

FAGRAPORT FORPROSJEKT NY MJØSBRU ALTERNATIV 2 - SYD FOR E6 MOELV-ROTERUD

Nasjonal PlanID:
Ringsaker kommune: 2019060936
Gjøvik kommune: 05020437

Prosjekt nr.:	113201
Oppdragsgiver:	Nye Veier AS
Dokumentnummer:	NV34E6MR-KNS-RAP-0048

Revisjonsoversikt

Revisjon	Dato	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01	16.12.2022	LLN/COWI AS	SWI/COWI AS	OLER/COWI AS ANO/COWI AS

Endringsoversikt

Revisjon	Endringsbeskrivelse

Forord

E6 på strekningen fra Moelv til Roterud er en del av hovedveiforbindelsen nord-sør i Norge, mellom Svinesund i sør og Kirkenes i nord. Nye Veier har ansvar for planlegging, bygging og drift av denne veistrekningen.



Oversiktskart som viser området det ble varslet oppstart for. Kilde: COWI AS

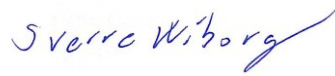
På vegne av Nye Veier har COWI AS utarbeidet fagrapport forprosjekt ny Mjøsbru alternativ 1 – nord i forbindelse med detaljreguleringsplan for E6 Moelv – Roterud. Forprosjekt ny Mjøsbru alternativ 1 – nord er utarbeidet etter krav fra/i henhold til plan- og bygningsloven og inngår som en del av grunnlaget for utarbeidelse av E6 Moelv – Roterud.

Kontaktinformasjon:

Prosjektleder plan, Nye Veier v/Harald Monsen 91811628 harald.monsen@nyeveier.no
Prosjekteringsleder ny Mjøsbru COWI AS Sverre Wiborg 92295969 swi@cowi.com
Fagkyndig for fagrapport forprosjekt ny Mjøsbru alternativ 2 – syd COWI AS Lars Lundorf
Nielsen +4556401168 ln@cowi.com

Larvik 16.12.2022

Dato/Sted



SVERRE WIBORG

Innhold

1	Sammendrag	6
2	Innledning	7
3	Datainnsamling	8
	3.1 Grunnforhold og geoteknikk	8
	3.2 Islast	8
	3.3 Korrosjon.....	8
	3.4 Anleggsgjennomføring	10
4	Kunnskapsgrunnlaget	12
	4.1 Anleggsteknikk.....	12
	4.2 Geoteknikk	12
5	Dagens situasjon	13
6	Tiltaket	14
	6.1 Veilinje.....	14
	6.2 Konstruksjon.....	15
	6.3 Kostnad.....	31
	6.4 Risiko.....	38
7	Bærekraft	41
	7.1 Beslutnings grunnlag.....	41
	7.2 Optimalisering av permanente konstruksjoner	41
	7.3 Optimalisering av anleggsgjennomføring.....	42
	7.4 Bestandighet og drift.....	43
	7.5 Videre arbeid	43
8	Referanseliste	44
9	Vedlegg	45

1 Sammendrag

I forbindelse med reguleringsplan for ny E6 på strekningen Moelv-Roterud, er det utført et forprosjekt for ny Mjøsbru alternativ 2 - syd. Denne rapporten oppsummerer forprosjektet og presenterer estimat for mengder, kostnad og risiko for gjennomføring av prosjektet.

Ny Mjøsbru alternativ 2 – syd er en kontinuerlig samvirkebru i stål og betong plassert ca. 900 meter sør for eksisterende Mjøsbru. Lengden av ny bru er vurdert til 1134 meter fordelt på 14 akser. Bru har to kjørefelt i hver retning og en generell veibredde på 20 meter. Bru er rett i plan og med konstant radius i vertikalplanet.

For aksene med fundamentering i Mjøsa er det valgt fundamentering på utstøpte Ø1220 og Ø1420 stålørspeler. For peler lengre enn ca. 80m er nedre del fylt med sand. Brua er fastholdt i lengderetning med lager ved landkar på vest siden. Alle aksene med søyler samt landkar på Moelv siden er utstyrt med glidelager. Overbygning er planlagt med ståltrau som lanseres fra landkar vest. På trauret monteres en prefabrikkert betongplate med plasstøpte betongfuger.

For vurdering av geoteknikk [2] og anleggsgjennomføring [1] er det utarbeidet egne fagrappporter. For vurdering av brukonstruksjonen er det laget beregninger med globalanalyse av ny Mjøsbru presentert i beregningsrapport, Vedlegg A. I forhold til en detaljprosjekteringsfase er det i forprosjektet gjort forenklinger, men rapportene gir et godt grunnlag for vurdering av mengder, kostnader og risiko for gjennomføring av prosjektet.

Det er utført kostnadsestimat for gjennomføring av prosjektet samt vurdering av kostnadsrisiko. Tre risikoer er kategorisert som høye, seks risikoer er vurdert på middels nivå. Det gjelder spesielt usikkerhet knyttet til grunnforhold og gjennomføring av fundamentering på dypt vann. Risiko knyttet til grunnforhold og peler kan trolig reduseres noe med prøvepeling. I tillegg er det generell kostnadsrisiko knyttet til selve kostnadsestimatet da det er lite prisgrunnlag fra sammenlignbare bruer.

Kostnad for ny Mjøsbru alternativ 2 – syd er vurdert til 2,62 milliarder NOK, med tilhørende prosjektrisiko på ca. 25% eller 700 millioner NOK.

Arbeidet i forprosjektet er utført med fokus på Nye veiers mål for:

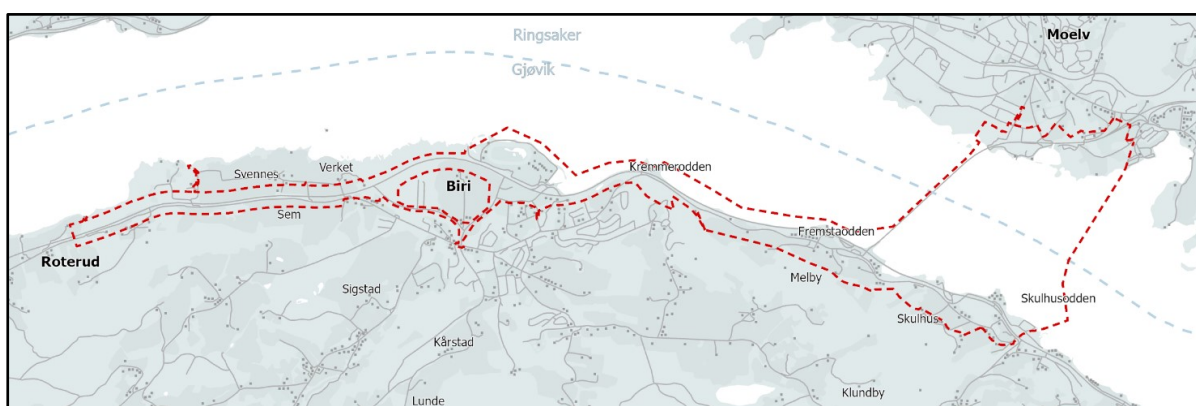
- Kostnader (Se Kap. 6)
- Bærekraft (Se Kap. 7)
- SHA (Se fagrappport for ny Mjøsbru – Anleggsgjennomføring NV34E6MR-KNS-RAP-0049)

Se også egen fagrappport for klimagassbudsjett og prosjektrisiko.

2 Innledning

Nye Veier AS ble opprettet av Stortinget i 2016 med mål om å oppnå en effektiv og helhetlig planlegging, utbygging, drift og vedlikehold av trafikksikre hovedveger. Stortinget har gitt Nye Veier mandat til å prioritere rekkefølgen på prosjektene ut ifra samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

E6 på strekningen fra Moelv til Roterud er en del av hovedveiforbindelsen mellom Kirkenes til Svinesund. Nye Veier har denne veistrekningen i sin portefølje og har nå prioritert å starte opp planarbeidet.



Figur 2-1: Plangrense ved varsel om oppstart av E6 Moelv – Roterud. Kilde: COWI AS

E6 mellom Moelv og Roterud er i dag en tofelts vei. Det er i alt tre kryss på strekningen. Trafikkmengden er på ca. 12 000 - 15 000 kjøretøy/døgn. Kjøretiden fra Moelv til Roterud er i dag beregnet til 9 minutter og 18 sekunder.

Strekningen fra Moelv til Roterud er en del av kommunedelplanene for E6 Moelv – Biri og E6 Biri – Vingrom, vedtatt i 2013 og 2015.

Planområdet består blant annet av Moelv by på østsiden av Mjøsa og Biri tettsted langs Mjøsas vestside. Friluftsområder, båthavn og småhusbebyggelse er karakteristiske trekk for Moelv. På strekningen mellom Moelv og Roterud preges området av jordbruksarealer, spredt småhusbebyggelse og infrastruktur. Ved Biri tettsted er eksisterende næringsbebyggelse, småhusbebyggelse og Biri travbane dominerende.

Planområdet omfatter både permanente og midlertidige arealer for en fremtidig E6. De permanente arealene består blant annet av areal for ny E6, men også tilgrensende tiltak på lokal- og sideveier. De midlertidige arealene i planområdet dekker behovene for rigg- og anleggsområder, inkludert tilkomstveier til disse, massedeponier og mulig omlegging av trafikk i anleggsperioden.

Strekningen vil bli planlagt som nasjonal hovedvei, i tråd med Statens vegvesens håndbok N100.

3 Datainnsamling

Data og utredninger fra tidligere planarbeid er mottatt fra Nye Veier eller innhentet fra private foretak, mens offentlig tilgjengelig informasjon er hentet fra åpne kilder.

I dette kapitlet beskrives datainnsamling og bearbeiding av data utført av COWI, for denne fasen av prosjektet, forprosjekt ny Mjøsbru alternativ 2 - sør.

3.1 Grunnforhold og geoteknikk

Per nå består det geotekniske grunnlaget i hovedsak av data fra tidligere undersøkelser. I tillegg til gjennomgang av eksisterende data er det utført supplerende grunnundersøkelser. For detaljer vises det til "Fagrapport geoteknikk – Ny Mjøsbru".

3.2 Islast

Krefter fra islast er vurdert med basis i Multiconsults tekniske notat MR1-MUL-DE-MB-ST-DEN-K005 [0], men oppdatert iht. ny håndbok N400 (2022, [5]) og valgt brugeometri. Fra notatet er de største islastene vurdert å komme i lengderetning av Mjøsa, med isflak drevet av vind i retning nord mot sør. Følgende verdier med returperiode 100 år legges til grunn:

Istykkelse:	$t = 0,75\text{m}$
Effektiv knusestyrke:	$p = 490\text{kPa}$
Maksimal kraft fra et drivende isflak:	12MN

3.3 Korrosjon

Det er i prosjektet medregnet reduksjon av ståltykkelse for pelene på grunn av korrosjon. NS-EN 1993-5:2007+NA:2010 [7] er lagt til grunn med enkelte tilføyelser, se Tabell 3-1 og Tabell 3-2 nedenfor.

Tabell NA.4.1 – Verdier for reduksjon av tykkelse [mm] på grunn av korrosjon for peler og spunt i jord med eller uten grunnvann ^{1) 4)}

Dimensjonerende brukstid	5 år	25 år	50 år	75 år	100 år
Uberørt naturlig grunn (sand, silt, leire, skifer, ...)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
Forurenset naturlig grunn og industriområder ²⁾	0,2	0,9	1,8	2,6	3,5
Aggressive naturlige grunnforhold (myr, sump, torv ...)	0,2	1,0	2,0	3,0	4,0
Ikke-komprimert og ikke-aggressiv fyllmasse (leire, skifer, sand, silt, ...) ^{2) 3)}	0,2	1,0	2,0	3,0	4,0
Ikke-komprimert og aggressiv fyllmasse (aske, slagg, ...)	0,3	1,5	3,0	4,5	6,0
1) Reduksjon av tykkelse er ensidig reduksjon på eksponert flate. 2) Under grunnvannstanden kan verdien reduseres med 25 %. 3) I komprimerte fyllmasser kan verdien reduseres med 50 %. 4) Økt korrosjon i forhold til de angitte verdiene skal vurderes dersom minst ett av følgende forhold er tilstede: – Lagdelt grunn – Organisk materiale i jorda – Sterkt forurenset grunn, avfallsdeponi – Vagabonderende strømmer					

Tabell 3-1 Korrosjon peler i jord - Tabell NA.4.1 Kilde: NS-EN 1993-5:2007+NA:2010 [7]

Fra Tabell 3-1 er korrosjon for 100 år ved ikke-komprimert og ikke-aggressiv fyllmasse 4mm. Iht. Tabell NA.4.1 punkt 2) kan verdien for korrosjon reduseres med 25% under grunnvannstand. I forprosjektet benyttes konservativt 4mm korrosjon for pelene fra underkant gytje og videre ned.

