

Todalsfjordprosjektet

Skisseprosjekt

Flytebru Kvanne - Rykkjem

13835-01-OON-R-01

Revisjon 01

Mars 2023



Innhold

| | |
|---|-----------|
| INNHold | 2 |
| SAMMENDRAG | 3 |
| 1 INNLEDNING | 4 |
| 2 FORUTSETNINGER | 5 |
| Generelle forutsetninger | 5 |
| Prosjekteringsforutsetninger | 5 |
| Stedlige forhold | 6 |
| Miljølaster | 7 |
| Ulykkeslaster | 8 |
| 3 BRUTRASÉ | 9 |
| Traséalternativer | 9 |
| Valgt kryssningstrasé | 9 |
| 4 TILFØRSELSVEGER | 9 |
| Generelt | 9 |
| Rykkjem | 9 |
| Kvanne | 10 |
| 5 BRULØSNING | 11 |
| Beskrivelse | 11 |
| 6 LASTVIRKNINGER | 13 |
| Generelt | 13 |
| Analysemetode | 13 |
| Egenverdianalyser | 13 |
| Bevegelsesbegrensinger | 13 |
| Spenningskontroll i bruddgrensetilstanden | 13 |
| Skipsstøt | 14 |
| Utmatting | 14 |
| 7 BYGGING OG INSTALLASJON | 15 |
| Generelt | 15 |
| Overordnet beskrivelse | 15 |
| Produksjonsteknologi | 15 |
| Fabrikasjon av flytebruelementer | 15 |
| Sammenstilling | 15 |
| Installasjon | 16 |
| 8 KOSTNADSANSLAG | 17 |
| 9 MILJØREGNSKAP | 17 |
| 10 REFERANSER | 19 |



Sammendrag

Dr.techn. Olav Olsen i samarbeid med *Prodtex AS* som underleverandør har på oppdrag fra *Todalsfjordprosjektet AS* utført et skisseprosjekt for flytebruforbindelse over Todalsfjorden. Bakgrunnen for studien har vært å utnytte 'state-of-art' og senere tids erfaringer fra utvikling av flytebruløsninger for fergefri E39 i vurderingen av om flytebru kan være et konkurransedyktig alternativ til den løsningen som er vedtatt i kommunedelplanen for fergefri forbindelse over Todalsfjorden.

For strekningen Kvanne – Rykkjem, som ansees som den mest rasjonelle kryssingstraséen, er det utredet et flytebrukonsept basert på en endeforankret bue med høybrekk og fast seilingsled midtfjords. Linjeføringen drar fordel av 'korteste vei' over fjorden og utnytter og også de gunstige grunnforholdene på Kvenneset og Rykkjemneset for plassering av landfester. For bruløsningen er det utført en prinsipiell dimensjonering med fastlegging av hoveddimensjoner som grunnlag for en kostnadskalkyle. Det er foretatt planlegging og detaljering av fabrikasjon, transport og sammenstilling av flytebrua med bistand fra *Prodtex AS*, som potensiell stålleverandør, også har levert detaljert prisinformasjon for stålleveransen tilsv. ~80 % av entreprisekostnaden. Kostnadsestimatet er rapportert i eget anslagsnotat.

1 Innledning

Dr.techn. Olav Olsen ble i januar 2023 engasjert av *Todalsfjordprosjektet AS* til å gjennomføre et skisseprosjekt av den mest kostnadseffektive flytebruløsningen i traséen for ferjestrekningen Kvanne-Rykkjem. Motivasjonen for studiet var å framskaffe et bedre grunnlag for en vurdering om flytebru kan være et godt alternativ til den løsningen som ligger til grunn i eksisterende kommunedelplaner for Todalsfjordprosjektet; ny veg fra Åsbøen til Svinvik, hengebru fra Svinvik til Rakaneset, og tunnel fra Rakaneset til Ålvundfossen. Verdianalysen for prosjektet, som ble gjennomført på forsommeren 2022, konkluderte med at en flytebruløsning ville bli for dyr og anbefalte å ikke vurdere den videre. Todalsfjordprosjektet AS mente likevel at denne konklusjonen kunne vært fattet på et feil grunnlag og initierte derfor dette prosjektet.

Flytebruer er spesielt egnet til bruk i ferjeavløsningsprosjekter i beskyttede fjorder og der det ligger godt til rette for å gjenbruke eksisterende veg. Traséen mellom Kvanne og Rykkjem i Todalsfjorden møter ved første øyekast disse kriteriene, og vi deler derfor flere av vurderingene i verdianalysen rundt flytebru som alternativ, inkludert at en løsning fra ferjekai til ferjekai vil kunne være den mest gunstige, ikke minst ift. både den økonomiske og miljømessige bærekraften til prosjektet.

Arbeidet med skisseprosjektet mener vi har demonstrert dette: en flytebru mellom Kvenneset og Rykkjemsneset framstår som en fornuftig løsning for Todalsfjordprosjektet – teknologisk, økonomisk og med minimale miljøinngrep. Med en 2 000m lang flytebru og ca. 500 m ny veg for å koble seg på det eksisterende vegnettet, kan samfunnsmålene i prosjektet nås, på en rask og relativ rimelig og risikovennlig måte.

Et skisseprosjekt er ikke ment å være en fullstendig analyse av en slik flytebruløsning, og vi har i rapporten påpekt flere områder som vil kreve mer arbeide, f.eks. innhenting av mere data om miljølast. Likevel mener vi at grunnlaget for rapporten er godt, ikke minst på teknologi- og kostnadssiden, der vi har fått prisinformasjon basert på oppdaterte kalkyler fra en norsk, potensiell stålleverandør (*Prodtex AS*). Vi har også fått tilgang på verdifull lokalkunnskap, gjennom et tett samarbeide med Todalsfjordprosjektet AS.



2 Forutsetninger

Generelle forutsetninger

Offentlige planer

Gjennom et interkommunalt samarbeid mellom Sunndal og Surnadal kommune er det utarbeidet og vedtatt (nov. 2020) en kommunedelplan for fremtidig fergefri kryssing av Todalsfjorden. Planprogrammet er fastsatt på bakgrunn av et forprosjekt utarbeidet av Statens vegvesen i 2015 som anbefaler tunnel fra Ålvundfossen og henge- eller flytebru i 2 fjordkryssingstraséer mellom hhv. Rakaneset – Svinvika og Skifteshammaren – Kammen (Figur 2-1). Kommunedelplanen [1] anbefaler så hengebru mellom Rakaneset-Svinvika for videre bearbeiding. En flytebruløsning vurderes innenfor realistiske kostnadsrammer som uaktuell for seilingshøyde over 10 – 15 m og forkastes etter fastsetting av seilingshøyden til 25 m.

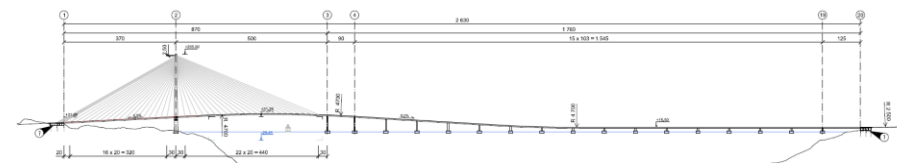


Figur 2-1: Hovedtraséer i planprogrammet [1].



Figur 2-2: Mulige flytebrutraséer [1].

I en verdianalyse [2] utført som del av reguleringsplanprosessen ble det foretatt en vurdering av mulig andre kryssingskonsepter som ikke var dekket av Statens vegvesens utredning fra 2015, vist som Alt. 2c, 4 og 5 i Figur 2-2. Verdianalysen identifiserer fergetraséen mellom Rykkjem og Kvanne som den mest interessante kryssingskorridoren siden vesentlige kostnader for tilknytninger kan unngås mot en moderat økning i flytebrulengden (1 800 → 2 000 m). Flytebrukonseptet utviklet av Dr.techn. Olav Olsen/Norconsult for Halsafjorden (Figur 2-3) trekkes frem som aktuell løsning. Prosjektkostnaden for løsningen med en endeforankret flytebru i kombinasjon med skråtagsbru over seilingsleden blir anslått til 5.6 mrd. kr basert på med løpemeterkostnader på hhv. 1.2 og 3.5 mill. kr/m for hhv. høybru og flytebru. Konseptet ble dermed vurdert som ikke konkurransedyktig.



Figur 2-3: Flytebrukonsept utredet for Halsafjorden som gjengitt i verdianalysen [2].

Kartgrunnlag

Koordinatsystem for grunnriss for georeferert dokumentasjon skal iht. Statens vegvesens Hb. V770 være:

- Datum : EUREF89
- Kartprojeksjon : NTM
- Sone : 6

Som nullnivå benyttes Normalnull 2000 (NN2000). Dybde data i denne fasen hentes fra Kartverkets elektroniske sjøkart.

Trafikkbelastning

Trafikkbelastningen (ÅDT) på fergesambandet var i 2022 på 460 med en tungtrafikkandel på 13 %. For brusambandet er det i KDP angitt en trafikkprognose for 2030 med ÅDT på ca. 570. I transportanalysen [1] er trafikkgrunnlaget for Todalsfjordforbindelsen estimert til 1 300 – 1 690 ÅDT avhengig av hvilke forutsetninger for utbygging av fergefri E39 prosjektene som legges til grunn.

Vegstandard

Todalsfjordbrua planlegges iht. KDP i dimensjoneringsklasse Hø1 – Øvrige hovedveger, ÅDT < 4000 med skiltet fartsgrense 80 km/t. Kryssingen tilrettelegges for gang- og sykkelforbindelse med adskilt G/S-veg med bredde min. 3.0 m.

Prosjekteringsforutsetninger

Prosjekteringsgrunnlag

Brukonstruksjonene prosjekteres iht. norsk standard, Eurokodene NS-EN 199X, supplert av bestemmelser i Statens vegvesens Håndbok N400 Bruprosjektering og andre relevante håndbøker med gjeldene utgaver pr. sep. 2019, herunder:

- N100 Veg- og gateutforming
- N200 Vegbygging
- N500 Vegtunneler
- R761 Prosesskode 1 – Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter
- R762 Prosesskode 2 – Standard beskrivelsestekster for bruer og kaier

Planlegging og vurdering av marine operasjoner foretas iht. til DNVGLs regelverk DNV-RP-H101 – H104.

Klassifisering

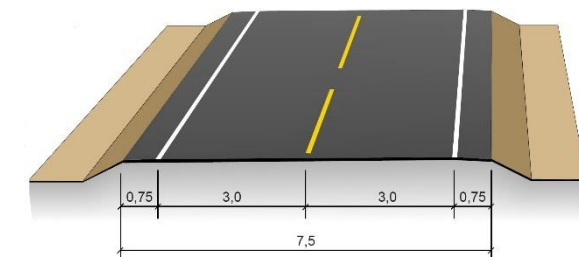
I hht. NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016, tabell NA.A1 (901) klassifiseres brukonstruksjonene generelt i Pålitelighetsklasse 3. For konstruksjoner i pålitelighetsklasse 3 er det krav til utvidet kontroll for både prosjektering og utførelse jmf. NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 NA.A1.3.1(903)/(904).

Brukstid

Brusambandet skal iht. Hb N400 1.1.6.1 prosjekteres for 100-års dimensjonerende brukstid.

Utforming

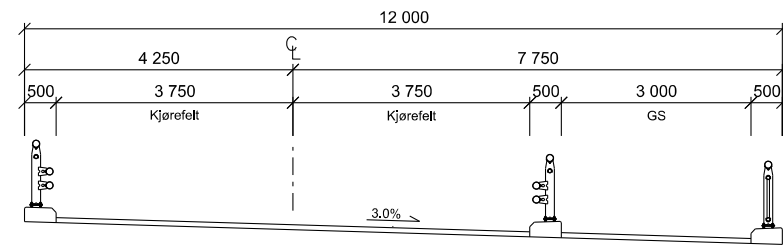
Tverrprofil for veg



Figur 2-4: Tverrprofil for Hø1 (mål i mm).

Tverrprofil for bru

Tverrprofil forutsatt for bru er vist i Figur 2-5. Føringsbredden på 7.5 m oppfyller kravet til minste føringsbredde på bru iht. N100. Tverrfallet vil være avhengig av bruas horisontale linjeføring. Minimum tverrfall for rettstrekk er 3 %.



Figur 2-5: Tverrprofil for bru.

Seilingsled

Surnadal og Sunndal kommune har i forbindelse med planarbeidet fattet vedtak om en friseilingshøyde på 25 m for en hengebru mellom Rakaneset – Svinvika. Det er lite som tilsier behov for endring av friseilingshøyden ved å flytte kryssingstraséen ut til dagens fergetraséen. For dette skisseprosjektet legges derfor samme krav til seilingsled som forutsatt i kommunedelplanen:

- Seilingsåpning B x H : 124 x 25 m

Fri seilingshøyde måles fra HAT (høyeste astronomiske tidevann).

