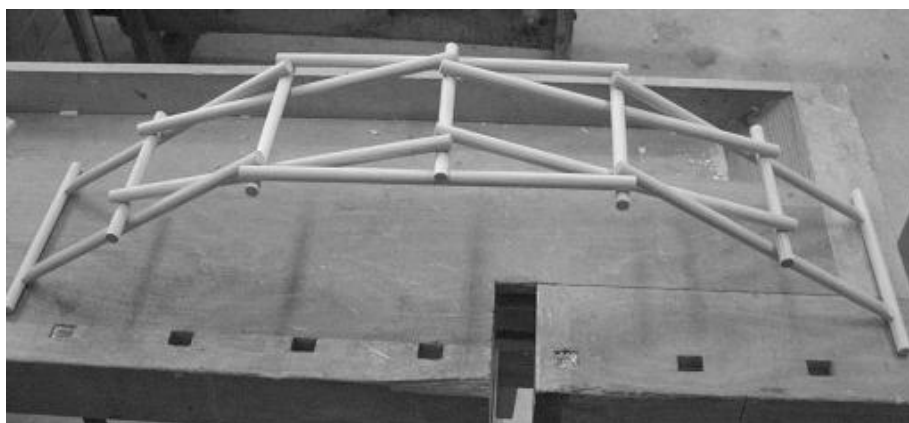


# En historisk brokonstruktion för nutida bruk



Jonas Öhlén

Uppsats för avläggande av filosofie kandidatexamen i  
Kulturvård, Bygghantverk

27 hp  
2009

Institutionen för kulturvård  
Göteborgs universitet



**INLEDNING**

<b>1. INNEHÅLL</b> .....	2
1.1 Bakgrund.....	2
1.2 Problemformulering.....	3
1.3 Syfte.....	3
1.4 Förutsättningar och frågeställning .....	3
1.5 Avgränsningar .....	4
1.6 Befintlig kunskap .....	4
1.7 Metod .....	5
<b>2. UNDERSÖKNING</b> .....	6
2.1 Beskrivning av Leonardos bro .....	6
2.2 Förstudie med hjälp av ritning och modellbygge.....	9
2.2.1 Utgångspunkter för dimensionering av virket .....	9
2.2.2 Sammanbindningar .....	11
2.2.3 Montering .....	15
Metod 1 .....	16
Metod 2 .....	17
2.2.4 Fundament för fast och lös mark .....	19
Fast mark .....	20
Mark med sämre bärförmåga .....	22
2.2.5 Brodäck, broräcke och förlängning .....	26
Brodäck och räcke .....	26
Förlängning av bron .....	28
2.3 Brobygge i full skala .....	31
2.3.1 Material .....	31
2.3.2 Redskap, verktyg och lyftanordningar .....	32
2.3.3 Arbetsgången för brospannet .....	32
Virkesuttag och virkesberedning .....	32
Första segmentet .....	33
Andra segmentet .....	37
Tredje segmentet .....	39
Tappstocken .....	40
Fundamentstocken .....	43
2.3.4 Förstyvningar .....	46
Övre delen .....	46
Undre delen .....	48
2.3.5 Lyftanordningen .....	51
2.4 Uppskattning av brons livslängd .....	53
2.5 Material och tidsåtgång .....	54
2.6 Arbetsbeskrivning .....	55
<b>3. AVSLUTNING</b> .....	56
3.1 Diskussion .....	56
3.2 Slutsatser .....	57
<b>4. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING</b> .....	59

## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

I TV-programmet Vetenskapens värld visades 1999 ett reportage från Jinze i Kina. Ett arbetslag med ingenjörer och hantverkare i spetsen skulle bygga en speciell träbro. Eftersom det, enligt Tv- programmet<sup>1</sup> inte har överlevt någon sådan bro in i modern tid som man kunde studera baserades arbetet på en målning från 1100-talets Song-dynasti. Professor Tang Huan Cheng, en man som spenderat många år åt studier av broar och konstruktionen i fråga fick i TV- produktionen äntligen den hjälp han behövde.

Resultatet blev en rekonstruerad nio meter lång gångbro som testades genom att två stora oxar leddes samtidigt över bron som självklart höll.

Men detta är inte den enda existerande träbron i Kina med denna speciella, självbärande konstruktion. Från 1980 och framåt har det rapporterats in närmare ett hundratal varav en del av dem har undersökts och dokumenterats närmare under främst 1990-talet.

Även Leonardo Da Vinci (1452-1519) har ritat själva konstruktionsprincipen för en liknande träbro i sina anteckningar<sup>2</sup>. Den var då troligen mest intressant för det militära syftet att lätt och snabbt bygga en provisorisk bro för truppöflyttningar. Uppförd med ett fåtal stockar och enkla sammanbindningar skulle den vara lätt att montera där det så krävdes.

De kinesiska broar som uppfördes för att vara permanenta och ta tyngre laster var betydligt mera invecklade. Här "flätas" en mängd stockar samman och sträcker sig över stora spann. Man har även byggt ett skyddande tak över, vilket har möjliggjort att de har bevarats länge. Då de kinesiska broarna förefaller mer komplicerade och i de flesta fall är avsedda för större spännvidder begränsas jag mitt examensarbetet till att handla om Leonardos något enklare konstruktion.

Mitt arbete utgår ifrån att denna mycket gamla, självbärande konstruktionsprincip för träbroar skulle vara intressant att använda idag och undersöker hur den skulle kunna utföras. Efter exempelvis vandringsleder, i naturreservat och liknande krävs broar över mindre vattendrag som bäckar och åar. Över riktigt små bäckar är det naturligtvis enklast att fälla ett par trädstammar, men dessa når snabbt sin begränsning när det gäller spännvidd och nedböjning. De är också känsliga för vårflod och tillåter inte passage av exempel kanoter eller mindre båtar. Broprincipen bör kunna utformas så att de passar väl in i såväl naturmiljöer som kulturhistoriskt värdefulla miljöer. Konstruktionen, med sina relativt korta längder på virket, förefaller också vara möjlig att göra med enkla hjälpmedel och eventuellt också av platsens material så att bensinlukande transporter kan minimeras. Samtliga foton i arbetet är tagna av författaren under mars- maj 2009.

---

1 NOVA. Builds a Rainbow

Bridge:<http://www.pbs.org/wgbh/nova/lostempires/china/builds.html>

2 The Codex Atlanticus (Atlantic Codex)(1487-1489)

## 1.2 Problemformulering

Varken i beskrivningarna över Leonardo da Vincis bro eller för de kinesiska broarna finns detaljer på sammanhugningar och infästningar mellan de olika byggnadsdelarna redovisade. Det är troligt att detta visas i något av de kinesiska projekten, men inte i den engelskspråkiga litteratur som jag tagit del av. Det är de fascinerande konstruktionsprinciperna som står i fokus. Men för en bygghantverkare som ska bygga en bro räcker inte konstruktiva principer, där måste alla detaljer och moment klargöras.

## 1.3 Syfte

Undersökningen ska med utgångspunkt i Leonardos konstruktionsprincip bygga en bro och klarlägga längder och dimensioner, sammanfogningar och samtliga arbetsmoment för att göra en komplett arbetsbeskrivning för en bro tänkt över ett mindre vattendrag.

## 1.4 Förutsättningar och frågeställning

Efter exempelvis vandringsleder, i naturreservat och liknande krävs broar över mindre vattendrag som bäckar och åar. Mitt arbete utgår ifrån att denna mycket gamla, självbärande konstruktionsprincip för träbroar skulle vara intressant att använda idag och undersöka hur den skulle kunna utföras på ett säkert sätt.

Jag ska därför bygga en bro för att få en realistisk bild av hur detta ter sig i verkligheten. Den skall ha en längd på omkring 12 meter och två meters bredd. Bron byggs uteslutande av gran. Gran finns allmänt i hela Sverige och den behöver inte " mogna" som andra träd innan den kan användas eftersom den kan ha bra kvalitet redan som mindre träd. Gran är flexibel, stark och lättbearbetad. Den är oftast mera rakvuxen än andra träsorter och har en jämnare avsmalning om den vuxit långsamt och trångt.

Sammanbindningarna i bron ska utföras med enkla skålformade urtag som sedan säkras med gängstång (M12-M16) med bricka och mutter då det är de enklaste, säkraste och mest troliga alternativen till handa för de personer som sedan eventuellt ska bygga broarna ute i vildmarken. Urtagen vid sammanbindningarna kommer att göras så små som möjligt för att inte försvaga materialet och konstruktionen.

Med dessa förutsättningar kommer undersökningen att bearbeta följande frågor:

- Vilka är de lämpliga längderna och dimensionerna på virket i en 12 m lång bro ?
- Hur ska sammanhugningar och "förband" utföras i detalj för att effektivt låsa konstruktionen?
- Vilka redskap, verktyg och lyftanordningar krävs?
- Vilken är den lämpligaste arbetsordningen för att effektivt bygga en bro?
- Vad är en rimlig tidsåtgång för att bygga en sådan bro?



### 1.5 Avgränsningar

Undersökningen omfattar inte fullskaligt utförande av brodäck och broräcke. Detta kommer endast visas i modellform, men här kan lagar och förordningar säga att vissa andra mer beständiga material ska användas. Undersökningen handlar främst om brons grundläggande konstruktionsprincip.

En bra grund eller fundamenten för en bro är viktigt. Här undersöks endast i modellform hur man kan göra fundament till fast mark och mark med sämre bärighet, ex myrar. Det ska endast ses som förslag och uppslag för vidare utveckling.

Undersökningen omfattar inte heller hur bron förhåller sig till gällande lagar och byggregler. Det är ett allt för stort område att utreda med säkerhetskrav för statiska och dynamiska laster, personsäkerhet, olika typer av mark- och vattenflödesförhållanden och det kommer säkert att krävas olika provbelastningar innan den kan ”typgodkännas”.

### 1.6 Befintlig kunskap

De uppgifter jag hittat i litteraturen är i översikter över kinesiska broar. Allt från smala och enkla spångar till stora massiva stenbroar. Det finns principritningar och sprängskisser över hur konstruktionerna ser ut men inga detaljer angående förbindningar eller andra lösningar.

Fotografierna på de välvda träbroarna är genomgående bilder som visar broarna i sin helhet.

Professor Cheng delar in de välvda broarna i två olika sorters grundsystem: Woven Timber Arch Bridges och Woven Timber Arch-Beam Bridges.

*“The bridge structure consists of two basic systems: system A has three long arch segments hinged at the ends, and system B had two long arch segments and two short ones hinged in the same way. Both systems are unstable structures so they are tied together by five cross beams at the ends of segments with bamboo strips or hemp ropes ”*

*(Cheng 1987, s: 266)*

Cheng´s bok är skriven på kinesiska men med ett kort sammandrag angående de olika kapitlen på engelska i slutet. I övriga böcker, som i Ronald G. Knapp´s bok *Chinese bridges, a living architecture from china´s past*. (2008). och H. Fugl. Meyer´s *Chinese bridges* (1937). är informationen är liknande.

Leonardo Da Vinci´s självbärande bro finns bara som skiss i hans anteckningar, inte heller där kan man utläsa något om förbindningar eller tankarna bakom dess användningsområde. Dock anser man i dag att den skulle ha varit intressant för militärt bruk på den tiden<sup>3</sup>. På Internet finns flera web- sidor som berör de Kinesiska broarna. Samt en mängd hemsidor om flera av de broar som Leonardo konstruerade. Gemensamt är dock att de liksom böckerna inte redovisar konstruktionsdetaljerna utan bara bron i sin helhet.

---

3 Bernrdoni. Andrea. Taddei. Mario. Zanon. Edoardo. (2007). *I ponti di Leonardo- Leonardo´s bridges*

### **1.7 Metod**

Bron ska vara ca 12 m lång, för att nå över ett vattendrag som är ungefär sju till åtta meter brett och tillåta roddbåtar, kanoter mm att passera under bron. Det ska vara möjligt att bygga ett stabilt fundament en bit in från strandkanten. För att klargöra hur långa virken som behövs i de enskilda delarna för att få en bro med 12 meters spännvidd görs ritningar i skala 1:10. Skalan ligger närmast den dimension på rundstav som används i modellen.

Modellen görs av 15 mm rundstav i skala 1:10 Med modellen undersöks olika möjligheter för själva konstruktionen, för fundamenten och för själva monteringen. - Utgångspunkten är att bygge och montering ska låta sig göras med så få hjälpmedel som möjligt.

Bygge i full skala krävs för att närmare klargöra förband och sammanfogningar, dimensioner, verktyg, arbetsmetoder och arbetsgång samt tidsberäkning. För att få reda på om mina erfarenheter och val av grovlek på timret resulterar i en funktionsduglig bro.

## 2. UNDERSÖKNING

### 2.1 Beskrivning av Leonardos bro

Arbetet utgår från Leonardos brokonstruktion eftersom den är mest ändamålsenlig för uppgiften som jag redogjort för i inledningen ovan.

Leonardos bro är en självbärande konstruktion av fem runda stockar på var sida som bildar själva valvet. Förmodligen var kanske tanken att de skulle ha skålformade urtag, men det kan man inte avläsa på hans skiss. Mellan dem ligger fem runda bjälkar vars placering möjliggör att allt låses av egentvingden i konstruktionen. Ur Leonardos broskiss<sup>4</sup> kan man inte utröna val av dimensioner, förbindningar e c t, dock kan rep ha varit det som säkrat stockarnas läge. Detta är för mig det mest troliga. Tyvärr finns det inga belegg för att bron någonsin skulle ha byggts under den tiden som Leonardo levde.

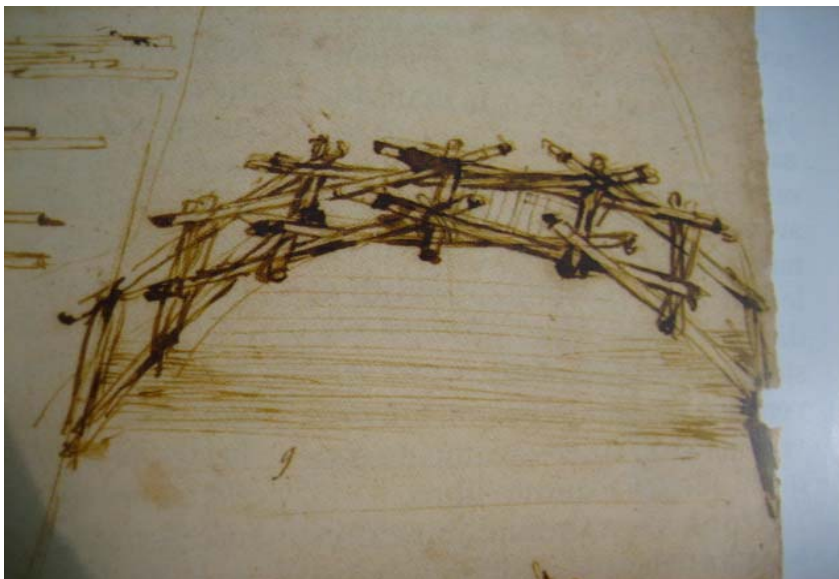


Bild 1: Teckning av Leonardo Da Vinci: Codex Atlanticus, f. 69ar and 71v (1487-1489)  
Foto: taget av J Öhlén ut boken "I ponti di Leonardo (2007)"

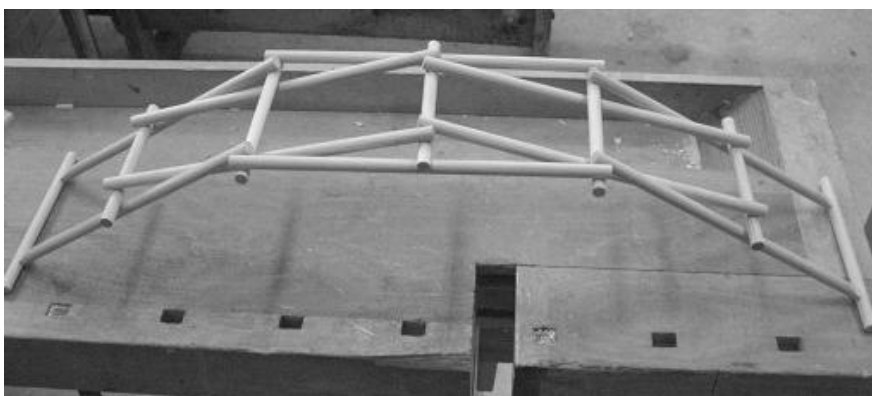


Bild 2: Färdig modell i skala 1:10. Vikten fördelas jämnt över hela bron tack vare sättet delarna samverkar med varandra. Delarna hålls här på plats av egenvikten i konstruktionen och endast med de skålformade urtagen i de långsgående bjälkarnas ändar.

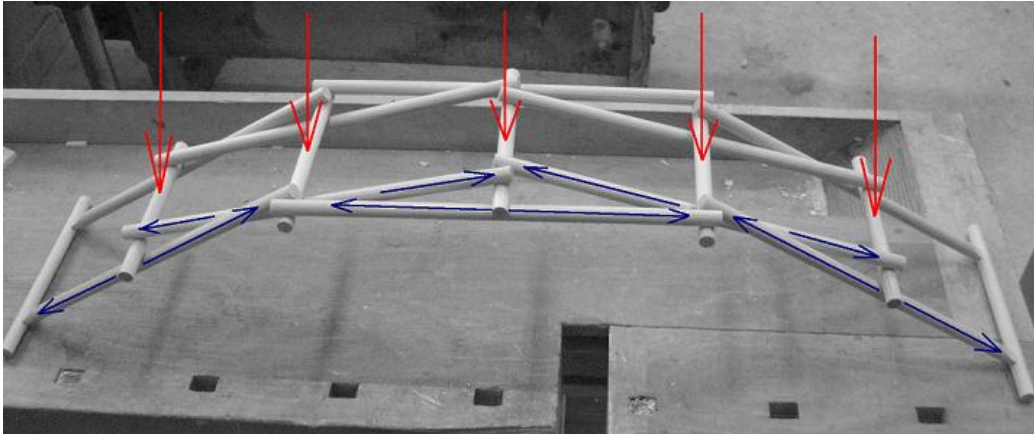


Bild 3: De stora lodräta pilarna utövar ett tryck. De andra visar hur trycket fördelas ut i konstruktionen, tack vare de skålformade urtagen kläms de korta låsbjälkarna fast.

