

# FOKUS på tre

## Broer i tre



NOVEMBER  
2007

- Miljøvennlig og estetisk
- Enkelt vedlikehold
- Kort monterings tid
- Konkurransedyktig
- For lett og tung trafikk

TreFokus 

Treteknisk 



## Historikk

Broer har i alle tider stått som symbol på overgangen fra én side til en annen. Av de mest legendariske broer kan Gjallarbrua og Bifrost nevnes. Utforming og konstruksjon av broer har variert fra tidsalder til tidsalder, og fra kultur til kultur.

De enkleste broene besto av et veltet tre eller ei stor steinhelle som lå over gapet som skulle krysses. I Norge ble det bygget fritt-frambygg broer av både stein og tømmer. Det ble også bygget imponerende steinsatte buebroer og fagverkskonstruksjoner av tømmer (hengverk og sprengverk).

Disse konstruksjonene hadde imidlertid sin begrensning når

det gjaldt fri spennvidde. Selv om det finnes eksempler på store fagverksbroer av tre, hovedsakelig jernbanebroer, var det først med stål- og betong-broer at store spenn ble over-vunnet på en rasjonell måte. Både stål og betong ble av mange ansett som universalmaterialer som var evigvarende og vedlike-holds-frie. Dette medførte at antall nye trebroer ble sterkt redusert, noe som igjen medførte at kunnskap og teknologi ble stående på stedet hvil og gradvis glemte.

Høsten 1991 arrangerte Treteknisk et seminar hvor mulighetene for å bygge trebroer var tema. Seminaret førte indirekte til at det ble opprettet et nasjonalt-, og senere et omfattende nordisk FoU-samarbeid for å ut-

vikle moderne trebroer både for gang-/sykkel-trafikk og for kjøreb- roer med riks- og europavei- standard.

## Hvorfor bygge trebroer?

Trevirke er en fornybar ressurs. Prosessen fra råstoff til ferdig produkt er lite energikrevende og medfører minimalt med miljøbelastende utslipp. Biprodukter fra produksjonen kan benyttes til miljøvennlig energi gjennom flis til trelasttørker, fjernvarmeanlegg og pellets til boligoppvarming. Biprodukter benyttes også som råstoff ved produksjon av andre bygningsmaterialer som for eksempel sponplater.

Råstoff til prosessen finnes normalt nær produsenten, noe som medfører lave transport-utgifter, lite utslipp fra fossilt drivstoff og lav belastning på vegnettet. Produsentene ligger utenfor de store byene og bidrar til arbeidsplasser i distrikts-norge.

Konstruksjonsdelene til trebroer kan i stor grad prefabrikeres hos produsent og transporteres til byggeplass som elementer. Dette medfører mindre arbeid

*Fritt-frambyggbro. Tuftebro ved Ustaoset.*



*Hengverk.*



*Finna bro fra 1868, nå på Lillehammer. Fagverksbro etter Howes patent fra 1840.*





*Prefabrikasjon av en fagverksbue.*

på byggeplass, kort byggetid og dermed mindre inngripen, samt hindringer for eksisterende trafikk. Trevirke er lett av vekt, og selv de største konstruksjons-elementene kan heises på plass ved hjelp av mobile heise-anordninger. På grunn av lav egenvekt krever trebroer relativt sett små fundamenter og således redusert behov for anleggsdrift på byggeplass. Sett under ett vil alt dette medføre kort byggetid på byggeplass.

Vedlikehold og utskifting av eventuelt skadde elementdeler er enkelt når det gjelder trekonstruksjoner. På grunn av konstruksjonens lave vekt trengs det minimalt med riggingstiltak/kostnader ved vedlikeholds- eller utbedringsarbeid. Bruk av mekaniske forbindelsesmidler mellom konstruksjonselementene gjør at eventuelle behov for å skifte skadde deler kan foregå uten større tiltak.

Det er i løpet av de siste 20 årene utviklet gode beregningsverktøy og regelverk for trebrokonstruksjoner, blant annet gjennom Eurocode 5 som inneholder en

egen brodel, NS-EN 1995-2 Design of timber structures. Part 2: Bridges. Sammen med produsentenes og de prosjekterendes økte erfaringer, bidrar dette til at trebroer er blitt et effektivt, konkurransedyktig og ikke minst sikkert alternativ.

