

Träbärverk i äldre svenska kyrkor

Verkningsätt hos takstolar utan bindbjälke

YLVA SANDIN

Institutionen för arkitektur
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2005

Akademisk avhandling för teknologie doktorsexamen

Träbärverk i äldre svenska kyrkor

Verkningsätt hos takstolar utan bindbjälke

YLVA SANDIN



Arkitektur
Chalmers tekniska högskola
Göteborg 2005

Träbärverk i äldre svenska kyrkor
Verkningsätt hos takstolar utan bindbjälke
YLVA SANDIN

© Ylva Sandin, 2005
Bilder av författaren där ej annat anges

Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola
Ny serie nr: 2363

ISBN: 91-7291-681-8
ISSN: 0346-718X

Arkitektur, Form & teknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg

Timber structures in old Swedish churches

Structural behaviour of roof trusses without tie beams

YLVA SANDIN

Department of Architecture, Chalmers University of Technology

Göteborg 2005

Written in Swedish

Abstract

The study concerns the structural behaviour of old wooden roof trusses in Swedish churches. FE-modelling of their properties as based on seven different trusses was used in evaluations aimed at the creation of a tool for gaining a better understanding of such trusses. The trusses investigated all lacked tie beams and were of wide span.

A great number of roof structures from different periods are preserved in Swedish churches. These represent a still largely unexplored cultural heritage. No clear picture is available of the construction principles employed or of how their manner of carrying the load follows from the design. Due to this lack of knowledge, antiquarian authorities lack means at present of judging how well motivated proposed measures for the restoration of load-carrying roof structures are. Alterations can readily be thought to be too extensive and to damage the historic constructions involved by altering their structural behaviour.

The study aims at increasing interest in these old trusses and insight into the principles behind them, as well as at facilitating their preservation.

Answers to the following questions are sought:

- How do old roof trusses in Swedish churches carry their load?
- How is this load bearing influenced by the design?
- Which designs are most rational?
- How can comparative qualitative results in analyzing these trusses best be achieved?

An approach was selected in which three basic "tasks" for roof trusses were defined. For each of these, the structural behaviour of different truss designs was explored using methods based on structural mechanics. Truss designs reflecting the variations in form observed in seven different church trusses studied in an earlier field survey were selected for this purpose.

Results of two different types were obtained. The first and most important result was the creation of a tool for interpreting the structural behaviour of roof trusses. Interpreting such behavior took account of the possibility that the design in question provided desirable load paths that could be identified. Results of a second type involved obtaining both general and specific answers to the questions posed.

Keywords: roof truss, structural behaviour, old, timber, church, FE-analysis

Innehållsförteckning

FÖRORD.....	9
1. INLEDNING.....	11
1.1 Bakgrund, syfte och frågeställningar	11
1.2 Avgränsning	14
1.3 Perspektiv	19
1.4 Kunskapsläge.....	19
1.5 Terminologi.....	23
1.6 Läsanvisning.....	24
2. METOD.....	27
2.1 Uppgifts- och formvariationer ersätter fallstudier.....	27
2.2 Tre analyser	28
2.3 Att känna igen ett "bra" verkningsätt.....	31
2.3.1 Kriterier.....	31
2.3.2 Rimliga gränsvärden.....	32
2.4 Fält- och arkivstudier	38
2.5 Begrepp	39
2.5.1 Kraftbegreppet	39
2.5.2 Laster och stödkrafter	40
2.5.3 Inre krafter	40
2.5.4 Verkningsätt.....	43
2.5.5 Modellen och dess delar.....	44
2.5.6 Analys.....	46
3. FÖRUTSÄTTNINGAR	49
3.1 Laster	49
3.2 Upplag	53
3.3 Tre viktiga uppgifter för takstolar	55
3.4 Beskrivningar och frågor till grund för antaganden vid analyserna.....	58
3.5 Antaganden vid analyserna	67
3.5.1 Första analysen.....	67
3.5.2 Andra analysen.....	67
3.5.3 Tredje analysen	70

4. FÖRSTA ANALYSEN GER ÖVERGRIPANDE VERKNINGSSÄTT	73
4.1 Uppgift 1: Symmetrisk last, horisontellt stöd finns.....	73
4.2 Uppgift 2: Symmetrisk last, horisontellt stöd saknas	79
4.3 Uppgift 3: Antisymmetrisk last	82
5. ANDRA ANALYSEN GER KRAFTSPEL.....	89
5.1 Resultatens organisation kring uppgifter och formfrågor	89
5.2 Tre uppgifter	92
5.2.1 <i>Resultatens presentation</i>	92
5.2.2 <i>Uppgift 1: Konstruktionen bär som en båge</i>	94
5.2.3 <i>Uppgift 2: Konstruktionen bär genom dragning och tryck</i>	104
5.2.4 <i>Uppgift 3: Konstruktionen bär som två balkar</i>	112
5.3 Sex formfrågor	119
5.3.1 <i>Resultatens presentation</i>	119
5.3.2 <i>Förklaringsmodell för takstolars verkningsätt</i>	119
5.3.3 <i>Vad betyder hanbjälkens placering?</i>	128
5.3.4 <i>Vad betyder stödbenens placering?</i>	136
5.3.5 <i>Hur fungerar Bergatypen?</i>	146
5.3.6 <i>Saxsparrar eller övre hanbjälke?</i>	156
5.3.7 <i>Vad betyder saxsparrarnas placering?</i>	162
5.3.8 <i>Vad betyder mittstycket?</i>	168
5.3.9 <i>Sammanfattning och kommentarer till sex formfrågor</i>	174
5.4 Kommentar till övriga formvariabler	178
5.4.1 <i>Delarnas dimensioner</i>	178
5.4.2 <i>Knutpunkters egenskaper</i>	184
5.4.3 <i>Vertikala stödpunkters lägen</i>	189
6. TREDJE ANALYSEN GER BÄRNINGSMÖNSTER .	195
6.1 Inledning.....	195
6.2 Resultatens presentation	196
6.3 Bärningsmönster för uppgift 1	197
6.4 Bärningsmönster för uppgift 2	205
6.5 Bärningsmönster för uppgift 3	211

7. AVSLUTANDE DISKUSSION	217
7.1 Resultat.....	217
7.2 Kommentar till det generella angreppssättet.....	219
7.3 En begränsning.....	220
7.4 Former utanför avgränsningen.....	220
7.5 Fler uppgifter för takstolar.....	221
7.5.1 Uppgift 4: Antisymmetrisk last, horisontellt stöd saknas på läsidan.....	221
7.5.2 Horisontell stödsättning.....	224
7.5.3 Vertikal stödsättning.....	224
7.6 Mellan uppgifter.....	225
7.7 Kommentar till åtgärdade takstolar.....	225
7.7.1 Åtgärder av typ A: återskapa stöd.....	226
7.7.2 Åtgärder av typ B: stärka för draging och tryck.....	230
7.8 Förslag till fortsatt forskning.....	233
 ARKIV.....	 235
 REFERENSER.....	 235
 APPENDIX 1 Protokoll för takstolsstudier	
APPENDIX 2 Takkonstruktioner i sju kyrkor i Kronobergs län	
APPENDIX 3 Ett specialfall av hanbjälkens placering	

FÖRORD

Det här avhandlingsarbetet har genomförts vid tema Form & teknik, Arkitektur, Chalmers tekniska högskola. Det har finansierats med medel från Chalmers tekniska högskola, Riksantikvarieämbetet och Formas.

Arbetet har kommit att ske i två skilda etapper. Under den första var docent Finn Werne min engagerade och uppmuntrande handledare och examinator. Tekn. dr. Peter Sjömar gav mig idén till avhandlingsämnet. Han formulerade frågeställningar som sedan inspirerat mig genom hela arbetet. I Köpenhamn mötte jag stor gästfrihet och vänlighet. Arkitekt Erik Hansen vid Konstakademins Arkitekturskola tog sig an mig och lärde mig uppmätning på danska kyrkvindar. Rådgivande ingenjörerna Eduard Troelsgård och Svend Jacobsen delade frikostigt med sig av sin unika erfarenheter av arbeten med historiska träbärverk. Professor Björn Linn var min samarbetspartner i arbetet med att utforma en kurs i byggnadsteknikens historia. Ni gjorde alla tiden fram till licentiatexamen rolig och utvecklande.

Studierna fick sedan stå tillbaka för familjelivet en tid och när det var dags att ta upp tråden igen var det med tekn. dr. Ulf Jansson som examinator och tekn. dr. Karl-Gunnar Olsson som handledare. Tack Ulf för kloka råd, inte minst vad gäller avgränsning. Karl-Gunnar har med sina gedigna kunskaper i strukturmekanik och sitt aldrig sinande intresse för och engagemang i mitt arbete gjort att denna studie blivit slutförd. Docent Catharina Dyrssen har givit handledning i skrivprocessen. Tekn. dr. Ola Storsletten, ingenjör Svend Jacobsen, prof. em. Jan Hult och prof. em. Gunnar Kärrholm har alla bidragit med värdefulla synpunkter som fått arbetet att ta form efter slutseminariet. Tekn. lic. Carl Thelin och tekn. lic. Pierre Olsson har båda genom vänlighet och hjälpsamhet underlättat doktorandtillvaron. Tack särskilt Carl och Pierre, för hjälp med bilder till kapitel 6. Professor Solveig Schulz och forskningsingenjör Lotta Särnbratt har varit kloka och uppmuntrande samtalspartners. Sara Peny har hjälpt till med bildredigering.

Tack Lova och Paula, för alla fina teckningar som pryder mitt arbetsrum. Slutligen, tack Daniel för ovärderlig hjälp med avhandlingsarbetet och för att du alltid finns där för mig.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund, syfte och frågeställningar

Kyrkornas takkonstruktioner har en särställning bland de historiska träbärverken i Sverige. De är komplexa, fribärande konstruktioner – en utmaning för gångna tiders timmermän. Ett stort antal är bevarade och vissa av dem är mycket gamla: de äldsta är daterade till 1100-talet. Senare tidsperioder finns också representerade och möjliggör jämförande studier i träbyggnadsteknikens utveckling.

Det finns problem som är förknippade med bevarandet av kyrkornas takkonstruktioner. Problembilden uppmärksammades inom forskningsprojektet "Trä och träbyggnadskonst" vid Riksantikvarieämbetets enhet för byggnadsvård under dåvarande enhetschef Hans Ponnert.¹ Jag fick vid denna tid kontakt med tekn. dr. Peter Sjömar som var drivande inom forskningsprojektet. Studiebesök och inte minst de takstolsseminarier som Riksantikvarieämbetet ordnade tillsammans med de antikvariska myndigheterna på länsnivå utvecklade min uppfattning av problemen.

Kyrkorestaureringar omfattar ofta arbeten i takkonstruktionen. Moderna metoder och material används, ibland på ett till synes radikalt sätt. Påfallande ofta leder restaureringen till förstärkning av den historiska takstolens träförband. Man frågade sig vid Riksantikvarieämbetet både om åtgärderna är motiverade och om moderna ingenjörer förstår hur historiska träbärverk fungerar. Eftersom takstolarna kunnat överleva i hundratals år med sina dymlade träförband, verkade det underligt att förbanden i så många fall måste förstärkas nu. Vidare undrade man om förstärkningar av förbanden förändrar hela konstruktionens verkningssätt, om den i så fall förlorar icke-materiella kulturhistoriska värden, och om åtgärderna till och med kan vara skadliga för konstruktionen på sikt.

Problembilden är inte unik för Sverige. Tyska källor bekräftar att förstärkningar och hjälpkonstruktioner ofta byggs in i träbärverk som fungerat i flera århundraden, då konstruktionens säkerhet inte går att bevisa med hjälp av konventionella hållfasthetsberäkningar.² Dagens byggbestämmelser innehåller heller ingen information om hur hantverksmässigt byggda konstruktioner ska bedömas, och kunskapen om bärförmåga och deformationsegenskaper hos gammalt trä och träförband är otillräcklig. Det kan till och med vara så att den största skadan i gamla träbärverk orsakas av olämpliga restaureringsåtgärder.³

Bevarandeproblematiken synliggör en brist på kunskap om förindustriella träbärverk inom dagens vetenskapliga framställningar. En anledning till att ingenjörer och arkitekter inte har tillräckliga kunskaper om de historiska träbärverken är att dessa är byggda inom en hantverkstradition. De kunskaper om byggande som förmedlas vid de tekniska högskolorna idag tillhör i

huvudsak en teknologisk tradition. Kunskaper som förts vidare inom hantverkstraditionen har inte på ett självklart sätt integrerats i byggnadsteknologin under dess framväxt.⁴ Efter hand som byggnadshantverket ersatts av industriell produktion har hantverkarens kunskaper försvunnit.

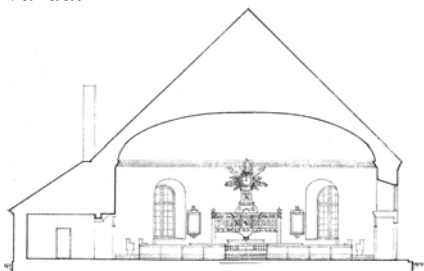


Figur 1.1 Åtgärder på kyrkvindar. a) Ryssby kyrka, Kronobergs län. b) Hjortsberga kyrka, Kronobergs län. c) Partille kyrka, Västra Götalands län.

Förutom bristen på förtrogenhet med konstruktionstypen finns det brister i ingenjörers sätt att kommunicera med övriga aktörer i restaureringsprocessen. Trots att det idag finns avancerade beräkningsmetoder och datorer för att analysera och beskriva verkningssätt lyckas man inte motivera de föreslagna åtgärderna tillfredsställande.

Till den svenska problembilden hör också att ingenjörer på fältet stöter på problematiken med gamla träbärverk endast i enstaka uppdrag. Det sker inte en tillfredsställande erfarenhetsåterföring, varken vad gäller bärverkens verkningssätt eller vilket underlag som bör tas fram som grund för ett beslut om eventuella åtgärder. Bristen på skriftlig generell kunskap kan kompenseras genom att enskilda personer bygger upp tillräcklig erfarenhet. Det finns i Danmark exempel på hur praktiserande ingenjörer med stort intresse för gamla träbärverk kunnat utveckla unika kunskaper dels om gamla träbärverks verkningssätt, dels om hur bärverken kan undersökas och dokumenteras inför beslut om åtgärder. Sådan personbunden kunskap är dock skör och inte allmänt tillgänglig.

Eftersom takkonstruktionerna ofta är dolda av valv och innertak, och dessutom många gånger svårtillgängliga och svårundersökta, studeras de inte i den utsträckning som är motiverat. Sektionsritningar av kyrkor återger ibland interiören noggrant medan taklaget endast representeras av en konturlinje (fig. 1.2). Så länge vi saknar en översikt över takstolsbeståndet och vilka teknik- och kulturhistoriska värden de besitter kan vi heller inte föra en underbyggd diskussion kring vilka bärverk som är särskilt bevaransvärda.



Figur 1.2 Almundsryds kyrka, Kronobergs län. Sektion mot altaret. Uppmåtningsritning av Hans Lindén. ATA.

Syftet med mitt avhandlingsarbete har varit att:

- Öka kunskapen om verkningssättet hos kyrkornas historiska takkonstruktioner.
- Öka intresset för dem som teknikhistoriska objekt.
- Underlätta deras bevarande.

Arbetet har bedrivits i två etapper. Den *första etappen* innebar att i en brett upplagd studie sammanställa kunskap som finns idag om verkningssätt och restaureringsproblem hos gamla kyrkors takkonstruktioner, såväl skriftlig vetenskaplig kunskap som praktikers kunskap. Verkningssättet hos några bärverk som stod inför restaurering belystes: takstolarna över långhus och kor i Väskinde kyrka på Gotland, samt de i Morups kyrka i Halland. Jag undersökte också hur takkonstruktioner bör dokumenteras i en förundersökning. Resultaten har redovisats i min licentiatuppsats, artiklar, konferensbidrag samt i en rapport.⁵

I den andra etappen, som redovisas i denna avhandling, har jag gått vidare med ett skarpare fokus.⁶ Jag har sökt svar på frågorna:

- *Hur fungerar gamla kyrkors takstolar som bärande konstruktioner? Det vill säga: hur bär de last?*
- *Hur påverkar utformningen verkningssättet?*
- *Vilka former är rationella?*

Jag har sökt sätt att resonera *kvalitativt* kring takstolars verkningssätt. Jag har sökt beskrivningar och förklaringar som kan användas i diskussioner mellan olika yrkesgrupper – ingenjörer, arkitekter och bebyggelseantikvarier.

1.2 Avgränsning

Denna undersökning av takkonstruktioners verkningssätt baseras på ett urval av bärverk som:

- kan antas täcka in en stor del av de hantverksbyggda takkonstruktionerna,
- är relevant för ett vanligt förekommande restaureringsproblem,
- ger arbetet en hanterbar omfattning.

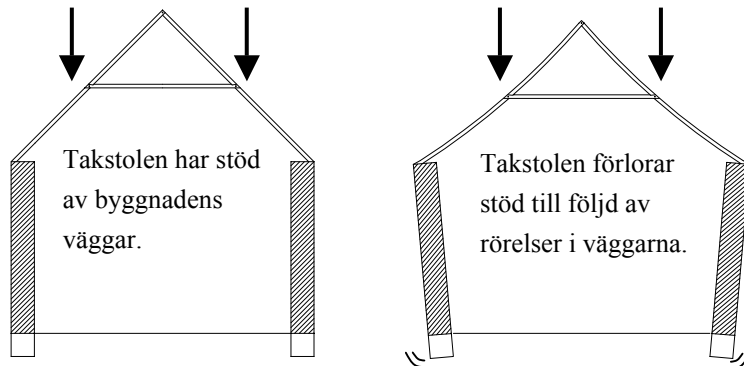
De frågor jag vill besvara är generellt ställda. Jag undrar hur gamla kyrkors takstolar generellt fungerar, snarare än hur en specifik konstruktion fungerar. De historiska svenska takkonstruktionerna är inte tillfredsställande beskrivna och utforskade. Bristen på översikt över takstolstyper i det svenska träbyggandet gör att det idag är omöjligt att illustrera exempelvis några huvudtypers verkningssätt. Med stöd av de beskrivningar som finns kan vi anta att den helt dominerande taklagstypen på svenska kyrkvindar från förindustriell tid är *sparrtak*.⁷ I denna undersökning är också samtliga taklag sparrtak: ett antal likadana takstolar som spänner tvärs kyrkorummet står utplacerade med jämna avstånd på kyrkobyggnaden. Ett sådant taklag har en utpräglad tvådimensionalitet. De flesta av de laster som angriper taklaget bärs av takstolarna i deras eget plan, tvärs kyrkobyggnaden. Taktron och undertaken fördelar last till de enskilda takstolarna. (Undantaget är vindlast i byggnadens längdriktning som belastar takstolarna vinkelrätt deras utbredningsplan. Denna last tas upp delvis genom att takstolarna samverkar genom stabiliserande delar i längdriktningen och delvis av gavlar och tornbyggnader.)

Fransk, tysk och brittisk litteratur som behandlar förindustriellt takstolsbyggande visar att det i Europa är vanligt med *åstak*.⁸ En del av lasten kan där fördelas till åsar och andra bärande delar i byggnadens längdriktning. Taklaget utmärks av en differentiering av takstolarna i starkare huvudtakstolar och mellanliggande enklare takstolar. I Frankrike och Tyskland har valet av konstruktiv princip ett tidsmässigt sammanhang, där åstaket efterhand kommit att ersätta sparrtaket.⁹ Man kan misstänka att sådana taklag finns även i svenska kyrkor, vilket en inventering av det svenska takstolsbeståndet skulle kunna visa.

Jag har vidare valt att studera verkningssätt för en delgrupp som ofta är föremål för restaureringsåtgärder: takstolar utan bindbjälke. Med bindbjälke avses en horisontell bjälke som förbinder sparrarna nedtill. (Takstolsdelar namnges nedan i kap. 1.5.)

Ett återkommande problem för takstolar utan bindbjälke är att de deformeras och skadas som en följd av att takstolarna förlorat sitt horisontella stöd (fig. 1.3). Orsaken är vanligen rörelser i byggnadens väggar, inte sällan på grund av stora utåtriktade krafter, "uttryckningskrafter", från takkonstruktionen själv. De kan också beror på utåtriktade krafter från murade valv eller härröra från sättningar i jordlagren under kyrkan. Takstolar *med* bindbjälke

drabbas inte på samma sätt av sådana problem. De påverkar inte byggnaden med uttryckningskrafter och i de fall väggarna ändå rör sig har takstolarna normalt möjlighet att ta horisontellt stöd i bindbjälken.



Figur 1.3 Rörelser i väggar kan ge problem i takstolar utan bindbjälke. Principskiss som motsvarar ett fall med rörelser i grunden.

Jag har valt ut mitt material bland 1700- och 1800-talens nyklassicistiska kyrkor, eftersom stilidealet och tillkomstperioden ger dem egenskaper som borde ställa problemen med uttryckning på sin spets.

De här kyrkorna benämns ibland "Tegnérkyrkor", eller mer nedsättande "Tegnérlador", efter Esaias Tegnér, biskop (1824 - 1846) som ivrade för byggandet av nya, rymliga och ljusa kyrkor och för rivning av de gamla. Då landets befolkning ökade kraftigt under 1800-talet blev de gamla kyrkorna trånga. Dessutom förefaller kyrkans ledning att ha förknippat de gamla kyrkorna med befolkningens vidskepelse och önskade nya kyrkorum, utan anknytning till äldre traditioner (fig.1.4).¹⁰



Figur 1.4 Ryssby kyrka, Kronobergs län.

Byggnaderna är såväl breda som långa och väggarna är höga (fig. 1.5). Takstolarnas stora spännvidd gör uttryckningskrafterna från dem stora. Byggnadens stora längd gör långväggarna känsliga för sidobelastning eftersom avståndet mellan de stödjande gavlarna är stort. Höga väggar gör att utåtriktade krafter från takkonstruktionen får en stor stjälpande effekt.

Kyrkorna har dessutom ofta "trävalv", välvda undertak av trä, vilket medför att *samtliga* takstolar i taklaget saknar bindbjälke. Detta skiljer Tegnérkyrkornas taklag från dem i andra kyrkotyper. I kyrkor med murade valv kan *några* av takstolarna ha bindbjälke och tillsammans med murremmarna hålla samman konstruktionen nedtill.



Figur 1.5 Till vänster en "Tegnérkyrka": Urshults kyrka, Kronobergs län (färdig 1810), inre bredd 18,8 m. Ritning ATA. Till höger medeltida kyrka ombyggd till "Tegnerkyrka" 1806: Morups kyrka, Hallands län, inre bredd 9,0 m. (Murverket är medeltida, takkonstruktionen sannolikt från 1806.) Uppmättningsritning av författaren.

Strävan efter en ljus interiör med många och stora fönster och dörrar innebär att stora håltagningar försvagar väggarna. Stilidealets relativt sett flacka tak kan också tänkas öka uttryckningskrafterna.

Här, om någonstans, bör man således ha brottats med problemet med uttryckning. Inom denna grupp bör man kunna finna intressanta förindustriella takstolskonstruktioner, konstruktioner som fungerar väl utan bindbjälke. De kan principiellt vara intressanta på två sätt: för att de är sådana att uttryckningskrafterna från dem minimeras, eller för att fungerar väl även vid rörelser i väggarna.

Att denna grupp av kyrkor behandlats i Sveriges Kyrkors skriftserie gjorde det dessutom möjligt att jämföra spännvidder och planformer och att få information om vissa renoveringsåtgärder. Geografiskt begränsade jag mig till Kronobergs län, dels för att avståndet för resor skulle vara rimligt, dels för att jag kunde stödja mig på ytterligare en publikation: *Kyrkobyggnader i Kronobergs län*.¹¹ Fyrtiotvå kyrkor byggdes under perioden 1760-1860 i Kronobergs län, se tabell 1.1. De flesta är murverkskyrkor, endast fyra är träkyrkor. Bland de bredaste kyrkorna från denna tidsperiod valde jag ut sex stycken murverkskyrkor som låg relativt nära varandra geografiskt sett. Göteryd uteslöts för att den är treskeppig och takkonstruktionen därmed inte behöver vara fribärande över hela kyrkans bredd. En träkyrka togs med som jämförelse.¹² De sju kyrkor som studerats i fält och ligger till grund för undersökningen av takstolarnas verkningssätt är: Almundsryd, Berga, Hjortsberga, Härlunda, Ryssby, Tingsås och Urshult. Se tabell 1.1.

Takstolarna ingår tillsammans med övriga delar av byggnaden i ett tredimensionellt statistiskt system. Ur det tredimensionella systemet lyfter jag i denna undersökning ut och betraktar de tvådimensionella takstolarnas verkningssätt. Resultaten är giltiga även när takstolarna har stöd i en tredimensionell struktur.

Tabell 1.1 Kyrkobyggnader uppförda under perioden 1760-1860 i Kronobergs län, ordnade efter inre bredd.¹³

Med i studien	Kyrka	Kyrkans ungefärliga inre bredd	Byggår	Träkyrka
X	Urshult	18,8	1808-10	
X	Almundsryd	18,2	1828-31	
	Göteryd	17,4	1856-58	
	Markaryd	17,0	1853-55	
X	Hjortsberga	16,8	1838-40	
	Lenhovda	16,8	1839-43	
X	Berga	16,8	1819-21	
	Stenbrohult	16,4	1828-30	
X	Tingsås	16,3	1853	
	Pjätteryd	16,0	1833-34	
X	Ryssby	16,0	1844	
	Virestad	15,6	1799-1800	
	Traryd	15,4	1859-60	
	Öja	15,4	1852-54	
	Gårdsby	15,2	1833-35	
	Ljungby	15,2	1858-59	
	Nöbbele	15,2	1826-29	
	Skatelöv	15,2	1820-21	
	Slätthög	15,2	1841-42	
	Väckelsång	15,2	1827-29	
	Kalvsvik	14,4	1851-52	
	Ljuder	14,4	1842-44	
	Nottebäck	14,4	1832	
	Östra Torsås	14,4	1847-49	
	Berg	14,0	1830-31	
	Älghult	14,0	1805-06	
	Bolmsö	13,6	1860-63	
	Vislanda	13,2	1793-94	
	Linneryd	12,8	1797-98	
	Södra Sandsjö	12,8	1836-37	
	Hemmesjö	12,4	1852-54	
	Dädesjö	12,0	1793-94	
	Vrå	12,0	1834-36	
	Annerstad	11,9	1823-24	
	Asa	11,9	1806-07	
	Söraby	11,2	1780-81	
	Hovmantorp	11,0	1845-47	x
	Ekeberga	10,4	1824-25	x
	Herråkra	10,0	1803-04	x
	Tannåker	9,2	1794	
X	Härlunda	9,0	1822	x

1.3 Perspektiv

Min huvudsakliga frågeställning är av karaktären "Hur fungerar det?" och undersökningen sker ur den nyfikne ingenjörens och forskarens perspektiv, ett *teknikhistoriskt* perspektiv. Jag använder ingenjörens språk och metoder.

Det finns fler angelägna frågor att besvara, som kräver andra perspektiv och metoder och som inte kan behandlas inom det här arbetets ramar. Den närliggande frågan "Håller det?" kan besvaras ur ett *konsultperspektiv*. För att svara på en sådan fråga krävs kännedom om exempelvis trämaterialalets hållfasthet i de studerade bärverken. De metoder som kommer till användning är desamma som använts här.

En minst lika intressant fråga som hur takstolarna fungerar är frågan "Varför ser takstolarna ut som de gör?" Frågan kräver ett *hantverksperspektiv*. Vilken utformning det historiska bärverket fått måste förstås utifrån var, när och hur det byggdes. En takstols utformning beror av vilken kunskapstradition byggaren tillhört samt vad man haft tillgång till för virke, transportmetoder, verktyg och så vidare. Experimentellt byggande med jämförelse av olika tekniker för timmerbearbetning, framställning av förband och montering av konstruktioner är exempel på metoder som kan komma till användning.

"Hur ska vi åtgärda?" är slutligen en viktig fråga. Den bör belysas ur ett *bevarandeperspektiv*. En sådan studie bör ta upp vilka teknik- och kulturhistoriska värden takkonstruktionerna och vindsrummen besitter och vilka följder olika åtgärder får för dessa värden. I vindsrummen kan vi möta något så ovanligt som flera hundra år gamla, fortfarande fungerande konstruktioner. Många gånger råder en speciell atmosfär på kyrkvindarna. De utgör reservat där man kan uppleva att tiden stått stilla och att bärverken står som timmermännen lämnade dem. Byte av den gamla taktron mot modern sponstad panel, åtgärder i takkonstruktionen, moderna isoleringsmaterial och installationer ändrar oundvikligen miljöns karaktär. Det vore önskvärt om ännu relativt opåverkade miljöer kunde identifieras och skyddas.

1.4 Kunskapsläge

Kunskap om historiska takkonstruktioners verkningsätt kan man finna:

- I ett fåtal vetenskapliga arbeten.
- I artiklar som beskriver specifika konstruktioner, oftast tillkomna i samband med en restaurering. De är typiskt publicerade i tidskrifter eller i böcker om exempelvis restaurering.
- Som personlig kunskap hos praktiserande restaureringsingenjörer och restaureringsarkitekter. Det finns ett fåtal personer som haft tillräckligt intresse för dessa bärverk och tillfällen att arbeta med dem för att kunna utveckla tankar och förhållningssätt.

För en bredare kunskapsöversikt över området hänvisar jag till min licentiatuppsats. Här ska kort nämnas några referenser ur den, samt ett par viktigare arbeten som utkommit sedan licentiatuppsatsen skrevs.

Sjömar har arbetat med att dokumentera svenska medeltida takkonstruktioner och påbörjar i sin doktorsavhandling även en undersökning av takstolars verkningssätt.¹⁴ Han redovisar normalkrafter och böjmoment i delarna hos några tidigmedeltida takstolar för lastfallet egentynad. Genom dessa resultat kan *Sjömar* visa att hanbjälken var ett viktigt utvecklingssteg i takstolsbyggandet: den avlastar sparren utan att belasta bindbjälken. *Sjömar* visar inte normalkrafternas *storlek*, utan endast om tryck eller dragning uppstår. Därmed framgår exempelvis inte att en utformning med hanbjälke, jämfört med med stödben, ökar dragkraften i bindbjälken, vilket bör kunna ha betydelse för utformningen av bindbjälkens infästning.

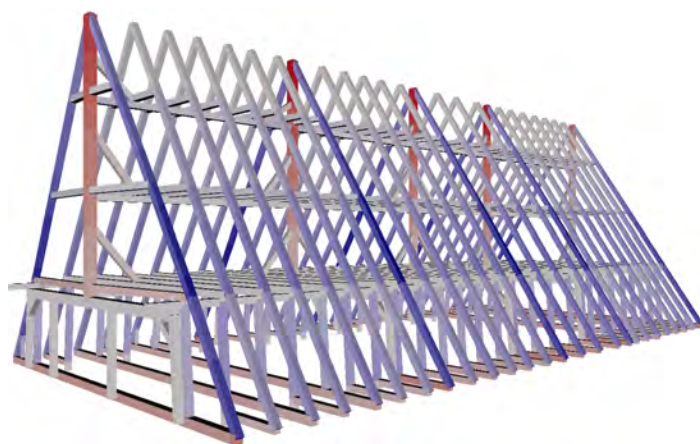
I en uppsats om träkyrkor belyser *Sjömar* hur man i Finland funnit konstruktiva lösningar som gjort byggnader ändamålsenliga för att ta upp uttryckningskrafter.¹⁵ Man har där ökat kyrkväggarnas styvhet genom att timra horisontella "balkar" i väggarna upptill. I svenska kyrkor har inga motsvarande lösningar spårats. De svenska kyrkorna är relativt veka för uttryckningskrafter från takkonstruktionen och bär sin last under stora deformationer. En fullständig inventering av de svenska träkyrkorna är dock inte genomförd.

Storsletten har studerat bärverken i 53 medeltida norska kyrkor i en doktorsavhandling från 2002.¹⁶ Arbetet har fyra huvudmål: att sammanställa både känt och nytt material om de medeltida takkonstruktionerna, att ordna takkonstruktionerna i typer, att belysa aspekter på tvären av typologin samt att försöka beskriva takstolarnas ursprung. *Storsletten* identifierar sex typer av bärverk utifrån främst geografiska områden där de förekommer, men också utifrån deras ålder samt konstruktiva särdrag. *Storsletten* betonar att statiska undersökningar inte är någon huvuduppgift i avhandlingen. Han har ändå låtit utföra strukturmekaniska beräkningar för en takstol av varje typ i syfte att illustrera statiska principer. Två verklighetsnära lastfall beaktas. Analysresultaten visas i form av deformationsdiagram, momentdiagram och normalkraftsdiagram. Upplagsreaktioner redovisas inte, varför det är svårt att tolka uppgifter om uttryckningskrafternas storlek.

I ett sammanfattande resonemang skiljer *Storsletten* på takstolar av "A-typ", det vill säga takstolar *utan* bindbjälke, och takstolar av "delta-typ", det vill säga takstolar *med* bindbjälke. Han påpekar att de två typerna för sin funktion är beroende av väggens konstruktion i olika hög grad. Han kommenterar hanbjälkens placering och sluter sig till att sammantaget är en placering på mitten av takstolen optimal.

Deinhard behandlar i sin avhandling från 1963 historiska träbärverks bärförmåga: hans syfte är att bestämma bärverkens säkerhet mot brott.¹⁷ Han beskriver takstolsbyggandets historiska utveckling i Tyskland under tidsperioden 1000-1800. Han väljer sedan ut sex takstolar som exempel på takstolstyper som avlöst varandra kronologiskt. Ett exemplar av varje typ analyseras med strukturmekaniska beräkningar. (Han studerar också två brotyper.) Någon visualisering av resultaten görs inte. Ansträngningen i bärverkens olika delar redovisas som siffervärden i tabeller. Analyserna leder till slutsatsen att de studerade träbärverken ofta är ansträngda till gränsen av sin bärförmåga.

Thelin visar i sin licentiatuppsats hur strukturmekaniska metoder kan utnyttjas bättre i restaureringsprocessen än vad som sker idag.¹⁸ Speciellt visar han hur man med hjälp av tredimensionella modeller kan visualisera beräkningsresultaten för komplexa strukturer på ett sådant sätt att de blir lättare att ta till sig och diskutera. *Thelin* använder takkonstruktionen i Glimmingehus som exempel. Ett resultat som kan nämnas är att konstruktionens kraftiga vertikala virkesdelar, "kungarna" blir dragbelastade för den vardagliga lasten. De är inhängda inocken och belastar sålunda sparrarna. Resultatet motsäger den intuitiva uppfattning man kan få på platsen: att kungarna tar stöd mot "bockar" i taklaget och stödjer sparrarna. Den tredimensionella modellen illustrerar också hur en skada i en ände av taklaget kan ge deformationer och isärdragningar av förband i en annan ände. Se exempel i fig. 1.6. Det återstår också att finna ett sätt att redovisa böjmoment i de tredimensionella modellerna.



Figur 1.6 Kraftspel i takkonstruktionen i Glimmingehus slott, Skåne. Den tredimensionella modellen kan studeras ur valfri vinkel och på valfritt avstånd. Man kan på så sätt "gå omkring" i modellen. Blå delar är tryckbelastade. Röda delar dragbelastade. Ur *Thelin* (2003), s. 30.

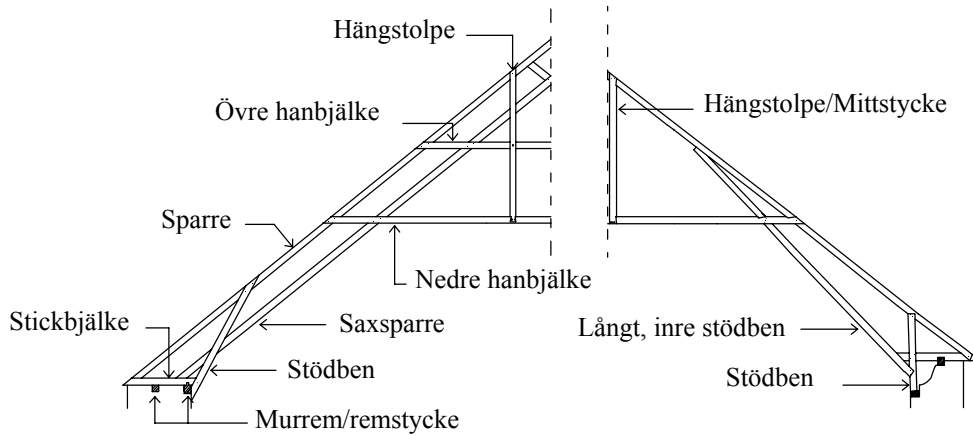
Fabricius redovisar verkningssätt för två takstolar med ledade knutpunkter vid vertikal last.¹⁹ Vissa krafter och moment redovisas, i form av analytiska

uttryck. Exempelen visar hur en takstol av två sparrar och en hanbjälke ger uttryckningskrafter som är 60 % större än uttryckningskrafterna för en takstol av bara sparrar. Vidare framgår det av resultaten hur böjmomentet i sparren ökar dramatiskt om den visade takstolen med hanbjälke måste bära sin last utan horisontellt stöd. Fabricius ger också i ett diagram det principiella sambandet mellan horisontalkraft och horisontell rörelse vid upplagen. Grafen visar hur en takstol som *har* horisontellt stöd ger uttryckningskrafter mot underlaget och hur dessa gradvis *minskar* om stödet *avtar*.

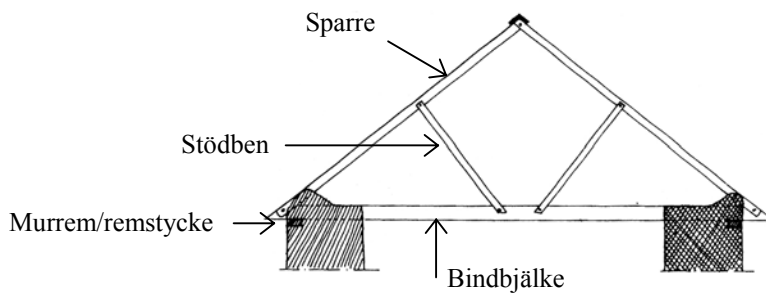
I ett par äldre handböcker behandlas takkonstruktioner med former som är relevanta här. *Wale och Jakobsson* för vissa konceptuella resonemang om verkningsätt och ger råd för dimensionering av en takstol med hanbjälke och stödben.²⁰ *Ekström* redovisar, som analytiska uttryck, upplagsreaktioner samt största uppträdande moment och normalkraft i delarna för några givna takstolsformer.²¹ Uttrycken gäller för några erfarenhetsmässigt relevanta lastfall. För en takstol med hanbjälke och stödben ges i en tabell siffrvärden för krafter och moment vid olika laster.

1.5 Terminologi

Takstolars delar



Figur 1.7 Namn på delar i takstolar som ingår i studien.

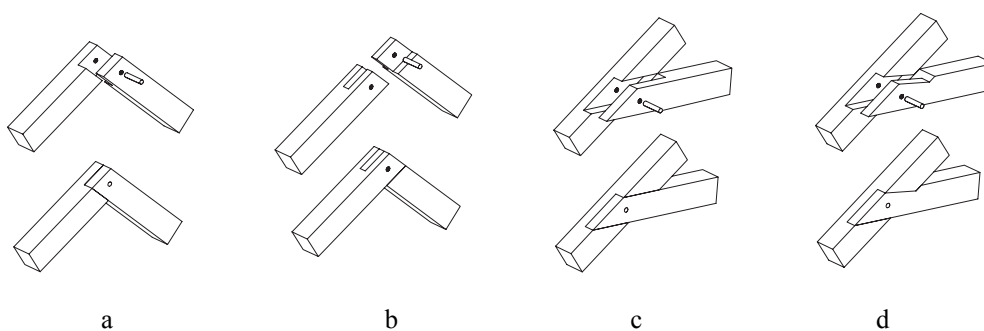


Figur 1.8 Namn på delar i en takstol med bindbjälke. Uppmätningssritning Peter Sjömar.

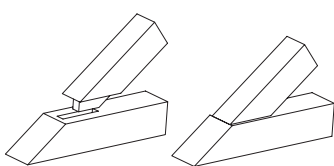
Stödbenstriangel. Den triangel som skapas av stödbenet, sparren och stickbjälken.

Taktro. Underlaget för taktäckningen.

Förband



Figur 1.9 a) Bladförband. b) Slitstapp. c) Bladförband med rakt blad.
d) Bladförband med enkel laxstjärt, benämns också laxning.



Figur 1.10 Tappförband.

1.6 Läsanvisning

Noter redovisas längst bak i varje kapitel.

Tomma sidor är inlagda där det behövs för att få text och bild som hör ihop att hamna på samma uppslag.

Följande förkortningar används:

ATA	Antikvarisk - topografiska arkivet, Riksantikvarieämbetet, Stockholm
cm.	centimeter
dvs.	det vill säga
fig.	figur
jfr.	jämför
kap.	kapitel
m.	meter
mm.	millimeter
t.ex.	till exempel

-
- ¹ Ponnert – Sjömar (1992) ger bakgrund till och intentioner med projektet.
- ² Görlacher – Kromer – Ehlbeck (1995) s. 209. Ehlbeck – Hättich (1989), s. 281.
- ³ Bonamini (1995), s. D3/4.
- ⁴ Sjömar – Werne (1982) belyser hur kunskaper i träbyggnadsteknik utvecklats i skilda kunskapstraditioner vilka i begränsad omfattning berikat varandra.
- ⁵ Sandin (2004), Sandin (1997a), Sandin (1997b), Sandin (1997c), Sandin (1996), Sandin - Olsson (1996), Sandin - Olsson (1995).
- ⁶ Etapp två föregicks av en flerårig paus för föräldraledighet.
- ⁷ Se t.ex Mönck (1999) eller Deinhard (1963), s. 6., s. 37 för en redogörelse av skillnaden mellan sparrtak och åstak. Sjömar (1995), Sjömar (1992), Thelin (2005) visar svenska sparrtak.
- ⁸ T. ex. Hoffsummer (2002), Deinhard (1963), Hewett (1985), se tex. s. 14, 50. Av Emy (1837), s. 463 framgår att åstak är den normala utformningen.
- ⁹ Hoffsummer (2002), s. 276. Deinhard (1963), s. 6-9.
- ¹⁰ Ullén (1993), s. 10.
- ¹¹ *Kyrkobyggnader i Kronobergs län* (1998).
- ¹² Jag avsåg ursprungligen att studera fler träkyrkor. Sedan undersökningen på grund av de preliminära resultatens egenskaper givits en ny inriktning och därmed saknade karaktären av fallstudier, se kap. 2.1, bedömdes det inte längre nödvändigt att studera fler bärverk i fält.
- ¹³ Inre bredd för kyrkor utanför studien har mätts i planritningar i *Kyrkobyggnader 1760-1860: Del 2*, s. 437 - 448. Byggår ur alfabetisk katalog i samma publikation.
- ¹⁴ Sjömar (1988), s. 170 - 173.
- ¹⁵ Sjömar (2000).
- ¹⁶ Storsletten (2002).
- ¹⁷ Deinhard (1963).
- ¹⁸ Thelin (2003).
- ¹⁹ Fabricius (1990), s. 63, fig. 3:12 samt beräkningsexemplet s. 60-62.
- ²⁰ Wale – Jakobsson (1961), s. 973.
- ²¹ Ekström (1938), s. 268-273.

2. METOD

2.1 Uppgifts- och formvariationer ersätter fallstudier

Mina analyser av takstolars verkningssätt utgår från uppgifter om sju bärverk som jag har studerat i fält. Bärverken kännetecknas av stora spännvidder och en utformning utan bindbjälke. Att bygga dem bör ha varit utmanande projekt för de anlitade timmermännen och utmaningen kan förväntas ha tvingat fram ändamålsenliga former.

I syfte att belysa de olika bärverkens styrkor och svagheter studerade jag inledningsvis deras verkningssätt med strukturmekaniska beräkningar i sju fallstudier. Utifrån uppmätningar och övrig dokumentation skapades verklighetsnära modeller av bärverken med sina skillnader i utformning. För att få en realistisk bild av hur takkonstruktionen fungerar utfördes analyser för belastning av egentyngd, snölast och vindlast i olika kombinationer. Belastningarnas storlek och karaktär bestämdes med hjälp av normer och handböcker på det sätt som är brukligt vid dimensionering av nya bärverk. Belastningarna varierade därmed med formen på de olika bärverken. Olika möjligheter för takstolarna att ta stöd mot underlaget modellerades.

Redan för detta relativa fåtal bärverk blev mängden analyser svår att hantera. Och trots att studien visade på skillnader i de olika takstolarnas verkningssätt gav den ingen *generell* förståelse för hur takstolar bär last. Visst blev uttryckningskrafterna olika stora för takstolarna i Almundsryd och Berga kyrkor, men vad berodde det på? Att delarna var olika många, olika grova och olika placerade? Att spännvidder och taklutning var olika? Eller var det skillnaderna i belastning som påverkade resultatet mest?

Alltför många variabler varierade samtidigt för att det skulle vara möjligt att se generella mönster i vad som påverkar verkningssättet. För att kunna föra kvalitativa resonemang om takstolars verkningssätt och för att kunna urskilja vad som är rationella former blev det nödvändigt att finna ett annat angreppssätt. Det blev nödvändigt:

- Att definiera ett fåtal viktiga "uppgifter" för takstolarna.
- Att innanför dessa "uppgifter" studera en begränsad uppsättning variationer hos de tvådimensionella takstolarnas "form".

Med "uppgift" avses en bestämd last som ska bäras till en given uppsättning av stöd. (Uppgifterna definieras i kap. 3.3.) Med "form" avses dels takstolens höjd och bredd (yttre form), dels delarnas placering, delarnas dimensioner och stödpunkternas lägen (inre form).

När takstolarna i den här studien ställs inför samma uppgift får de något *gemensamt* i sitt verkningssätt. Genom att undersöka och beskriva detta för *uppgiften* karakteristiska erhålls generellt formulerade svar på frågan om hur gamla kyrkors takstolar bär last.

Samtidigt som verkningssättet påverkas av uppgiften så beror det av takstolens form. För varje enskild uppgift visas vad ändringar i framförallt den inre strukturen innebär – förändras verkningssättet till det bättre eller till det sämre? Undersökningen beaktar att ett "bra" verkningssätt inte är något entydigt (jfr. kap. 2.3). Genom att analyserna visar i vilken *riktning* verkningssättet ändras av formvariationer, erhålls kvalitativa beskrivningar av verkningssätt. Dessa beskrivningar belyser därmed inte enbart de studerade formerna. De får en större räckvidd och kan också innefatta andra tvådimensionella inre former.

Istället för att studera sju *konkreta objekt* undersöker jag således i det föreliggande arbetet hur takstolars verkningssätt beror av *variationer i uppgift och form*. De sju bärverk som studerats i fält ligger till grund för valet av former.

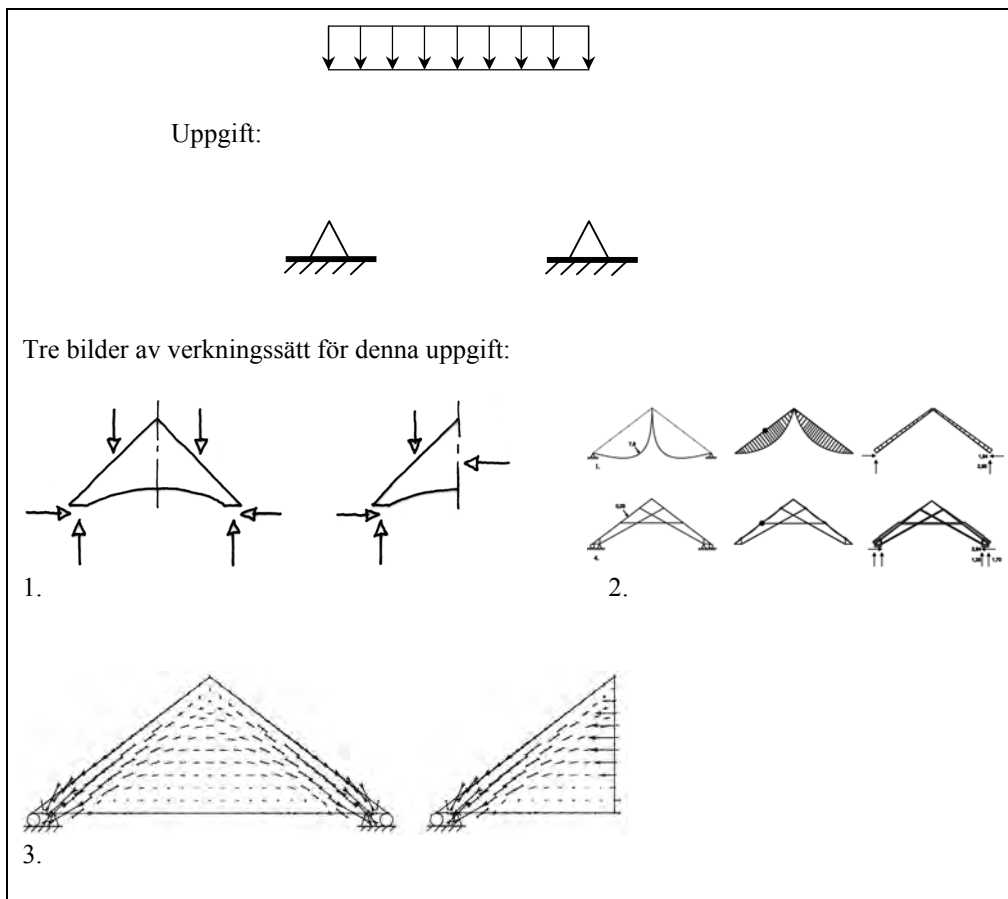
2.2 Tre analyser

Med en konstruktions uppgift menas en bestämd last som ska föras till en given uppsättning upplag. Olika konstruktionsutformningar kan lösa uppgiften mer eller mindre rationellt. För att med utgångspunkt i begreppet uppgift skapa bilder och beskrivningar av vad som är ett rationellt sätt att bära, undersöker jag varje utvald uppgift med hjälp av tre olika analyser.

Den första analysen visar takstolars *övergripande* verkningssätt, den andra visar *kraftspel* vid olika takstolsutformningar och den tredje, slutligen, visar *bärningsmönster i skivor* (fig. 2.1). En översikt över analyser och variationer som görs inom dessa ges i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Översikt över analyser

Ana-lys	Aspekt av verkningssätt	Analysmetod	Modelltyp	Variationer i:
1.	Övergripande verkningssätt – det för uppgiften karakteristiska.	Jämvikts-betraktelser	Stelkropp	Uppgift Yttre form
2.	Kraftspel – det för varje form specifika	Bestämning av inre krafter och deformationer	Ram	Uppgift Inre form delarnas placering (dimensioner, upplagens lägen & knutpunkternas egenskaper <i>kommenteras</i>)
3.	Bärningsmönster som följer av last och upplag – det för uppgiften karakteristiska.	Bestämning av spänningsfält i skivor	Skiva	Uppgift Yttre form



Figur 2.1 För varje uppgift skapas tre slags beskrivningar av verkningsätt.

Första analysen

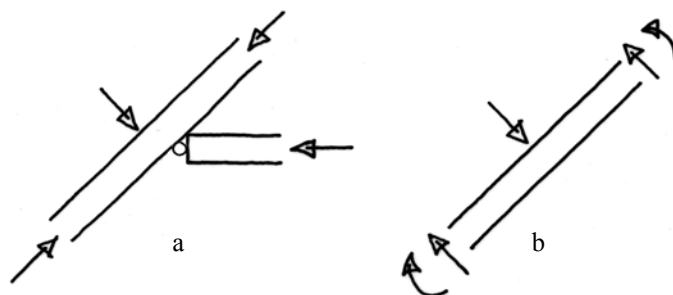
Den första analysen belyser främst *uppgiftens* inflytande på takstolens verkningsätt. Analysen innebär jämviktsbetraktelser och visar hur bärverket tar stöd mot upplagen och vilka krafter som verkar i mittsnittet vid olika typer av belastning.

Vid jämviktsbetraktelserna betraktas takstolarna som stela kroppar: ingen hänsyn tas till materialets egenskaper eller till de deformationer som uppstår vid belastning. Endast den yttre formen beaktas, takstolarna representeras av konturlinjer.

Andra analysen

Den andra analysens syfte är att visa den *inre formens* betydelse för verkningsättet (främst delarnas placering). Den yttre formen hålls konstant: alla takstolsformer har samma höjd och bredd.

Resultaten visar hur delarna i de analyserade bärverken arbetar för att bära lasten samt hur de därvid deformeras. I delarna verkar tryck- och dragkrafter (normalkrafter), böjande moment och tvärkrafter.¹ Om takstolens delar kommer att bära genom å ena sidan normalkrafter eller å andra sidan böjmoment och tvärkrafter beror på hur formen möter lasten, fig. 2.2.



Figur 2.2 Beroende på hur delarna möter belastningen uppstår: a) normalkrafter, b) böjmoment och tvärkrafter

Ofta finns det *flera* olika möjliga sätt för en takstol att bära sin last – det finns flera möjliga lastvägar. Det gäller då att axiella kraftvägar är styvare än transversella. Det vill säga, delar som möter lasten så att de bär genom dragning eller tryck, kommer i allmänhet att bära en större andel av lasten än delar som bär genom böjning.

Beräkningarna genomförs med hjälp av finita elementmetoden och elasticitetsteori, första ordningens teori (modellerna utgår från takstolarnas odeformerade tillstånd).

Tredje analysen

Med den tredje analysen prövar jag ett alternativt sätt att skapa bilder av det för *uppgiften* karakteristiska i verkningssättet.

Bilderna utgörs av de spänningsmönster som uppstår i skivor då de belastas. Vi tänker oss att vi fyller ut en takstol helt och hållet med jämnstyvt material och studerar vilka spänningar som uppstår. Färgade pilar visar storlek, riktning och tecken på spänningarna i materialet. Spänningsmönstret visar var materialet blir mest utnyttjat och därmed vilka kraftvägar som är styvast för en viss uppgift. Vi kan tolka det som en bild av hur lasten går till upplagen när den "fritt kan välja" (eftersom formen är helt utfylld med material). Det för varje uppgift typiska spänningsmönstret benämns *uppgiftens bärningsmönster*. Bärningsmönstren kan ses som *referenser* som kan användas för tolkningar av olika takstolarnas verkningssätt.

Metoden att använda spänningsmönster i skivor vid resonemang kring konstruktioners verkningssätt har använts i arkitektutbildningen vid Chalmers tekniska högskola. Ett särskilt datorprogram, ForcePad, har också utvecklats för att göra det möjligt att använda metoden under tidiga designstadier.² Programmet kan användas även med begränsade förkunskaper vad gäller strukturmekanik.

Analysen genomförs med hjälp av finita elementmetoden och bygger på tvådimensionell elasticitetsteori, plant spänningstillstånd.

2.3 Att känna igen ett "bra" verkningssätt

Med "rationell" takstolsform avser jag en takstolsform som har ett "bra" verkningssätt. I det följande utvecklas vad som menas med ett "bra" verkningssätt i denna undersökning.

2.3.1 Kriterier

För att takstolarna ska fungera väl ska de vara *stabila*, *styva* och ha *effektiva former*. Vidare ska de inte *påverka kyrkobyggnaden* på ett sådant sätt att väggarnas stabilitet äventyras.

Stabila. Takstolarna förutsätts i denna studie vara såväl yttre som inre stabila. Med yttre stabila menas att takstolarna inte kan stjälpas vare sig i eller ut ur sitt plan. De kan inte heller glida av den underliggande byggnaden. Med inre stabila avses att de har tillräckligt många sammankopplade delar och att ingen fara för plötslig utknäckning av enskilda delar föreligger. (Risken är liten eftersom delarna i de studerade bärverken är grova.)

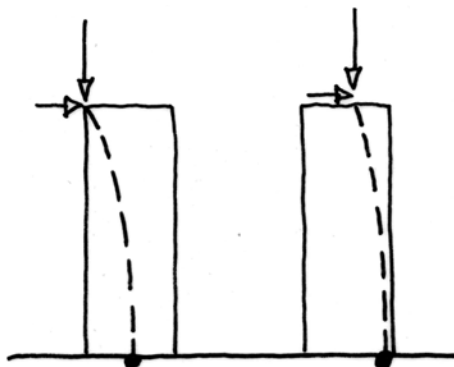
Styva. Med styvhet avses hur mycket bärverket deformeras. Ett bärverk med hög styvhet är ett som deformeras lite. En tillräcklig styvhet är nödvändig för att inte problem ska uppstå i omgivande delar och ytskikt. Blir exempelvis rörelserna i takstolen av vindlast stora kan det leda till skador i taktäckning eller innertak. Om takstolen glider isär då den saknar horisontellt stöd kan dekorativa listverk och puts på väggens utsida skadas. Slutligen måste deformationerna begränsas av estetiska hänsyn. En alltför deformationerad konstruktion *ser* helt enkelt inte säker ut, även om ansträngningen i materialet skulle vara acceptabel.

Effektiva former. Att bärverket har en "effektiv" form innebär att det har en form som gör att ansträngningen i dess enskilda delar blir liten. ("Effektiv" används här i betydelsen materialeffektiv.) Påkänningarna i materialet blir större av böjmoment än av drag- och tryckkrafter. En form som bär lasten huvudsakligen genom dragning och tryck är därför mer effektiv än en form som bär lasten huvudsakligen genom böjning.

De bärverk som studeras här består av grova bjälkar förbundna genom enkla hophuggningar. För sådana bärverk gäller att knutpunkterna är svagare än själva delarna med avseende på dragkrafter. Det innebär ytterligare ett villkor för effektiv form: den ska vara sådan att dragkrafterna i förbanden blir små.

Påverkan på kyrkobyggnaden. En takkonstruktion som helt saknar bindbjälkar och dragstag verkar med såväl horisontella som vertikala krafter mot kyrkans långväggar.

I en murverkskyrka verkar de horisontella krafterna för att stjälpna väggarna. De vertikala krafterna kan motverka stjälpning beroende på var de påförs murkrönet, fig. 2.3. För takstolar utan bindbjälke gäller att ett "bra" verkningssätt är ett sådant som är förknippat med små horisontella upplagsreaktioner och där de vertikala upplagsreaktionerna påförs murkrönet långt in mot kyrkorummet.



Figur 2.3 Sektion genom murvägg med krafter från takstol. Den streckade linjen symboliserar det resulterande kraftspelet av tryck i murverket (med hänsyn tagen till murverkets tyngd). Krafternas läge påverkar var murväggen tar stöd mot undergrunden. Ju längre ut stödpunkten hamnar, desto större är risken för stjälpning.

I en liggstimrad kyrka är det också av största betydelse att de horisontella krafterna begränsas. Här är risken stor för att timmervarven förskjuts i förhållande till varandra och att knutarna i kyrkans hörn öppnar sig. Den vertikala kraftens läge har inte samma betydelse som i de murade kyrkorna.³

Sammanfattningsvis har följande kriterier för ett bra verkningssätt identifierats:

- hög styvhet
- låg belastning i delarna
- små dragkrafter i förband
- små horisontella upplagsreaktioner
- vertikala upplagsreaktioner ska angripa långt in mot kyrkorummet (gäller murvägg)

2.3.2 Rimliga gränsvärden

För kvalitativa jämförelser mellan olika formers verkningssätt kan kriterierna ovan diskuteras utan att några bestämda gränsvärden anges. Det verkningssätt är då bäst som ger *högst* styvhet, *minst* belastning i delarna, *minst* dragkrafter i förband, *minst* horisontella upplagsreaktioner och som innebär att takstolen tar stöd *längst in* mot kyrkorummet.

Sådana jämförelser blir emellertid ibland motsägelsefulla. En form som har hög styvhet kan vara förknippad med stora dragkrafter i förbanden. Och en form som ger låg belastning i delarna kan ge stora uttryckningskrafter. Den rent kvalitativa eller relativa jämförelsen räcker i dessa fall inte till för att avgöra vad som är ett "bra" verkningssätt. Om inga gränsvärden anges så kan vi heller inte upptäcka om *samtliga* jämförda verkningssätt ger försvinnande liten belastning i delarna (exempelvis) så att de *alla* bör uppfattas som "bra".

Vad kan då betraktas som tillräcklig styvhet, rimliga nivåer på belastningen i takstolars delar, rimliga dragkrafter i förband, rimliga horisontella upplagsreaktioner och tillräckligt bra läge för de vertikala krafterna från takkonstruktionen?

TILLRÄCKLIG STYVHET

Kraven på styvhet avgörs normalt från fall till fall eftersom de delvis är subjektiva. En allmänt hållen rekommendation med hänsyn till *estetiska* aspekter är att utböjningen av en balk bör begränsas till $L/250$ där L är balkens längd.⁴ För en 12 meter lång sparre ska enligt denna rekommendation utböjningen begränsas till ca. 5 centimeter.

RIMLIGA NIVÅER PÅ BELASTNINGEN I TAKSTOLARS DELAR

Trä är ett material med stor skillnad i hållfasthet från en träbit till en annan. Det går därför inte att ange någon exakt gräns för hur stora spänningar som kan tillåtas i en konstruktion av trä. Vi ska i det följande se att böjspänningar på omkring 15 - 25 MPa kan betraktas som acceptabla i konstruktioner av gran eller fur.⁵

Vid dimensionering av *nya* träbärverk använder man hållfasthetsvärden för trä som tagits fram genom provning och sortering på sågverk. Virke hänförs därvid till olika klasser. Virke som får räknas till den högsta hållfasthetsklassen har en böjhållfasthet på 30 MPa eller mer. Det näst bästa har en böjhållfasthet på 24 MPa eller mer. Hållfastheten är satt så låg att omkring 95 % av allt virke i klassen har en *högre* hållfasthet. Ett par studier av svenskt barrträ visar att böjhållfastheten i *medeltal* ligger på omkring 40 - 45 MPa.⁶ Då ingick endast virke av de högre hållfasthetsklasserna.

Trä kan tåla högre belastning än vad som redovisats ovan om betingelserna är perfekta. I små provkroppar av felfritt granvirke, utan kvistar och snedfibriighet, kan hållfastheten vid böjning bli så hög som omkring 70 MPa.⁷ Ett sådant värde är inte representativt för vad grova träbjälkar tål, men utgör en slags övre gräns för vad trä kan prestera.

Trä förlorar hållfasthet av att belastas under lång tid.⁸ Under den tid det belastas så uppstår skador i trämaterial, det *åldras* av belastningen. Det är träets *åldrande* som orsakar hållfasthetsförlusten, inte dess *ålder*. Om en konstruktion ska bära last under en lång tid kan den inte vara utformad på ett sådant sätt att materialet utnyttjas maximalt redan från början. Vid dimensionering av nya träbärverk minskas hållfastheten till omkring 65 % av den hållfasthet som uppmätts vid kortvariga laboratorieförsök.⁹ Eftersom vi här studerar bärverk som kan fungera under flera hundra år kan det vara rimligt att ta hänsyn till en sådan hållfasthetsminskning.¹⁰ Det skulle innebära att den högsta böjspänning som kan tillåtas i genomsnittligt svenskt barrträ av grova dimensioner är 25 MPa. Utgår man från vad svenskt barrträ av god kvalitet *säkert* tål kan man tillåta omkring 15 MPa.

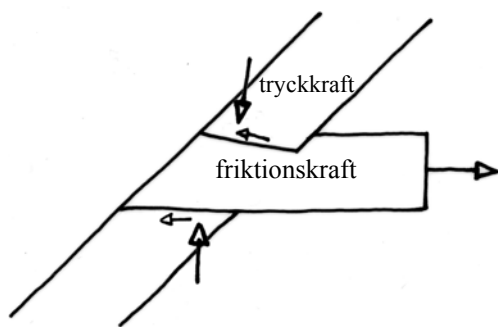
För att ge en uppfattning om hållfastheten vid tryck- respektive dragbelastning kan nämnas att *BKR 94:1* anger draghållfastheten 20 MPa för trä av den bästa hållfasthetsklassen. Hållfastheten vid tryck parallellt fibrerna uppges vara 29 MPa och vid tryck vinkelrätt fibrerna 7 MPa.

DRAGKRAFTER I FÖRBAND

Bladförband med trädymplingar

I det traditionella byggandet har man använt hakformer för att öka hophuggningars bärförmåga vid dragning. I mitt studiematerial är laxstjärtar den enda förekommande hakformen i den lastbärande konstruktionen. I sin bok om timmermanskonsten från 1840 skriver Tredgold att "med hänsyn till träets krymping, ska förband med laxstjärt aldrig användas i timmermansarbeten."¹¹ Han menar att minsta grad av krympning gör att förbandet kan dras isär.

Moderna förbandsförsök bekräftar att laxstjärtförband inte är lämpliga för att överföra *permanent* dragkrafter. Görlacher m. fl. visar hur det dragbelastade bladet med laxstjärt gradvis dras ur förtagningen vid fuktighetsvariationer.¹² Så länge förbandet är tätt kan belastningen delvis överföras genom friktion, tack vare att det finns ett kontaktryck mellan de hopfogade delarna, fig.2.4.



Figur 2.4 Dragbelastat bladförband med enkel laxstjärt. Friktion samt tryck i förbandet

När luftfuktigheten minskar så krymper bladet. Kontakttrycket och därmed också friktionen mellan delarna minskar. Bladet dras delvis ur. Vid högre luftfuktighet sväller träet igen och då avstannar rörelsen. Fig. 2.5 visar ett exempel på ett permanent dragbelastat förband som dragits isär.



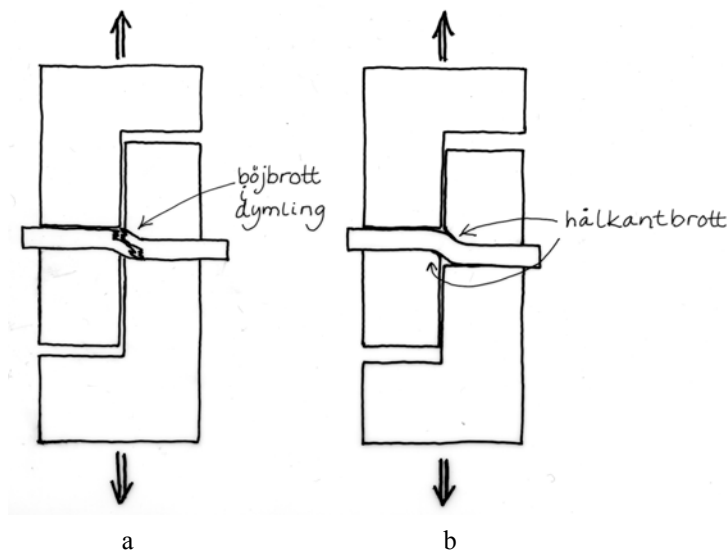
Figur 2.5 Isärdraget förband i takkonstruktionen över långhuset i Väske kyrka, Gotland

Kortvariga dragkrafter kan dock överföras. För bladförband liknande dem som förekommer i mitt studiematerial uppmätte Görlacher m. fl. maxlaster vid korttidsbelastning på omkring 19 kN. Förbanden gick till brott genom att balkdelen med urtaget sprack upp. Förband som redan var delvis isärdragna före provningen hade dock endast hälften så stor bärförmåga.

I förband med *raka* blad sker kraföverföringen genom böjning och skjuvning i dymlingen, men också genom friktion mellan dymling och dymlingshål och, i förekommande fall, genom friktion mellan blad och urtag. En god passform är viktigt för styvhet och styrka. Brottlaster vid kortvariga laster på 11-13 kN har uppmätts vid försök.¹³ (Dymlingsdiameter 30 mm.) Bärförmågan och styvheten ökade med ökande dymlingsdiameter och dymlingskvalitet (densitet). Smala dymlingar av god kvalitet hade dock oväntat hög bärförmåga. De gick inte till böjbrott utan deformerades kraftigt och kunde bära last delvis genom dragning i sin längdriktning, fig. 2.6.

I mitt studiematerial förekommer dymlingar av barrträ, medan de här refererade resultaten gäller dymlingar av ek. Ser man till de olika träslagens hållfasthetsvärden bör förband med barrträdymlingar ha lägre bärförmåga. Dymlingens förmåga att bära last påverkas dock sannolikt också av andra faktorer, som hur den framställts och vilken del av trädet som använts.

Sammanfattningsvis kan *kortvariga* dragkrafter på maximalt 11-19 kN överföras i bladförband av trä med god passform, medan *permanenta* dragkrafter inte alls kan tillåtas.

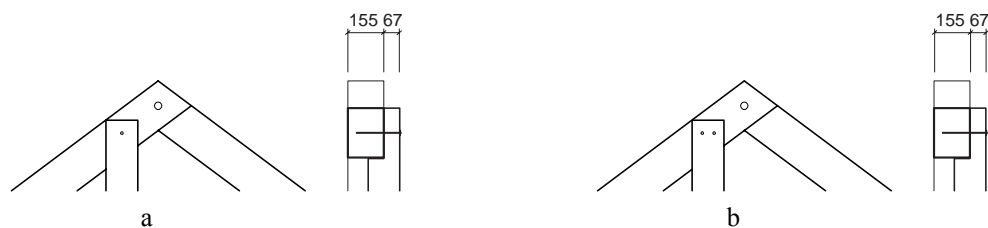


Figur 2.6 Brottyper enligt Ehlbeck – Hättich (1989). a) Vanligaste brottypen: dymlingen gick till böjbrott. b) Brottyp för smala dymlingar.

Dragkrafter i bladförband med smidd spik

I de undersökta bärverken förekommer bladförband som låsts med en eller två smidda spikar. Jag har inte funnit några uppgifter i litteraturen om bärförmågan hos förband med spikar av detta slag.

Formlerna för beräkning av spikförbands bärförmåga i Boverkets föreskrifter förutsätter att en brottform uppträder där spiken flyter (böjs) på två ställen. Formeln får användas om minst två spikar ingår i förbandet och vissa villkor är uppfyllda vad gäller mått. Bärförmågan vid två spikar och dimensioner enligt fig. 2.7b kan uppskattas till 6 kN för kortvarig last och 4 kN för permanent last.¹⁴ Det är dock osäkert om de smidda spikarnas deformations- och brottbeteende liknar dem för moderna spikar så pass mycket att samma formler kan användas för uppskattning av bärförmågan.



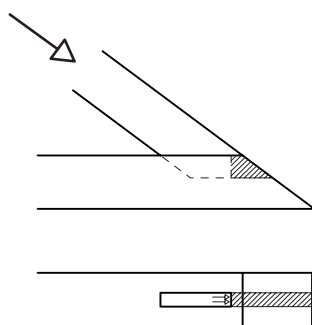
Figur 2.7 Exempel på spikförband som förekommer i de studerade bärverken.

Om kapaciteten för ett spikförband med en spik enligt fig. 2.7a beräknas enligt Boverkets föreskrifter för *skruvförband* fås ett karakteristiskt värde på bärförmågan på drygt 1 kN.¹⁵ För permanent belastning blir bärförmågan knappt 1 kN. Med två spikar blir bärförmågan 3 kN för kortvarig last och 2 kN för permanent last.

Dragkrafter i förband vid sparrfot

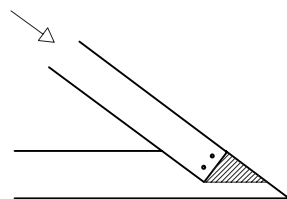
Dragning kan uppstå i stickbjälken och dess infästning till sparren. Samtidigt som stickbjälken dragbelastas så blir den tryckt tvärs sin längdriktning av tryckkraften i sparren. Ett bladförband i detta läge kan förväntas vara mindre känsligt för dragbelastning än ett bladförband som förbinder inre delar med sparrar. En inte försumbar andel av kraftöverföringen bör kunna ske genom friktion mellan sparre och stickbjälke och mellan stickbjälken och underlaget. Detta gäller förutsatt att förbandet är tätt så att sparren står i kontakt med stickbjälken och inte "hänger" på dymlingen.

I de fall hopfogningen är utförd som ett tappförband begränsas möjligheten för dragkrafter att utvecklas i stickbjälken av skjuvkapaciteten hos virket framför tapphållet, se fig. 2.8. Överslagsmässigt kan bärförmågan för kortvarig belastning uppskattas till omkring 60 kN, med mått representativa för de studerade bärverken.¹⁶ En bärförmåga vid långtidsbelastning på 65 % av den vid kortvarig belastning skulle innebära att permanenta dragkrafter på omkring 40 kN kan överföras. De angivna värdena är att betrakta som övre gränsvärden. En noggrannare uppskattning skulle kunna erhållas med hjälp av brottmekaniska analyser.



Figur 2.8 Sparrfot med tappförband.

För en hopfogning med blad enligt fig. 2.9 gäller på samma sätt att trädelen framför sparränden kan komma att skjuvas av. Med mått representativa för de studerade bärverken kan bärförmågan i förbandet med avseende på skjuvning grovt uppskattas till 65 kN vid kortvarig och 40 kN vid långvarig belastning.¹⁷



Figur 2.9 Sparrfot med bladförband.

Hur stora horisontalkrafter som kan tillåtas och hur långt ut vertikalkrafter kan tillåtas att angripa på kyrkväggen beror på: grundkonstruktionens och undergrundens egenskaper, höjden och bredden på byggnadens väggar samt storlek på och placering av dörrar och fönster. Detta är förutsättningar som är individuella för varje kyrkobyggnad och några generella gränsvärden kan därför inte ges.

2.4 Fält- och arkivstudier

Syftet med fält- och arkivstudierna var att ta fram underlag för strukturmekaniska analyser. Information söktes om takkonstruktionernas geometri, knutpunkter, upplag, material och laster. Skador, deformationer och restaureringsåtgärder dokumenterades också eftersom de berättar om verkningssättet.

Ett protokoll upprättades inför studierna, se Appendix 1. Av protokollet framgår vilka uppgifter som samlats in för var och en av de kyrkor som bildar underlag för studien. Några kommentarer till hur dokumentationen gick till ges här.

I Antikvarisk-topografiska arkivet (ATA) söktes ritningar av kyrkorna och takkonstruktionerna. Dessutom söktes uppgifter om de åtgärder och lagningar som gjorts i kyrkorna och som rör takkonstruktionen och dess verkningssätt. Vilka var problemen som föranledde åtgärderna? Vilka tekniska resonemang fördes av konsulter och antikvariska myndigheter och vilka analyser gjordes? Vilka antikvariska synpunkter framfördes? Endast en begränsad information erhöles ur arkivmaterialet. Det är möjligt (men inte säkert) att man kan få ytterligare information genom att söka i de enskilda kyrkornas arkiv samt i landsarkivet. Sådana uppgifter är belysande men eftersom de ligger utanför avhandlingens fokus på kvalitativa resonemang kring verkningssätt har jag valt bort möjligheten till mer omfattande arkivstudier.

Kopior av arkivritningar togs med vid fältstudierna. Kyrkans utformning idag jämfört med äldre planritningar kontrollerades och kyrkans inre och yttre bredd mättes upp. Taklutningen mättes med en klinometer (en form av syftningskompass). Långväggarnas lutning ut ur vertikalplanet kontrollerades i ett fåtal punkter med hjälp av en mätstång och lod.

Trävalven gjorde det besvärligt att undersöka och dokumentera takkonstruktionerna. Utrymmet mellan yttertak och valv var så pass trångt att takstolarnas nedre delar kunde studeras på nära håll endast i två av kyrkorna. Med tanke på det fortlöpande underhållet av takkonstruktionerna

är det olyckligt att takfoten inte kan nås för inspektion. Det vore i sådana fall önskvärt med inspektionsluckor i innertaket. Valven har med tiden försetts med olika former av isolering. Ibland ligger först ett lager sågspån vilket skyddas med brädor. Vissa av takstolarnas delar blir därmed skymda.

Någon detaljerad uppmätning var inte möjlig att åstadkomma. Istället upprättades uppmätningsskisser. En takstol i varje taklag mättes upp. Mätningarna är gjorda utan hänsyn till skevheter. I två av kyrkorna (Tingsås och Urshult) uppmättes takstolens nedre delar med högre noggrannhet. För dessa detaljrutningar etablerades ett ortogonalt koordinatsystem med snören, lod, mätband och vattenpass.

Antalet takstolar i taklaget samt deras inbördes avstånd markerades i en schematisk planritning.

2.5 Begrepp

Här tas några begrepp upp som används i den här avhandlingens resonemang kring verkningssätt.¹⁸

2.5.1 Kraftbegreppet

Kraft

Mathiasen och Reitzel skriver: "Krafter kan definieras genom sin verkan: De medför hastighetsändringar och de ändrar tings former eller bågiga delar. Om tingen inte är fasthållna kommer krafter som verkar på dem först och främst att ändra deras rörelse, dvs. deras fart och eventuellt riktning. [---] Om tingen däremot är fasthållna kommer krafterna att deformera dem, och också i någon grad det som håller fast dem [...]"¹⁹

Grafiskt brukar krafter visas som pilar. Krafters storlek anges i enheten N.

Komposant

En kraft kan delas upp i komponenter, krafter vars sammanlagda verkan är densamma som den ursprungliga kraftens verkan. En sned kraft kan exempelvis delas upp i en horisontell och en vertikal komponent.

Moment

"Med ett moment om en punkt (eller en snittyta) förstås en kraft x kraftens avstånd från punkten. Avståndet [...] mäts vinkelrätt mot kraftens riktning. Ett moment försöker att rotera eller vrida något om en punkt."²⁰
Moment har enheten Nm.

2.5.2 Laster och stöd krafter

Punktlast

Punktlaster, koncentrerade laster, verkar på ett mycket litet område som kan approximeras med en punkt.

Fördelad last

Fördelad last, linjelast, verkar längs en linje – exempelvis längs sparren i en takstol. Lasten kan vara jämnt eller ojämnt fördelad.

Upplagsreaktion

Upplagsreaktioner är de krafter som verkar mot ett bärverk från dess upplag (stödpunkter). Synonyma benämningar är stöd krafter och reaktions krafter.

Bärverket verkar samtidigt mot upplagen med krafter som är lika stora som upplagsreaktionerna, men motriktade.

Uttryckningskraft

För en takstol som verkar med snett utåtriktade krafter mot sina stödpunkter benämner jag de horisontella komponenterna av dessa krafter *uttrycknings krafter*. (Uttrycknings krafter kan också genereras av murade valv.)

2.5.3 Inre krafter

Inre krafter

Krafter inom en konstruktion, tex: snitt krafter, spänningar i materialet och krafter i ett symmetrisnitt.

