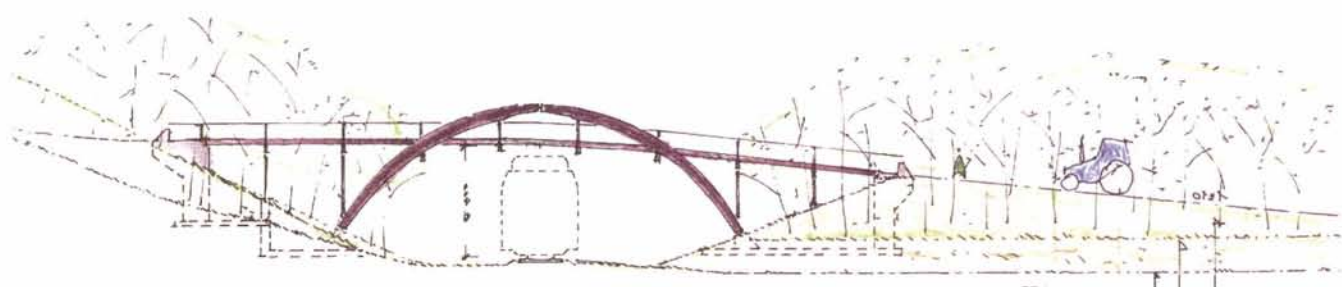




Utviklingsprosjekt:

Overgangsbruer i tre på Dovrebanen

Rapport August 1999



Eks. 1

9624.2/8.011.1 JBV Utv

Universitäts- und
Landesbibliothek Bonn

Forord

I Norsk Jernbaneplan 1998-2007 har Stortinget sluttet seg til Jernbaneverket og NSB BA's strategier om å satse på krengetog på Sørlandsbanen, Bergensbanen og Dovrebanen.

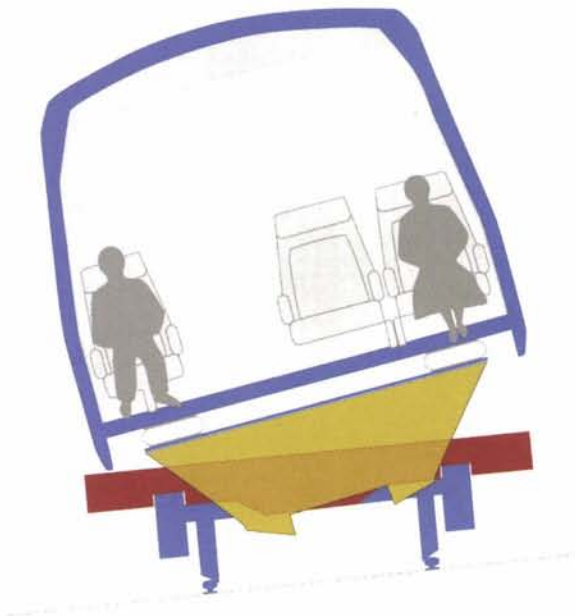
For å oppnå en merkbar reduksjon i reisetid og økt avgangshyppighet, må eksisterende bane oppgraderes gjennom en kombinasjon av fjerning av hastighetsbegrensende elementer, samt at kapasitetsøkende tiltak gjennomføres.

Stortinget har vedtatt en ramme på 1,6 milliarder kroner til hastighetsøkende og kapasitetsøkende tiltak på de tre fjerntogstrekningene for perioden 1998-2001.

På Dovrebanen har Jernbaneverket Region Nord ansvaret for de tiltak som skal realiseres mellom Fåberg (kommunegrensen mellom Lillehammer og Øyer) og Trondheim, mens Jernbaneverket Region Øst har ansvaret for strekningen fra Eidsvoll til Fåberg.

Det er i underkant av 700 planoverganger på strekningene. Av disse er ca. 50 sikret med bom- og lyanlegg.

Det store antallet planoverganger illustrerer nødvendigheten av å finne gode alternativer for å etablere nye «planfrie» kryssinger, og for å erstatte eksisterende bruer.



Her kommer trebrueene inn som et alternativ som kan gi reduserte anleggskostnader og redusert behov for spordisponering (stans i togtrafikken) under bygging, når de brukes der forholdene ligger til rette for det. Dette er bakgrunnen for at Jernbaneverket har satt i gang et utviklingsprosjekt for overgangsbruere i tre på Dovrebanen.

Utviklingsprosjektets hensikt har vært å komme fram til gode løsninger for planfrie kryssinger ved bruk av overgangsbruere i tre som alternativ til underganger og andre brutyper.

Med gode løsninger menes at løsningene skal være kostnadseffektive, ha kort bygge- og montasjetid, være vedlikeholdsvennlige med god holdbarhet, og inngå som en naturlig del av en helhetlig løsning tilpasset landskapet.

Deltagere i utviklingsprosjektet har vært:

- Nils Moen
Jernbaneverket JNPR/prosjektleder
- Alvin Wehn
Jernbaneverket JNPR
- Arne Vik
Jernbaneverket JNTK
- Johan A. Wikander
Jernbaneverket JNTK
- John S. Skjøstad
Jernbaneverket JNPL
- Svein O. Salthaug
Jernbaneverket JØPR
- Geir L. Eriksen
Jernbaneverket HK
- Trond A. Stensby
Statens vegvesen Hedmark
- Åge Holmestad
Norske Limtreprodusenters Forening
- Yngve O. Aartun
PLAN arkitekter AS
- Johan Bjørnøy
Dr.Ing. A. Aas-Jakobsen Tr.heim AS

Prinsippkisse viser snitt gjennom krengetog

Innhold

Forord	s.03
Innholdsfortegnelse	s.05
Kapittel 1.0 Sammendrag	s.07
Kapittel 2.0 Målsettinger	s.09
Kapittel 3.0 Bakgrunn, forutsetninger og rammebetingelser	s.11
3.1 Bakgrunn, historikk	s.11
3.2 Tre som byggemateriale	s.12
3.3 Typiske situasjoner	s.13
3.4 Funksjonskrav for veg, konstruksjoner, sikringsgjerdar og rekkverk	s.15
3.5 Dimensjoneringskriterier	s.19
3.6 Viktige parametre i gjennomføringsfasen	s.20
3.7 Framtidige situasjoner og anlegg	s.23
Kapittel 4.0 Beskrivelse av tiltak	s.25
4.1 Sikkerhet, beskyttelse av kontaktledningen	s.27
4.2 Sikkerhet, jording	s.30
4.3 Fundamentering, geoteknikk	s.31
4.4 Konstruksjoner, bæresystemer	s.33
4.5 Konstruksjoner, delelementer	s.37
4.6 Beskyttelse av treverk; levetid, drift og vedlikehold	s.39
4.7 Slitelag	s.42
4.8 Produksjon og montasje	s.43
4.9 Tilstøtende vegsystem; geometri	s.43
Kapittel 5.0 Konsekvenser	s.45
5.1 Arealbruk, landskap, jordbruk	s.45
5.2 Tilknyttet vegtrafikk	s.45
5.3 Avbøtende tiltak	s.47
Kapittel 6.0 Kostnadsoverslag, økonomi	s.48
6.1 Byggekostnad	s.48
6.2 Forventet kostnad for drift og vedlikehold	s.49
6.3 Miljø	s.49
Kapittel 7.0 Andre løsnings	s.51
Kapittel 8.0 Videre planlegging og gjennomføring	s.53
8.1 Beslutningsprosessen og etterfølgende faser	s.53
8.2 Forutsetninger og rammebetingelser for gjennomføringen	s.53
8.3 Offentlig behandling	s.53
Kapittel 9.0 Litteraturliste	s.55





Fig 1.1. Eksempel på plate/bjelkebru i 3 spenn.

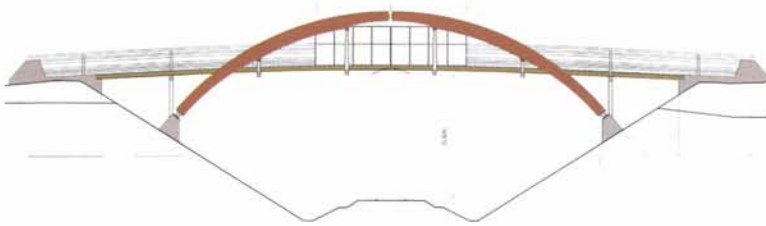


Fig 1.2. Eksempel på buebru

1.0 Sammendrag

I løpet av kort tid skal et stort antall planoverganger på Dovrebanen erstattes med kryssinger i form av bru eller undergang.

Summen av alle tiltakene på banestrekningen stiller store krav til teknisk og økonomisk rasjonelle løsninger som kan minimere trafikkforstyrrelsene som vil oppstå under bygging av kryssingspunktene.

Det er i det siste bygd flere trebruene rundt omkring i landet, og det er også parallelt med utviklingsarbeidet utarbeidet byggeplaner for overgangsbruene i tre spesielt tilpasset jernbanens krav og behov.

Trebruene kan minimere terrenginngrepene ved planfri kryssing, de har kort montasjetid, og de gir gode muligheter for å kunne stedstilpasses på en økonomisk og estetisk gunstig måte i forskjellige terrengsituasjoner.

Trebruene viser seg å være konkurransedyktige når det gjelder kostnader ved bygging, drift og vedlikehold sammenlignet med tradisjonelle konstruksjoner i betong eller stål.

Sett i et miljømessig perspektiv, vil vi få positive effekter ved bruk av tre i hovedkonstruksjonene sammenlignet med betong eller stål. Dette er spesielt tydelig dersom vi ser på konstruksjonene over livsløpet.

Rapporten viser hvordan trebruene, der forholdene ligger til rette for det, er en svært gunstig løsning sammenlignet med andre alternativer for planfri kryssing.

2.0 Målsettinger

Utviklingsprosjektet har som formål å komme fram til gode løsninger ved bruk av overgangsbruer i tre over jernbanen, der trebrua inngår som en naturlig del av en helhetlig løsning tilpasset landskapet.

Prosjektgruppen har formulert følgende målsetting for utredningen:

▪ *Det skal arbeides for å finne fram til standardløsninger for overgangsbruer for at dette skal kunne gi fordeler for prosjektering, bygging og drift av konstruksjonene.*

▪ *Utviklingsprosjektet skal presentere løsninger som er bedre alternativer enn underganger og bruer i betong / stål, og der den helhetlige løsningen av kryssingssituasjonen er kostnadseffektiv i forhold til andre løsninger.*

▪ *Bruarbeidene skal i minst mulig grad forstyrre togtrafikken.*

▪ *Byggetiden over sporet skal være kortest mulig, d.v.s. størst mulig grad av prefabrikasjon.*

▪ *Konstruksjonsbøyde over kontaktledningen skal være minst mulig.*

▪ *Brukonstruksjonen skal være så tilpasningsdyktig at den kan møte mange ulike terrengsituasjoner.*

▪ *Brukonstruksjonen med fyllinger må kunne bli en naturlig del av kulturlandskapet.*

▪ *Brukonstruksjonen må kunne gi mulighet for sideveis sporjusteringer i ettertid, spesielt i kurve.*

▪ *Brukonstruksjonen skal ha lavere drifts- og vedlikeholdskostnader enn andre løsninger.*

3.0 Bakgrunn, forutsetninger og rammebetingelser

3.1 Bakgrunn, historikk

I Norsk Jernbaneplan 1998-2007 har Stortinget sluttet seg til Jernbaneverket og NSB BA's strategier om å satse på krengetog på Sørlandsbanen, Bergensbanen og Dovrebanen for å møte den stadig sterkere konkurransen fra veg- og luftbasert persontrafikk.

Konkurranssevnen skal styrkes gjennom en merkbar reduksjon i reisetid, samtidig som hyppigheten på avgangene økes. For å oppnå dette må eksisterende bane oppgraderes gjennom fjerning av hastighetsbegrensende elementer.

Stortinget har vedtatt en ramme på 1,6 milliarder kroner til hastighetsøkende og kapasitetsøkende tiltak på de tre fjerntogstrekningene for perioden 1998-2001.

Målsettingen i denne perioden er å utnytte dagens spor med krengetog slik at man kan oppnå en hastighet på 130 km/t på flere delstrekninger. NSB har planer om å trafikkere Dovrebanen med krengetog fra januar år 2000.

Jernbaneverket Region Nord har ansvaret for de tiltak som skal realiseres mellom Fåberg (kommunegrensen mellom Lillehammer og Øyer) og Trondheim. Denne strekningen er på totalt 360 km, og har sin beliggenhet i følgende 11 kommuner: Øyer, Ringeby, Sør-Fron, Nord-Fron, Sel, Dovre, Oppdal, Renneby, Midtre Gauldal, Melhus og Trondheim.

Det er i overkant av 500 planoverganger på strekningen, derav er 36 sikret med bom- og lysanlegg. I tillegg har man ca. 200 planfrie kryssinger i form av ca. 150 underganger og ca. 50 overgangsbruer.

Strekningen fra Oslo S til Eidsvoll er klargjort for krengetog. Jernbaneverket Region Øst har ansvaret for den gjenstående strekningen på Dovrebanen fra Eidsvoll til Fåberg. Området omfatter kommunene Eidsvoll, Stange, Hamar, Ringsaker og Lillehammer. På denne strekningen er det 174 planoverganger hvorav 160 kun er sikret med grind.

Alle planoverganger sikret med grind skal saneres. For kommunene Ringsaker og Lillehammer skilles det mellom kortsiktige og langsiktige løsninger. Hovedplan for kommunene Eidsvoll og Stange tilsier at alle

planoverganger uten signalanlegg skal saneres.

Arbeidet med planovergangssanering vil skje over flere år, og arbeid som krever spordisponering vil gi vedvarende forstyrrelser på banestrekningen. Dette vil også lett kunne forplante seg til andre banestrekninger grunnet drift og disponering av togmateriellet. En tidsbesparelse for gjennomføring av hvert enkelt tiltak vil i sum gi store reduksjoner i driftsforstyrrelsene for hele jernbanenettet.

Generelt er det i dag en sterk satsing på bruk av trebruer, og resultatene har ikke latt vente på seg. Det er i den senere tid bygget flere nye trebruer. Først og fremst gang-/sykkelvegbruer, men også kjørebuer beregnet etter «Lastforskrifter for bruer og ferjekai i det offentlige vegnett». Gård- og skogsveier har vist seg å være et interessant marked for trebruer.

Utviklingsprosjektet «Overgangsbruer i tre på Dovrebanen» tar sikte på å utvikle trebruer som er tilpasset jernbanens typiske situasjoner og krav.

Satsingen på bruk av trebruer er et ledd i arbeidet med å finne gode løsninger for planfrie kryssinger, som kan gi tidsbesparelser og kostnadsreduksjoner.

Prosjektet er også en videreføring av intensjoner fra arbeidet med «Formingsveileder Dovrebanen», der det pekes på bruløsninger med liten konstruksjonshøyde over spor.

Med tanke på de omfattende tiltakene som må til for å sanere planovergangene, har det vært et viktig moment å søke å finne fram til løsninger som kan minimere driftsstans på sporene i anleggsperioden.

Føreløpige planer tilsier at i overkant av 450 planoverganger og kryssingspunkt på strekningen Eidsvoll - Trondheim kan bli berørt. Tiltakene vil blant annet bestå i:

- *Etablering av planfrie kryssinger (undergang, overgangsbru).*
- *Etablering av samlevei til felles kryssinger.*
- *Innløsning av planovergangsrettigheter.*

3.2 Tre som byggemateriale.

Arkitektonisk finnes det store muligheter med trevirke. Det er i seg selv uttrykksfullt, og det er lett å bearbeide til de formene en ønsker. Flere trebruere vil generelt bidra til mer variasjon ved at mangfoldet av brutyper øker. Trevirke er av de tradisjonelle bygningsmaterialene i Norge. Som råstoff er trevirke ansett som meget miljøvennlig.

Det er sjelden det oppstår brudd i en konstruksjon som følge av svikt i trematerialet. Dersom det oppstår brudd er dette som regel på grunn av dårlige detaljer og/eller utførelse. Trebruas bæreevne er mer avhengig av dimensjonering og detaljløsninger enn materialfastheten i trevirket.

Trevirke er et elastisk materiale, og brudd kommer ikke brått. Lenge før brudd inntreffer, vil store deformasjoner alarmere brukerne. Trevirke kan ta opp støtkrefter på en helt unik måte i forhold til andre materialer. Desto kortere belastningstid, desto sterkere er trevirket. For en brukonstruksjon, der flere av kraftvirkningene er av kort varighet, er dette viktige egenskaper.

Ei bru skiller seg fra en vanlig konstruksjon ved at de dimensjonerende lastene ikke er statiske. De bevegelige trafikklastene på en kjørebri medfører at deler av konstruksjonen tidvis utsettes for strekk- og trykkpåkjenninger. Pulserende belastning, og spesielt dersom det veksler mellom strekk- og trykkpåkjenning, kan medføre utmatting av materialene.

Erfaringsmessig er rene utmattingsbrudd i trevirket ikke ansett som noe reelt problem.

I knutepunkt med bolter/dybler og beslag må det tas hensyn til effektene fra utmatting ved dimensjonering.

Vegmyndighetenes krav til levetid er satt til 100 år. I praksis blir utmattingspåkjennte konstruksjoner dimensjonert på grunnlag av 10^7 lastvekslinger, og dette kan også gjøres for trekonstruksjoner.

På grunn av treets lave varmeledningsevne reagerer treet langsomt på temperaturendringer i omgivelsene. Man kan vanligvis se bort fra formendringer i trekonstruksjoner p.g.a. temperaturvekslinger, til og med ved så ekstrem oppvarming som ved brann. Det henger sammen med at krympingen ved forhøyet temperatur som følge av opptøking virker i motsatt retning. I h.h.t. den tyske normen DIN 1052, som sammen med DIN 1074 gjelder for trebruere, kan man se bort fra innflytelsen av temperaturendringer i trekonstruksjoner. I h.h.t. Ritter, Timber Bridges, kan man i de fleste trebruapplikasjoner se bort fra treets temperaturutvidelse.

Den totale fuktbevegelsen for kreosotimpregnert trevirke i brukonstruksjoner forutsettes å være 0,3 mm/m parallelt med fiberretningen og 10 mm/m vinkelrett på fiberretning.

3.3 Typiske situasjoner

Vanlige sporplasseringer i terrenget kan beskrives som følger:

Sporet ligger i skjæring, med høyt terreng på begge sider. Se fig. 3.3.1.

Sporet ligger i terrenget som stiger opp fra sporet på den ene siden og er flatt eller svakt hellende fra sporet på den andre siden (dalside). Se fig. 3.3.2.

Sporet ligger i flatt terreng. Se fig. 3.3.3.

Disse situasjonene er godt egnet for brukryssing og mindre egnet for underganger.

I områder med høy grunnvannstand og/ eller dårlige grunnforhold er kryssing av spor i form av underganger mindre egnet. Høy grunnvannstand medfører behov for vanntette konstruksjoner og pumpeanlegg for fjerning av overvann. Dette krever et mer omfattende vedlikeholds- og driftsapparat sammenlignet med kryssing over sporet i form av bru. Generelt vil også underganger i anleggsperioden medføre større driftsavbrudd på banestrekningen.

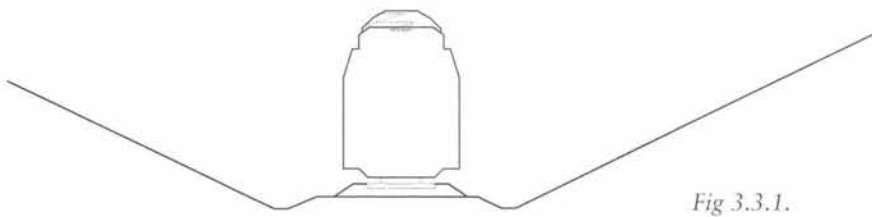


Fig 3.3.1.

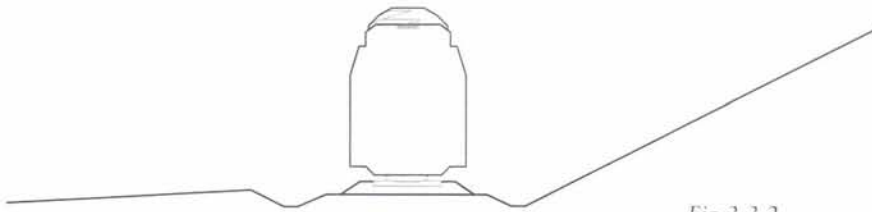


Fig 3.3.2.