Här följer mina benämningar på de olika delarna i brokonstruktionen.

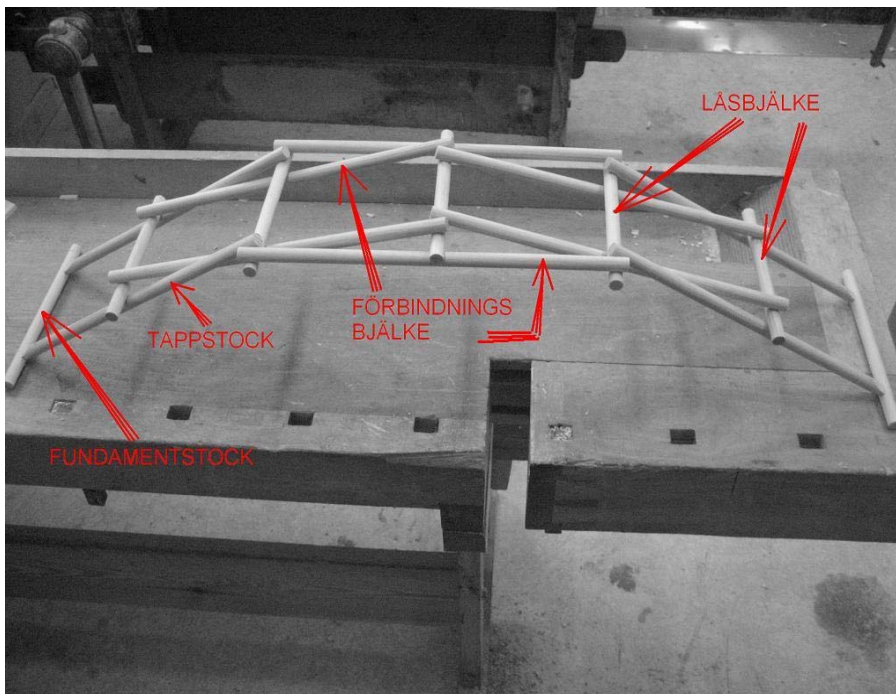


Bild 4: Alla längsgående virken benämns förbindningsbjälkar utom de fyra nedersta. Dessa går ned i fundamentstockarna med tappar och benämns därför tappstockar. Alla tvärgående virken i konstruktion utom fundamentstockarna benämns låsbjälkar. Sammanlagt består hela grundkonstruktionen endast av fem låsbjälkar, två fundamentstockar och tio längsgående bjälkar.

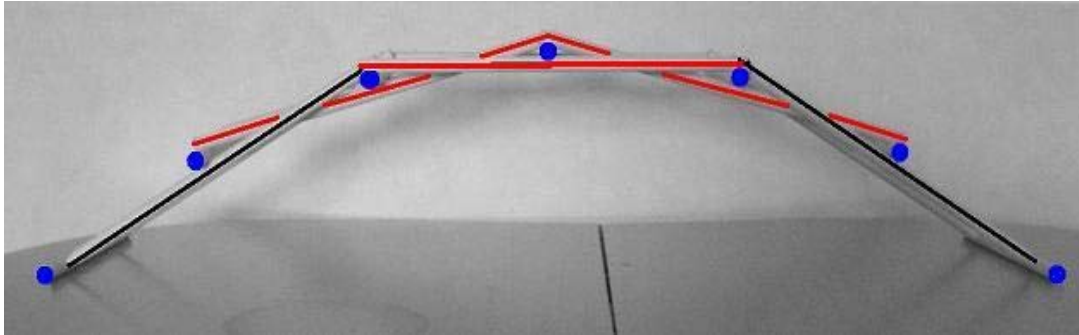


Bild 5: Samma konstruktion från sidan. Bilden visar hur **förbindningsbjälkar**, tappstockar och **låsbjälkar/fundamentstockar** samverkar med varandra.

Ju brantare ”bukigare” bron byggs desto sämre kommer stockarna att låsa varandra, (se bild 6). Det försämrar även bronns bärförmåga, stabilitet och styrka. Ju flackare bro desto bättre låsprincip.

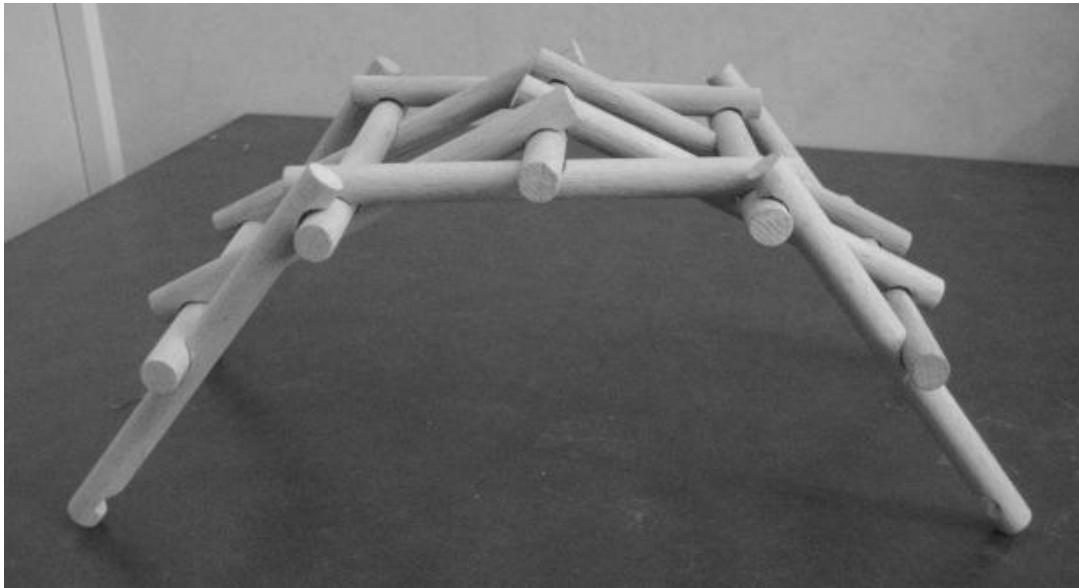


Bild 6: Byggsatsen som kan beställas på internet (I ponti di Leonardo-Leonardos bridges). Den här modellen visar att ett allt för brant spann kraftigt försämrar bjälkarnas låsprincip.

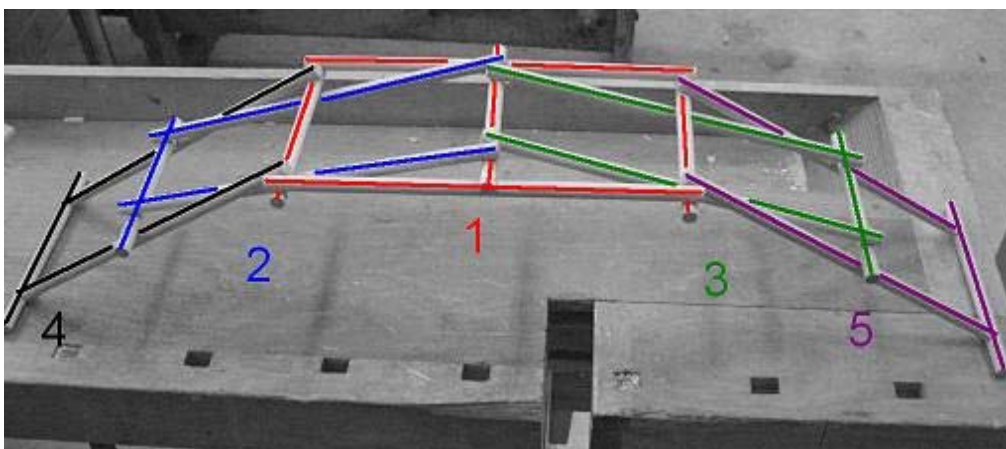


Bild 7: Benämningarna på de olika segmenten som används i undersökningen: **1. Första segmentet** **2. Andra segmentet** **3. Tredje segmentet** **4-5 Segment med tappstock och fundamentstock.**

## 2.2 Förstudie med hjälp av ritning och modellbygge

### 2.2.1 Utgångspunkter för dimensionering av virket

Bron är tänkt som en enklare gångbro som ska hålla för fyra personer:

80 kg per person x 4 är 320 kg som ska fördelas på två stockar vilket blir 160 kg på varje stock eftersom de ligger i par i konstruktionen. Med en säkerhetsmarginal på tre gånger den vikten blir det 480 kg per stock

Jag har fått en grov beräkning av Anna Pousette vid SP, Sveriges Tekniska Forskningsinstitut<sup>5</sup>:

Virket har ett runt tvärsnitt med en diameter på 150 mm och längden 4 000 mm. Stocken är upplagd horisontellt med ett upplag i var ände och med en ”vikt” på mitten. En teoretisk brottgräns ligger på ungefär 500 kg. Men med en stockdiameter på 110 mm brister när den belastas med 200 kg.

Eftersom en senvuxen gran är starkare än en gran med ”normalt uppväxt” så kommer Stockarna som jag har valt att hålla för mera last än så. Den stora skillnaden i teoretisk styrka mellan de olika stockarna gör att man måste vara mycket uppmärksam på de stockar man har till hands vid ett bygge. Vill man att de långsgående förbindningsbjälkarna/ tappstockarna ska tåla minst 500 kg får alltså ingen stock ha en diameter under 150 mm på mitten av stocken. Låsbjälkarna är betydligt kortare och skulle av ”belastningsskäl” kunna göras av klenare virke. Då det blir opraktiskt vid sammanfogningarna, där samma dimensioner är lämpligast för att kunna göra starka förbindningar, väljs en ungefärlig diameter på 150 mm även till dessa bitar.



Utgångspunkten var en 12 m lång bro, den ungefärliga höjden beräknades till under två meter på stockarnas längd. Vid ritbordet och med en skalstock (skala 1:10) prövades olika längder på segmenten. Jag upptäckte tidigt att det enklaste sättet att rita bron är att först rita första segmentet som visas i bild 8. Sen ritas man segment 2 och 3 o s v.

Längden på det första segmentet (den översta, mittersta delen) blev i den här undersökningen bestämmande för de övriga delarna och med den mittersta låsbjälken som utgångspunkt ritade jag ut nästa långa förbindningsbjälke. Se bild 9.

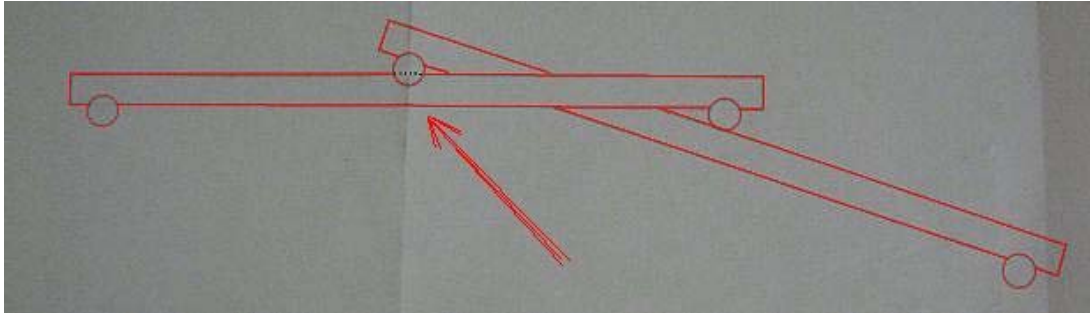


Bild 8: Utgångspunkten är första segmentets låsbjälke i mitten som pilen pekar på. Sedan ritade jag det andra segmentets förbindningsbjälke o s v.

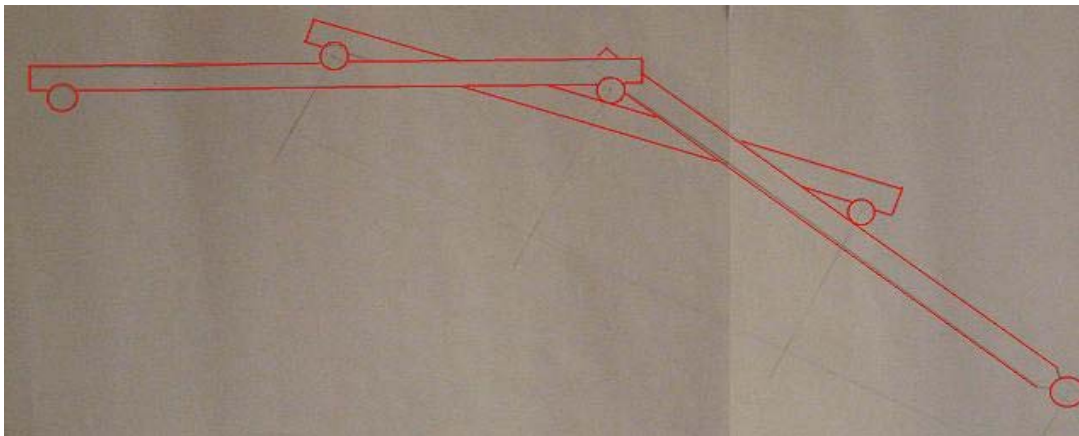


Bild 9: Fjärde segmentets tappstock utritat.

### 2.2.2 Sammanbindningar

Bron har tre olika sorters sammanbindningar varav en egentligen inte kan benämnas som en egentlig förbindning. Först är det mötet mellan förbindningsbjälkarna och låsbjälkarna. I modellen gjorde jag detta som skålformade urtag i förbindningsbjälkarna. Låsbjälkarna behölls intakta utan urtag. Förhållandet kunde inte ha varit det omvända med urtag i låsbjälkarna då konstruktionen inte skulle låsa sig själv. I modellen räckte detta för att konstruktionen skulle låsa sig av sin egenvikt. I fullskaleförsöket planerar jag att säkra dessa förbindningar med gängstånd som nämnts ovan. I full skala måste också hänsyn tas till att stockarna har rot och toppända och urtagen bör göras mindre i toppändorna för att inte försvaga konstruktionen.

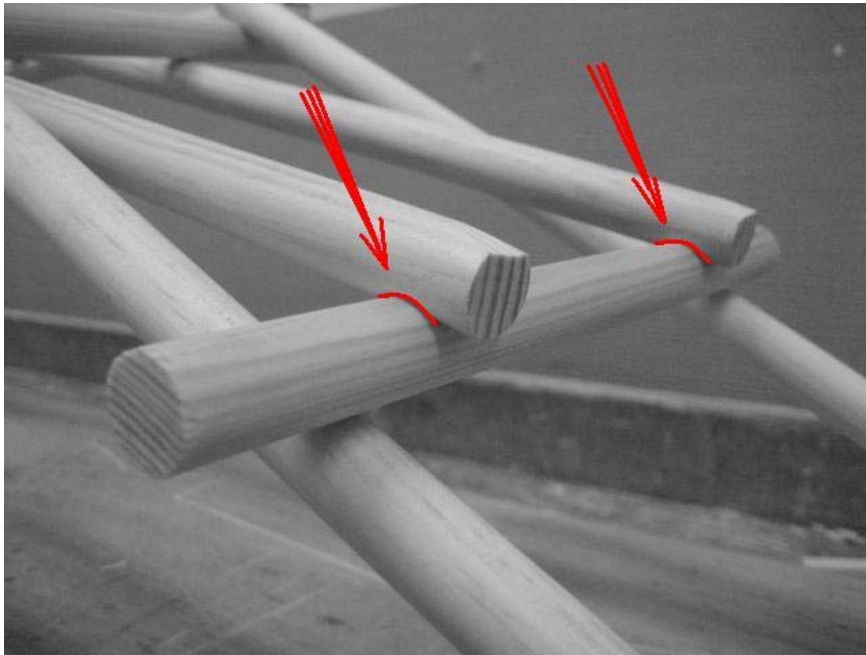


Bild 10: Mötet mellan förbindningsbjälkar/ tappstockar och låsbjälkar. Skålförmade urtag.



Den andra förbindningen är lösningen mellan tappstock och fundamentstock. Vid modellarbetet kom jag fram till att göra den som en enkel rektangulär tapp med tillhörande tapphål. Tappen måste ha tillräckligt med material för att inte knäckas (se bild 11). Egenvikten gör att krafterna verkar nedåt och utåt som visas i bild 12. Redan på modellstadiet märktes att bron ”rör sig” när den belastas ganska måttligt p g a att låsbjälkarna i dessa dimensioner snabbt blir nedböjda och denna ”svikt” påverkar hela konstruktionen. Därför utsätts dessa förbindningar för stora krafter som också kan knäcka tapparna. Detta bör rimligen vara på samma sätt i den stora, fullskaliga versionen.



Bild 11: Detaljbild av tapp och fundamentstock. Dess rektangulära tapp och hål.