Kraftväg

Det kontinuerliga flöde av kraft som för en stabil konstruktion måste finnas mellan den belastade punkten (eller punkterna) och reaktions krafterna.²¹

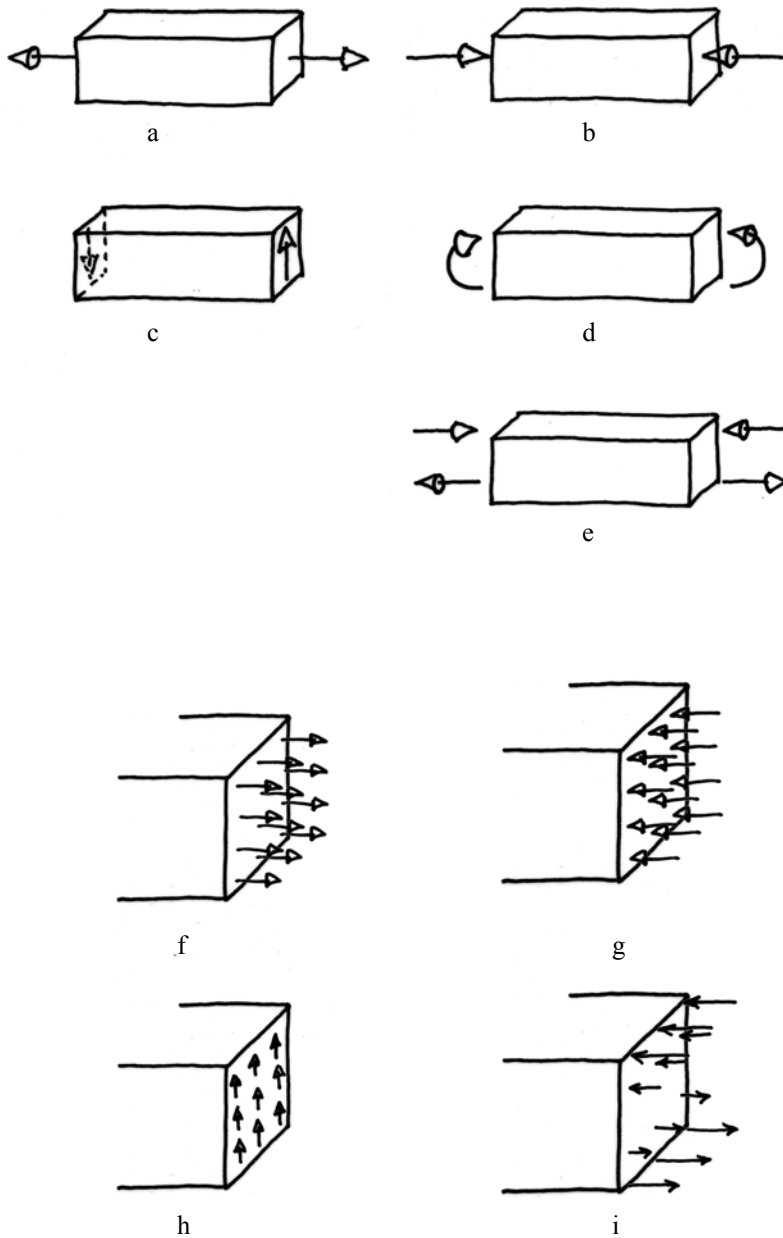
Synonymt används ordet lastväg.

Normalkraft

En normalkraft i en konstruktionsdel är en kraft som verkar vinkelrätt delens tvärsnittsytta. Kraften kan antingen vara en dragkraft eller en tryckkraft, fig.2.10a och b. Deformationer associerade med dessa krafter är hoptryckning och isärdragning.

Tvärkraft

En tvärkraft i en konstruktionsdel är en kraft som verkar tvärs delens tvärsnittsytta, fig.2.10c. Den deformation som är associerad med tvärkraft benämns skjuvning. Skjuvningen blir ofta försumbar i förhållande till deformationer av böjmoment.



Figur 2.10 a) Dragkraft. b) Tryckkraft. c) Tvärkraft. d) Böjmoment. e) Kraftpar. f) Dragspänningar. g) Tryckspänningar. h) Skjuvspänningar. i) Böjspänningar.

Böjmoment

Ett böjmoment (böjande moment) är ett moment i snittytan av en konstruktionsdel, fig. 2.10d. Böjmomentet gör den ena halvan av tvärsnittet tryckt och den andra halvan dragbelastad. Böjmomentet kan representeras av ett kraftpar av lika stora, motriktade krafter. Böjmomentet leder till böjning av delen.

Normalspänning och böjspänning

Ett alternativ till att presentera analysresultat som normalkrafter och böjmoment i enskilda takstolsdelar är att redovisa dem som spänningar, det vill säga som kraft per ytenhet. Spänningar anges i enheten Pa. (1 Pa = 1 N/mm².)

Normalspänningarna av en normalkraft N fås som:

$\sigma_N = N/A$, där A är den belastade delens tvärsnittsarea.

Materialet i delen blir jämnt utnyttjat och spänningarna lika stora över hela tvärsnittet. Samma uttryck gäller för såväl dragning som tryck.

Böjspänningarna i de yttersta fibrerna av en balk som är påverkad av ett böjmoment M fås som:

$\sigma_M = M/W$, där W är balkens böjmotstånd.

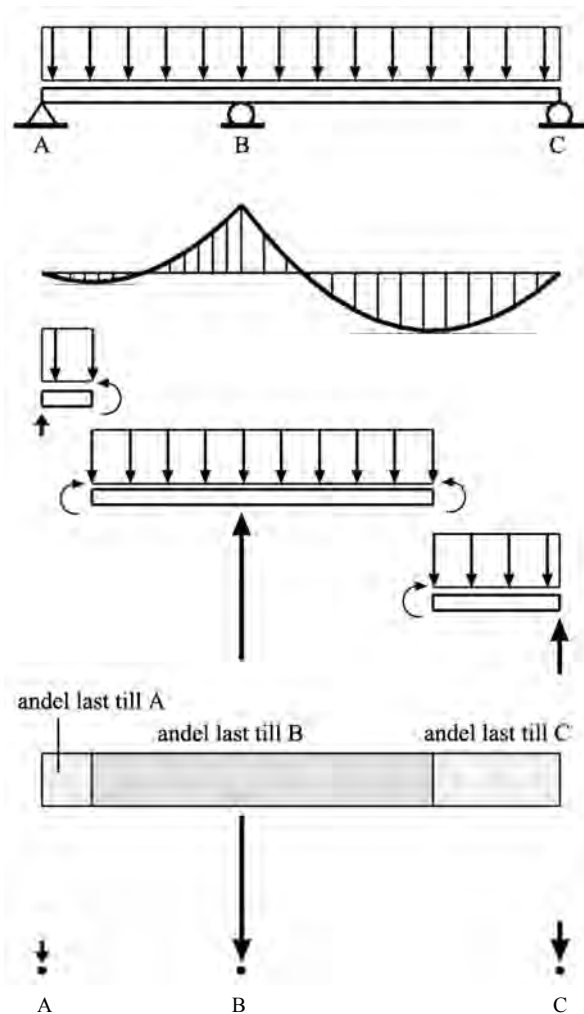
Spänningarna i materialet blir störst i de yttersta fibrerna. I mitten av balken blir materialet inte ansträngt överhuvudtaget och balkens kapacitet blir därför dåligt utnyttjad.

Huvudspänning

Då en skiva möter en last uppstår tryck-, drag- och skjuvspänningar i olika riktningar. Man kan välja att betrakta spänningarna i vissa givna riktningar: huvudspänningsriktningar. I dessa riktningar uppträder endast tryck- och dragspänningar, skjuvspänningarna är noll.

Momentdiagram

Böjmoment redovisas ofta i diagram. Ur momentdiagrammet för en balk på flera stöd (kontinuerlig balk) kan man utläsa hur stor andel av belastningen som går ner i vardera stödet, se fig. 2.11.



Momentdiagram för balken ovan.

Inga tvärkrafter verkar i de visade snitten. Reaktionskraften balanserar lasten.

Krafter som verkar från balken mot dess stödpunkter.

Figur 2.11 Ur momentdiagrammet kan utläsas hur stor andel av lasten som går till varje stöd. Det gäller att tvärkraften i balken är noll där momentdiagrammets lutning är noll. För att den frilagda balkdelen ska befinna sig i vertikal jämvikt måste stödkraften vara lika stor som den utbredda lasten på balkdelen.

2.5.4 Verkningsätt

Statiskt bestämd

Statiskt bestämt är ett bärverk (eller en del av ett bärverk) om det kan bära en given uppsättning laster på endast ett sätt, som är entydigt bestämt av lasterna och geometrin hos bärverket (eller delen).

Statiskt obestämd

Statiskt obestämt är ett bärverk (eller en del av ett bärverk) som kan bära en given uppsättning laster på en mängd olika sätt. Krafterna fördelar sig efter delarnas styvhet, så att den styvaste delen tar mest last.

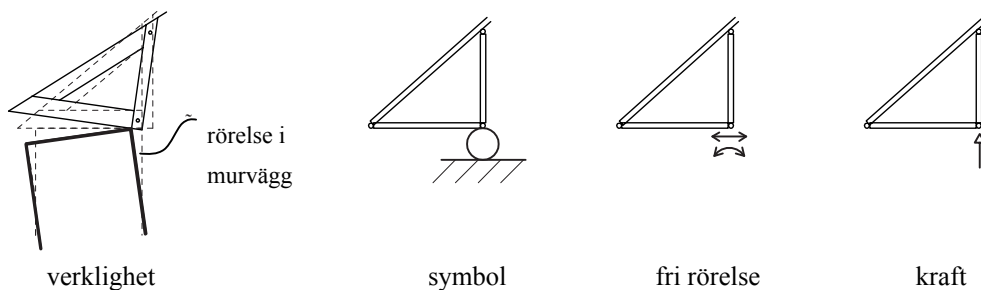
2.5.5 Modellen och dess delar

Modell

I mekanik analyseras *modeller*, vilka *representerar* verkliga eller tänkta bärverk. Modellen måste därför fånga avgörande egenskaper hos de bärverk som studien avser.²² Ett antal val av olika förutsättningar måste göras vad gäller bärverkens geometri, knutpunkter, upplag, material och laster. Valen brukar illustreras med symboler, av vilka några illustreras nedan.

Rullager

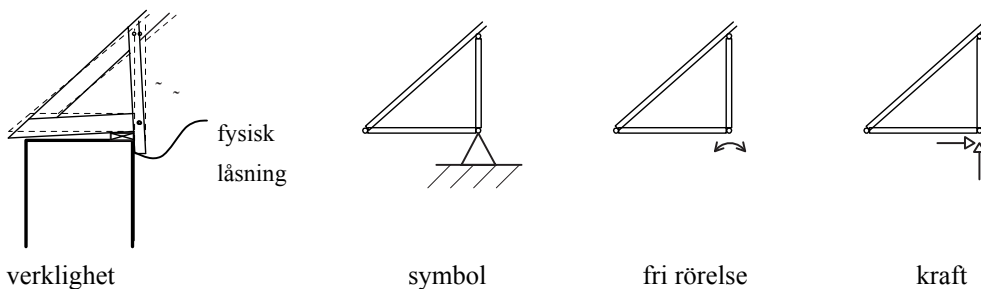
Med symbolen *rullager*, fig. 2.12, anges att konstruktionen i stödpunkten är fri att röra sig horisontellt och att rotera. Den är däremot förhindrad att röra sig i vertikal led. I stödpunkten kan därför *vertikal kraft* överföras.



Figur 2.12 Rullager

Fixlager

Med symbolen *fixlager*, fig. 2.13, anges att konstruktionen i stödpunkten är fri att rotera. Den är däremot förhindrad att röra sig i horisontell och vertikal led. I punkten kan både *horisontell och vertikal kraft* överföras.

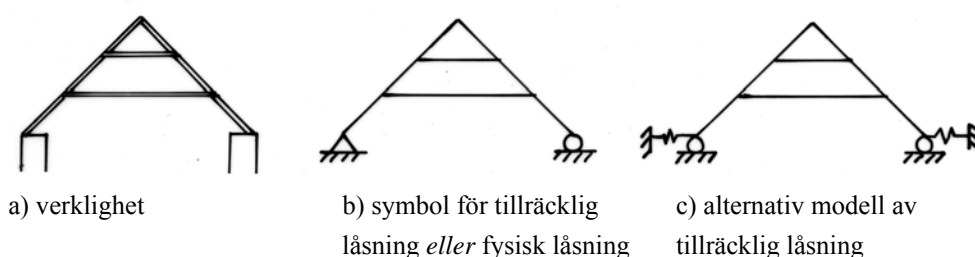


Figur 2.13 Fixlager

Tillräcklig låsning

De bärverk som studeras här är tvådimensionella. En tvådimensionell kropp måste vara låst för rörelser i tre riktningar för att vara stabil: i horisontell och vertikal led samt förhindrad att rotera. För att ett bärverk ska kunna behandlas analytiskt antas det vara stabilt. Det antas således ha tillräcklig

låsning i tre riktningar, även om det inte är möjligt att precisera *var* alla låsningar finns rent fysiskt för den verkliga konstruktionen. Upplagssymboler enligt fig. 2.14b används ofta som en representation av *tillräcklig* låsning för bärverket i fig. 2.14a. Fixlagersymbolen anger här att det finns tillräcklig horisontell låsning i bärverkets kontakt med omgivningen utan att precisera var denna låsning finns. Det viktiga i modellen är att vänster och höger sida inte är låsta till *varandra*. En alternativ och mer verklighetsnära modell av samma bärverk skulle kunna se ut som i fig. 2.14c. Fjädersymbolen betyder att det finns ett elastiskt motstånd mot horisontell rörelse i punkten.²³



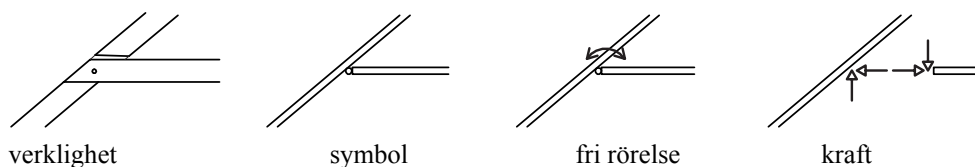
Figur 2.14 Olika representationer av tillräcklig horisontell låsning

Tolkningen av fig. 2.14b är således inte given. Det *kan* vara en bild av en fysisk låsning som säger att allt horisontellt stöd ges på vänster sida. *Eller* så kan bilden representera att det finns en *tillräcklig* låsning, utan att ange hur den fördelas på höger och vänster sida.

I det här arbetet representerar kombinationen fix- och rullager i allmänhet en *tillräcklig* låsning. Men i kapitel 3.2 finns exempel där det är betydelsefullt på vilken sida det fysiska stödet faktiskt ges.

Momentfri led

Symbolen för en momentfri led anger att två hopkopplade delar är fria att rotera relativt varandra, fig. 2.15. Rörelser i horisontell och vertikal led är däremot kopplade. Horisontella och vertikala krafter kan därmed överföras.



Figur 2.15 Ledad knutpunkt

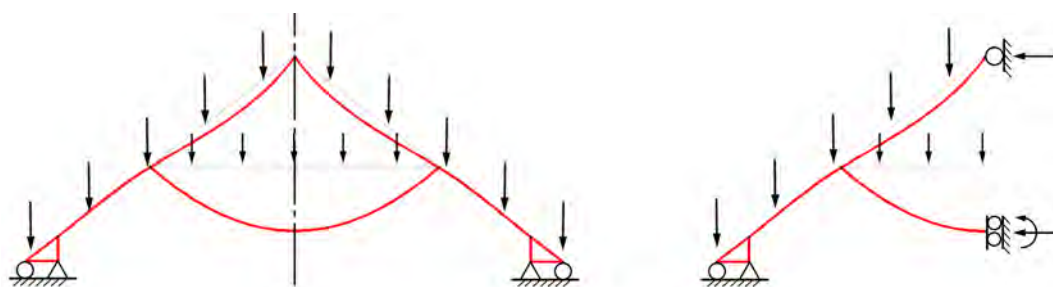
Synonymt används begreppen momentfri koppling, ledad knutpunkt och ledad infästning.

I denna avhandling antas takstolens delar vara kopplade till varandra med momentfria leder. Symbolen i fig. 2.15 framgår dock inte i resultatfigurerna i kap. 5.

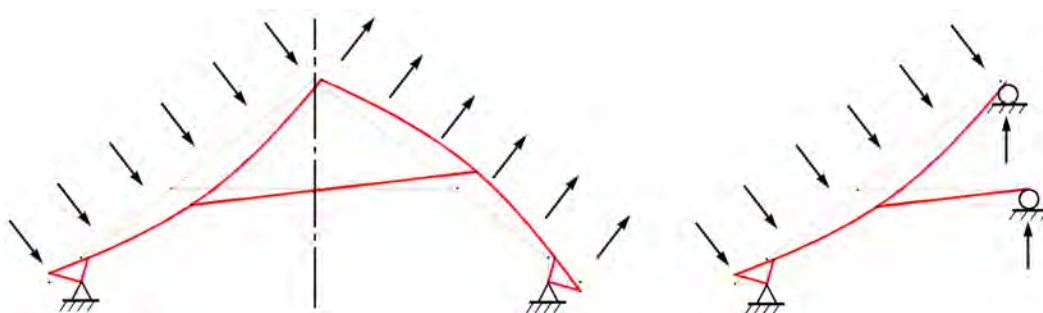
2.5.6 Analys

Symmetri

Takstolar som konstruktioner är i huvudsak symmetriska. Med symmetri menas att såväl form som materialegenskaper och upplagsvillkor är identiska på ömse sidor om en mittlinje, en så kallad symmetrilinje.²⁴ Om en symmetrisk konstruktion belastas av en symmetrisk eller en antisymmetrisk last är karaktären på krafterna längs symmetrilinjen kända. Om lasten är symmetrisk kan inga *vertikala* krafter verka i symmetrisnittet, fig. 2.16. Om lasten är antisymmetrisk kan inga *horisontella* krafter och inga böjmoment verka i symmetrisnittet, se fig. 2.17. Detta är en viktig kunskap i det vidare analysarbetet.



Figur 2.16 Symmetrisk konstruktion med symmetrisk last. I symmetrisnittet är rörelser i vertikal led oförhindrade. Inga vertikala krafter kan verka i symmetrisnittet. (Delarna är momentfritt kopplade till varandra, vilket inte visas i figuren.)



Figur 2.17 Symmetrisk konstruktion med antisymmetrisk last. I symmetrisnittet är rörelser i horisontell led oförhindrade. Inga horisontella krafter eller böjmoment kan verka i symmetrisnittet. (Delarna är momentfritt kopplade till varandra, vilket inte visas i figuren.)

Jämvikt

En kropp i vila eller i accelerationsfri rörelse är i jämvikt.

-
- ¹ För att göra framställningen hanterbar beskrivs kraftspel i *Kap. 5 Andra analysen* med hjälp av normalkrafter och böjmoment, medan tvärkrafter utelämnas.
- ² Olsson (2005), s. 167.
- ³ Förmodligen är det normala dessutom att horisontella och vertikala krafter endast kan överföras i en och samma punkt. Se Sjömar (2000), s. 142 för exempel på möte mellan takstol vägg.
- ⁴ Thelandersson (1995), s.A17/4, rad 31.
- ⁵ Observera att mina studier inte syftar till att *dimensionera* träbärverk. Vid dimensionering är det viktigt att ha en viss säkerhet mot brott och de spänningar som kan tillåtas blir lägre än vad som anges här.
- ⁶ Johansson – Claesson (1989), tabell 7, 8 och 9 s. 17 - 18. Larsson m.fl. (1998), tabell 4.
- ⁷ Dinwoodie (1981), s. 155, tabell 7.1.
- ⁸ Hoffmeyer (1995), s. A4/17 - A4/18. *BKR 94:1* (1994), s. 76.
- ⁹ *BKR 94:1* (1994), s. 76.
- ¹⁰ Blass (2003), s. 325, påpekar dock att det saknas bevis för att en *låg* belastningsnivå (under 30 - 40% av korttidshållfastheten) skulle kunna orsaka någon minskning i virkes hållfasthet. Gamla, lågt belastade, träbärverk behöver i så fall inte vara starkt *åldrade*.
- ¹¹ Tredgold (1840), s. 158. Min översättning.
- ¹² Görlacher m. fl. 1990.
- ¹³ Kessel – Augustin (1994), Ehlbeck – Hättich (1989).
- ¹⁴ *BKR 94:1* (1994), kap.5:241, kvadratisk spik, $d = 6$ mm.
- ¹⁵ Med skruv menas här vad som i vardagligt tal ofta kallas bult, det vill säga en utvändigt gängad cylindrisk kropp med eller utan huvud. *BKR 94:1* (1994), kap.5:243.
- ¹⁶ $f_{vk} = 3$ MPa, skjувbelastad area 20000mm^2 .
- ¹⁷ $f_{vk} = 3$ MPa, skjувbelastad area 21600mm^2 med mått som i Tingsås kyrka.
- ¹⁸ Den intresserade som inte tillhör ingenjörsfacket kan finna teorier och begrepp för att behandla konstruktioners verknings sätt i t.ex: Mathiasen – Reitzel (1999), Sandaker – Eggen (1989), och Jennings (2004).
- ¹⁹ Mathiasen – Reitzel (1999), s. 15, rad 3.
- ²⁰ Mathiasen – Reitzel (1999), s. 41, rad 3.
- ²¹ Jennings (2004), s. 65.
- ²² Om modeller av takstolar och antaganden vid modellering se även Sandin – Olsson (1996), s. 130-136.
- ²³ Ett sådant mothåll kan erhållas för takstolar exempelvis om en "fotram" stödjer takkonstruktionen (bindbjälkar som bildar ett horisontellt ramverk tillsammans med murremmarna). Verknings sättet vid olika modeller av den horisontella låsningen visas i Sandin – Olsson (1996) resp. Sandin (1996).
- ²⁴ Se Thelandersson (1990) s. 149 -150 för en beskrivning av symmetriegenskaper.

3. FÖRUTSÄTTNINGAR

För att kunna formulera och begränsa takkonstruktioners huvudsakliga uppgifter, sammanfattas här deras möjliga belastningar i två generella grundlastfall. Sedan visas viktiga principiella upplagstyper. Därefter identifieras vilka uppgifter som följer av de möjliga kombinationerna av grundlastfall och upplag.

Kapitlet innehåller också en beskrivning av de verkliga bärverk som ligger till grund för studien. Slutligen visas vilka antaganden som ligger till grund för var och en av de tre analyser som undersökningen av verkningssätt omfattar och vars resultat redovisas i kapitlen 4, 5 och 6.

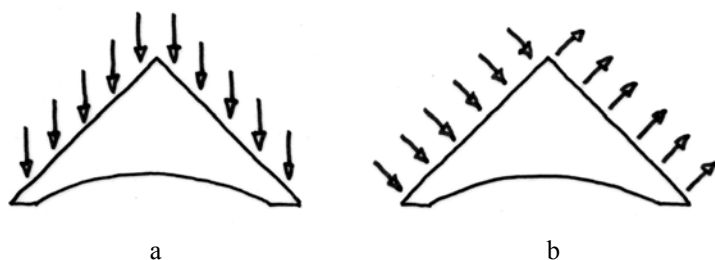
3.1 Laster

Två kriterier har legat till grund då takstolars möjliga belastningar sammanfattats i två generella *grundlastfall*:

- Grundlastfallen skulle täcka in de grova huvudtyperna laster av gravitation och laster av vind, till vilka laster på takstolar generellt kan föras.
- Grundlastfallen skulle vara symmetriska och/eller antisymmetriska. De takstolsformer som betraktas är symmetriska. Symmetriska och antisymmetriska lastfall gör det möjligt att utnyttja generella kunskaper om krafternas karaktär i symmetriska bärverk (kap. 2.5.6).

De två grundlastfallen är:

- Symmetrisk, vertikal, nedåtriktad linjelast som belastar sparrarna, fig. 3.1a.
- Antisymmetrisk linjelast riktad vinkelrätt mot takytorna, fig. 3.1b.



Figur 3.1 a) Symmetriskt grundlastfall b) Antisymmetriskt grundlastfall

Egentyngd och snölast är vertikala laster som med god approximation kan föras till det symmetriska grundlastfallet. Vindlast verkar vinkelrätt mot takytan, med tryck på lovartsidan och sug på läsidan. Den kan med god approximation föras till det antisymmetriska grundlastfallet, som motsvarar vind från vänster. Ingen av lasterna är i verkligheten både jämnt fördelad

och fullt symmetrisk respektive antisymmetrisk. I det följande kommenteras respektive lasts avvikelse från de ovan definierade grundlastfallen.

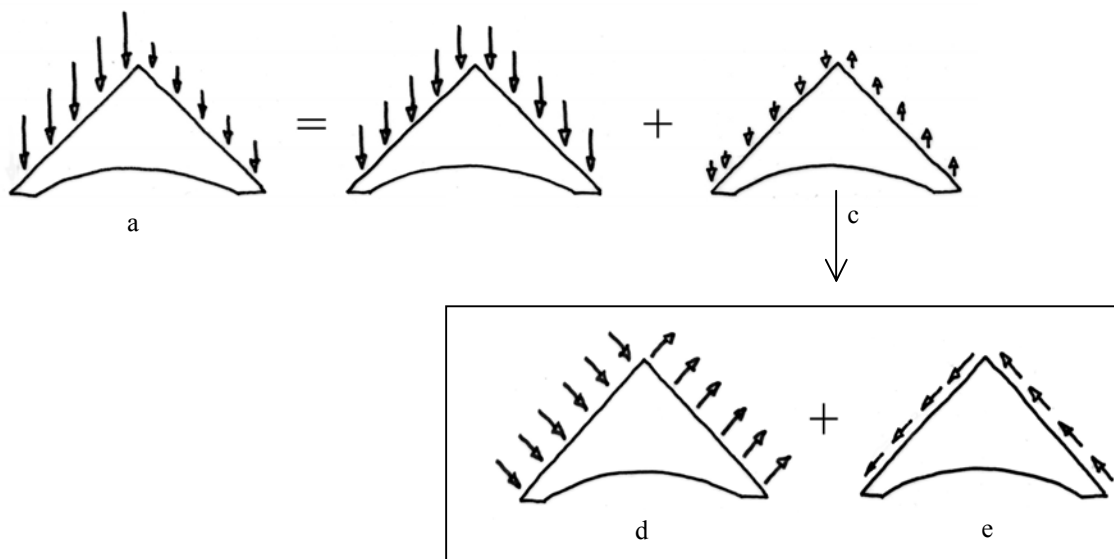
Egentyngd

Tyngden av *taktäckningen* förs via brädtaken kontinuerligt in på sparrarna. Den är symmetrisk, jämnt fördelad och helt i överensstämmelse med det symmetriska grundlastfallet. Det gäller även egentyngden av *sparrarna*. Egentyngden av den *inre takstolskonstruktionen* är symmetrisk. Den varierar över takstolens bredd beroende på den inre konstruktionens form och den förs in på sparrarna i knutpunkterna mellan inre konstruktion och sparrar. Egentyngden av *det välvda brädtaket* är symmetrisk och jämnt fördelad. Den påförs konstruktionen i knutpunkter mellan de inre nedre delar där valvet är infäst. Egentyngden av inre delar och innertak ger en *lokal* ansträngning i inre delar som inte blir belyst av grundlastfallet. Jag bedömer att denna avvikelse inte har någon avgörande betydelse för förståelsen av takstolarnas verkningsätt.

Snölast

Snölasten är en vertikal linjelast som angriper sparrarna. Den kan vara symmetrisk och jämnt fördelad och motsvaras då helt av det symmetriska grundlastfallet. Men den kan också vara ojämnt fördelad på de båda takfallen.

Denna tendens till antisymmetri hos den vertikala lasten kan förstås med hjälp av det antisymmetriska grundlastfallet, fig. 3.2.

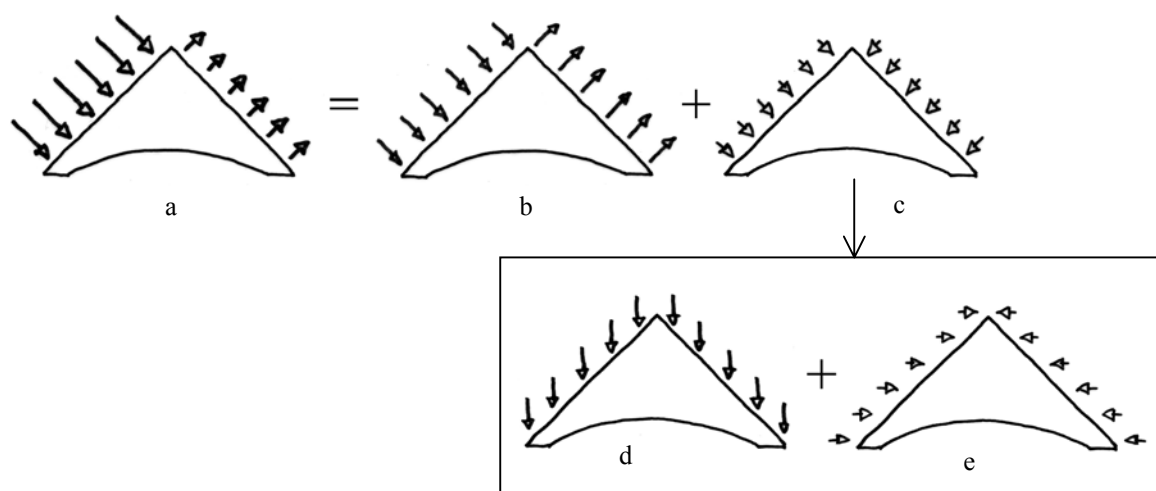


Figur 3.2 Ojämnt fördelad snölast (a) innehåller en symmetrisk (b) och en antisymmetrisk del (c). Den symmetriska delen kan delas upp i en del som är identisk med det antisymmetriska grundlastfallet (d) och en del som verkar parallellt takytan (e). (Krafterna i figur d och e är ritade i en annan skala än de i figur a-c.)

Snölastens antisymmetriska del är flera gånger mindre än den samtidigt verkande symmetriska delen av lasten, så att kraftspelet kommer att domineras av den symmetriska lasten. Det gäller även då snön kan antas vara som mest ojämnt fördelad (vid en taklutning på 30°).¹

Vindlast

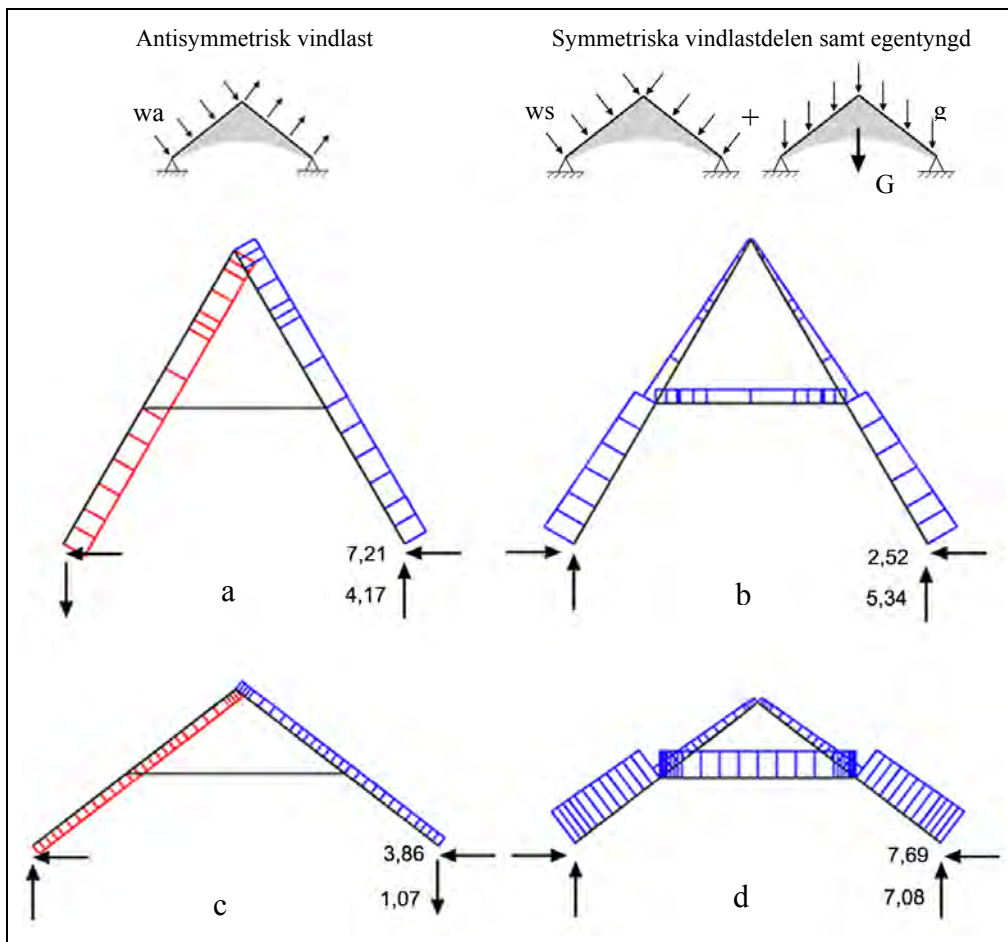
Vindlasten är en jämnt fördelad linjelast som angriper sparrarna. Den ger ett tryck på lovartsidans takfall som är större än suget på läsidan och är inte fullt antisymmetrisk.² Verklig vindlast innehåller även en andel *symmetrisk* last, se fig. 3.3 (överst). En del av denna överensstämmer med det symmetriska grundlastfallet, fig. 3.3 (nederst).



Figur 3.3 Verklig vindlast (a) innehåller en antisymmetrisk (b) och en symmetrisk del (c). Den symmetriska delen kan delas upp i en del som är identisk med det symmetriska grundlastfallet (d) och en del som verkar för att klämma ihop takstolen (e).

Förutom att vindlasten själv innehåller en symmetrisk lastdel så verkar den alltid i kombination med den symmetriska egentvängden. Hur mycket får då en verklig konstruktion utsatt för hård vind arbeta för den antisymmetriska delen av lasten och hur mycket får den arbeta för den symmetriska delen?

Som ett mått på andelen antisymmetrisk last i en lastkombination har jag valt att jämföra hur stora de *horisontella upplagsreaktionerna* blir av den antisymmetriska och den symmetriska delen i en lastkombination. De horisontella upplagsreaktionerna antas spegla vilken verkan vardera lastdelen har på takkonstruktionen. Den symmetriska lastdelen dominerar, som förväntat, oftast över den antisymmetriska för de här tunga konstruktionerna. Men den antisymmetriska lastdelen kan dominera för branta tak med lätt taktäckning i vindutsatta lägen, jfr. fig. 3.4.



Figur 3.4 Andel antisymmetrisk respektive symmetrisk last som de framgår av horisontella upplagsreaktioner.

Den antisymmetriska lastdelen kan dominera för ett brant tak.

En lastkombination av vindlast och egentynngd har delats upp på sin antisymmetriska och sin symmetriska del för två takstolar med olika taklutning men samma längd på sparren.

Upplagsreaktioner (och normalkrafter) för:

a) och c) den antisymmetriska delen av vindlasten

b) och d) den symmetriska delen av vindlasten samt egentynngden

För det branta taket blir de horisontella upplagsreaktionerna *större* av den antisymmetriska lastdelen än av den symmetriska delen (a jämfört med b).

För det flackare taket blir de horisontella upplagsreaktionerna *mindre* av den antisymmetriska lastdelen än av den symmetriska delen (c jämfört med d).

Förutsättningar

60°-takstolen: bredd 12,19 m, höjd 10,56 m.

37°-takstolen: bredd 19,4 m, höjd 7,38 m

Sparrens längd: 12,19 m (gäller båda).

Knutpunkter: ledade.

Upplag: två fixlager.

- Vindlast enligt norm

Ort: Lund. Terrängtyp I. Byggnadens höjd: 20 m => $q_k = 1,08 \text{ kN/m}^2$.

Centrumavstånd takstolar: 1,1 m.

Takstol 60°: $\mu_{io} = 0,9$, $\mu_{lä} = 0,25$; $w_{klo} = 1,07 \text{ kN/m}$, $w_{klä} = 0,30 \text{ kN/m}$;

$w_a = 0,68 \text{ kN/m}$

Takstol 37°: $\mu_{io} = 0,6$, $\mu_{lä} = 0,28$; $w_{klo} = 0,71 \text{ kN/m}$, $w_{klä} = 0,33 \text{ kN/m}$

$w_a = 0,52 \text{ kN/m}$

- Taktäckning $g = 0,24 \text{ kN/m}$

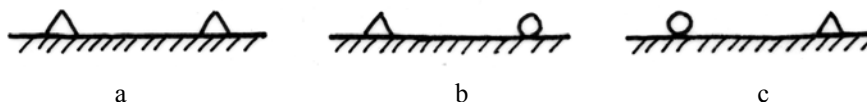
- Takstolens tyngd

Alla delar har tvärmått 0,150 x 0,175 cm $\rho = 5 \text{ kN/m}^3$. => $G_{60} = 4,56 \text{ kN}$. $G_{37} = 4,06 \text{ kN}$.

3.2 Upplag

Med hänsyn till möjligheten att stödja i horisontell led mot den underliggande byggnaden kan tre principiellt olika former av stöd urskiljas:

- Horisontellt stöd finns.
- Horisontellt stöd saknas på höger sida.
- Horisontellt stöd saknas på vänster sida.



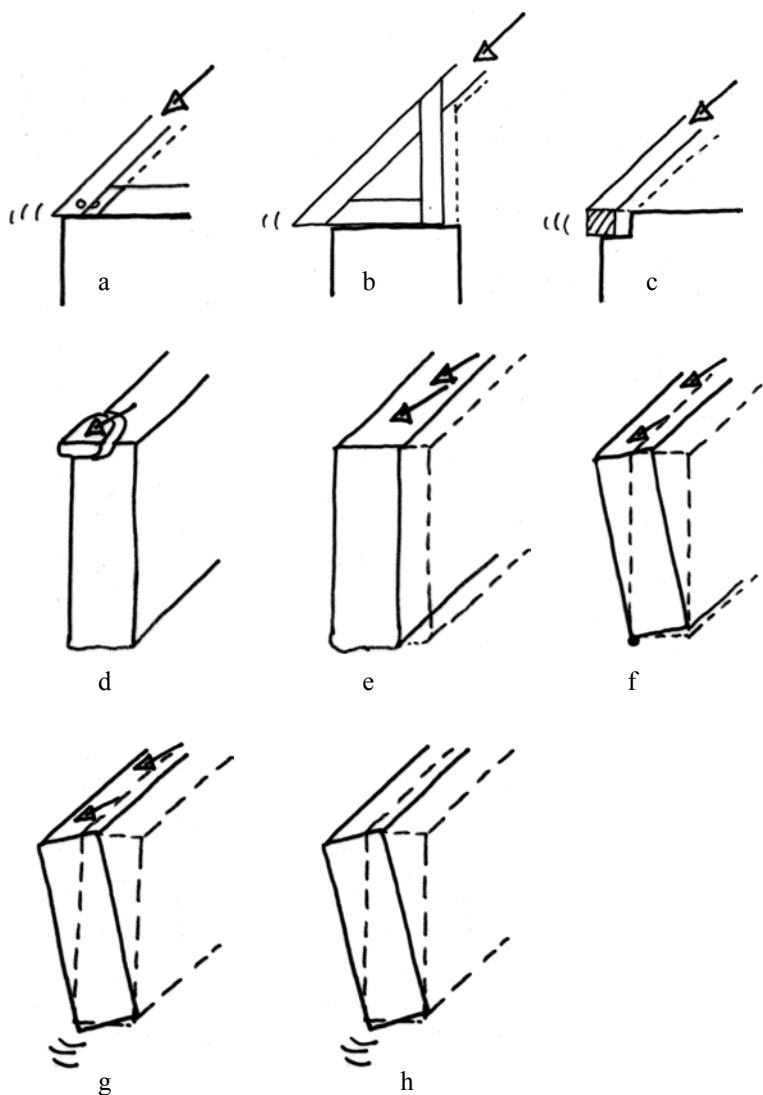
Figur 3.5 a) Horisontellt stöd finns. b) Horisontellt stöd saknas på höger sida.

c) Horisontellt stöd saknas på vänster sida. Stödsymbolerna förklaras i kap. 2.5.3.

Den första stödtypen, fig. 3.5a, innebär att takstolen kan ta spjörn i horisontell led mot underlaget. Stödtypen kräver att både horisontella och vertikala krafter kan tas upp på bägge sidor om det rum som takstolen överbryggas. Detta är möjligt om en belastning av takstolen inte leder till rörelser vare sig:

- mellan takstol och väggar,
- i väggarna eller
- i grunden.

De två andra stödtyperna, fig. 3.5b och c, innebär att det helt saknas möjlighet att ta upp horisontella krafter på antingen den ena eller den andra sidan av kyrkorummet. Det kan också vara så att en begränsad kraftöverföring kan ske på bägge sidor, tillräcklig för stabilitet, men otillräcklig för att stödja takstolen. Det kan finnas flera olika anledningar till att takstolen inte kan ta horisontellt stöd mot underlaget, fig. 3.6.



Figur 3.6 Exempel på anledningar till att takstolen inte kan ta stöd i horisontell led.
a) Knutpunkt vid sparrfot ger efter. b) Takstolen glider. c) Murremmen skjuts ut.
d) En del av väggen ger efter (här en del av murvägg, men kan vara timmerstock i träkyrka). e) Väggen ej stabil i horisontell led. f) Väggen ej stabil med avseende på rotation.
g) Jordbrott av för stora krafter från byggnaden. h) Sättningar (exempelvis av grundvattensänkning.)

För symmetriska konstruktioner med symmetrisk last blir verknings sättet lika oavsett på vilken sida som det horisontella stödet saknas. Då räcker det att skilja mellan de två stödtyperna "horisontellt stöd finns" och "horisontellt

stöd saknas". För antisymmetriska lastfall däremot, måste man skilja på om det horisontella stödet saknas på höger eller vänster sida.

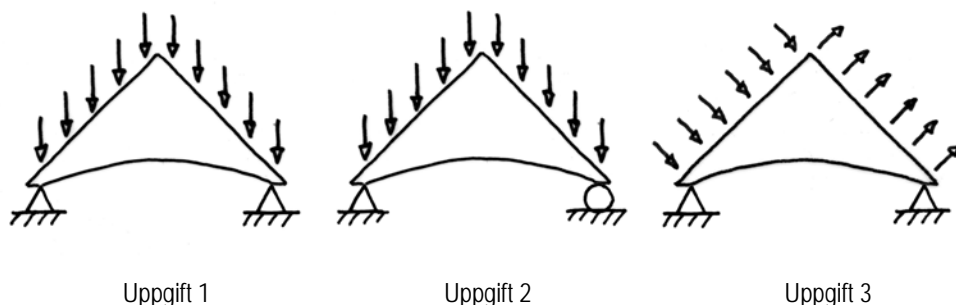
De principiellt olika stödtyperna ovan motsvarar *ytterlighetsfall*. Verkliga takstolars stödvillkor kan befinna sig mellan dessa ytterligheter. Exempelvis kan det förekomma rörelser i den underliggande byggnadens väggar utan att takstolen *helt* förlorar sitt horisontella stöd.

3.3 Tre viktiga uppgifter för takstolar

De tre principiellt olika stödtyperna ger tillsammans med de två grundlastfallen fem möjliga kombinationer av last och upplag, fem uppgifter för takstolar:

1. Symmetrisk last, horisontellt stöd finns.
2. Symmetrisk last, horisontellt stöd saknas.
3. Antisymmetrisk last, horisontellt stöd finns.
4. Antisymmetrisk last, horisontellt stöd saknas på höger sida.
5. Antisymmetrisk last, horisontellt stöd saknas på vänster sida.

Analyserna i det här avhandlingsarbetet begränsas till att beakta de tre första av dessa uppgifter, fig. 3.7.



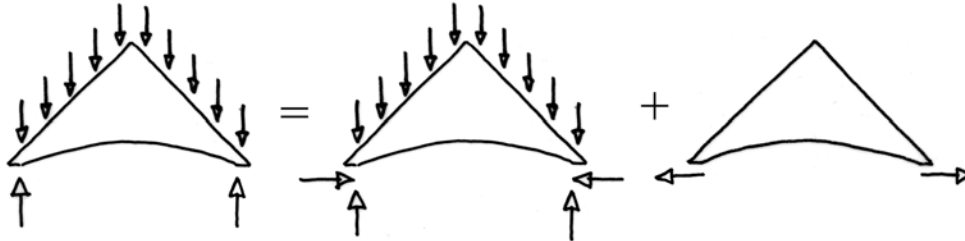
Figur 3.7 De tre uppgifter för takstolar som beaktas i det här arbetet

Uppgift 1: Att bära symmetrisk last då horisontellt stöd finns kan betraktas som takstolars vardagliga uppgift. Symmetrisk belastning av egentygnd finns ständigt på bärverket och dess stödpunkter bör i normalfallet inte röra sig.

Uppgift 2: Att bära symmetrisk last då horisontellt stöd saknas blir takstolens vardagliga uppgift om väggarna saknar stabilitet eller om hopfogningen mellan takstol och byggnad inte fungerar tillfredsställande.

Den här uppgiftens karaktär kan belysas genom att belastning och upplagsreaktioner delas upp i två delar, fig. 3.8. De två nya uppsättningarna

av krafter ger tillsammans samma verkningssätt som den ursprungliga. Att en takstol står inför den här uppgiften kan enligt fig. 3.8 tolkas som att den står inför uppgift 1 *samtidigt* som den står inför uppgiften att bära de horisontella krafter upplagen här inte förmår att bära.



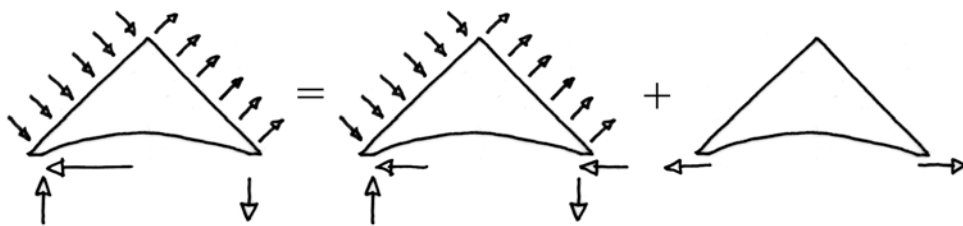
Figur 3.8 Uppgift 2 kan delas upp på två: att bära symmetrisk last och samtidigt bära isärdragande horisontella krafter.

Uppgift 3: Att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd finns är en uppgift som varje takstol måste vara utformad för att klara. Men den motsvarar en exceptionell, sällan återkommande situation (extrem vindbelastning). Belastningen är kortvarig.

Bortvalda uppgifter

Uppgift 4

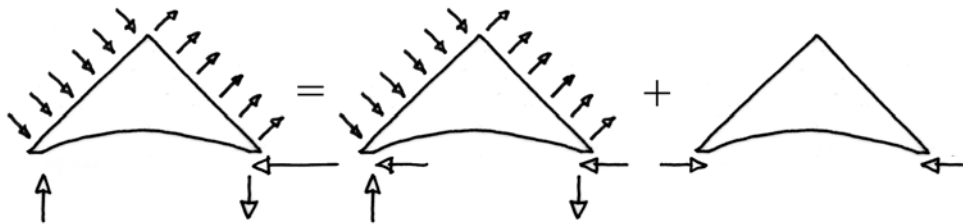
Det antisymmetriska lastfall som beaktas motsvarar främst stark vindbelastning från vänster. Uppgiften att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas på höger sida motsvarar därför vindbelastning då *läsidans* upplag inte förmår att ge något horisontellt stöd. Det kan antingen motsvaras av att läsidans vägg kommer i rörelse eller att takstolens hopfogning med underliggande delar ger efter på läsidan. Vi ska återkomma till den här uppgiften i kap. 7. Vi kan tills vidare konstatera att uppgiften kan delas upp i två delar, fig. 3.9, och att dessa *delar* finns representerade i studien genom uppgift 2 och 3 ovan.



Figur 3.9 Uppgiften att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas på läsidan (höger) kan delas upp på två: att bära antisymmetrisk last och samtidigt bära isärdragande horisontella krafter.

Uppgift 5

Uppgiften att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas *på vänster* sida motsvaras av att vindtrycket på *lovartsidan* är så stort att det dominerar över uttryckningskrafterna från takstolen av egentyngd. Uppgiften innebär att bära antisymmetrisk last samtidigt med hoptryckande krafter, fig. 3.10. Den betraktas inte som en viktig huvuduppgift för takstolar och väljs bort i det här arbetet. Det är dock viktigt att beakta den här uppgiften då man studerar en brant takkonstruktion med liten egentyngd.



Figur 3.10 Uppgiften att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas på lovartsidan (vänster) kan delas upp på två: att samtidigt bära antisymmetrisk last och hoptryckande krafter.

3.4 Beskrivningar och frågor till grund för antaganden vid analyserna

Här presenteras bärverken som ligger till grund för arbetet – takstolarna i Almundsryd, Berga, Hjortsberga, Härlunda, Ryssby, Tingsås och Urshult kyrkor. Sådan information som ligger till grund för de antaganden som måste göras vid de strukturmekaniska analyserna ges. (Se även Appendix 2.) Undersökningen avser takstolar över långhusen.

Yttre form och delarnas placering

Alla kyrkor har sadeltak. Takstolarna spänner över kyrkorum vars bredd är mellan 16 och 19 m för stenkyrkorna och 9 m för Härlunda kyrka (uppförd i liggtimmer), tabell 3.1. Takvinklarna varierar mellan 33° och 45°. Takstolarna står på inbördes avstånd på mellan 1,01 och 1,41 m.

Tabell 3.1 Kyrkans inre bredd, takets lutning, centrumavstånd

Kyrka	Kyrkans inre bredd [m]	Taklutning α	Centrumavstånd medelvärde [m]
Almundsryd	18,15	45°	1,36
Berga	16,78	33°	1,01
Hjortsberga	16,82	36°	1,41
Härlunda	8,97	45°	1,15
Ryssby	16,05	38°	1,06
Tingsås	16,28	36°	1,12
Urshult	18,76	36°	1,08

Samtliga taklag är enkelt stabiliserade i kyrkans längsled, dels av takpanelerna, dels av stag och diagonaler spikade mot takstolarna, fig. 3.11. Inga egentliga längsgående bärverk förekommer.



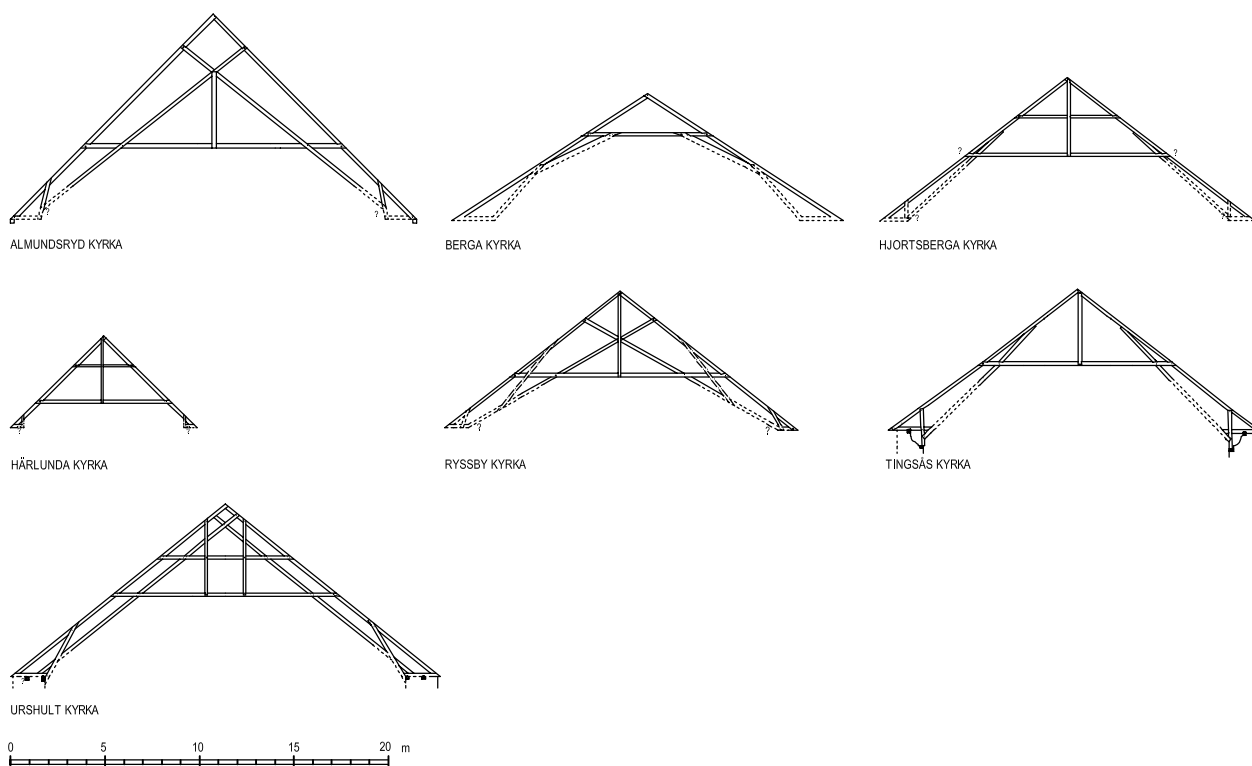
Almundsryd



Berga

Figur 3.11 Längdstabilisering

Samtliga takstolar inom respektive taklag är likadana (med avseende på ursprunglig utformning). Fig. 3.12 visar uppmätningsskisser för de olika kyrkornas takstolstyper, utan ombyggnadsåtgärder.



Figur 3.12 Uppmätningsskisser för de sju utvalda bärverken. (Delar som rundar av takstolens form nedtill och som valvbrädorna är fästade vid är inte inmätta.) Streckad linje betecknar skymda delar.

Takstolarna i fig. 3.12 kan uppfattas som lika, såväl som olika. De är lika, eftersom de alla saknar bindbjälke och är byggda för att lämna plats för välvda undertak. De är olika, för att de består av olika antal delar och för att delarna är olika placerade. Hanbjälkarna är en eller två till antalet och sitter olika högt. Stödbenen är olika vinklade. I Tingsås och Hjortsberga kyrkors takstolar förekommer en speciell sorts långa, "inre" stödben. Saxsparrar finns i tre takstolar och saknas i fyra. Saxsparrarna är helt parallella med sparrarna i Urshults takstol, men inte i Almundsryd och Ryssby. Samtliga saxsparrar i det här källmaterialet är placerade så att deras nedre ände går ner till kyrkväggens krön. Det förekommer inga saxsparrar som ansluter med sin nedre ände mot sparrarna, som i vissa medeltida kyrkor.

Takstolen i Berga kyrka ger ett vekt intryck. Den har få delar och följer nära valvets form. Delarnas placering skapar veka punkter där stödben, snedsträva och sparre möts. Räcker det med så få delar i en takstol? Hur väl fungerar Bergatypen?

Alla bärverk utom det i Berga har vertikala "hängstolpar". I de fall en sådan del är placerad i mitten av bärverket benämner jag den mittstycke. I Ryssby kyrka har den vertikala hängstolpen, eller mittstycket, dragits ur sin infästning till nocken på åtminstone ett ställe. Varför det? Vad betyder mittstycket?

Vad har de olika delarna i en takstol för betydelse för verkningssättet? Och vad betyder de *variationer* i delarnas placering som förekommer bland de utvalda bärverken? Dessa frågor har varit avgörande för antagandena om geometri vid analysen av kraftspel.

Dimensioner och material

Samtliga bärverk är uppförda av grovt bilat timmer av gran eller furu. Detta gäller med undantag av hängstolparna, vilka i flera fall var sågade. Delarnas dimensioner varierar både inom och mellan taklagen. Takstolsdelar var i vissa fall vända på lågkant. Det gäller exempelvis den ena saxsparren i Almundsryds kyrka och den ena sparren i Ryssby kyrka. Exempel på sparrarnas dimensioner ges i tabell 3.2. Trädymplingarna som låste förbanden var ibland av gran eller furu, ibland av ek. Vanliga tvärsnittsmått var 3 x 3 cm.

Tabell 3.2 Sparrarnas dimensioner, exempel

Kyrka	Bredd x höjd, sparrar [cm]
Almundsryd	17,5 x 21, 19 x 22
Berga	15 x 20
Hjortsberga	17,5 x 16
Härlunda	14 x 17,5
Ryssby	15,5 x 16,5 18 x 15,5 - på lågkant
Tingsås	16 x 16
Urshult	15 x 17

Knutpunkter

Hanbjälkar, saxsparrar och stödben är infällda i sparrarna med olika former av bladförband.³ De är vanligen låsta med en trädympling eller med en eller flera spikar, fig. 3.13. I Urshult var dock flera av förbanden låsta med två dymplingar. Hängstolpar och mittstycken är spikade mot takstolen utan infällning, utom i Urshult där de är infällda med laxstjärtformade bladförband. Sparrens fotände förefaller vara tappad in i stickbjälken (jfr. fig. 1.10) i samtliga fall utom i Tingsås kyrka. Där var knutpunkten utformad med bladförband, fig. 3.15. I fem av kyrkorna kunde knutpunkten dock inte studeras närmare än på någon meters avstånd, fig. 3.13f.



a) Nock, Almundstryd.



b) Nock med mittstycke, Tingsås.



c) Övre hanbjälke - sparre, Hjortsberga.



d) Saxsparrens infästning, Urshult.



e) Det korta, yttre stödbenets infästning, Tingsås.



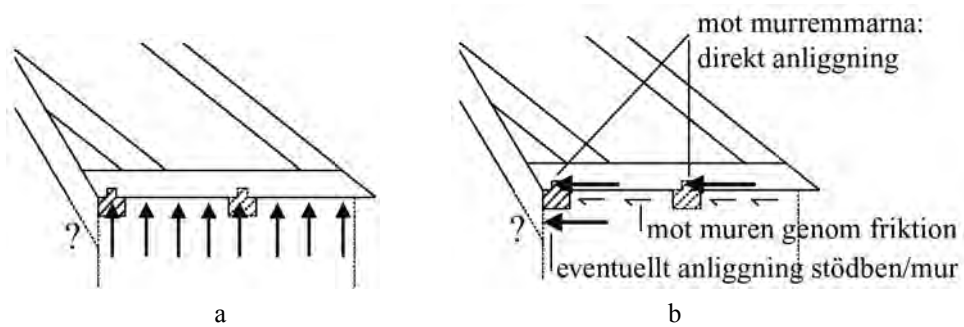
f) Sparrfot, Almundstryd.

Figur 3.13 Knutpunkter, exempel.

Upplag

I Tingsås och Urshult kyrkor kunde takstolens nedre delar studeras på nära håll och dokumenteras genom uppmätning. I de övriga var utrymmet mellan det välvda innertaket och yttertaket för trångt och takfoten kunde endast betraktas på någon meters avstånd. Takkonstruktionerna vilar av allt att döma på kyrkornas väggar utan särskild förankring mot lyftande krafter.⁴

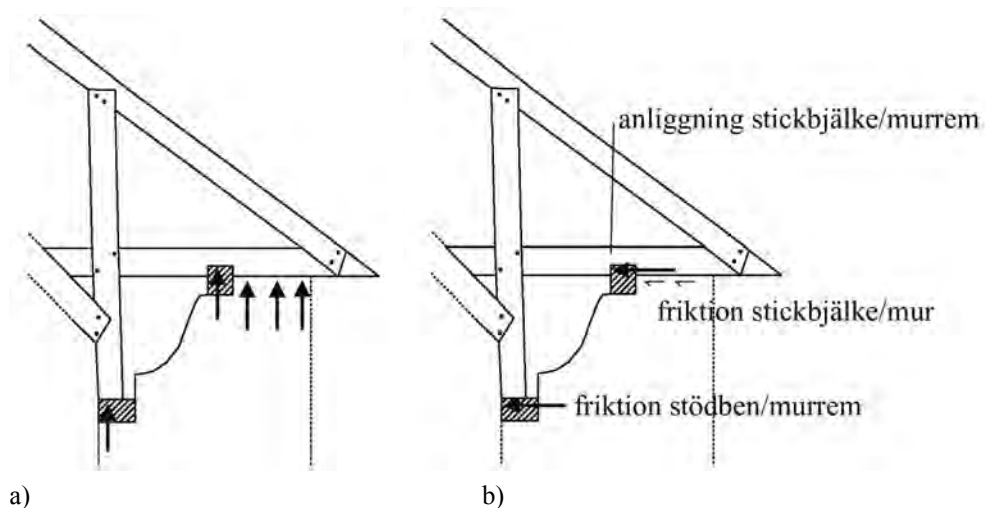
Av fig. 3.14 framgår vilka *möjligheter* till vertikal och horisontell kraftöverföring som utformningen medför i Urshults kyrka. (Förutsatt att muren faktiskt utgör ett horisontellt stöd och inte rör sig utåt av den horisontella belastningen.)



Figur 3.14 Mötet mellan takstol och murvägg i Urshult kyrka. a) Möjlighet till vertikal kraftöverföring: hela murbredden. b) Möjlighet till horisontell kraftöverföring. Kraftöverföring kan ske genom friktion under förutsättning att det samtidigt överförs vertikala krafter.

Undersökningarna i fält av var kraftöverföringen *faktiskt* sker, antydde att vertikal kraft överförs främst vid murens insida. Där är kontaktytorna (mellan såväl saxsparrar och stickbjälkar, som mellan stickbjälkar och murremmar) täta. Det gick inte att säkert avgöra om vertikal kraft också överförs i kontaktytor närmare murens utsida.

Figur 3.15 visar takstolens *möjligheter* att ta vertikalt respektive horisontellt stöd mot muren i Tingsås kyrka. Deformationer och anliggningspunkter framgick här tydligare vid besök på kyrkvinden och visade hur takstolen *faktiskt* tar stöd. Den tar tydligt stöd i vertikal led mot inre murremmen, medan stickbjälken *lyfter* från yttre murremmen, se fig. 3.16.



Figur 3.15 Mötet mellan takstol och murvägg i Tingsås kyrka
a) Möjligheter att ta vertikalt stöd.
b) Möjligheter att ta horisontellt stöd



Figur 3.16 Glipa mellan stickbjälke och yttre murren. Tingsås kyrka, västra sidan.

Deformationer och skador

I samtliga kyrkor lutar långhusväggarna utåt, om än olika mycket. Lutningen är störst mitt på och avtar mot gavlarna. Lutningarna är i sig inte något bevis för att rörelser skett i byggnaden. Väggarna skulle åtminstone teoretiskt kunna vara uppförda lutande. Att utforma väggen med en lutning utåt försämrar dock väggens möjlighet till stabilitet vid horisontell belastning från takkonstruktionen. Det förefaller inte troligt att de här breda kyrkorna skulle vara uppförda på ett sådant sätt.

I samtliga konstruktioner finns glapp i knutpunkterna mellan hanbjälke och sparre som tyder på att dragkrafter verkar i förbandet. (Om förbandet är tryckt sluter det sig.) Knutpunkterna i Berga kyrka var särskilt kraftigt isärdragna, fig. 3.17a. I Hjortsberga, Härlunda och Urshult har takstolarna två hanbjälkar. De *övre* hanbjälkarnas förband är där täta. De *nedre* hanbjälkarnas infästningar var isärdragna i Härlunda och Urshult medan de var förstärkta (och skymda) i Hjortsberga. I Ryssby var, som redan nämnts, mittstycket i den uppmätta takstolen helt utdraget, fig. 3.17c.

Sparrarna var i varierande grad krökta och de hade ofta salats på för att räta upp taket. I Berga kyrka uppvisade ett par av sparrarna också böjbrott, fig. 3.18.

Den kombination av lutande väggar, isärdragna förband i takkonstruktionen samt krökning av sparrarna som förekommer i de här kyrkorna tyder på att rörelser skett i den underliggande byggnaden.



a) Berga: hanbjälke - sparre.



b) Härlunda: nedre hanbjälke - sparre.



c) Ryssby: mittstycke inock.

Figur 3.17 Isärdragna knutpunkter.



a)



b)

Figur 3.18 Berga kyrka a) Böjbrott i sparre. b) Klossar och virken har använts för att rätta upp sparrarna. Taktron är utbytt mot panel av modern typ.

Symmetriska laster

Det förefaller genomgående som att man har vinnlagt sig om en lätt taktäckning på dessa breda kyrkor, även om det inte kan uteslutas att valet av taktäckning haft rent estetiska eller ekonomiska motiv. Alla kyrkor utom Ryssby har idag en lätt täckning av kopparplåt på panel. Ryssby kyrka är täckt med skiffer sedan restaureringen 1947-51.⁵ Fem av de sju kyrktaken har ursprungligen varit täckta med spån.⁶ Tingsås kyrka var dock ursprungligen täckt av skiffer⁷ och Almundsryds kyrka var under en tid (1911-1957) täckt med tegel.⁸ Tabell 3.3 visar vilken belastning olika taktäckningar innebär. Vi kan notera att ett byte från spån till kopparplåt ger en likvärdig belastning av taket och att en täckning av skiffersten är nästan åtta gånger så tung som en täckning av kopparplåt.

Tabell 3.3 Tyngden av några olika taktäckningsmaterial.⁹

Material	Tyngd [kN/m ² sned takyta]
Koppar, dubbelfals, 0,6 mm	0,07
Takpanel av barrträ, 3 cm	0,15
Ekspån: 3 cm	0,23
Skiffer, dubbeltäckning	0,55
Taktegel, ofalsat	0,30
falsat	0,40
Takpannor, betong, falsade	0,40

Takstolarnas tyngd är av samma storleksordning som tyngden av taktäckning på varje takstol, tabell 3.4.¹⁰ Skillnader i delarnas dimensioner kan betyda en del för den totala lasten för de här stora bärverken. En hanbjälke med tvärsnittsmått som i Almundsryd är exempelvis 60 % tyngre än en med mått som i Urshult.

Tabell 3.4 Symmetriska laster på de sju bärverk som studerats i fält.¹¹ Värden per takstol.

Kyrka	Taktäck- ning [kN]	Takstol [kN]	Tyngd av valv [kN]	Total egen- tyngd [kN]	Snölast [kN]	Total last [kN]
Almundsryd	9,0	13,2	4,3	26,5	20,4	46,9
Berga	5,3	8,7	2,9	16,9	24,9	41,8
Hjortsberga	7,6	8,6	4,1	20,3	30,9	51,2
Härlunda	3,3	3,0	1,7	8,0	7,9	15,9
Ryssby	8,5	9,6	2,8	20,9	19,8	40,7
Tingsås	6,0	8,5	3,4	17,9	24,4	42,3
Urshult	6,8	10,7	3,7	21,2	27,8	49,0

De välvda *innertaken*, trävalven, är omkring hälften så tunga som taktäckningen om man bortser från olika former av isolering på

valvbrädorna, se tabell 3.4.¹² Trävalven saknar puts på undersidan. Ett putslager på två centimeter skulle göra innertaken mer än dubbelt så tunga. I Almundsryds kyrka har valvet tidigare varit belagt med puts, men den avlägsnades vid restaureringen 2001.

Lasten av *snö* är av samma storleksordning som tyngden av taktäckning, takstol och valv tillsammans, se tabell 3.4. Takets form och lutning avgör hur mycket snö som kan ansamlas på ett visst tak. En byggnad med en taklutning på 30° kan bli dubbelt så hårt belastad av snö som en byggnad med en taklutning på 45°. *Ingen* snö kommer att belasta en byggnad med taklutningen 60°. I den här gruppen kan Berga kyrka med en taklutning på 33° förutsättas bli hårdast belastad, medan Härlunda och Almundsryd båda har en lutning på 45° och blir minst belastade.

Antisymmetrisk last av vind

Skissen av Hjortsberga kyrkas takstol har fått definiera den yttre form som studeras och som avgör storleken på den antisymmetriska lasten.

Den antisymmetriska respektive symmetriska delen av lasten blir för Hjortsberga:¹³

$$w_a = 0,40 \text{ kN/m}$$

$$w_s = 0,13 \text{ kN/m}$$

Hur stor skulle belastningen bli för extremfall vad gäller förutsättningarna?

Om byggnaden istället:

- låg i Malmö eller Piteå?
- låg nära kusten eller i en tätort?
- var 25 meter hög eller endast 8 meter hög?
- hade en taklutning på 30° eller 60°?

Tabell 3.5 visar att det som får lasten att öka mest är en ökning av takvinkeln till 60°. Det skulle ge en antisymmetrisk last på 0,54 kN/m, det vill säga 35 % större antisymmetrisk last än på Hjortsberga kyrkas tak. Det som får lasten att minska mest är terrängtypen: för en kyrka omgiven av höga hus uppgår den antisymmetriska till lasten 0,24 kN/m, det vill säga 40 % mindre än för Hjortsberga kyrka.

Tabell 3.5. Vad olika variationer betyder för den antisymmetriska lastdelens storlek.

Parameter som varieras	Exempel	Antisymmetrisk lastdel w_a [kN/m]	Symmetrisk lastdel w_s [kN/m]
Ort	Malmö	0,48	0,17
	Piteå	0,31	0,11
Terrängtyp	Öppen terräng, till exempel kust (typ I)	0,47	0,17
	Tätortsbebyggelse med höga hus (typ IV)	0,24	0,08
Byggnadens höjd	25 meter	0,46	0,16
	8 meter	0,34	0,12
Taklutning	30°	0,33	0,05
	60°	0,54	0,31

3.5 Antaganden vid analyserna

Takstolars verkningsätt belyses genom tre olika analyser enligt kap. 2.2. Här redovisas de antaganden som gjorts vid analyserna och som utgår från den grupp av bärverk som beskrivits ovan i kap. 3.4.

3.5.1 Första analysen

Geometri: Variation av yttre form samt mittnittets inre stöd studeras.

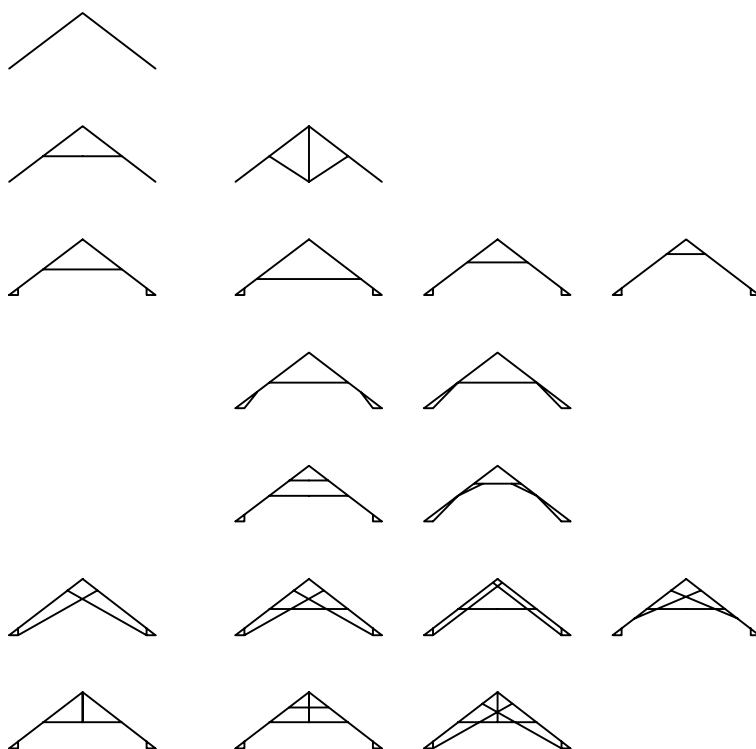
Laster och upplag: De tre uppgifterna från kap. 3.3 undersöks.

3.5.2 Andra analysen

Geometri

För att belysa betydelsen av delarnas placering, och för att svara på de konkreta frågor om form som den avgränsade bärverksgruppen gav upphov till, studeras i andra analysen arton olika takstolsformer, fig. 3.19. De är utvalda för att visa: funktionen hos "grunddelar" (sparrar, hanbjälkar, stödben och saxsparrar); variationer i dessas placeringar; betydelsen av saxsparrar jämfört med en övre hanbjälke; betydelsen av mittstycket samt Bergatypens verkningsätt.

För samtliga har förutsatts samma yttre form: bredd från sparrfot till sparrfot är 19,4 m och höjden till nock är 7,38 m. Måtten motsvarar dem för delarnas centrumlinjer i uppmätningsskissen av Hjortsberga kyrkas takstol.



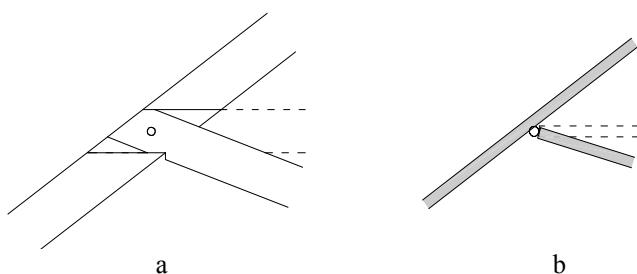
Figur 3.19 Arton olika former som har analyserats.

Delarnas dimensioner: Stickbjälkar: 19 x 19 cm.

Övriga delar: 15 x 17,5 cm.

Knutpunkter: De verkliga knutpunkterna har sannolikt små möjligheter att bygga upp någon momentstyvhet. Trä är veckt vinkelrätt fibrerna och delarna kommer sannolikt att deformeras vid en rotation, fig. 3.20a. Ofta finns dessutom glapp vilka tar bort möjligheten till överföring av moment.

Delarna antas därför vara ledat kopplade till varandra, fig. 3.20b. Inga moment kan överföras över leden. Delarna antas följa varandra stelt med avseende på translationer (rörelser horisontellt och vertikalt). Inre delar som korsar varandra är modellerade som kontinuerliga.

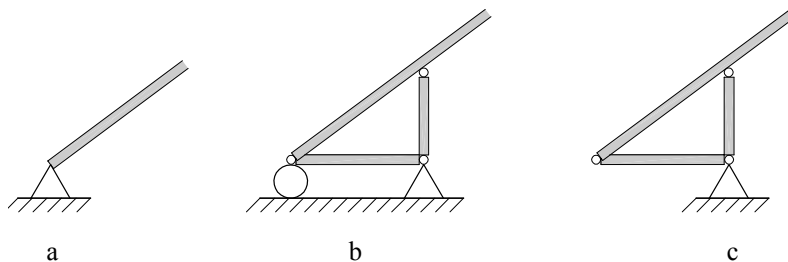


Figur 3.20 a) Överdriven deformationsfigur då den inre delen roterar i verklig knutpunkt. Den ena delen kan antas deformera den andra istället för att de följs åt vid en rotation eftersom trä är veckare vinkelrätt fiberriktningen än parallellt den. b) Symbolisk representation av antagen knutpunktsmodell.

Last: Takstolarna har analyserats för de tre uppgifter som definierats i kap. 3.3, det vill säga för grundlastfallen symmetrisk, vertikal, nedåtriktad och jämnt fördelad linjelast samt antisymmetrisk, jämnt fördelad linjelast som verkar vinkelrätt mot sparrarna. Storleken på den symmetriska lasten har satts till 0,24 kN/m. Storleken på den antisymmetriska lasten har satts till 0,40 kN/m.

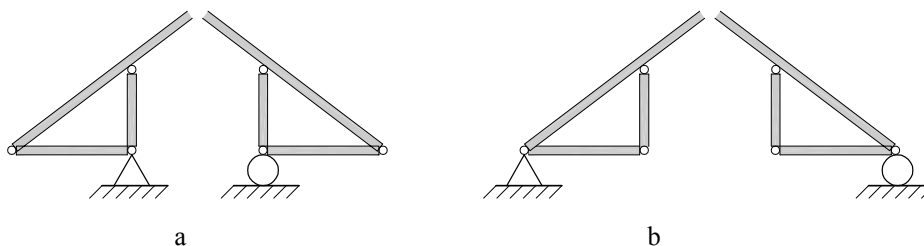
Den symmetriska lastens storlek motsvarar lasten av kopparplåt på träpanel vid ett avstånd mellan takstolarna på 1,1 meter. Den vardagliga lasten för en verklig takstol kan antas vara omkring tre gånger så stor. Om dessutom en extrem snöbelastning samtidigt verkar på taket kan lasten antas vara omkring fem till åtta gånger så stor. (Jämför tabell 3.5.) Den antisymmetriska lastens storlek motsvarar antisymmetrisk last på en kyrka med Hjortsberga kyrkas yttre form och läge, vid ett avstånd mellan takstolarna på 1,1 meter.

Upplag för uppgift 1: Upplagsmodeller enligt fig. 3.21 har använts. För takstolar med stickbjälke och stödben är modellen enligt fig. 3.21b ett normalfall. Om det efter en första analys visat sig att uppåtriktade krafter verkar i ett stöd har en ny modell gjorts där den vertikala låsningen släppts, fig. 3.21c. Takstolen tillåts således att lyfta i vertikal led från dessa stöd.



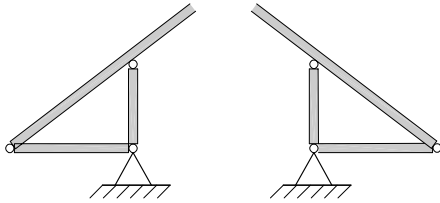
Figur 3.21 Modeller av upplagen för uppgift 1. (Högersidan likadan men spegelvänd.) a) och b) Normalfall. c) Modell som antagits då stickbjälken enligt en första analys vill lyfta.

Upplag för uppgift 2: Även här har takstolen antagits kunna lyfta. Beroende på var tendensen till lyftning har uppträtt har stöden modellerats enligt fig. 3.22. Figur 3.22a visar normalfallet. Endast en av modellerna har tagit stöd enligt fig. 3.22b.



Figur 3.22 Modeller av upplagen för uppgift 2. a) Normalfall. b) Upplag i ett fall då takstolen enligt en första analys vill lyfta från normalfallets stödpunkter.

Upplag för uppgift 3: Samtliga modeller tar stöd enligt fig. 3.23. Takstolarna har *inte* tillåtits att lyfta för detta lastfall (de skulle då bli instabila).¹⁴



Figur 3.23 Upplagsmodell för uppgift 3.

Material: Linjärelastiskt material. Elasticitetsmodul $E = 10\,500$ MPa.

Datorprogram: CALFEM (1999).

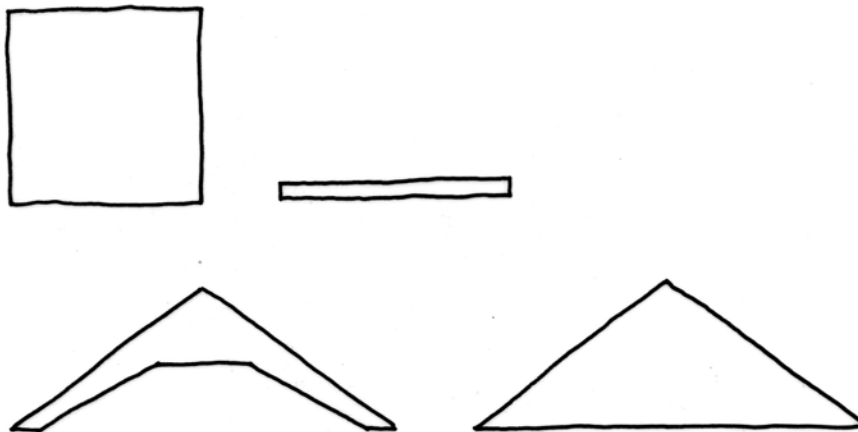
3.5.3 Tredje analysen

Geometri: Skivor enligt fig. 3.24.

Last och upplag: De tre uppgifterna från kapitel 3.3 beaktas.

Material: Ett linjärelastiskt isotropt referensmaterial har använts.

Datorprogram: I-deas (2005). ForcePad (2005).



Figur 3.24 Analyserade skivformer.

¹ Exempel: Snözon 1,5 (som de studerade kyrkorna). Sadeltak 30° lutning ger formfaktorer: $\mu_1 = 0,8$ och $\mu_2 = 1,1$. Snölast på ena takfallet: $s_1 = 0,8 \times 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$. På andra takfallet: $s_2 = 1,1 \times 1,5 = 1,65 \text{ kN/m}^2$. Symmetrisk lastdel $s_s = (s_1 + s_2)/2 = 1,42 \text{ kN/m}^2$, antisymmetrisk lastdel $s_a = (s_2 - s_1)/2 = 0,22 \text{ kN/m}^2$. Den antisymmetriska snölastdelen utgör då 15 % av den symmetriska. I verkliga fall förekommer snölasten alltid i kombination med den symmetriska lasten av egentyngd. Den antisymmetriska delen i en sådan lastkombination blir ännu mycket mindre.

