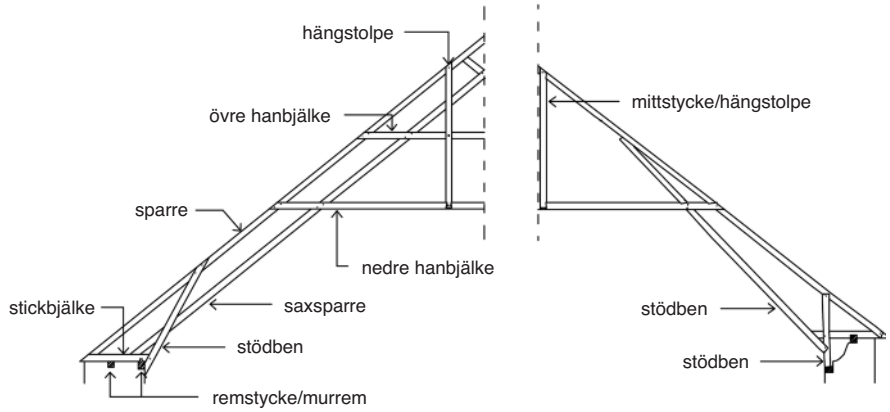
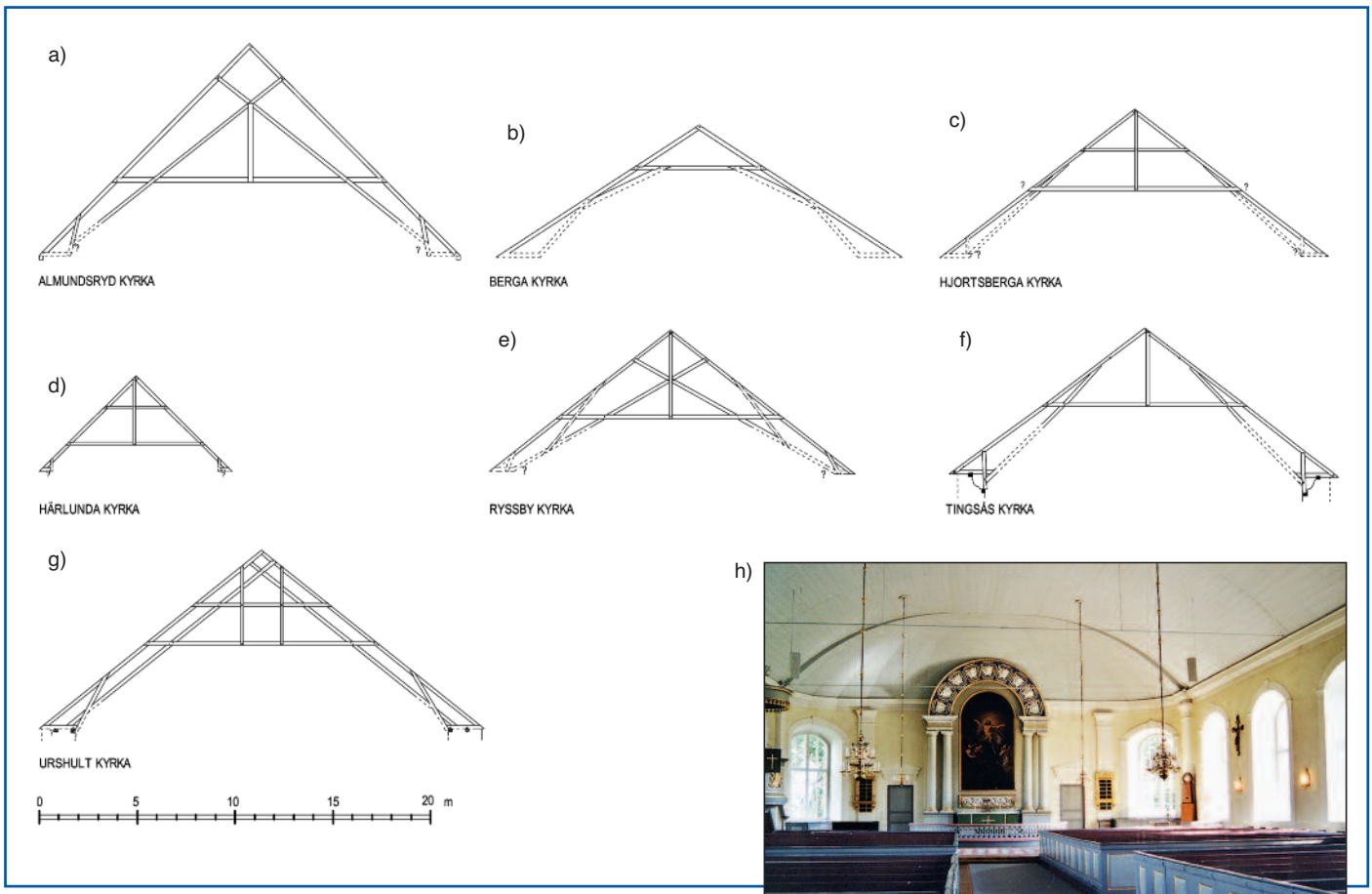
Historiska takkonstruktioner – så fungerar de

De flesta som har besökt en gammal kyrkvind blir fascinerade. Det är något speciellt med de här rummen och med de imponerande (ibland flera våningar höga) handbilade konstruktionerna som bär upp taket. Konstruktionerna är svåra att överskåda och tolka på plats, där man vandrar omkring i de enorma mängderna virke. Alla dessa virkesdelar är förbryllande.

Har man besökt några stycken kyrkvindar och tittat i de relativt få skrifter som behandlar historiska svenska takkonstruktioner så kan man dessutom konstatera:



Figur 1: Delar i förindustriella kyrktakstolar.



Figur 2: Exempel på takstolar utan bindbjälke, a-g och exempel på kyrkorum som överbryggas av en sådan takstol, h. Takstolarnas utformning skiljer sig vad gäller antalet delar och delarnas placering. Takstolarna i figuren överbryggar så kallade Tegnérkyrkor, uppkallade efter Esaias Tegnér, biskop (1824 till 1846) som ivrade för byggandet av nya, rymliga och ljusa kyrkor och för rivandet av de gamla medeltida kyrkorna. Önskan om ett ljust, luftigt kyrkorum har medfört ett behov av takstolar utan bindbjälke - bindbjälkar skulle ha tyngt rummet betydligt. Samtliga takstolar i figuren finns kyrkor i Kronobergs län, i: a) Almundsryd, b) Berga, c) Hjortsberga, d) Härlunda, e) Ryssby, f) Tingsås och g) Urshult. Interiören i h är från Hjortsberga kyrka.

