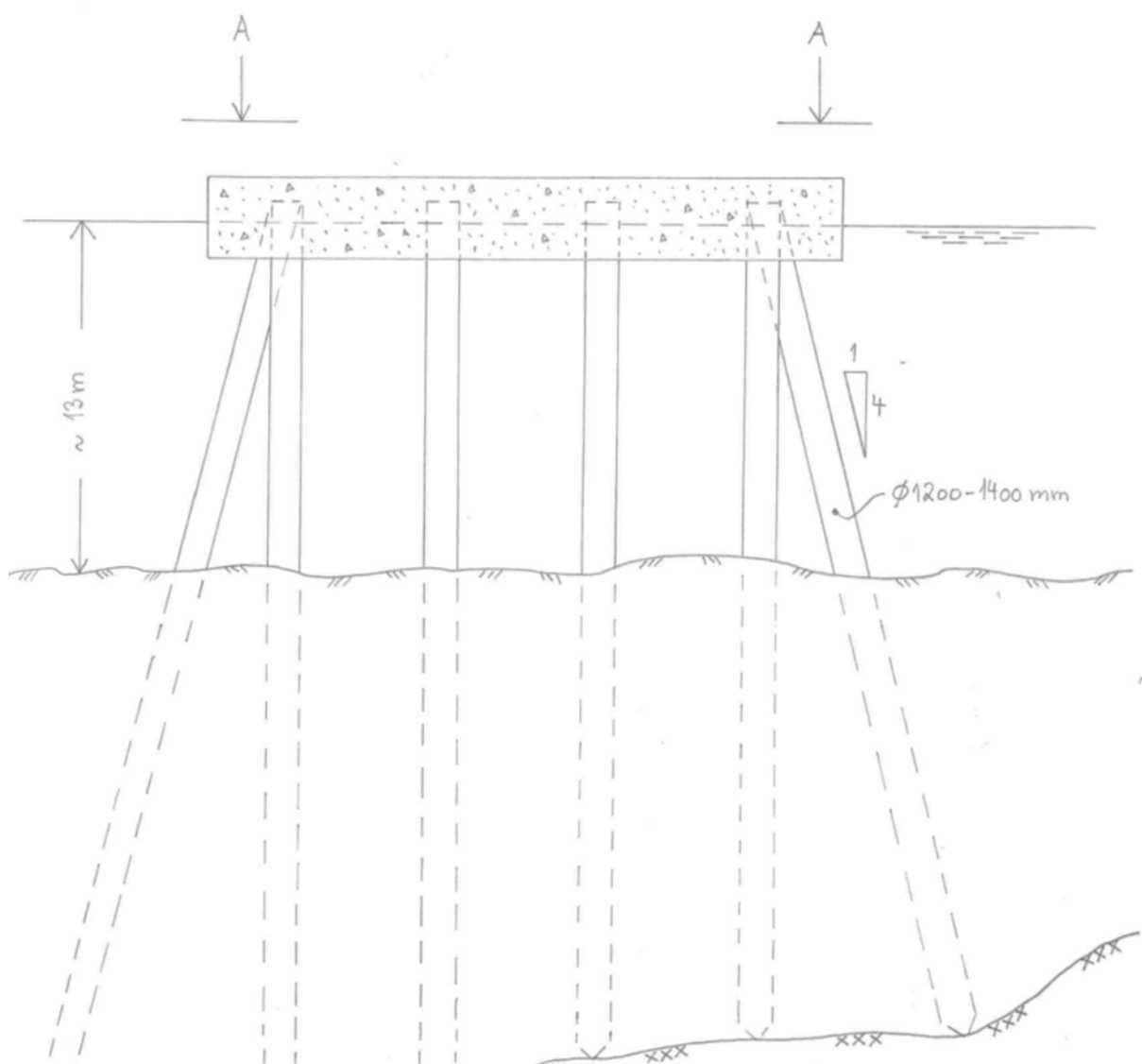




Statens vegvesen

Bypakke Tønsberg-regionen

Bru over Vestfjorden til Nøtterøy – bruplanlegging



Sammendrag

Denne rapporten omhandler relevante aspekt rundt valg av bruløsning for kryssing av Vestfjorden ved Tønsberg. Prinsippene for aktuelle hovedbæresystem er skissert.

- Hengekonstruksjon, hvor hovedbæreelementet er strekk i en bærekabel av høyfast stål.
- Buekonstruksjon, hvor hovedbæreelementet er trykk i en bue av betong eller stål.
- Balansert utbygging fra søyle eller tårn, hvor hovedbæresystemet er en bjelke (fritt frambygg – FFB), eller et skråstagsystem. Den rene bjelkeløsningen kan utføres i betong, eller med korrugerte stålplater i stegene og ekstern forspenning.
- Fritt opplagt 'bjelke' i hovedspennet, hvor 'bjelken' kan være et fagverk eller en bue med strekkbånd – for eksempel en nettverksbue.
- Kontinuerlig bjelkeløsning i flere spenn med samvirke i betong og stål. Aksene eller oppleggene fundamenteres på frittstående pelegrupper i vann.

Utgangspunktet er de naturgitte rammene for bruløsningen – altså fundamentering, seilløp, veglinje og funksjonalitet – som viktige premiss. Den gode tekniske, estetiske, kostnadsmessige, miljømessige og vedlikeholdsvennlige bruløsningen er et resultat av en planprosess, hvor brukonstruksjonen hele tiden er det sentrale elementet – altså en konstruksjonsteknisk optimaliseringsprosess basert på et valgt prinsipp for hovedbæresystemet.

Det anbefales at det utarbeides et forprosjekt for en bruløsning med fem spenn (fire akser fundamentert på frittstående pelegrupper i vann) som grunnlag for utarbeidelse av reguleringsplanen. Bruløsningen, som vises i forprosjektet, må detaljeres videre i reguleringsplanarbeidet. Viktige tema vil være grunnundersøkelser, fundamentering, konstruksjonsanalyser, dimensjonskontroller og kostnader.

Innhold

Sammendrag

| | | |
|------|--|----|
| 1 | Innledning | 4 |
| 2 | Grunnlag | 5 |
| 2.1 | Prosjektet | 5 |
| 2.2 | Bruløsninger i kommunedelplanen | 5 |
| 2.3 | Vegklasse og vegbredde | 5 |
| 2.4 | Seilingshøyde og linjeføring | 5 |
| 2.5 | Grunnforhold | 6 |
| 2.6 | Fundamentering på frittstående pelegruppe i vann..... | 7 |
| 2.7 | Strømningsforhold..... | 8 |
| 2.8 | Landskap og bruestetikk | 9 |
| 2.9 | Klimagassutslipp i byggeperioden..... | 9 |
| 2.10 | Miljøhensyn..... | 9 |
| 3 | Valg av bruløsning | 10 |
| 3.1 | Overliggende eller underliggende hovedbæresystem..... | 10 |
| 3.2 | Utfordringen med manglende symmetri i tverrsnittet..... | 12 |
| 3.3 | Aktuelle brutyper | 14 |
| 3.4 | Fundamenteringens betydning for valg av bruløsning..... | 15 |
| 3.5 | Samvirkebru i stål og betong med fem spenn | 15 |
| 3.6 | Fritt frambyggbru i tre spenn | 17 |
| 3.7 | Fritt frambyggbru (samvirke stål og betong) i tre spenn..... | 18 |
| 3.8 | Oppsummering..... | 18 |
| 4 | Entrepriisekostnader | 20 |
| 4.1 | Oppsummering..... | 21 |
| 5 | Konklusjon – anbefalt bruløsning | 22 |
| 6 | Referanser | 23 |

1 Innledning

Færder kommune har over 26 000 innbyggere og over 3 000 fritidsboliger, og de reisende har i dag kun én forbindelse til fastlandet. Dagens bru, Kanalbrua, må av og til stenge på grunn av tekniske problemer, og denne brua er derfor kilde til dårlig trafikkavvikling. Tidligere har Statens vegvesen Region sør i samarbeid med Rambøll Norge AS og underkonsulent L2 Arkitekter AS gjennomført planarbeid for ny fastlandsforbindelse for Bypakke Tønsberg-regionen. Det foreligger en vedtatt kommunedelplan (KDP), som viser kryssing av Vestfjorden over til Nøtterøy med bru. Linje 11500 i denne planen er vedtatt.

Bru-utviklingskontoret i Vegdirektoratet har bistått Region sør med en ny gjennomgang av aktuelle brukonsept og bruløsninger for kryssing av Vestfjorden. Arbeidet er dokumentert i én rapport om bruplanleggingsprosessen (denne rapporten) og én rapport (forprosjekt), som viser anbefalt bruløsning for videre reguleringsplanarbeid og detaljert byggeplanlegging.

Denne rapporten er utarbeidet av Lisa Bakken Vikan, Elin Spildo, Håvard Johansen og Bjørn Isaksen (prosjektleder); alle ved bru-utviklingskontoret i Vegdirektoratet.

2 Grunnlag

2.1 Prosjektet

Ny fastlandsforbindelse for Nøtterøy og Tjøme, nå Færder kommune, er utredet i interkommunal kommunedelplan med konsekvensutredning [1]. Temarapporter er samlet på bypakkens [nettside](#).