² Sadeltakets yttre form förutsätts.

³ De gäller inte de långa inre stödbenen i Hjortsberga och Tingsås. De är spikade mot sparrarna.

⁴ Förutom den undersökning som kunde göras på plats studerades uppmättningsritningar i ATA:s arkiv. För Almundryd kyrka saknas dock uppmättningsritning.

⁵ Även där skulle man ha lagt ett lätt koppartak, men av en skrivelse från arkitekt Hans Lindén vid Länsarkitektkontoret i Växjö till Kungliga Byggnadsstyrelsen i februari 1949 framgår att man tvingats frångå det fastslagna förslaget för att: "Arbetsmarknadsstyrelsen bestämt motsätter sig användningen av kopparplåt som taktäckningsmaterial". Skrivelse daterad 17 februari 1949. ATA:s arkivmaterial rörande Ryssby kyrka.

⁶ Se respektive kyrka i *Kyrkobyggnader 1760 - 1860: Del 2*(1993).

⁷ *Kyrkobyggnader 1760 - 1860: Del 2*(1993), s. 307.

⁸ Se Appendix 2.

⁹ Uppgifter om kopparplåt, tegel- och betongpannor från Paulsson m.fl. (1993), s. 6.

Tyngden av takpanel och ekspån baseras på en densitet för eksträ på $7,5 \text{ N/m}^3$ och barrträ på $5,0 \text{ kN/m}^3$.

¹⁰ Tyngden beräknad med hjälp av uppmätta dimensioner och en densitet på 5 kN/m^3 .

¹¹ Snölasten beräknade enligt *Snö- och vindlast* (1994). Alla de bärverk som ingår i den här studien finns inom samma så kallade snözon. Snölastens grundvärde, det vill säga snölasten på plan mark uppgår i detta område till $1,5 \text{ kN/m}^2$. För bärverk i fjällvärden räknar man med ett 2,7 gånger högre värde. För de sydligaste delarna av Sverige och på västkusten är grundvärdet 0,7 gånger det här antagna.

¹² Brädorna är 3 centimeter tjocka. Densiteten har antagits vara 5 kN/m^3 .

¹³ Förutsättningar: $\alpha = 37^\circ$, ort: Alvesta, byggnadens höjd: 14,5 meter, öppen terräng med små hinder, centrumavstånd takstolar 1,1 m. Detta ger enligt *Snö- och vindlast* (1994):

$w_{klo} = 0,53 \text{ kN/m}$ tryck, $w_{klä} = 0,26 \text{ kN/m}$ sug. Den antisymmetriska respektive symmetriska delen av lasten beräknas som: $w_a = (w_{klo} + w_{klä})/2$ och $w_s = (w_{klo} - w_{klä})/2$.

¹⁴ De verkliga takstolarna är alltid belastade av egentyngd samtidigt med vindlasten. De är därmed förhindrade att blåsa av kyrkobyggnaden, trots att takstolarna inte förankrats i muren.

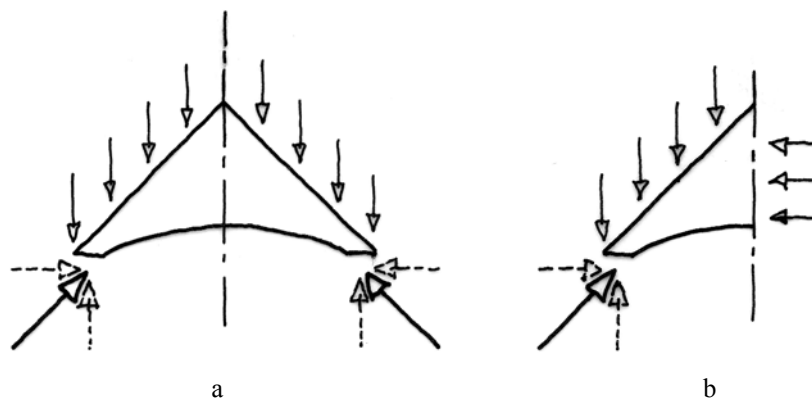
4. FÖRSTA ANALYSEN GER ÖVERGRIPANDE VERKNINGSSÄTT

I det här kapitlet studeras takstolars verkningsätt i stort – det övergripande verkningsättet. Jämviktsbetraktelser används för att resonera kring vilken karaktär kraftspelet får till följd av en uppgift (kombination av last och stöd). Att känna kraftspelets karaktär är en hjälp när det gäller att förstå vilka takstolsformer som är rationella för respektive uppgift.

De tre uppgifter som definieras i kapitel 3.3 har studerats: att bära symmetrisk last då horisontellt stöd från underlaget finns; att bära symmetrisk last då horisontellt stöd från underlaget saknas och att bära antisymmetrisk last då såväl horisontellt som vertikalt stöd finns.

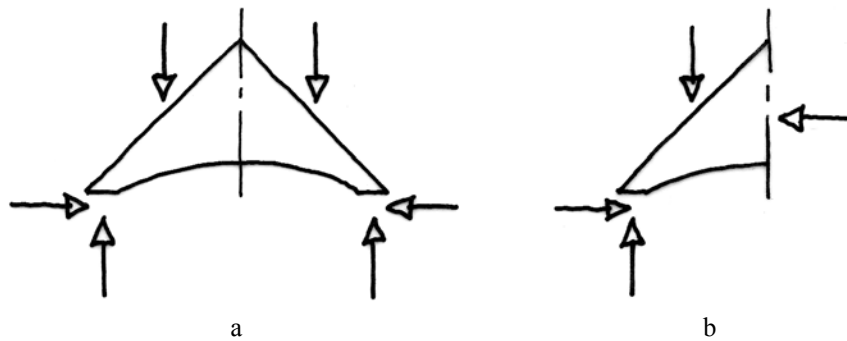
4.1 Uppgift 1: Symmetrisk last, horisontellt stöd finns

Figur 4.1a symboliserar en takstol och de krafter som verkar på den. Takstolen är symmetrisk men dess inre struktur i övrigt är obekant. I fig. 4.1b tänker vi oss att vi kan betrakta halva takstolen och de krafter som verkar på den. I mittsnittet kan ett antal horisontella krafter verka. Symmetrin hos bärverket och lasten medför att inga vertikala krafter verkar i mittsnittet (se kap. 2.5.6).¹



Figur 4.1 Krafter på takstol och takstolshalva.

I fig. 4.2a visas samma takstol, men nu är figuren förenklad. Lasten som är jämnt fördelad på taket är här symboliserad av två punktlaster. En sådan förenkling påverkar inte jämviktsbetraktelsen. Krafterna mot takstolen från underlaget har delats upp i sina horisontella och vertikala komponenter. I fig. 4.2b representeras de okända snittkrafterna i mittsnittet av deras resultant, den kraft som vid jämviktsbetraktelsen ger samma verkan som alla de okända krafterna tillsammans.²



Figur 4.2 Förenklad bild av krafter på takstol och takstolshalva.

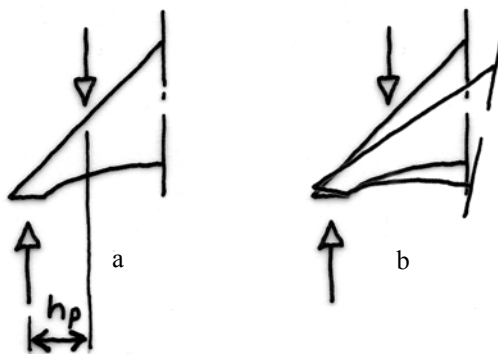
Det finns tre villkor som måste vara uppfyllda för att en tvådimensionell struktur ska vara i jämvikt. Alla krafter i vertikal led måste balansera varandra, alla krafter i horisontell led måste balansera varandra och alla krafterns roterande verkan måste balansera varandra.

Betrakta nu den halva takstolen i fig. 4.2b.

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 mittnittet måste vara lika stora och motriktade.

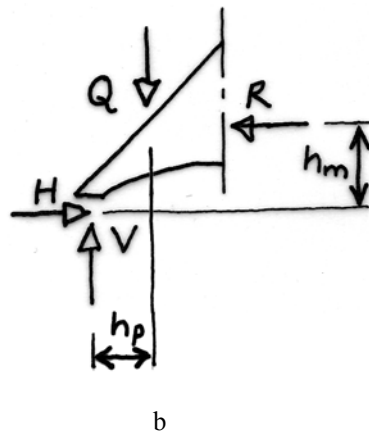
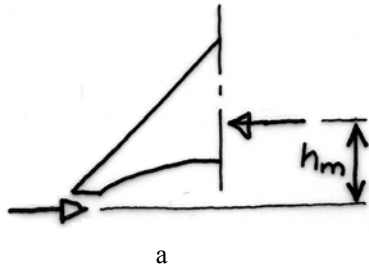
Vad gäller den *roterande verkan* så ser vi att lasten tillsammans med den vertikala upplagsreaktionen verkar för att rotera takstolshalvan medurs. Det beror på att de har ett inbördes avstånd, en hävarm. Lasten och upplagsreaktionen utövar ett *pådrivande moment* och det horisontella avståndet mellan dem utgör *hävarmen för det pådrivande momentet*, h_p , fig. 4.3a.



Figur 4.3 Hävarmen för det pådrivande momentet, h_p .

För att inte takstolshalvan ska rotera som fig. 4.3b antyder krävs att den horisontella upplagsreaktionen och den horisontella kraften i mittnittet håller emot med ett lika stort men motriktat *mothållande moment*. Vi ser nu att för att en takstol ska kunna vara i jämvikt så *krävs* att de horisontella

krafterna är riktade så att de verkar för att rotera takstolshalvan moturs. Resultanten till alla horisontella krafter i mittsnittet måste verka med ett horisontellt *tryck* mot takstolshalvan. Upplagen håller emot och bärverkshalvan blir tryckt mellan dessa båda krafter. De horisontella krafternas inbördes avstånd benämns fortsättningsvis *hävarmen för det mothållande momentet*, h_m , fig. 4.4a.



$$\begin{aligned} \rightarrow: H - R &= 0 \\ \uparrow: V - Q &= 0 \\ \text{Momentjämvikt kring stödpunkten:} \\ \curvearrowright: Q \cdot h_p - R \cdot h_m &= 0 \end{aligned}$$

Vi får: $R = H$ och

$$H = \frac{Q \cdot h_p}{h_m} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

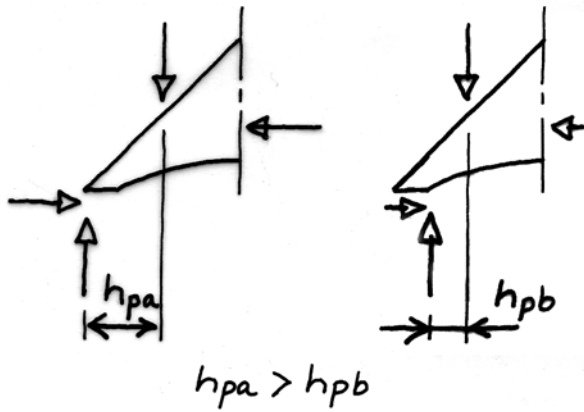
Figur 4.4 a) Hävarmen för det mothållande momentet, h_m . b) Krafter och hävarmar för halvt bärverk. H blir liten om: Q är liten, h_p är liten, h_m är stor.

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 bli. Horisontalkrafternas storlek styrs enligt uttrycket (4.1), fig. 4.4 av:

- A. Det pådrivande momentets storlek ($Q \cdot h_p$).
- B. Storleken på hävarmen för det mothållande momentet (h_m).

A. Ju mindre *det pådrivande momentet* är, desto mindre horisontella krafter behövs för att hålla emot detta moment och desto mindre blir således uttryckningskrafterna. Det pådrivande momentet blir mindre ju mindre *lasten* är, men också ju mindre dess *hävarm* är.

Takstolens *inre* form påverkar hävarmen: i takstolsformer som tar stöd långt in på väggen blir hävarmen mindre, fig. 4.5.

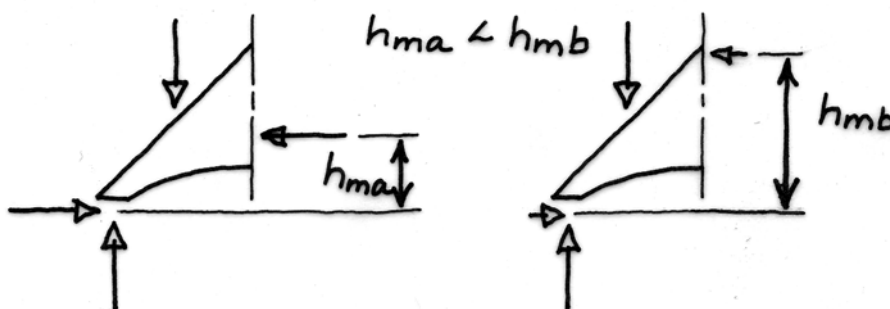


Figur 4.5 a) Hävarmen för det pådrivande momentet är större – uttryckningskraften blir större. b) Hävarmen för det pådrivande momentet är mindre – uttryckningskraften blir mindre.

Om takstolen tar stöd i flera punkter är det läget för de vertikala upplagsreaktionernas *resultant* som definierar hävarmen för det pådrivande momentet. Det är då bättre ju mer takstolen tar stöd på sin innersta stödpunkt. Stödben och saxsparrar kan föra ned last på insidan av en vägg och minska hävarmen för det pådrivande momentet och alltså minska uttryckningskrafterna.

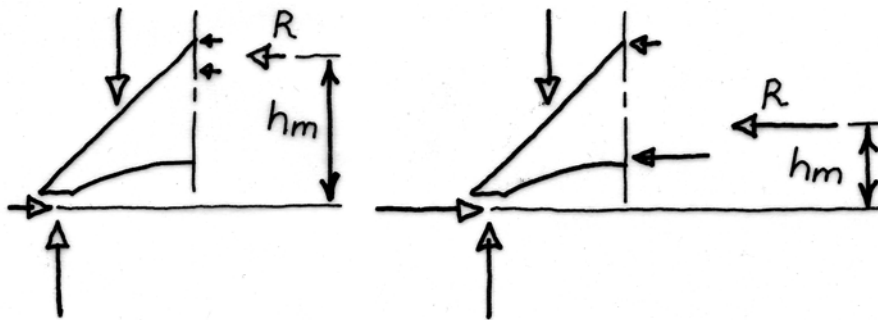
Den *yttre* formen har också betydelse: ett bärverk med mindre spännvidd ger en mindre hävarm för det pådrivande momentet. Dessutom blir den totala lasten mindre.

B. Ju större *hävarmen för det mothållande momentet* är, desto mindre behöver de horisontella krafterna vara för att hålla bärverket i jämvikt, fig. 4.6.



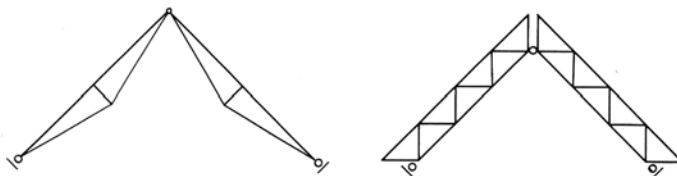
Figur 4.6 a) Hävarmen för det mothållande momentet är liten – uttryckningskraften blir större. b) Hävarmen för det mothållande momentet är stor – uttryckningskraften blir mindre.

Var den resulterande kraften i mittsnittet hamnar beror på hur kraftöverföringen sker inom takstolen, hur trycket fördelas på takstolens olika delar, fig. 4.7.



Figur 4.7 Den resulterande kraften i mittsnittet hamnar olika högt i olika takstolar. Därmed blir uttryckningskrafterna också olika stora.

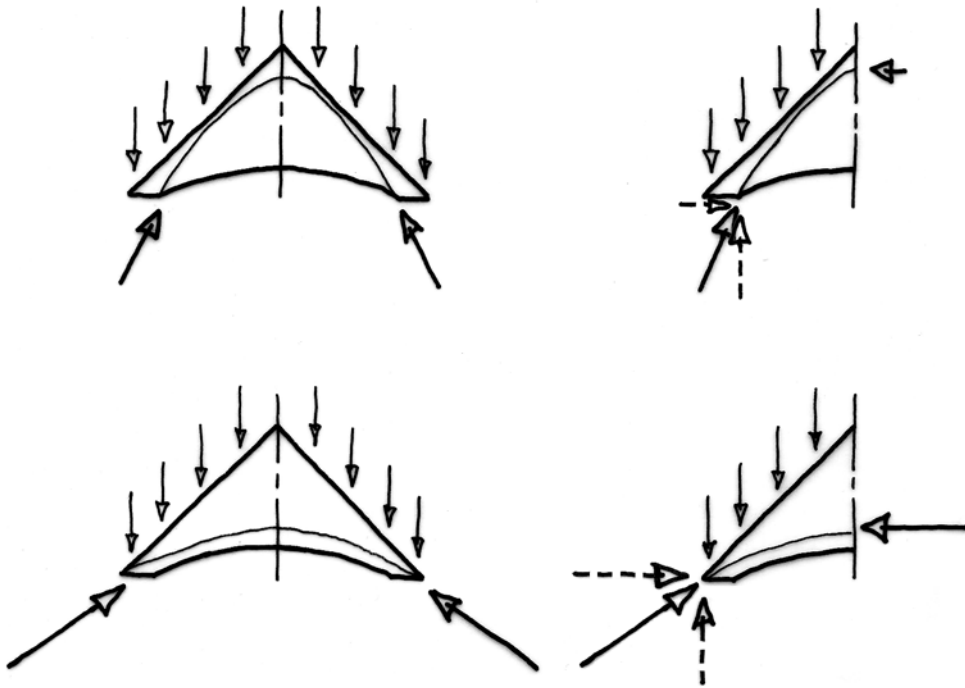
Det är på sparrarna som den yttre lasten verkar. Trycket i de inre delarna skapas då sparrarna tar stöd mot dem. Vilka krafter som uppstår i takstolars delar behandlas utförligt i kapitel 5. I det här sammanhanget kan vi tills vidare konstatera att det bästa för att minimera uttryckningskrafterna är om sparrarna endast tar stöd mot upplagen och i nocken. Takstolar som tvingar kraftspelet till nocken är inte förknippade med det förindustriella träbygandet utan snarare med yngre tekniker och material (jfr. fig. 4.8).



Figur 4.8 Bärverksformer som ger minimala uttryckningskrafter. Ur Herzog m.fl., s. 188 och 190.

Bärverkets *yttre* form har också betydelse för hävarmen för det mothållande momentet: en hög takstol har förutsättningar att ge mindre uttryckningskrafter än en låg takstol.

För den last och de upplag som studeras här – jämnt fördelad last och oeftergivliga stöd – är en parabelformad båge en ideal konstruktionsform. En sådan form kan bära lasten till upplagen som rent tryck, vilket är förenat med små deformationer och låg belastning i materialet.³ Till varje takstolsform kan associeras en specifik, ideal bågeform som visuellt åskådliggör takstolens hävarmar. Bågens geometri är given av var takstolen tar stöd mot upplagen och var halvorna tar (resulterande) stöd i mittsnittet. En takstolsform som tar stöd på ett sådant sätt att den ideala bågeformen är *hög och smal* ger mindre uttryckningskrafter än en takstolsform som ger en ideal bågeform som är *låg och bred*, fig. 4.9.



Figur 4.9 Stödet från underlaget gör att lasten övergripande kan bäras som tryck. Uttryckningskrafterna beror av var tryckkrafterna överförs i bärverket. Om kraftspelet kan beskriva en hög smal bågform så blir uttryckningskrafterna mindre.

Att bärverket kan ta stöd i horisontell led mot underlaget och bära lasten huvudsakligen genom *tryck* är av stor betydelse. Att bära genom tryck är positivt jämfört med verkningssätt som ger *dragning* i delarna. Om en knutpunkt dras isär kan det få stora konsekvenser: en takstolsdel kan kopplas ur helt och hållet. Tryckbrott däremot är inga egentliga brott utan innebär att träet deformerar.

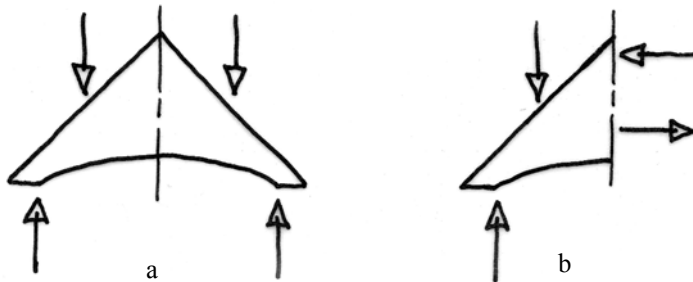
Sammanfattning

Finns det två oeftergivliga stöd så innebär det att bärverket tar spjärm mot stöden och bär lasten genom tryck i bärverket som helhet, ett globalt tryck.

Uttryckningskrafternas storlek påverkas av *var* inom den givna yttre formen trycket överförs. Om kraftspelet i stort beskriver en hög, smal bågform blir de uttryckande krafterna mindre (fig. 4.9 överst). Om det beskriver en låg, flack bågform blir de uttryckande krafterna större (fig. 4.9 nederst). Den yttre formen, bärverkets höjd och bredd, utgör förutsättningar för hurdana kraftspel som kan utvecklas. Vilka vägar trycket faktiskt kommer att ta och hur renodlat tryckt bärverket blir, beror på dess inre form och behandlas i kapitel 5.

4.2 Uppgift 2: Symmetrisk last, horisontellt stöd saknas

Vi ska som ovan se vilka krafter som verkar på en halv takstol i jämvikt. Bärverket förutsätts vara symmetriskt och inga vertikala krafter verkar i mittsnittet.⁴ Den jämnt fördelade lasten representeras av en lastresultant på vardera takfallet.



Figur 4.10 Då horisontellt stöd saknas måste det pådrivande momentet balanseras av ett inre mothållande moment. Detta inre moment består av en nedre dragkraft och en övre tryckkraft i symmetrisnittet.

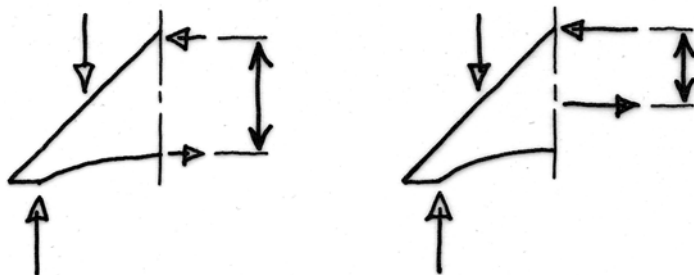
Vertikal jämvikt för takstolshalvan i figur 4.10b kräver att det finns en uppåtriktad vertikal reaktionskraft som är lika stor som lasten.

Horisontell jämvikt kräver att alla krafter i mittsnittet tar ut varandra. Finns det tryckande krafter i mittsnittet måste där finnas lika stora dragande krafter, eftersom inga andra horisontella krafter verkar på takstolen.

Lasten och den vertikala upplagsreaktionen verkar för att rotera takstolshalvan, de utövar ett *pådrivande moment*. (Jfr. fig. 4.3.) För att takstolshalvan ska vara i jämvikt krävs att krafterna i mittsnittet är riktade på ett sådant sätt att de håller emot det pådrivande momentet. När ingen yttre horisontell kraft finns måste det mothållande momentet helt och hållet åstadkommas *inom* bärverket. Takstolen måste i mittsnittet bära lasten genom ett *inre mothållande moment*. De horisontella krafterna i mittsnittet måste därför vara riktade som i fig. 4.10b. Det måste finnas en resulterande dragkraft nedtill och en resulterande tryckkraft upptill i bärverket.

Upplagsvillkoren för denna uppgift innebär således att dragning i bärverkets delar inte kan undvikas. Knutpunkter som förbinder inre delar med varandra eller med sparrarna kommer att bli dragbelastade. Verknings sättet är därför olyckligt för konstruktioner med hophuggningar svaga för långvarig dragbelastning.

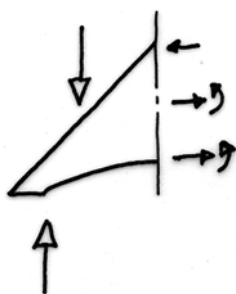
Ju större *hävarmen* för *det inre mothållande momentet* är, desto mindre kraft krävs för att åstadkomma det erforderliga momentet, fig. 4.11. Placeringen av takstolarnas delar styr vilken väg drag- och tryckkrafter kan och kommer att ta.



Figur 4.11 En stor hävarm för det inre momentet innebär att krafterna i bärverket blir mindre.

I takstolar med bara en hanbjälke blir kraftspelet tydligt; bärverket är statiskt bestämt och kan bara bära lasten på ett sätt. Hanbjälken måste bära i dragning och sparran måste bära i tryck. I en sådan takstol gäller att en lågt placerad hanbjälke blir mindre dragbelastad än en högt placerad hanbjälke (då takstolen saknar horisontellt stöd).

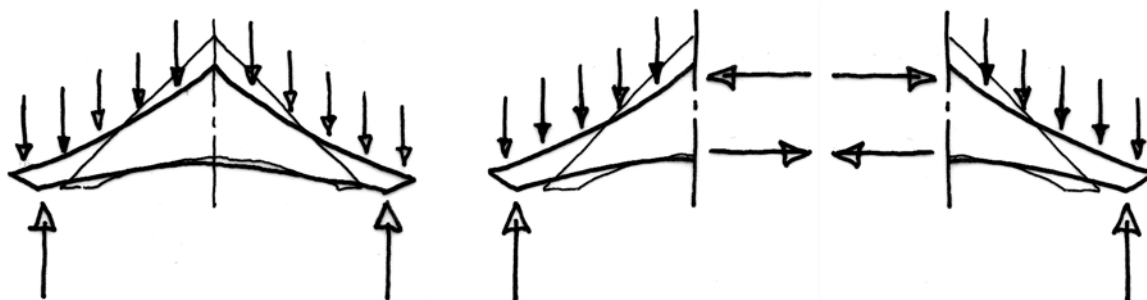
I mer komplexa takstolar kan de inre delarna belasta varandra då bärverket glider isär under belastningen. Inre delar kan därmed bli utsatta för böjning. (Takstolar med såväl hanbjälkar som saxsparrar är exempel på en sådan form.) Det inre mothållande momentet bärs då delvis av *lokal* böjning i de enskilda delarna, fig. 4.12. För sådana former är det inte möjligt att avgöra hur delarnas placering påverkar dragkrafternas storlek bara genom jämviktsbetraktelser. Ju mer av bärningen som sker genom böjning i delarna, desto mindre behöver bäras som drag- och tryckkrafter. Bärningen genom böjning kan således ge mindre dragkrafter i knutpunkterna, men kan samtidigt vara problematisk eftersom den är förknippad med stora deformationer och stor ansträngning i materialet. Fördelningen på böjning å ena sidan och dragning och tryck å andra sidan följer av hur styva takstolsdelarna är. I kapitel 5 studeras hur enskilda delar i en takstol påverkar verkningssättet.



Figur 4.12 Det inre momentet kan också bäras delvis genom böjning i delarna.

Sammanfattning

Att bära last då horisontellt stöd från underlaget *saknas* utgör en helt annan uppgift än att bära last då horisontellt stöd *finns*. Då horisontellt stöd helt saknas kan takstolen inte ta spjörn mot underlaget i sidled för att bära sin last genom tryck. För att bärverket ska kunna finna jämvikt måste ett inre mothållande moment utvecklas, vilket innebär att dragning uppstår i någon eller några av bärverkets nedre delar, fig. 4.13. Bärverk hopfogade med timmermansförband, svaga för permanent dragbelastning, är inte ämnade för denna uppgift.

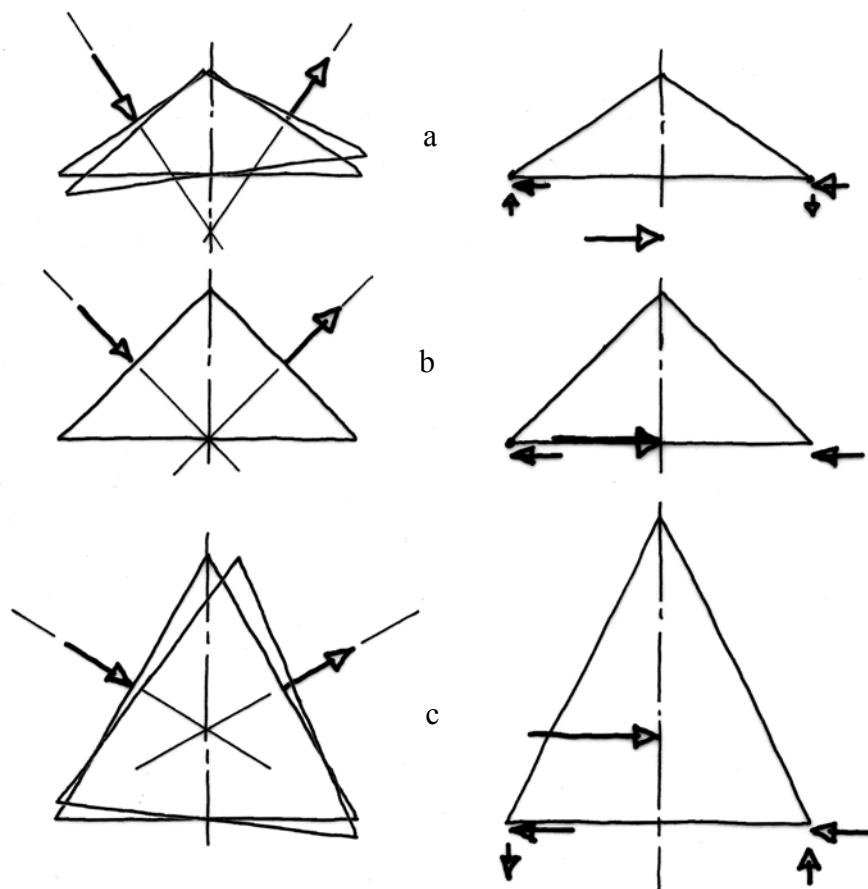


Figur 4.13 Bärverket bär genom ett inre moment

4.3 Uppgift 3: Antisymmetrisk last

Vi ska här först betrakta *hela*, symmetriska bärverk och kommentera riktning och storlek på upplagsreaktionerna. Sedan ska vi gå över till att betrakta *halva* bärverk och de krafter som håller dem i jämvikt.

De vertikala upplagsreaktionerna har vid antisymmetrisk last olika *riktning* beroende på taklutningen. Lasten verkar vinkelrätt takytorna och dess resulterande verkan beror av taklutningen. Lasten verkar för att rotera ett tak med lutning mindre än 45° mot vindriktningen; och ett tak med lutning större än 45° i vindriktningen, fig. 4.14. De vertikala upplagsreaktionerna håller emot denna roterande verkan. På den ena sidan krävs således en uppåtriktad, stödjande kraft medan det på den andra sidan krävs en nedåtriktad, förankrande kraft.



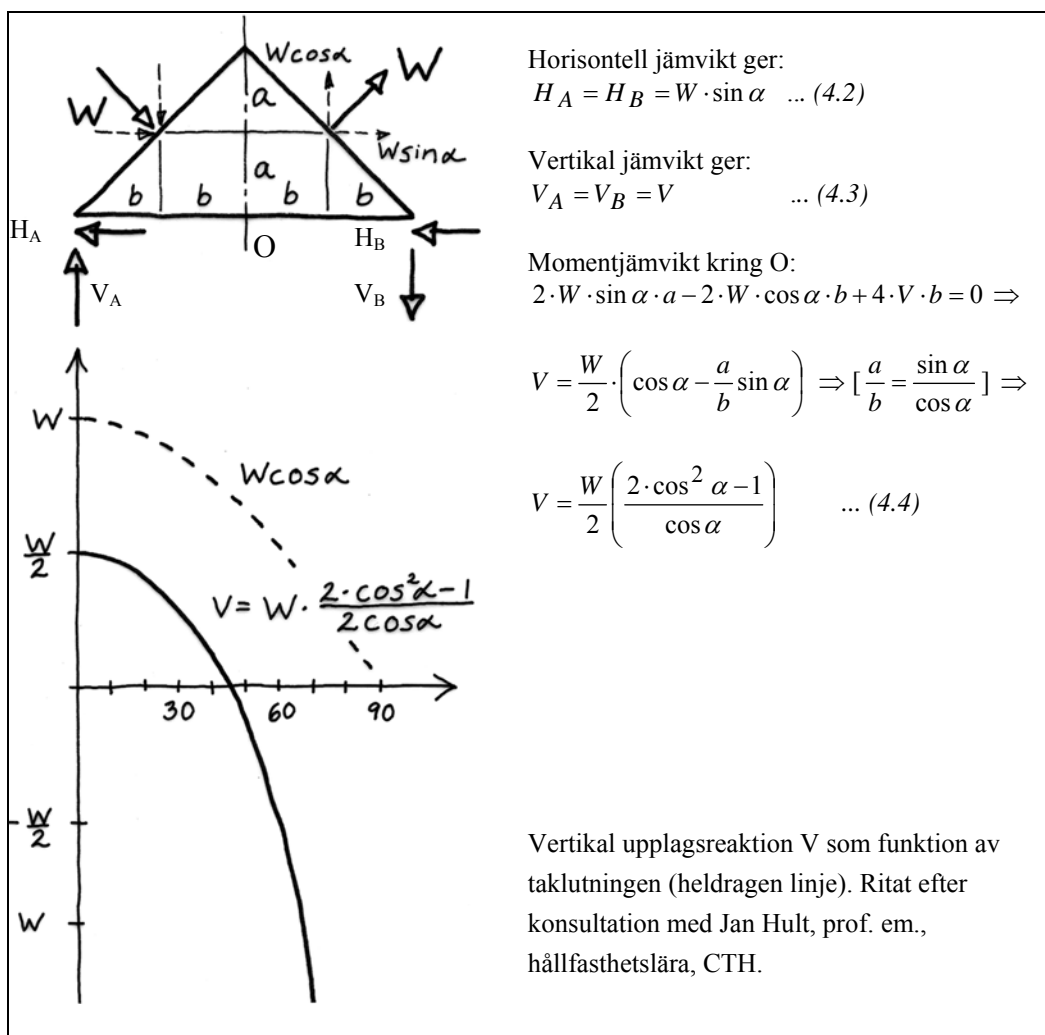
Figur 4.14 De vertikala upplagsreaktionernas riktning beror av taklutningen. Lastresultanterna på vardera takfallet (vänster kolumn) kan ersättas med *en* resulterande kraft (höger kolumn). Resultantens läge avgör rotationens riktning. De vertikala upplagsreaktionerna måste motverka rotationen för att takstolen ska kunna förbli i jämvikt.

- $\alpha < 45^\circ$ Vertikala upplagsreaktionerna verkar medurs.
- $\alpha = 45^\circ$ Vertikala upplagsreaktionerna är lika med noll.
- $\alpha > 45^\circ$ Vertikala upplagsreaktionerna verkar moturs.

Verkliga, gamla takkonstruktioner står ofta ovanpå kyrkobyggnaden utan att vara förankrade för lyftande krafter. Att de ändå inte blåser av beror på att takets tyngd är stor. Det förekommer dock att medeltida, mycket branta tak är inmurade i kyrkans väggar och därmed förankrade mot lyftande krafter.⁵

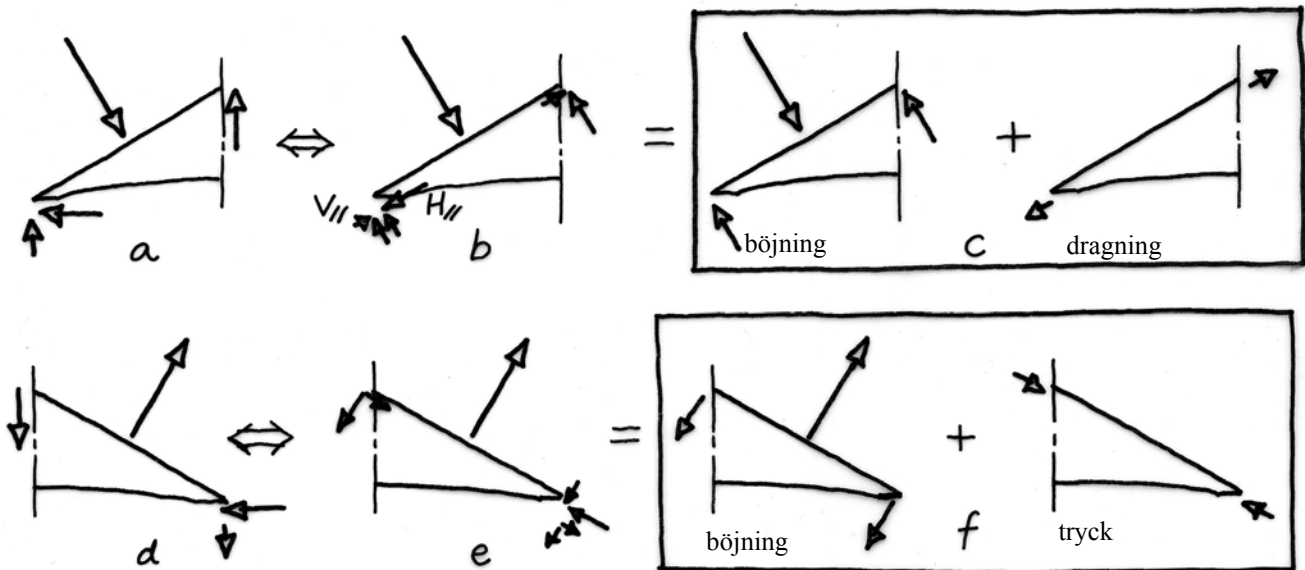
De horisontella upplagsreaktionernas storlek erhålls med hjälp av villkoret att takstolen ska vara i horisontell jämvikt. Se (4.2) i fig. 4.15. De vertikala upplagsreaktionernas storlek erhålls ur villkoren att takstolen ska vara i vertikal jämvikt och även i jämvikt mot rotation enligt (4.3) och (4.4) i figur 4.15. Storleken som funktion av taklutningen framgår av den heldragna linjen i diagrammet i samma figur.

Vi kan notera dels att de vertikala upplagsreaktionerna byter tecken vid 45°, dels att de ökar med ökande taklutning. För de extremt branta taken, med en lutning på över 60°, växer de vertikala upplagsreaktionerna snabbt i storlek. För mycket branta tak kan man förvänta sig att takets egentyngd inte är tillräckligt för att förhindra att taket lyfter vid stark vind. Det kommer att krävas någon form av förankring, som i de medeltida tak som redan nämnts ovan.



Figur 4.15 Antisymmetrisk last och upplagsreaktioner för en takstol med okänt inre.

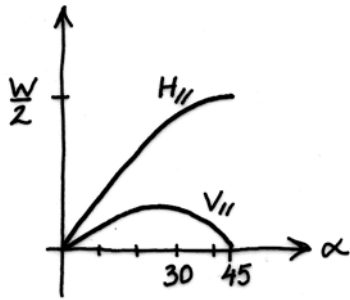
Vi ska nu betrakta en *halv* takstol och de krafter som håller den i jämvikt. Takstolen förutsätts ha en *taklutning som är mindre än 45°*, fig. 4.16. Det gäller generellt vid antisymmetrisk last att inga horisontella krafter eller moment verkar i mittsnittet av ett symmetriskt bärverk (kap. 2.5.6). Vi bortser här från den inre formen och hur de vertikala krafterna fördelas på olika delar i mittsnittet. Krafterna i mittsnittet är representerade av den resulterande kraften.



Figur 4.16 Krafter på takstolshalvor belastade med antisymmetrisk last. a) - c) Vänster halva. d) - f) Höger halva.

Den vertikala *upplagsreaktionen* på lovartsidan är riktad uppåt i fig. 4.16a eftersom taklutningen är mindre än 45°. Den är mindre än den nedåtriktade vertikala lastdelen (se diagrammet i fig. 4.15 där den vertikala lastdelen på ena takhalvan representeras av den streckade linjen). För att takstolshalvan i fig. 4.16a ska kunna finna vertikal jämvikt måste därför resultanten i mittsnittet vara riktad uppåt.

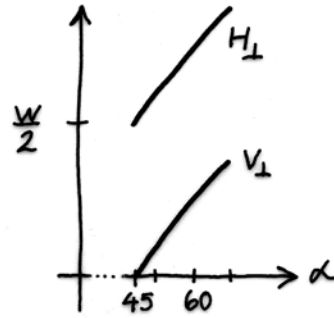
Genom att dela upp krafterna på takstolshalvan i sina komponenter längs och vinkelrätt takytan som i fig. 4.16b-c får vi en bild av vad den här lasten innebär för takstolen: lovartsidans takstolshalva blir utsatt för böjning och dragning. Vi utnyttjar därvid att $H_{||} > V_{||}$, se fig. 4.17. På motsvarande sätt kan läsidans takstolshalva studeras, fig. 4.16d-f. Den blir utsatt för böjning och tryck.



Figur 4.17 $H_{||} > V_{||}$

$$H_{||} = H \cos \alpha = W \sin \alpha \cos \alpha$$

$$V_{||} = V \sin \alpha = \frac{W}{2} (2 \cos^2 \alpha - 1) \tan \alpha$$

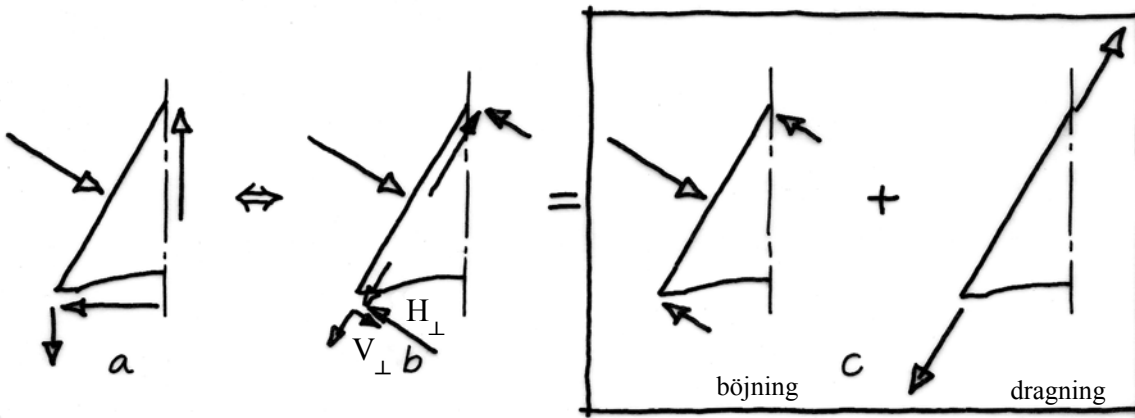


Figur 4.19 $H_{\perp} > V_{\perp}$

$$H_{\perp} = H \sin \alpha = W \sin^2 \alpha$$

$$V_{\perp} = V \cos \alpha = W/2 (2 \cos^2 \alpha - 1)$$

En jämviktsbetraktelse för en takstol med *taklutning större än 45°* visar att det principiella verkningssättet blir detsamma som för ett flackare tak, fig. 4.18. (Lovartsidans halva visas, betraktelsen av läsidan lämnas åt läsaren.) Vi utnyttjar därvid att $H_{\perp} > V_{\perp}$, fig. 4.19.



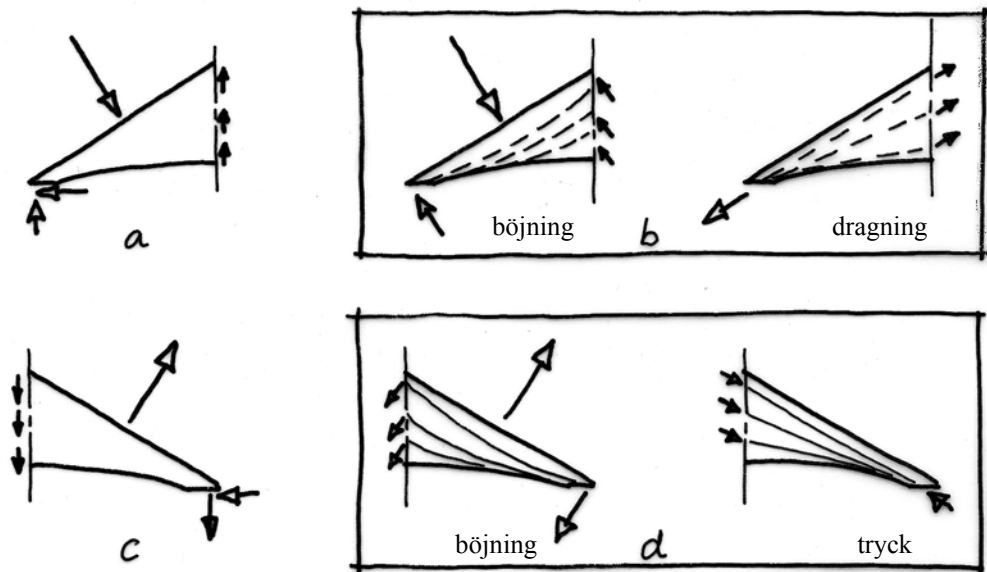
Figur 4.18 Krafter på en takstolshalva då taket är brantare än 45°.

En lutning på *exakt 45°* innebär att *inga* vertikala upplagsreaktioner behövs för att hålla bärverket i jämvikt. Takstolens halvor blir belastade på samma principiella sätt som för de andra lutningarna.

Av figur 4.16 och 4.18 framgår att den yttre formen påverkar hur stor böjbelastningen i bärverket blir i förhållande till den axiella belastningen: för ett brant tak blir böjningen i bärverkshalvan mindre och den axiella belastningen större.

Vi har här betraktat de *resulterande* krafterna i mittsnittet och ritat dem som om de angrep i nocken. I själva verket är takstolarnas halvor ofta hopfogade i fler punkter på mitten och takstolshalvan får vertikalt stöd i flera punkter. I fall då alla vertikala krafter i mittsnittet är riktade uppåt som i fig. 4.20a

(resp. nedåt som i fig. 4.20c) uppträder ett kryssformat mönster av dragning och tryck i bärverket.



Figur 4.20 Krafterna i mittsnittet kan tas upp av flera delar.

Samtidigt blir takstolens halvor således utsatta för böjning. Saxsparrar kan skapa styva stöd för sparrarna, så böjningen i takstolshalvan inte behöver tas av sparrarna ensamma. Takstolar med saxsparrar blir också mycket styva för det här lastfallet.

Sammanfattning

Vid antisymmetrisk belastning blir bärverkets ena halva utsatt för böjning och dragning och dess andra halva utsatt för böjning och tryck. Takstolsformer där halvorna kan bilda styva balkar för att bära böjbelastningen, är styva och starka. Dragkrafter uppstår i delar och deras knutpunkter, men uppgiften motsvaras av kortvarig belastning av vind, varför dragkrafterna är kortvariga.

¹ Lokala böjmoment kan finnas i delar som skär mittsnittet, men påverkar inte resonemangen om global jämvikt.

² Den sammanlagda kraften i mittsnittet *antas* tills vidare trycka mot takstolshalvan som figur 3.2d visar. Vi ska snart se att kraften *måste* vara riktad så.

³ Se ex.vis Sandaker – Eggen (1989), s. 153.

⁴ Se kap 2.5.6.

⁵ Storsletten – Sjömar (1993), s. 45.

5. ANDRA ANALYSEN GER KRAFTSPEL

Medan föregående kapitel behandlade verkningssättet i stort, så visar detta kapitel hur takstolens verkningssätt påverkas av de inre delarnas organisation. Vilka kraftspel uppträder för var och en av de tre uppgifter som definierats i kap. 3.3? Det vill säga för: 1) symmetrisk last då horisontellt stöd finns, 2) symmetrisk last då horisontellt stöd saknas och 3) antisymmetrisk last. Genom snittkraftsdiagram och deformationsfigurer kan olika utformningar jämföras och värderas.

5.1 Resultatens organisation kring uppgifter och formfrågor

Arton olika takstolsmodeller har analyserats. Förutsättningarna för beräkningarna vad gäller form, material och last redovisas i kap. 3.5.2. Resultaten redovisas i två olika delar: kapitel 5.2 *Tre uppgifter* och kapitel 5.3 *Six formfrågor* (se fig. 5.1).

- *Tre uppgifter* (kap. 5.2). Här redovisas resultaten för ett *fåtal* takstolsutformningar. I kapitlet visas hur olika takstolsutformningar möter olika uppgifter. Modeller har valts ut som tydligt visar hur formen påverkar bärverkets styvhet och styrka för respektive uppgift.

- *Six formfrågor* (kap. 5.3). Här redovisas resultaten för ett större antal takstolsmodeller. Kapitlet ger svar på de konkreta frågor om formens betydelse som rests i kap. 3.4. Sex frågor behandlas, under var sin rubrik:

1. Vad betyder *hanbjälkens placering*?
2. Vad betyder *stödbenens placering*?
3. Hur fungerar *Bergatypen*?
4. *Saxsparrar eller övre hanbjälke*?
5. Vad betyder *saxsparrarnas placering*?
6. Vad betyder *mittstycket*?

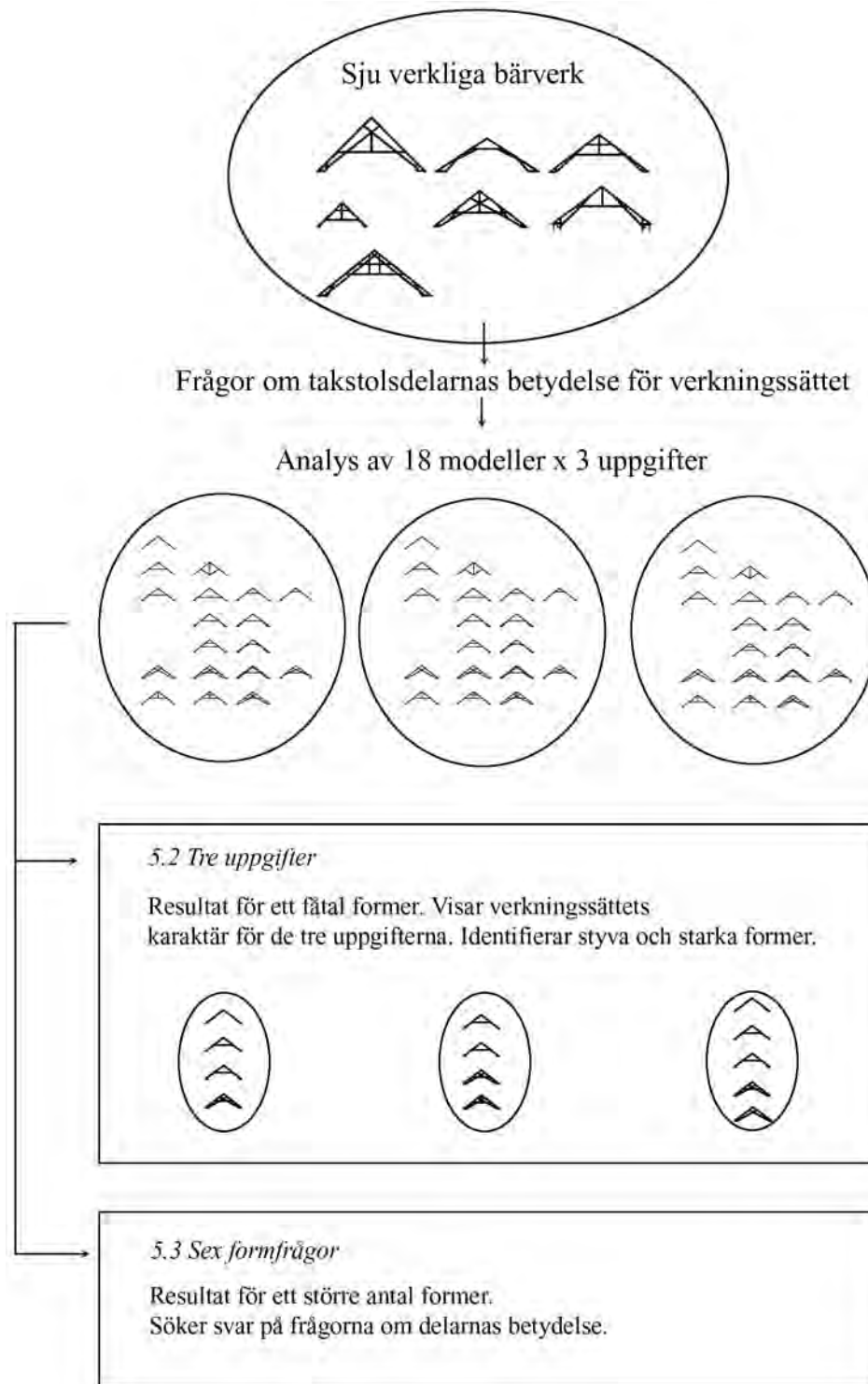
Varje formfråga har ställts tre gånger och besvaras under tre underrubriker:

Att bära som en båge

Att bära genom dragning och tryck

Att bära som två balkar

I kapitel 5.4 kommenteras sedan hur några formvariabler vid sidan om delarnas placering påverkar verkningssättet. Det gäller delarnas dimensioner, knutpunkternas egenskaper och de vertikala stödpunkternas lägen.



Figur 5.1 Översikt över resultat som belyser betydelsen av delarnas placering.

5.2 Tre uppgifter

5.2.1 Resultatens presentation

Redovisningen av resultaten utgår från bildserier. Dessa redovisas alltid på en högersida. Varje bildserie är uppbyggd av rader och kolumner. I varje rad presenteras analysresultat för *en* takstolsmodell. För varje modell redovisas:

- *Deformationsfigur och upplagsvillkor i första kolumnen (A)*

Figuren visar de beräknade deformationerna i bärverket i en kraftigt överdriven skala. Det är inte samma skala i alla deformationsfigurer, men modellerna kan relateras till varandra eftersom sparrens största utböjning, alternativt takstolens isärglidning, redovisas med ett siffervärde i centimeter för varje modell. Upplagens lägen och egenskaper framgår av symboler. För en förklaring av dessa, se kap. 2.5.5. Observera att inre delar modellerats som ledat infästa till sparrarna, men att detta inte framgår explicit av någon särskild symbol i figurena.

- *Momentdiagram i andra kolumnen (B)*

Samtliga momentdiagram i kapitel 5 är återgivna i samma skala. Storleken på momenten framgår av en skalstock under den sista modellen. En punkt i momentdiagrammet visar var den maximala böjspänningen i bärverket uppträder.

- *Normalkraftsdiagram och stöd krafter i tredje kolumnen (C)*

Alla normalkraftsdiagram i kapitel 5 är återgivna i samma skala. Blått betecknar tryckkraft och rött betecknar dragkraft. Krafternas storlek framgår av skalstocken under den sista modellen. Med hjälp av pilar visas vilka krafter som verkar från stöd punkterna mot takstolen. Kraftens riktning framgår av pilen medan kraftens storlek i enheten kN framgår av siffervärdet.

- *Tabell*

I tabellen nederst på sidan redovisas:

- maximal böjspänning i bärverket i MPa,
- normalspänning i MPa i den punkt där den maximala böjspänningen uppträder,
- maximal dragkraft som uppstår i en knutpunkt i kN.

För samtliga fall utom ett, har spänningarna beräknats för dimensioner motsvarande ett halvt tvärsnitt (eftersom den maximala böjspänningen uppträder i en knutpunkt).

- *Last - och upplagssymbol*

Ovanför varje bildserie framgår av en figur vilken uppgift som avses.

Till varje bildserie hör två slags kommentarer till resultaten: en *beskrivning* och en *tolkning*. Dessa utgår från de kriterier för ett bra verkningssätt som identifierades i kapitel 2.3: hög styvhet, låg belastning i delarna, små dragkrafter i förbanden samt små horisontella upplagsreaktioner. (Det femte kriteriet, att vertikala upplagsreaktioner ska angripa långt in mot kyrkorummet, har ingen egen rubrik.)

Av *beskrivningen* framgår *hur* verkningssättet för modellerna i bildserien skiljer sig åt. Skillnader kommenteras med avseende på belastning i delarna, styvhet, dragkrafter i förband samt (för uppgift 1) horisontella upplagsreaktioner. Dessa begrepp har fått egna underrubriker. Beskrivningen görs på vänster sida av bildseriens uppslag.

Tolkningen behandlar *varför* verkningssätten skiljer sig åt, med hjälp av begreppen styvhet och jämvikt. Tolkningen är upplagd på samma sätt som beskrivningen. "Belastning i delarna" och "Styvhet" har dock sammanförts under samma rubrik (samma tolkningar ligger till grund för dem båda). Tolkningen följer på sidorna efter den bildserie de hör till.

5.2.2 Uppgift 1: Konstruktionen bär som en båge

BESKRIVNING AV VERKNINGSSÄTT

I bildserien i figur 5.2 visas verkningsättet hos fyra olika takstolsformer belastade av en vertikal, symmetrisk och jämnt fördelad last. Upplagen ger stöd såväl horisontellt som vertikalt. (Lasten motsvaras i verkligheten typiskt av egentygnd och snölast.)

Belastning i takstolens delar

Böjmomenten i sparrarna minskar för varje rad i kolumn B. I tabellen över maximala spänningar i sparrarna (längst ned i figuren) kan vi följa vad minskningen i böjmoment betyder för ansträngningen i materialet. Den maximala spänningen i sparren är en tiondel så stor i den sista modellen som i den första.

Lasten motsvarar här bara tyngden av en plåt-täckning på takstolarna. Ett lastfall som motsvarar såväl taktäckningens som takstolens och det välvda innertakets egentygnd skulle ge ungefär tre gånger så stora spänningar som de som redovisade. En takstol med någon av dessa fyra former skulle klara även en sådan last, men för den enklaste formen (rad 1) skulle böjspänningarna närma sig gränsen för materialets hållfasthet. En ytterligare adderad last i form av extrem snölast skulle ge upp till åtta gånger större spänningar än de redovisade, vilket det enkla sparrparet i rad 1 rskerar att inte klara.

Styvhet

Deformationerna minskar, det vill säga bärverkens styvhet ökar för varje rad i kolumn A. Den enklaste modellen, sparrparet i rad ett, är inte någon rimlig konstruktion för den här spännvidden på drygt 19 meter (avståndet mellan sparrfötterna). Sparrarna är alltför veka och skulle svikta betänkligt under belastningen, vilket deformationen överst i kolumn A visar.

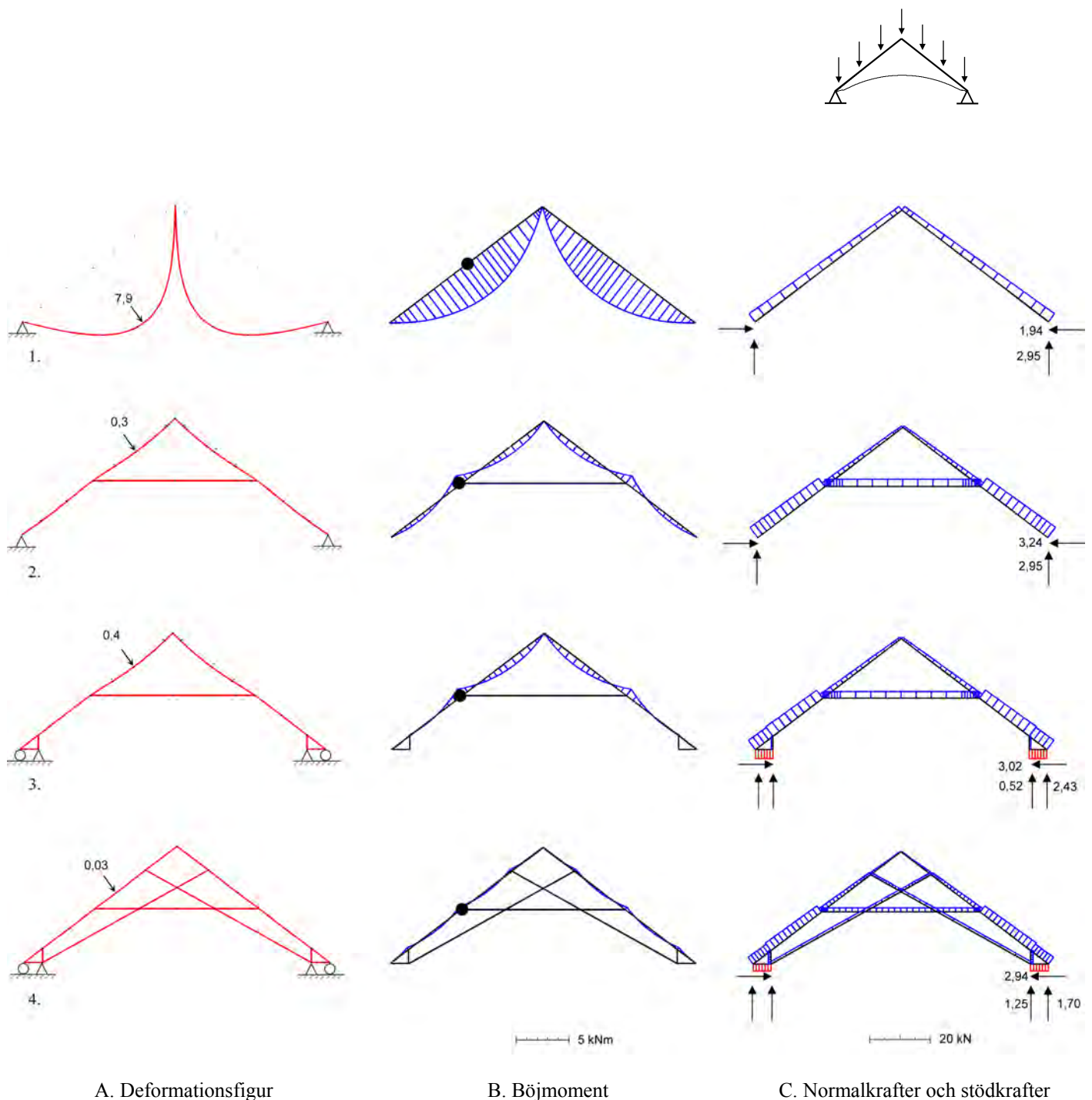
Dragkrafter i förband

I modellerna i rad tre och fyra blir stickbjälken och dess infästningspunkter dragbelastade, se kolumn C. Dragkraften i stickbjälkens förband minskar med omkring 25 % från 3,0 kN till 2,3 kN då saxsparrar kommer till. Med en total belastning som motsvarar hela takkonstruktionens egentygnd, egentygnden av ett trävalv samt en extrem snölast, ökar dragkraften i stickbjälken upp till åtta gånger. Denna kraft bör inte i något fall leda till problem i stickbjälkens *yttre ände* om förbindningen där är utförd som ett tappförband eller som ett infällt bladförband. Ett sådant förbands bärförmåga vid långvarig belastning uppskattades i kap. 2.3.2 till 40 kN. Ett bladförband låst endast med en dymling vore däremot inte lämpligt för den här spännvidden och det här verkningsättet.

Dragkraften i stickbjälkens *inre* ände kan troligen accepteras om förbandet är utformat så att stickbjälken korsar ("greppar om") stödbenet. Kraftöverföringen kan då ske genom kontaktryck mellan delarna, samt böjning och skjuvning i dymlingen. Vi har dock otillräckliga kunskaper om sådana förbands kapacitet. Dragkraften i stickbjälkens inre ände kommer sannolikt att bli mindre än så här i verkliga takstolar, se vidare under *Tolkning* nedan.

Horisontella upplagsreaktioner

De horisontella upplagsreaktionerna, kolumn C, är avsevärt mycket större för hanbjälkestakstolen i rad två än för sparrparet i rad ett – nära 70 % större. För en takstol med hanbjälke och stödben (rad tre) är de drygt 55 % större och för en takstol med saxsparrar (rad fyra) är de 51 % större.



	σ_M [MPa]	σ_N [MPa]	N_{dragmax} [kN]
1.	5*	0,1	-
2.	2	0,3	-
3.	2	0,3	3,0
4.	1	0,2	2,3

Figur 5.2 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.

De *horisontella upplagsreaktionerna* blir minst i rad 1.

*Böjspänningen beräknad för helt tvärsnitt.

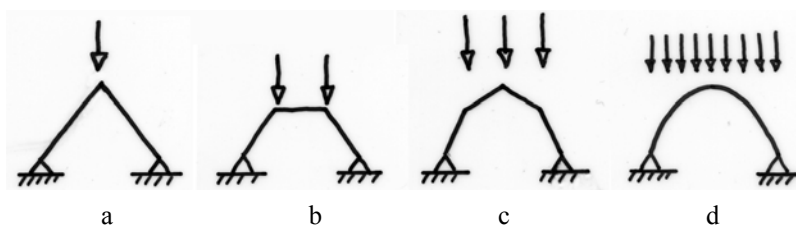
TOLKNING AV VERKNINGSSÄTT I FIGUR 5.2

Belastning i delarna och styvhet

En parabelformad båge kan bära jämnt fördelad last till upplagen genom rent tryck i materialet. Se figur 5.3d. En sådan form kan sägas vara optimal för den här uppgiften eftersom den är styv och lågt belastad relativt andra former.

Bärverken i figur 5.2 innehåller andra bågformer, bågar uppbyggda av räta linjer. Sådana bågar kan bära *punktlaster* till upplagen genom rent tryck i delarna, figur 5.3a-c. I takstolarna bär sparrarna lasten och fördelar den till bågformerna:

- Sparrarna möter lasten och blir utsatta för böjning.
- Där sparrarna tar stöd mot varandra och mot övriga delar påförs konstruktionen punktlaster vilka bärs som tryck.











Figur 5.3 Bågformer och laster de kan bära genom rent tryck.

Ju fler bågformer som finns inskrivna i bärverket, desto fler stödpunkter skapas för sparrarna och desto mindre behöver sparrarna bära i böjning. Figur 5.4-.5.5 illustrerar med tre exempel hur lasten förs till bågformer i en takstol.

Bärverket i rad 1 i figur 5.2 innehåller *en* bågform. Böjningen i sparren blir relativt stor. Modellen med hanbjälke, rad 2, innehåller *två* bågformer. Utöver sparrparets enkla bågform innehåller den även en trapetsform som skapas av hanbjälken tillsammans med sparrarna. Böjningen i sparren minskar betydligt. I modellerna i rad 3 och rad 4 skapar också stödbenen och saxsparrarna bågformer: modellen med hanbjälke och stödben i rad 3 innehåller *fyra* bågformer och modellen i rad 4 innehåller totalt *sex*. Se tabell 5.1. Sparren blir allt mindre böjbelastad och allt mer av bäringen kan istället ske genom tryck i delarna.

Tabell 5.1. Bågarformer i olika takstolsformer.

Bågar Bärverk					Totalt
	1	-	-	-	1
	1	1	-	-	2
	1	1	1	1	4
	3	1	1	1	6

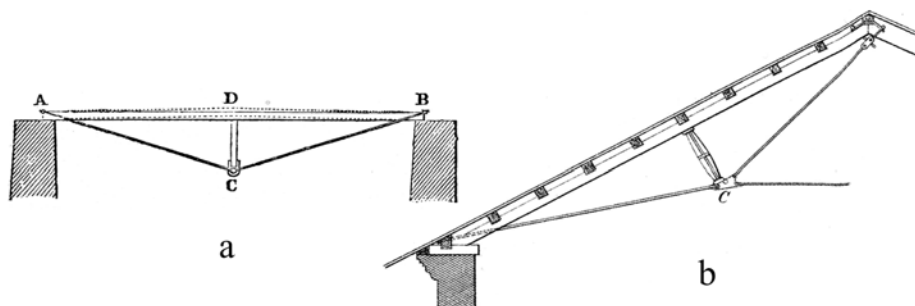
De minskande böjmomenten i sparrarna medför att bärverkens styvhet ökar och spänningarna i materialet minskar för varje rad i bildserien i figur 5.2.

Det lastfall som studeras här är *yttre* last (last på sparrarna). Verkliga bärverk har att bära även *inre* last, det vill säga last av takstolens delar och av eventuella innertak. Det är därför fördelaktigt om formerna också innehåller *inre* bågar. *Saxtakstolen i rad 4* innehåller ytterligare två bågar utöver de sex som räknas upp i tabell 5.1 om *inre* last beaktas.

Kommentar 1

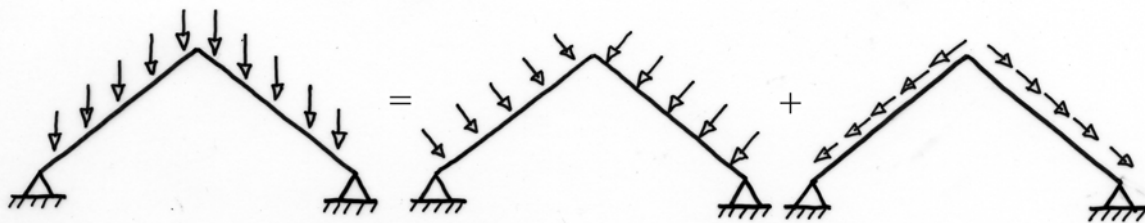
Ett bärverk utformat som en enda bågarform ger stora böjspänningar för en sparre bestående av en rektangulär bjälke och den spännvidd som antagits (fig. 5.2, rad 1). Ett sätt att skapa styvhet och styrka som inte återfinns i studiematerialet är att underspänna sparrarna, fig. 5.6a. Sparrarna får ett inre stöd och böjningen i den minskar. En takstol av två underspända bjälkar enligt fig. 5.6b kallas Polonceau-takstol. Det är en form av fackverk; delarna bildar triangulära fack och bäringen kan till stor del ske genom dragning och tryck i delarna. Om lasten dessutom påförs i knutpunkterna genom åsar, så kan bäringen så gott som uteslutande ske genom dragning och tryck.

Detta är ett sätt att bära lasten som ger små deformationer och spänningar, men också permanent dragbelastning i de undre delarna och deras infästningar. Det är inte ett verkningssätt som är lämpligt för bärverk som ska byggas av grovt virke och sammanfogas med timmermansförband. Takstolar utformade enligt Polonceauprincip är förknippade med det industriella byggandet.

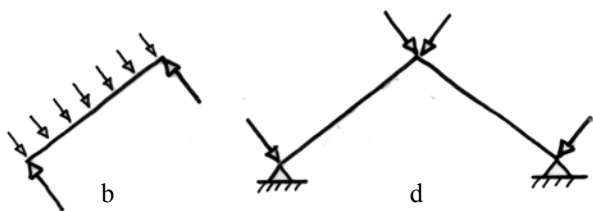


Figur 5.6 a) Underspänd bjälke. Ur Cornell (1983), s. 206. b) Polonceau-takstol. Ur Rothstein (1890), plansch 9.

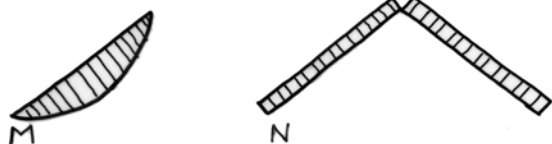
Figur 5.4 Hur lasten förs till bågarna av sparren. Tre exempel.



a) Lasten kan delas upp i en del som verkar vinkelrätt och en del som verkar parallellt takytan. Skillnaderna i olika takstolsformers verkningssätt kan till stor del tolkas utifrån den del av lasten som verkar vinkelrätt mot takytan. Den parallellt verkande delen av lasten får en likartad verkan i alla studerade takstolsformer: en ökande normalkraft i sparren.

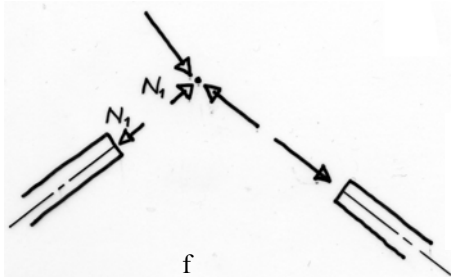


b) Sparren möter den vinkelräta lastdelen och tar stöd i två punkter: vidnocken och upplaget. Sparren stödjer lika mycket mot bägge punkterna.

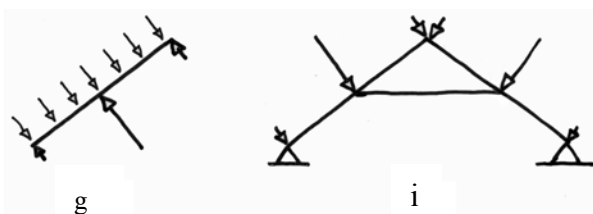


c) Sparren blir böjbelastad.

d) Där sparrarna tar stöd belastar de bågformen med punktlaster.

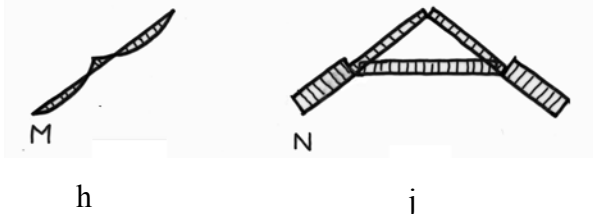


f) Belastningen på den vänstra sparren i nocken ger tryck i bägge sparrarna.

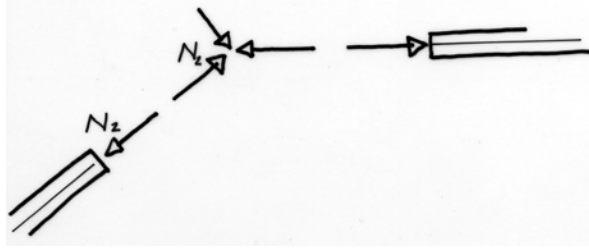


g) Sparren tar stöd i tre punkter: nocken, knutpunkten hanbjälke/sparre och upplaget. Mittstödet är välplacerat och styvt och tar mycket last. Hur mycket last som går i varje stöd kan utläsas ur momentdiagrammet. Se figur 5.5.

h) Sparren blir betydligt mindre böjbelastad för denna form.

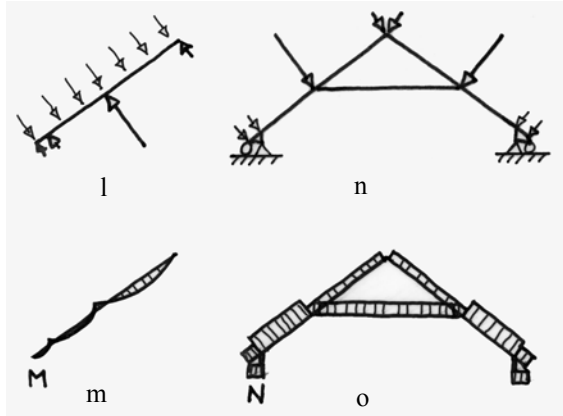


i) Där sparrarna tar stöd belastar de takstolens bågformer. Eftersom sparren stödjer mycket mot knutpunkten hanbjälke/sparre tar trapetsformen mycket last.



k

k) Hanbjälken avlastar sparren från böjning men ökar tryckkraften i den. För att sparren ska kunna ta stöd mot hanbjälken krävs en samtidig tryckkraft i sparren nedanför hanbjälken.



l

n

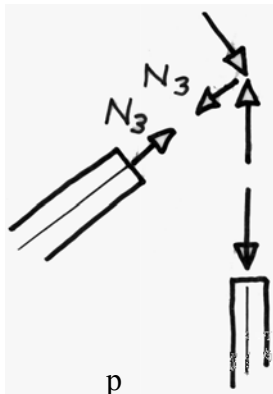
m

o

l) Sparren tar stöd mot den andra sparren i nocken, mot hanbjälken, stödbenet och upplaget. Den tar mest stöd mot hanbjälken, se figur 5.5.

m) Böjbelastningen i sparren minskar något tack vare stödbenet.

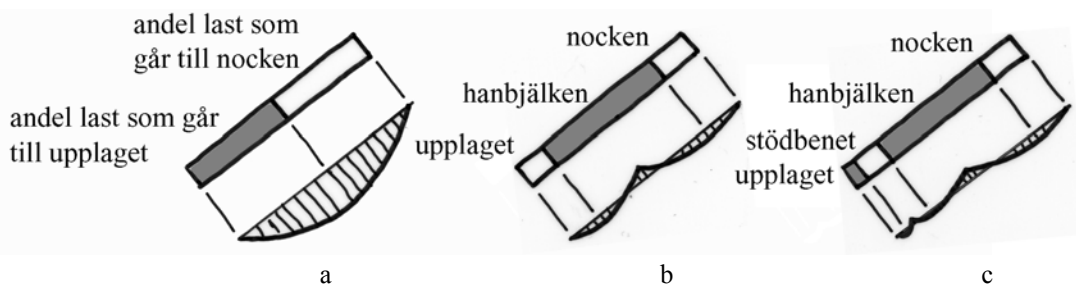
n) Belastning på takstolens bågformer.



p

p) Då stödbenet avlastar sparren från böjning *minskar* tryckkraften i sparren.

För att sparren ska kunna ta stöd mot stödbenet för denna punktlast krävs en samtidig dragkraft i sparren nedanför hanbjälken. Denna släcker ut en del av den tryckbelastning som redan finns i



a

b

c

Figur 5.5 Momentdiagrammet för sparren visar hur stor andel last som går till de olika stödpunkterna.

För en förklaring av figuren, se fig. 2.11.

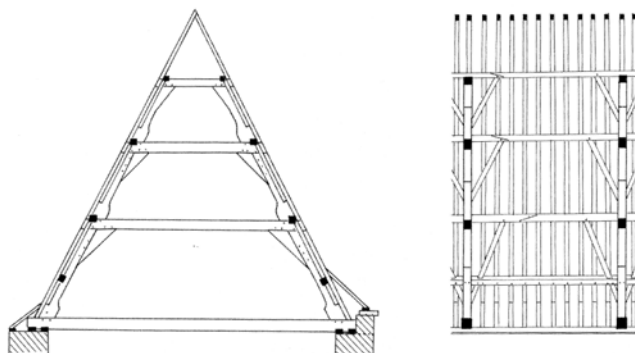
a) Momentdiagram för sparre i enkelt sparrpar

b) Momentdiagram för sparre i takstol med hanbjälke

c) Momentdiagram för sparre i takstol med hanbjälke och stödben

Kommentar 2

De takstolar som behandlas i den här avhandlingen ingår alla i takkonstruktioner av sparrtaksprincip. För takstolar i konstruktioner av åstaksprincip finns förutsättningar för ytterligare renodling av bäringen till normalkrafter, eftersom lasten tack vare åsarna påförs bärverken i åtskilda punkter. Om åsarna är placerade så att lasten påförs bågformer i deras "brytpunkter" så kan bärverket göras ännu styvare och lägre belastat än de som studeras här. Därmed kan de också stå glesare, på 3 - 4 meters avstånd istället för på omkring en dryg meters avstånd som är vanligt för sparrtak. Ett exempel på en fransk åstakskonstruktion från omkring 1550 visas i figur 5.7.



Figur 5.7 Åstak i Saint - Étienne kyrka, Braine-l'Alleud, Frankrike. Ur Hoffsummer (2002), Pl. 63a, s. 249.