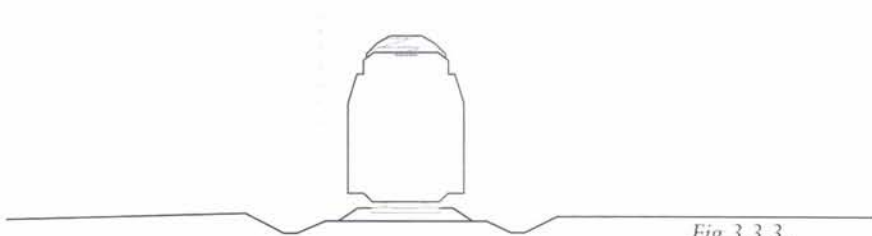


Fig 3.3.3.

3.4 Funksjonskrav for veg, konstruksjoner, sikringsgjerdar og rekkverk

Veg

Utviklingsprosjektet behandlar 2 hovudtyper av kryssingar:

- Kommunal/fylkeskommunal veg.
- Landbrukskryssing.

For kommunal/ fylkeskommunal veg forutsettes Statens vegvesens regelverk for veger og bruer å gjelde fullt ut.

For landbrukskryssing skal generelt regelverket «Normaler for landbruksveger med byggebeskrivelse. Landbruksdepartementet 1997» følges.

Landbruksveger for bil og traktor er inndelt i 8 vegklasser. Valg av vegklasse skal bygge på ein helhetsvurdering av økonomiske, miljømessige og driftstekniske forhold i vegens dekningsområde. I rapporten har vi sett spesielt på vegklasse 2 og vegklasse 3;

Vegklasse 2 (hovudveg/grendeveg) er helårs bilveg med høg standard som skal kunne trafikkere med lass heile året. Denne vegklassen skal brukast på grendeveger med blandet trafikkgrunnlag og på skogsbilveger, gardsveger og seterveger med stor trafikkbelastning av tunge kjøretøy. Vi har i rapporten benyttet betegnelsen «samleveg» som ein variant under vegklasse 2.

For vegklasse 2 legges følgjande forutsetningar til grunn, i tillegg til eller som erstatning for, kravene i «Normaler for landbruksveier med byggebeskrivelse. Landbruksdepartementet 1997»:

- Bru og veg til bru skal ha maksimal stigning 10% i innerkurve, men normalt tilstrebes stigning 8% som maksimalt.
- Vertikalkurveradius bør vere fri, men generelt er det et mål at radius ikke er mindre enn 120 m. Mindre radius vurderes i spesielle tilfeller. Vertikalkurveradius 150 m gir mulighet for å bruke standard trelast i brudekke.
- Horisontalkurveradius skal vere minst 20 m målt i senterlinjen.
- Føringsbredde for bru skal vere 4 m.

- Rekkverk skal vere av type ikke ettergivende, og gjeres kjørestert for 60 km/t.
- Breddeutvidelse på bru er ikke aktuelt, dersom det kan påvises med slepekurver at vegen kan trafikkere som forutsatt.
- For landbrukskryssing kan det vere aktuelt å lempe på de generelle krav som gjelder for bruer i riksvegnettet, bl.a. m.h.p. møtesikt og stigningar.

Vegklasse 3 (helårs landbruksveg) er standarden for skogsbilveger med moderat til lavt trafikkgrunnlag, og for enkle gards- og seterveger. Vegen skal kunne trafikkere med lass heile året, unntatt i teleløsningsperioden og i perioder med spesielt mye nedbør.

For vegklasse 3 legges følgjande forutsetningar til grunn, i tillegg til eller som erstatning for, kravene i «Normaler for landbruksveger med byggebeskrivelse. Landbruksdepartementet 1997»:

- Bru og veg til bru skal ha maksimal stigning 12% i innerkurve, men normalt tilstrebes stigning 10% som maksimalt.
- Vertikalkurveradius bør vere fri, men skisseunderlag viser at 30 m kan aksepteres. Vertikalkurveradius 150 m gir mulighet for å bruke standard trelast i brudekke.
- Horisontalkurveradius skal vere minst 10 m målt i senterlinjen. Fremkommelighet for kjøretøy type L (lastebil) gir krav om minst 13 m ytre horisontalkurveradius for veg.
- Føringsbredde for bru skal vere 4 m, men hjulavvisere kan plasseres i bredde 3,5 m.
- Rekkverk skal vere av type ikke ettergivende, og gjeres kjørestert for 60 km/t.
- Breddeutvidelse på bru er ikke aktuelt, dersom det kan påvises med slepekurver at vegen kan trafikkere som forutsatt.
- For landbrukskryssing og samleveg kan det vere aktuelt å lempe på de generelle krav som gjelder for bruer i riksvegnettet, bl.a. m.h.p. møtesikt og stigningar.

Generelt er det mye å vinne på å øke vertikalkurveradius og stigningar. Stigning på bru må

Sikringsgjerd og rekkverk

Funksjonkrav for sikringsgjerd er inntatt i forslag til nytt regelverk for beskyttelsesrekkverk på bruere over elektrisk jernbane.

Dette regelverket inneholder følgende bestemmelser (se fig. 3.4.3. og 3.4.4.):

- Total høyde målt fra tilgjengelig sted, for eksempel overkant kantdrager, skal være min. 2000 mm.

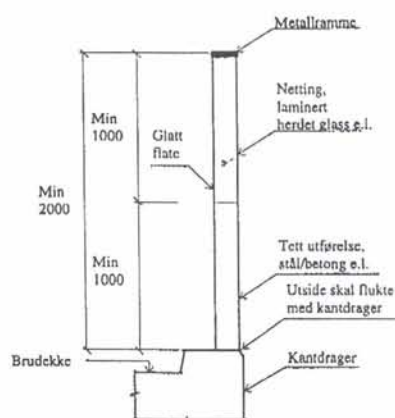


Fig 3.4.3.
Generelle krav til
beskyttelsesrekkverk
Snitt

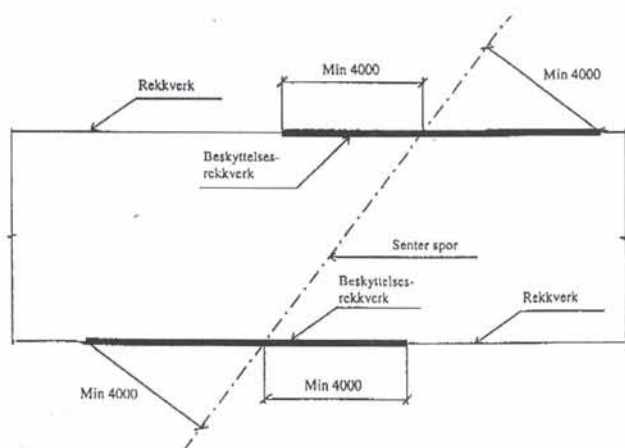


Fig 3.4.4.
Krav til utstrekning av
beskyttelsesrekkverket. Plan

- Nedre 1000 mm skal alltid være i tett utførelse, utført i betong, stål eller lignende.
- Øvre 1000 mm kan tillates utført med åpninger (netting eller lignende), med maksimale åpninger på 150 mm² og maksimal lengde på 20 mm. Alternativt kan de øvre 1000 mm utføres i herdet og laminert glass.
- Spalten mellom beskyttelsesrekkverkets nedre del og brudekket skal ikke være større enn 1 mm. (Dette kravet er det lempet på gjennom prosjektet forutsatt at det benyttes tett skjerm over kontaktledningen).
- Det skal ikke være mulig å klatre på innsiden av beskyttelsesrekkverket. Dvs. at innsiden må være helt glatt.
- Det skal ikke være mulig å klatre på utsiden av beskyttelsesrekkverket. Dvs. at utsiden må være helt glatt. Utsiden må videre flukte med kantdragerens utside (skråavfasing).
- Beskyttelsesrekkverk av ledende materiale skal ha jordforbindelse til jernbaneskinne. Dersom rekkverket er utført av ikke ledende materiale skal dette rammes inn/omgis av metall som er jodet til jernbaneskinne. Denne metallrammen skal være ubehandlet eller varmforsinket. Rusttrege stål tillates ikke benyttet. Dersom metallkonstruksjonen består av flere deler, skal disse forbindes med sveiste eller skrudde forbindelser. Jordforbindelsen må spesifiseres og normalt utføres av Jernbaneverket.
- Beskyttelsesrekkverket skal ha en utstrekning langs bru slik at avstanden mellom beskyttelses avslutning og spormidte er min. 4 m.
- Dersom brudekket er min. 10 meter over øverste ledning tilhørende jernbaneanlegget, kan beskyttelse sløyfes. Dette må imidlertid avtales særskilt med Jernbaneverket.

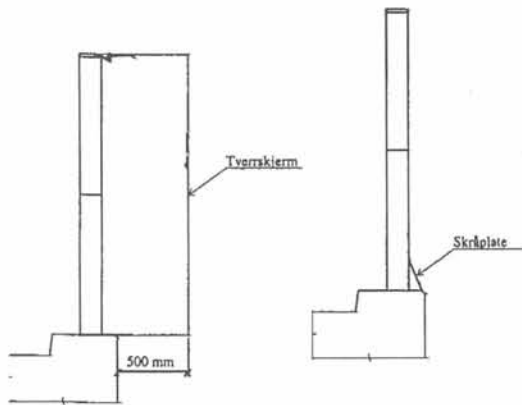


Fig 3.4.5.
Tilleggskrav til beskyttelsesrekkverk der det er mulig å klatre på beskyttelsens utside.

Tilleggskrav til beskyttelsesrekkverk for bruene over elektrisk jernbane dersom beskyttelsens utside ikke flukter med kantdragere utside slik at det er mulig å klatre på utsiden av beskyttelsesrekkverket (se Fig 3.4.5):

- I de tilfeller der det er mulig å få fotfeste på utsiden av beskyttelsesrekkverket, må det monteres tverrskjerm på endene som hindrer adgang. Denne tverrskjermen kreves ikke innrammet i metall. Tillatte åpninger i tverrskjermen er max 2500 mm². Tverrskjermen skal stikke min. 500 mm ut fra kantdragere utside.
- Som et alternativ til tverrskjerm, kan kantdragere utføres skrå med en helning i form av en skråstilt plate med min. 60° helning i en lengde av min. 1500 mm inn fra beskyttelsesrekkverkets ender, slik at fotfeste umuliggjøres.

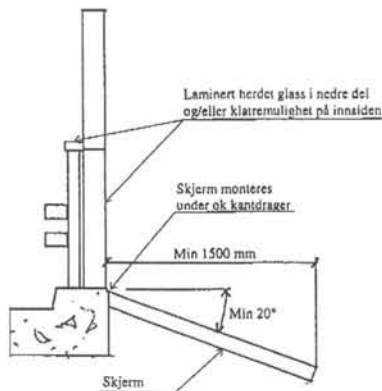


Fig 3.4.6.
Tilleggskrav til beskyttelsesrekkverk der det er mulig å klatre på innsiden og/ eller det benyttes herdet laminert glass i nedre del av beskyttelsen.

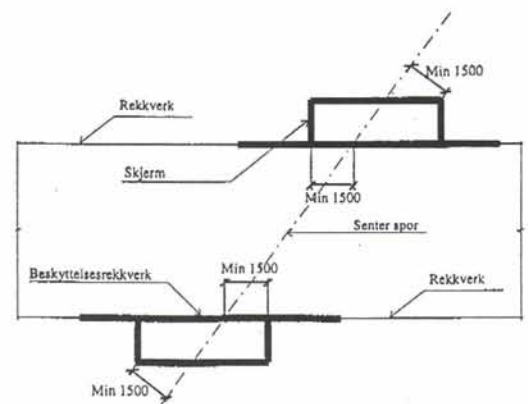


Fig 3.4.7.
Krav til utstrekning av skjerm over kontaktledningen.

Tilleggskrav til beskyttelsesrekkverk for bruer over elektrisk jernbane dersom det er mulighet til å klatre på innsiden av beskyttelsesrekkverket. (se fig 3.4.6. og 3.4.7.):

- Dersom nedre 1 meter av beskyttelsen utføres i herdet laminert glass, skal det benyttes en skjerm fra brua og ut over kontaktledningen.
- Dersom det er klatremuligheter på beskyttelsens innside i form av føringsskinne, håndlist eller lignende, skal det benyttes en skjerm fra brua og ut over kontaktledningen.
- Skjermen skal bestå av ubehandlet metall og ha jordforbindelse til skinne.
- Største tillatte åpninger i skjermen er 900 mm². Største tillatte lengde på åpning er 30 mm.
- Skjermen skal monteres med overkant under overkant kantdrager.
- Skjermen skal monteres med en vinkel nedover på min. 20°.
- Skjermen skal ha en utstrekning langs brua slik at avstanden mellom skjermens avslutning og spormidte er min. 1,5 meter.
- I visse tilfeller kan det gå flere ledninger over spor. Avstanden skal da måles til nærmeste strømførende ledning. Dette må avklares med Jernbaneverket i hvert enkelt tilfelle.

Generelt for sikringsgjerdene gjelder at de plasseres og utformes slik at de er minst mulig utsatt for skader fra påkjørsler eller snøbrøyting.

3.5 Dimensjoneringskriterier

Dimensjoneringskriterier kan sammenfattes som følger:

Brukonstruksjon

«Normaler for landbruksveier med byggebeskrivelse. Landbruksdepartementet 1997» krever at bruer skal dimensjoneres for 13 t aksellast. Dette betyr at Statens vegvesens håndbok 184, «Lastforskrifter for bruer og kaier i det offentlige vegnett», legges til grunn for dimensjoneringen. Det kan sees bort fra kravet til maksimal nedbøyning dersom dette virker dimensjonerende.

Rekkverk.

Generelt benyttes belastningsstandard for ikke ettergivende rekkverk type KY, gatebrurekkverk og 60-rekkverk, hentet fra Statens vegvesens håndbok 100 «Bruhåndbok-6. Brurekkverk».

I h.h.t. kravene i nevnte håndbok, må rekkverket være av type ikke ettergivende. Dette er spesielt viktig for ei buebru, for å unngå skader på brukonstruksjonen. For plate/ buebru i 3 spenn kan det være aktuelt å redusere dimensjonerende hastighet. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Sikringsgjerdene

Belastninger bestemmes i overensstemmelse med NS 3479 »Prosjektering av bygningskonstruksjoner. Dimensjonerende laster«, og [JD 525], kap. 5.

I tillegg må det tas spesielle forholdsregler hva angår mekaniske påkjenninger fra snøbrøyting og hærverk. Dette er ikke nedfelt i noe regelverk, men opp til konstruktøren å vurdere. Motstandsdyktighet mot lokale påkjenninger som snøbrøyting og hærverk vil som regel være avhengig av god detaljering, materialtykkelse og andre konstruktive forhold.

3.6 Viktige parametre i gjennomføringsfasen

Ved bygging av planfrie kryssinger er det vesentlig at man velger løsninger som forstyrrer togtrafikken minst mulig. Spordisponering er i utgangspunktet ikke ønskelig, men kan være aktuelt over korte tidsrom. Ved bygging av underganger er linjebrudd uunngåelig. Ved bygging av bru som har fundamenter tett inntil sporet, kan spordisponering være nødvendig. Ved bygging av buebru vil man kunne unngå linjebrudd.

Dersom man over en banestrekning skal utføre en rekke tiltak, er det meget viktig at hvert av tiltakene gir minst mulig forstyrrelse i togavviklingen.

En tidsbesparelse for hvert enkelt tiltak vil i sum gi store reduksjoner i driftsforstyrrelsene, når det skal utføres mange tiltak over en banestrekning.

Sikkerhet

Hva angår sikkerhetsavstander for arbeid nær spor, vises til »Sikkerhetsrutiner for entreprenører m.m. for arbeid innenfor anleggsområder, og i og ved trafikkert spor».

For arbeid nær spor i drift gjelder følgende soneinndeling (se fig. 3.6.1.):

Sone 1 er område som ligger så langt fra trafikkert spor at anleggsmaskin eller del på anleggsmaskin ikke under noen omstendighet noen gang kommer nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m.

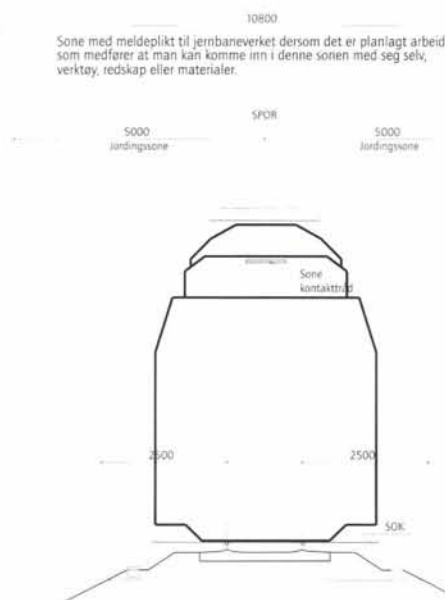
Sone 2 er område som ligger slik at maskin-

er og utstyr eller deler av dette kan komme nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m. Aktiviteten foregår primært lengre fra nærmeste skinne enn 2,5 m. I denne sonen må sikkerhetsmann være tilstede på anleggsstedet. Sikkerhetsmann vurderer behovet for, og utfører alle tiltak som er nødvendige for å gjennomføre arbeidet. Redusert toghastighet er antatt nødvendig, evt. linjebrudd (stans i togtrafikken). Anleggsgjerde kan være et kostnadseffektivt sikkerhetstiltak.

Sone 3 er område som ligger nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m. Aktiviteten pågår primært nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m. I denne sonen må sikkerhetsmann være tilstede på anleggsstedet. Sikkerhetsmann vurderer, og varsler evt. linjebrudd.

Redusert hastighet fører til forsinkelser i toggangen, og det er derfor ønskelig i så stor grad som mulig å plassere maskiner og lignende slik at disse ikke kommer innenfor området 2,5 m fra nærmeste skinne. I de tilfeller der dette ikke er mulig, må utstrekning og varighet for redusert hastighet begrenses mest mulig, og dette bør ikke skje på mer enn ett anleggssted om gangen.

Spordisponering og strømbrydd kan ikke alltid påregnes på dagtid, bortsett fra i meget korte perioder mellom togene.



Soneinndeling for arbeid nær spor:

Sone 1 er område som ligger så langt fra spor at anleggsmaskin eller del på anleggsmaskin ikke under noen omstendighet noen gang kommer nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m.

Sone 2 er område som ligger slik at maskiner og utstyr eller deler av dette kan komme nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m. Aktiviteten foregår primært lengre fra nærmeste skinne enn 2,5 m. Sikkerhetsmann må være tilstede, redusert toghastighet.

Sone 3 er område som ligger nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m. Aktiviteten pågår primært nærmere nærmeste skinne enn 2,5 m. Sikkerhetsmann må være tilstede, linjebrudd aktuelt.

Bruk av flyttbare eller faste byggekraner nærmere enn 30 m fra kontaktledningsanlegg skal godkjennes av jernbaneverket. Dersom kranen eller lasten kan komme nærmere spenningsførende deler enn 6 m må spesielle sikringstiltak iverksettes før bruk kan godkjennes.

Fig 3.6.1.

Bygging av fundamenter

På bakgrunn av kap. 3.6, bør man unngå fundamenter tett inntil sporet.

For ei buebru med buespennvidde ca. 20 meter, vil fundamenteringsarbeidene ikke foregå nærmere senter spor enn ca. 8-9 meter.

Ei ny plate/bjelkebru i 3 spenn vil ha et midtspenn på 10 meter. Her vil fundamenteringsarbeidene foregå i avstand ca. 4-5 meter fra sporsenter.

Ei erstatningsbru i 3 spenn vil ha et midtspenn på ca. 7 meter. Her vil fundamenteringsarbeidene foregå i avstand ca. 3 meter fra sporsenter, altså under 2,5 meter fra nærmeste skinne.

Normal anleggsdrift ved bygging av landkar og bufundamenter for buebru, vil normalt ikke forstyrre togtrafikken. Buebru er den brutypen som best kombinerer kravene til lav byggehøyde over spor, og størst mulig fundamentavstand fra spor.

Ei ny plate/bjelkebru vil ha fundamenter nærmere sporet, og det er derfor viktig at fundamenteringsarbeidene kan ferdigstilles over så kort tidsrom som mulig.

Prefabrikasjon/transport/montasje

Limtrebruene skal ha så høy prefabrikasjonsgrad at det ikke skal foregå noen form for bearbeiding av limtreet på byggeplass. Dette gir kort montasjetid, noe som er av stor betydning ved arbeid langs jernbanen.