Den samlede strekningen for ny fastlandsforbindelse blir på omtrent 6 km, og store deler av strekningen blir lagt i tunnel. Veien vil gå direkte fra tunnel under Rambergåsen og ut på bru over Vestfjorden. På vestsida av fjorden møter brua terrenget i åpent landskap før veien går inn i tunnel.

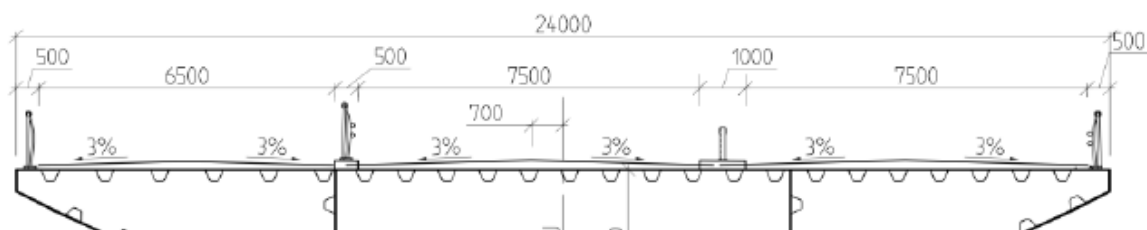
2.2 Bruløsninger i kommunedelplanen

I kommunedelplanen er kryssingen av Vestfjorden skissert med ei hengebru med et hovedspenn på omtrent 500 m. Forankring av bærekablene mot tilstøtende tunneler under Rambergåsen er ikke vist. Hengebrualternativet vil være en naturlig referanse og målestokk for andre bruløsninger. Kostnadsoverslaget for hengebrua tyder også på at andre bruløsninger kan vise seg å være konkurransedyktige. Det er relativt grunt vann i traséen, og det er derfor naturlig å utrede brukonsepter med flere og kortere spenn fundamentert i fjorden.

I tillegg til hengebru er det tidligere også sett på brutyper som kan åpnes, men disse alternativene er nå forlatt.

2.3 Vegklasse og vegbredde

Vegen er planlagt etter tidligere dimensjoneringsklasse H6 med fire kjørefelt og gang- og sykkelveg. På brua får man en inndeling, som vist i Figur 1, som er hentet fra konsekvensutredningen [1].



Figur 1 Inndeling i kjørebane og gang- og sykkelveg på brua

Det skal lages en separat tunnel for gang- og sykkelvegen under Rambergåsen. Gang- og sykkelvegen kan føres inn mot kjørebane før selve brua, men separate tunneler gjør at det vil være en fordel med en breddeutvidelse av brubjelken i den østlige enden.

2.4 Seilingshøyde og linjeføring

I utgangspunktet var kravet til seilingshøyde på 55 m, men kravet er nå justert ned til 40 m over en bredde på 80 m. Kravet til høyde på seilingsløpet kan med betydelig fordel for bruløsningen senkes ytterligere – for eksempel ned mot 30 m.

I kommunedelplanen er linjepålegget over brua vist med stigning/fall på 5 prosent på begge sider og et høybrekk over seilløpet med vertikalradius 3 000 m. Veglinja ligger på ca. kote +31 (Rambergåsen, profil 2 480) og +32 (mot Jarlsberg travbane, profil 3 100). For alle brupraktiske hensyn er horisontalkurvaturen rett mellom profilene 2 480 og 3 100.

Vertikal klaring (altså seilløpets høyde) måles fra høyeste astronomiske tidevann (HAT), som er det høyeste høyvannet som kan beregnes for en 19-års periode under gjennomsnittlige meteorologiske forhold. HAT for Vestfjorden er ca. 0,25 m over nullnivået i det norske nasjonale høydesystemet (NN2000), som igjen er referansen for de angitte kotehøydene ovenfor. Se også farvannsbeskrivelsen *Den norske los* utgitt av Kartverket.

En justert vertikalkurvatur, med redusert stigning til ca. 1 i stedet for 5 prosent, vil – med unntak for et lavere seilløp – være gunstig:

- Reduksjon av trafikkstøyen
- Reduksjon av drivstofforbruket for vegtrafikken
- Mer attraktiv veglinje for de syklende
- Brua kan få et mer tiltalende estetisk uttrykk
- Reduksjon i byggekostnadene for selve brua (lavere høyde og reduserte laster)

2.5 Grunnforhold

Grunnforholdene i veglinja på land er oversiktlige; her er det berg i dagen på østsiden med en kvalitet (larvikitt), som egner seg godt for fundamentering av bru. På vestsiden kan det stedvis være overliggende jordmasser med liten dybde til berg.

Kartleggingen av grunnforholdene i sjøen er ufullstendig. Det er så langt utført fem totalsonderinger, og resultatene indikerer følgende [2]:

- Største dybde til sjøbunnen er ca. 13 m.
- Bløte leirmasser øverst med økende mektighet utover fra land, og midtfjords går leirlaget ned til ca. kote -65. På vestsiden er det indikasjoner på meget bløte og sensitive avsetninger.
- Under de bløte avsetningene er det morenemasser med varierende mektighet, og ut fra land på begge sider er det morenemasser fra ca. kote -35 til -45.
- Bergflaten er ikke kartlagt godt nok, og berget er av varierende kvalitet. Midtfjords er det antydning at berget ligger på ca. kote -90. Det er registrert flere knusingssoner (med dypforvitring i berget) på tvers av veglinja.

Det er ikke tatt opp prøver av de bløte leirmassene. Morenemassene og berget er heller ikke undersøkt.

Det anbefales at supplerende grunnundersøkelser tar utgangspunkt i skissert fundamentering av anbefalt bruløsning.

Grunnforholdene i fjorden, som er beskrevet ovenfor, egner seg ikke for sålefundamentering eller andre former for fundamentering som baserer seg på lastbæring i løsmasser. Lasten fra brufundamentet må føres ned til berg, og peler framstår som en aktuell teknisk løsning – spesielt rammede eller borede stålrørspeler [3]. Rammede stålrørpeler egner seg når det er:

- Sjøarbeider
- Grove steinmasser
- Store bergdybder
- Ikke stabilitetsproblemer i omkringliggende løsmasser
- Peling fra flåte

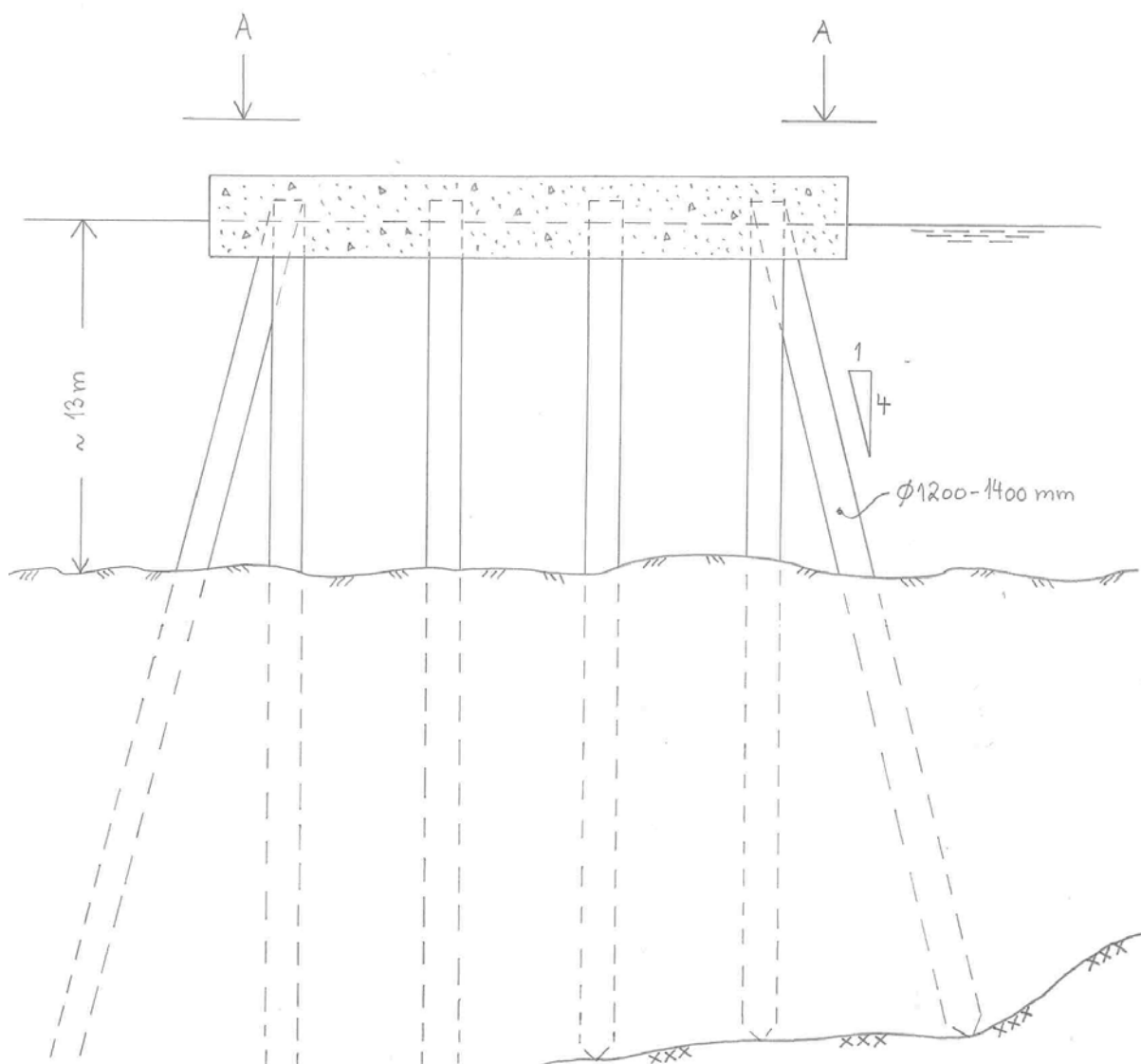
Borede stålrørspeler installeres ved boring i stedet for ramming, og selve boreoperasjonen produserer betydelige mengder med boreslam. Borede stålrørspeler egner seg når det er:

- Blokker
- Skrått og vanskelig berg
- Krav til lite støy under installasjonen

Med tanke på bruk av rammede stålrørspeler er det viktig å kartlegge bergflaten nøyaktig – spesielt steile partier. Full oversikt over eventuelle sensitive løsmasseavsetninger i fjorden er også helt avgjørende for et forutsigbart byggeprosjekt.