Dragkrafter i förband

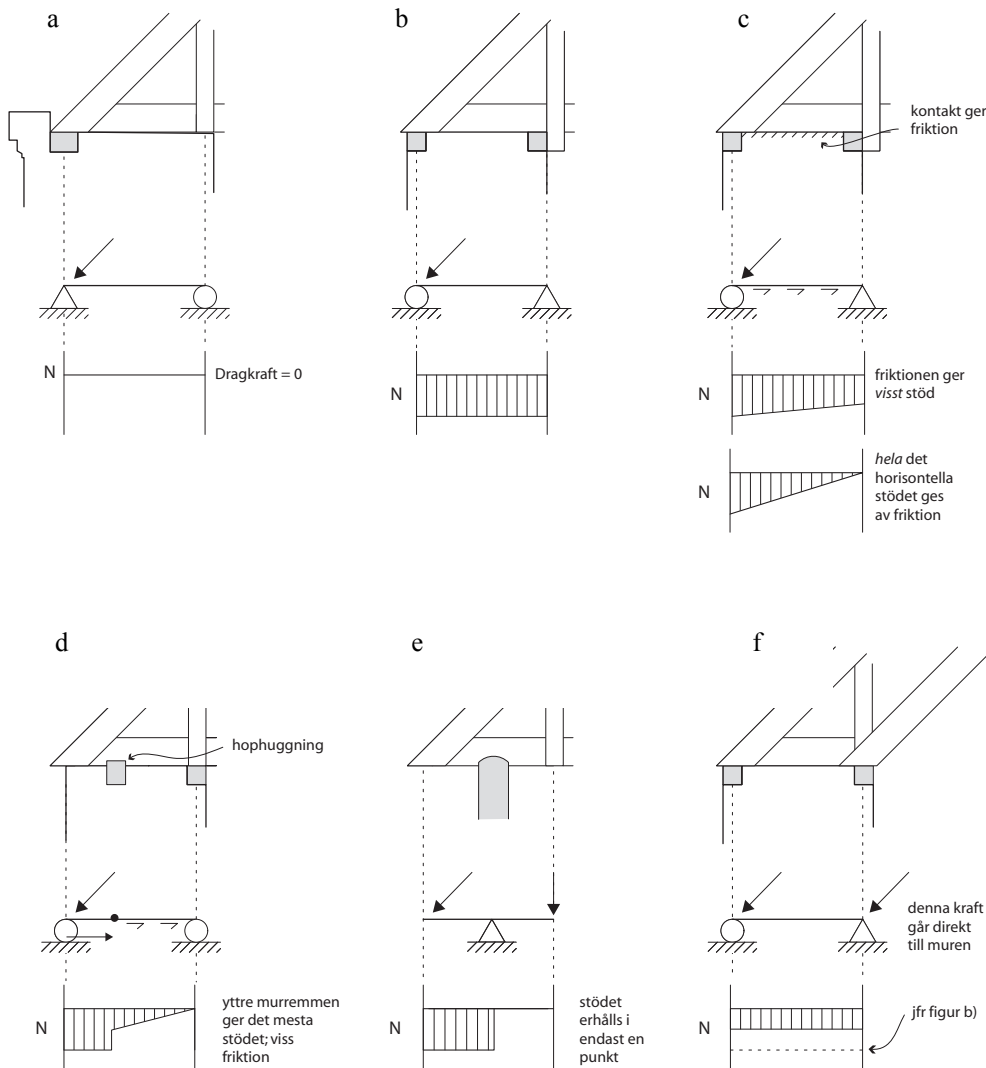
Bärverken blir huvudsakligen tryckbelastade för den här uppgiften. *Stickbjälkarna* och deras infästningar kan dock bli dragbelastade, rad 3 och rad 4, fig. 5.2. Om sådana dragkrafter uppstår eller ej beror på:

- Var takstolen får sitt horisontella stöd: vid sparrfoten, vid stickbjälkens inre ände eller däremellan.
- Hur kraften söker sig genom bärverket till stöden: genom sparrarna eller genom andra delar, som stödben och saxsparrar.

Dragkraften i stickbjälkens *inre* ände bör i de flesta verkliga takstolar bli mindre än i den *yttre* änden. De kan av bli noll. Se fig. 5.8. Knutpunkten mellan stickbjälke och stödben kan i det senare fallet vara utformad som ett enkelt bladförband, vilket också ofta är fallet.

Det antagande som gjorts om läget för det horisontella stödet i modellerna i fig. 5.2 motsvarar ett extremfall, som ger *största* möjliga dragkrafter i stickbjälkarnas inre ändar.

Saxsparrarna i rad 4, fig. 5.2, avlastar stickbjälkarna något från dragning genom att en del av lasten förs av saxsparrarna direkt till det horisontella stödet, jfr. fig. 5.8f. Saxsparrarna har dock här ingen stor betydelse för dragkraftens storlek i stickbjälken (jfr. rad 4 med rad 3 där dragkraften i stickbjälken är något större).



Figur 5.8 Dragkraft i stickbjälke.

Från sparren verkar ett utåtriktat tryck mot stickbjälkens yttre ände.

a) Om takstolen får hela sitt horisontella stöd under sparrens nedre ände blir stickbjälken *inte alls* dragbelastad. Det torde inte vara vanligt att den underliggande byggnaden kan ge ett sådant stöd.

b) Ett värsta fall med avseende på dragning i stickbjälken. Allt horisontellt stöd fås i stickbjälakens inre ände och hela stickbjälken blir dragbelastad.

c) I en murverksskyrka kan det horisontella stödet helt eller delvis komma från friktion längs stickbjälakens undersida. Dragkraften i stickbjälken avtar successivt och den inre änden blir mindre dragbelastad än den yttre.

d) Stickbjälken kan vara hophuggen med en murrem, som i sin tur ligger inmurad i murkrönet. Takstolen kan då få horisontellt stöd av murremmen.

e) I en träkyrka kan mötet mellan takstol och vägg ske i en enda punkt. Stickbjälakens inre ände blir inte dragbelastad. (Det krävs en tryckkraft från stödbenet för att hålla stickbjälken i jämvikt mot rotation.)

f) Saxsparrar kan leda kraft till insida mur. Då blir dragkraften i stickbjälken mindre.

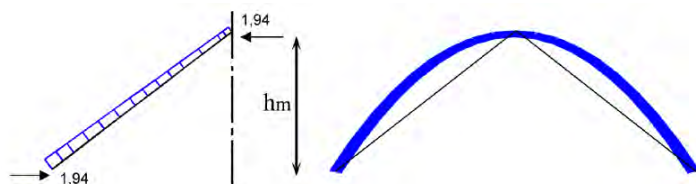
Horisontella upplagsreaktioner

Av kapitel 4 framgår att uttryckningskrafternas storlek beror:

- dels av storleken på det *pådrivande momentet*,
- dels av var det resulterande trycket överförs i konstruktionens mittsnitt – hur stor *hävarmen för det mothållande momentet* är.

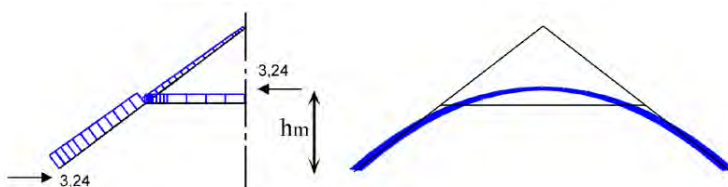
Vi har också sett att hävarmar (för pådrivande och mothållande moment) kan visualiseras med hjälp av en parabelformade bågar. Höga smala bågar är förknippade med mindre uttryckningskrafter än låga breda bågar (jfr. fig. 4.9).

För det enkla sparrparet i rad 1, fig. 5.2, gäller att allt tryck tvärs bärverket i mittsnittet överförs i nock. *Hävarmen för det mothållande momentet* blir då så stor som möjligt. De horisontella upplagsreaktionerna blir minst för denna modell. Formen är associerad med en maximalt hög båge, fig. 5.9a.



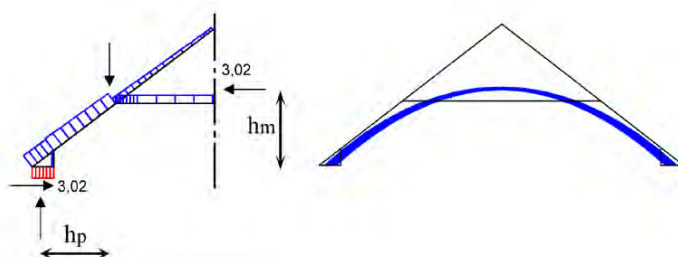
Figur 5.9a

För takstolen i rad 2 har *hävarmen för det mothållande momentet* minskat betydligt, medan *hävarmen för det pådrivande momentet* är oförändrad. Därmed krävs större horisontella upplagsreaktioner för att hålla bärverket i jämvikt. Bågformen associerad med den här modellen har samma spännvidd men är betydligt lägre, fig. 5.9b.



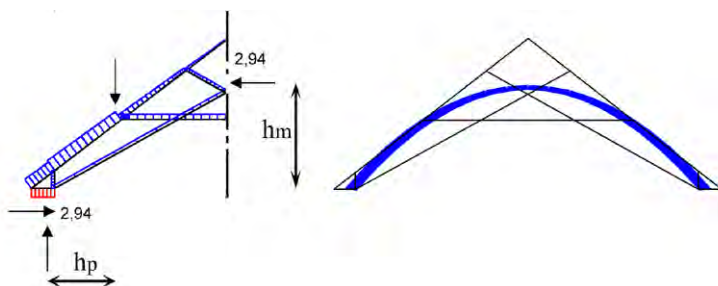
Figur 5.9b

Stödbenen i takstolen i rad 3 gör *hävarmen för det pådrivande momentet* något mindre varför uttryckningskrafterna minskar något. Bågformen som hör till modellen, fig. 5.9c, är något smalare jämfört med föregående modell.



Figur 5.9c

Saxsparrarna i rad 4 gör såväl *hävvarmen för det pådrivande momentet* mindre som *hävvarmen för det mothållande momentet* större och uttryckningskrafterna minskar. Bågformen, fig. 5.9d, är något högre och något smalare än föregående.



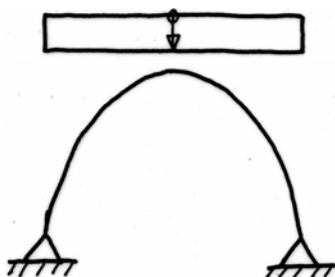
Figur 5.9d

SAMMANFATTNING

Vanliga grundformer för gamla takstolar är väl lämpade att bära symmetrisk last om de får horisontellt stöd från underlaget. Sparrparet, hanbjälken, stödbenen och saxsparrarna – alla är vanliga delar i förindustriella trätakstolar och alla bidrar till *bågförm* på olika sätt. Bågförmerna utgör styva kraftvägar och medför att belastningen kan bäras till stor del genom tryck. Sparrarna blir i varierande men låg grad böjbelastade. Eftersom knutpunkter mellan sparrar och inre stödjande delar blir tryckta är enkla hophuggningar ändamålsenliga. Dragkrafter kan uppstå i stickbjälkarnas infästningar, beroende på var takstolen får stöd. Konstruktionerna verkar med utåtriktade krafter mot underlaget. Ju lägre som sparrarna får stöd av inre delar, desto större blir uttryckningskrafterna.

Sammantaget kan verkningssättet hos de studerade takstolarna karakteriseras som att bärverken *bär som bågar* för att effektivt ta hand om symmetriska laster.

En parabelformad båge får symbolisera en styv och effektiv form för den här uppgiften, fig. 5.10.



Figur 5.10 Symbolisk bild av styv och effektiv form: parabelformad båge.

5.2.3 Uppgift 2: Konstruktionen bär genom dragning och tryck

BESKRIVNING AV VERKNINGSSÄTT

I bildserien i figur 5.11 visas verkningssättet hos fyra olika former belastade med jämnt fördelad, vertikal och symmetrisk last. Horisontellt stöd från underlaget saknas. (Den enklast tänkbara takstolsmodellen, sparrparet, är inte representerad här. Två sparrar, ledat hopfästa upptill, kan inte bära någon last om horisontellt stöd från underlaget saknas.)

Belastning i takstolens delar

Böjmomenten i takstolarnas delar blir successivt mindre för varje rad i kolumn B. Det innebär att den sammanlagda ansträngningen i takstolarnas delar minskar, eftersom böjspänningarna dominerar över normalspänningarna, jfr. tabellen längst ned i figuren. Vi ser att trots att normalkrafterna och normalspänningarna blir större i den sista modellen, rad 4, så blir böjspänningarna samtidigt så mycket mindre, att bärverket totalt sett blir betydligt mindre ansträngt. Den sammanlagda maximala spänningen av böjmoment och normalkraft i sparrarna är i den sista modellen endast 20 % av den maximala spänningen för modellen i rad 1.

Ingen av formerna kan dock anses rationell med tanke på de stora böjspänningar som uppstår (5 - 26 MPa). Lasten motsvarar här tyngden av enbart en plåttäckning. Moment och krafter i figur 5.11 ska *trefaldigas* för att representera ansträngningen vid tyngden av såväl taktäckning som takstol och trävalv. Ansträngningen vid samtidig extrem snölast och egentyngd kan bli *åtta gånger* så stor (se tabell 3.4).

Takstolar utformade som de två översta formerna skulle gå till brott redan för last av konstruktionens och takets egentyngd. Formerna i rad 3 och 4 skulle kunna bära egentyngd, men vara hårt utnyttjade. (Trefaldigas värdena på maxspän-

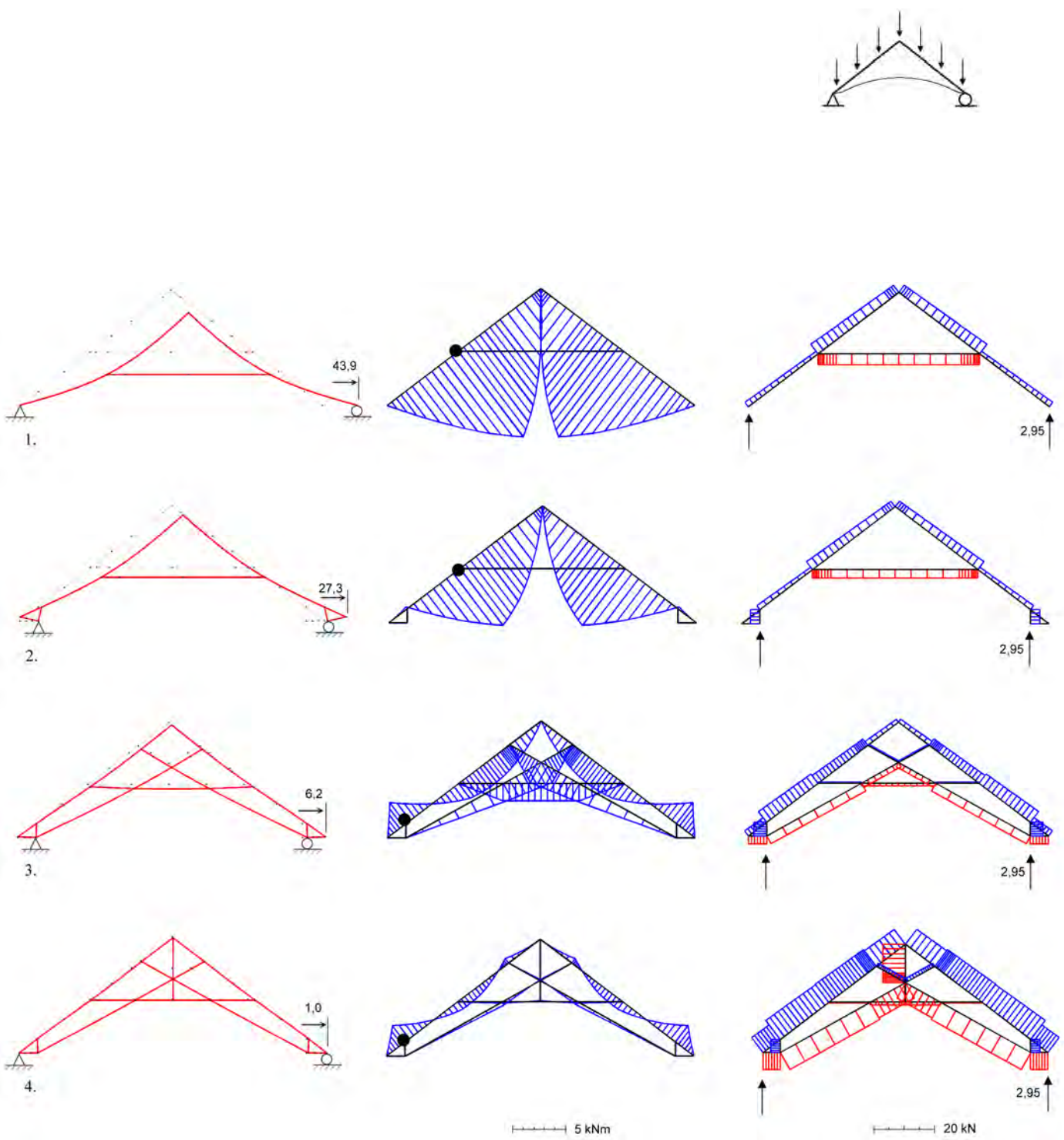
ningarna fås 21 MPa för modellen i rad 3 och 15 MPa för modellen i rad 4. Det kan jämföras med normens brotthållfasthet vid böjning på 30 MPa för den bästa virkeskvaliteten, eller med medelhållfastheten för svenskt virke på omkring 45 MPa.) En takstol utformad som den tredje formen skulle gå till brott vid samtidig extrem snölast och egentyngd, såvida inte virket är av exceptionellt god kvalitet. (Åttafaldigas maxspänningen i sparren fås 56 MPa.) Den sista formen kan klara även snölast men spänningsnivåerna skulle vara betydligt större än vad som tillåts i normen; spänningarna i sparren kan bli så höga som 43 MPa.

Styvhet

Deformationerna, kolumn A, blir orimligt stora för alla former utom för den sista, rad 4, med hänsyn till att lasten ska flerfaldigas för att motsvara egentyngd och snölast. En åttafaldig lastökning ger exempelvis en isärdragning av saxtakstolen i rad 3 på nära 50 centimeter. (!)

Dragkrafter i förband

Storleken på krafter som dragbelastar förband kan inte accepteras för någon av formerna. Även om vi har ofullständig kunskap om dragkapaciteten hos timmermansförband så kan av allt att döma högst någon enstaka kilo-Newton accepteras vid långvarig dragbelastning av bladförband.¹ Det gäller såväl sådana som är låsta med en dymling som sådana som är låsta med en ensam spik. Redan under lasten av takkonstruktionens egentyngd skulle en isärdragning av knutpunkterna börja.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

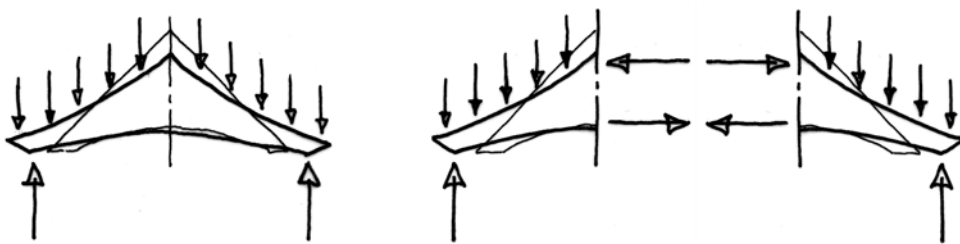
	σ_M [MPa]	σ_N [MPa]	N_{dragmax} [kN]
1.	27	0,3	3,6
2.	18	0,2	2,7
3.	7	0,3	2,9
4.	5	0,6	7,7

Figur 5.11 Att bära genom dragning och tryck.
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.

TOLKNING AV VERKNINGSSÄTT I FIGUR 5.11

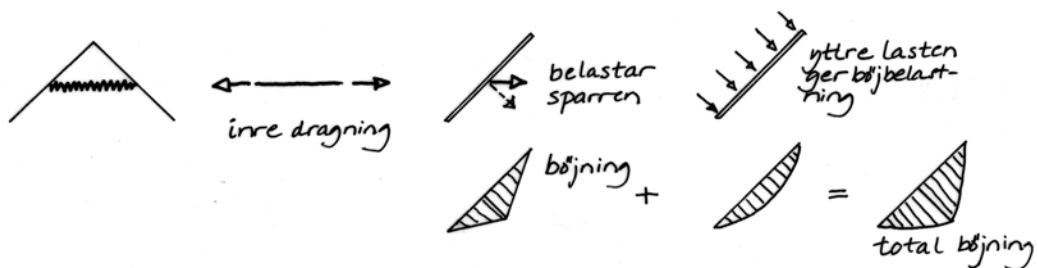
Belastning i delarna samt styvhet

Den första analysen (kap. 4.2) visade att bärverket som helhet måste bära genom ett inre, mothållande moment för att vara i jämvikt, fig. 5.12. Av bildsekvensen i fig. 5.11, kolumn C, framgår att det inre momentet ger upphov till ett för bärverken gemensamt mönster av dragning i dess inre delar och tryck i dess yttre. Bärverken fjädrar ut åt sidorna när de pressas nedåt av lasten och de enskilda delarna blir utsatta för böjning, kolumn A och B. Bildsekvensen i fig. 5.11 visar att: ju styvare den inre dragningen kan förankras i strukturen, desto mindre kommer bärverket att fjädra ut och desto mindre blir ansträngningen i materialet.



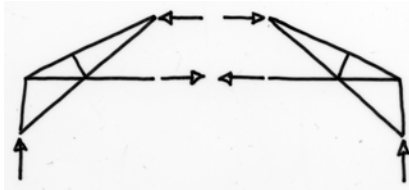
Figur 5.12 Det inre momentet, nödvändigt för jämvikt, åstadkoms av dragkrafter i takstolens inre delar och tryck i dess yttre delar. Verkningsättet utmärks också av betydande böjning i sparrarna.

I de två första modellerna, rad 1 och rad 2 i figur 5.11 håller hanbjälken samman sparrarna då de glider isär under belastningen. Dragkraften i hanbjälken "träffar sparrarna mitt i veka livet" – det vill säga belastar dem där de redan är som mest ansträngda till följd av den jämnt fördelade yttre lasten, fig. 5.13. Konsekvensen blir en orimligt stor ansträngning i materialet och orimliga deformationer.



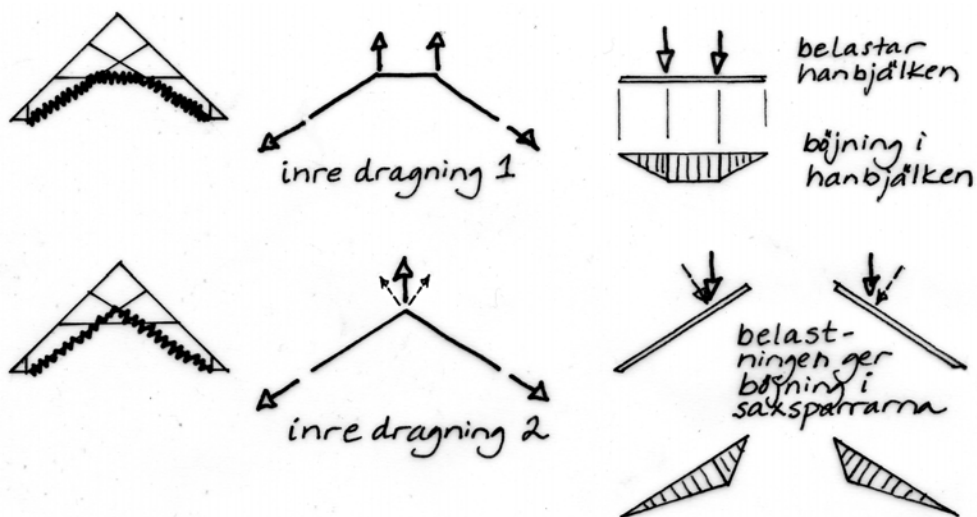
Figur 5.13 Inre dragning och dess förankring. Hanbjälkestakstolen, rad 2.

Kommentar: För att få en styv konstruktion med en hanbjälke som bär i inre dragning skulle krävas bärverkshalvor som kan bära hanbjälkens dragkraft, samtidigt med en jämnt fördelad last, på ett sätt som i huvudsak ger tryck- och dragkrafter. En sådan form skulle principiellt kunna likna den i fig. 5.14.



Figur 5.14 Principellt styv form för dragbelastning mitt på sparren. (Lasten har utelämnats i figuren.)

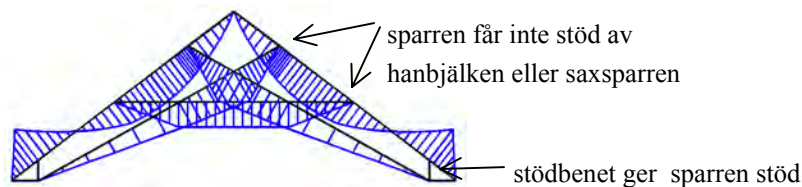
I modellen *med saxsparrar i rad 3* finns det fler takstolsdelar som kan samarbeta för att hålla samman bärverket och minska isärglidningen. De dragbelastade saxsparrarna kommer inte på samma sätt som hanbjälken att verka som en last på sparrarna. Böjningen i sparrarna blir därmed avsevärt mindre än 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. Se fig. 5.15.



Figur 5.15 Inre dragning och dess förankring. Saxtakstolen i rad 3.

Den kraftväg som vi sett i rad 1 och 2 - dragning i hanbjälken och böjning i de redan belastade sparrarna - tas nu inte i bruk. Kraftvägen dragning i saxsparrarna och böjning i inre delar är styvare och lasten kommer därför att ledas denna väg genom bärverket.

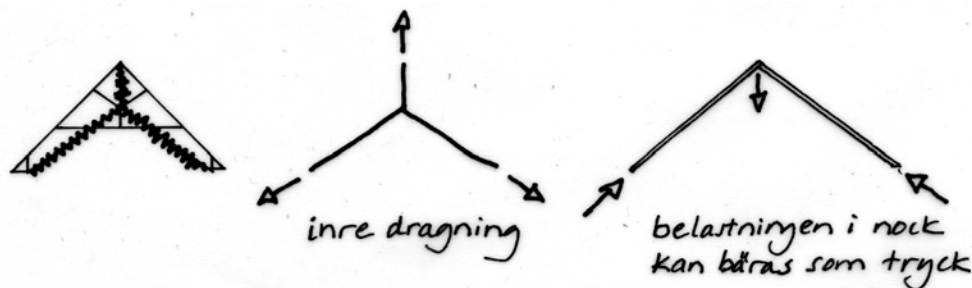
Trots att böjningen i sparrarna minskat betydligt är påfrestningen fortfarande stor, fig. 5.16. Hanbjälken och saxsparrarna har tagits i bruk som kraftvägar för den inre dragningen och kan inte ge sparrarna det stöd de ger vid uppgift 1. Sparrarna tar stöd mot stödbenen och mot varandra i nocken men måste spänna fritt däremellan.



Figur 5.16 Momentdiagram, saxtakstolen i rad 3.

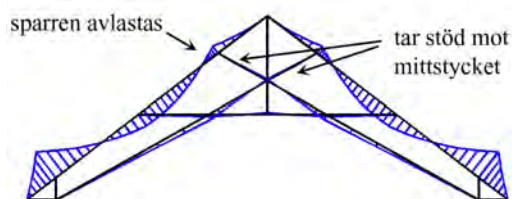
Med *mittstycket, rad 4*, tillkommer en kraftväg som gör att bäringen i betydligt högre grad kan tas av drag- och tryckkrafter så att böjningen i delarna minskar.

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, fig. 5.17. Dragkrafterna i saxsparrarna leds direkt till den styva förankringspunkten i nocken utan att ge upphov till böjbelastning i hanbjälken eller saxsparrarna "på vägen". Det styvaste mothållet blir mest belastat eftersom de andra potentiella mothållen deformeras mer och "viker undan" för belastningen.



Figur 5.17 Inre dragning och dess förankring. Saxtakstolen med mittstycke i rad 4.

Genom den här formen får *sparrarna* ytterligare ett stöd mot den yttre lasten, jämfört med formen utan mittstycke i rad 3. Saxsparrarnas översta delar tar stöd mot mittstycket och stödjer i sin tur sparrarna, fig. 5.18. Därmed minskar böjningen i sparrarna av yttre last. (En hanbjälke i läget för saxsparrarnas övre ändar skulle också skapa styva förankringspunkter för inre dragning samt ge sparren ett stöd mot utböjning.)



Figur 5.18 Momentdiagram, saxtakstolen med mittstycke i rad 4.

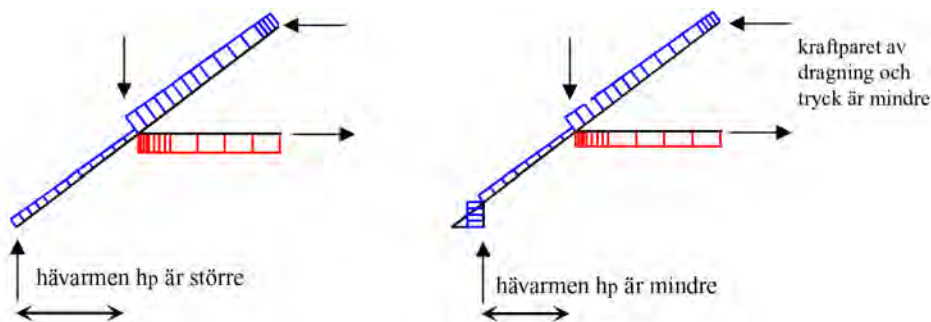
Saxtakstolen med mittstycke närmar sig vad som kan betraktas som en optimalt styv form för uppgiften.

Kommentar:

I den här avhandlingen studeras takstolar *utan* bindbjälke. Vi kan dock konstatera att en bindbjälke (eller ett dragstag) vore en ideal kraftväg för inre dragning. Om den inre dragningen tas om hand av en *rät* takstolsdel från stöd till stöd behöver den inte hängas upp i den övriga inre strukturen och kommer således inte att belasta den.

Bindbjälken kan helt ersätta ett yttre stöd, förutsatt att dess infästningspunkter kan ta upp den dragkraft som uppstår. Bärverket i övrigt står då inför uppgiften att bära symmetrisk last då horisontellt stöd *finns*, det vill säga vi är tillbaka i uppgift 1, att bära som en båge.

Betrakta åter *modellen med stödben i rad 2* i figur 5.11. Stödbenen i takstolen minskar böjningen i sparrarna utan att det har med den inre dragningens *förankring* att göra. Stödbenen minskar istället den inre dragningens *storlek*. Då sparrarna kan ta stöd mot stödbenen minskar spännvidden för bärverket. Lastens roterande verkan på konstruktionen, det *pådrivande momentet*, blir mindre. Följaktligen krävs ett mindre *inre mothållande moment* för att hålla bärverket i jämvikt. Dragkraften i hanbjälken blir mindre och därmed också böjningen i sparrarna. Se fig. 5.19. Dessutom medför stödbenen att sparren har en kortare sträcka att bära den *yttre lasten* genom böjning.



Figur 5.19 Hävarm för pådrivande momentet med och utan stödben.

Dragkrafter i förband

Generellt kan sägas att normalkrafterna, och därmed krafterna i knutpunkterna, kan bli mindre i bärverk som bär en del av lasten genom böjning i delarna. Detta gäller enbart i bärverk där det finns flera olika lastvägar, statiskt obestämda bärverk.

För bärverket i rad 1, fig. 5.11, blir dragkraften i hanbjälken stor *samtidigt* som sparrarna blir kraftigt böjda. Bärverket kan bara bära lasten på detta enda sätt då det är statiskt bestämt. Det utvecklas så stora dragkrafter som det krävs för att bärverket ska vara i jämvikt.

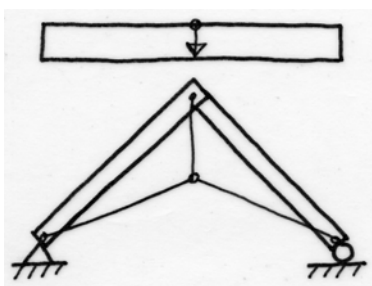
Bärverken i rad 3 och 4 är mer komplexa och innehåller flera olika lastvägar. Här kan vi se att då bärningen sker mer genom böjande moment (rad 3) så blir normalkrafterna mindre vilket innebär att dragkrafterna i förbanden blir mindre. En bärning som är negativ med hänsyn till styvheten och ansträngningen i delarna kan därför vara positiv med hänsyn till storleken på dragkrafter i förband. *Här* hjälper det dock inte långt – en utformning enligt rad 3 är inte lämplig för en takstol framställd av enkla trädelar och hopfogad med timmermansförband. Såväl böjpåkänningarna trädelarna som dragkrafterna i knutpunkterna är för stora.

SAMMANFATTNING

Verknings sättet för en takstolar som bär symmetrisk last utan att få horisontellt stöd från underlaget karakteriseras av att de inre delarna blir dragbelastade medan de yttre delarna blir tryckta. Takstolarna bär "genom dragning och tryck". Den inre dragningen ger upphov till stora dragkrafter i förbanden och stora böjmoment i delarna. Gamla takstolar i svenska kyrkor är inte lämpade att bära långvariga laster som egentygnd och snölast på det här sättet. De är byggda av grovt virke som hopfogats genom enkla hophuggningar, olämpliga för att överföra långvariga dragkrafter. Bärverk med modernare former av knutpunkter som tål sådan belastning kan göras styva och effektiva om:

- den inre dragningen finner förankring i styva punkter och
- sparren kan ges tillräcklig styvhet.

Två styva balkar med dragstag får symboliskt representera en styv och effektiv form för den här uppgiften, fig. 5.20.



Figur 5.20 Symbolisk bild av god form för uppgift 2.

5.2.4 Uppgift 3: Konstruktionen bär som två balkar

BESKRIVNING AV VERKNINGSSÄTT

I bildserien i figur 5.21 visas verknings sättet hos fem olika takstolsformer belastade med anti-symmetrisk last. Upplagen ger på bägge sidor av takstolen stöd såväl horisontellt som vertikalt. (Lastfallet motsvarar i verkligheten typiskt resultatet av en vindlast som ger ett tryck på lovartsidan och ett sug på läsidan.)

Belastning i takstolens delar

Böjmoment, normalkrafter och deformationer blir identiska för de två översta modellerna. Spänningarna i sparren blir större i den andra modellen, se tabellen i figuren. Det beror på att sparren förutsätts vara urhuggen (tvärsnittet reducerat) för sammanfogningen med hanbjälken. I modellen med stödben, rad 3, är de maximala spänningarna 8 % mindre än i modellen utan stödben i rad 2. I modellen med saxsparrar däremot är de maximala spänningarna 80 % mindre än i modellen i rad 2. I samtliga modeller är normalspänningarna små jämfört med böjspänningarna.

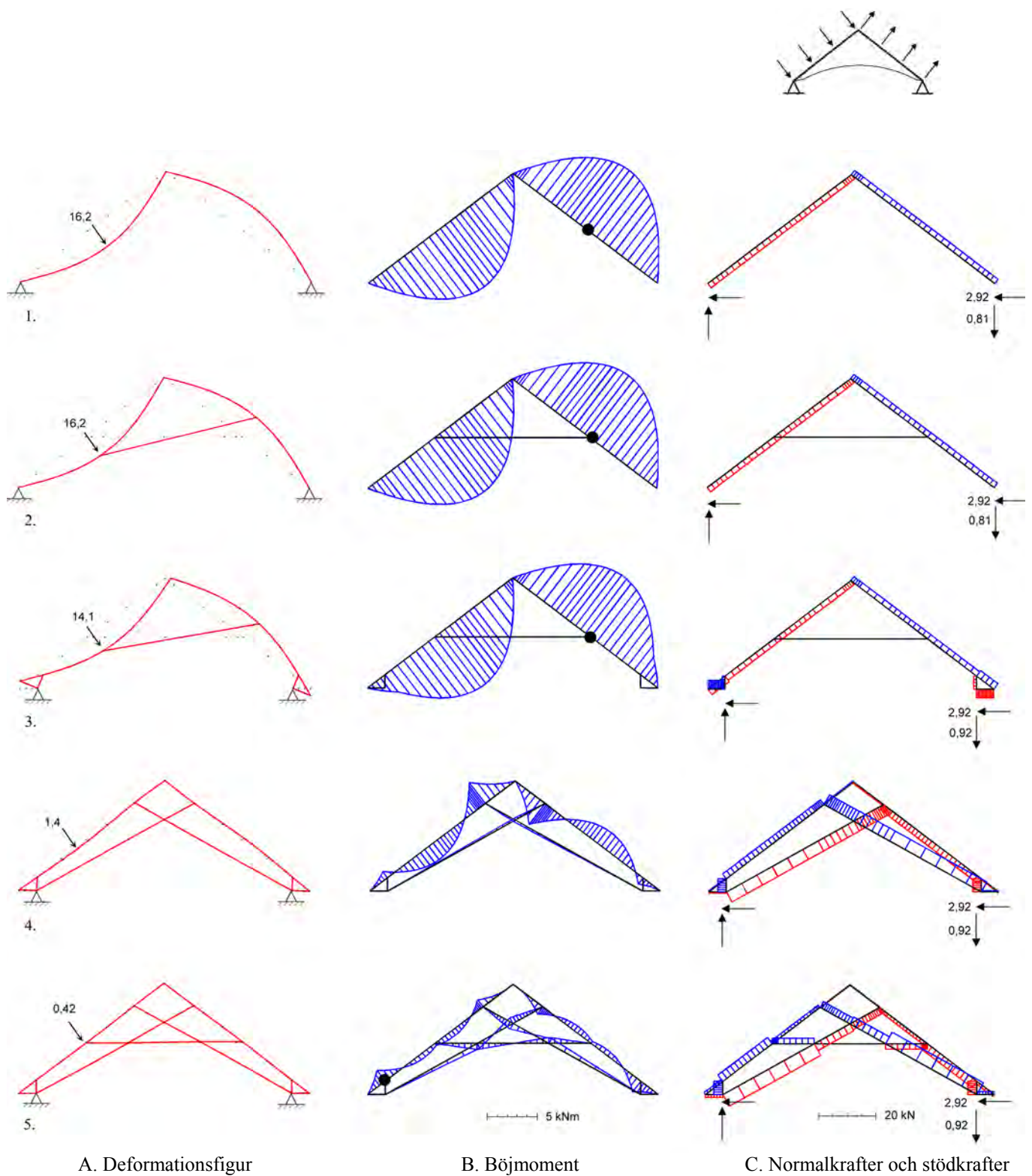
De redovisade spänningarna i materialet ska inte jämföras direkt med trämateriallets hållfasthet. Verklig vindlast innehåller även en symmetrisk lastdel och förekommer dessutom alltid samtidigt med egentygnd. Görs en sammanvägning² av spänningarna av antisymmetrisk vindlast och symmetrisk last motsvarande egentygnd kan man konstatera att spänningarna på lovartsidan för de tre första formerna är väl höga. Modellen med saxsparrar i rad 5 däremot, ger måttligare spänningar vid samtidig vindlast och egentygnd – 6 MPa. Det senare ger flerfaldig säkerhet mot brott relativt normens värden på brotthållfasthet, också för den lägsta hållfasthetsklassen.

Styvhet

Storleken på deformationerna följer böjmomentens variation. Deformationerna minskar med 13 % då stödbenet tillkommer (rad 3 jämfört med rad 2). Att både stödben och saxsparrar tillkommer får deformationerna att minska med 98 % (rad 5 jämfört med rad 2).

Dragkrafter i förband

Dragkrafter i förband är av måttlig storlek, också då man tar hänsyn till att verklig vindlast innehåller en symmetrisk del och också kommer att samverka med egentygnd. Dragkrafterna i sparren i de tre första modellerna kommer att släckas ut helt då hänsyn tas till egentygnd. (Jämför med normalkraftsdiagrammen för uppgift 1 i fig. 5.2.) För modellen med saxsparrar i rad 4 kommer dragkraften i saxsparren att minska med omkring 3 kN vid samtidig egentygndsbelastning. Det ger en kortvarig dragkraft på omkring 1,5 kN för saxtakstolen i rad 4. En sådan kortvarig kraft är det troligt att ett bladförband låst med en dymling eller spik kan överföra.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

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

Figur 5.21 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.

*Böjspänningen beräknad för helt tvärsnitt.

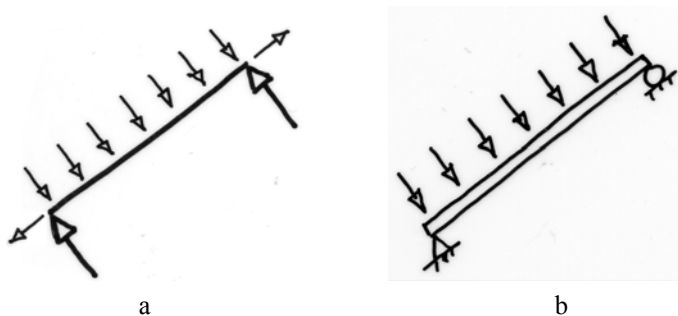
TOLKNING AV VERKNINGSSÄTT I FIGUR 5.21

Belastning i delarna och styvhet

I den första analysen (kap. 4.3) har vi sett att det antisymmetriska lastfallet innebär att takstolens ena halva utsätts för böjning och dragning, medan den andra halvan utsätts för böjning och tryck. Vi ska här se hur olika utformningar tar upp framförallt böjbelastningen – hur olika bärverkshalvor fungerar som balkar.

Det antisymmetriska lastfallet motsvaras främst av vindbelastning och den last som beaktas i denna uppgift motsvarar vind från vänster. Vänstersidan benämns nedan "lovartsidan" och högersidan benämns "läsidan". Bilder av en kommenterande karaktär visar lovartsidan och resonemangen utgår till stor del från dessa. Motsvarande resonemang kan föras för läsidan.

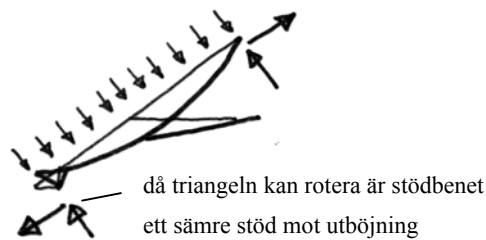
I det enkla sparrparet i rad 1 i fig. 5.21, tar sparren ensam upp såväl böjning som dragning (resp. tryck på läsidan), fig. 5.22a. Vardera bärverkshalva fungerar med avseende på böjbelastningen som en fritt upplagd balk, där sparren ensam är balken, fig. 5.22b. Böjmomentet i sparren är stort och konstruktionen vek.



Figur 5.22 a) Krafter på lovartsidans sparre, rad 1 i fig. 5.21. b) Sparren ensam bär böjbelastningen som en balk på två stöd.

Att takstolen utökas med en *hanbjälke enligt rad 2*, fig. 5.21, påverkar inte styvheten eller effektiviteten i bärverkshalvan. 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. Bärverkshalvan fungerar även här som en balk på två stöd, där balken utgörs av sparren ensam, fig. 5.22b.

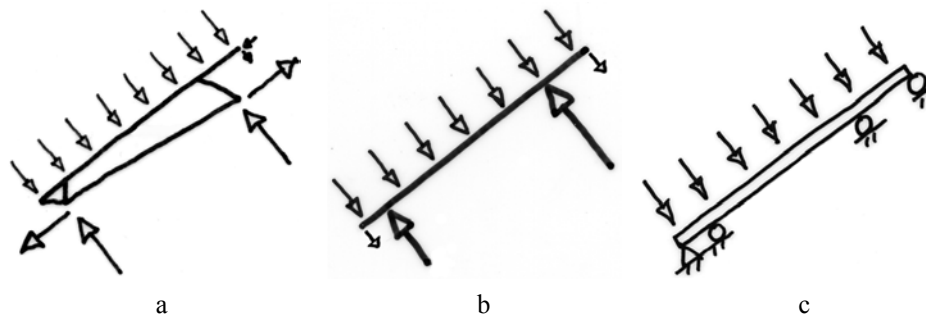
Stödbenen i *modellen i rad 3* kan inte ge någon egentlig avlastning av sparren. Triangeln stödben-sparre-stickbjälke fungerar endast som en lokal förstyvning av sparren nedtill så länge hela triangeln är fri att rotera undan lasten (fig. 5.23). Även för denna takstolsform fungerar bärverkshalvan huvudsakligen som en fritt upplagd balk, där sparren ensam är balken.



Figur 5.23 Lovartsidans bärverkshalva, rad 3 i fig. 5.21.

Med *saxsparrarna*, rad 4, tillkommer betydelsefulla konstruktionselement. Genom dem skapas en betydligt styvare och mer effektiv takstolsform.

För lovartsidans bärverkshalva skapar den ena saxsparren ett styvt stöd för huvudsparren och blir tryckt, medan den andra saxsparren utgör en ny kraftväg för dragbelastningen, fig. 5.24a.



Figur 5.24 a) Krafter på bärverkshalvan i rad 4, fig. 5.21. b) Böjbelastning av sparren. c) Med saxsparrarnas tillkomst kan sparren betraktas som en kontinuerlig balk på fyra stöd.

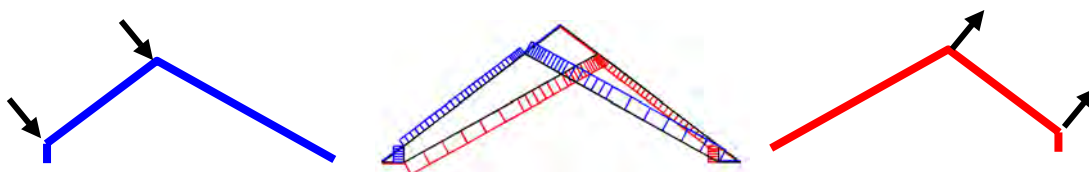
Då lovartsidans sparre tar stöd mot saxsparren vill den *lyfta* i nocken istället för att som i rad 1-3 *stödja* sig mot den andra sparren. Läsidans sparre förhindrar lyftningen, fig. 5.24b. Läsidans sparre blir därvid lätt dragbelastad. Att saxsparrarna är så styva stöd och tar så stor del av lasten leder till att dragning och tryck i huvudsparrarna har "bytt sida" jämfört med modellerna i rad 1-3.

Stödbenet fungerar som ett styvt stöd för sparren i denna modell. Stödbens-triangeln utgör nu inte samma "vagga" i sparrens ände som i rad 3.

Böjbelastningen i bärverkshalvan tas fortfarande upp av sparren, men denna kan nu betraktas som en *kontinuerlig* balk på fyra stöd (istället för som ovan fritt upplagd), fig. 5.24c. Styvheten och effektiviteten skulle öka ytterligare om huvudsparrarna fick stöd av ytterligare ett par saxsparrar.

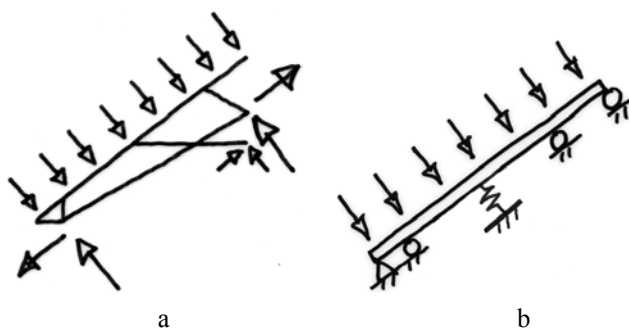
Den här takstolsformens effektivitet kan alternativt förstås som att den skapar en båge som bär lovartsidans last, respektive en "kedja" som bär läsidans last, fig. 5.25. Därigenom tas en god andel av lasten till stöden som

dragning och tryck. Last som angriper mellan bågens respektive kedjans "brytpunkter" måste dock bäras genom böjning i sparrarna.



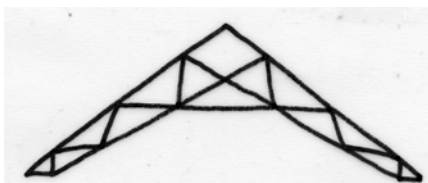
Figur 5.25 Takstolen innehåller styva kraftvägar i form av en båge och en kedja.

Med *hanbjälke* och *saxsparrar*, rad 5 i fig. 5.21, får takstolen en rationell form. Spänningarna i materialet blir små och styvheten hög. Hanbjälken skapar här ännu ett stöd för sparren, fig. 5.26. Att hanbjälken här, till skillnad från i rad 1-3, kan ge sparren ett stöd beror på att den själv kan ta stöd i saxsparren. Det är ett vekt stöd eftersom saxsparren måste bära belastningen genom böjning.



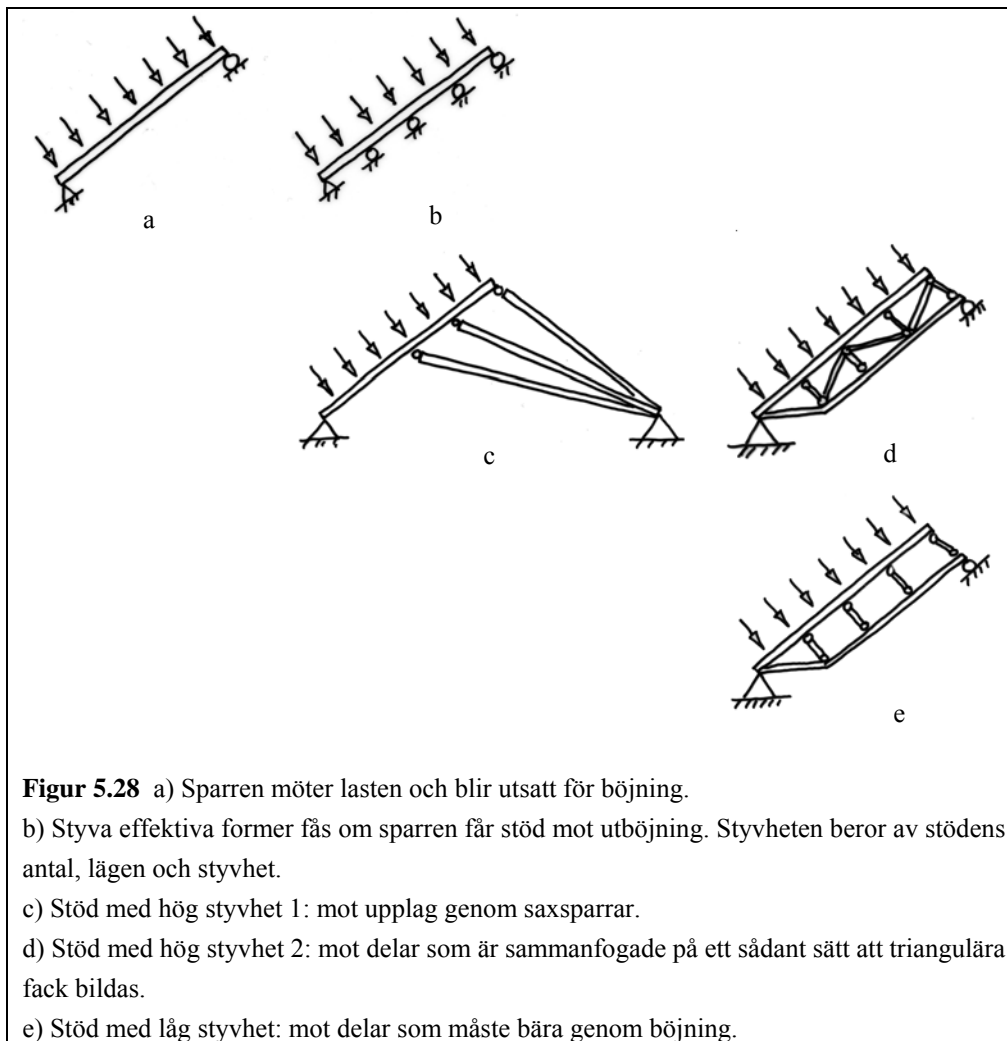
Figur 5.26 a) Krafter på lovartsidans bärverkshalva, rad 5 i fig. 5.21. b) Sparren bär böjbelastningen som en kontinuerlig balk på fem stöd, varav ett kan betraktas som en elastisk fjäder.

Böjbelastningen i takstolens delar kan minska ytterligare om sparren får interna stöd av högre styvhet. De stödjande delarna ska då vara placerade så att de bär genom dragning och tryck snarare än genom böjning. Det kan åstadkommas om delarna skapar triangulära fack mellan sparre och saxsparre, se figur 5.27. Bärverkens halvor bildar då två styva sammansatta balkar, där sparren utgör den ena "flänsen" och saxsparren den andra.



Figur 5.27 Styv form med triangulära fack.

Figur 5.28 summerar vad vi sett skapar styva, effektiva former för uppgift 2.



Figur 5.28 a) Sparren möter lasten och blir utsatt för böjning.
 b) Styva effektiva former fås om sparren får stöd mot utböjning. Styvheten beror av stödets antal, lägen och styvhet.
 c) Stöd med hög styvhet 1: mot upplag genom saxsparrar.
 d) Stöd med hög styvhet 2: mot delar som är sammanfogade på ett sådant sätt att triangulära fack bildas.
 e) Stöd med låg styvhet: mot delar som måste bära genom böjning.

Man kan konstatera att saxsparrar fyller en viktig funktion vid antisymmetrisk last. Om saxsparrarna i en verklig konstruktion skulle kopplas bort (exempelvis genom röta eller överbelastning i knutpunkterna som förbinder dem med sparrarna) skulle det kunna leda till materialbrott vid stark vind.

Notera också att ett kryss av stålstag (som inte kan ta tryckkrafter) inte skulle ge lika hög styvhet vid antisymmetrisk last, eftersom den ena saxsparren bär i tryck.

Dragkrafter i förband

Storleken på dragkrafter i förband ökar då bärningen tas av normalkrafter istället för av böjning i sparrarna (rad 4 och 5 jämfört med övriga).

SAMMANFATTNING

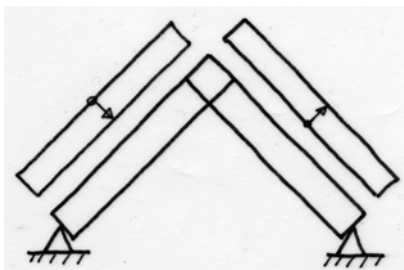
Verknings sättet för den här last- och upplagskombinationen kan karakteriseras som att takstolarna "bär som två balkar". Sparrarna är balkarna som möter lasten och blir utsatta för böjning. En balk som kan vila på flera stöd deformeras mindre än en balk på endast två stöd. Styva och effektiva takstolsformer är därför sådana där:

- sparrarna får stöd mot utböjningen i *flera punkter*,
- stödpunkterna är *jämnt fördelade*
- stödet fås av *saxsparrar* som bär lasten till takstolens upplag, eller
- stödet fås av delar som bär belastningen i sin längdriktning, *antingen* direkt till upplagen *eller* till knutpunkter där den tas upp som *drag- och tryckkrafter*. Se figur 5.28.

Delar som stödjer sparrarna vid symmetrisk last kan vid antisymmetrisk last sakna stödjande funktion. Speciellt gäller att hanbjälkar i enkla takstolsformer inte kan stödja sparrarna genom tryckkrafter på samma sätt som vid symmetrisk last. Det krävs att andra inre delar samverkar med hanbjälken för att den ska kunna hjälpa till att bära lasten.

En del knutpunkter blir utsatta för dragkrafter för det här lastfallet, men dragkrafterna ligger inom gränsen för vad timmermansförband kan bära vid kortvarig belastning.

Två styva balkar enligt figur 5.29 får symbolisera en god form för det här lastfallet.



Figur 5.29 Symbolisk bild av god form för uppgift 3.

5.3 Sex formfrågor

5.3.1 Resultatens presentation

Redovisningen av resultaten med hjälp av bildserier och kommentarer till dessa motsvarar den som använts i kap. 5.2 och som förklaras i kap. 5.2.1.

Materialets omfång (arton bildserier) motiverar dock vissa skillnader:

- Maximala spänningar redovisas inte.
- Beskrivningar av verkningssätt är mer kortfattade.
- Tolkningarna av kraftspelen bygger på en förklaringsmodell som redovisas nedan.

5.3.2 Förklaringsmodell för takstolarnas verkningssätt

Förklaringsmodellen bygger på följande:

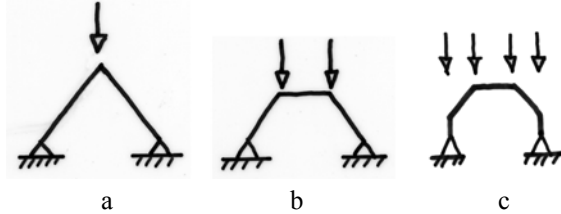
- Genom att utnyttja takstolarnas symmetriegenskaper kan ett resonemang om pådrivande och mothållande moment föras. Därigenom kan framförallt uttryckningskrafternas storlek tolkas.
- Takstolens form separeras i två delar: en yttre struktur som möter lasten (sparrar) och bär den genom böjning. Och en inre struktur som stödjer sparrarna och skapar axiella kraftvägar (reducerar böjningen i bärverkets delar). (Sparrarna själva ingår i denna stödjande struktur.)
- De inre delarna är olika styva som stöd för sparren och kommer därmed att ta olika mycket last. Stödjande delar är styva om de bär lasten i sin längdriktning (skapar axiella kraftvägar), antingen direkt till takstolens upplag, eller till knutpunkter där belastningen kan tas upp som drag- och tryckkrafter.

De önskvärda axiella kraftvägarna ser olika ut beroende på vilken uppgift takstolen står inför. För de tre uppgifter som studien beaktar utvärderas hur takstolarna bär *som bågar*, *genom dragning och tryck* respektive *som två balkar*. För varje uppgift ges ett antal konkreta punkter att beakta. En eller flera av dem kan tas till hjälp för att belysa ett verkningssätt.

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

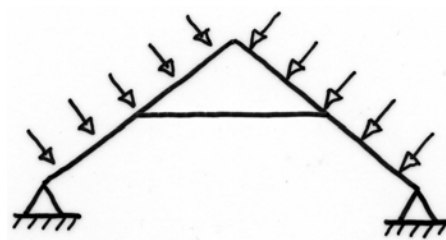
Sök bågformer

Bågformer skapar styva kraftvägar för tryck. Att studera vilka bågformer bärverket innehåller kan ge en första uppfattning om dess styvhet. Vanligt förekommande bågformer benämns enligt fig. 5.30.



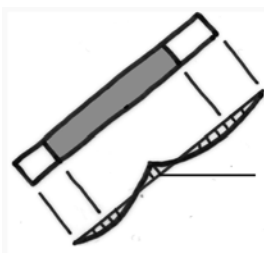
Figur 5.30 Vanliga bågformer. a) Upp-och-ned-vänt V. b) Trapetsform. c) Fasad trapetsform

Studera hur lasten tas till bågformerna och hur hårt böjbelastad sparren blir



Lasten på takstolen är vertikal och jämnt fördelad. Avgörande skillnader i verkningsätt kan tolkas utifrån den del av lasten som verkar vinkelrätt sparren. Den del av lasten som verkar parallellt sparren ger upphov till en växande normalkraft.

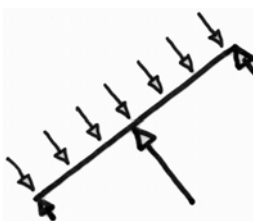
Figur 5.31a



Studera hur lasten bärs av sparren till dess stödpunkter.

Utläs ur momentdiagrammet hur mycket av den vinkelräta delen av lasten last som går till varje stödpunkt.

Figur 5.31b



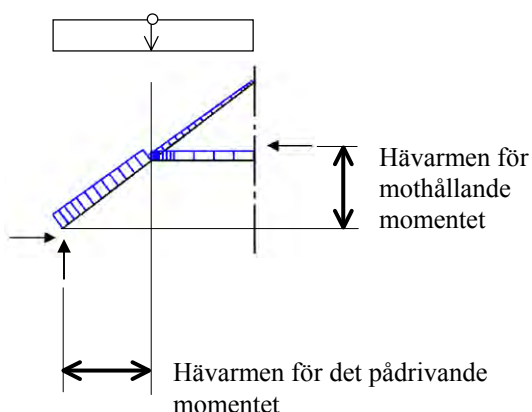
Stödpunkternas *lägen* och *styvhet* avgör hur sparren tar stöd och hur mycket den måste bära genom böjning.

Figur 5.31c

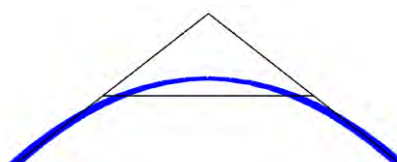
För exemplet i fig. 5.31 gäller: Den gråmarkerade delen av lasten, fig 5.31b, går till hanbjälken. Hanbjälken är ett välplacerat och styvt stöd som sparren stödjer mycket mot, fig. 5.31c. Sparren får stöd på mitten vilket håller böjbelastningen i den nere.

Studera hur lasten förs genom bågverkan till takstolens upplag
 De utåtriktade krafterna från takstolen mot byggnaden under blir små om det resulterande trycket i bärverkets mittsnitt sker högt upp och om den resulterande vertikala upplagsreaktionen hamnar långt in på kyrkväggen. Då blir hävarmen för det mothållande momentet stor och hävarmen för det pådrivande momentet liten, fig. 5.31d.

Hävarmarna kan visualiseras med hjälp av den parabel som kan ritas mellan upplagspunkterna och läget för tryckresultanten i mittsnittet, fig. 5.31e. Det gäller att ett bärverk associerat med en hög smal bågform ger små uttryckningskrafter.



Figur 5.31d

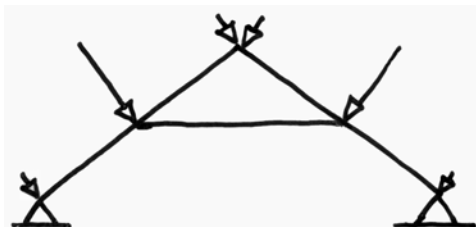


Figur 5.31e

För det visade exemplet gäller att hävarmen för det pådrivande momentet blir stor och hävarmen för det mothållande momentet blir liten. Formen kan associeras med en bred, relativt låg parabel. Den visade formen ger stora uttryckningskrafter.

Då bärverket innehåller flera olika styva kraftvägar är följande en hjälp i att förstå varför vissa kraftvägar tar mest last:

- Storleken på de punktlaster som påförs bågformerna, fig. 5.31f och g.
- Inre takstolsdelars anslutningsvinkel mot sparren, se fig. 5.32.
- Kraftvägens styvhet. (Bärs lasten axiellt eller genom böjning? Bärs lasten direkt till takstolens upplag?)

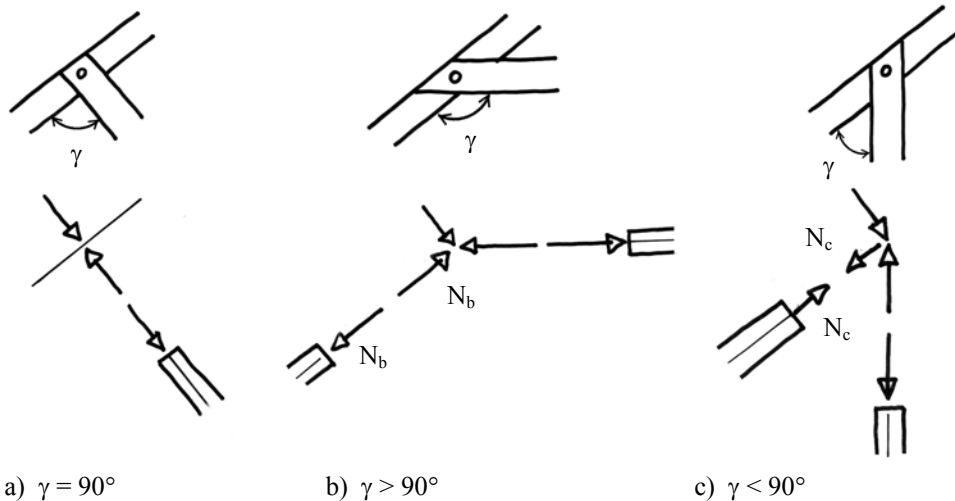


Figur 5.31f



Figur 5.31g

För exemplet gäller att den största lasten påförs vid hanbjälken. Trapetsformen blir mest belastad.



a) $\gamma = 90^\circ$

En inre del som ansluter vinkelrätt sparren påverkar inte normalkraftfördelningen i sparren.

Den yttre belastningen och tryckkraften i delen är i jämvikt.

b) $\gamma > 90^\circ$

Om sparren tar stöd mot en inre del som ansluter med en större vinkel (vanligen en hanbjälke) fås ett tillskott av tryck i sparren.

Jämvikt i den belastade punkten kräver närvaro av en tredje kraft, N_b i fig. ovan.

Om sparren redan tidigare är tryckt på grund av krafter uppifrån så ökar trycket nedanför denna punkt.

c) $\gamma < 90^\circ$

Om sparren tar stöd mot en inre del med anslutningsvinkel mindre än 90 grader (vanligen ett stödben) blir den lokalt dragbelastad nedanför stödpunkten.

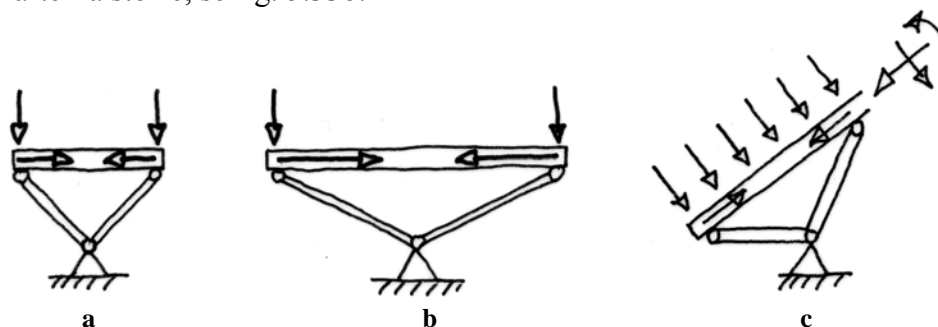
Jämvikt i den belastade punkten kräver närvaro av en tredje kraft, N_c i fig. ovan.

Om sparren är tryckbelastad av krafter uppifrån så blir minskar trycket i sparren nedanför denna punkt. Eller så blir sparren dragbelastad nedanför punkten.

Figur 5.32 Delar som stödjer sparren påverkar kraftspelet olika beroende på anslutningsvinkel γ .

Triangeleffekt

Där takstolens delar möts så att de skapar trianglar blir takstolen lokalt styv. Här införs begreppet *triangeleffekt* för att förklara varför kraftspelet på sådana ställen kan påverkas på ett ibland oväntat sätt. Betrakta triangeln i fig. 5.33a. Lasten verkar för att öppna triangeln. Förutsatt att den också har möjlighet att öppna sig, så blir den övre delen dragbelastad och de andra två tryckta - det uppstår en *triangeleffekt*. För en "mer öppen" triangel blir krafterna större, se fig. 5.33b.



Figur 5.33 a) Triangeleffekt: lasten på triangeln ger upphov till dragning i den övre delen och tryck i de andra. b) "Mer öppen" triangel: triangeleffekten blir större. c) Stödbenstriangel i en takstol. Lasten lokalt på triangeln ger upphov till dragning i sparren nedtill.

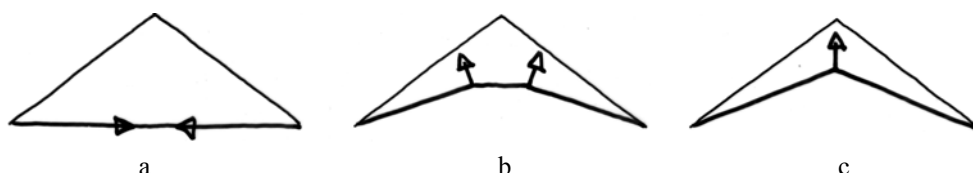
I takstolar med stödben bildar stödben, stickbjälke och sparre en triangel. Den vinkelräta delen av lasten verkar lokalt på triangeln för att genom triangeleffekt ge upphov till dragning i sparren, fig. 5.33c. Samtidigt med denna lokala effekt verkar de övergripande verkningsätt som vill ge tryck i sparren. Triangeleffekten kan dominera över det övergripande verkningsättet så att sparränden bli dragbelastad. Det gäller då:

- stödbenstriangeln är "öppen" (bred) som i fig. 5.33b
- takstolens övriga delar ger triangeln ett eftergivligt stöd upptill, så att den roterar inåt.

ATT BÄRA GENOM DRAGNING OCH TRYCK

Sök axiella kraftvägar för inre dragning

När horisontellt stöd saknas vid upplagen måste inre delar fungera som "dragstag" för att hålla samman bärverket – de skapar axiella kraftvägar för inre dragning. Några möjliga kraftvägar visas i fig. 5.34a-c. Bärverkets styvhet beror av styvheten i de dragbelastade delarnas förankringspunkter.



Figur 5.34a-c Några möjliga kraftvägar för inre dragning a) Horisontell kraftväg genom bindbjälke eller dragstag. Behandlas inte här. b) och c) Dragningen tvingas ta vägen kring ett valv.

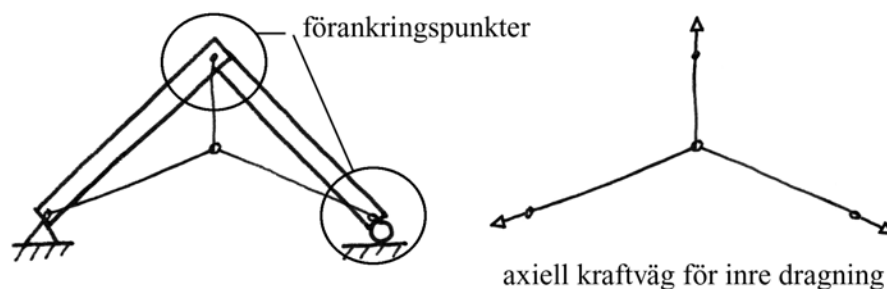
Studera inre dragbelastade delars förankring

De takstolar som studeras är byggda för att skapa ett speciellt kyrkorum där innertaketets välvning varit viktig. Takstolarna har därför inte kunnat byggas med den mest lämpliga kraftvägen för inre dragning: en horisontell del mellan sparrfötterna, fig. 5.34a. Då dragningen inte kan bäras tvärs över bärverket vid sparrfot måste den ledas *runt* valvet eller bäras tvärs över bärverket *ovanför* valvet. Vid riktningändringar måste dragbelastade delar förankras uppåt i det tryckta materialet.

Studera hur de inre dragbelastade delarna är förankrade, fig. 5.34e nedan.

Hög styvhet kan nås om dragbelastade delar är förankrade:

- Nedåt: *vid upplagen*, där rörelsen utåt uppstår.
- Uppåt: i *knutpunkter*, där belastningen kan tas upp som tryck och dragning. Låg styvhet fås om de förankras vinkelrätt mot en bjälke, där belastningen måste bäras som böjning.



Figur 5.34e Utgångspunkter för tolkning när det gäller att bära genom dragning och tryck. Sök kraftvägar för inre dragning och dessas förankringspunkter.

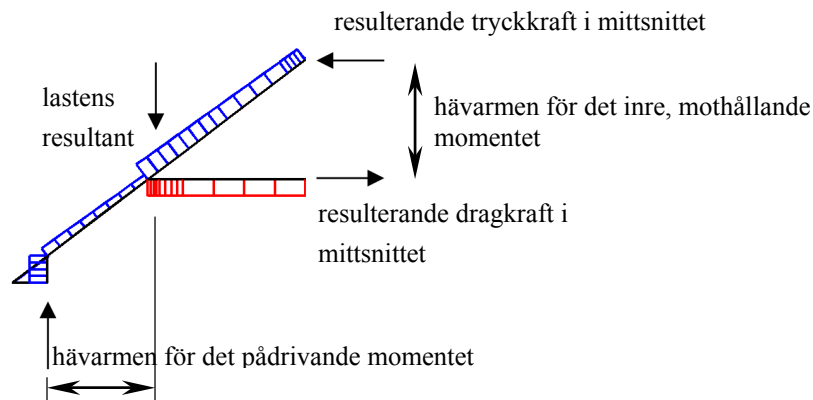
Sparrens stöd mot böjning

Studera hur sparren får stöd mot böjning av den yttre lasten. Inre delar som tagits i bruk för inre dragning fungerar inte längre som stöd för sparren.

Hävvarmar

Kraftspelet är för denna uppgift är förknippat med stora permanenta dragkrafter i knutpunkterna. Ju mer av bärningen som tas som dragning och tryck (och ju högre styvhet bärverket därmed har), desto sämre är det för de knutpunkter som är svaga för dragbelastning.

För att hålla nere storleken på krafterna i takstolen ska *hävvarmen för det pådrivande momentet* vara så liten som möjligt och *hävvarmen för det inre mothållande momentet* vara så stor som möjligt, fig. 5.34f.



Figur 5.34f Hävvarmar för pådrivande moment och inre mothållande moment

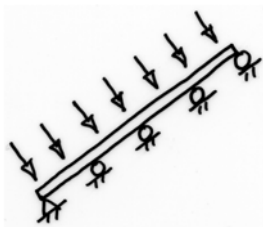
Triangeleffekt

Kraftspelet kan påverkas av lokalt förstyvande trianglar, fig 5.33.

ÅTT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

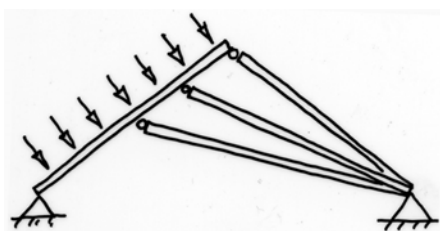
Studera hur sparren får stöd mot utböjning

Bärverkets halvor blir utsatta för böjning och dragning respektive böjning och tryck. Sparren möter lasten. De former är styva som ger sparren flera stöd och därigenom kortar dess spännvidd, fig. 5.35a. Stöden ska vara väl fördelade utmed sparrens längd och vara styva.



Figur 5.35a Takstolen är styv om sparren får flera stöd mot utböjning.

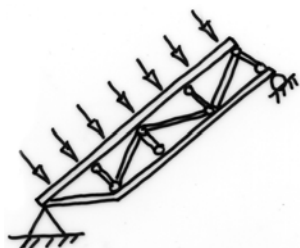
Saxsparrar av den typ som ansluter mot upplagen utgör styva stöd, fig. 5.35b.



Figur 5.35b Styva stöd 1, principskiss.

Den ena sparren behöver stöd mot en utböjning riktad nedåt/inåt medan den andra sparren behöver stöd mot en utböjning uppåt/utåt. Saxsparrarna måste därför kunna ta både dragning och tryck.

Sparren kan också få stöd mot utböjning av andra delar inom samma halva av takstolen. Sådana stöd är styva om de bär belastningen från sparren genom dragning och tryck. Bärverket får därför hög styvhet *om dess halvor bildar sammansatta balkar*. Om sådana sammansatta balkar har hög höjd blir krafterna i dem mindre.



Figur 5.35c Styva stöd 2, principskiss.

Triangeleffekt

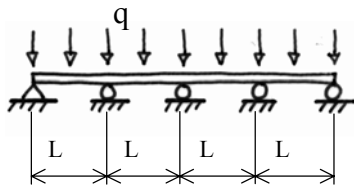
Lokalt förstyvande trianglar kan påverka kraftspelet, fig. 5.33.

Kommentar till förklaringsmodell: Vad gör sparren styv?

Förklaringsmodellen i detta kapitel bygger på att sparren - som är den del som möter lasten - betraktas för sig och den stödjande strukturen för sig. Sedan undersöks hur sparren får stöd och hur de stödjande delarna belastas. Det är inte *enbart* stödets lägen och kvalitet som påverkar hur mycket sparren kommer att böja ut och hur stora spänningarna i den kommer att bli. Men de har en avgörande betydelse.

Betrakta sparren som en jämnstyv balk på flera stöd, fig. 5.36. Uttrycket (5.1) visar att balkens utböjning mellan stödpunkterna beror av:

- avstånden mellan stöden, L
- materialets styvhet, som anges med elasticitetsmodulen E
- tvärsnittets form och mått, vilka beskrivs av tröghetsmomentet I .



$$\text{Utböjningen} = \text{konstant} \cdot (qL^4)/EI \dots (5.1)$$

Figur 5.36 Kontinuerlig balk samt uttryck för maximal utböjning. Konstanten i uttrycket har olika värden för de olika facken och erhålls ur tabeller.

Så länge stöden är relativt jämnstyva har *avståndet L mellan stöden* ett avgörande inflytande på sparrens utböjning: L är av potensen 4 i uttrycket (5.1), medan övriga faktorer är av potensen 1. Timmermannen har avgjort antalet stöd och avståndet mellan dem genom valet av utformning.

Ett högt värde på *elasticitetsmodulen* kan fås genom att välja virke av hög kvalitet. Möjligen har man i det traditionella byggandet kunnat påverka elasticitetsmodulen E med en faktor två.

Timmermannen har också kunnat påverka *sparrens tröghetsmoment I* , som är ett mått på sparrens styvhet beroende på dess tvärsnittsform. Sparrarna i de bärverk vi studerar här är rektangulära bjälkar. Deras tvärsnittsstyvhet påverkas främst av deras höjd. Ett exempel: en ökning av balkhöjden från 175 mm till 200 mm ökar tröghetsmomentet en halv gång.

5.3.3 Vad betyder hanbjälkens placering?

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.37

Belastning i delarna och styvhet

Deformationerna och böjmomenten i sparrarna blir störst i modellen med den lägst placerade hanbjälken, rad 1, och minst då hanbjälken är placerad strax ovanför takstolens halva höjd, rad 3.

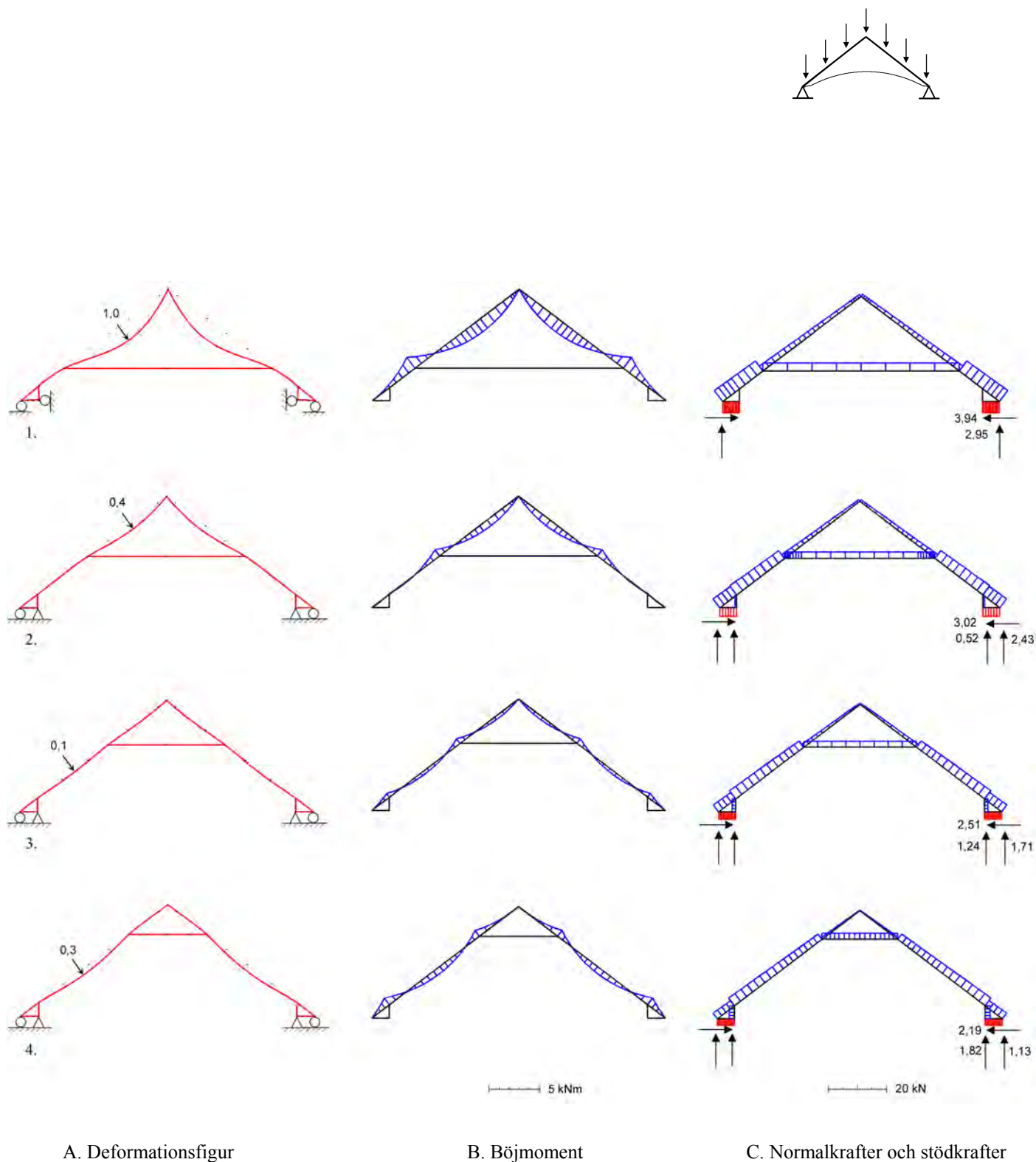
Skillnaderna vad gäller ansträngning i materialet och styvhet hos modellerna i bildserien är dock små och alla kan sägas representera "goda former"; möjligen med undantag av den översta som kan vara väl vek för en extrem snölast. (Lasten ska, beroende på geografiskt läge och taktäckningsmaterial, flerfaldigas upp till åtta gånger för att motsvara samtidig belastning av egentyngd och extrem snölast.)