Tabell NA.4.2 – Verdier for reduksjon av tykkelse [mm] på grunn av korrosjon for peler og spunt i ferskvann eller sjøvann ¹⁾

Dimensjonerende brukstid	5 år	25 år	50 år	75 år	100 år
Vanlig ferskvann (elver, skipskanaler, ...) i korrosjonsutsatt sone (vannlinje)	1,0	5,0	10,0	15,0	20,0
Svært forurenset ferskvann (kloakk, industrielt avløp, ...) i korrosjonsutsatt sone (vannlinje)	0,5	2,5	5,0	7,5	10,0
Sjøvann i temperert klima i korrosjonsutsatt sone (lavvann og i sone utsatt for sjøsprøyt) ²⁾	1,5	7,5	15,0	22,5	30,0
Sjøvann i temperert klima i permanent neddykket sone ²⁾	0,5	2,5	5,0	7,5	10,0
1) Reduksjon av tykkelse er ensidig reduksjon på eksponert flate. 2) Marint miljø krever spesiell vurdering av korrosjonsfaren. Den høyeste korrosjonshastigheten finnes ikke nødvendigvis i den mest påkjente delen og trenger derfor ikke være dimensjonerende.					

Tabell 3-2 Korrosjon peler i vann - Tabell NA.4.2 Kilde: NS-EN 1993-5:2007+NA:2010 [7]

Tabell NA.4.2 fra NS-EN 1993-5:2007+NA:2010 [7] dekker ikke korrosjon i ferskvann under skvalpesone. Vurdering av korrosjon for pelene i Mjøsa er basert på Multiconsult sin rapport "Begrenset spesialinspeksjon under vann – Estimering av korrosjonshastighet på peler" [9]. Multiconsult har vurdert korrosjonshastigheten til 10mm ved brukstid 100 år. SINTEF tilfører ingen nye vurderinger av forhold i Mjøsa i rapporten "Korrosjon av stål i ferskvann" [6].

I forprosjektet for peler i fritt vann legges Multiconsults sin vurdering til grunn: 10 mm korrosjon med brukstid 100 år. Verdien benyttes i fri vannsøyle og ned til underkant gytjelag.

Oppsummering av vurdert korrosjon for peler med 100 års brukstid er vist i Tabell 3-3 nedenfor.

	Tykkelsesreduksjon
Utside mot fritt vann	10mm
Utside mot jord*	4mm
Innside, uten støp	4mm
Innside, med støp	0

Tabell 3-3 Oppsummering korrosjon på peler

*Uansett type jord, også gytje. Om grunnundersøkelser ikke viser organisk materiale under gytjelaget, kan korrosjonstykkelse her reduseres til 2mm.

3.4 Anleggsgjennomføring

For vurdering av anleggsgjennomføring har COWI hentet erfaringer fra gjennomføring av eksisterende bru samt pågående bruprosjekter. COWI har i forbindelse med forprosjektet også etablert dialog med flere internasjonale entreprenører for ytterligere vurderinger av planlagte arbeider.

COWI har gjennomført befaring for å vurdere mulige rigg-områder for tiltenkte arbeider. Det er lagt vekt på mulighet for anleggelse av kaianlegg samt plassbehov for montasje av peler og øvrige elementer/utstyr. Det er vurdert plassbehov for MSS (ny Mjøsbru Alternativ 1 - Nord) og plassbehov for lansering av stålkasse (ny Mjøsbru Alternativ 2 - Syd).

Fra norske prosjekter er det hentet erfaring fra Tangenvika jernbanebru (under bygging), i tillegg til Minnervika bru (under bygging) og eksisterende Mjøsbru m.fl.

Fra internasjonale prosjekter er det hentet erfaring fra flere prosjekter, bl.a.:

- Padma bridge (Bangladesh) for fundamentering med store peler (friksjonspeler) på dypt vann. Pelene på Padma bridge er 120 meter lange og det er utfordrende grunnforhold. Store åpne drevne peler gjennomført med metoder som ikke kan tilfredsstilles med krav i norsk regelverk.
- Chiapas bridge (Mexico). Bru som fundamenteres på jacket/stålkonstruksjon. For å vurdere alternative muligheter for fundamentering på dypt vann.
- Governor Mario M. Cuomo Bridge (USA). 5km lang bru med fundamentering til dårlige grunnforhold på friksjonspeler/mange peler i hver akse.

I forbindelse med forprosjektet har COWI etablert dialog/samarbeid med flere entreprenører. Trevi har blant annet bistått med vurderinger for gjennomføring av pelegrupper i byggefasen. IQIP har bidratt med vurderinger av hammerstørrelse og forslag til utstyr for håndtering av ramming av peler fra flåte. I tillegg er det har det vært dialog med entreprenøren NRS angående MSS (moving scaffolding system).

4 Kunnskapsgrunnlaget

4.1 Anleggsteknikk

Anleggsgjennomføring og riggområder er vurdert i egen separat rapport, se rapport "Forprosjekt ny Mjøsbru anleggsteknikk" [1].

For ny Mjøsbru alternativ 2 – syd er overbygningen planlagt med et ståltrau som lanseres fra vest. På trauret monteres et dekke i betong som samvirker med stålet.

For fundamentering kan det hentes mye erfaring fra byggingen av eksisterende Mjøsbru. Arbeidet med ramming av peler og etablering av midlertidig senkekaske er likevel omfattende, se detaljer for vurderinger i forprosjektrapport for anleggsteknikk.

4.2 Geoteknikk

Geotekniske vurderinger er behandlet i separat rapport, se "Fagrappport geoteknikk – Ny Mjøsbru" [2].

Da det er forventet høyt bidrag fra spissbæreevne relativt til friksjon er lukkede Ø1420/Ø1220 peler vurdert som optimalt for aksene både i løsmasser og til berg. Det er utført rambarhetsanalyse for vurdering av hammerstørrelse, godstykkelse og bæreevne. For rammede Ø1420 peler for Mjøsbru alternativ syd er det vurdert en hammerstørrelse på 800kj trengs med antakelse om en godstykkelse på 28 mm og bæreevne på 12.5 MN. Spissbærende lag er vurdert ca. 42m under sjøbunnen. Det er konservativt planlagt med peler 5 meter ned i spissbærende lag. Total lengde av pel i løsmasser er følgelig ca. 47meter. For peler til berg vurderes generelt kapasiteten av pelen for knekkning som dimensjonerende og ikke bæreevnen mot berg.

For fundamentering av aksene 13 og 14 (landkar vest) er det vurdert fundamentering direkte på berg/masseutskiftning til berg. For fundamentering av akse 1 (landkar Moelv) er det vurdert fundamentering med stålkjernepeler (Ø150) til berg.

5 Dagens situasjon

Dagens Mjøsbru ble åpnet i 1985 og har to kjørefelt samt gangbane. Ny E6 for strekningen Moelv-Roterud er planlagt med fire kjørefelt og hastighet 100km/t. Med endring fra to til fire kjørefelt for ny E6 må det enten bygges ny bru eller eksisterende bru må bygges om.

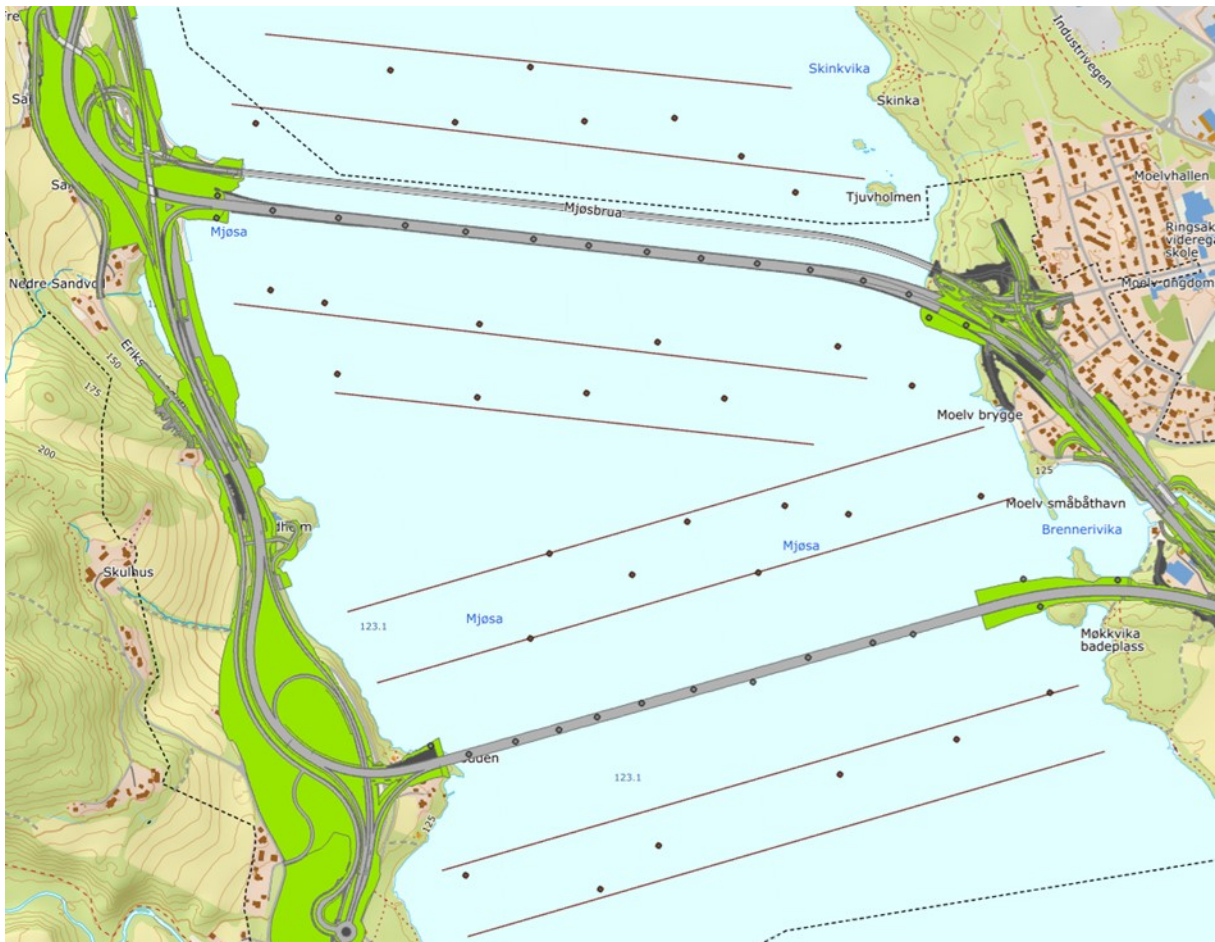
Iht. rapport 8423-01 «Mjøsbrua - Førings av 4-felts veg over Mjøsa, mulighetsstudie» [8] (utarbeidet av Aas-Jacobsen/SW Region Øst) egner dagens bru seg dårlig for ombygging og utvidelse til fire felt. Ny bru ble vurdert som anbefalt løsning.

I forbindelse med COWI sitt arbeid med reguleringsplan for E6 Moelv-Roterud er det utarbeidet forprosjekt for to alternative traseer/bruer, ny Mjøsbru alternativ 1 – nord og ny Mjøsbru alternativ 2 - syd.

6 Tiltaket

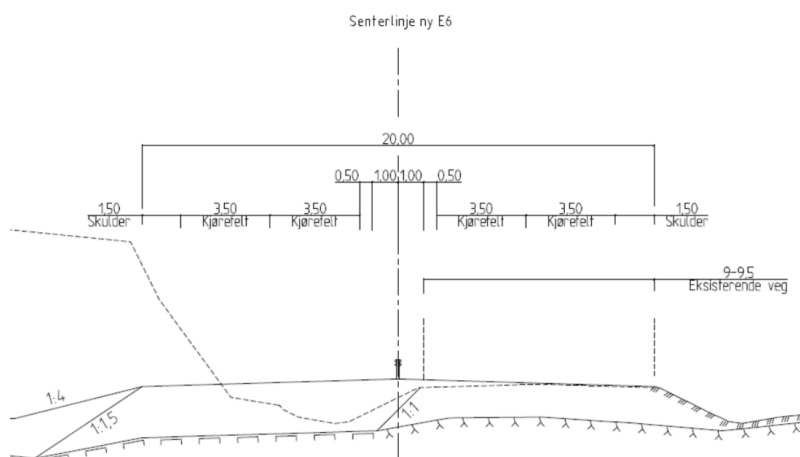
6.1 Veilinje

For ny Mjøsbru alternativ 2 – syd er veilinjen for kryssing over Mjøsa plassert cirka 900m sør for eksisterende bru mellom Skulhusodden på vest siden og rett sør for Brennerivika på Moelv siden. Brua er planlagt med fartsgrensen 100 km/t med reduksjon til 80 km/t ved krysset mellom E6 og rv. 4.