Stedlige forhold

Topografi

Den her undersøkte brutraséen ligger i et åpent fjordlandskap med stigende terreng på nordøstsiden av fjorden og en morenerygg med åslandskap på sørvestsiden som avgrensning mot Ålvundsfjorden. Fjellmassivet som følger nordøstsiden av fjorden har topp på rundt 900 m, mens åsryggene på sørsiden ligger ca. over 120 m fjorden. Avstand mellom fergeteiene er 2 500 m i luftlinje. Korteste avstand over fjorden er 1 870 m mellom Rykkjemneset og Kvannaneset.

Grunnforhold

Geologi og løsmasseforholdene er vurdert på bakgrunn av berggrunnskart og løsmassekart med marine grense fra NGU. I følge NADAG (Nasjonal Database for Grunnundersøkelser) er det utført grunnboringer/totalsonderinger for anleggelse av ny fergekai på Rykkjem (1993). På Kvanne er det utført grunnundersøkelser for utbedring av fergekai i 2006/2007 og for bygging av ny tilleggskai i 2011. For øvrig er det ikke kjennskap til tidligere grunnundersøkelser innenfor den aktuelle kryssingskorridoren.

Rykkjem

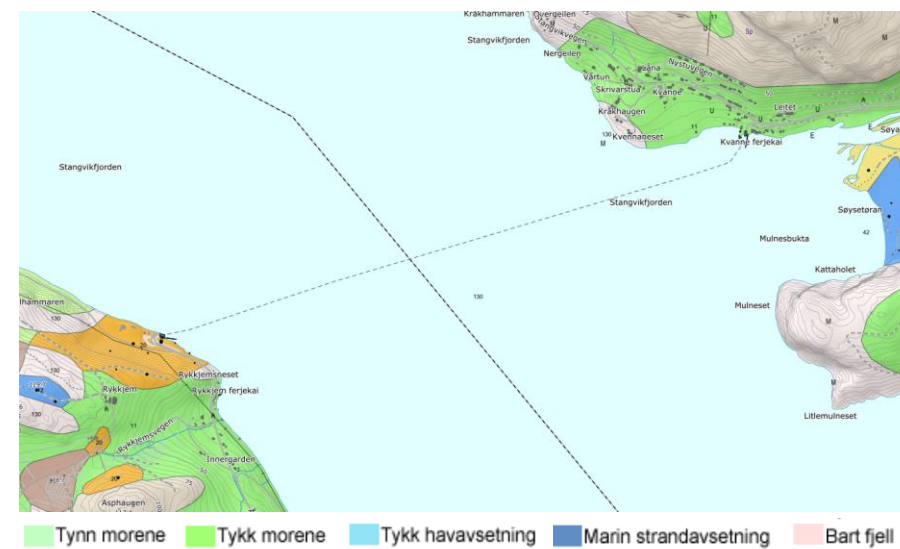
Løsmassemengden på rundt Rykkjemneset er generelt relativt liten og det er blottlagt berg i 'landingsområdet' på begge sider av fylkesvegen (Fv 670). Løsmassene består hovedsakelig av morene fra breelavsetninger.

Kvanne

I området ved fergeteiet viser det kvartærgeologiske kartgrunnlaget tykke morene på land og elve- og marine strandavsetninger i elvemunningen til Søya. Massene domineres av meget løst lagret ensgradert sand og silt trolig med overgang til leire mot dybden. Ifølge [3] er det ikke påvist kvikkleire i området, men det er registrert 'Mulighet for sammenhengende forekomst av marin leire' i dette området på NVE sine temakart over kvikkleireforekomster.

Løsmasseoverdekningen inne ved eksisterende kai er rundt 20 m, noe avtagende utover sjøen. Bergoverflaten faller utover sjøen og mot øst. Mot vest stiger berget frem til ytterst på ved Kvannaneset hvor det er synlig berg i dagen. Løsmasselaget mellom 'bergryggen' på Kvannaneset og fergeteie beskrives som fastere morenemasser.

Ut ifra overordnet kunnskap om grunnforhold som er tilgjengelig for prosjektgruppen på dette stadiet, vurderes grunnforholdene og forutsetningene for fundamentering av landfester på berg som gode på begge sider av fjorden. Ifølge NGU sitt berggrunnskart, er granittisk gneis dominerende bergart innenfor korridoren på begge sider av fjorden.



Figur 2-6: Oversikt over geotekniske forhold på brustedet (kilde: NGU).



Figur 2-7: Sørsiden av fjorden sett mot Rykkjemneset (kilde: Google Maps).



Figur 2-8: Nordsiden av fjorden sett mot Kvanne (kilde: Google Maps).

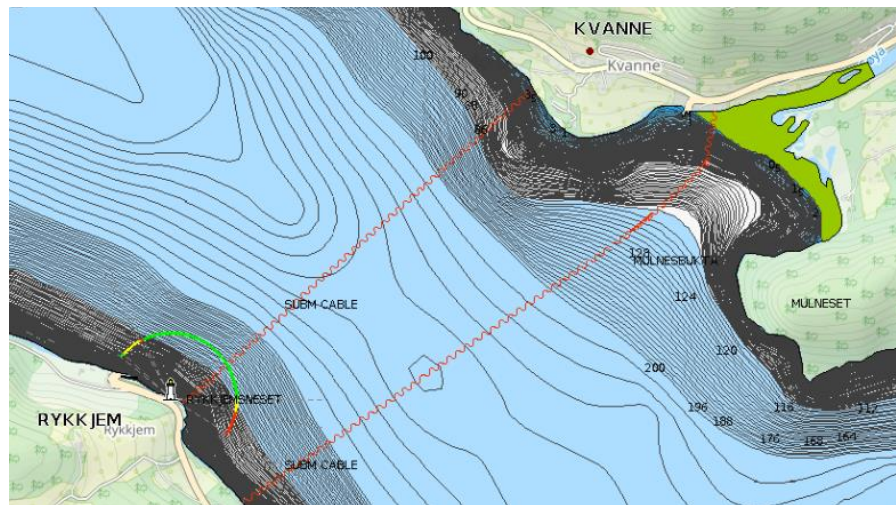


Figur 2-9: Aktsomhetskart for jord-, flom- og snøskred samt registrerte skredhendelser (kilde: NVE).

NVEs Aktsomhetskart (Figur 2-9) viser ingen potensiell fare for jord- og flomskred innenfor krysningskorridoren samt for snøskred og steinsprang i fjellsiden under Kvennaåsen.

Marine grunnforhold

Sjøbunnen i krysningssonen karakteriseres av et forholdsvis flatt fjordgulv på ca. 260 m dybde og steile skråninger mot land på begge sider. Grunnforholdene i sjøen mellom Rykkjem og Kvanne er ikke kjent, men vil ikke ha betydning for det aktuelle krysningskonseptet bortsett fra for evt. midlertidig forankring i installasjonsfasen.



Figur 2-10: Batymetriske kart Rykkjem – Kvanne (kilde: www.navionics.com).

Miljølast

Det foreligger ikke konkrete miljødata for krysningsstedet mellom Rykkjem og Kvanne. Å ta utgangspunkt i referanseverdier fra Eurokoden for å beregne vind og deretter beregne bølgehøyder basert på strøklengder er et alternativ man kan benytte seg av for å oppdrive et lastgrunnlag, men dette gir som oftest veldig konservative laster. For en mer realistisk vurdering av miljølastene er det valgt å ta utgangspunkt i miljølast som er utarbeidet for Halsafjorden, [4]. Dette er en fjord som ligger i samme fjordsystem, men et stykke lenger ut mot det åpne hav, men på generelt basis er sammenlignbar på dybde, bredde og strøklengder. Det er ikke gitt at bruk av disse lastene er konservativt for Todalsfjorden, men det gir etter all sannsynlighet laster som er betydelig mer realistiske enn hva man kan oppdrive fra strøklengdebetraktning. For å ta hensyn til risikoen for at man ikke er konservative er det valgt å skalere signifikant bølgehøyde og tilhørende bølgeperiode opp med 10%, samt vindhastigheten.

Vind

Middelvindhastigheter for høyde 50.3 m er vist i Tabell 2-1. Verdier inkluderer en oppklarering med 10% fra Halsafjorden.

Tabell 2-1: 10 min, 1h og 3h middelvindhastigheter for relevante returperioder ii høyde 50.3 m [m/s].

| Returperiode | 1 år | 10 år | 50 år | 100 år |
|-------------------------|------|-------|-------|--------|
| V _m (10 min) | 22.6 | 27.9 | 31.1 | 32.5 |
| V _m (1 h) | 21.7 | 26.7 | 29.8 | 31.1 |
| V _m (3 h) | 19.6 | 21.9 | 24.4 | 25.4 |

Det er benyttet en vindeksponentfaktor på 0.06. Som et eksempel gir dette en 10min middelvinds-hastighet på ca. 28.3m/s, 10m over havnivå. Det er benyttet en turbulensintensitetsfaktor på 0.14.

Bølger

Todalsfjorden er skjermet for dønningsbølger, og vindbølger blir dimensjonerende. Dimensjonerende verdier for signifikant bølgehøyde og tilhørende bølgeperiode er vist i Tabell 2-2. Disse baserer seg som nevnt på målinger og simuleringer fra Halsafjorden [4], men er skalert opp med 10%.

Tabell 2-2 Målt og simulert bølgetilstand i Halsafjorden, økt med 10% (100 års returperiode). Retning 0 grader er en rett linje fra landkar vest til landkar øst.

| Retning [grader] | H _s [m] | T _p [s] |
|------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | 0.59 | 2.46 |
| 30 | 0.55 | 2.41 |
| 60 | 1.02 | 3.74 |
| 90 | 1.45 | 4.57 |
| 120 | 1.89 | 4.84 |
| 150 | 0.83 | 3.36 |
| 180 | 0.45 | 2.24 |

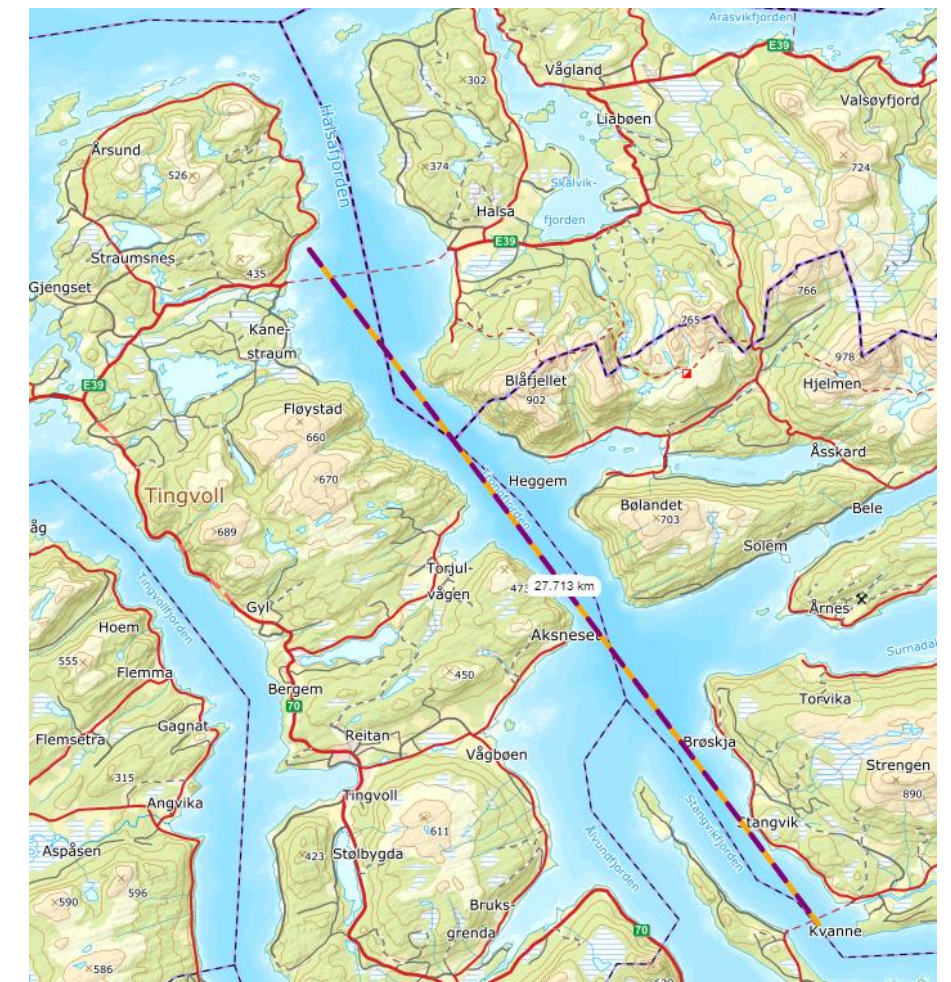
Ved bygging utenfor brostedet, etableres dimensjonerende bølge-, vind- og strømtilstand på bakgrunn av værkrakterier for slep.

Strøm

Dimensjonerende verdier for strøm er gitt i tabell under. Disse er som bølger og vind basert på målinger i simuleringer for Halsafjorden [4].

