

Vurdering av konstruksjonstyper for ny Eigerøy bru

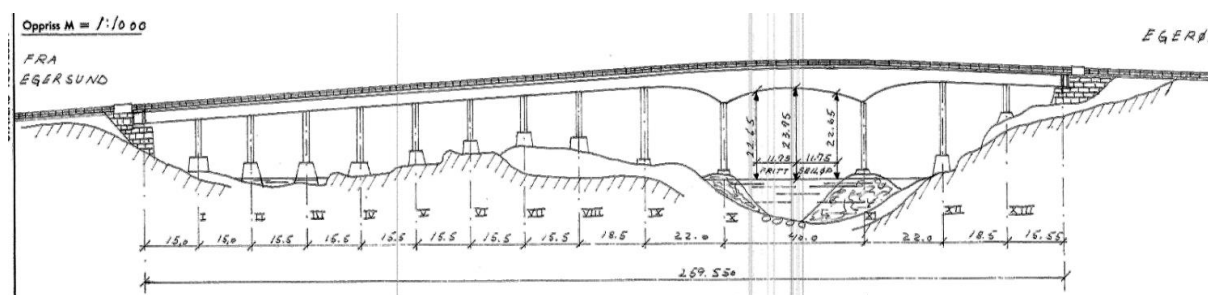
Versjon:	Dato:
2	21.03.2019
3	08.04.2019

Utarbeidet		Kontrollert	
Navn:	Dato:	Navn:	Dato:
Håkon Emil H. Sæstad	01.03.2019	Stian Persson	03.03.2019

1 Innledning

I forbindelse med utarbeidelse av forprosjekt for ny Eigerøy bru, har Bruseksjonen Region vest blitt engasjert til å vurdere ulike bruløsninger til en forprosjektrapport.

Dagens Eigerøy bru (11-0358) ble bygget i 1951. Brua har et hovedspenn på 40 meter, og en totallengde på ca. 260 meter. Den er inndelt i 14 spenn.



Figur 1-1: Oppriss dagens bru

Det forutsettes at den nye brua skal ha tilnærmet lik brulengde og spenninndeling. Det vil si at hovedspennet blir minst 40 meter. Brubredde er satt til ca. 15 meter. For enkelte konstruksjoner må denne økes noe, men det omtales i de enkelte kapitler.

Oppsummert blir ny bru ca. 260 m lang og minimum 15 m bred. Arealet av den nye brua blir derfor minimum 3900 m².



Bilde 1-1: Eigerøy bru sett fra sørsiden

For å vurdere de ulike konstruksjonstypene opp mot hverandre er det her valgt følgende vurderingskriterier:

1. **Estetikk** – Hvordan brutypen passer til omgivelsene?
2. **Seilingshøyde** – Hvordan påvirkes seilingsleden av valgt brutype?
3. **Tverrsnittsbredde** – Hvordan påvirkes breddebehovet av valgt brutype?
4. **Vedlikeholdskostnader** – Hva vil kostnadene være i brutypens levetid?
5. **Anleggsgjennomføring** – Er det ukomplisert å bygge brutypen?
6. **Byggekostnader** – Hva koster brutypen?
7. **Geoteknikk** – Påvirkes brutypen av grunnforholdene?

Det er ikke registrert berg i dagen så det er usikkert hvor berget ligger. Det er lokalt dype lommer med løsmasser i området, som gjør at det kan bli behov for å pele for noen av alternativene.

For å skille konstruksjonstypene fra hverandre, er det valgt å gi hvert vurderingskriterium en karakter fra 1 til 10, der 1 er dårligst og 10 er best. Summen av karakterene for hver enkel konstruksjonstype legges til grunn for anbefalingen av konstruksjonstype for ny Eigerøy bru.

Noen kriterier er vektet mer enn andre. Dette gjelder seilingshøyde og byggekostnader.

- Behov for en gitt seilingshøyde kan bli styrende for valg av brutype, og karakteren for seilingshøyde multipliseres med en faktor på 1,5.
- Byggekostnadene i dette prosjektet er i stor grad er styrende, og karakteren for byggekostnader multipliseres med en faktor på 2.

Kostnadene er ikke særskilt vurdert her, men basert på erfaring er konstruksjonstypene rangert ut ifra de antatte kostnadene for de ulike løsningene.