*Artikelförfattare är **Ylva Sandin**, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.*

de är olika vad gäller antal delar och delarnas placering. Gemensamma drag är att de är byggda av grovt bilat virke och sammanfogade med enkla hophuggningar låsta med en spik eller trädymling. Men sedan skiljer sig formen. Utöver sparrar har takstolarna inre delar som skiljer i antal och placering: hanbjälkar, stödben, ibland saxsparrar och ibland vertikala delar. Terminologi, se *figur 1*.

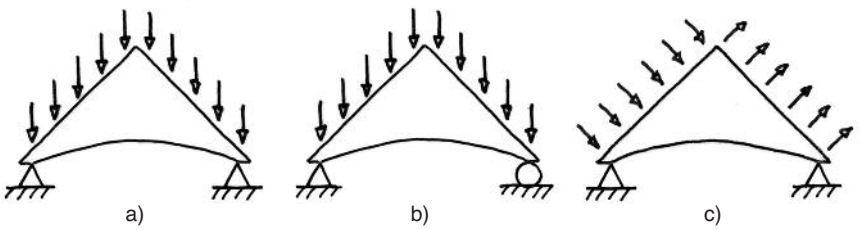
Hur fungerar de här konstruktionerna? Vad betyder skillnaderna i delarnas placering? Behövs alla delar? När och var har timmermännen lyckats – vilka former är speciellt bra?

Många av våra historiska takkonstruktioner är åtgärdade på ett till synes radikalt sätt i modern tid. Moderna material och metoder har använts. De är lappade och lagade, påfallande ofta i knutpunkterna. Detta reser fler frågor om formen. Har de här konstruktionerna problem på något sätt med sin utformning?

För att söka svaren på de här frågorna gjordes en studie av verkningssätten hos äldre kyrkors takkonstruktioner. En speciell grupp studerades: takstolar utan bindbjälke. (Med bindbjälke menas en horisontell del som binder samman sparrarna i en takstol nedtill, tvärs byggnadens längdriktning.) Den här gruppen har oftare än andra skador och lagningar. Det beror på att de är förknippade med en särskild problematik: uttryckning av väggarna. Takstolar utan bindbjälke verkar inte bara med nedåtriktade krafter mot byggnaden under, utan även med utåtriktade krafter – uttryckningskrafter. De nedåtriktade krafterna brukar inte vålla problem för väggarna, men det kan de utåtriktade krafterna göra. Ytterst kan väggarna helt förlora sin stabilitet och stjälpas. Det som brukar hända, och som upptäcks långt innan väggarna blivit instabila, är dock att byggnadens väggar börjar luta utåt och spricka, samtidigt som takstolarna glider isär. För den här gruppen är också följande frågor relevanta: Vilka former ger minimala uttryckningskrafter? Har äldre tiders timmermän funnit sådana former? Eller har de funnit former som fungerar bra för väggar som är veka i horisontell riktning? Exempel på några konstruktioner av den här typen ges i *figur 2*.

Tre konstruktiva uppgifter för takstolar

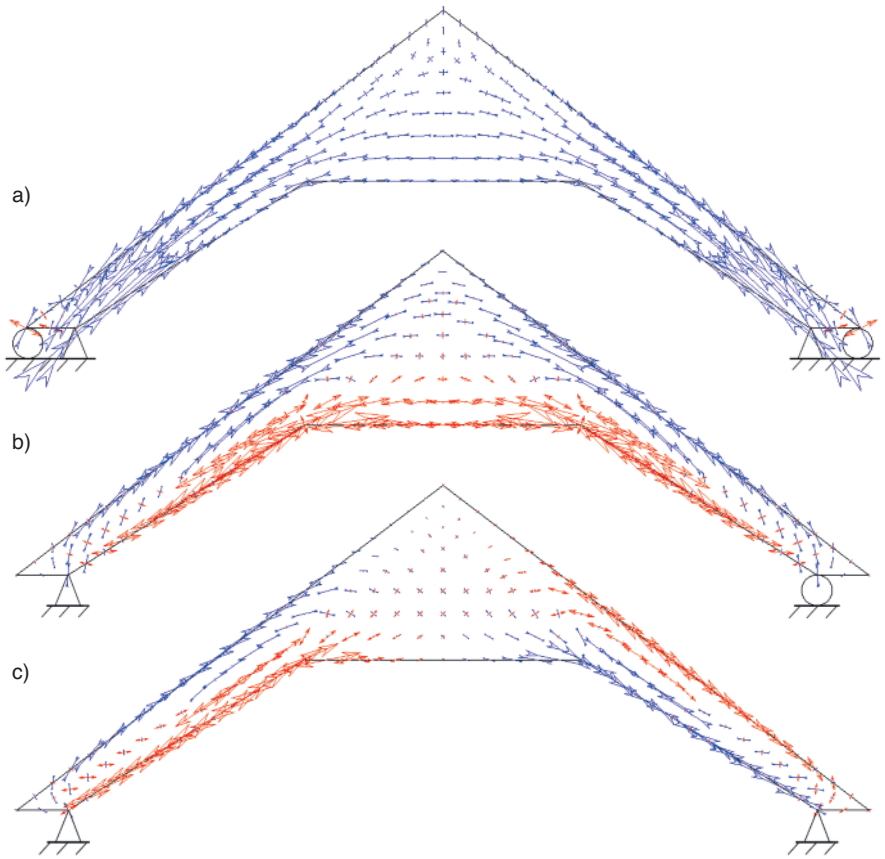
För att kunna avgöra vilka takstolsformer som är rationella och för att kunna se vilka former som är bättre än andra så studerades takstolars verkningssätt för tre principiellt olika konstruktiva uppgifter: 1) uppgiften att förflytta vertikal last mot sparrarna till stödjepunkter som ger stöd i såväl vertikal som horisontell riktning, *figur 3a*, 2) uppgiften att förflytta vertikal last mot sparrarna till stödjepunkter som ger stöd i enbart vertikal riktning, *figur 3b*, 3) uppgiften att förflytta antisymmetrisk last mot sparrarna till stödjepunkter som ger stöd i såväl vertikal som horisontell riktning, *figur 3c*.