Tabell 2-3: Ekstremverdier av strøm målt i Halsafjorden ved 0.3 m dybde.

| Returperiode [år] | Hastighet [cm/m] |
|-------------------|------------------|
| 10 | 116 |
| 50 | 129 |
| 100 | 135 |



Figur 2-11: Illustrasjon av strøklengde. Flytebru tenkt sørøst på illustrasjonen.

Tidevann

Den lokale vannstanden bestemmes av astronomiske komponenter med lokale variasjoner. Dataen er hentet fra Tidevannstabeller – For den norske kyst med Svalbard [4] og er hentet fra primærhavnen Kristiansund.

Tabell 2-4 Vannstands nivåer

| Returperiode [år] | Høy [m] | Lav [m] |
|-------------------|---------|---------|
| 1 | 2.57 | -0.07 |
| 10 | 2.76 | -0.22 |
| 100 | 2.93 | -0.36 |
| 10 000 | 3.16 | -0.56 |

Marin begroing

Marin begroing skal antas å kunne forekomme på konstruksjonsflater i skvalpesonen og fullt neddykket. Bidrag fra marin begroing medtas ikke i beregning av oppdrift.

Tabell 2-5 Marin begroing [5].

| Dybde | Tykkelse | Masse | Dykket tyngde |
|-------|----------|-------|---------------|
|-------|----------|-------|---------------|

| m | mm | kg/m ² | N/m ² |
|--------------|-----|-------------------|------------------|
| +0.5 til -12 | 150 | 200 | 468 |
| < -12 | 75 | 100 | 234 |

Snø og is

Islaster på pongtonger anses ikke å være dimensjonerende og reflekteres ikke på skisseprosjektstadiet.

Temperatur

Temperatur er hentet fra NS-EN 1991-1-5:2003+ NA:2008 NA.A.2. For å ta hensyn til klimaforandringer skal maksimumstemperaturen økes med 6°C der det er ufordelaktig.

| Returperiode [år] | Min T [°C] | Max T [°C] |
|-------------------|------------|------------|
| 50 | -18 | +33 |

Ulykkeslaster

Skipspåkjørsel

Sannsynlighet og tilhørende støtenergier for skipspåkjørsler beregnes på bakgrunn av trafikkdata. Som fremgår av Tabell 2-6 er det begrenset skipstrafikk i det aktuelle området. Av skip som har betydning for skipspåkjørsel, passeres brutraséen primært av lastebåter med sandfrakt fra Todalsøra med mindre enn 20 passeringer årlig. Iht. kommunedelplanen er det for øvrig ikke planlagt med fremtidig næringsutvikling som vil kunne påvirke skipstrafikken i Todalsfjorden.

Tabell 2-6: Skipspasseringer over passeringslinje Rykkjem – Kvanne sortert etter lengdegruppe (Kystdatahuset.no)

| År | < 24 m | 24 – 50 m | 50 – 70 m | Totalt |
|------|--------|-----------|-----------|--------|
| 2020 | 14 | 2 | 14 | 30 |
| 2021 | 12 | 5 | 10 | 27 |
| 2022 | 38 | 8 | 0 | 44 |

Inntil det foretas en spesifikk risikoanalyse for brukrysningen, benyttes data for dimensjonerende skip fra risikoanalysen for utredning av flytebru over Halsafjorden (2022) til å estimere støtenergien for ulykkesgrensetilstanden (returperiode 10 000 år). Risikoanalysen utført for Halsafjorden viste at kun pongtongene nærmest seilingsløpet har høyere årlig kollisjonssannsynlighet enn 10⁻⁴, og i tillegg kun for drivende mindre skip med meget lav støtenergi (< 2MJ). Med en passeringsfrekvens mindre enn 1/10 den i Halsafjorden, forventes en risikoanalyse å gi tilsvarende for Todalsfjorden.

Tabell 2-7: Masse, hastighet og støtenergi for 0-graders støt skip-pongton, Bjørnafjorden fase 5 og for Halsafjorden.

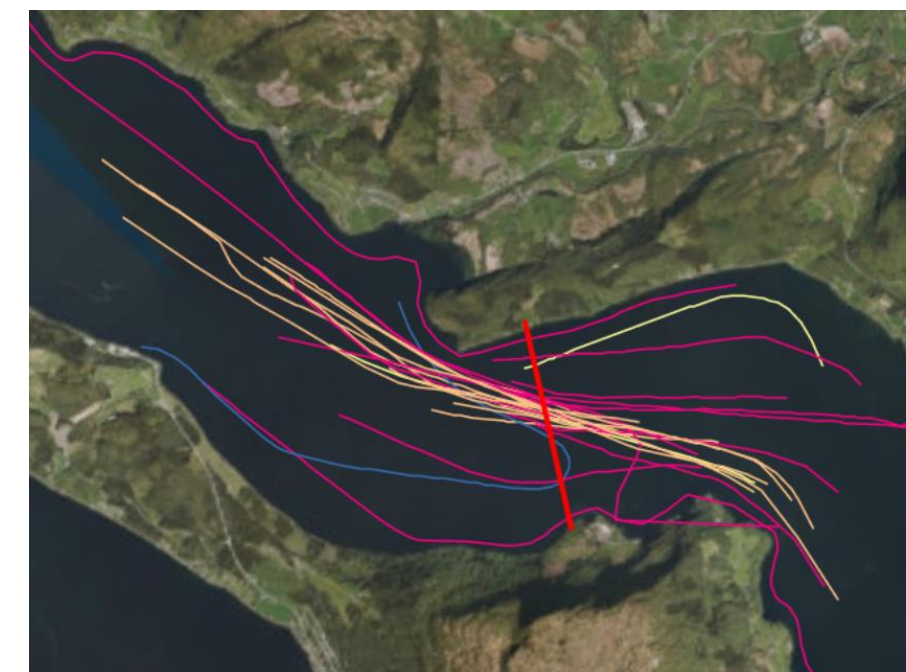
| Kryssning | Masse [tonn] | Hastighet [m/s] | Støtenergi [MJ] ¹ |
|---------------|--------------|-----------------|------------------------------|
| Bjørnafjorden | 14 933 | 5.60 | 246 |
| Halsafjorden | 6 500 | 3.20 | 35 ² |

1) Inkluderer 5 % tilleggsmasse 2) Tentativt i påvente av detaljert risikoanalyse.

For Halsafjorden ble det valgt å bruke en idealisert kraft-forskyvningskurve med basis i arbeidet med lokale skipsstøtanalyser mellom baugen på et containerskip og stålpongton utført i forbindelse med prosjekt Bjørnafjorden fase 5 (2019) (SBJ-33-C5-OON-22-RE-014-B K12 - Ship impact, Pontoons and columns), se Figur 2-12. Største pongton modellert for Bjørnafjorden fase 5 er ubetydelig større (58x16x9 m mot 54x16x8 m), mens masse og hastighet av skip lagt som er presentert i dette kapitlet for Halsafjorden flytebru er vesentlig lavere, se Tabell 2-7.



Figur 2-12: Kraft-forskyvningskurve, skipsstøtanalyse Bjørnafjorden fase 5 (blå) og idealisert for Halsafjorden (oransje).



Figur 2-13: Skipspasseringer av brutraséen i 2021 basert på AIS-data, i alt 27 passeringer (www.kystvarehuset.no).

Tsunami

Skredinduserte bølger er bølger som er generert av skred (fragmentert berg eller løsmasser) som faller ned i sjøen. Slike skred kan indusere store bølger som beveger seg ut fra innfallspunktet, og som etter noe avstand får karakter av tsunamibølger.

Det er ifølge NVE ikke angitt noen potensielt truende skredlokasjoner som kan indusere skredbølger for Todalsfjorden [6].

3 Brutrasé

Traséalternativer

Flytebru med skipspassasje midtfjords kan utføres som endeforankret buebru som løftes opp som en bøttehank. Endeforankringen innebærer at alle horisontale laster som virker på brua overføres til landkarene via buevirkning. Denne bærevirkningen gjør brua uavhengig fra sideveis stabilisering og forankring til sjøbunnen, men legger samtidig premisser for brua horisontale linjeføring. Med dette som forutsetning, er det som vist i Figur 3-1 sett på 2 alternative traséer for kryssingen mellom Rykkjem og Kvanne. Felles for begge er at de utnytter de gunstige grunnforholdene på Rykkjemeset for plassering av landkar.

Det er nedenfor gitt en kort beskrivelse av begge traséalternativene. Tabell 3-1 viser lengde og oppbygning fordelt på hovedløp og tilknytningsveier.

Traséalternativ 1

Brutraséen følger korteste distanse over fjorden med landkar på Rykkjemeset og Kvenneset. Det er valgt en linjeføring med horisontal radius R_H lik 1 950 m og bueretningen orientert etter linjeføringen for tilknytningsvegene på begge sider. Vertikalt ligger linjen med et svakt høybrekk med høyeste punkt midtfjords. Minste seilingshøyde under flytebrua er satt til 4 m ved landfestene og midtfjords er seilingshøyden 25 m. Vertikalprofilen gir største stigning ved landkar til 1.0 %.

Traséalternativ 2

Denne trasévarianten forutsetter landing ved eksisterende fergeleie på Kvanne-siden. Horisontalbuen er her vendt inn fjorden for å unngå konflikt med land på Kvanne-siden. Det er valgt en linjeføring med tilsv. samme pilhøydeforhold med horisontalradius R_H på 2 400 m. Vertikalprofilen følger samme geometriske prinsipp (bøttehank) som Alternativ 1 med høybrekk og høyeste punkt midtfjords. Fri høyde under flytebrua er 4 og 25 m ved landfestene og midtfjords er seilingshøyden 25 m ved hhv. landkar og i seilingsleden. Grunnet noe lengre brulengde er største stigning ved landkar noe mindre (0.9 %).

Tabell 3-1: Lengde og oppbygning av traséalternativene [m]

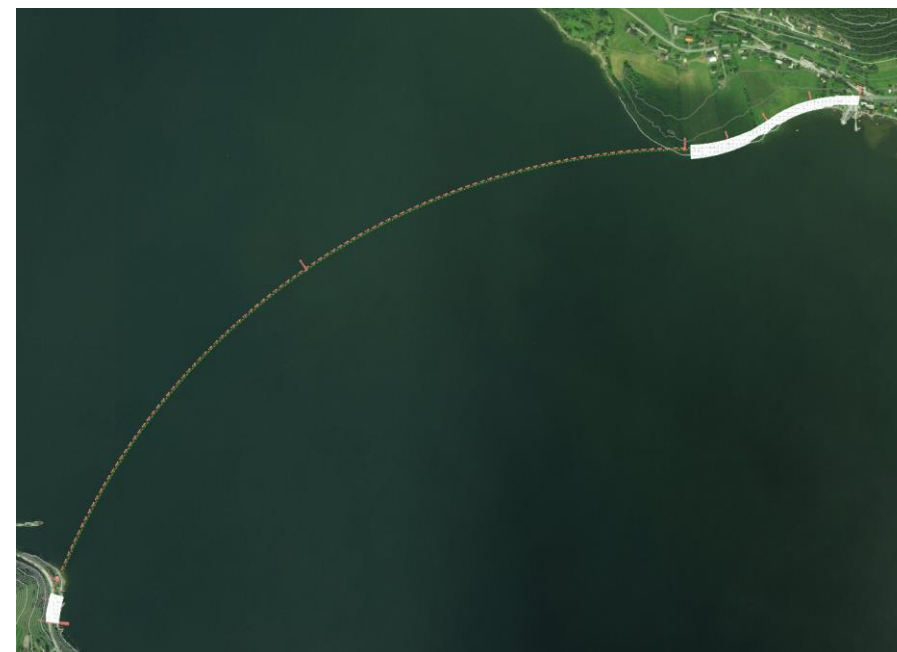
| Alt. | Rykkjem | Flytebru | Kvanne | Totalt |
|------|---------|----------|--------|--------|
| | Veg | | Veg | |
| 1 | 70 | 2 050 | 450 | 2 570 |
| 2 | 70 | 2 400 | 70 | 2 540 |



Figur 3-1: Oversikt over identifiserte kryssningsalternativer og foreslått linjeføring.

Valgt kryssningstrasé

Siden kostnadsforholdet mellom bru og tilknytningsveger vil være i størrelsesorden 10 : 1, vil brulengde være en avgjørende parameter for valg av traséalternativ. Forskjellen i bru- og veglengder vil her tilsi en kostnadsdifferanse på 15 % eller mer i favør av Alternativ 1. Alternativ 2 gir dertil ugunstigere linjeføring for tilknytning til eksisterende veg på begge sider, men mer avgjørende er forskjellene i grunnforholdene for landkar på Kvanne-siden. Følgelig legges Traséalternativ 1 til grunn for skisseprosjektet.



