



BROBYGGNAD

modell och verklighet

Förebilder, grunder, och modellbyggartips

Stockholms Modelljärnvägsklubb (SMJ) ger ut en serie småskrifter.

**Syftet är att sprida kunskap om modelljärnvägshobbyn,
beskriva de tekniker som är lämpliga inom modellbyggande
och att hjälpa till att på ett trovärdigt sätt
kunna återge de förebilder som hobbyn fokuserar.**

- ❖ -

**Brobyggnad behandlar brohistora översiktligt
och koncentrerar sig på att redovisa förebilder
från brotyper i vårt land.**

**Skriften innehåller illustrationer och förklarande text om stålbroar,
fackverksbroar, betong- och stenbroar samt ett kortare avsnitt om träbroar.**

**Viktiga punkter för modellbyggaren att ta hänsyn till redovisas.
Själva modellbyggandet redovisas översiktligt.**

Brobyggnad är sammanställd av medlemmen
och tillika baningenjören i Stockholms Modelljärnvägsklubb
Lars Juhlin.

2007

Andra utgåvan revision B

Skriften är väsentligt omarbetad och utökad
samt innehåller fler illustrationer än tidigare.

INLEDNING

Undertiteln är basfakta och inspirationskälla. Ett syfte med Brobyggnad är att ge dig en hyfsad kunskapsbas så att du kan bygga egna broar med egen identitet. För det behövs viss kännedom om hur man byggde broar i fullskalan och varför de ser ut som de gör.

Tack för att du köpte det här häftet om brobyggnadsteknik och om vad som är lämpligt att känna till inför ett modellbygge. Det finns förvisso en del andra publikationer på olika språk som du kunde valt bland; så jag är glad över att du valde just det här.

Jag kommer att i de inledande avsnitten kortfattat redovisa hur man byggde broar i största allmänhet. Det avsnittet följs av delar där jag mera ingående redovisar olika brotyper. Anrättningen är kryddad med skisser och foton av broar. Kapitlen kan ses som inspirationskälla, men kan naturligtvis läsas självständigt av den som inte primärt är en blivande modellbyggare.

I de inledande kapitlen om modellbygge kommer jag inte att fokusera på rena hantverket med lödning, lim, jigggar, mått etc. Vill du veta mera? Då förslår jag att du läser vidare i t.ex. SMJ:s häfte **Lödning** som går in på mer specifika tekniker i modellbygge.

Se det också som ett referensverk som kräver lite bläddrande för att få svar på frågor och få termerna förklarade.

En grundregel är man skall komma ihåg att en bro alltid är en individ. Den är byggd för en speciell plats och under speciella förutsättningar. Bygget har påverkats av tidsepok, konstruktionsprinciper, materialval, arkitekturstilar, typ av trafik, belastningar, terrängens utseende, grundförhållanden, byggherrens ekonomi, vindtryck, vattendragets läge,

vattendragets djup, segelfri höjd, lägsta/högsta vattenstånd, isförhållanden etc.

Det gäller att välja en broförebild som passar i din modellvärld både vad gäller tidsepok, spännvidder och brotyp. Du måste vara rimligt bekant med förebilden för att förstå vad som är väsentligt att ta med – och vad som med fördel kan utelämnas. Det behövs alltså viss kännedom om hur man byggde broar i fullskalan och varför de ser ut som de gör.

Jag skall kortfattat gå igenom vissa styrande faktorer i formgivningen av en bro – utan att du behöver fylla en pärm med tekniska anvisningar i brobyggnadsteknik, konstruktionsritningar, beräkningar, dimensioneringsformler, tabeller m.m. Litteraturen i fullskalan är mycket omfattande. Att konstruera fullskalebrot är ett yrke; att bygga dem likaså.

Skriften bygger på faktaunderlag från *Handboken Bygg* (äldre väg- och vattenbyggares teknikk Bibel) och SJ:s handbok *Banlära* (båda banden av 1916 års upplaga). En del gammal kurslitteratur i brobyggnad från min studietid för decennier sedan har jag också gått igenom.

Webblänkar till några engelska brosidor har gett kompletterande stoff. Likaså har skriften *Bridge and Trestle Handbook* trots sin mycket amerikanska prägel gett kompletterande pusselbitar om utvecklingen inom brobyggnadskonsten för järnvägsändamål. Samtliga ritningar är gjorda i Adobe Illustrator. Fotona är plockade ur mitt amatörfotoalbum, såvida det inte anges särskilt, och bearbetade i Adobe Photoshop.

Nog med programförklaringar. Nu till ämnet!

Lars Jublin

Baningenjör vid SMJ



Äldre stenbro (kalksten) vid Vämb's kyrka utanför Skövde.

Efter äldre vykort



Äldre rullbro över Strömsholms kanal.

Surabammar 2002

BAKGRUND OCH LITET BROHISTORIA

ETT BROBYGGE TAR TID, kräver kunnigt folk och är dyrt. Viktigt har alltid varit att få bron så kort som möjligt. Många olika typer har byggts under århundradena och med olika förutsättningar.

Förr byggdes broar nära botten av hindret. Anslutande vägar fick vindla sig ner till botten av dalen tills man nådde den trängsta passagen. Där byggde man bron. Och sedan fick vägen vindla upp på andra sidan.

För järnvägsbroar gäller andra förutsättningar. Stigningarna måste vara minimala och kurvradierna måste vara stora. Att på vägmanér ringla sig ner till botten av dalen är olämpligt. En järnvägsbro måste alltid spänna över mer än själva hindret. Inte nog med att en järnvägsbro blir längre än en landvägsbro. Dessutom blir kringarbetena med skärningar och bankar mera omfattande. Principer som numera även gäller för modernt motorvägsbyggande.

Det finns många av de gamla broarna kvar. Valet av brotyp styrdes av tillgång på material, tillgång på kunskaper och tillgång på tillverkningskapacitet i trakten. Broprojektering är komplicerat och förr var beräkningarna dessutom både svåra att göra och omfattande. Det begränsade friheten i utformningen till ett antal beprövade modeller. Modern broprojektering har andra förutsättningar men är fortfarande ett yrke. Numera finns vassa ADB-program som underlättar beräkningsarbetet.

Rent allmänt kan man ställa följande krav på en bro:

- En bro måste tåla stora belastningar. Den måste vara utformad så att man får gynnsamma lastfall och att man kan utnyttja materialet optimalt.
- En järnvägsbro måste kunna klara stora dynamiska krafter och med kraftiga variationer.
- En bro skall vara enkel att tillverka för att kunna hålla kostnaderna nere.
- En bro i stål måste vara utformad så att den är lätt att montera på platsen om den är prefabricerad.

- En järnvägsbro skall vara utförd så att det är lätt att lägga ut och fästa räls på den.

Vid projekteringen av brobygget måste man gå in mera i detalj och bl.a. ta hänsyn till ett antal punkter. Svaren på punkterna leder till olika alternativa lösningar:

- Vilka spännvidder gäller? Kan man ha mellanstöd?
- Vilka grundläggningsförhållanden gäller? Vad består botten av? Är det torr, bergig, stenig, sank mark?
- Hur tung trafik kommer att passera? Vilka hastigheten kommer man att tillåta? Det vill säga, vilka laster kommer att uppträda?
- Vad är det som bron skall överbygga? Är det en älv, en å, en dalgång, en ravin eller en trafikled?
- Skall det gå trafik under bron. Vilket fritt utrymme behövs i så fall under bron? Vilka höjder finns från järnvägsbanken och brobanan ner botten?
- Är det ett nybygge eller en ersättning?
- Hur är det med isförhållanden?

Äldre bro i träkonstruktion med mellanstöd i granit. Notera de spetsformade ändarna på stöden vända uppströms för att minska risken för isbrötar.

Arboga 2004



- Vilka hög- och lågvattennivåer finns på byggsplatsen?
- Vilka färdigställandetider gäller?
- Vilka kostnadsramar gäller?
- Vilken konstruktionsprincip och vilket konstruktionsmaterial skall väljas mot bakgrund av ovanstående punkter?

Massbalans

I äldre järnvägsprojektering och byggande gällde det att så långt som möjligt undvika kostsamma och tidsödande specialbyggen (bankar, tunnlar eller broar). Det var ofta billigare att förlänga banan något och gå runt ett hinder. Tunnlar på det svenska järnvägsnätet är därför mera ovanliga i verkligheten än på våra modelljärnvägsanläggningar.

Vid projektering av en bana eftersträvar man att järnvägens höjdprofil har balans i massorna. Det material man schaktar eller spränger bort på ett ställe skall kunna användas till fyllning i bankar i närheten. Helst ska inga större massor behöver köras på tipp eller kompletterande massor hämtas från annat håll. Om man vid projekteringen upptäcker att den valda höjdprofilen leder till att schakt- och fyllnadsmassor i linjen, i sidotag eller i sidotipp inte balanserar. Då är det bara att börja om med en ny och bättre linjeprofil. Normalt behövs flera försök innan man nått ett bra resultat. ADB-stöd förenklar processen.

Man försöker i det längsta att *undvika* ett brobygge. En bank kan vara bättre än en bro. Men stora bankar kräver ofta så stora massor att material måste köras fram från

något sidotag längre bort. Den ekonomiska kalkylen för bankbyggnad skall ställas mot kostnaden för brobyggnad. Strävan skall vara att göra bron så kort som möjligt. Är bankarna stora och långa behövs det öppningar för vatten, vägar, kreatur etc. Man lägger in vägportar och kulvertar.

Brobygge var inget jobb för de vanliga rallarna med undantag för enklare dikesbroar och kulvertar. Det behövdes kunnigt fackfolk. Nitning av stålbroar krävde stor yrkeskunskap. Tillverkningen var beroende av verktygsmaskiner och var inte lämpligt som fältarbete. Sådana broar byggdes helst på verkstad och i så stora sektioner som det gick att transportera till broslagningsplatsen för slutmontage (innebar ofta knepiga transporter och montage).

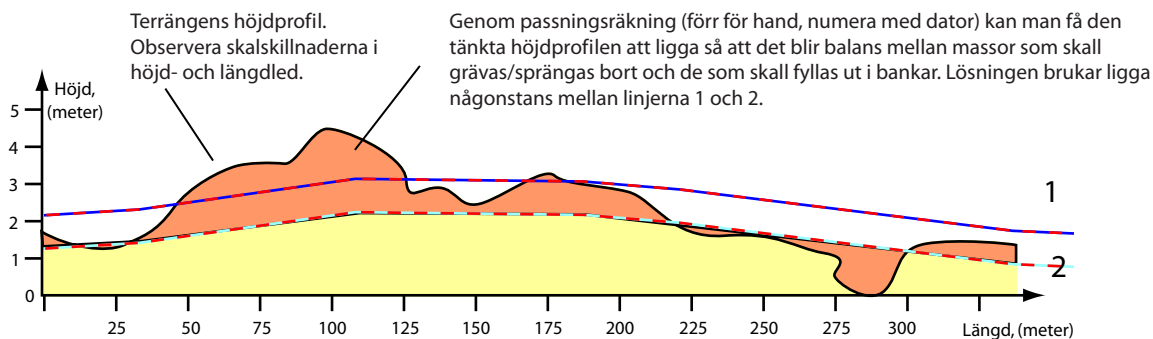
Sten- och betongbroar byggdes på plats av mer eller mindre specialiserade entreprenörer. På byggsplatsen/montageplatsen behövdes ofta omfattande ställnings- och formbyggen. Det innebar att brobygge alltid blev kostsamt även av det skälet. Brobygge vid järnvägsbygget var därför av flera skäl ett nålsöga.

Summa summarum

Brobyggen försökte man undvika om det gick. Gick det inte så valde man att göra bron kort och så enkel som möjligt. Brobygge i sig var inget självändamål.

Olika brobyggnadsmaterial

De vanligaste materialen som använts inom brobyggnadskonsten är trä, natursten, tegel, järn och betong. Låt oss gå igenom dem var för sig.

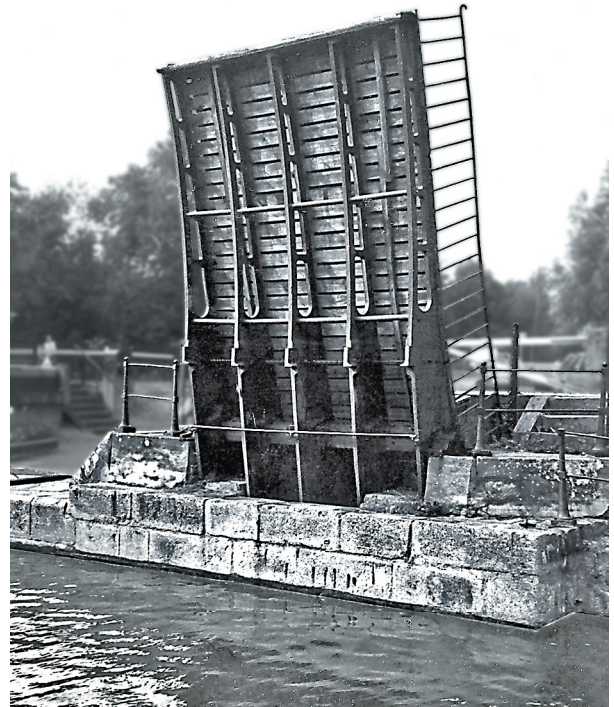


Linjens höjdläge bestäms genom att balansera massorna på det valda avsnittet.



Landsvägsbro i granit.

Trakten av Lilla Edet, 2000



Ena klaffen av klaffbron över Göta Kanal i Forsvik, Västergötland. Brons bärande delar är av gjutjärn. Bron är en av de äldsta bevarade järnbroarna i Sverige. Invigd 1813.

Foto från 1998

Trä

Träbroar har en lång tradition som vägbroar, inte minst i det sekundära vägnätet. Normalt används trä i broar med relativt korta spännvidder. Men undantag finns både beträffande storlekar och konstruktionsprinciper. Bron över Dalälven vid Älvkarleby är ett sådant exempel.

Övertäckta träbroar finns i andra länder (minns t.ex. filmen *Broarna i Madison County* som gick för en del år sedan). Men brotypen är ovanlig i Sverige.

Trä som byggnadsmaterial används inte i svenska järnvägsbroar annat än i rena provisorier.

Sten och tegel

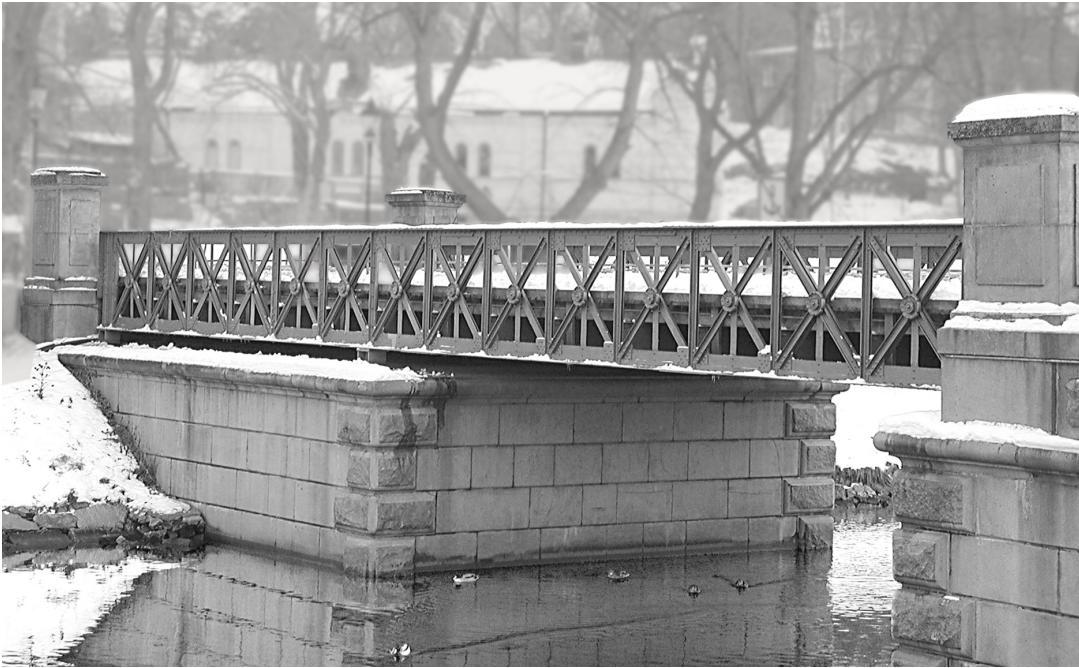
Broar av sten och tegel kan bära avsevärda laster. Materialet kunde som regel hämtas i närheten av byggplatsen. Vid varje form av murverk är bågar och valv det enda tänkbara sättet att spänna över ett hinder. Stenbroar är den äldsta

genomarbetade konstruktionen. De romerska akvedukterna imponerar än i dag.

Broar av **tegelmurverk** är relativt ovanliga i Norden till skillnad mot nere på kontinenten. Vårt kalla klimat går hårt åt oskyddade tegelkonstruktioner.

Däremot är det gott om **naturstensbroar** i vårt land. Sten (och även betongbroar) har lång livslängd, enklare underhåll och ofta ett fördelaktigt utseende. Nackdelen är begränsade spännvidderna och höga anläggningskostnader.

Antalet järnvägsbroar med stenmaterial har helt naturligt minskat. Den största stenbron för järnvägstrafik är SJ-bron över Pakkojokk (1925) vid Inlandsbanan. Den har en spännvidd på 20 meter. Nya byggs inte och äldre tas ur bruk vid linjeupprustningar och linjerätningar. Däremot finns i vårt sekundära landsvägsnät fortfarande ett stort antal gamla stenvalvbroar.