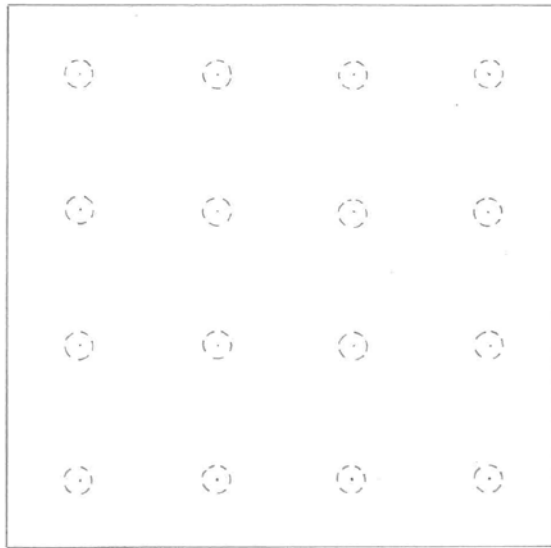
2.6 Fundamentering på frittstående pelegruppe i vann

Akser eller søyler i sjøen kan fundamenteres på frittstående pelegrupper. Slike pelegrupper utføres typisk med stålrørspeler med diameter $\text{Ø} = 1200\text{-}1400\text{ mm}$ og ståltykkelse typisk 14-20 mm. Etter ramming/boring kuttes pelene i korrekt høyde; pelene tømmes eventuelt for vann; det armeres; og stålrørene støpes ut. Deretter forskales, armeres og støpes fundamentplata, som holder pelegruppa sammen. Nedenfor i Figur 2 vises prinsippet for ei slik pelegruppe, og Figur 3 viser snitt A-A.



Figur 2 Fundamentering med frittstående pelegruppe i vann

For rammede, spissbærende, vertikale pelere med lengde over 24 m er anbefalte minste senteravstand mellom stålrørene i pelegruppa $5 \cdot \emptyset$ i henhold til [3]. Denne avstanden kan være mindre – spesielt med borede pelere.



SNITT A-A

Figur 3 Fundamentering med frittstående pelegruppe i vann, snitt A-A

De ytterste pelene settes gjerne med en helning 1:4 eller 1:5 for å ta horisontallast fra den overliggende brukonstruksjonen samt strøm- og islast på selve fundamentplata. Pelene innenfor settes teoretisk sett vertikalt.

Det er tekniske og praktiske utfordringer med å støpe ut lange stålrørspeler (undervannsstøp). Tommelfingerregelen er at utstøping av pelere med lengde opp til 15 m er uproblematisk; pelelengder opptil 30 m er krevende; og pelelengder over 30 m er svært utfordrende. Undervannsstøpen lar seg utføre på en akseptabel måte, men dette er en betongteknisk problemstilling, som må tas på alvor for å oppnå et akseptabelt resultat. God planlegging av utførelsen er viktig.

I henhold til vegnormalen N400 *Bruprosjektering* [4] skal stålrøret ikke medregnes i peletverrsnittets kapasitet i ferdigtilstand. Det heter også at bidraget fra stålrøret ikke skal medregnes for fri pelelengde i vann, og ved beregning av stivhet skal stålrøret medregnes dersom større stivhet gir ugunstigere lastvirkninger. Nødvendig ståltverrsnitt styres dermed av kriterier for ramming av stålrøret samt behovet for stivhet i pelegruppa i byggetilstanden, hvor kapasiteten til stålrøret rent beregningsmessig kan utnyttes.

Ramming av pelene fra en flåte framstår kanskje totalt sett som den mest nærliggende og robuste løsningen, men det er ikke nødvendig å utelukke andre metoder for installasjon av stålrørspeler på dette stadiet i prosjektet.

2.7 Strømningsforhold

Det er tidligere laget en rapport om strømningsforholdene i Vestfjorden [5], men denne rapporten omhandler i hovedsak virkningene av en senketunnel i fjorden. I kapittel 10 i rapporten omtales også konsekvensene av bru med søyleakser i sjøen.

Konklusjonen er at søyler i sjøen sannsynligvis ikke er et problem, men dette kan ikke fastslås med sikkerhet før det er gjort strømningsmålinger i fjorden.

Strømningsforholdene vil i liten grad ha konstruksjonsteknisk betydning for ei frittstående pelegruppe i vann. Problemstillingen er derfor om pelegruppa eller pelegruppene påvirker strømningsforholdene og vannutskiftningen i fjorden og dermed de indre fjordområdene med Ramsar-status. Det anbefales at eventuelle endringer av strømningsforholdene i fjorden og de indre fjordområdene (Ilene naturreservat og våtmarksområdene) undersøkes nærmere for den anbefalte bruløsningen, og at det dokumenteres at eventuelle endringer ikke påvirker naturreservat og våtmarksområder.

2.8 Landskap og bruestetikk

Vestfjorden strekker seg typisk i retning nord-sør, og veglinja er lagt normalt på fjordretningen slik at brua blir liggende i retning øst-vest. Siden det her er tale om ei stor bru og et brusted nært sentrum av Tønsberg og tettbygd område, så vil man få reaksjoner nærmest uansett hva som planlegges. Beboerne på Rambergåsen vil oppleve ei høy bru som en visuell forstyrrelse i vest. For øvrig vil den visuelle opplevelsen av brua måtte bli fra betydelig avstand. Veglinja ligger typisk på kote +40 i kommunedelplanen. Et overliggende bæresystem (for eksempel tårn for henge- og skråstagbru; buebru) vil skape et monument, mens underliggende bæring (brubjelkeløsning) vil tone ned den monumentale fjernvirkningen betydelig. Trafikantene vil oppleve brua uten avstandsinntrykk – kun detaljer i det man passerer – fordi vegen umiddelbart går inn i tunnel på begge sider av Vestfjorden.

Et sentrert seilløp i Vestfjorden krever et odde antall spenn over fjorden – ett, tre, fem eller kanskje sju spenn.

Hengebrua og brubjelken tåler betydelig vertikalkurvatur uten at det skapes estetiske eller tekniske utfordringer. Skråstagbrua og buebrua er estetisk mer følsomme for vertikalkurvatur, og disse bruløsningene ser estetisk bedre ut med ei relativt flat veglinje.

2.9 Klimagassutslipp i byggeperioden

Det kan hevdes at en reduksjon i materialmengder er proporsjonal med en reduksjon i klimagassutslipp i byggeperioden, og det betyr at slanke og materialeffektive konstruksjoner er gunstig. For å oppnå slanke og optimale konstruksjoner, må det planlegges grundig og detaljert, og slikt ingeniørarbeid vil derfor være en nødvendig innsatsfaktor for å redusere klimagassutslipp.

Konstruksjonsstål og betongprodukter bør leveres av produsenter som kan dokumentere et lavest mulig utslipp av klimagasser. Anleggsmaskiner som drives av el-kraft, er en annen viktig faktor for å redusere utslipp fra fossilt drivstoff. Kortreist transport og verkstedproduksjon nært brustedet er også virkningsfulle tiltak for reduserte klimagassutslipp.