Figur 6-1 Mjøsbru alternativ 1 og 2. Veilinje for alternativ 2 går fra Skulhusodden til Brennerivika. Kilde: COWI AS

Typisk veiprofil og veibredde for strekningen E6 Moelv - Roterud er 20 meter som vist i Figur 6-2 nedenfor. Som profilet viser legges det opp til gjenbruk for deler av eksisterende trasé.



Figur 6-2 Typisk veiprofil for ny E6 Moelv – Roterud

På strekningen er det generelt fire kjørefelt med to felt i hver retning. Kjørefelt på 3,5 meter, midtrabatt på 2 meter, indre skulder på 0,5m og ytre skulder på 1,5 meter. Veibredde på ny bru inkludert veiskuldre og midtrabatt er generelt 20 meter. Det er generelt 3% takfall på bru, men med overgang til ensidig fall mot Moelv.

Veilinjen for krysningen over Mjøsa ligger i vertikal kurve med konstant radius. Gjennomseiling er planlagt med frihøyde 15m.

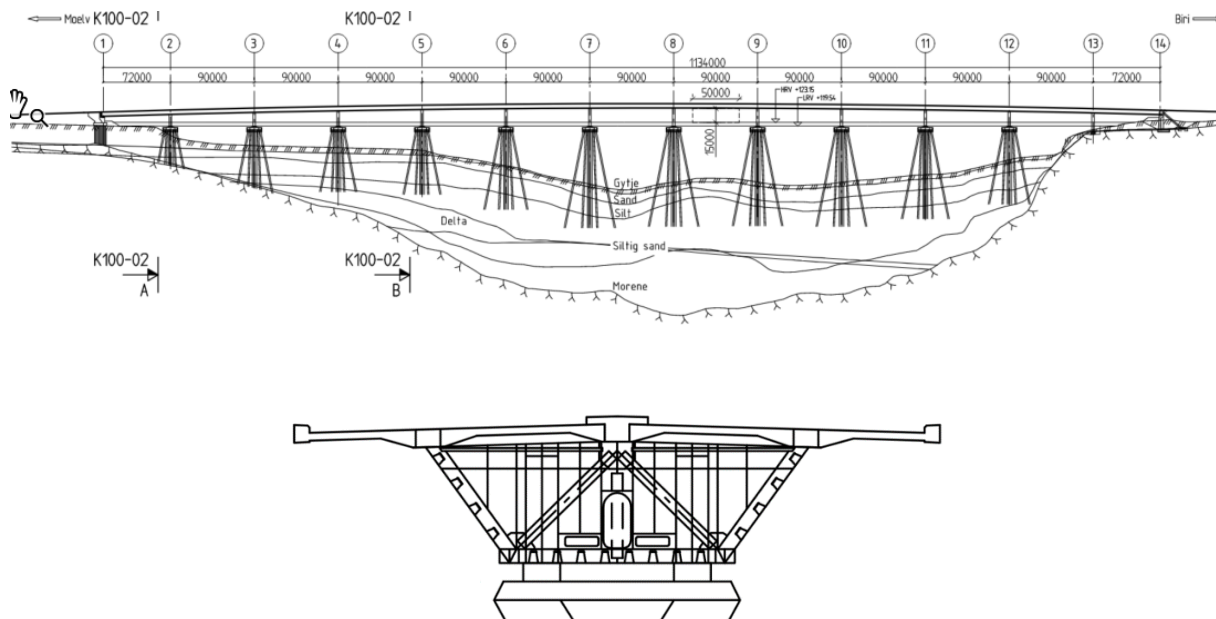
6.2 Konstruksjon

Forprosjektet for ny Mjøsbru alternativ 2 – sør er oppsummert i følgende kapitler:

- Kapittel 6.2.1 Begrunnelse for valg av brutype
- Kapittel 6.2.2 Underbygning
- Kapittel 6.2.3 Overbygning
- Kapittel 6.2.4 Lager og fuger
- Kapittel 6.2.5 Rekkverk og belegning

6.2.1 Begrunnelse for valg av brutype

Brutype er valgt som samvirke bjelkebru med 90m lengde for indre spenn og 72m for endespenn. Bruas totallengde er 1134m.



Figur 6-3 Oppriss av bru og snitt i overbygning

Valg av brutype er gjort med bakgrunn i en kostnadsvurdering av alternativer med overbygning i betong eller stål og for andre brutyper som extradosed- og skråstagsbru. Samvirkebru er funnet å gi lavest kostnad.

Den valgte veillinje med rett linje i plan muliggjør lansering av stål ved fremskyvningsmetode i hele bruas lengde fra landkar i vest. Etter lansering monteres dekket som prefabrikkerte betongplater. Platene støpes sammen med plasstøpt betong. Tidligere er tilsvarende byggemetode anvendt på for eksempel Gulli bru og Brunnholen bru.

Med den valgte byggemetode oppnås at sveising av stålpaneler kan foregå på land og under kontrollerte forhold, tilsvarende som i verksted. Betongelementer til dekket fremstilles på samme måte på land samtidig med fremstilling og lansering av ståltrau.

Fundamenteringen i sjø utføres på rammede stålørspeler. Pelene installeres skrå for å kunne oppta horisontale laster i tillegg til vertikale peler for installasjon.

Det henvises til rapporter for fase 2.1 og 2.2. for ytterligere beskrivelse og bakgrunn for valg av brutype og fundamentering.

6.2.2 Underbygning

6.2.2.1 Fundamentering

Peler

Fundamenteringen består av rammede lukkede stålrørspeler med utstøpt hul spiss utformet i prinsipp som angitt av Statens Vegvesen på eksempeltegning K1 1.3.5 a). Spissen muliggjør fordybning i de tilfeller spissen går til berg på en skrå flate. Da installeres dybel før endelig ramming utføres.

For øvrige peler med spiss i løsmasser fungerer spiss som den primært lastbærende del av pel. Påtreffes store blokker ved ramming kan den åpningen i spissen brukes hvis det skulle være nødvendig å bore for å trenge gjennom blokk eller for å fordyble til selve blokken.

Stålrørspeler er i dimensjon $\varnothing 1220/25$ for pelegrupper med lange peler (Akser 2 til 5) og $\varnothing 1420/28$ for pelegrupper med korte peler (Akser 6 til 12).

Lukkede stålrørspeler skal ifølge N400, 7.5.7, støpes ut i hele pelens lengde med minimumsarmering som for søyler. Kravet om utstøpning av peler er utfordrende med hensyn til sikring av kvalitet av betong for peler over 80m. Det er derfor antatt et fravik fra kravet om utstøpning i deler av pelens lengde. For peler med lengder over 80m planlegges sandfylling for den del av pelen som overstiger 80m.

Både ved pelens topp og ved overgang til sandfylling er det påsveisert forskyvningsringer innvendig i pelene.

Den valgte løsning sikrer at:

1. pelens frie lengde i vann og lengden ned til kompetente løsmasser er utstøpt, og at stålrør med armert betong er i samvirke.
2. last i samvirketverrsnittet kan overføres til pelens topp
3. last i samvirketverrsnittet kan overføres til stålrør alene ved overgangen fra betong til sandfylling
4. stålrør alene kan føre last til bunn av rør og overføre krefter til løsmasser via spiss og i utvendig friksjon på nedre del av stålrør

Det er i prosjektet medregnet reduksjon av ståltykkelse på grunn av korrosjon. Restkapasiteten etter 100 års brukstid er funnet med antagelse om:

- 10 mm utvendig korrosjon for utstøpt del av pelen i fritt sjøvann
- 4 mm både utvendig og innvendig for sandfylt del av pelen i løsmasser under gytjelag
- 4 mm utvendig for utstøpt del av pelen under sjøbunn

Løsningen med sandfylling sikrer pelene mot lokale 2. ordens problem (buckling) av rør på grunn av utvendig jordtrykk.

N400, 7.5.4-4 definerer at tverrsnittet etter korrosjon skal forbli i klasse 3 eller bedre for å kunne regnes konstruktivt. Definition av klasser for sirkulære hulprofiler er gitt i NS EN 1993-1-1, tabell 5-2 som vist under. For stål med $f_y = 355$ MPa gjelder:

Klasse 3 eller bedre: $d/t < 90 \times 0.66 = 59.4$

For de valgte pele dimensjoner gjelder:

Før korrosjon:

Ø1220/25 $d/t = 48.8 < 59.4$, dermed klasse 3
Ø1420/28 $d/t = 50.7 < 59.4$, dermed klasse 3

Etter korrosjon,

Ø1212/17: $d/t = 71.8 > 59.4$, dermed klasse 4
Ø1412/20: $d/t = 70.6 > 59.4$, dermed klasse 4

Klasse		Tverrsnittsdeler under bøyning og/eller trykk				
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$ MERKNAD For $d/t > 90\varepsilon^2$ se NS-EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	ε^2	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Figur 6-4 Klasser for sirkulære hulprofiler etter NS EN 1993-1-, tabell 5-2

Det argumenteres for at kravet om klasse 3 eller bedre ikke er aktuelt for utstøpte eller sandfylte peler:

Ved utstøpning av stålrør med betong, bevarer betongen stålrørets sirkulære form og buckling av stålet er ikke mulig. Krav til klasse etter installasjon og dermed etter korrosjon er dermed ikke aktuelt for en pel i samvirke.

Når stålrøret fylles med sand oppnås på tilsvarende måte at rørets form stabiliseres slik at lokal buckling ikke er aktuelt.

Kravet om klasse 3 eller bedre er dermed redusert til kun å gjelde for pel under installasjon og dermed for tilstanden før korrosjon. Dette er oppfylt med de valgte dimensjoner av rør og plate.

Ved ramming av peler kan det forutsettes at sandfylling er til stede ved den siste del av rammingen. Når sand er til stede ved ramming oppnås en komprimering av sanden og dermed en stivhet tilnærmet betong.

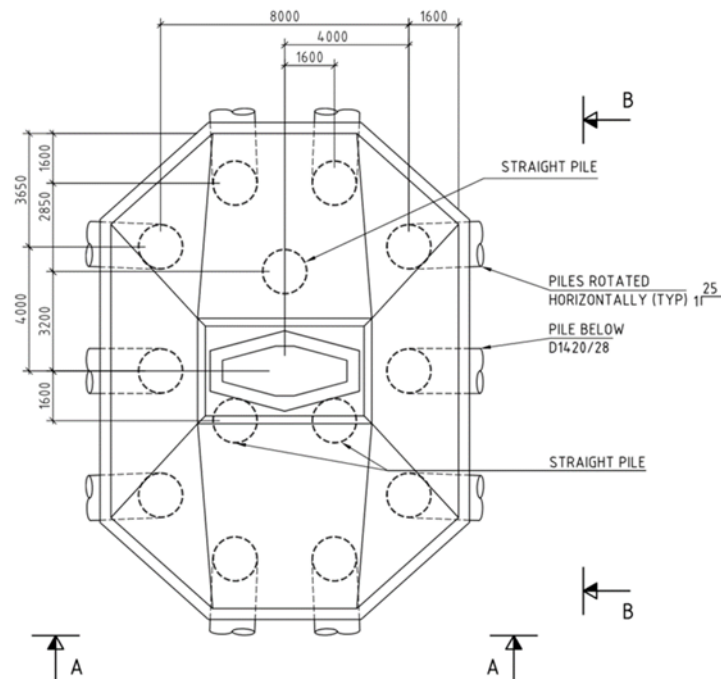
Det er følgelig verifisert at tverrsnittet med sandfylling eller stålrør alene som konstruktivt element kan bære pelelasten som klasse 4 element etter NS EN 1993-1-6.

Minstearmering

Krav om minstearmering som for søyler medfører at peler skal armeres med 1.2% for $\varnothing 1220$ peler og med 1% for $\varnothing 1420$ peler. Dette er oppfylt med 32 $\varnothing 25$ for $\varnothing 1420$ peler og 25 $\varnothing 25$ for $\varnothing 1220$ peler.

Pelegruppe

Hver av de 11 pelegruppene består av 13 peler hvorav de første tre pelene rammes loddrett og de etterfølgende er skrå 1-på-5. Pelene installeres skrå for å kunne ta opp horisontal last fra is (dominerende på tvers), vind, lagerfriksjon (dominerende på langs), trafikk, skipsstøt og seismiske laster.