Äldre svängbro över Djurgårdsbrunnskanalen, Stockholm.

Foto L-G Fredriksson 2004

Järn- och stålbroar

På 1830-talet kommer gjutjärnet i bruk och skapar möjligheter att ersätta sten och trä som konstruktionsmaterial. Gjutjärn klarar stora tryckkrafter men endast låga dragkrafter. Det begränsade användningen. I början handlade det om korta vägbroar. Men det dröjde inte länge förrän man lärde sig att använda gjutjärnet även till järnvägsbroar. Ett exempel på en sådan är klaffbron i Forsvik, byggd 1813.

I mitten av 1800-talet kommer det fram nya metoder för effektiv stålframställning (Bessemermetoden 1855). Därmed skapades förutsättningar att masstillverka räls och valsade stålprofiler till rimliga priser.

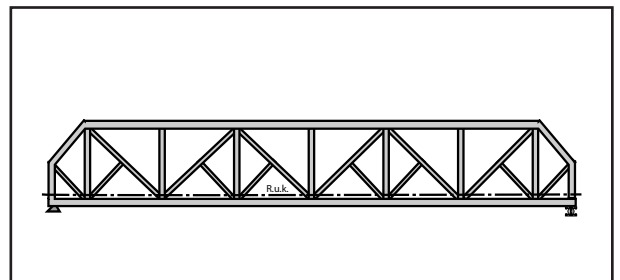
Fackverksbroar i stål blev vanliga på 1870-talet. Ett stort antal olika typer av fackverksbroar utvecklades och patenterades.

Genom stålets möjlighet till ofta komplexa utformningar är stålbroar en brotyp som är vanlig och populär även bland modellbyggarna.

Stålet har många fördelar. Brons egenvikt är lägre än andra typer. Konstruktionshöjden är lägre. Spännvidderna

kan göras mycket stora. Hela eller delar av bron kan tillverkas på verkstad inomhus. Brons delar kan monteras på plats utan att årstid och kall väderlek stör alltför mycket. Stålbroar är relativt lätta att förstärka.

Vid spännvidder över 50 m har det varit lämpligt att använda ett bågformade fackverk med bågen krökt uppåt (halvparabelfackverk). Det största enkla balkspannet med



Exempel på en äldre typ av fackverksbroar för järnvägsdrift. Det var inte ovanligt att konstruktionerna patenterades. Efter första världskriget är fackverk av Warrentyp en av de dominerande brotyperna.

Bl.a. efter Bygg



Bågbro i betong avsedd för landsvägstrafik.

Björkvik, Södermanland 2004



Modern järnvägsbro i betong på Svealandsbanan. Konstruktionen är en ihålig ladbalk; kontinuerlig över bronns hela längd.

Eskilstuna 2003

sådant fackverk är bron över Nordre älv (84 m), byggt 1906.

Vid stora spännvidder används ofta så kallade kontinuerliga balkar eller konsolkonstruktioner. Bron över Skellefteälv (61 m) är utförd enligt den principen (1940-talet). Se illustrationen till den äldre Forsmo–Hotingbron.

Båge med dragband har kommit till användning vid byggandet av Årstabron 1931 (151 m).

Hängbroar slutligen medger de längsta spännvidderna (Tjörnbron, Hisingsbron, Höga kustenbron, Öresundsbron).

Redan mycket tidigt började man använda nitade plåtbalkar. En plåtbalk är en I- eller H-formad profil med ett högt liv. Balken är sammansatt av olika standardprofiler. Plåtbalkar är billigare att tillverka och att underhålla än fackverksbalkar. De har större sidostabilitet än fackverken vilket är betydelsefullt om spåret ligger försänkt. På 1930-talet började svetsningstekniken bli vanlig. Sedan 1940-talet svetsas alla plåtbalksbroar med några få undantag.

Betongbroar

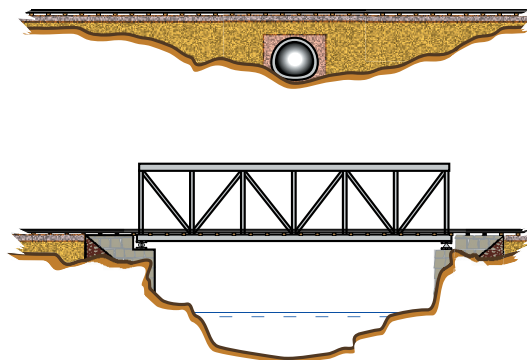
Men stål och sten är inte de enda konstruktionsmaterialen. Betongen började användas i mindre broar redan kring det förra sekelskiftet. Sedan gick utvecklingen inom betongtekniken snabbt. Att gjuta betong ersatte sedan raskt det traditionella stenbrobyggandet. Att gjuta betong ersatte snart även traditionellt stålbyggande. Ett stort antal järnvägsbroar är tillverkade av armerad betong.

Det byggdes flera större järnvägsbroar i betong redan efter första världskriget. Bron över Öre älv vid Nyåker på Norra stambanan (1919) var på sin tid det största betongspannet i landet. Moderna broar med rimliga spännvidder görs numera nästan uteslutande i armerad betong.

Bro, viadukt eller en kulvert

En bro är definitionsmässigt en konstruktion som för en väg, järnväg eller ett vattendrag överbryggar ett hinder. Om det är ett antal broar efter varandra, särskilt om de är korta i förhållande till höjden så brukar man benämna dem viadukt. Exempel är viadukten i Söderhamn (gamla spårdragningen genom staden) eller Västkustbanans viadukt i Göteborg. Vägbroar brukar kallas viadukt oavsett typ eller spännvidd.

Om bron leder ett vattendrag eller kanal över hindret kallas den akvedukt. Akvedukterna i Dalslands kanal i



Två typfall när en kulvert respektive en bro är det lämpligaste fallet. I långsträckt svackor kan en bank i kombination med en kulvert vara den mest fördelaktiga lösningen. Motsatsen gäller vid större höjdskillnader och där det som skall passeras har begränsad utbredning; t.ex. en väg eller ett vattendrag.

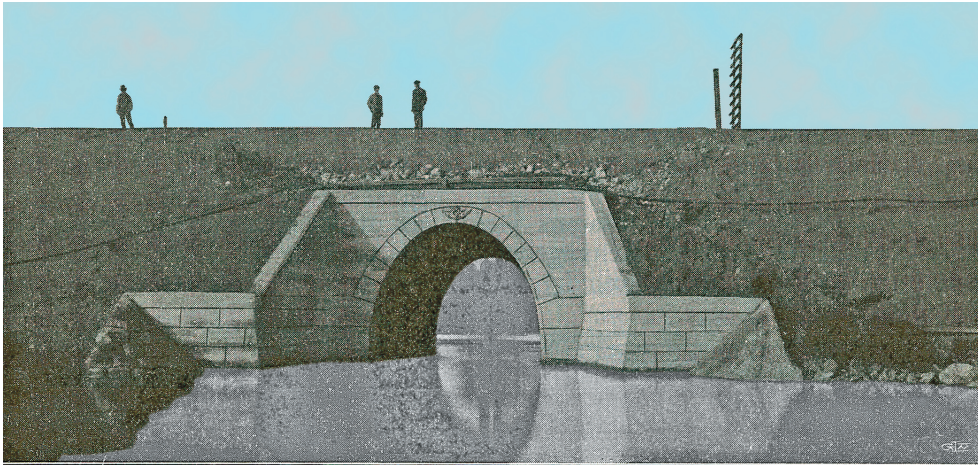
Håverud respektive Göta kanal i Borensberg är några exempel.

Kulvert är en passage genom en väg- eller järnvägsbank. De behövs för att släppa igenom vatten, kreatur och människor. Större gångtunnlar under spåren är inte ovanliga på huvudstationer. När man avleder vatten använder man normalt rör. Materialvalet varierar beroende på rördimension (stål, korrugerad, plåt, betong, natursten, plast). Banvallen vid in- och utloppet av en kulvert är ofta in-



Större kulvert av betong.

Från trakten av Moskosel, Lappland 2005



Betongkulvert vid Järna där Nykvarnsån korsar stambanan. Kulverten ersatte en kort plåtbalkbro med parabelformad underfläns. Bild ur Banläran från invigningsåret (1914?).

fordrad med sten eller betong för att förhindra erosion. Gränsdragningen mellan kulvert och bro kan vara diffus.

Längs en järnväg är det vanligare med kulvertar än broar. De anläggs på varje ställe där det finns anledning att släppa fram eller igenom vatten. Av någon anledning är förhållandet det omvända på en modelljärnväg. Det borde finnas fler kulvertar.

Olika brotyper

När jag i fortsättningen beskriver och klassificerar en bro utgår jag ifrån skillnaderna mellan typerna:

- Är bron fast eller rörlig?
- Är brobanan genomgående eller ovanpåliggande?
- Vilket konstruktionsmaterial har använts (trä, stål, murverk eller betong)?
- Hur har de olika brodelarna sammanfogats (nitning, svetsning, bultförband etc.)?
- Vilken konstruktionsprincip har använts (enkla balkbroar, kontinuerliga broar, fackverksbroar, sammansatta konsolbalkbroar, bågbroar, hängbroar m.m.).
- Hur ser de bärande delarna ut (enkla balkar, plåtbalkar, fackverk, bågar etc.)?



Trägångbro. Brobanan av trä bärs av brobalkar av limträ.

Stockholm september 2006

Fasta eller rörliga broar

Broar kan användas på olika sätt. Här är några av de vanligaste brotyperna.

Fasta broar innebär att de inte kan t.ex. lyftas eller svängas. De fasta broarna är dominerande i antal.

Svängbroar roterar runt en vertikal axel.

Klaffbroar roterar uppåt kring en horisontell axel.

Lyftbroar lyfter brobanan såsom en hiss.



Bågbro mellan Stockholm och Lidingö. Tidigare – innan en modern landsvägsbro byggdes – samsades både spårvägs- och biltrafik på bron.

Augusti 2006

Skjutbroar skjuts undan tvärs hindret för att medge passage.

Vändskivor och parallelltransportanordningar är en variant av rörliga broar. Används för att hantera lokomotiv och vagnar.

Ovanpåliggande eller genomgående brobana

Med begreppen ovanpåliggande eller genomgående brobana menas att brobanan är placerad så att fordonen antingen färdas på brons ovansida eller att brobanan går igenom brokonstruktionen. Alternativt går den mellan brobalkarna. En bro med genomgående brobana ger större frigångshöjd under bron än vad en bro med ovanpåliggande brobana gör. Samtidigt är den genomgående bron dyrare för samma spännvidd och belastning och dessutom svårare att styva upp. Det är inte helt ovanligt att modellbyggare har valt en brotyp med genomgående brobana när en

ovanpåliggande skulle vara mera korrekt och passa bättre. Du bör i första hand välja brotyp med ovanpåliggande brobana.

Konstruktionsmaterial

Vid val mellan olika material brukar man välja den lösning som ger den lägsta summan av anläggningskostnaderna och framtida underhållskostnader.

Betong

I Sverige blir armerade betongbroar i allmänhet billigare i jämförelse med andra typer. Betongbroar har byggts i stort antal och av betydande storlek. Landfästen, pelare och brobaneplatta utförs i regel också av betong.

Fördelar: Stora spännvidder, litet underhåll, lång livslängd, tilltalande utseende och ljuddämpande.

Nackdelar: Omfattande och dyra ställningar. Eventuella skador är svåra och dyrbara att reparera. Förstärkningar och förändringar svåra eller omöjliga att göra.

Stål

Används i överbyggnaden till huvudbalkar och sekundärkonstruktioner samt till förband och räcken. Stål kan användas i underbyggnaden i de pelare som ligger ovanför mark och vattenyta. Rörliga broar utförs alltid i stålkonstruktion.

Fördelar: Stora spännvidder, lätta och smäckra konstruktioner, kort monterings- och underhållstid, lätta att förstärka och förändra. Stålkonstruktioner kräver obetydliga eller inga fasta ställningar. Vid en modernisering går det snabbt att byta en stålbro.

Nackdelar: Ofta lång leveranstid, ständigt och kostsamt underhåll, stora elastiska formförändringar och svängningar. Bullersamma.

Sten

En äldre och stabil teknik. Vanligt förekommande, framför allt som äldre vägbroar.

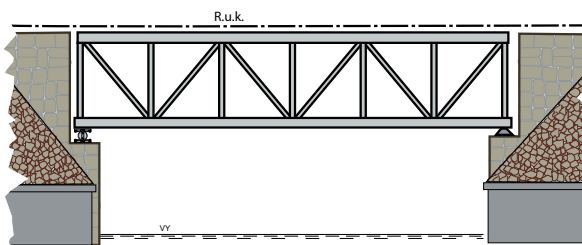
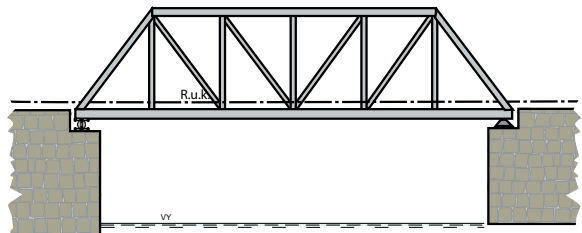
Fördelar: Stenbroar kunde man bygga på platsen med lokalt material och med lokal arbetskraft. Litet underhåll och nästan obegränsad livslängd. Estetiskt tilltalande. Små elastiska formförändringar och svängningar. Ljuddämpande och relativt okänsliga för belastningsökningar.



Vägport i natursten. Porten har senare byggts på och förstärkts med ett betongdäck. Dubbelspårslinjen mellan Östertälje och Södertälje.

Sept. 2003

Nackdelar: Omfattande och dyra ställningar, korta spännvidder, många och tjocka pelare som kan hindra isgången i ett vattendrag och förorsaka dämning. Nyproduktion förekommer inte efter 1930-talet bl.a. på grund av kostnaderna och begränsade spännvidder. ❖



Bro avsedd för genomgående trafik respektive där brobanan ligger ovanpå brokonstruktionen. Den senare lösningen är att föredra – om den fria höjden under bron medger det.



Klaffbro i stålkonstruktion Danvikstull, Stockholm. Bron har en överliggande motvikt av betong.

Sept 2004

TILLÄMPNINGAR I MODELLBYGGE

ETT BROBYGGE I MODELL görs oftast för att förstärka en landskapseffekt eller för att klara svårigheter i spårplanen. Realistisk, en tydlig förebild och en trovärdig uppgift måste finnas även för en modellbro.

Exempelvis hade en amerikansk MJ-klubb en anläggning där landskapet innehöll en bred flack dalgång närmast väggen. För att höja den sceniska effekten lade man in en lång spegel mot väggen och byggde en balkbro i flera spann längs spegelns överkant (analogt Årstabröns betongavsnitt). Bron gjordes smalare än normalt och pelarna gjordes endast med halva bredden. Spegeln kompletterade intrycket av vidsträckt dalgång med en magnifik dubbla pelarstöd.

Användning

När man installerar en bro på en anläggning så blir den en del av landskapet. Det är viktigt att man väljer en brotyp som kan vara tänkbar att finna i en liknande terräng och på en riktig järnväg. Den bör ha samma bärighet och tillhöra samma tidsepok som modellenläggningen avbildar. Det finns inget givet facit över exakt vilken brotyp som är den mest lämpade för en viss spännvidd, under en viss period, med bestämda lastfall och i en viss terräng. Inte desto mindre kan man genom att analysera de påverkande faktorerna en efter en eliminera de typer som är otänkbara.

Här är fyra enkla regler för vilka typer som bör undvikas.

- Typer som är uppenbart utländska. Ett ganska vanligt fel är att välja brobyggnadssatser för mellaneuropeiska eller amerikanska brotyper. Således brotyper som aldrig har förekommit i Sverige.
- Brotyper som uppenbarligen inte skulle klara belastningarna på en riktig järnväg.
- En hängbro avsedd för järnvägsdrift.
- Nedskalning och förändring av längd.

Oavsett vilken spännvidd som behövs på en anläggning

och vilket lastfall som avbildas så bör du kunna hitta en passande brotyp. Det finns därför ingen anledning att korta av en brotyp till spännvidder och dimensioner där den i verkligheten aldrig skulle bli byggd. Välj en annan brotyp istället.

Variation skapar intresse. Försök därför att välja så många olika brotyper som möjligt.

Tidsperiod

För dig som är modellbyggare är det viktigt du håller dig till den tidsperiod som gäller för din bana. När du väljer brotyp måste du därför ställa den behövliga spännvidden i relation till den epok som anläggningen efterbildar. En brotyp som t.ex. uppenbart inte kom i allmänt bruk förrän på 1950-talet är direkt fel att använda på en anläggning som avbildar järnvägstrafik på 1920-talet. En genomgång av brobyggnadshistorien eliminerar att antal typer som omöjliga i ditt val. Här finns förvisso en tidsmässigt lång gråzon när en konstruktionsprincip minskar i användning allt medan nyare metoder växer fram.

Men det räcker inte med det. När du planerar ditt modellbygge måste du också klara ut vilka materialval och konstruktionsprinciper var de vanligaste vid den tiden. Fel vald brotyp kommer att se konstigt ut för en kunnig besökare.

Ett säkert kort är broar med parallellfackverk enligt figur i kapitlet om fackverksbroar. De är tidiga brotyper och kom i bruk redan innan 1900 och används långt in i vår tid; flera är fortfarande i bruk.