Figur 3-2 Valgt kryssningstrasé (Alternativ 1)

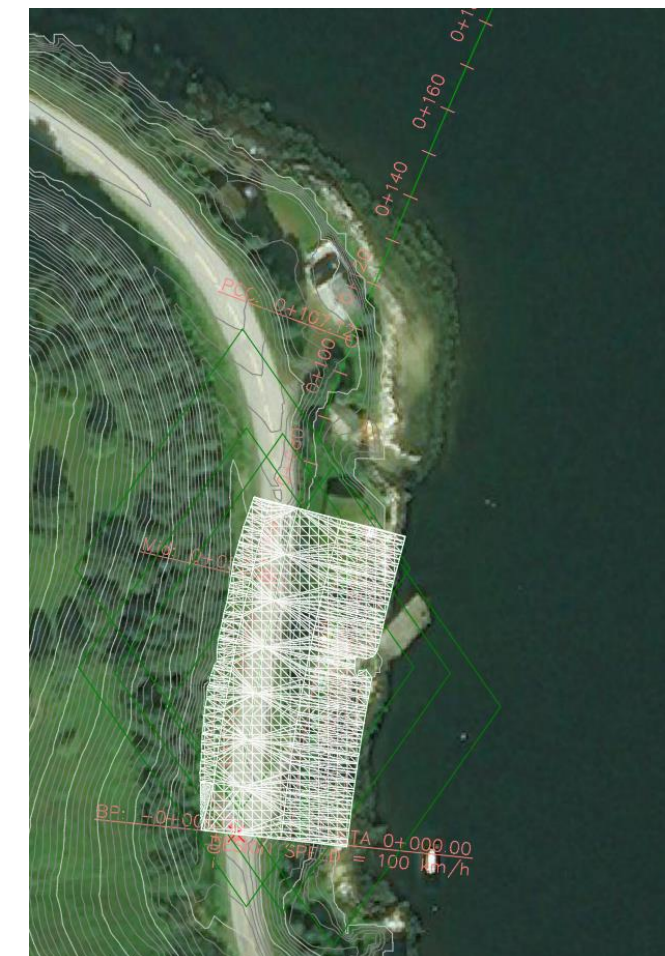
4 Tilførselsveger

Generelt

Påkoblingspunkt til eksisterende vegsystem (fylkesvei 670) er fergeleie på hhv. Rykkjem og Kvanne.

Rykkjem

I Figur 4-1 er det foreløpig vist en relativt grov skisse for tilknytningen til eksisterende Fv 670 på Rykkjem-siden. Tilløpsfyllingen er estimert til en lengde på ca. 70 m med et volum på omtrent 5 000 m³. Utformingen av kryssløsning for videreføring av Ålvundfjordvegen er ikke prioritert i skisseprosjektet, men vil trolig kunne utføres som T-kryss.



Figur 4-1 Plan av tilførselsvei på Rykkjemeset med indikert fyllingsområde.

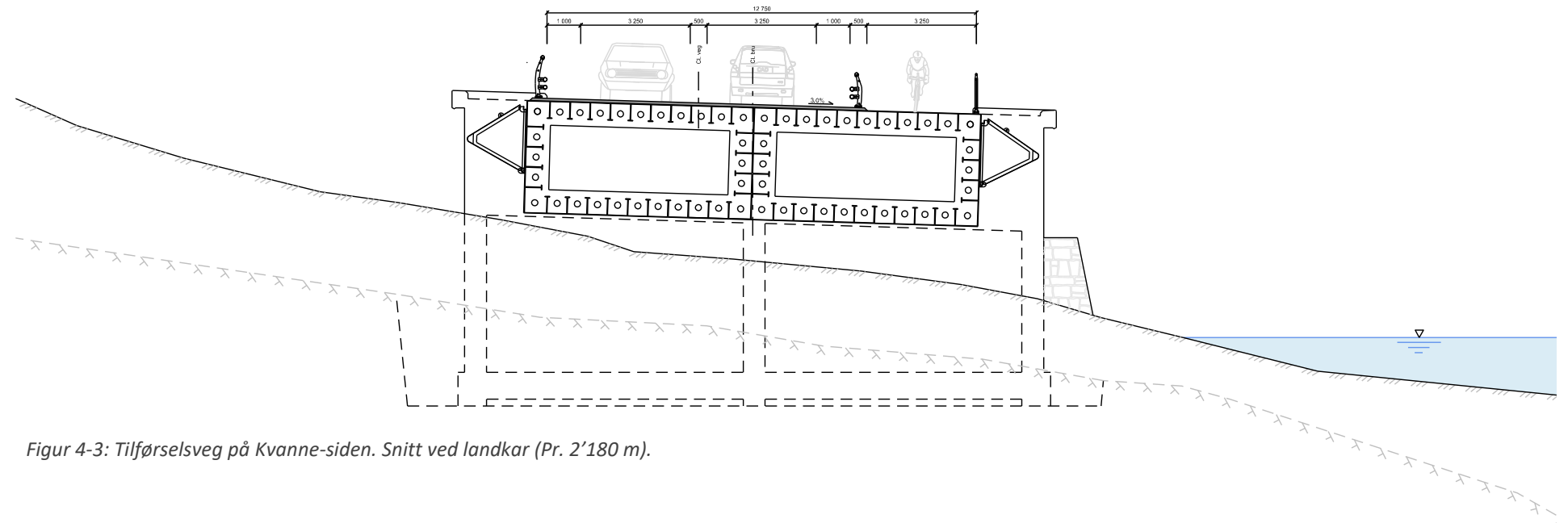
Utforming og terrengtilpasning av landkaret vil følge samme prinsipper som vist for Kvanne-siden i Figur 4-3.

Kvanne

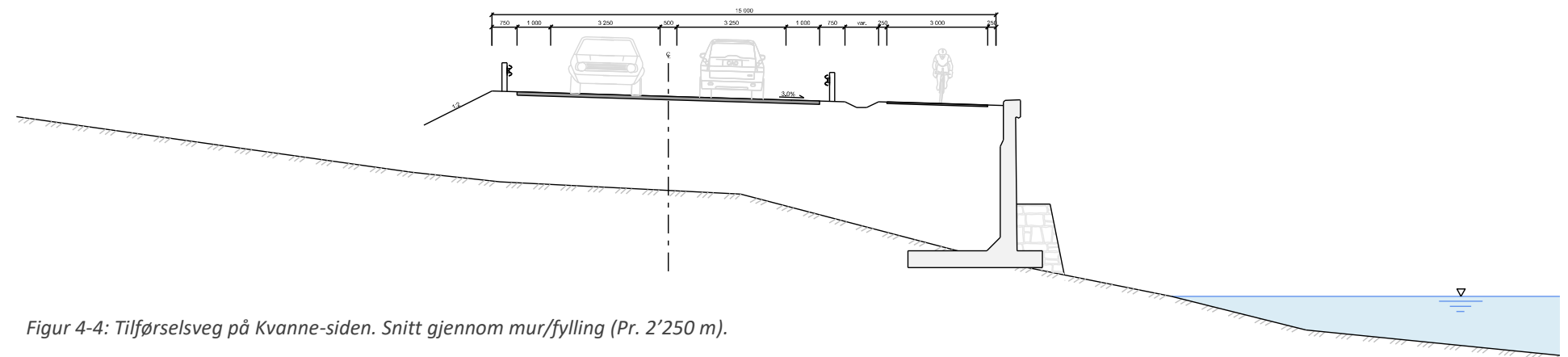
I Figur 4-1 er det foreløpig vist en relativt grov skisse for plassering av fylling på Kvanne siden av fjorden. Fyllingen er estimert til en lengde på ca. 450m med et volum på omtrent 20 000 m³. Figur 4-3 til Figur 4-5 viser tverrprofiler for tilførselsvegen fra landkaret på Kvenna-neset til fergeleie og påkobling til Fv 670.



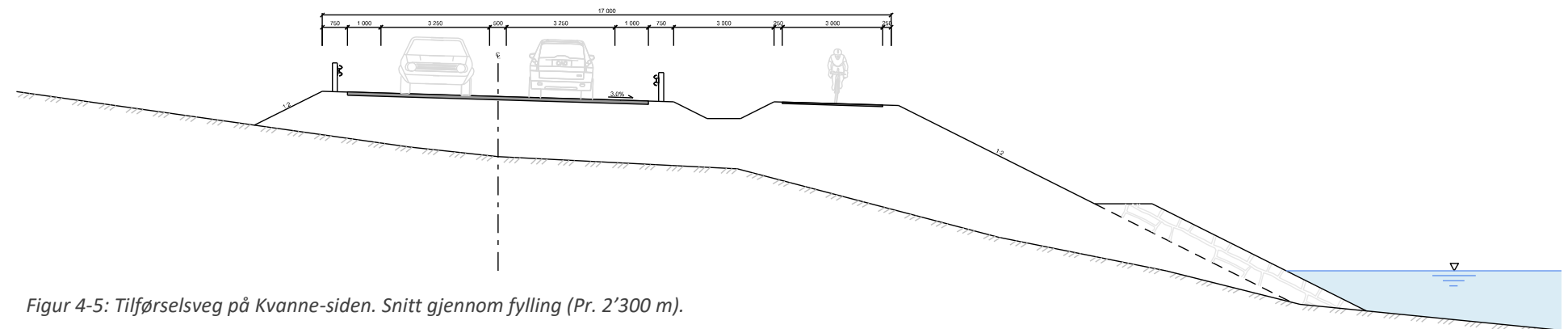
Figur 4-2 Plan av tilførselsvei på Kvanne med indikert fyllingsområde.



Figur 4-3: Tilførselsveg på Kvanne-siden. Snitt ved landkar (Pr. 2'180 m).



Figur 4-4: Tilførselsveg på Kvanne-siden. Snitt gjennom mur/fylling (Pr. 2'250 m).



Figur 4-5: Tilførselsveg på Kvanne-siden. Snitt gjennom fylling (Pr. 2'300 m).

5 Bruløsning

Beskrivelse

Brua består av en ca. 2 050 m lang flytebru båret av 18 søyler stående på flytende pongtonger. I endene er brua forankret til landkar. Landkarene forankres til fjell og har som hovedoppgave å føre alle horisontale krefter på brua til land. Spennet mellom hver pongtong er på 106m, mens spennet mot landkarene er utvidet til 125 m for å tillate større bevegelser fra tidevann.

Flytebrua legges i en bue i horisontalplanet. Dette gir en bue-effekt for horisontale laster som strøm og statisk vind, samtidig som det reduserer bruas første egenperiode og derved også reduserer dynamisk respons fra vind. Buen gir også en god linjeføring og opplevelse for trafikantene.

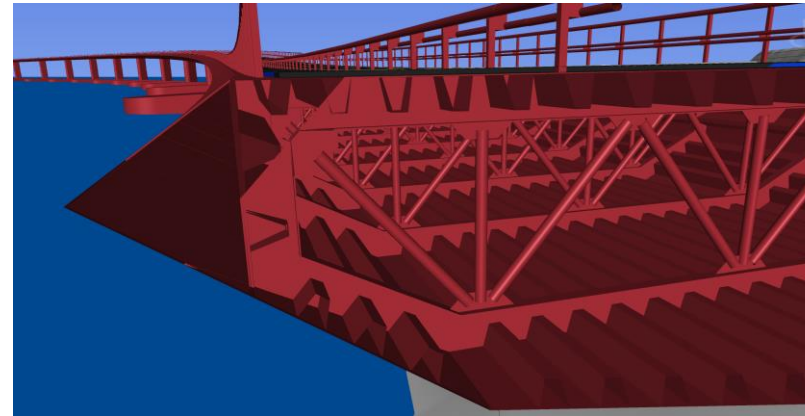
Brua ligger med overkant vei på ca. 7 m ved hvert av landkarene og stiger til ca. 30 m midtspenns. Dette gir en skipskanal i senter av brua på ca. 100 m × 25 m. Her er det mulig å gjøre mindre justeringer (utvidet spennet og høyden litt) men en forutsetning for konseptet er at fjorden stenges for de høyeste skipene.

Prinsippet for hvordan flytebrua er dimensjonert følger velkjente prinsipper fra lignende prosjekter som kryssing av Halsafjorden og kryssing av Bjørnafjorden. Hovedkonstruksjonskomponentene er beskrevet kort under.

I forutsetningene presentert i Kapittel 2 presenteres en skipskanal med størrelse 124 × 25 m. Modellen tilfredsstillende ikke dette per dags dato. En oppdatering med noe større hovedspenn i senter vil medføre et noe større støttemoment i brukassen, større belastning på enkelte pongtonger, osv. som igjen vil gi behov for noen lokale forsterkninger. Dette må hensyntas i neste fase av prosjektet.

