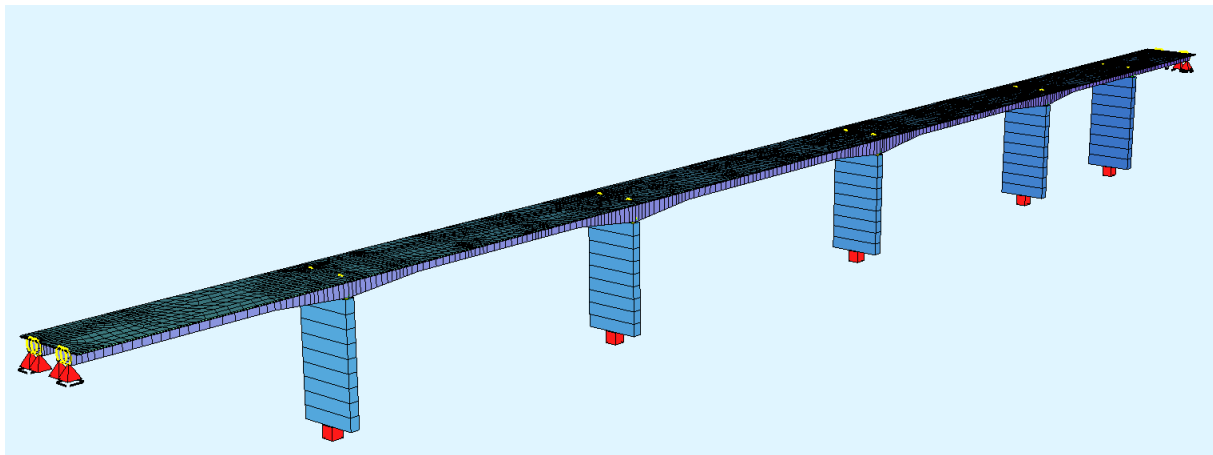
Nedenstående viser en detaljeret beregning av mengder for samvirkebruløsningen. Det er lagt til grunn at 4 pilarer settes i sjøen og at største spennvidde er ca. 130m.



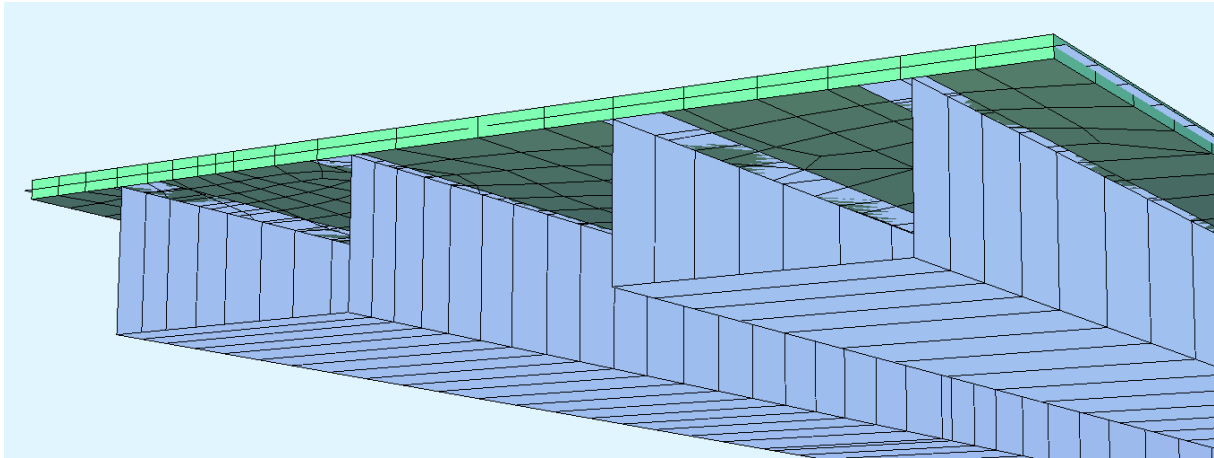
Oppriss av samvirkebru som beskrevet i /2/.

Beregningen er overbygningen er detaljert beskrevet i vedlegg 1: Alternativ samvirkebru. Beregningsrapport.

Overbygningen er modellert i FE-programmet Sofistik. En geometrimodell av brua er vist på nedenstående figur:



Overbygning av samvirkebru modellert i Sofistik.



Typisk tversnitt i Sofistik

Følgende geometri er benyttet i modellen.