Konstruksjonstype	Karakter
Prefabrikkerte betongbjelker	10
Platebru	9
Kassebru, stål	7
Kassebru, betong	7
Buebru, mellomliggende bue	5
Buebru, underliggende bue	5
Buebru, nettverksbue	3
Skråstagsbru	2

Tabell 1-1: Vurdering av kostnader

For den billigste løsningen antas det en kvadratmeterpris på ca. 30 000 kr (eks. mva.). Dette gir en antatt entreprisestnad på 117 millioner for den billigste bruløsningen.

De øvrige vurderingene gjøres under punktet for den enkelte brutype.

2 Beskrivelse av aktuelle brutyper

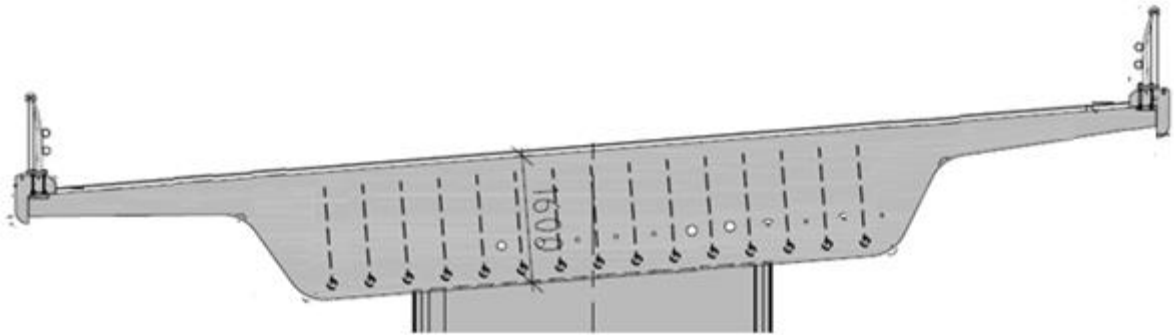
2.1 Massiv betongbru

En massiv betongbru vil generelt ha samme uttrykk som dagens bru. Spenninndelingen vil bli relativt lik, men tverrsnittshøyden må ikke variere like mye som den gjør på dagens bru.

2.1.1 Platebru

Platebru er en stedstøpt betongkonstruksjon, i dette tilfellet med spennarmering. Basert på tidligere erfaringer med et hovedspenn på rundt 40 meter (12-1136 Hålandsbrua), anslås det her en tverrsnittstykkelse på 1,6 m i hovedspennet. I tillegg til det kommer det ca. 80 mm med asfalt, så konstruksjonen vil bygge ca. 1,7 m fra veglinjen og ned til underkant bru.

Bildet nedenfor viser prinsippet for hvordan den nye brua kan se ut. Bildet er av Fossembrua i Steinkjer (17-0859).



Figur 2-1: Tverrsnitt Hålandsbrua (hovedspenn 43 meter)



Bilde 2-1: Fossembrua

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Relativ lik dagens løsning. Søyler og tverrsnitt kan utformes på en måte som tilpasser brua mest mulig til stedet.	6
2. Seilingshøyde	Relativ liten byggehøyde på tverrsnittet, gunstig.	8 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Ikke behov for ekstra bredde utover rekkverksareal.	10
4. Vedlikeholdskostnader	Betong krever generelt lite vedlikehold. Fuger, lager, rekkverk ol. vil kreve periodisk vedlikehold.	9
5. Anleggsgjennomføring	Utfordrende å forskale for brubanen over sundet. Ellers relativt greit å få til.	6
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	9 (x2)
7. Geoteknikk	Grunnforholdene vil ikke ha stor betydning for denne type konstruksjon. I verste fall må det peles i noen akser.	9
		70

Tabell 2-1: Platebru

2.1.2 Prefabrikkerte betongbjelker

Bjelkebru med prefabrikkerte betongbjelker utføres ved at bjelkene for de største spennene (ca. 40 meter) produseres i fabrikk, transporteres og monteres på brustedet. Bruplaten plasstøpes kontinuerlig over hele bruas lengde for å få et bedre lastfordeling i tverretning, og for å få færre elementer som krever vedlikehold (f.eks. fuger).