Figur 6-5 Pelehode med 13 peler herav 10 skrå peler og 3 sentrale vertikale peler

Pelearrangement er optimalisert med 6 skrå peler tvers brua og 4 peler på langs. Med dette arrangement oppnås at den maksimale lasten i den enkelte pel er svært lik og like under 12.5 MN for de lengste pelegruppene. Da egenvekten av peler er betydelig, er den maksimale last i pelene for de korteste pelegruppene betydelig mindre.

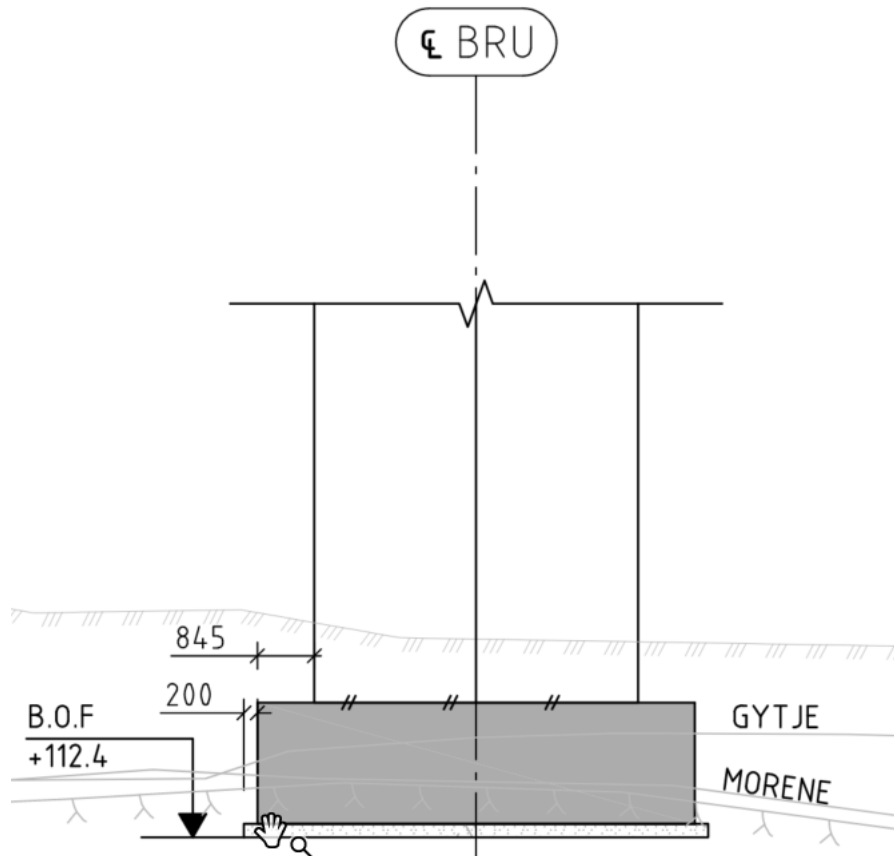
For de skrå pelene overholdes anbefalt minste senteravstand på $5d$ i et plan 3m under øverste nivå for kompetent jord rundt pelene, se Peleveiledningen 2019, 5.3.5. Dette minstekrav er primært satt på grunn av faren for komprimering av jorda og dermed for stor rammemotstand. For de vertikale pelene overholdes ikke anbefalt avstand. Skulle minsteavstanden overholdes vil det medføre en vesentlig utvidelse av pelehodet med tilhørende ekstra forbruk av betong og armering. Innbyrdes er avstand mellom de vertikale peler er henholdsvis $2.25d$ og $3.56d$. Avstanden kan eventuelt økes uten endringer i pelehode til $3.0d$ og $3.7d$ ved en tverravstand på 4.26m i stedet for 3.2m.

Pelehodet har kraftig armering i bunnen for å kunne fordele krefter fra pelene. Bunnarmering legges ortogonalt på langs og på tvers. I tillegg legges det overflatearmering samt nødvendig vertikal armering. Det er beregnet et armeringsbehov på 140 kg per m^3 betong.

Direkte fundamentering

Ved akse 13 og 14 ligger berget høyt og det planlegges med direkte fundamentering i begge akser.

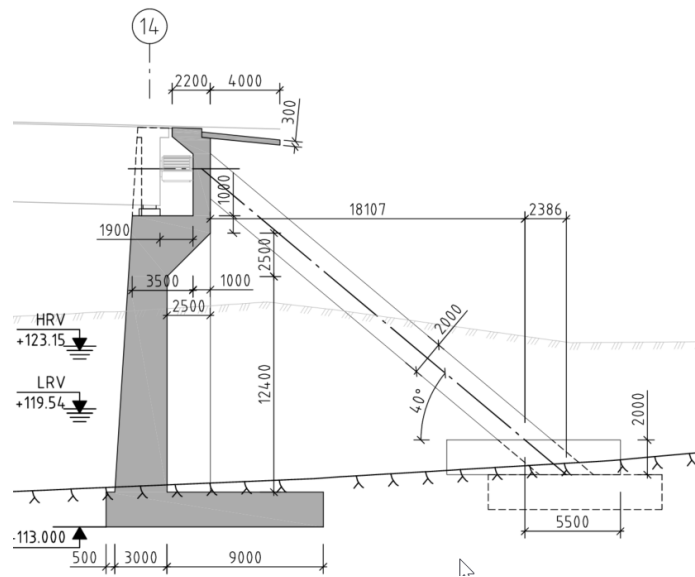
Berget i akse 13 ligger under gytje og et tynt morene lag. Søylene er fundamentert direkte på berg, med et fundament med dimensjon 6.5m tvers og 3.0m på langs av bru.



Figur 6-6 Direkte fundament, akse 13

Landkar ved akse 14 opptar last fra brubjelke inkludert langsgående krefter da langsgående fastholdning av brua er plassert her. Landkar er direkte fundamentert på berg cirka 10m under eksisterende terreng. Store langsgående krefter overføres direkte til berg gjennom to individuelle plater som forbindes med skrå betongstag. Stagene fungerer både i strekk og trykk som vist på Figur 6-7.

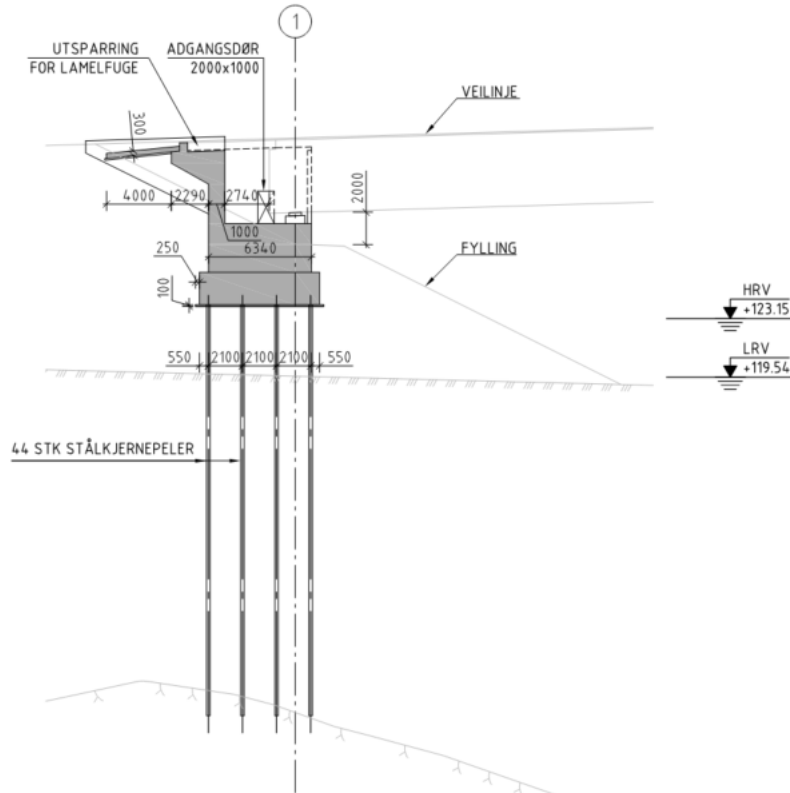
Adkomst til landkar er via en dør som er plassert ved frontveggen over fremtidig terreng.



Figur 6-7 Landkar, akse 14, direkte fundamentering

Fundamentering stålkjernepeler

Landkar ved akse 1 er planlagt med stålkjernepeler til berg. Bergoverflate er vurdert å ligge ca. i kote +107m. Det gir cirka 18m lange peler med 1m innboring i berget. I alt er det 44 stk. 150mm stålkjernepeler med $\varnothing 219$ foringsrør.

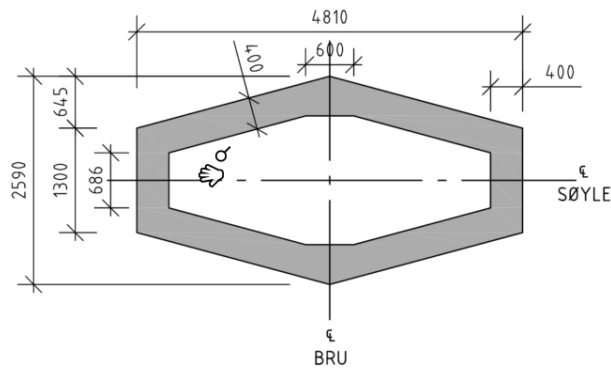


Figur 6-8 Landkar, akse 1, fundamentering med stålkjernepeler

6.2.2.2 Søylar

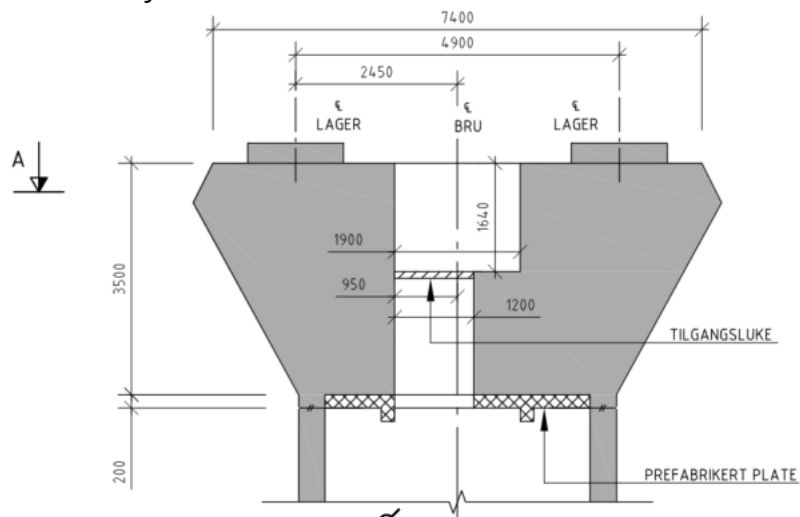
Søylar for akser 2 til 13 varierer i høýde fra 9m (akse 2) til 16 m (akse 8). Tverrsnittet av søylar har bredde 4.81m og dybde 2.59m som vist i Figur 6-9.

Søyleskaft er utformet som et forlenget hexagon. Med denne form er islasten på tvers av brua nær konstant for variasjon i isens angrepsvinkel fra rett på hovedakse til 15 grader avvik fra rett på.



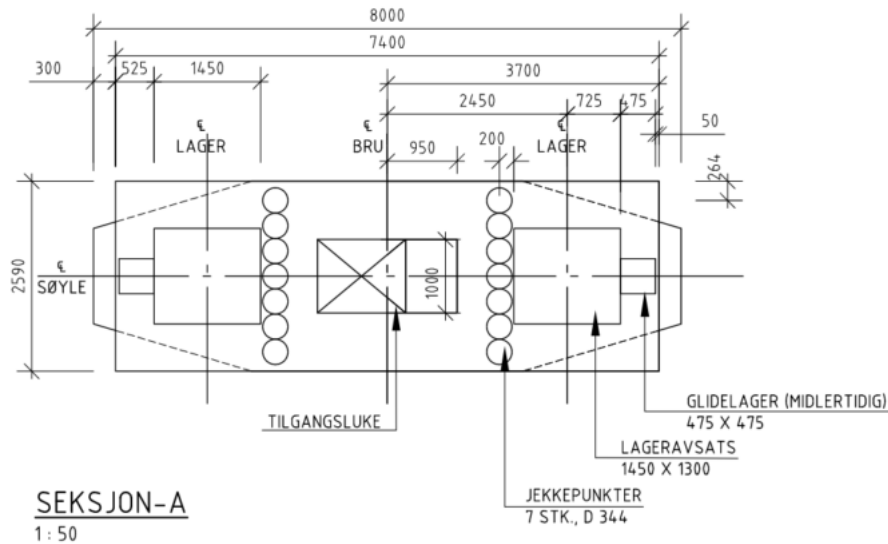
Figur 6-9 Søyletverrsnitt

Ved søyletopp utvides søylen tilsvarende bredde av ståltrauets underside



Figur 6-10 Søyletopp med breddeutvidelse

Søyletopp har i tillegg til permanente lager også temporære lager til lansering av trauret og til jekker ved utskifting av de permanente lager. Arrangement ved søyletopp er som angitt under.