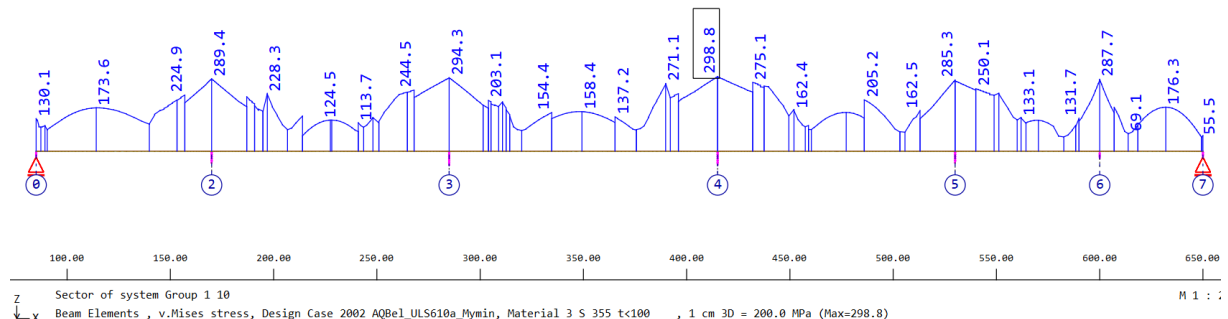
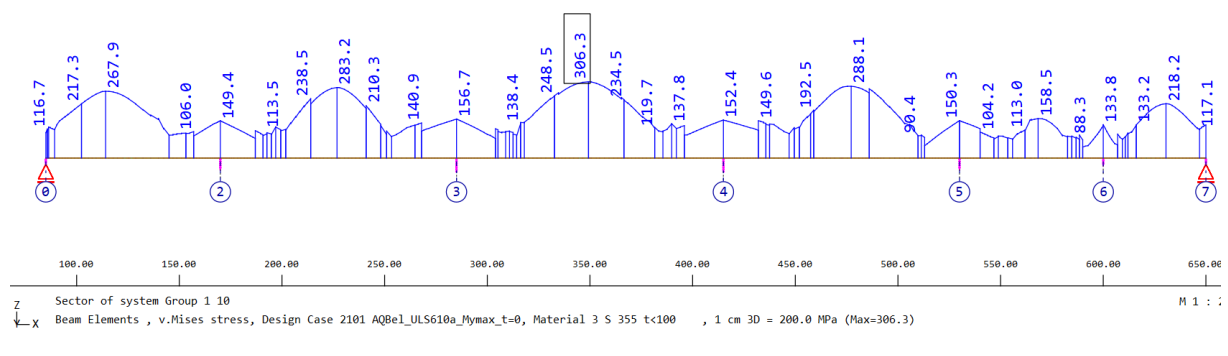
- Det anbefales en løsning med 2 stålkasser. Det vil gi en reduksjon av vekten til stålsegmentene som skal løftes i byggefasen (til ca. 700 tonn avhenging av stålkassedeling). Redusert vekt vil bedre tilgjengelighet av flytende kraner. Dette vil igjen reduserer risiko og bidra til redusert pris for brua. Egentlig er delt en løsning som var nevnt i SVV rapporten for anbefalt brutype. /2/
- H, stålkasse i felt, typisk = 2,5m (3m mellom akse 3-4)
- H, stålkasse i akse 2-5-6 = 5m ; H, stålkasse i akse 3-4 = 6m

Minimum valgte høyde er 2,5m som er vist som tilstrekkelig både for statikk, men også for tilgang til kasse for vedlikehold. En minste høyde av på 1400 mm er kravet iht. SVV HB N400, men i tillegg må man også regne med plass for tverrstivere på bunn og toppen til kassen.

- Vertikalstegene. Stegene holdes vertikale langs hele brua. Skråsteg vil bety at bunnflensbredde reduseres over søyler, hvilket gir utfordringer med kapasiteten her. I tillegg gir vertikalstegene en vesentlig forenkling av fabrikasjon og prosjektering.
- Tykkelsene er som følger: $t_{\text{steg}}=20-35\text{mm}$; $t_{\text{bunnflens}}=20-50\text{mm}$; $t_{\text{toppflens}}=20-50\text{mm}$
- Bredde til toppflensene varieres mellom 1250-2500mm langs brua
- Det antas at et horisontal fagverk vil ligge på toppen i kassen. Det vil gi torsjonsstivhet i byggefasen (før betongplaten er på plass, eller ikke har oppnådd tilstrekkelig stivhet).
- Stiverne og det horisontal øvre fagverket er ikke inkludert i modellen. I denne fasen vurderes det bare som en ekstra vekt lik 1,5tonn/m for hver bjelke (erfaringstall fra Beitstadsundbrua).
- De vurderte lastene er egenvekt (stål og betong), asfalt, kantbjelkene vekt, kryp & svinn, trafikk, temperaturgradient og vind.

Brua bygges ved først å installere og samle stålkassene og etterfølgende støpe dekkeplaten av betong. Dette betyr at stålet skal bære egenvekten av det betongdekket fram til dette har herdet. Betongen får derfor kun spenninger fra trafikk og ikke fra egenvekt. Dette vil øke stålmengden sammelignet med om tversnittet var fult aktivt fra start. En gradvis aktivering av seksjonsdelene (1. stål, 2. betong) hensyntas i Sofistik beregningene.