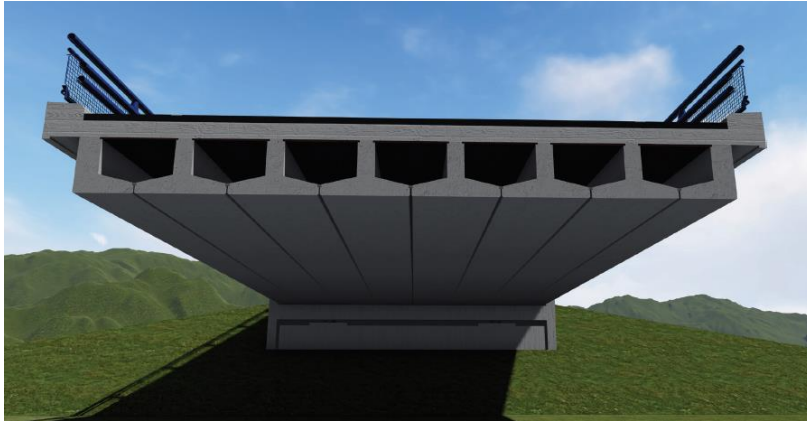
Bildet nedenfor viser prinsippet for hvordan den nye brua kan se ut med prefabrikkerte betongbjelker. Bildet er av Fuglenesbukta bru i Hammerfest (20-2858).



Bilde 2-2: Fuglenesbukta bru

En veileder for prefabrikkerte brubjelker (V426) er under utarbeidelse av Statens vegvesen, og dimensjoner for bjelken er hentet fra denne. Siden det i veilederen forutsettes fritt opplagte bjelker, må bjelkene for ny Eigerøy bru prosjekteres spesifikt for prosjektet siden de også må ta noe støttemoment.

Fra tabeller i utkastet til denne veilederen får vi at bjelkehøyden ved et spenn på 40 meter blir 1,4 meter. I tillegg til bjelken kommer det også en bruplate med tykkelse 240 mm og belegning med tykkelse ca. 80 mm. Total tverrsnittshøyde fra overkant asfalt til underkant bjelker blir da ca. 1,7 m.



Bilde 2-3: Prinsippnitt fra veileder

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Relativt lik dagens løsning. Søylar kan utformes på en måte som tilpasser brua mest mulig til stedet, men over søylar vil bjelkene kunne måtte legges på en tverrgående bjelke. Tverrsnittet er noe mer låst.	4
2. Seilingshøyde	Relativ liten byggehøyde på tverrsnittet, gunstig.	8 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Ikke behov for ekstra bredde utover rekkverksareal.	10
4. Vedlikeholdskostnader	Betong krever generelt lite vedlikehold. Fuger, lager, rekkverk ol. vil kreve periodisk vedlikehold. Kan bli noe vedlikehold med prefabrikkerte elementer som følge av flere fuger.	8
5. Anleggsgjennomføring	Gunstig å ha prefabrikkerte bjelker som heises på plass over sundet. Slipper reis i/over sundet, og i andre spenn med prefabrikkerte bjelker.	9
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	10 (x2)
7. Geoteknikk	Grunnforholdene vil ikke ha stor betydning for denne type konstruksjon. I verste fall må det peles i noen akser.	9
		72

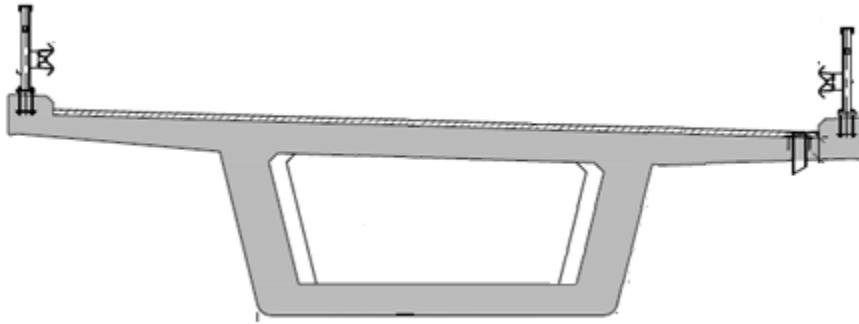
Tabell 2-2: Prefabrikkerte betongbjelker

2.2 Kassebru

2.2.1 Betong

Betongkassebru er en hul betongkonstruksjon. Tverrsnittshøyden blir min. 2,5 meter, på grunn av krav i teknisk regelverk til innvendig frihøyde på min. 1,6 meter inni kassen ved variabelt tverrsnitt (N400, 4.5).

