

## 3-1: Konstruktion: broar

### Inledning

Målet med det här kapitlet är att du skall konstruera en bro. Du får gärna arbeta i en grupp tillsammans med dina kompisar. Bron skall uppfylla vissa krav, och du skall bygga den i bräckliga material, balsaträ, sugrör och tunna sytrådar.

För att du skall bli lite varm i kläderna så läser du först igenom en teoridel som förklarar några grundläggande principer, som du kommer att få god användning för. Därefter kommer några intressanta broar och ”broar för vatten” eller akvedukter. Därefter kommer en handledning på hur du skall konstruera din bro.

### Lite teori

När man konstruerar en bro, så gäller det naturligtvis att se till att den håller för de belastningskrav som ställs på bron. Men det finns en hel del andra saker att ta hänsyn till. Att bygga den för stark blir dyrt, och att använda fel material kan också bli dyrt. Dimensionerar man för klent så går bron sönder, och överdimensionerar man så kostar det. Här gäller som alltid tesen ”lagom är bäst”. Vi börjar med att jämföra egenskaperna hos en tunn balsaskiva, en balk och en tunn stav, som är 1x1 mm i kvadrat. Balsaträ är ett mycket lätt material, och det är också mycket skört, och är utmärkt till exempel om man vill bygga modellflygplan.

#### Se på den tunna balsaskivan till höger.

I vilka riktningar kan den ta upp krafter på ett maximalt sätt?

Svar:.....

Och i vilken riktning är den bräcklig och knäcks lätt?

Svar:.....

#### Betrakta nu balken till höger. Samma fråga:

I vilka riktningar kan den ta upp krafter maximalt?

Svar:.....

Kan balken ta upp större krafter i längsled än skivan, som är tunnare?

Svar:.....

Kan balken ta upp större krafter i vertikal led än skivan?

Svar:.....

#### Slutligen jämför vi en balk med en tunn fyrkantstav.

I vilken riktning kan fyrkantstaven ta upp krafter utan att knäckas?

Svar:.....

Som du säkert funnit ut så kan **balsaskivan** ta upp krafter i sin längs- och sin höjdriktning, men eftersom den är så tunn så knäcks den lätt i den tunna riktningen, i detta fall på bredden.



## Sammanfattning - lite hållfasthetslära

**Balken** tar upp stora krafter i sin längdriktning och i sin höjdriktning, men mindre i sin breddriktning eftersom den är smalast där.

**Balsastaven** tar upp stora krafter i sin längdriktning men knäcks lätt i sin bredd- eller höjdriktning.

**Ett sugrör** kan ta upp krafter i längdriktningen, men knäcks lätt om man böjer det.

**En sytråd** kan också ta upp krafter i längdriktningen.

De här egenskaperna kan man dra nytta av när man konstruerar broar. Vi skall senare se på några ”riktiga” broar, och se vilka principer som ligger bakom.

## Några brotyper

### Konsten att slå valv.

Antikens greker kunde inte slå valv, men romarna lärde sig hur det skulle gå till. Förklara hur valvet på bilden till höger är uppbyggt, och varför valvet inte rasar ihop. Rita gärna en figur där du markerar hur krafterna går.



Svar:.....

.....

.....

.....

Vilken egenskap hos materialet, i detta fall sandsten, utnyttjar man när man slår valv?

Svar:.....

När man bygger ett valv får man ett problem som man måste lösa. Den lodräta kraften i toppen på valvet kommer att fördelas ut åt sidorna på valvet. Har man ingenting där som kan ta upp sidokraften så rasar valvet. Bilden till höger visar hur ett valv är förankrat i marken så att sidkrafterna kan tas upp.



## Valv i kyrkobyggen

För många kyrkobyggare gällde det att få till så höga och pampiga byggnader som möjligt. Samtidigt skulle kyrkorummen vara stor så att det rymdes mycket folk. Följaktligen konstruerades mycket höga valv. Men som du lärt dig nyss, så gäller det att ta upp sidkrafterna som valvet utsätts för. Annars glider valvets pelare isär, och valvet rasar. Det här kände kyrkobyggarna till, och därför blev det nödvändigt med en del ganska stora stödkonstruktioner för att ta upp sidkrafterna. Bilden visar kyrkan Notre Dame i Paris, sedd bakifrån. Notera de stora stödkonstruktionerna som mynnar högt upp på valvet för att säkra att valvet inte rasar ut åt sidorna.