Dragkrafter i förband

Dragkrafterna i stickbjälkens infästningar blir mindre ju högre upp hanbjälken är placerad.

Horisontella upplagsreaktioner

Hanbjälkens placering påverkar storleken på de utåtriktade krafter som verkar från takstolen mot byggnaden under. De horisontella upplagsreaktionerna blir mindre ju högre upp hanbjälken är placerad. De blir 45 % mindre i rad 4 än i rad 1.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.37 Hanbjälkens placering och möjligheten att bära som en båge.

Kolumn A visar att styvheten blir högst då sparren får stöd med jämna avstånd, rad 3.

Kolumn B visar att böjmomenten och därmed belastningen i delarna blir minst då sparren får jämnast stöttning, rad 3.

Kolumn C visar att normalkrafterna är relativt konstanta. Uttryckningskrafterna blir minst då hanbjälken sitter högst.

Tolkning av verkningsätt i figur 5.37

Bågformer

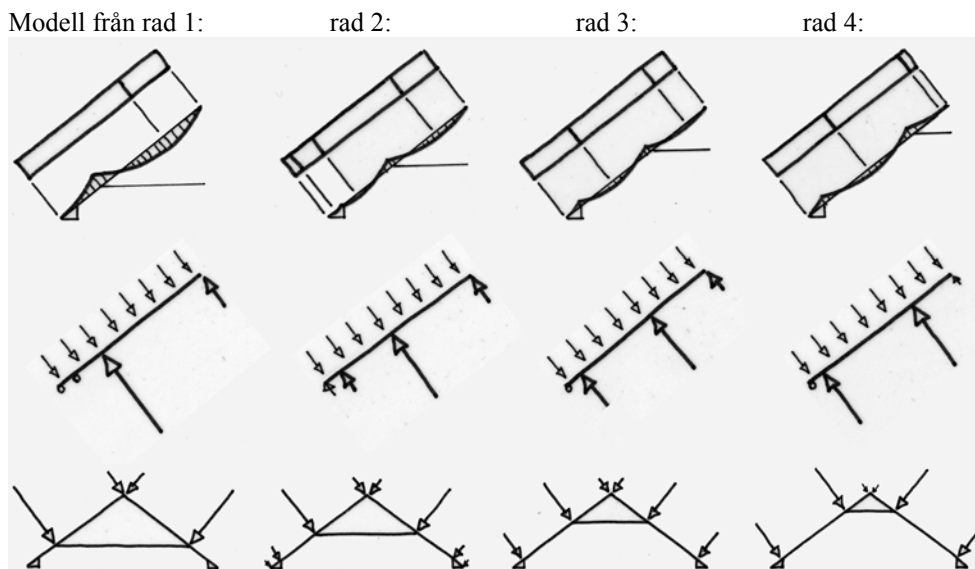
Samtliga takstolsmodeller i bildserien innehåller fyra bågformer enligt fig. 5.38, varav tre är unika styva kraftvägar.



Figur 5.38 Bågformer i bärverken i fig. 5.37. Stödbenen skapar bara *en* ny bågform utöver de två första – bara tre former utgör unika styva kraftvägar.

Hur lasten tas till bågformerna och hur hårt böjbelastad sparren blir

Det finns i samtliga modeller fyra *potentiella* stöd för sparren: vid upplaget, vid stödbenet, vid hanbjälken och i nocken. Stödets inbördes placeringar gör dock att sparren kommer att ta stöd olika mycket mot de potentiella stöden, fig. 5.39.



Figur 5.39 Hur sparren bär lasten till bågformerna och hur dessa belastas.

Överst: Andel last till de olika stödpunkterna enligt momentdiagram.

Mitten: Reaktionskrafter från stöden visar var sparren tar mest stöd.

Nederst: Hur bågformerna belastas.

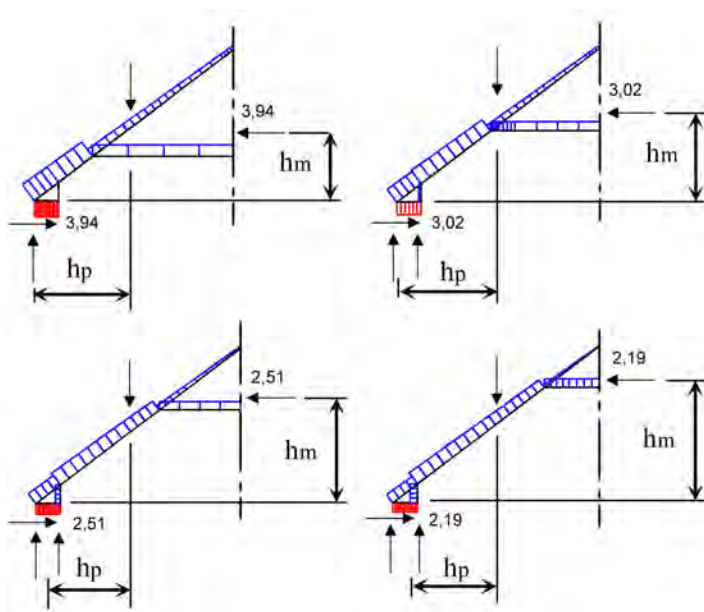
Den första modellens relativa vekhet beror på att den saknar stöd på en lång sträcka upptill men erbjuds tre tätt placerade stöd nedtill. Sparren böjer ut mycket på den övre sträckan och tar därvid stöd mot *två* av de fyra möjliga stödpunkterna: mot nocken och hanbjälken. Sparren lyfter från stödbenet

som följer med sparren då den lyfter. (Upplagen antas inte kunna ta vertikala dragkrafter.)

När hanbjälken är placerad högre upp gör stödbenet mer nytta som stöd för sparren. Modellen i rad 3 är styvast och minst belastad eftersom sparren där får stöd mot utböjning på jämna avstånd.

Hur lasten förs genom bågverkan till takstolens upplag

Eftersom trapetsformen i samtliga modeller belastas hårdare än den upp- och ned-vända V-formen har hanbjälkens höjdläge en avgörande betydelse för storleken på *hävvarmen för det mothållande momentet*. Ju högre upp hanbjälken är placerad, desto högre upp sker det resulterande kraftspelet av tryck. Se fig. 5.40.



Figur 5.40 Hävvarmen för det pådrivande momentet (h_p) minskar och hävvarmen för det mothållande momentet (h_m) ökar med en högre placering av hanbjälken. Därmed minskar uttryckningskrafterna.

Samtidigt gäller att ju högre upp hanbjälken är placerad, desto mer belastas stödbenen, så att *hävvarmen för det pådrivande momentet* minskar (fig. 5.40). Att en högre placering av hanbjälken ger mindre uttryckningskrafter beror således på att *båda* hävvarmarna påverkas i positiv riktning.

ATT BÄRA GENOM DRAGNING OCH TRYCK

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.41

Belastning i delarna och styvhet

Ju högre upp hanbjälken är placerad, desto större blir böjmomenten i sparrarna och desto vekare blir formen.

Dragkrafter i förband

Dragkrafterna i hanbjälkens infästningar blir större ju högre upp hanbjälken är placerad.

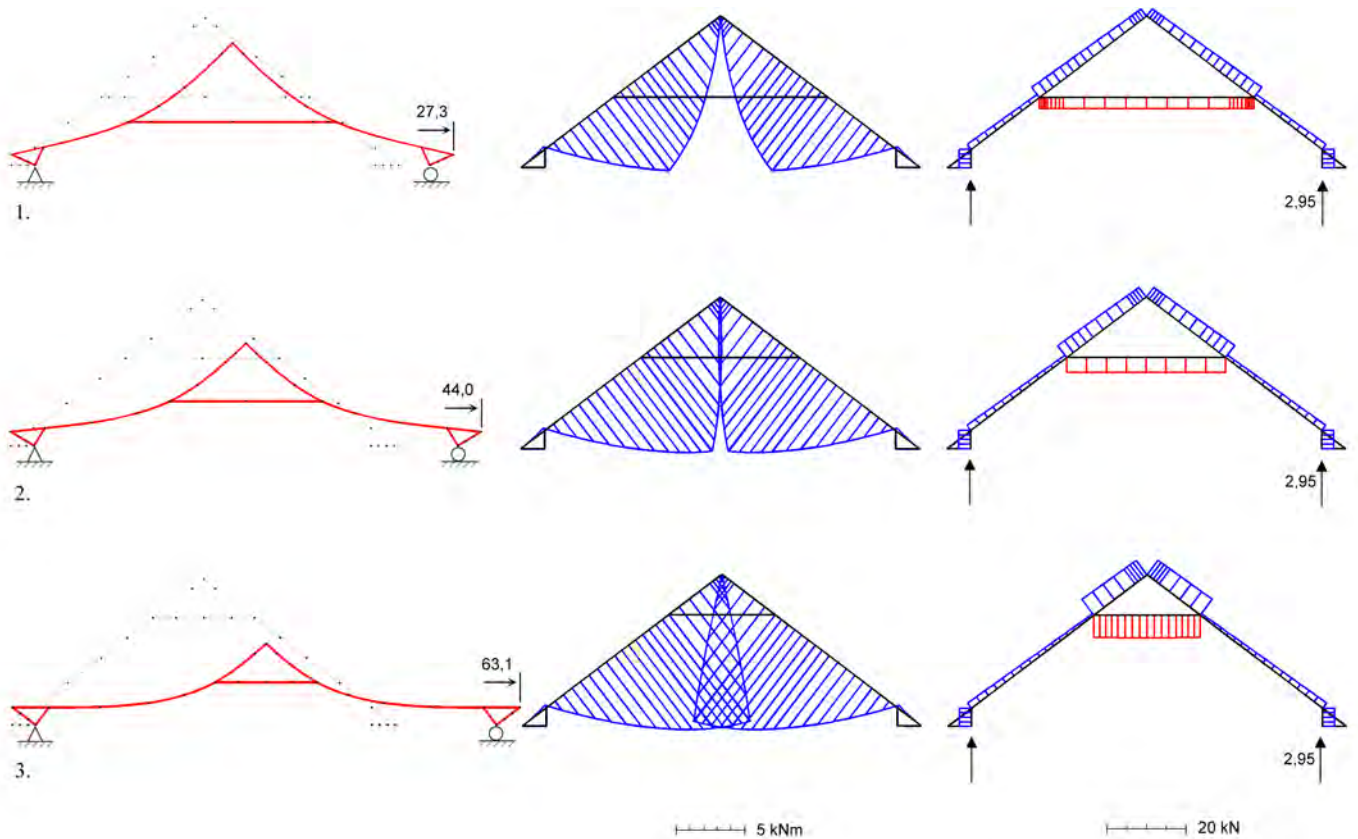
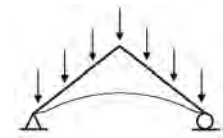
Tolkning av verkningssätt i figur 5.41

Inre dragbelastade delars förankring

De tre takstolsformerna i bildserien erbjuder samma enda axiella kraftväg för inre dragning: hanbjälken. Med en ensam hanbjälke får den inre dragningen en olämplig förankring. Se även tolkningen i anslutning till fig. 5.11. Dragkraften från hanbjälken belastar sparren, som redan är böjbelastad till följd av den yttre lasten. Spänningarna och deformationerna i sparren blir orimligt stora.

Hävvarmar

Ju högre upp hanbjälken är placerad, desto mindre blir *hävvarmen för det inre mothållande momentet*. Större krafter krävs därmed för att hålla bärverket i jämvikt mot lastens roterande verkan. En större dragkraft i hanbjälken leder dels till en större belastning för sparren, dels till att knutpunkterna mellan hanbjälke och sparrar blir hårdare belastade.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

Figur 5.41 Hanbjälkens placering och möjligheten att bära genom dragning och tryck.

Kolumn A visar hur styvheten blir mindre för en högre placering av hanbjälken.

Kolumn B visar hur böjmomenten och därmed belastningen i sparrarna blir större för en högre placering.

Kolumn C visar hur dragkraften i hanbjälkens infästningar blir större för en högre placering av hanbjälken.

ATT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.42

Belastning i delarna och styvhet

Hanbjälken blir outnyttjad och belastning i delarna och styvhet påverkas inte av hanbjälkens placering.

Dragkrafter i förband

Påverkas inte av hanbjälkens placering.

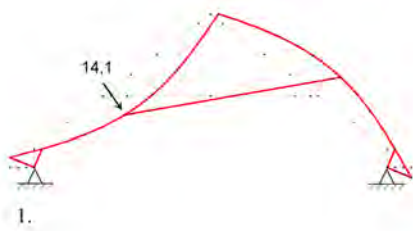
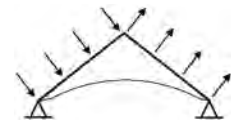
Horisontella upplagsreaktioner

Påverkas inte av hanbjälkens placering.

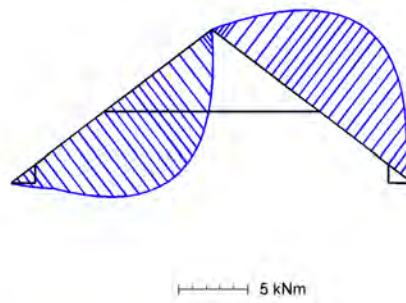
Tolkning av verkningssätt i figur 5.42

Sparrens stöd mot utböjning

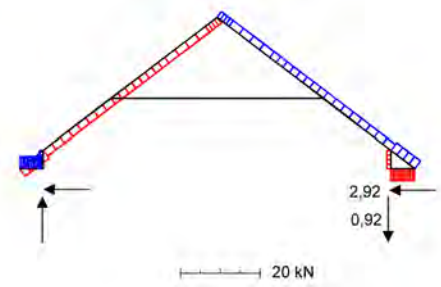
Hanbjälken kan inte stödja sparrarna då de böjer ut av den antisymmetriska lasten. Läsidans sparre och lovartsidans sparre böjer ut lika mycket och hanbjälken följer stelt med i rörelsen. Detta gäller oavsett vilken höjd hanbjälken är placerad på och oavsett antalet hanbjälkar. (Är hanbjälken hopfogad med andra inre takstolsdelar så kan denna inre konstruktion verka stödjande, jfr. fig. 5.21.)



A. Deformationsfigur



B. Böjmoment



C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.42 Hanbjälkens placering och möjligheten att bära som två balkar.

Hanbjälken har ingen funktion vid antisymmetrisk last i denna enkla takstolsform. Det gäller oavsett placering i höjded.

5.3.4 Vad betyder stödbenens placering?

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.43

Belastning i delarna och styvhet

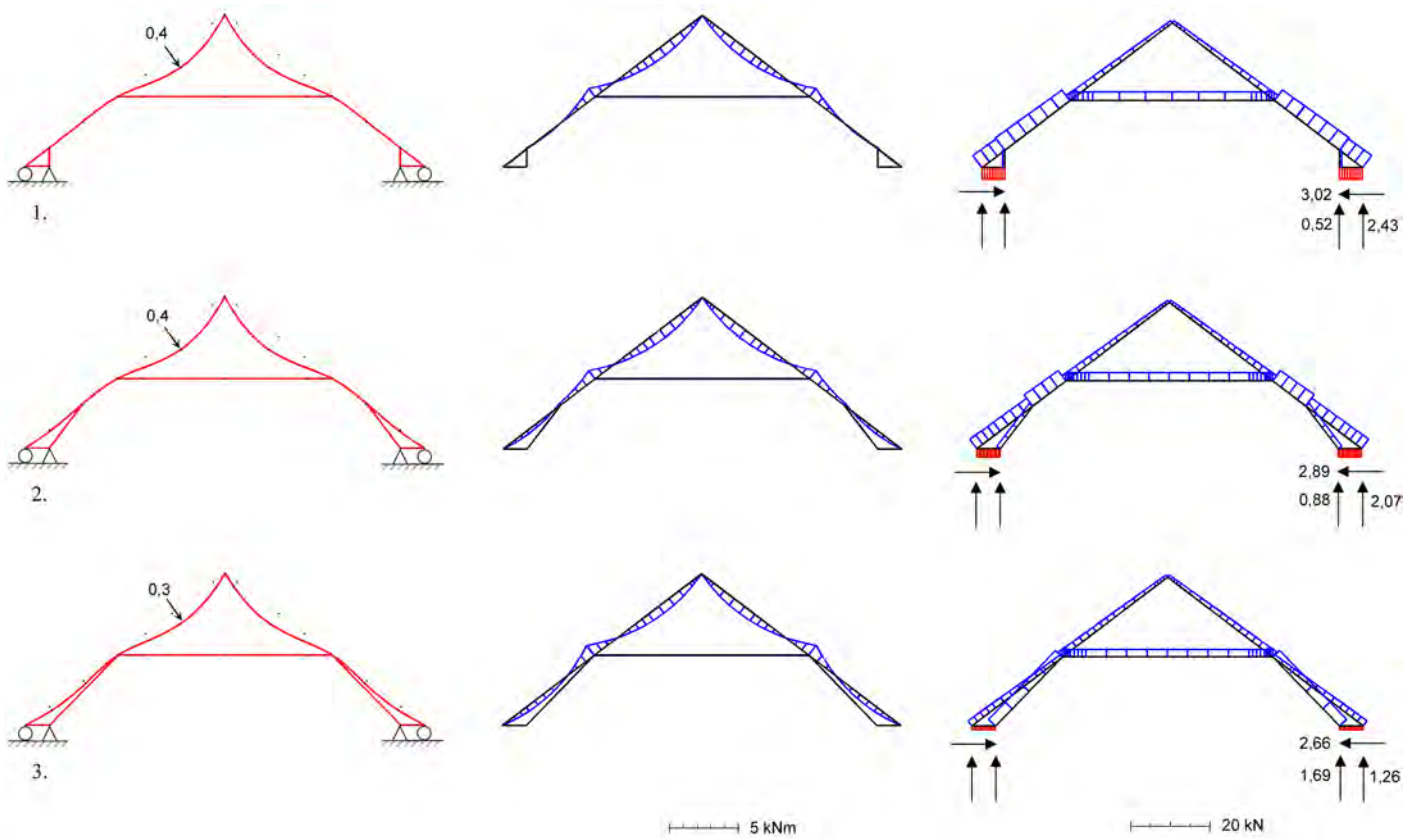
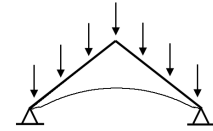
Stödbenens placering har inte någon stor betydelse för ansträngningen i materialet i takstolens enskilda delar eller för takstolens styvhet. Det blir en viss skillnad i böjmoment och nedböjning i sparrarnas nedre ändar, se kolumn 2 respektive kolumn 1 i fig. 5.43. Böjmomentet och nedböjningen är minst då stödbenet är vertikalt, rad 1, och ökar då stödbenen vinklas inåt, rad 2 och rad 3. Allt mer av lasten går via stödbenen till upplagen då stödbenen vinklas inåt – normalkrafterna i stödbenen ökar medan normalkrafterna i sparrändarna minskar.

Dragkrafter i förband

Stickbjälkarna avlastas från dragning då stödbenen vinklas inåt eftersom mer kraft då går till upplagen via stödbenen.

Horisontella upplagsreaktioner

Den mest intressanta skillnaden i verkningssätt som beror av stödbenets placering är den att takstolarna med stödben vinklade inåt, som i rad 2 och 3, ger mindre utåtriktade krafter mot underlaget. De horisontella upplagsreaktionerna blir 12 % mindre för modellen i rad 3 än för modellen i rad 1.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.43 Stödbenens placering och möjligheten att bära som en båge.

Kolumn A och kolumn B visar att det vertikala stödbenet i rad 1 stöttar sparrens nedre ände bäst.

Kolumn C visar att sneda stödben leder mer kraft till insida vägg och att uttryckningskrafterna därmed minskar.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.43

Bågformer

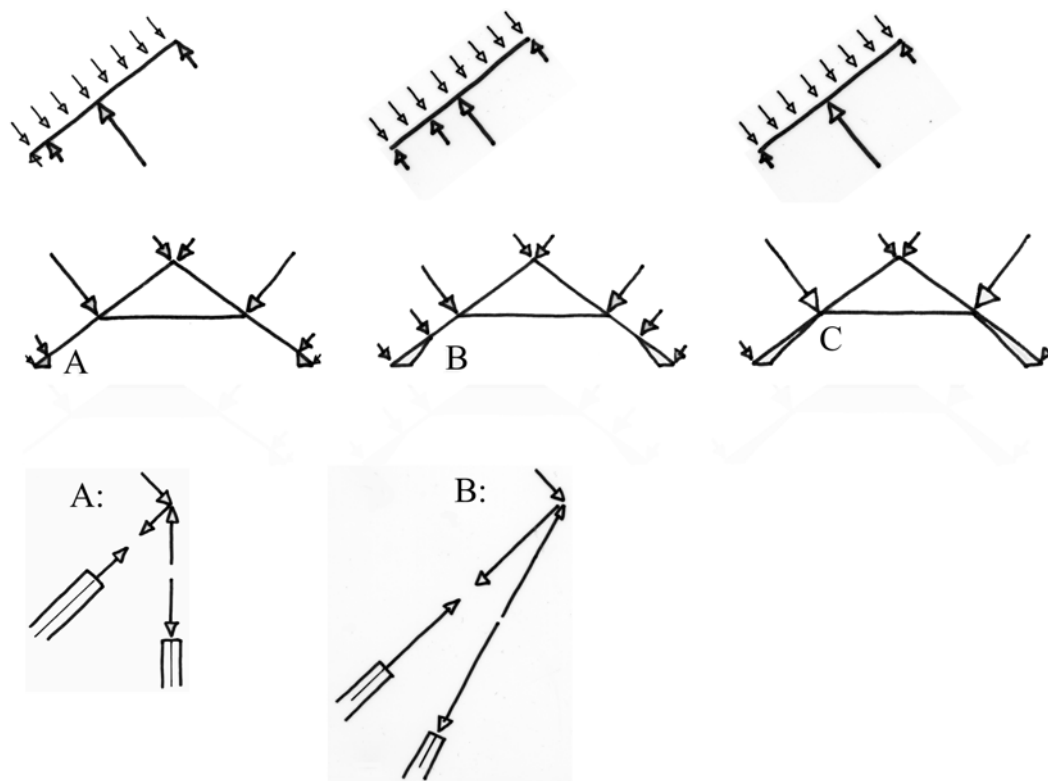
Modellerna i rad 1 och 2 innehåller de tre första bågformerna i fig. 5.44. Modellen i rad 3 innehåller de två första och den femte bågformen.



Figur 5.44 Bågformer som utgör unika styva kraftvägar i modellerna i fig. 5.43.

Hur lasten tas till bågformerna och hur hårt böjbelastad sparren blir

Stödbenen i modellerna i rad 1 och rad 2 utgör visserligen stöd för sparrarna och minskar böjningen i dem något. De stödpunkter de skapar ligger dock alltför nära hanbjälken för att ha någon avgörande betydelse. Överst i fig. 5.45, där reaktionskrafterna mot sparren är skalenligt återgivna, ser vi att sparren i samtliga tre modeller tar mest stöd mot hanbjälken. Stödbenet i rad 2 har en något lite bättre placering än det i rad 1. I modellen i rad 3 skapar stödbenen inget ytterligare stöd mot böjning utöver hanbjälken.



Figur 5.45 Överst: Hur sparren tar stöd i de tre formerna i bildserien i figur 5.43.

Mitten: Hur bågformerna belastas.

Nederst: Ett snett stödben ger större lokal dragkraft i sparren.

Hur lasten förs genom bågverkan till upplagen

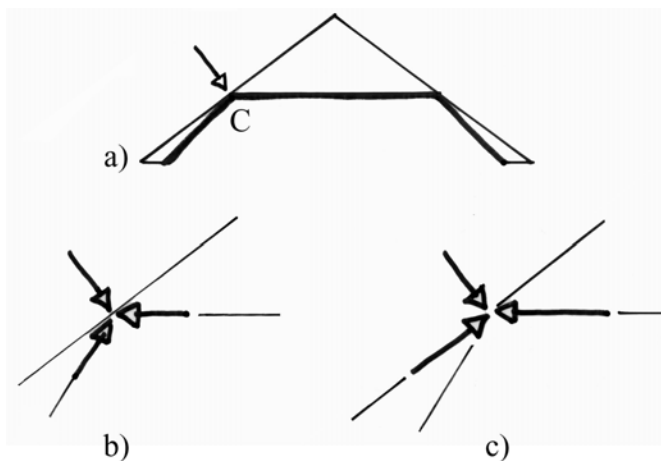
Med sneda stödben förs mer av lasten till de inre upplagen så att *hävarmen* för det pådrivande momentet och därmed uttryckningskrafterna blir mindre.

Jämför först modellerna i rad 1 och rad 2. Det *sneda* stödbenet leder mer last till det inre stödet än det raka:

- Dels har det en något bättre placering som stöd för sparren och tar något mer last, se fig. 5.45 överst och mitten.
- Dels gör själva *lutningen* att sparren avlastas mer från tryck, se figur 5.45 nederst.

Betrakta nu modellen från rad 3 i bildserien, fig. 5.43. Se fig. 5.46. Sparren tar stöd mot hanbjälken under lasten. Trycket i hanbjälken måste balanseras av ytterligare en tryckkraft för jämvikt i punkten C. Denna tryckkraft kan komma *antingen* från sparren (fig. 5.46c) *eller* från stödbenet, (fig. 5.46b). *Vilken väg* kraften kommer att gå kan inte förstås enbart utifrån en jämviktsbetraktelse, eftersom systemet är statiskt obestämt. I sådana fall väljer kraften den *styvaste* kraftvägen. Här är stödbenet en styvare kraftväg än sparren. Stödbenet tar *all* kraft som generas av hanbjälken. I sparren verkar endast den tryckkraft som påförts den i nocken. Stödbenet kan förstås som en styvare kraftväg för att:

- Dess vinkel gör det mer motriktat mot lasten än sparren.
- Det leder lasten direkt till det inre horisontella stödet. (Sparren leder lasten dels till det yttre vertikala stödet, dels vidare genom stickbjälken som dragning till det inre horisontella stödet.)



Figur 5.46 a) Kraften leds till den inre trapetsformen (stödbenen och hanbjälken) eftersom den utgör en styvare kraftväg. b) och c) Alternativa kraftvägar.

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.47

Belastning i delarna och styvhet

De maximala böjmomenten i sparrarna (och därmed de maximala spänningarna i materialet) blir desamma oavsett stödbenens lägen. Däremot blir böjmomenten större lokalt i sparrarnas nedre ändar om stödbenen vinklas inåt. Spänningarna i materialet till följd av de här böjmomenten skulle sannolikt leda till brott i en verklig konstruktion.

Deformationerna ökar med böjmomenten; ju mer stödbenen vinklas inåt, desto större blir isärglidningen.

Dragkrafter i förband

Då stödbenet vinklas inåt uppstår dragning i sparrarnas nedre ändar och dragningen blir större ju mer stödbenet lutar inåt. Dragkrafterna i hanbjälkens infästningar är lika stora i de tre takstolsformerna. Krafterna är orimligt stora med tanke på dragkraftskapaciteten hos timmermansförband.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.47

Inre dragbelastade delars förankring

Gemensamt för de tre takstolsformerna i fig. 5.47 gäller att de är alltför vecka: den inre dragningen är olämpligt förankrad. Dragkraften från hanbjälken belastar sparren, som redan är böjbelastad till följd av den yttre lasten. Detta har behandlats tidigare i fig. 5.11.

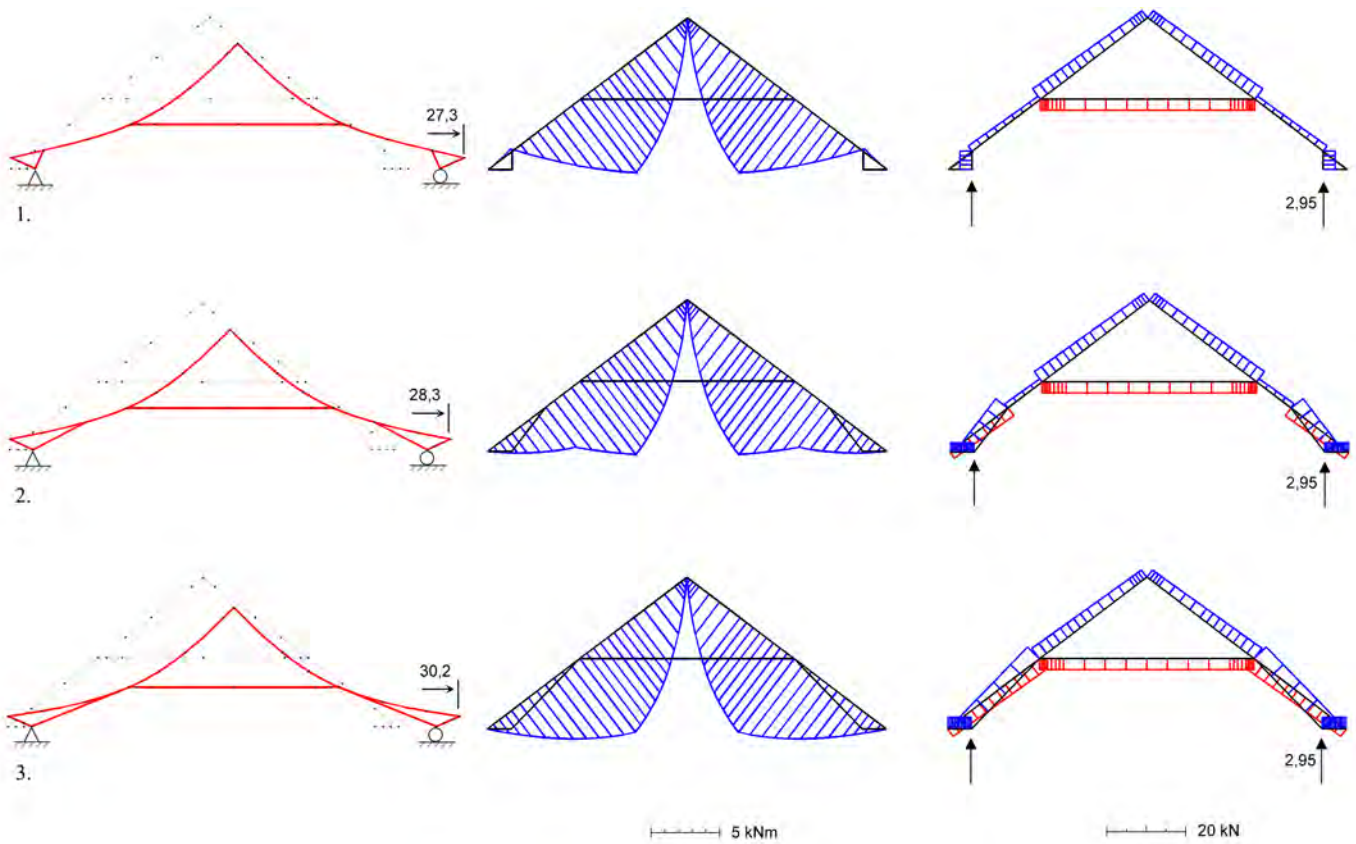
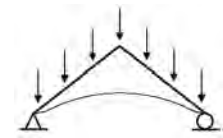
Sparrens stöd mot utböjning

Stödbenen utgör här inte några verkliga stöd för sparren. Hela stödbenstriangeln rör sig som en stel kropp och fungerar snarare som en lokal förstyvning av sparren. Se tolkningen under *Vad betyder stödbenens placering: Att bära som två balkar.*

Triangeleffekt

För modellerna i rad 2 och 3 stämmer inte kraftspelet nedtill in på den här uppgiftens karakteristiska mönster av dragning i inre delar och tryck i yttre delar. Stödbenen, som är innerst, är tryckbelastade medan sparrarna är dragbelastade. Detta kan förklaras av *triangeleffekten*, en lokal effekt av last på stödbenstriangeln som ger dragning i sparren.

Med ett *kort vertikalt* stödben som i rad 1 blir triangeleffekten liten. Trycket i sparren släcks precis ut av den lokala dragning som följer av triangeleffekten. Med ett *lutande* stödben som i rad 2 och rad 3 blir triangeleffekten större. Den lokala dragningen dominerar över trycket i sparren av last som påförs högre upp. Sparränden blir dragbelastad med en relativt stor kraft.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.47 Stödbenens placering och möjligheten att bära genom dragning och tryck.

Kolumn A visar att hela bärverket blir vekare då stödbenen vinklas in.

Kolumn B visar hur böjmomenten och därmed *belastningen i sparrarna* ökar.

Kolumn C visar hur sparränden blir dragbelastad nedtill för de sneda stödbensplaceringarna.

ATT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

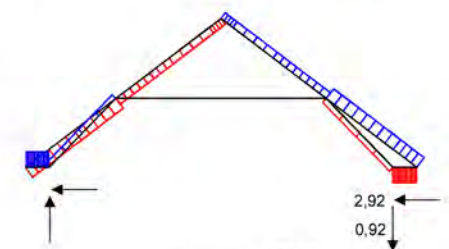
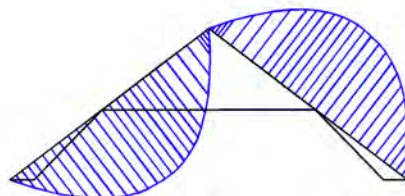
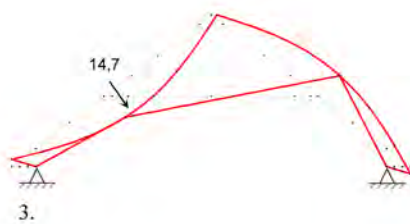
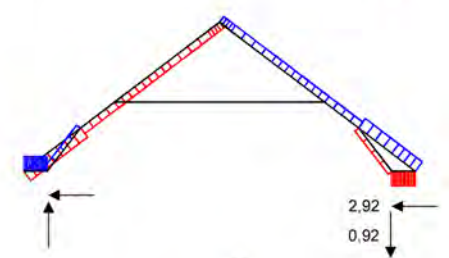
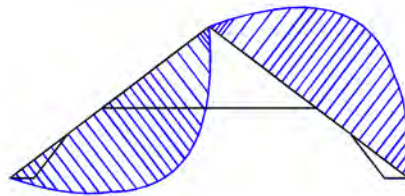
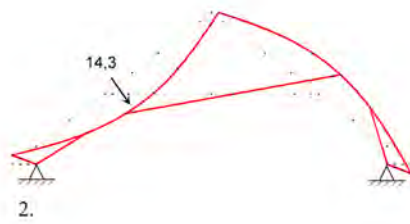
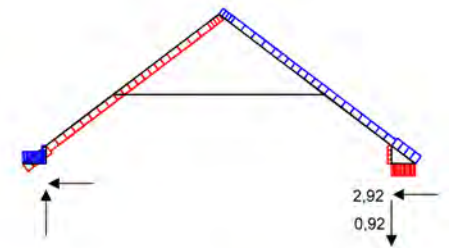
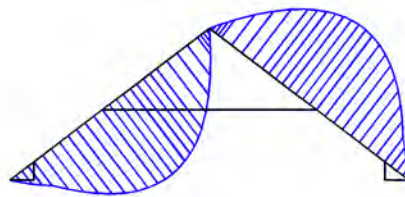
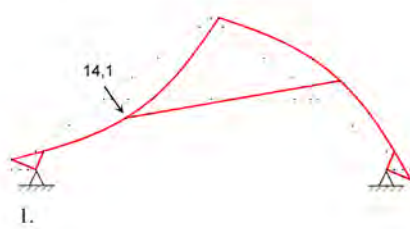
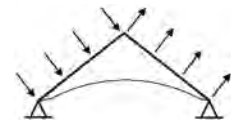
Ren beskrivning, vad som händer i figur 5.48

Styvhet och belastning i delarna

Skillnaden i resultat blir marginell för de tre modellerna. En obetydlig skillnad i böjmomentet lokalt vid stödbenet kan urskiljas.

Dragkrafter i förband

Dragkraften i sparränden på lovartsidan ökar något då stödbenet vinklas inåt och det gör också dragkrafterna i stickbjälkens förband på läsidan.



5 kNm

20 kN

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

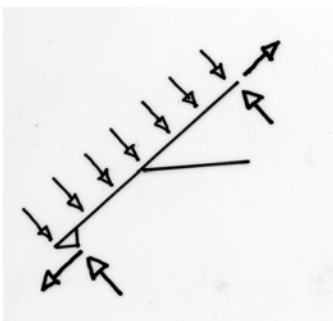
Figur 5.48 Stödbenens placering och möjligheten att bära som två balkar.

Kolumn A, B och C visar alla att stödbenens placering inte har någon stor betydelse för det antisymmetriska lastfallet.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.48

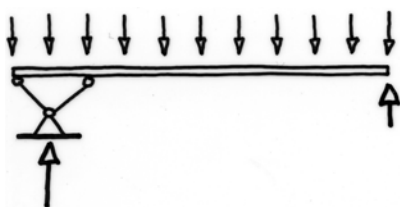
Sparrens stöd mot utböjning

Hanbjälken utgör inget stöd för sparren utan följer stelt med vid sparrarnas utböjning.

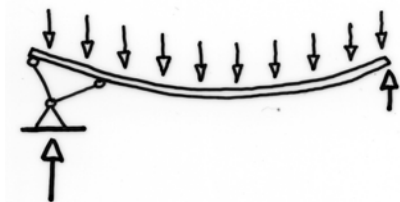


Utgör stödbenet något stöd för sparren? Studera hur sparren bär den yttre lasten samt de mot sparren vinkelrätt verkande stödreaktionerna i figuren till vänster. Betrakta lovartsidan. Hanbjälken tar ingen last.

Figur 5.49

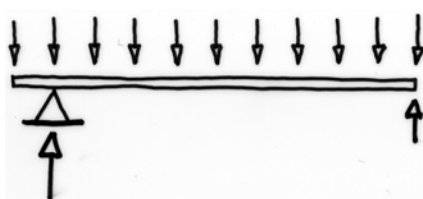


Figur 5.50 a



Figur 5.50 b

1. När stödbenstriangeln lyfter från det yttre stödet och roterar undan för lasten så fungerar den som en stel kropp. Stödbenets betydelse för sparrens utböjning måste förstås utifrån hela stödbenstriangelns betydelse.



Figur 5.51 a

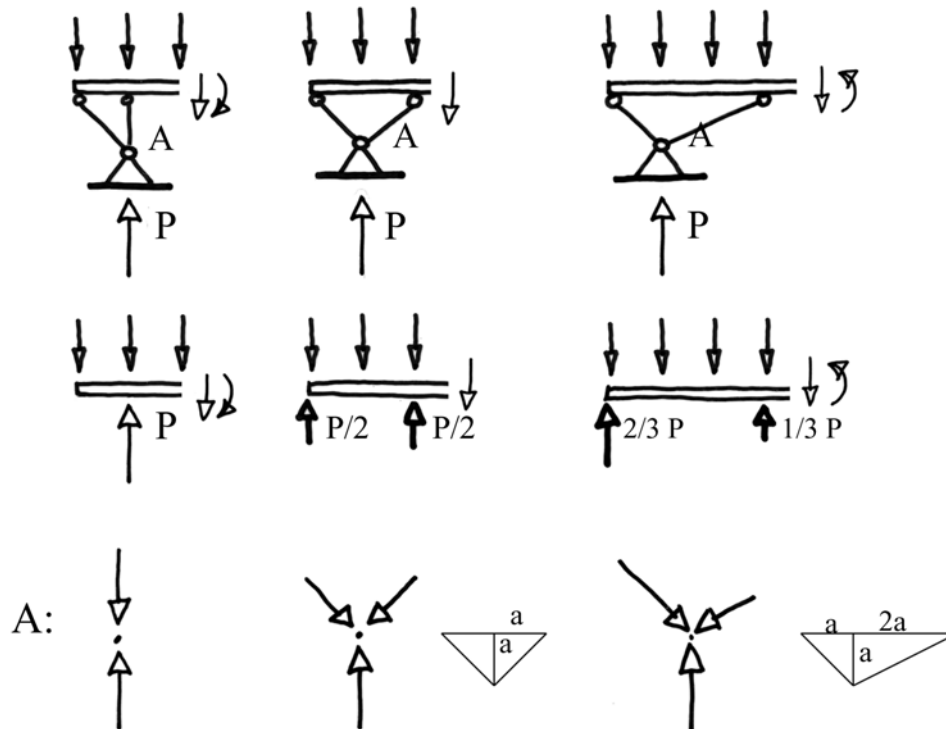


Figur 5.51 b

2. Stödbenstriangeln i sin helhet motverkar böjning i sparren genom att den flyttar in sparrens stödpoint och skapar ett *överbäng*. Lasten på överbänget motverkar sparrens utböjning på den långa sträckan utan stöd.

Momentdiagrammets principella utseende blir som i figuren till vänster.

3. Men genom stödbenstriangeln får sparren sitt stöd *uppdelat*. Den får stöd av två av varandra beroende krafter: kraften i stickbjälken och kraften i stödbenet. Kraften från stickbjälken lyfter sparränden och *motverkar* överhängets positiva effekt.



Figur 5.52

4. Den *mest gynnsamma* utformningen vore en där stödbenet ansluter vinkelrätt mot sparren, längst till vänster i fig. 5.52. Då blir kraften i stickbjälken noll och hela överhängets positiva effekt kommer sparren till godo. Ju spetsigare anslutningsvinkeln mellan stödben och sparre är, desto större blir kraften i stickbjälken och desto mer motverkas överhängets effekt. (ovan i mitten och höger.) Desto sämre stöd får sparren mot utböjning.

5.3.5 Hur fungerar Bergatypen?

Bergatypen jämförs med två andra takstolsformer. Bergatypen visas i rad 1, fig. 5.53.

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

Beskrivning av verkningsätt i figur 5.53

Belastning i delarna och styvhet

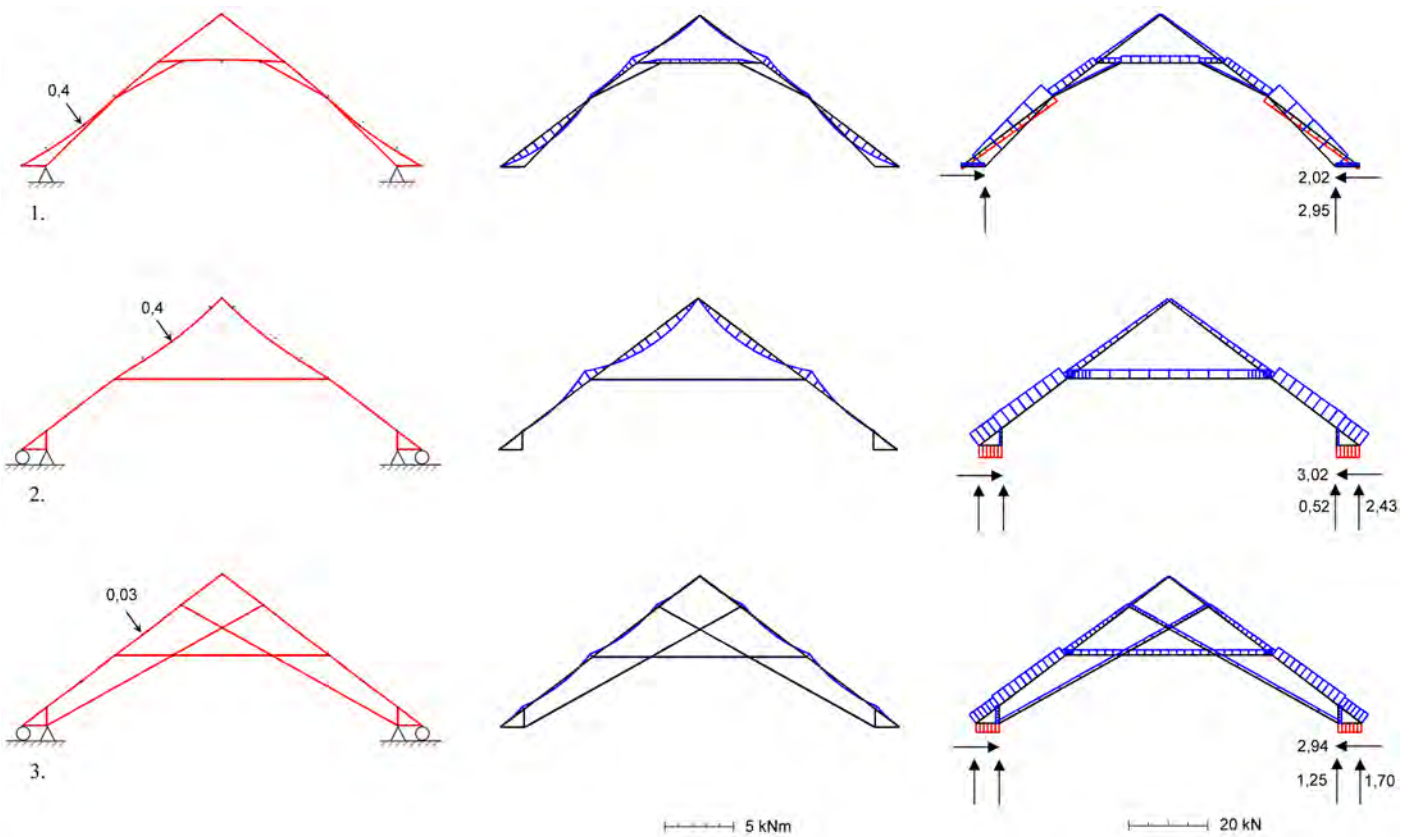
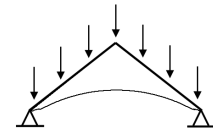
Böjmomenten och deformationerna är ungefär lika stora för Bergatypen i rad 1 som för takstolen i rad 2, men Bergatypen är lokalt vek *nedtill* medan takstolen i rad 2 är lokalt vek *upptill*. Bergatypen är överlag vekare och mer böjbelastad än saxsparretakstolen i rad 3.

Dragkrafter i förband

Förbandet mellan sparren och stickbjälken blir olika belastat i Bergatypen jämfört med de andra två. I Bergatypen blir sparränden lätt dragbelastad medan stickbjälken blir tryckt. I de två andra formerna är det stickbjälken som blir dragbelastad.

Horisontella upplagsreaktioner

Bergatypen ger små horisontella upplagsreaktioner. Hanbjälkestakstolen i rad 3 ger 50 % större och saxsparretakstolen 46 % större uttryckningskrafter än Bergatypen.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

Figur 5.53 Bergatypen och möjligheten att bära som en båge.

Kolumn A visar att Bergatypen (rad 1) är ungefär lika styv som takstolen med hanbjälke och stödben, men vekare än formen med saxsparrar.

Kolumn B visar att böjbelastningen i delarna blir jämförbar i de två första modellerna och minst i modellen med saxsparrar.

Kolumn C visar att Bergatypen leder kraft till insida vägg och att uttryckningskrafterna blir små.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.53

Bågformer

Bergatypen i rad 1 och hanbjälkestakstolen i rad 2 innehåller samma typer av bågformer för yttre last: den upp-och-ned-vända V-formen, trapetsformen och den fasade trapetsformen. Saxsparretakstolen innehåller genom saxsparrarna ytterligare två upp-och-ned-vända V-former.

Hur lasten tas till bågformerna och hur hårt böjbelastad sparren blir

Bergatypen blir trots sin smäckra form likvärdigt böjbelastad med hanbjälkestakstolen i rad 2. Sparren får också stöd i fyra relativt väl fördelade stödpunkter i dessa båda modeller. I den mer komplexa saxsparretakstolen i rad 3 får sparren stöd i fem punkter och böjningen blir mindre.

Hur lasten förs genom bågverkan till takstolens upplag

I Bergatypen är såväl stödbenen som hanbjälken placerade så att de horisontella upplagsreaktionerna blir små. De sneda stödbenen för lasten till insida mur vilket är gynnsamt eftersom *hävarmen för det pådrivande momentet* blir liten. Samtidigt sitter hanbjälken högt så att *hävarmen för det mothållande momentet* blir stor.

Triangeleffekt

I Bergatypen får stödbenstriangeln ett eftergivligt stöd i sin övre spets och roterar inåt. Detta i kombination med att stödbenstriangelarna är mycket spetsiga gör att *triangeleffekten* blir stor och att sparrarna därmed blir dragbelastade nedtill.

ATT BÄRA GENOM DRAGNING OCH TRYCK

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.54

Belastning i delarna och styvhet

De maximala böjmomenten blir lika orimliga för Bergatypen i rad 1 som för hanbjälkestakstolen i rad 2. (Värden på spänningarna i hanbjälkestakstolen har tidigare redovisats i figur 5.11.) De blir betydligt större än för saxsparretakstolen i rad 3. Även hanbjälken blir orimligt ansträngd i böjning i Bergatypen. Isärglidningen är större för Bergatypen än för hanbjälkestypen (45% större) och radikalt större än för saxsparretypen (540 % större).

Dragkrafter i förband

I Bergatypen i rad 1 uppträder de största dragkrafterna i snedsträvorna. De är betydligt större än dragkrafterna i de två andra modellerna, som redan de är orimligt stora med hänsyn till dragkraftskapaciteten hos timmermansförband.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.54

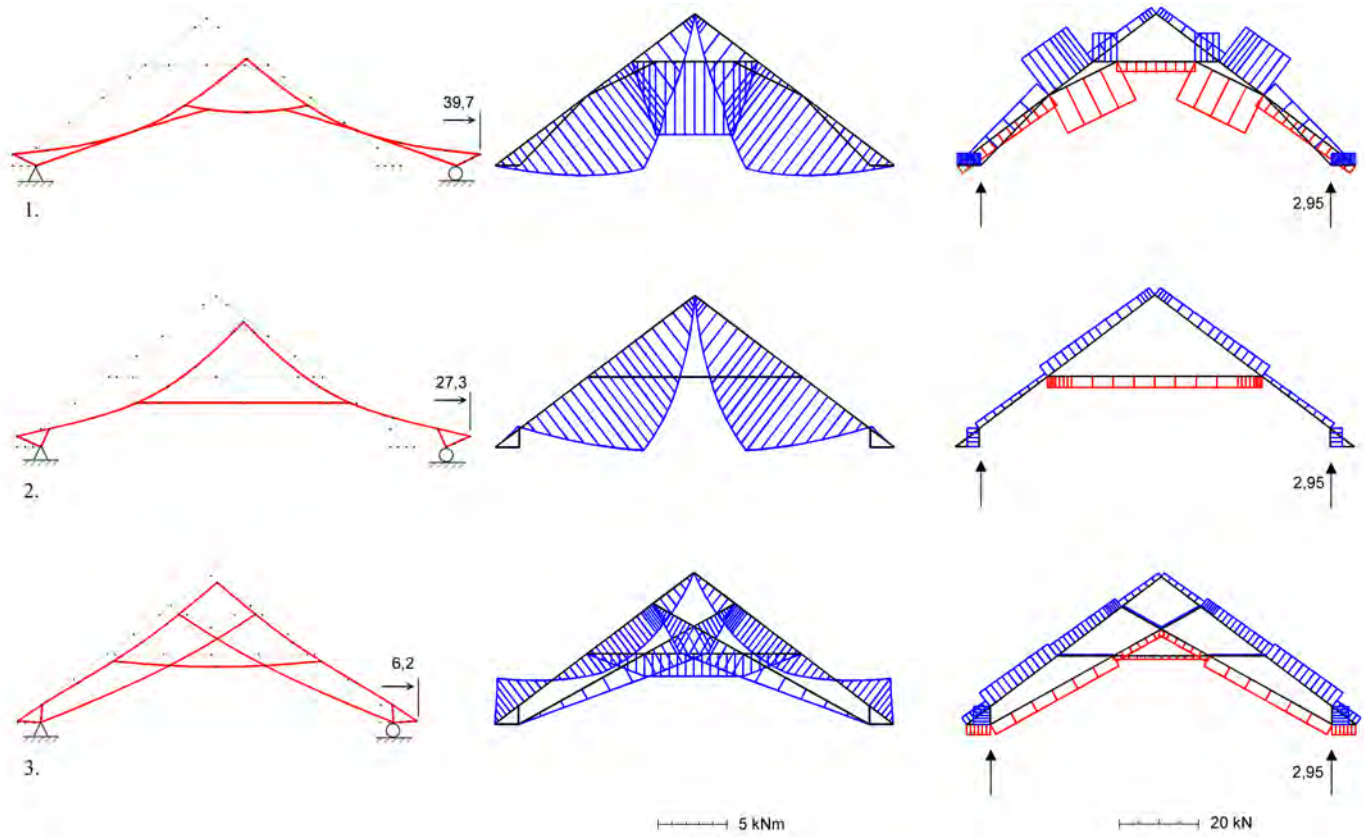
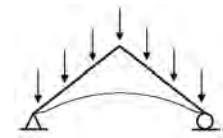
Inre dragbelastade delars förankring

Bergatypens bågliknande form är vek och hårt belastad när horisontellt stöd saknas. Formen skapar *inte* effektiva axiella kraftvägar för inre dragning:

- De dragbelastade snedsträvorna tar, liksom hanbjälken i hanbjälkestakstolen i rad 2, fatt mitt på sparrarna. De belastar därmed de redan till följd av yttre last böjbelastade sparrarna med punktlaster.
- Snedsträvorna belastar hanbjälken, som även den blir böjbelastad.

Triangeleffekt

Mönstret av *dragning och tryck* stämmer för Bergatypen bara ovanför stödbenen. I den triangel som skapas av stödbenet, sparren och stickbjälken dominerar *triangeleffekten*, det vill säga den lokala effekt av dragning i sparren samt tryck i stödbenet och stickbjälken som uppstår av den del av lasten som verkar vinkelrätt takytan.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

Figur 5.54 Bergatypen och möjligheten att bära genom dragning och tryck. Kolumn A visar att Bergatypen har mycket låg styvhet då horisontellt stöd saknas. Kolumn B visar att belastningen i sparrarna och hanbjälken blir stor. Kolumn C visar att snedsträvorna blir kraftigt dragbelastade.

ATT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.55

Belastning i delarna och styvhet

De maximala böjmomenten i sparrarna blir lika stora för Bergatypen i rad 1 som för den enklare takstolen i rad 2. De blir betydligt större än för saxsparretakstolen i rad 3. Hanbjälken blir också mer böjbelastad i Bergatypen än i saxsparretypen.

Bergatypen är styvare än takstolen utan snedsträvor i rad 2, men mycket vekare än takstolen med saxsparrar i rad 3.

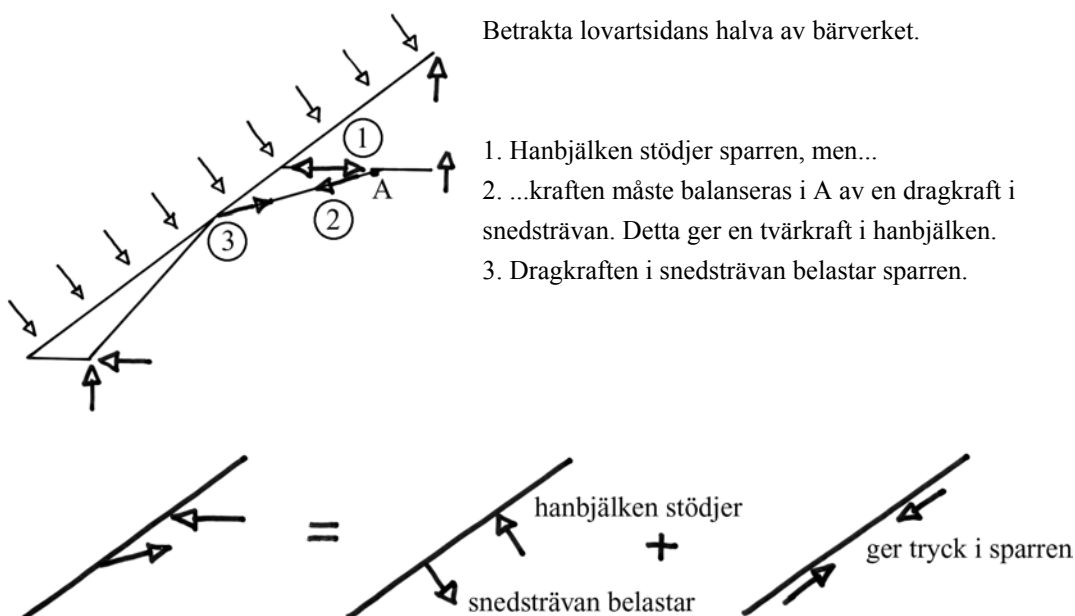
Dragkrafter i förband

I Bergatypen uppträder de största dragkrafterna i snedsträvornas förband. De är markant större än dragkrafterna i de två andra modellerna.

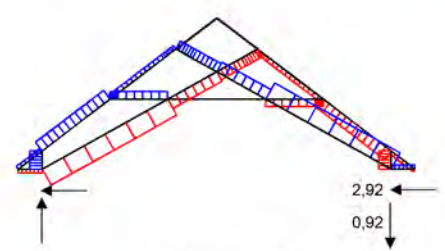
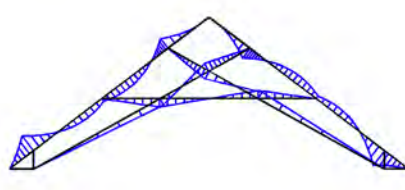
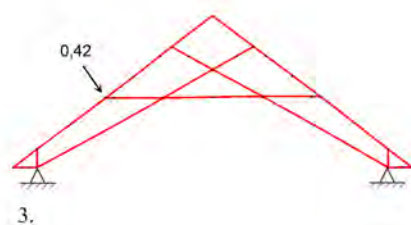
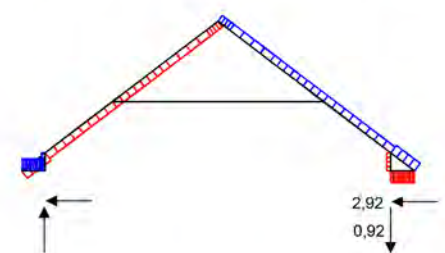
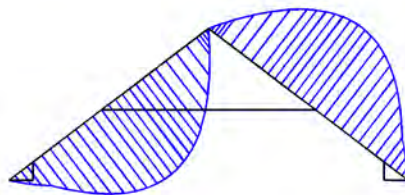
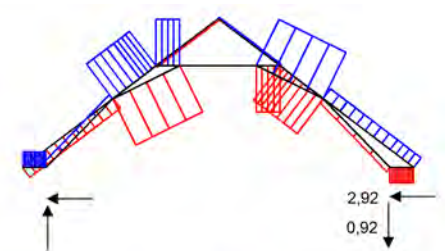
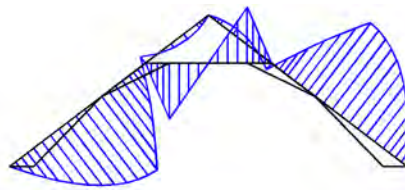
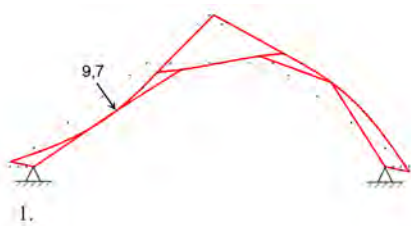
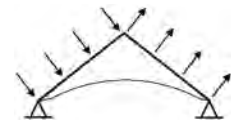
Tolkning av verkningssätt i figur 5.55

Sparrens stöd mot utböjning

I Bergatypen samverkar snedsträvor och hanbjälke till en inre konstruktion. Till skillnad från hanbjälken i rad 2 följer inte denna inre konstruktion överksam med i rörelsen hos den antisymmetriskt belastade takstolen. Den inre konstruktionen ger sparrarna ett *visst* stöd mot utböjning. Men Bergatypens utformning ger inte bärverkshalvor som bildar styva balkar, fig. 5.56. De inre delarna fungerar snarare som en lokal förstyvning av sparren än ett verkligt stöd. Fig. 5.57 visar utformningar som är principiellt bättre för uppgiften att bära som två balkar.



Figur 5.56 I Bergatypen bildar inte halvorna styva effektiva balkar. Hanbjälken stödjer sparren förutsatt att snedsträvan belastar den. Hanbjälken blir belastad i sin tvärled vilket ger stora deformationer.



5 kNm

20 kN

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

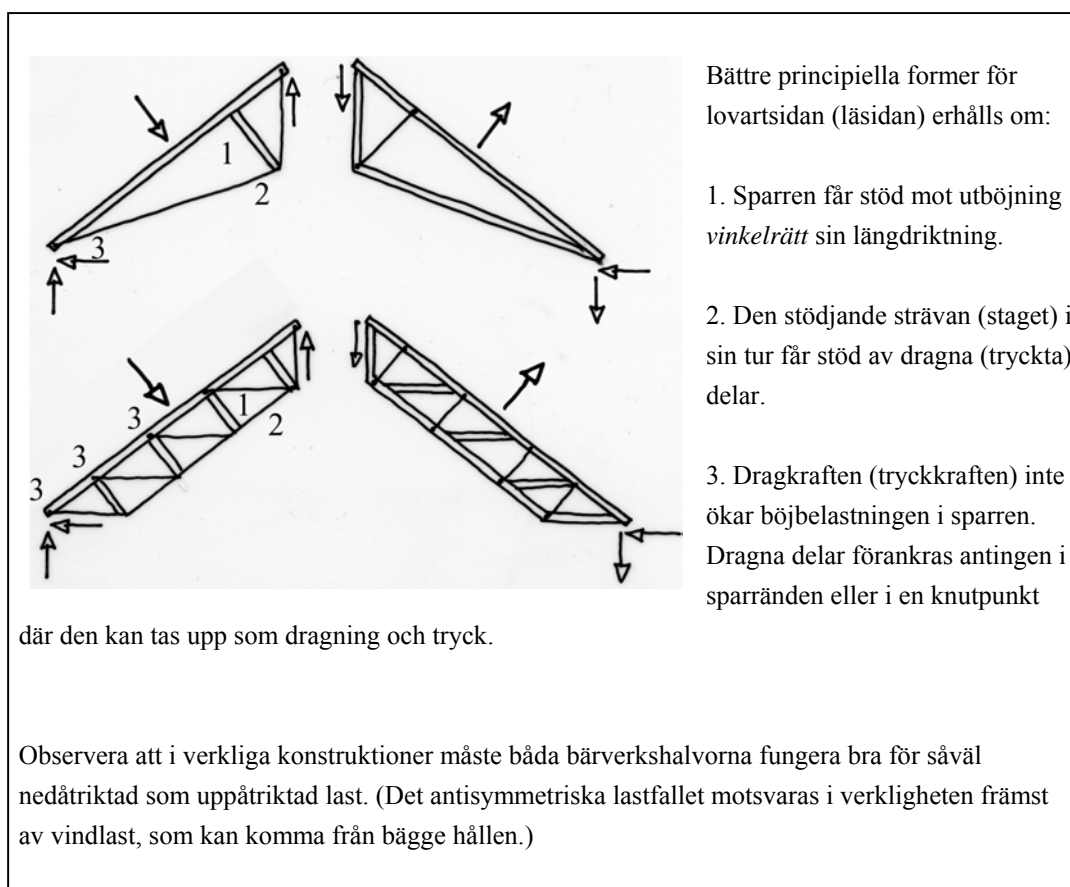
C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.55 Bergatypen och möjligheten att bära som två balkar.

Kolumn A visar att Bergatypen är obetydligt styvare än formen med hanbjälke och stödben.

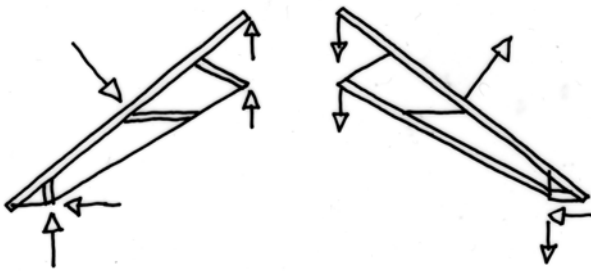
Kolumn B visar att sparren i Bergatypen inte avlastas av de inre delarna.

Kolumn C visar att stora drag- och tryckkrafter uppstår i Bergatypen.



Figur 5.57 Takstolsformer där bärverkets halvorna bildar styva balkar. Principskisser. Tryckta delar tjocka, dragda delar smala.

Takstolen med saxsparrar i bildseriens rad 3 närmar sig en ideal form för lastfallet (med avseende på belastning i delarna och styvhet). Bärverkets halvor är inte två från varandra frikopplade styva balkar som i principskisserna i fig. 5,57, det finns inte någon vertikal del i mittsnittet. Halvorna kan dock stödja varandra i mittsnittet i saxsparrarnas korsningspunkt, fig. 5.58. Detta sätt att ta stöd ger hög styvhet eftersom det huvudsakligen ger upphov till dragning och tryck i saxsparrarna. Hanbjälken stödjer sparrarna utan att själv bli belastad i tvärled, som i Bergatypen. (Däremot böjbelastas saxsparrarna.)



Figur 5.58 Hur bärverkshalvorna bär som balkar i bildseriens rad 3. Principskiss. Tryckta delar tjocka, dragna delar smala. I mittsnittet kan halvorna stödja varandra på ett sätt som främst ger upphov till drag- och tryckkrafter i saxsparrarna.

5.3.6 Saxsparrar eller övre hanbjälke?

Utgående från en takstol med *en* hanbjälke studeras vad som händer med verkningssättet om en extra hanbjälke eller två saxsparrar läggs till formen.

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.59

Belastning i delarna och styvhet

Böjmomenten och deformationerna blir störst för takstolen med bara en hanbjälke. De blir mindre och likvärdiga för de två andra modellerna.

Dragkrafter i förband

Dragkrafterna i stickbjälkarnas förband blir minst i modellen med saxsparrar.

Horisontella upplagsreaktioner

De horisontella upplagsreaktionerna blir minst för modellen med två hanbjälkar och störst för modellen med en hanbjälke.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.59

Bågformer

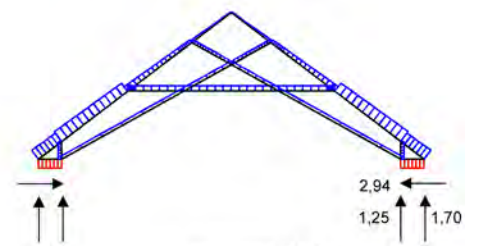
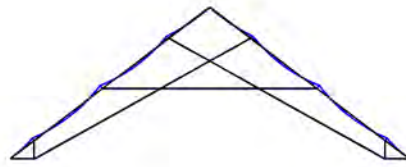
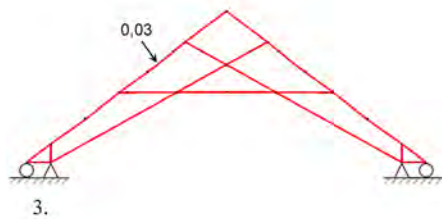
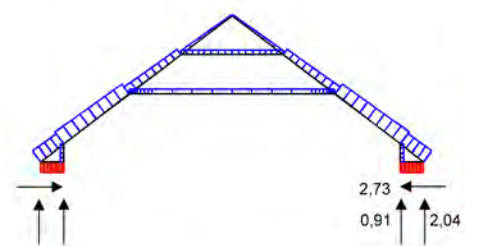
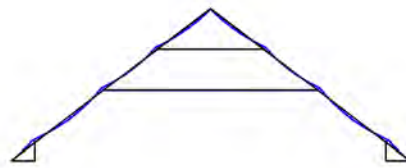
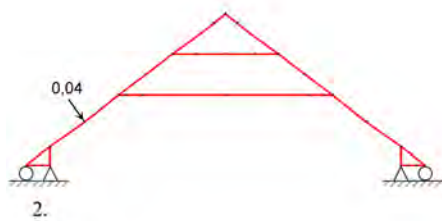
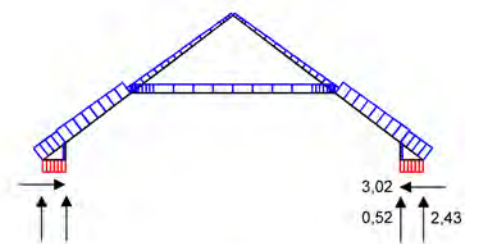
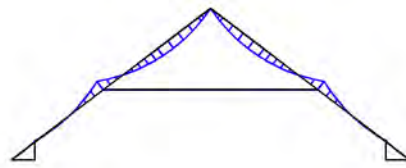
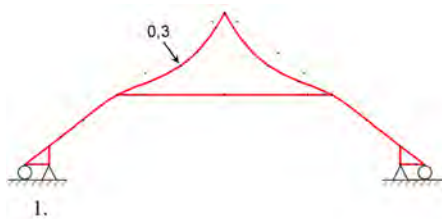
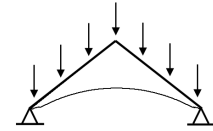
Modellen med två hanbjälkar i rad 2, och modellen med en hanbjälke och saxsparrar i rad 3, innehåller fler bågformer än formen med bara en hanbjälke i rad 1.

Hur lasten tas till bågformerna och hur hårt böjbelastad sparren blir

Böjningen i sparrarna blir lika liten oavsett om sparren får stöd av två hanbjälkar eller av en hanbjälke och två saxsparrar. Sparren får i båda fallen stöd i fem punkter, som är väl fördelade utmed sparren. Böjningen blir något större i formen med bara en hanbjälke, eftersom sparren får en stödpunkt mindre där.

Hur lasten förs genom bågverkan till takstolens upplag

Formen med två hanbjälkar i rad 2 ger mindre uttryckningskrafter än de andra två. Den övre hanbjälken medför att kraftspelet av tryck sker högre upp i bärverket. Därmed blir *hävvarmen för det mothållande momentet* större.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.59 Övre hanbjälke eller saxsparrar – möjligheten att bära som en båge.

Kolumn A visar att en övre hanbjälke alternativt saxsparrar ökar sparrarnas styvhet lika mycket.

Kolumn B visar att en övre hanbjälke alternativt saxsparrar minskar böjmomenten i sparrarna lika mycket.

Kolumn C visar att uttryckningskrafterna blir minst för formen med två hanbjälkar.

Beskrivning av verkningsätt i figur 5.60

Belastning i delarna och styvhet

Det maximala böjmomentet i sparrarna är lika stort oavsett om takstolen har en hanbjälke som i rad 1, eller två hanbjälkar som i rad 2. För dessa två första former gäller att inget böjmoment uppträder i hanbjälkarna. I formen med saxsparrar i rad 3 blir det maximala böjmomentet i sparrarna mindre, men även hanbjälken och saxsparrarna blir böjbelastade. Formen med två hanbjälkar är styvare än formen med en hanbjälke. Formen med saxsparrar är betydligt styvare än de andra två.

Dragkrafter i förband

Dragkrafterna i hanbjälkarnas förband är dubbelt så stora i modellen med två hanbjälkar som i den med en hanbjälke. I modellen med saxsparrar är dragkrafterna i saxsparrarnas infästningar nedtill något större än dragkraften i den enda hanbjälken i rad 1 men betydligt mindre än dragkraften i den nedre hanbjälken i rad 2.

Tolkning av verkningsätt i figur 5.60

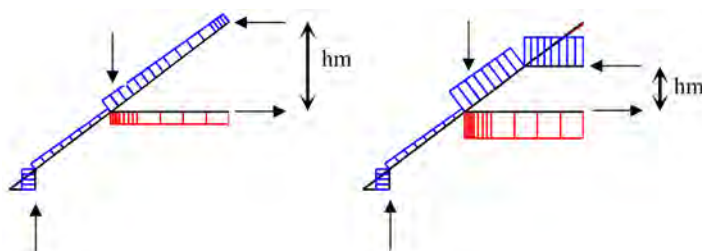
Inre dragbelastade delars förankring

Om takstolen förlorar sitt horisontella stöd så är det inte till någon större hjälp att takstolen har två hanbjälkar som i rad 2 istället för en som i rad 1. Oavsett om takstolen har en eller två hanbjälkar så förankras den inre dragningen på samma, för sparrarna olämpliga, sätt. Dragkraften i hanbjälken belastar ytterligare den redan av yttre last böjbelastade sparren. Följden blir orimligt stora böjmoment och stora deformationer i sparren.

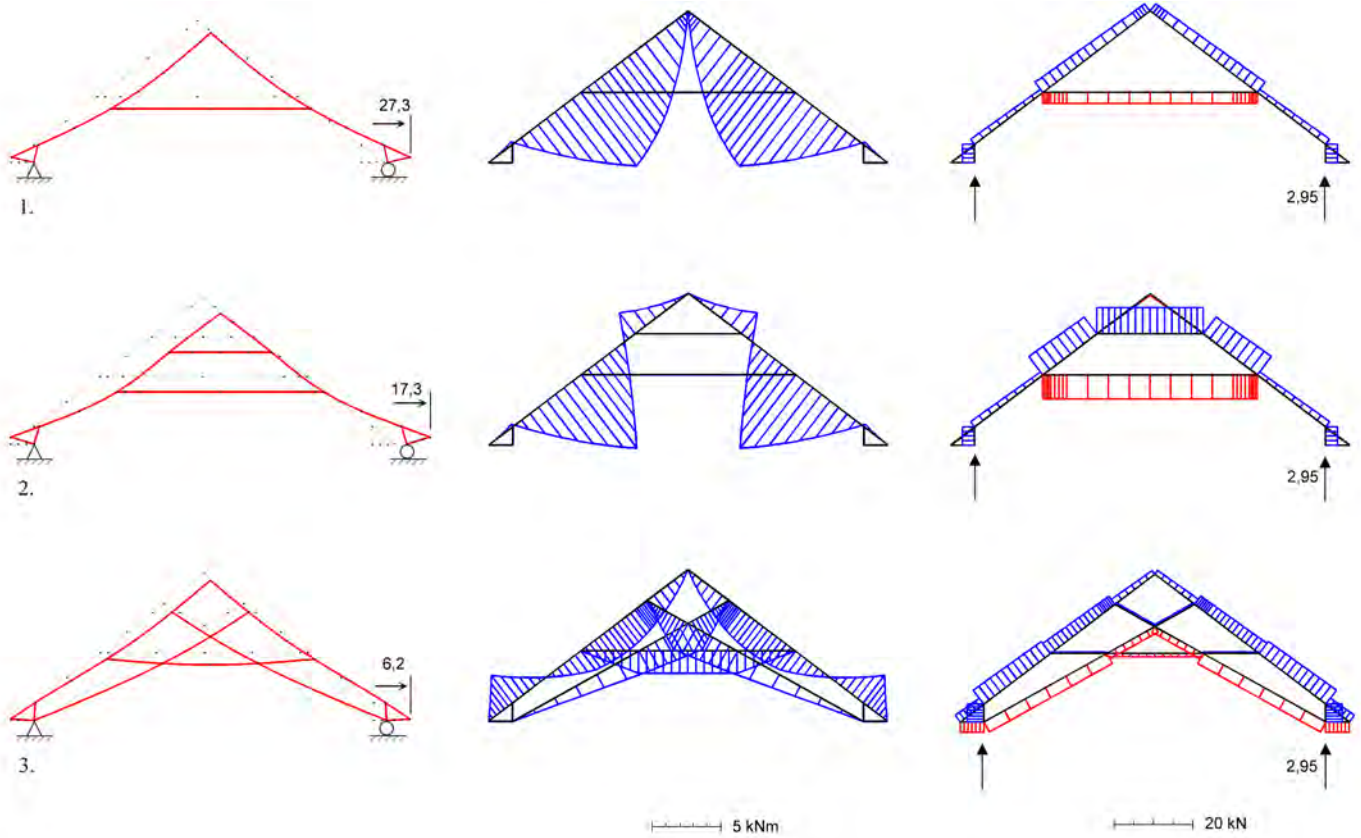
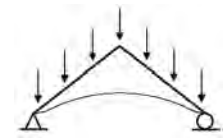
Med saxsparrar som i rad 3 förbättras formen, eftersom den inre dragningen inte belastar sparren. Formen har fortfarande brister, eftersom dragningen i saxsparrarna ger upphov till böjning såväl i dem själva som i hanbjälken. Ansträngningen i materialet blir alltför hög även för denna form.

Hävarmar

Om det finns två hanbjälkar finner *trycket* en annan (och styvare) kraftväg än om det bara finns en hanbjälke. Följden blir att *hävarmen för det inre mothållande momentet* blir mindre för en takstol med två hanbjälkar. Därmed krävs det större krafter för att åstadkomma det mothållande moment som krävs för att takstolen ska finna jämvikt, fig. 5.61.



Figur 5.61 Hävarm för det inre mothållande momentet, hm. a) Med en hanbjälke. b) Med två hanbjälkar.



A. Deformationsfigurer

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.60 Övre hanbjälke eller saxsparrar – möjligheten att bära genom dragning och tryck.

Kolumn A visar att formen med saxsparrar är styvast.

Kolumn B visar att böjmomenten blir stora i samtliga former, men minst i formen med saxsparrar.

Kolumn C visar att stora dragkrafter uppstår i knutpunkter och att de blir störst i formen med två hanbjälkar.

ATT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

Beskrivning av verkningsätt i figur 5.62

Belastning i delarna och styvhet

Deformationer, böjmoment och normalkrafter blir identiskt lika i modellen med en hanbjälke i rad 1 och modellen med två hanbjälkar i rad 2. Deformationerna och böjmomenten i sparrarna blir radikalt mindre för formen med saxsparrar i rad 3.