Resultatet av analysen er at spenningene for overside og underside stål ender på omkring 300MPa, hvilket anses som fornuftig for denne fase av designet ($f_{yd} = 355/1.1 = 323\text{MPa}$ basert på ståltipe S355). Det vil være mulig å bruke stål av en høyere kvalitet, men på den andre siden er det effekter (som plateknekking, osv.) som ikke har vært vurdert i denne tidlige fasen av prosjekteringen.



Von Mises spenninger i stålkasse for henholdsvis overside (øverst) og underside (nederst)

Den samlede vekt av overbygningen blir lik:

› $W_{\text{overbygning}} = 18820 \text{ tonn}$

Denne vekten fordeles mellom stålkassen og dekkeplaten av betong på følgende måte:

› $W_{\text{stål}} = 6120 \text{ tonn}$

› $W_{\text{betong}} = 12700 \text{ tonn (5080 m}^3\text{)}$

Underbygningen dimensjoneres med utgangspunkt i lasten fra overbygningen.

Reaksjonen fra overbygningen på toppen av pilarene er:

$$\text{P}_{V,ULS} = 88.4\text{MN}$$

For dimensjoneringen av underbygningen henvises til Statens Vegvesens beregninger som utført i /2/. Her bestemmes pilarene til 3m x 18m, fundamentplate beregnes til 24m x 24m x 3m og det vurderes at der er behov for en pelegruppe bestående av 16 stk. Ø1200 stålrørspeler.

Reaksjonen fra overbygningen er økt fra 71MN i /2/ til 88.4MN. Dette er en økning på 25%.

For å ta opp den økede lasten fra overbygningen er det nødvendig å øke antallet peler til $16 \times 1.25 = 20$ peler. For å kunne føre lasten ned i pelene økes tykkelsen av fundamentplaten fra 3m til 3.5m. For å få plass til den ekstra rekke peler økes også bredden av fundamentplaten med 6 m. Fundamentplatens dimensjoner blir derfor 24m x 30m x 3.5m. Brupilarenes dimensjoner beholdes uendret.

Med en veggtykkelse på 0.6m blir volumet av brupilarene:

$$\text{W}_{pilar1,6} = (3 \cdot 18 - 1.8 \cdot 16.8) \cdot (21 + 31) = 1236\text{m}^3$$

$$\text{W}_{pilar2-5} = (3 \cdot 18 - 1.8 \cdot 16.8) \cdot (29 + 31 + 2 \cdot 35) = 3089\text{m}^3$$

Brupilar 1 er utelatt i beregningen av overbygningen. Den er dog medtatt i kostnadsoverslaget. Den er plassert i akse 1 og antas ha en høyde på 21m.

Volumet av fundamentplatene blir:

$$\text{W}_{plate} = 3.5 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 4 = 10080\text{m}^3$$

Den samlede lengde av pelene kan bestemmes. Det benyttes 20 peler per pelegruppe og lengden per pel settes lik 65m. Lengden av pelene blir lik:

$$l_{peler} = 20 \cdot 65 \cdot 4 = 5200\text{m}$$

Det bemerkes at pelegruppen ikke er dimensjonert for skipsstøt. Hvis det skal seile skip i fjorden etter bruas åpning skal pelegruppen beskyttes mot skipsstøt av en konstruksjon som virker uavhengig av pelegruppen. Det vurderes at omkostninger til en slik skipsbeskyttelse vil være betydelig. Denne kostnaden er ikke medregnet i kostnadsoverslaget.

Alternativt kan fundamentet forsterkes til å tåle støt. Denne løsningen vil også bli svært kostnadskrevende

Kostnadsoverslag for samvirkebrua finnes i kapittel 5.1.

4.2 Hengebru

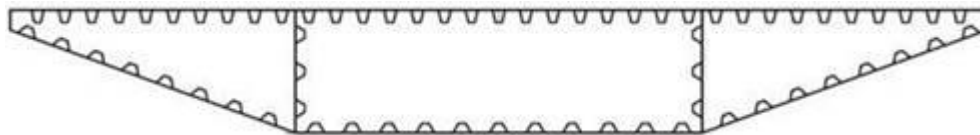
Nedenstående viser en detaljert beregning av mengder for hengebrusløsningen.

Brudrageren antas å ha samme dimensjoner som presentert i konkurransegrunnlaget datert 01.04.19 (/). Dog er C-C avstand samt stivertype valgt fra Hålogalandsbrua, da viste stiverkonfigurasjon ser ut til å være på den usikre side.