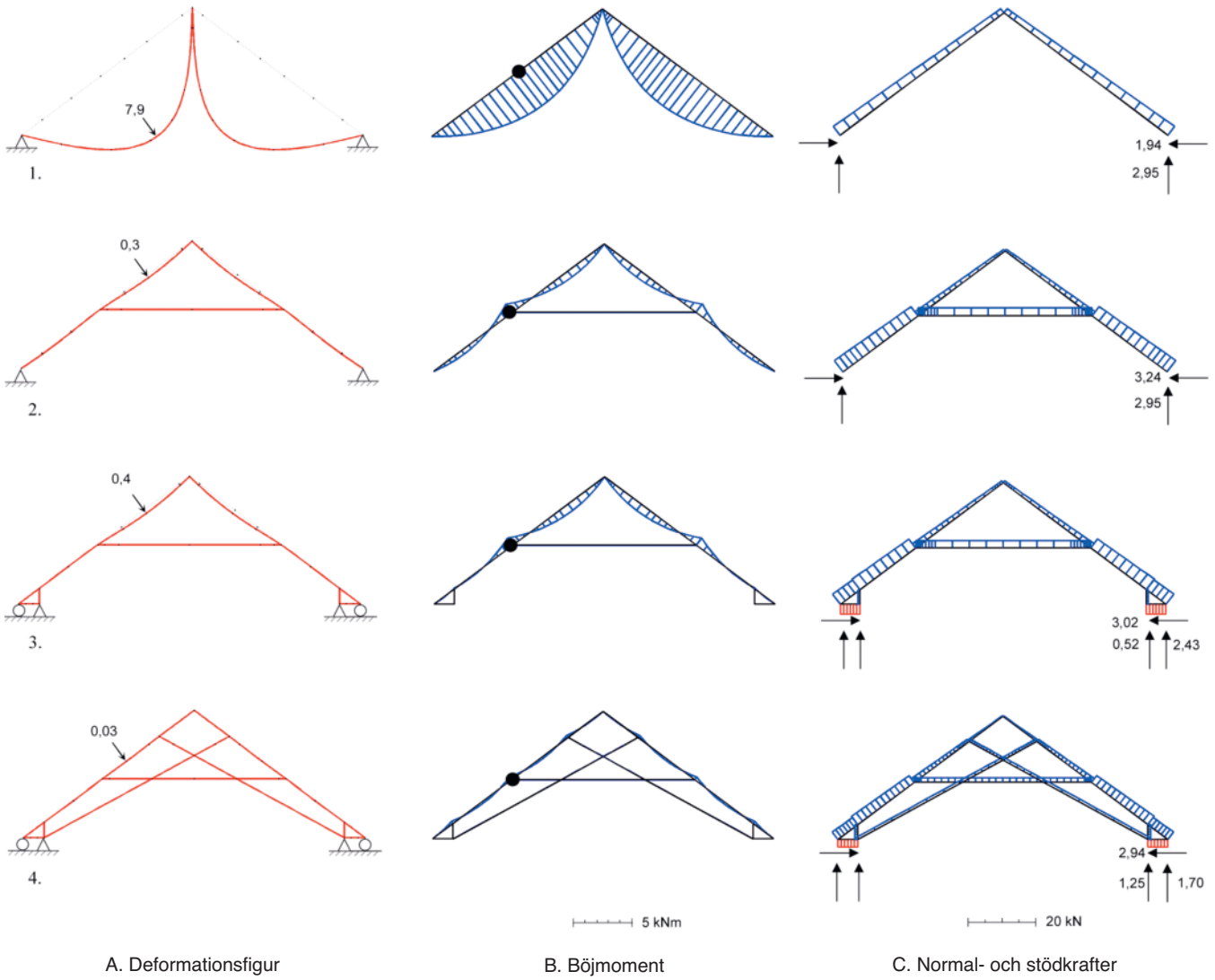
Figur 3: Tre viktiga konstruktiva uppgifter för takstolar. a) Uppgiften att förflytta vertikal last mot sparrarna till stödjepunkter som ger stöd i såväl vertikal som horisontell riktning. b) Uppgiften att förflytta vertikal last mot sparrarna till stödjepunkter som ger stöd i enbart vertikal riktning. c) Uppgiften att förflytta antisymmetrisk last mot sparrarna till stödjepunkter som ger stöd i såväl vertikal som horisontell riktning.

Den första uppgiften är den ”vardagliga” uppgift som takstolen måste klara då den bär sin egen och taktäckningens tyngd. Stödjepunkterna förutsätts kunna ta upp de nedåt- och utåtriktade krafter som takstolen utövar mot dem. Den andra uppgiften är den som takstolen ställs inför i de fall stödjepunkterna inte klarar att ta upp horisontella uttryckningskrafter från takstolarna utan ger efter för dem och rör sig utåt. Den tredje uppgiften är den uppgift takstolarna ställs inför då de belastas av vindlast. Lasten i figur 3c är en rent antisymmetrisk last. Den kan sägas motsvara den del av vindlasten som är unik för just vindlasten. (Verklig vindlast innehåller också en symmetrisk lastdel som liknar den första uppgiftens last.)

Studerar man hur olika takstolsformer fungerar för de här uppgifterna så ser man att det finns vissa gemensamma drag i verkningssätten, som hör till uppgiften. De här dragen illustreras av *figur 4*. För den första uppgiften blir bärverken huvudsakli-



Figur 4: Karakteristiskt verkningssätt för uppgiften att: a) ***bära som en båge****, b)* ***bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar*** *och c)* ***bära som två balkar****. För varje uppgift finns gemensamma drag i verkningssätten för olika takstolsformer. De illustreras här med spänningsmönster i skivor. Skivorna kan tolkas som takstolar helt utfyllda med jämnstyvt material. Spänningsmönstren kan tydas som bilder av hur lasten går till upplagen ”om den själv får välja”. Blå pilar visar tryckspänningar och röda pilar dragspänningar.*



Figur 5: Att bära som en båge.
*Kolumn A visar hur **styvheten** ökar då delar tillkommer. Kolumn B visar hur böjmomenten och därmed **belastningen i delarna** minskar. Kolumn C visar att takstolarna blir tryckta, med undantag av stickbjälkarna.*

gen tryckbelastade; de kläms ihop mellan last och stödjepunkter och verkar med utåt- och nedåtriktade krafter mot underlaget. För den andra uppgiften blir inre och lågt placerade delar dragbelastade medan yttre högt placerade delar blir tryckbelastade. För den tredje uppgiften blir bärverkets halvor böjbelastade. Den ena halvan blir dessutom dragbelastad, medan den andra blir tryckt. Med hänsyn till hur takstolar de här karakteristiska verkningssätten kan uppgifterna döpas om till: 1) Uppgiften ”att bära som en båge”, 2) uppgiften ”att bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar” samt 3) uppgiften ”att bära som två balkar”.

För var och en av uppgifterna kan nu betydelsen av delarna och deras placering studeras. Vi kan undersöka vilka former som är ”bra på att bära som en båge”, ”bra på att bära dragning i inre delar och tryck i yttre delar” respektive ”bra på att bära som två balkar”.