*Konstruksjon beskyttet av trespiler og kobberbeslag.*



### Holdbarhet

De største begrensningene når det gjelder holdbarhet av en trekonstruksjon ligger hos de prosjekterende og/eller de utførende, og ikke i materialet.

Tørt trevirke råtner ikke. Råteorganismer krever tilstrekkelig fuktighet, riktig temperatur og oksygentilgang for å starte nedbrytingsprosessen. Skal en trebro oppnå den holdbarhet som myndighetene krever av en brokonstruksjon, må vilkårene for biologisk nedbrytning fjernes eller reduseres til et absolutt minimum. Dette gjøres best ved bevisst bruk av konstruktiv trebeskyttelse og valg av riktig materiale på rett sted.

Ethvert detaljpunkt må utføres slik at det er beskyttet mot direkte vann og/eller markkontakt. Det er det viktig å utforme detaljene slik at vann effektivt fjernes gjennom avrenning og god ventilasjon/lufting. Utsatte punkter eller konstruksjonsdeler, spesielt fritt eksponert endeved, bør beskyttes ved innbygging. Dette kan eksempelvis skje ved å benytte beskyttelse med

kobbertekking, trespiler/-ribber eller beskyttende treplater.

I tillegg til byggeteknisk trebeskyttelse kan det benyttes impregnerert trevirke som en ekstra sikkerhet for at nødvendig holdbarhet oppnås. Ved korrekt bruk vil ikke impregnerert trevirke utgjøre noen miljøtrussel i bruksperioden. Det anbefales likevel at impregnering ikke ansees som en forenkling og kostnadsreducerende snarvei for å oppnå tilstrekkelig levetid for konstruksjonen. Den byggetekniske trebeskyttelsen må prioriteres både hva gjelder prosjektering og praktisk utførelse.

### Brann

Trebroer dimensjoneres/prosjekteres som andre trekonstruksjoner når det gjelder brann. Det er svært sjelden at brann er dimensjonerende for en bro.

### Brotyper

Broer kan deles inn i kategorier både etter bruksområde og konstruksjonstype.

Vanligvis skilles det mellom gang-/sykkelveibroer og kjørebroer. Konstruktivt er det liten eller ingen forskjell, men en kjørebro har fortrinnsvis noe større bredde. Da de fleste gang-/sykkelveibroer dimensjoneres for snøryddingskjøretøy, er det ikke stor forskjell på det dimensjonerende lastbildet sammenlignet med kjørebroer.

### Bjelkebroer

Bjelkebroer er den enkleste konstruksjonstypen. Rette bjelker av heltre, LVL (parallellfiner), limtre eller fagverk (gitterdragere) ligger parallelt med broens hovedretning. Som oftest vil bjelkene være underliggende, dvs. brodekket ligger over de bærende elementene. Dekket



*Bjelkebro med sekundærsystem og avstivingsystem.*

kan også ligge mellom bjelkene på en slik måte at store hovedbjelker danner helt eller delvis en rekkverkskonstruksjon.

Dette gjelder spesielt konstruksjoner til gang- og sykkelveibroer. Ved slike konstruksjoner vil det være nødvendig med en bærende sekundærkonstruksjon under dekket som overfører trafikk-lasten til hovedbjelkene.

### Buebroer

I motsetning til en rett bjelke som overfører krefter ved hjelp av moment og skjærkrefter, vil en bue overføre en større eller mindre del som ren aksialkraft (trykk). Dette medfører at nødvendig tverrsnitt for en buekonstruksjon blir mindre enn for en tilsvarende bjelkekonstruksjon når laster og spennvidde er identisk.

Buebroer består av hovedelementene buen og brodekket.

*Ner Hole bru, Romsdalen. Buebro med dekket innfestet mellom buene.*



Hvordan disse er plassert i forhold til hverandre, er avhengig av blant annet ytre omstendigheter som for eksempel topografi og arkitektoniske hensyn/virke-midler.

Buene kan stå vertikalt, dvs. systemlinjen i hele buens lengde ligger i et vertikalt plan, eller de kan skråstilles mot hverandre. Den siste er spesielt gunstig mht. brokonstruksjonens stabilitet sideveis.



*Europabrücke – buebro i Østerrike hvor dekket av betong ligger over limtrebuene.*

Buene utføres som krumme limtrekonstruksjoner eller som fagverksbuer. Siden store deler av kreftene overføres som aksialkraft vil maksimal spennvidde for en buekonstruksjon være lengre enn for eksempel en bjelkebro.