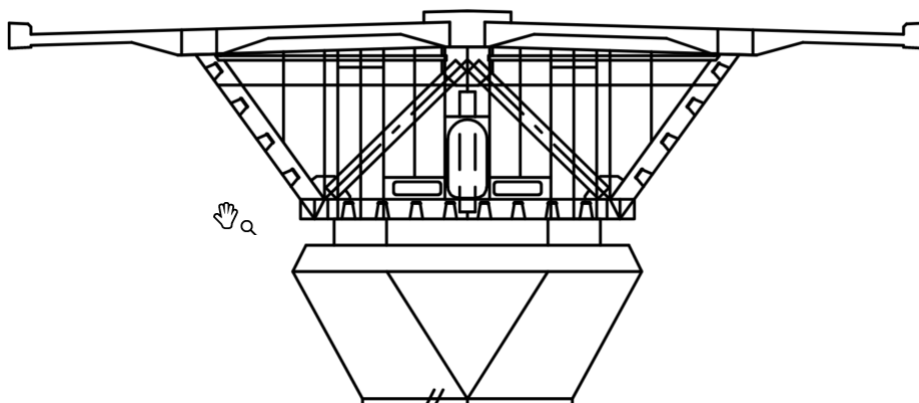
Figur 6-11 Arrangement med permanente og midlertidige lager og jekkepunkter ved utskiftning av lager

Som konsekvens av det hule søyleverrsnittet skal det være adgang til innvendig rom for inspeksjon. Adgangsdør plasseres over HRV og utføres i rusfritt stål etter krav i N400, 12.8.1-1.

Som vist i Figur 6-10 og Figur 6-11 er det adgang til lager fra innvendig søyle via tilkomstsluke.

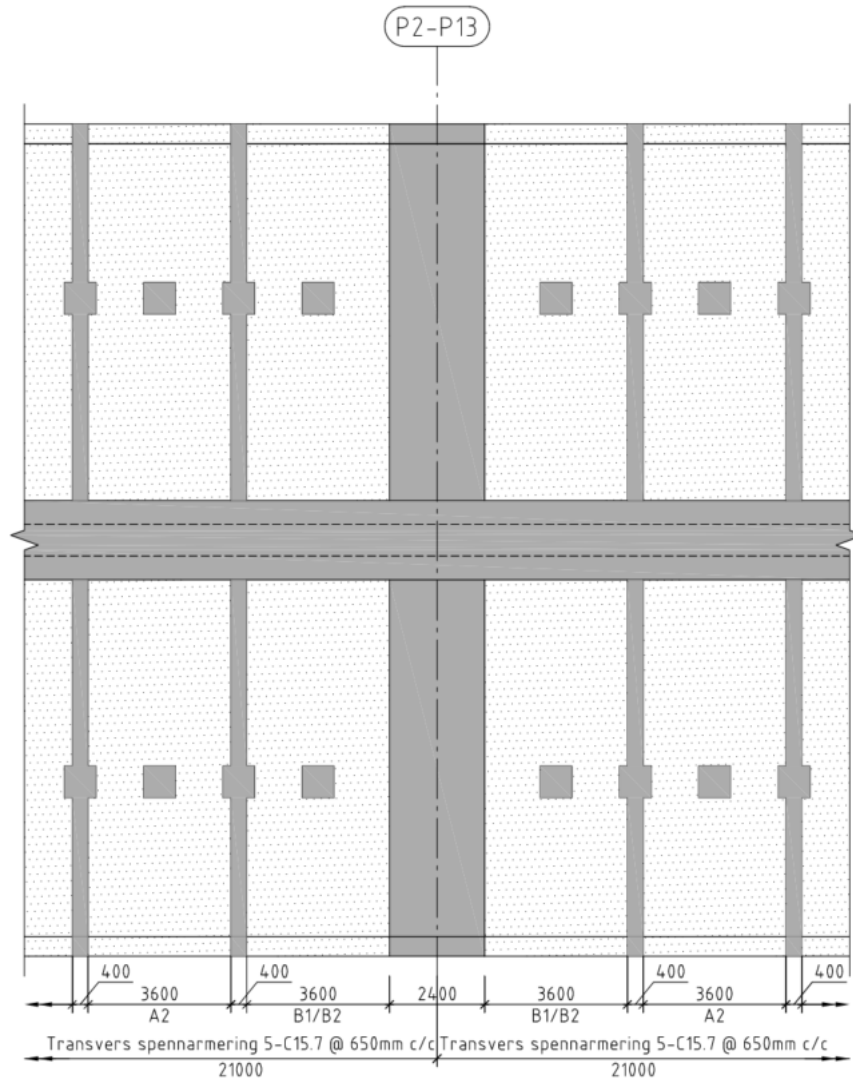
6.2.3 Overbygning

Overbygning består av en 4.5m høy samvirkebjelke med dekke i betong og ett ståltrau under. Ståltrauet er utført med ortotrope plater i steg og bunnplaten, og utstyrt med tverravstivninger per 4m.



Figur 6-12 Samvirkebjelke

betongelementer over skrå steg. Plasstøpt betong er vist med grått raster på Figur 6-14 og Figur 6-15.



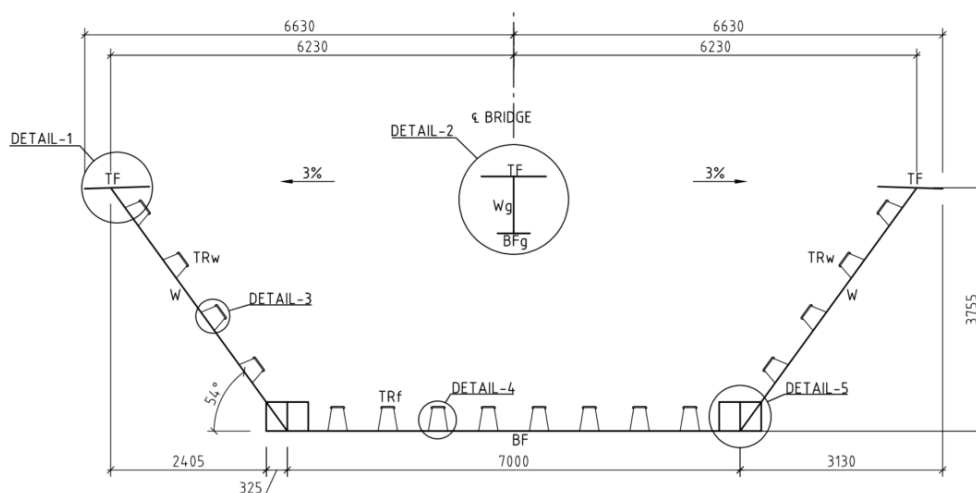
Figur 6-15 Betongelementer, typisk arrangement ved søyler, akse 2 til 13.

Det er behov for 9404 m³ betong til dekket hvorav 6532m³ er element og resterende 2872m³ er plasstøpt betong. Det gir i gjennomsnitt en platetykkelse på 394mm for en total lengde av dekket på 1136.85m.

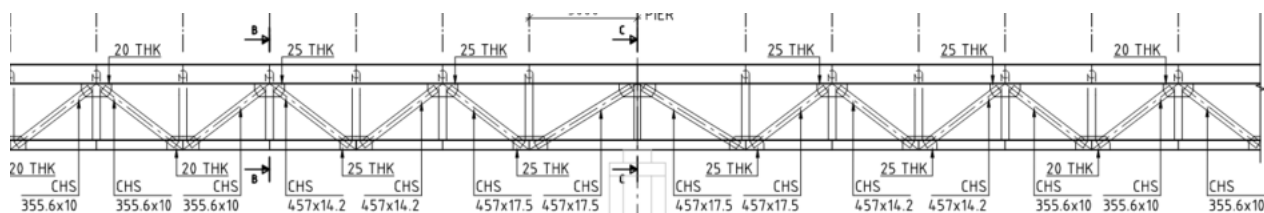
Betongplaten utsettes for langsgående strekk i området ved søyler og det opptrer også strekk på tvers av platen forårsaket av de skrå stegene. Tosidig strekk i betong reduserer skjærkapasiteten i platen og for å opprettholde tilstrekkelig kapasitet er det lagt inn spenning på tvers, 5-C15.7 per 0.65m over en strekning på 42m symmetrisk omkring søyler og cirka over 8m ved bruender.

Ståltrau

Langsgående stål i trauet er bygget opp som vist på Figur 6-17 og Figur 6-16.



Figur 6-16 Ståltrau med definisjon av delkomponenter.



Figur 6-17 Langsgående gitter i midten av trauet.

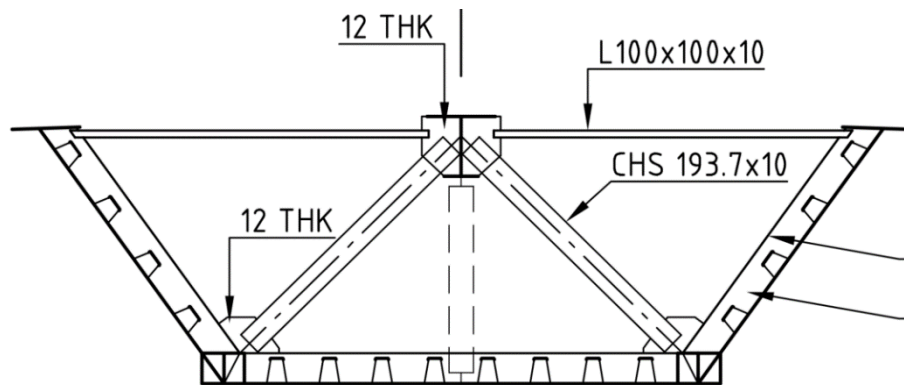
Der anvendes stål kvalitet S460 med plate tykkelser som vist i tabellen under.

MATERIALE	STÅLTYPPE	TYKKELSE	12m											
S460	TF	25	30											
S460	W	18	12											
S460	BF	16	12											
S460	TRw	7	7											
S460	TRf	12	12											
S460	Wg	25	25											
S460	BFG	30	30											

5m 6m 3m 3m 6m 5m												5m 6m 3m			
30	35	35	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30	35	
18	25	25	18	14	14	14	14	14	14	14	14	14	18	25	
12	16	22	30	30	22	16	10	10	10	10	10	10	16	22	30
7	9	9	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	9	9	
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
25	30	30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	30	30	
30	35	35	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	35	35	

Tabell 6-1 Material liste med platetykkelser for langsgående stål

På tvers avstives trauet med diagonaler per 4m intervall, som vist på Figur 6-18. Diagonalene forbinder elementene og gir stivhet for torsjon ved usymmetrisk last i byggefasen fra trafikk og vind.