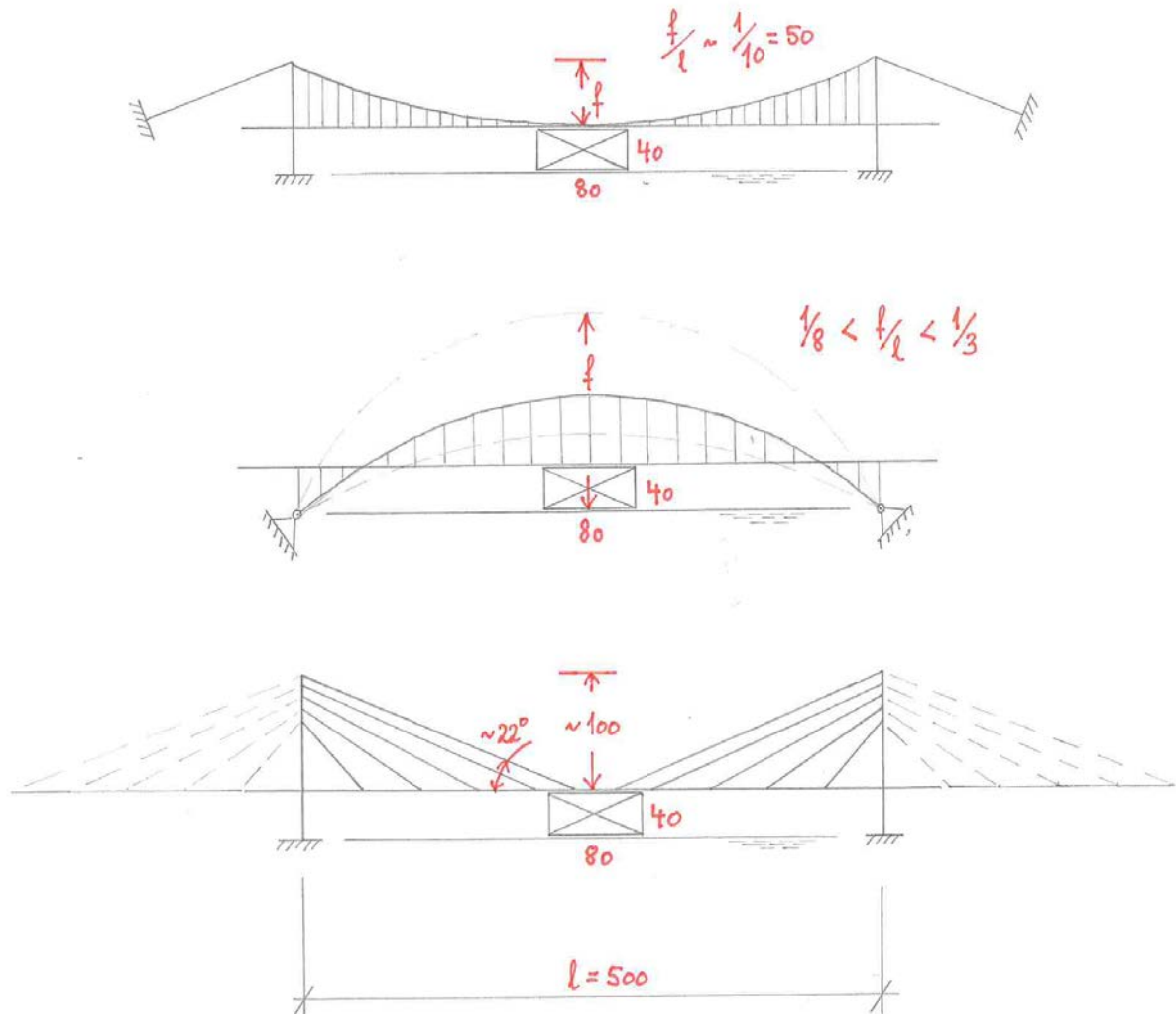
2.10 Miljøhensyn

Naturmangfold er utredet og beskrevet [6], og kryssingen av Vestfjorden med veglinje 11500 virker å være et trasévalg som påvirker naturmangfoldet i mindre grad enn andre alternativ som er utredet. Det er ikke spesifikt pekt på rødlistearter knyttet til fjordkryssingen i linje 11500 og brutraséen. Nærføring med hekkeområde for vandre-falk teller negativt i vurderingen av naturinngrepet.

3 Valg av bruløsning

3.1 Overliggende eller underliggende hovedbæresystem

Kryssing av fjorden med ett spenn på omtrent 500 m begrenser hovedbæresystemet til tre prinsipielt ulike varianter: Hengebru, buebru og skråstagbru. Disse tre variantene er skissert i Figur 4 nedenfor, og alle tre har overliggende bæring – altså at deler av den bærende konstruksjonen ligger over veglinja. Figuren er tegnet i målestokk, hvor f er pillhøyden og l er spennvidden. Mål er angitt i meter.

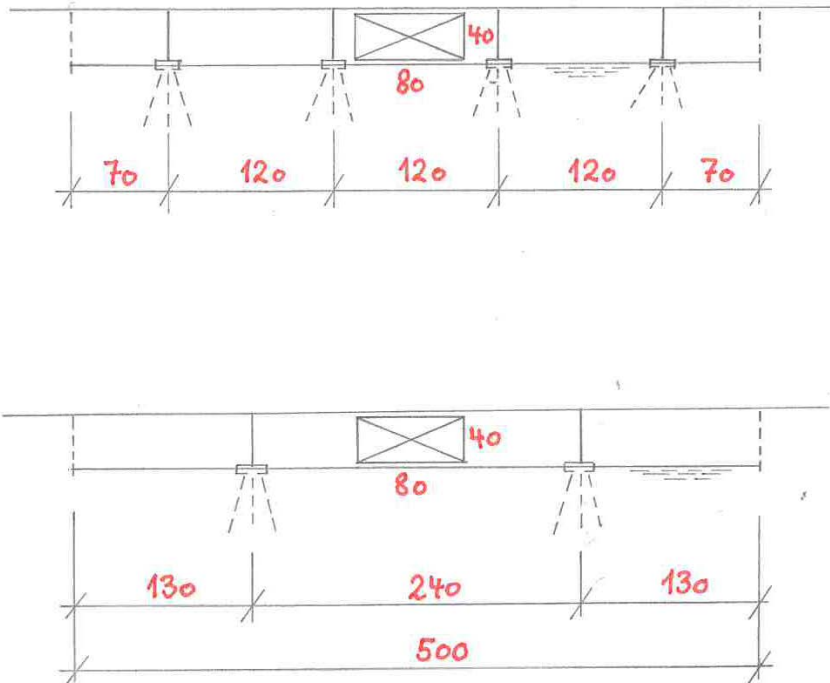


Figur 4 Prinsipp for overliggende hovedbæresystem

Tallene viser at høyden på ei buebru eller ei skråstagbru med ett spenn blir vesentlig større enn ei hengebru, og grovt anslått er det tale om ~150 m sammenlignet med ~100 m over havnivå. Samtidig er det verdt å merke seg at løsningen med skråstagbru i ett spenn over fjorden medfører dobbelt så lang bru som nødvendig på grunn av kravet til vektbalanse om tårnaksene.

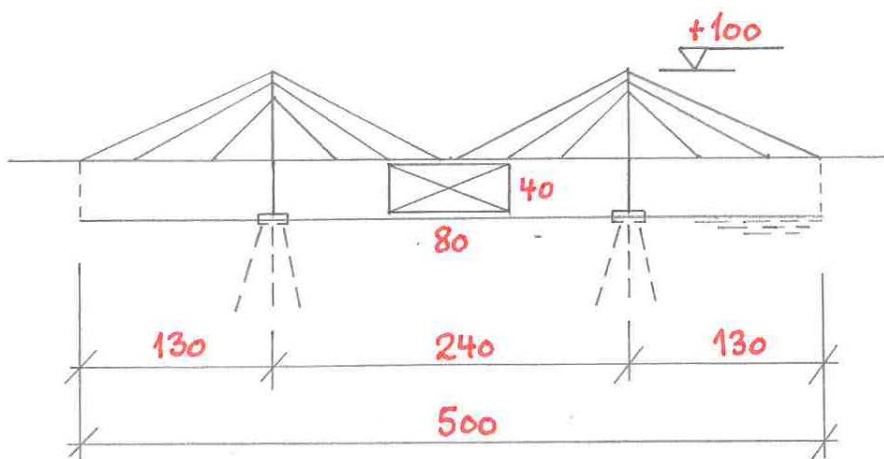
Fundamentering av søyleakser i fjorden åpner muligheten for å benytte bjelker som hovedbæresystem. Bjelker kan utformes både underliggende og overliggende, og det kan lages løsninger som kombinerer begge prinsippene i én og samme bruløsning. Momentstivhet over søyleakser (kontinuitet), eller ikke, er et forhold som har sterk kobling til byggemetoden. Fritt frambyggemetoden (FFB) og metoden med utskyvning

av brubjelken fra landkar krever begge kontinuitet over søyleaksene, mens montering av hvert enkelt spenn med flytekran gir mulighet for bruk av fritt opplagte bjelker. Nedenfor er det i Figur 5 vist to ulike prinsipp for en kontinuerlig bjelke og underliggende bæring, jf. Figur 4. Byggingen av tre spenn utføres mest hensiktsmessig med fritt frambyggemetoden, mens fem spenn kan bygges med utskyvning eller med kran.