## Nya Svinesundsbron

Nya Svinesundsbron är en bågbro. Du ser den i motljus på bilden till höger. Bågen är byggd av betong, och är ihålig för att spara material. Den bär upp körbanan i kraftiga stålvalvjar.



Vilka egenskaper hos betongen utnyttjas i bron?

Svar:.....

.....

.....

Blir det några sidkrafter att ta hand om vid brofästena?

Svar:.....

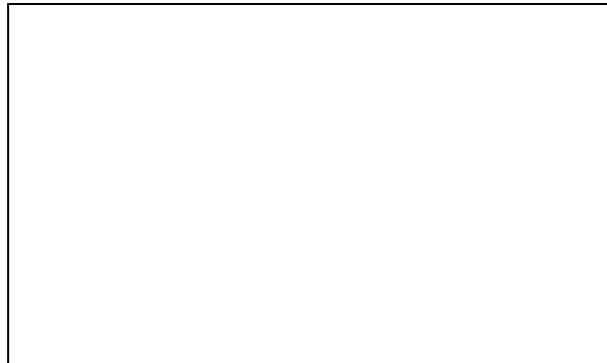
## Balkbron

Många broar är byggda med hjälp av stålbalkar. Stål är ett utmärkt material, eftersom det kan ta upp stora krafter i längsled, och genom att göra profiler i form av L eller H, så ökar möjligheten drastiskt att ta upp krafter i sidled.

Med hjälp av en fackverkskonstruktion kan man skapa en struktur som liknar en kraftfull skiva, men med en bråkdel av vikten. Bilden visar en balkbro över Dalälven norr om Borlänge.



Rita en skiss på hur krafterna i bågen verkar, och beskriv hur bron fungerar. Blir det några sidkrafter, som måste tas om hand vid brofästet? Motivera ditt svar.



Svar:.....  
.....  
.....

Stål är ett material som utvidgar sig när det blir varmt och drar ihop sig när det blir kallt. Det måste brokonstruktören tänka på för att bron skall kunna fungera i vårt klimat. Hur löser man problemet med brons varierande längd under sommar- och vinterperioderna?

Svar:.....  
.....

## Hängbron

### Högakustenbron

Den gamla Sandöbron klarade inte av trafikkapaciteten, utan ersattes av Högakustenbron.

Några data:

- Betongåtgång: 40 000 m<sup>3</sup>
- Stål i brobanan: 14 000 ton
- Stål i kablarna: 8 500 ton
- Armeringsjärn: 4 000 ton
- Spännvidd: 1 200 m
- Höjd på pylonerna: 180 m



Några frågor att arbeta med:

Hur fungerar bron: vilka egenskaper utnyttjas hos materialet i pylonerna respektive kablarna?

Svar:.....  
.....

Du gör en exakt modell av bron, och använder samma material som originalet. Modellen skall ha ett spann på 1,2 m. Hur mycket skulle kablarna till modellbron väga?

Svar:.....

Hur mycket skulle modellen väga? En m<sup>3</sup> betong väger ungefär 2 ton.

Svar:.....

Vad drar du för slutsatser av modellens storlek och dess vikt när du jämför med den verkliga brons egenskaper?

Svar:.....

## Akvedukter (broar för vatten)

### Pont du Gard

Att förse städer med vatten för att få god hygien eller mata fontäner är inte nytt. Redan romarna, som levde runt Kristi födelse och ett antal hundra år framöver, insåg behovet att förse städer med vatten. Vatten kan inte ledas upp och ner längs dalar så vida man inte har pumpar, utan det måste rinna med jämn lutning. Ett av de mer spektakulära projekten var att förse staden Nîmes med vatten från källor vid Uzès, 5 mil därifrån. Bland annat måste floden Gardon överbryggas. Den akvedukt som byggdes har underhållits efter hand, men i princip har den stått sedan år 50 efter Kristi födelse, det vill säga i ungefär 2000 år.