Dragertverrsnitt fra konkurransegrunnlag

Platetykkelser er satt til 14 mm for topplate + loddrette plater og til 8 mm for bunnplatene. Stivertykkelsen er 6 mm. (Det kan diskuteres om de loddrette avstivninger er nødvendige - men medtatt her på den sikre side)



Tverrsnitt som legges til grunn for beregning av masse av langsgående stål (Autocad)

Areal av langsgående stål er lik 0.932 m^2 svarende til en vekt på 0.72 MN/m (7.2 tonn). Det er lagt til ytterligere 15% for tverrstivere, følgelig:

$$\text{› } g_{\text{stål}} = 0.083 \text{ MN/m (8.3 tonn/m)}$$

Vekt av asfalt antas lik $(7.5+7.5+6.5) \times 0.08 \times 0.025$:

$$\text{› } g_{\text{asfalt}} = 0.043 \text{ MN/m (4.3 tonn/m)}$$

Vekt av utstyr (rekkverk, lysmaster og diverse) antas lik:

$$\text{› } g_{\text{utstyr}} = 0.005 \text{ MN/m (0.5 tonn/m)}$$

Vekt av bærekabel er lik (funnet ved iterasjon):

$$\text{› } g_{\text{kabel}} = 0.012 \text{ MN/m (1.2 tonn/m)}$$

Den samlede egenlast blir lik:

$$\text{› } g_{\text{egenvekt}} = 0.143 \text{ MN/m (14.3 tonn/m)}$$

For trafikk antas veibane ha en last på 3 kN/m^2 og G/S-vei 0.6 kN/m^2 . Dette gir en samlet last lik $((7.5+7.5) \times 3 + 0.6 \times 6.5)/1000$:

$$\text{› } g_{\text{trafikk}} = 0.049 \text{ MN/m (4.9 tonn/m)}$$

Trafikk er plassert eksentrisk på tvers av brua fordi G/S-sti er samlet i den ene ende av drageren. Dette er ikke medtatt i beregningen.

Egenvekt og trafikk kombineres til ULS som $1.22 \times \text{egenvekt} + 1.35 \times \text{trafikk}$:

$$\text{g}_{\text{ULS}} = 0.240 \text{ MN/m (24.0 tonn/m)}$$

Denne last benyttes til at bestemme kraften i bærekablen (begge kabler). Spennet er 500 m og et sag-to-span på 10 gir et sag på 50 m. Herved blir den vannrette kraft ved tårntoppen lik:

$$H = P \times L^2 / (8 \times S) = 150.0 \text{ MN}$$

Med en vinkel mot vannrett på 21.8° blir kraften i bærekabelen (begge kabler) lik:

$$P = H / \cos(21.8) = 161.6 \text{ MN}$$

Det anvendes en trådkapasitet på 1860MPa og en partialkoeffisient for ULS på 1.8. Herved blir det nødvendige kabelareal lik:

$$A = 161.6 / (1860 / 1.8) = 0.156 \text{ m}^2$$

Dette gir en vekt av kabelen på $0.156 \times 0.077 = 0.012 \text{ MN/m} \leq 0.012 \text{ MN/m}$. Altså er det antatte kabelareal korrekt.

Arealet skal divideres med 2 for at finne areal per bærekabel. Altså har hver bærekabel et areal på 0.078 m^2 en vekt på 0.61 tonn/m og en diameter på 353mm (andel luft 20%)

Bakstaget (bærekabel i sidespenn) antas å ha en vinkel mot vannrett lik 26.5° hvilket gir en lengde på 112m. Altså bliver bærekabelens totale lengde lik $112 + 515 + 112 = 739 \text{ m}$. Den samlede kabel vekt blir derfor:

$$W_{\text{kabel}} = (515 \times 0.61 + 224 \times 0.61 \times 1.04) \times 2 = 918 \text{ tonn}$$

Det antas at drageren er 590m lang. Se /1/ og den samlede vekt blir:

$$W_{\text{drager}} = 590 \times 8.3 = 4872 \text{ tonn}$$

Det antas at tårnene er 100m høye og har et tverrsnitt på $5 \times 4 \times 0.5 \text{ m}$. Det samlede volumet multipliseres med en faktor 1.2 for å ta høyde for tverrbjelker.

Den maksimale trykkraft et tårn kan klare kan bestemmes av Eulers Formel:

$$N_{\text{Euler}} = \pi^2 \times E \times I / L_s^2$$

E-modul settes til 35GPa, søylelengden L_s blir $0.7 \times 100 = 70 \text{ m}$. Tverrsnittet gir et inertimoment på 25.7 m^4 . Konservativt velges det å benytte halve E-modul. Herved bliver Euler-kraften lik:

$$N_{\text{Euler}} = \pi^2 \times 17500 \times 25.7 / 70^2 = 905 \text{ MN}$$

En kabelkraft på 81 MN og 84 MN samt en knekkvinkel på 21.8° og 26.5° svarer til en kraft i tårnbeinet på 68 MN, hvilket er innenfor en kapasitet på 905MN. Som det framgår, er det mulighet for å optimere tårnbeinet, men i denne beregning fastholdes geometrien.