Brukasse

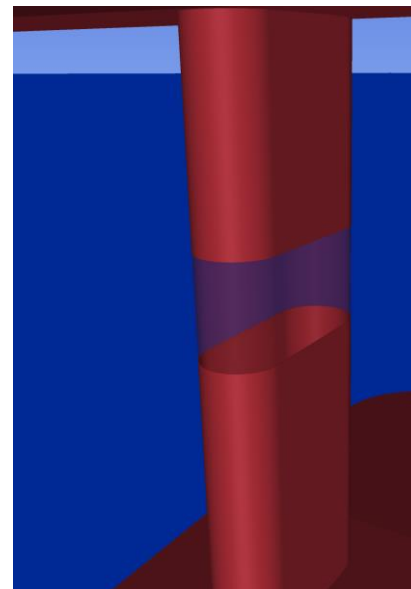
Stålkassen bygges i stål og består av 13.5m bred og 3.5m høy brukasse samt to aerodynamiske endestykker, hver med en bredde på ca. 1.5m. Endestykkene er foreløpig modellert i stål, men det er ikke nødvendig da disse ikke er en del av den bærende konstruksjonen. Hver fjerde meter er det satt inn tverrskott. Disse sørger for at vertikale krefter fordeler seg ut over brukassen og hindrer at brukassen knekker ut. Kassen sveises sammen av avstivede platefelt, kjent fra blant annet hengebruer og skråstagbruer



Figur 5-1 BIM-modell av brukasse og tverrskott

Søyler

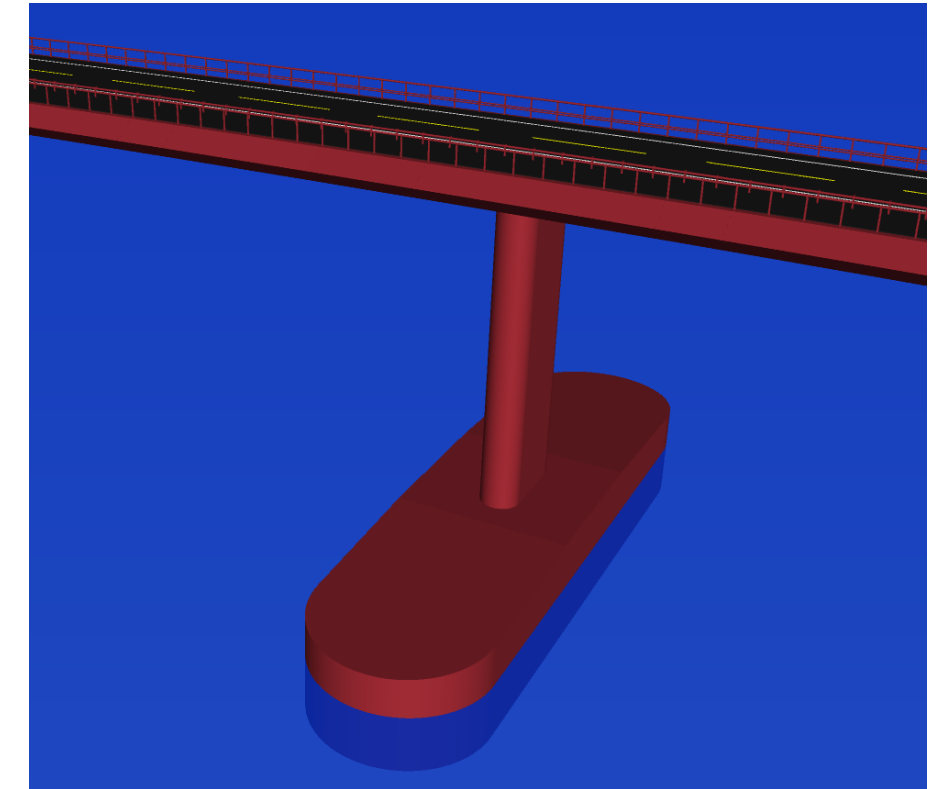
Søylene har som hovedoppgave å føre vertikale krefter fra brukassen ned til pongtongene. I brukassen vil det inn mot søylene legges inn forsterkninger i form av både ekstra tverrskott og langsgående skott. Søylene har typisk bredde 8 meter tvers bru og 3 meter langs bru.. Lengden varierer for hver posisjon langs brua. Endene avrundes for mest mulig aerodynamisk form. Også søylene er sveist sammen av avstivede platefelt, velkjent fra offshore-plattformer.



Figur 5-2 BIM-modell av pongtongsøyler

Pongtonger

Pongtongene bærer flytebrua ved hjelp av oppdrift. Vertikal og rotasjonsstivheten hentes fra tverrsnittet av pongtongen som penetrerer vannoverflate. Den ytre geometrien av pongtongene er dimensjonert slik at disse stivhetene er store nok til å brua overholder krav om deformasjoner. Pongtongene har typisk dimensjon 50x12 meter. De er sveist sammen av avstivede platefelt, inndelt i et antall vanntette skott, kjent fra skip og plattformer.

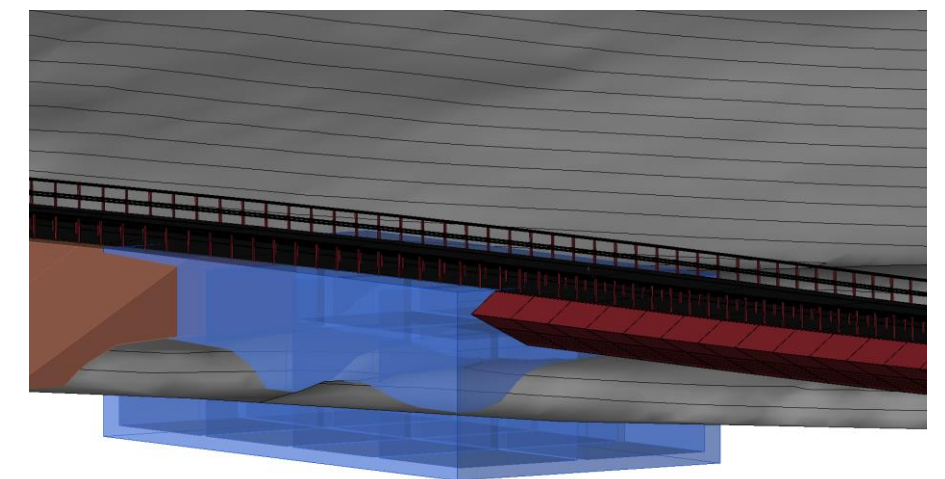


Figur 5-3 BIM-modell av pongtong

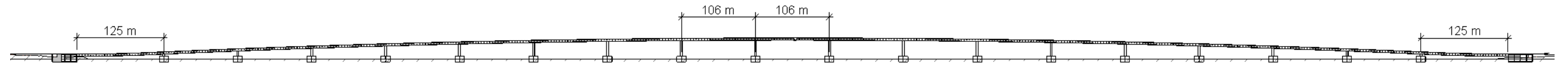
Pongtongene er inndelt i kammer, slik at man begrenser skaden et skipsstøt som penetrerer ytterhuden på pongtongen medfører.

Landkar

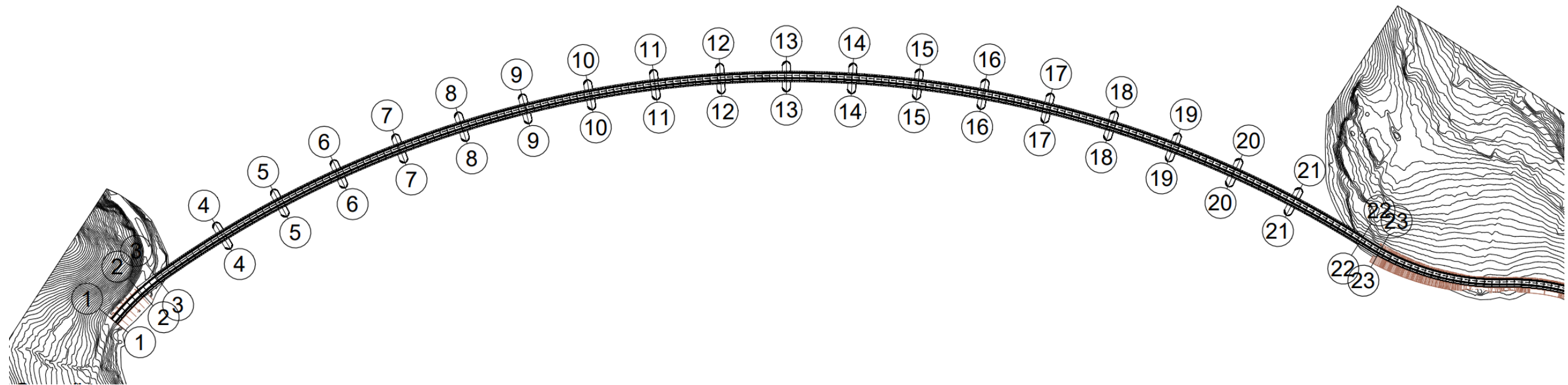
Landkarene er delt inn i kammer med plassering av dekker og vegger på en slik måte at en kan forspenne brukassen fast til landkarene, samt får ført kreftene videre til berg på en hensiktsmessig og effektiv måte. Det er fortsatt en del usikkerhet knyttet til akkurat hvordan grunnen ser ut på begge sider av fjorden og derav også til hvordan landkarene skal utformes til detalj. Foreløpig er et grove ytre dimensjoner (L×B×H) estimert til 40×20×11 m. I utgangspunktet er landfestene gravitasjonslandkar i betong, fylt opp med sprengstein eller olivin.



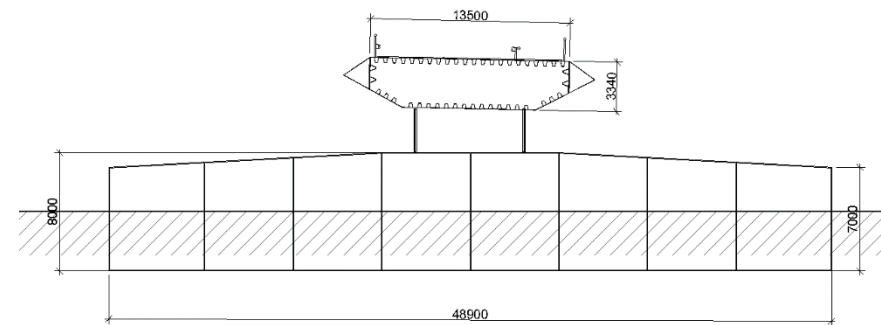
Figur 5-4 BIM modell av landkar



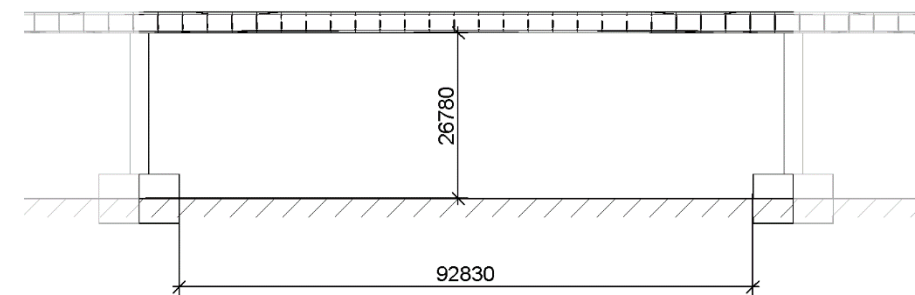
Figur 5-5 Oppriss (utbrett) av flytebru med typ. pongtongavstand på 106 m og spennlengde for endespenn lik 125 m.



Figur 5-6 Plan med akseinndeling.



Figur 5-7: Tverrsnitt av pongtong og bruseksjon i akse 4.



Figur 5-8: Seilingspassasje mellom akse 12 og 13

6 Lastvirkninger

Generelt

Følgende tar for seg oppsummerte resultater fra analyser med laster som oppgitt i Miljølaster.

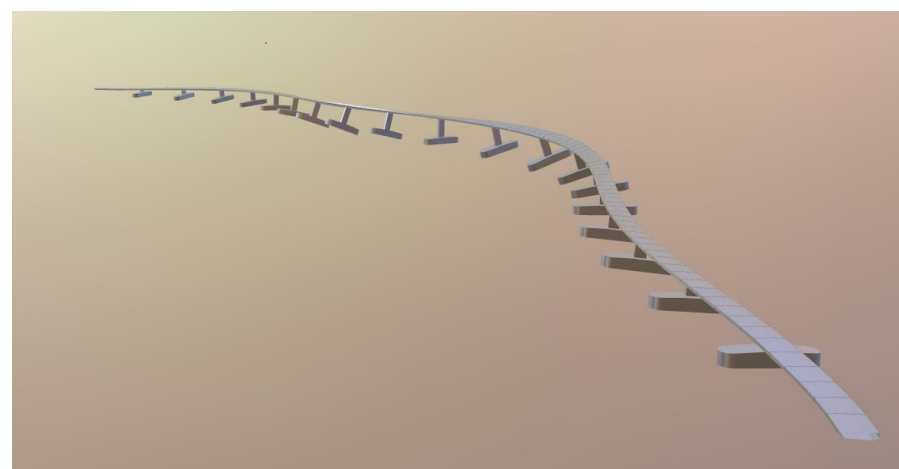
Analysemetode

Både statiske og dynamiske analyser er brukt for å beregne lastvirkninger i flytebrua. SOFISTiK benyttes til de statiske elementmetodeanalysene, mens 3DFloat brukes for simulering av de dynamiske tidsplananalysene. Resultatene fra analysene kombineres så for å gi total respons. For å beregne de frekvensavhengige hydrodynamiske massene og tilleggsmassene til pongtongene er det benyttet DNV programvarene HydroD og Wadam.