### Några data:

Byggtid: 5 år

Höjd: 49 m

Längd: 360 m i dag.

Ursprungligen 490 m

Materialåtgång: 21 000 m<sup>3</sup> sandsten

Vikt: 50 000 ton

Bredd på översta valvet, där vattnet rann: 3,1 m

För den 5 mil långa akvedukten gällde:

Total fallhöjd: 11,2 m

Vattentransport: cirka 200 l/sekund

Drifttid: cirka 500 år



*Bilden visar vattenrännan överst på akvedukten. För att minska avdunstningen var vattenrännan övertäckt. Det syns längst bort i bilden.*

### Frågor att arbeta med:

Studera hur romarna placerade pelarna till valven för de tre nivåerna. Slutsats?

Svar: .....

Antag att du skall bygga en modell av bron i nuvarande skick. Den skall vara 3,6 dm lång och du bygger den i sandsten i "perfekt skala" det vill säga varje detalj i bron är perfekt nedskalad.

Vilken blir skalan?

Svar:.....

Hur bred kommer bron att vara högst upp?

Svar:.....

Hur hög kommer modellen att vara?

Svar:.....

Hur mycket kommer modellen att väga? (svårt!)

Svar:.....

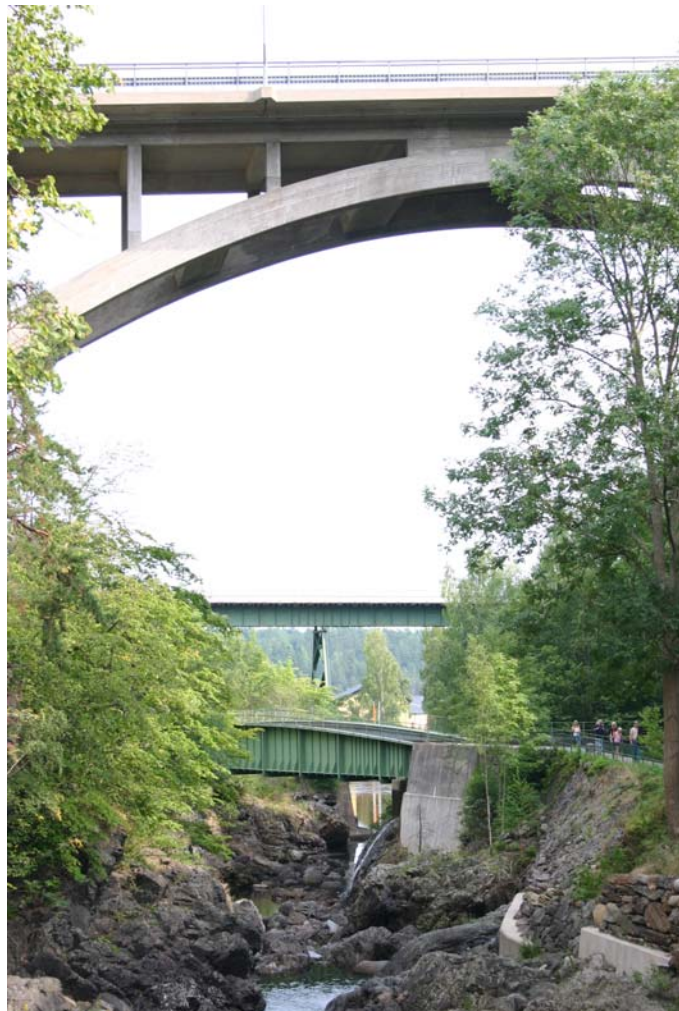
Din "teoretiska modell" ger lite perspektiv på romarnas fantastiska byggteknik.