Dragkrafter i förband

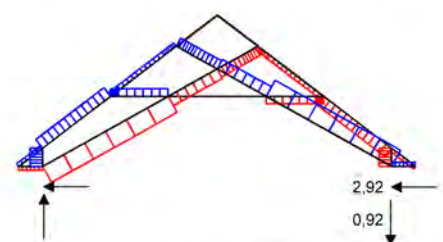
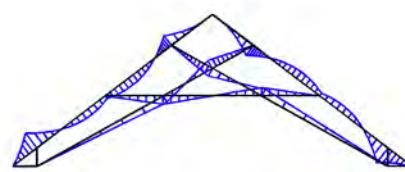
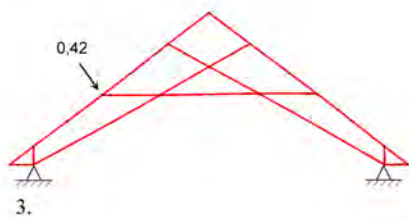
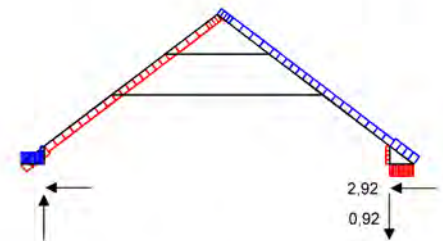
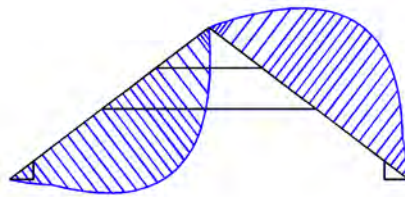
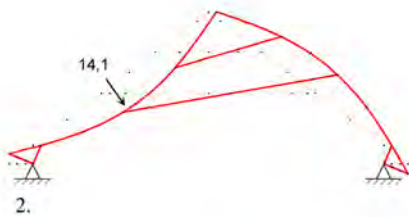
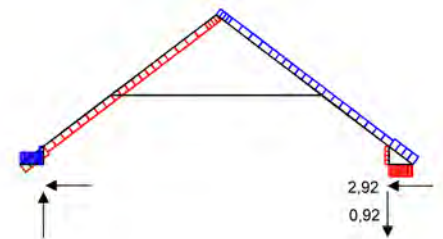
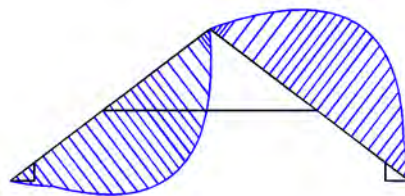
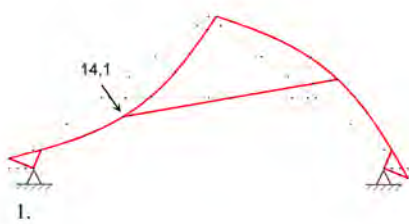
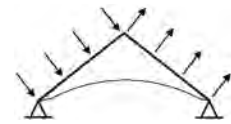
I formerna utan saxsparrar är det sparrens ändpunkter på lovartsidan samt stödbenet och stickbjälken på läsidan som blir dragbelastade. I formen med saxsparrar är det saxsparren på lovartsidan och sparrens nedre ände på läsidan samt stödbenet på läsidan som blir dragbelastade. Dragkraften i saxsparren i rad 3 är större än dragkraften i sparren i rad 1 och rad 2. Dragkraften i stödbenet är också större för denna modell.

Dragkrafterna är kortvariga för det här lastfallet och kommer i en verklig konstruktion delvis att släckas ut av samtidig belastning av egentyngd. (Med undantag av dragkrafter i stickbjälkar, vilka ökar.) Storleken på dragkrafterna bedöms inte som problematisk.

Tolkning av verkningsätt i figur 5.62

Sparrens stöd mot utböjning

Två hanbjälkar är inte bättre än en för det här lastfallet – hanbjälkarna kan inte stödja sparrarna. Saxsparrar placerade som i rad 3 innebär däremot en radikalt förbättrad utformning. Genom saxsparrarna får vardera sparren ett styvt stöd mot motstående sidas upplag, vilket minskar böjningen i sparren drastiskt. I formen i rad 3 ger även hanbjälken ett visst stöd.



5 kNm

20 kN

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

Figur 5.62 Övre hanbjälke eller saxsparrar – möjligheten att bära som två balkar.

Kolumn A visar att saxsparrar ökar bärverkets styvhet radikalt.

Kolumn B visar att saxsparrar reducerar böjmomenten i huvudsparrarna betydligt.

Kolumn C visar att dragkrafter i knutpunkter håller sig på en rimlig nivå för en kortvarig last av vind.

5.3.7 Vad betyder saxsparrarnas placering?

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.63

Belastning i delarna och styvhet

Saxsparrarnas placering har inte någon stor inverkan på belastningen i bärverkets delar eller dess styvhet. Samtliga tre modeller ger små böjmoment i sparrarna och små deformationer. Formen med saxsparrarna parallella med sparrarna i rad 2 ger något större böjmoment och deformationer i sparrarnas övre delar.

Dragkrafter i förband

Dragkrafterna i stickbjälkarnas förband blir större då saxsparrarnas nedre ändar ansluter mot sparrarna, rad 3.

Horisontella upplagsreaktioner

Formerna i rad 1 och rad 3 ger lika stora horisontella upplagsreaktioner. Formen i rad 2 ger något mindre horisontella upplagsreaktioner

Tolkning av verkningssätt i figur 5.63

Bågformer

Saxsparrarna gör alla de tre bärverksformerna väl lämpade att bära som bågar. De rymmer alla ett stort antal bågformer och därmed flera vägar där lasten kan gå till upplagen som tryck.

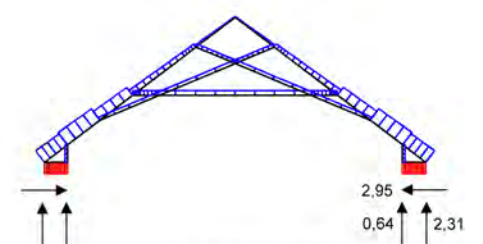
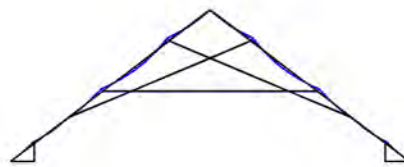
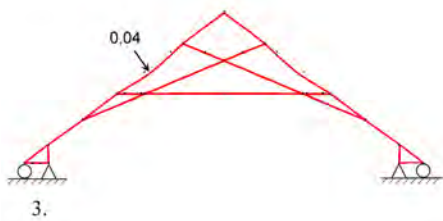
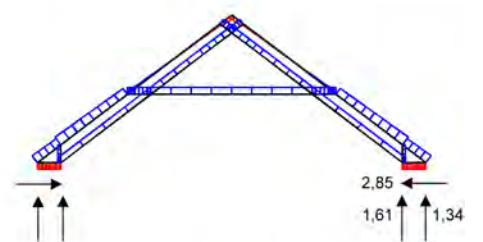
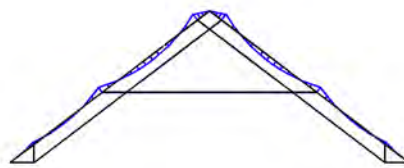
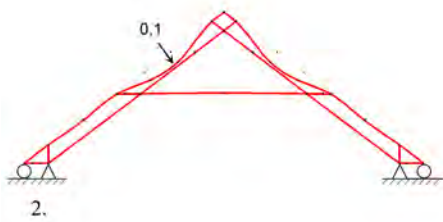
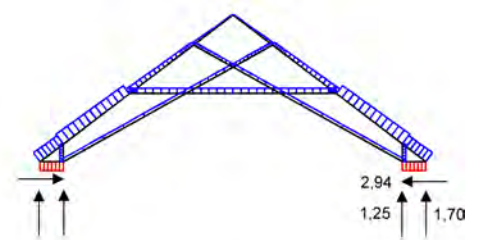
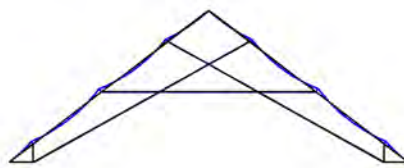
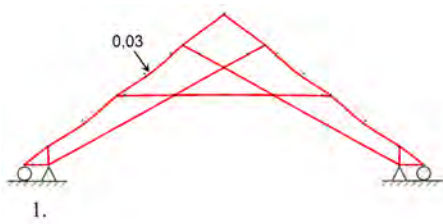
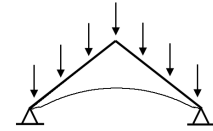
Hur lasten tas till bågformerna och hur hårt böjbelastad sparren blir

I samtliga former kan sparren ta stöd i punkter som är väl fördelade utefter sparrens längd. Böjbelastningen i sparrarna är liten.

I formen med parallella saxsparrar i rad 2 är stöden minst gynnsamt placerade med avseende på böjning i sparren. Sparren erbjuds två tätt placerade stöd högt upp, saxsparren och nocken. Den tar då endast stöd mot det ena av dessa stöd, saxsparren. Den vill lyfta i nocken, vilket gör att vardera sparren ger upphov till dragning i den andra sparren vid nocken.

Hur lasten förs genom bågverkan till takstolens upplag

Formen i rad 2 ger de minsta uttryckningskrafterna. Saxsparrarna blir mest belastade i denna form. Detta i kombination med saxsparrarnas högt belägna skärningspunkt gör att *hävarmen för det mothållande momentet* blir något större än för de två övriga modellerna. Eftersom denna form också leder mest last till insida mur, så blir även *hävarmen för det pådrivande momentet* minst.



5 kNm

20 kN

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.63 Saxsparrarnas placering och möjligheten att bära som en båge.

Kolumn A visar att sparrarnas utböjning blir minst i rad 1 och 3, där inre delar ger dem stöd på jämna avstånd.

Kolumn B visar att böjmomenten i sparrarna blir minst i rad 1 och 3, av samma anledning.

Kolumn C visar att uttryckningskrafterna blir minst i rad 2.

ATT BÄRA GENOM DRAGNING OCH TRYCK

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.64

Belastning i delarna och styvhet

För alla tre varianterna på saxsparrarnas placering blir delarna hårt ansträngda av böjning. En placering av saxsparrarna som i rad 3 ger takstolen en lägre styvhet än de två andra.

Dragkrafter i förband

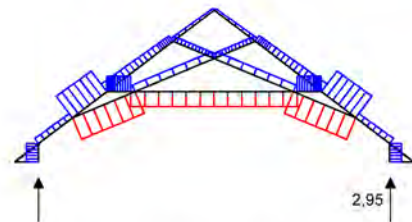
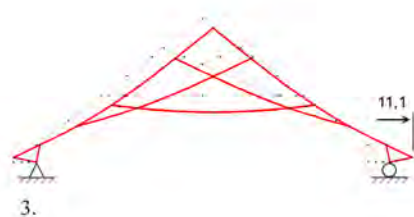
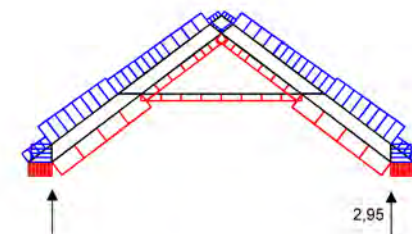
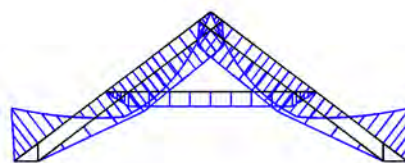
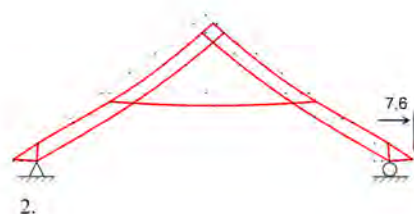
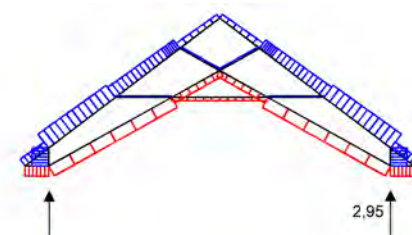
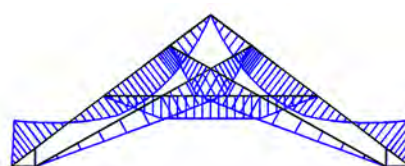
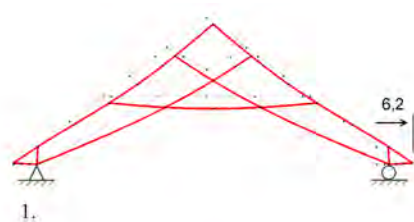
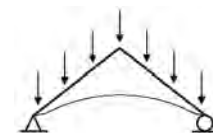
Dragkrafterna i saxsparrarnas nedre infästningar blir minst i formen i rad 1 och störst i formen i rad 3.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.64

Inre dragbelastade delars förankring

I de två första modellerna, rad 1 och rad 2, skapar saxsparrarna axiella kraftvägar för inre dragning som är effektivt förankrade nedtill; de tar fatt i strukturen vid upplagen, där stödförskjutningarna utåt uppstår. Modellen i rad 3 är vekare och mer belastad: de dragbelastade saxsparrarna är där mindre styvt förankrade nedtill. Saxsparrarnas belastar sparrarna och ger upphov till böjmoment i dem.

Ingen av formerna medför någon riktigt styv förankring av den inre dragningen *uppåt*. De dragbelastade saxsparrarna ger upphov till böjning i hanbjälkar och saxsparrar.



5 kNm

20 kN

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.64 Saxsparrarnas placering och möjligheten att bära genom dragning och tryck.

Kolumn A visar att takstolen i rad 3 har lägst styvhet.

Kolumn B visar att böjmomenten blir stora i samtliga former.

Kolumn C visar att dragkrafter i knutpunkter är stora om lasten är permanent.

ATT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

Beskrivning av verkningsätt i figur 5.65

Belastning i delarna och styvhet

Formen i rad 1 är minst böjbelastad och deformerad. Även normalkrafterna är minst i denna form. Formen i rad 3 är mest böjbelastad och deformerad. Böjmomenten i sparrarna är betydligt större än i de två andra formerna. Normalkrafterna blir också störst här.

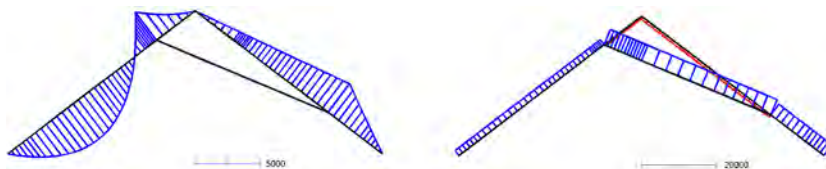
Dragkrafter i förband

Formen i rad 1 ger de minsta dragkrafterna i knutpunkter. Formen i rad 3 ger de största.

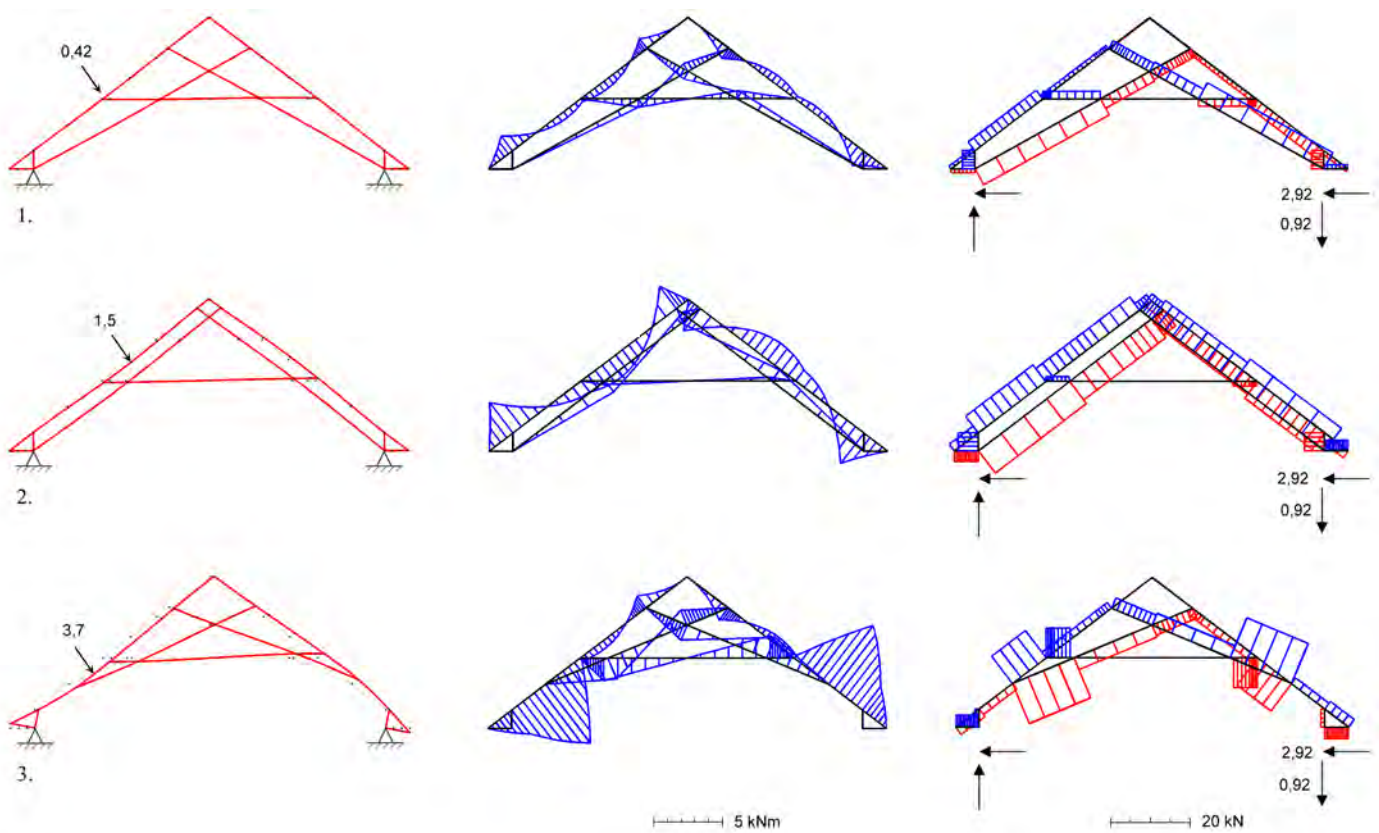
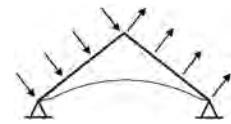
Tolkning av verkningsätt i figur 5.65

Sparrens stöd mot utböjning

Saxsparrar placerade som i rad 1 och 2 utgör styva stöd för sparrarna eftersom de tar stöd direkt mot upplagen. Saxsparrar placerade som i rad 3 utgör också stöd för sparrarna, men de är stöd av sämre kvalitet. Vardera saxsparren stödjer den ena sparren, men belastar samtidigt den andra, jämför fig. 5.66. Det ger stora böjmoment i den belastade sparren och stora lokala deformationer.



Figur 5. 66 Saxsparren stödjer lovartsidans sparre men belastar läsidans sparre. Last endast på lovartsidan i denna modell.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.65 Saxsparrarnas placering och möjligheten att bära som två balkar.

Kolumn A visar att styvheten bli högst i rad 1, där sparren får stöd med jämna avstånd och saxsparren tar stöd mot takstolens upplag.

Kolumn B visar att böjmomenten i sparrarna blir minst i rad 1 av samma anledning.

Kolumn C visar att formen i rad 1 ger minst, och formen i rad 3 störst dragkrafter i förband.

5.3.8 Vad betyder mittstycket?

ATT BÄRA SOM EN BÅGE

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.67

-Belastning i delarna och styvhet

Böjmomenten i sparrarna är desamma i rad 1, rad 2 och rad 3. Normalkrafterna är större i sparrarnas övre ändar i rad 3.

Dragkrafter i förband

Endast i modellen i rad 3 uppstår dragkrafter; mittstyckets ändar blir dragbelastade.

Horisontella upplagsreaktioner

Upplagsreaktionerna blir lika stora för de tre modellerna.

Tolkning av verkningssätt i figur 5.67

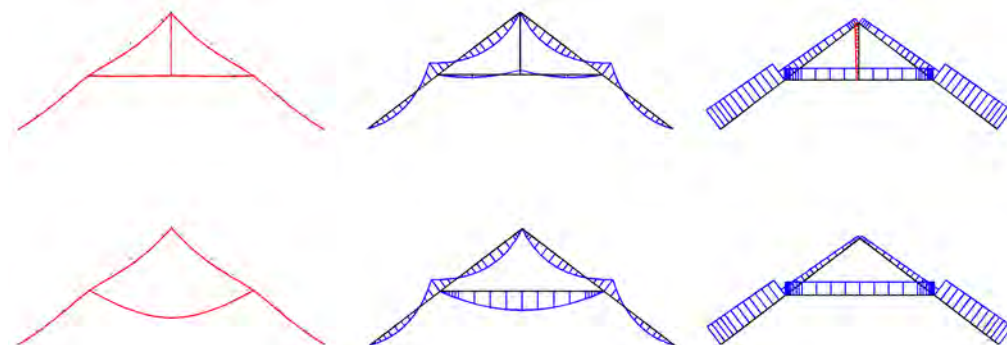
Bågformer

Mittstycket i formen med hanbjälke i rad 1 bidrar inte till att skapa någon bågform. Det påverkar inte alls möjligheten att bära som en båge utan blir helt obelastat.

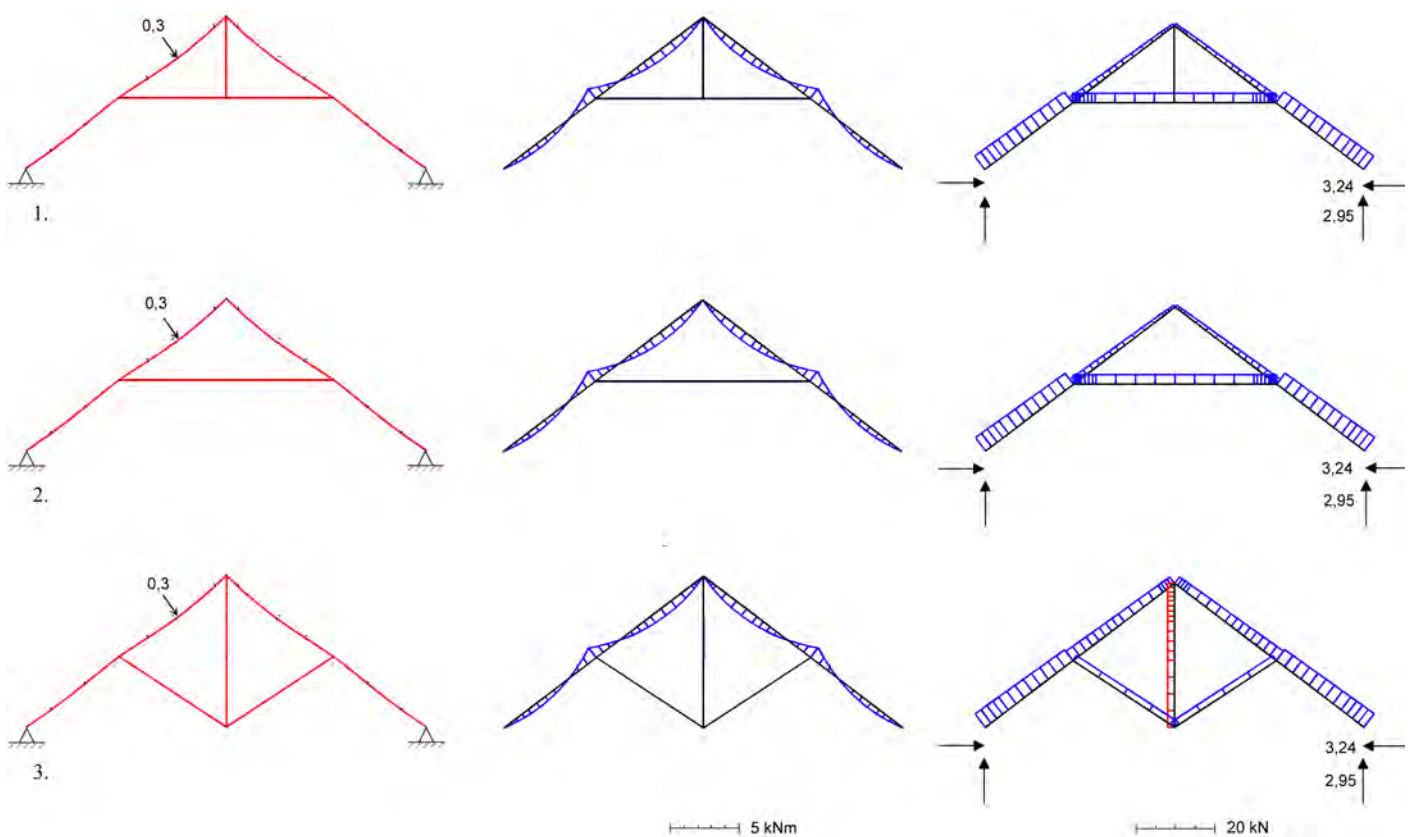
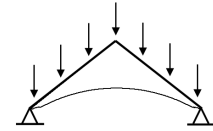
Mittstycket har därför *inte* samma roll i en sådan form som i de takstolsformer i medelhavområdet ("romerska" takstolar) där snedsträvor stödjer sig mot mittstycket och stöttar sparrarna, jämför rad 3. (I verkliga takstolar av romersk typ får dock sparrarna stöd av en bindbjälke istället för som här, av upplagen. Dessutom har sådana takstolar andra proportioner: taklutningen är vanligen mindre, liksom spännvidden.)

Mittstycket i de takstolar jag studerat kan förstås utifrån de *inre* laster som verkar på takstolen. Mittstycket har en viktig roll när det gäller att minska hanbjälkens nedböjning av dess egentyngd och av lasten av valvet, se fig. 5.68.

Mittstycket skapar för denna last en kraftväg till nocken, där sparrarnas bågform bär belastningen som rent tryck.



Figur 5.68 Mittstyckets funktion då belastningen av delarnas tyngd är med.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.67 Mittstycket och möjligheten att bära som en båge.

Rad 1 och rad 2 visar att mittstycket i formen i rad 1 inte har någon funktion, då lasten som här angriper sparrarna.

Rad 2 och rad 3 visar att mittstycket i en form med snedsträvor ger samma stöd åt sparrarna som en hanbjälke.

ATT BÄRA GENOM DRAGNING OCH TRYCK

För att undersöka mittstyckets roll undersöks två olika takstolsformer då de har respektive då de saknar mittstycke. Det är dels en takstolsform med hanbjälke och stödben (rad 1 och 2), dels en takstolsform med hanbjälke, stödben och saxsparrar (rad 3 och 4).

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.69

Belastning i delarna och styvhet

Mittstycket blir outnyttjat i rad 1. Böjmoment, normalkrafter och deformationer är exakt lika i takstolsformerna i rad 1 och rad 2.

För takstolarna med saxsparrar i rad 3 och 4 gäller att böjmomenten och styvheten är mindre i formen med mittstycke i rad 3 än i formen utan mittstycke i rad 4. Normalkrafterna är större i formen med mittstycke.

Dragkrafter i förband

I de två första formerna blir hanbjälkens infästningar till sparrarna dragbelastade, men i formerna med saxsparrar blir hanbjälkens infästningar närmast obelastade. Dragkrafterna i saxsparretakstolen *med* mittstycke (rad 3) blir mer än dubbelt så stora som dragkrafterna i de övriga modellerna.

I samtliga fall blir dragkrafterna olämpligt stora med hänsyn till dragkraftskapaciteten hos timmermansförband.

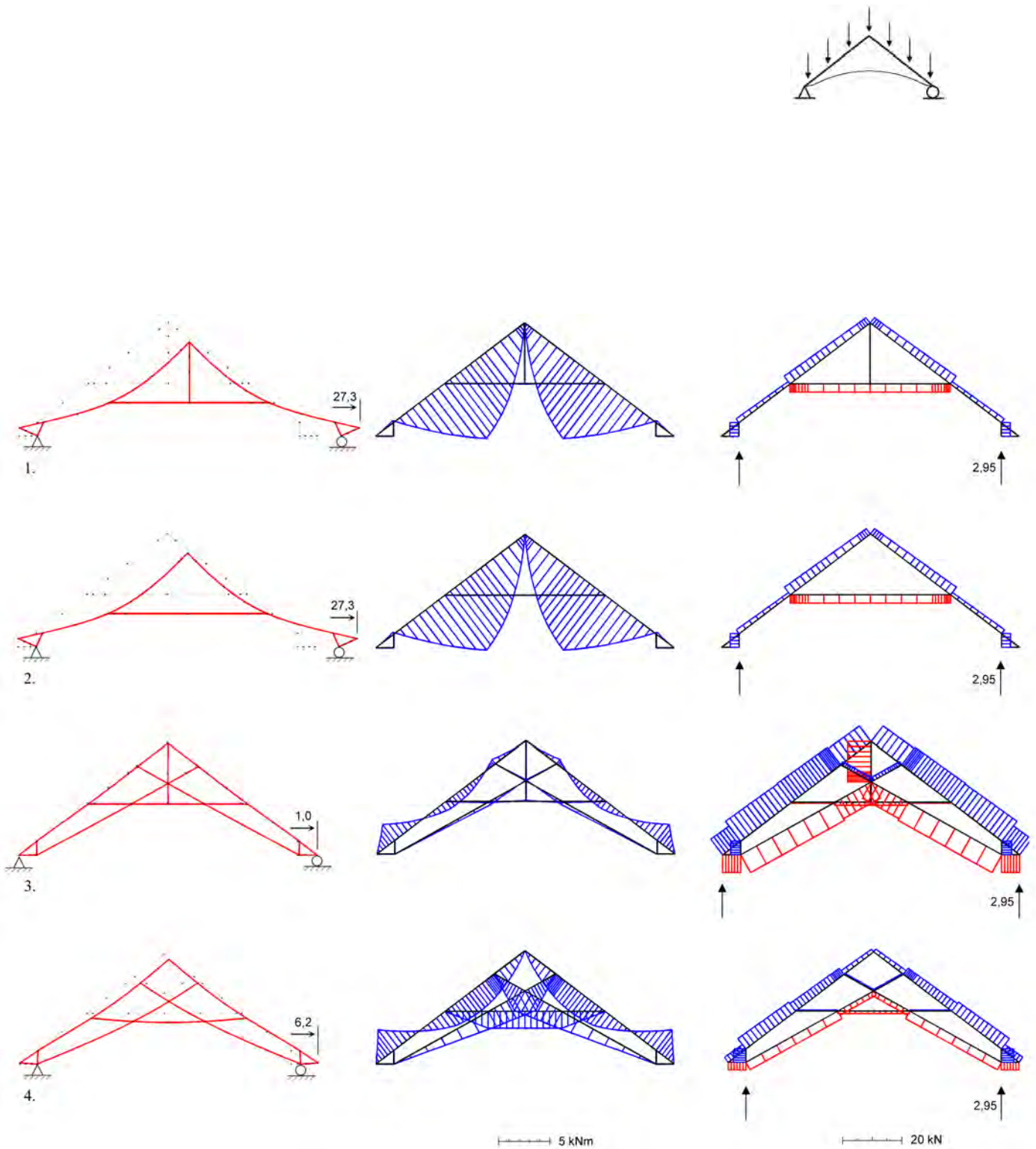
Tolkning av verkningssätt i figur 5.69

Inre dragbelastade delars förankring

Mittstycket i takstolen med hanbjälke i rad 1 i fig. 5.69 skapar ingen kraftväg för den inre dragningen därför att mittstycket möter hanbjälken under rätt vinkel. Hanbjälkestakstolen med mittstycke fungerar därför exakt likadant som den utan mittstycke i rad 2.

Tillsammans med saxsparrar däremot, får mittstycket en viktig funktion. En mycket styv struktur skapas som kan bära den inre dragningen ända nerifrån takfoten (där rörelsen som ska hållas emot uppstår) till nocken där den styvt kan förankras. Med mittstycket skapas också ett stöd för saxsparrarnas övre delar.

Formen med mittstycke i rad 3 är således styv och delarna lågt belastade, men dragkrafterna i mittstyckets och saxsparrarnas infästningar blir mycket stora. Inte heller denna styva takstolsform är således någon rationell konstruktion, om förutsättningarna är sådana att den ska byggas med de gamla hantverkstekniker som förekommer i den här avhandlingens studiematerial.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.69 Mittstycket och möjligheten att bära genom dragning och tryck.

Rad 1 och 2 visar att mittstycket i formen i rad 1 inte har någon funktion, då lasten som här angriper sparrarna.

Rad 3 och 4 visar att mittstycket tillsammans med saxsparrar skapar en styv kraftväg för inre dragning, vilket ökar hela bärverkets styvhet.

ATT BÄRA SOM TVÅ BALKAR

Beskrivning av verkningssätt i figur 5.70

Belastning i delarna och styvhet

Böjmoment, normalkrafter och deformationer är exakt lika stora för formerna med en hanbjälke i rad 1 och 2.

För formerna med två hanbjälkar i rad 3 och 4 är de maximala böjmomenten i sparrarna lika stora. Mittstycket i rad 3 är hårt böjbelastat; böjmomentet är lika stort som det maximala böjmomentet i sparren. Deformationerna är mindre för formen med mittstycke än formen utan mittstycke.

Dragkrafter i förband

Mittstycket gör att större dragkrafter drabbar takstolens knutpunkter i rad 3 än i rad 4.

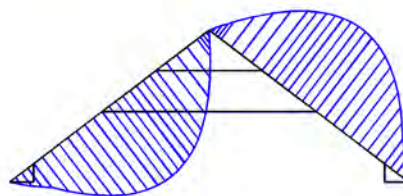
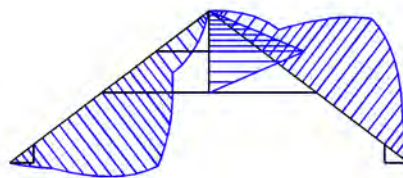
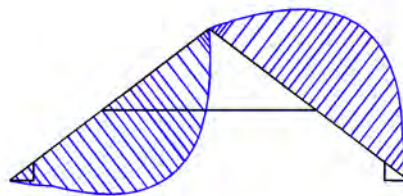
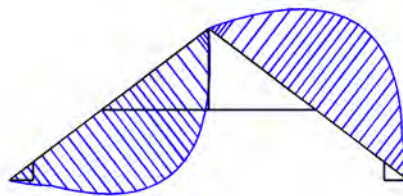
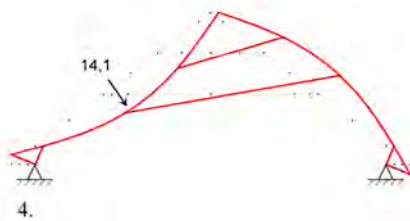
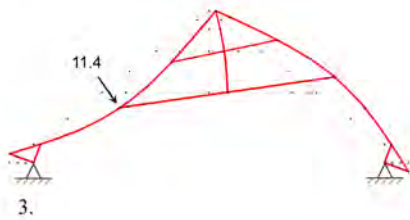
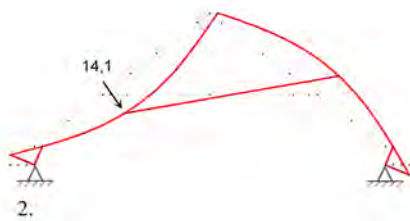
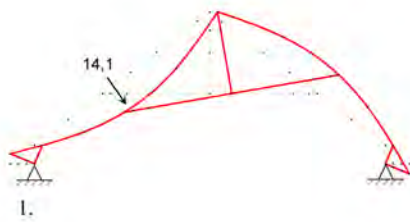
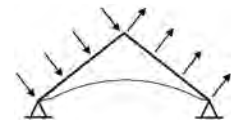
Tolkning av verkningssätt i figur 5.70

Sparrens stöd mot utböjning

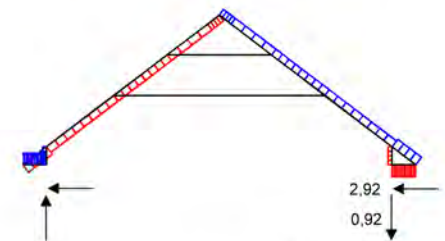
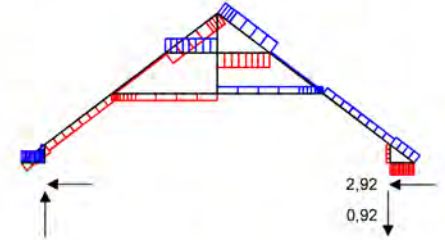
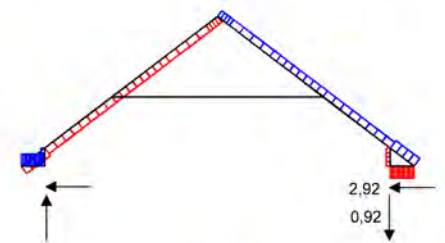
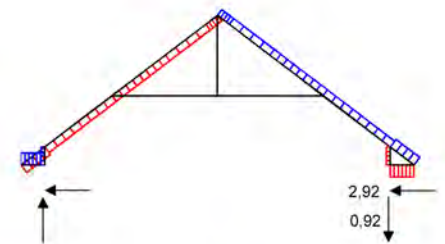
Mittstycket skapar inget stöd för sparren tillsammans med en ensam hanbjälke. Hanbjälken är ledat infäst vid sparrarna och följer stelt med då sparrarna böjer ut. Mittstycket är likaså ledat fäst vid hanbjälke och nock och kan inte förhindra hanbjälkens rörelse.

I modellen med mittstycke och två hanbjälkar kan sparren få ett visst stöd av den inre struktur som skapas av hanbjälkar och mittstycke. Sparren får stöd av den övre hanbjälken, men belastas samtidigt av den nedre. Då övre hanbjälken tar stöd mot mittstycket blir detta utsatt för böjning.

Formen erbjuder således inte de axiella kraftvägar som skapar styvhet för lastfallet. Delarna är inte placerade så att halvorna bildar styva sammansatta balkar.



5 kNm



20 kN

A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stöd krafter

Figur 5.70 Mittstycket och möjligheten att bära som två balkar.

Mittstycket i rad 1 hjälper inte till att bära den antisymmetriska lasten, verkningssättet blir identiskt med det i rad 2.

Mittstycket i rad 3 ger visserligen tillsammans med hanbjälkarna ett visst stöd åt sparrarna, men bärverkets halvor kan inte sägas bilda effektiva sammansatta balkar.

5.3.9 Sammanfattning och kommentarer till sex formfrågor

VAD BETYDER HANBJÄLKEN OCH DESS PLACERING?

Att bära som en båge

Hanbjälken skapar tillsammans med sparrarna en trapetsform, en styv kraftväg som tar en stor andel av lasten. En högt placerad hanbjälke ger mindre uttryckningskrafter än en lågt placerad hanbjälke. För att minimera böjmoment i sparrarna ska hanbjälken (tillsammans med andra inre delar) ge sparren stöd med jämna mellanrum.

Att bära genom draging och tryck

Om takstolen förlorar sitt horisontella stöd utgör hanbjälken ett "dragstag" som håller samman konstruktionen och därvid belastar de redan böjbelastade sparrarna med punktlaster. För denna uppgift gör en högt placerad hanbjälke takstolen vekare och mer belastad.

Att bära som två balkar

Hanbjälken har ingen funktion när takstolen har att bära som två balkar, oavsett dess placering i höjddled. Det gäller så länge inte andra inre delar är hopfogade med (kan samverka med) hanbjälken.

VAD BETYDER STÖDBENEN OCH DESSAS PLACERING?

Att bära som en båge

Stödbenen skapar en bågform tillsammans med sparrarna. De avlastar sparrarna från böjning. Böjningen reduceras mest då de punkter där sparren får stöd (av stödben, hanbjälkar och eventuella saxsparrar) är jämnt fördelade utefter sparren.

Stödben kan leda last till stödpunkter belägna långt in mot kyrkorummet. De "förkortar" därmed takstolens spännvidd och gör att uttryckningskrafterna blir mindre. Sneda stödben leder mer last till insida vägg än vertikala stödben, men är mindre effektiva vad gäller att minska böjverkan i sparrarna.

Kommentar: I Hjortsberga och Tingsås kyrkor finns en speciell form av långa, inre stödben (fig. 3.12). De är spikade mot hanbjälken. Dessa stödben kan avlasta sparren något lite, men skapar framförallt en bågform för belastning på takstolens inre delar (tyngden av det välvda innertaket) .

Att bära genom dragning och tryck

Stödbenet har samma funktion för denna uppgift. Här blir dess funktion som stöd för sparren mer betydelsefullt än då horisontellt stöd finns, eftersom hanbjälkar och saxsparrar ofta förlorar sin funktion som stöd och istället belastar sparrarna. Sneda stödben kan leda till att sparränden genom *triangeleffekten* blir dragbelastad.

Kommentar: Utanför den avgränsade grupp av bärverk som betraktas här, kan man finna takstolar där stödben saknas helt. (Två sådana exempel är takkonstruktionen över långhuset i Väskinde kyrka, Gotland och takkonstruktionen i Asige kyrka, Halland.³) Formerna blir då extra känsliga för rörelser i upplagen.

Att bära som två balkar

Om takstolen saknar saxsparrar och takstolens upplagsvillkor är sådana att triangeln stödben-sparre-stickbjälke kan rotera så har stödbenet en marginellt stödjande effekt. Om stödbenstriangeln är förhindrad att rotera fungerar dock stödbenen som stöd för sparren.

HUR FUNGERAR BERGATYPEN?

Att bära som en båge

I Bergatypen är såväl stödbenen som hanbjälken placerade så att de horisontella upplagsreaktionerna blir små. Dels medför de sneda stödbenen att takstolen tar stöd endast på insida mur, vilket är gynnsamt eftersom *hävvarmen för det pådrivande momentet* blir liten. Dels sitter hanbjälken högt så att *hävvarmen för det mothållande momentet* blir stor.

Att bära genom dragning och tryck, samt som två balkar

Bergatypen är olämpligt utformad för att bära genom dragning och tryck och för att bära som två balkar eftersom takstolshalvorna inte är styva för böjbelastning. Sparren måste ensam bära den böjbelastning som uppstår.

Kommentar: Takstolarna i (den verkliga) Berga kyrka har burit sin last genom dragning och tryck en längre tid. Rörelser i väggarna har föranlett utredningar och sedermera restaureringsåtgärder. Hanbjälkens infästningar till sparren är deformerade (fig. 3.17a), sparrarna är starkt krökta (fig. 3.18a) och uppvisar på ett par ställen böjbrott (fig. 3.18b).

HUR FUNGERAR SAXSPARRAR JÄMFÖRT MED EN ÖVRE HANBJÄLKE?

Att bära som en båge

En extra, övre, hanbjälke skapar ytterligare en styv kraftväg i form av en trapetsbåge. Saxsparrar skapar två styva kraftvägar i form av två upp-och-nedvända V:n. Så länge lasten är helt symmetrisk är former med två hanbjälkar och former med en hanbjälke och saxsparrar lika ändamålsenliga (om de är placerade så att de stödjer sparrarna i samma läge). Saxsparrar är till skillnad från hanbjälkar fungerande stöd även om lasten inte är helt

symmetriskt fördelad. Med en övre hanbjälke skapas en något större hävarm för det mothållande momentet och uttryckningskrafterna blir mindre.

Att bära genom dragning och tryck

En extra, övre hanbjälke skapar ingen ny kraftväg för inre dragning. Däremot skapar den en ny kraftväg för tryck. När en takstol med två hanbjälkar förlorar sitt horisontella stöd blir hävarmen för det inre, mothållande momentet liten (fig. 5.61). Därmed blir kraften i den nedre hanbjälken och dess infästningar stor. Böjmomenten i sparrarna är oförändrat stora.

Saxsparrar däremot, skapar nya kraftvägar för inre dragning. Om de ansluter mot takstolens upplag så minskar böjningen i sparrarna jämfört med formen med två hanbjälkar. Om den inre dragningen förankras i hanbjälken och saxsparrarna så att de belastas tvärs sin längdriktning så blir dock även dessa inre delar böjbelastade.

Kommentar: Takstolarna Härlunda kyrka har en övre hanbjälke (och saknar saxsparrar). De har kommit att förlora hela, eller delar av, sitt horisontella stöd och bär genom dragning och tryck. Fältstudierna bekräftar att det finns stora glapp i de nedre hanbjälkarnas förband, medan de övre hanbjälkarnas förband är täta.

Att bära som två balkar

Saxsparrar förbättrar en takstols funktion radikalt när det gäller att bära som två balkar. Beroende på hur de är placerade kan de skapa effektiva stöd för sparrarna (se nedan under "Vad betyder saxsparrarnas placering?"). Styvheten i bärverket ökar också genom att hanbjälkar och stödben för över last från sparrarna till saxsparrarna. Om de olika delarna är sammanfogade så att triangulära fack bildas är formen särskilt styv och effektiv.

Kommentar: Av de sju bärverken i den grupp som ligger till grund för denna studie, saknar fyra saxsparrar och är vecka för denna uppgift.

VAD BETYDER SAXSPARRARNAS PLACERING?

Att bära som en båge

När takstolarna får horisontellt stöd från underlaget har placeringen av saxsparrarna inte någon avgörande betydelse. Sparren får bäst avlastning om de stödjande delarna (saxsparrar och andra inre delar) är jämnt fördelade utefter sparren. Saxsparrar som är parallella med sparrarna och som korsar varandra högt upp i bärverket ger något mindre uttryckningskrafter eftersom hävarmen för det mothållande momentet blir större.

Att bära genom dragning och tryck

För att saxsparrarna ska ge bärverket styvhet då det förlorat sitt horisontella stöd ska de nedtill hålla ihop bärverket vid upplagen. Saxsparrar som med sina nedre ändar istället tar fatt i *sparrarna* belastar dem med punktlaster. Takstolar med sådana saxsparrar är därför känsligare för stödförskjutningar än takstolar med saxsparrar som ansluter mot upplaget.

Att bära som två balkar

Saxsparrar är viktiga stöd för sparrarna vid antisymmetrisk last. Vissa av saxsparrarnas förtjänster går dock förlorade om deras nedre ändar ansluter mot sparren istället för att vara fästade vid stödet. Formen blir vekare, belastningen i delarna större och dragkrafterna i förbanden större.

VAD BETYDER MITTSTYCKET?

Att bära som en båge

Mittstycket i formen med hanbjälke påverkar inte alls möjligheten att bära som en båge om lasten är jämnt fördelad på sparrarna. Mittstycket måste förstås utifrån laster som verkar inuti takstolen. Det minskar hanbjälkens nedböjning av egentyngd.

Kommentar: Isärdragningen av mittstyckets infästning i Ryssby kyrka, fig. 3.17c, kan bero på långtidseffekter vid egentyngdsbelastningen av hanbjälke och trävalv.

Att bära genom dragning och tryck

Mittstycket skapar i kombination med saxsparrar en styv lastväg för inre dragning om takstolen förlorar sitt horisontella stöd. Det leder last till nocken där sparrarna kan bära belastningen som rent tryck, det vill säga med hög styvhet och liten belastning i delarna. Bärningen förutsätter dock att mittstyckets infästning i nocken är betydligt starkare än de bladförband som förekommer i mitt studiematerial.

Kommentar: I Ryssby kyrka har väggarna rört sig och takstolarna förlorat horisontellt stöd. Mittstyckena kan därmed ha blivit kraftvägar för inre dragning och kommit att bära mer än hanbjälkens och valvets egentyngd. Det ger en alternativ förklaring till varför mittstyckets infästning i fig. 3.17c dragits isär.

Att bära som två balkar

Mittstycket hjälper inte till att bära någon antisymmetrisk last i en takstol med bara en hanbjälke. Om mittstycket korsas av och samverkar med en andra, övre, hanbjälke så kan mittstycket få styvheten hos bärverket att öka något men ger samtidigt oönskade effekter. Dragkrafterna i takstolens förband ökar och mittstycket blir utsatt för böjning.

5.4 Kommentarer till övriga formvariabler

5.4.1 Delarnas dimensioner

Dimensionerna hos de grova delarna i en gammal takkonstruktion kan variera. En lång sparre kan vara betydligt grövre i den ena änden än den andra. Dimensionerna kan variera mellan olika takstolar i samma taklag. De kan också variera inom en och samma takstol. Exempelvis kan nämnas att den ena sparren i en av takstolarna i Ryssby kyrka var vänd på lågkant. Vilka mått ska man i sådana fall välja om man vill studera en takstols verkningssätt med strukturmekaniska beräkningar? Vad betyder skillnader i dimensioner för takstolarnas verkningssätt?

Dimensionernas betydelse ska belysas med några exempel. En modell med hanbjälke, stödben och saxsparrar används för jämförelser och benämns då "ursprungsmodellen". Vi utgår från uppgift 1: takstolen får horisontellt stöd från underlaget och är belastad med symmetrisk vertikal last.

Betrakta sparren som en kontinuerlig balk. Vi ska nu studera vad:

- å ena sidan *sparrens* dimensioner och

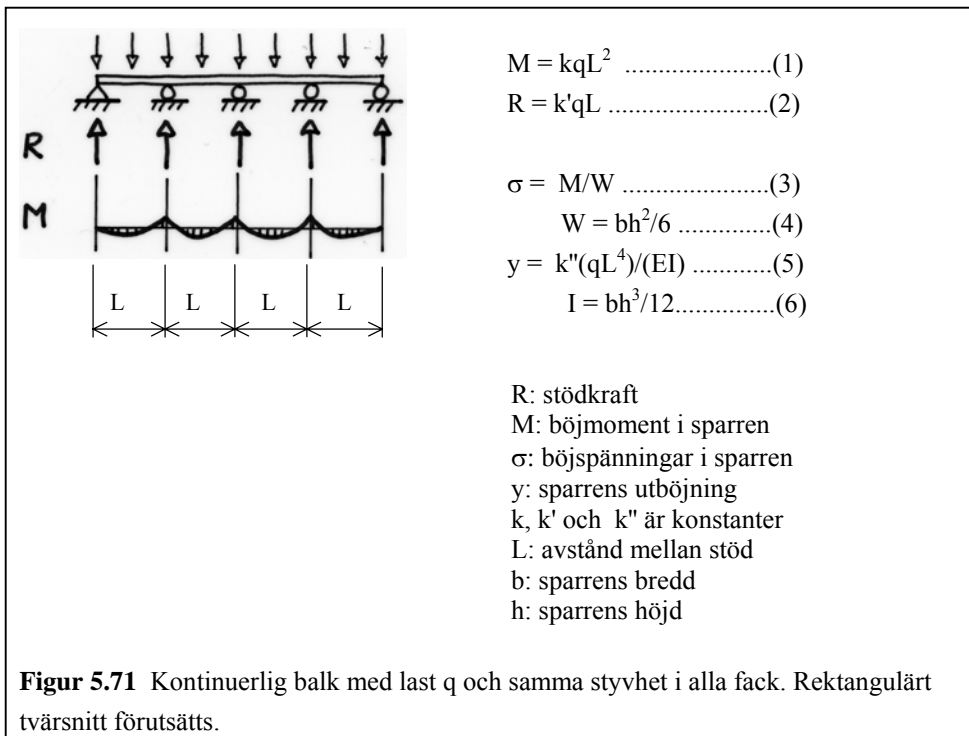
- å andra sidan *inre delars* dimensioner

betyder för böjbelastningen i sparren och för de krafter som uppstår där sparren tar stöd. (De krafter som belastar den inre strukturen.)

SPARRENS DIMENSIONER

Om sparren har *samma tvärsnittsmått* utefter hela sin längd, så beror *varken* momentfördelningen i sparren eller reaktionskrafterna som uppstår där den tar stöd av dessa tvärsnittsmått. Se (1) och (2) i fig. 5.71. För att studera *kraftspel* i termer av *krafter och moment*, räcker det därför att mäta upp *en* takstol. Modellen behöver inte ta hänsyn till variationer som att sparrarna är olika grova i olika takstolar eller att någon sparre kan vara vänd på lågkant, som var fallet i Ryssby kyrka.

Däremot beror sparrens *nedböjning* och *böjspänningarna* i materialet av dimensionerna, se (3) och (5) i fig. 5.71. Ligger sparren på lågkant så blir spänningarna i materialet högre och utböjningen större.



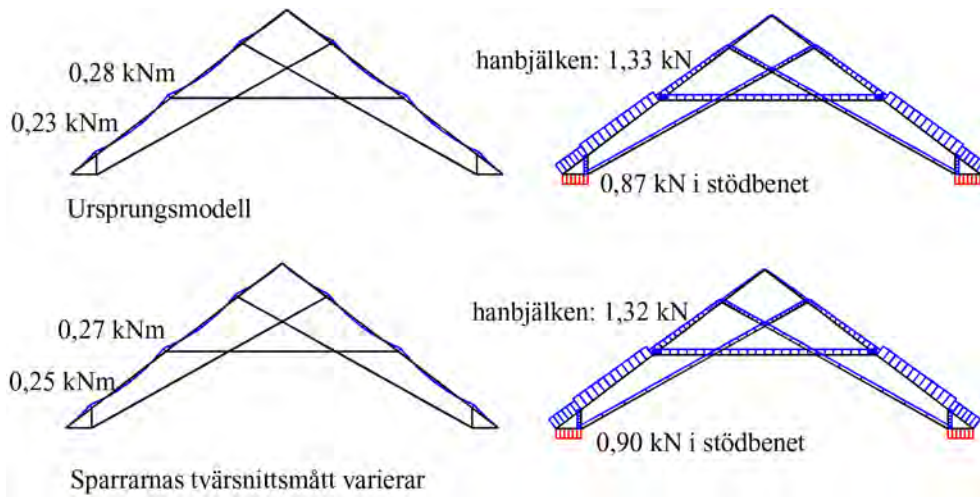
Hur påverkas då kraftspelet av att sparrans tvärsnittsmått *varierar* utefter dess längd? Om rotändan är grövre än toppändan?

Exempel: För modellen i fig. 5.72, rad 2, antas sparrarna vara klenare i den ena änden än den andra. Sparrans dimensioner är 15 x 17,5 (cm) i ena änden och 17,5 x 21 (cm) i den andra. Ursprungsmodellen i rad 1 har sparrar med konstanta tvärsnittsmått. I övrigt är den modifierade modellen och ursprungsmodellen identiska.

Följande skillnader uppträder i kraftspelet:

- Böjmomenten i sparrarna avviker med 4 - 9 % från dem i ursprungsmodellen.
- Normalkrafterna i de inre delarna avviker med 1-3 % från dem i ursprungsmodellen.

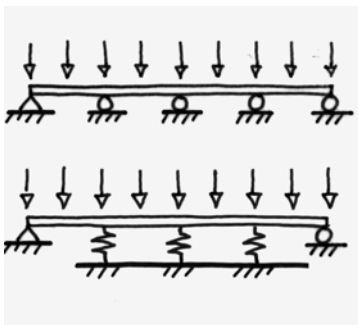
Exemplet tyder på att sådana skillnader i sparrans dimensioner som förekommer i gamla takstolar påverkar verkningssättet obetydligt.



Figur 5.72 Verkningsättet för modellen i rad 2, där sparrarnas tvärsnittsmått varierar utefter deras längd, skiljer sig obetydligt från ursprungsmodellens verkningsätt i rad 1.

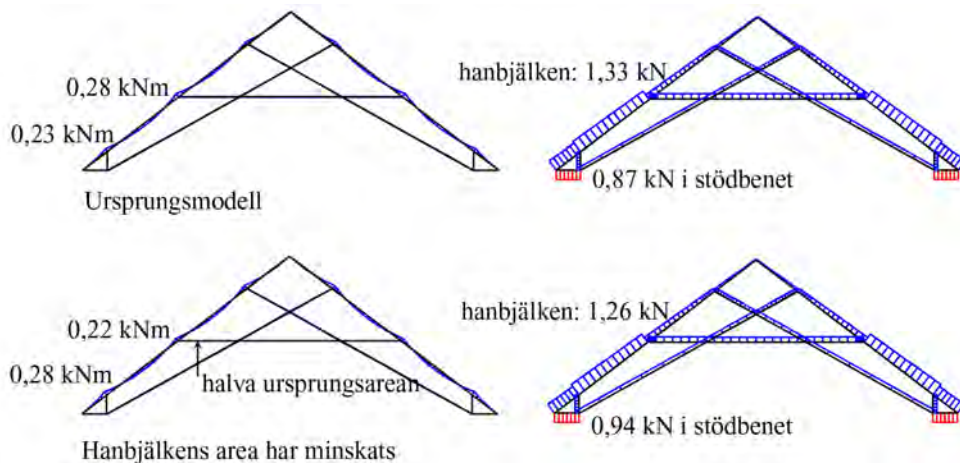
INRE DELARS DIMENSIONER

De inre delarnas dimensioner påverkar deras axialstyvhet och därmed påverkas deras kvalitet som stöd för sparren, fig. 5.73. Därmed kan såväl momentfördelningen i sparren som normalkrafterna i takstolens delar påverkas.



Figur 5.73 Stöden kan vara mer eller mindre eftergivliga

Exempel: Hanbjälken är ett viktigt stöd för sparren i takstolen i fig. 5.74. Om hanbjälkens axialstyvhet minskar kommer den att utgöra ett mer eftergivligt stöd. Fig. 5.74 visar resultaten för en analys där tvärsnittsarean för hanbjälken har antagits vara hälften så stor som i ursprungsmodellen. Variationen motsvarar att hanbjälken har måtten 11x12 cm istället för ursprungsmodellens 15x17,5 cm.



Figur 5.74 Verkningsätt för ursprungsmodellen och för en modell där hanbjälkens tvärsnittsarea halverats.

Resultaten visar att då sparren får ett sämre stöd av hanbjälken:

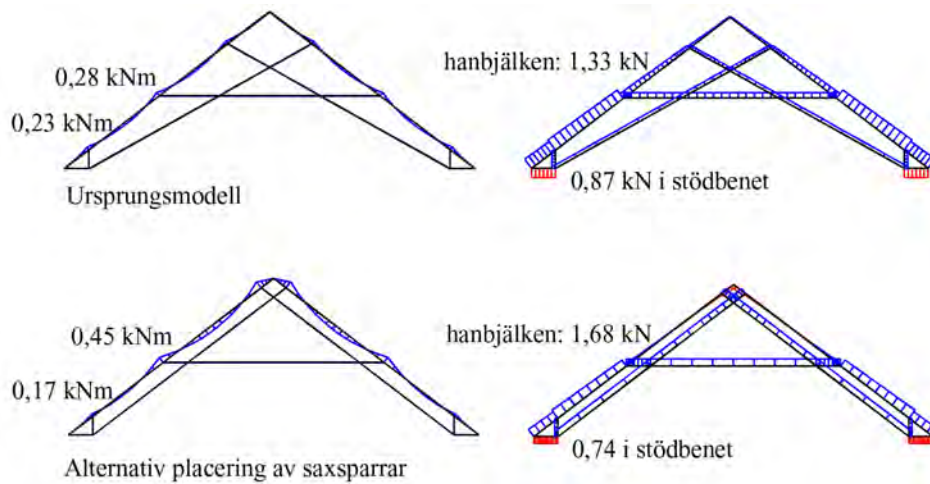
- ökar det maximala stödmomentet vid stödbenet med 20 %
- minskar stödmomentet vid hanbjälken med 20 %
- blir tryckkraften i hanbjälken 6 % mindre
- blir tryckkraften i stödbenet 8 % större.

Jämförelse med betydelsen av inre form

Detta kan betraktas som en liten skillnad i verkningsätt jämfört med betydelsen av variationer i takstolens form. Variationer i de inre delarnas *placering* innebär variationer av de *lägen* där sparren får stöd mot utböjning.

Om saxsparrarna placeras parallellt med sparrarna, som i rad 2 fig. 5.75, istället för som i ursprungsmodellen:

- ökar det maximala stödmomentet med 60 %
- ökar det maximala fältmomentet med 100 %
- ökar tryckkraften i hanbjälken med 25 %
- minskar tryckkraften i stödbenet med 15%.

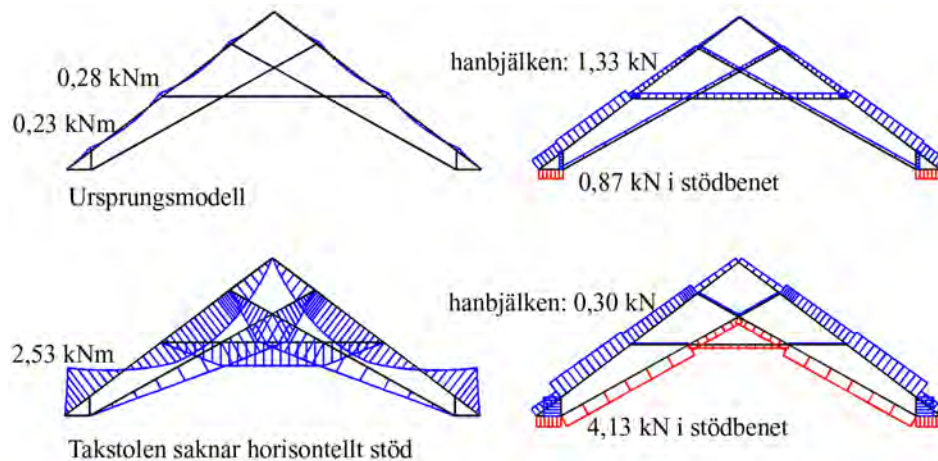


Figur 5.75 Verkningsätt för ursprungsmodellen och en modell där saxsparrarnas lägen modifierats.

Man måste minska hanbjälkens area till en *tiondel* för att få en skillnad i verkningsätt som är jämförbar med effekten av att flytta saxsparrarna. En sådan skillnad i tvärsnittsarea är alltför extrem för att motsvaras av normalt förekommande variationer mellan takstolar.

Påminnelse om betydelsen av uppgift

I det här sammanhanget kan det vara värt att understryka att de största skillnaderna i verkningsätt uppstår på grund av skillnader i *uppgift*. Fig. 5.76 påminner om följden av ett förlorat horisontellt stöd.



Figur 5.76 Verkningsätt för ursprungsmodellen om den har respektive saknar horisontellt stöd.

SLUTSATS

Exemplen ovan tyder på att man kan resonera om ett befintligt bärverks verkningssätt utifrån beräkningar gjorda med en grov uppskattning av delarnas tvärsnittsmått.

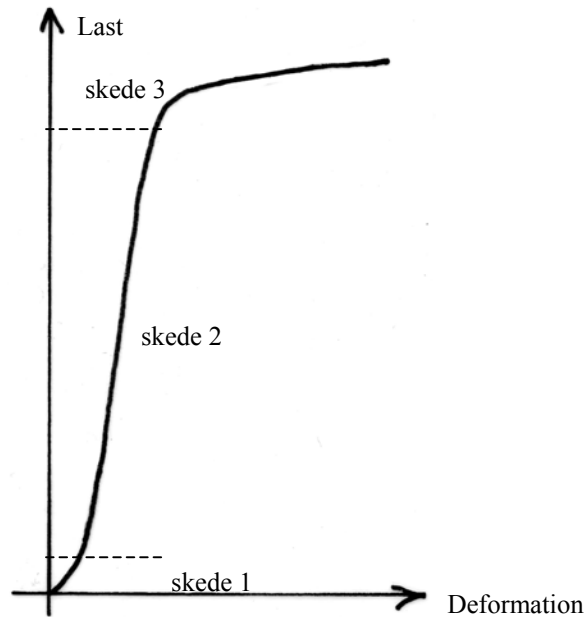
Det gäller om syftet är att bestämma *kraftspelet* i takstolen – vad som blir tryckt och vad som blir draget, hur utsatta delarna blir för böjning och hur stora krafterna från takstolen mot kyrkobyggnaden blir.

Är syftet däremot att avgöra *riskan för brott* och mer exakta värden på *deformationerna* i ett speciellt bärverk så behövs en högre noggrannhet på tvärsnittsmåtten. För att uppskatta hur ansträngt materialet är räcker det inte att enbart dimensionerna mätts noggrant. För ett tillförlitligt svar krävs en verklighetsnära uppskattning av samtliga indata (delarnas dimensioner, delarnas placering, knutpunkternas och upplagens egenskaper, lastens storlek och materialets styvhet). Dessutom behöver man kunskap om *hållfastheten* hos materialet i den studerade konstruktionen. Sådan kunskap kan fås genom att studera materialprover från det aktuella bärverket i laboratorium.

5.4.2 Knutpunkters egenskaper

Styvhetsegenskaper – translation

Takstolsdelarnas knutpunkter deformeras olika mycket beroende på belastningsnivå. Fig. 5.77 visar det idealiserade deformationsbeteendet för ett timmermansförband.⁴



Figur 5.77 Idealiserat last-deformationsdiagram för drag- eller tryckbelastat timmermansförband.

Diagrammet visar hur deformationerna i förbandet ökar då lasten successivt ökar. I ett inledande skede (skede 1) ökar deformationerna mycket trots att belastningsnivån är låg. Det beror på att det ursprungligen finns ett visst glapp i förbandet till följd av en inte helt perfekt passform. Efter att det ursprungliga glappet slutit sig är förbandet styvt: trots att lasten ökar mycket så ökar deformationerna endast lite (skede 2). De deformationer som uppstår i detta skede är elastiska – de går tillbaka om förbandet avlastas. Förband med mycket god passform kan uppvisa det här deformationsbeteendet redan från början. Vid en viss lastnivå inträder ett annat beteende: förbandet börjar att deformeras kraftigt även för en liten ökning i lasten (skede 3).

I det här arbetet har takstolarnas knutpunkter modellerats sådana att delarna antas följa varandra stelt i knutpunkterna vid rörelser i horisontell och vertikal led. Modellerna kan sägas visa takstolarnas verkningssätt vid normal funktion, motsvarande skede 2 ovan.

Vill man studera vad som händer i ett bärverk i det mer ansträngda skedet (skede 3 ovan) kan beräkningsmodellen ta hänsyn till förbandens eftergivlighet. Det kan vara aktuellt om man, som Görlacher, Kromer och Ehlbeck, närmare vill belysa ett verkningssätt vid hård vindbelastning.⁵ Författarna visar hur krafterna i en vindbelastad takstol omlagras något då de mest dragbelastade förbanden deformeras. Timmermansförbandens deformationsegenskaper är i dag ofullständigt utredda och det saknas generella rekommendationer för sådana studier. Det finns dock studier som kan ge en viss ledning för antaganden om styvhet.⁶

Styvhetsegenskaper – rotation

Det är idag svårt att finna uppgifter om timmermansförbands deformationsbeteende vid momentbelastning. Provning av momentbelastade förband skulle kunna visa om delarna faktiskt kan följas åt vid rotationer om förbanden är helt täta. I det här arbetet har takstolarnas delar antagits kunna rotera fritt i förhållande till varandra. Vid en studie av kraftspelet i takstolen över koret i Väskinde kyrka (Gotland) gjordes en jämförande studie av betydelsen av momentstyvheten i förbanden.⁷ Dels studerades verkningssättet då knutpunkterna liksom i denna studie var modellerade som friktionsfria leder. Dels studerades verkningssättet då delarna följde varandra helt styvt vid rotation. Knutpunkternas egenskaper påverkade inte nämnvärt *normalkrafternas* storlek. Däremot blev takstolen som helhet styvare med styvare knutpunkter. Valet av modell antas inte ha avgörande betydelse när det gäller att studera det principiella kraftspelet i en takstol. Vid *dimensionering* av bärverk kan valet dock vara betydelsefullt – spänningarna i knutpunkten kan öka vid ökad styvhet.

Bärförmåga

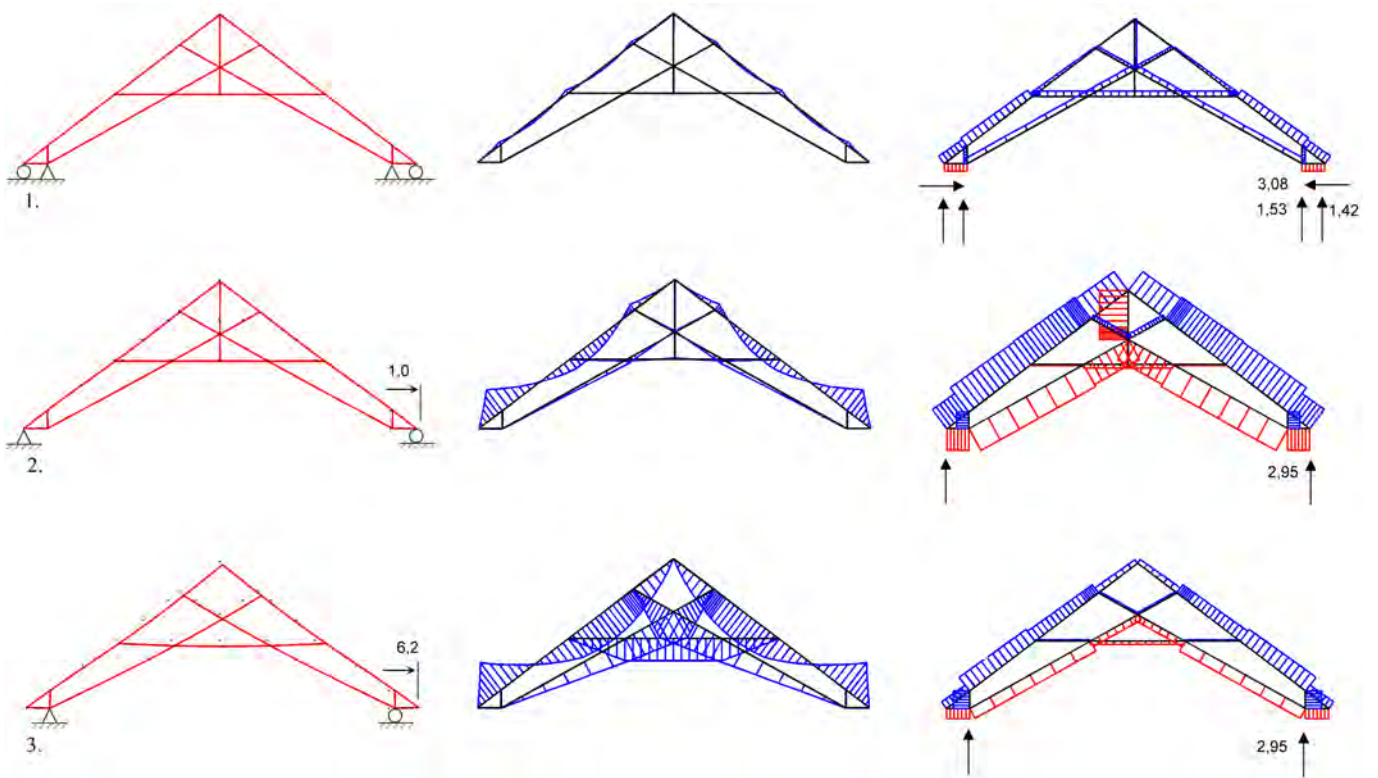
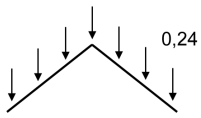
Om belastningen blir för stor kan, som en yttersta konsekvens, en del i en takstol helt förlora sin bärförmåga så att ingen kraftöverföring längre kan ske till omgivande delar. Gamla takkonstruktioner innehåller ofta en mängd alternativa vägar för krafterna i bärverket, så att konstruktionen trots detta kan fortsätta att fungera. Därmed kan det hända att en skada inte upptäcks förrän ytterligare skador uppstått, som en konsekvens av det förändrade verkningssättet.

Exempel: Urdraget mittstycke, figur 5.78.

Rad 1. Takstolen bär *som en båge*. Delarna blir tryckta. (En viss dragbelastning kommer att uppstå i mittstycket eftersom det hindrar hanbjälken från att böja ut av sin egen och trävalvets tyngd. Det syns inte här: lasten är en jämnt fördelad last på sparrarna. Se kap. 5.3.8.)

Rad 2. Efter ett brott i knutpunkten stickbjälke-murrem bär takstolen *genom dragnig och tryck* och mittstycket blir hårt dragbelastat. Ett enkelt spikförband är inte tillräckligt för att överföra kraften.

Rad 3. Mittstyckets infästningar till takstolen har givit efter. Takstolen fungerar som en takstol utan mittstycke. Verkningssättet kan leda till böjbrott i sparrarna.



A. Deformationsfigur

B. Böjmoment

C. Normalkrafter och stödkrafter

Figur 5.78 Takstolen kan bära sin last även efter brott i någon av knutpunkterna.

Rad 1 visar verkningssättet i normalfallet, då takstolen får horisontellt stöd från underlaget.

Rad 2 visar verkningssättet efter ett förbandsbrott som gjort att takstolen förlorat sitt horisontella stöd. Mittstycket blir nu hårt belastat.

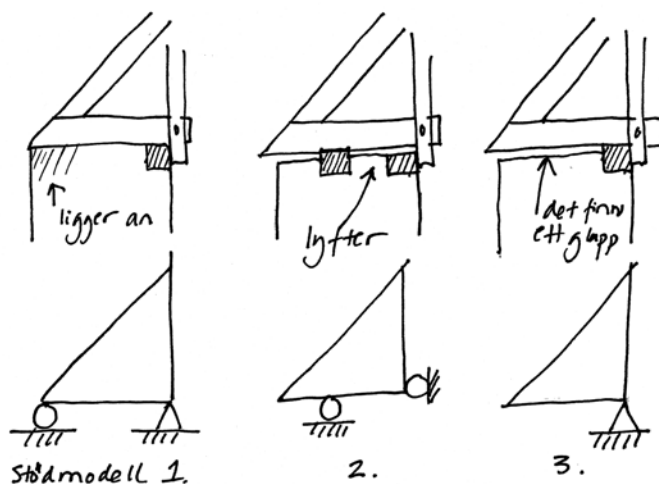
Rad 3 visar verkningssättet då mittstycket dragits ur sina infästningar. Belastningen blir stor i takstolens delar.

5.4.3 Vertikala stödpunkters lägen

MÖJLIGHETEN ATT TA STÖD PÅVERKAR VERKNINGSSÄTTET

Tre stödmodeller

Ett exempel visar hur *böjningen i sparrarna* och de *horisontella upplagsreaktionerna* påverkas av takstolens möjlighet att ta vertikalt stöd mot byggnaden under. Tre modeller av vertikalt stöd jämförs, fig. 5.79.



Figur 5.79 Tre utformningar med tillhörande modeller av det vertikala stödet.

- Den *första* modellen (fig. 5.79 vänster) innebär att takstolen får vertikalt stöd i två punkter: under stödbenet och under sparrans nedre ände. De här upplagsvillkoren förutsätter att takstolen står på en bred mur så att sparränden inte sticker utanför muren.

- I den *andra* modellen (fig. 5.79 mitten) får takstolen vertikalt stöd i en punkt som ligger en bit innanför sparrans nederände. Det motsvarar att takstolen får stöd av en murrem i detta läge. (Takstolen antogs vid en första beräkning få vertikalt stöd av såväl en inre som en yttre murrem. Resultaten visade att takstolen ville lyfta från det inre stödet och verkade med en uppåtriktad kraft i det. Det inre stödet släpptes då – det förutsätts här att takstolen inte är förankrad med skruvar eller liknande i mur eller murremmar.)

- I den *tredje* stödmodellen (fig. 5.79 höger) antas takstolen kunna ta stöd i endast en punkt, direkt under stödbenet.

Takstolen antas i samtliga fall få *horisontellt* stöd i en punkt direkt under stödbenets nedre ände. Det horisontella stödet kan exempelvis komma av direkt anliggning mellan stödben och vägg som antytts i fig. 5.79. Det kan också komma av att stickbjälken är hophuggen med en eller flera

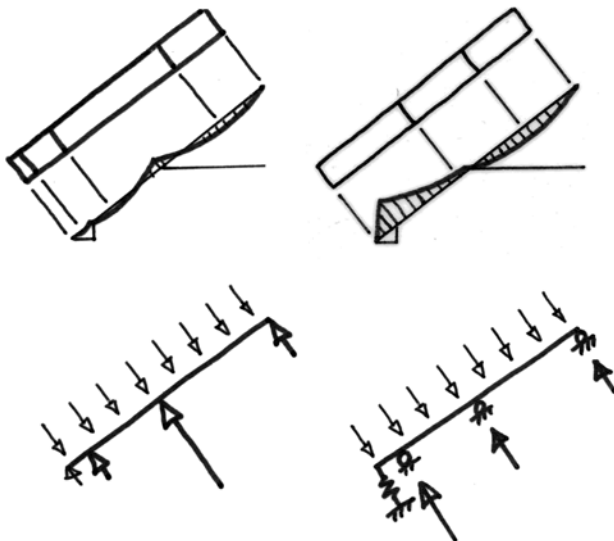
remstycken (längsgående virken i väggens krön), eller av friktion mellan stickbjälken och underlaget. (Var takstolen får sitt horisontella stöd påverkar endast dragkraften i stickbjälken och har behandlats tidigare, fig. 5.8.)

Större böjmoment men mindre uttryckningskraft

Hur sparren tar stöd och bär i böjning

Betrakta bildserien i fig. 5.80.

När det vertikala stödet flyttas in (rad 2 och 3) så får sparren ett vekare stöd mot utböjning i sin nedre ände. Ju vekare det yttersta stödet blir desto mer tar sparren stöd mot stödbenet. Sparren fungerar allt mer som en konsol nedtill. Att sparrens nedre ände böjer ut motverkar dess utböjning högre upp, ovanför stödbenet. Sparren stödjer därigenom mindre mot hanbjälken.

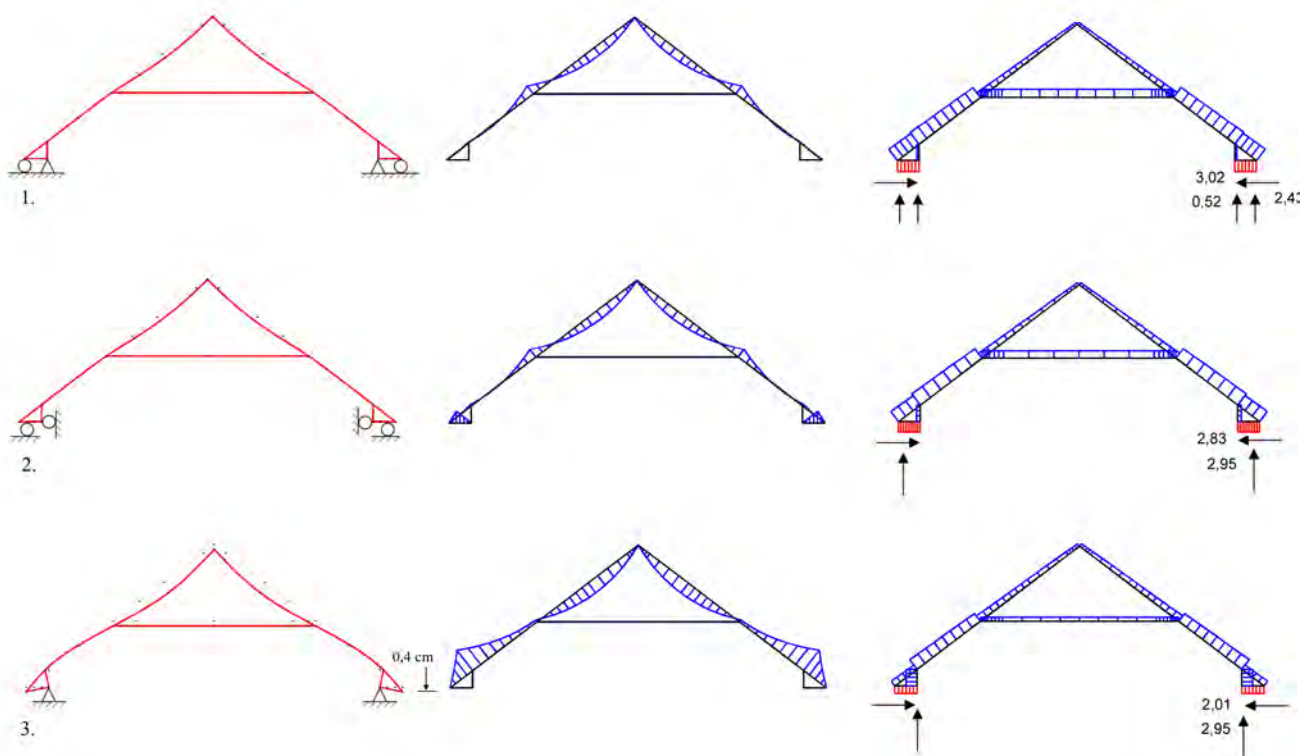


Figur 5.81 Vänster: Hur sparren tar stöd i rad 1 (fig. 5.80). Höger: När stödet flyttas in (rad 2 och 3 i fig. 5.80) får sparren ett vekare stöd mot utböjning.