Att bära som en båge

Figur 5 visar hur verkningssättet förändras då en takstol av bara två sparrar (rad 1) byggs ut med en hanbjälke (rad 2), hanbjälke och stödben (rad 3) och hanbjälke, stödben och saxsparrar (rad 4).

Verkningssätten illustreras med deformationsfigurer i kraftigt överdriven skala (vänstra kolumnen), momentdiagram som illustrerar storleken på böjningen i delarna (mittkolumnen) samt normalkraftsdiagram, det vill säga tryck- och dragkrafter (högra kolumnen). I normalkraftsdiagrammen används blått för tryck och rött för dragning. Nedanför normalkraftsdiagrammen anges också storleken på krafterna mot takstolen från underlaget (upplagsreaktionerna). Lika stora, men motriktade, krafter verkar från takstolarna mot byggnaden under dem.

Den allra enklaste takstolen, den med bara två sparrar i rad 1, måste bära den jämnt fördelade lasten på sparrarna som böjning till nocken och stödjepunkterna. Böjning är förknippat med betydligt större spänningar och deformationer än normalkrafter. Jämför böjspänningar och normalspänningar i *tabell 1*. Med en hanbjäl-

*Tabell 1: Maximal böjspänning σ_M för takstolsformerna i figur 5 (i punkten markerad i figuren), normalspänning σ_N i samma punkt och maximal dragkraft $N_{dragmax}$ i förband. * Böjspänningen beräknad för helt tvärsnitt.*

Takstol nummer	σ_M [MPa]	σ_N [MPa]	$N_{dragmax}$ [kN]
1	5*	0,1	–
2	2	0,1	–
3	2	0,1	3,0
4	1	0,1	2,3

ke, rad 2 i figur 5, minskar böjningen i sparrarna radikalt. Vi ser hur såväl deformationerna som böjmomenten minskat jämfört med rad 1. Tabell 1 visar att även böjspänningarna har minskat, trots att sparrens tvärsnitt är hälften så brett i rad 2 som i rad 1 (hänsyn till hophuggningen halvt i halvt mellan sparre och hanbjälke har tagits vid modelleringen).

Det är just *skillnader* mellan resultat som är i fokus i den här studien, inte de absoluta värdena på krafter, deformationer och spänningar. Studien av *kvalitativ* snarare än *kvantitativ*. För den som är intresserad av vilka förutsättningar i geometri och last som har givit resultaten så ges de i *tabell 2*.

Tillkomsten av stödben, rad 3, och saxsparrar, rad 4, innebär att nya stöd skapas för sparrarna och att böjningen i dem successivt minskar. Med varje del som tillkommer minskar således böjningen i sparrarna och allt mer av bärningen sker som tryck. Takstolsformerna blir successivt styvare och effektivare för varje rad.

De visade formerna, liksom äldre takstolsformer generellt, innehåller polygonformade, rätlinjiga bågformer. Sådana former är styva och effektiva för belastning i sina ”brytpunkter”, *figur 6*. Ju fler bågformer takstolen innehåller, desto fler styva lastvägar finns där lasten kan söka sig till upplagen genom rent tryck – och desto styvare och effektivare blir takstolen.

Takstolen i Urshults kyrka i Småland, figur 2g, är exempel på en takstol som innehåller ett stort antal bågar. Den är också ”välhuggen”: omsorgsfullt och exakt huggna delar med jämnhet i dimensionerna möts i täta förband. Den är med sin fungerande form och stora spännvidd (över 22 meter mellan sparrarnas nedre ändar) ett speciellt fint exempel på förindustriell timmermanskonst.

Hur är det då med uttryckningskrafterna från olika takstolsformer? När blir de som minst? Vi ska studera detta med hjälp av en jämviktsbetraktelse. *Figur 7a* symboliserar en takstol och de krafter som verkar på den. Lasten som är jämnt fördelad på taket är symboliserad av två punktlaster. *Figur 7b* symboliserar en *halva* av takstolen och de krafter som verkar på den. Takstolen förutsätts vara symmetrisk. Symmetrin hos bärverket och lasten medför att inga vertikala krafter verkar i mittsnittet. De okända snittkrafterna i mittsnittet representeras av deras resultant.

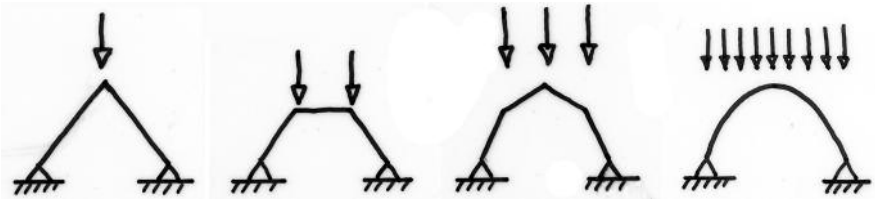
Betrakta nu den halva takstolen i figur 7b och hur den hålls i jämvikt. Villkoret för *vertikal jämvikt* innebär att den vertikala upplagsreaktionen måste vara lika stor som lasten och riktad uppåt, som visat. Villkoret för *horisontell jämvikt* innebär att den horisontella upplagsreaktionen och resultanten till alla krafter i mittsnittet måste vara lika stora och motriktade ($H = R$).

Lasten tillsammans med den vertikala upplagsreaktionen verkar för att rotera takstolshalvan medurs. Lasten Q och upplagsreaktionen V utövar ett *pådrivande moment* och det horisontella avståndet mellan dem utgör *hävarmen för det pådrivande momentet*, h_p, figur 7b. För att inte takstolshalvan ska rotera krävs att den horisontella upplagsreaktionen H och den horisontella kraften i mittsnittet R håller emot med ett lika stort men motriktat *mothållande moment*. De horisontella krafternas inbördes avstånd utgör *hävarm för det mothållande momentet*, h_m.

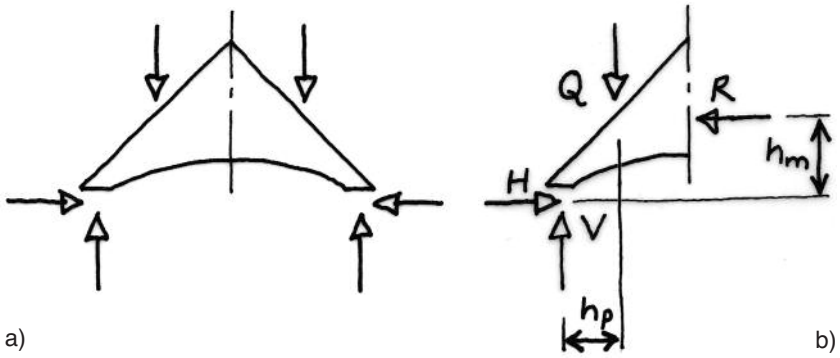
Villkoret att bärverket ska vara i *jämvikt med avseende på rotation* säger oss något om hur stora de horisontella krafterna mellan takstol och stöd kommer att

Tabell 2: Förutsättningar för studien vars resultat redovisas i figur 5, 8 och 11 samt i tabell 1, 3 och 4.