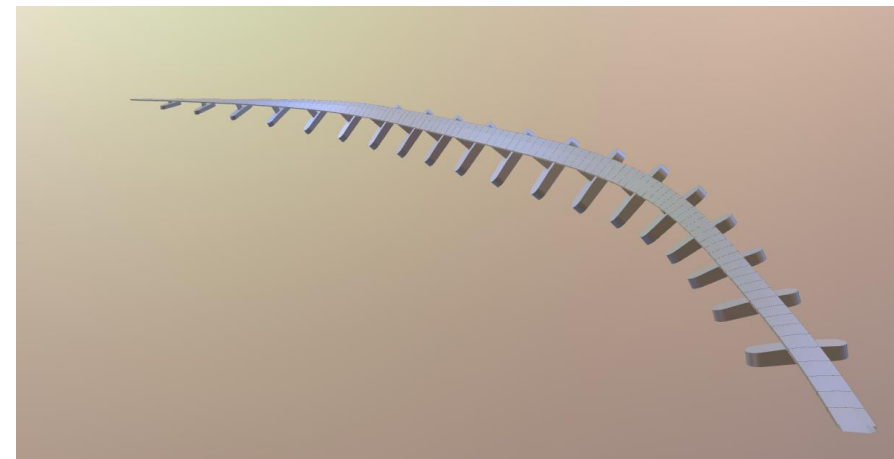
Egenverdianalyser

Det er utført egenverdi-analyse av flytebruen, som en del av verifikasjonsarbeidet av analysene. Egenverdiene og tilhørende egenmoder avdekker det dynamiske bevegelsesbildet til bruen og gir oss en god pekepinn på hvilke respons vi kan forvente i bruen fra ulike miljøtilstander. Egenverdi-analysen som er utført inkludere den frekvensavhengige tilleggs-massen som følger med bevegelsen til pongtongene i vann.

Kort oppsummert indikerer egenverdi-analysen høyeste horisontale egneperiode på rundt 32s. Høyeste torsjonsmode ligger på rundt 9s, mens de vertikale egenperiodene ligger på rundt 5s. Illustrasjoner av en horisontal egenmode og en torsjonsmode er vist i Figur 6-1 og Figur 6-2.



Figur 6-1 Illustrasjon av horisontal egenmode (11s)



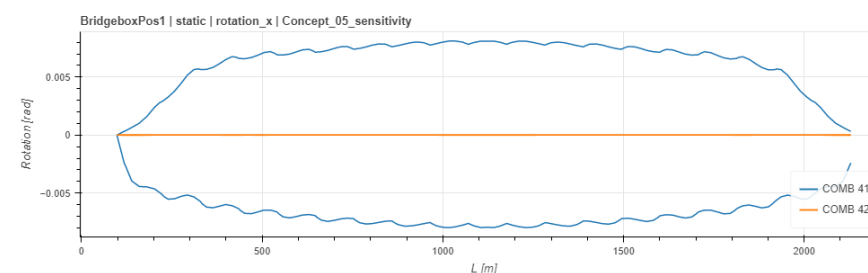
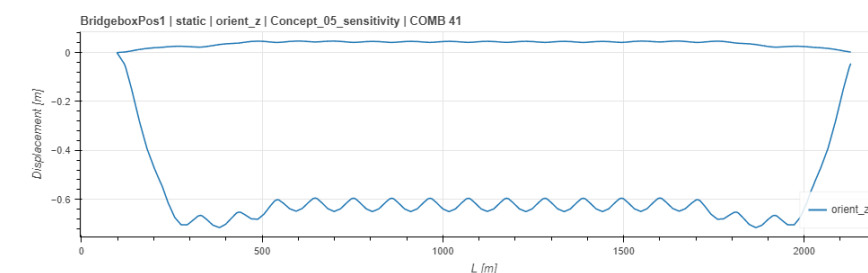
Figur 6-2 Egenmode i torsjon (9s)

Bevegelsesbegrensninger

For å ivareta kjørek komfort og sikkerhet for trafikanter er det innført restriksjoner på flytebruas bevegelser. Bevegelseskriteriene er basert på kriterier etablert for Bjørnafjordkrysningen og gjengitt i Tabell 6-1. Bevegelseskriteriene kontrolleres for 1- års returperioder. Figur 6-3 viser resultatene fra flytebrua. Deformasjon og rotasjon er godt innenfor kravene.

Tabell 6-1: Statiske bevegelsesbegrensninger.

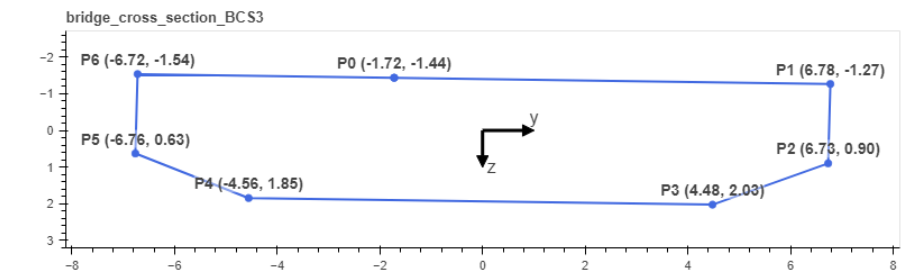
| Bevegelsesparameter | Lasttype | Kriterie |
|---|--------------------|------------------------|
| Vertikal deformasjon fra trafikkklaster | 0.7 × dim. trafikk | $U_z < 1.5 \text{ m}$ |
| Rotasjon fra lengdeaksen fra eksentriske trafikkklaster | 0.7 × dim. trafikk | $\Theta_x < 1.0^\circ$ |
| Rotasjon om lengdeaksen fra statisk vind | 1-års statisk vind | $\Theta_x < 0.5^\circ$ |



Figur 6-3: Omhyllende for vertikal deformasjon, ca 0.7 m (øverst) og rotasjon, ca. 0.5° fra trafikk (nederst).

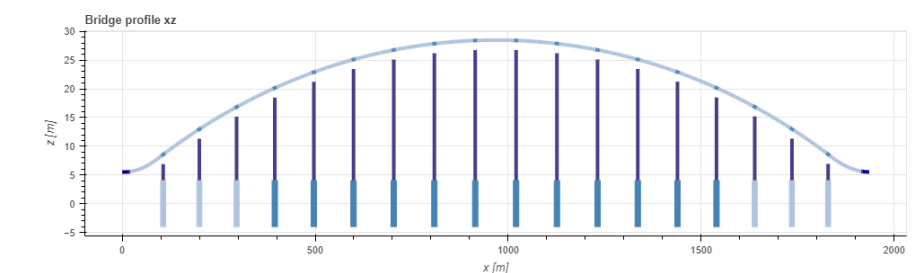
Spenningskontroll i bruddgrensetilstanden

Dimensjonerende punkter i brukassas randsone er valgt ut for å vurdere normalspenninger ved kritiske lastsituasjoner. Figur 6-4 gir oversikt over plasseringen på spenningspunktene.

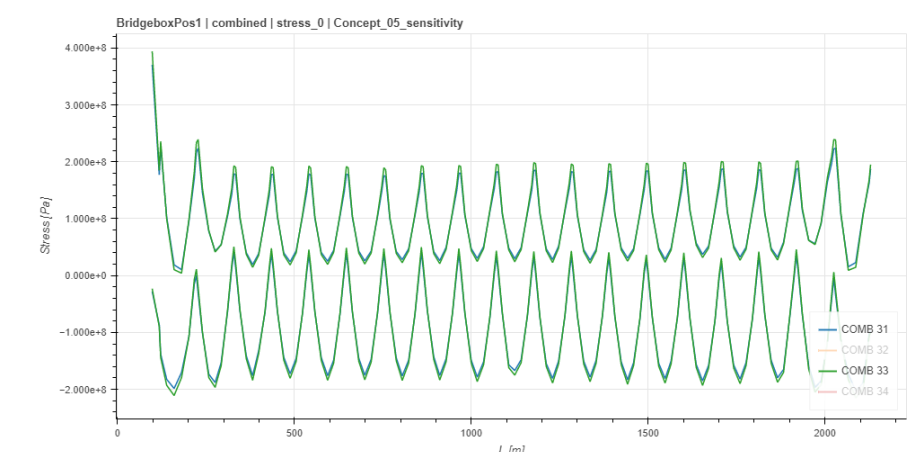


Figur 6-4: Brukassetverrsnitt med spenningspunkter.

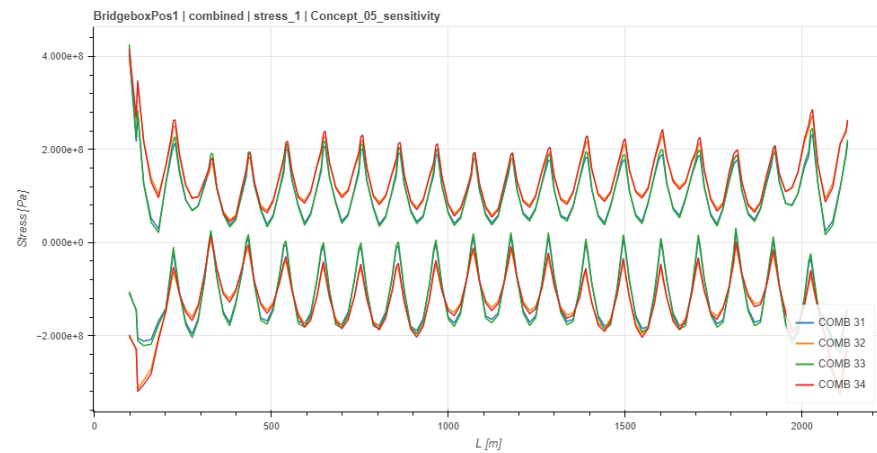
Figur 6-5 viser en forenkling av bruas geometri, prosjektert i XZ-planet. Påfølgende figurer viser ULS-spenninger i spenningspunkt P0 (midtdeler i kjørebane), spenningspunkt P1 (topp, kant) og spenningspunkt P3 (bunn, kant). Toppdekket har en maksimal spenning på ca. 200 MPa, som gir tilstrekkelig med restkapasitet for lokale spenninger fra trafikk. Spenningene øker noe ved kanten, der de lokale spenningene vil være noe lavere. Underkant av brukassa har høyere spenninger, opp mot 300 MPa i feltmidte. Over den ytterste støtten (søylen) er spenningen i underkant av 350 MPa, her vil det være behov for lokal forsterkning.



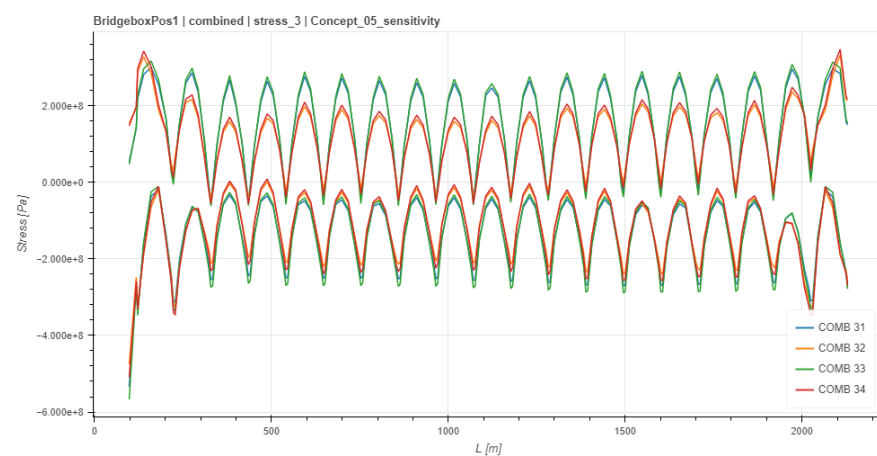
Figur 6-5: Bruageometri i XZ-planet.



Figur 6-6: Spenninger i spenningspunkt P0, ULS.



Figur 6-7: Spenninger i spenningspunkt P1, ULS.



Figur 6-8: Spenninger i spenningspunkt P3, ULS.

Utmatting

Det er ikke utført utmattingsanalyser eksplisitt i dette prosjektet. De to største bidragsyttere til utmatting for en flytebru er trafikk og miljølast. Det foreligger ikke spesifikke miljødata man kan bruke til å vurdere utmatting per dags dato. En grei antagelse for lastene er at de ikke er veldig annerledes enn dem som er beregnet for Halsafjorden. Legger man dette til grunn er det lite sannsynlig at utmatting fra miljølast blir et problem. Både oppbygging av brukassen og responsen som er vist i denne rapporten er relativt likt som flytebru konseptet som er utredet for Halsafjorden.