Prinsippet for betongkassebru er vist på skissen nedenfor. Snittet er hentet fra Svelgabru (12-0788) som er en ett-spenns bru med spennlengde på 40 meter. Bildet er av Seimsbrui (12-0786).



Figur 2-2: Tverrsnitt Svelgabru



Bilde 2-4: Seimsbrui

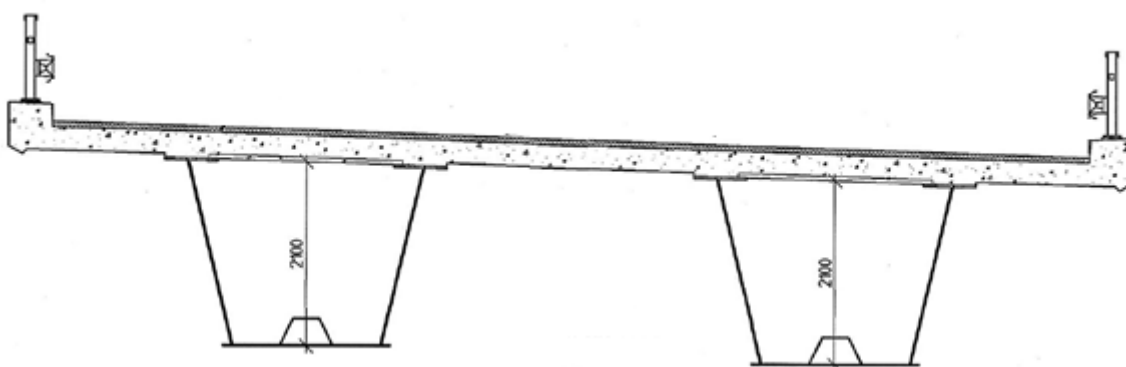
Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Relativt lik dagens løsning. Søylar kan utformes på en måte som tilpasser brua mest mulig til stedet. Tverrsnittet er noe mer låst, og litt mer dominerende enn de slankeste løsningene.	5
2. Seilingshøyde	Byggehøyde på tverrsnittet noe større enn for massive betong løsninger.	5 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Ikke behov for ekstra bredde utover rekkverksareal.	10
4. Vedlikeholdskostnader	Betong krever generelt lite vedlikehold. Fuger, lager, rekkverk ol. vil kreve periodisk vedlikehold. Noe mer vedlikehold med kasserom.	8
5. Anleggsgjennomføring	Utfordrende å forskale kassen over sundet og i andre lange spenn hvor brua er høyt over bakken. Ellers relativt greit å få til.	4
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	7 (x2)
7. Geoteknikk	Grunnforholdene vil ikke ha stor betydning for denne type konstruksjon. I verste fall må det peles i noen akser.	9
		57,5

Tabell 2-3: Kassebru i betong

2.2.2 Stål

Prinsippet for stålkassebru er tilsvarende som for betongkassebrua. Kravet til innvendig frihøyde i kassen kan derimot reduseres noe dersom brua projekteres som lufttett og tverrsnittshøyden er mindre enn 1,6 meter.

Prinsippet for stålkassebru er vist på skissen nedenfor. Snittet er hentet fra Bjørsetfossbrua (16-1574) som er en ett-spenns bru med spennlengde på 50 meter. Her er den innvendige høyden i kassen 2,1 meter. Med en noe kortere bru og bru i flere spenn, kan tverrsnittshøyden reduseres noe. Det forutsettes derimot her at krav til innvendig frihøyde på 1,6 meter i kassen slår inn (variabelt tverrsnitt, lavest over seilingsleden), og at tverrsnittshøyden blir ca. 2,0 meter.