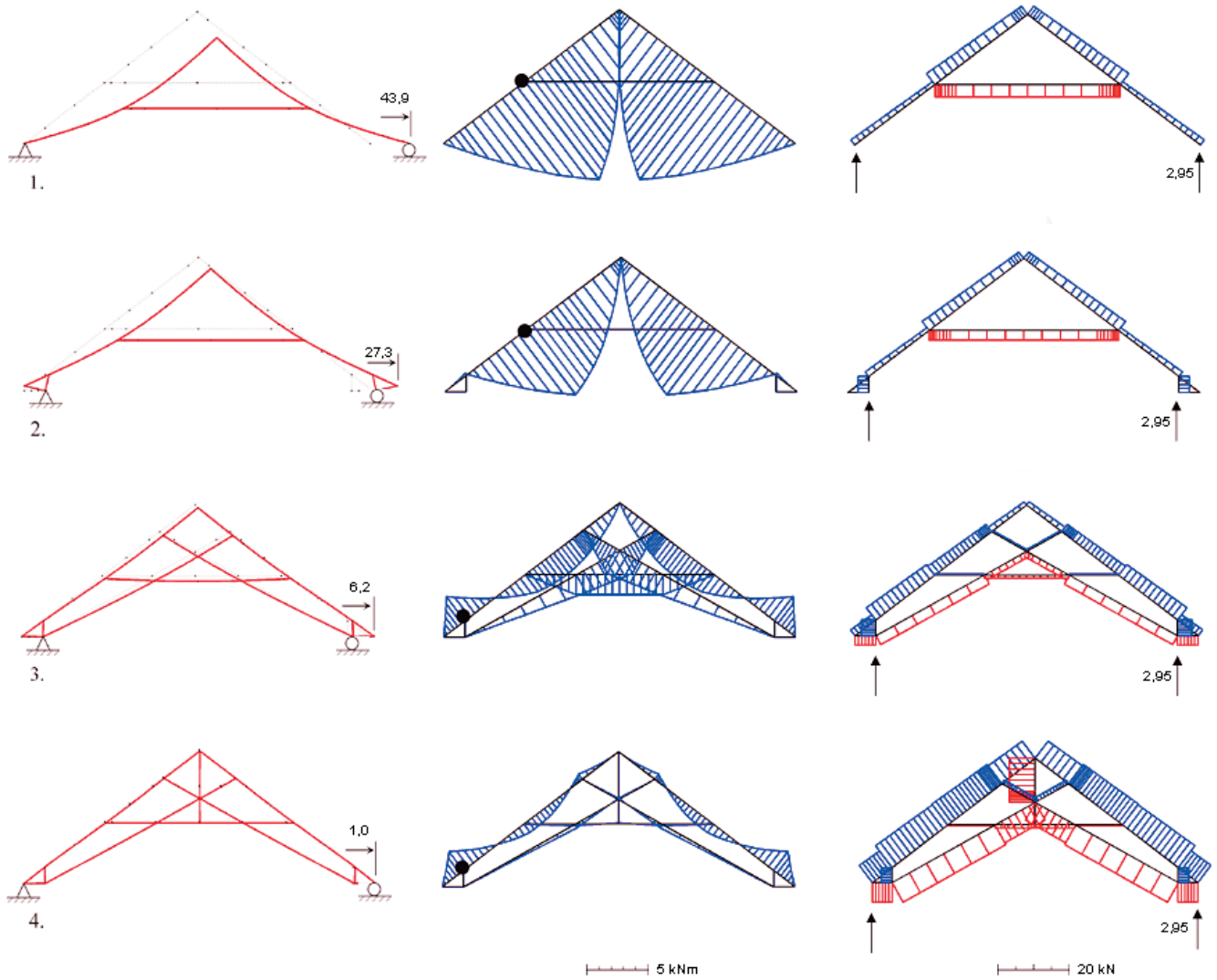
Parameter	***Kommentar***	***Värden***
Geometri	Takstolens höjd och bredd är densamma för alla modeller och motsvarar den hos takstolarna i Hjortsberga kyrka, Kronobergs län (figur 2c).	Bredd:19,4 m. Höjd: 7,38 m. Dimensioner: 15 x 17,5 cm.
Knutpunkter	Ledade knutpunkter (friktionsfritt sammankopplade delar).	
Material	Linjärelastiskt material.	E = 10 500 MPa.
Last	Den totala vertikala lasten på en takstol i studien är 5,9 kN och motsvarar lasten av en lätt taktäckning. Som jämförelse kan nämnas att den genomsnittliga tyngden av permanenta laster på de verkliga takstolarna i figur 2 var 9,9 kN och att den genomsnittliga snölasten var 24,7 kN (den minsta takstolen undantagen).	Vertikal last: 0,24 kN/m. Antisymmetrisk last: 0,40 kN/m.



Figur 6: Bågformer är styva och effektiva, eftersom de kan bära sin last som tryck (böjning undviks). Beroende på lastens karaktär ska bågen ha olika form. Punktlaster bärs som tryck av rätlinjiga bågformer som de tre vänstra. Jämnt fördelad last bärs som rent tryck av parabelbågen längst till höger. Äldre takstolsformer innehåller rätlinjiga bågformer. Ju fler sådana former som är inskrivna i formen, desto mer av lasten kan ledas till stöden som rent tryck och desto mindre behöver sparren bära genom böjning.



Figur 7: a) Krafter som verkar på det yttre av en symmetrisk takstol med okänd inre form. Den jämnt fördelade lasten på sparrarna symboliseras av sina resultanter på vardera takfallet. De inåtriktade krafter som verkar mot takstolen vid stödjepunkterna är lika stora som utryckningskrafterna fast motsatt riktade. b) En halva av samma takstol. I mittsnittet verkar, för denna uppgift, horisontella tryckkrafter. Resultanten till dessa visas i figuren.