At alt treverk er ferdig bearbeidet (tilskjært og boret) før impregneringen med kreosot, er av stor betydning for holdbarheten av konstruksjonen. Spesielt gjelder dette for endevend fordi det er ikke bare fuktighet som trenger lett inn langs fibrene. Det samme gjør selvfølgelig også kreosoten, og det betyr at treverket nærmest enden er ekstra godt beskyttet.

Avhengig av hvor komplisert konstruksjonen er, skal den legges ut i sin helhet i fabrikk, slik at det er sikkert at alt passer sammen.

For ei bru som skal bygges over en jernbane hvor det er store begrensninger i når det er tillatt å arbeide, vil en høy prefabrikasjonsgrad være klart mer lønnsom enn der arbeidet kan foregå uhindret av annen ferdsel.

Transporten vil som oftest foregå med bil fordi dette gir størst fleksibilitet med hensyn til avviklingen av togtrafikken. Det er naturligvis også mulig å benytte jernbane.

Ved spesielt vanskelig adkomst, kan elementene transporteres med terrenggående

kjøretøy eller med helikopter slik det gjøres ved montasje av kraftledningsmaster.

I og med at vekten av en brukonstruksjon i tre er lav, vil transporten være enklere enn f.eks. for prefabrikkert betong.

På grunn av kreosotimpregneringen, vil all sammenmontering normalt skje på byggeplassen. Montasjen foregår med mobilkraner. Hvor store enheter det lønner seg å montere sammen før utheising er avhengig av:

- Hvilke problemer strømbrudd skaper for togtrafikken.
- Konstruksjonstypen.
- Hvor enkelt det er å komme til med store kraner.
- Byggetid.

I prinsippet vil det ikke være utenkelig å heise på plass ei komplett bru i ett løft. Normal byggetid for en komplett overbygning vil være ca. to uker hvis den monteres på tradisjonelt vis. Der hvor byggetida er av stor betydning, vil en ved å heise på plass store enheter, kunne montere hele brua i løpet av noen timers strømbu.

3.7 Framtidige situasjoner og anlegg

Kryssing med bru over jernbanen må naturligvis ivareta alle krav som stilles til kryssingen, og som er vist på «styrende tverrsnitt». Dette er i hovedsak høyde- og breddekrav til konstruksjonen og minste tverrsnitt E.

I tillegg skal det tas hensyn til at det skal være mulig å føre fram linjegrøft på begge sider av sporet, uten å undergrave fundamentene. Linjegrøft er ofte ikke tilstede i dag, men er en framtidig situasjon som må tas hensyn til.

Alternativt til åpen linjegrøft tillater regelverket lukket linjegrøft med trekkør, men bare i korte lengder som f.eks. ved passering av fundamentene.

Et annet framtidig forhold, som dog er vanskelig å konkretisere, er muligheter for sporbakking og sideforskyvning av spor.

Spesielt buebruene har gode muligheter til å oppta slike justeringer.

Ei buebru har normalt høyde og spennvidde til å krysse over dobbeltspor. Krav til minimumsbredde fra landkar til landkar ved dobbeltspor vil være 12,5 m. Å planlegge bru for kryssing over dobbeltspor er altså ikke noe problem. Dersom man ved planlegging av ny buebru kjenner til at det på brustedet vil bli anlagt dobbeltspor i fremtiden, bør brua sentreres om senterlinja for det framtidige dobbeltsporet.

Dersom det planlegges dobbeltspor eller kryssingsspor på en banestrekning hvor det allerede er bygd buebru, kan faktisk brua bli stående dersom den passer med sporets nye beliggenhet. Det man da må passe på er å sikre fundamentene ved bygging av sporet.

En annen løsning er å demontere og flytte brua, slik at den passer til sporets nye beliggenhet.

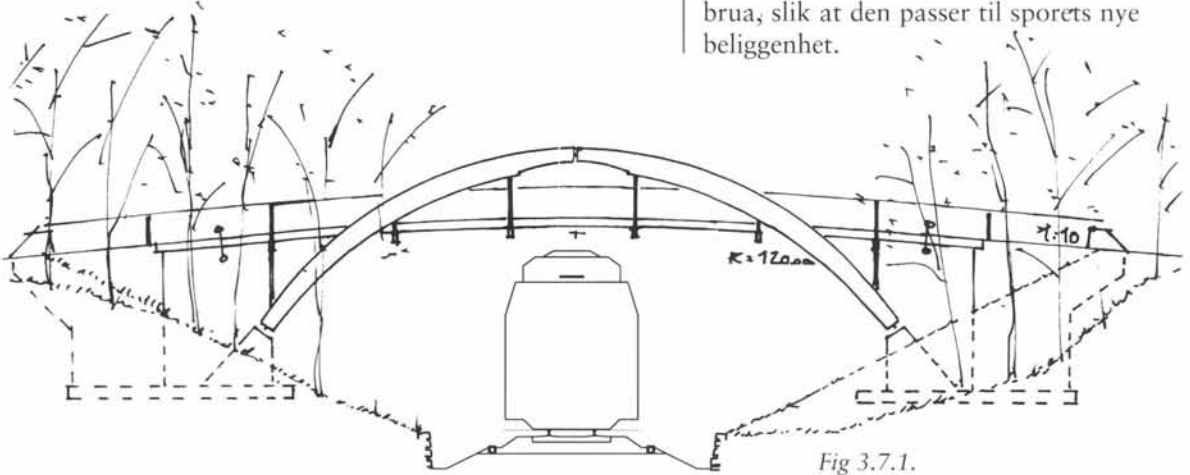


Fig 3.7.1.

Viser skisse av buebru i tre som krysser over enkeltspor med linjegrøft.

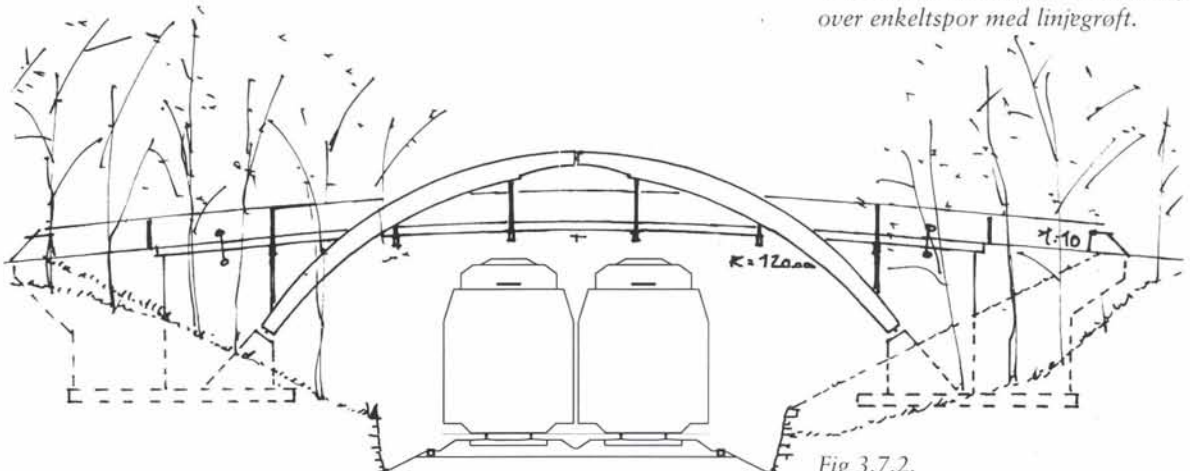


Fig 3.7.2.

Viser skisse av buebru i tre med samme spennvidde som over som krysser over dobbeltspor med linjegrøft.

4.0 Beskrivelse av tiltak

Dette kapitlet presenterer løsninger basert på foregående premisser og rammebetingelser. Det er vurdert forskjellige konstruksjonsprinsipper og løsninger for bæresystem, sikringstiltak, detaljer, terrengtilpasninger m.v. basert på en grundig gjennomgang av berørte standarder og forskrifter.

Buebru og plate/ bjelkebru viste seg tidlig å ha best forutsetninger for å oppnå målsettingen med arbeidet, og det er disse konstruksjonene som ligger til grunn for løsningene vist i kapitlet.

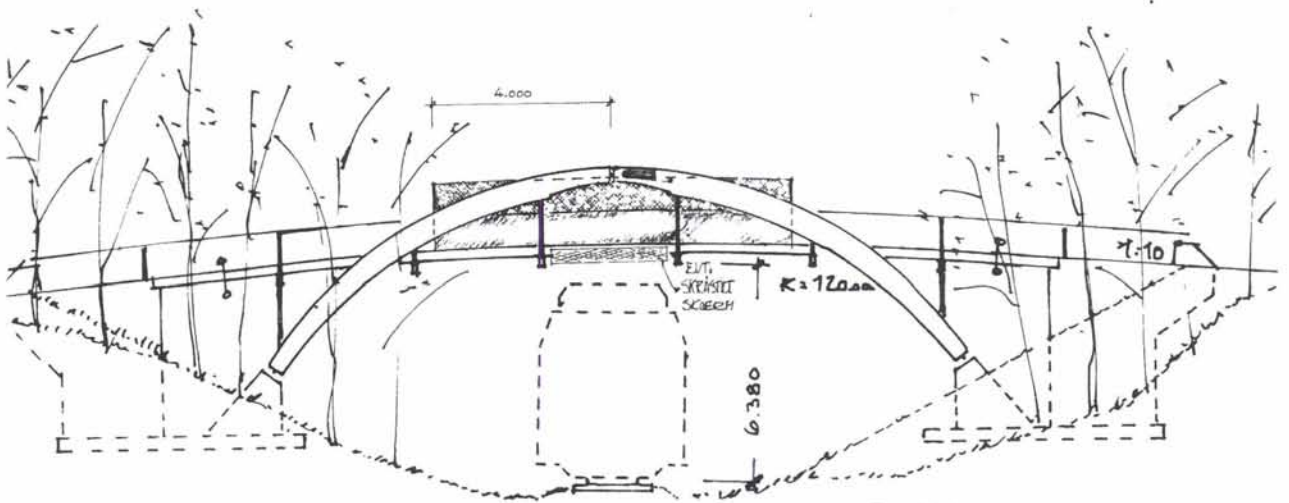


Fig 4.1.1.
Viser skisse av buebru i tre med skjematisk løsning av sikringsgjerde iht. norsk modell for sikring. Oppriss.

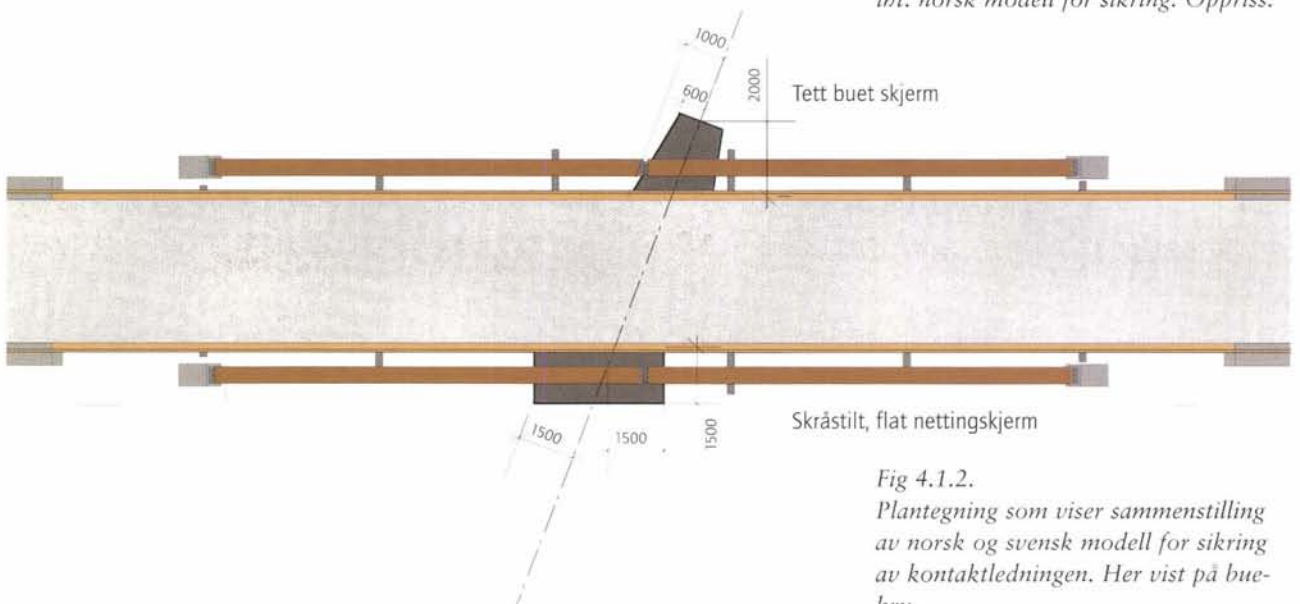


Fig 4.1.2.
Plantegning som viser sammenstilling av norsk og svensk modell for sikring av kontaktledningen. Her vist på buebru.

4.1 Sikkerhet, beskyttelse av kontaktledningen

Alle Jernbaneverkets elektrisk drevne banestrekninger er utstyrt med kontaktledning for høyspenning (15 kV) vekselstrøm. Prinsippet for elektrisk drift er at strøm ledes fra matestasjonen via kontaktledningen gjennom aggregatets strømtakere og motor og videre gjennom hjulene ned i skinnegangen. Gjennom skinnegangen og evt. returledning ledes strømmen (returstrømmen) tilbake til matestasjonen.

Skinnegangen er altså del av en strømkrets. Av den grunn må det settes en del restriksjoner rundt disse anleggene. Kontaktledningen er plassert over sporet, og er festet til utliggere. Utliggere er montert på master, åk, bygninger, overgangsbruere og lignende.

Kontakttrådens høyde over skinneoverkant varierer fra ca. 4,8 til 5,6 m. I tillegg kan spenningsførende deler befinne seg lavere enn selve kontaktledningen. Alle høyspenningsledninger, utliggere, og andre deler som kontaktledningen er festet til, er livsfarlig å berøre.

Skinneene er strømførende, og godkjent forbikopling må være foretatt før del/deler av skinnegang fjernes. Skinnegangen må ikke brytes av andre enn Jernbaneverkets personale.

Eksisterende regelverk for beskyttelse av KL har løsninger for skjerming av kontaktledningen som er vanskelig å tilpasse buebru på en estetisk god måte.

Det pågår nå et arbeid for å utforme et nytt regelverk for sikring av kontaktledningen.

Nye forslag bør basere seg på at rekkverk og beskyttelse av KL ikke trenger å være integrert i hverandre. Svenske bestemmelser for beskyttelse av KL har vært et utgangspunkt.

Følgende sikringsløsninger er skissert og vurdert:

Tilpasning av standard løsning

ved bruk av herdet glass i stedet for tett metallplate. Dette er utført på Gardermobanen og ei bru ved Harpefoss. Standard løsning er vist skissemessig på buebru i oppriss på motstående side. Se fig. 4.1.1.

Modifisert modell for sikring

Her skiller det mellom rekkverks- og sikringsfunksjonen. Dette har bl.a. vedlikeholdsmessige fordeler ved at sikringen er mindre utsatt for skader. Svensk modell er en buet skjerm, som er smalere enn den norske standardløsningen. En slik skjermtype gir større fleksibilitet ved skjev kryssing av bru over spor, og løsningen ivaretar estetikken på en bedre måte. Se fig. 4.1.2.

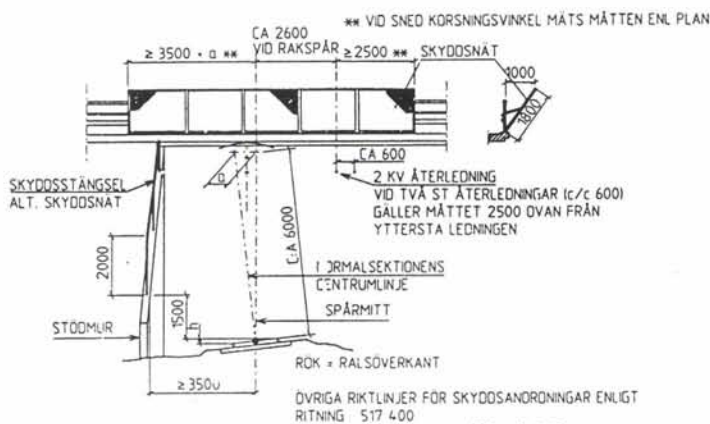


Fig 4.1.3.
Svensk modell for sikring

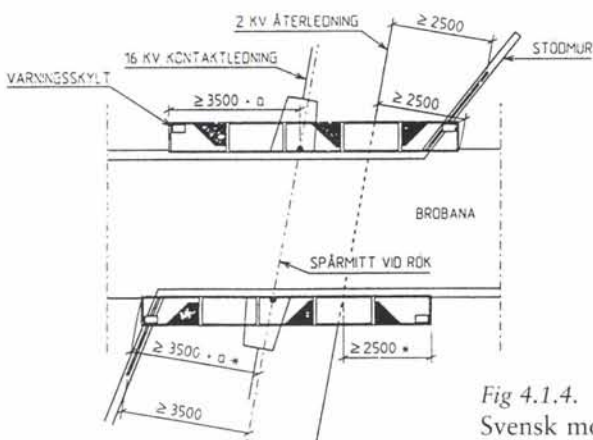


Fig 4.1.4.
Svensk modell for sikring

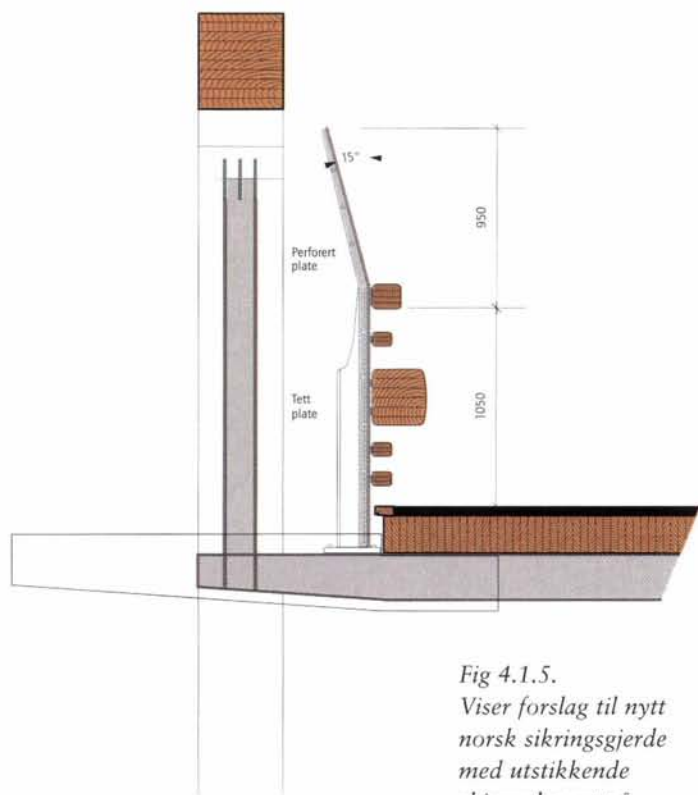


Fig 4.1.5.
Viser forslag til nytt norsk sikringsgjerde med utstikkende skjerm basert på svensk modell.

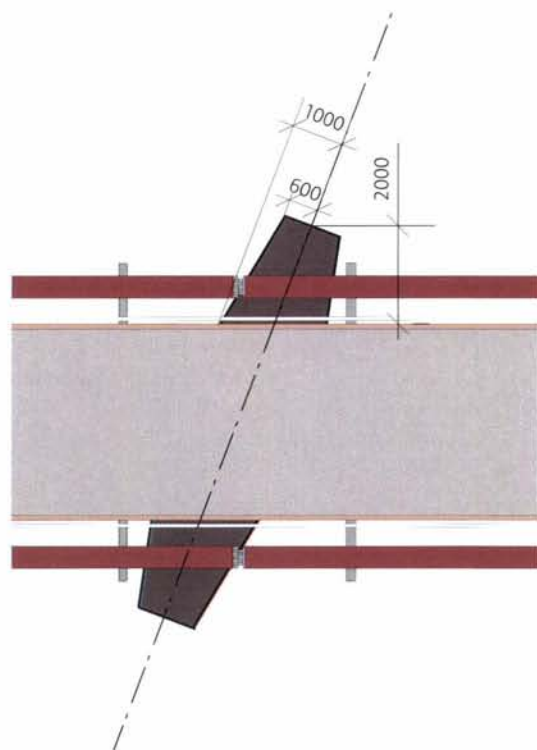


Fig 4.1.6.
Plantegning viser forslag til ny norsk modell for sikringsskjerm over KL.