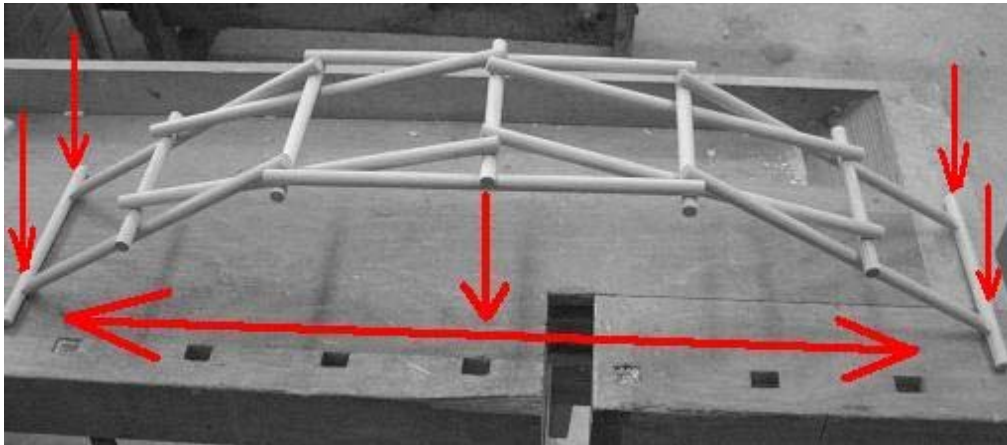


Bild 12: De små lodräta pilarna längst ut visar vilka förbindningar som får utstå de värsta påfrestningarna när bron belastas. De stora pilarna visar hur bron trycks utåt.

De slutsatser jag har dragit är att en styv förbindning mellan bro och fundament bara är en nackdel, (se exempel på detta i bild 13). Eftersom de är styva löper de större risk att knäckas eller spricka när bron rör sig vid belastning av olika punkter i konstruktionen. (Se bild 11 och 14.) Genom att lägga två längre stockar under fundamentstocken och sammanbinda dem med t e x en kätting så skulle det kunna fungera som ett gångjärn, rörligheten bibehålls och knäckrisken minimeras. Dessa tre stockar i en triangel fördelar tyngden bra och kan enkelt anpassas i andra lösningar.

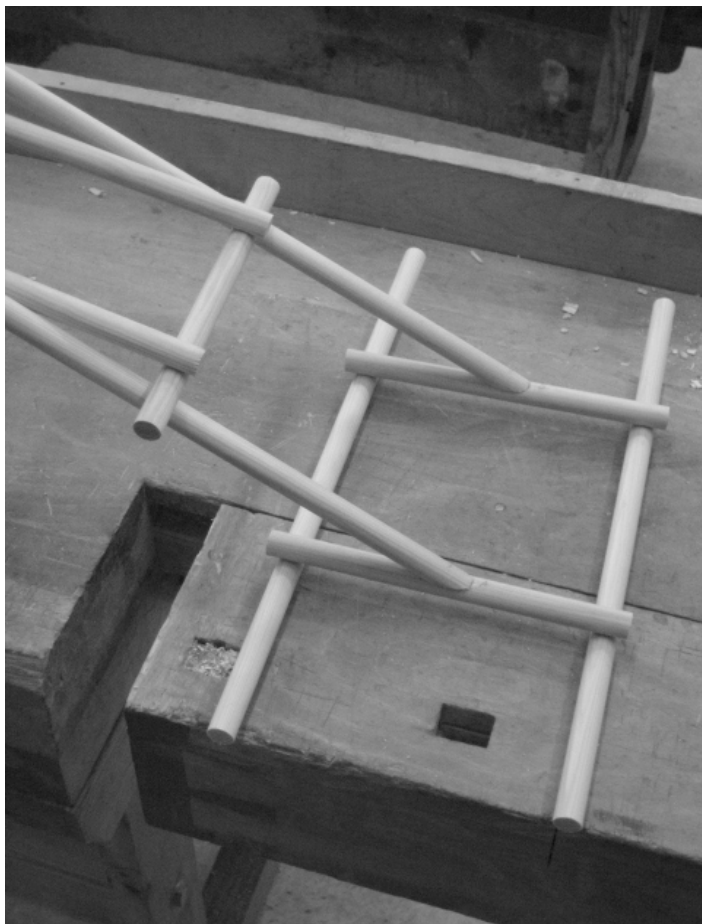


Bild 13: Den styva förbindningen mellan fundament och bro som jag valde att inte arbeta vidare med.

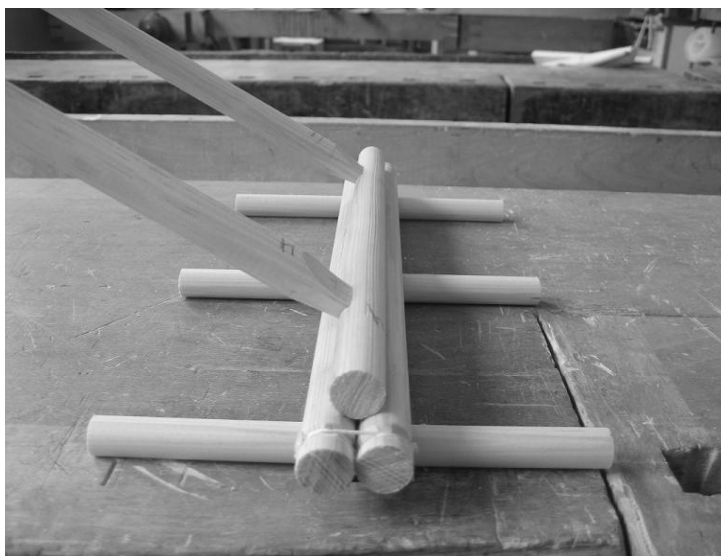


Bild 14: Fundamentstocken är utgångspunkten till alla mina fundamentmodeller. Två längre stockar ligger under fundamentstocken och ger stadga med bibehållen rörlighet..



Bild 15: Detaljbild på den bortvalda förbindningsmetoden sedd från ovan.

Den tredje ”förbindningen” är där de korta låsbjälkarna vilar mot tapphålsstocken eller förbindningsbjälken., utan urtag eller genomgående gängstång.

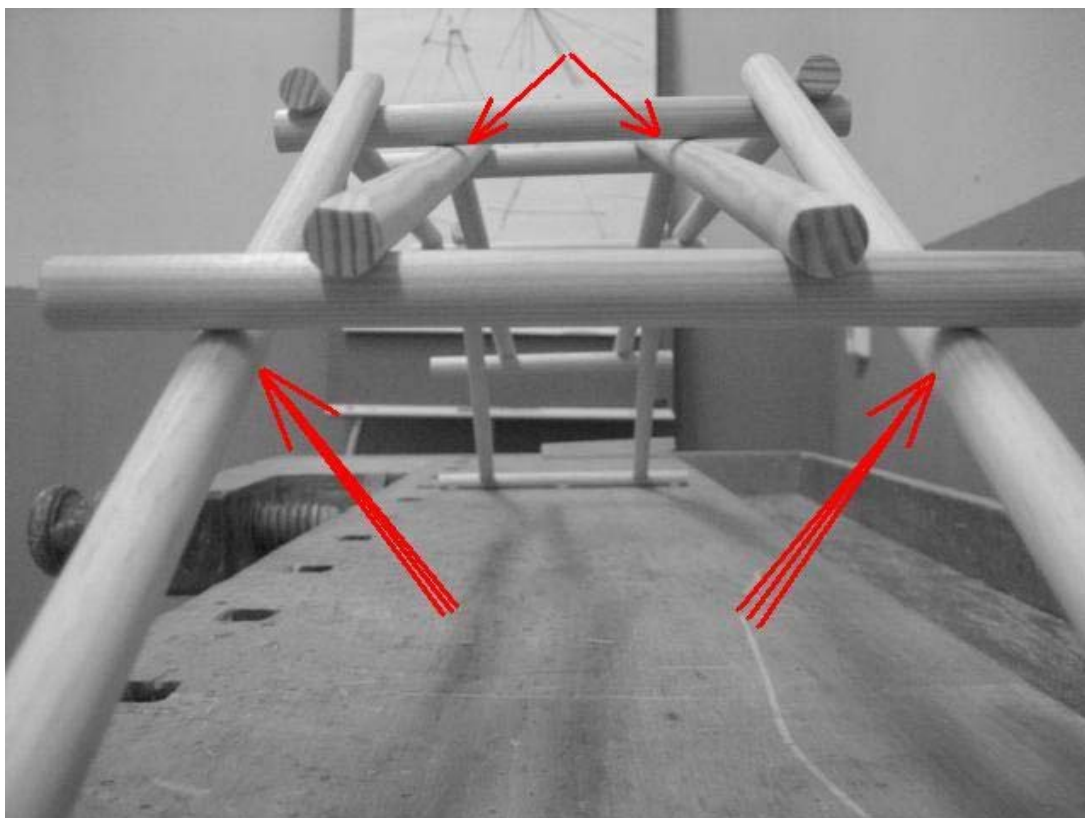


Bild 16: Pilarna visar den tredje sortens ”förbindning”.

### 2.2.3 Montering

I bromodellen undersöktes två metoder att montera bron. Jag ska påpeka att metod nr 2 är den metod som finns beskriven i boken<sup>6</sup> som jag köpt för mitt arbete.

Metod nr 1: Bron monteras med början i mitten, en sida åt gången lyfts så att man kan lägga in de delar som står på tur. (sidan 16)

Metod nr 2: Bron monteras från ena sidan till den andra med början vid ena sidans fundament. (sidan 17-18)

Dessa sätt kräver att vattendraget kan överbyggas med två trädstammar som man kan bygga en temporär arbetsplan på. En annan möjlighet jag också har undersökt är att använda kortare stockar som sticks ut från var sida av ån. De måste då förankras väl samt stöttas i ån. Stockarna behöver inte nå mot varandra, brons mittdel kan läggas över gapet varvid man kan börja bygga åt var sitt håll. Bron har då byggts klar innan så att alla urtag är gjorda och alla tillhörande gängstänger finns.

---

6 Bernrdoni. Andrea. Taddei. Mario. Zanon. Edoardo. (2007). *I ponti di Leonardo- Leonardos bridges*Italy: Maggie (en box innehållande bok, modell och cd.)

**Metod 1**

Det här är den metod som finns beskrivet i kap 2.3.3 Arbetsgången för den fullskaliga bron. Pilarna visar var man ska lyfta.

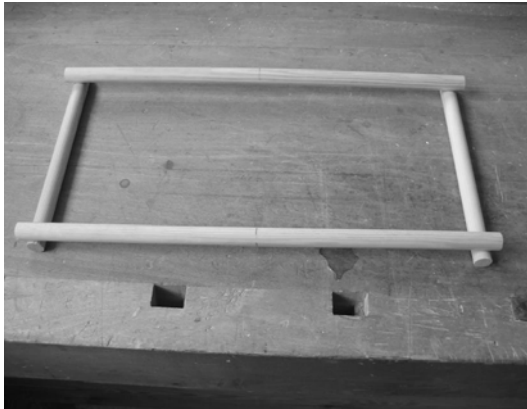


Bild 17: Första delen, två korta låsbjälkar och två långa förbindningsbjälkar.

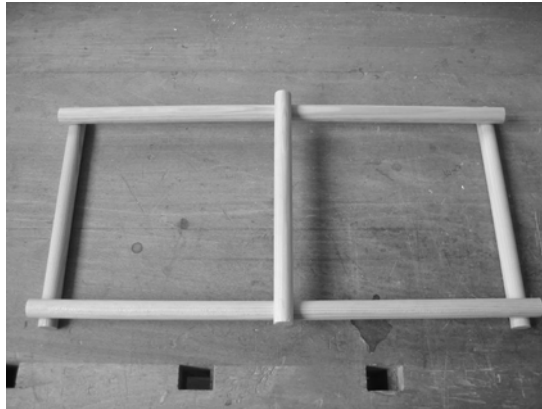


Bild 18: Första segmentet klart med en tredje låsbjälkar på plats.

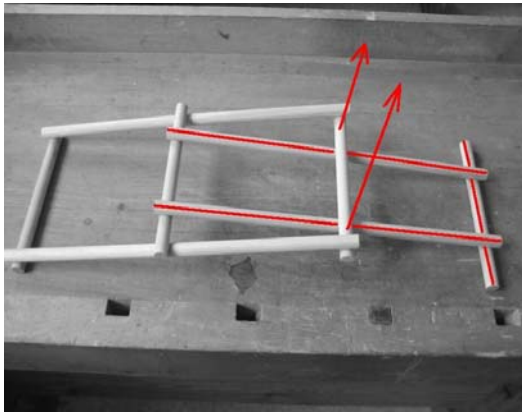


Bild 19: Andra segmentet, två långa förbindningsbjälkar och en kort låsbjälke.

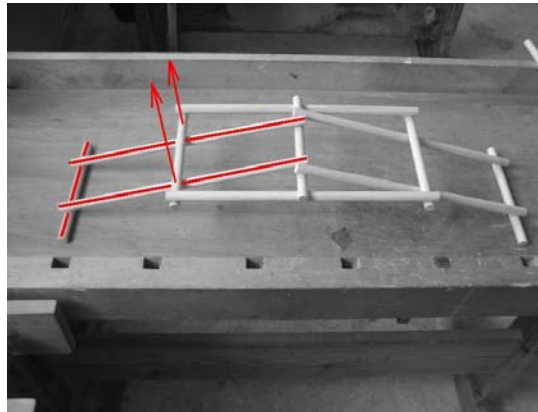


Bild 20: Tredje segmentet, två långa förbindningsbjälkar och en kort låsbjälke.

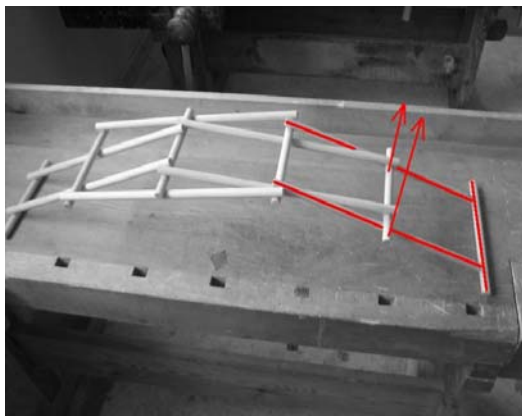


Bild 21: Fjärde segmentet, två långa tappstockar och en fundamentstock.

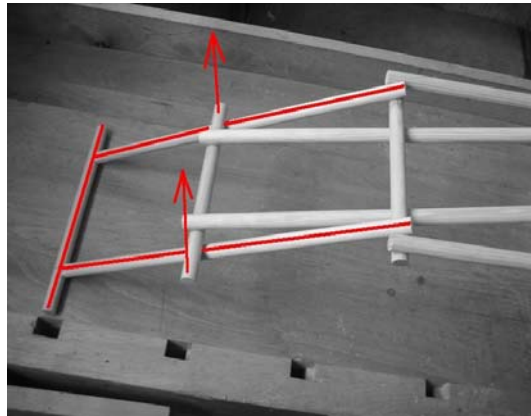


Bild 22: Femte och sista segmentet, två långa tappstockar och en fundamentstock.



**Metod 2**

Det andra sättet att montera bron, där man arbetar från en sida till den andra.

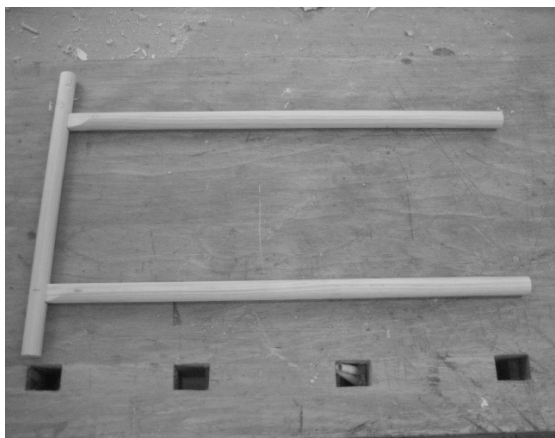


Bild 23: Det fjärde segmentet. Fundamentstock med två tappstockar.

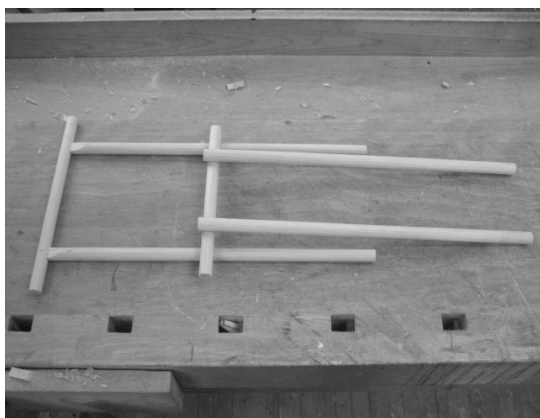


Bild 24: En kort låsbjälke med två långa förbindningsbjälkar.

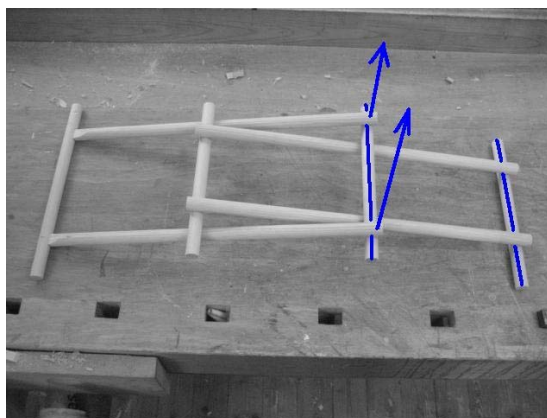


Bild 25: Samma segment, nu upplyft och med en låsbjälke som låser fast det första segmentet.