Figur 2-3: Tverrsnitt Bjørsetfossbrua



Bilde 2-5: Bjørsetfosnbrua

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Relativt lik dagens løsning. Søylar kan utformes på en måte som tilpasser brua mest mulig til stedet. Tverrsnittet er noe mer låst, og litt mer dominerende enn de slankeste løsningene.	5
2. Seilingshøyde	Byggehøyde på tverrsnittet noe større enn for massive betong løsninger.	6 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Ikke behov for ekstra bredde utover rekkverksareal.	10
4. Vedlikeholdskostnader	Stål krever generelt mer periodisk vedlikehold enn betong. Vil være behov for å behandle stålkassen noen ganger i bruas levetid.	5
5. Anleggsgjennomføring	Gunstig å ha ferdig sveiste kasser som kan heises på plass over sundet. Slipper reis i/over sundet, og i andre spenn med stålkasser. Forutsetter at kassen leveres i full lengde og kan monteres i et over hvert enkelt spenn.	8
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	7 (x2)
7. Geoteknikk	Grunnforholdene vil ikke ha stor betydning for denne type konstruksjon. I verste fall må det peles i noen akser.	9
		60

Tabell 2-4: Kassebru i stål

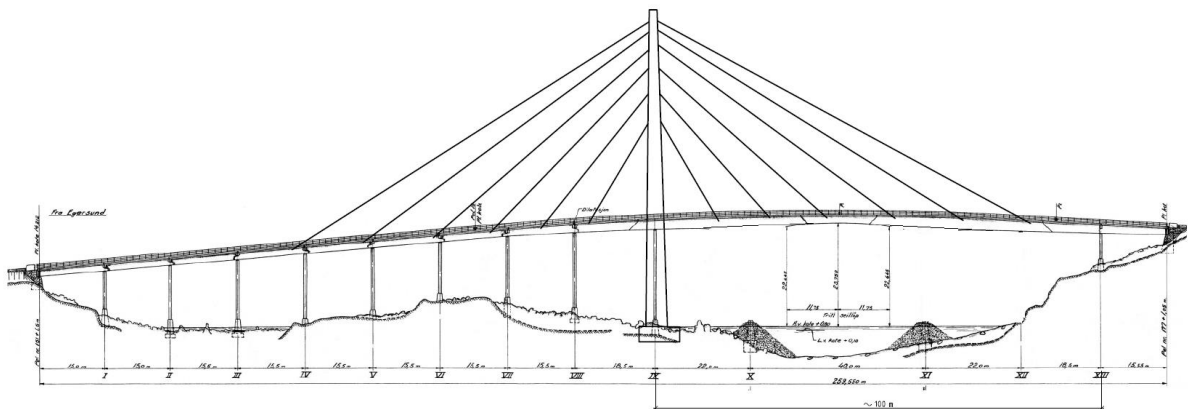
2.3 Skråstagsbru

Skråstagsbrua blir en bru med en pilar plassert på fastlandssiden (skissert) eller på Eigerøy-siden, og et antatt hovedspenn på ca. 100 meter. Det forutsettes her at bruoverbygningen i hovedspennet er av stål. Resten av brua kan utføres som en viadukt etter samme prinsipp som platebrua.

Hovedspennet holdes oppe av skråkabler som forankres i pilaren. På fastlandssiden bygges det en viadukt i betong, som utføres tilsvarende som betongplatebru.

Byggehøyden i hovedspennet antas å ikke bli større enn på Nordhordalandsbrua (12-2900), hvor hovedspennet er 163 meter. Denne brua er beregnet med lavere trafikklast og etter et annet regelverk, og tykkelsen her er ca. 1,4 m.

Basert på dimensjoner og forhold på Nordhordalandsbrua, antas det en pilarhøyde over på brubanen mellom 40 og 50 meter (50 meter er vist på skissen nedenfor).



Figur 2-4: Skisse skråstagsbru



Bilde 2-6: Nordhordalandsbrua (tårnhøyde ca. 65 m)

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Tårnet kan bli veldig ruvende i terrenget, men ved riktig utforming og plassering kan kabelspillet og tårnet bli et attraktivt landmerke i regionen.	10
2. Seilingshøyde	Byggehøyde på tverrsnittet er relativt liten.	9 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Brua må utvides noe for å få festet inn kablene. Avhengig av om kabler monteres sentrisk (1 rekke) eller på begge sider (2 rekker) økes bredden med 1 til 2 meter.	5
4. Vedlikeholdskostnader	Stål krever generelt mer periodisk vedlikehold enn betong. Vil være behov for å behandle stålkasse og kabler noen ganger i bruas levetid.	3
5. Anleggsgjennomføring	Plassering av ny bru må tilpasses behovet for plass til tårnfundamentet og ekstra bredde brubane. Kan bli tett mot eksisterende bru som skal være åpen i anleggsperioden.	4
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	2 (x2)
7. Geoteknikk	Tårnet bør ideelt sett fundamenteres på berg. Kan eventuelt fundamenteres på store peler.	4
		43,5