Figur 8: Att bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar.
*Kolumn A visar hur **styvheten** ökar då delar tillkommer. Kolumn B visar hur böjmomenten och därmed **belastningen i delarna** minskar. Kolumn C visar att stora permanenta **dragkrafter** verkar i **förbanden**.*

bli. Det gäller att: $Q \cdot h_p = R \cdot h_m$. Ju mindre *det pådrivande momentet* $Q \cdot h_p$ *är*, desto mindre horisontell kraft R behövs för att hålla emot detta moment och desto mindre blir således uttryckningskrafterna (eftersom $H = R$). Takstolens *inre* form påverkar hävarmen för det pådrivande momentet: i takstolsformer som tar stöd långt in på väggen blir hävarmen h_p mindre. Stödben och saxsparrar kan föra ned last på insidan av en vägg och minska hävarmen för det pådrivande momentet och alltså minska uttryckningskrafterna. Takstolarna i rad 3 och 4, figur 5, för ned mer last på insida vägg än hanbjälkestakstolen i rad 2 och ger därför mindre uttryckningskrafter.

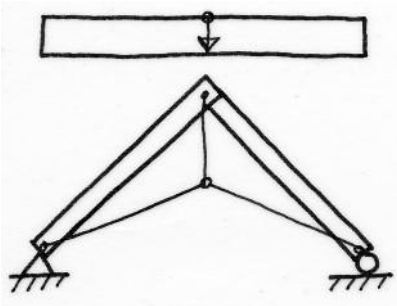
Ju större *hävarmen för det mothållande momentet* h_m *är*, desto mindre behöver de horisontella krafterna vara för att hålla bärverket i jämvikt. (Det mothållande momentet $R \cdot h_m$ kan åstadkommas med en mindre kraft R.) Takstolar som tvingar kraftspelet till nocken ger den största hävarmen för det mothållande momentet. Det enkla sparrparet i figur 5, rad 1 ger därför de lägsta uttryckningskrafterna av de jämförda formerna i figur 5. Ett enkelt sparrpar är dock inte styvt och starkt för särskilt stora spännvidder. Former som skulle vara styva och starka och samtidigt ge minimala uttryckningskrafter är inte förknippade med det förindustriella träbyggandet utan snarare med yngre tekniker och material.

Att bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar

Vi ska nu se hur äldre takstolsformer löser uppgiften att bära vardaglig last om deras stödjepunkter är eftergivliga i horisontell led. Den enklaste formen av takstol bestående av två sparrar är inte stabil för den här uppgiften, och är inte representerad. Den är inte stabil för den här uppgiften.

Det karakteriska verkningssättet är väsensskilt från den förra uppgiftens, se *figur 9*. När nu ett horisontellt motstånd saknas vid stöden måste konstruktionen hålla ihop sig själv i horisontell led då konstruktionen pressas nedåt av den yttre lasten. Lågt liggande inre delar blir ofrånkomligen dragbelastade. Bildsekvensen i figur 9 visar att ju styvare dragbelastningen i inre delar kan förankras i strukturen, desto mindre kommer bärverket att fjädra ut/isär och desto mindre blir böjningen i delarna och ansträngningen i materialet.

I de två första modellerna, rad 1 och rad 2 i *figur 8*, håller *hanbjälken* samman sparrarna då de glider isär under belastningen. Dragkraften i hanbjälken ”träffar sparrarna mitt i veka livet” – det vill säga



Figur 9: Ideal form för att bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar.

belastar dem där de redan är som mest ansträngda till följd av den jämnt fördelade yttre lasten. Konsekvensen blir en orimligt stor ansträngning i materialet och orimliga deformationer. Jämför *tabell 3*.

I modellen med *saxsparrar* i rad 3 finns det fler takstolsdelar som kan samarbeta för att hålla samman bärverket och minska isärglidningen. De dragbelastade saxsparrarna kommer inte på samma sätt som hanbjälken att verka som en last på sparrarna. Böjningen i sparrarna blir därmed avsevärt mindre än för föregående fall. Saxsparrarna är förankrade uppåt dels i hanbjälken och dels i varandra. Dessa förankringspunkter utgör fjädrande mothåll för den inre dragningen, eftersom hanbjälken och saxsparrarna måste bära belastningen i böjning. Trots att böjningen i sparrarna minskat betydligt är påfrestningen fortfarande stor jämfört med uppgiften att bära som en båge, se tabell 1 och tabell 3. Hanbjälken och saxsparrarna har tagits i bruk som kraftvägar för den inre dragningen och kan inte ge sparrarna det stöd som de ger vid den första uppgiften. Sparrarna tar stöd mot stödbenen och mot varandra i nocken men måste spänna fritt däremellan.

Med *mittstycket*, rad 4, tillkommer en kraftväg som gör att bärningen i betydligt högre grad kan ske genom drag- och tryckkrafter så att böjningen i delarna minskar. Den inre dragningen finner nu en styv förankringspunkt i nocken. I nocken bärs denna belastning som rent tryck i sparrarna, ett verkningssätt förknippat med små deformationer. Dragkrafterna i saxsparrarna leds direkt till den styva förankringspunkten i nocken utan att ge upphov till böjbelastning i hanbjälken eller saxsparrarna ”på vägen”. Dragkrafterna, som är permanenta, är nu allt för stora för att kunna tas upp av enkla timmermansförband.

Sammantaget är ingen av formerna rationell för den här konstruktiva uppgiften. Böjpåkänningarna i delarna och dragkrafterna i förbanden blir allt för stora.

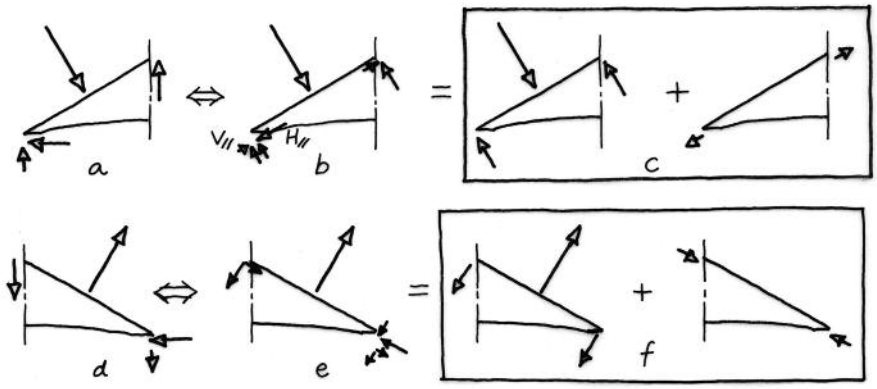
Bärverk med modernare former av knutpunkter som tål större dragbelastning kan göras styva och effektiva för uppgiften, förutsatt att den inre dragningen finner förankring i styva punkter och sparren ges tillräcklig styvhet. Två styva balkar med dragstag får symboliskt representera en styv och effektiv form för den här uppgiften, figur 9.