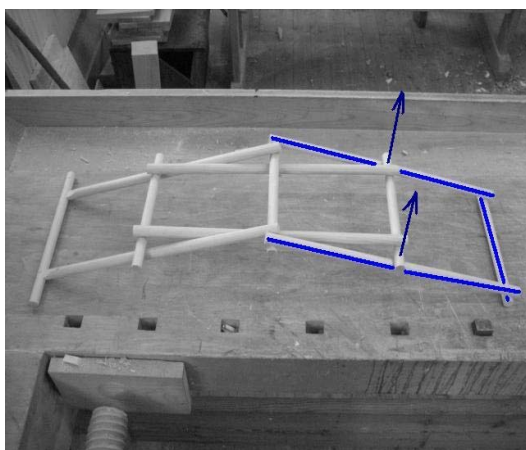


Bild 26: första segment, den mittersta korta låsbjälken i första segmentet på plats.

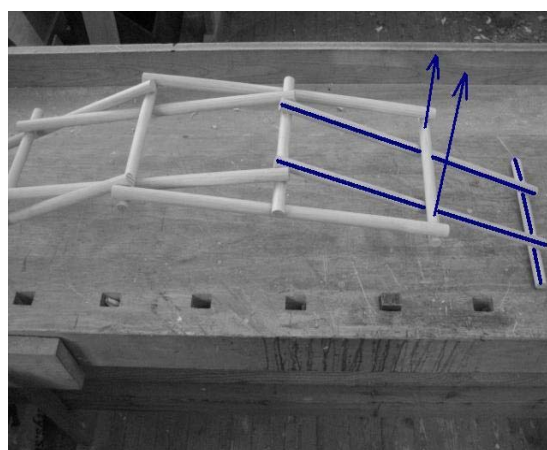


Bild 27: De två långa förbindningsbjälkarna i tredje segmentet har lagts in tillsammans med nästa låsbjälke är första segmentet monterat.

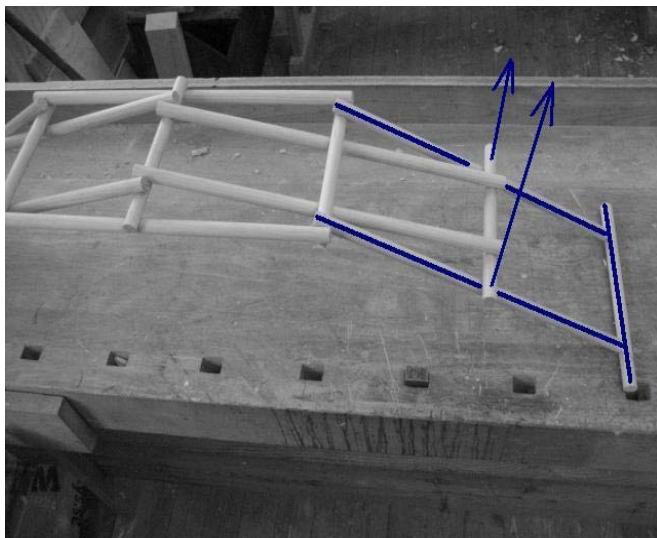


Bild 28: Det femte segmentet. En fundamentstock och två tappstockar.

**2.2.4 Fundament för fast och lös mark.**

I undersökningen görs inga experiment med fullskaliga fundament för brokonstruktionen. För att ändå undersöka om konstruktionen är användbar i verkligheten resoneras dessa frågor i ”modellskala”.

På platsen för bron måste det finnas utrymme för fundamenten och de måste i sin tur utformas efter de förutsättningar som marken har. Nedan redovisas några förslag för fasta och ”mjuka” (ex. myrmark) markförhållanden.



**Fast mark**

Här är de förslag i modellform jag har gjort för ett fundament för fast mark. Varje fundament bör förankras i marken genom att man slår ned pålar så nära dem som möjligt. Fundament och bro hålls ihop av kätting så att rörligheten bibehålls.

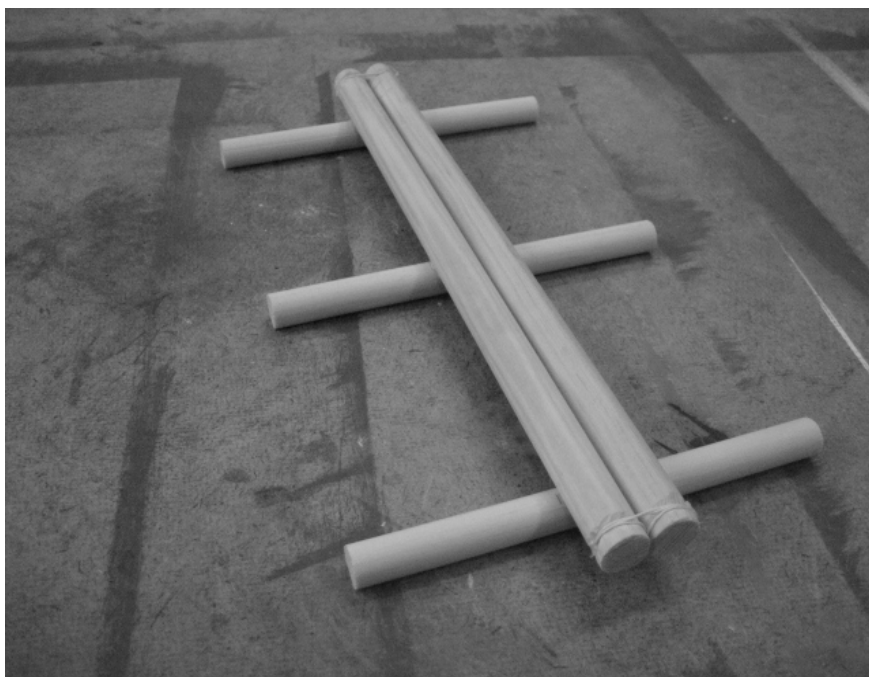


Bild 29: Typ 1. Den enklaste lösningen, två långa stockar med tre kortare och klenare under. Lösningen ska ses som principiell. De undre stockarna stadgar konstruktionen. De kan vara flera och placeras strategiskt i terrängen för att bredda ut lasten eller läggas där underlaget är som bäst.

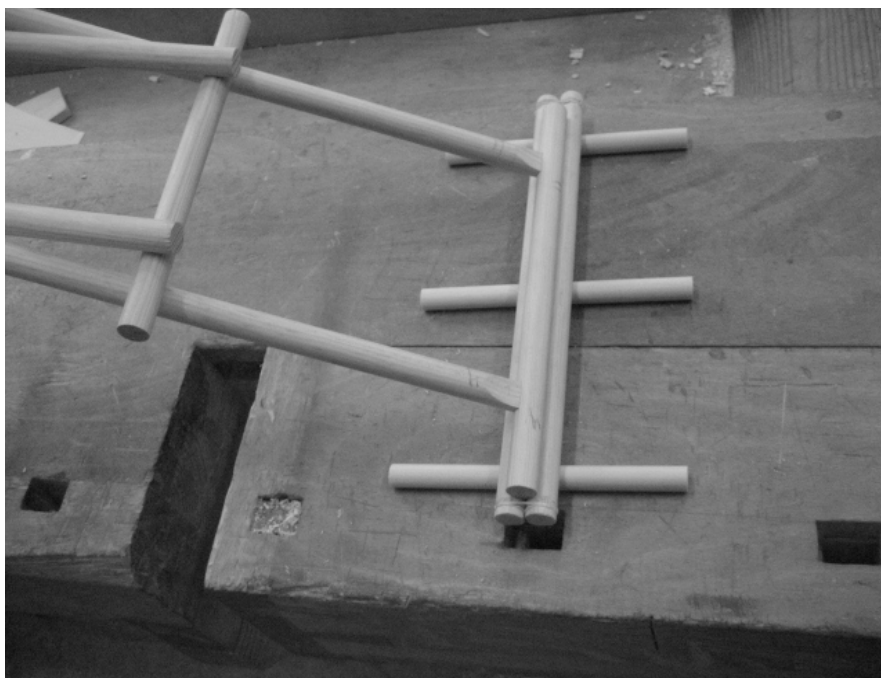


Bild 30: Typ 1. Fundamentstocken vilar på de båda längre stockarna i fundamentet, alla de sex stockarna hålls ihop av kättingar.

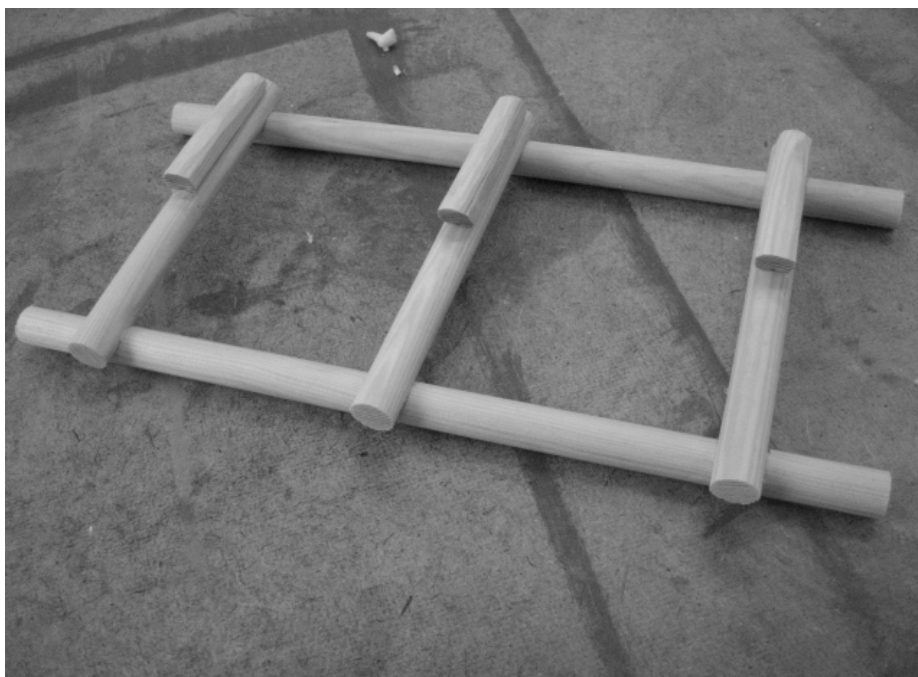


Bild 31: Typ 2. En enkel ramkonstruktion med skålformade urtag. De övre korta stockarna bör "medras" som vid hustimring för att dessa ska ligga stabilt. Allt hålls på plats med gängstänger.

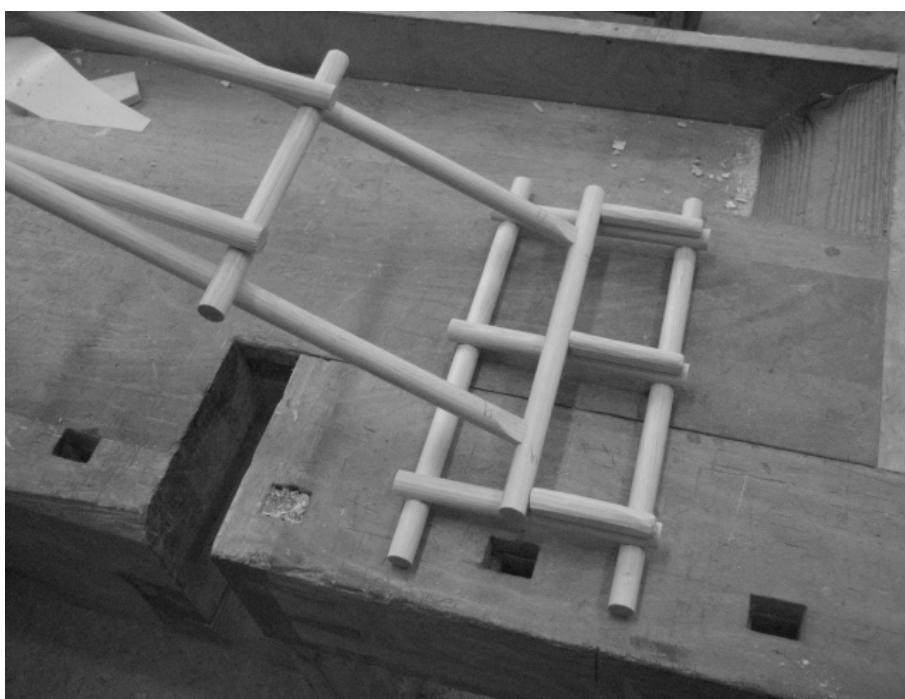


Bild 32: Typ 2. Fundamentstocken får ett bra mothåll av de kortare stockarna. Hålls på plats av kätting.

**Mark med sämre bärförmåga**

Nedanstående förslag för lösare mark har en större utbredningsyta. De är i verkligheten ca 4 x 2 m. De föregående förslagen var ca 4 x 1,5 m stora

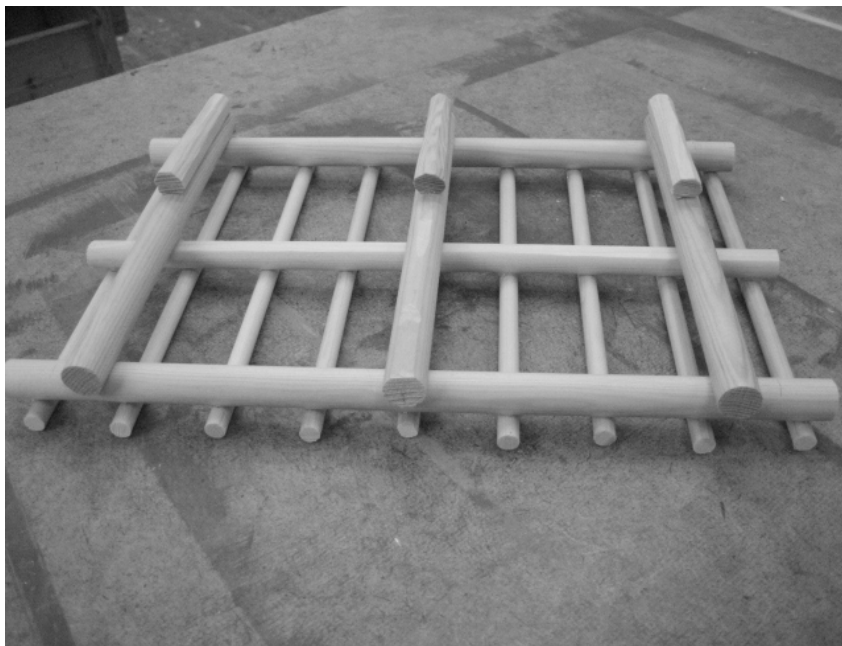


Bild 33: Typ 3. En enklare ram konstruktion med slador spikade på undersidan för att ta upp och fördela trycket.

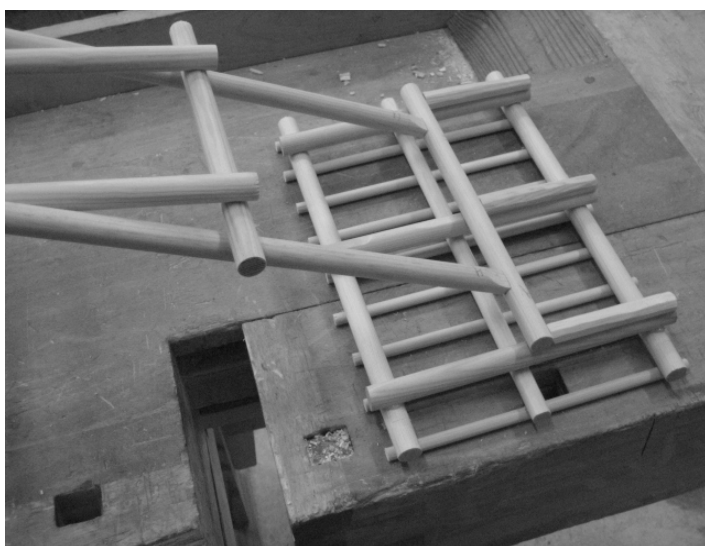


Bild 34: Typ 3. Bron på plats i fundamentet.



Bild 35: Typ 4. Fundamentet består av sex bjälkar som är hopmonterade med gängstång eller dymlingar av trä. De har urtag där störrarna ligger. De runda stockarna och bron hålls på plats av kätting.

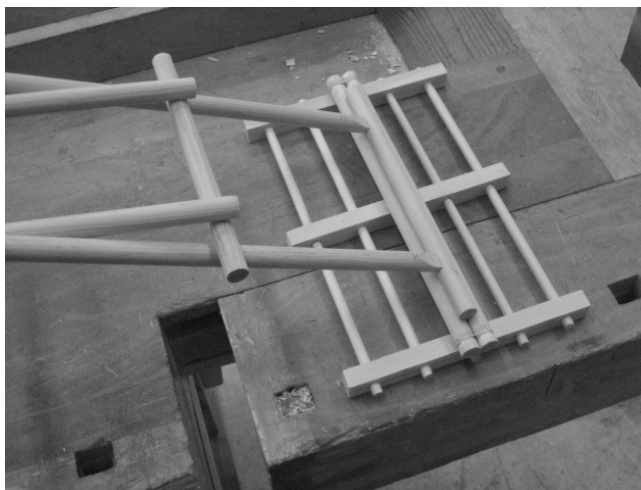


Bild 36: Typ 4. Bron på plats i fundamentet.