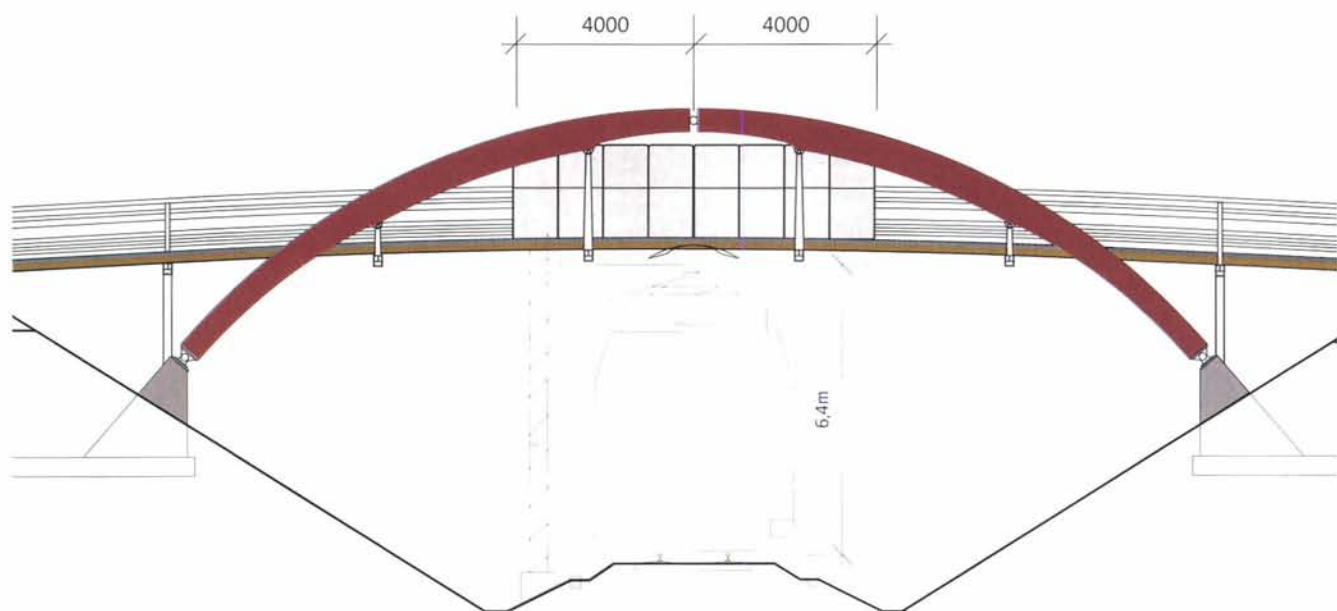


Fig 4.1.7.
Eksempel på buebru med inntegnet nytt sikringsgjerde.

Gruppen har i prosessen arbeidet grundig med sikringsproblematikken. Ut fra både estetiske og praktiske hensyn har det vært et klart ønske å skille rekkverksfunksjon og sikringsfunksjon, dette har imidlertid vist seg vanskelig å få til i praksis. Det er utarbeidet forslag til sikringsgjerde basert på en kombinasjon av norske og svenske forskrifter. Se fig. 4.1.5.-7. Gruppens forslag til sikring av kontaktledningen er basert på følgende:

Rammekravene for sikring der det ikke er rekkverk på innsiden som det kan klatres på, og det er sikret mot klatring på utsiden er:

- Beskyttelsesrekkverket skal ha høyde min. 2 m, og gå min. 4 m til hver side for senterlinje spor. Nederste 1 m skal utføres helt tett. Øvre del kan være av forskjellige materialer, men skal alltid ha en metallomramming. Den nederste tette delen skal være motstandsdyktig mot mekanisk påkjenning.

Rammekrav for sikring der det er rekkverk på innsiden som det kan klatres på, eller nedre tette plate er av laminert, herdet glass:

- I tillegg til de generelle kravene til beskyttelsesrekkverket som gitt i punktet ovenfor, skal det også monteres en skjerm over kontaktledningen. Denne skjermen skal ha utstrekning min. 1,5 m ut fra brua og til hver side av senterlinje spor. Skjermen skal helst ha en helning på 20 grader fra bru. Det kreves ikke helt tett skjerm, men stilles krav til åpningenes størrelse.

Sikrings-skjerm over kontaktledningen skal i utgangspunktet oppfylle kravene som gitt i det norske regelverket. Det kan likevel være rom for å diskutere helling, form og bredde. Skjermen skal ha tilstrekkelig bredde hensyn tatt til kontaktledningen's sik-sak (± 400 mm). Av hensyn til evt. flytting av KL, kan man også vurdere mulighetene for å flytte skjermen på brua, men dette er ikke særlig ønskelig.

Skjerm over kontaktledningen kan være tett, men skal være av metall eller galvanisert stål.

Løsning som angitt i det svenske regelverket, uten tett nedre plate i beskyttelsesrekkverket vil i utgangspunktet ikke bli godkjent i Norge.

Sikringsgjerdet presentert i fig. 4.1.5. er vist med en helling utover i øvre del. Dette gjør sikringsgjerdet mindre utsatt for skader ved påkjørsel, og gir også luftigere visuelt tverrsnitt ved passering over brua. En innvending mot løsningen er at den gjør klatring noe mindre vanskelig sammenlignet med et helt vertikalt sikringsgjerde.

Tett plate i beskyttelsesrekkverket er lett utsatt for skader, dersom det ikke er beskyttet av et kjørestærkt rekkverk. Dette er et vedlikeholdsproblem.

Der det er mateledning i luftstrekk, vil det ikke være noe stort problem å legge ledningen i kabelkanal i bakken forbi bru, dersom det er vanskelig å fortsette luftstrekket under brua.

Av sikkerhetsmessige årsaker, for å ivareta den elektriske beskyttelsen, er beslag over bue helt nødvendig. Dette må være av metall (kobber er utmerket) og formes slik at klatring gjøres umulig eller svært vanskelig. Limtrebuens tverrsnitt kan være flat i topp. Men det er ønskelig av sikkerhetsgrunner at beslagsfalsene legges flate for å vanskeliggjøre klatring.

Brua må sperres og sikres mot at uvedkommende kan få tilgang i byggefasen. Dette er meget viktig før sikrings-skjermene og jordingen er på plass.

Anbudsgrunnlaget skal utformes slik at entreprenøren ikke er i tvil om hva han skal utføre av sikringsarbeid. På basis av anbudsgrunnlaget skal entreprenøren pålegges å utarbeide montasjeplan, HMS-plan og sikringsplan. Det skal også forutsettes et samarbeid mellom byggherre og entreprenør om instruksjon av entreprenørens ansatte og underentreprenører vedr. sikkerhetsforskriftene. Dette må det settes av tid til.

4.2 Sikkerhet, jording

Alt stål i konstruksjonene må jordes der det er innenfor sikkerhetssonen. Jordledning skal være flertrådig og av kobber med min. 50 mm² tverrsnittsareal. Det skal være skruklammer i alle jordingsforbindelser. Jordledning kan være blank over terreng ned til fundament, men skal være isolert gul/grønn i jord.

Det er bestemt at alt stål under limtrebue skal jordes. Stål utenfor buen trenger ikke jordes, heller ikke spennstag gjennom brudekket inkl. underlagsskivene.

Alle ledende gjenstander/konstruksjoner som befinner seg i en avstand mindre enn 5 m fra spormidtd skal jordes til skinne. Enkelstående stendere eller lignende er unntatt.

Jordingsforbindelser tillates ikke fjernet av entreprenører som arbeider på eller ved spor.

Der det er mateledning i luftstrek, vil det ikke være noe stort problem å legge ledningen i kabelkanal i bakken forbi bru, dersom det er vanskelig å fortsette luftstrekket under brua.

Fig. 3.6.1 viser soneinndeling og sikkerhetsavstander ved arbeid på og ved spor.

4.3 Fundamentering, geoteknikk

Fundamenter dimensjoneres på grunnlag av geotekniske data på stedet og krefter fra bruoverbygningen.

Der man ønsker å erstatte en eksisterende bru med en ny grunnet høyde, last, bredde eller lignende, og ønsker å benytte eksisterende fundamenter, kan det være problematisk å dokumentere bæreevne. Som hovedregel gjelder at man skal dokumentere ved stabilitets- og bæreevneberegninger at eksisterende fundamenter har kapasitet nok dersom man ønsker å bruke disse som fundament for ny overbygning.

Buebru

Her bygges det fundamenter som støpes på stedet. På grunnlag av geotekniske data på stedet og krefter fra bruoverbygningen dimensjoneres fundamentene. Alle brufundamenter skal frostsikres. I størst mulig grad satses det på direktefundamentering (sålefundamenter) der det er mulig. Først når det er foretatt geotekniske vurderinger (grunnboringer) på brustedet kan det aktuelle fundament dimensjoneres, både med hensyn på sålestørrelse for opptak av vertikale og horisontale krefter og vurdering av setninger.

Ny plate/bjelkebru i 3 spenn

Her bygges det på fundamenter som støpes på stedet eller prefabrikeres. For denne brutypen er midtspennet valgt lik 10 m slik at det skal kunne graves ut til frostfri dybde for pilarfundamentene. Disse kan enten støpes på stedet, eller monteres prefabrikkert uten at dette betinger stans i togtrafikken.

Erstatningsbru

Plate/ bjelkebru i 3 spenn anses som aktuell for bygging av erstatningsbruer. For denne bruløsningen kan det altså være aktuelt å benytte seg av eksisterende brufundamenter i den grad dette er mulig. Spesielt gjelder dette for landkar. Her kan oppleggspunktene for brua legges lenger inn på landkaret. Som bakfyllmasser på landkaret kan det også vurderes lette fyllmasser for å bedre stabiliteten.

For søylefundamenter ved siden av sporet er det mulighet for å kunne bygge på de eksisterende fundamentene. Generelt for de eksisterende søylefundamentene gjelder det at disse står nærmere sporet enn kravet til de nye fundamentene. Mulighetene ligger her i å kunne henge seg på de eksisterende fundamentene i bakkant. Dette må vurderes nærmere i de enkelte tilfeller. I byggefasen kan det bli nødvendig med seksjonsvis utgraving og med eventuelle bjelkestengsel for å ivareta sikkerheten for togtrafikken mens bygging pågår.

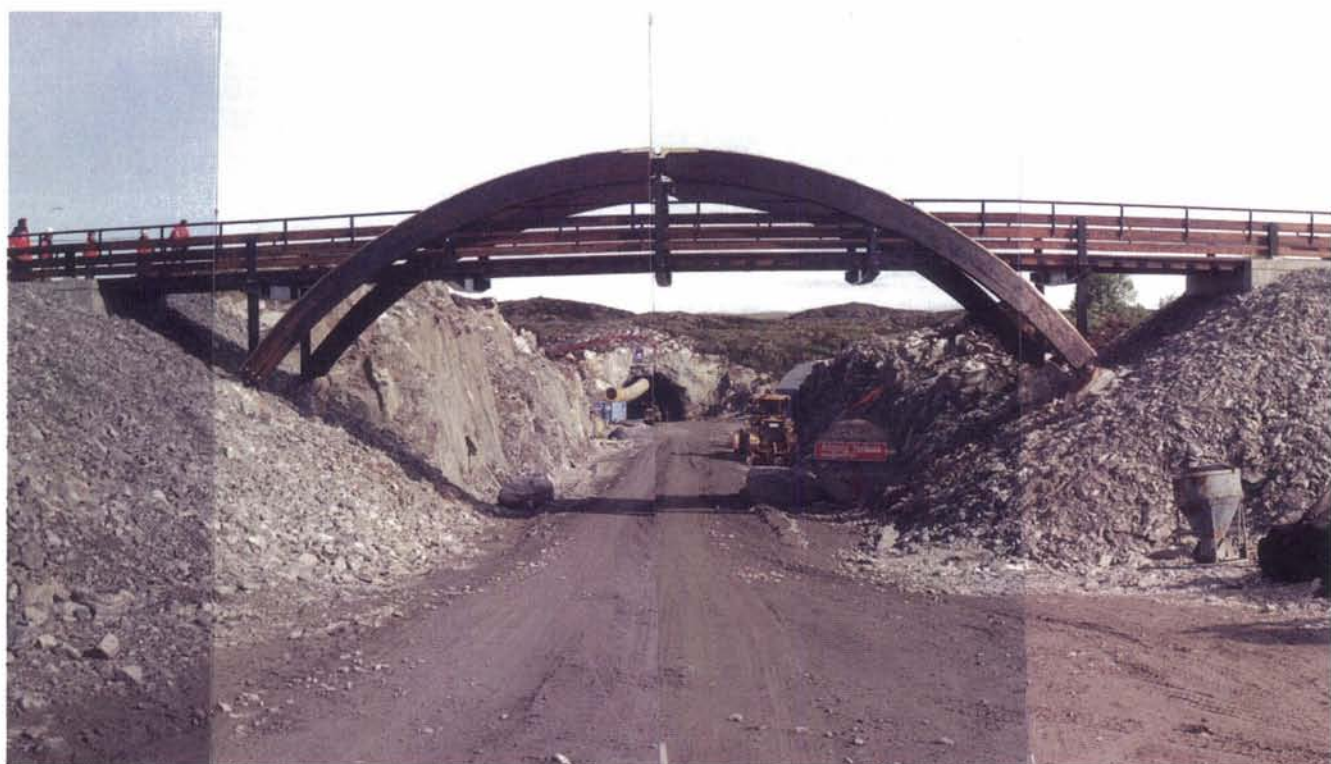


Fig 4.4.1.
Fotografi viser buebru benyttet i veg-
legg på Hitra.



Fig 4.4.2.
Typisk eksempel på eksisterende stål-
bru i 3 spenn som kan være aktuell for
utskifting

4.4 Konstruksjoner - bæresystemer

Følgende brukonstruksjoner er vurdert når det gjelder nye bæresystemer:

- Buebru med tverrspent tredekke.
- Ny plate/ bjelkebru i 3 spenn.
- Erstatningsbru i form av plate/ bjelkebru i 3 spenn.

Buebru og plate/ bjelkebru i 3 spenn er bearbeidet fram mot ferdig løsning.

De andre alternativene ble forlatt i en tidlig fase av utredningen. Forlatte løsninger er:

- Fagverksbru.
- Tverrspent ribbeforsterket brudekke i ett spenn.
- Samvirkebruer.

Forlatte løsninger er vist i kapittel 7.

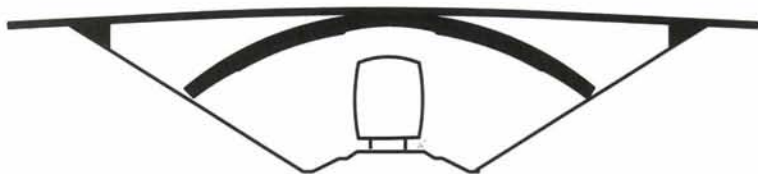


Fig 4.4.3. Prinsippskisse buebru der buen ligger under brudekket.

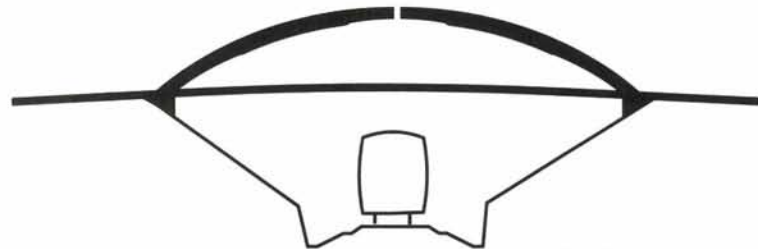


Fig 4.4.4. Prinsippskisse buebru der buen ligger over brudekket.

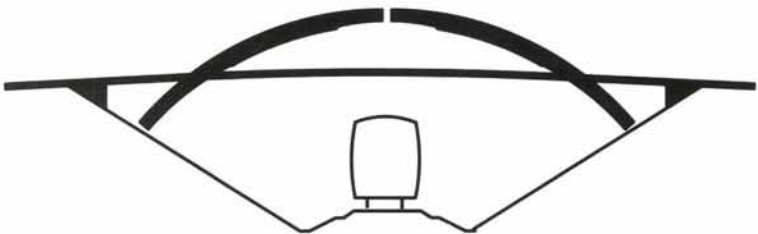


Fig 4.4.5. Prinsippskisse buebru med mellomliggende brudekke.

Buebru

Gjelder buebru med sideplasserte limtrebuer og innhengt tverrspent tredekke lagt på tverrbjelker i stål.

Varianter av bueplasseringen er aktuelle, tilpasset de stedlige forhold. Der vi har høyde nok benyttes underliggende buer.

Buebru består av to hovedelementer: buen og brudekket. Elementenes plassering i forhold til hverandre er avhengig av blant annet landskapets topografi.

Følgende 3 hovedtyper av buebru er aktuelle:

- Buen ligger under brudekket. Se fig. 4.4.3.
- Buen ligger over brudekket, som er opphengt i buen. Se fig. 4.4.4.
- Mellomliggende brudekke, kombinasjon av over- og underliggende bue. Se fig. 4.5.5.

Buene utføres av krumme limtrekonstruksjoner eller fagverksbuer. En buekonstruksjon overfører mye av kreftene ved trykk, og maksimal spennvidde er derfor større enn for eksempel for bjelkebru. Ved buekonstruksjoner foretrekkes 3-ledds bue framfor 2-ledds, bl.a. på grunn av evnen til å tåle setninger.

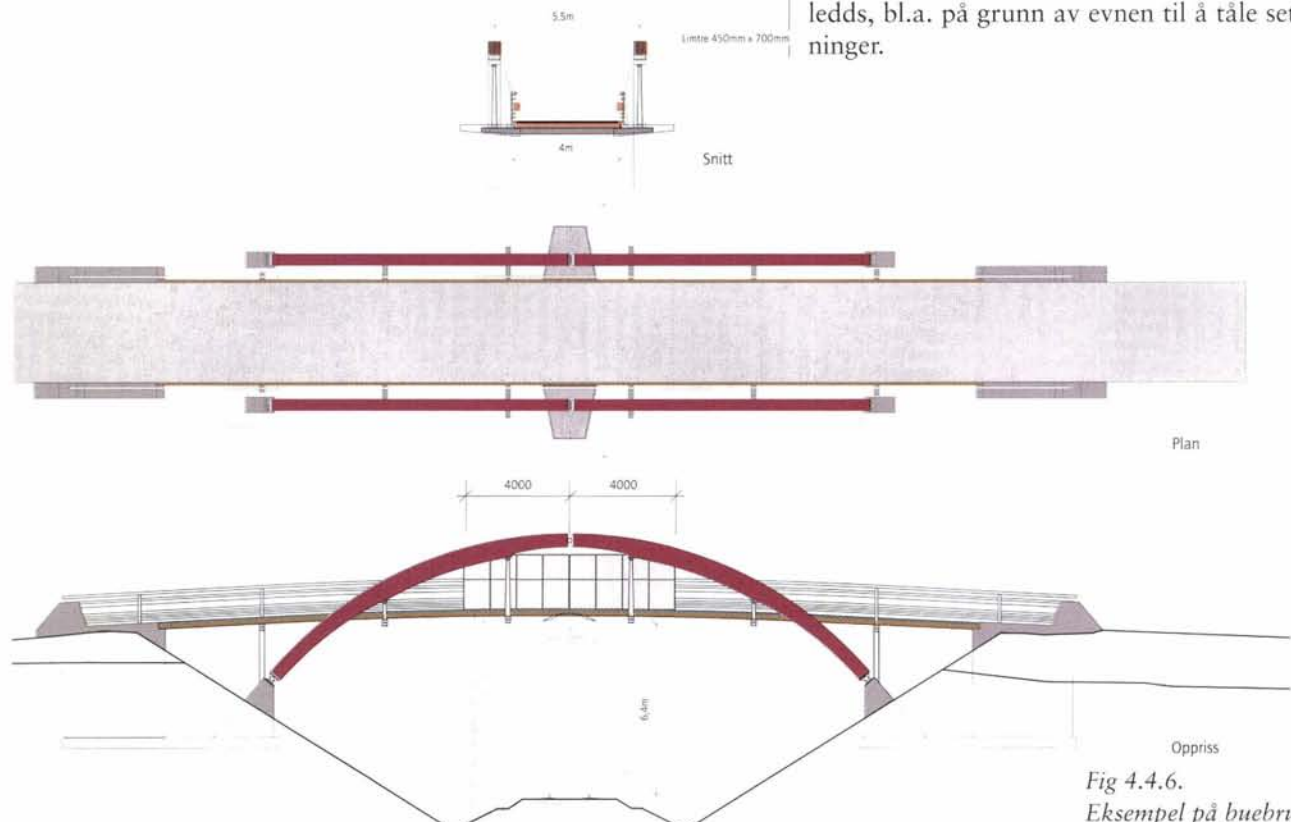


Fig 4.4.6. Eksempel på buebru med mellomliggende brudekke.