### Fagverksbroer

Fagverksbroer er fellesbetegnelsen på broer hvor hovedbæresystemet er bygget opp som fagverk. En fagverksbro kan derfor være en bjelkebro hvor bjelkene er laget av fagverk med rett undergurt og rett eller buet overgurt. En fagverksbro kan også være en buebro hvor buene er krumme fagverkskonstruksjoner.

### Skråstag- og hengebroer



*Fagverksbro på Flisa med rett undergurt og krum overgurt heises på plass.*

Skråstag- og hengebroer er broer hvor trafikklasten på brodekket tas opp av strekkstag og overføres videre til ett eller flere forankringspunkter utformet som tårn.

Hengebroer har et tårn i hver ende av broen, forbundet med en stålkabel. Trafikklastene overføres til kabelen gjennom vertikale strekkstag festet til brodekket.

Skråstagbroer har ett eller flere tårn. Antall og plasseringen av tårn er avhengig av aktuell spennvidde, topografi og arkitektoniske forhold. Trafikklastene overføres direkte til tårnene gjennom skråstilte strekkstag festet punktvis langs brodekket.

Både for skråstag- og hengebroer

benyttes det strekkstag av stål.

### Samvirkebroer

Samvirkebroer er broer hvor flere materialtyper inngår og gjennom statisk samvirke danner hovedkonstruksjonen. Et typisk eksempel på en samvirkebro er der hovedbæringen utføres limtrebjelker og brodekket støpes ut som en betongplate. For at denne konstruksjonen skal være en effektiv samvirkekonstruksjon, må forbindelsen mellom limtrebjelker og betongdekke ha statisk samvirke slik at bla. skjærspenninger mellom de forskjellige konstruksjonsdelene kan overføres.

*Nybergsund bro.*



### Brodekker

#### Borddekker

Borddekker benyttes hovedsakelig ved gang- og sykkelveibroer. Borddekket legges parallelt med broens kjøre-retning og festes til underliggende tverrbærere, sekundærkonstruksjon, som overfører trafikklasten til hovedkonstruksjonen.

Dimensjonen på borddekket avhenger av trafikklasten og tverrbærernes senteravstand.

Borddekket kan i tillegg til å overføre trafikklast til tverrbærerne utgjøre broens slite-belegg. Bordene bør da være lettskiftelige forbruksmaterialer.

#### Krysslagte borddekker

Krysslagte borddekker er spikrete I-bjelker som ligger flatt. Steget bygges opp av to lag bord som ligger krysslagt slik at begge lag danner en vinkel på 45 grader med kjøreretningen.

I tillegg til å danne brobane, vil det krysslagte dekket, steget, virke som avstivning av brobanen. Flensene lages ved å spikre trebjelker til stegets over- og underside. Flensene vil fungere som kantlist og feste for rekkverk i tillegg til å ta opp moment ved sidebelastning på brobanen. Krysslagte borddekker legges normalt på en bjelkebro og vil ha behov for underliggende tverrbærere. Det øverste bordlaget kan benyttes som slitebelegg, men utskifting pga. skader og/eller slitasje er langt mer komplisert enn for tradisjonelle borddekker. Oftest vil det legges et eget lettskiftelig slite-dekke oppå den krysslagte dekkekonstruksjonen.

#### Spikerlaminerte dekker

Lameller av bord eller trebjelker spikres sammen lag for lag til et høyt bjelketverrsnitt som legges flatt. Spikrene må være så lange at de går gjennom tre eller flere



Tverrspent dekke hvor stag underlagskiver gir visuell effekt.

lameller. Brodekket blir som en liggende limtrebjelke hvor limet er erstattet av spiker. Spikerlaminerte broer kan for korte spenn være selvbærende, men kombineres oftest med tverrbærere (sekundærkonstruksjon) som overfører trafikklastene til en hovedkonstruksjon.

På grunn av pulserende trafikklast og varierende fuktighet i lamellene vil spikrenes forankringskapasitet avta og lamineringseffekten vil med tiden reduseres. Spikerlaminerte dekker egner seg best til mindre broer med begrenset lastpåkjenning.