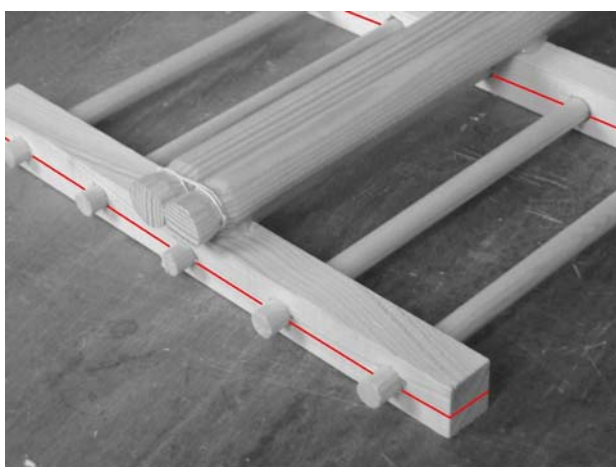


Bild 37: Typ 4. De tre sågade bjälkarna som störrarna ligger i är i verkligheten sex stycken. Linjerna visar kanterna.



Bild 38: Typ 5. En stenkista som kan användas till de platser där bärförmågan i marken inte är tillräcklig och där det är bättre att bygga direkt i vattnet. Kistan är timrad och med grova plankor i botten.

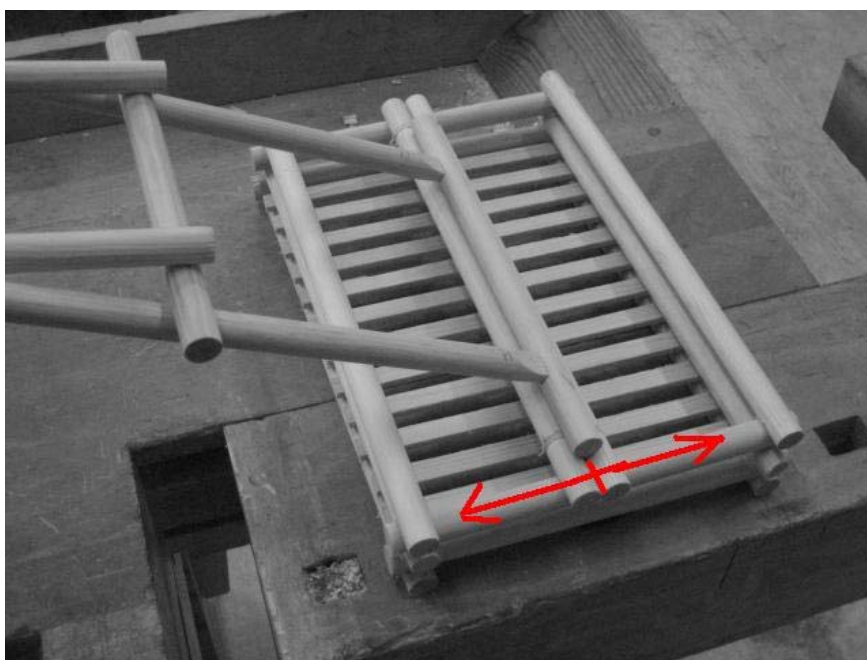


Bild 39: Typ 5. Bron på plats i fundamentet. De två stockarna som bron vilar på förankras i stenkistan sedan bron har justerats i rätt läge.

Samtliga exempel visar en enkel och flexibel lösning mellan fundamenten och bron. De tre stockarna i "triangeln" (typ 1, 4-5) fördelar krafter och påfrestningar bra ned i fundamentet. Till typ 2 och 3 kan man lägga in två extra stockar just under fundamentstockarnas tapphål eftersom de punkterna är de svagaste. (bild 40)

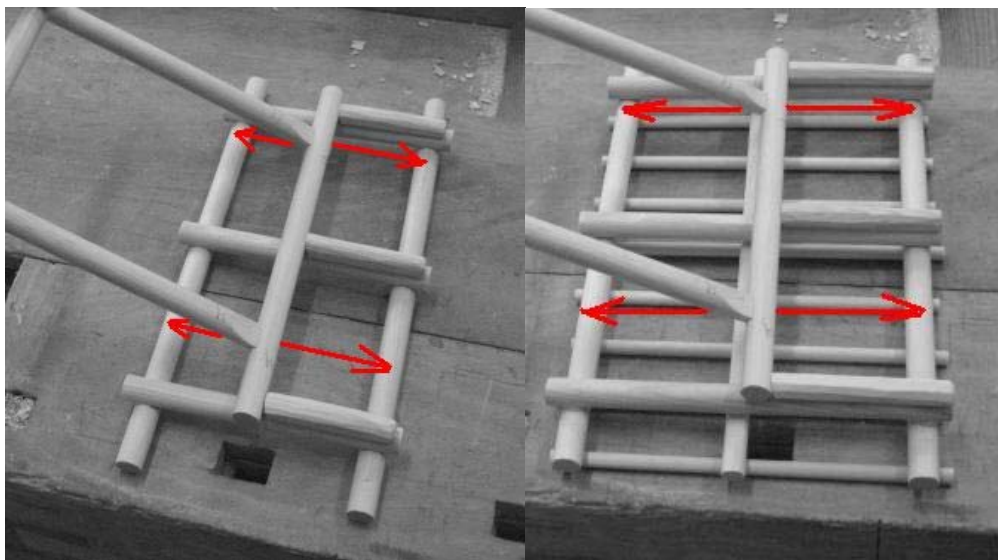


Bild 40: Typ 2 och 3. Pilarna visar var de extra stockarna ska läggas



### 2.2.5 Brodäck, broräcke och förlängning

På samma sätt som i föregående avsnitt resoneras här i ”modellskala” kring nödvändigt brodäck och räcke samt något om möjliga lösningar för förlängningar för bättre anpassningar till den omgivande terrängen.

#### Brodäck och räcke

Enklast är att förlänga de korta låsbjälkarna, antingen med hjälp av plankor eller att använda längre stockar som mitt exempel visar. Om man vill använda sig av plankor kan de enkelt spikas, skruvas eller bultas rakt igenom på de korta låsbjälkarna, de kan vara plankor som når helt igenom brokonstruktionen eller kortare som bara når in en bit. Tanken med att de skall sticka ut på var sida är att de skall hålla räcket och ge maximal bredd på gångvägen.

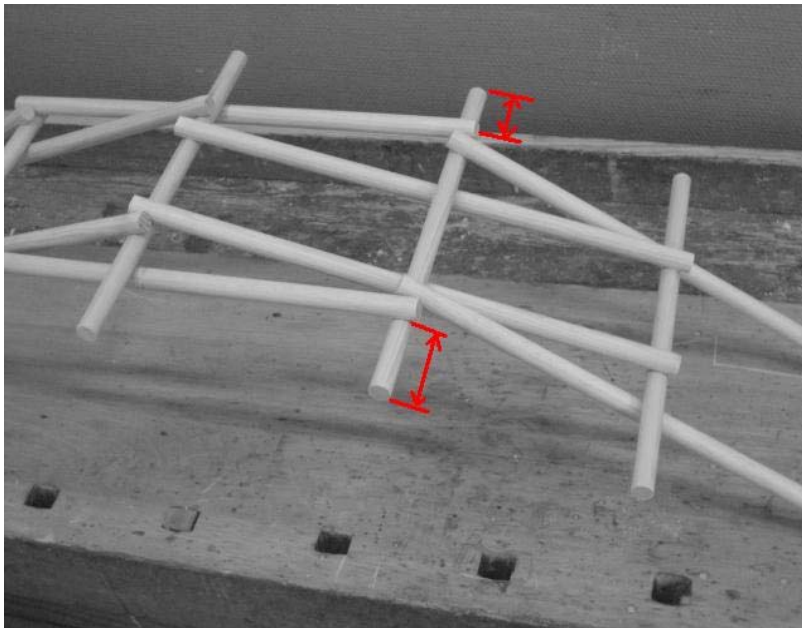


Bild 41: Förlängda låsbjälkar som sticker ut ca 50 cm på var sida om bron.

På de stockarna kan man sedan fälla in räckets ”stolpar” med en sträva som ger bra stadga. Rummet mellan stolparna skall givetvis också förspikas så att man inte kan halka igenom.



Bild 42: Förslag till broräcke som sitter utanför bron .

För att få ett jämnt brodäck är det enklast att lägga plankor på högkant, förslagsvis 2”x 5” mellan låsbjälkarna. Sedan kan man enkelt spika/skruva på däckets.

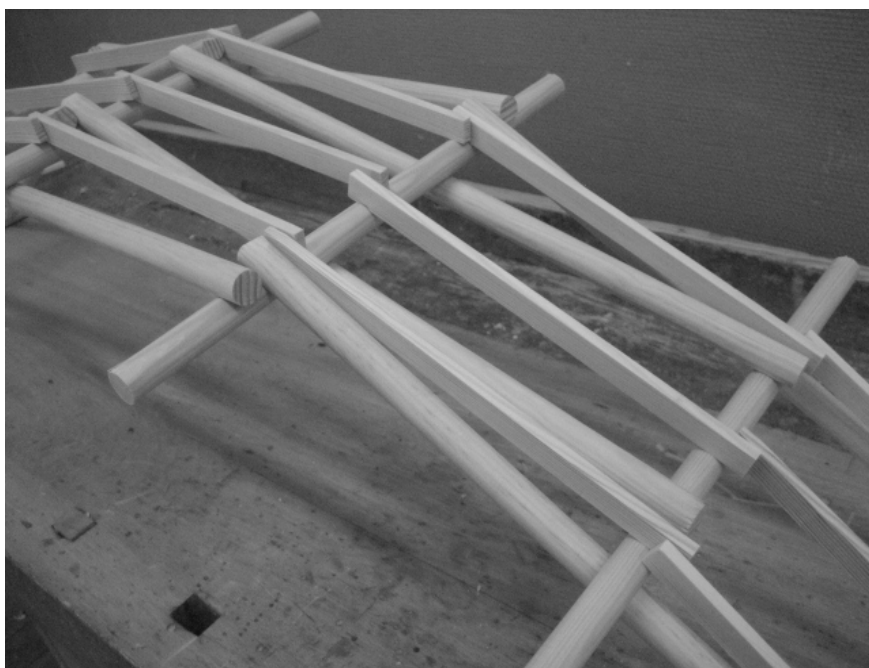


Bild 43: Plankor på högkant.





Bild 44: Brodäck och räcke. Räckets ska vara mera inbyggt än på bilden. Höjden på räckets är i verkligheten 110-120 cm över brodäcket.

### Förlängning av bron

Anser man att bron har blivit för brant kan den enkelt förlängas och blir på så vis mera flack. Här har man också möjlighet att anpassa efter terrängen. Om bron exempelvis står i en svacka så kan en enkel förlängning göra överfarten mera lättasam.

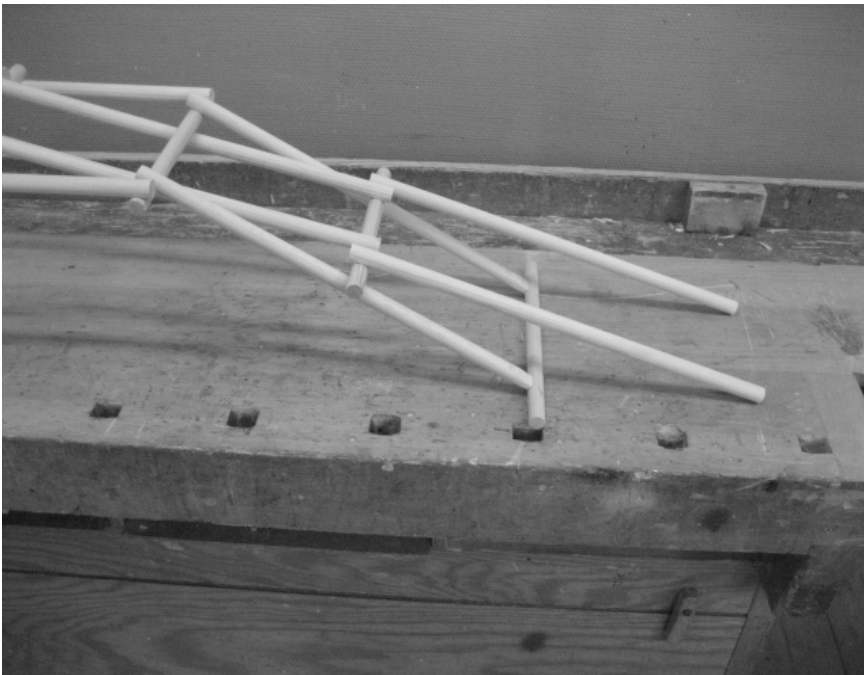


Bild 45: Två stockar med enkla urtag.

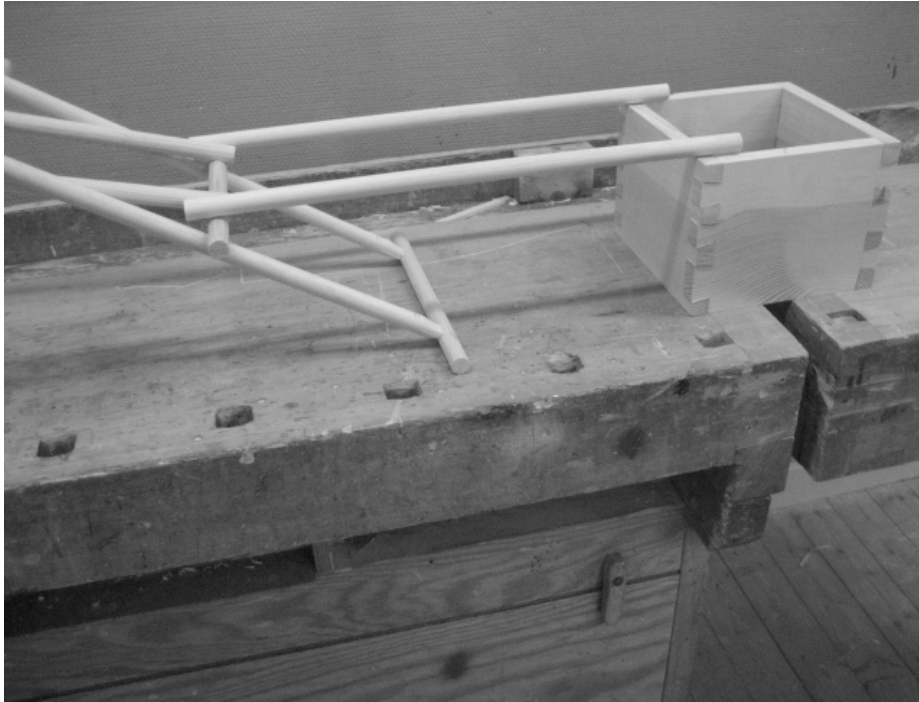


Bild 46: Enkel anpassning efter rådande omständigheter i miljön.

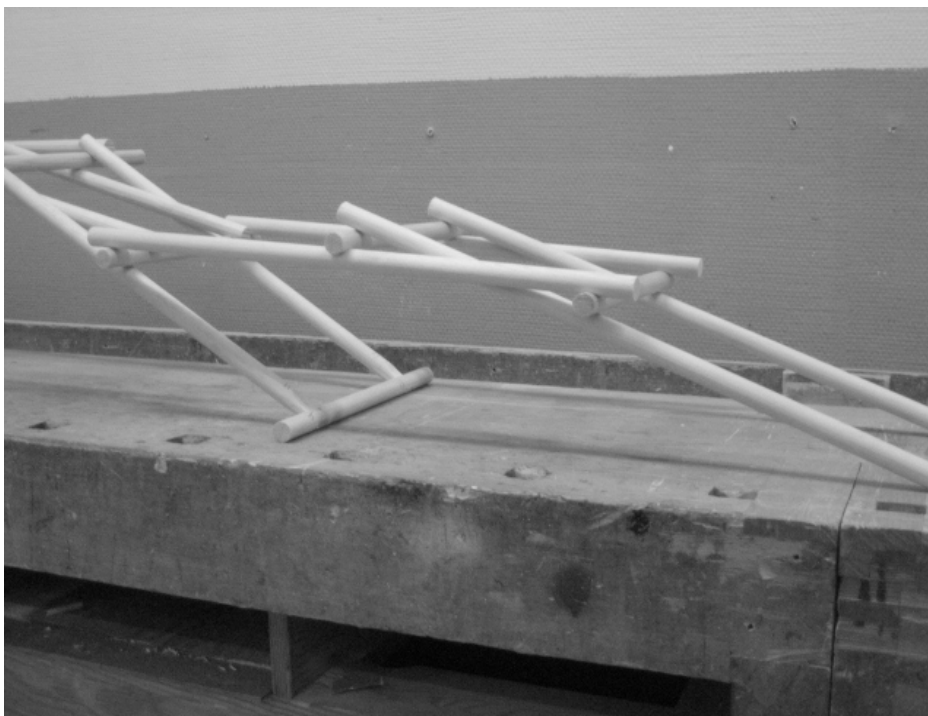


Bild 47: En förlängning baserad på samma låsprincip som i brokonstruktionen.