Plate/bjelkebru i 3 spenn

Denne brutypen er tenkt brukt både for nye bruer der man har enkle landbrukskryssinger, og som erstatningsbru for eksisterende 3x7 m bruer som skal oppgraderes. For denne brutypen vil fundamenteringen være avgjørende for anvendeligheten. Dersom eksisterende landkar og fundamenter kan benyttes, vil dette være kostnadsbesparende.

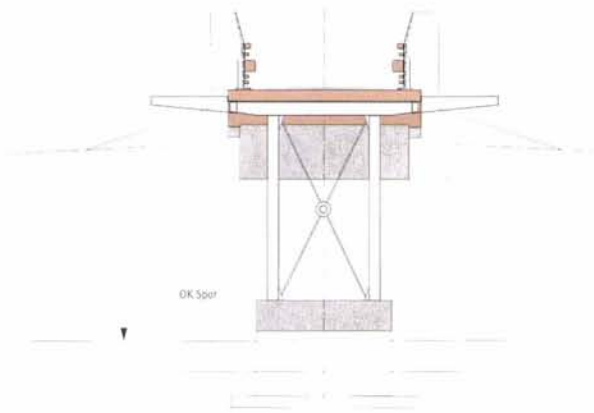


Fig 4.4.7.
Prinsippsnitt plate/bjelkebru
i 3 spenn - ny bru.

Løsningen er karakterisert av ei tverrspent plate i limtre som er lagt opp på bjelker og søyler av tre.

Varianter med søyler og tverrbjelker i stål er aktuelle.

Ny plate/ bjelkebru i 3 spenn

Brutypen er tenkt brukt på nye brusteder. Det må bygges nye fundamenter, og for å ta hensyn til nye rammebetingelser, er både midtspenn og sidespenn øket noe sammenlignet med typiske eksisterende 3-spennsbruer.

Konklusjoner for ny plate/ bjelkebru i 3 spenn:

- Landkar og pilarfundamenter støpes på stedet, eller monteres prefabrikert.
- Enkle, rette, vertikale søyler i limtre, som understøtter tverrbjelker i stål, evt. limtre.
- Trebrudekke hovedsaklig av limtre-lameller. Dette for å øke spennvidde og redusere vertikalkurveradius.
- Midtspenn på ca. 10 m, sidespenn på ca. 8 m.
- Membran og asfalt på brudekke er ønskelig. Det kan evt. benyttes slitedekke i tre.
- Sikringsgjerde tilpasses som modul mellom søyler i midtspenn.
- Rekkverk dimensjoneres etter vurderinger av behov for hvert enkelt brusted. (Se kap. 3.5)

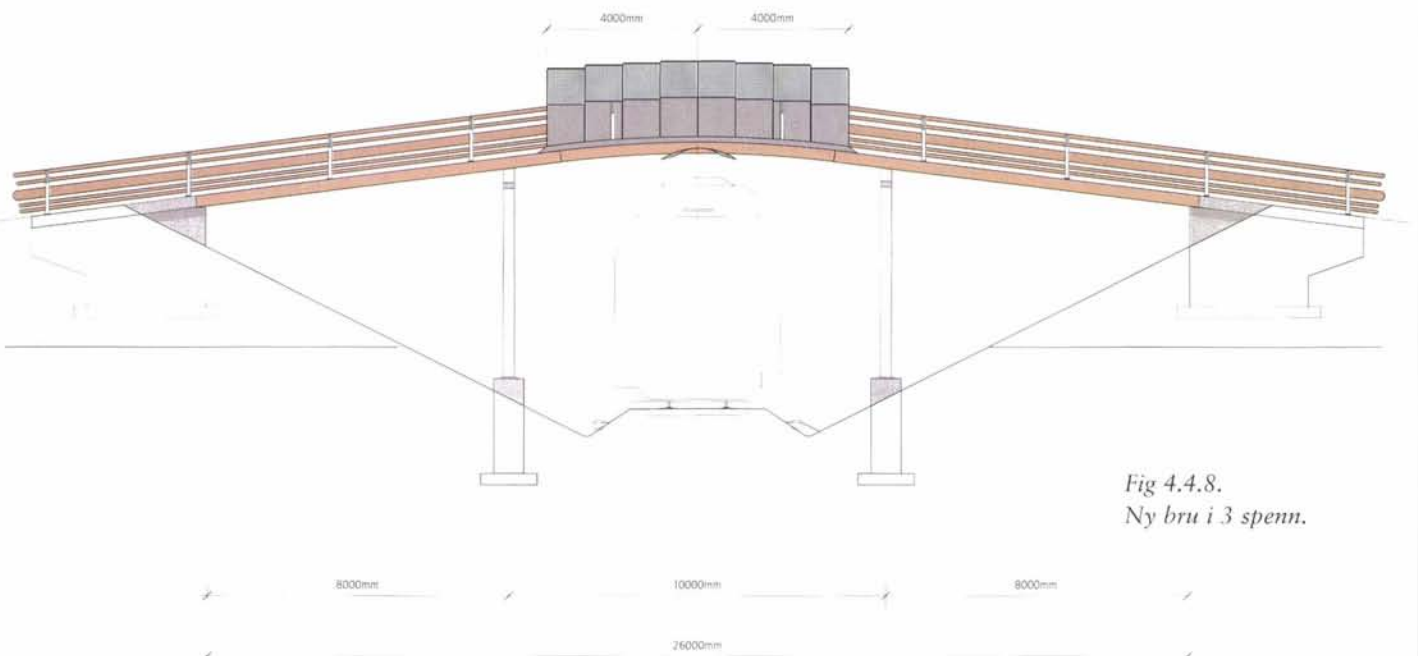


Fig 4.4.8.
Ny bru i 3 spenn.

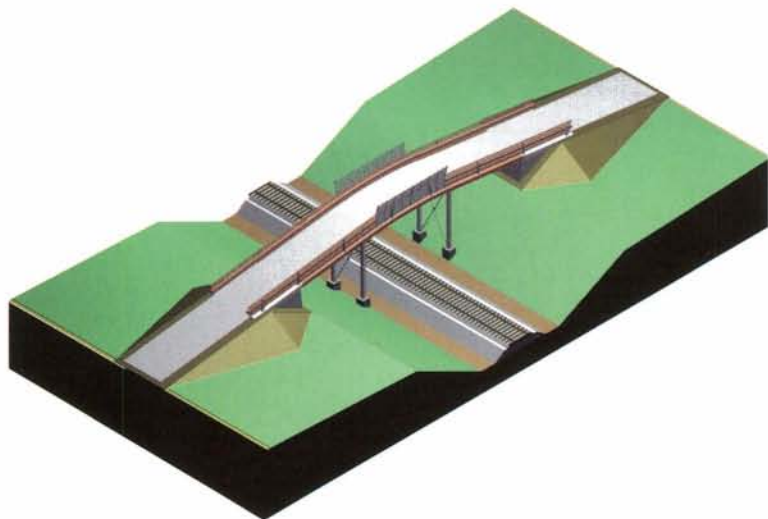


Fig 4.4.9.
3D-modell fra utviklingen av
plate/bjelkebru i 3 spenn.

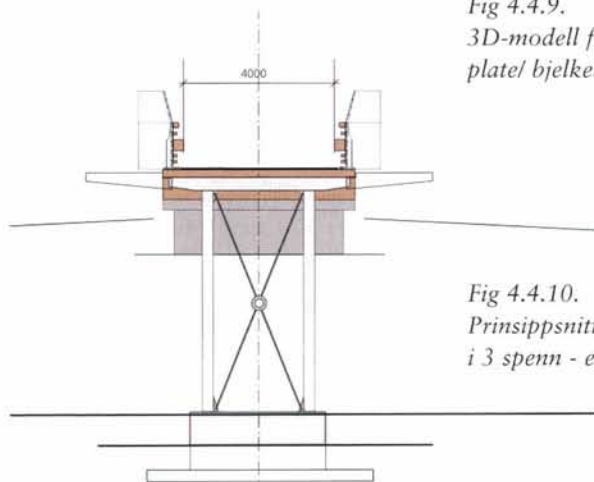


Fig 4.4.10.
Prinsippsnitt plate/bjelkebru
i 3 spenn - erstatningsbru

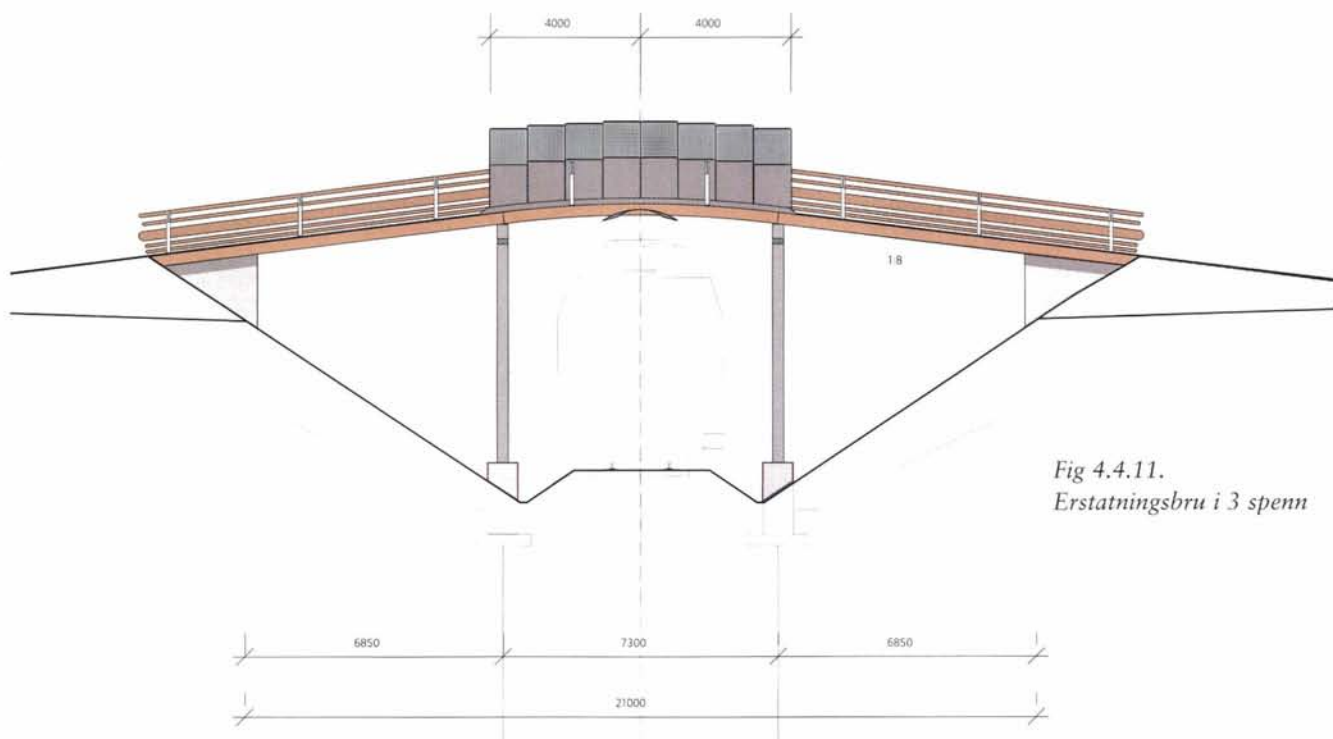


Fig 4.4.11.
Erstatningsbru i 3 spenn

Erstatningsbru i 3 spenn

Konklusjoner for erstatningsbru i 3 spenn:

- Eksisterende landkar beholdes i størst mulig grad
- Enkle, rette, vertikale søyler i limtre, som understøtter tværbjelker i stål, evt. limtre.
- Trebrudekke hovedsaklig av limtre lameller. Dette for å øke spennvidde og redusere vertikalkurveradius.
- Midtspenn på minimum 7,3 m, sidespenn på 6,85 m.
- Ytterspenn kan evt. opplagres inn (ca.1m) på eksisterende landkar dersom det er problemer med stabilitet.
- Membran og asfalt på brudekke er ønskelig. Det kan evt. benyttes slitedekke i tre.
- Sikringsgjerde tilpasses som modul mellom søyler i midtspenn.
- Rekkverk dimensjoneres etter vurderinger av behov for hvert enkelt brusted. (Se kap.3.5)

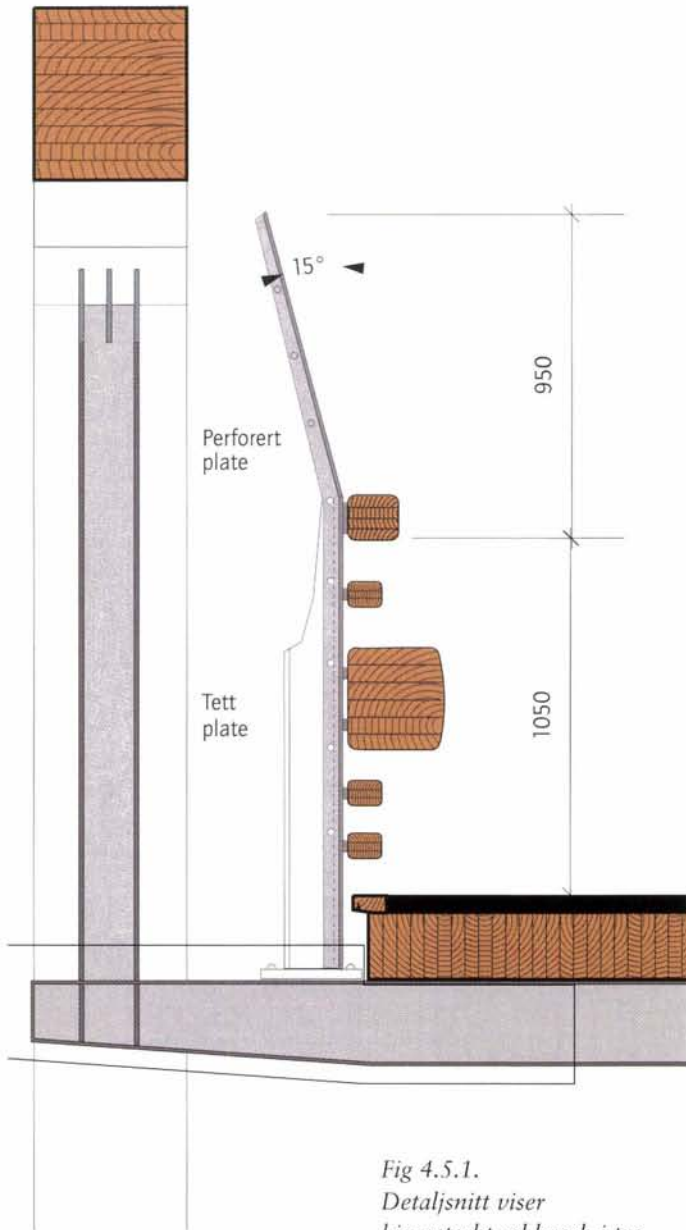


Fig 4.5.1.
Detallsnitt viser
kjørestærkt rekkverk i tre.

4.5 Konstruksjoner - delementer

Følgende elementer i bæresystemet er det lagt spesiell vekt på å løse:

- Rekkverk.
- Buegeometri.
- Detaljløsninger i dekke.
- Forbindelser.
- Sikring av kontaktledningen (se kap. 4.1)

Rekkverk

Det konkluderes med at det på ei trebru generelt bør benyttes føringsskinner, håndlist og øvrige horisontale føringer i tre. Hjørner bør generelt avfases.

Det er utredet en rekkverksløsning med bare én føringsskinne i limtre, kombinert med håndlist og tynnere skinner, også i limtre. De tynne limtreprofilene i rekkverket må forbindes med vertikale T-stål, innfestet i føringsskinne.

Rekkverksmodulen bør samsvare med tverrbærermodulen i ei buebru. Dette har konsekvenser for rekkverksdimensjonen.

Løsningen er skissert på denne siden, fig. 4.5.1. og 4.5.2.

Buegeometri

Limtrebuene i ei buebru må beskyttes i form av impregnering. Dette gjør at produksjonsutstyret gir begrensninger for pilhøyden for limtrebuene i konstruksjonen; I dag har største tilgjengelige impregneringstank diameter på 2200 mm og lengde på ca. 20 m. Tanken ligger i Larvik.

Bueradius på ca. 15 m ser ut til å være gunstig for denne brukonstruksjonen.



Fig 4.5.2.
Modellstudie fra utviklingen
av rekkverksløsning i tre.

Detaljøsninger i dekke

Vi har benyttet tverrspente dekker i tre som dekkekonstruksjon for både buebruene og plate/ bjelkebruene i 3 spenn.

Et tverrspent dekke kan sammenlignes med en stor limtrebjelke som ligger på siden. I stedet for å holde lamellene sammen med lim, holdes de sammen av friksjonskrefter. Dette oppnås ved at en borer tverrgående hull gjennom samtlige lameller, trer stag av høyfast stål gjennom hullene, for så å spenne opp disse stålstagene.

Ved tilstrekkelig høy oppspenningskraft vil friksjonen som blir etablert mellom de enkelte lamellene, være stor nok til at konstruksjonen fungerer som en plate med stor stivhet både i lengderetningen og tvers på denne.

På denne måten har en både dekke- og bærekonstruksjon på en gang. Lamellene som spennes opp, kan for mindre spennvidder være tre-bjelker, og for større spennvidder er hver lamell en limtrebjelke. Et tverrspent dekke kan være massivt, som T-profil (ribber) eller også som kasseprofil.

Et tverrspent dekke har tilstrekkelig stivhet i begge hovedretninger til å utgjøre hovedbæring for ei plate/ bjelkebru i 3 spenn. På grunn av høy stivhet i tverretningen, benyttes også tverr-spente dekker som bærende brudekke ved andre brutyper, som f.eks. vist buebru.

Ved dimensjoneringen må det tas hensyn til at krefter i bruas lengderetning (bremsekrefter) opptas som støtkrefter mot landkar, sidekrefter (trafikk, vind m.m.) opptas ved sidestyring på landkar, og at oppløftkrefter opptas i landkarets frontvegg.

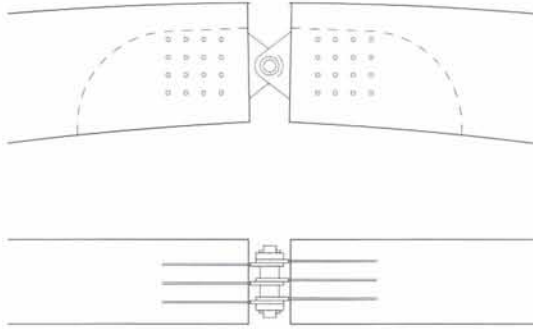


Fig 4.5.3.
Vertikalsnitt (øverst) og horisontalsnitt
av midtledd i buebru.

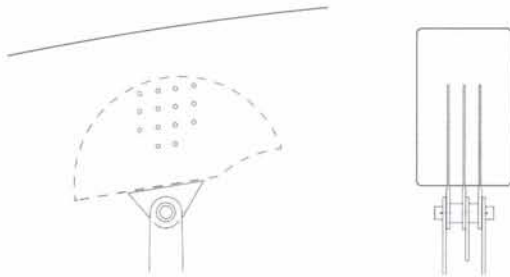


Fig 4.5.4.
Vertikalsnitt viser direkte oppheng av
tverrbærer med stivt hengestag.

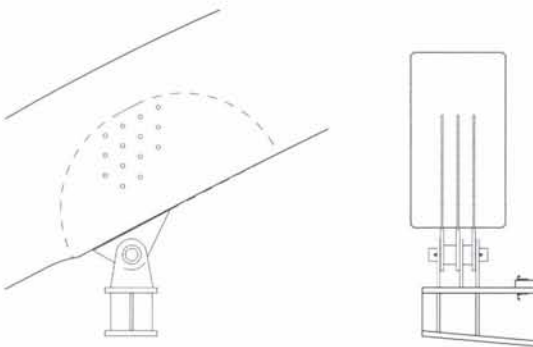


Fig 4.5.5.
Snitt viser oppheng av tverrbærer.