Spännvidder

En bros spännvidd beror liksom brolängden i första hand på det fria utrymme som behövs under bron. Om det förekommer sjötrafik eller flottning undersöker man om fria utrymmet kan minskas genom särskilda anordningar såsom ledverk, ledlänsor eller strömalstrare. I allmänhet gäller att vid ökade spännvidder stiger kostnaden för pelare långsammare än kostnaden för överbyggnaden. Om

bro längden är stor och bron görs i ett spann blir den totala kostnaden för underbyggnaden relativt låg, men hög för överbyggnaden. Om det är dåliga grundförhållande och det finns risk för sättningar bör bron vara fritt upplagd på fundamenten och inte ha några mellanstöd.

Man bör inte heller välja brotyper som skulle utsättas för krafter vars storlekar är osäkra eller svåra att bestämma t.ex. kraftiga vårflöden och isskruvning.

Landfästenas lägen beror i första hand på hur mycket fritt utrymme man har under bron. Båttrafik och biltrafik m.m. inskränker ju på den fria höjden. Vissa konstruktionstyper blir därför omöjliga att använda. Här lite vägledning:

Icke segelbara vattendrag

Välj brotyp utifrån belastning, spännvidd och epok. Har du en anläggning som avbildar norrländska förhållanden? Då får inte fria höjden under bron vara så låg att bron skulle riskera att ta stryk vid islossning och högvatten (om det vore verklighet). Genomgående brobana är då att föredra.

Segelbara vattendrag

Se till att du klarar den segelfria höjden. I många fall behöver du välja en brotyp med brobana gående igenom konstruktionen (plåtbalkbroar eller fackverksbroar). Öppningsbara broar bör undvikas om det går (både i verkligheten och i modell är de komplexa och fördyrande konstruktioner).

Mycket att tänka på, men kan i modell leda till fler intressanta kompletteringar till själva bromodellen som visar att du är en insiktsfull järnvägsägare.

Trafik

Anpassa brotypen efter den trafik som skall gå över den. En påkostad betongbro på ett sidospår känns fel, en äldre stenbro på en huvudlinje med snabb och tung trafik stämmer inte heller.

Den tillåtna hastigheten måste beaktas. Horisontella kraften från ett tåg i rörelse kan vara mycket stor. Den kan ha större påverka än kraften från tågets tyngd, särskilt om det är en mindre bro. Hastighetskomponenten medför att vissa äldre fackverkstyper är direkt olämpliga på höghastighetslinjer. Välj styva konstruktioner med parallellfackverk. Men är din bana en linje med låga eller måttliga hastigheter så är dina valmöjligheter rimligt stora.

Brodimensionerna styrs av den typ av trafik som gick på banan. Vid huvudlinjer med tung godstrafik beräknade man att broarna skall tåla ett axeltryck på 25 ton. SMJ är en sådan bana. Bibanor med lättare trafik fick naturligtvis broar som var avpassade för de belastningsfallen. Många järnvägsbolag fick i efterhand bygga om och förstärka broarna när last- och tågvikterna ökade. Tabellen i kapitlet om brodimensionering lite längre fram ger viss vägledning i valet.

Material

Genom att förstå hur man väljer konstruktionsmaterial och konstruktionsmetod i fullskalan kan du lättare göra det val som behövs till hemmabanans broar. Var förebildstrogen och försök i möjligaste mån efterlikna ursprungsbron. I verkligheten har materialvalet nämligen stor betydelse för valet av både brotyp och utformningen av brodetaljer. Spännvidderna i sin tur styr vilka materialval som kan komma i fråga. Brokonstruktörer väljer sina material där de gör bäst nytta. Även om detta i modellbygge inte påverkar hållfastheten ett smack så bör man ändå fånga det som är karakteristiskt. Här är några vägledande synpunkter:

- Stenmaterial och trä kan ta stora trycklaster men små dragkrafter. Spännvidderna är begränsade.
- Stål klarar dragkrafter bäst och ger möjlighet till broar med stora spännvidder och stor variationsrikedom på utformning.
- Betongens dragförmåga kan förbättras med armering (stål) och gör att man prestandamässigt kan likna det med stål. Designen är friare än för stålbroarna.

Bromontage

En intressant del är själva bromontaget. Det är något som sällan modelleras, men som mycket väl skulle lämpa sig för det. Den vanligaste metoden att montera en stålbro är att först bygga ställningar i timmer och stålbalkar, starka nog för att kunna bära den färdiga bronns hela vikt. Därefter lyfts de prefabricerade brosektionerna på plats. De vilar på ställningen medan de nitas eller skruvas ihop. Man placerar ställningar för byggande och montage på vattendragets botten om djupet inte är alltför stort. Ställningarnas konstruktion och utförande är viktig. Det gäller speciellt om byte av överbyggnaden görs medan banan är trafikerad. Sådana byten kan genomföras på några timmar mellan två



Modellbro med Järlebron vid NBJ som förebild. Bron är byggd av mässingsprofiler. Måtten har modifierats något för att passa på SMJ:s anläggning. Jämför gärna med bilderna på den riktiga bron i avsnittet om Fackverksbroar.

Foto Sven Nordström 2006

tåg. Men det kräver ytterst noggranna förberedelser och att man har tillgång till specialutrustning.

Terrängen

I ett modellbygge skall du ta hänsyn till landskapets/terrängens utseende vid brovalet – precis som i verkligheten.

Den omgivande terrängen styr starkt valet av brotyp. Alternativt får du omforma landskapet till att bättre passa bromodellen du byggt. Branta dalsidor och raviner brygger man lämpligast över med bågbroar – om marken och fundamentena ger intryck av att klara ”de stora belastningarna”. Stålbroar används vid större spännvidder. Kanske en stenbro vid korta. Är inte höjdskillnaderna för stora kan du välja en konsolbalkbro med ett eller flera mellanstöd.

Kort brolängd, litet vattendjup och goda grundförhållanden försöker man alltid att uppnå i fullskalan. Lägg dessutom anslutningarna helst i rak linje och undvik att lägga själva bron i kurva. Konstruktionen skulle i verkligheten bli krångligare och järnvägsförvaltningen skulle sannolikt försökt välja ett annat broläge. Bron bör också läggas så att den går vinkelrätt över vattendraget eller den korsande trafiken. Vid små broar skulle det i verkligheten till och med vara lönande att göra om vattendraget på en

kortare sträcka och ändra dess läge. Strävan är hela tiden att få brostöden i rätt vinkel mot bronns längdriktning. Ta fasta på det och gör så också i modell.

Brolängden påverkar kostnaderna starkt. I regel har man placerat bron så att man kommer ut på bron via en bank. Ju längre bankar man gör desto större blir den totala kostnaden för dessa, men samtidigt blir kostnaden lägre för själva bron och vice versa. Det gäller i fullskalan att finna det optimala kostnadsläget. I modell bör det åtminstone finnas en antydning till det sambandet. Gå gärna till avsnittet om massbalans.

Landfästenas höjd bör inte överstiga 11–14 cm (10–12 meter) vid ”goda grundförhållanden”. Vid dåliga grundförhållanden, t.ex. där entreprenören skulle behövt påla, bör landfästenas höjd vara högst 7–9 cm (6–8 meter).

En bro bör infogas så naturligt som möjligt i sin omgivning. Det innebär öppen sikt, bakåtsvepta landfästen, mjuk linjeföring och en jämn övergång från bank till bro. Om höga bankar är estetiskt störande eller sikthindrande väljer man att bygga en kompletterande bro som leder ut till huvudspannet. Jämför med Årstabron i Stockholm och den gamla bron på linjen Forsmo–Hoting. ❖

DIMENSIONERING AV EN MODELLBRO

BÄST ÄR ATT HA en riktig bro som förebild. Där får du mått och dimensioner och kan studera konstruktionens detaljer. Vid anpassningar och frilansbygge kan lite enkla dimensioneringsvärden vara till hjälp.

Det är omöjligt att på ett fåtal sidor kunna komma så långt att du själv skulle kunna göra överslagsmässiga beräkningar av den brotyp som du tänker bygga. Om dina spännvidder inte överensstämmer med fullskaleförebilden får du nöja dig med att försöka proportionera dimensionerna.

I skala H0 får man mycket starka konstruktioner även vid stora spännvidder oavsett vilka material och konstruktionsprinciper du väljer. Om man i fullskalan fördubblar spännvidden, bredden och höjden ökar areorna med en faktor fyra – och därmed även bronns egenvikt. Det kan innebära att medan en brokonstruktör kämpar med att få bärkraftiga och stabila konstruktioner bör en modellbyggare se till att stora dimensionsökningar syns även i ett modellbygge.

Försök att vara trogen originalets begränsningar. Överutnyttja inte modellbyggets konstruktionsstyrka. Välj därför förebild med omsorg.

Broar i ett spann

Spännvidder upp till ca 12–14 meter

I sådana broar är de bärande balkarna ofta helvalsade balkar. Vanligen innehåller ett sådant balkspann fyra stycken likadana balkar per spår. Vid mycket små spännvidder består bron endast av två eller flera helvalsade balkar som är direkt upplagda på landfästena och som bär spåret utan några förbindande tvärbalkar.

Spännvidd upp till 15–18 meter

Vid dessa spännvidder är plattrambroar i betong de mest ekonomiska. Även fritt upplagda stålbroar och fritt upplagda betongplattbroar kan vara fördelaktiga. I balkbron är helvalsade balkar billigare än svetsade plåtbalkar.

Spännvidder 18–30 meter

Här väljs lämpligen plåtbalkbro, betongbalkbro eller rambro i betong.

Spännvidder 30–60 meter

Stålbalkbron konkurrerar med betongbalkbron. Inom järnvägsbyggnad blir fackverksbroar fördelaktigare redan vid spännvidder omkring 40–50 meter. Det beror på att det behövs styva konstruktioner för den stora trafiklasten.

Spännvidder över 60 meter

Vid spännvidder över 60 meter börjar bågbron att bli lönsam för att ha sin största användning vid spännvidder över 70 meter. I det undre spännviddsområdet är stålbroar och bågbron ungefär likvärdiga.

Bågbroar kan vara konkurrenskraftiga inom hela området från ca 60 m upp till ca 500 m. De kan utföras med betongbåge eller stålåge.

Broar i flera spann

Om inte grundförhållandena lägger hinder i vägen så är det som regel fördelaktigt att utnyttja möjligheten att utföra kontinuerliga konstruktioner i flera spann.

Delspännvidder upp till 20 meter

Den kontinuerliga plattrambro är mycket användbar. På samma sätt passar den kontinuerliga stålbro. Den är enkel och lätt att bygga.

Delspännvidder 20–30 meter

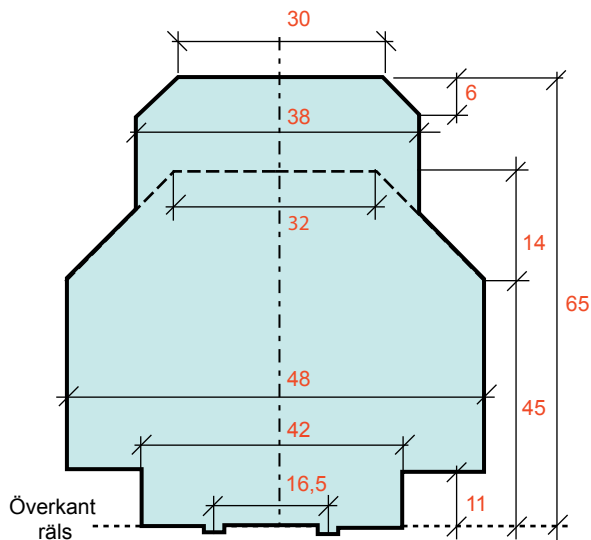
Den kontinuerliga stålbro eller betongbalkbro är lämplig.

Delspännvidder över 30 meter

Den kontinuerliga stålbro och betongbalkbro dominerar, men även bågbron är lämplig.

Fritt utrymme i sidled

Vid nybyggnad och ombyggnad av bana och bangårdar gäller nedanstående normalsektion.



Normalsektion för rakspår enligt NEM-norm 102. Alla mått i mm.

Ligger banan i kurva måste sektionen ökas med minst värdena i tabellen (mått i mm). Vid fristående pelare i en vägbro över järnvägen skall fria utrymmet i sidled vara

Kurvradi i mm (H0)	Utvidgning av sektionen på vardera sidan (mått i mm)		
	A	B	C
400	7	11	14
600	4	6	9
800	3	4	6
1 200	1	2	3
1 400	1	2	2
1 600		1	2

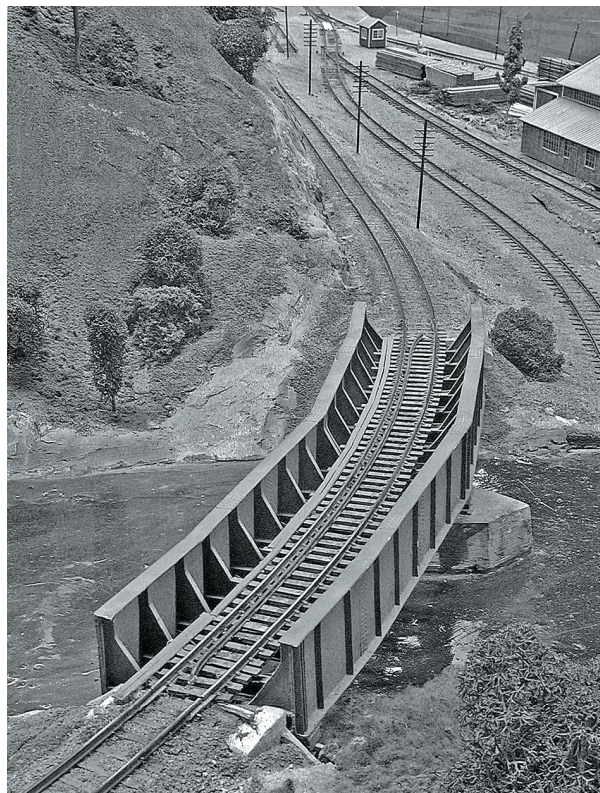
Utvidgning av sektionen i sidled (på ömse sidor) när spåret ligger i kurva. Enligt NEM-norm 103. Tre olika fall finns:

- A korta vagnar med största längd 23 cm.
- B medellånga vagnar med största längd 28 cm.
- C vagnar längre än 28 cm.

minst 37 mm från spårcentrum. Vid massiva pelare och landfästen räcker det med minimimåttet 32 mm.

Fritt utrymme i höjded

Enligt NEM-normen skall fria höjden över räls överkant (**rök**) skall vara 59 mm. Vid luftledning är lägsta läget 62 mm, men helst mer än 65 mm. ❖



Kartong är ett liksom plasticard många gånger ett utmärkt byggmaterial vid brobygge. Denna modell har sina huvuddrag hämtade från en balkbro mellan Stockholm Södra och Riddarholmen. Bron är byggd av tunn ritkartong; nitförbanden är präglade i remsor från en frysform i aluminium. Modellen återfinns på SMJ klubbanslaggning.

Foto L-G Fredriksson 2006

Tidsepok och typ av belastning	Konstruktionsdelar	Spännvidd fullskala				
		< 6 m	10 m	15 m	20 m	25 m
		Konstruktionsdelar skala H0				
<ul style="list-style-type: none"> Tung belastning (efter 1960) 	plåthöjd antal förstärkningsvinklar extra förstärkningsflänsplåt	använd vanlig balkbro	20 mm 5 st 1 st fullängd 105 mm	25 mm 11 st 2 st 175 + 105 mm	30 mm 15 st 3 st 230+160+105 mm	35 mm 17 st 3 st 290+190+140 mm
<ul style="list-style-type: none"> Medelbelastning (efter 1960) Tung belastning (ca 1915–1960) 	plåthöjd antal förstärkningsvinklar extra förstärkningsflänsplåt	använd vanlig balkbro	15 mm 3 st ingen	20 mm 11 st 2 st 175 + 70 mm	25 mm 15 st 3 st 230+160+105 mm	30 mm 17 st 3 st 290+190+140 mm
<ul style="list-style-type: none"> Lätt belastning (efter 1960) Medelbelastning (ca 1915–1960) Tung belastning (före 1900) 	plåthöjd antal förstärkningsvinklar extra förstärkningsflänsplåt	använd vanlig balkbro	15 mm 3 st ingen	15 mm 11 st 2 st 175 + 70 mm	20 mm 15 st 2 st 230+140 mm	25 mm 17 st 2 st 290+175 mm
<ul style="list-style-type: none"> Lätt belastning (ca 1915–1960) Medelbelastning (före 1900) 	plåthöjd antal förstärkningsvinklar extra förstärkningsflänsplåt	använd vanlig balkbro	10 mm 2 st ingen	10 mm 5 st 1 st 105 mm	15 mm 7 st 2 st 175+70 mm	20 mm 8 st 2 st 290+140 mm

Översiktlig dimensionering av plåtbalkbroarnas huvudbalkar. Flänsplåten i de två nedre fallen är 3 mm bred och 4 mm i övrigt. Plåt-tjockleken är genomgående 0,3 mm.



Modell av äldre stenbro på Inlandsbanan. Modellen är utförd av kartong som bekläts med DAS-lera som i sin tur bearbetats till form och struktur. Bron återfinns på SMJ klubbansläggning.

Foto L-G Fredriksson 2006



Bågbron mellan Stockholm och Lidingö sedd framifrån. Mellan bronns överrammar syns toppvindförbanden (kryssen) och tvärbalkarna. Notera även de förstärkningsvinklar som sitter på portalen.

Augusti 2006



Tre parallella balkbroar. I bilden kan man se tvärbalkar, kryss och högst upp mot spåret kan man även skönja de diagonala stötförbanden. Broarna har ett mellanstöd i form av en bock i fackverkskonstruktion. Varje bro består av två brospann. Det hitre har en kortare spännvidd och därmed inte så höga balkar som de bortre med lång spännvidd. Broarna finns strax söder om Södertälje hamn. Det vänstra och mittersta spåret är gamla stambanan söderut; det högra förbindelsen med Svealandsbanan.