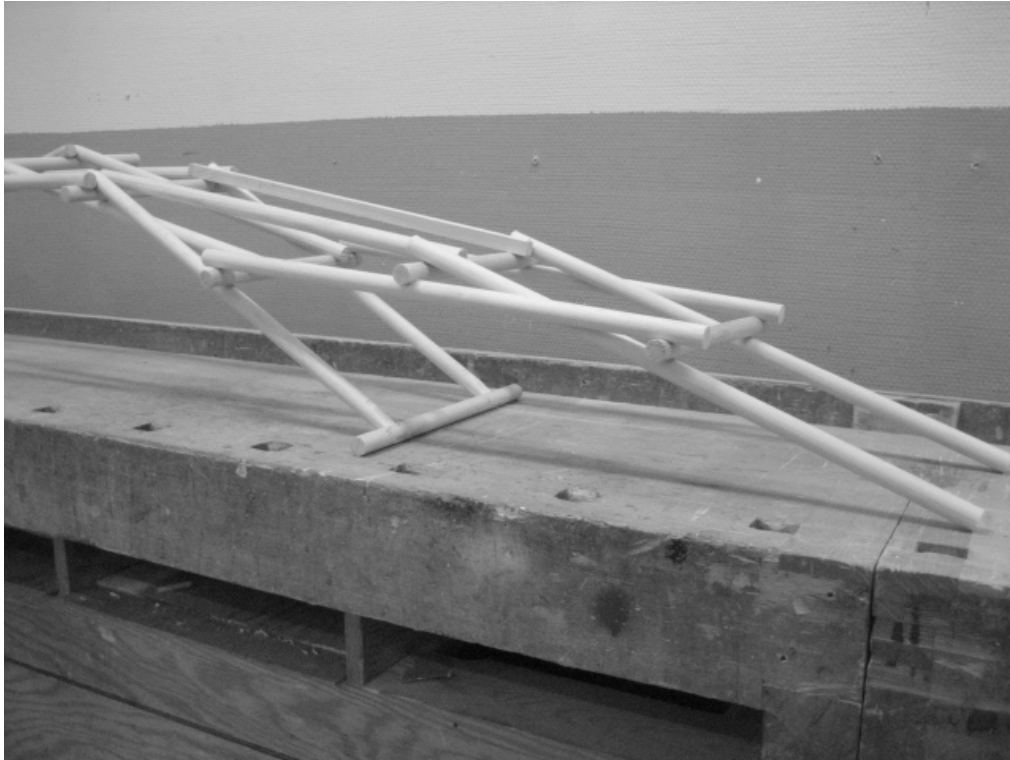


Bild 48: Enkel utjämning av förlängningen.



Bild 49: Sedd snett från sidan.

## 2.3 Brobygge i full skala

### 2.3.1 Material

Då en av utgångspunkterna varit att man helst ska kunna bygga bron av material som går att finna i närheten av platsen för själva bron och för att undvika långa transporter står valet mellan gran eller tall som är våra vanligaste trädslag. De har långa raka stammar och då de dessutom är våra lättaste trädslag är det ytterligare ett skäl till att uppnå en resurseffektiv arbetsprocess. I den här undersökningen görs bron i gran men under förutsättningar som redovisas nedan så kan även tallen fungera bra.

Gran i den dimension som jag har valt anser jag är bättre än en tall av samma storlek, därför att den är segare som trädslag och lämpar sig således bättre för ändamålet. Granar har en tendens att lättare växa rakt än vad tallar har men har igengäld mer kvist. Granens ved är också hårdare och lättare.

Tallen har en röttålig kärna, men den börjar bildas först när den är ungefär 90 år gammal. Tallarna är då oftast allt för grova men om man hittar passande tallar med kärna och lämplig dimension går de förstås också att använda.

Gran och tallvirke får i detta sammanhang inte bestå av s k "hungerved" vilket beror på att de inte har fått tillräckligt med näring. Det betyder att virket har låg densitet vilket innebär sämre hållfasthet. Om man jämför en bra gran med en "dålig" tall med liten andel kärna kan man säga att granens ved är mer beständig än tallens splintved, alltså den ved som ligger runt om kärnveden i tallen. Det är också en av anledningarna till varför jag väljer att arbeta med gran.

En gran har optimal spänst och styrka om det är ungefär 1-2 mm mellan årsringarna, man säger att den är senvuxen/undertryckt. Granen har då stått trångt och haft begränsat med solljus och näring. Som en åtgärd för att överleva växer granen således långsamt och årsringarna kan ligga så tätt att de inte låter sig räknas. Den får då även smalare och mindre kvistar än vanligt, vilket också ökar dess seghet och styrka.

Det är också oftast lättare att upptäcka yttre skador på en gran eftersom den inte kan övervalla på samma sätt som andra trädslag. Skadan fylls med kåda som torkar och bildar ett skyddande hölje. Det är då enkelt att i fält bedöma om skadan har påverkan på de egenskaper som efterfrågas vid ett sådant här brobygge.

Om granen har en början till röta och rötan fortfarande är lika hård som resten av träet så kallas det för fast röta, den når oftast inte så långt upp i trädet, det är mest som en missfärgning och inverkar inte på hållfastheten. Dock bör det undvikas så mycket det nu går. Processen avstannar när träet har torkat.

En kort sammanfattning av granens önskvärda egenskaper.

- är lättare, hårdare och segare
- växer lättare rakt
- har mindre och färre kvistar (om de växt upp trångt)
- har bättre ved än en tall med liten andel kärna.
- Granar som står/ stått tätt har tätare årsringar och skall väljas framför de som har växt upp med mycket plats omkring sig.

### 2.3.2 Redskap, verktyg och lyftanordningar.

Jag har använt mig av följande verktyg:

Vattenpass	Bandkniv	Spiralborr 400 x 18 och 12 mm
Penna	Barkspade	18 v skruvdragare
Snörslå	Ett stämjärn	25 mm 20 m måttband
Huggyxa	Kniv	Tumstock
Gränsfors bila 1900	Hammare	Såg
Navare 35 mm	4" spik	

Utöver det användes den hävarm jag tillverkat till alla tyngre lyft. Vid några tillfällen hade jag lite hjälp med att flytta bockar. Bron går att bygga ensam om man vid enstaka tillfällen får hjälp av en person.

### 2.3.3 Arbetsgången för den fullskaliga bron.

#### Virkesuttag och virkesberedning

Tappstockarna och förbindningsstockarna skulle ha en längd av 4,3 m och en rot diameter (trädet's diameter i rotändan) på 15-17 centimeter. Baserat på resonemanget tidigare i kap 2.2.1. Ett tjugotal granar höggs och apterades till full längd (4,3 m). De var senvuxna och raka.

I brokonstruktionen behövs det tio st stockar med full längd till förbindningsbjälkar. Konstruktionen kräver också fem kortare låsbjälkar med en längd omkring två meter. Jag delade några av de krokigaste på mitten till dem.

Till förbindningen mellan bro och fundament behövdes två grövre stockar till sk fundamentstockar. Jag sparade de två grövsta för detta ändamål.

Timret barkades med en barkspade. Det måste göras för att inte insekter ska angripa och skada timret i onödan. Den innerbark med kambium mm som blir kvar innehåller ämnen som lämpar sig utmärkt för mögel, t ex socker. Därför bandas stocken också av med bandkniv så att rent trä återstår och risken för mögel angrepp mm minskas.

**Första segmentet**

Jag började med att bygga det mittersta segmentet av bron eftersom det är en viktig utgångspunkt för att bron skall bli rak.

Den består av två långa förbindningsbjälkar och tre korta låsbjälkar. Bild 50.

Om första segmentet har olika längdmått mellan hörnen är den skev. Då kommer följande förbindningsbjälkar och tappstockar att nå ut olika långt.

Eftersom de redan har en bestämd apterad längd kan de inte kompensera skevheten som då uppstår i konstruktionen. Bild 51.

En rätvinklig rektangel eftersträvas med 90 grader i vinkel.



Bild 50: Första segmentet, mittenpartiet av bron.

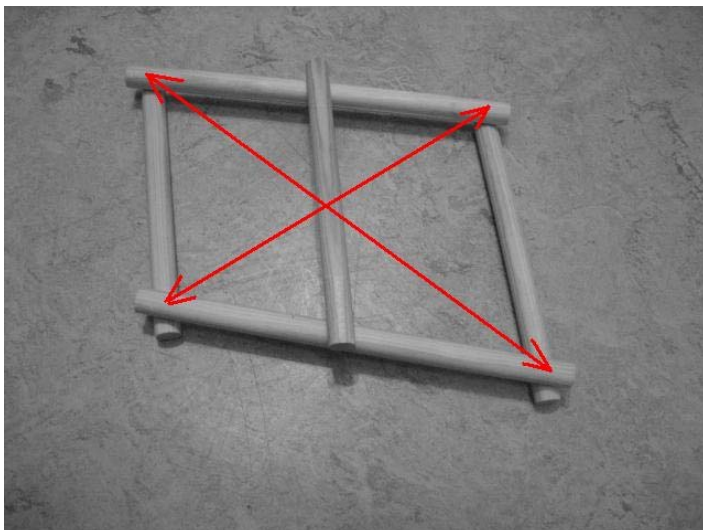


Bild 51: Ett skevt första segment. Pilarna visar att måttet mellan hörnen inte är lika, inte i 90 grader.



Först las förbindningsbjälkarna topp mot rot för att jämna ut krafterna och bibehålla maximal styrka i konstruktionen. Därefter tog jag ställning till var hur jag skulle göra eller inte göra ett urtag i topparna på de långa förbindningsbjälkarna. Eftersom deras diameter var 10-13 cm innebär det en stor försvagning. Jag valde då att göra urtaget i de tvärgående låsbjälkarnas rotända, eftersom den skulle ligga under förbindningsbjälkens topp. På så vis bibehölls den maximala styrkan och den stabilitet urtaget ger åt konstruktionen (se bild nr 52).

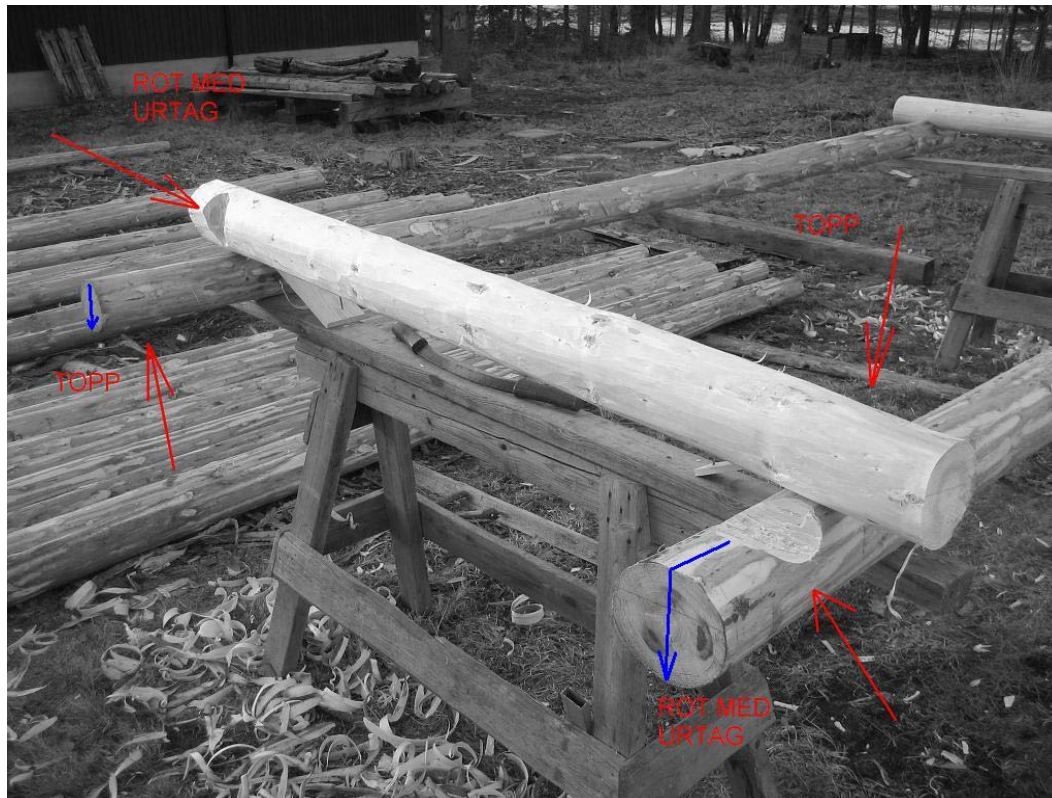


Bild 52: Visar första segmentets urtag i stockändarna och toppändarna utan urtag.

Först lade jag stockarna jämsides på två bockar och såg till att de var lika långa så att jag kunde mäta ut urtagen. Stockarna hade en svag krök, dem såg jag till att få nedåt och fixerade med en brädlapp och två spikar. Med hjälp av ett vattenpass drog jag upp en lodlinje i stockarnas ändar med **en pil** som visar vilket håll som skall vara uppåt när de ligger i brokonstruktionen, (nämligen kröken som nu låg nedåt). Samtidigt ritades en horisontell linje så att det inte skulle hamna snett i förhållande till varandra.

Urtagens djup ritade jag med stockens topp diameter som utgångspunkt för rotändan så att de sedan skulle bli någorlunda lika i höjd när de monterats med de kortare låsbjälkarna. (Alltså, om toppen är 12 cm och roten 17 så gjorde jag urtaget 5 cm djupt i rotändan). Nu kunde jag hugga de två urtagen med hjälp av yxa, såg och stämjärn (se bild 53). På det viset utjämnas också höjdskillnaden mellan de båda förbindningsbjälkarnas ändar när den kortare låsbjälken kommer på plats (se bild 54).

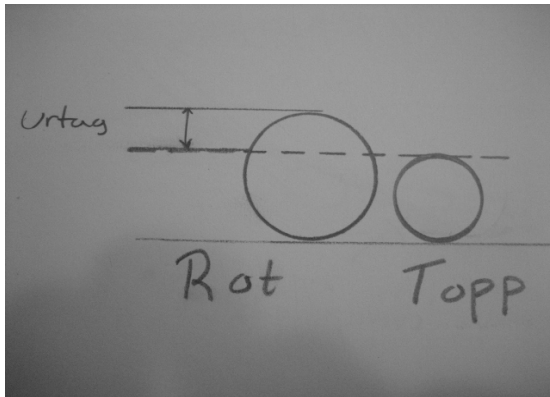


Bild 53: Visar rot- topp änden av förbindningsbjälkarna och hur djupt jag gjorde urtaget i rotänden i förhållande till toppen.



Bild 54: Pilarna visar utjämnningen.

Jag förberedde de två korta låsbjälkarnas rot-del som skulle huggas in. Med dem som utgångspunkt ritade jag nu ut hur långt in på stocken urtagen skall bli. För alla urtagen hade jag 10 cm som "knutskalle" plus diametern från den kortare låsbjälken (se bild 55). Jag sågade urtagets djup och högg sedan ut det med yxan, jag fick prova låsbjälken i urtaget ett par gånger innan de passade.

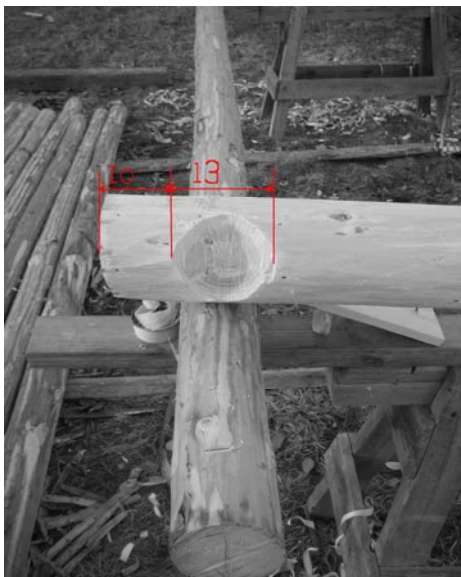


Bild 55: Urtagets mått i cm i låsbjälkens rot-del.



Jag placerade ut och mätte in de långa förbindningsbjälkarna i läge med urtagen uppåtvända mot låsbjälkarna. Därefter borrades hålen för gängstängerna. (Observera att brosegmentet nu är upp och ned bild 56). För att sätta in den tredje och sista låsbjälken måste jag vända på segmentet. När jag gjort det satte jag i gängstängerna i hålen och drog åt. Därefter mättes diagonalerna igen för att få rätta vinklar. Den tredje låsbjälken i mitten av det första segmentet skulle nu på plats. Jag mätte ut mitten och ritade ut urtagen på låsbjälken och högg ut det. Sist borrade jag hålen och bultade fast den (se bild 57).



Bild 56: Första brosegmentet upp och ned.



Bild 57: Sista låsbjälken på plats. Segmentet rättvänt

Till alla förbindningarna använde jag M16 gängstång ca 33 cm långa med bricka och mutter. Hålet borrade jag med en 18 mm spiralborr som ger ett rent och exakt hål utan fnas inuti. Jag anser att det är bra med två extra mm i hålet för gängstängerna eftersom timret är färskt och kommer att krympa, då riskerar man inte att gängstängerna fastnar då träet torkar. Det underlättar också monteringen.

**Andra segmentet**

Nästa segment består av två långa förbindningsbjälkar och en kort låsbjälke. Rotändarna las mot första segmentets mittersta låsbjälke.

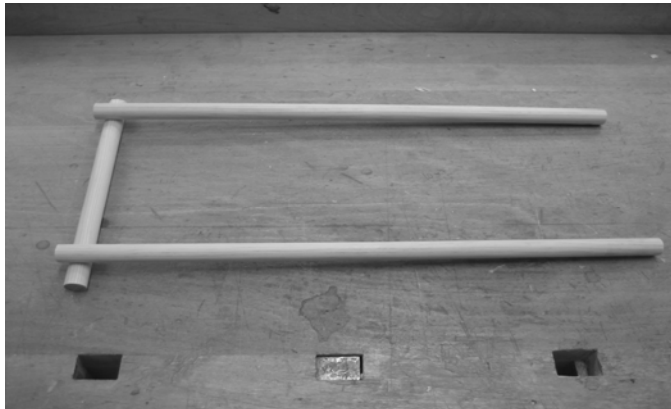


Bild 58: Andra segmentet. Två förbindningsbjälkar och en låsbjälke.