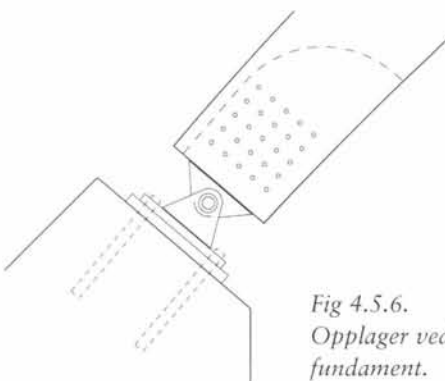


Fig 4.5.6.
Opplager ved
fundament.

Forbindelser

Korrosjonsbeskyttelse av stål:

I trebruene brukes det stål i forskjellige elementer, både i forbindelser (knotepunkter) og i tverrbærere, hengestag etc. I tillegg brukes stål i bolter og dybler. Noe avhengig av hvilket klima brua plasseres i har vi kommet fram til forskjellige nivåer på beskyttelsen av stålet.

I tørt innlandsklima:

Knotepunktplater og andre ting som ligger skjult inne i treet varmforsinkes og males (pulverlakeres). Dybler utføres i rustfritt stål. For alt øvrig stål er varmforsinking tilstrekkelig, men fargesetting med maling er selvsagt aktuelt.

I kystklima:

Knotepunktplater og andre ting som ligger skjult inne i treet varmforsinkes og males (pulverlakeres). Ved spesielt utsatte konstruksjoner bør det vurderes rustfritt stål i disse delene. Dybler utføres i rustfritt stål. Alt annet stål bør males etter godkjente prosesser i tillegg til varmforsinking.

For øvrig kan kommenteres at treet er borti- mot upåvirkelig av aggressivt kystklima, mens stålet må håndteres på en helt annen måte enn ved tørre forhold.

Det har vært utredet å bruke aluminium i forbindelser. Slisseplater tykkelse 8 mm i aluminium kan være aktuelt. Disse vil styrkemessig kunne være i orden, men utmatningsproblematikk, spesielt i forbindelse med sveiser, må utredes nærmere.

Korrosjonsfaren er meget stor ved aluminium i kontakt med kobber. Slisseplater i aluminium kan ikke brukes så lenge den aktuelle impregnering av limtre inneholder kobber.

Det kan også være aktuelt å bruke aluminium i sikringsgjerder. Det tenkes da å benytte hel aluminiumsplate i hele gjerdehøyden, i passe lengder. Platene perforeres i øvre del, knekkes og falses, og skrues sammen.

4.6 Beskyttelse av treverk; levetid, drift og vedlikehold

Alle bruene som bygges av Statens vegvesen i Norge skal i utgangspunktet dimensjoneres for «100 års levetid med et minimum av vedlikehold». Dette er veldig lang

tid, og i en del sammenhenger kanskje både urealistisk og unødvendig, men det innebærer hvertfall en konservativ tankegang under planlegging med hensyn på standard, dimensjonering, beskyttelse, løsninger og utførelse.

Kravet om 100 års levetid gjelder også for trebruere, og for å forhindre råte vil det derfor etter vår mening være nødvendig med trykkimpregnering med kjemiske midler. Det vil også være behov for å beskytte overflaten mot nedbrytning fra vær og vind med f. eks. overflatebehandling eller innkledning med beslag.

I tillegg vil en riktig detaljutforming være svært viktig som konstruktiv beskyttelse.

Beskyttelse mot råte:

Utvikling av råte i treverk er avhengig av fuktighet, og ved en fuktighet i treverket på under 20% skjer det ingen utvikling av råte. En måte å unngå at fuktigheten tas opp i treverket, er å utforme konstruksjonene på en slik måte at vann ikke kommer til, evt. renner lett ut igjen, og at treverket kan tørke raskt opp etter nedfukting. Detaljløsningene er helt vesentlige i denne sammenheng.

På konstruksjoner som sviller, kraftledningsmaster og bruere vil det være vanskelig å hindre at treverket over lengre perioder får høyere fuktighet enn 20%. Den eneste måten som da kan gi treet lang nok levetid er trykkimpregnering med kjemiske midler.

Avhengig av hvor mange kilo av impregneringsmiddel som trykkes inn i treet vil det impregnerte treet få en impregneringsklasse. Betegnelsen klasse A angir at produktet (treet) er beregnet å kunne stå i jordkontakt i den forventede levetiden for produktet.

For trykkimpregnering av tre i bruere er det to aktuelle typer midler: CCA (salt) og kreosot.

- CCA er et impregneringsmiddel som inneholder kobber, krom og arsen. Disse stoffene brytes ikke ned i naturen, men i hele trekonstruksjonenes levetid er de fiksert i tre og er derfor ikke noe miljøproblem.
- Kreosot er et destillat av steinkulltjære og er dermed et naturprodukt. Kreosot er naturlig nedbrytbart i naturen.

Både forskning- og utvikling, og erfaring viser at tildekking og beskyttelse mot fukt, vær og vind er viktig. Beslag på horisontale

flater med dryppneser, f.eks. toppen på en overgurt eller på en bue, er et enkelt tiltak som virker godt. Det er imidlertid viktig at slike beslag blir utført riktig slik at de ikke samler fukt, noe som kan gjøre situasjonen verre. Det bør ikke legges opp til avanserte beslagløsninger på kompliserte plasser, men heller legges innsats i bedre detaljutforminger.

Impregneringsmidlenes miljøkonsekvenser:

I forbindelse med gjennomføringen av Evenstad bru i Hedmark i 1995/96, uttalte Statens Forurensningstilsyn (SFT) at de ikke hadde noen innvendinger mot bruk av hverken CCA eller kreosot som impregneringsmiddel for treverk brukt i en slik sammenheng. Imidlertid anbefalte de kreosot da treverk som er impregnert med dette er enklere å håndtere ved destruksjon (kan brennes).

Det er pr. i dag ingen restriksjoner på bruk av hverken CCA eller kreosot til slike formål. Kreosot, med et PAB innhold (fellesbetegnelse på kreftfremkallende stoffer) på mindre enn 50 ppm, er dessuten fra 1996 fjernet fra både EU's og Norges lister over kreftfremkallende stoffer. All kreosot som brukes i Norge nå tilfredstiller disse kravene.

Det synes å være en trend mot å karakterisere kreosot som et totalt sett mer miljøvennlig impregneringsmiddel enn CCA, da dette inneholder tungmetaller som er veldig seint nedbrytbare i naturen.

Et problem med kreosot som har gitt den et dårlig rykte, er svetting de første årene. Dette problemet tas alvorlig, og det drives kontinuerlig forskning- og utvikling for å gjøre dette problemet så lite som mulig.

For de som arbeider med kreosot vil midlet representere et arbeidsmiljøproblem, som det er nødvendig å beskytte seg mot. Dette gjelder ved brukarbeid, hovedsakelig beskyttelse av hud mot søl, samt avgassing som kan gi solbrenthet. Vernetiltakene er lette å håndtere.

Impregnering av trevirke:

I brukonstruksjoner er det nødvendig med store limtreverrsnitt i bærekonstruksjonene. Også i mindre konstruksjonselementer er det både ønskelig og nødvendig å bruke limtre i stedet for skurlast. Ved dekkeløsninger av

såkalte tverrspenne tredekker er det mest vanlig å bruke skurlast.

Erfaring har vist at det er vanskeligere å få full inntrengning i limtrettverrsnitt enn i skurlast. Sannsynligvis henger dette sammen med at limfugene hindrer inntrengning radielt og at inntrengning av impregneringsmidlet derfor må foregå tangentielt hvor treet er mye tettere.

Utviklingsarbeid gjennom flere år har overbevist oss om at limtre brukt i bruer, på steder der fuktigheten blir over 20%, skal dobbeltimpregneres. Det betyr at limtre limes sammen av lameller som er impregnert med CCA (eller annet impregneringsmiddel) til klasse A, bearbeides ferdig, for så å få en lettere kreosotimpregnering til slutt.

Hvor mye kreosot som skal presses inn vil variere med hvor påkjent den enkelte konstruksjonsdel er. For hovedkonstruksjoner har vi pr. i dag lagt oss på en prosess tilsvarende klasse A for rundstolper.

Denne kreosotprosessen mener vi gir et



Ei trebru er relativt enkel å demontere og gjenbruke. Fotografiet under viser ei trebru over Sandvikselva. Fotografiet over viser den samme brua under montasje etter flytting



optimalt resultat i forhold til en dyptvirkende overflatebeskyttelse og svetting. For mindre påkjente elementer som rekkverk etc. er svakere kreosotprosesser aktuelt. For skurlast til dekke er en impregnering med kreosot til klasse A tilstrekkelig.

Levetid:

Basert på alle disse tiltakene og forutsetningene mener vi at trebrukonstruksjonene skal holde veldig lenge, og like lenge som andre materialer som stål og betong. Erfaring fra bruk av stål og betong som materialer i bruer, har imidlertid vist at beskyttelse ikke kan rette opp feil valg av konstruksjonsprinsipp, geometri, stedstilpassing og sist, men ikke minst: detaljutformingene.

Det at det blir valgt riktig konstruksjonstype i forhold til funksjon og sted, at brua får riktig geometri og plassering, og at detaljutformingene blir tungt vektlagt vil være helt avgjørende for levetiden (og vedlikeholds-kostnadene) også for trebruer.

Drift og vedlikehold:

Grovt sett kan drift og vedlikehold av bruer deles inn i to hovedtyper: Strukturelt vedlikehold og tyngre, utbedrende vedlikehold.

- Som strukturelt vedlikehold defineres «daglig ettersyn og oppfølging» Slike ting som rengjøring, malingsfikk, småutbedringer etc. hører til her.
- Som tyngre, utbedrende og mer omfattende vedlikehold defineres: «større utskiftninger, reparasjoner, sandblåsing og maling etc.»

For trebruer mener vi at det strukturelle vedlikeholdet vil bli tilsvarende som for andre brutyper. Inspeksjoner og små utbedringer vil være helt nødvendig å utføre kontinuerlig.

For det tyngre utbedrende vedlikeholdet ser vi imidlertid helt klart et betydelig fortrinn for tre. Kreosotens funksjon som en dyptvirkende overflatebehandling vil holde i svært lang tid. Etter 30-40 år, noe avhengig av klima, vil overflaten kun trenge en oppfrisking med f.eks. en tjærebeis. Innover i treet vil det fortsatt være kreosot. Dette er basert på erfaring fra andre kreosotimpregnerte konstruksjoner.

Det kanskje mest betydningsfulle fortrinnet i forhold til både stål og betong er reparasjonsvennligheten. Stål og betongkonstruksjoner er i mange situasjoner svært vanskelige å reparere ved å skifte ut enkeltdeler.

Trebrukskonstruksjoner vil for alle konstruksjonsprinsipper være sammensatt av elementer og enkeltdeler som er prefabrikert.

Det betyr at det ved skader vil være meget enkelt og rimelig å skifte ut/ erstatte ødelagte komponenter med nye.

Et begrep i Norge er vedlikeholdsmulige og vedlikeholdsumulige bruere.

Trebruere hører, etter vår mening, så absolutt til førstnevnte, mens spesielt en del betongkonstruksjoner hører til sistnevnte.

Et ikke uvesentlig moment vil også være rivingsproblematikk. Alle konstruksjoner vil en gang i fremtiden bli revet og fjernet. Spesielt for betongbruere vil dette være meget vanskelig, da det ut fra miljømessige hensyn vil bli krevd at alt avfall samles opp og fjernes. Trekonstruksjoner (og i noen grad stålkonstruksjoner) vil kunne demonteres i motsatt prosedyre i forhold til montering, og i noen tilfeller gå til gjenbruk et annet sted.

Alt i alt mener vi, basert på all generell trekompetanse og tretradisjon som finnes i Norge (og i flere andre land), at tre som byggemateriale er et slagkraftig og konkurransedyktig materiale i brubygging hvis det blir benyttet riktig.

4.7 Slitelag

På trebruere som er utstyrt med bærende tredekke som kjørebane/ gs-bane vil det være nødvendig med et separat slitelag på toppen for ikke å redusere kapasiteten til det bærende dekket. To typer slitelag vil være aktuelle: slitelag av tre (bord/ plank) og slitelag av asfalt.

Slitelag i tre

Slitelag i tre utføres ved at bord eller plank legges tett i tett på flasken i bruas lengderetning. Dimensjoner på plank til et slikt slitelag kan f. eks. være J 36x148.

Plankene festes med treskruer, to i hver, med c-c ca. 500-800 mm. Det brukes plank som er impregnert med kreosot, alternativt CCA ved problemer med for mye svetting fra kreosot. Impregneringskvaliteten bør være minst klasse AB.

Et slitelag i tre blir ikke tett og vil derfor ikke beskytte det bærende tredekke og andre underliggende konstruksjoner mot fukt. Slitelaget vil også ha relativt dårlig slitestyrke mot biltrafikk og da spesielt pigg-dekk og kjettinger. Metoden egner seg derfor best på gs-bruere og lite trafikkerte kjørebruere

Slitelag av asfalt

I motsetning til et slitelag av tre vil et slitelag av asfalt gi god slitestyrke mot biltrafikk og også hvis det utføres riktig danne et tett tak som vil gi en total beskyttelse av det bærende tredekke og underliggende konstruksjoner mot fuktighet.

Fordi en konvensjonell slitesterk asfalt ikke i seg selv er tett vil det ved en slik løsning være nødvendig med en tett membran mellom det bærende tredekke og sliteasfalten. Pga. svetteproblematikk av kreosot fra det bærende dekket og materialulikheter mellom tre og en forholdsvis stiv asfalt (temperaturavhengig), vil det også være nødvendig med en god heftformidler mellom tredekke og sliteasfalten.

Gjennom labforsøk ved Veglaboratoriet med ulike typer membraner har vi kommet fram til at en elastisk støpeasfalt av typen Topeka 4S oppfyller disse kriteriene. Støpeasfalten, som legges manuelt, er flytende og har en temperatur på ca. 90 grader ved legging. Sjiktykkelsen skal være ca. 10-15 mm og membranen sandavstrøs for å gi friksjon for asfaltutlegger.

Før legging vil det være nødvendig å tette alle buttskjøter i det bærende tredekke. Etter størkning/ herdning kan asfaltslitelaget legges med asfaltutlegger. Som slitelag har en AGB11 vist seg å fungere bra. Denne legges da med minimum 4 cm tykkelse. Om ønskelig kan takfall eller ensidig tverrfall bygges opp i dette slitelaget.

Denne metoden er benyttet på et ganske stort antall trebruere nå, og viser ingen tegn til skader. Metoden anbefales på alle kjørebruere med noe trafikk (mer enn ÅDT 50).

4.8 Produksjon og montasje

Før å unngå driftsforstyrrelser, vil en buebru være ideell. Med en buespennvidde på rundt 20 m, vil fundamenteringsarbeidene foregå omtrent 9 m fra senter spor, og ikke være problematisk i forhold til togavviklingen.

Graving for fundamenter like inntil spor vil alltid være vanskelig, og bør helst unngås. Det kan være aktuelt med boring og nedsettning av prefabrikkerte betongfundamenter.

Prefabrikasjon av brudekke i hele lengden kan være aktuelt. Av transportmessige hensyn sees på muligheten for å prefabrikkere brudekket i to deler, der hver av delene går over halve brubredden i hele brulengden. Det må tilrettelegges for transport både på veg og bane. Der det er problematisk å komme fram med mobilkran på veg, kan det være aktuelt å benytte skinnegående kran.

Før montasje av bruer er det viktig at følgende vurderinger gjøres:

- Framkommelighet for mobilkran og semitrailer. Eksisterende samleveg har som oftest 8 tonns tillatt akseltrykk, ny veg 10 tonn.
- Transport av materialer på veg eller jernbane.
- Avløfting og montasje med mobilkran eller skinnegående kran. Skinnegående kran er generelt lite aktuelt, men kan vurderes i spesielle tilfeller. Det må sikres god nok krankapasitet.
- Utførende entreprenør må pålegges alt ansvar for montasjen.
- Skurlastdekke bør fortrinnsvis legges på stedet. Limtredekke kan prefabrikeres.
- Brudd av kjørestrom i 5-6 timer er vanligvis uproblematisk på Dovrebanen.

Det er et krav at alle parter informeres om Jernbaneverkets sikkerhetsinstruks før noe arbeid igangsettes. Anbudsgrunnlaget for bruer utformes slik at det settes av tid til informasjonskurs.

Det vil være mulig å bygge fundamenter inntil sporet ved å sikre i de kritiske faser. Sikringen kan være fysisk skille (skjerm) eller strømbrudd. Anbudsgrunnlag skal gi informasjon i denne sammenheng.

Brua må sperres og sikres mot at uvedkommende kan få tilgang i byggefasen. Dette er meget viktig før sikringskjermene og jordingen er på plass.

Anbudsgrunnlaget skal utformes slik at entreprenøren ikke er i tvil om hva han skal utføre av sikringsarbeid. På basis av anbudsgrunnlaget skal entreprenøren pålegges å utarbeide montasjeplan, HMS-plan og sikringsplan. Det skal også forutsettes et samarbeid mellom byggherre og entreprenør om instruksjon av entreprenørens ansatte og underentreprenører vedr. sikkerhetsforskriftene. Dette skal det settes av tid til.

Toleranser og toleransekrav i montagesituasjonen må vurderes spesielt, og det må velges løsninger som lettest lar seg gjennomføre i praksis.

4.9 Tilstøtende vegsystem, geometri

Nye overgangsbruene legges gjerne inn som erstatning for flere eksisterende planoverganger. Dette medfører et vegsystem på begge sider av sporet som samler de ulike vegene mot et kryssingspunkt.

Generelt er det gunstig at vegene samles til én veg før vegen føres inn på fylling mot brua. Nye veger og brusteder bør generelt følge eiendomsgrenser og/ eller markslagsgrenser, men bør også naturlig innpasses med terrengformer. Det er viktig med lokal tilpassing av tiltakene, og at vegsystemet er planlagt for å møte muligheter og begrensninger som brukonstruksjonen gir.

Det er overordnet viktig å ikke bygge høyere vegstandard (stigninger og kurver) enn standardene åpner for. Dette for å unngå unødig høye fyllinger, åpne for enklere innpassing av tiltaket i situasjonen og dermed unngå at anlegget virker overdimensjonert.

Ved planlegging av kryssinger bør det tilstrebes vinkelrett kryssing av sporet. Dette vil ofte gi den beste løsningen både økonomisk og estetisk.

Det vises til kapittel 5 konsekvenser som også behandler avbøtende tiltak for landskap. Kapittel 5 presenterer også enkelte overordnede løsninger som kan gi lettere koblinger av vegsystemet.

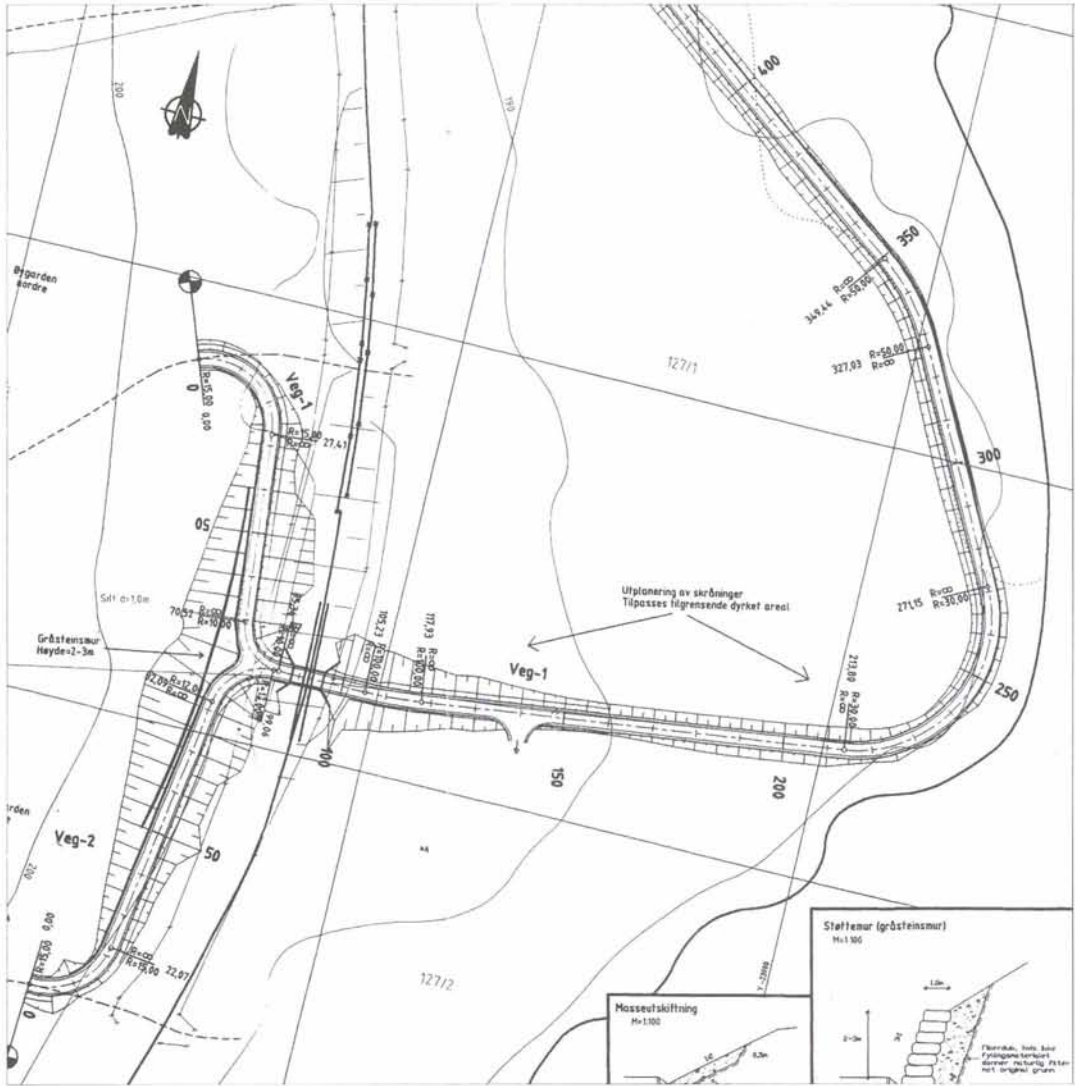


Fig.5.1.1. Plantegningen viser hvordan en planlagt undergang medfører omfattende terrenginngrep i en relativt vanlig situasjon langs Dovrebanen.