Sept. 2004

BRONS OLIKA DELAR

EN BRO BESTÅR BEGREPPSMÄSSIGT av en underbyggnad och en överbyggnad. Speciellt i stålbroar har både överbyggnaden och underbyggnaden flera ingående delar som skall ta upp olika typer av belastningar. I modellbygge måste de flesta tas med, men vissa kan utelämnas därför att de döljs t.ex. av spåret.

Vad är det nu som är viktig och ta med och vad kan man hoppa över? Vi skall göra en kort översikt av brons delar.

Underbyggnaden

Underbyggnaden utgörs av två landfästen, ett i vardera änden. Du kan även träffa på begreppet anfang som betecknar landfästet för en bågbro. I många fall finns dessutom ett eller flera mellanstöd. Sträckan mellan landfästen och stöd kallas spännvidd.

Underbyggnaden till järnbroar är sten- eller betongkonstruktioner. Ibland används järnkonstruktioner för mellanstöd.

Stenbroar bygger på att man utnyttjar valvbågar.

Överbyggnaden

I en stålbro kan överbyggnaden uppdelas i två huvuddelar: för det första den bärande konstruktionen (bärverket) som överför belastningarna till underbyggnaden – benämns huvudbalk. För det andra själva farbanan/brobanan som bildar underlag för vägen eller spåret.

Broar byggda i armerad betong kan i vissa fall liknas vid stålbroar. Men materialet medger en friare formgivning.

Vid måttliga spännvidder görs huvudbalkarna av massiva valsade balkar eller sammansatta balkar av plåt och profiljärn. Balkar gjorda av plåt och profiler nitas eller svetsas ihop.

Vid större spännvidder måste man använda fackverkskonstruktioner av olika slag i form av galler eller fackverk. Det finns en mängd olika system. I engelsk och ameri-

kansk litteratur benämns typerna ofta efter sina upphovsmän, t.ex. Pratt, Warren, Bollman m.fl.

Delar i överbyggnaden

Långbalkar och tvärbalkar

Farbanekonstruktionen består av långbalkar och tvärbalkar (balkar kallas även regler i bro litteratur). Det är långbalkarna som bär själva spåret. Tvärbalkar läggs med ett inbördes avstånd av 3–4 m. Långbalkarna läggs lämpligen med ett centrumavstånd av 1,9 m. De läggs ovanpå tvärbalkarna eller kan fällas in i dessa.

I broänden eller i anslutning mot andra brospann kan långbalkarna sticka ut en bit utanför ändtvärbalkarna.

Vindförband

Vindförband har till uppgift att sammanbinda huvudbalkarna till ett stabilt rymdssystem och för att uppta horisontella belastningar.

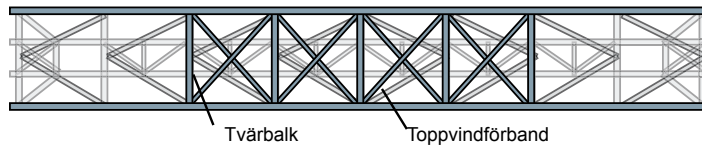
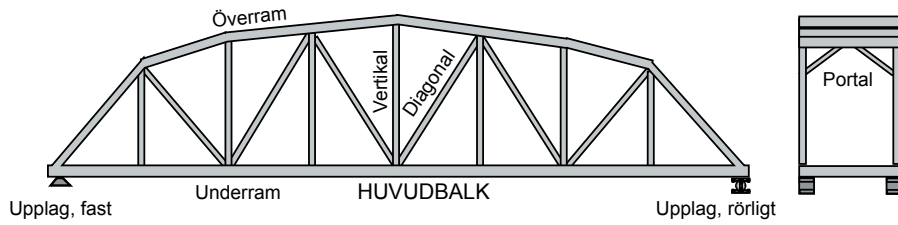
Huvudbalkarnas underramar förbinds med ett genomgående förband. Nedanstående figurer visar några exempel. Vid större spännvidder ordnas även ett vindförband mellan överramarna.

Stötförband

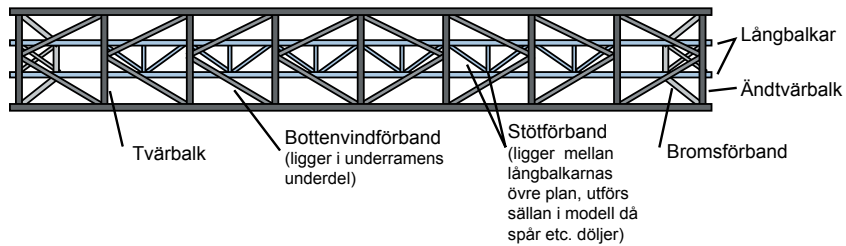
Stötförband anordnas mellan de sekundära långbalkarna i bron. De är till för att ta upp den rullande materielens stötar vinkelrätt mot brobanan. Det används i de fall där syllarna ligger på långbalkarna och överför sidostötkrafter direkt till långbalkarna. Den enklaste typen är ett vanligt kryssförband. Stötförbandet skall fästas i överflänsen.

Bromsförband

Bromsförband har till uppgift att ta upp horisontalkrafter längs med bron. Bromsförbandet sitter i brospannets ändfack. ❖



Bron sedd uppifrån

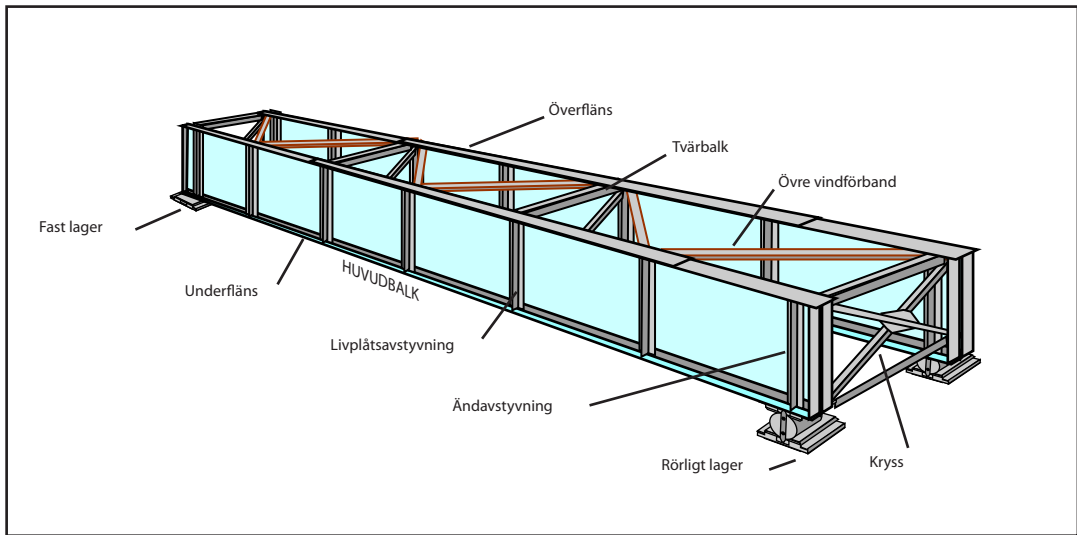


Bron sedd underifrån



Vindförband på en större fackverksbro. De tvärgående fackverksbalkarna (tvärbalkarna) är till för att staga upp bron i sidled. Portalen i änden av huvudbalken har samma funktion.

Torun, Polen, september 2006



De viktigare konstruktionsdelarna i en plåtbalkbro. Jämför med de foton som finns på övriga sidor och identifiera de olika delarna.



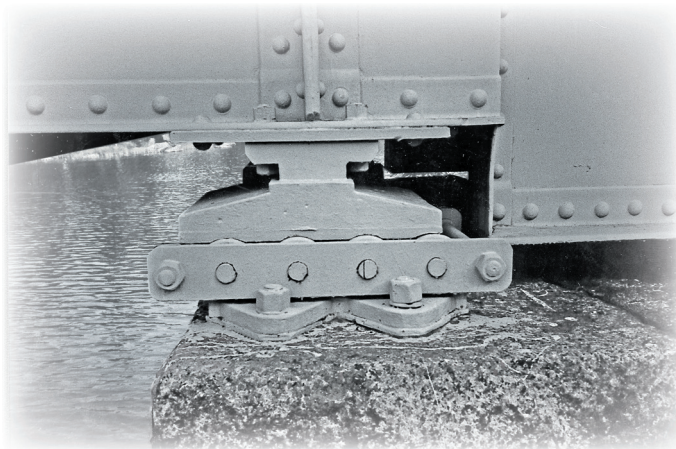
*Invändig vy av fackverksbro visande kryssen som förbinder då båda broramar-
na. Kryssen är gjorda av L-profiler.*

Kortfors i Närke 1996



*Mellanstöd i form av ett fackverkstorn för två anslutande bågbroar.
I och med att fackverkstornet inte kan ta några större horisontella
krafter måste båda broändarna förses med väl fungerande rullager.
Se även detaljbilden nedan.*

Broarna vid Järle på NBJ



*Detaljbild av större rullager av äldre typ. Lagret understödjer här
en fackverksbro med underliggande parabelbåge. Bron till höger är
en anslutande balkbro. Lagret är av samma typ som det i bilden
ovanför.*

Kortfors, Örebro län, 1996

KOMPLETTERANDE DELAR

BROKONSTRUKTIONEN ÄR TILL FÖR att bära upp brobanan och den last som kommer att gå på den. Det sista steget för att få bron färdig för trafik är byggandet av brobanan.

Typ av brobana avgör om bron klassas som landsvägsbro, järnvägsbro eller akvedukt.

Flera järnvägsbroar har dock under årens lopp konverterats till att bli landsvägsbroar. Akvedukterna lämnar vi helt åt sitt öde.

När man projekterar brobanan måste man dels ta hänsyn till vilken trafik som skall gå på bron och dels det fria utrymmet i höjddled mellan långbalkar och överramens balkar.

På en stålbro för järnvägstrafik är som regel brobanan en sliperbädd som ligger direkt på långbalkarna.

På en ballasterad stålbro ligger makadamen i ett trågliknande låda av plåt. Brobanan till betongbro är lättare att utforma. Se figurerna.

Finns det begränsningar i fria höjden måste man ibland ta till speciallösningar av brobanan i och med att den måste göras så tunn som möjligt (t.ex. en äldre bro från en änglinje som elektrifierats).

Landfästen och vingmurar

Med undantag för kulvertar och vissa stenbroar vilar alla broar på ett landfäste i vardera änden. Ett landfäste har två uppgifter. Dels skall det bära upp bron och dels skall det hålla spårbädd och eventuell järnvägsbank på plats. Landfästen vid vattendrag skall också skydda mot strömmande vatten och is.

En fritt upplagd bro vilar inte direkt på landfästenas upplagspallar (den trappstegsformade delen av landfästet – se vidstående bild) utan på ett lager. Lagret kan vara fast eller rörligt. Lagret för över krafterna från bron till landfästet och tjänar också som fäste för bron i upplagspallen.

Landfästen kan ha mycket varierande utseenden beroende på typ av bro och terrängens utseende. Man kan dock

dela in dem i tre huvudtyper:

- Rak utformning utan vingar.
- Landfäste med vingar där vingarna antingen kan vara bakåtsvepta eller raka.
- Den tredje typen har vingarna svepta bakåt så långt att den bildar en U-form.

Den enkla raka typen används när bron går ut från en spårbädd med normal höjd eller då landfästet kan byggas direkt. Det är inte ovanligt att det kan vara en typ av landfäste på ena sidan och en annan typ på andra sidan av bron.



Landfäste till en riven enkelspårig bro. Notera avtrycken på lagerpal-len efter brolagren till fyra huvudbalkar.

Horn Västmanland, 2003

Det är terräng- och grundförhållandena som avgör valet.

Alla utformningar av landfästena är trovärdiga och korrekta så länge de har en avslutning upptill för att hålla rälsbädden på plats och har en tillräckligt stor hylla för att rymma broändan och dess lager. Övre delen av landfästet görs inte bredare än själva bron. Till landfästena används natursten eller betong. Det är inte ovanligt att se ett äldre stenlandfäste där överdelen har ersatts med betong för att ta upp och fördela vikten av en ny och tyngre bro.

Betonglandfästen utformas lika de av natursten med undantag för vingarna som kan ges en jämn sluttning.

Stödmurar i anslutning till landfästet (kallas även vingmurar eller vingar) skall ha sådan utbredning att det räcker att hålla bank och rälsbädd på plats. Oftast är landfästen lodräta men om järnvägsbanken är mycket hög kan landfäste och vingarna behöva lutas för att klara det stora jordtrycket.

I modellbygge är det lämpligast att du bygger det synliga landfästet som en trogen avbildning av förebilden. Landfästen liksom själva bron byggs i lugn och ro vid arbetsbanken och slutmonteras när allt är klart. Sedan tillkommer det ”osynliga” snickeriarbetet – det fundament som egentligen bär upp bron och dess anslutande delar i själva anläggningen. Det måste vara lika starkt och stabilt som bordskonstruktionerna i övrigt.



Landfäste till en riven järnvägsbro. Järnvägsbanken som ansluter till landfästet saknar stödmur i och med att banken inte är så hög. Banken har normala lutningar och är gräsbevuxen.

Horn 2003



Utformning av landfäste och stödmur vid en hög järnvägsbank.

Södertälje juni 2004

Stöd och kolonner

En stödkonstruktion skall endast kunna uppta vertikallastningar. Stöd av betong är vanligast idag. Stöd av stål mellan huvudbalkar och fundament använder man endast där det av utrymmes- eller utseendeskäl är omöjligt eller olämpligt att använda betongstöd. Däremot var stålstöd



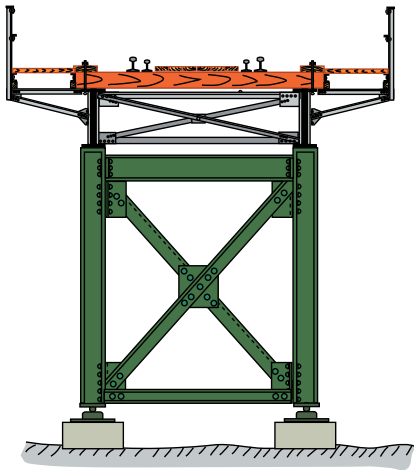
Landfäste av granit och mellanstöd i sackverkskonstruktion.

Södertälje 2004

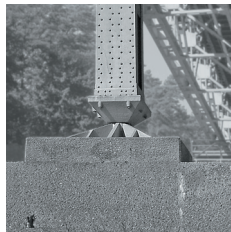


Viadukt för norra stambanan vid dess tidigare dragning genom centrala Söderhamn.

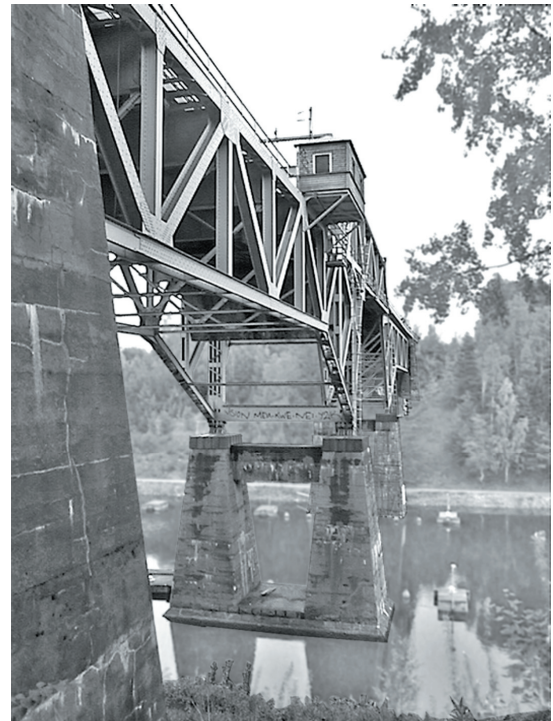
Söderhamn 1996



Mellanstöd av ståljackverk. Principkonstruktion.



Olika former av brostöd. t.v. Järlebron, t.h. större tysk fackverksbro.



Södertäljebron. Kanalen är grävd igenom en hög ås där järnvägen går. Därför krävs mycket höga mellanstöd för bron. Stöden är gjutna i betong.

Södertälje juni 2005



Landfäste av granit och mellanstöd i fackverkskonstruktion.

Södertälje 2004



Mellanstöd i huggen granit till järnvägsbro (NBJ) i flera spann. Mellan de båda plåtbalkbroarna ligger en fackverksbro med parabelformad båge. Stöden har en spetsig ände för att hindra dämning vid islossning.

Kortfors, 1998

vanliga i äldre brobyggnader (t.ex. en av järnvägsbroarna i Södertälje). Skall stöden uppta både vertikal och horisontalkrafter sammanbinds stöden med tvärbalkar till styva ramar.

Stöden måste lagras precis som bron, se exemplet från ett av stöden till Västerbron i Stockholms anslutningsbroar.

Höga mellanpelare utförs som stål fackverk. Vid mycket höga broar byggdes särskilda stödtorn. Tornen under Järlebron är ett exempel. Höga stenpelare är vanliga på kontinenten och i England men ganska ovanliga i Sverige

Mellanstöd i vatten

Förr utfördes fundament och stöd ofta i huggen och väl fogad granit. Mellanstöden har ofta en utskjutande överdel. I överdelen använde man större stenblock än i själva fundamentet. Det är nämligen viktigt att det inte finns några stenskarvar under ett lager. (Detta gäller även vid konstruktion av själva landfästet.) Det finns många exempel på mellanstöd där överdelen har ersatts med betong. Det har gjorts antingen för att höja broläget eller för att bättre kunna ta upp ökade belastningar från en modernare och tyngre bro. Stenpelare har ofta förstärkts eller reparerats i dess nederdel. I vatten där pelaren utsätts för ispåverkan måste nedre delarna göras kraftigare och får ofta på uppströmssidan en båtliknande utformning.