#### Tverrspenne dekker

Et tverrspent tredekke kan sammenlignes med spikerlaminert dekke hvor spikrene er erstattet av gjennomgående stålstag som spennes opp med stor kraft. Ved tilstrekkelig stor oppspenningskraft vil friksjonen mellom de enkelte lamellene være stor nok til at konstruksjonen fungerer som en plate med stor stivhet både i lengderetning og tvers på denne. Lamellene som spennes opp kan for mindre broer være trebjelker. For større spennvidder er hver lamell en limtrebjelke.

Et tverrspent dekke kan bygges

opp med massivt tverrsnitt, som T-tverrsnitt (ribber) eller som kassetverrsnitt.

Et tverrspent dekke har tilstrekkelig stivhet i begge hovedretninger til å utgjøre hovedbæring for mindre broer. For større broer benyttes det tverrbærere som overfører kreftene fra dekket til hovedkonstruksjonen. Mindre tverrspenne dekker kan prefabrikeres. Tverrspenne dekker til større broer legges ut og spennes opp på byggeplass/brostedet.

### Kontroll av trebroer

I samarbeid med Vegdirektoratet gjennomfører Treteknisk kontroll av flere trebroer. Dette skjer ved hyppige inspeksjoner av eksisterende broer, samt løpende kontroll av noen store vegbroer.

Under den løpende kontrollen blir parametere som lufttemperatur, tretemperatur, trefuktighet og oppspenningskrefter (tverrspenne dekker) registrert og elektronisk overført for behandling hos Treteknisk. Denne kontrollen gir mulighet til å følge hvordan ytre påkjenninger i form av klima og mekaniske laster påvirker brokonstruksjonen over hele året, og gjennom flere år.

## Eksempler

### *Tomasjordnes bru i Tromsø*

Åpnet: 2006

Konstruksjon, dekke:

Liggende limtre med radius 8 m gjennom gangbanens kurve.

Dekket er også utført med breddeutvidelse.



### *Gjersø bru kjøre- og viltbro Råde i Østfold*

Åpnet: 2006

Konstruksjon:

Limtrebuer og tverrspent dekke sammensatt av 360 mm høye limtrebjelker.

Spennvidde, buer: 40 m

Total lengde: 52,5 m

Behandling, buer: Dobbelt impregnert (Cu og kreosot)

Behandling, dekke: Kreosot.

### *Klemetsrud fotgjengerbro i Oslo*

Åpnet: 2005

Konstruksjon:

Tverrspent dekke med tverrbærere hvilende på søyler.

Spennvidde: 45 m

Total lengde: 160 m

Behandling: Ubehandlet dekke.



## **Tynset bro**

Åpnet: 2001

Spennvidder: 27 m + 27 m + 70 m

Konstruksjon: Buebro.

Største spenn utført med fagverksbue i limtre, tverrspent dekke.

Behandling, fagverk:

CCA og kreosot ("dobbelimpregnert").



## **Flisa bro**

Åpnet: 2003

Spennvidder: 52,2 m + 56 m + 70,3 m

Total lengde: 196 m

Konstruksjon: Fagverksbro.

Behandling, fagverk:

CCA og kreosot ("dobbelimpregnert")

Behandling, dekke: Kreosot.

Verdens lengste trebro for tungtrafikk.

## **Kjøllesæterbrua i Åmot**

Åpnet: 2005

Spennvidder: 26 m + 19 m +

15 m + 45 m + 26 m + 19 m

Total lengde: 158 m

Konstruksjon: Underliggende fagverk i limtre, betongdekke

Behandling, fagverk:

"Dobbeltimpregnert", lamellene impregnert med Cu til klasse A, limtrettverrsnittet kreosotimpregnert til klasse tilsvarende AB.

Dimensjonert for last på 110 tonn (militære tanks).



**Forfatter** Kjell Helge Solli, Treteknisk

**Finansiering** TreFokus AS og Treteknisk

**Foto** Treteknisk, Moelven Limtre AS, SWECO Grøner

**TreFokus** 

TreFokus AS • Wood Focus Norway  
Postboks 13 Blindern, 0313 Oslo  
Telefon +47 22 96 59 10  
Telefaks +47 22 46 55 23  
trefokus@trefokus.no  
www.trefokus.no

**Treteknisk** 

Forskningsveien 3 B,  
Postboks 113 Blindern, 0314 Oslo  
Telefon 22 96 55 00  
Telefaks 22 60 42 91  
firmapost@treteknisk.no  
www.treteknisk.no