Tabell 2-5: Skråstagsbru

2.4 Buebru

Generelt kan buen og brubanen utføres i enten stål eller betong, men materialvalget må vurderes i hvert enkelt tilfelle ved detaljprosjektering. Det er i dette notatet forutsatt stålbuie av anleggstekniske årsaker, og brubane av betong på grunn av vedlikeholdskostnader.

Betong krever i utgangspunktet mindre regelmessig vedlikehold enn stål.

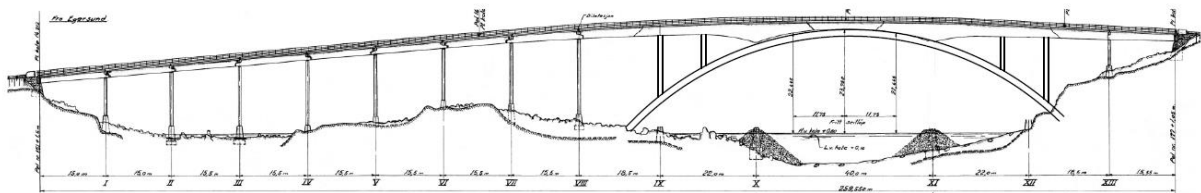
Resten av brua forutsettes utført som en platebru.

2.4.1 Underliggende bue

For buebru med underliggende bue vil bæringen befinne seg under brubanen.

Straumsbrua (15-2922) er brukt som referanse bru for denne typen konstruksjon. Denne brua har en bue med horisontallengde på 176 meter. Tverrsnittshøyden på buen er ca. 2,3 meter, og tykkelsen på brubanen ca. 1,0 meter.

Denne typen konstruksjon er i utgangspunktet laget for noe større spenn enn det som er på dagens bru. Antatt spennlengde for hovedspennet er skissert nedenfor og er ca. 100 meter. Med en redusert spennlengde i forhold til referanse brua, Straumsbrua, antas det her en total tykkelse bru (bue + brubane) over seilingsløpet på ca. 3,0 meter.



Figur 2-5: Skisse buebru med underliggende bue



Bilde 2-7: Straumsbrua

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Buen vil åpne opp en trang seilingsled. Bedre tilpasset brustedet enn dagens bru.	9
2. Seilingshøyde	Byggehøyden på tverrsnittet (inkl. bjelken) er relativt stor, men kan tilpasses. F.eks. at bjelken integreres i brubanen.	6 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Ikke behov for ekstra bredde utover rekkverksareal.	10
4. Vedlikeholdskostnader	Stål krever generelt mer periodisk vedlikehold enn betong. Vil være behov for å behandle buen noen ganger i bruas levetid, men god tilkomst til denne.	7
5. Anleggsgjennomføring	Dersom buen utarbeides på fabrikk i f.eks. 2 deler, kan buen heises på plass, og sveises sammen. Slipper reis i/over sundet. Plassering av fundamenter kan tilpasses eksisterende bru.	8
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	5 (x2)
7. Geoteknikk	Buen bør ideelt sett fundamenteres på berg. Kan eventuelt fundamenteres på peler.	7
		60

Tabell 2-6: Buebru med underliggende bue

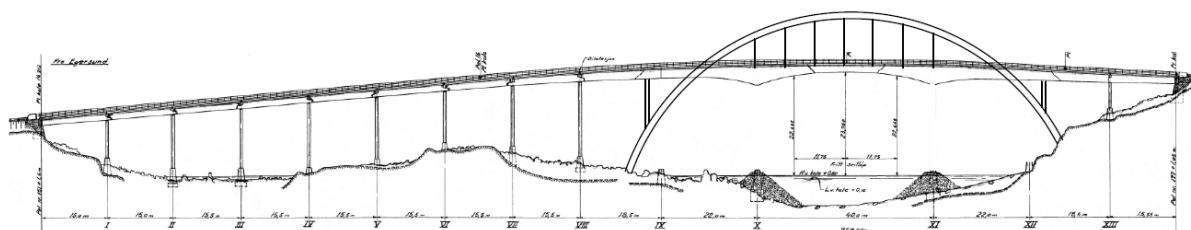
2.4.2 Mellomliggende bue

For buebru med mellomliggende bue vil bæringen være delvis over og delvis under brubanen.