Att bära som två balkar

Den här uppgiften innebär att hälften av takstolen utsätts för böjning och dragning, medan den andra halvan utsätts för böjning och tryck. Detta kan illustreras av en studie av jämvikten i de två halvorna av en godtycklig takstol, *figur 10*. Att skapa en styv och stark form handlar framför allt om att ta hand om den globala *böjningen av halvorna* – att bära den genom dragning och tryck i enskilda delar.

Tabell 3: Maximal böjspänning σ_M för takstolsformerna i fig. 8 (i punkten markerad i figuren), normalspänning σ_N i samma punkt och maximal dragkraft i förband $N_{dragmax}$.

Takstol nummer	σ_M [MPa]	σ_N [MPa]	$N_{dragmax}$ [kN]
1	27	0,3	3,6
2	18	0,2	2,7
3	7	0,3	2,9
4	5	0,6	7,7



Figur 10: Jämviktsbetraktelse för takstolshalvor vid uppgiften ”att bära som två balkar”. Betraktelsen visar att takstolens halvor blir böjbelastade för den här uppgiften. Den övre raden visar vänster halva av takstolen och den nedre raden visar höger halva. Punktstreckad linje visar symmetrisnitt. Takstolen antas vara symmetrisk och lasten antisymmetrisk. För en symmetrisk struktur utsatt för antisymmetrisk belastning verkar endast vertikala krafter längs symmetrilinjen. a) Krafter som verkar på den vänstra halvan av strukturen. b) Stödreaktioner och den vertikala kraften i symmetrilinjen upplösta i komposanter. c) Krafterna i figur b, nu uppdelade på två lastfall som visar att takstolshalvan utsätts för böjning och dragning. d) till e) En liknande studie av den högra halvan av takstolen visar att den utsätts för böjning och tryck.

Det antisymmetriska lastfallet motsvaras främst av vindbelastning och den last som beaktas i denna uppgift motsvarar vind från vänster. En jämnt fördelad last verkar nedåt vinkelrätt mot vänster sparre samtidigt som en lika stor jämnt fördelad last verkar uppåt vinkelrätt mot läsidans sparre.

I det *enkla sparrparet* i rad 1 i *figur 11*, tar sparren på lovartsidan (vänstersidan) ensam upp såväl böjning som dragning. Sparren på läsidan (högersidan) tar ensam upp böjning och tryck. Vardera bärverkshalvan fungerar med avseende på böjbelastningen som en fritt upplagd balk, där sparren ensam är balken. Böjmomentet i sparren är stort och konstruktionen vek. Spänningar, se *tabell 4 på sidan 60*.

Att takstolen utökas med en *hanbjälke* enligt rad 2, figur 11, påverkar inte styvheten eller effektiviteten i bärverket. Eftersom lasten är lika stor på bägge takfallen böjer lovartsidans sparre och läsidans sparre ut lika mycket. Hanbjälken följer stelt med vid de båda sparrarnas deformation utan att påverka kraftspelet.

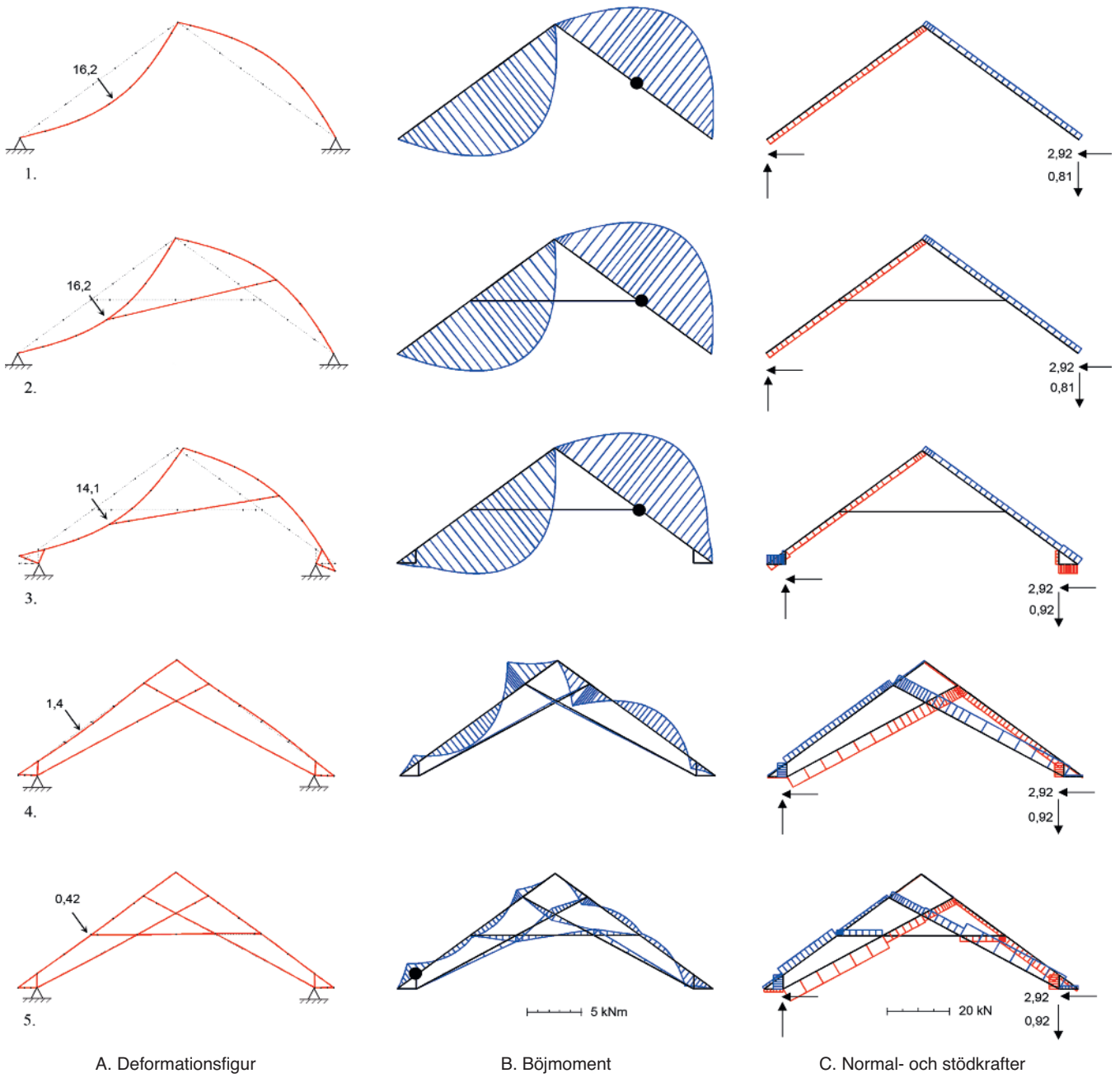
Med *saxsparrarna*, rad 4, tillkommer betydelsefulla konstruktionselement. Genom dem skapas effektiva stöd för sparrarna och avståndet som sparrarna måste bära genom böjning förkortas. Sparren kan nu betraktas som en *kontinuerlig* balk på fyra stöd (istället för som ovan fritt upplagd på två stöd).