Höga kostnader, brist på kunniga stenhuggare och krav på högre hållfasthet liksom väsentligt enklare tillverkning gjorde att man tidigt övergick till betongpelare. Utformningen är normalt något smäckrare men avviker i övrigt inte så mycket från de i natursten.

Lager

Det behövs speciella lager under broändarna (upplag). Man skiljer på fasta och rörliga lager. Trafiken ger horisontella krafter. Materialet i en bro längdändrar sig med temperaturvariationerna. Bron måste därför kunna röra sig i längdled. En vanlig enkel balkbro skall vara försedd med fasta lager i ena änden och rörliga lager vid andra änden för att fritt kunna ändra sin längd. Den enklaste formen är rörligt lager är ett glidlager. Det används speciellt vid mindre broar (upp till ca 17 m spännvidd). Men vanligare är att man använder ett rullager. Det finns flera olika typer av rullager. I figuren visas några exempel. Bron vilar med huvudbalkens underfläns direkt på lagret.

Ett upplag eller en lagerkonstruktion måste ovillkorligen placeras under den lastbärande delen av balken, plåtbalken eller fackverket. Förstärkningsvinklar, avstyvningar m.m. är fästa på balken ovanför lagret. Sådana extra förstärkningar kan man se på varje detaljerad broritning. Det gäller särskilt för plåtbrobalkar. På fackverksbroar är lagret



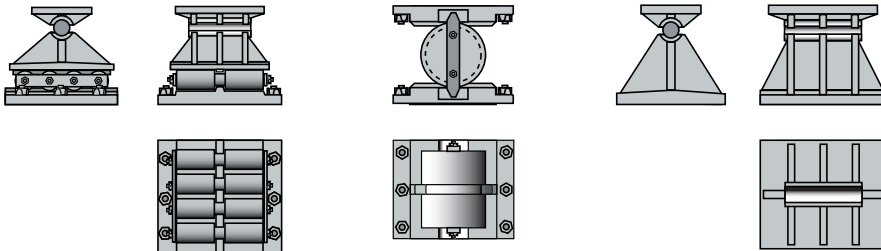
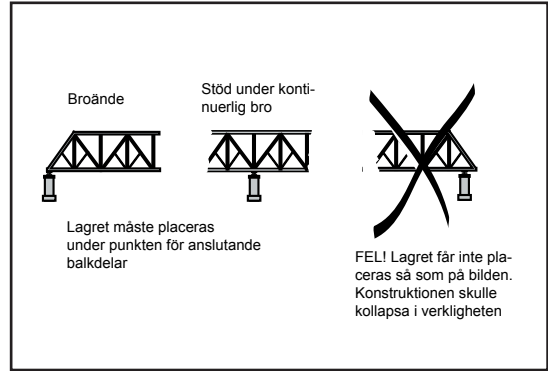
Fast lager till fackverksbro. Notera att lagret är fastbultat även i landfästet. Järlebron 1992



Glidlager till en kort plåtbalkbro. Själva lagret är en kraftig metallplatta som brobalken vilar på. Södertälje 2005



Modern järnvägsbro i betong. T-formad lådbalkbro. Bilden visar bronns upplag med dess fasta lager. Svealandsbanan, Strängnäs 2002



Olika typer av brolager. Det högra är ett fast lager, de båda övriga är rullager.



Landfästen och lager till bågbroar. Bron till vänster Västerbron; den till höger Årstabron, båda Stockholm. Foto Västerbron L-G Fredriksson 2003

placerat under knutpunkten för sammanstrålande balkar. På kontinuerliga fackverk måste mellanstöden placeras under knutpunkten där diagonalerna möts och tar krafter i båda riktningarna. Under inga omständigheter får ett lager placeras mellan någon knutpunkt. Om det skulle ske i normalt brobygge skulle balken böjas och bron sannolikt kollapsa.

Som lager för bågbroar används vanligen särskilda tapp-lager. Lagren placeras så att upplagstrycket kommer att gå centriskt genom lagerkroppen och vinkelrätt mot bas-

ytan på murverket, se bilderna från lagren på Västerbron i Stockholm.

I modell, speciellt då skala H0 blir lager och fästen så små att de utan vidare kan ersättas av en bit mässing eller trä i rätta proportioner. På kortare broar räcker det med två bitar mässingsremsa. Endast på rena utställningsmodeller behöver man lägga ner möda på att utforma lagren korrekt. Däremot kan lagren inte utelämnas. Lika lite får de placeras felaktigt. En kunnig besökare ser sådana fel direkt. ❖



Årstabron. Bågbro i stålfackverk. Se även Årstabrons lyfibrö i kapitlet om Rörliga broar.

September 2001



Balkbroar i Södertälje. Den övre bär dubbelspåret till Stockholm. På den undre går sidolinjen från Södertälje hamn ner till Södertälje C.

Södertälje 2004

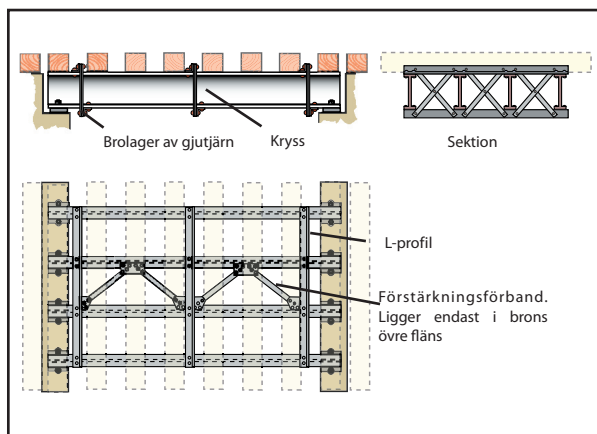
BALKBROAR

BALKBROAR FÖREKOMMER ALLTIFRÅN KORTA dikesbroar till broar med mycket stora spännvidder. Trä, stål och betong har använts. Materialvalet har styrts av brons storlek och ändamål. Plåtbalkbroar är en vanlig brotyp i järnvägssammanhang och trevlig som modellbro.

Valsade balkar

De lastbärande delarna i en enkel balkbro består av träbjälkar, valsade stålbalkar, betongbalkar (armerade eller förspända). Det innebär att en eller flera balkar, fackverksbalkar eller plåtbalkar är fritt upplagda och understödda endast i de två ändarna. Det är en mycket vanlig brotyp.

Spännvidderna är vanligen korta. Stål som konstruktionsmaterial gör att spännvidderna kan ökas, men valsningstekniken har sina begränsningar. Man kan inte valsa hur grova balkar som helst. Egenvikten ökar dessutom mycket starkt med stigande dimensioner. Normalt har balkbron för järnvägsändamål inte något däck. Undantag är förspända betongbalkbroar där däckets byggs ihop med



Stålbalkbro av massiva valsade balkar. Vid så korta broar som på bilden behöver man inga rullager utan enkla brolager av gjutjärn räder.

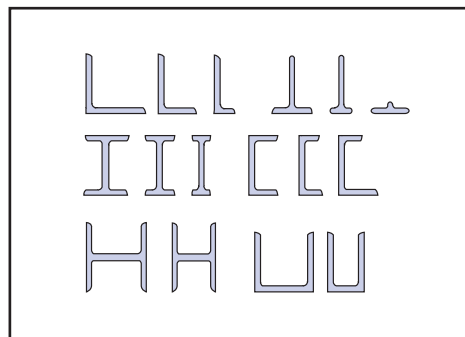
Ur Banlärans

balksystemet som kan göras upp till 30 meter långa (se figur på nästa sida). Även själva brobanan – det som skall bära trafiklasten – kan på andra typer av broar ofta konstrueras som ett balkbrosystem.

Plåtbalkbro

För att öka spännvidden måste balkarna göras större och högre. Den naturliga utvecklingen av den enkla balkbron blev därför dels *plåtbalkbron* och dels broar med *fackverksbalkar*. Plåtbalkbron har stor styrka mot böjande krafter i vertikalled. (Fackverkskonstruktioner behandlas längre fram.) Plåtbalkar är en mycket vanlig konstruktionsprincip i brobyggande. Balkens tvärsnitt är som en mycket hög I-profil. Som namnet antyder består plåtbalkens liv av en hög och kraftig plåt som förstärks i över och underdelen med vinkelprofiler som bildar flänsen.

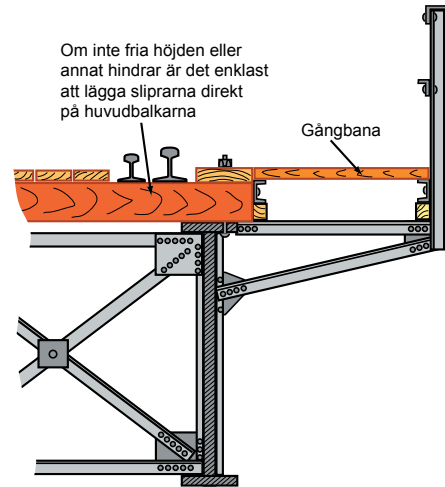
Ofta förstärks flänsen med ytterligare plåtar. För att förhindra att plåten viker sig eller bucklas under höga laster förser man plåtlivet med lodräta avstyvningar. För lite större järnvägsbroar med stålbalkar är det vanligt att spåren inte ligger på överflänsen utan ligger försänkta. Belastningen



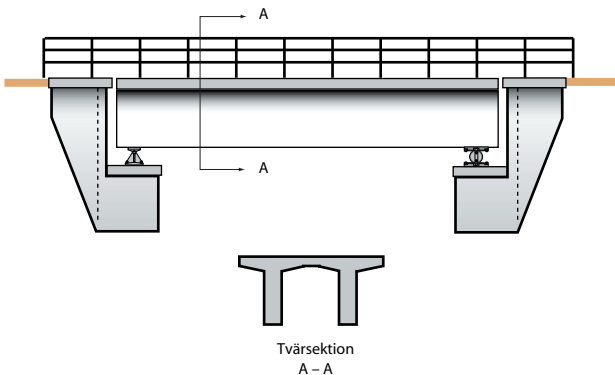
Exempel på valsade profiltyper använda i brokonstruktioner.



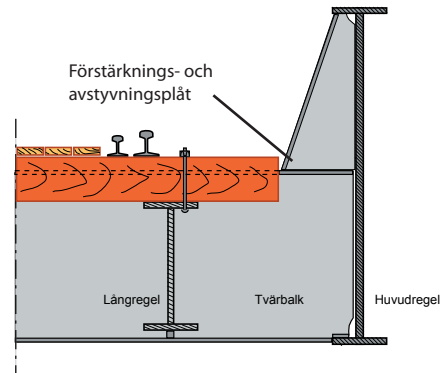
Balkbroar i Södertälje hamn 2004. Brokonstruktionen består av två balkbroar. Högra huvudbalken är väsentligt högre genom att spännvidden är ungefär 1,5 gånger längre än den vänstra. Notera att den vänstra bronns upplag är en del av den högra. Gemensamt stålfackverk som mellanstöd för båda broarna.



Plåtbalkbro med fackverkskryss som förbinder de båda huvudbalkarna. Nitat utförande. Slipprarna fästs direkt i huvudbalkarna med genomgående bult eller hakbult.



Balkbro av betong. Brobanan är hopgjuten med de bärande balkarna. Ur Bygg



Plåtbalkbro med försänkt spårläge. Slipprarna fästs i långbalkarna som i sin tur är fästa i tvärbalkar och huvudbalkarna. Bron är sammanfogad genom svetsning.

överförs till huvudbalkarna genom ett system av sekundära långbalkar och tvärbalkar. Om huvudbalkarna är fler än två förenar man dem med en eller flera genomgående tvärbalkar. Man får en s.k. balkrostbro. En fördel med en

sådan bro är att samtliga huvudbalkar samverkar för att ta upp ensidiga laster. Förr (dvs. före ca 1940) var nitning den vanligaste sammanfogningsmetoden. Numera svetsas alla förbindningar. ❖



Även en akvedukt är en bro. Denna från Häverud är utförd som en nitad stål balkbro med parabelformad överfläns. Akvedukten ansluter till en sluss i hitre änden. Maj 2005



Enkel vägbro utförd av parallella I-balkar upplagd med ett mellanstöd av stål. Notera dragstagen under bron. De är till för att kunna öka tillåtna belastningen utan att öka dimensionerna på balkarna (eller ytterligare ett stöd under bron). Forsviks bruk, Västergötland. April 2005



Äldre järnvägsbro över Järleån på NBJ strax norr om Järle station.

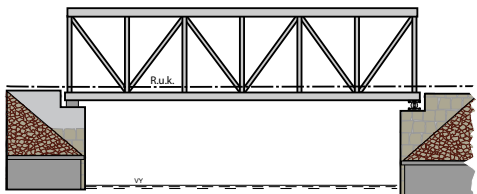
Foto L-G Fredriksson, augusti 2006

FACKVERKSBRÖAR

EN TRIANGELN ÄR EN statiskt bestämd konstruktion. Triangeln är stabil. Fackverk bygger på principen att i en triangel kan inte en sida längdändras utan att även de andra sidorna ändras. Fackverksbroar är en materialsnål lösning på behovet av stora spännvidder.

De ingående delarna i triangeln är antingen tryckta eller dragna, men aldrig böjda. Ett fackverk är uppbyggt av ett antal trianglar.

Huvudbalkarna är de balkar som bär lasten till skillnad från sneda eller lodräta uppstyvningssträvor. Fackverksbroarna benämns ofta efter hur huvudbalkarna ser ut. Det finns många sätt att lösa belastningsproblemen. Därför har det blivit rätt många varianter på fackverk med åren. Syftet var att få fram säkrare konstruktioner och att utnyttja materialet på ett fördelaktigt sätt. Fackverksbroar



Brobalk utformad som parallellfackverk där brobanan ligger på underramen.

används numera endast för större spännvidder.

Det är konstruktionsmässig skillnad i om trafiken går ovanpå bron (underliggande konstruktion) eller om trafiken går igenom bron (överliggande konstruktion).

Överliggande konstruktion medger som tidigare nämnts större fri höjd under bron men är dyrare och svårare att styva av än en bro med motsvarande spännvidd och med underliggande konstruktion.

Parallellfackverk

Parallellfackverk med lutande eller vertikala ändar ger fördelaktiga knutpunktsutformningar. Den ekonomiska fack-

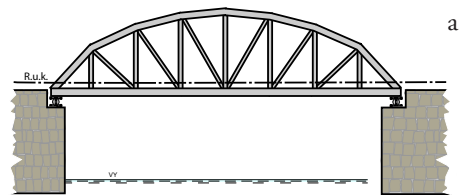
verks höjden ligger mellan $1/9$ och $1/8$ av spännvidden. De lodräta stängerna i broändan har till uppgift att överföra alla krafter till upplagen.

Parabelfackverk

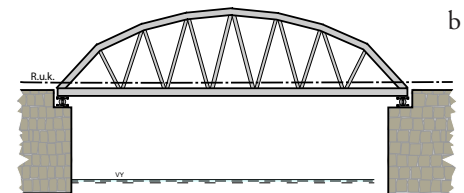
I fackverk med krökt överfläns varierar kurvformen beroende på brotyp. Bågens fördel är dess förmåga att ta upp tryckkrafter. Parabelbågen är vanligast vid fackverksbroar av stål.

Elliptiska eller parabelformade bågar kan också användas vid betongkonstruktioner. Cirkulära bågar används vid betong- och stenbroar. Figur a visar ett parabelfackverk av äldre utförande. I moderna konstruktioner ersätts vertikala och diagonalstängerna med fallande och stigande diagonaler enligt figur b. En sådan lösning är materialsnålare.

Fackverksbalkens höjd bör ligga mellan $1/6$ – $1/5$ av spännvidden. Den här brotypen kan med fördel användas

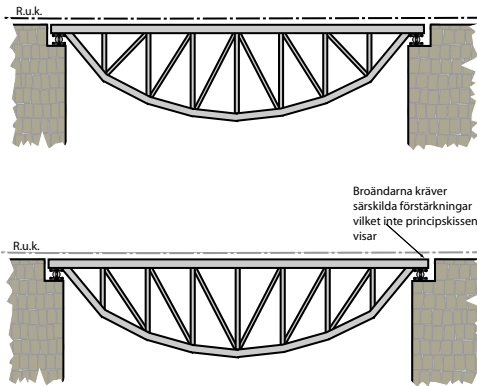


Parabelfackverk med överliggande båge med både vertikaler och diagonaler.



Modernare form av fackverk med enbart diagonaler (stigande och fallande).

Enligt Bygg



Principskisser. Brobalk utformad som ett underliggande parabelfackverk och där brobanan ligger på överramen. Den undre är en variant med annan utformning av fackverket.

i spännvidder upp till ca 100 m. Den krökta bågen kan även vändas nedåt.

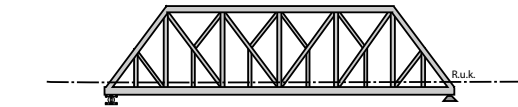
Halvparabelfackverk

För större spännvidder, särskilt för järnvägsbroar, används halvparabelfackverk. De utförs i regel med ett övre vindförband. Vid underliggande brobana måste fackverkshöjden vid upplaget vara tillräckligt stor för att lämna plats för det fria utrymmet. Fackverkshöjden i spannets mitt brukar ligga på 1/7–1/8 av spännvidden.