Et tverrsnitt på 5 x 4 x 0.5 giver et areal på 9m². Med tårnhøyder på 100m bliver mengden:

$$\text{W}_{\text{tårn}} = 9 \times 100 \times 4 \times 1.2 = 4320 \text{ m}^3$$

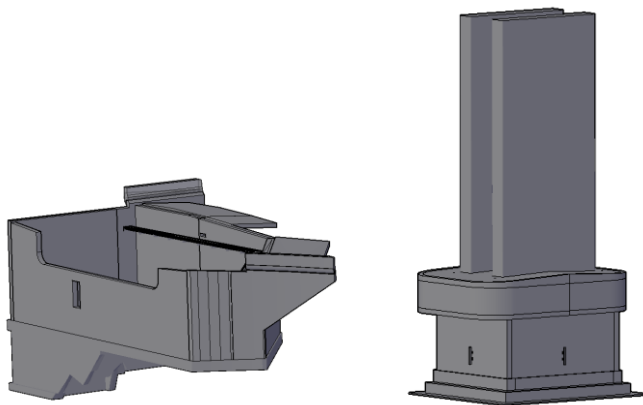
Kostnadsoverslag for hengebrua finnes i kapitel 5.2.

4.3 Fritt frambygg bru

Det vurderes en løsning med kun to pilarer i sjøen og en største spennvidde på ca. 260m. Mengdene for overbygning og landkar bestemmes ved å sammenligne med mengdene for Varrodbua i Kristiansand og skalere på bredde og lengde. Mengdene for Varrodbua bestemmes ved å trekke volumene ut av bruas 3D-autocad modell:



3D modell fra Autocad som viser Varrodbuas overbygning.



3D-Autocad av Varrodbuas underbygning. a) Landkar og b) brupilar.

For overbygning og landkar skaleres mengden med areal (overbygning) og bredde (landkar). Mengden for overbygning og landkar for Varrodbua bestemmes til:

- › Landkar: 739m³
- › Overbygning: 15550m³

Varroddbrua har en samlet lengde på 654m og en bredde på 19m. Færder har en samlet lengde på 565m og en bredde på 24m.

Den samlede mengde betong i overbygning Færder bru blir derfor:

$$> \quad W_{FBB,overb} = 15550 \cdot (565 \cdot 24) / (654 \cdot 19) = 16969m^3$$

Tilsvarende blir mengden betong i landkaret:

$$> \quad W_{FBB,landkar} = 739 \cdot 24 / 19 = 933m^3$$

Pilarene i akse 2 og 3 på Varoddbua har typisk tverrsnitt $30m^2$. Samme tverrsnitt benyttes for de to pilarene på Færder bru. Pilarene i vestfjorden vil ha høyde ca. 30m. Mengde betong i pilarer i Færder bru blir derfor:

$$> \quad W_{FBB,pilarer} = 2 \cdot 30 \cdot 30 = 1800m^3$$

Det legges lastfaktor 1,35 til grunn for egenvekt i bruddgrense Den samlede bruddgrenselast fra egenvekt overbygning, pilarer, og fundament for fritt frambygg brua er lik:

$$> \quad 1,35 (16969 + 1800 + 24192) \cdot 25 / 1000 = 1450MN.$$

En pel har ca. 10MN kapasitet i bruddgrense. Det vurderes at ca. 75% av dette kan benyttes til opptak av egenvekt av betong, og at svært lite last vil fordeles til landkar.

Med utgangspunkt i dette vil det være behov for ca. $1450MN / (0,75 \cdot 10) = 193$ peler.

Det legges inn 192 peler. Videre vurderes at middellengde av pelene vil være ca. 70m.

Samlet lengde av pelene blir derfor:

$$> \quad W_{FBB,peler} = 70m \cdot 192 = 13440m$$

Videre vurderes at pelene plasseres 12 i bredde tvers brua, og fordeles på totalt 8 rader. Pelehodet blir da 72m x 48m.

Tykkelse pelehode settes til 3.5m (midlere tykkelse), og volumet blir følgelig

$$> \quad W_{FBB,bru} = 2 \cdot 72 \cdot 48 \cdot 3.5 = 24192m^3$$

Kostnadsoverslag for fritt frambygg bru finnes i kapittel 5.3

5 Kostnader

5.1 Samvirkebru

Nedenstående viser et overslag over kostnader for samvirkebru. Til overslaget benyttes følgende enhetspriser:

Betong på land	10.000 NOK/m ³
Betong over vann	15.000 NOK/m ³
Betong i overbygning	15.000 NOK/m ³
Ståldrager	50.000 NOK/tonn
Peler	20.000 NOK/m (Pris forutsetter at ramming er mulig)

Samlet entreprisekostnad for samvirkebrua blir følgende:

Element	Mengde	Enhet	Enhetspris [NOK]	Pris [Mill. NOK]
Underbygning:				
1 Fundamenter akse 1+6	200	m ³	10.000	2
2 Brupilar akse 1+6	1236	m ³	10.000	12
3 Fundamenter akse 2-5	10080	m ³	15.000	151
4 Brupilar akse 2-5	3089	m ³	15.000	46
5 Peler	5200	m ³	20.000	104
6 Utstyr (Belegning, rekkverk etc.)		RS		30
7 Overbygning				
Stålkasse	6120	Ton6	50.000	306
Betong	5080	m ³	15.000	76
Sum inkl. Rigg+drift				728
Usikkerhet 15%				109
Samlet entreprisekostnad				837

5.2 Hengebru

Nedenstående vises et kostnadsoverslag for hengebruløsningen. Til overslaget benyttes følgende enhetspriser:

Tårn	26.000 NOK/m ³
Ståldrager	50.000 NOK/tonn
Kabelsystem	120.000 NOK/tonn

Prisen for tårnet tillegges 30% til rigg + drift.

Prisen for ståldrager er inklusive rigg + drift.

Prisen for kabelsystem inneholder omfatter bærekabelen samt hengestenger, kabelhoder, hengestangsfester, bevikling og forankringer. Prisen tillegges 30% til rigg + drift.

Prisen for forankringer skaleres ut fra Hålogalandsbrua. Her kostet forankringene 70mill. NOK (betong entreprise). Hålogaland forankrer 4 bærekabler med en kraft i hver på 148MN. For Færder er kraften 84MN. Det tillegges 10% for inflasjon. , Prisen for forankringer blir følgende:

$$> 70 \times 84/148 \times 1.1 = 44 \text{ mill. NOK}$$

Det avrundes oppover til 50 mill. NIK. Utover dette tilkommer 30% til rigg + drift for forankringen.

Samlet entreprisekostnad for hengebrua blir følgende:

Element	Mengde	Enhet	Enhetspris [NOK]	Pris [Mill. NOK]
1 Tårn	4320	m ³	26.000	112
2 Ståldrager	4872	tonn	50.000	244
3 Kabelsystem	918	tonn	120.000	111
4 Forankringer	1	-	50.000.000	50
5 Utstyr (Belegning, rekkverk etc.)		RS		30
Rigg + drift: 30% av [1], [3] og [4]				82
Sum				629
Usikkerhet 15%				94
Samlet entreprisekostnad				723

5.3 Fritt frambygg bru

Kostnad for fritt frambygg bru bestemmes ved å skalere mengder fra Varoddbrua og legge til mengden fra peler og pelefundamentene.

Nedenstående enhetspriser benyttes til prisoverslaget:

Overbygning	22.000 NOK/m ³
Landkar	10.000 NOK/m ³
Pilarer	15.000 NOK/m ³
Fundament	15 000 NOK/m ³
Peler	20.000 NOK/m (Forutsetter at pelene kan rammes)

Det knytter seg stor usikkerhet til kostnader for fritt frambygg bru. De fleste av disse bruene har blitt bygget av norske entreprenører, og har tradisjonelt vært relativt rimelige i innkjøp. Imidlertid har markedet endret seg, og norske entreprenører viser i øyeblikket liten interesse for å bygge store bru. Det er usikkert hvordan utenlandske entreprenører vil vurdere kostnadene for denne typen bru.

Det er svært kostnadskrevende å fundamenterer en så tung bru på peler. Det er mulig at de samlede kostandene kan reduseres noe ved å skifte ut deler av betongen i overbygningen med betong med lett tilslag,

Samlet entreprisekostnad for fritt frambyggbrua vurderes til:

Element	Mengde	Enhet	Enhetspris [NOK]	Pris [Mill. NOK]
1 Overbygning	16969	m ³	22.000	373
2 Landkar	939	m ³	10.000	9
3 Pilarer	1800	m ³	15.000	27
4 Fundament	24192	m ³	15.000	363
5 Peler	13440	m	20.000	269
6 Utstyr (Belegning, rekkverk etc.)		RS		30
Sum inkl. Rigg+drift				1071
Usikkerhet 15%				160
Samlet entreprisekostnad				1231

5.4 Extradosed bru

Vi har ikke tilgjengelig grunnlag for å kunne foreta en forenklet vurdering av kostnader for en extradosed bru.

For en extradosed bru med 4 pilarer i sjøen vurderes at brukassen blir noe billigere enn for en tilsvarende samvirkebru. På den annen side skal det bygges tårn og monteres skråkabler. Samlet sett vurderes extradosed brua til å bli tilsvarende eller noe dyrere enn samvirkebrua.