Med *hanbjälke och saxsparrar*, rad 5, får takstolen en rationell form. Spänningarna i materialet blir små och styvheten hög, tabell 4. Utformningen av vardera halva av strukturen är nu närmare ett fackverk och böjningen i sparrarna ersätts i hög grad av dragning och tryck i delarna.

Timmermännen skapade rationell form – för rätt förutsättningar

I artikelns första stycke restes frågorna: Hur fungerar gamla kyrkors takstolar? Vad betyder skillnader i delarnas placering? Vilka former är speciellt bra? Svar har sökts genom att tre viktiga konstruktiva uppgifter för takstolar har identifierats och olika takstolsformers konstruktiva verkningssätt för dessa uppgifter har studerats. En specifik delgrupp har betraktats: takstolar utan bindbjälke.

Ett förslag till svar på frågan ”hur fungerar gamla kyrkors takstolar” är: De fungerar, beroende på uppgift, på ett av följande sätt: 1) som bågar, 2) genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar eller 3) som två balkar.



Figur 11: Att bära som två balkar.
*Kolumn A visar hur **styvheten** ökar då saxsparrarna tillkommer. Kolumn B visar hur böjmomenten och därmed **belastningen i delarna** minskar då saxsparrar tillkommer. Kolumn C visar att det uppstår kortvariga dragkrafter av en storleksordning som inte bör innebära några problem.*

*Tabell 4: Maximal böjspänning σ_M för takstolsformerna 1 till 3 och 5 i fig. 11 (i punkten markerad i figuren), normalspänning σ_N i samma punkt och maximal dragkraft i förband $N_{dragmax}$. *Böjspänningen beräknad för helt tvärsnitt.*

Takstol nummer [MPa]	σ_M [MPa]	σ_N [kN]	$N_{dragmax}$
1	10*	0,1	1,8
2	19	0,1	1,8
3	18	0,1	2,3
5	4	0,2	4,5

Äldre takkonstruktioner utan bindbjälke fungerar generellt sett bra för uppgiften ”att bära som en båge”. Vanliga delar som hanbjälkar, stödben och saxsparrar skapar alla bågformer som utgör styva lastvägar och tar lasten till stöden som tryck. Takstolar som har många bågar inskrivna i sin form bär lasten till stor del och till mindre del som böjning. Detta gör dem styva och effektiva. De inre delarna ska vara placerade så att sparrarna får stöd på jämna och korta avstånd mot utböjning.

Det här verkningssättet förutsätter att takstolens stödjepunkter kan stå emot horisontella utåtriktade krafter, uttryckningskrafter. Äldre takstolsformer med inre stödjande delar som hanbjälkar och saxsparrar ger relativt stora uttryckningskrafter. Uttryckningskrafterna blir mindre för former med en mindre ”hävarm för det pådrivande momentet” och med en större ”hävarm för det mothållande momentet”. Det innebär att det är fördelaktigt om formen leder ned krafter till insidan av byggnadens väggar och tvingar tryckkrafterna i bärverket att gå högt upp i takstolens mittsnitt. Former som minimerar uttryckningskrafterna är förknippade med yngre byggmaterial och -metoder. Förindustriella takkonstruktioner utan bindbjälke är däremot generellt sett inte rationella för uppgiften ”att bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar”. Den inre dragningen ger upphov till lokal böjning i takstolens delar och deformationer och spänningar blir stora. Knutpunkterna är heller inte lämpade att överföra de permanenta dragkrafter som uppstår.

När det gäller att ”bära som två balkar” är takstolar med saxsparrar (som stödjer sparrarna upptill och ansluter till takstolens stödpunkter nedtill) styva och effektiva. Det är fördelaktigt om de två halvorna av takstolen bildar styva sammansatta fackverksbalkar. Dragkrafter uppstår i knutpunkter, men eftersom denna uppgift i huvudsak representerar vindlast, är kraften kortvariga, vilket timmermansförbanden klarar bättre.

Figur 12: Böjbrott i äldre kyrktakstol. Brott i sparren (t v). Brott i saxsparren (t h).

Verkningssätt och besiktning

En vanlig orsak till problem med svenska förindustriella takstolar är att de av olika skäl har förlorat sitt horisontella stöd. Strukturer som är rationella för uppgiften att bära som bågar måste bära genom dragning i inre delar och tryck i yttre delar. Verkningssättet leder till stora böjpåkänningar i sparrar och invändiga delar. Ibland leder detta till böjbrott, *figur 12*. Ofta leder det till att knutpunkterna dras isär. Att takkonstruktioner fortfarande står kvar trots dessa skador beror på att de vanligen är statiskt obestämda konstruktioner – det finns alternativa vägar för lasten att gå vid en skada. Det betyder inte att man ska ta lätt på skadorna. Ansträngningen i kvarvarande delar kan öka eller deformationerna i strukturen kan öka till följd av skadan. Det kan leda till problem som skadad taktäckning och läckage vid regn. Har man upptäckt skador behöver orsakerna och följderna utredas. Olika åtgärder kan bli aktuella vid problem med uttryckning, beroende var och hur rörelserna skett.

Vid besiktning av gamla takkonstruktioner är det viktigt att kontrollera deras stöd. Stöden består av alla strukturer mellan nivån för sparrarnas nedre ändar och undergrunden. Tecken på rörelse studeras; rörelser mellan takstol och vägg, utåtlutande eller deformerade väggar och sättningar i grunden. Vid osäkerhet bör ett övervakningsprogram startas i syfte att upptäcka fortgående rörelser. På vinden bör man vid en årlig besiktning gå över takkonstruktionen och dokumentera kraftiga utböjningar, brott, isärdragna förband och läckage.

Har man problem med återkommande läckage och lagningar av taktäckningen så bör man fundera på om takstolarna har en rationell form för att bära som två balkar. En vek takstol rör sig mycket i stark vind, vilket kan leda till otätheter i taktäckningen. Styva former har saxsparrar eller är utformade så att dess två halvor bildar styva balkar. ■