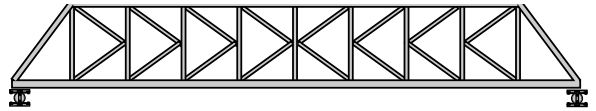
Vanligtvis ligger spåret på långbalkarna. Långbalkarna ligger på tvärställda balkar (tvärreglar).

Långbalkarna läggs lämpligen med ett centrumavstånd av 1,9 m. Man lägger antingen långbalkarna ovanpå tvärbalkarna eller försänkta i tvärbalkarna. Den senare konstruktionen visas i kapitlet om balkbroar.

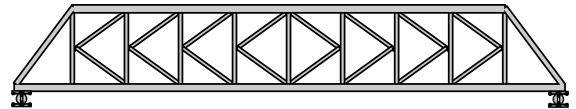
Vid anslutning till landfäste och till andra brofack brukar man låta långbalkarna sticka ut ett litet stycke utanför



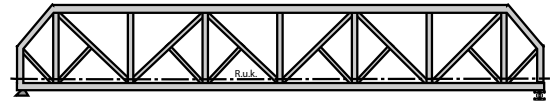
Fackverk av typ Petit



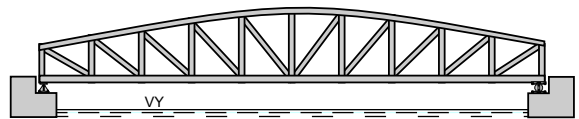
Omvänt K-fackverk



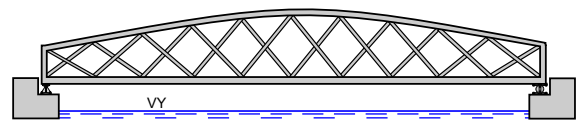
K-fackverk



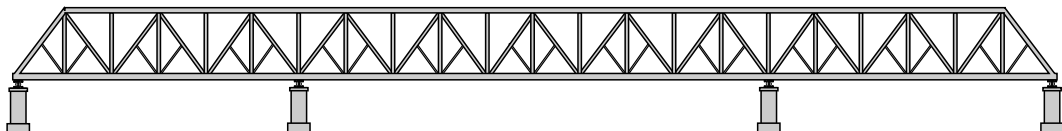
Underindelad fackverk av typ Warren



Halvparabelfackverk med överliggande båge



Fackverk med halvparabelformad överbåge – Warrenvariant



Kontinuerlig fackverksbro. Utformningen av huvudbalken benämns Warrentyp i engelsk litteratur.

Enligt Bygg

Exempel på olika äldre typer av fackverksbroar för järnvägsdrift. Typerna benämndes ofta efter sina upphovsmän. Konstruktionerna patenterades ofta. Efter första världskriget är fackverk av s.k. Warrentyp en av de dominerande brotyperna.

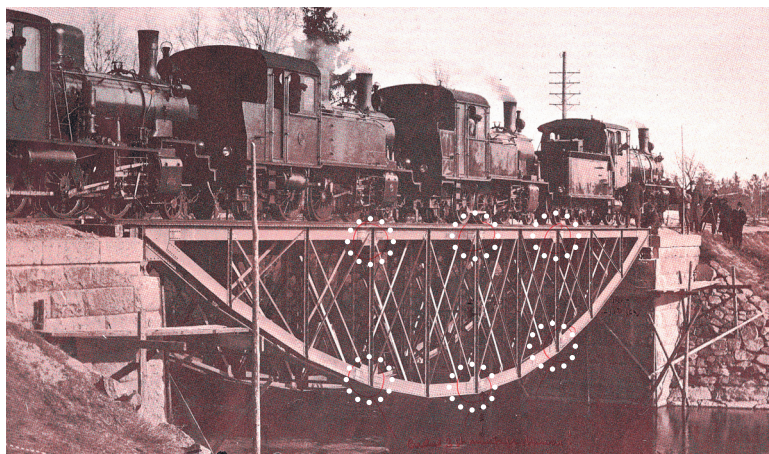
Bl.a. efter Bygg

ändtvärbalkarna. En bro med halvparabelfackverk brukar ha tvärbalkar lagda med ett avstånd av 3–4 meter.

Förr var parabelformad överfläns vanligare. Men det är besvärligt att ordna knutpunkterna och det är svårt att ordna ett genomgående toppvindförband. Broar med parabelfackverk och halvparabelfackverk görs vanligen fritt upplagda.

Konsolbalkbro

Konsolbalkbron har åtminstone en sektion som inte är fast lagrad utan helt fri. Den fria armen kallas *konsolbalk*. Mellan två konsolbalkar kan ligga en enkel bro ledat infästad i *konsolbalkarna*. (Sådana balkar benämns även kantileverbalkar i viss litteratur.) Brotypen används vid mycket stora spännvidder (upp till 600 m) och är därför sällsynt i modellsammanhang – i varje fall på normalstora anläggningar. Firth of Forth-bron i Skottland är en av de större konsolbalkbroarna i världen. Den ursprungliga bron över Ångermanälven vid Forsmo är ett bra svenskt exempel på en sådan brotyp. (Den nuvarande är en treleds bågbro.) Svängbara broar är en typ av konsolbalkbro.



Fackverksbro med underliggande båge. Bron har klena korsande diagonaler mellan vertikaler i huvudbalken. Notera de tre montageskarvarna. Bilden tagen i samband med probbelastning av den just färdigställda bron. Okänd bana och okänt tillfälle.

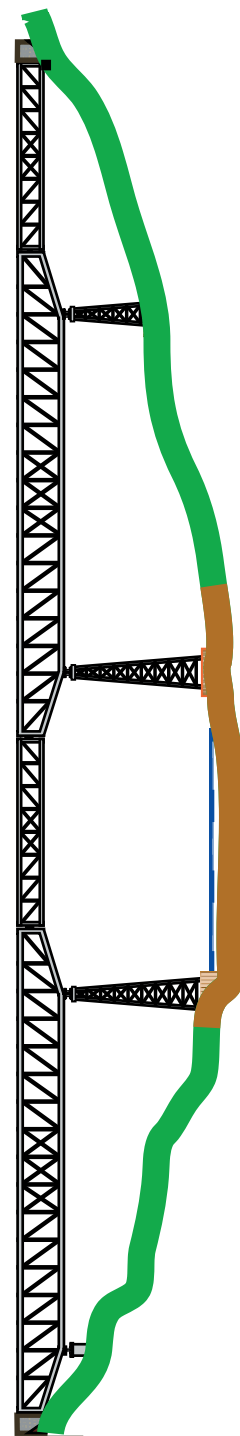
Bild från gammal almanacka

Kontinuerlig brotyp

En sådan brotyp består av en lång kontinuerlig balk (stålbalk, plåtbalk eller fackverk) utan leder och är utformad så att den vilar på minst tre punkter. Brotypen är materialsnål, men svår att kalkylera. Brotypen passar för broar med stora totala spännvidder. Den är vanlig i vägbyggnadssammanhang. ❖

Den ursprungliga konsolbalksbron på järnvägslinjen Forsmo–Hoting. Bron revs i och med att nuvarande bro färdigställdes. Mellan de båda huvudfackverken är inhängt en klenare parallellfackverksbro (kantileverbalkar). Motsvarande finns även i högra delen i anslutningen till landfästet.

Uppriktat efter äldre foto





Tvåspårsbro på Roslagsbanan (smalspårig) vid Albano i Stockholm.

Augusti 2006

MONTAGE AV STÅLBRÖAR

NITNINGEN VAR LÄNGRE TILLBAKA den dominerande metoden. Under 1800-talet var nitning i princip den enda produktionsmässigt effektiva metoden. Utformning av knutpunkter och förstärkningar är viktigt. I modell har de oftast bara en utseendemässig roll. Kapitellet visar på olika lösningar.

När man skall förbinda de olika delarna i en stålbro kan det göras antingen genom att nita ihop de ingående delarna eller att man utnyttjar svetssteknik. Gas- och elsvetsning tränger successivt ut den äldre nitningen och är sedan 1940-talet den dominerande fogningsmetoden.

Mindre vanligt är tapplagrade förbindningar. Det är en äldre teknik och har mera kuriosakaraktär. En variant av

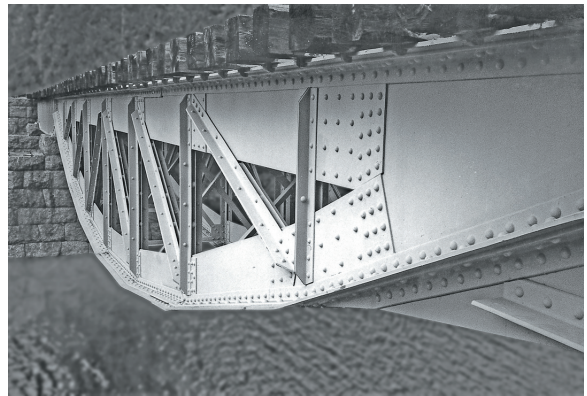


Järnvägsbron vid Järle, NBJ. Detalj av knutpunkter och montageskarvar.



Utformning av broände på äldre fackverksbro avsedd för landsvägstrafik. Bron har klens korsande diagonaler mellan vertikallerna i huvudbalken.

Foto L-G Fredriksson

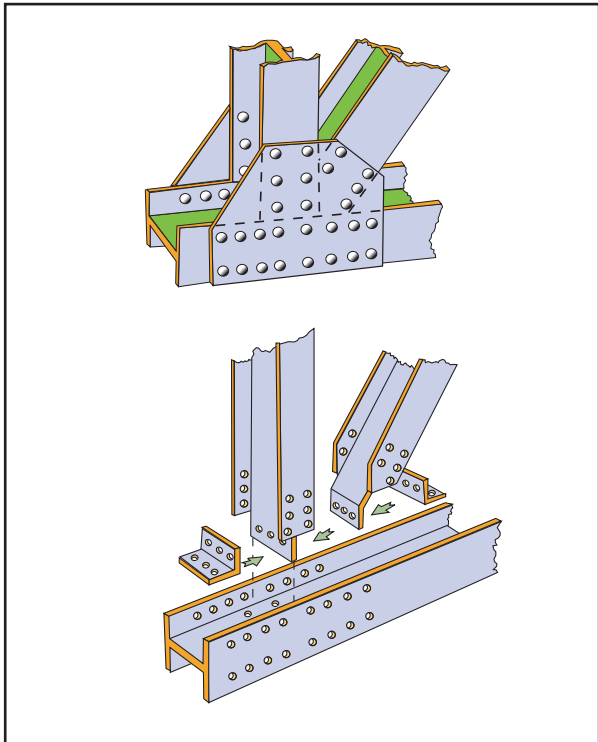


Järnvägsbro på NBJ med underliggande halvparabelformad bäge. Notera montageskarvarna. Sliprarna är fästade i brobalken med hakbult.

Kortfors 1998



Utformning av knutpunkt på lättare svängbro. Bron över Djurgårdsbrunnskanalen, Stockholm. Foto L-G Fredriksson, 2004



Principbild på hur balkar och infästningsdon utformades i en tyngre nitad knutpunkt. I sprängskissen har knutplåtarna utelämnats för tydlighets skull. Källa: Model Railway Journal

tapplagring används numera för kabelinfästningarna på moderna hängbroar.

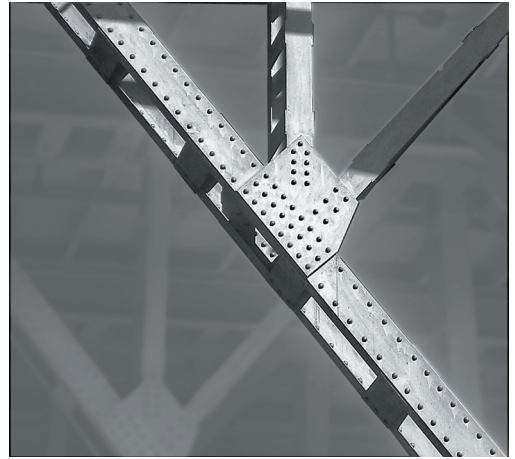
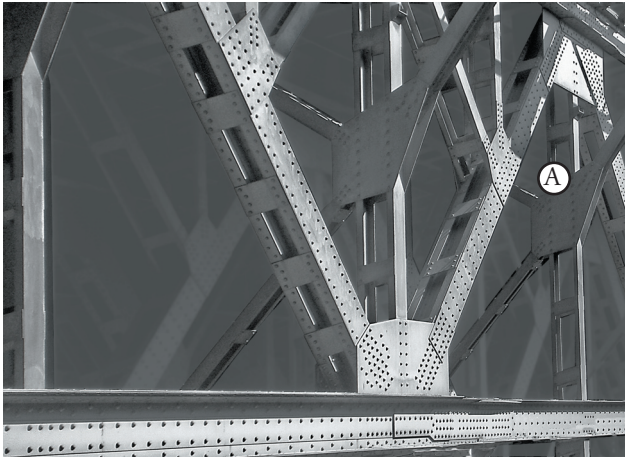
På fackverksbroar använder man normalt s.k. knutplåtar för att fästa de olika delarna vid varandra. Infästningen i knutplåten görs antingen med nitförband eller med svetsning. Vid sammanfogning på brobyggnadsplatsen av prefabricerade sektioner används numera bultförband istället för nitning. ❖



Utformning av knutpunkt på tyngre fackverkskonstruktion. Uppfartsrampen för järnvägsspår i Trelleborgs färjeterminal. 2004



Skarv- och förstärkningsplåt. Bron över Djurgårdsbrunnskanalen, Stockholm. Foto L-G Fredriksson, 2004



Exempel på knutplåtar i en större fackverkskonstruktion. De grövre balkarna är sammansatta av U-balkar med ditsnitade förstärkningsremor. U-balkarna är sinsemellan förbundna med tvärgående plåtar. De parallelltrapetsformade plåtarna i diagonalen (A) bär upp en ovanför liggande gångbro.

Schiffsbewerk. Eberswalde, Tyskland. 2006



Bågbro i betong med ovanpåliggande brobana. Inspänd massiv enkelbåge. Uppförd 1931. Arboga 2002



Rambro i betong över hamnspåren i Södertälje hamn.

Södertälje 2004

STEN- OCH BETONGBROAR

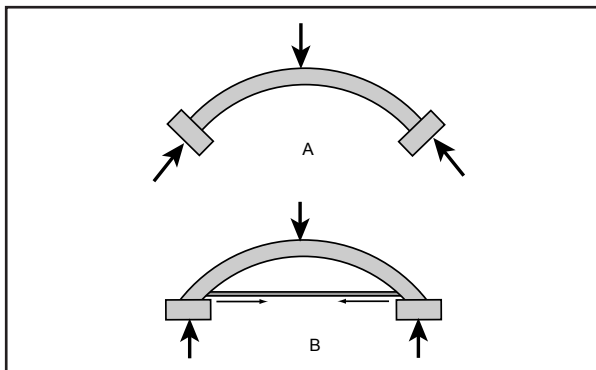
BÅG- OCH VALVBROAR ÄR EN AV DE ÄLDSTA BROTYPERNA. Man utnyttjar ett materials förmåga att klara stora tryckkrafter. Det finns både stål- och betongbroar. Betong är ett mångsidigt material som gett vidareutveckling av nya brotyper.

Bågbroar

Valvbågar har alltså en lång tradition. Brotypen används med fördel i både trä-, sten- och betongbroar. Exempel finns från antiken med upp till 4 000 år gamla valvbroar. Det finns antika stenvalv med spännvidder upp till 43 m.

Några äldre tyska stenbroar har imponerande mått (Syrabron i Plauen, 90 m). Armerad betong blev allt vanligare som konstruktionsmaterial redan i det förra sekelskiftet. En fransk betongbro på 52 m från 1898 kan jämföras med den modernare betongbron i Gladesvill nära Sydney (Australien) med imponerande 305 m spännvidd.

Som exempel på stora bågbroar i stål kan nämnas Sydney Harbour Bridge med ett 503 m spann.



Hur krafter verkar i ett valv eller båge. Om krafterna från brobelastningen inte kan tas upp i fundamenten kan man lösa det genom att lägga in ett dragband; fallet B.

Bågen kan antingen vara cirkulär, halvelliptisk eller parabelformad. Cirkulära bågar, dvs. båge med konstant radie, används både till betong- och stenbroar. Elliptiska eller parabelformade bågar användas endast vid stålbroar eller armerade betongkonstruktioner, se fotot på Årstabron.

Alla krafter tas upp av fundamenten. Om man av någon orsak inte kan ta upp upplagskrafterna parallellt med bågen kan man lägga in ett dragband. Denna typ är inte så vanlig som järnvägsbro. Men visst förekommer det, men dragband används oftare vid vägbroar. Brotypen ger inga horisontella krafter på fundamenten, utan de tas upp av dragbandet.

Även gjutjärn passar som konstruktionsmaterial (gjutjärnet klarar endast små dragkrafter). Gjutjärnsbroarna från mitten av 1800-talet är exempel på brobyggnadskonstruktioner där endast tryckkrafter får förekomma.

Hängbroar

En hängbro är motsatsen till en bågbro. Kablarna tar upp de dragkrafter som uppstår. En kabel är inte stel. Vindpåverkan gör att den kommer att svänga. Därför måste själva brobanan göras extra styv. Hängbroar används endast vid mycket stora spännvidder.

I järnvägssammanhang är brotypen ovanlig. Samtidigt kan Öresunds- och Stora Bält-broarna nämnas. Där samsas både järnvägstrafik och motorfordon. I modell skulle denna brotyp vara 3–5 m lång för att komma till sin rätt – vilket sannolikt är mindre realistiskt att genomföra.