### Akvedukten vid Håverud.

Sveriges svar på Pont du Gard är nog akvedukten vid Håverud. På 1800-talet byggdes kanaler för att kunna transportera tunga saker som stångjärn från Bergslagen ner till utskeppningsorter som Stockholm och Göteborg. Dalslands kanal byggdes under andra halvan av 1800-talet, och akvedukten vid Håverud färdigställdes under åren 1864-1868. Byggmästare var Nils Eriksson, bror till den berömda uppfinnaren från Långbahn, John Eriksson. Problemet som Nils Eriksson måste lösa var att dra kanalen över ett vattendrag. Det fick bli en bro där vattennivån var horisontell så att båtarna kan ta sig fram.

Betydelsen av kanalerna kom snabbt att minska i och med att järnvägar började byggas, men de har nu rustats upp för att användas för turisttrafik.

Bilden visar brokomplexet i Håverud. Överst går en vägbro, i mitten på bilden ser du en järnvägsbro och underst akvedukten, som är byggd i stål. Trots att den byggts för länge sedan så har man bara behövt byta ut en nit i konstruktionen hittills för att den varit dålig.



## Konstruktionsprojekt

Du kommer att få konstruera en bro. Du får välja typ av bro. Här kommer några alternativ:

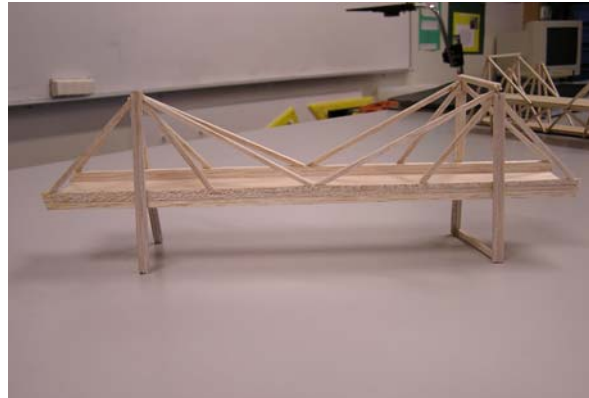
### Balkbro i balsa och/eller sugrör.

Din uppgift är att konstruera en bro i ett lätt och bräckligt material. Du kan använda stavar av balsaträ, cirka 1x1 mm eller sugrör. Till körbanan använder du ett tunt balsaflak, cirka 5 cm brett. Följande skall gälla:

**Brons längd:** 30 cm

**Spann:** minst 20 cm

**Belastning:** bron skall klara minst 100 grams belastning på mitten



### Utförande:

1. Gör först en skiss på hur du vill göra din bro.
2. Rita upp en bild på en pappskiva eller liknande i skala 1:1. Mallen behöver du om du skall göra två exakt lika dana halvbor. Med bilden som hjälp kapar du till de stavar som skall bygga upp bron och limmar ihop dem med ett snabbtorkade lim eller limpistol. När limmet torkat kommer brohalvan att sitta fast i pappen, så du får skära loss den försiktigt med en skalpell eller tunn hobbykniv.
3. Skär till körbanan och tvärbalkar och limma ihop det hela. Gör en provbelastning när du är klar.

### Hängbro

Din uppgift blir att konstruera en hängbro. Använd bräckliga material som sytråd och balsaträ eller sugrör för att få en verklighetstrogen konstruktion. Bron skall ha ett spann på 30 cm, och klara minst 100 g vikt på mitten. Tänk på hur krafterna verkar i en hängbro, så du får förankra den till exempel på en bräda. Arbeta enligt följande:

1. Gör en skiss på hur din bro skall se ut.
2. Bestäm vilka material som du skall använda i pyloner, linor och körbana
3. Gör därefter en konstruktionsritning.
4. Bygg bron och när den är färdig: provbelasta den

### Annan brotyp

Välj en egen konstruktion av bro. Den skall ha ett spann på 30 cm, och klara 100g vikt på mitten. Arbeta som ovan:

1. Gör en skiss på hur din bro skall se ut.
2. Bestäm vilka material du skall använda till de olika delarna
3. Gör en konstruktionsritning
4. Bygg bron och provbelasta den när den är färdig

LYCKA TILL!