Engøy (11-1200) er brukt som referanse bru for denne typen konstruksjon. Denne brua er bygd i 1971, og det antas at dimensjonene vil bli noe større med dagens regelverk og laster. Denne brua har en bue med horisontallengde på 120 meter. Tverrsnittshøyden på buen er målt på tegning til ca. 2,0 meter, og tykkelsen på brubanen er avlest til 0,82 meter.

Denne typen konstruksjon er i utgangspunktet laget for noe større spenn enn det som er på dagens bru. Antatt spennlengde for hovedspennet er skissert nedenfor og er ca. 100 meter. Skissert spennlengde på Eigerøy bru er ganske likt som på Engøy.

Siden dimensjonene på buen ikke påvirker seilingshøyden for denne brutypen er denne ikke vurdert nærmere, og antatt lik som for den underliggende bjelken (ca. 2,0 meter). For å ta hensyn til økte trafikklaste og nytt regelverk, antas tykkelsen for brubanen økt til 1,0 meter (20% økning).



Figur 2-6: Skisse buebru med mellomliggende bue



Bilde 2-8: Svinesundsbrua

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Buen vil åpne opp en trang seilingsled. Bedre tilpasset brustedet enn dagens bru. Avhengig av overhøyden på buen (over vegen) kan den oppfattes som noe ruvende.	8
2. Seilingshøyde	Byggehøyde på tverrsnittet er relativt liten.	9 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Brua må utvides noe for å føre buen opp gjennom/over brubanen. Det anslås en økt bredde på ca. 2 meter.	4
4. Vedlikeholdskostnader	Stål krever generelt mer periodisk vedlikehold enn betong. Vil være behov for å behandle buen og kablene noen ganger i bruas levetid. Vedlikehold av overliggende bue kan komme i konflikt med trafikkavvikling.	5
5. Anleggsgjennomføring	Dersom buen utarbeides på fabrikk i f.eks. 2 deler, kan buen heises på plass, og sveises sammen. Slipper reis i/over sundet, eventuelt kan reisen henges opp i buen. Plassering av fundamenter kan tilpasses eksisterende bru.	7
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	5 (x2)
7. Geoteknikk	Buen bør ideelt sett fundamenteres på berg. Kan eventuelt fundamenteres på peler.	7
		54,5

Tabell 2-7: Buebru med mellomliggende bue

2.5 Nettverksbuebru

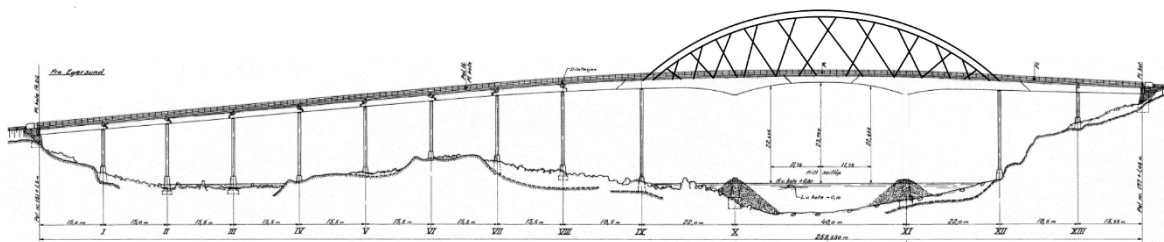
For nettverksbuebru vil bæringen være over brubanen.

Forrabrua (17-1615) er brukt som referanse bru for denne typen konstruksjon. Denne brua er bygd i 2016, og har en spenn-/buelengde på 75 meter. Spennlengden for denne brutypen vil være tilnærmet lik på ny Eigerøy bru. Tverrsnittsdiameteren på buen er gitt på tegning til 610 mm, og tykkelsen på brubanen er ca. 1,6 meter (inkl. belegning og tverrbærer). Resten av brua forutsettes utført som en platebru.