NB. Brua vist på arkitektens skisse avviker fra en kostnadmessig optimal extradosed bru. På grunn av tårnhøyde og kabelplassering vil den virke mer som en skråstagbru. Brua som vist har også kun 2 pilarer i sjøen og største spennvidde i området 260m som fritt frambyggbrua. Det vurderes at denne løsningen blir betydelig dyrere enn en mer ordinær extradosed bru.



6 Arkitektonisk vurdering

Arkitekten har gjort sin vurdering med utgangspunkt i stedlig geometri, veglinje og tilhørende vegbredde. Forutsetningen har vært at minimum en samvirkebru, en hengebru og en fritt frambygg bru skal med i vurderingen. I tillegg har det stått arkitekten fritt å foreslå ytterligere løsninger.

Resultat har blitt totalt 6 konsept for kryssing av fjorden. Arkitektens favoritter er extradosed brua og bjelkebru med Y-søylar under.

Som det framgår kan alle løsningene fungere godt i fjorden. Valget vil først og fremst dreie seg om man ønsker en enkel og diskret bru, som for eksempel samvirke brua (se 6.1), eller en mer utfordrende og monumental bru som en hengbru (se 6.2).

Vi gjør spesielt oppmerksom på at arkitektens skisser av tidsmessige grunner ikke er koordinert med kostnadsoverslag. For hengebru har for eksempel arkitekten lagt til grunn et A tårn, mens kostnadsestimatet benytter et tradisjonelt H-tårn. Vi vurderer at A tårnet vil bli noe dyrere enn et H-tårn, blant annet på grunn av høyere tårn og skråstilte kabelplan. Arkitektens innsats nå, bør først og fremst sees som en visualisering av hva som er mulig å få til innenfor rammen av de ulike konsept.

6.1 Samvirkebru



6.2 Hengebru



6.3 Fritt frambygg bru



6.4 Extradosed bru



6.5 Betongbue



6.6 Bjelke med Y-tårn



7 Risiko

Skipsstøt i driftsfasen anses av være den største risiko for bruene. Først og fremst gjelder dette bruer med fundamenter i sjøen. Denne risiko er derfor behandlet i eget avsnitt 7.5 Skipsstøt

7.1 Samvirkebru

Byggefase

- 1 Fundamentering skal utføres med peler i bløte leirmasser med stor mektighet. Arbeidet må utføres fra flåte og det usikkerhet knyttet til både dybder til berg, kvalitet av leira, helling bergoverflate (skrens) og kvalitet av berget. Det vil også være utfordrende å få disse pelen korrekt plassert med korrekt retning.
- 2 Ramming/boring av peler. Det er foreløpig ikke fastlagt hvorvidt peler kan rammes, eller om de må bores. Boring vil øke kostnaden for pelen med ca. 25%.
- 3 Det vil være omfattende aktivitet på sjøen under bygging. Skipssstøt og eventuelt også is kan være en utfordring.
- 4 Tunge løft av stålkonteiner krever gode værforhold. Lengre perioder med uvær kan skape forsinkelser.

Driftsfase

- 5 Endringer i strømningsforhold. I utgangspunktet er det vurdert at fundament i sjøen ikke vil skape spesielle utfordringer for strømmen i vannet i fjorden. Imidlertid vil sikring mot skipssstøt kunne medføre svært omfattende konstruksjoner, som likevel påvirker strømning. Potensielt kan det også medføre endringer av sjøbunnens topografi. Dette kan igjen være uheldig både for skipstrafikk og liv i sjøen.

7.2 Hengebru

Byggefase

- 1 Inneholder flere elementer (sadler, hengere, hengestangsfester etc.) end f.eks. fritt frambygg brua og det er derfor større risiko for forsinkelser i byggefasen.
- 2 Hengebrua stiller høye krav til kvalitet av fjellet. Spesielt for å kunne forankre bærekablen, men også under fundament for tårnet.
- 3 Det er generelt utfordrende å få til gode og effektive forankringer for bærekablene. På Færdersiden kan det være utfordringer med plassering av kablene ved siden av tunnelene. På Smørberg har vi foreløpig mangelfull informasjon om løsmasser over fjell.

Driftsfase

Ingen spesielle risikoer er funnet.

7.3 Fritt frambygg bru

Byggefase

- 1 Vind. På grunn av stor utkragning under byggefasen er denne brutypen følsom for vind. Denne risiko forsterkes ved at brua står på lange peler. Redusert stivhet av fundamentering, medfører flere egenmoder med lange egenperioder og dermed flere aktuelle moder som kan eksiteres. Dynamisk påslag på laster kan medføre betydelig økning av antall peler.
- 2 Vind. Bevegelser i brua på grunn av vind kan være utfordrende for framdriften.
- 3 Tiltak på sjøbunnen. Det skal fordeles ca. 192 peler på et område av nesten 7000m³. Det er usikkert hvordan miljømyndighetene vil stille seg til dette, og det kan derfor oppstå forsinkelser i framdriften.