Hur lasten förs genom bågverkan till upplagen och mittsnittet

Då stödbenen i rad 2 och rad 3 tar allt mer last minskar hävarmen för det pådrivande momentet. Samtidigt hamnar den resulterande tryckkraften i mittsnittet högre upp då hanbjälken avlastas. Uttryckningskrafterna blir därför mindre ju längre in stödet ges.

Verknings sättet i rad 3 förutsätter att det finns ett tillräckligt glapp mellan stickbjälken och muren. Om glappet efter en tid sluts så kan takstolen komma att bära som i någon av de andra modellerna och uttryckningskrafterna därmed öka.

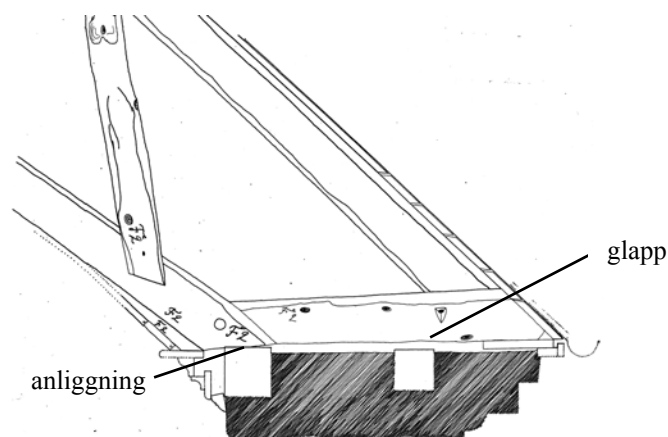


Figur 5.80 Tre olika lägen för det vertikala stödet och möjligheten att bära som en båge.
 Kolumn A visar deformationer. I rad 3 roterar stödbenstriangeln utåt.
 Kolumn B visar hur möjligheten att ta vertikalt stöd påverkar momentfördelningen i sparren.
 Kolumn C visar hur uttryckningskrafterna minskar då takstolen tvingas ta stöd längre in på muren.

En verklig konstruktions deformationer berättar om hur den bär last. Just vid stödpunkterna kan deformationerna i bärverken ibland synas tydligt, antingen som en anliggning mellan takstol och underlag eller som ett glapp. Är inte glappen synliga för ögat så kan de upptäckas genom att det går att sticka exempelvis en kniv mellan takstol och upplag. Sådana observationer bör ingå i den dokumentation som görs inför en analys.

Om en undersökning i fält visar att stickbjälken lyfter från underlaget, så är det *ett* tecken på att takstolen förlorat sitt horisontella stöd och nu bär *genom dragning och tryck*, fig. 5.82, rad 2. I sådana fall finns vanligen fler tecken som tyder på samma sak: förband i takstolen har dragits isär och kyrkans väggar lutar utåt.

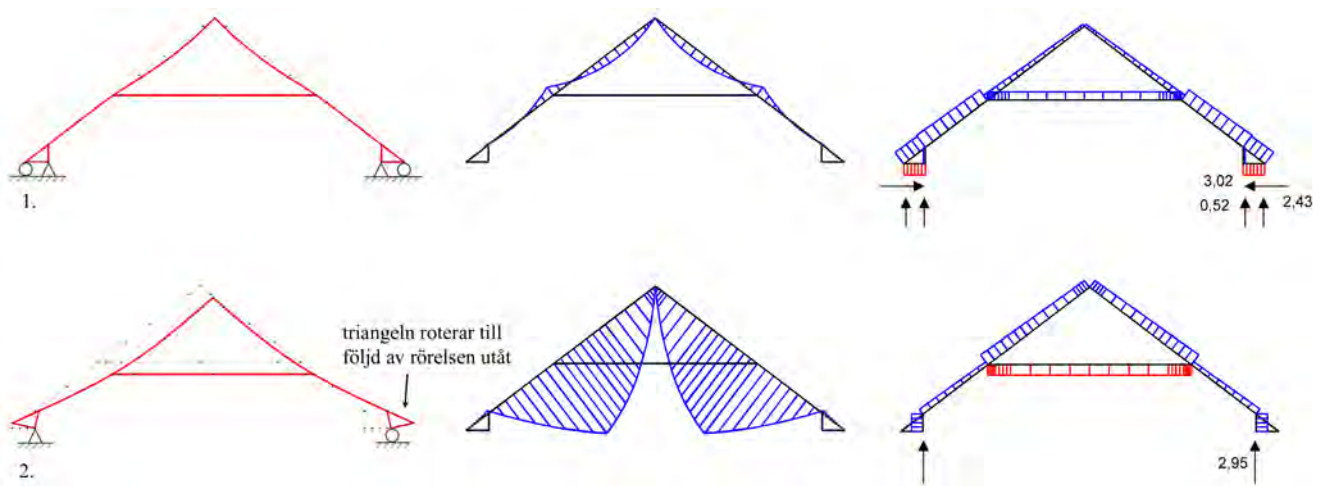
I Tingsås kyrka lyfter stickbjälkarna på det här sättet, fig. 3.16. Ett exempel utanför den avgränsade bärverksgruppen är Morups kyrka (Halland) som har haft problem med rörelser i väggarna. Stödbenstriangelns rotation blev tydlig vid en dokumentation av takfoten, fig. 5.83.



Figur 5.83 En uppmätning av takstolens nedre delar visar om stickbjälken lyfter från den yttre murremman. Morups kyrka, Halland.

Endast en takstol med mycket styv inre struktur kan glida isär *utan* att det leder till att stödbenstriangeln roterar och stickbjälken lyfter som i fig. 5.82. Av de analyserade modellerna har endast *en* visat ett sådant deformationsmönster: modellen med saxsparrar och mittstycke. Se fig. 5.69, rad 3. Den är inte representativ för hur gamla takstolsformer fungerar, eftersom den förutsätter att stora permanenta dragkrafter kan överföras i takstolens knutpunkter.

Att stickbjälkarna lyfter är dock inte *tillräckligt* som bevis för att takstolens stödpunkter rört sig. Stödbenstriangeln *kan* rotera inåt fastän takstolen har horisontellt stöd. Det gäller fall då takstolen är extremt vek så att sparran får ett svagt stöd mot utböjning. Vi har tidigare sett detta hos Bergatypen, fig. 5.53, rad 1.



Figur 5.82 Verkningsätt för symmetrisk last.

Rad 1: Horisontellt stöd finns. Takstolen tar stöd mot två punkter på muren.

Rad 2: Horisontellt stöd saknas. Takstolen lyfter från sin yttre stödjepunkt.

¹Förslag till metod för bestämning av bärförmåga ges i Görlacher m. fl. (1990), s. 288-289.

²Till exempel, rad 3: (spänning av antisymmetriska lastfallet) + 3*(spänning av symmetriska lastfallet) = $18 + 3*2 = 24$ MPa. Rad 4: $4 + 3*1 = 7$ MPa.

³ Sparrarna själva ingår i denna stödjande struktur.

⁴ Väskinde, se Sandin (1996), s. 60. Asige, se fig. 6.28.

⁵ Görlacher m. fl. (1990), redogör för brott- och deformationsbeteende hos dragbelastade bladförband. På s. 277 visas ett idealiserat last-deformationsdiagram. Heimeshoff – Köhler (1989) redogör för last-deformationsbeteenden erhållna genom provning av en mängd dragbelastade raka hakblad och laxstjärtförband samt tryckbelastade ansatsförband.

⁶ Görlacher – Kromer – Ehlbeck (1995), s. 209-213.

⁷ Ehlbeck – Hättich (1989). Görlacher m. fl. (1990), Heimeshoff – Köhler (1989).

⁸ Sandin (1996), s. 76, fig. 5.11g-h.

6. TREDJE ANALYSEN GER BÄRNINGSMÖNSTER

6.1 Inledning

Det här arbetets metod att svara på frågan om hur takstolar fungerar, innebär att undersöka hur olika takstolsutformningar klarar tre skilda uppgifter:

1. Att bära symmetrisk last då vertikalt och horisontellt stöd finns.
2. Att bära symmetrisk last då vertikalt stöd finns, men horisontellt stöd saknas.
3. Att bära antisymmetrisk last då vertikalt och horisontellt stöd finns

För var och en av uppgifterna uppträder ett karakteristiskt mönster för konstruktioners verkningssätt, som också (i kap. 5) har fått ge namn åt de tre uppgifterna:

1. Att bära som en båge.
2. Att bära genom dragning och tryck.
3. Att bära som två balkar.

I det här kapitlet undersöks dessa mönster med hjälp av skivor.

Skivor är tvådimensionella bärverk som bär last i sitt plan. De skivor som studeras här antas vara homogena och isotropa. Skivans lokala styvhet är därmed lika i alla punkter och i alla riktningar. I skivorna är då styvheten i kraftvägarna oberoende av inre form och istället endast beroende av lasten, upplagen och den yttre formen.

Detta till skillnad från bärverk uppbyggda av balkar, där styvheten är starkt påverkad av balkkonstruktionens inre form. De spänningsmönster som uppstår i skivor då de belastas kan därför uppfattas som mer generella bilder av lastens och upplagens inflytande på verkningssättet. De utgör referensexempel, som verkningssätten från kapitel 5 kan jämföras med.

Bilderna kan användas för att identifiera styva och effektiva bärverk. Med hjälp av några exempel ska vi studera hur väl olika takstolsformer tillåter bärningmönstren från de utfyllda formerna att utbildas.

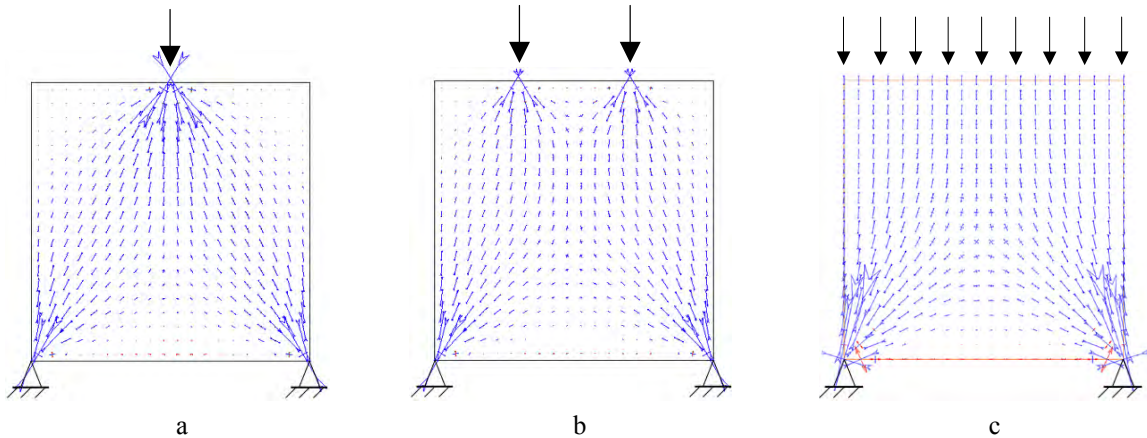
6.2 Resultatens presentation

Då en skiva belastas uppstår tryck- och dragspänningar i olika riktningar.¹ Spänningarnas storlek, riktning och tecken redovisas här med hjälp av färgade pilar. Spänningens storlek och riktning illustreras av pilens längd och riktning. Tryckspänning visas med blå pil och dragspänning med röd pil.

Halva bärverkformer används för att visa spänningarnas variation i bärverkets mittnitt och illustrera hur den ena halvan av ett bärverk tar stöd mot sin andra halva. För skivor belastade med symmetrisk last gäller att de bara tar stöd i horisontell riktning mot sin andra hälft. Skivor belastade med antisymmetrisk last tar bara vertikalt stöd. Detta gäller generellt för symmetriska bärverk, se kap. 2.3.

6.3 Bärningsmönster för uppgift 1

Uppgift 1 innebär att bärverket trycks ihop mellan den nedåtriktade lasten och de fixa upplagen. Materialet blir därvid huvudsakligen tryckt.



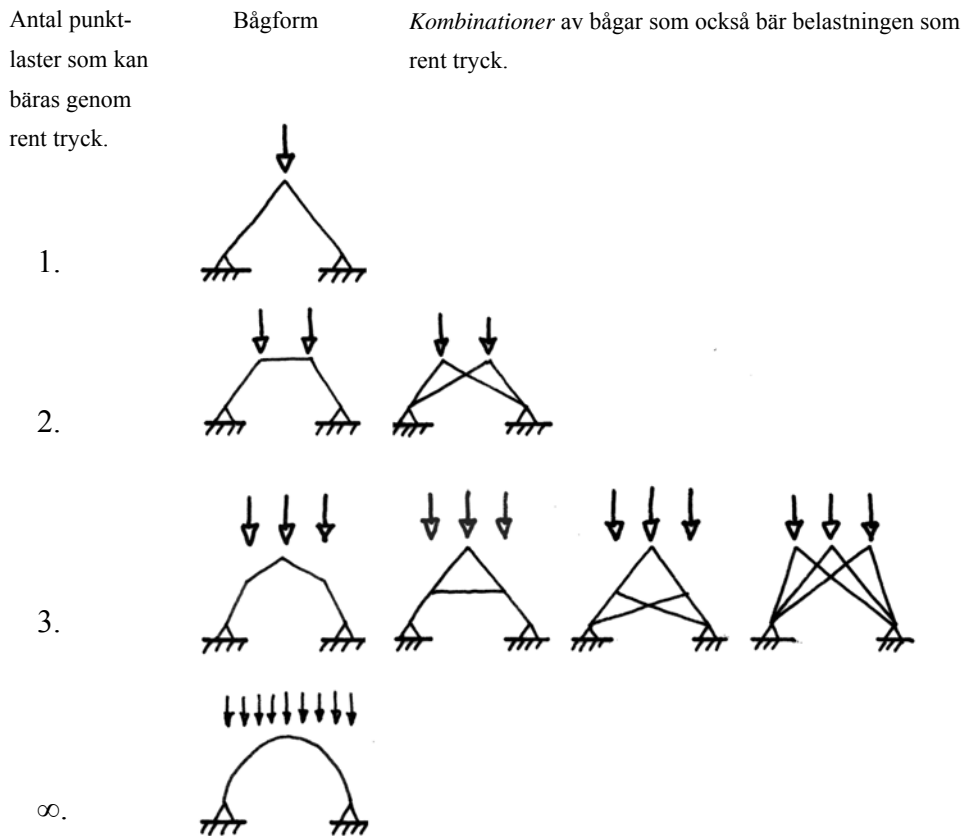
Figur 6.1 Belastningen ger upphov till bågformade mönster av tryck.

Figur 6.1a visar det bärningsmönster som uppstår då *en punktlast* ska bäras till två upplag som står emot såväl horisontell som vertikal belastning. Mönstret visar det sätt att bära lasten som ger minst töjningar i materialet. Det material som är mest utnyttjat ryms inom formen av ett upp- och nedvänt V. Om den här lasten ska bäras av en mindre mängd material så bör formen vara sådan att de mest utnyttjade lastvägarna behålls; på så sätt får den reducerade formen största möjliga styvhet. Tar man istället bort de mest utnyttjade lastvägarna så kan det – beroende på vilken form som uppstår – mycket väl hända att lasten ändå kan bäras, men det måste ske genom större töjningar i materialet. Önskar man en styv struktur för att bära en punktlast till två upplag som ger stöd både horisontellt och vertikalt så ska den alltså formas som ett upp-och-ned-vänt V. Lasten kan då bäras genom tryck; böjning i delarna undviks. Det upp-och-ned-vända V-et är i strukturmekaniska sammanhang en *båge*, avsedd att bära en punktlast, fig. 6.2 (rad 1).

Två punktlaster ger upphov till ett bärningsmönster enligt figur 6.1b. Vi kan ur mönstret urskilja de två enkla bågformer som tar de två lasterna till upplagen genom tryck i delarna. Men vi kan också ana att det finns en annan bågform som är lämpad att bära två punktlaster – trapetsformen, fig. 6.2 (rad 2).

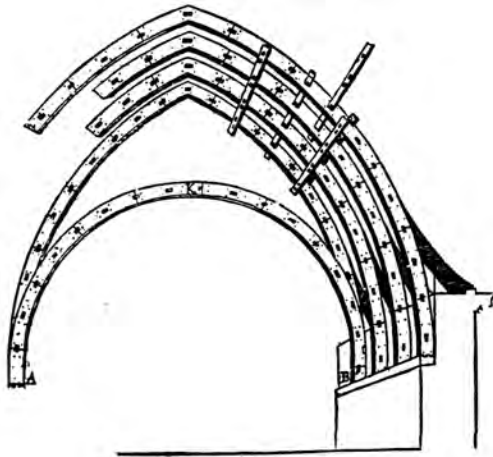
På samma sätt går det att finna polygonformade bågar för varje antal punktlaster som ska bäras till två stöd. Polygonen får en ny "knyck" för varje ny punktlast som kommer till, fig. 6.2 (rad 3). En jämnt utbredd last slutligen, som ju kan sägas bestå av ett oräkneligt antal punktlaster, kan

bäras till upplagen genom rent tryck och utan böjning av en mjukt rundad båge, en båge som har kedjekurvans form. Se fig. 6.1c och 6.2 (rad 4). Ett styvt bärverk som ska bära en jämnt utbredd last kan därför ges formen av en rundad båge *eller* ges en form som innehåller ett stort antal polygonbågar.



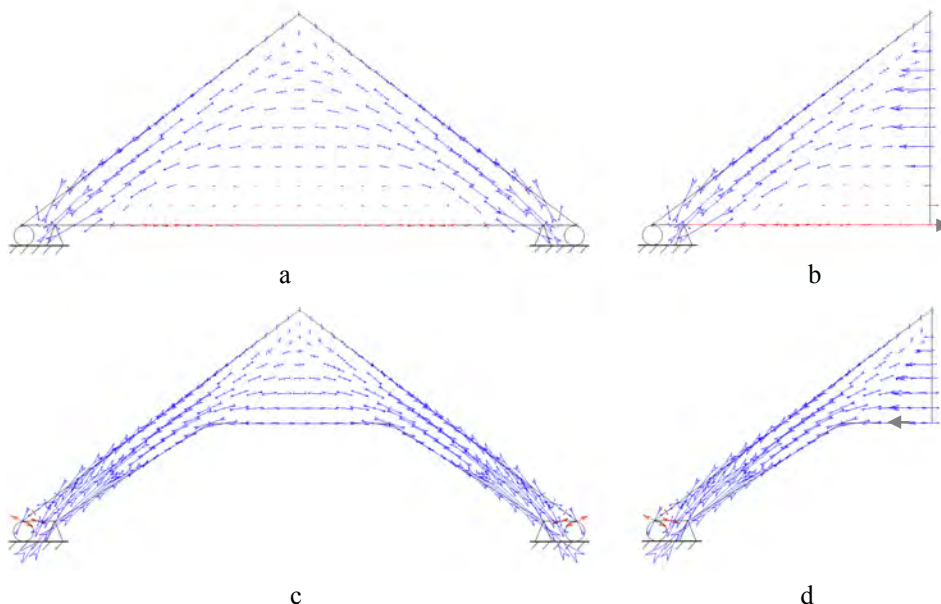
Figur 6.2 Bågformer - former som kan bära punktlaster genom tryck

Det har gjorts takkonstruktioner inom hantverkstraditionen som utnyttjar fördelarna med den rundade bågens form. Philibert de l'Orme utvecklade på 1500-talet i Frankrike en metod att bygga takkonstruktioner med bågform, sammansatta av korta virkesdelar, fig. 6.3. Mig veterligt har inte metoden varit mycket använd i det förindustriella svenska träbyggandet. Rothstein presenterar konstruktionsprincipen i sin byggnadslära från 1856 och nämner ett exempel då den använts, i ett slupskjul med stor spännvidd.²



Figur 6.3 Bågformad takkonstruktion enligt Philibert de l'Orme. Ur Sjömar – Werne (1982), s. 272.

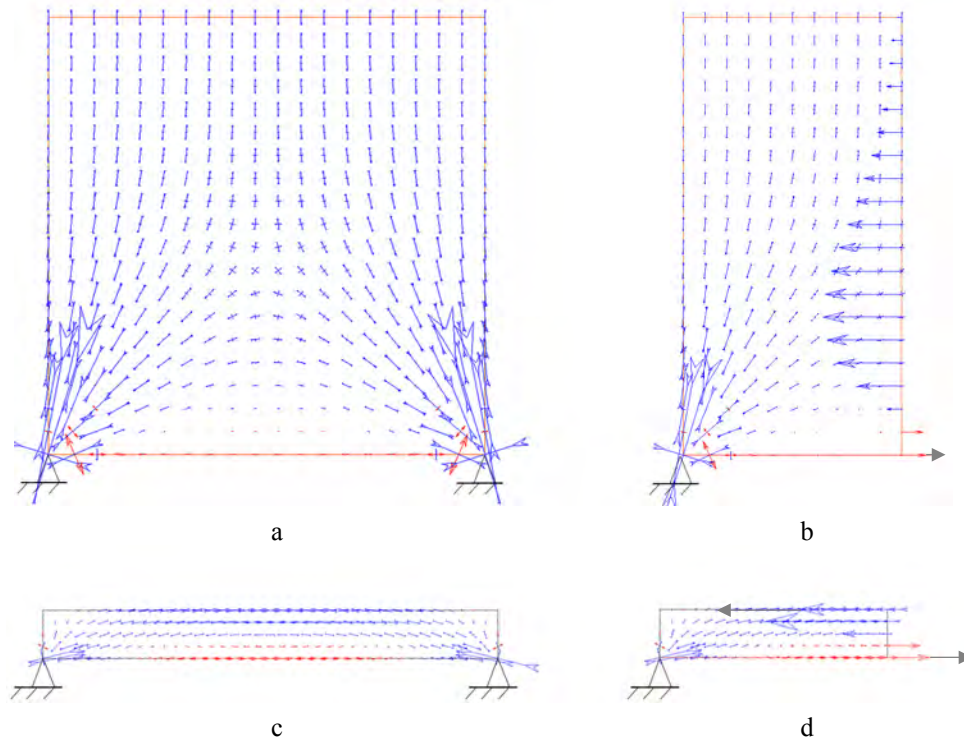
Vi ska övergå till de *yttre* former vi är intresserade av här och betrakta bärningsmönstren i triangelformen och den takstolsformade skivan i figur 6.4. Vi kan konstatera att minskandet av mängden material jämfört med den kvadratiske skivan har inneburit att främst mindre utnyttjat material har "tagits bort". Takstolens yttre form rymmer de lastvägar som ger högst styvhet. När det lågt utnyttjade, lätt dragbelastade materialet i underkant tas bort för att lämna plats för ett valv så bärs lasten uteslutande genom tryck.



Figur 6.4 Bärningsmönster vid symmetrisk jämnt fördelad last (utelämnad i figuren).
a) Triangulär skiva. b) Spänningsfördelning³ i den triangulära skivans mittsnitt.
c) Takstolsformad skiva. d) Spänningsfördelning i den takstolsformade skivans mittsnitt.

Betrakta nu spänningsfördelningen i den triangulära och i den takstolsformade skivans *mittsnitt*, fig. 6.4b och d. Observera att kraftöverföringen är liten högst upp i bärverket och större en bit ner. Det

samma gäller för den kvadratiske skivan, fig. 6.5b. Förhållandet gäller däremot inte för en balk, fig. 6.5d. Där är kraftöverföringen i mittsnittet störst i överkant och underkant. (För en tolkning av denna skillnad i kraftspel mellan höga och låga skivor, se fig. 6.7.)



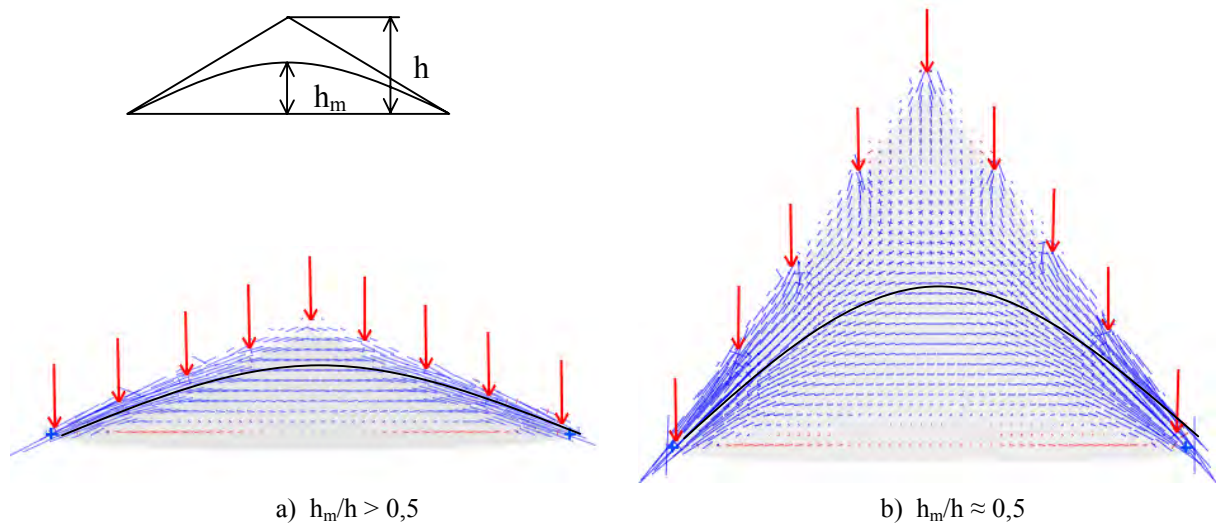
Figur 6.5 Bärningsmönster för skiva och balk med jämnt fördelad last. a) Kvadratisk skiva. b) Spänningsfördelning i den kvadratiske skivans mittsnitt.⁴ c) Balk. d) Spänningsfördelning i balkens mittsnitt.

Det här säger oss något viktigt om takstolsformer i allmänhet.

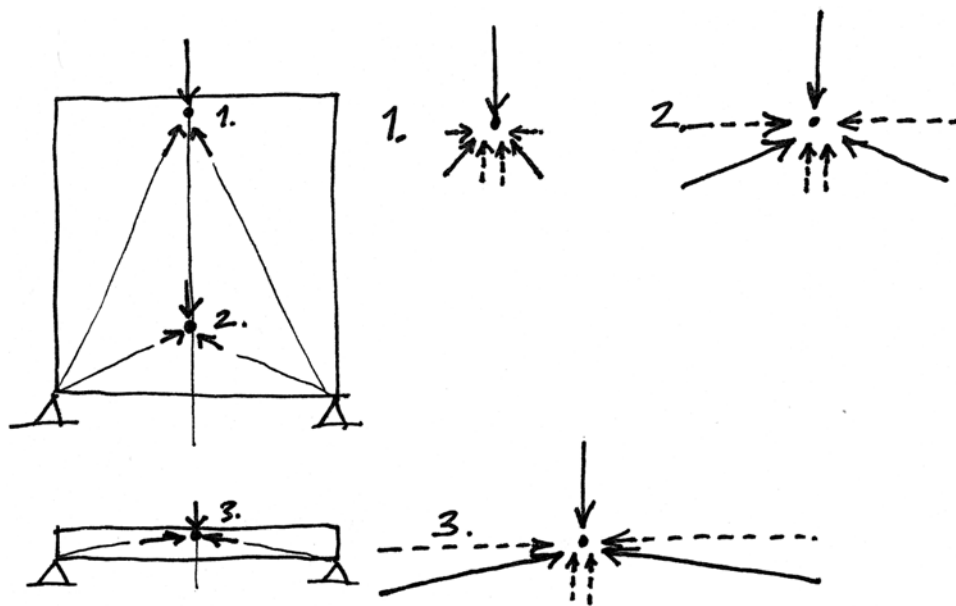
Bärningsmönstret säger oss att när lasten kan "välja" hur den ska gå tvärs mittsnittet så kommer den att gå en bit ner från nocken. Det innebär att de horisontella krafterna från takstolen mot byggnaden under – de horisontella upplagsreaktionerna – inte kommer att bli minimala. Vi har sett i kapitel 4.1 att för att uttryckningskrafterna ska bli så små som möjligt så ska *hävvarmen för det mothållande momentet* vara så stor som möjligt, det vill säga lasten ska gå *över nocken* från den ena takstolshalvan till den andra. För att lasten ska gå den vägen måste formen *tvunga* den dit – exempelvis genom att inte erbjuda några andra lastvägar, som i ett enkelt sparrpar.

En triangulär form ger bärverket stor höjd på mitten, varför beteendet med liten kraftöverföring i ovankant och större kraftöverföring en bit ner bibehålls även om taklutningen pressas ned, fig. 6.6a.

En hög takstol ger förutsättningar för större *hävarm för det mothållande momentet* och därmed mindre uttryckningskrafter. En ökning av bärverkets höjd ger dock inte automatiskt en lika stor ökning av hävarmen, fig. 6.6b.



Figur 6.6 Jämförelse av höjdlägen för kraftöverföring hos två triangulära skivor med olika höjd. Läget för de mest utnyttjade kraftvägarna har uppskattats och markerats med en parabel. a) Kraftöverföringen är mindre i nocken än en bit ner, även vid en för historiska träbärverk låg taklutning (omkring 30°). b) I ett högre bärverk kan kraftöverföringen beskriva en högre bågförm. Relativt bärverkshöjden så sker kraftöverföringen dock längre ned i en hög skiva.



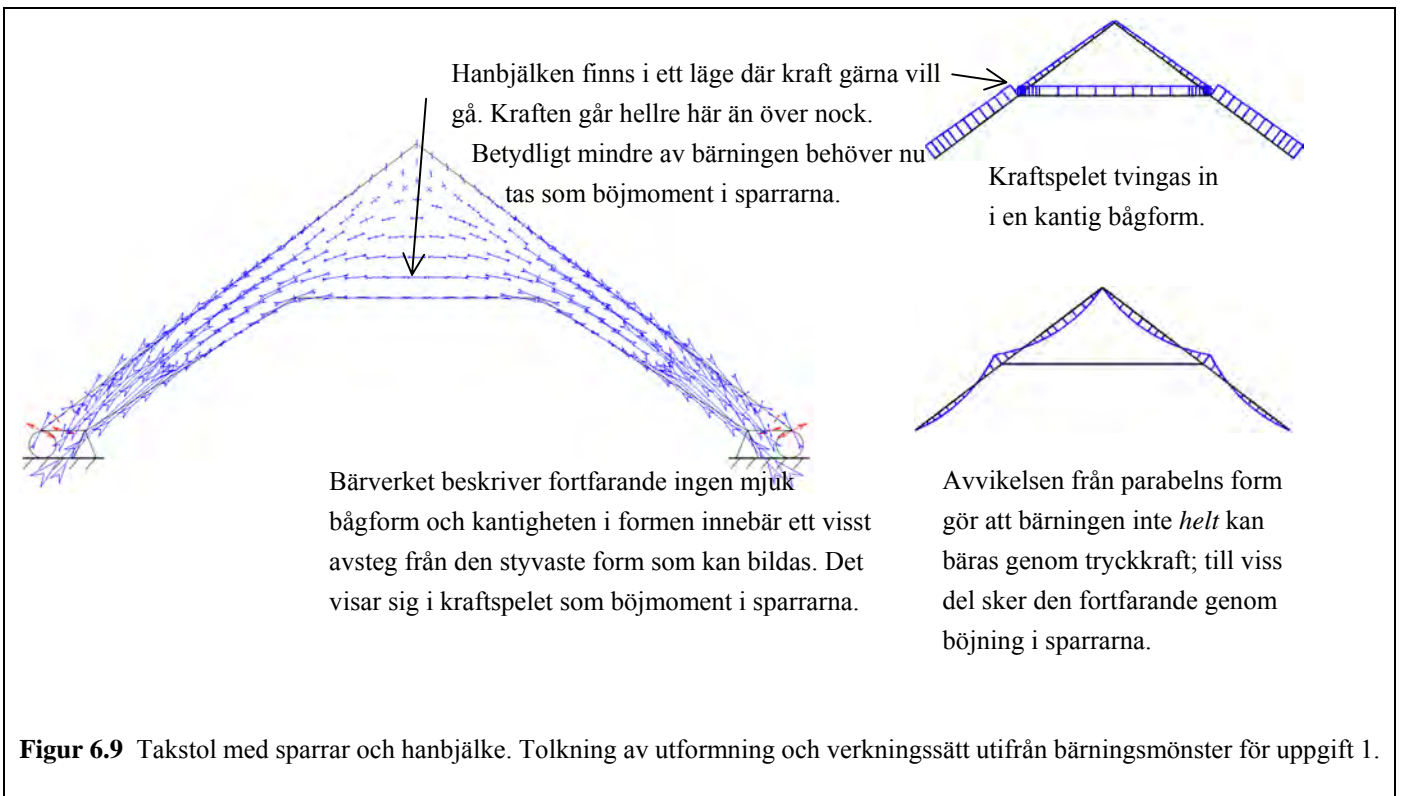
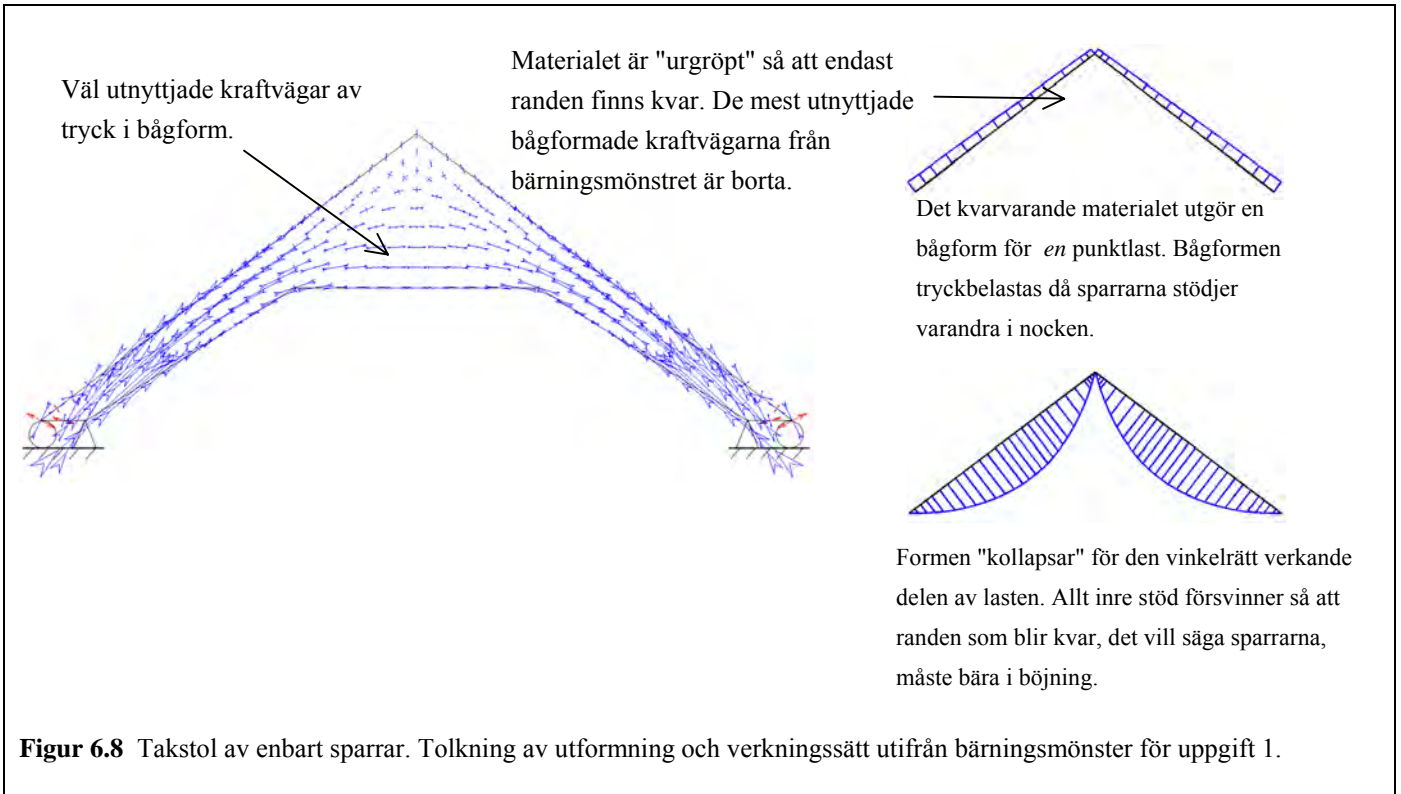
Figur 6.7 Tolkning av skillnaden i kraftöverföring i mittsnittet hos en skiva jämfört med en balk vid jämnt fördelad vertikal last. (Lasten ej markerad i figuren.)

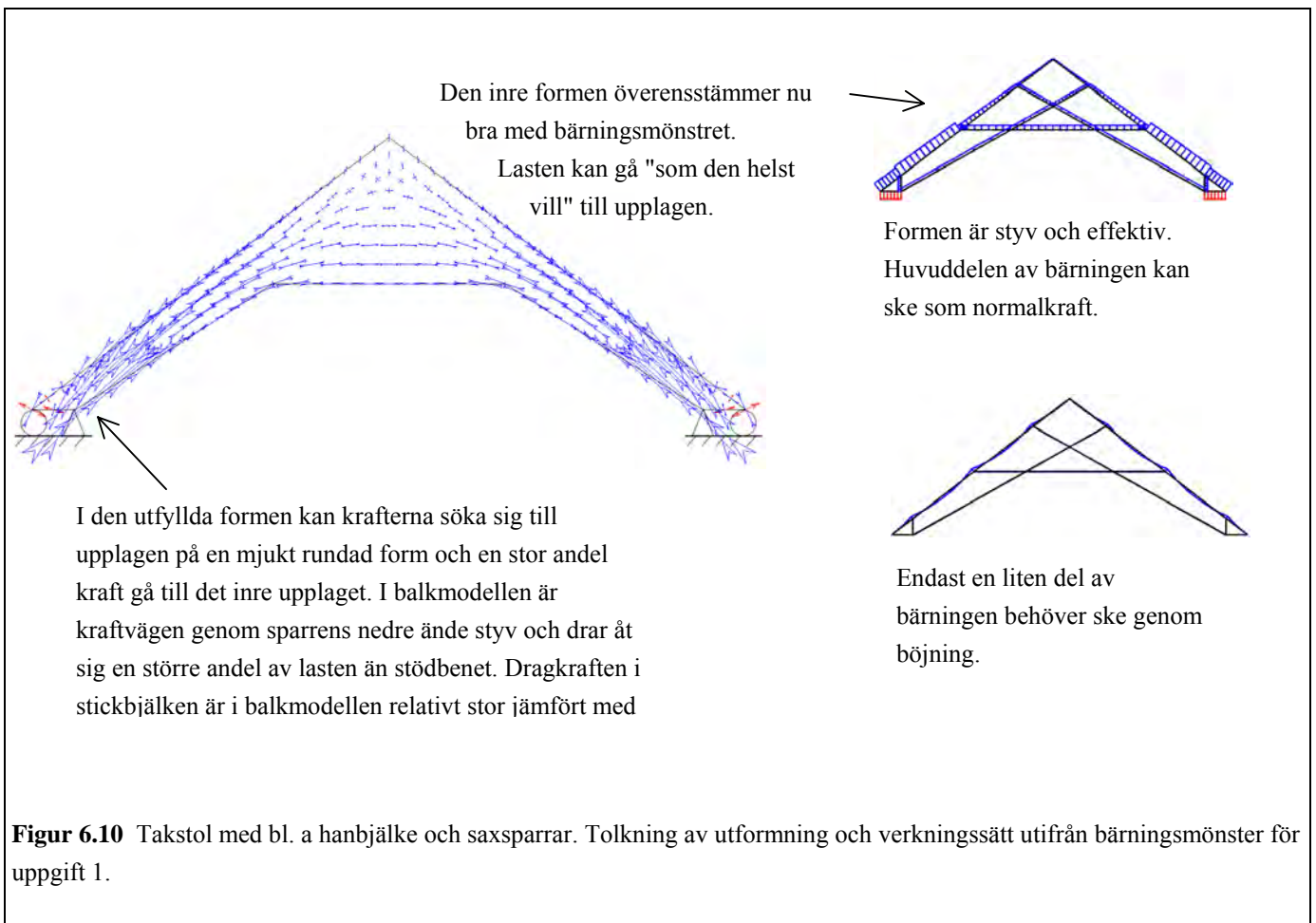
Jämför hur olika materialpunkter tar stöd mot sina grannar. Varje materialpunkt söker stöd i hela sin omgivning, men får *styvast* stöd av omgivningen i riktning mot stödjepunkterna.

1. Punkt 1 får styvast stöd i riktning mot de yttre stödjepunkterna enligt figuren. Den kommer att stödja sig mest mot sina grannar i vertikal riktning, men också något i sidled.
2. Punkt 2 får sitt styvaste stöd i en snedare riktning. Den kommer därför att stödja sig mest mot sina grannar i horisontell led.
3. Punkt 3 i balkens ovkant får stöd i mycket sned riktning. Den kommer mest att ta hjälp av sina grannar i horisontell led för att bära lasten.

Det är således skillnaden i konstruktionernas höjd som gör att kraftöverföringen i mittsnittet får olika karaktär hos skivan och balken.

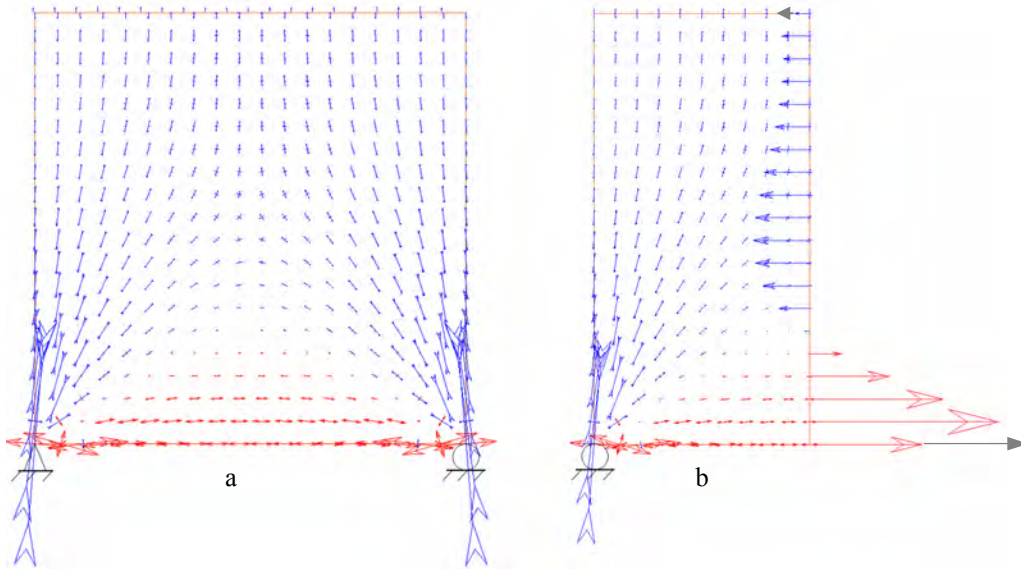
Takstolsformer kan tillåta bärningsmönstret från den utfyllda formen att uppstå eller tvinga fram ett annat sätt att bära lasten. Tre exempel, fig. 6.8 - 6.10, får visa hur bärningsmönster kan användas som stöd i resonemang kring vad som är rationella inre former, för den givna yttre form som jämförelsen gäller.





6.4 Bärningsmönster för uppgift 2

Då horisontellt stöd saknas kan lastbärningen inte längre ske genom tryck. Bärverken måste kunna hantera dragbelastning. Betrakta först en kvadratisk skiva belastad med symmetrisk linjelast, figur 6.11a och b.



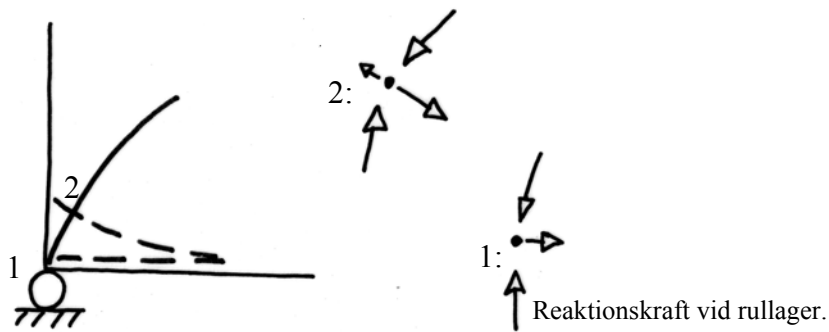
Figur 6.11 Bärningsmönster för skiva med symmetrisk jämnt fördelad last (ej markerad i figuren) då horisontellt stöd från underlaget saknas. a) Hel skiva. b) Halv skiva och spänningsfördelning⁵ i den hela skivans mittsnitt.

Lasten trycker ned materialet mot upplagen, vilka är oeftergivliga i *vertikal* led. Då materialpunkter i skivan söker stöd i sin omgivning finner de styvast stöd i riktning snett ut mot upplagen. Upplagen kan inte hålla emot det snett utåtriktade trycket utan tillåter rörelse i horisontell led. Materialet i skivans underkant måste ge stöd åt det tryckta materialet ovanför för att bärverket inte helt ska falla isär. Skivan måste hålla ihop sig själv – det är här ett nödvändigt villkor för jämvikt att dragning kan överföras. Mönstret beskriver en båge med "dragband", där dragbandet tar tag i bågens nedre ändar, fig. 6.12a. En båge med dragband, fig. 6.12b, är också en styv och effektiv form för uppgiften.



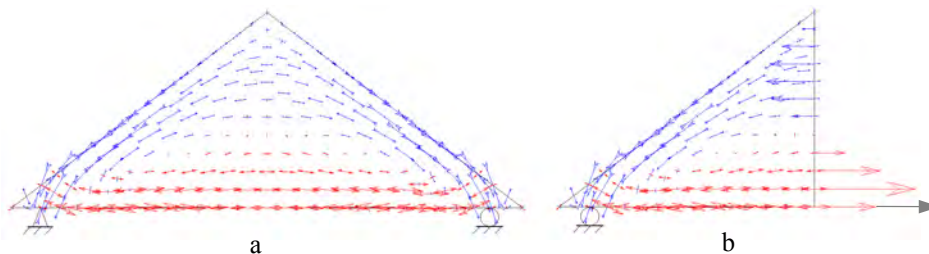
Figur 6.12 a) Mönster av inre dragning (pilar) och yttre tryck (streck). b) En form som hanterar mönstret: båge med dragband.

Trycklinjernas krökning skapar förutsättningar för dragningen att uppstå och växa till, fig. 6.13.



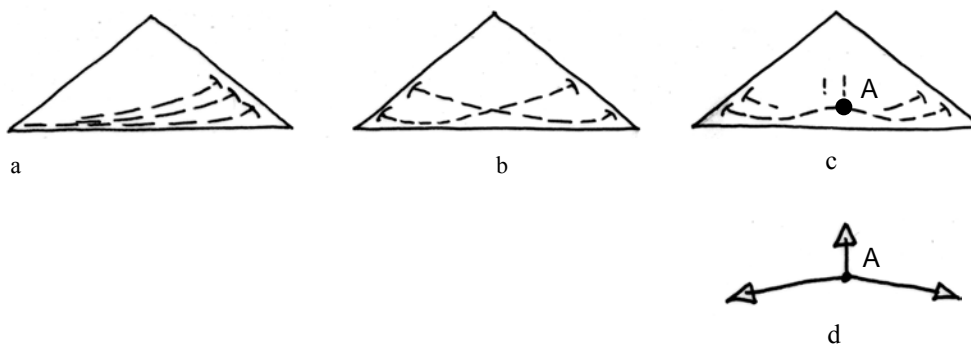
Figur 6.13 Dragning kan utvecklas och växa till tack vare trycklinjens krökning.

I en lägre och smalare *triangulär* skiva, fig. 6.14a och b, har det bågformade mönstret av tryck tvingats in i en lägre form. Trycklinjerna blir mer krökta i områdena ovanför upplagen. Större dragspänningar kan därmed också växa till.



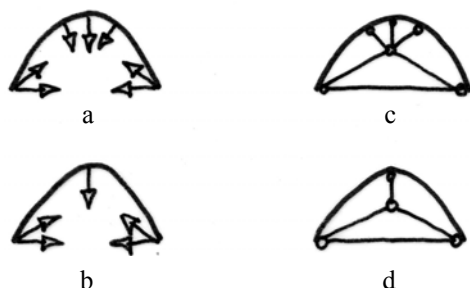
Figur 6.14 Bärningsmönster för triangulär skiva med symmetrisk jämnt fördelad last då horisontellt stöd saknas. a) Hel skiva. b) Halv skiva och spänningsfördelning i den hela skivans mittnytt.

Det dominerande dragspänningsmönstret är fortfarande "dragbandet" i underkant, men man ser även en tendens till dragning i riktning mot nocken. Ett förslag till tolkning av detta mönster ges i fig. 6.15.



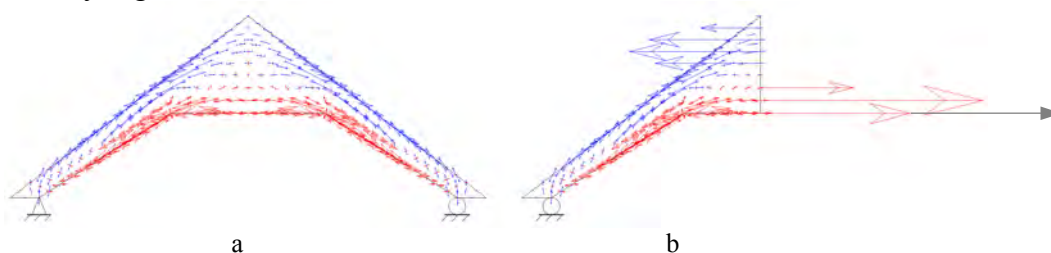
Figur 6.15 Tolkning av dragspänningsmönstret i fig. 6.14. a) Dragspänningar växer till mot de krökta trycklinjerna. Materialet blir dragbelastat i en solfjäderform. (Ena sidan visas.) b) Samma mönster uppstår från båda sidornas upplag. c) Dragspänningarna samverkar så att dragspänningarna beskriver ett konvext mönster. En konvex draglinje medför att mönstret av dragning upp mot tryckbågens hjässa uppstår. d) I A måste materialet för sin jämvikt förankras uppåt.

Dragning och tryck i den triangulära skivan kan förenklat avbildas enligt figur 6.16a eller c. Former som kan hantera dessa bärningsmönster med begränsat med material skulle kunna se ut som i fig. 6.16b eller d.



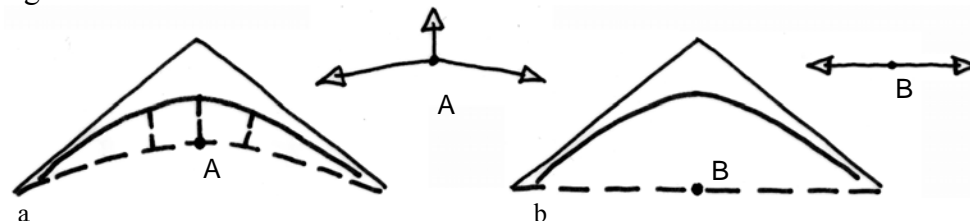
Figur 6.16 a) och b) Mönster av inre dragning (pilar) och yttre tryck (streck). c) och d) Former som hanterar dessa.

I den *takstolsformade* skivan, fig.6.17, blir mönstret av dragning upp motnock tydligare.



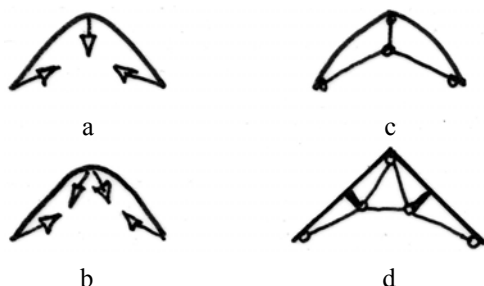
Figur 6.17 Bärningsmönster för takstolsformad skiva med symmetrisk jämnt fördelad last då horisontellt stöd saknas. a) Hel skiva. b) Halv skiva och spänningsfördelning i den hela skivans mittnytt.

Möjligheten att hålla ihop bågen nedtill, genom ett horisontellt dragband från stöd till stöd i underkant, är nu borta. Dragningen tvingas att ta kraftvägar som beskriver en krökt form och det dragbelastade materialet måste för sin jämvikt söka förankring i det tryckta materialet ovanför enligt figur 6.18.



Figur 6.18 a) Då den inre dragningen (streckad linje) tvingas anta en krökt form måste materialet för sin jämvikt söka förankring uppåt. b) Jämför med *horisontell* inre dragning, vilken inte kräver vertikal förankring för sin jämvikt. (En tendens till vertikal dragbelastning uppträder ändå i triangulära skivor, se fig. 6.15.)

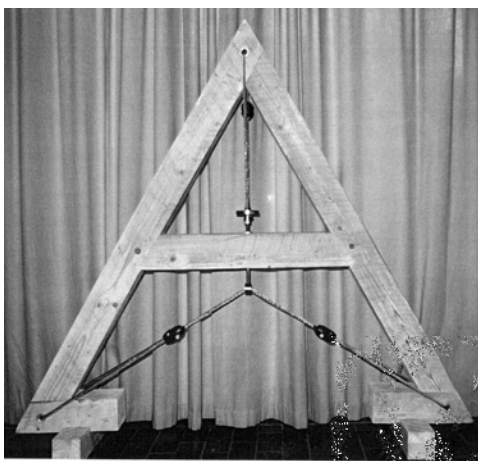
Bärningsmönstret kan förenklat avbildas enligt fig. 6.19a eller b. Enkla former uppbyggda av en begränsad mängd material som tillåter de här bärningsmönstren att bildas visas i fig. 6.19c och d.



Figur 6.19 a) och b) Mönster av inre dragning (pilar) och yttre tryck (streck).
c) och d) Former som hanterar dessa.

Bärningsmönstren ger stöd åt den tidigare använda karakteriseringen av verkningssättet för denna uppgift: bärverken arbetar "genom inre dragning och tryck" för att förhindra isärglidning och bära den yttre lasten.

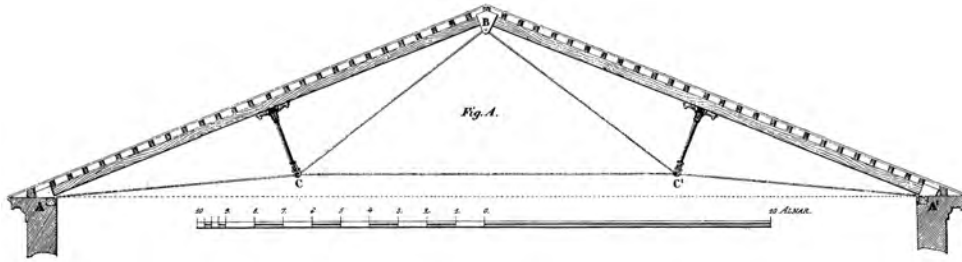
Den danske ingenjören Abrahamsen har utvecklat en metod för förstärkning av gamla trätakstolar som i hög grad bygger på att goda kraftvägar för inre dragning etableras.⁶ Takstolen förstärks med ställinor enligt figur 6.20. (Figuren visar en *modell* av en takstol vilket förklarar de ovanliga proportionerna.) Förutsatt att den gamla, befintliga konstruktionen kan ta upp ett ökat yttre tryck kan linorna sedan spännas och deformerade bärverk dras ihop.



Figur 6.20 Abrahamsens förstärkningsmetod visad på en modell av en takstol.
Foto: Søren Abrahamsen. Ur Abrahamsen (u. å), s.1.

En Polonceau-takstol består, vilket redan nämnts, av två underspända balkar enligt figur 6.21. Genom att spänna linorna kan balkarna ges en överhöjning. Polonceau-takstolens form och materialval kan sägas spegla

det mönster av inre dragning och yttre tryck som är utmärkande för det här last- och upplagsfallet.

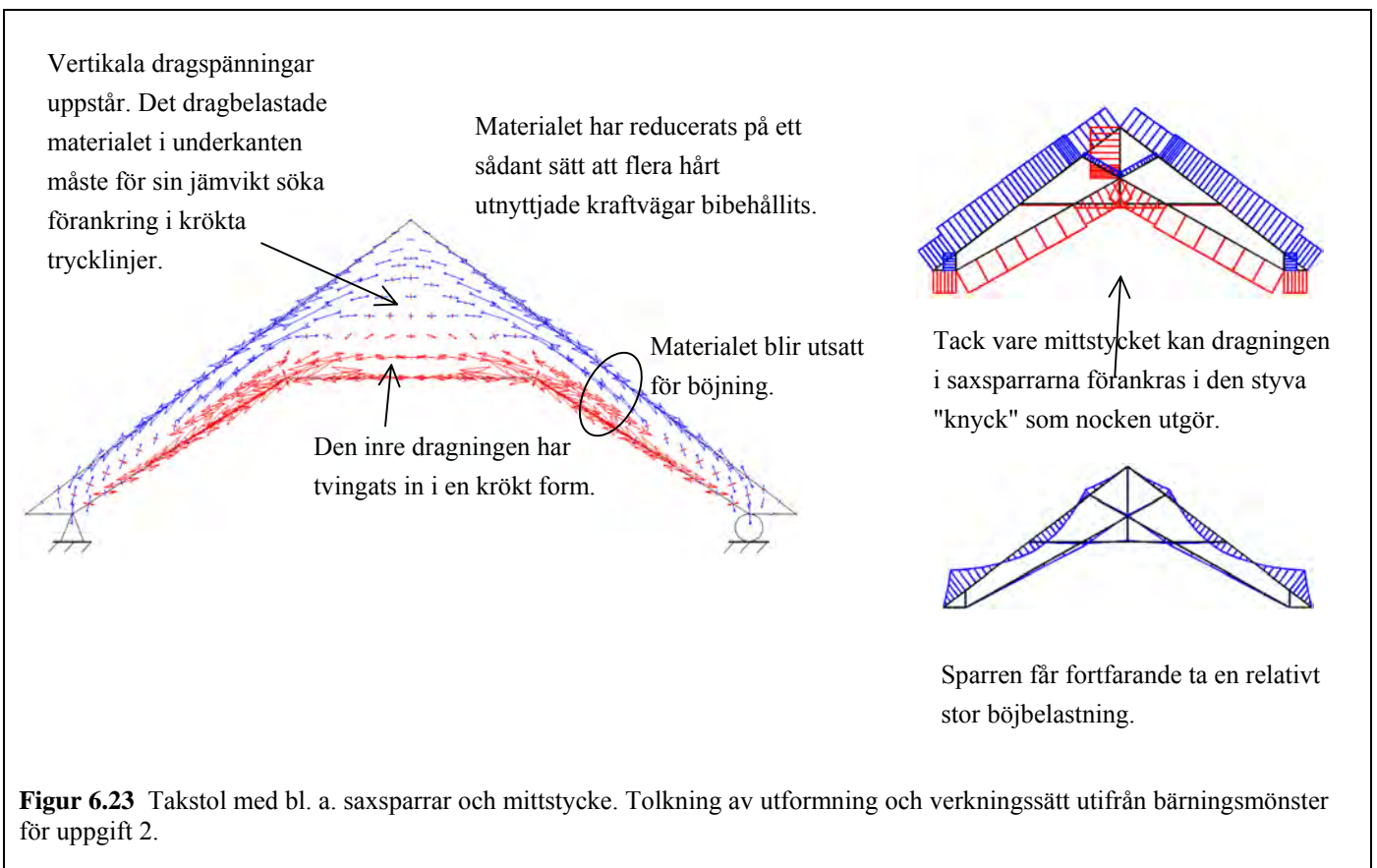
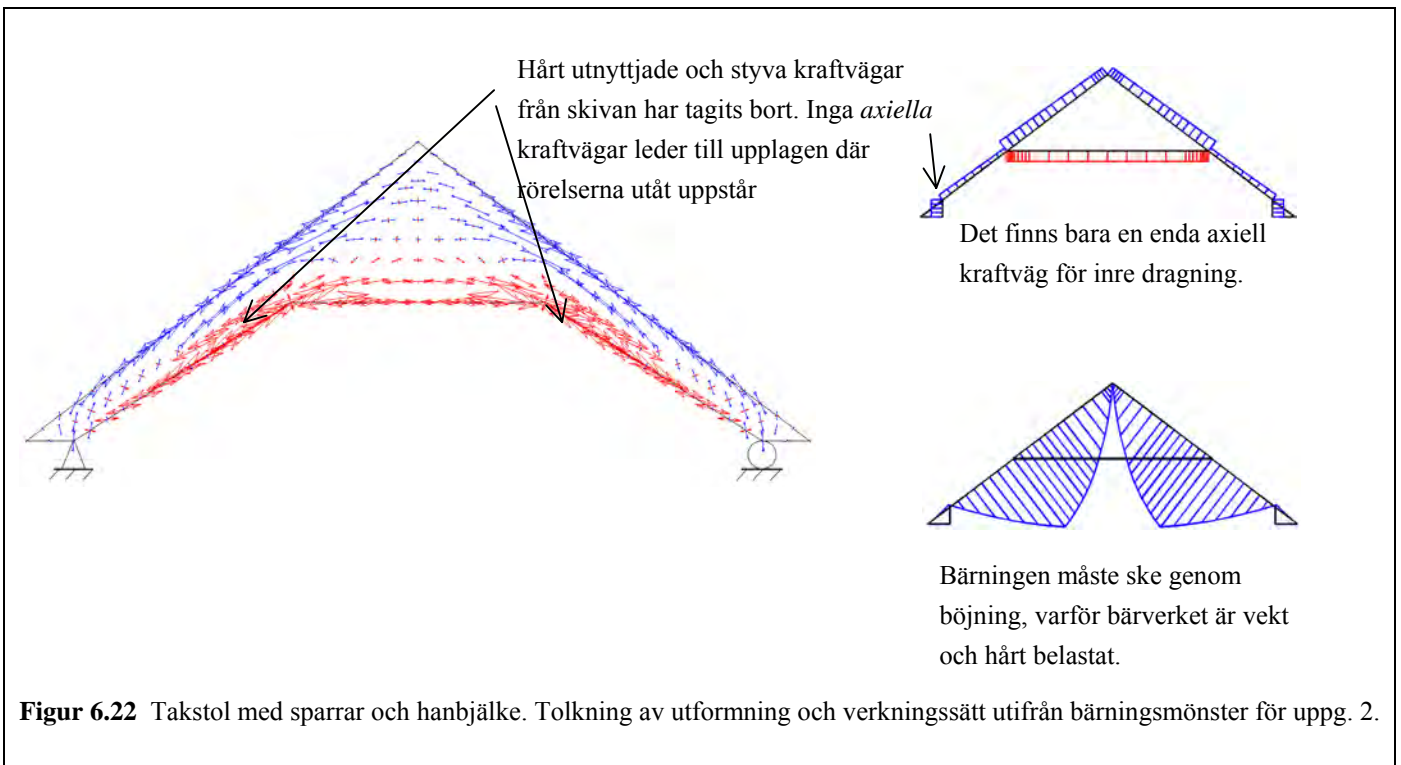


Figur 6.21 Polonceautakstol. Ur Cornell (1983), s. 207.

Lika karakteristiskt som att takstolarna för den här uppgiften bär lasten genom inre dragning och yttre tryck är att de bär lasten *genom ett inre moment*. Bärningsmönstren för den här uppgiften visar hur tryck i och dragning samverkar till moment som verkar för att böja bärverken. Mönstret blir särskilt tydligt i mittsnittet (fig. 6.11b, 6.14b och 6.17b). Samma mönster av dragning i underkant och tryck i ovkant uppträder för alla bärverk som måste bära utan horisontellt stöd. Vi har i kap. 4.2 sett att jämvikt *kräver* att bärverket bär på detta sätt, oavsett inre form.

I gamla svenska takstolstyper måste böjbelastningen oftast bäras av sparren (jfr. kap. 5.2.3) då inre stödjande delar tas i bruk för dragning. Formerna är veka och hårt belastade för den här uppgiften och kan ytterst drabbas av böjbrott.

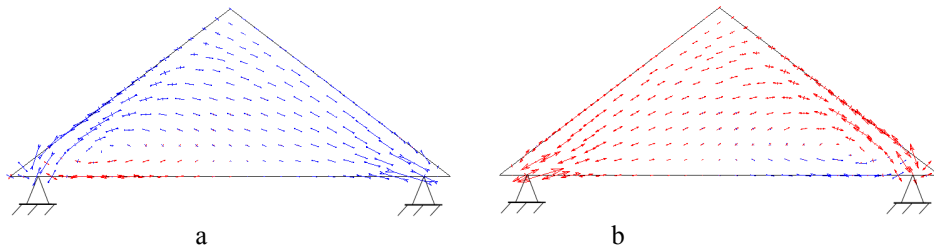
Avvikelsen mellan önskvärda kraftvägar och vanliga former hos äldre träbärverk i svenska kyrkor illustreras med ett par exempel i fig. 6.22 och 6.23.



6.5 Bärningsmönster för uppgift 3

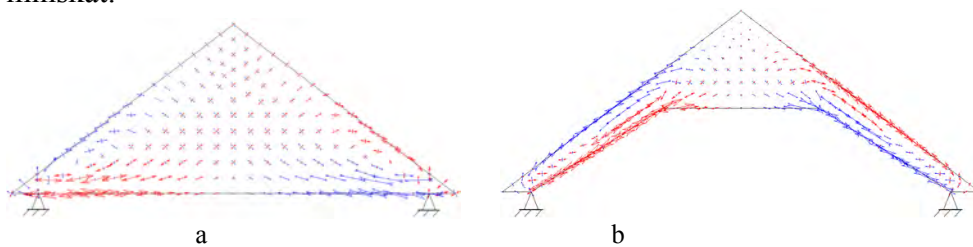
Den antisymmetriska lasten utgörs i själva verket av två laster, en på vardera takfallet. Låt oss betrakta verkan av en sådan last i taget. Figur 6.24a visar det bärningsmönster lasten på lovartsidan ger upphov till. Lasten pressar materialet snett nedåt mot läsidans stöd. Medan lasten är jämnt fördelad så att materialet belastas över hela sin längd, så finns stödet i en enda punkt. Det uppstår därför ett solfjäderformat mönster av *tryck*. Nedtill på lovartsidan får materialet inte så mycket stöd från läsidans upplag, utan måste bära i böjning. Ju mindre av den solfjäderformade stöttningen en form erbjuder, desto mer måste materialet bära i böjning.

På motsvarande sätt ger lasten på läsidan upphov till ett solfjäderformat mönster av *dragning* och böjning, fig. 6.24b.



Figur 6.24 a) Bärningsmönster av last på lovartsidan. b) Bärningsmönster av last på läsidan.

Då lasten på lovartsidan och lasten på läsidan verkar *samtidigt* uppstår ett kryssmönster av dragning och tryck som strålar ut från stöden samt böjning i bärverkets båda halvor, fig. 6.25a. I den takstolsformade skivan i figur 6.25b kan vi se hur böjningen ökat då möjligheten till "krysstöttning" minskat.

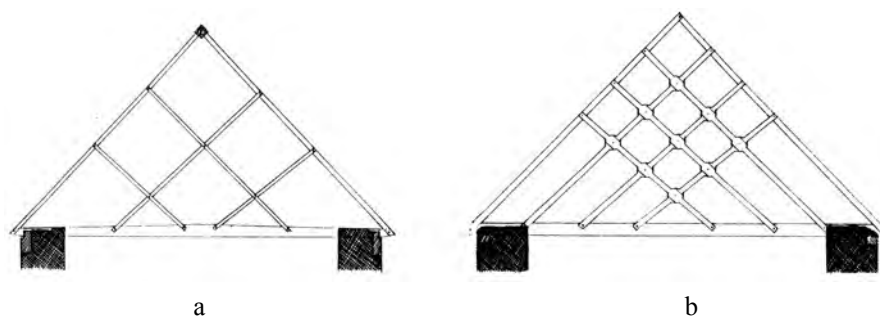


Figur 6.25 Bärningsmönster av last på både lovartsidan och läsidan - antisymmetrisk last. a) Triangelformad skiva b) Takstolsformad skiva

Styva och effektiva bärversformer för den antisymmetriska lasten är således sådana som antingen kan erbjuda en krysstöttning eller där bärverkets halvor bildar styva balkar.

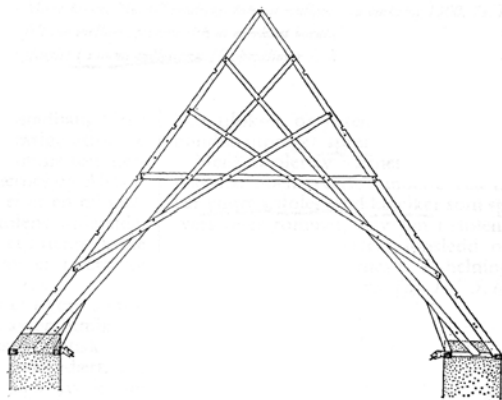
Sjömar visar medeltida takstolsformer med bindbjälke och ett flertal stödben som bildar kryss i takstolen, se figur 6.26. Sådana krysstöttade takstolar

torde väl kunna hantera det här bärningsmönstret. Det här lastfallet förekommer aldrig ensamt utan alltid i kombination med (olika mycket av) det symmetriska lastfallet. För en sådan lastkombination kommer dragningen att släckas ut något och trycket kommer att förstärkas. Stödbenens förband kommer därmed att bli mindre dragbelastade än tryckbelastade. Eftersom den antisymmetriska lasten också är kortvarig finns goda möjligheter att stödbenens infästningar ska kunna bära de dragkrafter som uppstår. Stödbenen är dock inte idealiskt placerade. De beskriver inte någon solfjäderform och krafterna i stödbenen kan inte gå direkt till upplagen. Istället belastas bindbjälken, vilken blir utsatt för böjning. Detta ställer krav på bindbjälkens böjstyvhet. En kraftigare och mer böjstyv bindbjälke blir dock också tyngre och mer upptagen med att bära sin egen tyngd. Kraven på bindbjälkens böjstyvhet blir begränsande för vilka spannvidder som den här takstolstypen kan överbrygga.



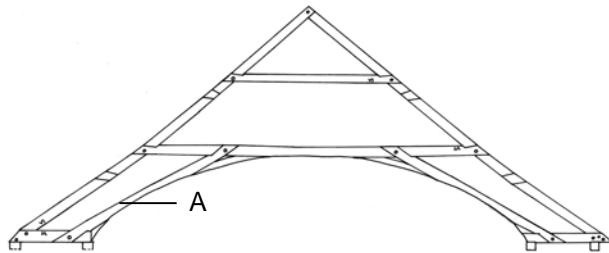
Figur 6.26 Medeltida krysstöttade takstolar. a) Kinne-Vedums kyrka – långhuset, Västergötland. b) Gökhems kyrka – långhuset, Västergötland. (Kyrkorummens inre bredd 6 resp. 6,5 m.) Uppmättningsritningar av Peter Sjömar. Ur Sjömar (1995).

I takstolar utan bindbjälke skapar saxsparrar krysstöttning och ger styva, effektiva former. Det finns norska exempel på takstolar som har *två* par saxsparrar och visar en påfallande likhet med bärningsmönstret, fig. 6.27. Saxsparrar av trä gör bärverket styvare än kryssande dragstag av stål. Dragstag kan inte ta hand om tryck-delen av kryssmönstret. Det är också den del som kommer att förstärkas av samtidigt verkande symmetrisk last.



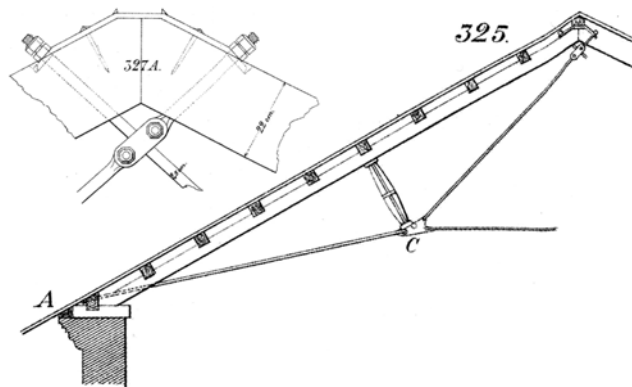
Figur 6.27 Takstolen i Vaernes kyrka, långhuset. Nord-Trøndelag, Norge. (Kyrkorummets bredd ca. 11 m.) Uppmättningsritning: Erling Gjone. Ur Gjone (1974), spalt 60.

Takkonstruktionen i Asige kyrka i Halland, fig. 6.28, är exempel på en mindre lämpad konstruktion för den här uppgiften. Vi kan inte läsa in någon krysstöttning eller styv balk i formen. Nedtill bildas början till en balk av snedsträvan A och sparren. Vid vindtrycksbelastning blir snedsträvan dragbelastad. Den kan inte ta tag i läsidans sparre utan måste istället ta fatt i hanbjälken, som får bära belastningen genom böjning. Bärverket blir därmed vekare och hårdare belastat än vad som vore fallet om snedsträvan skulle ersättas av en saxsparre.



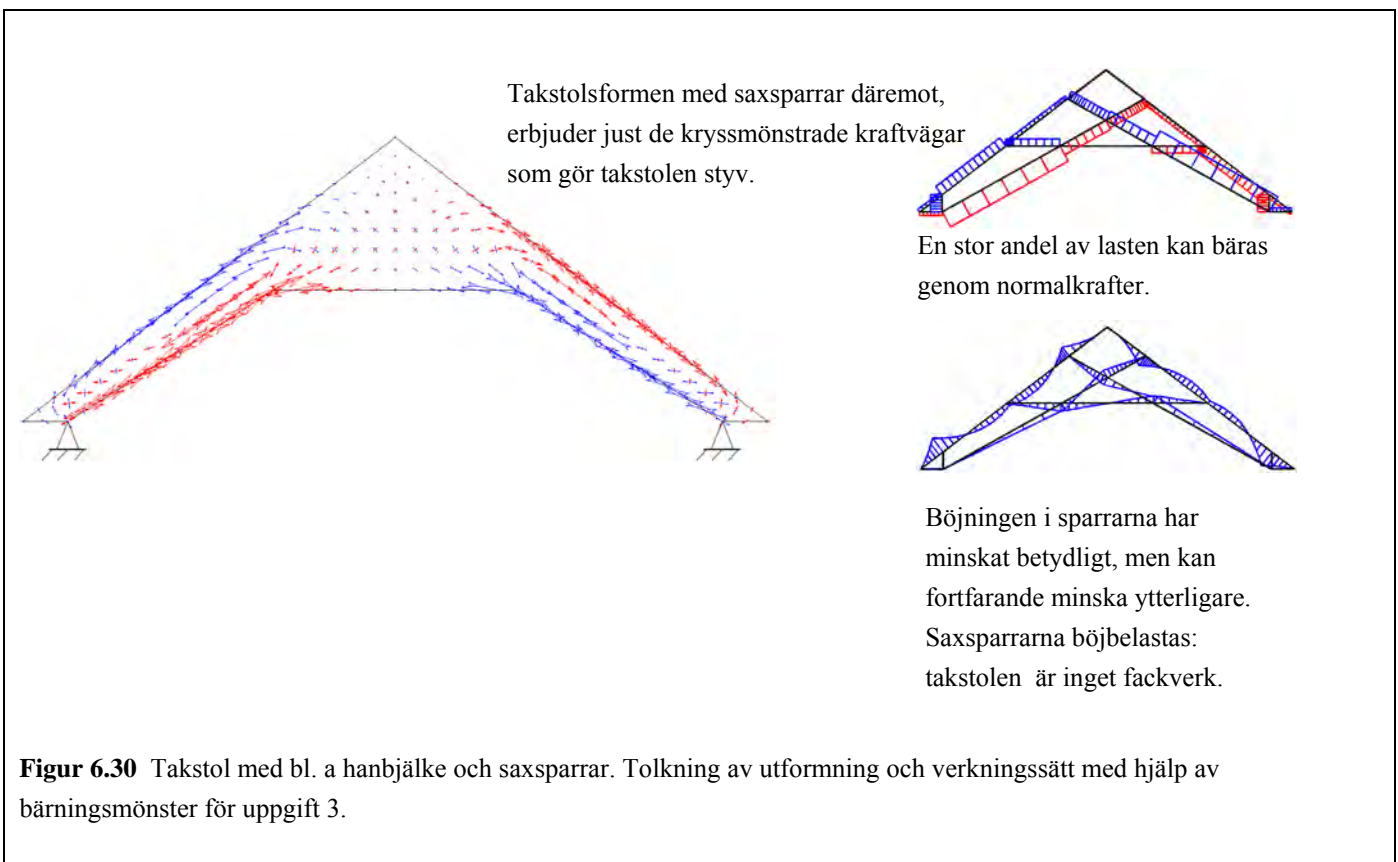
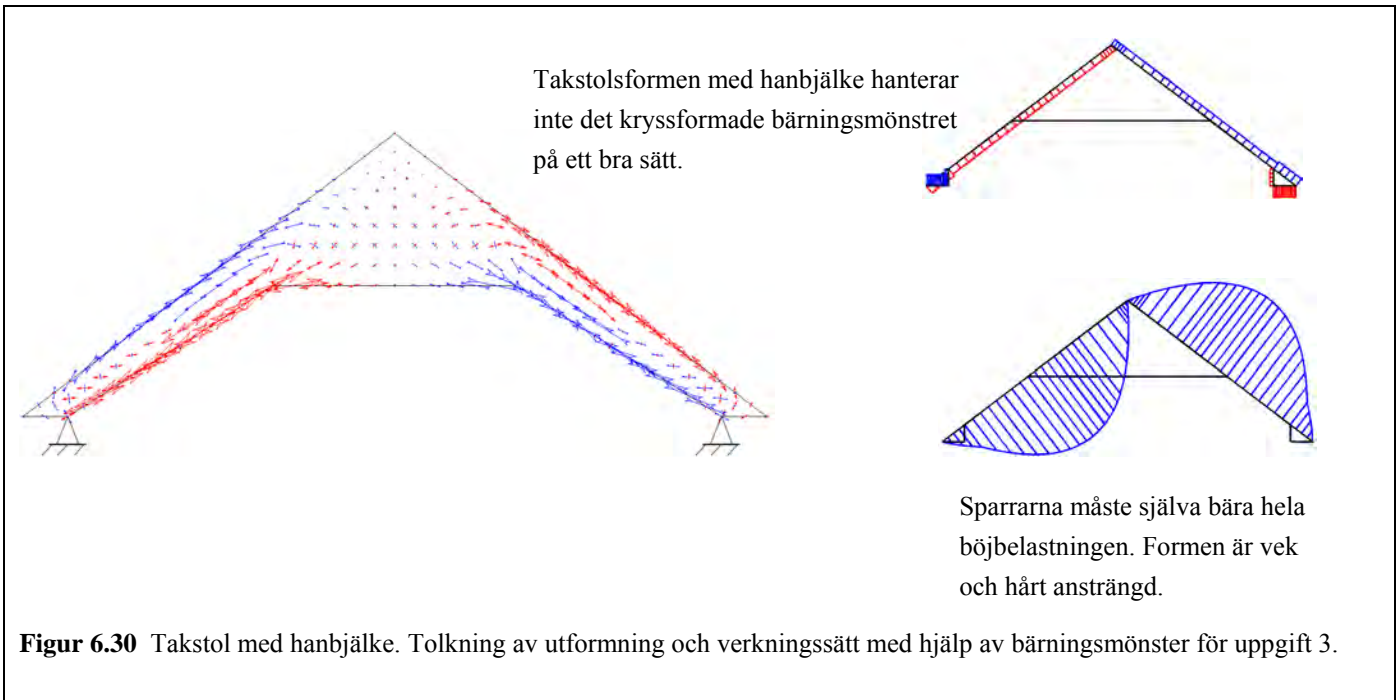
Figur 6.28 Asige kyrka, Halland. Den gamla takkonstruktionen.