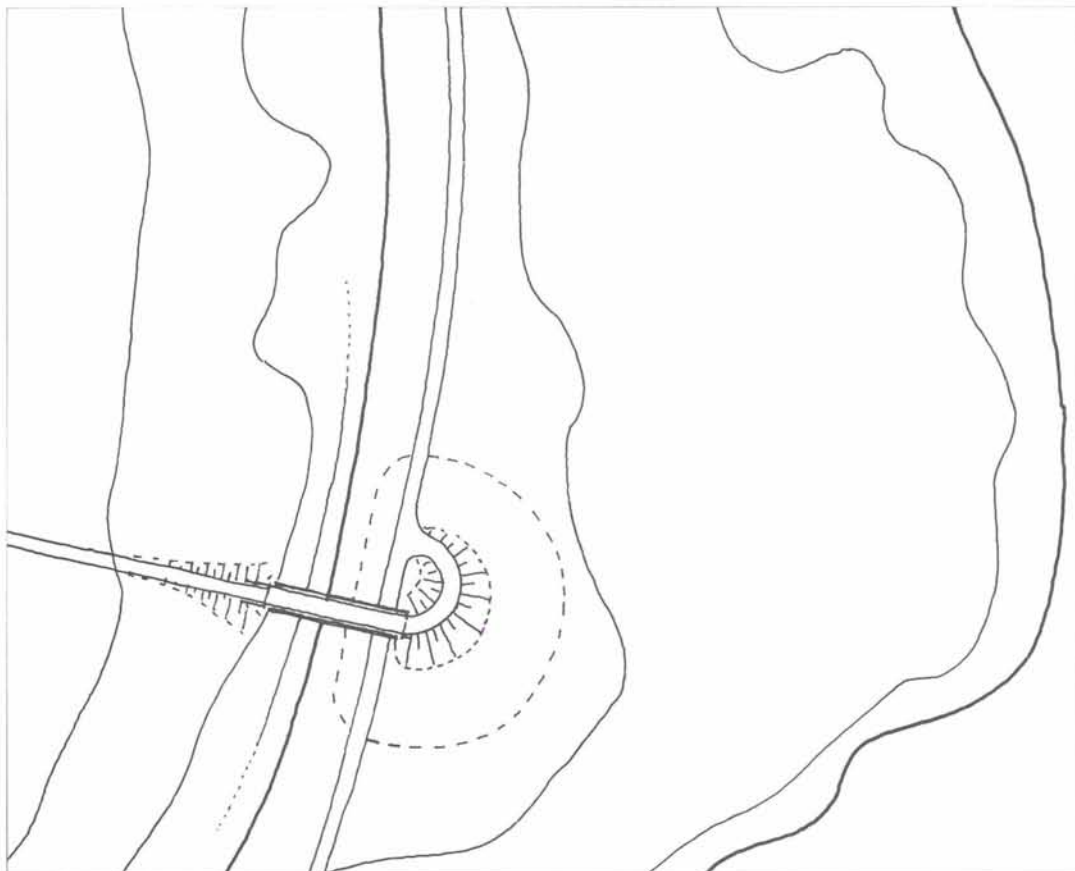


Fig.5.1.2. Denne planskissen viser samme kryssingspunkt. Ved å optimalisere kryssing i bru, kan vi bl.a. spare vesentlige terrenginngrep

5.0 Konsekvenser

5.1 Arealbruk, landskap, jordbruk

Å gå over jernbanen med bru krever store frihøyder over sporet, som igjen medfører fyllinger i stor høyde for å ta i mot brua. Store fyllinger er arealkrevende i tillegg til å være skjemmende, og bør derfor dempes mest mulig.

Bruer med minimal konstruksjonshøyde, gir tilsvarende lave fyllinger. En vertikalgeometri med små radier og maksimale stigninger vil ytterligere bidra til lave fyllinger. I sum er dette premisser som vil resultere i minimal bruk av areal, samtidig som inngrep i landskapet vil kunne dempes ned.

At brukonstruksjonene er mørke, vil gjøre dem lite visuelt dominante. Dette kan medvirke til at bruene oppfattes som en naturlig del av landskapet, enten det dreier seg om et naturlandskap eller kulturlandskap. Det er imidlertid viktig å finne bryststeder som er optimale og som bruker uproduktivt areal.

5.2 Tilknyttet vegtrafikk

Optimale konstruksjoner for overgangsbruene som alternativ til underganger medfører at man har best mulig grunnlag for å kunne bruke og koble seg til eksisterende vegnett. Det er også her viktig å fokusere på å finne egnede bryststeder for å minimere behovet for å bygge mye nytt vegnett.

Generelt er det et mål at nye overgangsbruene skal bli en naturlig del av landskaps-situasjonen de ligger i. Spesielt problematisk for overgangsbruene kan være enkeltsituasjoner som krever omfattende fyllinger. Situasjonen avgjør hvor høy og bratt fylling som kan tåles når det gjelder arealbruk og landskapsestetikk.

Plantegningene på motstående side illustrerer hvordan overgangsbru vesentlig kan redusere terrenginngrepene der alternativet er undergang. De forskjellige løsningene er vist på samme bryststed og i samme målestokk.



Fig.5.1.3.

Overgangsbru på fylling sett vinkelrett på sporet. Vegen er ført i 180° sving på fyllinga.

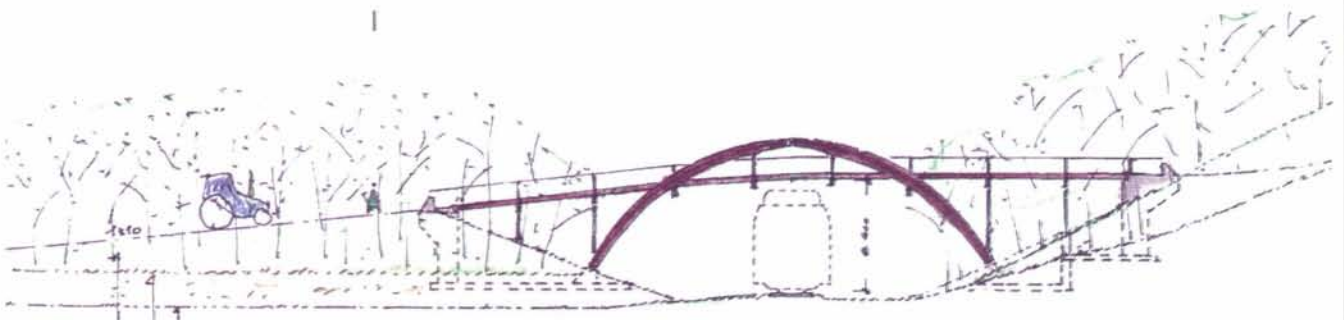


Fig.5.1.4.

Overgangsbru på fylling sett parallelt med sporet. Vegen på fyllinga er ført videre normalt på sporet.



Fig.5.1.5.

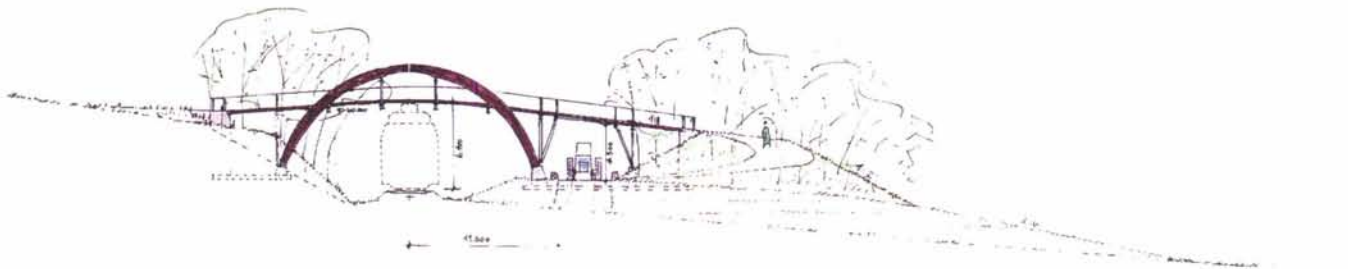
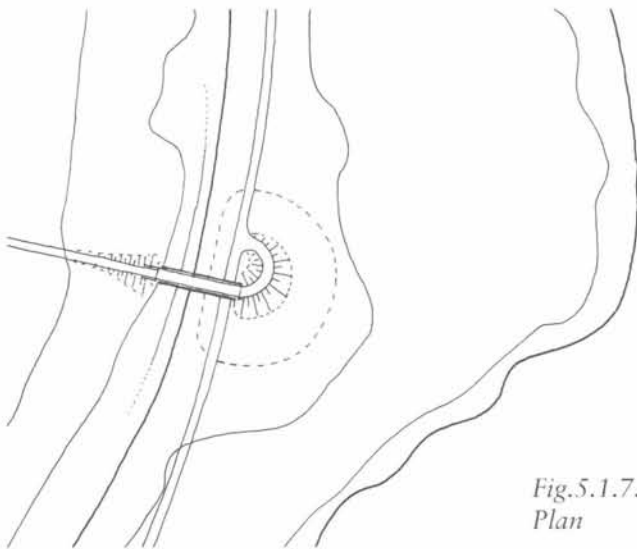


Fig.5.1.6.

Fig.5.1.7.
Plan

Dersom situasjonen er slik at det er høyt terreng på ene side og lavt, hellende terreng på andre, kan en løsning være fylling på lav terrengside, og veg i 180 graders sving under brua. Se fig 5.1.5-7.

Fig. 5.1.8.-9. viser hvordan ei slak oppfylling av terrenget kan halvere den visuelle lengden og høyden på den dominerende fyllinga.

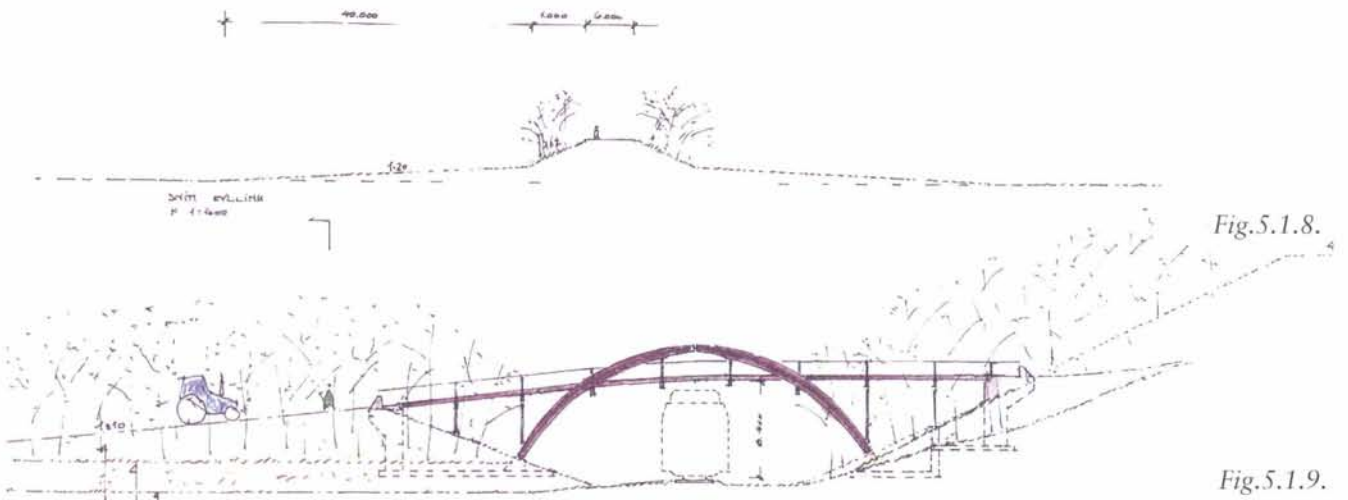


Fig.5.1.8.

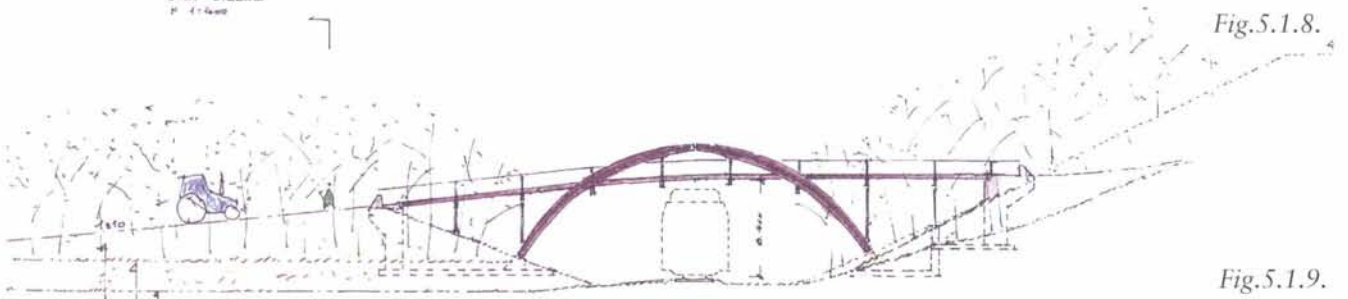


Fig.5.1.9.

5.3 Avbøtende tiltak

Høge og dominerende fyllinger vil gjerne oppfattes som den mest negative konsekvens ved overgangsbruene. I tillegg til å være arealkrevende og visuelt skjemmende, er de også styrende for påkobling av eksisterende vegnett.

Et avbøtende tiltak her vil være å gå med slakere stigning i nedre del av fyllinga slik at denne delen av fyllinga blir oppfattet som en del av landskapet brua ligger i. Dette vil kunne gjenvinne dyrket areal, løfte tilstøtende veger og dempe opplevelsen av fyllinga. Det vil også gjøre at fyllinga oppleves som kortere i utstrekning, og dermed mindre dominerende.

Den bratte delen av fyllinga bør plantes til med stedegen vegetasjon for at inngrepet skal «gro» sammen med omgivelsene, samtidig som skråningen stabiliseres.

Et annet avbøtende tiltak vil kunne være å la kryssende veg gå i kurve tilbake mot sporet og la vegen krysse under brua parallelt med sporet. Dette gir lengre bru, men vesentlig mindre fylling. Det kan også være eneste mulighet for bru, der undergang ville gitt kraftige terrenginngrep.

Sammenslåing av planoverganger vil gi lengre kjørestrekninger for kryssing av jernbanen. Forholdet avhjelpest av at grunder kan fjernes, og at det kan kjøres med jevn fart.

Buekonstruksjonen gir de beste muligheter for vegføring og terrengbehandling i vanskelige terrengsituasjoner:

- Dersom situasjonen er slik at det er høyt terreng på ene side og lavt på andre, kan en løsning være fylling på lav terrengside, hvor fyllingshøyden reduseres visuelt ved å heve omkringliggende terreng med svak helning utover.
- Dersom situasjonen er slik at det er høyt terreng på ene side og lavt, hellende terreng på andre, kan en løsning være fylling på lav terrengside, og veg i 180 graders sving under brua. Se fig 5.1.5-7.
- Dersom situasjonen er slik at det er lavt terreng på begge sider, kan en løsning være å øke brulengden, evt. i kombinasjon med en svak heving av terrenget.

6.0 Kostnadsoverslag, økonomi

6.1 Byggekostnad

En forutsetning for utviklingen av moderne trebruer i Norge har vært at de må være økonomisk konkurransedyktige med andre brutyper. Dette har vært en klar ledetråd i alle gjennomførte prosjekter, og det har derfor vært fokusert mye på forenkling og utvikling av enkle og solide detaljer og løsninger.

Korte bygge- og montasjetider er også et sterkt fortrinn for trebruer da trafikkavvikling og omlegginger er komplisert og kostbart. Dette gjelder både for jernbane og veg.

Det vi etterhvert ser, er at tre som byggemateriale så absolutt er økonomisk konkurransedyktig med andre materialer hvis materialet blir utnyttet på dets premisser og styrker.

For brubygging i Norge i forbindelse med både veg og jernbane, kan en i de fleste tilfeller regne med en øvre smerteterskel for konstruksjonskostnader på kr 20 000,-/ m² bru, og med et snitt på fra kr 8 000,- til kr 14 000,-/ m² bru.

Kryssing av eksisterende jernbane eller veg vil pga. trafikkavviklingskostnader ved enkelte kryssingsløsninger (f.eks. kulvert) kunne øke totalkostnaden drastisk i forhold til byggekostnaden for konstruksjonen.

Overgangsbruer i tre i form av mellomliggende buekonstruksjon, fagverk eller plate/bjelke konstruksjon har vist seg å imøtekomme disse parameterne på en veldig god måte. Innenfor dette spekteret vil både situasjoner med helt nye konstruksjoner, og situasjoner med utskifting/ utnyttelse av eks. fundamenter være fanget opp.

Det vil være vanskelig å gi en generell kostnadsberegning for slike brutyper pga. stor situasjonsvariasjon, men følgende grove kostnadsvurdering for de to mest aktuelle typene for overgangsbru vil være rettleidende.

Det er også tatt med et kostnadsoverslag der plate/ bjelkebru i 3 spenn er tenkt som erstatningsbru for eksisterende 3-spennsbruer, og der eksisterende fundamenter benyttes for den nye konstruksjonen.

Der bru kostnadsmessig sammenlignes med undergang, bør man også være klar over at det for undergang beregnes full merverdiavgift, mens brukonstruksjonene har avgiftsfritak for arbeidsinnsats.

Overgangsbru med mellomliggende bue:

Forutsetninger:

- kjørebru
- b(føring)=4 meter
- b(tot)=5,5 meter
- l(tot)=ca. 26 meter
- normale grunnforhold (løsmasser, fjell)
- mulig adkomst med utstyr
- transport i Sør-Norge
- priser 1999
- sikring av KL, enkelt nivå
- montasje tilpasset trafikk og strømutkobling med et minimum av driftsforstyrrelser

Rigg og drift/ uforutsett	250 000,-
Fundamenter inkl. graving	650 000,-
Overbygning	900 000,-

Sum entreprisekostnad 1 800 000,-

Prosjektering, byggeledelse, mva. etc. 30%	540 000,-
--	-----------

Tot kostnad 2 340 000,-
=====

Dette gir en entreprisekostnad på ca. kr. 12 600,- / m² bru.

Plate/ bjelkebru i 3 spenn på nye fundamenter:

Forutsetninger:

- kjørebru
- b(føring)=4 meter
- b(tot)=5.5 meter
- l(tot)=ca. 26 meter (8+10+8 meter)
- mulig adkomst med utstyr
- transport i Sør-Norge
- priser 1999
- sikring av KL, enkelt nivå
- montasje tilpasset trafikk og strømutkobling med et minimum av driftsforstyrrelser

Rigg og drift/ uforutsett	200 000,-
Fundamenter inkl. graving	470 000,-
Overbygning	800 000,-

Sum entreprisekostnad 1 470 000,-

Prosjektering, byggeledelse, mva. etc. 30%	440 000,-
--	-----------

Tot kostnad 1 910 000,-
=====

Dette gir en entreprisekostnad på ca. kr. 10 200,- / m² bru.