Betongbroar

Betongbroar kan utföras antingen med rak eller med bågeformig kontur. Vid små och medelstora spännvidder gör man ofta betongbroöverbyggnaden i form av plattor eller balkar. Stora spann utförs som valv. På valvbroar för järnvägar dras ballasten fram över broarna på samma sätt som på banan i övrigt. Man ger brobanan en trågformig tvärsnitt. I och med att syllarna ligger i ballast underlättar det spårläggningen och ger framför allt mindre buller.



Tvåspannig betongbro över Abmoälven. Brobanan är tillika dragband.

Moskosel, Lappland maj 2005

De ställningar som behövs för bygge av sten- eller betongbroar måste göras kraftiga med tanke på byggnadsmaterialets stora vikt.

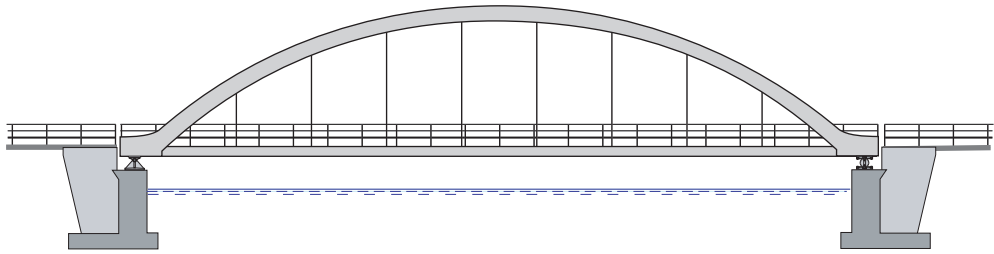
I betong kan broar utföras som balkbroar eller balkrambroar. Man kan även utforma dem som stålbalkbroar med eller utan samverkande betongplatta. Balkarna kan vara fritt upplagda eller inspända i landfästena.

Är balkarna inspända får man en s.k. rambro. I Sverige började dessa rambroar att användas i början av 1930-talet. En rambro behöver inga lagerkonstruktioner. Den är

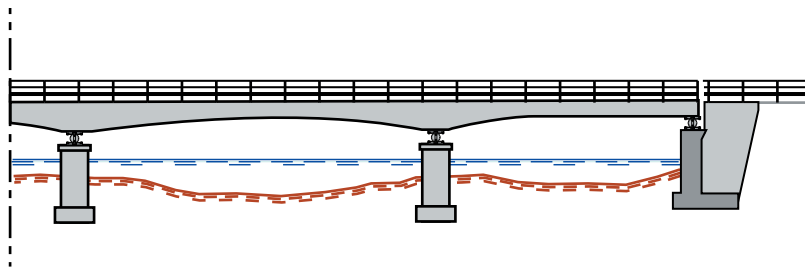
ekonomiskt fördelaktig. Rambroar är dock känsliga för grundförändringar.

Plattbroar

Broar för trafik med spännvidder under eller lika med ca 20 m utförs i Sverige oftast som *plattbroar* eller *platttribroar* av betong. I en plattbro är brobanaplattan samtidigt den bärande huvudkonstruktionen. Varianterna är många. En särskild typ av plattbro är pelardäcksbron. Den ger en estetiskt tilltalande lösning. ❖



Bågbro i betong. Typen ger inga horisontella krafter på fundamenten i och med att brobanan verkar som ett dragband.



Betongbro i flera spann. Brobalkarna har varierande höjd. Principbild; jämför med fotot av järnvägsbron i Horn.

Enligt Bygg



Järnvägsbro i betong. Detta är en normal balkbro även om designen tar upp former från bågbroarna. Att det är en balkbro framgår bl.a. av hur upplagen ser ut. Här är det bara "vanliga" lager för i huvudsak vertikala krafter.

Horn, Västmanland 2003



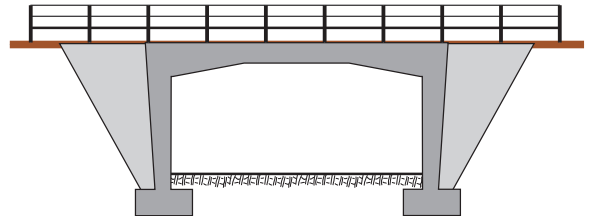
Bro i armerad betong.

Häverud Dalmland, juni 2005



Betongkulvert.

Trakten av Älvsbyn, Lappland, maj 2005



Rambro av betong. Brotypen kräver bra grundläggning och är känslig för sättningar.

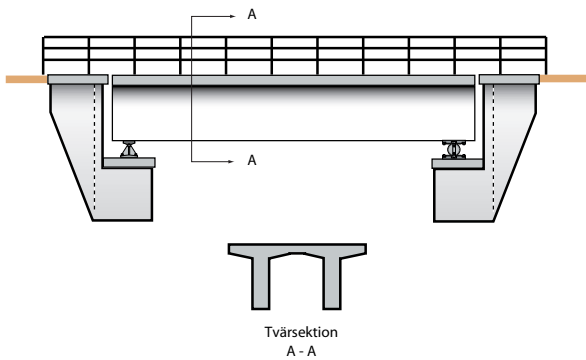
Principskiss enligt Bygg



Äldre vägport där ursprungliga stålbalkbron ersatts med en brobana i betong. Södertälje 2004



Rambo i betong. Lokalgata under motorvägen E4 i Södertälje.



Balkbro i betong. Balkarna och brobanan bildar en enhet – se tvärsektionen. Principutförande enligt Bygg

Principutförande enligt Bygg



Vägport som moderniserats med ny brobana i betong. Karlberg, Stockholm. 2004

Karlberg, Stockholm. 2004



Två äldre broar i natursten där bankroppen har höjts och broarna förstärkts med ett betongdäck.



Båda bilderna Södertälje 2004



Enklare träbro byggd av fyra långgående telefonstolpar med plankdäck.

Trakten av Vistheden, Lappland maj 2005

TRÄBROAR

TRÄ SOM MATERIAL KAN klara högre tryckkrafter än dragkrafter. Konstruktionerna måste anpassas till timrets längd. Träbroar är lämpliga för modellbygge.

Träets hållfastegenskaper är sådan att det bäst klarar tryckpåkänningar. I de bågkonstruktioner som visas i figurerna är de ingående delarna tryckta. Att utnyttja trä i konstruktioner som utsätts för dragkrafter och böjning är olämpligt.

Träbroar har en relativt kort livslängd. Övertäckta träbroar finns, men är ovanliga i Sverige. Vanligast förekommer träbroarna som vägbroar på privata vägar. Äldre uppfartsramper till kolhus och masugnar vid våra järnbruk liksom till sågverken var oftast utförda som träkonstruktioner.

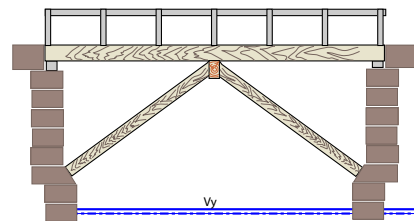
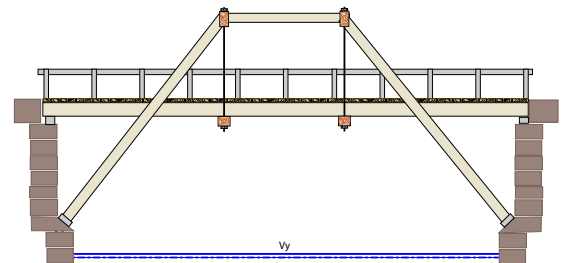
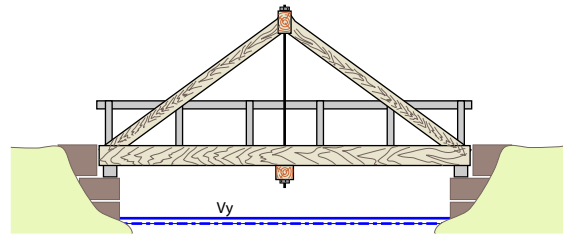
Ett problem är hur man skall utforma starka förbindningar mellan de olika konstruktionsdelar. Skarvning bör nämligen undvikas. Konstruktionerna måste därför utformas och anpassas efter timrets längd.

Förutom de enkla typerna i illustrationerna kan flera av de typer av fackverksbroar som byggs i stål även byggas i helt i trä kompletterade med dragstänger av stål. Sådana arbeten krävde yrkeskunniga timmermän.

I och med att gjutjärnet blev tillgängligt och till rimliga priser började man ta fram lämpliga anslutningsdetaljer. Infästningen av hängjärn i de två övre bilderna var punkter där gjutgods användes. Hängjärnen gjorde det möjligt att öka spännvidderna.

Trä som konstruktionsmaterial börjar åter att komma i bruk. Främst då som gång- och cykelbroar över nya motorleder. Brobalkar i limträteknik ökar spännvidderna och tillför förnyelse i materialanvändning och formgivning.

Träbroar är lämpliga för modellbygge i och med att de kan byggas modellriktiga av trälistor. De är inte alltför stora utan kan byggas med korrekta modelldimensioner. ❖



Principskisser över enklare träbroar för landsvägstrafik. Broarna har relativt korta spännvidder. De dragande krafterna tas upp av de lodräta dragstagen i stål. Själva brobanan är endast utritad i den mittersta figuren.
Enligt Banläran och Bygg



Klaffbro vid Häverud, Dalsland på järnvägslinjen Mellerud–Bengtsfors–Årjäng.

Juni 2005



Klaffbro vid Lidingö. Detalj av öppningsmekanismen. Den lodräta strävan uppåt är förbunden med motvikten som balanserar ut broklaffens vikt så att endast mindre krafter behövs för att öppna bron.

September 2005

RÖRLIGA BROAR

DE FLESTA BROAR ÄR fasta och kan inte öppnas. Men ibland är det nödvändigt att lägga en bro över en farled där man inte kan få tillräcklig fri höjd. Bron måste kunna öppnas. Det finns flera typer av öppningsbara broar.

I huvudsak kan vi sortera in de öppningsbara broarna i fyra grupper: svängbroar, klaffbroar, lyftbroar och rullbroar. Vanligast är svängbroar och klaffbroar. En definition: En bro omfattar helheten, dvs. även brofästen och eventuella lyftanordningar; spannet är i det här fallet den rörliga brodelen.

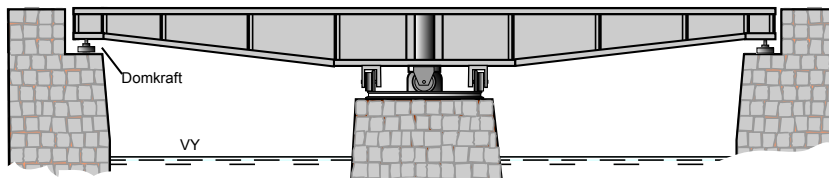
Ett rörligt spann tillverkas av stål. Farbanan på ett rörligt spann görs ofta av trä eller stål för att hålla vikten och därmed även kostnaderna nere. En betongfarbana riskerar att få sprickor på grund av spannets rörelser.

Svängspann

Ett svängspann rör sig kring en lodlinje. Vanligast är att svängspannet består av två lika långa armar. Det görs tvåarmat endast av det skälet att det är konstruktionsmässigt fördelaktigare. Vid en olikarmad svängbro skall större del av spannets vikt överföras till svängpelaren, som därför måste tillverkas i kraftiga dimensioner.

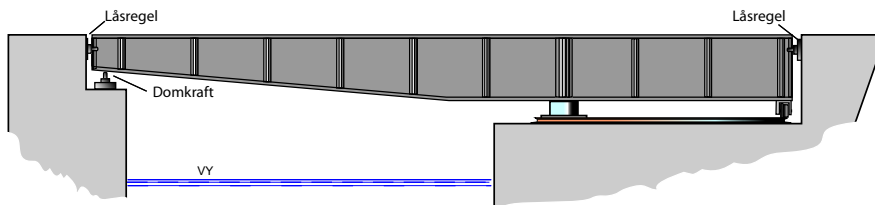
Det olikformade svängspannet används främst vid förhållandevis smala kanaler där utrymmet är begränsat. Delen som blir belägen över land måste utföras kortare än den över kanalen. För att tyngdpunkten skall sammanfalla med svängningscentrum, måste den kortare armen förses med en motvikt. Den görs vanligen av betong.

Armarna kan vara utförda av nitade, svetsade eller helvalsade balkar. Vid större spännvidder använder man fackverk. Vanligen går en farled endast genom den ena



Symmetrisk svängbro. Förutom de inritade domkrafterna skall broändarna läsas med låsklackar. Dessa är inte inritade. Låsklackarna förhindrar att bron kan röra sig i sidled.

Enligt Banläran



Osymmetrisk svängbro. I den högra halvan placeras motvikten som balanserar den utkragande vänstra brohalvan. Fackverksbron på sidan 6 är en äldre svängbro av den här typen.

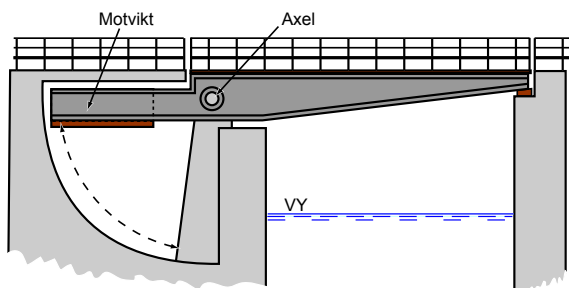
Enligt Banläran

öppningen. Svängbron hör konstruktionsmässigt till kategorin konsolbalkbro.

En vändskiva för lok är ett specialfall av svängspann.

Klaffspann

Klaffspann är ett spann som vrider sig omkring en horisontell axel. Man skiljer på tre huvudtyper: dels sådana med fast vridaxel, dels rullklaffspann och dels sådana spann som i Sverige går under benämningen ”holländska” spann. Det finns mellanformer. Ett klaffspann inkräktar i öppet läge inte på farledsutrymmet och det behöver inte heller öppnas helt för att medge genomfart för mindre farkoster. Å andra sidan fordras en stor och öppen pelare för att rymma motvikten – såvida man inte har en överliggande motvikt (t.ex. Lidingöbron, gamla Norsholmsbron). Motvikt är nödvändig för att balansera ut vikten av den utskjutande brobanan.



Klaffbro med fast axel. En väl beprövad och vanlig typ av klaffbro. Även de mycket gamla klaffbron vid Forsvik är av denna typ.

Enligt Bygg

Klaffspann med fast axel

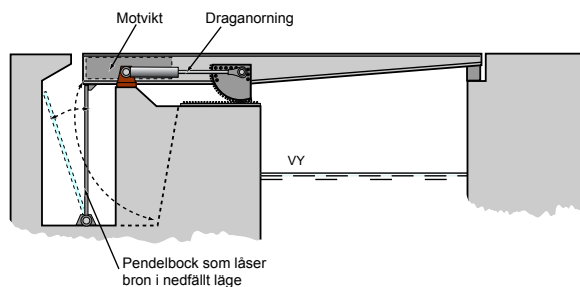
Spannet förses med en längre arm över farleden och en kortare arm som är försedd med motvikt. Vanligen är klaffen så konstruerad att trafiken inte kan gå fram över den kortare delen med motvikten. Annars finns det risk att det längre spannet kan lyftas oavsiktligt.

Motvikten kan vara sammanbyggd med spannet eller hängas löst i den bakre änden. Det brukar finnas en enkel förreglingsanordning som låser fast spannet vid den fasta konstruktionen.

Rullklaffspann

Vid ett rullklaffspann (s.k. Scherzer-spann) förflyttar sig spannet bakåt samtidigt som bron öppnar sig. Klaffen är nämligen upplagd på rullsegment som rullar på särskilda banor. Genom dragstänger som är infästade i rullsegmentets centrum får man rörelsen. Motvikten kan liksom vid spannet med fast axel monteras ovanför brobanan. Motvikten är normalt av betong. Vid den här typen av spann brukar motvikten vara ihopgjuten med brobanan. Rullklaffspannet har låsningsanordningar på samma sätt som klaffspannet med fast axel.

Om man har en bro som ligger högt över vattenytan är en klaff med fast axel fördelaktigare än en rullklaff. Det



Klaffbro med rullklaff. Draganordningen dra hela bron bakåt vid öppning. Vid stängning är risken liten för att brospetsen i högra delen kommer i knip genom att bron skjuts in i läge på högra landfästet.

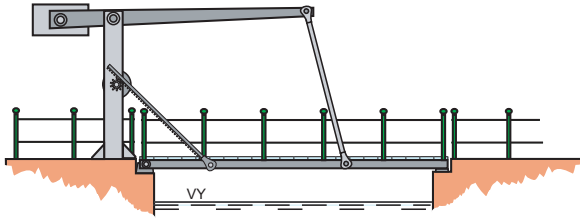
Enligt Bygg

gäller särskilt om motvikten kan hänga fritt i luften. Om motvikten vid en rullklaff förläggs över farbanan blir visserligen pelaren lägre och mindre, men konstruktionen förlorar mycket ur utseendepunkt.

Det ”holländska” klaffspannet

Ett holländskt klaffspann skiljer sig ifrån de tidigare typerna genom att motvikten är placerad på en särskild arm över farbanan. De är utformade som de gamla vindbryggorna. Vridkraften åstadkommes genom kuggade dragstänger som antingen är infästade i klaffspannet eller i vågarmen. Drivhjulens sitter i båda fallen på pelarna.