Figur 5 Prinsipp for bjelkeløsninger

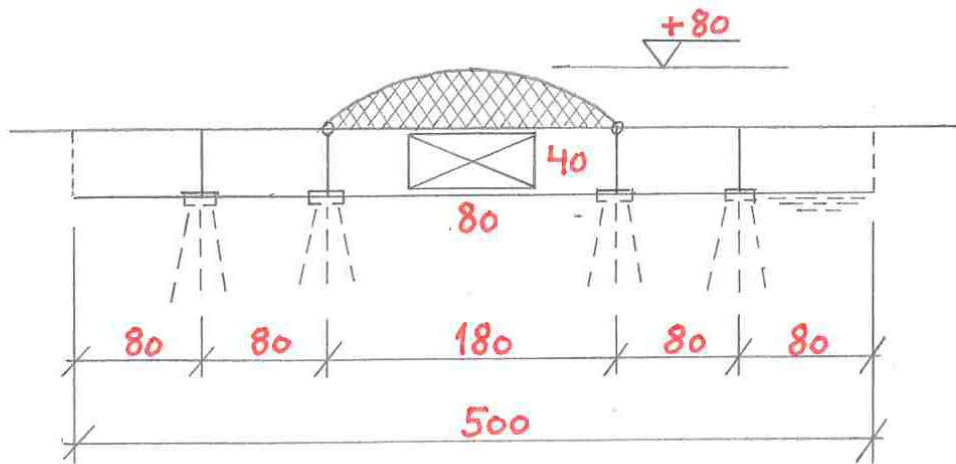
Bjelkeløsningen med tre spenn i Figur 5 ovenfor kan også utføres med overliggende bæring, og her utnyttes skråstagkonseptet over hele brulengden – se Figur 6. Byggingen utføres med fritt frambyggemetoden.



Figur 6 Skråstagprinsippet i tre spenn

En økning av hovedspennet for seilløpet kan gjøres ved å benytte en kombinert løsning med både overliggende og underliggende hovedbæresystem. Bjelkene på hver

side av hovedspennet gjøres kontinuerlige over støtter – se Figur 7. Hovedspennet kan for eksempel være en nettverksbue, som monteres med flytekraner, og side-spennene skyves ut fra landkar. Utskyvning fra landkar forutsetter en plan undergurt uten vouter.



Figur 7 Kombinerert overliggende og underliggende bæring

3.2 Utfordringen med manglende symmetri i tverrsnittet

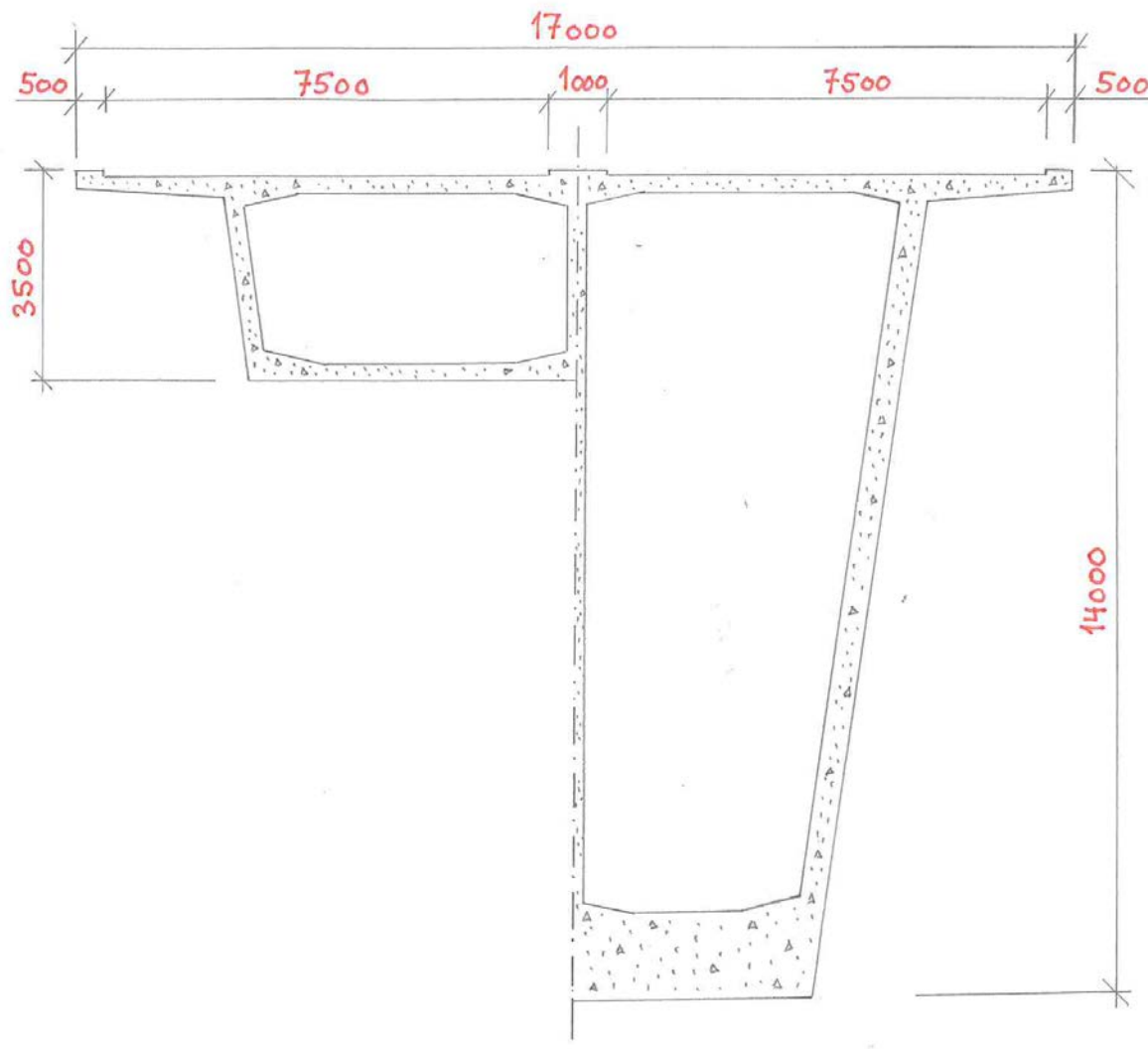
Hvis man utelukkende betrakter fire kjørebane – to i hver retning, gir det symmetri i tverrsnittet. Gang- og sykkelvegen i tillegg gjør tverrsnittet usymmetrisk, og dette gjenspeiler seg også i den svært ulike funksjonen som kjørearealet har sammenlignet med gang- og sykkelarealet. Kjørebane skal bære større trafikklast enn gang- og sykkelarealet, og derfor er det i utgangspunktet kanskje ikke kostnadseffektivt å kombinere bæringen av disse to trafikkarealene i en og samme bærekonstruksjon. Gående og syklende vil også bli sjenert av for liten avstand mellom kjørebane og gang- og sykkelareal.

De ovennevnte argumentene frambringer tanken om å henge gang- og sykkelvegen direkte på resten av brua, og at dette kan være vel så kostnadseffektivt som en fullstendig integrert løsning, hvor gang- og sykkelvegen bidrar til bæring i retning over fjorden. Uansett vil en slik løsning sette krav til omtenksum utforming og detaljering av gang- og sykkelvegen slik at resultatet blir funksjonelt og estetisk tilfredsstillende.

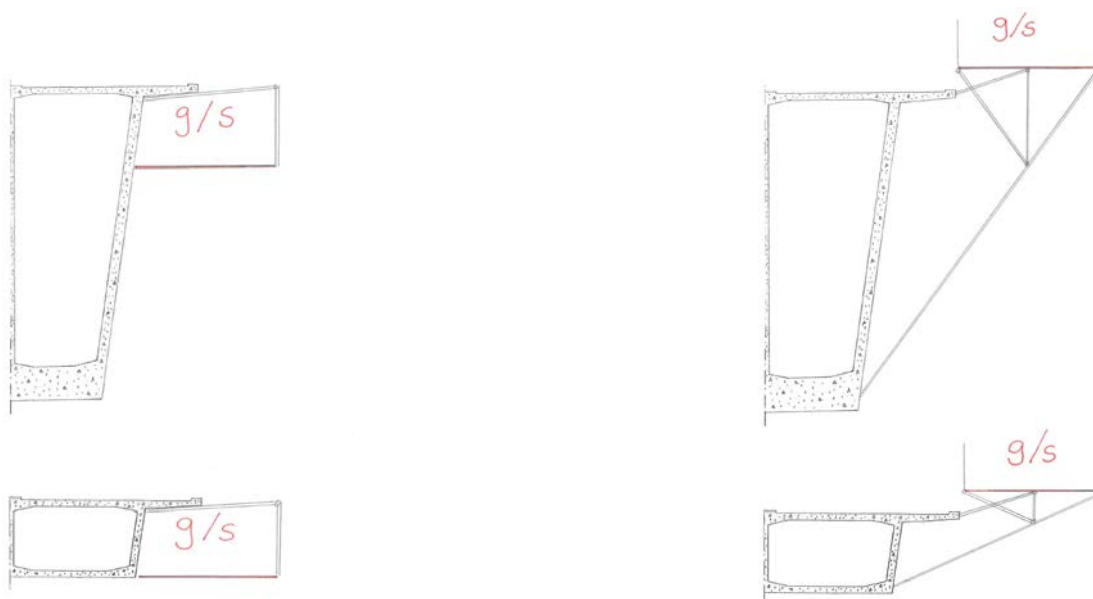
Figur 8 på neste side viser et mulig tverrsnitt for ei fritt frambyggbru i betong med tre spenn og spenninndeling 130 m, 240 m og 130 m, og uten gang- og sykkelvegen er det full symmetri i tverrsnittet. Mål er angitt i millimeter.