Denne typen konstruksjon er i utgangspunktet laget for noe større spenn enn det som er på dagens bru. Antatt spennlengde for hovedspennet er skissert nedenfor og er ca. 80 meter. Skissert spennlengde på Eigerøy bru er ganske likt som på Forrabrua.

Siden dimensjonene på buen ikke påvirker seilingshøyden for denne brutypen er denne ikke vurdert nærmere, og antatt lik som på Forrabrua (0,61 m).

Nye Eigerøy bru vil bli en del bredere enn Forrabrua (15 m mot 11 m), antas det at det er behov for høyere tverrbærere her. Som et grovt overslag antas tverrbærerens høyde økt med en faktor på $(15/11=) 1,36$, som gir en antatt tykkelse på brubanen på ca. 2,0 meter (inkl. belegning og tverrbærer).



Figur 2-7: Skisse nettverksbuebru



Bilde 2-9: Forrabrua (nettverksbue)

Vurderingskriterier	Grunnlag	Karakter
1. Estetikk	Buen vil åpne opp en trang seilingsled. Bedre tilpasset brustedet enn dagens bru. Avhengig av overhøyden på buen (over vegen) kan den oppfattes som noe ruvende.	7
2. Seilingshøyde	Byggehøyde på tverrsnittet er relativt liten.	7 (x1,5)
3. Tverrsnittsbredde	Brua må utvides noe for å få festet kablene i brubanen. Det anslås en økt bredde på ca. 1 meter.	6
4. Vedlikeholdskostnader	Stål krever generelt mer periodisk vedlikehold enn betong. Vil være behov for å behandle buen og kablene noen ganger i bruas levetid. Vedlikehold av overliggende bue kan komme i konflikt med trafikkavvikling.	4
5. Anleggsgjennomføring	Selve nettverksbuen kan i sin helhet produseres på riggområde, og heises på plass på fundamentene. Krever egnet riggområde ideelt i nærheten av brustedet.	7
6. Byggekostnader	Tabell 1-1	3 (x2)
7. Geoteknikk	Fundamentene for nettverksbuen bør ideelt sett fundamenteres på berg. Kan eventuelt fundamenteres på peler.	8
		48,5

Tabell 2-8: Nettverksbuebru

3 Konklusjon

Basert på vurderingene gjort i punkt 2, anbefales løsningene som er omtalt nedenfor.

I tabellen nedenfor er vurderingen fra punkt 2 oppsummert. Ut ifra de samlede vurderingene anbefales det 4 brutyper som det bør ses nærmere på.

Brutype	Samlet karakter
Platebru	70
Prefabrikkerte betongbjelker	72
Kassebru i betong	57,5
Kassebru i stål	60
Skråstagsbru	43,5
Buebru med underliggende bue	60
Buebru med mellomliggende bue	54,5
Nettverksbuebru	48,5

Tabell 3-1: Oppsummering vurderinger

Kriteriene er for det overliggende vurdert med vekting som angitt i innledningen.

3.1 Bru med prefabrikkerte elementer

Samlet karakter: 72

Dette er ikke den mest elegante brutypen, men den scorer høyt på alle andre kriterier. Blant annet vurderes den til å være det mest kostnadseffektive alternativet.

3.2 Platebru

Samlet karakter: 70

Jevnt over en trygg løsning. Det er antatt litt utfordringer i forbindelse med anleggsgjennomføringen, men alt i alt vil dette være en god løsning.

3.3 Buebru med underliggende bue

Samlet karakter: 60

En estetisk fin løsning som vurderes til å passe fint inn i omgivelsen, og gi område større estetisk verdi. Scorer høyt på det meste, men er vurdert til å ha noe høyere byggekostnader enn de 2 andre anbefalte alternativene.

3.4 Kassebru i stål

Samlet karakter: 60

Dette er ikke den mest elegante brutypen, men den scorer høyt på de fleste andre kriterier. Blant annet vurderes den som gunstig med tanke på anleggsgjennomføringen. Noe ugunstig med tanke på behovet for regelmessig vedlikehold i bruas levetid og byggehøyde.