Förbindningsbjälkarna lades intill varandra och urtagen mättes ut från en horisontell linje och små urtag gjordes även i toppändarna till skillnad mot tidigare. När de två förbindningsbjälkarna med urtagen låg på rätt plats på den mittersta låsbjälken i första segmentet, mättes från dess bultar var nästa tvärgående korta låsbjälkes urtag skulle vara på förbindningsbjälkarna i andra segmentet. (de två bjälkar jag just lagt dit). Jag mätte ut fyra meter samt urtagets längd, på det viset fick jag en bra utgångspunkt för att det skulle bli rakt i förhållande till första brosegmentet (se bild 59 och 60).



Bild 59: Den mittersta låsbjälkens bultskalle som utgångspunkt.



Bild 60: Mäter ut urtaget till låsbjälken i andra segmentet.



Bild 61: Urtagen är klara och den korta låsbjälken på plats.

Jag ritade även en horisontell linje i förbindningsbjälkarnas ändträ så att de urtagen inte skulle hamna skevt i förhållande till varandra. Jag högg ut urtagen och passade in den korta låsbjälken med samma bredd mellan de båda förbindningsbjälkarna i de båda ändarna. Därefter borrades hålen och stockarna låstes med gängstänger.



**Tredje sektionen**

Arbetsgången är den samma som för föregående segment, enda skillnaden är att det här segmentet lades innanför det andra segmentet förbindningsbjälkar och mot låsbjälken i mitten tillhörande det första segmentet (se bild 62). Anledningen till varför de lades en bit in har med de två sista segmenten att göra, nr fyra och fem. De skall vara placerade så långt ut som möjligt för att ge maximal stadga åt brokonstruktionen.

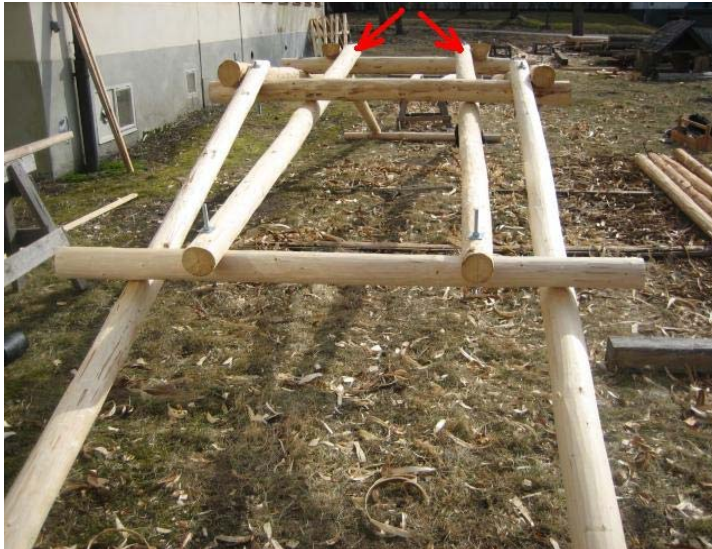


Bild 62: Tredje segmentets placering innanför det andra segmentet.

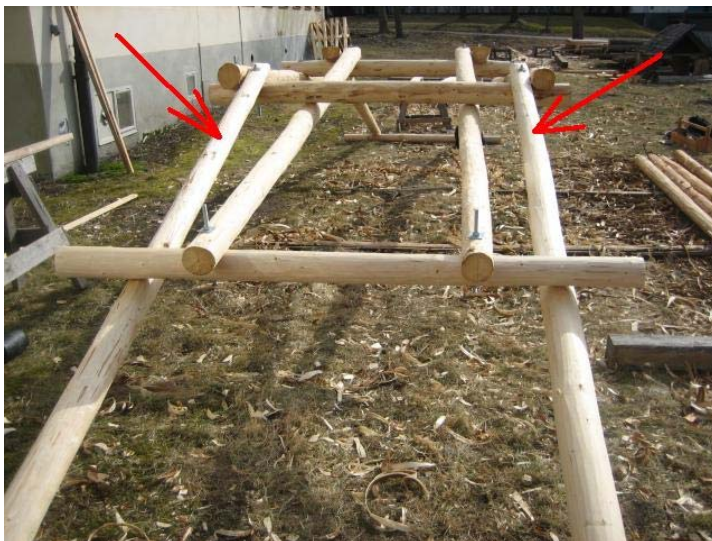


Bild 63: Pilarna pekar på tappstockarna, de visar var det fjärde segmentet på denna sida skall ligga.



### Tappstocken

Segmentet består av två långa tappstockar och en fundamentstock.

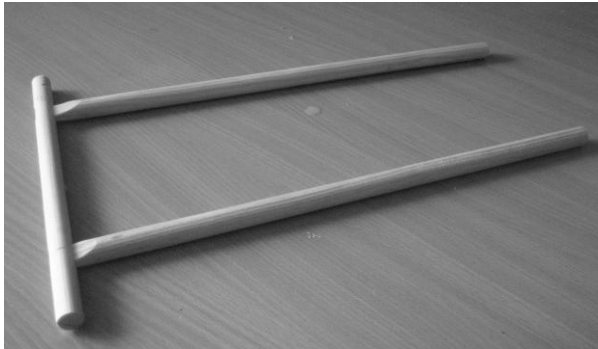


Bild 64. Fjärde sektionen.

I tappstockarnas rotändar gjordes tapparna för infästning i fundamentstockarna. Rotändan är den ände som har mest material och styrka. Det är den delen i konstruktionen som måste tåla egenvikten samt de dynamiska laster som blir när man går över bron.

Precis som förut började jag med urtagen. Nu i toppändorna. Hela broänden lät jag vila på två bockar så att jag lätt kunde prova mig fram. De var horisontellt avvägda. Jag lade dit stockarna med de klara urtagen så långt ut som möjligt och mätte ut tapparnas längd från de yttre bultarna i första segmentet, alltså inte de som sitter i första segmentets mittersta låsbjälke (se bild 65).



Bild 65: Tredje segmentet vilar på bockarna, pilarna visar vilka bultar som jag mätte ifrån.

Längden fram till tappen var 405 cm och så tappen med "kindning" 23 cm totalt ca 428 cm

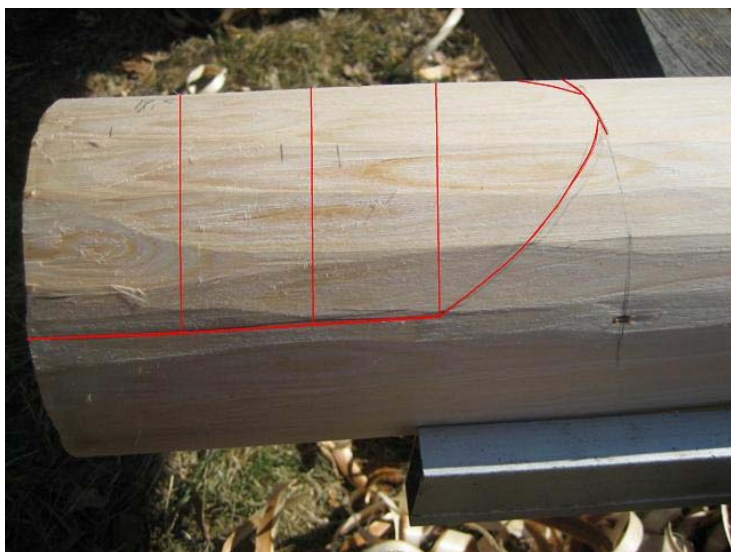


Bild 66: Tappens längd är ca 17 cm plus kindning med 6 cm.



Bild 67: Tappens tjocklek, ca 7 cm i rotänden.



Bild 68: Halva tappen klar.

Eftersom jag utgick från tappstockarnas urtag i toppänden när de låg fixerade på plats ritade jag ut tapparna horisontellt med vattenpasset, då visste jag att det sedan skulle bli enklare att passa in tapparna i tapphålerna i fundamentstocken utan att urtagen i andra änden skulle hamna ur läge. Jag mätte ut tappens tjocklek i ändträet och högg ut den med yxan, sedan finputsade jag tappen med en liten hyvel. Tappens bredd var 12 cm och ca 7 cm tjock.



### Fundamentstocken

Fundamentstocken kapades till en längd av 350 cm, dess rotdiameter var 18 cm. Stocken hade en svag krökning som jag lade uppåt och fixerade stocken. Jag mätte ut mitten i ändträet och drog upp en lodlinje i var stockände så att jag kunde snörslå en linje mellan dem. Halva stockens längd markerades och tapphålens yttermått mättes ut, vilket var 170 cm samt innermått på 146 cm. Med linjen som utgångspunkt användes en vinkel för att rita ut hålet. Sedan borrade jag ur så mycket som möjligt med 18 mm spiralborr och 35 mm navare. Resten höggs ut med yxa och stämjärn.



Bild 69: Lodlinjen och den snörslagna linjen mellan stockens ändar. De markerade rutorna visar tapphålen.



Bild 70: Början till tapphålet.



Bild 71: Tapp och tapphål är klara.

När hålen var klara passade jag in tappstockarna och lade segmentet på plats i bron.  
Genom tapp och fundamentstock satte jag en M 16 gängstång.



Bild 72: Fundamentstock och segmentet på plats i brokonstruktionen.

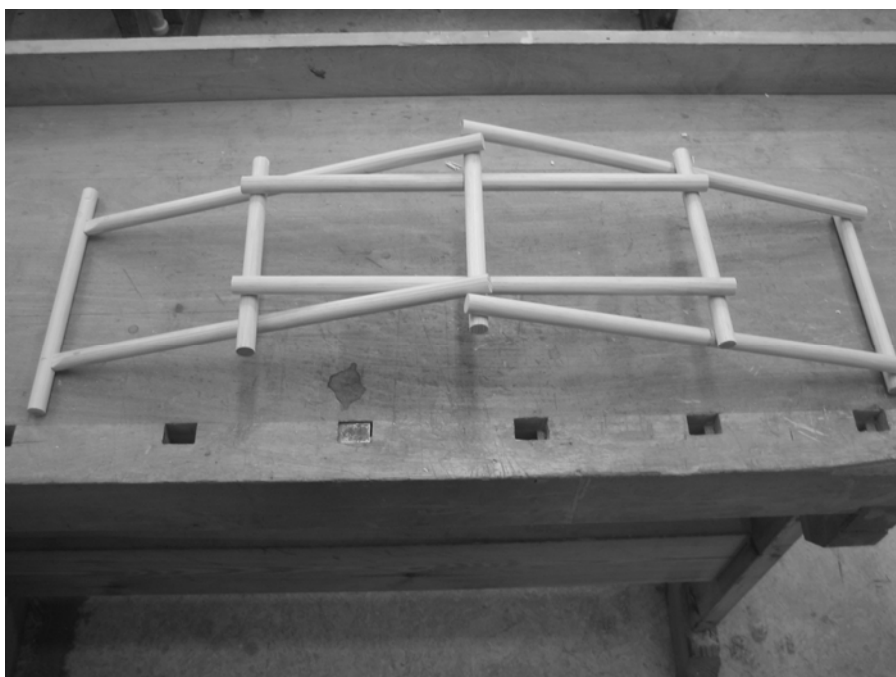


Bild 73: Första, andra och fjärde segmentet på plats. Det första segmentet ligger längst t h. Det tredje och femte segmentet saknas här och ska alltså monteras till höger om första segmentet. Modellbilden förtydligar hur brodelarna fungerar med varandra. I den verkliga bron byggdes ett segment i taget på var sida.

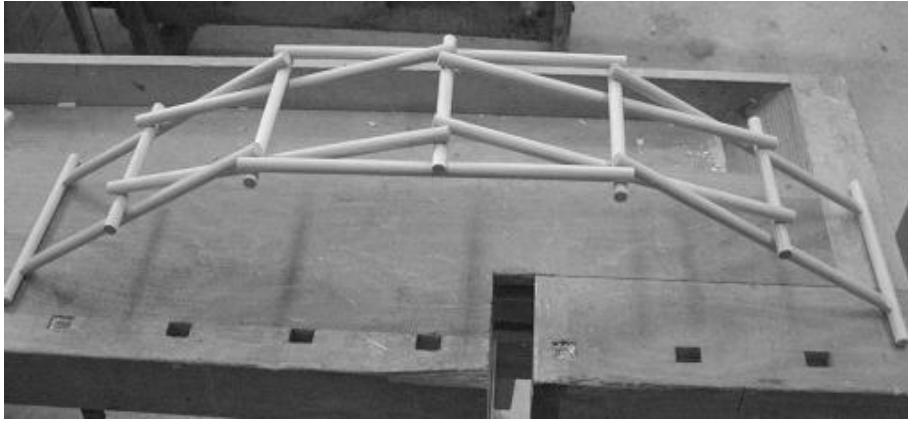


Bild 74: Det tredje och femte segmentet monterat till en komplett bro.



Bild 75: Det färdiga brospannet i full skala.



#### 2.3.4. Förstyvningar

Bron var som väntat ganska ranglig och jag undersökte vilken lösning som skulle ge bäst stabilitet. En kombination av snedsträvor och ett krysstag visade sig ge bäst effekt. Till strävorna använde jag de resterande stockarna som jag bilade av på två sidor till en tjocklek på ungefär åtta cm. Till krysstaget använde jag fyra brädor 1”x 4” som spikades på med en 4” spik i varje hörn.



Bild 76: Strävorna på plats. Pilarna visar var krysstaget ska sitta.

#### Övre delen

Jag började med att lägga upp strävan med roten nedåt och spänna fast den med tvingar ovanpå de ställen där den senare skulle fällas ned (se bild 77). Toppändan skulle fällas ned mot sidan av tappstocken (se bild 78). Med hjälp av vattenpass, tumstock och penna förde jag över måttet till ovansidan (se bild 79-80). Från den markeringen lade jag mitt vattenpass och syftade efter den undre tappstocken fram längs till den punkt där stockarna korsar varandra (se bild 81). Den undre tappstockens vinkel överfördes till strävan. Jag högg efter linjen med yxan och skålade ut strävans liggyta med hjälp av en skölp för att få det så tätt som möjligt mot tappstocken (se bild 82). Jag provade och finjusterade in den snedskurna övre delen av strävan tills den satt bra.



Bild 77: Strävan på plats.



Bild 78. Visar snedsträvans övre del nedfälld mot sidan av tappstocken sett från ovasidan.



Bild 79: Toppänden. Utifrån lodlinjen tog jag ut måttet från den undre stocken.



Bild 80: Måttet sätts av på övre stocken. För att få ut syftlinjen





Bild 81: Min syftlinje efter den undre stocken Bild 82: Snedsträvans liggyta något urgröpt.  
kraftigt markerad.

### Nedre delen

I rotänden markerades strävans läge på fundamentstocken (se bild 83). Jag bestämde urtagets djup till fem cm, vattenpasset hade den bredden så jag höll det under strävan och ritade på båda sidorna (se bild 84). Nu kunde jag såga ned till linjen och hugga ut urtaget med hjälp av yxa och stämjärn. Jag satte strävan på plats i urtaget och lade den någorlunda rätt i andra änden med hjälp av en bock som stöd, änden i urtaget drog jag fast med en tving. Nu ritade jag klacken (se bild 86) så att jag kunde såga ned och hugga ut den (se bild 87).



Bild 83: Strävans läge markeras på var sida med hjälp en penna.



Bild 84: Urtagets djup ritas med vattenpasset som ligger dikt an mot strävans undersida. Detta gjordes på båda sidorna.



Bild 85: Snedsträvan är nedfäld i fundamentstocken.



Bild 86: Strävans klack ritas utefter fundamentstocken.



Bild 87: Strävans klack sedd ovanifrån.

När strävan satt på plats borrade jag hål och satte in M12 gängstänger. Det håller bra och ser mera proportionerligt ut.



### 2.3.5 Lyftanordningen

Till min hjälp när jag skulle lyfta bronstrukturen för att lägga in ett nytt segment tillverkade jag en hävarm med en längd av fem meter. Senvuxen färsk gran bilades av på två sidor till en tjocklek av tio cm.

Till hävarmen byggde jag en "trefot" av fyra st 2"x 4". Trefoten byggdes med tre olika höjder och kan enkelt demonteras eftersom den är hopsatt med M10 gängstänger.

Eftersom jag är kunnig smed smidde jag en lyftkroksanordning som jag satte i ett spår i ena änden av hävarmen. Den kan lätt lyftas av när man ska ändra höjd på hävarmen. Krokarna sitter på ca 60 cm avstånd och är smidda av 15 X 600 mm rundjárn. Galgen är smidd av ett plattjárn, 5 x 25 x 1600 mm och de två länkarna är av rundjárn 12 x 250 mm.

Jag var tveksam om alla delarna skulle hålla, men efter att ha lyft den ena änden när hela bron var färdigmonterad visade det sig att den höll fint. Dock skulle man ha kunnat göra hävarmen längre när bron började bli färdig för att förstärka "hävarmseffekten" eftersom tyngden ökade.