Med overliggende bæring er situasjonen om mulig enda mer krevende. Gang- og sykkelvegen kan legges på innsiden sammen med kjørefeltene, og da blir den overliggende bæringen i størrelsesorden 7,5 m bredere enn hvis gang- og sykkelarealet legges på utsiden. Overliggende bæring vil være en kraftig konstruksjon uansett brutype, og dermed vil materialbehovet og kostnadene øke bare som en følge av økt behov for bredde.

Figur 9 på neste side viser i prinsipp hvordan gang- og sykkelvegen kan henges på det bærende tverrsnittet, og her er det mange flere mulige løsninger. Bredden på gang- og sykkelarealet er skissert opp med $3 + 3 = 6$ m.



Figur 8 Mulig tverrsnitt av fritt frambyggbru i betong uten gang- og sykkelveg



Figur 9 Prinsipp for påhengt gang- og sykkelveg

Funksjonaliteten til gang- og sykkelvegen vil bli bedre om den skjermes fra vegtrafikken. Dette kan gjøres ved å heve den litt over vegbanen, eller den kan flyttes under bærekonstruksjonen. Det er nok ikke mulig å skjerme gang- og sykkeltrafikken for all vegtrafikkstøyen, men her er det kanskje veldig mye bedre med litt framfor ingenting. Det kan også være en tanke å flytte gang- og sykkelvegen inn i selve brubjelken og bærekonstruksjonen. En slik tunnelløsning vil i så fall kreve ytterligere tiltak mot støy for å gjøre det akseptabelt for brukerne. Samtidig vil det kreve innvendig belysning og overvåkningssystemer. Brukerne blir samtidig forhindrede fra å oppleve fjordkryssingen i friluft med utsikt, og dette kan være negativt når gang- og sykkelvegen uansett skal gå i tunnel gjennom Rambergåsen.

3.3 Aktuelle brutyper

Hengebrua, som ble foreslått i kommunedelplanen, krysser fjorden i ett spenn og videreføres som referanse. Det er også naturlig å vurdere brukonsept med tre eller fem spenn, og det er dermed prinsipielt tre aktuelle bruløsninger (kategorier). Innenfor disse tre prinsipielt ulike bruløsningene er det igjen flere mulige brutyper om man vil. Nedenfor er det gitt en punktvis oversikt over aktuelle brutyper innenfor de tre prinsipielt ulike kategoriene.

Ett hovedspenn:

- Hengebru
- Buebru
- Skråstagbru

Hengebrua er med som referanse; buebrua utelukkes uten videre på grunn av høy kostnad; og skråstagbrua med ett hovedspenn utelukkes fordi den er lite egnet for dette brustedet og samtidig har høy kostnad.

Tre spenn:

- Skråstagbru
- Fritt frambyggbru med tverrsnitt av armert betong
- Fritt frambyggbru med steg av trapeskorrugerte stålplater samt ekstern forspenning

For de spennviddene det her er tale om, vil fritt frambyggbru med tverrsnitt av armert betong være en vesentlig mer kostnadseffektiv løsning sammenlignet med skråstagbru. Skråstagbru i tre spenn utelukkes derfor uten videre på grunn av høy kostnad.

Fem spenn:

- Samvirkebru – ståltrau med armert betongdekke

Montering av brubjelken med flytekran vurderes å være mer kostnadseffektivt enn bygging med fritt frambyggmetoden for de spennviddene det her er tale om. Derfor er fritt frambyggbru ikke med i punktlista ovenfor. Samvirkebru i stål og betong er den brutypen som har minst egenlast, og for de korteste spennene vil fundamenteringen av ei samvirkebru naturlig nok bli enklest og minst omfattende.

Andre aspekt:

Både med tre og fem spenn kan det være aktuelt å markere hovedspennet og dermed øke spennvidden noe. Spesielt for løsningen med fem spenn kan det være gunstig med et fritt innhengt hovedspenn med overliggende bæring – altså en kombinasjon

av brutyper: Underliggende bjelker i sidespennene og overliggende fagverk, eller nettverksbue, i hovedspennet. Viaduktløsningen på vestsiden av fjorden med fundamentering på land er ikke omtalt eller beskrevet i ovenstående, eller rapporten for øvrig.

3.4 Fundamenteringens betydning for valg av bruløsning

Som en generell regel for bruer gjelder at flere og kortere spenn er mer kostnads-effektivt enn færre og lengre spenn. Underforstått er det slik at fundamenter og søyler er rimeligere enn lange bruspenner, men dersom fundamenteringen er kostbar, så kan situasjonen bli motsatt.

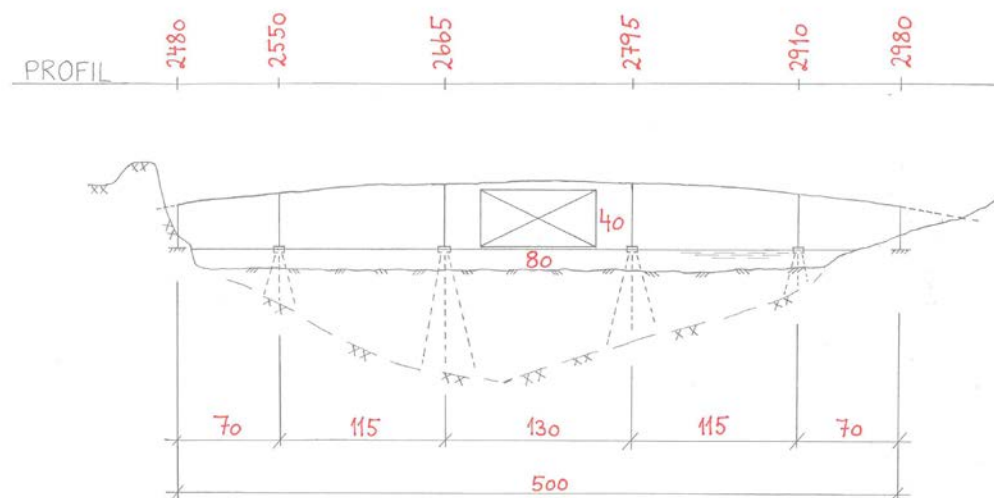
Kostnader for ulike brutyper er i utgangspunktet relativt godt kjent, men fundamenteringen i Vestfjorden er spesiell. Pelegruppene og fundamenteringen får derfor vesentlig betydning for kostnadene og valg av brutype.

Eventuelle søyleakser på land blir svært rimelige sammenlignet med søyleakser fundamentert på frittstående pelegrupper i vann.

Beskrivelse av usikkerhet og risikoreduserende tiltak knyttet til fundamentering med frittstående pelegrupper i vanntiltak vil være viktig ved valg av bruløsning. Nedenfor listes det opp noen momenter, som bør vurderes:

- Bygging med fritt frambyggemetoden kan gi betydelig større lastvirkninger i søyleaksen enn det som påføres i ferdigtilstand. Det er derfor nødvendig å kontrollere at man unngår strekk i peler i byggefasen når man forutsetter å bruke fritt frambyggemetoden.
- Større fundament betyr lengre byggetid, og muligheten for at det dukker opp uforutsette hendelser og utsettelse av byggearbeidene, vil derfor øke.
- Kanskje er det nødvendig å planlegge med at en viss andel av pelene ikke blir installert riktig, og at peler derfor må vrakes.
- Er usikkerheten større for store pelegrupper (fritt frambyggbru) enn for mindre pelegrupper (samvirkebru i stål og betong)? Vurdering av denne typen usikkerhet er viktig når det gjelder kostnader.
- Er strømmingen i fjorden en utfordring, eller ikke, for pelearbeidene?