Videre vil risiko 1, 2 og 3 for samvirkebrua gjelde også for fritt frambygg bruer. Konsekvenser av hendelser knyttet til risiko 1 og 2, vil imidlertid kunne bli mye høyere da antall peler er økt betydelig.

Driftsfase

- 4 Tiltak på sjøbunnen. Svært omfattende tiltak i fjorden kan medføre endringer i strømning, og potensielt også endringer i sjøbunnens topografi. Endringer av sjøbunnen kan igjen være uheldig både for skipstrafikk og fisk, dyr og planter i fjorden.

Se også risiko 5 for samvirkebrua

7.4 Extradosed bru

Byggefase

På grunn av sin sammensatte karakter, vil extradosed bruer være utsatt både for risiko knyttet til bjelkebruer og til kabelbruer. Se følgende risiko 1 til 4 for samvirkebru og risiko 1. for hengebrua.

Driftsfase

Se risiko 5 for samvirkebrua.

7.5 Skipsstøt

Skipsstøt vil være en utfordring både i byggefase og driftsfase. Det bør være mulig å begrense trafikken i Vestfjorden i kritiske deler av byggeperioden, og konsekvensene i driftsfasen vil være betydelig større enn i byggefasen. Videre utredning av tema i denne rapporten vil derfor omhandle driftsfasen.

7.5.1 Trafikk i fjorden

Studier av trafikk i Vestfjorden de siste 6 år viser trafikk av skip med lengder opp til 168m og DWT 19382t. Hovedparten av de 2131 passeringer av brustedet som har foregått i perioden har vært med mindre skip og seilbåter, men det er også en kontinuerlig trafikk av større skip.

Skipenes fart nær den planlagte brua er ca. 7 knop og på basis av denne farten og skipenes vekt, kan kvasi-statiske støtlaster for passerende skip estimeres. I følge Statens vegvesens Hb. N400, skal Eurocode legges til grunn. I henhold til Eurocode kan støtkrefter opp til 135MN forekomme med dagens trafikk.

Fri seilingshøyde 40m vil begrense størrelsen på skipstrafikken noe. Med utgangspunkt i registret skipstrafikk med høyde mindre enn 40m, kan støtkraft 109MN legges til grunn.

Vestfjorden er eneste mulig innseiling til Tønsberg for skip av denne størrelsen.

7.5.2 Konsekvenser for samvirkebru

Samvirkebrua vil ha ca. 20 peler pr. fundament for å sikre kapasitet i bruddgrense. Dette vil gi en viss kapasitet for skipsstøt, men ikke tilstrekkelig for støt fra større skip. Uansett om sikring mot skippstøt gjøres i form av forsterkning av bruas egne fundament eller som separate konstruksjoner vil dette medføre behov for et betydelig antall ekstra peler.

Kostnader for å sikre mot skipsstøt lar seg vanskelig kvantifisere nå, men det vurderes skjønnsmessig at det må monteres flere titalls peler for å sikre mot støt.

Økning kostnad pr. ekstra pel:

Pel:	70m x 20.000,-	= 1.400.000,-
Pelehode:	6m x 6m x 3,5m x 15.000,-	= 1.890.000,-
Sum		= 3.290.000,-

7.5.3 Konsekvenser for hengebru

Hengebrua har ingen fundamenter i sjøen, og underbygningen vil derfor ikke være utsatt for støt fra skip.

Overbygningen kan være utsatt for støt fra skip høyere enn 40m. Sannsynlighet for en slik hendelse vurderes som svært lav, og hendelsen blir normalt neglisjert for norske bruer.

7.5.4 Konsekvenser for fritt frambygg bru

Den foreløpige vurderingen av peler tilsier ca. 96 peler pr. fundament for å sikre kapasitet i bruddgrense. Med 96 peler vil det være betydelig kapasitet for støt fra skip. Det vurderes som sannsynlig at fundamentene vil ha tilstrekkelig kapasitet for støt fra skip.

I og med at fundamentene uansett blir svært kraftige, vil eventuell ytterligere forsterkning mot støt fra skip utføres ved montering av ekstra peler. Kostnader for ekstra peler er tilsvarende som for samvirke brua.

7.5.5 Extradosed bru

Det vurderes at extradosed brua har tilsvarende fundament som samvirkebrua. Den vil følgelig ha tilsvarende utfordringer med skipsstøt.

8 Referanser / kilder

- Beitstadsundbrua. Beregninger og tegninger. Enhetspriser.
- Hålogalandsbrua. Enhetspriser.
- Bjørnafjorden. Flytebru fase 5. Enhetspriser fra kostnadsestimat AMC.
- Varoddbrua. Betongmengder for overbygning, landkar og pilarer for fritt frambyggbru er hentet fra 3d modellen for brua.

9 Vedlegg

Vedlegg 1: Alternativ samvirkebru. Beregningsrapport

Vedlegg 2: Skipstrafikkanalyse