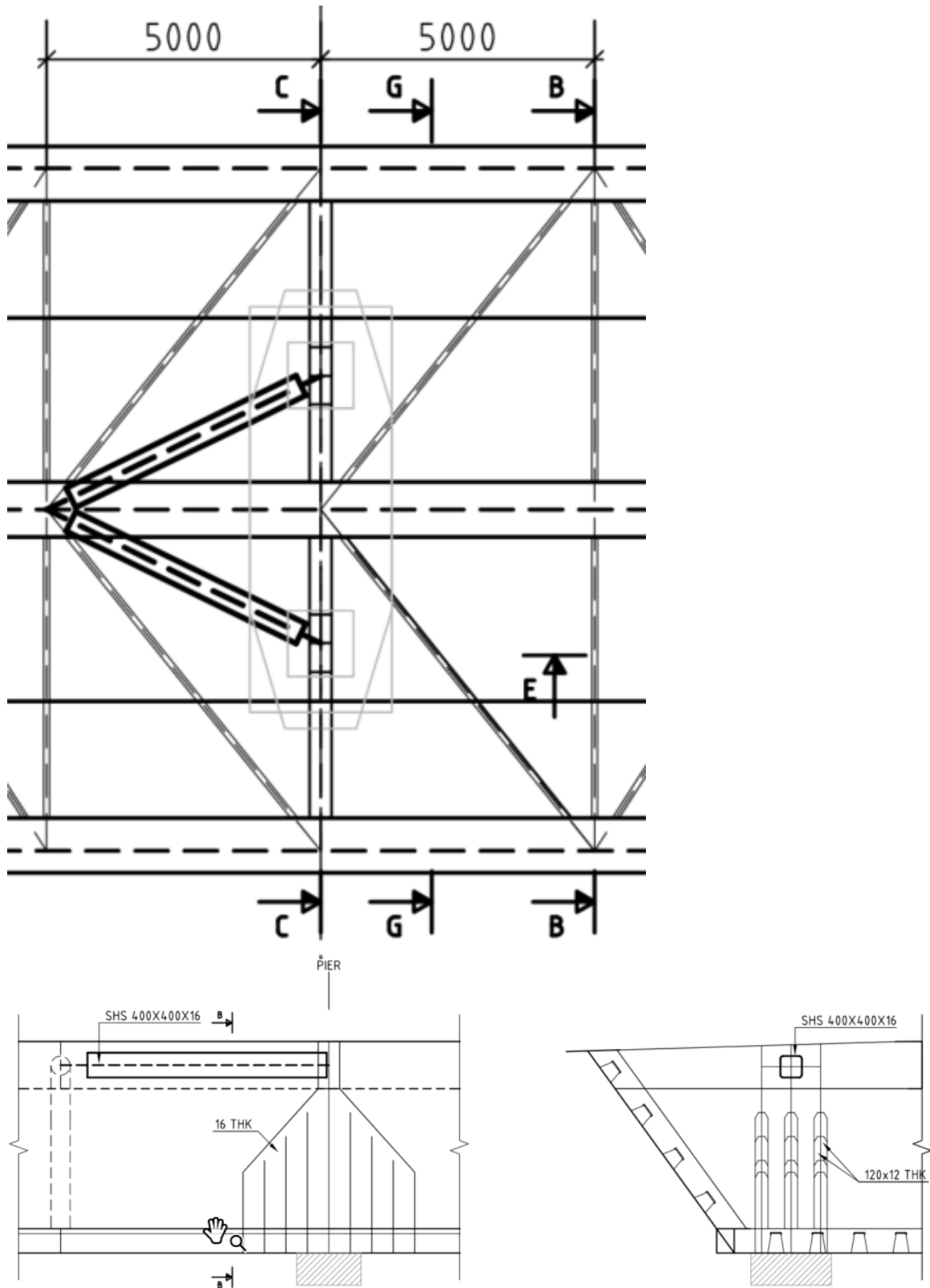


Figur 6-18 Tverravstivning av dekke med diagonaler

Strekkbånd i topp av ståldekket, L100x100x10, som vist på Figur 6-18, sørger for at de skrå elementene kan fungere som steg i byggefasen og bidrar til at elementene effektivt bærer vertikal last i det skrå planet med tilhørende strekk i båndet samt trykk i bunnplaten.

Det sentrale langsgående gitteret, som vist på Figur 6-17, fungerer som ett tredje steg og deltar med å bære last både under lansering og i ferdig bru.

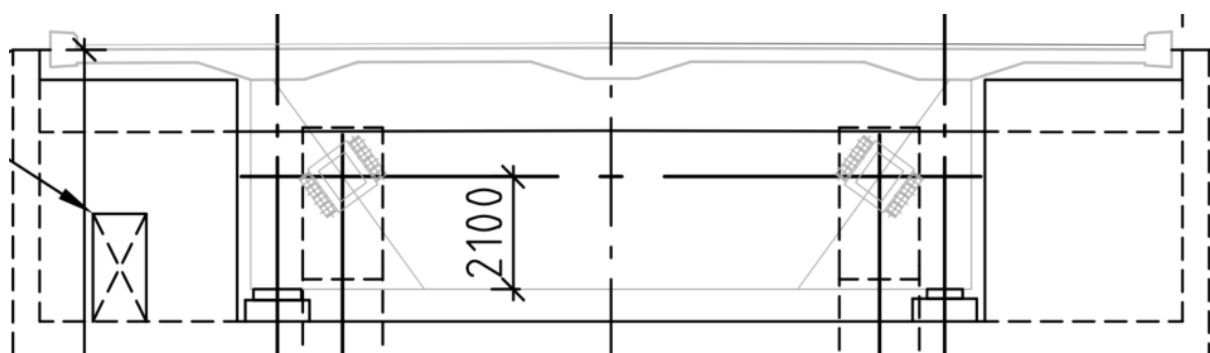
Brua er fastholdt på langs ved landkar, akse 14. Der er glidelager på alle søylene og ved landkar i akse 1. De langsgående bevegelser er i størrelsesorden ± 800 mm ved landkar, akse 1. Da glideflate er på overside av lager medfører det stor eksentrisitet ved lastoverføring til lager og et avstivningsarrangement er derfor detaljert som vist på Figur 6-19. Avstivningsplater på langs ved lager er detaljert for alle søyler og landkar, akse 1, for å kunne ta opp den beregnede langsgående bevegelsen Figur 6-19.



Figur 6-19 Arrangement ved søyle for å kunne overføre last til lager ved langsgående bevegelse av dekk.

6.2.4 Lager og fuger

Brua er planlagt med fastholdning i lengderetning ved landkar, akse 14, og med bevegelige lager på alle søyler og ved landkar, akse 1. Alle søyler og begge landkar har lager med sidestyring for å kunne ta opp last på tvers. To gummilager (blokklager) plassert vertikalt ved tyngdepunkt for samvirkedekket og orientert etter overbygningens helning vil ta opp langsgående laster. Strekk overføres av 8 stk Dywidag stenger, diameter 50mm, per blokk lager.



Figur 6-20 Arrangement med blokklager og Dywidag stenger får å ta opp langsgående laster

Som beskrevet over er det betydelige bevegelser i dekket som følge av fastholdning i lengderetning ved landkar, akse 14. Det er lagt til grunn en lokal temperaturvariasjon på $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ samt tillegg på $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ som foreskrevet i Note 2 til NS EN 1991-1-5, 6.1.3.3 (2). Tillegget gjelder når temperaturen er kjent på tidspunktet for montasje, slik at det lager og fuger kan forhåndsjusteres.

Fuge ved landkar, akse 1, skal ta opp stor bevegelse i størrelsesorden $\pm 800\text{ mm}$. Bevegelsen er for SLS og inkludere det tidligere omtalte tillegg på $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fugen er antatt å være en lamell fuge med omtrent 20 lameller for å kunne ta opp i alt 1600 mm vandring.

Lagre ved landkar, akse 14, er fastholdt og det vil kun være bevegelse i størrelsesorden $5\text{--}10\text{ mm}$ lager og fuger. Det kan derfor benyttes en Strip-seal fuge, som kun tillater begrenset bevegelse.

6.2.5 Rekkverk og belegning

Ytterrekkverk er valgt i styrkeklasse H2 iht. håndbok N101. Midtrekkverk er tilsvarende i styrkeklasse H2.

Belegning er belegningsklasse A3-4, med bindelag og slitelag Ab16 pmb, hvert lag med tykkelse 40 mm . Membran er Topeka 4S med tykkelse 12 mm . Samlet belegningstykkelse 92 mm .

6.3 Kostnad

Mengder og kostnader for ny Mjøsbru alternativ syd er vurdert med utgangspunkt i resultater fra forenklet beregningsmodell av brukonstruksjonen utført i forbindelse med forprosjektet, se Vedlegg A. Enhetspriser er basert på erfaring fra tidligere prosjekter. Mengdeberegningen og kostnadene inkluderer ikke tilstøtende konstruksjoner kun ny bru inkludert landkar. Når tillegg for prosjektering er inkludert utgjør entreprisenum med kostnadsnivå 4. kvartal 2021 følgende:

	Kostnad Alternativ 2 Syd - Samvirkebro	Kost./enh.	Mengde	Enh.	Kostnad
A.1	Riggareal, Biri bruk			RS	55,000,000
A.2	Grunnundersøkelser			RS	50,000,000
A	Forberedende arbeider				105,000,000
B.1	Overbygning, Betong	13,500	9,404 m ³		126,954,000
B.2	Overbygning, Stål	75,000	6,042 tonn		453,150,000
B.3	Overbygning, Stål, rigg			RS	35,000,000
B	Overbygning				615,104,000
C.1	Søyler	15,500	1,016 m ³		15,748,000
C.2	Landkar	15,500	5,514 m ³		85,467,000
C.3	Pelehoder, Betong	10,000	4,441 m ³		44,410,000
C.4	Pelehoder, Ballastbetong	8,000	2,264 m ³		18,112,000
C.5.1	Senkekasser	7,000,000	11 stk		77,000,000
C.5.2	Spunkasse	3,500,000	2 stk		7,000,000
C	Underbygning				247,737,000
D.1	Peler stål Ø1420, Ø1220 Leveranse	21,000	11,167 tonn		234,507,810
D.2	Peler, Spesiell rigg			RS	60,000,000
D.3.1	Peler, Ramming, Ø1420	48,000	8,916 m		427,968,000
D.3.2	Peler, Ramming, Ø1220	42,000	2,990 m		125,580,000
D.4	Peler, Boring			m	0
D.5	Sveising peler fra flåte	1500000	0 stk		0
D.6	Holding peler under støp	400000	50 Stk		20,000,000
D.7	Utstøping peler	8,000	14,051 m ³		112,408,000
D.8	Peler, Sand	3,000	2,191 m ³		6,573,000
D.9	Stålkjernepeler Ø219/OD150	7,000	770 m		5,390,000
D	Peler				992,426,810
E.1	Lager og fuger			RS	7,000,000
E.2	Rekkverk	18,000	1,154 m		20,772,000
E.3	Belegning	14,000	1,134 m		15,876,000
E.4	Annet utstyr			RS	8,000,000
E	Utstyr				51,648,000
	SUM				2,011,915,810
	Generell rigg, risiko, admin. og fortjeneste	24%			482,859,795
	Prosjektering	6%			120,714,949
	Sum entreprise Q4 2021				2,615,490,554
	Kostnad pr. m eks. mva.				2,306,429

Tabell 6-2 Kostnad – Alternativ 2 Syd - Samvirkebro

Alle priser er eks. mva. men inkludert påslag for administrasjon, ledelse, risiko og fortjeneste. Ytterligere beskrivelse av hva som er inkludert i de enkelte postene følger:

	Kostnad Alternativ 2 Syd - Samvirkebro	Kost./enh.	Mengde	Enh.	Kostnad
A.1	Riggareal, Biri bruk			RS	55,000,000
A.2	Grunnundersøkelser			RS	50,000,000
A	Forberedende arbeider				105,000,000
A.1	Riggareal, Biri bruk				
	<i>Posten omfatter:</i> Leie av areal ca. 15 000 m2 Klargjøring av areal, tilkjøring, avretting og komprimering av masser Topplag Oppgradering vei og avkjøring Tilretteling for sveising og fløting av ferdige peler Etablere molo for tilkomst til lektere, inkl sikring av fylling.				
A.2	Grunnundersøkelser				
	<i>Posten omfatter:</i> Nødvendige, kompletterende grunnundersøkelser for peling og fundamentering i Mjøsa inkludert landkar				

Post A2 er vurdert med utgangspunkt at kompletterende grunnundersøkelser og prøvepeling utføres som planlagt.