3.5 Samvirkebru i stål og betong med fem spenn

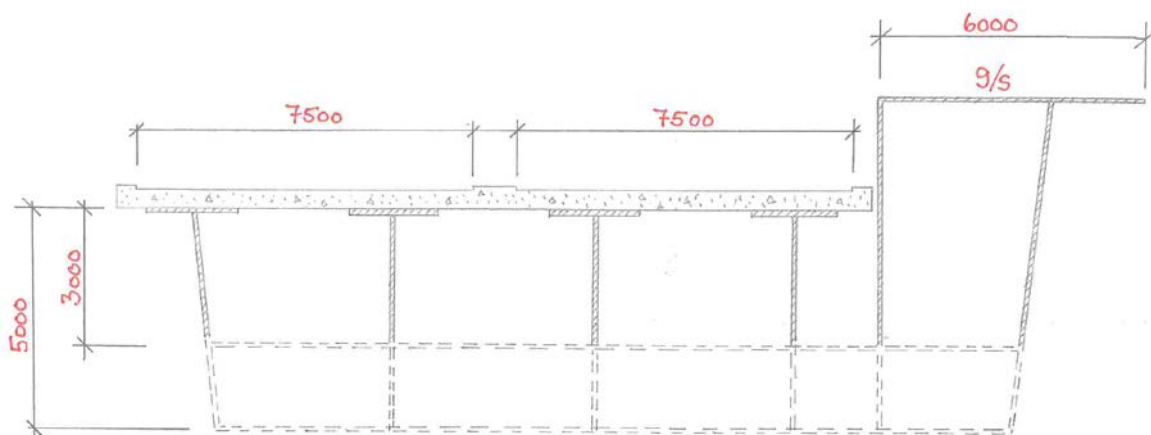


Figur 10 Samvirkebru i stål og betong med fem spenn

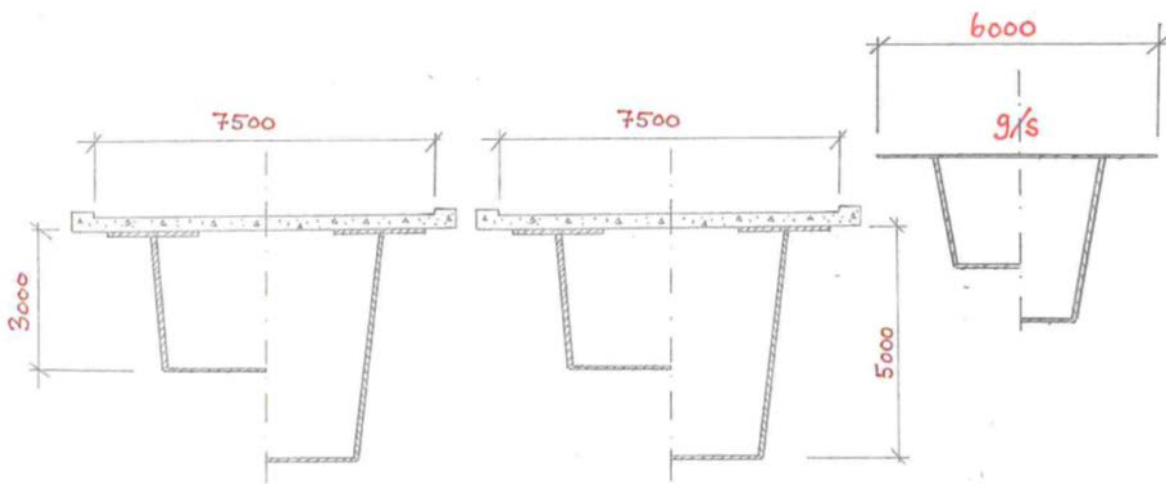
Et forslag til ei samvirkebru med ståltrau og betongdekke er skissert i Figur 10 på forrige side. Det er valgt en spenninndeling som $70 + 115 + 130 + 115 + 70 = 500$ m for å få et tydelig hovedspenn. Videre er det et estetisk poeng å legge seilløpet midt i fjorden slik at koblingen mellom seilløp og spenninndeling er klar og tydelig. For å opprettholde seilløpet på 40 m over en bredde på 80 m, må derfor veglinja i kommunedelplanen justeres slik at den heves noe mot Rambergåsen og senkes noe mot vestsiden av fjorden.

Konstruksjonsteknisk utforming av tverrsnittet:

Skrå steg gir en estetisk geometri når tverrsnittshøyden varierer. I prinsipp kan ståltrauene utformes som et fullstendig integrert tverrsnitt; eller de kan monteres som separate stålkonstruksjoner og kobles sammen med betongplata; eller de kan utformes som helt separate konstruksjoner. Se prinsippene skissert i Figur 11 og Figur 12 nedenfor, hvor gang- og sykkelvegen er hevet til et høyere nivå for å bedre funksjonaliteten.



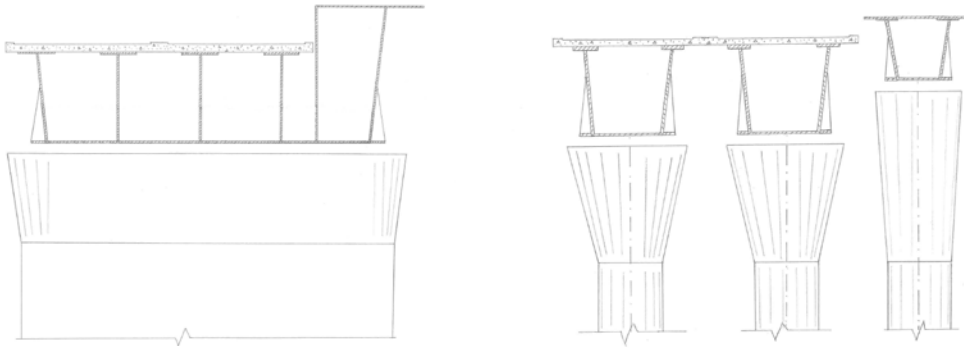
Figur 11 Prinsipp for tverrsnittutforming – integrert tverrsnitt



Figur 12 Prinsipp for tverrsnittutforming – oppdelt tverrsnitt

Flere søyler eller én pilar i oppleggsaksene:

Utforming av tverrsnittet har betydning for opplegget. To mulige løsninger er skissert i Figur 13 nedenfor.



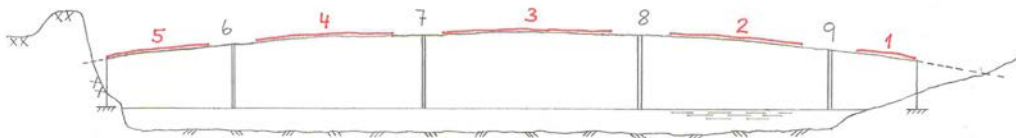
Figur 13 Utforming av opplegg med pilar eller søyler

Fundamentplate og pelegruppe:

Det vurderes ikke som hensiktsmessig å dele opp fundamentplata fordi det er viktig å få fordelt lasten fra overbygningen ut på alle pelene. Det må gjøres en grundig vurdering og beregning av tykkelsen på fundamentplata samt antall peler og dimensjoner på pelene og pelegruppa.

Byggemetode:

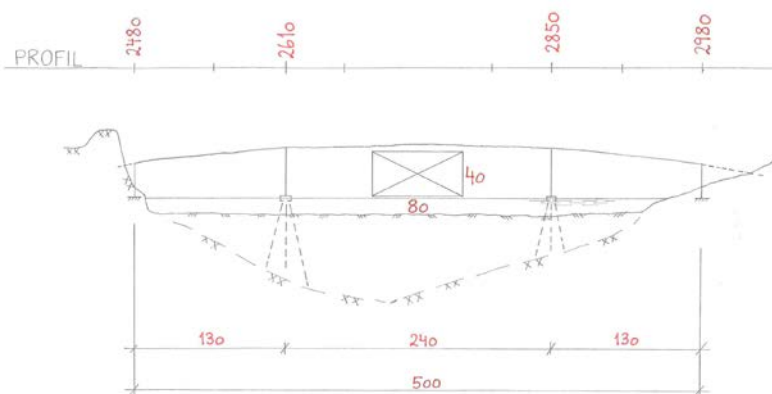
Det kan legges opp til en effektiv og rasjonell anleggsfase med samtidig produksjon i verkstedet og utførelse av underbygningen. Brubjelker i stål (ståltrau) skipes inn på lekter fra verkstedet til brustedet og monteres med flytekran. Betongdekket må støpes ut i etapper, og en mulig inndeling i støpetapper fra 1 til 9 er vist i Figur 14.



Figur 14 Støpetapper og støperekkefølge

3.6 Fritt frambyggbru i tre spenn

En aktuell løsning med fritt frambyggbru er skissert i Figur 15 nedenfor.



Figur 15 Fritt frambyggbru i tre spenn

Tverrsnittformen for en ren betongløsning må bli som skissert tidligere i Figur 8 og Figur 9. Bjelkehøyden varierer fra ca. 3,4 m til 14,0 m. Det er foreslått tre steg, hvor ytterstegene har svak helning.

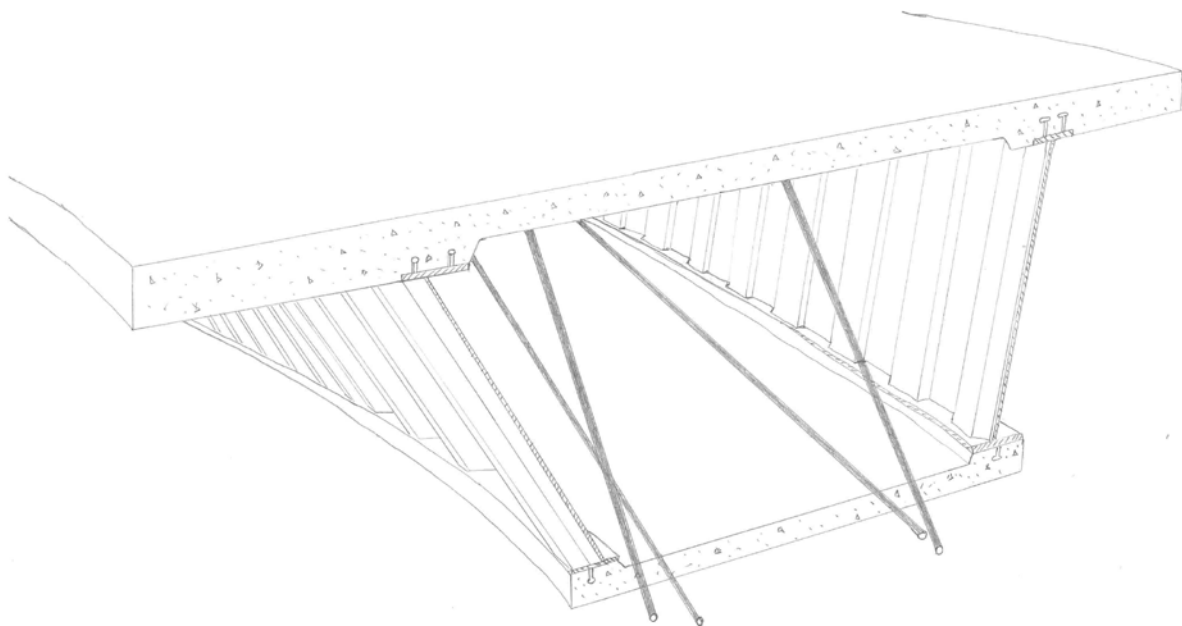
I søyleaksene foreslås det en pilar med bredde 10 m øverst og 12 m nederst mot fundamentplata. Dimensjonen i bruas lengderetning er 6 m. Pilarene utformes som hule kasser, og en hensiktsmessig byggemetode er bruk av glidebøtter.