Plate/ bjelkebru i 3 spenn på eksisterende fundamenter:

Forutsetninger:

- kjørebru
- b(føring)=4 meter
- b(tot)=5.5 meter
- l(tot)=ca. 22 meter (7+8+7 meter)
- bruk av eks. fundamenter
- mulig adkomst med utstyr
- transport i Sør-Norge
- priser 1999
- sikring av KL, enkelt nivå
- montasje tilpasset trafikk og strømtkobling med et minimum av driftsforstyrrelser

Rigg og drift/ uforutsett	180 000,-
Fundamenter - ombygging	250 000,-
Overbygning	750 000,-

Sum entreprisekostnad	1 180 000,-
-----------------------	-------------

Prosjektering, byggeledelse, mva. etc. 30%	350 000,-
--	-----------

Tot kostnad	1 530 000,-
-------------	-------------

 Dette gir en entreprisekostnad på ca. kr. 9 700,- / m² bru.

6.2 Forventet kostnad for drift og vedlikehold

Det finnes nå så mye data på drift- og vedlikeholdskostnader for ei trebru, at vi med stor grad av sikkerhet kan si at disse kostnadene ihvertfall ikke er større enn for ei stål- eller betongbru.

Skader man i de senere år har sett på stål- og betongkonstruksjoner viser at når det først blir behov for utbedringer på disse konstruksjonene, så er det forbundet med store kostnader.

Når man sammenligner trebru og undergang er det på driftssiden ofte store kostnader på belysning og pumping av overvann i undergangen, når det ikke er mulig med avrenning ved selvføll.

En annen kostnad som er svært aktuell i en brukonstruksjons levetid, er kostnaden ved å sanere brua når den av en eller annen grunn er moden for det. Dette kan f.eks. være aktuelt i sammenheng med omlegging av veg eller spor.

Ei trebru lar seg lett flytte eller gjenbruke, og den er lett demonterbar.

Ei betongbru lar seg ikke flytte eller gjenbruke; den må rives, og dette er forbundet med store kostnader.

Se også kapittel 4.6 Beskyttelse av treverk; levetid, drift og vedlikehold.

6.3 Miljø

Limtre er et naturmateriale. Det belaster ikke miljøet i løpet av sin livssyklus, og kan lett gjenbrukes, gjenvinnes eller utnyttes som biobrensel til energiproduksjon.

Limtre i kretsløpet

Råvare

Tømmeret kommer fra lokale sagbruk i Norge og Sverige. Avvirkningen skjer i hht. nasjonal lovgivning for skogbruk. Den delen av tømmeret som ikke anvendes til skurlast, benyttes f.eks. til celluloseflis, til sponplater, som strø til landbruket, til biobrensel osv. Treet er en selvfornyende ressurs.

Treindustrien utnytter et av naturens evige CO₂-kretsløp. CO₂ fra atmosfæren tas opp av skogen når trevirke bygges og gis tilbake til atmosfæren når tre råtner eller brenner. Siden det er et økende skogvolum i Norden (vi avvirker mindre enn tilveksten) bidrar dette til å binde CO₂.

Produksjon

Limtre framstilles med et minimalt forbruk av fossilt brensel. I forhold til tre er energiforbruket pr. tonn 7 ganger høyere for betong, og 50 ganger høyere for stål (rapport utarbeidet av Norges byggforskningsinstitutt). Siden et bæresystem i limtre veier mindre enn andre bæresystemer av andre konstruksjonsmaterialer, vil energiforbruket i produksjon være lavere.

Energiforbruket ved transport vil også være gunstig for tre, både fordi det benyttes lokale råvarer og fordi vekten er lav. I en rapport fra Aukner, Neumann, Eckbo & CO (1990) er det angitt energiforbruk pr m² for bæresystem i tre, stål og betong. Energiforbruket for tre ligger på en femtedel av stål og betong, som har omtrent det samme energiforbruket.

Gjenbruk / gjenvinning / deponi.

Limtreavfall fra byggeplass eksisterer

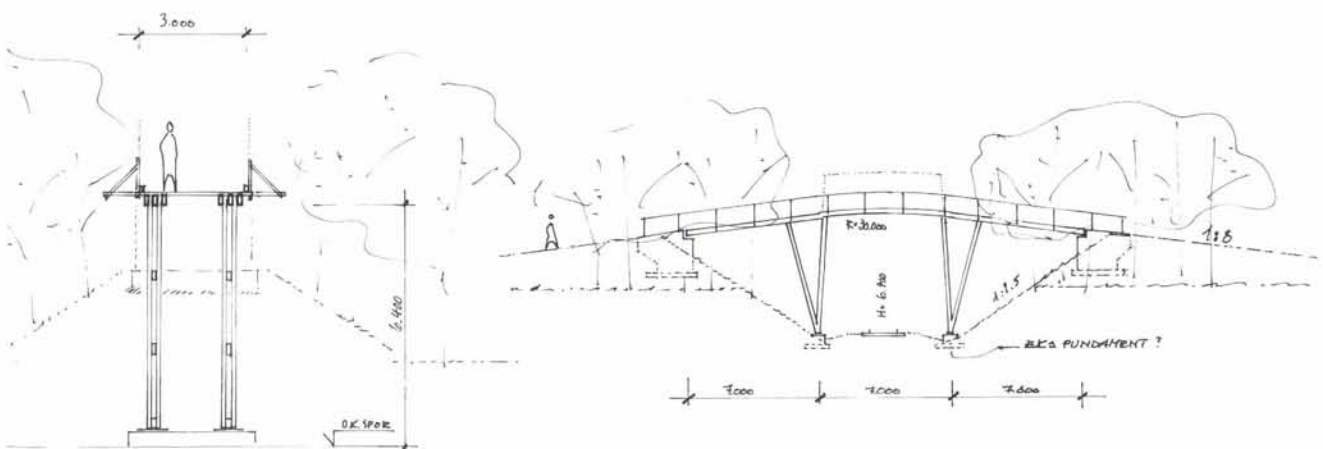
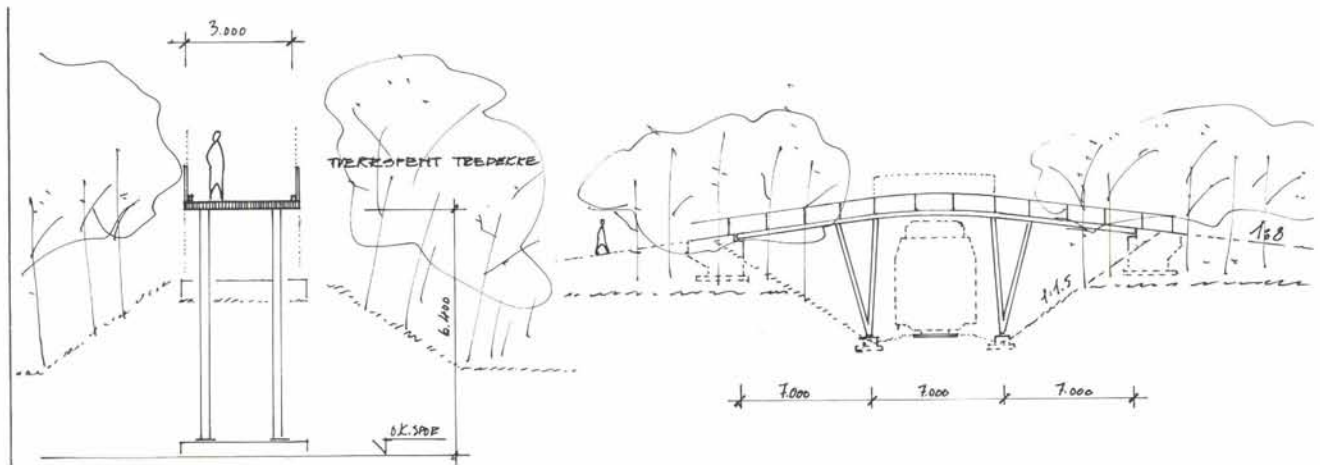
knapt siden limtre vanligvis leveres ferdig tilpasset. Limtre i konstruksjoner har lang levetid, og limtre som rivingsavfall har til nå nærmest ikke eksistert i registrerbare voumer. Dessuten er limtre godt egnet for gjenbruk enten i originalverrsnitt eller splittet opp i nye og mindre dimensjoner.

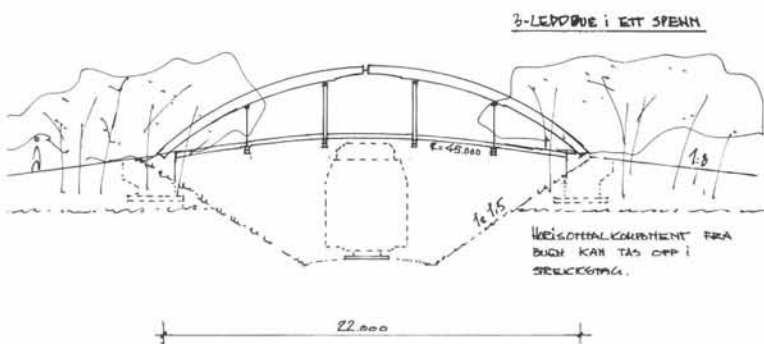
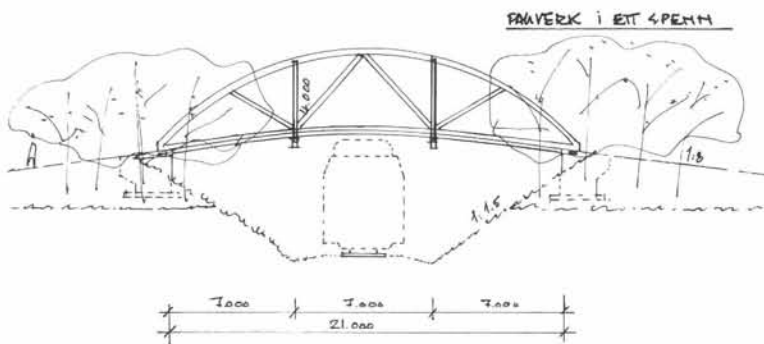
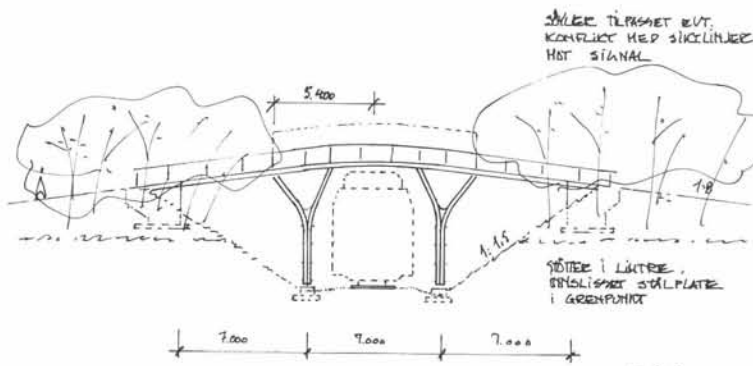
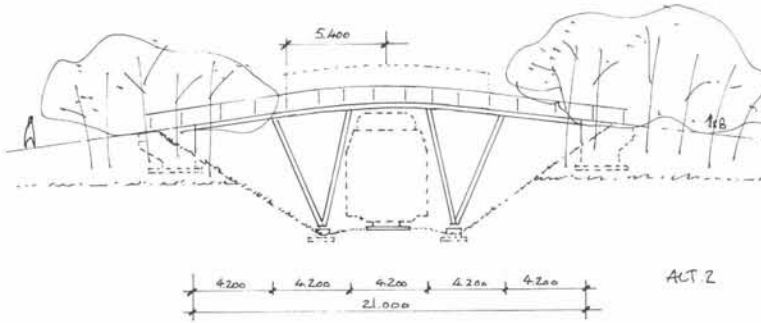
Utrangerte limtrekonstruksjoner er godt egnet til biobrensel med tilnærmet samme egenskaper som tørt tre. Liminnholdet på 1,5 – 2,0 vektprosent påvirker i liten grad utslipene ved forbrenning.

Kreosotimpregnert virke kan brennes i forbrenningsovner med tilstrekkelig høy temperatur. Problemet er større for CCA-impregnert trevirke fordi tungmetallene (krom og kobber) blir igjen i asken, og denne må derfor behandles som spesialavfall. CCA-impregnert virke blir derfor vanligvis samlet opp og levert på godkjente fyllplasser. Det finnes i dag mer miljøvennlige impregneringsmidler enn CCA, men langtidsholdbarheten er ennå ikke så godt dokumentert at vi kan anbefale disse.

7.0 Andre løsninger

Vi viser her en del konstruksjoner og varianter som har vært vurdert og forlatt i en tidlig fase av prosessen. Det viste seg tidlig at buebru og plate/ bjelkebru i 3 spenn hadde de beste forutsetningene for å oppnå målsettingene med arbeidet. Øvrige varianter er vist skissemessig i det følgende:





Fagverksbru

Fagverksbruer er fellesbetegnelsen på bruer hvor hovedbæresystemet er bygget opp som fagverk. Ei fagverksbru kan derfor være ei bjelkebru (fagverksbjelke) eller ei buebru (fagverksbue). Det kan også være ei fagverksbru med sideplasserte overliggende fagverksbjelker og tverroppsrent tredekke lagt på tverrbjelker i stål.

Samvirkebruer

Samvirkebruer er bruer hvor flere materialer inngår i hovedkonstruksjonen. Spesielt tenkes det på tre i kombinasjon med betong. Hovedbæringen utføres som en trekonstruksjon (for eksempel bjelker), mens brudekket støpes ut som en betongplate. Det benyttes spesielle forbindelser som sørger for fullt samvirke mellom tre og betong.

8.0 Videre planlegging og gjennomføring

8.1 Beslutningsprosessen og etterfølgende faser

Utviklingsprosjektet har vært et arbeid for å finne fram til prinsipper for standardiserte løsninger. Det er viktig at standardiserte løsninger er gjennomarbeidet og gode. Videre arbeid bør på grunnlag av prototyper gjennomgå konstruksjonene og optimalisere disse i hovedsystem og detaljering.

Det bør også legges opp til en gjennomgang av dimensjonering og dokumentasjon sett i lys av at gjeldende trestandard ikke er skrevet med sikte på bruer i tre.

Fram til NSB setter krengetogene i drift på Dovrebanen, vil de tiltak som gir størst kjøretidsgevinst realiseres først. Dette innebærer at det vil pågå arbeider på hele strekningen fram til januar år 2000.

De større anleggstekniske arbeidene vil bli gjennomført parsellvis.

Disse tiltakene er planlagt i henhold til følgende tidsplan:

Oppdal-Støren	jan. 1999 - jun. 2000
Vinstra-Dombås	jan. 2000 - des. 2000
Hjerkinn-Oppdal	jan. 2000 - des. 2000
Fåberg-Vinstra	jun. 2000 - jun. 2001
Støren-Tr.heim	jan. 2001 - des. 2001
Dombås-Hjerkinn	jun. 2001 - des. 2001

8.2 Forutsetninger og rammebetingelser for gjennomføringen

Gjennomføringsfasen er et svært viktig aspekt ved bygging av overgangsruer. Videre arbeid bør omfatte en optimalisering av prosessen med prefabrikasjon og montasje av konstruksjonene.

8.3 Offentlig behandling

Overgangsruer i tre har ikke krav til offentlig behandling som skiller tiltakene fra bruer i stål/ betong.

Omfanget av offentlig saksbehandling er avhengig av om tiltaket skal byggesaksbehandles iht. PBL. Jernbanetekniske og offentlige veganlegg er under gitte forutsetninger i medhold av «Jernbaneloven» eller «Veiloven», unntatt fra byggesaksbehandling. Det samme gjelder veganlegg for landbruksformål som behandles iht. «Forskrift om planlegging og godkjenning av veier til landbruksformål». Det vil være opp til saksbehandlerne i de enkelte kommuner å definere tiltakene, samt å sette krav til den etterfølgende saksbehandlingen. Unntak fra reglene om saksbehandling og kontroll vil generelt komme til anvendelse, men overgangsruer vil vanskelig kunne defineres som et jernbaneteknisk anlegg.

Tilstøtende veganlegg og bruer for landbruksformål planlegges, meldes og utføres i samsvar med krav gitt i «Normaler for landbruksveier med byggebeskrivelse». Generelt dimensjoneres bruene etter lastforskriftene til vegvesenet og godkjennes iht. regelverket til Statens vegvesen og Jernbaneverket.

Godkjenning av statiske beregninger:

For trebruene skal godkjenningsrutiner iht. regelverket til Statens vegvesen og Jernbaneverket følges. Alle beregninger for bruer tilhørende Jernbaneverket Region Nord sendes til Teknisk Kontor, Jernbaneverket Region Nord, som kontrollerer beregningene og videresender disse til Jernbaneverket sentralt.

9.0 Litteratur liste

Aktuell litteratur

- [1] Teknisk regelverk for Jernbaneverket:
- JD 520. Underbygning. Regler for prosjektering og bygging.
 - JD 525. Bruer. Regler for prosjektering og bygging.
 - JD 530. Overbygning. Regler for prosjektering.
- [2] Håndbøker fra Statens Vegvesen:
- Lastforskrifter for bruere og ferjekaier i det offentlige vegnett. Håndbok 184, 1995.
 - Prosjekteringsregler for bruere. Håndbok 185, 1996.
 - Prosesskode-1. Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdriften. Håndbok 025, 1994.
 - Prosesskode-2. Standard arbeidsbeskrivelse for bruere og kaier. Håndbok 026, 1997.
 - Bruhåndbok-6. Brurekkverk. Håndbok 100, 1995.
- [3] Regelverk fra Landbruksdepartementet:
- Normaler for landbruksveier med byggebeskrivelse. Landbruksdepartementet, 1997.
- [4] Standarder:
- NS 3470. Prosjektering av trekonstruksjoner. Beregnings- og konstruksjonsregler, 1989.
 - ENV 1995-1-1. Design of timber structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings, 1993.
 - ENV 1995-2. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 2. Bridges, 1997. (CEN/TC250/SC5:102).
- [5] Rapporter fra «Bruere i tre. Fase 1»:
- Market Survey.
 - Competitiveness of Timber Bridges.
 - Rules concerning the design of Nordic timber bridges.
 - Design of Wooden Arch Bridges.
 - Stress-Laminated Bridge Decks.
 - Timber Truss Bridges.
 - Joints for Timber Bridges.
 - Railings for Timber Bridges.
 - Wearing Surfaces for Timber Bridges.
 - Prefabricated Foundation for Pedestrian Timber Bridges.
 - Guidelines for Wood Protection by Design and Chemical Wood Protection of Timber bridges.
- [6] Trekonstruksjoner. Del 2. Petter Aune.
- [7] Trebrukonferansen 1997. Kompendium. Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- [8] Vegbruere i tre. Forprosjekt. Rapport nr. 19, okt. 1993. Statens vegvesen, Vegdirektoratet.
- [9] Rapport Evenstad bru. Statens vegvesen, Hedmark.
- [10] Timber Bridges. Design, Construction, Inspection and Maintenance. USDA, Forest Service, Michael Ritter, 1992.
- [11] Limit state design procedures for stress laminated bridge decks. Code & Commentary. Draft Edition 1.0, June 1994. University of Technology, Sydney.
- [12] Timber Engineering. STEP 2. STEP lecture E17.
- [13] Schweizer Holzbrücken. W. Blaser, Birkhauser Verlag. Basel 1982.
- [14] Brücken und Stege aus Holz. E. Gehri, ETH. Zürich 1990.
- [15] Holzbrücken der Schweiz, ein Inventar. W. Stadelmann, Bündner Monatsblatt. Chur 1990.
- [16] Informationsdienst Holz. Brücken. B. Heimeshoff, E. Krabbe, Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. Dusseldorf 1988.
- [17] Holzbrücken. Statische Systeme, Konstruktionsdetails, Beispiele. A. Mucha, Bruderverlag. Karlsruhe 1991.
- [18] Development of wood bridges. Numerical and experimental analysis of static and dynamic behaviour of wood bridges. Tekniska högskolan Helsingfors, 1993.
- [19] Träbroar. Träinformation AB. ISBN 91-85576-28-X.
- [20] Träbroar for lantbruket. Två konstruktionsfall. M. Dalemo, B. G. Hellers, Institutionen för Lantbrukets Byggnadsteknik. Sveriges Lantbruksuniversitet Uppsala 1992.

Egne notater

Egne notater

Egne notater

Jernbaneverket
Biblioteket

JBV



09TU07995
200000163639