	Kostnad Alternativ 2 Syd - Samvirkebro	Kost./enh.	Mengde	Enh.	Kostnad
B.1	Overbygning, Betong	13500	9404	m ³	126,954,000
B.2	Overbygning, Stål	75000	6042	tonn	453,150,000
B.3	Overbygning, Stål, rigg			RS	35,000,000
B	Overbygning				615,104,000
B.1	Overbygning, Betong				
	<p><i>Posten omfatter:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Støping og montasje av betongdekke inkludert Betong B55 (herav 6532m³ element, plass støpt 2872m³) Armering 260 kg/m³ betong Spennarmering 2.2 MNm/m³ Dekket produseres som element, plasseres på stålbjelken og støpes sammen Forskaling 0.33 m²/m³ (kun tverrfuger mellom elementer) Avretting og herdetiltak 				
B.2	Overbygning, Stål				
	<p><i>Posten omfatter:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Produksjon, transport, sammenstilling, sveising og framskyving av brubjelke Stålkvalitet S460 Overflatebehandling m²/tonn stål (20192 m² utside) 				
B.3	Overbygning, Stål, rigg				
	<p><i>Posten omfatter:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> Tilrigging og nedrigging av areal for skyving av brubjelke samt kjøp/leie av lanseringsnese 				

	Kostnad Alternativ 2 Syd - Samvirkebro	Kost./enh.	Mengde	Enh.	Kostnad
C.1	Søyler	15500	1016	m ³	kr 15,748,000
C.2	Landkar	15500	5514	m ³	kr 85,467,000
C.3	Pelehoder, Betong	10000	4441	m ³	kr 44,410,000
C.4	Pelehoder, Ballastbetong	8000	2264	m ³	kr 18,112,000
C.5.1	Senkekasser	7000000	11	stk	kr 77,000,000
C.5.2	Spuntkasse	3500000	2	stk	kr 7,000,000
C	Underbygning				247,737,000
C.1	Søyler				
	<i>Posten omfatter:</i> Støping og alle øvrige arbeidet for produksjon av søyler Betong B45 Armering 140 kg/m ³ betong Forskaling 4.2 m ² /m ³ samt avretting og herdetiltak				
C.2	Landkar				
	<i>Posten omfatter:</i> Støping og alle øvrige arbeidet for produksjon av landkar Betong B45 Armering 160 kg/m ³ betong Forskaling 0.7 m ² /m ³ samt graving (22000 m ³), sprengning (2000 m ³), tilbakfylling (20000 m ³), avretting og herdetiltak Stålkjernepeler Moelv, se D.9				
C.3	Pelehoder, Betong				
	<i>Posten omfatter:</i> Støping og øvrige betongarbeider for pelehoder Betong B45 Armering 140 kg/m ³ betong Forskaling 0 m ² /m ³ samt avretting og herdetiltak				
C.4	Pelehoder, Ballastbetong				
	<i>Posten omfatter:</i> Støping og øvrige arbeider for ballastbetong for pelehoder Betong B35 Minimumsarmering				
C.5.1	Senkekasse				
	<i>Posten omfatter:</i> Produksjon og montasje av senkekasser for pelehoder I prosessen inngår også innfestning og tilpasning til peler og nødvendig riving etter at produksjon av pelehoder er ferdigstilt Omfatter også forskaling av ballastbetong og pelehoder				
C.5.2	Spuntkasse				
	<i>Posten omfatter:</i> Produksjon og montasje av senkekasser for pelehoder mot berg Omfatter også tilpasning mot berg				

NB. Det er begrenset kostnadsgrunnlag for bygging av senkekasser i fritt vann i denne størrelsen. Dette medfører noe forhøyet usikkerhet i kostnad for post C.5.1.

	Kostnad Alternativ 2 Syd - Samvirkebro	Kost./enh.	Mengde	Enh.	Kostnad
D.1	Peler stål Ø1420, Ø1220 Leveranse	21000	11167.04	tonn	234,507,810
D.2	Peler, Spesiell rigg	0	0	RS	60,000,000
D.3.1	Peler, Ramming, Ø1420	48000	8916	m	427,968,000
D.3.2	Peler, Ramming, Ø1220	42000	2990	m	125,580,000
D.4	Peler, Boring	0	0	m	0
D.5	Sveising peler fra flåte	1500000	0	stk	0
D.6	Holdning peler under støp	400000	50	Stk	20,000,000
D.7	Utstøping peler	8000	14051	m ³	112,408,000
D.8	Peler, Sand	3000	2191	m ³	6,573,000
D.9	Stålkjernerpeler Ø219/OD150	7000	770	m	5,390,000
D	Peler				992,426,810
D.1	Peler stål Ø1420, Ø1220 Leveranse				
	<i>Posten omfatter:</i> Leveranse av stål for peler Ø1420 og Ø1220 Stålkvalitet S355 Pelespiss 394 t ; Rør 10773t Omfatter også transport og sammenstilling på land				
D.2	Peler, Spesiell rigg				
	<i>Posten omfatter:</i> Rigg for monasje av peler for både ramming, utstøping og boring av peler Omfatter tilrigging og nedrigging og transport til Mjøsa av utsyr for arbeider beskrevet i D.3, D.4, D.5 og D.6 Posten omfatter også nødvendig mannskap for arbeidet				
D.3.1	Peler, Ramming, Ø1420				
	<i>Posten omfatter:</i> Kostnader for monasje av rammede peler Ø1420 Omfatter kostnader for flåter, båter, kraner, hammere og annet nødvendig utstyr for ramming av peler samt nødvendig mannskap				
D.3.2	Peler, Ramming, Ø1220				
	<i>Posten omfatter:</i> Kostnader for monasje av rammede peler Ø1220 Omfatter kostnader for flåter, båter, kraner og annet nødvendig utstyr for ramming av peler samt nødvendig mannskap				
D.5	Sveising peler fra flåte				
	<i>Posten omfatter:</i> Kostnader for sveising av peler på sjøen inkludert flåte, utstyr for holding av peler og nødvendig mannskap for sveising				
D.6	Holdning peler under støp				
	<i>Posten omfatter:</i> Omfatter nødvendig flåter, kran etc for holding av pel under støping som sikring mot innkludert nødvendig bemanning for arbeidet				

Beregninger viser at holding av pel under støp ikke er påkrevet. Dette bør likevel vurderes videre og posten beholdes.

D.7	Utstøping peler				
	<i>Posten omfatter:</i> Utstøping av peler inkludert pumping, transport både på land og på Mjøsa Innkuderer også nødvendig bemanning for arbeidet samt flåter, båter etc. Armering 125 kg/m ³ betong				
D.8	Peler, Sand				
	<i>Posten omfatter:</i> Omfatter leveranse og fylling av sand i peler innkludert mannskap og nødvendig utstyr				
D.9	Stålkjernepeler Ø219/OD150				
	<i>Posten omfatter:</i> Omfatter leveranse og montasje av stålkjernepeler Ø219/OD150 Stålkvalitet S355				

NB. Det er begrenset kostnadsgrunnlag for underbygning av denne typen. Dette medfører noe forhøyet usikkerhet i kostnad. Spesielt gjelder det D.2, D.3, D.4, D.5 og D.6.

Kostnad Alternativ 2 Syd - Samvirkebro		Kost./enh.	Mengde	Enh.	Kostnad
E.1	Lager og fuger			RS	7,000,000
E.2	Rekkverk	18000	1154	m	20,772,000
E.3	Belegning	14000	1134	m	15,876,000
E.4	Annet utstyr			RS	8,000,000
E	Utstyr				51,648,000
E.1 Lager og fuger					
<p><i>Posten omfatter:</i> Leveranse og montasje av totalt 28 POT lager hvorav 14 ensidig bevegelig og 14 allsidig bevegelig lager. Leveranse og montasje av 2 elastomer lager. Leveranse og montasje av lamelle fuge med bevegelse lengde SLS ca. +/-800mm. Leveranse og montasje av strip-seal fuge med bevegelse lengde SLS ca. +/-10mm.</p>					
E.2 Rekkverk					
<p><i>Posten omfatter:</i> Leveanse og montasje av kjøresterke rekkverk på begge sider av brua samt midtrekkverk Brurekkverk med rør: Styrkeklasse H2 Midtrekkverk: Styrkeklasse H2</p>					
E.3 Belegning					
<p><i>Posten omfatter:</i> Leveranse og legging av asfalt på bru. Membran: 12 mm (Topeca 4S) Bindlag: 40 mm (Ab16) Slitelag: 40 mm (Ab16)</p>					
E.4 Annet utstyr					
<p><i>Posten omfatter:</i> Leveranse og montasje av øvrig utstyr inkludert el, belysning, skilt, trapper og luker</p>					

Tabell 6-3 Kostnad - Alternativ 2 Syd – Samvirkebro - Ytterligere beskrivelse

6.4 Risiko

6.4.1 Gjennomføring

Det vurderes å være noe forhøyet risiko knyttet til gjennomføring av ny Mjøsbru alternativ 2 - syd. Overbygning med samvirkebjelke stål/betong utført med lansering fra landkaret i vest er velkjent og tilsvarende er utført flere steder i Norge. Derimot er de rammede peler Ø1420 på dypt vann forbundet med forhøyet risiko i utførelsen på grunn av manglende erfaring med tilsvarende arbeider.

I tillegg er det en viss prosessrisiko knyttet til godkjenning av prosjektet da pelelengden er omtrent 105m for lengste peler. Lengde overstiger 80m som er vurdert som grensen for hva som kan støpes ut med god kvalitet. Brua er derfor planlagt med delvis utstøpning av pelene som vil være et fravik fra gjeldende regelverk, N400.

De lange pelene krever omfattende bruk av tungt utstyr, men dette vurderes å være innenfor erfaringsområdet til store entreprenører i det internasjonale markedet.

6.4.2 Framdrift

Framdriftsrisiko er først og fremst knyttet til ramming av peler. Ramming av peler for et fundament med 13 stk Ø1420 peler vurderes til typisk 500 timer. Under forutsetning av at det arbeides 6 dager i uken av 12 timer utgjør dette total 7 uker pr. fundament.

Et effektivt arbeidsår med peling må reduseres for perioder med is, helligdager og dager med for mye vind/bølger. Legger man 36 uker til grunn, framgår at man typisk kan montere peler for 5 akser i løpet av ett år. Denne framdriften forutsetter at utstøping av pelene utføres med egen flåte/kran.

Brua i syd har totalt 11 akser som skal peles i vann. Av de 11 aksene er det 4 som er grunnere og som antas utført med Ø1220 peler.

Konklusjonen er at peling trolig kan gjennomføres i løpet av to år, forutsatt at støpning utføres fra egen flåte. Det kan spares en sesong hvis det arbeides med to pelerigger i hele sesongen.

En reduksjon av arbeidsuker pr. sesong enten på grunn av klima (is/vind), eller på grunn av vern av fisk kan medføre betydelig forsinkelse. Som avbøtende tiltak kan ekstra pelerigg med tilhørende kran og flåte skaffes.

Det vurderes følgelig at det er risiko for at byggetid blir lengre enn ønsket på grunn av kombinasjon klima og miljøkrav. Videre er det sannsynlig at entreprenører vil legge inn økonomisk påslag om øvre ramme for byggetiden settes for kort i forhold til arbeidet som skal utføres og begrensninger i tilgjengelig arbeidsperiode.

Avvik i forhold til forventede grunnforhold kan medføre ytterligere økning av tiden som kreves pr. fundament.

6.4.3 Kostnader

Planer er utviklet til typisk nivå for reguleringsplan/forprosjekt. I henhold til Statens vegvesen håndbok R764, bør da estimat ha usikkerhet +/- 10 til 20%. Usikkerheten vurderes å være noe høyere for ny Mjøsbru, alternativ 2 - syd.

Samlet usikkerhet til estimatet er en sum av usikkerhet knyttet til ulike årsaker. Overordnet kan usikkerhet deles i fire deler, marked, rammebetingelser, modenhet og grunnforhold.

Noe av usikkerheten knytter seg til forhold som i liten grad lar seg redusere med innsats i prosjektet. Dette gjelder først og fremst markedsrelaterte forhold, men også andre forhold som for eksempel Statsforvalterens beslutninger som gjelder støy.

For Ny Mjøsbru er det begrenset med sammenlignbare prosjekt som grunnlag for vurdering av pris. Dette skyldes at arbeidet skal utføres i en svært dyp innsjø, der det er over 10 mil fra brusted til nærmeste havn. Dette skaper utfordringer knyttet til logistikk og tilgjengelighet til tungt utstyr som for eksempel flåter og slepebåter. Samlet gir dette en noe større usikkerhet ved kostnadsestimering enn normalt for store bruer.

I tillegg til overnevnte forhold, knytter det seg risiko til begrensede grunnundersøkelser i brulinja.

Vi har utført en kartlegging av spesiell risiko knyttet til Mjøsbrua. Kartlegging har fokus på forhold som kan påvirkes ved planlegging og grunnundersøkelser. De registrerte forhold danner grunnlag både for vurdering av restrisiko samt en oversikt over forhold som bør bearbeides videre i en tilbudsfasen.

I tillegg til de usikkerheter som framkommer i tabellen, vil det som nevnt være usikkerhet knyttet til marked, rammebetingelser, gjenstående grunnundersøkelser samt forhold som avdekkes ved prosjektering fram til arbeidstegninger.

Ny Mjøsbru alternativ 2 - syd

Som det framgår av tabell 6-4 er det tre risikoer som er vurdert som høye for ny Mjøsbru alternativ 2 - syd. En er knyttet til godkjenning av fylling ved Moelv og to er knyttet til peler.

Risiko for forhold knyttet til fylling i Mjøsa kan reduseres ved videre utredning av konsekvenser av arbeidet samt dialog med Statsforvalter. Arbeidet pågår, men omtales ikke videre i denne rapporten.

Risiko knyttet til bæreevne av peler vil bli ytterligere redusert når prøvepeling er utført.

Det er utført detaljerte studier av metoder for installasjon av peler. Resultatet av arbeidet er sammenfattet i fagrappport Anleggsteknikk (1). Rapporten vil forenkle entreprenørens arbeid med planlegging av anlegget, noe som vil bidra til å redusere risikoen. Pelearbeidet er uansett utenfor erfaringsområdet for valgt løsning, og det vil derfor være ekstra risiko knyttet til entreprenørens påslag.