Grove overslagsberegninger tyder på at fundamentplata blir enorm og antall peler i pelegruppa blir veldig stort. Noe av årsaken til dette ligger blant annet i en tung brubjelke.

3.7 Fritt frambyggbru (samvirke stål og betong) i tre spenn

En mulig løsning med fritt frambyggbru i stål og betong er antydnet i Figur 16 nedenfor. Stegene utføres med trapeskorrugerte stålplater, og gurtene er i armert betong. Spennarmeringen utføres med eksterne kabler, som ligger åpent inne i brubjelken. Denne oppbyggingen av konstruksjonen medfører at de ulike konstruksjonselementene bærer på en optimal måte: Skjærkraften bæres i stegene av korrugerte stålplater, og bøyemomentet bæres av gurter i betong og ekstern forspenning, hvor spennkablene utføres med høyfast stål. I teorien skal denne brubjelken bli noe lettere enn om stegene utføres i armert betong, som vist i Figur 8. Figur 16 er et forsøk på en perspektivskisse.

For øvrig er hovedgeometrien for en FFB-samvirkekonstruksjon i stål og betong identisk med den som er vist i Figur 15.



Figur 16 Fritt frambyggbru med trapeskorrugerte steg og ekstern forspenning

3.8 Oppsummering

Med de aktuelle løsningene som er skissert i denne rapporten, kan man lage følgende korte oppsummering:

- Samvirkebru i stål og betong med fem spenn er en gjennomførbar løsning, og det blir store, frittstående pelegupper i fjorden.

- Fritt frambyggbru i tre spenn er sannsynligvis en gjennomførbar løsning, men det blir svært store fundamenter i fjorden. Det kan gjøres tiltak med brubjelken for å redusere lasten på pelegruppene.
- Skråstagbru i tre spenn er kanskje en gjennomførbar løsning, men det vil bli helt uhensiktsmessig store fundamenter i fjorden.
- Beregning av entreprisestnader (kostnadsoverslag) må baseres på et gjennomarbeidet forprosjekt med god oversikt over grunnforhold, fundamentering, materialmengder, konstruksjonsutforming og byggemetode.

4 Entreprisekostnader

Referansene nedenfor benyttes for å antyde entreprisestkostnader for ulike brutyper.

Beitstadsundbrua (2017)

Dette er en samvirkekonstruksjon i stål og betong med pelefundamentering i sjø. Brua har spenninndeling $75 + 102 + 112 + 112 + 104 + 73 = 576$ m, og en føringsbredde på 11 m. Total entreprisestkostnad er opplyst til 270 MNOK, og i 2019-kroner blir dette 290 MNOK.

En økning av brubredde tilsvarende som for bru over Vestfjorden, gir skaleringsfaktoren $(7,5 + 7,5 + 2 \cdot 3,0) / 11 = 1,9$. Ved å korrigere lineært for kortere brulengde fås entreprisestkostnaden for samvirkebru over Vestfjorden som:

$$290 \cdot 1,9 \cdot 500 / 576 = 478 \text{ MNOK}$$

Tresfjordbrua (2012) og Tverlandsbrua (2011)

Dette er delvis FFB-bruer i betong, og de er stedvis fundamentert på peler i sjø. Tresfjordbrua er 1 290 m lang, og total entreprisestkostnad er opplyst til 570 MNOK. Tverlandsbrua er 670 m lang med fire kjørefelt samt g/s-veg, og total entreprisestkostnad er opplyst til 264 MNOK. I 2019-kroner blir dette henholdsvis 690 MNOK og 330 MNOK. Her skal man være meget forsiktig med å skalere direkte mot bredden, og en ren skalering mot lengden gir følgende totale entreprisestkostnader for en brulengde på 500 m:

$$690 \cdot 500 / 1\,290 = 267 \text{ MNOK}$$

$$330 \cdot 500 / 670 = 246 \text{ MNOK}$$

Den eneste holdbare konklusjonen fra denne overslagsmessige beregningen må derfor knyttes til følgende observasjon: Entreprisekostnaden på fritt frambyggbruer er i utgangspunktet meget lav sammenlignet med andre brutyper. Det er uklart om hva som er viktigst for entreprisestkostnaden – pelefundamenteringen i sjø, eller den totale brubredde.

Dalsfjordbrua (2011)

Dette er ei hengebru med to kjørefelt, føringsbredde 9,0 m og hovedspennvidde 523 m. Total entreprisestkostnad er opplyst til 370 MNOK, og i 2019-kroner blir dette 450 MNOK.

Ved å øke bredden med en faktor på 2,5 vil:

- kostnaden for stålkassen øke tilsvarende
- kostnaden for bærekablene øke noe mer på grunn av overgang til luftspinning av bærekablene
- kostnader for tårn- og bergarbeider øke noe mindre

Kostnaden for tårn er mye høyere enn for bærekablene slik at skaleringsfaktoren med hensyn til bredde vil være noe mindre enn 2,5. Her foreslås det at skaleringsfaktoren settes lik 2,0. Ved å korrigere lineært for kortere brulengde fås en entreprisestkostnad for hengebru med hovedspenn på 500 m som:

$$450 \cdot 2,0 \cdot 500 / 523 = 860 \text{ MNOK}$$

4.1 Oppsummering

Viaduktene eller tilslutningene på begge sider er ikke med – kun 500 m bru over sjø, og entreprisekostnad for ulike brutyper i Vestfjorden kan dermed antydes som følger:

- Samvirkebru i stål og betong: 500 MNOK
- Fritt frambyggbru i betong: 300 MNOK
- Hengebru: 900 MNOK

Et pålitelig kostnadsoverslag kan bare baseres på materialmengder, byggemetode, grunnforhold, etc. som er forutsatt og dokumentert i en forprosjektrapport. Det er ikke uten videre slik at fritt frambyggbru er det kostnadmessig optimale valget av bruløsning i Vestfjorden.

5 Konklusjon – anbefalt bruløsning

I denne rapporten skisseres det aktuelle løsninger for kryssing av Vestfjorden ved Tønsberg med bru. Det anbefales at det utarbeides et forprosjekt for en bruløsning med fem spenn. Brutypen som foreslås, er en samvirkekonstruksjon i stål og betong. Forprosjektet er et helt nødvendig grunnlag for å kunne utarbeide et kostnadsoverslag med tilstrekkelig sikkerhet omkring materialmengder. Kostnadsoverslaget vil være sentralt for videre beslutninger i prosjektet. Forprosjektet bør detaljeres ytterligere i reguleringsplanfasen. Forholdet mellom vegtrafikk og gang- og sykkeltrafikk bør få stor oppmerksomhet i det videre arbeidet med å utvikle en funksjonell og god løsning.

Om andre bruløsninger bør utvikles videre, er helt avhengig av valg av kontraktstrategi for utbyggingsprosjektet. Om man velger å gå inn i en totalentreprise, er det for eksempel helt naturlig å åpne opp for bruløsninger i tre spenn, og her er da både fritt frambyggbru i betong og et alternativ med trapeskorrugerte steg i stål og ekstern forspenning potensielt kostnadseffektive kandidater.

Uansett kontraktstrategi vil byggherren måtte bære risikoen knyttet til grunnforhold. Derfor er det viktig å foreta tilstrekkelige og pålitelige grunnundersøkelser i reguleringsplanfasen både for alternativet med to og alternativet med fire pelekser i sjøen.

6 Referanser

- [1] Ny fastlandsforbindelse fra Færder
Interkommunal kommunedelplan med konsekvensutredning
Bypakke Tønsberg-regionens [nettside](#)
- [2] Konsekvensutredning [1], Temarapporter Geoteknikk og geologi
Datarapport Linje 11500 Mars 2017.pdf
Datarapport fra grunnundersøkelse, Rambøll, 15.02.2017
- [3] Peleveiledningen 2012
Den norske pelekommité, Norsk Geoteknisk Forening
- [4] Statens vegvesens håndbok N400 *Bruprosjektering* (2015).
- [5] Konsekvensutredning [1], Temarapporter Ikke-prissatte konsekvenser
Strømningsforhold og sedimentasjon
Fastlandsforbindelsen mellom Nøtterøy og Tønsberg
Endringer i strømforholdene i Byfjorden og Tønsberg havn
Rapport nr. 553
Vegdirektoratet, geoteknikk- og skredseksjonen, 17.02.2019
- [6] Konsekvensutredning [1], Temarapporter Ikke-prissatte konsekvenser
Temarapport Naturmangfold
Temarapport-Fastlandsforbindelsen_rev_november_2017.pdf