Trafikkgrunnlaget for kryssing av Todalsfjorden er betydelig lavere enn for kryssing av Halsafjorden. Det forventes derfor at utmatting fra trafikk ikke vil bli et stort problem for denne brua.

Det anbefales at det gjøres grundigere vurderinger i en senere fase. Et skikkelig lastgrunnlag og tilhørende responsanalyser for både miljølast og trafikk er nødvendig for å konkludere om utmatting er i henhold til regelverket.

Skipsstøt

Todalsfjorden ligger lenger inne i samme fjordsystem som Halsafjorden. Skipstrafikken er langt mer moderat enn i Halsafjorden, så det forventes enda lavere skipsstøtenergier. Konseptet som ble utredet for Halsafjorden er såpass likt konseptet som legges frem Todalsfjorden at vi ikke forventer en signifikant endring i oppførsel fra skipsstøt. Analysene av skipsstøt for Halsafjorden viste at brua og brukassen hadde meget god kapasitet for å håndtere skipstøtenergier. Basert på dette erfaringsgrunnlaget har vi vurdert at skipsstøt høyst sannsynlig ikke vil være et større problem for flytebrua over Todalsfjorden. Det er selvfølgelig for tidlig å konkludere på dette, og det vil derfor i en senere fase vil være viktig å gjøre en grundigere vurdering. For å få mest mulig verdi ut av en skipsstøtanalyse, er det viktig å få på plass en risikoanalyse for Todalsfjorden slik at man vet hvilke støtenergier man må forholde seg til og dimensjonere for.

7 Bygging og installasjon

Generelt

Det er foretatt planlegging og detaljering av fabrikasjon, transport og sammenstilling av flytebrua basert på forutsetning om produksjon av brukasse, pongtonger og søyler ved fabrikk i Fiskå. Utredningen og animasjoner er utført av Prodtex AS. Dette kapittel viser et kort sammendrag av bygging og installasjonsprosessen for flytebrua. For ytterligere detaljer refereres det til notat, Todalsfjorden flytebru - Bygging og Installasjon [7].

Overordnet beskrivelse

Punktene under sammenfatter foreslått metodikk for bygging og installasjon for flytebrua, og utvalgte steg er nærmere beskrevet i etterfølgende kapitler.

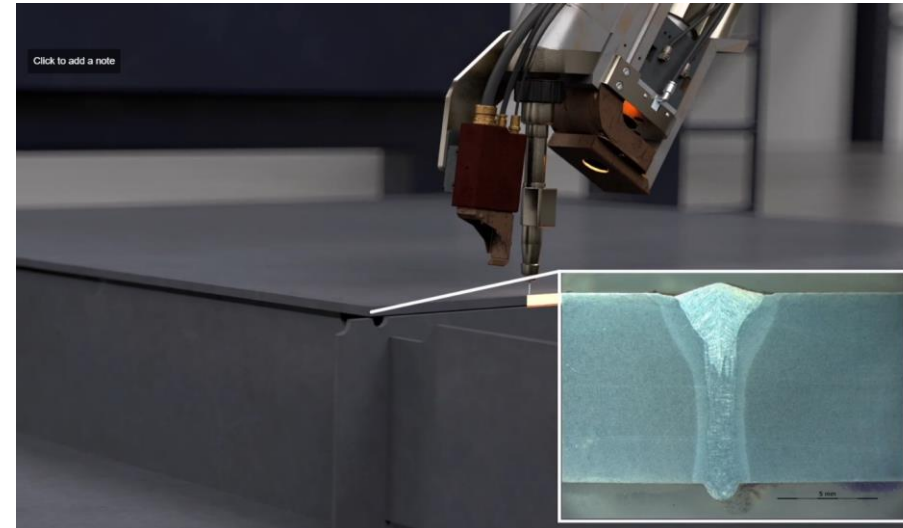
- Brukaselementer prefabrikeres på egnet sted i Norge til L= 212m. Prodtex sitt anlegg på Fiskå i Vanylven kommune brukt som eksempel.
- Søyler og pongtonger, 18 stk, produseres og settes sammen i Norge, alternativt kan de produseres internasjonalt og transporteres til Fiskå for sammenstilling
- Sammenkopling med brukaselement til katamaran superelement (boltet kobling mellom søyletopp og underkant bjelke). Katamaran superelementer består av 2 pongtonger og 212 m brukasse
- Parallelt med prefabrikering av flytebruelementene bygges landkar på begge sider.
- Katamaranelementer slepes til Todalsfjorden på egen kjøll. Her kan det også vurderes å frakte de på nedsenkbar lekter, type BOA BARGE 35 eller tilsvarende, spesielt dersom distansen fra fabrikkasjonssted til sammenstillingssted er lengre, mer værutsatt eller analyser av kapasitet i slepefase tilsier at det er nødvendig.
- Fortøyning og sammenkopling i Todalsfjorden. Her kan en lekter med tårn benyttes for å støtte opp de frie endene til midlertidig kobling er på plass
- For tilkopling mot landkarene benyttes spesialelement L=178 m med en permanent pongtong + temporært oppdriftselement

Produksjonsteknologi

Statens vegvesen har en uttalt ambisjon om at de store fjordkryssingene skal bygges i Norge. De har derfor igangsatt en serie pilotprosjekter for å utvikle nødvendig teknologi:

- Frønesbrua. G/S bru på Fosen i Trøndelag. Nettverksbuebru med ståldekke. Ett spenn, L=65 m, 90 tonn stål. Montert høst 2021, levert 2021.
- Ya bru. Bru på rv3 i Tynset kommune. Ståldekke på undeliggende stålkasse. Ett spenn, L=48 m, 220 tonn stål. Ferdig prefabrikkert. Levert 2022.
- Elverhøy bru. Bru over Driva elv på rv. 70 ved Elverhøy i Sunndal kommune. Ståldekke på undeliggende stålkasse. 4 spenn, total lengde 110 m. 700 tonn stål. I produksjon.

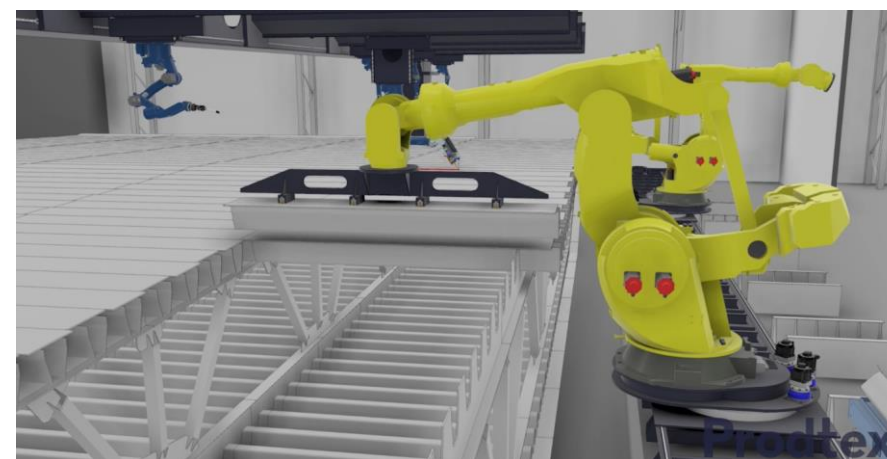
Automatisert laser og laser-hybrid sveising har vært benyttet i bil- og skipsindustrien i over 20 år. Lasersveis øker sveisehastighet, reduserer energiforbruk og gir mindre krymp og deformering av materialet. Tester utført av Swerim, DNV og Statens Vegvesen viser at Lasersveis gir betydelig bedre utmattingssegenskaper. For ytterligere beskrivelser av produksjonsteknologi refereres til rapport fra Prodtex [8].



Figur 7-1: Butt sveis av 10 mm plate, hvor det lyseste området er sveisetråd, under det er basismaterial som er smeltet saman og i utkanten av forbindelsen er en smal varmpåvirket sone (HAZ)

Fabrikasjon av flytebruelementer

I foreslått metodikk for bygging og installasjon er det lagt opp til at flytebruelementer skal produseres i Norge med produksjonsteknologi som beskrevet over. Detaljerte studier fra flytebru over Bjørnafjorden viser at det er mulig å redusere kostnader ved å produsere i Norge med automatisert produksjon, og i tillegg kutte utslipp vesentlig.



Figur 7-2: Foreslått automatisert sammenstilling på topp-dekke til Bjørnafjorden

Basert på erfaringene fra pilot-bruene blir metodikken utredet på Bjørnafjorden tilpasset. Større panel til toppdekket prefabrikeres og monteres manuelt. Dette vil gi en noe lavere automasjonsgrad, men vurderes til ikke å gi store utslag på kostnader. Det er også jobbet mye med utvikling av sandwich konstruksjoner til toppdekke. Dette er testet på et av FOU prosjektene, Ya bru på Kvikne. Sandwich dekke til denne er ferdig produsert og med et godt resultat. Det ble en høy grad av automatisering som gav en effektiv og rask byggeprosess. Elverhøy bru i Sunndal bygges med samme metodikk. Dette er en større bru og det er gjort forbedringer for enda mer strømlinjeformet fabrikasjon med mindre håndtering av komponenter. Dette er et viktig skritt for å finne en metode som fungerer på store bruer.

For ytterligere detaljer vedr.:

- Fabrikasjon av pongtonger,
- Fabrikasjon av søyler,
- Sammenstilling av brukasse, søyler og pongtonger til katamaranelementer.
- Transport til sammenstillingslokasjon, se [7].

Sammenstilling

Katamaranelementene sammenstilles i Todalsfjorden, ved Rykkjem. Her er det kort avstand til endelig installasjonssted, lite bebyggelse i området, begrensede miljølaster og en vannkant som følger brua godt. Hvert landkar har et startelement med en pongtong, slik at det blir $16 / 2 = 8$ katamaraner som må sammenstilles i fjorden.



Figur 7-3: Mulig sammensstillingssted ved Rykkjem

Installasjon

I hver ende av brua vil det installeres en bruseksjon på 178 m (125 m til 1. pongtong + 53 m overheng) ut fra hvert landkar. En støtteleker vil bli brukt temporært sammen med pongtong og som sammen danner en katamaran. Ende av brukasse trekkes inn mot guider på landkar ved bruk av vinsjer. Azimuth taubåter sikrer posisjon og orientering og holder igjen mot vinsjer på landsiden. Når ende av brukasse er sikret til landkar fjernes den temporære lekteren.



Figur 7-4: Eksempel fra Halsafjorden flytebru, landkar øst med startelement, klar for installasjon av flytebrustreng

Avvikling av fergetrafikk

Flytebrutraséen vil avskjære fergetraséen. Bygging og sammenstilling av flytebruelementer, landkar og tilknytningsveger vil imidlertid kunne foregå uten å påvirke drift av fergesambandet nevneverdig. Operasjonen for installasjon av hele bruspenet vil ikke kunne forenes med normal fergedrift, men denne fasen vil være relativt kortvarig (2 – 3 dager). I denne fasen er det tenkelig at fergene vil kunne passere gjennom seilingsleden til flytebrua med assistanse av ledebåter og redusert frekvens. Oppsummert ses det på dette stadiet ikke behov for å ta høyde for ekstra kostnader for midlertidig tilleggs kai på Rykkjem-siden.

Installasjon av sammenstilt flytebrustreng er tenkt som følger:

- 6 azimuth taubåter fortøyes til 6 pongtonger for sikring av tverrskip posisjon og orientering av den sammenstilte flytebrua. 2 'lead' ankerhåndteringsskip (AHTS) på 150 - 200 TBP kobles til ene enden av brukasse og blir brukt for fremdrift når bru slepes i lengderetninger til brua. Tilsvarende 2 tail AHTS på 150-200 TBP kobles i andre enden som brems men også ved bruk for endelig posisjonering av hel flytebru.
- Flytebrua frakobles forankringen når det er tilstrekkelig værvindu. Flytebrua slepes ut i fjorden, snus 90 grader og slepes videre til brusted.
- Flytebrua grovposisjoneres vha slepeflåte og finposisjoneres deretter med vinsjer fra brukasse (se [7], for ytterligere detaljer) koblet til landkar på Rykkjem. Andre enden av flytebrua holdes med tilstrekkelig klaring til startseksjon på Kvanne-siden. Lekter med tårn benyttes for å løfte fritt-hengende ender.
- Etter at temporær sikring av skjot mot Rykkjem er utført, er det posisjonering og innvinsjing mot startseksjon på Kvanne-siden, og sammenkobling av denne enden på tilsvarende måte.
- Midlertidig fastholdingsarrangement er dimensjonert for 10-års sommerstormkondisjon. Etterfølgende sveiseoperasjon gjøres basert på «infill»-metode.

8 Kostnadsanslag

For den foreslåtte bruløsningen er det basert på den prinsipielle dimensjoneringen og fastlagte hoveddimensjoner foretatt en kostnadskalkyle. Kostnadsestimeringen har primært fokusert på konseptenes entrepriskostnad. Prodtex har foretatt en overordnet vurdering av byggherrekostnader.