Ni poster er vurdert med middels risiko. To av disse er knyttet til grunnforhold, fem til pelearbeid og to til overbygning. Risikoene ved pelearbeid kan trolig reduseres noe med prøvepeling.

Øvrige risikoer går på vurdering av kostnader og tidsbegrensning av arbeidsperiodene. Flere av disse risikoene vil bli mindre i en eventuell tilbudsfasen når det er opprettet dialog/mottatt tilbud fra aktuelle entreprenører med sine løsninger og forslag til gjennomføring.

Med utgangspunkt i dette samt konseptets generelle modenhet, vurderes usikkerhet til 25%, tilsvarende ca. 700 mill. NOK. Mulig reduksjon vurderes til det halve dvs. -350 mill. NOK.

Nr.	Risiko, beskrivelse	Sannsynlighet	Kostnad	Samlet risiko	Kommentar
1	Utfylling i Mjøsa, fundamentering				
1.1	Fylling i sjø	4	3	12	Det er lagt opp til en fylling med lengde ca. 200m i Mjøsa. Fyllingen er ikke vurdert av Statsforvalter. Prisdifferanse for endring fra fylling til bru er tatt med som risiko. Grunnforhold er ikke tatt med som egen risiko da konsekvens vil være tilsvarende som for mangelen aksept fra Statsforvalter. Risiko knyttet til grunnforhold vurderes som mindre enn forhold knyttet til insigelser fra Statsforvalter
2	Usikkerhet knyttet til grunnforhold				
2.1	Lavere bæreevne enn forventet for pelene	3	3	9	Konsekvens er vurdert med utgangspunkt i at pelene i 4-5 akser må forlanges.
2.2	Større hammer enn forventet for å oppnå nødvendig bæreevne	3	2	6	Hammerstørrelse er foreløpig vurdert til 600Kj. Risiko kan ikke lukkes helt før prøvepeling er utført. Større hammer vil kunne ha konsekvens også for størrelse kran og flåte.
2.3	Stabilitet i byggefase, Dredging	3	2	6	Behov for dredging for å oppnå tilstrekkelig stabilitet i byggefase.
2.4					
3	Grove peler				
3.1	Transportkostnad rør fra kai til Mjøsa	3	1	3	Mengde og transportrute kjent - detaljer ikke fastlagt
3.2	Kostnad sammenstilling på land	3	2	6	Omfatter sveis og rigg for sveis
3.3	Kostnad sammenstilling (Sveis) under montasje	3	2	6	Første del av pel drives ned så langt som mulig. Andre del sveises på før pelen rammes ferdig
3.4	Kranbehov	3	2	6	Endelig vurdering av kran er ikke utført.
3.5	Arbeidsflåte med nødvendig avstivning pga. kran	3	1	3	Endelig vurdering av flåte er ikke utført.
3.6	Midlertidig avstivningssystem for skrånne peler	3	1	3	Begrenset tilgjengelig prisgrunnlag
3.7	Risikopåslag på grunn av manglende erfaring med tilsv. forhold	3	3	9	Vanskelig kvantifiserbar.
3.8	Veggtykkelse peler kan måtte økes	2	2	4	Stålet i pelene er høyt utnyttet under ramming.
3.9	Begrensninger i periode der det kan rammes peler på grunn av miljøhensyn	3	2	6	Arbeidsperiode er i utgangspunktet begrenset vinter/is og strøm. Det er i tillegg risiko for begrensninger knyttet til fisk
4	Bruckasse, stål				
4.1	Transportkostnad element fra havn til Mjøsa	2	1	2	Mengde og transportrute kjent - detaljer ikke fastlagt
4.2	Sammenstilling, arealbehov	2	1	2	Sammenstillingsmetode antas valgt og dermed er nødvendig areal fastlagt. Endring i metode kan kreve økt areal.
4.3	Sammenstilling, sveisearbeider	2	2	4	Stålet prefabrikeres i passende paneler - sveisearbeid på plassen minimeres
5	Brudekke, betong				
5.1	Ingen spesielle risikoer avdekket				
6	Pelehoder				
6.1	Kostnader etablering tørr form	3	2	6	Begrenset prisgrunnlag
7	Kai				
7.1	Kostnad etablering/fjerning	3	1	3	Risiko redusert med grunnundersøkelser

NB. Vi legger til grunn at det blir gitt dispensasjon for kun delvis utstøping av peler

Sannsynlighet	Kostnad	(Alle kostnader i mill. NOK)
<2%	1	<10
2-10%	2	10-50
10-20%	3	50-100
20-50%	4	100-500
>50%	5	>500

Høy risiko: 8 til 12	Totalt: 3 stk
Middels risiko: 4 til 6	Totalt: 9 stk
Lav risiko: 1 til 3	Totalt: 6 stk

Tabell 6-4 Oversikt over risiko ny Mjøsbu alternativ 2 – syd - Samvirkebro

7 Bærekraft

Konsept for ny Mjøsbru er utviklet gjennom flere faser etter at kommunedelplanen ble vedtatt. Målsetting for utviklingsarbeidet har hele tiden vært å tilfredsstille Nye veiers mål for prosjektet. For brua har i hovedsak 3 delmål vært styrende:

- Bærekraft
- Kostnad
- SHA (Se eget kapittel i fagrapport Ny Mjøsbru – Anleggsgjennomføring, samt egen fagrapport)

Klimagasser og særlig CO₂ er en viktig del av bærekraft. Det er også andre viktige element som giftighet av materialer og tilsetningsstoffer.

Det viktigste tiltaket for å redusere utslipp av CO₂ er reduksjon av materialforbruk. Materialforbruk styres i stor grad av arealet på overbygning, og reduksjon av både lengde og bredde på brua har hatt høyt fokus.

Midlertidige konstruksjoner bør i størst mulig grad kunne gjenbrukes i andre prosjekt, eller som et minimum kunne gjenvinnes. Optimalisert prosesser for gjennomføring vil også være viktig for å redusere CO₂ utslipp fra prosjektet.

7.1 Beslutnings grunnlag

Ved oppstart av prosjektet ble prosjekteringsgrunnlaget revurdert. Særlig to beslutninger er viktige for bærekraft:

- Det ble besluttet å benytte eksisterende bru som gang og sykkelveg. Dette vil først og fremst være et viktig bidrag til å redusere bredde på ny bru, men man unngår også riving av den gamle brua.
- Det ble åpnet for å legge hastighet under 110km/t til grunn. For brua medfører dette redusert breddeutvidelse i kurver og redusert behov for ramper for av og påkjøring.

7.2 Optimalisering av permanente konstruksjoner

7.2.1 Underbygning

To forhold påvirker i stor grad utslipp klimagass fra underbygningen.

- Lengde av brua
- Vanndybde under bru.

Med utgangspunkt i lengde og dybde, er det vurdert et betydelig antall veilinjer som grunnlag for endelig valg av veilinje i forprosjektet.

Det er utført omfattende grunnundersøkelser og det anbefales at disse kompletteres med prøvepeling for å optimere lengder og godstykkelse av stålørspeler.

7.2.2 Overbygning

Underveis i prosjektet har det blitt enighet om å redusere generell føringsbredde på brua fra 23m til 20m.

Kurvatur og ramper er så langt det har latt seg gjøre skjøvet inn på land for å unngå breddeutvidelse av overbygningen. For alternativ 2 har brua nå konstant bredde 20m i hele lengden. Alternativ 1 har fortsatt noe breddeutvidelse på grunn av kurvatur mot øst. Ytterligere optimalisering bør vurderes.

Omfattende arbeid er gjort for å redusere lengde på brua, blant annet er fyllinger i Mjøsa optimalisert. Særlig ny fylling for alternativ 2 ca. 200m ut i Mjøsa ved Moelv, har stor betydning for brulengde.

Spennvidder er optimalisert for begge løsninger. For alternativ 1 er spennvidde styrt av krav til gjennomseiling og estetikk, men det er også slik at 69m er en nær optimal løsning for denne typen overbygning med tanke på medgått mengder materiale. I alternativ 2 er spennvidde først og fremst styrt av totalt forbruk av materialer.

7.3 Optimalisering av anleggsgjennomføring

7.3.1 Underbygning

Underbygningen består i hovedsak av stålørspeler som rammes ned til faste lag i grunnen. Dette er velkjente metoder for bygging, men det store vanddypet stiller spesielle krav til styring av pelene under ramming. I innledende faser ble det planlagt med styringsrammer i stål på sjøbunnen. Dette stålet vil ikke vært mulig å gjenbruke eller gjenvinne.

I endelig konsept er rammene på sjøbunnen erstattet av en kraftig stålrigg over vann. Riggeren over vann må trolig også spesial bygges, men kan gjenbrukes i alle akser på brua. Etter at prosjektet er avsluttet vil stålet i riggen kunne gjenvinnes.

7.3.2 Overbygning

Vi har valgt to ulike løsninger for overbygning i alternativ 1 og 2.

I alternativ 1 benyttes forskalingsvogn MSS (Moving scaffolding system). Redusert vekt av overbygning, vil redusere stålmengde i MSSen. MSSen må bygges for den tyngste delen av brua, og det vil derfor være viktig å redusere breddeutvidelse på grunn av stoppsikt i kurve. MSSen kan bygges om og benyttes i senere prosjekt.

Alternativ 2 bygges med et ståltrau som skyves ut fra land. Framskyving krever diverse midlertidige tiltak, men alt utstyr for skyving kan normalt gjenbrukes.

7.4 Bestandighet og drift

En viktig del av bærekraft er sikre lang levetid med begrenset vedlikehold for konstruksjoner. Dette oppnås normalt best ved å benytte velprøvde løsninger og materialer, og vi har derfor valgt stål og betong som hovedelement i bru. Riktig utført betong er svært bestandig og vil være tilnærmet vedlikeholdsfritt i bruas levetid. Stål over vann vil kreve fornyelse av overflatebehandling, men om det planlegges for framtidig vedlikehold vurderes dette ikke som spesielt utfordrende.

Det kan argumenteres for at overbygning i tre har lavere klimagassutslipp enn betong og stål. Imidlertid må treverk impregneres med kobber og ofte også kreosot for å oppnå tilstrekkelig levetid. Dette medfører andre typer miljøbelastning som heller ikke er ønskelig. Videre vil en trebru over Mjøsa, tøye grensene for trebruer svært langt utenfor dagens erfaringsbase. Det vurderes ikke som realistisk å få godkjenning for en så grensesprengende trebru i overskuelig framtid sett i lys av hendelsene på Tretten og informasjon som har framkommet i forbindelse med pågående gjennomgang av norske trebruer.

7.5 Videre arbeid

Tiltak som begrense utslipp av klimagasser bør innarbeides i konkurransegrunnlaget. Dette gjøres ofte ved å stille CO₂ krav pr. enhet (tonn/m³) til enkelt komponenter som stål og betong.

Det kan også gjøres mer ambisiøst ved å stille krav til større deler av prosjektet. Da åpnes det for eksempel for bruk av stål med høyere fasthet og høyere CO₂ ekvivalent pr. tonn. Redusert mengde ståltonnasje vil i mange tilfeller mer enn kompensere for denne økningen pr. tonn.

8 Referanseliste

1. NV34E6MR-KNS-RAP-0049, 2022, COWI AS, Forprosjekt ny Mjøsbru anleggsteknikk
2. NV34E6MR-GTK-RAP-0029, 2022, COWI AS, Fagrappport geoteknikk - Ny Mjøsbru.
3. Håndbok R764 – Anslagsmetoden, Juni 2021, Statens vegvesen
4. Teknisk notat MR1-MUL-DE-MB-ST-DEN-K005, 2020, Multiconsult, Ice Loading
5. Statens Vegvesen - Håndbok N400, Bruprojektering, 2022
6. Rapport, Korrosjon av stål i ferskvann, 2022, SINTEF Industri
7. NS-EN 1993-5:2007+NA:2010 – Eurokode: Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 5: Peler og spunt
8. Rapport, 8423-01 Mjøsbrua - Førings av 4-felts veg over Mjøsa, Mulighetsstudie, 2006, Aas-Jacobsen/SVV Region Øst.
9. Multiconsult, Nye Veier «10201616-RIMAT-RAP-001 Begrenset spesialinspeksjon under vann. Estimering av korrosjonshastighet på peler», 2018.

9 Vedlegg

Vedlegg A - Beregninger. Forprosjekt ny Mjøsbru alternativ 2 – syd

Vedlegg B - Tegninger. Forprosjekt ny Mjøsbru alternativ 2 - syd