Brotypen är ekonomiskt fördelaktig. Stödskonstruktionerna blir enkla. En nackdel är att vågarmen utsätts för



Principskiss över klaffbro av holländsk typ. Vikten av broklaffen är liksom alla klaffbroar utbalanserad. Motvikten är placerad i den separata överramen.

skakningar och svängningar när trafiken passerar bron. Det används här och var i vårt land över mindre kanaler bl.a. i Eskilstuna. Spännvidderna bör dock inte överstiga 10 å 15 meter.

Lyftspann

Lyftspannet består av ett fritt upplagt spann. Vid landfästena finns pelare och brytskivor. Vajrar eller kättingar löper



Lyftspann på Årstabron, Stockholm. Spannet är numera taget ur bruk.

Augusti 2006



Klaffbro av holländsk typ. Bro vid kanalslussen i Eskilstuna. I bakgrunden Faktoriholmarna.

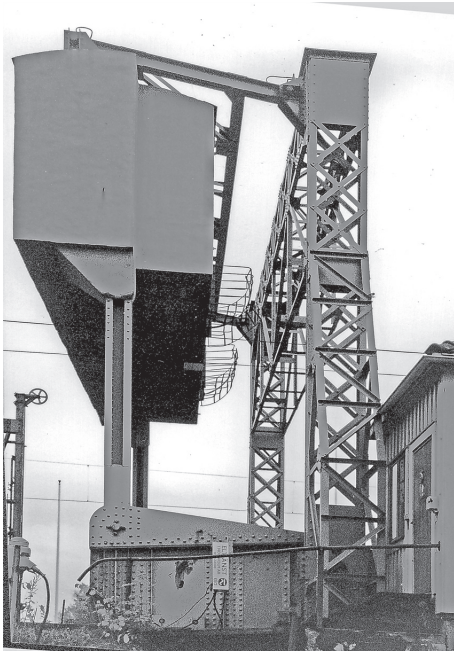
September 2004

från spannet över brytskivorna till motvikten. Vid öppning lyfts spannet rätt upp. Den segelfria höjden blir naturligtvis begränsad. Här kan nämnas lyftspannet i Årstabron (vajerspel). I moderna broar lyfts spannet med hydraulik, t.ex. motorvägsbron över Södertälje kanal.

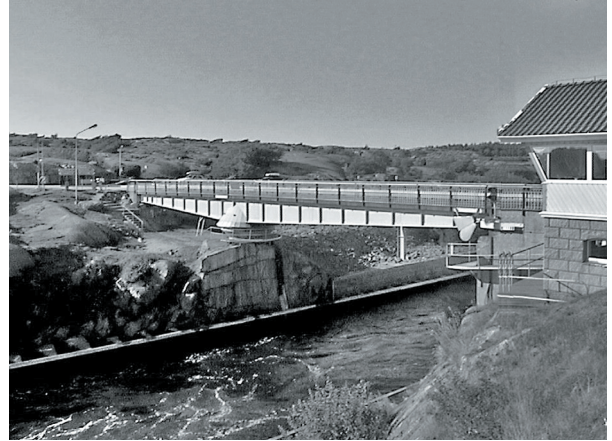
Rullspann

Rullspannet har tidigare varit en mycket vanlig typ av spann vid vägar över åar och kanaler. Den består i sin enklaste form av ett fritt upplagt spann som i änden är upplagd på rullar. Som brotyp är det här en konsolbalkbro i litet format. Vid öppningen dras spannet i vägens längdriktning med ett enkelt spel. Denna spanntyp är numera sällsynt. Rullspannet på fotot återfinns i Surahammar vid Strömsholms kanal. Du hittar ett antal liknande över Göta kanal.

Krigsbromaterielen är en form av rullspann. Bron byggs på land och lanseras (skjuts) sedan ut över vattendraget varefter den byggs och är klar. ❖



Överliggande motvikt av betong. Bilden visar den äldre klaffbron över Göta kanal vid Norsholm på linjen mellan Linköping och Norrköping. Bron är numera rivet och ersatt av modern hydraulklaffbro.

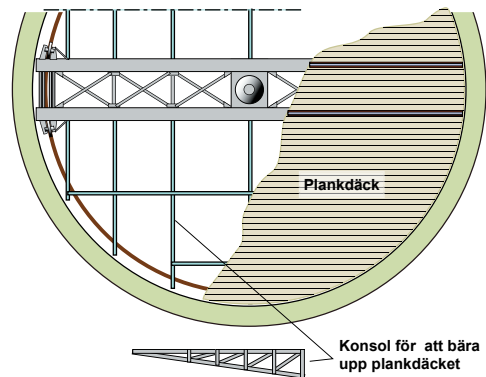
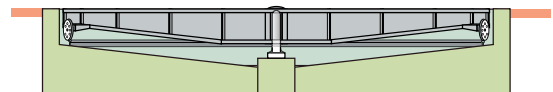


Symmetrisk svängbro över Sotenkanalen.

Bobuslän, augusti 2003



Järnvägsbron över Södertälje kanal. Bron är en klaffbro med underliggande motvikt. Notera de mycket höga mellanstöden. Sept 2004



Vändskiva för lokomotiv med 18 m diameter.

Efter Banläran



Klaffbro mellan Lidingö och Stockholm.

Augusti 2006



Klaffbron mot Lidingö. Motvikt av betong. I bakgrunden den ej öppningsbara bågbron.

Augusti 2006



Dubbelspårig klaffbro, Södertälje. Gångbanan vid sidan av spåren är utförd av gallerdurk. Till vänster i bilden gång- och cykelväg för civil trafik, den är utförd av betong men i själva klaffdelen i metallkonstruktion. Notera sliperläggningen och säkerhetsrälerna.

SPÅRLÄGGNING OCH AVSLUTANDE DETALJER

VI NÄRMAR OSS SLUTET. Bron är på plats. Det som återstår är att förse den med slipers och spår. En gångbana behövs oftast. Målning skall också göras.

Spårläggningen på en bro

Vid stålbroar läggs brosliprar eller brosyllarna direkt på långbalkarna eller huvudbalkarna. Sliprarna ligger tätare än ute på linjen. Det skall vara en sliperbredds mellanrum mellan sliprarna. Några exempel framgår av figurerna. Sliprarna fästs med bultar i balkens övre fläns. Rälsen spikas sedan på vanligt sätt i sliprarna. Slipermåtten är standardiserade till tvärsektion 200x200 respektive 250x250 mm och i längder på 3 000, 3 400, 3 800, 4 200 och 4 400 mm. För att spara på material läggs 3 000 mm längder som standard. De längre längderna använder man beroende på hur man vill arrangera sidogångbanan. Slipers i långa längder var svårare att få fram och blev därmed dyra. Därför byggde man i vissa fall särskilda långbalkar för gångbanan för att inte behöva använda specialsliprarna.

I H0 blir slipermåtten (måtten avrundade uppåt) ca 3x3 respektive 2,5x2,5 mm med längder på ca 35, 39, 44, 48 och 50 mm respektive. Observera att sliprarna skall ligga med ett inbördes avstånd av som är lika med sliperbredden. Det är alltså väsentligt tätare än sliperavståndet i linjespåret. Flexräls är därför inte användbar, utan du måste handlägga (spika eller limma) rälsen på bron om du vill få en trogen återgivning av brobygget.

På en sten- eller betongbro ligger ballast, spår och syllar precis som på banan i övrigt. På samma sätt kan man på en stålbro använda stenballast med hjälp av en trågliknande stålkonstruktion (buckelplåt eller kupplåt). Buckelplåtarna är infästade som hängmattor i balkarna. Fördelen med genomgående ballast är minskat buller, jämnare gång samt likartat spårunderhåll på både bana och bro.

Skyddsräler

Broar som är längre än 10 meter (längre än ca 12 cm i skala H0) skall ha skyddsräler för att minska skadorna vid en urspårning. Skyddsrälerna utgörs vanligen av kasserade räler och spikas på vanligt sätt i sliprarna. De skall dras in över landfästena där de bockas in mot varandra. (I H0 bör rännbredden bör vara ca 2,5 mm. Skyddsrälerna dras in ca 60 mm in över landfästet.) Spetsen skall bockas ner. Koppel eller plogar får inte riskera att fastna.

Skyddsräcke och gångbana

Skyddsräcket fästs enklast direkt i långa utkragande brosliprar i brons tvärriktning (se figurerna). Nackdelen är att räckesständerna måste demonteras vid slipersbyte. Även kostnaden för dessa extra långa slipers gjorde att man föredrog att lägga in särskilda långbalkar av stål. En sådan lösning visas i den högra figuren på nästa sida.

Själva räcket gjordes i sin enklaste form av L-profiler. Gångbana av plank läggs mellan rälerna på mindre broar med blygsam trafiktäthet. I övriga fall spikades planken i rälerna eller bultades i den sidoliggande gångbanekonstruktionen. På moderna broar hittar du ofta gångbanor av gallerdurk.

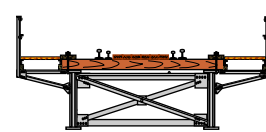
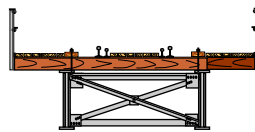
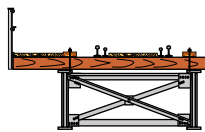
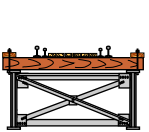
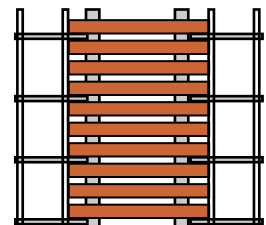
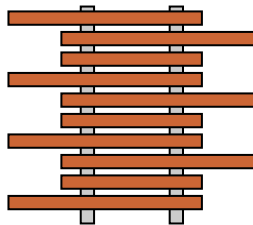
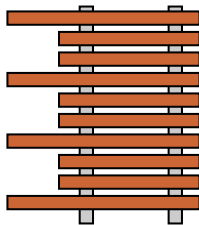
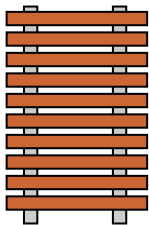
Färgsättning

I fullskalan har grönt och grått i olika toner varit den mest vanliga kulörerna. Numera ser man inse så sällan även färggladare broar än så. Röda, ljusblå och knallblå. Smuts, damm och rost ger sedan färgen stora variationer.

För dig som är modellbyggare gäller regeln att inte måla bron svart. Den möda du kanske lagt ner på omfattande detaljering syns dåligt eller inte alls vid alltför mörka kulörer. Studera foton i allmänhet och helst på förlagan.



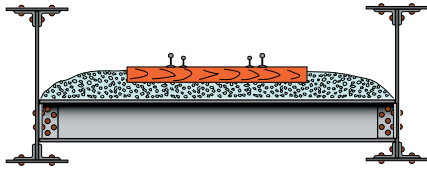
Säkerhetsräler och olika lösningar på gångbryggor. Bilden t.v. Norsholms gamla bro, i mitten Södertälje klaffbro med gångväg av gallerduk och t. h. Järlebron.



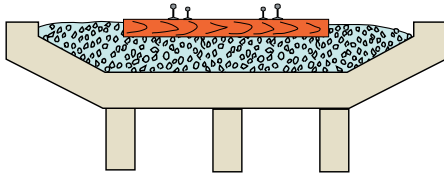
Utläggning av slipers och arrangemang av gångbana. Sliperslängder enligt texten.

Har du byggt din bro i metall? Kemisk färgning kan då vara en bra metod. Kemikalien brukar ge en brunsvart kulör. Inga detaljer döljs under färglagren och färgen på nitarna,

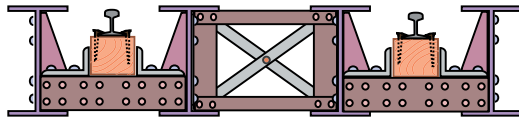
vinklar etc. tenderar att efter en tid skifta i något ljusare toner på ett mycket realistiskt sätt. ❖



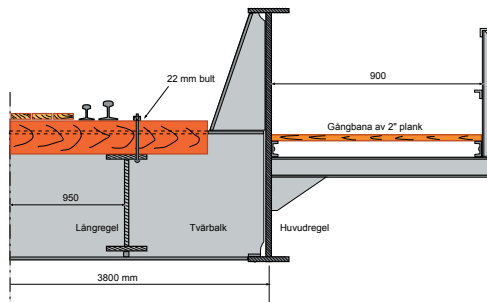
Ballasterad plåtbalkbro. Ovanpå tvärbalkarna ligger en kraftig längsgående stålplåt (s.k. kupplåt/buckelplåt) som bildar ett tråg. Ballasten läggs i tråget.



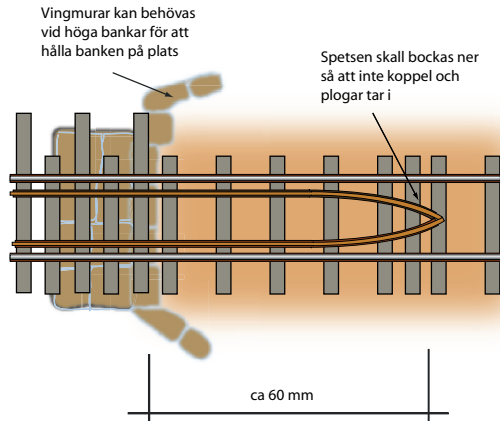
Betongbro med ballasten liggande i den trågformade brobanan



Exempel på lösning där man sänkt spåret för att klara begränsningar i fria höjden i den ovanför liggande brokonstruktionen.



Modern plåtbalkbro (svetsad) med försänkt brobana. Sliprarna är fästade i långbalkarna med bult. Till höger gångbana.



Säkerhetsrällerna skall dras in ca 60 mm över landfästet. Använd gärna klenare rälsprofil än den som ligger i spåret. Avståndet mellan spåret och säkerhetsrälen skall vara 2,5 mm enligt NEM-normen. Bocka ner spetsen och löd ihop ändarna.



Enkelt räcke av nitade L-profiler. Räckesständerna är fästa direkt i extra långa brosliprar.

Järlebron

KÄLLOR OCH FÖRDJUPANDE LÄSNING

Tryckta källor

Litteraturförteckningen i det här häftet är bara ett smakprov. Den tar upp lite äldre skrifter/böcker för att ge en bakgrund till den tid då de flesta broar för järnvägsändamål byggdes. Några av dessa kan vara svåra att få tag i. Biblioteken vid de tekniska högskolorna bör kunna hjälpa till att spåra litteratur för den vetgirige.

- **Banlära**, andra bandet.
SJ Stockholm 1916.
- **Normalbestämmelser för järnkonstruktioner till byggnadsverk.**
SOU 1938:37.
- **Stålkonstruktioner.**
Kompendium i brobyggnadsteknik. Rolf Baere.
KTH Stockholm.
- **BYGG.**
Handbok för hus-, väg- och vattenbyggnad.
Delarna 1, 2 och 9.
- **Card board engineering.**
Eric Taylor, Your Model Railway, juli 1986.
- **Modellbahn Landschaft.**
Alba Modellbahn Praxis nr 5.
- **Bridges and buildings for Model Railroads.**
W Anderson, Kalmbach Publishing Co, 1965.
- **Scenery for Model Railroads.**
Bill McClanahan. Kalmbach Publishing Co, 1967.
- **Bridge and Trestle Handbook.**
Paul Mallery, Carstens Publications, 2000.
ISBN 911868-99-2

Några länkar

Några länkar till intressanta webbsidor har också tagits med. Sökmotorn Google kan vaska fram ytterligare.

- **Rörliga svenska broar:** sjk.se/broar.htm
- **Fyllig engelsk brosida:** brantacan.co.uk/bridges.htm

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning	3	Balkbroar	33
Bakgrund och litet brohistoria	5	<i>Valsade balkar</i>	
<i>Massbalans</i>		<i>Plåtbalkbro</i>	
<i>Olika brobyggnadsmaterial</i>		Fackverksbroar	37
<i>Bro, viadukt eller en kulvert</i>		<i>Parallelfackverk</i>	
<i>Olika brotyper</i>		<i>Parabelfackverk</i>	
<i>Fasta eller rörliga broar</i>		<i>Halvparabelfackverk</i>	
<i>Ovanpåliggande eller genomgående brobana</i>		<i>Konsolbalkbro</i>	
<i>Konstruktionsmaterial</i>		<i>Kontinuerlig brotyp</i>	
Tillämpningar i modellbygge	14	Montage av stålbroar	41
<i>Användning</i>		Sten- och betongbroar	45
<i>Tidsperiod</i>		<i>Bågbroar</i>	
<i>Spännvidder</i>		<i>Hängbroar</i>	
<i>Trafik</i>		<i>Betongbroar</i>	
<i>Material</i>		Träbroar	51
<i>Bromontage</i>		Rörliga broar	53
<i>Terrängen</i>		<i>Svängspann</i>	
Dimensionering av en modellbro	17	<i>Klaffspann</i>	
<i>Broar i ett spann</i>		<i>Lyftspann</i>	
<i>Broar i flera spann</i>		<i>Rullspann</i>	
<i>Fritt utrymme i sidled</i>		21 Spårläggning och avslutande detaljer	59
<i>Fritt utrymme i höjled</i>		<i>Spårläggningen på en bro</i>	
Brons olika delar	21	<i>Skyddsräler</i>	
<i>Underbyggnaden</i>		<i>Skyddsräcke och gångbana</i>	
<i>Överbyggnaden</i>		<i>Färgsättning</i>	
<i>Delar i överbyggnaden</i>		25 Källor och fördjupande läsning	62
Kompletterande delar	25	<i>Tryckta källor</i>	
<i>Landfästen och vingmurar</i>		<i>Några länkar</i>	
<i>Stöd och kolonner</i>			
<i>Mellanstöd i vatten</i>			
<i>Lager</i>			