Dr.techn Olav Olsen har utviklet et eget kalkyleprogram for beregning av kostnader, usikkerheter på kostnader og risiko som funksjon av hendelser. Kalkylemodellen, som bygger på samme prinsipper som benyttet i anslagsmetoden [9], baserer seg på trippelanslag av både mengder, enhetskostnader og påslagskoeffisienter med høy / middels / lav verdi og tilhørende fordeling som input. Selve analysen gjennomføres ved bruk av Monte-Carlo metoden, og fra det statistiske datagrunnlaget som genereres kan de statistiske verdiene for P15, P50 og P85 (eller andre prosentkvantiler) hentes ut.

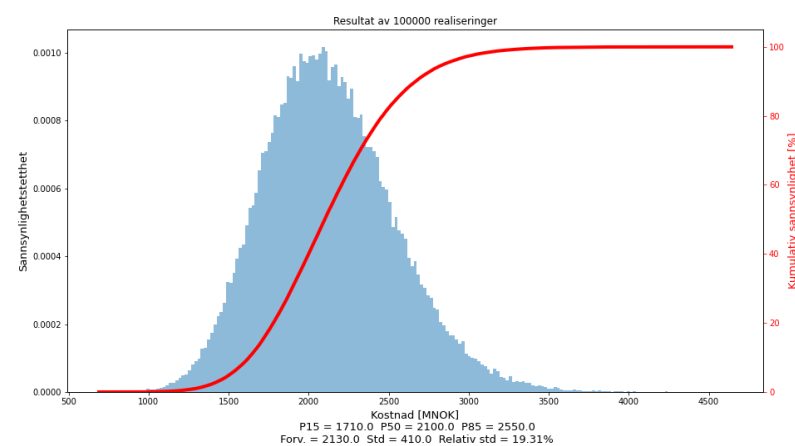
Beregnet kostnad angir entreprisekostnad med prisnivå tilstrebet justert til medio mars 2023.

Entreprisekostnad P50 (Styringsramme) er beregnet til 2.1 mrd. NOK ekskl. mva.

Entreprisekostnad P85 (Kostnadsramme) er beregnet til 2.55 mrd. NOK ekskl. mva.

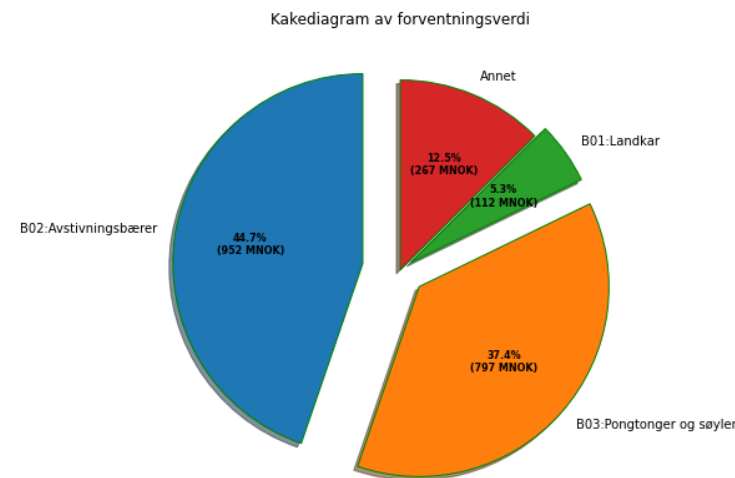
Sannsynlighetstetthet og kumulativ sannsynlighetsfordeling for entreprisekostnad er vist i Figur 8-1. Den totale usikkerheten i anslaget er beregnet til ca. ± 20%. For ytterligere detaljer om estimerte entreprisekostnader, henvises det til eget anslagsnotat [8].

Prodtex har utført et anslag på byggherrekostnaden og kommet frem til en størrelses-orden på 6% av entreprisekost. For detaljer, se Todalsfjorden flytebru - Bygging og Installasjon [7].



Figur 8-1: Sannsynlighetstetthet og kumulativ sannsynlighetsfordeling av entreprisekostnad.

Figur 8-2 viser den relative andelen av de ulike kostnadselementene. Elementene som utgjør den største andelen av kostnadene er stålelementene i stålkaassen, søylene og pongtongene.



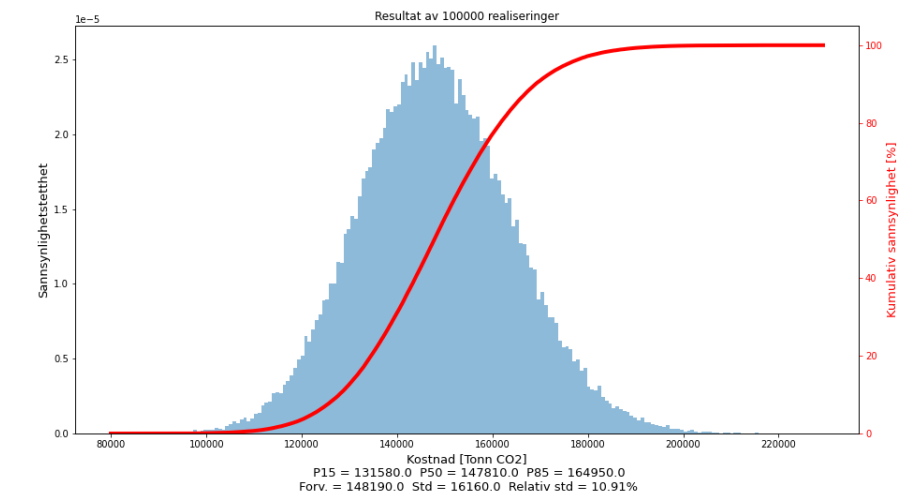
Figur 8-2: Fordeling av kostnader (forventningsverdi) på de enkelte kalkylepostene.

9 Miljøregnskap

Det er gjennomført en klimagassberegning for hovedelementene som inngår i flytebrua. Fokuset for beregningene har vært å kvantifisere klimagassutslippene fra de store materialgruppene som man erfaringsmessig vet har betydelige bidrag til klimagassutslipp. Dette gjelder blant annet elementer av betong og stål. Klimagassutslipp beregnes primært for livsløpsfase A1-A3 iht. NS 3720, som omfatter produksjon av materialer. Klimagassberegning av hele bruas livsløp og bruken av brua er således ikke vurdert. Beregnede klimagassutslipp angis med enhet CO₂-ekvivalenter, forkortet CO₂e.

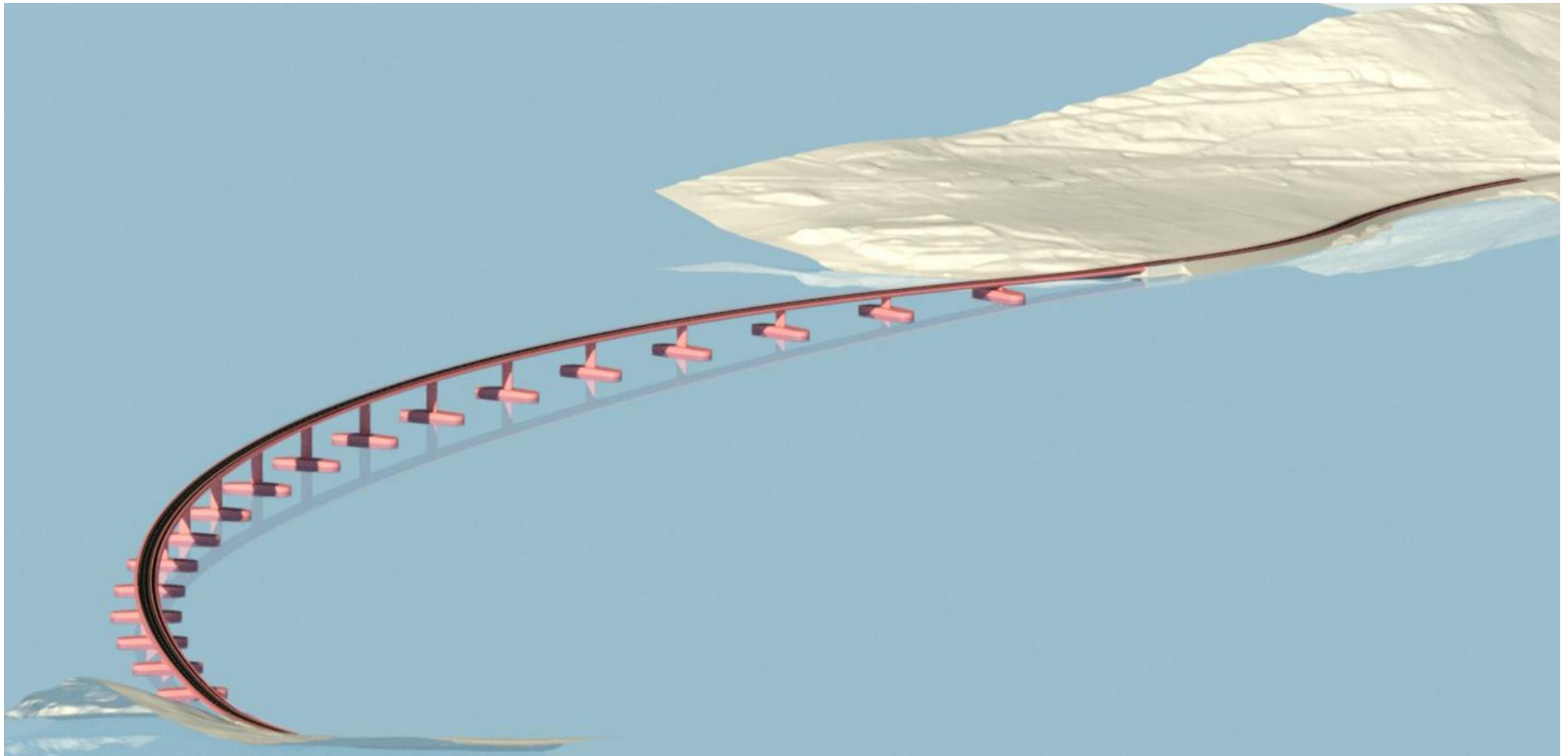
Et klimagassbudsjett kan brukes til å følge utviklingen i totale utslipp fra alle innsatsfaktorer, som er nødvendige for bygging av brua. Beregningene gjort i dette prosjektet er å anse som grove estimater.

Resultat fra analysen som vist i Figur 9-1 et P50 anslag på ca. 150 000 tonn CO₂e.



Figur 9-1: Sannsynlighetstetthet og kumulativ sannsynlighetsfordeling for klimagassutslippet fra flytebrua, vist i tonn CO₂e.

For ytterligere detaljer om CO₂-regnskapet, se anslagsnotat [8].



Figur 9-2: Render av BIM-modell

10 Referanser

- [1] Møre og Romsdal fylkeskommune, Planomtale med konsekvens-utgreiing - Kommunedelplan fv. 670 Todalsfjordprosjektet., Nov. 2020.
- [2] Rambøll, Verdianalyse Todalsfjordprosjektet. Rev. 0, 01.07.2022.
- [3] Møre og Romsdal fylkeskommune, Fylkesvegavdelinga, Utbetring ferjekai Fv. 670 Kvanne – Geoteknisk rapport., 18.11.2020..
- [4] Dr.Techn Olav Olsen, Norconsult, Spesifikasjon av miljølaster - Halsafjorden - E39 Fjordkryssinger - Region Midt_ RevC, 2022.
- [5] Statens vegvesen Vegdirektoratet, Håndbok N400 Bruprojektering, 2023.
- [6] NVE, "nve.no," NVE, [Online]. Available: <https://gis3.nve.no/link/?link=faresoner> . [Accessed 6 3 2023], 2023.
- [7] Prodtex, 20036-R-001 Todalsfjorden flytebru - Bygging og installasjon, 2023.
- [8] Dr.techn Olav Olsen, 13835-OO-XX-N-001 Anslag entreprisekostnad Todalsfjorden flytebru, 2023.
- [9] Statens Vegvesen, Håndbok R764 Anslagsmetoden, 2021.
- [10] Dr.techn Olav Olsen, Norconsult, R103 - E39 FP Halsafjorden flytebru - Forprosjekt, 2022.
- [11] Statens vegvesen Vegdirektoratet, Håndbok N100 Veg- og gateutforming., 2019.
- [12] Statens vegvesen Vegdirektoratet, Håndbok V770 Modellgrunnlag, 2015.
- [13] Kystverket, KV-2006-01 Lasthåndbok for faste installasjoner. Revisjon 2, 19. sep. 2009..
- [14] Standard Norge, NS-EN 1991-1-7:2006+NA:2008 Eurocode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-7: Almenne laster – Ulykkeslaster..
- [15] Kystverket, [10] Kystverket: Farledsnormalen – Instruks for Kystverkets planlegging, prosjektering og vurdering av arealbehov for farleder. Versjon 2.0, 2016.