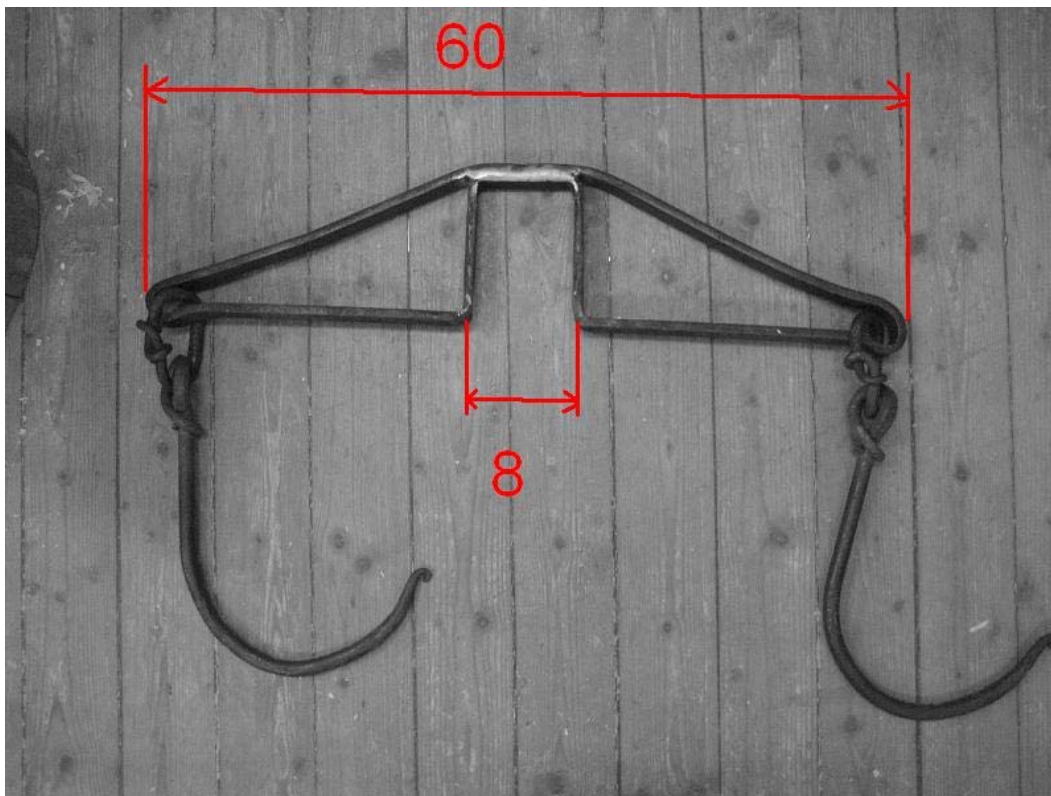


Bild 88: Galgen med krokarna, mått i cm. Länkarna och kroköglorna är inte vällida (hopsvetsade) utan utsmidda och knutna.





Bild 89: Trefoten är vinklad något bakåt med hävarm och krok.

Trefotens höjder är 70, 105 och 155 cm. Den totala höjden är ca 170 cm. Den borde ha gjorts lite bredare för att stå stadigare. Hävarmen var tung, det var en fördel när jag lyfte bron och en nackdel när jag skulle skifta mellan höjderna.



Bild 90: Lyfter första segmentet. Avståndet mellan krokarna ger bra stabilitet.

## 2.4 Uppskattning av brons livslängd

Timret till den här bron är i utgångsläget obehandlat och har täta årsringar vilket ger en hårdare och kompaktare ved som i sin tur ger bättre motståndskraft mot röta. Livslängden utan behandling bör vara 10-15 år. Gran ruttnar inifrån och ut, därför kommer alla förbindningspunkter med gängstänger att vara särskilt känsliga.

Det bästa sättet att förhindra rötskador är att behandla träet när det har torkat klart. Den bästa behandlingen är att använda sig av riktig tjära framställd ur furu. Den tjäran som anses bäst i dag är den skaldbrända tjäran.

Tjäran bör värmas och strykas direkt på träet, värmen underlättar för tjäran att tränga in. Annars kan man späda tjäran något med linolja för att få den mera smidig och lättstruken. Ändträ suger ca 20 gr mer än övriga ytor så där kan man bestryka ofta. Alla borrade genomföringar bör behandlas extra noga innan montering. Förslagsvis skulle man kunna klippa till tygbitar i samma storlek som brickorna samt göra ett hål för gängstången i tyget. De tygbitarna dränker man sedan in i tjäran och lägger dem mellan träet och brickan som en slags packning för att hindra att vatten ska tränga in i onödan. Med en noggrann och kontinuerlig tjärstrykning bör brons livslängd förlängas med några decennier.

Brons alla konstruktionsdelar är lätta att byta ut och komma åt, vilket är en stor fördel vid framtida åtgärder.

## 2.5 Material och tidsåtgång

Förstudien med ritningar och tillverkningen av de olika modellerna tog 72 timmar och materialkostnaden var c a 400 kr.

Arbetet med att anskaffa timret tog 12 timmar.

Brobyggets alla moment tog totalt 120 timmar. En hel del av denna tid gick till att tänka ut alla lösningar, som skulle göras i full skala, samt till dokumentation av arbetet. Min bedömning är att byggtiden kan förkortas med 60-70 timmar när nästa bro ska tillverkas.

Smidet av krokarna och galgen tog 4 timmar. Bygget av trefoten tog 16 timmar och hävarmen ytterligare 2 timmar. Sammanlagt tog lyftverktygen 22 timmar att tillverka. Denna tid är inräknad i de 120 timmarna.

### Materialkostnader

#### Brokonstruktionen

22 bit timmer, 430 cm, 15 cm ub (varav 20 användes)	1 100 kr
8 st gängstång M16, 1000 mm med 45 st mutter och bricka	400 kr
2 st gängstång M12, 1000 mm med 16 st mutter och bricka	250 kr
Fasta nycklar	350 kr
Transport	200 kr

#### Lyftverktyget

Smidesjärn	200 kr
Gängstång M1, 1000 mm med mutter och bricka	150 kr
Fasta nycklar	100 kr
Smideskol	100 kr

#### **Totalt**

**2 850 kr**

## 2.6 Arbetsbeskrivning

Då ovanstående redovisning av alla moment vid tillverkningen av bron är omfattande och visar de flesta överväganden, mått och steg under arbetets gång vill jag avslutningsvis göra en sammanfattning. Mitt syfte var att lära känna alla tillverkningsmoment och att arbetet också skulle resultera i en arbetsbeskrivning för en bro över ett mindre vattendrag. Med denna beskrivning kan alla huvudmoment identifieras och det är lättare för en utomstående att bedöma om konstruktionen är ett rimligt alternativ om man har behov av en gångbro av den här storleken. Tanken är att bron ska, om man vill, kunna tillverkas av material som tas på platsen. Intill huvudmomenten finns hänvisningar till mer detaljerade beskrivningar av olika utföranden.

### Förberedelser

- Uppmätning av platsen för bron och bestämning av brospannets vidd. (Kap 2.2.4.)
- Beräkning längder och dimensioner på timret. (Kap 2.2.1.)
- Anskaffning av gängstång, mutter och brickor.
- Tillverkning av lyftkrok.
  - Utsyning av timmer. Avverkning, aptering, kvistning och barkning med barkspade och bandkniv. (Kap 2.3.3.)
  - Sortering av virket efter dimension och hur raka stockarna är. De två grövsta väljs till fundamentstockar. (Kap 2.3.3.)
- Tillverkning av lyftanordning.
- Kapning av gängstänger i passande längder.
- Göra ett jämt upplag för första segmentet.

### Brobygget

- Planera hur de olika stockarnas rot och topp ska mötas i hela konstruktionen. (Kap 2.3.3.)
  - Tillverkning av förbindningarna i det första segmentet (5 stockar), montering och kryssmätning. (Kap 2.3.3. s 33)
- Tillverkning av förbindningarna i andra segmentet (3 stockar), montering. (Kap 2.3.3. s 37)
- Tillverkning av förbindningarna i tredje segmentet (3 stockar), montering. (Kap 2.3.3. s 37)
  - Tillverkning av tapp och tapphål i fjärde segmentets två tappstockar och fundamentstock, montering. (Kap 2.3.3. s 40)
  - Tillverkning av tapp och tapphål i femte segmentets två tappstockar och fundamentstock, montering. (Kap 2.3.3. s 43)
- Tillverkning av strävor (4 st), tillpassning och montering. (Kap 2.3.4. s 46)
- Tillverkning av kryssträvor (2 st), tillpassning och montering. (Kap 2.3.4.)

### Skyddsbehandling

- Hela konstruktionen behandlas med dalbränd tjära.

Konstruktionen bör tjärstrykas sedan virket torkat. Förbindningar med borrarade hål bör behandlas med tjära innan slutlig montering.

### 3. AVSLUTNING

#### 3.1 Diskussion

Att bygga bron så "historiskt korrekt" som möjligt har varit omöjligt eftersom det inte finns några tidigare förlagor eller direkt skrivna anvisningar i Leonardos anteckningar. Jag har bara kunnat göra någorlunda kvalificerade gissningar och antaganden om vad man på den tiden kunde ha använt sig av. Gissningsvis kunde man då ha använt sig av rep, kätting, trädymplingar eller långa nitar av metall. Smide och smidesteknikerna var högt utvecklade i hela Europa på den tiden.

Jag har redogjort för längder och dimensioner på stockarna i de olika segment som den 12 m långa bron består av. Dimensioneringen för hur mycket last bron kan ta utgår från den beräkningen som gjordes av ST. Det har gett en smäcker konstruktion och samtidigt enskilda stockar som väger max 40 kg i torrt tillstånd. Det gör bron enkel att bygga för två personer eller som i undersökningen av en person och med hjälp av de lyftredskap som tillverkades. Undersökningen går däremot inte in på hur dessa längder och dimensioner skulle kunna "skalas" upp eller ned så att man skulle kunna få fram en slags formel eller tumregel för hur kortare broar eller betydligt längre konstruktioner skulle dimensioneras.

När det gäller konstruktionens övriga delar så kan man diskutera om förbindningarna vid stockarnas ändar behöver urtag eller inte?

Att brokonstruktionen behöver uttag i sina förbindningsbjälkar och tappstockar är självklart tycker jag, Det ger mycket stadga och stabilitet och låser effektivare eftersom det blir mer yta mot varandra. Det bidrar till att "knutskallen" inte spricker lika lätt heller eftersom gångstångens rörelser blir mindre. I min konstruktion har jag försökt att göra dem så sparsamma som möjligt, men med fokus på att de också skall ha bibehållen styrka som jag nämnt tidigare.

Jag hade helst sluppit att använda mig av gångstångerna, men det är det säkraste alternativet framför rep, nitar el dyl. Eftersom jag har arbetat med färskt timmer kommer det oundvikligen att krympa. Och det kommer i sin tur att medföra att alla muttrar måste dras efter. Det är en stor fördel som gångstångerna har framför andra lösningar.

Det lyftredskap som tillverkades och användes i undersökningen bör ses som ett förslag som fungerade men som kan utvecklas vidare.

De inledande modellbygget som ägnades mycket tid, gav mycket goda insikter i olika möjligheter att bygga bron. Den turordning för de olika momenten som jag bestämde mig för på modellstadiet finns redovisad med mindre justeringar i kap 2.6 Arbetsbeskrivning.

Arbetet har utgått från att bron ska tillverkas på plats med hjälp av enbart handverktyg bortsett vid aptering och kvistning. Arbetstiden bör kunna kortas ytterligare om man använder fler maskiner, främst till barkning, borring och utformandet av tapphålen. Det mest tidseffektiva sättet att producera brons alla segment helt maskinellt hade varit att svarva alla stockarna och samtidigt fräsa urtagen.



### 3.2 Slutsatser

Leonardos bro har många möjligheter. Den är flexibel och anpassningsbar och vid framtida reparationer är alla stockarna lätta att byta ut. Som jag har visat i kap 2.2.5 kan man enkelt förlänga bron med extra stockar för att underlätta passagen.

Bron i den här undersökningen har sammanlagt fem segment, men Leonardos brokonstruktion kan byggas med långt flera. Så länge låsprincipen är tillräcklig, (kap 2.1 s 7). Man har även möjligheten att förkorta bron genom att ta bort ett eller flera segment. Låsprincipen fungerar lika bra ändå (se bild 91).

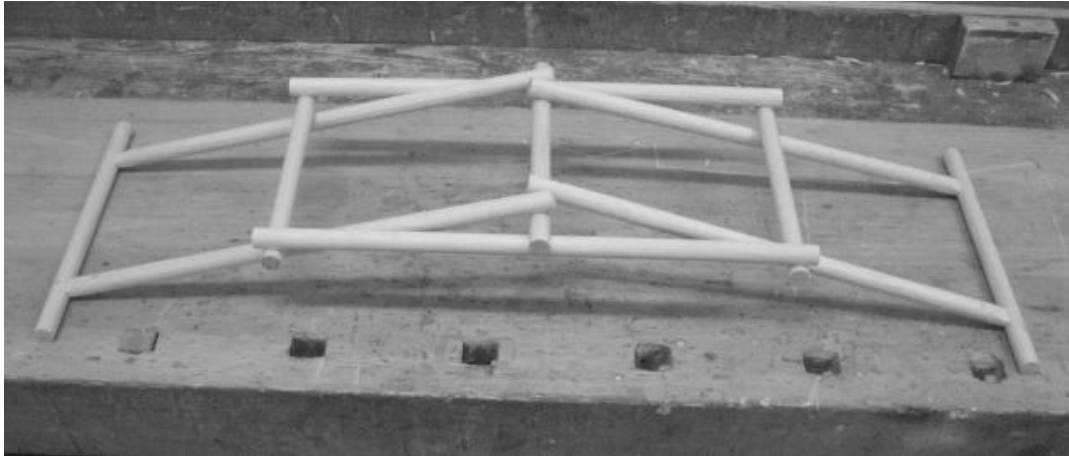


Bild 91: Bron kan förkortas och består här bara av tre segment istället för de fem som var förutsättningen i undersökningens fullskaleförsök.

Om man vill bygga en bro med mindre diameter på timret kan man lägga in fler förbindnings och tappstockar i konstruktionen och på så vis få en tillräckligt stark och säker bro. I de större kinesiska broarna som nämndes i inledningen är konstruktionen sådan, inflätade stockar sida vid sida i hela valvet. Konstruktionen ger också möjlighet att bygga breda broar, något som Leonardo Da Vinci också var medveten om (se bild 92).



Bild 92: "Dubbelbro" Codex Atlanticus, f. 69ar and 71v (1487-1489)

Foto: taget av J Öhlén ut boken "I ponti di Leonardo (2007)" .

Konstruktionsprincipen kan förmodligen användas till andra ändamål också, t ex en pergola, tältkonstruktioner eller som "takstol" förutsatt att den inte trycker ut väggarna, de måste i så fall förstärkas för de krafter som vill pressa dem utåt eftersom brons kraftspel fungerar på det viset. (Kap 2.2.2 bild 12 s 12)

Jag hoppas också att arbetet kan inspirera andra till att bygga med denna gamla konstruktionsprincip.

Sist vill jag tacka mina handledare för all den myckna hjälpen och stödet.

Ett stort tack till: Göran Andersson och Bengt-Arne Cramby.

#### 4. KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING.

##### **Böcker.**

G. Knapp. Ronald (2008) *Chinese Bridges: Living Architecture from China's Past*  
Tokyo. Rutland, Vermont. Singapore: Tuttle Publishing

Chen. Tang Huan (1987) *Ancient Chinese bridges.*

Beijing: wenwu chubanshe (Cultural Relics Publishing House in Beijing)

Fugi-Meyer, H. (1937). *Chinese Bridges.* Shanghai [etc.]: Kelly and Walsh, limited

Bernrdoni. Andrea. Taddei. Mario. Zanon. Edoardo. (2007). *I ponti di Leonardo-  
Leonardos bridges*

Italy: Maggie (en box innehållande bok, modell och cd.)

*Codex Atlanticus* (Atlantic Codex) 1478 till 1519.

Leonardos samlade verk

**Elektroniska källor****Sökord:**

chinese wooden bridges, historical Chinese bridges, Leonardo Da Vinci's selfsupporting arch bridge, selfsupporting bridge.  
Rainbow Bridge, timber arch bridge, lounge bridge, timber arch lounge bridge, woven timber arch bridge, woven timber arch-beam bridge

officiella hemsidor:

*Engineered Wood Products Association* 2009. Chinese Rainbow Bridges.

[http://www.ewpa.com/Archive/2004/jun/Paper\\_016.pdf](http://www.ewpa.com/Archive/2004/jun/Paper_016.pdf)

(2009-03-12)

*NOVA Online* 2000 sekrets of lost empires. China bridges. NOVA builds a Rainbow bridge (senast uppdaterad 2000-11-01)

<http://www.pbs.org/wgbh/nova/lostempires/china/builds.html>

(2009-03-12)

*Ny Teknik* 2009 .ågsbro. regnbågsbron i jinze.

[http://www.nyteknik.se/popular\\_teknik/kaianders/article31167.ece](http://www.nyteknik.se/popular_teknik/kaianders/article31167.ece)

(2009-02-14)

*Leonardo3* official website 2009. läs mer om Leonardos alla uppfinningar

<http://www.leonardo3.net/>

(2009-03-11)

*A different place* 2008. Exploring Leonardo da Vinci. Leonardo Da Vinci: Inventor

(senast uppdaterad 2008-11-10) <http://www.adifferentplace.org/>

(2009-02-25)

*Wikimedia commons* 2007 .vinci bridge senast (uppdaterad 2007-01-01)

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da\\_vinci\\_bridge.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da_vinci_bridge.jpg)

(2009-04-21)