En Polonceau-takstol är utformad som två välformade balkar med aveende på nedåtriktad last. Balkarna kan bibehålla en god funktion även vid sug av vindlast, förutsatt att de är förspända.⁷ Funktionen beror dock på detaljutformningen vad gäller linornas förankring. Är det en och samma lina som löper kontinuerligt över nocken i fig. 6.21 har lina ingen funktion vid antisymmetrisk last. Sparrarna måste då ensamma bära hela böjbelastningen. Rothstein visar en takstol av Polonceau-typ där linorna är oberoende av varandra, fig. 6.29.



Figur 6.29 Polonceau-takstol enligt Rothstein. Ur Rothstein (1890), plansch 9.

Slutligen ska vi använda bärningsmönstren för att tolka två tidigare analyserade takstolsformers möjligheter att erbjuda styva kraftvägar, fig. 6.30 och 6.31.



¹ Här redovisas spänningarna i vissa givna riktningar (huvudspänningsriktningarna) där skjuvspänningarna är noll och endast tryck- och dragspänningar uppträder.

² Rothstein (1856), s. 476.

³ Pilarna längs den kant som motsvarar bärverkets mittnitt visar upplagsreaktioner. Med i stort sett konstant höjd på elementen och efter korrigering av den yttersta pilen kan de med god approximation sägas representera spänningsfördelningen i mittnittet.

⁴ Se även *Handboken Bygg: Allmänna grunder* (1983), s. 420, fig. A27: 37b.

⁵ Se även *Handboken Bygg: Allmänna grunder* (1983), s. 420, fig. A27: 37a.

⁶ Abrahamsen (1992).

⁷ Suget på läsidans balk vill böja den uppåt och skapa "tryck" i linan. Om balken är förspänd innebär "trycket" en minskad dragbelastning i linan. Detta kan vara positivt, förutsatt att sparrarna kan ta upp den ökade tryckbelastningen. (I verkliga konstruktioner dominerar dock ofta de symmetriska lasterna så att sparren på läsidan i själva verket inte kommer att lyfta, utan endast böja ned mindre än den på lovartsidan.)

7. AVSLUTANDE DISKUSSION

7.1 Resultat

Med det här arbetet har jag velat svara på frågorna: Hur fungerar gamla kyrktakstolar som bärande konstruktioner? Hur påverkar utformningen verknings sättet och vilka former är rationella? Jag har velat föra *kvalitativa* resonemang kring takstolars verknings sätt.

De generellt ställda frågorna har tvingat fram ett angreppssätt där jag har reducerat ett stort antal komplexa last- och stödvillkor till tre huvuduppgifter för takstolar. För var och en av uppgifterna har jag undersökt och beskrivit vad som *karakteriserar* verknings sättet, samt hur *olika former hanterar* dessa karakteristiska verknings sätt. Jag har därigenom kunnat urskilja vad som är rationella former för varje uppgift. Utifrån dessa resultat kan vi nu tolka takstolars form.

För de tre uppgifterna:

- att bära symmetrisk last då horisontellt stöd finns
- att bära symmetrisk last då horisontellt stöd saknas
- att bära antisymmetrisk last

kan takstolar utvärderas utifrån deras förutsättningar att:

- bära som bågar
- bära genom dragning och tryck
- bära som två balkar.

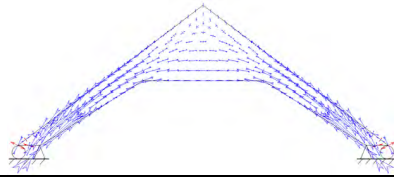
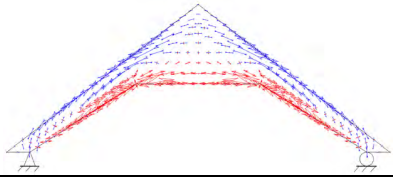
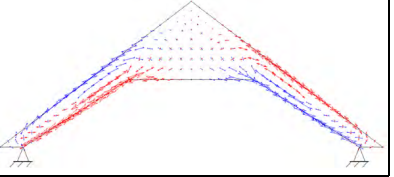
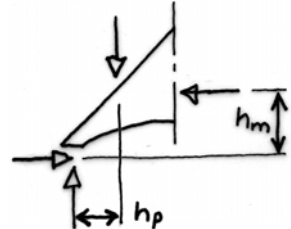
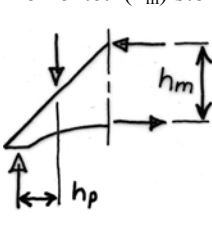
Detta verktyg för tolkning är studiens viktigaste resultat.

Studien ger också en förklaringsmodell, med vilken utvärderingen av takstolar kan ske. Den innebär att undersöka:

- Om formen erbjuder de axiella kraftvägar som skapar styvhet för respektive uppgift. Referensformernas bärningsmönster kan tas till hjälp.
- Hur sparren för lasten till de styva kraftvägarna och hur blir sparren därvid blir böjbelastad.
- Hur styva de inre kraftvägarna är inbördes. Detta avgör i vilken mån de stödjer sparren och därmed i vilken mån de tar last.
- Vilka hävarmar för pådrivande respektive mothållande moment som skapas av formen. Detta styr uttryckningskrafternas storlek.

Förklaringsmodellen ges av de i kap. 5.3.2 sammanfattade punkterna samt kap. 6. Den är främst avsedd för att tolka ett beräknat verknings sätt, men kan också användas för att utvärdera en form utan att beräkningar utförts. Vid utvärderingen ska beaktas återkopplingen till byggnadens tredimensionella statiska system.¹

Tabell 7.1 Generella utsagor om verkningssätt hos de behandlade bärverken.

Uppgift	1	2	3
Bäringsmönster i en helt utfylld form.			
Hur takstolarna generellt fungerar	Takstolarna bär som bågar Bärverket blir i huvudsak tryckbelastat och verkar med utåtriktade krafter mot underlaget.	Takstolarna bär genom dragning och tryck Inre och lågt placerade delar blir dragbelastade medan yttre, högt placerade delar blir tryckta. I takstolar byggda för att lämna plats för valv tvingas den inre dragningen in i en krökt form. Bärverket i sin helhet blir böjbelastat. Böjbelastningen måste ofta i hög grad bäras som böjning i de enskilda delarna.	Takstolarna bär som två balkar Bärverkets båda halvor blir böjbelastade. Den ena halvan blir dessutom dragbelastad medan den andra halvan blir tryckt.
Styva effektiva former	Bärverk som innehåller flera bågformer. Bågformerna ska föra lasten direkt till upplagen.	Bärverk där inre dragbelastade delar: 1) är förankrade vid upplagen, där rörelserna utåt uppstår, 2) är förankrade uppåt i knutpunkter, där belastningen kan tas upp som tryck och dragning och böjning i delar undvikas.	Bärverk som har saxsparrar som tar stöd mot upplag. <i>Eller</i> Sådana där takstolens halvor bildar styva sammansatta balkar.
Krafters storlek	Uttryckningskrafterna blir små om takstolen tar stöd långt in mot kyrkorummet och om kraftöverföringen i mittsnittet sker högt upp i bärverket. Då blir hävarmen för det pådrivande momentet (h_p) liten och hävarmen för det mothållande momentet (h_m) stor. 	Här uppstår permanent dragbelastning i inre delars knutpunkter. Krafterna i bärverket blir mindre, dels om last förs till väggens inre upplag, dels om axiella kraftvägar för inre dragning är lågt placerade. Då blir hävarmen för det pådrivande momentet (h_p) liten och hävarmen för det inre mothållande momentet (h_m) stor. 	Om bärverkets halvor bildar sammansatta balkar ska dessa vara höga. Krafterna i bärverket blir då mindre. Dragbelastning i knutpunkter uppstår, men denna är kortvarig. Den kan släckas ut i de fall då denna uppgift är i kombination med uppgift 1. Böjbelastningen i bärverket blir större i flackare tak.

Svaren på studiens frågeställningar ges dels som generella utsagor om takstolars verkningsätt och rationella former. En sammanfattning ges i tabell 7.1.

Studien ger också, med hjälp av en tillämpning av förklaringsmodellen, kvalitativa såväl som kvantitativa svar på konkreta frågor om hur takstolsdelars placering påverkar verkningsättet. En sammanfattning ges i kapitel 5.3.9.

Resultaten ger en grund för typologisering med avseende på verkningsätt. Takstolar kan typologiseras som "former med stor inre hävarm", "former som ger sparren ett gott stöd", "former där halvorna bildar styva balkar", etc.

Vid sidan av belysningen av verkningsätt har arbetet inneburit att sju kyrkors taklag dokumenterats.

7.2 Kommentar till det generella angreppssättet

Den här studiens speciella bidrag till kunskapen om äldre bärverks verkningsätt är belysningen av det *generella*. Med ett generellt angreppssätt kan man urskilja fenomen och visa riktningar. På denna grund kan en förklaringsmodell byggas. Ett fenomen som blivit belyst här är uttryckningen.

Urskilja fenomenet uttryckning

Studien visar att uttryckningskrafterna hör ihop med uppgiften att bära last då horisontellt stöd *finns*. Begreppen *hävarmen för det pådrivande momentet* och *hävarmen för det mothållande momentet* visar vad som påverkar uttryckningskrafternas storlek.

Storsletten kommenterar uttryckningskrafternas storlek. Resonemanget är dock något oklart. Det är, som jag ser det, en följd av att han inte skiljer på uppgiften att bära last *med* horisontellt stöd och uppgiften att bära last *utan* horisontellt stöd: "Rent teoretisk er en lav placering av hanebjelken [...] det gunstigste for å forhindre press utover på langveggene. Det er da en forutsetning at hanebjelken er godt forbundet till sperrene."²

Det är sant att hanbjälken håller samman bärverket då det *saknar* horisontellt stöd, och det är då fördelaktigt med en låg placering (förutsatt, som Storsletten påpekar, att hanbjälkens knutpunkter tål den dragbelastning som uppstår). (Jfr. kap. 5.3.3) Men detta är *inte* detsamma som att en lågt placerad hanbjälke skulle minska *uttryckningskrafterna* i det fall takstolen *får* horisontellt stöd. En lägre placering av hanbjälken ger normalt *större* uttryckningskrafter: kraftöverföringen i mittnittet sker längre ned i bärverket och hävarmen för det mothållande momentet blir mindre.³

Visa riktningar – hur uttryckningskraften beror av formändringar

Till den här studiens metod hör separerandet av inre form från yttre form: då delarnas placeringar har tillåtits att variera har höjd och bredd hållits konstant. Som ett resultat framträder exempelvis delarna i Berga kyrkas takstol är placerade på ett sådant sätt att uttryckningskrafterna blir små. De vinklade stödbenen leder last till insida mur, vilket är gynnsamt eftersom det minskar *hävvarmen för det pådrivande momentet*. Hanbjälken är högt placerad vilket också det är positivt eftersom det *ökar hävvarmen för det mothållande momentet*.

Ett sådant resultat framgår inte självklart ur jämförande fallstudier. Om Berga bär en större last, eller har en större spännvidd än övriga jämförda bärverk, så framgår inte dess goda formegenskaper av de beräknade uttryckningskrafternas storlek. När flera variabler som påverkar verkningssättet varierar samtidigt, så blir generella fenomen svårare eller omöjliga att upptäcka.

7.3 En begränsning

Är man intresserad av hur stora uttryckningskrafterna *faktiskt* blir i Berga kyrka, så krävs en fallstudie. I en generell studie, med uppgifter, har lasterna låg precision. Med en fallstudie kan man få tillförlitlighet i resultaten vad gäller ett visst, bestämt objekt.

7.4 Former utanför avgränsningen

Förklaringsmodellen kan användas även för äldre takstolsformer utanför den avgränsade gruppen. (Grova delar och momentfria knutpunkter förutsätts, liksom sadeltakets yttre form.) Följande bör beaktas vid tolkning av takstolar *med* bindbjälke och takstolar i åstak.

Takstolar med bindbjälke har egenskapen att ett horisontellt stöd kan åstadkommas innanför formen, ifall yttre horisontellt stöd saknas. Den kan *bära som en båge med dragband* och dess form utvärderas i förhållande till uppgift 1. För att dragkraften i bindbjälken och dess infästningar ska bli liten gäller att det pådrivande momentet ska vara litet och hävvarmen för det mothållande momentet ska vara stor.

Stödben av den typ som belastar bindbjälken (se fig. 1.8) utgör inga styva kraftvägar och är därför inte styva stöd för sparrarna.⁴

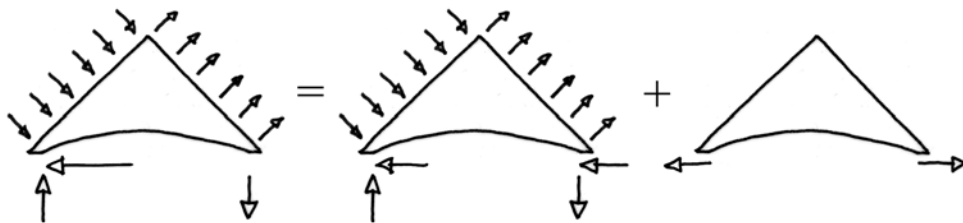
Vid utvärdering av *takstolar i åstak* ska även studeras hur åsarna belastas och får stöd. Tredgold påpekar i sin bok om träkonstruktioner från 1840, att det finns ingen annan del av taket som är så benägen att gå till brott. I själva verket är det få fall där inte åsarna deformerats betydligt, menar han.⁵

7.5 Fler uppgifter för takstolar

Utöver de tre last- och upplagskombinationer som beaktas i denna avhandling, ska tre till kommenteras. Det gäller uppgiften att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas på läsidan – benämnd uppgift 4 i kap. 3.2 – samt uppgifterna att bära horisontella och vertikala stödsättningar.

7.5.1 Uppgift 4: Antisymmetrisk last, horisontellt stöd saknas på läsidan

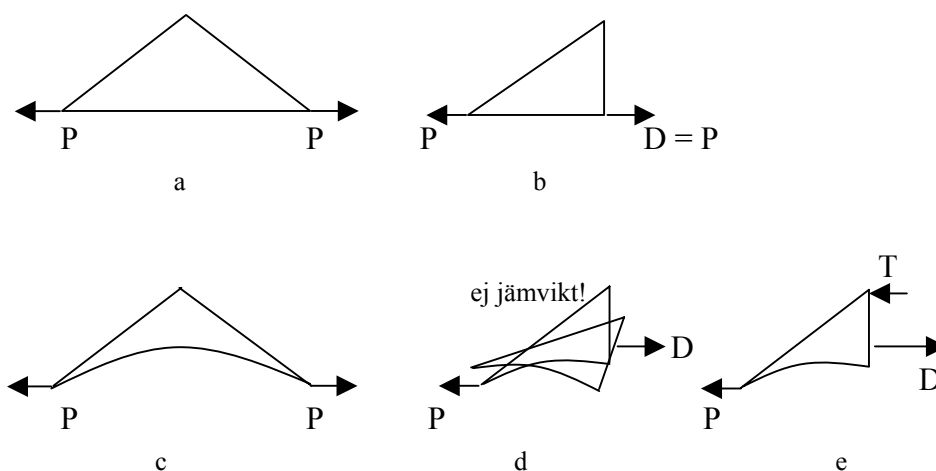
Uppgiften att bära antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas på läsidan kan ses som en kombination av uppgifterna att bära antisymmetrisk last då horisontellt och vertikalt stöd finns och att bära isärdragande krafter vid upplagen, fig. 7.1.



Figur 7.1 Uppgift 4 är en kombination av uppgift 3 och uppgiften att bära isärdragande krafter vid upplagen.

Att bära isärdragande krafter

Vi ska uppehålla oss en stund vid verkningsättet för deluppgiften att bära isärdragande krafter och vad som är rationella former för denna uppgift. I en takstol *med* bindbjälke eller dragstag mellan upplagspunkterna kan isärdragande krafter tas upp som ren dragning i bindbjälken/dragstaget. Bärverket i övrigt behöver inte bli belastat, fig. 7.2a och b.



Figur 7.2 Verkningsätt för deluppgiften att bära isärdragande krafter vid upplagen.

I ett bärverk som *inte* erbjuder någon sådan horisontell kraftväg, utan tvingar dragbelastningen att gå runt ett valv, uppstår däremot ytterligare krafter:

- Det uppstår ett tryck.
- Den inre dragbelastningen blir större.
- Det uppstår dragbelastning i vertikal led.

Trycket uppstår av att den yttre dragkraften P och den inre dragkraften D , fig. 7.2d, inte kan verka längs samma horisontella linje. Då krafterna verkar med ett inbördes avstånd vill de rotera bärverkshalvan medurs: de utövar ett pådrivande moment, fig. 7.2d. För att bärverkshalvan ska förbli i jämvikt mot rotation krävs ett lika stort mothållande moment i mittsnittet. Det uppstår ett resulterande tryck T i takstolens övre delar, fig. 7.2e.

Den inre dragbelastningen blir större för denna typ av bärverk än för en takstol med bindbjälke. Jämför fig. 7.2b och e. Horisontell jämvikt i fig. 7.2b kräver: $D = P$. Horisontell jämvikt i fig 7.2e kräver: $D = P + T$.

En dragbelastning i vertikal led uppstår på grund av att det dragbelastade materialet i bärverkets underkant för sin jämvikt måste ta fatt i det tryckta materialet ovanför, fig. 7.3.



Figur 7.3 Dragning som tvingats in i en konvex form måste förankras uppåt.

Verknings sättet för denna uppgift liknar i många stycken verknings sättet för uppgiften att bära symmetrisk last då horisontellt stöd saknas (uppgift 2). Detta beror på att uppgift 2 innehåller deluppgiften att bära isärdragande krafter vid upplagen och att det är denna som dominerar. Se fig. 7.4, rad 1 och 2.

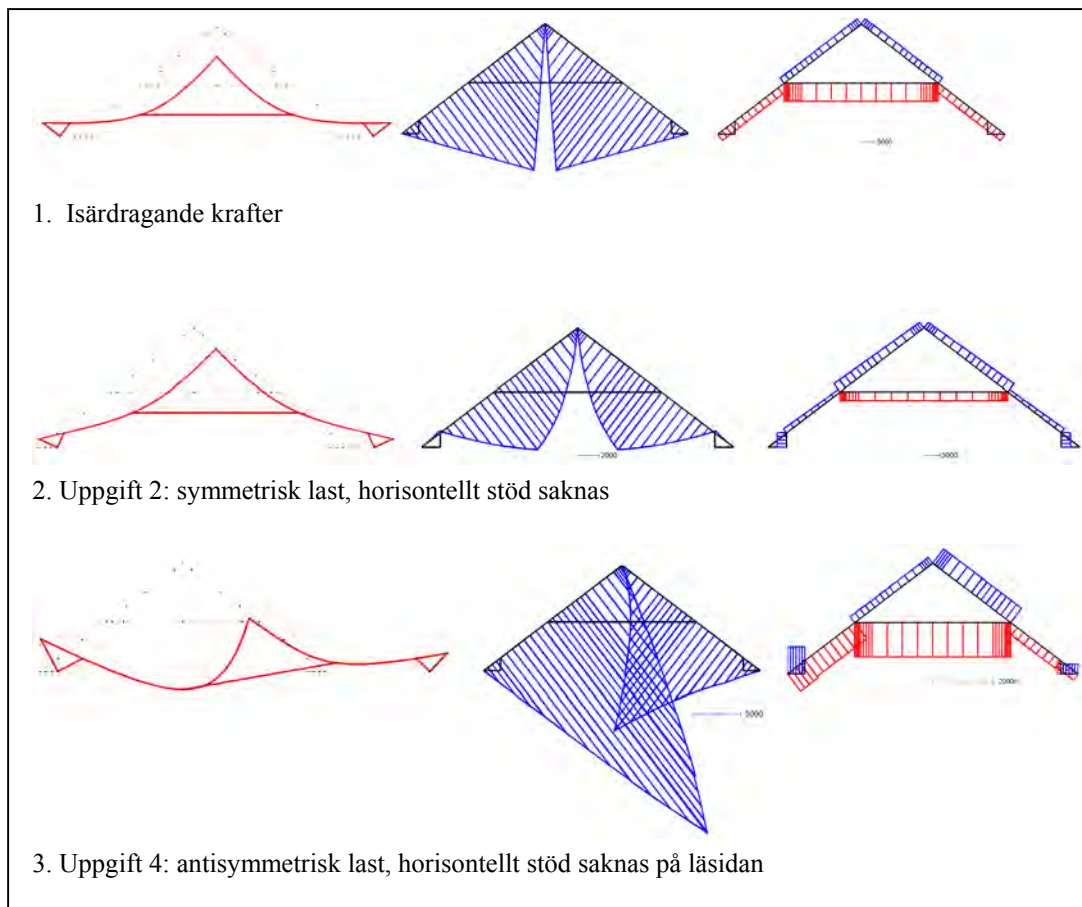
Rationella former när det gäller att bära isärdragande krafter är också liknande former som är rationella när det gäller att bära symmetrisk last då horisontellt stöd saknas:

- En horisontell bärverksdel (en bindbjälke eller ett dragstag) är en ideal form för isärdragande krafter.
- En båge med bindbjälke/dragstag är idealet för uppgift två.

När vi som här studerar former *utan* bindbjälke gäller för bägge uppgifterna att:

- Bärverket ska innehålla styva kraftvägar för inre dragning som nedåt tar fatt i upplagen och uppåt tar fatt i knutpunkter/knyckar.
- Bärverket ska innehålla delar som ger sparren stöd mot utböjning så att böjverkan inte behöver tas av sparren ensam.

- Kraftvägarna för inre dragning och tryck ska ha ett stort avstånd, så att en stor hävarm för det inre mothållande momentet skapas.



Figur 7.4 Verkningsätt för en takstol med hanbjälke och stödben för olika uppgifter.

Summering, uppgift 4

För att en form ska vara styv och effektiv när det gäller att bära *uppgift 4* – antisymmetrisk last då horisontellt stöd saknas på läsidan – så ska den uppfylla kraven på god form *både* för uppgift 2 (eller isärdragande krafter) och uppgift 3. Det vill säga, utöver vad som nämnts ovan ska den *dessutom* antingen ha saxsparrar, eller så ska dess halvor vara uppbyggda som styva balkar.

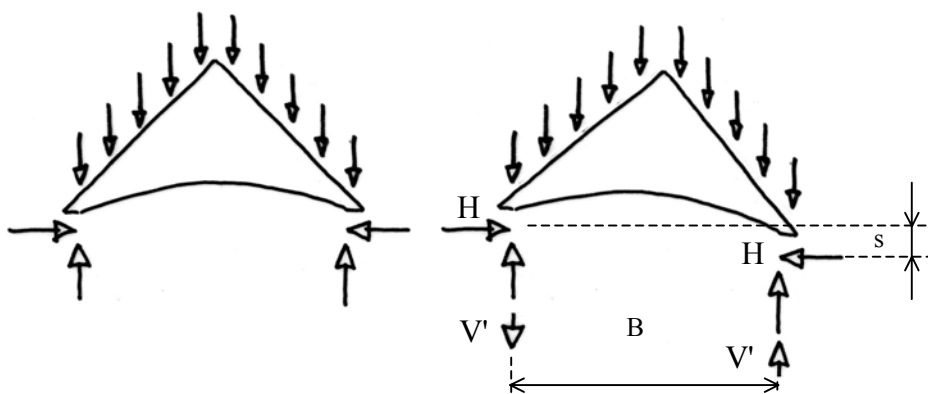
Gamla takstolar i svenska kyrkor motsvarar normalt *inte* de här kraven. De är uppbyggda av bågformer. Bågar kräver horisontellt stöd för att fungera och är direkt olämpliga att bära isärdragande krafter. För en takstol som förlorat sitt horisontella stöd och är hårt ansträngd redan av den vardagliga belastningen förvärras läget ytterligare vid stark vind. Se figur 7.4, rad 2 och 3.

7.5.2 Horisontell stödsättning

Horisontella stödsättningar där kyrkans väggar rör sig utåt, innebär även de en isärdragning av bärverket.⁶ Det gäller förutsatt att takstolen och kyrkväggarna är hopfogade (eller samverkar genom friktion) så att takstolen tvingas följa med i stödsättningen. Samtidigt med stödsättningen måste bärverket bära sin vardagliga last. Detta liknar således uppgift 2. Rörelsen av stödsättning är nödvändigtvis inte av samma storleksordning som vid isärglidning till följd av vardaglig last. Stödsättningen kan också orsaka större belastningar.

7.5.3 Vertikal stödsättning

Att klara en vertikal stödsättning betraktas här inte som en viktig huvuduppgift för takstolar.



Figur 7.5 Vertikal stödsättning. De vertikala upplagsreaktionerna påverkas, men påverkan blir liten. Momentjämvikt ger $V' = H \cdot s/B$. s är liten i förhållande till B .

Den vertikala stödsättningen gör att de horisontella upplagsreaktionerna får en hävarm och verkar för att rotera takstolen medurs, fig. 7.5. De vertikala upplagsreaktionerna håller bärverket i jämvikt mot rotation och påverkas av sättningen. Men denna påverkan måste bli liten: de horisontella stödkrafternas hävarm (s i fig. 7.5) är liten i förhållande till de vertikala stödkrafternas hävarm (B i fig. 7.5).

Figuren förutsätter att takstolen inte är förankrad ner i väggen på ett sådant sätt att rotation förhindras. Det finns medeltida takstolar som är inmurade kyrkans väggar. I sådana fall kan stödsättningen få en större inverkan på konstruktionen.

7.6 Mellan uppgifter

De uppgifter som beaktats i studien motsvarar ytterlighetsfall vad gäller upplagsvillkoren: helt oeftergivligt horisontellt stöd respektive total avsaknad av horisontellt stöd. För verkliga bärverk är det sannolikt vanligt att upplagen kan ge ett *visst, begränsat*, horisontellt stöd.

Verkningssättet kan därför ligga någonstans *mellan* det för uppgift 1 och det för uppgift 2, så att takstolarna bär sin vardagliga last på ett sätt som ligger mellan *en båge* och *genom dragning och tryck*. För ett gradvis förlorat horisontellt stöd kommer de inre delarna att bli allt mindre tryckta och ge ett allt sämre stöd åt sparrarna. Uttryckningskrafterna mot den underliggande byggnaden kommer då gradvis att avta medan isärglidningen gradvis kommer att öka.⁷ Vid en viss gräns blir inre delar och deras infästningar dragbelastade. Verkningssätt mellan extremfallen har tidigare belysts för takkonstruktionen över långhuset i Väskinde kyrka.⁸

7.7 Kommentar till åtgärdade takstolar

Fem av de sju kyrkor som har legat till grund för den här undersökningen av takstolars verkningssätt, har under årens lopp åtgärdats med avseende på den bärande takkonstruktionen, se tabell 3.3.

Samtliga kyrkor visar tecken på att det skett transversella rörelser i långväggarna och att takstolarna därigenom helt eller delvis förlorat sitt horisontella stöd. Vi har ovan sett att detta leder till att takstolen istället för att *bära som en båge* måste bära *genom dragning och tryck*. Takstolen blir hårt belastad: dels blir dess knutpunkter dragbelastade, dels blir sparrarna hårt böjbelastade.

De restaureringsåtgärder som utförts kan hänföras till två typer.

- A. Åtgärder som syftar till att återskapa takstolarnas horisontella stöd.
- B. Åtgärder som syftar till att stärka takkonstruktionen, så att den kan fortsätta att bära genom dragning och tryck.

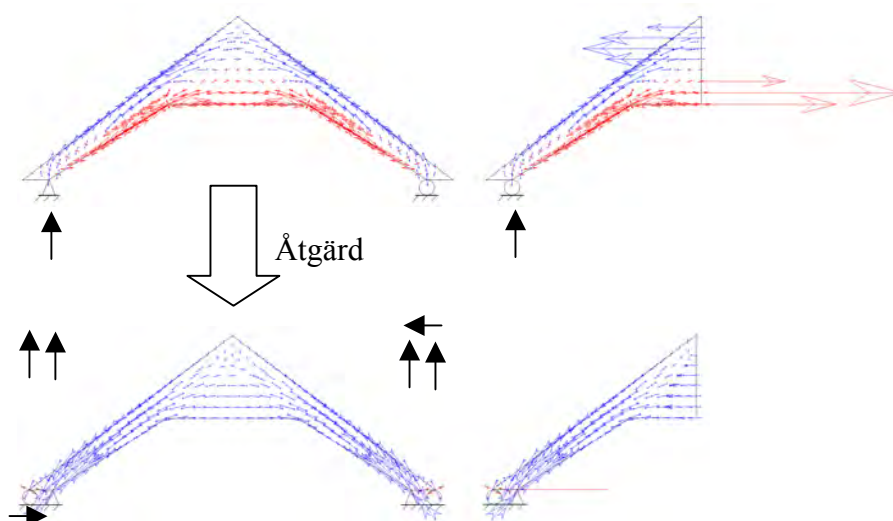
Här ska dessa två åtgärdsprinciper samt de sätt på vilka de realiserats i de konkreta kyrkorna kommenteras.

Tabell 7.2 Åtgärder som rör de bärande takkonstruktionerna.⁹

Kyrka	Åtgärd	År	Kyrkans ålder vid åtgärd	Aktörer nämnda i ATA:s arkivmaterial
Almundsryd	Brädor spikade på varannan takstol.	1956	125 år	Hans Lindén, länsarkitekt, Växjö.
Berga	Kontreforter , södra långsidan.	1927	106 år	Teknisk lösning: Kungliga byggnadsstyrelsen. Arkitekt Paul Boberg , Växjö ansvarade för renoveringen.
	Kontreforter, norra långsidan.	1967	146 år	Lennart Nelsson i Ljungby.
Hjortsberga	Dragstag tvärs kyrkan till stålbalkar på murkrönen. Knutpunkter förstärkta.	1982	142 år	Arkitektfirman Regebro & Co. Ingenjörfirman Pehrs & Co.
Ryssby	Brädor spikade på varje takstol. Delar omsatta.	Omkring 1949	105 år	Hans Lindén, länsarkitekt Växjö.
Tingsås	Tolv av takstolarna: korsande dragstag samt extra hanbjälke.	1929	76 år	Paul Boberg, Växjö.

7.7.1 Åtgärder av typ A: återskapa stöd

Om ett horisontellt stöd kan återskapas så kan takstolen fås att bära sin last på det sätt som ursprungligen varit avsett, fig. 7.6. Takstolens knutpunkter kan åter bli tryckta och behöver normalt inte förstärkas. (Skadade dymlingar kan dock behöva bytas ut.) I formen inskrivna bågformer utgör återigen styva kraftvägar och sparrarna får god stötning.



Figur 7.6 En takstol som förlorat sitt horisontella stöd kan åter fås att bära som en båge.

Då takstolen ska avlastas och dess stöd återskapas kan man välja att antingen dra ihop konstruktionen, eller behålla deformationerna.¹⁰ Om man väljer att acceptera deformationerna, så etableras de nya kraftvägarna för uttryckningskrafter för det deformerade bärverket. När den nya, styva kraftvägen finns på plats så kommer den efterhand att tas i bruk. Isärdragna förband måste i sådana fall kilas för att åter kunna överföra tryckkrafter.

Oavsett om man accepterar deformationerna eller drar ihop konstruktionen, måste man tillse att det finns *kontakt* mellan den gamla konstruktionen och den nya kraftvägen. Principen förutsätter att den nya kraftvägen för uttryckningskrafterna *garanteras*. Ibland kan ytterligare deformationer ske efter förstärkning innan exempelvis befintliga murväggar får kontakt med strävpelare, eller innan en grundförstärkning träder i funktion.

Till åtgärder av typ A hör kontreforterna (stödmurarna) i Berga (fig. 7.7a) och dragstagen i Hjortsberga (fig. 7.7b), vilka båda syftar till att skapa styva kraftvägar för takstolens uttryckningskrafter.



a) Berga. Strävpelare (mellan fönstren). b) Hjortsberga. Dragstag.

Figur 7.7 Åtgärder som syftar till att återskapa ett horisontellt stöd.

Åtgärder i Berga

Takstolen i Berga kyrka har en bågliknande form, byggd så att horisontalkrafterna från den blir relativt sett små. Den är känslig för stödförskjutningar eftersom den saknar styva axiella kraftvägar för inre dragning. Kyrkan har efter problem med rörelser i väggarna försetts med strävpelare. Knutpunkterna har kilats. Av ekonomiska hänsyn valde man att först endast åtgärda den ena långväggen. Byggnaden övervakades därefter under fyrtio års tid med hänsyn till rörelser i den andra väggen, innan man åtgärdade även den. I Berga har man valt att inte dra ihop takkonstruktionen eller räta upp murväggarna i samband åtgärderna, utan istället behållit byggnadens deformationer.

Åtgärderna med strävpelare och kilar är principiellt ändamålsenliga. Trots detta är idag förbanden mellan hanbjälke och sparrar otäta så att inga tryckkrafter kan överföras. Sparrarna är kraftigt krökta och ett par av dem

uppvisar böjbrott. Man kan tänka sig två anledningar till att sparrarna idag inte får stöd:

1) Man har inte lyckats garantera den nya styva kraftväg som strävpelarna utgör och takkonstruktionen bär även efter åtgärd sin last genom inre dragning. Det kan i så fall bero på att murväggarna inte fått kontakt med strävpelarna "i tid", innan deformationerna i takstolen blivit allt för stora. Det kan också bero på att takstolen inte haft tillräcklig kontakt med murväggarna utan kunnat glida på dem.

2) Kilarna har inte varit tillräckligt kraftiga. Om det fortfarande finns glapp mellan hanbjälke och sparrar så kan hanbjälken inte stödja sparrarna. Det senare verkar dock inte vara den mest sannolika förklaringen.

Åtgärder i Hjortsberga



Figur 7.8 Hjortsberga. Förstärkt knutpunkt.

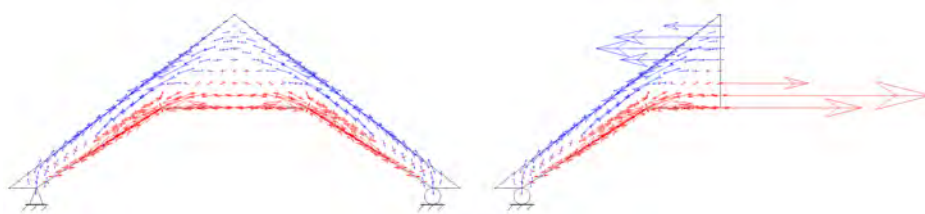
I Hjortsberga kyrka har takkonstruktionen fått förnyat horisontellt stöd med hjälp av stålbalkar, vilka placerats på murkrönen. Balkarna är förbundna tvärs kyrkorummet med dragstag av stål. Förutsatt att en kontakt mellan takstolar och stålbalkar garanterats är åtgärderna ändamålsenliga och bör kunna ge takstolarna ett fullgott stöd.

Förstärkningen av knutpunkterna mellan den nedre hanbjälken och sparren är dock svårförklarlig. Den kan tolkas på två sätt:

1) Åtgärden har gjorts innan dragstagen kom till stånd, för att säkra konstruktionen under projekteringstiden. När en takstol med två hanbjälkar – som denna – bär genom inre dragning och yttre tryck, så blir dragkraften i den nedre hanbjälken stor. Det beror på att hävarmen för det inre mothållande momentet är liten (fig. 5.60 och 5.61). Möjligen fanns det så stora deformationer i förbanden att man befارade att hanbjälken helt skulle dras ur sina infästningar. Säkert är att de skador som fanns uppfattades som allvarliga. Församlingen tog så pass allvarligt på byggnadens deformationer och skador att kyrkan under en period hölls stängd.

2) Åtgärden har gjorts "för säkerhets skull", för det fall att stålbalkar och dragstag inte ger ett fullgott horisontellt stöd och takstolarna även fortsättningsvis måste bära genom inre dragning och yttre tryck.

7.7.2 Åtgärder av typ B: stärka för dragning och tryck



Figur 7.9 Bära genom dragning och tryck

Ska takstolen göras styv och stark för inre dragning och tryck, så ska åtgärderna ta hand om böjningen i bärverket. Axiella kraftvägar ska skapas så att bäringen kan ske med hjälp av drag- och tryckkrafter.

Till typ B förs åtgärderna i Almundsryd och Ryssby. Här har brädor spikats på bägge sidor om takstolarna enligt fig. 7.10a och b. Till denna typ förs också åtgärderna i Tingsås, där tolv av de totalt trettiofyra takstolarna försetts med korsande dragstag och nya, övre hanbjälkar, fig. 7.10c och d.



a) Almundsryd, brädor på varannan takstol.



b) Ryssby. Brädor på varje takstol.



c) Tingsås. Dragstag på vissa takstolar.

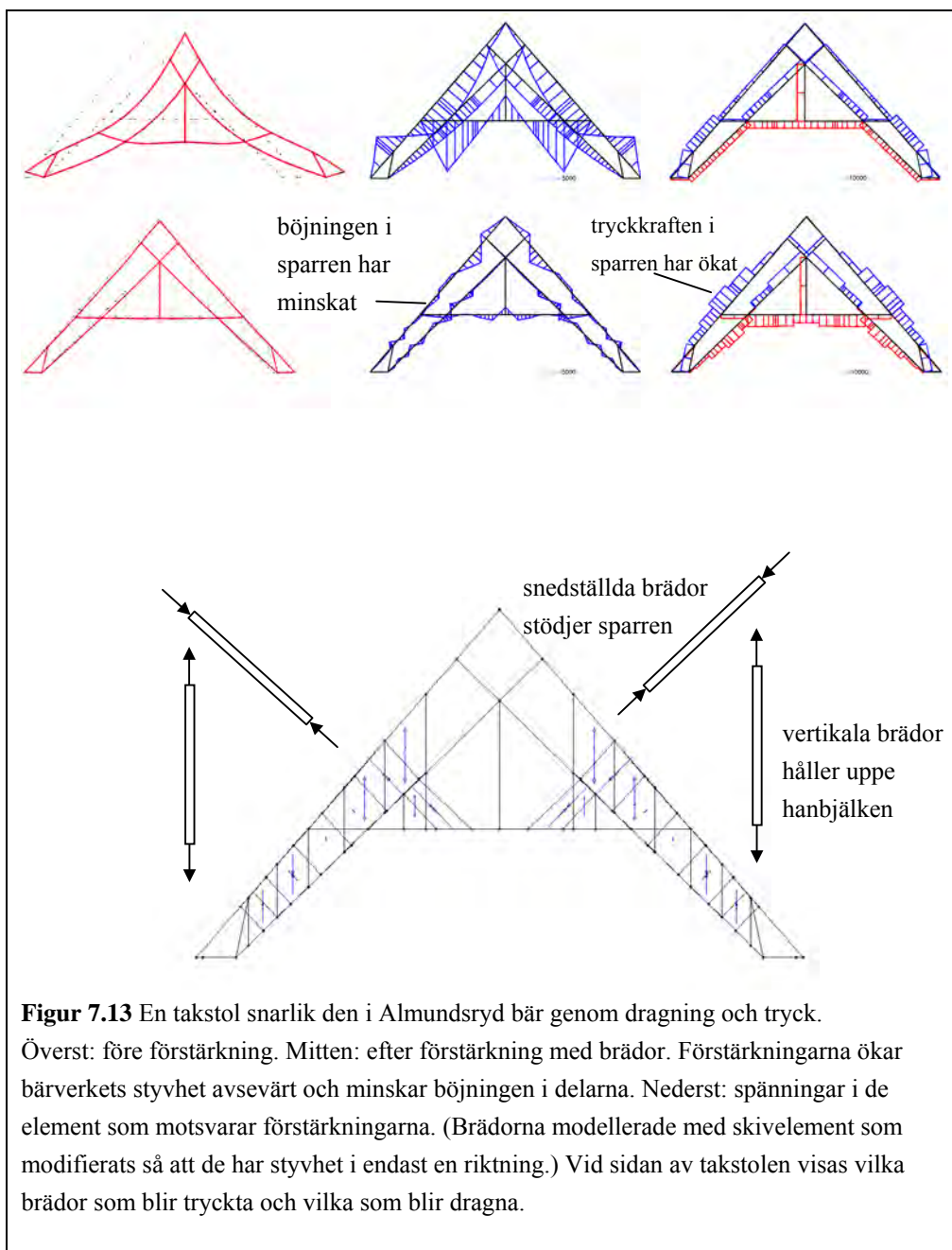


d) Tingsås. Detalj, dragstag.

Figur 7.10 Åtgärder som stärker takstolen för inre dragning

Åtgärder i Almundsryd och Ryssy

Ingreppen är här drastiska såtillvida att de döljer de ursprungliga bärverken och inte låter dem bära sin last på ursprungligen avsett sätt. Åtgärderna tycks dock vara ändamålsenliga vad gäller att göra takstolen styv och effektiv för att bära sin last utan horisontellt stöd, se fig. 7.13.

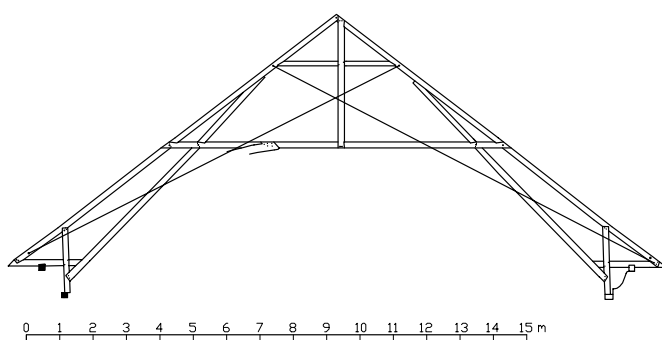


Brädorna är spikade på bägge sidor om takstolen och är diagonalställda i förhållande till varandra. De snedställda brädorna stödjer sparren och blir tryckta, fig. 7.13. De tar stöd mot hanbjälken vilken är inhängd i sparren genom de vertikalt ställda brädorna. De vertikala brädorna blir dragbelastade och belastar i sin tur sparren. Tryckkrafterna i sparren ökar. Sammantaget gör åtgärderna att böjningen i bärverkets delar reduceras. En

stor andel av bärningen kan ske genom drag- och tryckkrafter. Sannolikt har detta också varit en ekonomiskt tilltalande lösning.

Åtgärder i Tingsås

I Tingsås kyrka har takkonstruktionen förstärkts genom att dragstag och en ny övre hanbjälke har satts in i tolv av de trettiofyra takstolarna, se fig. 7.14.



Figur 7.14 Takstolen i Tingsås kyrka efter förstärkning.

Dragstagen skapar kraftvägar för inre dragning, som har vissa goda egenskaper: de är nedtill är förankrade i sparrfötterna och upptill förankrade i styva punkter. De nya kraftvägarna är dock inte ideala. Det är tveksamt om takstolen kan hållas ihop så effektivt att den nedre hanbjälken undgår dragning:

- I mittnittet möts dragstagen i en högt belägen punkt, vilket gör att hävarmen för det mothållande momentet blir liten. Det krävs därmed stora krafter för att åstadkomma det nödvändiga inre mothållande momentet.
- Stagen är förbundna med takstolarna med hjälp av en ensam skruv i varje infästningspunkt. Denna enkla sammanfogning begränsar storleken på de dragkrafter som kan överföras – en stor belastning av skruven leder ytterst till hålkantbrott i träet.

Vid inspektionstillfället (en snö- och vindfri dag) var ståltagen obelastade: de skramlade lösa då man skakade på dem. Den nya kraftvägen är således inte aktiv vid den vardagliga belastningen av egentynngd. Möjligen utnyttjas den vid en extrem snöbelastning.

7.8 Förslag till fortsatt forskning

Ämnet historiska takkonstruktioner är brett – de kan studeras ur flera infallsvinklar och det saknas idag kunskaper i många led. Beskrivningen i kap. 1.3 av alternativa perspektiv kan ge uppslag till vidare studier.

Takstolar utan bindbjälke är beroende av ett horisontellt stöd från underlaget för att fungera som avsett. "Att bära uttryckningskrafter" är således en viktig uppgift för byggnaden *under* takkonstruktionen. En intressant fortsättning på den här studien vore att undersöka hur olika historiska byggnader hanterar den uppgiften. Vilka utformningar är rationella? Och var kan man finna sådana?

Finns det åstak i svenska kyrkor? Har man i Sverige konsekvent byggt sparrtak fram till industriell tid? Är detta i så fall unikt i Europa? Har vi takkonstruktioner uppbyggda av bågar enligt de l'Orme's princip? Och i vilken utsträckning förekommer hängverk? För att kunna svara på dessa frågor krävs dels en sammanställning av hittills gjorda studier, dels grundforskning i form av inventering och dokumentation. Detta är en angelägen teknikhistorisk uppgift.

¹ Beakta exempelvis om en del av lastbärningen ske i den tredje dimensionen eller om vekare takstolar är varvade med styvare.

² Storsletten (2002), s. 322, kap. 3.2.2.

³ Undantaget är specialfallet att hanbjälken stödjer sparren i samma punkt som stödbenet. Se Appendix 3.

⁴ Se även Sjömar (1988), s. 170-171.

⁵ Tredgold (1840), s. 100, § 190.

⁶ En rörelse *utåt* är mer sannolik än en rörelse *inåt*, om takkonstruktionen verkar med utåtriktade krafter mot kyrkans väggar.

⁷ Se Fabricius (1990), s. 63 för en illustration av hur uttryckningskrafterna gradvis minskar.

⁸ Sandin (1996), s. 70-74.

⁹ Uppgifter från *Kyrkobyggnader (1760-1860): Del 2* (1993) samt ATA.

¹⁰ Takkonstruktionen i Ovikens gamla kyrka i Jämtland drogs framgångsrikt ihop vid en restaurering på 1930-talet. Se Festin (1935), s. 61-92.

ARKIV

Antikvarisk- Topografiska Arkivet (ATA)

Handlingar rörande Almundsryd, Berga, Hjortsberga, Härlunda, Ryssby, Tingsås och Urshults kyrkor (samtliga Kronobergs län).

REFERENSER

Abrahamsen, Søren (1992), *Bygningsarkæologi og statik*, Föreläsning Århus arkitektskola september 1992, manuskript.

Abrahamsen, Søren (u. å.), *Tværförankringssystem for tagværker efter tovpolygonmetoden*, Informationsmaterial från Rådgivende ingeniør Søren Abrahamsen, Højbjerg, Danmark.

BKR 94:1 (1994), Boverkets Konstruktionsregler: Föreskrifter och allmänna råd, Byggförlaget, Stockholm.

Blass (2003), "Joints with Dowel-type Fasteners" i Thelandersson, Sven – Larsen, Hans (ed.), *Timber Engineering*, Chichester: Wiley & Sons.

Bonamini, G. (1995), "Restoring timber structures: Inspection and evaluation" i Hans Blass m. fl. (ed.), *Timber Engineering: STEP 2*, Almere: Centrum Hout.

CALFEM (1999), A finite element toolbox to MATLAB, Version 3.3, Structural Mechanics, LTH, Lund.

Cornell, Elias (1983), *Byggnadstekniken*, Byggförlaget.

Deinhard, Martin (1962), *Die Tragfähigkeit historischer Holzkonstruktionen*, Diss. Darmstadt, Karlsruhe: Bruderverlag.

Dinwoodie J. M. (1981), *Timber: Its nature and behaviour*, New York : Van Nostrand Reinhold.

Ehlbeck, Jürgen – Hättich, Ronnie (1989), "Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von ein- und zweischnittig beanspruchten Holznägeln" i *Jahrbuch 1988*, Serie: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe, Berlin: Ernst und Sohn.

Ekström, John-Erik (1938), "Bärverk" i Gregor Paulsson (ed.) *Träbyggnadskonst*, Hantverkets bok, Stockholm: Lindfors bokförlag.

Emy, A. R. (1837), *Traité de l'art de la charpenterie*, Del 1, Paris.

Fabricius, Olle (1990), "Statik" i Humble Olle (ed.), *Äldre murverkshus: reparationer och ombyggnad*, Stockholm.

ForcePad (2005), Division of Structural Mechanics, Lund University.
<http://www.byggmek.lth.se/resources/forcepad/forcepad.htm>.

Gjone, Erling (1974), "Tak - Takstoler", spalt 56-64 i Kulturhistoriskt lexikon för nordisk medeltid, Band 18, Malmö.

Görlacher, Rainer – Kromer, Martin – Ehlbeck, Jürgen (1995), "Dachtragwerk der Klosterkirche in Kircheim/Ries: Zur wirklichkeitsnahen Bestimmung der Tragwirkung einer alter Holzkonstruktion", *Bauen mit Holz*, 3.

Görlacher m. fl. (1990) "Tragfähigkeit und Verformungsverhalten von Zugbeanspruchten Blattverbindungen in historischen Holzkonstruktionen" i *Jahrbuch 1990*, Serie: Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke: Sonderforschungsbereich 315, Universität Karlsruhe, Berlin: Ernst und Sohn, s. 273-291.

Handboken Bygg, Allmänna grunder (1983), eds. Sigurd Avén, Mogens Lorentsen, Bengt Åkesson, Stockholm: Liber förlag.

Heimeshoff - Köhler (1989), Untersuchung über das Tragverhalten von Zimmermannsmässigen Holzverbindungen (am Lehrstuhl für Baukonstruktion und Holzbau, Technische Universität München), München.

Herzog m. fl. (2004), *Timber Construction manual*, Basel: Birkhäuser.

Hewett, Cecil A. (1995), *English Cathedral and Monastic Carpentry*, Chichester: Phillimore.

Hoffmeyer, P. (1995), "Wood as a building material" i H. J. Blass mfl. (ed.), *Timber Engineering: STEP 1*, Almere: Centrum Hout.

Hoffsummer, Patrick (2002), "Typologie de la charpente" i Patrick Hoffsummer (ed.), *Les charpentes duXIIe auXIXe siècle: Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Paris: Centre des monuments nationaux/Monum, Éditions du patrimoine.

I-deas (2005), http://www.ugs.se/New_UGS/products/nx.shtml.

Johansson, Carl-Johan – Claesson, Thomas (1989), *Hållfasthet och styvhet hos maskinsorterat virke : en studie av utfallet från fem sorteringsmaskiner*, Borås: Statens provningsanstalt.

Jennings, Alan (2004), *Structures: From theory to practice*, London: Spon Press.

Kessel – Augustin (1994), "Untersuchung der Tragfähigkeit von Holzverbindungen mit Holznägeln", *Bauen mit Holz*, vol. 96, nr 6, 484 - 487.

Kyrkobyggnader 1760 - 1860: Del 2, Småland och Öland (1993), eds. Erik Cinthio m.fl., Serie: Sveriges Kyrkor, vol. 216, Stockholm: Almqvist & Wiksell International.

Kyrkobyggnader i Kronobergs län (1998), ed. Heidi Vassi, Växjö: Länsstyrelsen i Kronobergs län.

Larsson, Daniel m. fl. (1998), "Mechanical properties of sawn timber from Norway spruce", *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56 (1998).

Les charpentes duXIe auXIXe siècle: Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique (2002), ed. Patrick Hoffsummer, Paris: Centre des monuments nationaux/Monum, Éditions du patrimoine.

Mathiasen, Hans Friis – Reitzel, Erik (1999), Grundtræk af bærende konstruktioner i arkitekturen, [København]: Kunstakademiets Arkitektskoles Forlag.

Mönck, Willi (1999), *Schäden an Holzkonstruktionen: Analyse und Behebung*, Berlin: Verlag Bauweswen.

Olsson, Karl-Gunnar (2005), *Strukturmekanik & arkitektur: Om strukturmekanisk förståelse i gestaltungsprocessen*, Diss., Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Paulsson, Anders m.fl (1993), *Takstolsboken*, Serie: Statens råd för byggnadsforskning T8:1993, Stockholm.

Ponnert, Hans – Sjömar, Peter (1992), "Trä och träbyggnadskonst", *Nordisk arkitekturforskning* 1993:1.

Rothstein, E. E. von (1856), *Handledning i allmänna byggnadslärans praktiska del med hufvudsakligt afseende på husbyggnadskonsten samt kostnadsförslagets uppgörande*, Stockholm.

Rothstein, E. E von (1890), *Handledning i allmänna byggnadsläran med hufvudsakligt afseende på husbyggnadskonsten samt kostnadsförslagets uppgörande*, Stockholm.

Sandaker, Bjørn Normann – Eggen, Arne Petter (1989), *Arkitekturens konstruktive grunnlag*, [Oslo]: J. W. Cappelens Forlag.

Sandin, Ylva (2004), *Historisk - teknisk förundersökning av gamla takkonstruktioner: Exemplet Morups kyrka*, manuskript distribuerat i samband med slutseminarium i oktober 2004, Göteborg: Arkitektur, Chalmers tekniska högskola.

Sandin, Ylva (1997a), "Ancient wooden roof trusses in Swedish churches", *Proceedings of the 1997 International Conference of IUFRO S 5.02 Timber Engineering*, Copenhagen, Denmark.

Sandin, Ylva (1997b), "Historiska trätakstolar i kyrkor", *Bygg & teknik*, nr 2.

Sandin, Ylva (1997c), "Morup church: a case study on structural behaviour of historical roof trusses", *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings*, Southampton: Computational Mechanics Publications.

Sandin, Ylva (1996), *Verkningsätt hos äldre trätakstolar i svenska kyrkor: Kunskapsöversikt och fallstudie*, Teknisk licentiatuppsats, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Sandin, Ylva – Olsson, Karl-Gunnar (1996), "Kraftspel i historiska träbärverk: med takstolarna i Väskinde kyrka som exempel", *Kulturmiljövård*, nr 3-4.

Sandin, Ylva – Olsson, Karl-Gunnar (1995), "Statical behaviour and load bearing capacity of historical roof trusses in Swedish churches", *Structural Studies of Historical Buildings IV Volume 1*, Southampton: Computational Mechanics Publications.

Sjömar, Peter (2000), "Byggnadsteknik och kyrkorum: Kyrklig timmerbyggnadskonst under 1600- och 1700-talen" i Ingrid Sjöström (ed.) *Kyrka af träd: Kyrkobyggande under 1600- och 1700-talen i Finland, Norge och Sverige*, Stockholm: Riksantikvarieämbetet.

Sjömar, Peter (1995), "Romanskt och gotiskt – takkonstruktioner i svenska medeltidskyrkor", *hikuin* 22/1995, Viborg.

Sjömar, Peter (1992), "Romanska takkonstruktioner: Ett värdefullt och outforskat källmaterial", i Marian Ullén (ed.), *Från romanik till nygotik*, Stockholm: Riksantikvarieämbetet.

Sjömar, Peter (1988), *Byggnadsteknik och timmermanskonst: En studie med exempel från några medeltida knuttimrade kyrkor och allmodehus*, Diss., Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Sjömar, Peter – Werne, Finn (1982), "Hantverk, teknologi och byggnadskultur: Några reflexioner kring träbyggnadsteknikens utveckling" i Finn Werne (ed.) *Människan står i tur: Sjutton uppsatser, en dikt och en bibliografi tillägnade Elias Cornell*, Göteborg.

Snö- och vindlast (1994), Sture Åkerlund (ed.), Karlskrona: Boverket.

Storsletten, Ola (2002), *Takene taler: Norske takstoler 1100 - 1350 klassificering og opprinnelse*, Diss., Oslo: Arkitektthögskolan.

Storsletten, Ola – Sjömar, Peter (1993), "Där Norge och Sverige mötas: En undersökning av ursprungliga takkonstruktioner i medeltida stenkyrkor i Jämtland och Trøndelag" i *Kirkearkeologi og Kirkekunst: Studier tilegnet Sigrid og Håkon Christie*. Øvre Ervik.

Thelandersson, Sven (1995), "Serviceability limit states - Deformations" i H. J. Blass m. fl. (ed.) *Timber Engineering: STEP 1*, Almere: Centrum Hout.

Thelandersson, Sven (1990), *Konstruktionsberäkningar med dator*, Lund: Studentlitteratur.

Thelin, Carl (2005), *Några medeltida takstolar: En delrapport i ett forskningsprojekt kring takfotens historiska utveckling och konstruktiva verkningssätt*, Form och tekniks skriftserie, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Thelin, Carl (2003), *Historiska träbärverk: Strukturmekaniska metoder och visualisering*, Licentiatuppsats, Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Tredgold, Thomas (1840), *Elementary principles of carpentry*, London.

Ullén, Marian (1993), "Stiftsledningen och kyrkobyggandet i Växjö stift 1760 - 1860" i Erik Cinthio m. fl. (ed.), *Kyrkobyggnader 1760 - 1860: Del 2, Småland och Öland*, Serie: Sveriges Kyrkor, vol. 216, Stockholm: Almqvist & Wiksell International.

Wale, Harald – Jakobsson, Arne (1961), "Kap. 366. Takstolar av trä" i Börge Algers, Lars Forsby, Wilhelm Tell (ed.), *Bygg: Huvuddel 3, Konstruktionsteknik*, Band II, Stockholm.

APPENDIX 1: PROTOKOLL FÖR TAKSTOLSSTUDIER

Kyrka
Län
Datum

ARKIV

Planritning
Sektioner
Fasader

Uppgifter om:

Grund
Undergrund
Datering av kyrka och tak
Restaureringshistoria

UTOMHUS

Mät och avbilda (alternativt kontrollera arkivritningar med avseende på):

Kyrkans yttre bredd
Stöpelares lägen och dimensioner
Stödjande sidobyggnaders lägen
Fönster och dörrars lägen
Synliga skarvar från ombyggnader
Väggarnas lutning
Sprickbildning
Taklutning med klinometer
Avståndet mellan byggnaden och mätpunkten där taklutningen mätes

Notera:

Kyrkans läge med avseende på terrängtyp: I/II/III/IV

Fotografera:

Exteriör
Takyta
Lutningar
Skador

I KYRKORUMMET

Mät och avbilda (alternativt kontrollera arkivritningar med avseende på):

Kyrkans inre bredd
Väggarnas tjocklek
Fönster och dörrars lägen
Synliga skarvar från ombyggnader

Sprickor
Skador av fukt eller annat
Väggarnas lutning

I VINDSRUMMET

Notera:

Material i takstol
Bearbetning: bilat/sågat
Taktäckning: material och mått

Notera i förenklad takplan:

Numrera takstolarna
Centrumavstånd takstolar

Avstånd till gavlar
Längdstabilisering. Ev. avbilda.
Skilda takstolstyper
Skarvar från ombyggnader

Upprätta takstolsskiss:

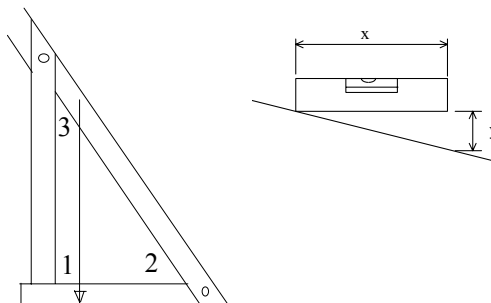
Takstolens nummer
Sedd från vilket håll: väst eller öst (ev. norr eller söder)
Hanjälkars längd
Vertikalt avstånd mellan hanbjälkar och till nock
Avstånd längs sparre mellan knutpunkter, till nock och till mur
Avstånd mellan övriga knutpunkter
Stödbens och saxsparrars lutningsvinklar

Delarnas dimensioner

Valv:
Material
Dimensioner
Infästning

Noggrannare uppmätning vid takfot:

- häng upp lod/stålmåttband
- mät in punkt 1
- mät stickbjälkens ev. lutning i lämplig punkt
- mät y och y och rita in dessa
- mät och rita in punkt 2
- mät och rita in punkt 3
- mät delarnas dimensioner och rita ytterkonturer
- mät och rita in murremmar
- mät och rita in glapp, markera anliggningsytor



Upprätta skisser av knutpunkter:

Skalenlig ritning m. h. a. tumstock.
Dimensioner i djupled
Inhuggningsdjup
Dymlingar och spikar: mått, material, läge

Glapp
Deformationer
Skador
Reparationer

Fotografera:

Vindsinteriören
Samtliga förband på den uppmätta takstolen
Fotpunkten med murremmar och andra detaljer
Takpanelen
Skador
Lagningar

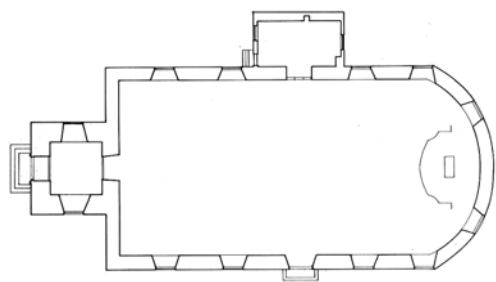
APPENDIX 2: TAKKONSTRUKTIONER I SJU KYRKOR I KRONOBERGS LÄN

Kyrkorna presenteras i bokstavsordning. Studierna avser takstolarna över långhusen. Uppgifter om byggår, byggmästare och vem som upprättat de ursprungliga ritningarna är hämtade från *Kyrkobyggnader 1760 - 1860: Del 2* (1993). Planritningar och vissa uppgifter om restaureringsåtgärder är också hämtade ur denna publikation.

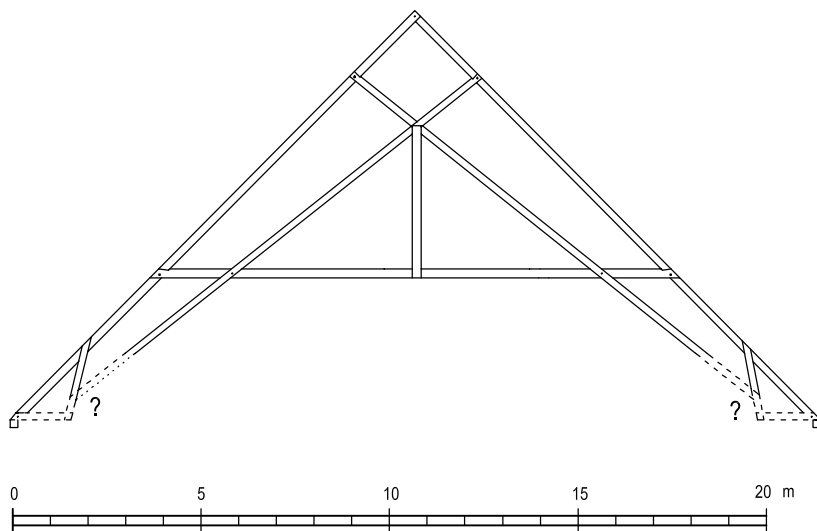
Värden på takvinklar har erhållits genom mätning med klinometer. Uppmätningarna är skisser med låg noggrannhet: ingen hänsyn har tagits till skevheter vid uppmätningen. Endast en takstolstyp fanns i varje kyrka. Streckad linje anger att delen delvis varit skymd. Uppgifter om delars dimensioner gäller den uppmätta takstolen. Även uppgifter om material i dymlingar gäller den uppmätta takstolen. Väggarnas lutningar ut ur lodlinjen är mätta med mätstång och lod. Fältstudierna är utförda i november 2001.

Under rubriken "Kommentar till åtgärder och lagningar" tas främst upplysningar ur ATA:s arkiv upp. Där har uppgifter sökts om restaureringsåtgärder som kan komplettera fältstudierna och ge svar på frågorna: Vilka var problemen som föranledde åtgärderna? Vilka tekniska resonemang fördes av konsulter och antikvariska myndigheter och vilka analyser gjordes? Vilka antikvariska synpunkter framfördes? Denna rubrik saknas för Härlunda och Urshult, vilka inte åtgärdats med avseende på den bärande konstruktionen.

ALMUNDSRYD



Plan, skala: 1: 800.



ALMUNDSRYD

Byggår	1828-31
Byggmästare	Murarmästare Sven Sjöblom från Karlshamn
Ritningar	Dan Forssman, Överintendentsämbetet.
Material, kyrka	Sten
Yttertak	Sedan 1957 kopparplåt på panel av gammal typ. Kyrkan hade mellan 1911 och 1957 ett tyngre tak av tegel. ¹ Saknar uppgift om ursprunglig taktäckning.
Innertak	Välvt innertak av trä. Vid en restaurering 2001 avlägsnades den puts som fanns på trävalvets undersida. ²
Material takstolar	Barrträ. Dymlingar av ek.
Kyrkans inre bredd [m]	18,15
Väggarnas tjocklek [m]	1,50
Väggarnas höjd [m]	Ca. 6,9
Taklutning	43° - 45°
Antal takstolar	24
Centrumavstånd [m]	1,36
Dimensioner [cm]	Sparre, nordsidan: 17,5 x 21, 19 x 22 Hanbjälke: 18 x 23 Saxsparre, nordsidan: 19,5 x 17 - på lågkant Saxsparre, sydsidan: 15 x 19 Stödben, nord: 14 x 17 Sågat mittstycke: 2,5 x 24 Dymlingar: 3,5 x 3,5
Knutpunkter	Sparrar i nock: slitstapp med dymling. Sparrens nedre ände: sannolikt tapp ner i stickbjälken. Saxsparre/sparre samt hanbjälke/sparre: laxning med dymling. Stödben /sparre: infällning med rakt blad. Utan dymling eller spik på nordsidan, men med två spikar på sydsidan. Kryssförbanden saxsparre/saxsparre samt saxsparre/hanbjälke: raka blad halvt i halvt med dymling. Mittstycket är spikat mot takstolen.
Upplag	Ej åtkomliga för inspektion.
Deformationer och skador	Södra långsidan lutar utåt ca 10 cm. mitt på. Det förekommer glapp på 1 - 3 cm. i takstolarnas förband mellan hanbjälke och sparre.
Åtgärder och lagningar	Mittstycket kan vara ett senare tillägg. På varannan takstol har spikats ett stort antal brädor (1" x 4") på takstolens båda sidor. Förstärkningarna tillkom 1957 då kyrkan renoverades under ledning av arkitekt Hans Lindén.



ALMUNDSRYD, FORTS.

Kommentar till åtgärder och lagningar

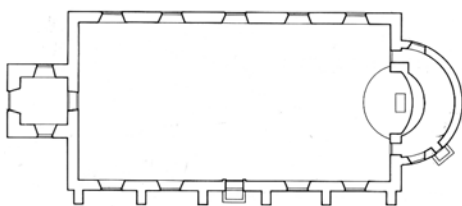
I en arbetsbeskrivning över restaureringsarbetena (undertecknad Hans Lindén 12 april 1956) beskrivs hur koppartaket ska läggas över långhus, kor och sakristia: "Takstolar förstärkas genom påspikning av dubbla, mot varandra diagonalställda, 1"x 4" brädor å varannan takstol. Denna påspikning skall utföras från takstolens lägsta del och ca 1m över horisontell takstolsdel i höjd med valvets överkant. [---] På befintlig panel utföres utsalning och uppriktning av takytorne medelst 3"x 3" läkt och klotsar."³

Inga kommentarer eller förklaringar görs till valet av dessa förstärkningar. Landsantikvarie Anderbjörk vid Smålands Museum besökte den 14 juli samma år kyrkan för att besiktiga förslaget till yttre restaurering och hade inget att erinra mot det då han rapporterade till Riksantikvarieämbetet.

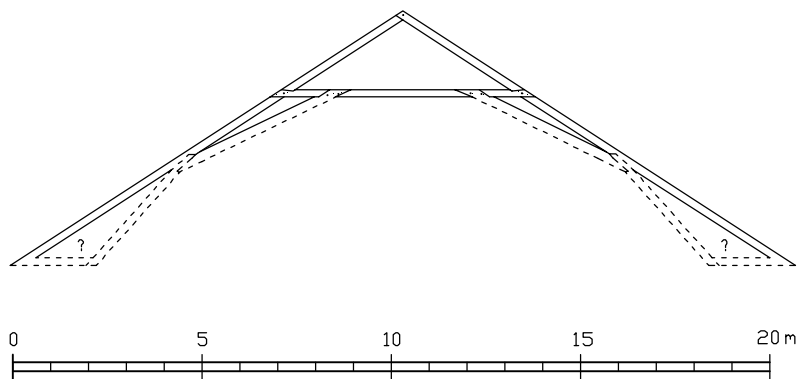
Bland de handlingar om Almundsryds kyrka som förvaras på ATA finns heller inga beskrivningar av vilka skador eller deformationer som föranlett takkonstruktionens förstärkning. Arbetsbeskrivningen från 1956 nämner att sprickor i ytterväggarna ska huggas upp och lagas samt att dränering ska utföras runt kyrkan. Enligt ett brev från vicepastor H Danielsson i Ryd till Kungliga Byggnadsstyrelsen 6 maj 1935 "...är kyrkan synnerligen sankt belägen och förekommer stor variation i grundvattensnivån." Uppgifterna gör att man kan misstänka att det förekommit rörelser i undergrunden.



BERGA



Plan, skala: 1: 800



BERGA

Byggår	1819 - 21
Byggmästare	Länsbyggmästare Peter Österlöf i Varberg
Ritningar	Jakob Wilhelm Gerss 1818
Material, kyrka	Sten
Yttertak	Kopparplåt på modern typ av panel. Ursprungligen spån. ⁴ 1899 byttes spåntäckningen mot plåt. ⁵
Innertak	Välvt innertak av trä utan puts på undersidan.
Takstolar	Barrträ. Dymlingar av ek.
Kyrkans inre bredd [m]	16,78
Väggarnas tjocklek [m]	1,26
Väggarnas höjd [m]	Ca. 7,08
Taklutning	33°
Antal takstolar	29
Centrumavstånd [m]	1,01
Dimensioner [cm]:	Sparre: 15 x 20 Hanjälke: 15 x 19 Snedsträva: 15 x 24 Dymlingar: vanligen ca. 2,5 x 2,5.
Knutpunkter	Sparrar i nock: oftast slitstapp låst med dymling. I något fall bladförband. Ibland saknas dymlingen i denna knutpunkt. Hanjälke/sparre: laxning med en dymling och två spikar. Snedsträva/hanjälke: laxning med två dymlingar samt två spikar. Förbanden är kilade. Knutpunkten stödben/snedsträva/sparre: svåråtkomlig. Stödbenet förefaller vara infällt i sparren med ett bladförband och snedsträvan ansluta mot stödbenet med ett ansatsförband.
Upplag	Ej åtkomliga för inspektion.
Deformationer och skador:	Murväggarna lutar utåt ca. 15 cm. mitt på långväggarna. Sparrarna är böjda – ett par av dem till brott. Förbanden mellan hanbjälke och sparre är dragbelastade och isärdragna.
Åtgärder och lagningar	Kontreforter på kyrkans södra sida (1927). Kungliga byggnadsstyrelsen tog fram ritningar. Arkitekt Paul Boberg i Växjö ansvarade för reoveringen. Kontreforter på norra sidan (1967). Lennart Nelsson i Ljungby ansvarade för arbetena. Ursprunglig taktro utbytt mot takpanel av modern typ. 1853 förstorades fönstren, vilket innebär en försvagning av väggarna och mindre bärförmåga vad gäller krafter från takstolar.
Övrigt:	En stor andel av virket är vankantat.

Berga, forts.



Berga, forts.

Kommentar till åtgärder och lagningar

Kyrkan har sedan 1927 strävpelare på södra långsidan och sedan 1970 även på norra långsidan. ATA:s material innehåller en hel del uppgifter om vad som föregick byggandet av strävpelarna.

I november 1922 besiktigar Arkitekt Axel Lindegren från Kungliga byggnadsstyrelsen Berga kyrka och konstaterar sprickor i dess fyra hörn och avsevärda utbuktningar av väggarna. (Det hade då gått 101 år sedan kyrkan färdigställdes.) Lindegren ber ingenjör Simon Brådhe besiktiga kyrkan. Brådhes besiktning utlåtande bekräftar att yttermurarna är spruckna och lutningen av väggarna är avsevärd. "Enligt senare erhållna uppgifter lutar den norra väggen ca. 17 cm. utåt på mitten och den södra omkring 26 cm. Takstolarna voro kraftigt dimensionerade men konstruktionen saknade sammanhållning mot sidotrycket vid takfoten. En del hophuggningar äro klen hopdragna."⁶ Inför sitt besök har Brådhe beordrat grävning för att kunna undersöka grunden. Han finner att stengrunden är välgjord och att kyrkan är grundlagd på strid sand till mer än frostfritt djup. Han upprättar ritningar och beräknar krafterna från takstolarna vid snöbelastning och vindtryck. Det är omöjligt att avgöra om utbuktningarna beror enbart av de beräknade krafterna menar han, men risken är stor för ytterligare deformationer. Han utarbetar ett förslag till förstärkning med hjälp av järnstag tvärs kyrkorummet mittöver varje murpelare och vid gavlarna. Takstolarnas hophuggningar ska också "sammandragas med bult och ekspik." Han anser inte att någon grundförstärkning är nödvändig.

Tydligen har inte församlingen gillat förslaget med dragstag. Man har istället anlitat en ingenjör i Ljungby som i december 1924 utarbetar ett förslag till förstärkning med hjälp av strävpelare, fyra på varje långsida. Strävpelarna ska göras av armerad betong och putsas med kalkbruk.

Brådhe får förslaget på remiss. Brådhe är i sitt yttrande från den 5 februari 1925 kritisk och anser att förslaget kommer att innebära avsevärt större kostnader än hans eget förslag och att det dessutom är förkastligt ur konstruktiv synpunkt. Dels invänder han mot hur kontakten mellan gamla och nya delar är tänkt att åstadkommas. Dels anser han: "Att tillbygga kontreforeerna av betong synes mycket motbjudande i betraktande av att allt murverk i övrigt består av bruksmurar av natursten."⁷ Han invänder också mot strävpelarnas tilltänkta form som skulle innebära att det förekom lutande putsytter, vilket skulle bli svårt att underhålla. Han antyder också att det kan finnas invändningar ur arkitektonisk eller konsthistorisk synpunkt.

Byggnadsstyrelsen tar fasta på Brådhes kritik vad gäller det tekniska utförandet och låter upprätta tre förslag till hur strävpelare kan utföras av murverk istället för betong. Man har således inget att invända mot strävpelarna som sådana. Församlingen bestämmer sig för ett av byggnadsstyrelsens förslag och förslaget fastställs av byggnadsstyrelsen 17 juli 1925.

Berga, forts.

Den 18 december 1927 anmäler arkitekt P Boberg i en skrivelse till byggnadsstyrelsen att restaureringen av kyrkan genomförts med undantag för strävpelarna på kyrkans norra sida. Han begär om anstånd på fem år för denna åtgärd med hänsyn till församlingens ekonomi. Byggnadsstyrelsen tillstyrker att arbetena skjuts upp, men menar att man varje vår efter tjällossningen och varje höst ska göra observationer om sprickbildning och förskjutningar. Observationerna bör utföras dels med noggranna lodningar, dels med avvägning.

Församlingen får sedan gång på gång förnyat tillstånd att skjuta upp byggandet av strävpelarna på nordsidan. De kommer inte att uppföras förrän 1967, 40 år efter den första ansökan om uppskov. När byggnadsstyrelsen 1934 beviljar nytt uppskov tillkommer utöver kraven om observationer från 1927 även kravet att taket ska hållas fritt från snö och alltså renskottas omedelbart efter snöfall. Detta sedan intendent N Royen har gjort stabilitetsberäkningar för muren och funnit att säkerheten kan klaras om taket inte är belastat med snö. 1945 anges dessutom att det bör vara stadsingenjören i någon närliggande stad som genomför mätningarna och observationerna. Mätningar med teodolit utfördes av stadsingenjören i Ljungby, Sture Källman, i oktober 1949, juli 1950 och åtminstone även i november 1957. Källman hänvisar dessutom till liknande mätningar som gjorts 1945. Resultaten tyder på att inga nya deformationer sker under denna period. Mitt på långväggen lutade väggen då 14,3 cm mellan fönstrets ovankant och sockeln.

Av en kort teknisk beskrivning undertecknad av Lennart Nelsson i Ljungby den 12 maj 1967 framgår att kyrkans takbeläggning av svartmålad järnplåt ska bytas mot kopparplåt (kopparplåt finns redan på tornet).

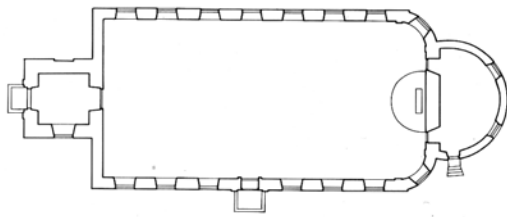
Nelsson menar att det är stor risk för att horisontalförskjutningarna av norra långhusväggen ökar efter det att koppertaket pålagts om inte strävpelare utförs. De föreslås bli utförda på samma sätt som de på södra långsidan men i armerad betong. Nelsson föreskriver också att panelen ska tas bort och påsalning av takstolarna ska göras för att rikta upp takytan, det är omöjligt att få tillbaks takstolarna i ursprungligt läge menar han. Han kommenterar inte risken för brott i sparrarna.

I en skrivelse från Kungliga byggnadsstyrelsen till Riksantikvarieämbetet yttrar man sig över Nelssons beskrivning och de tillhörande ritningarna. Den här gången nämns inget om att det skulle vara olämpligt med strävpelare av betong. Man invänder mot påsalningar för att man anser det vara väl kostsamt att byta panel för att kunna sala på takstolarna, och: "Det kan ifrågasättas om det ur utseendesynpunkt har någon betydelse att taket svackar något."⁸

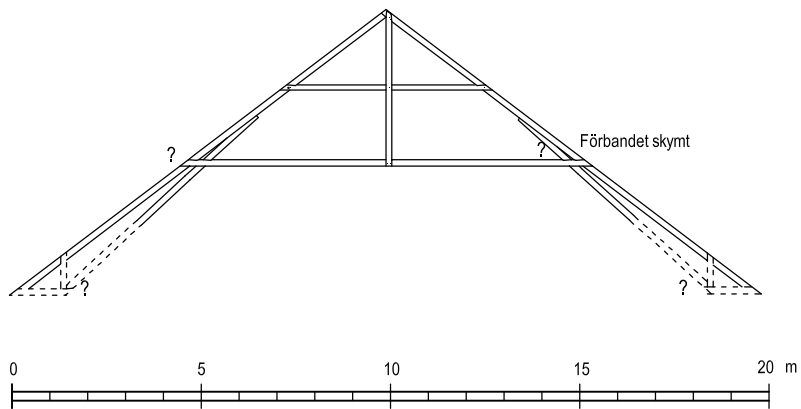
Berga, forts.

Sammanfattningsvis var det murarnas rörelser, snarare än skador i takkonstruktionen, som föranledde byggandet av strävpelare. Några problem med materialbrott i sparrar nämns inte arkivmaterialet (men syns i konstruktionen idag). Tekniska resonemang som förts var: Brådhes bedömning på 1920-talet att dragstag var nödvändiga, Royens stabilitetsuppskattning från 1934 och det långvariga övervakningsprogrammet. Inga rent antikvariska synpunkter framgår av ATA:s material. Invändningar mot påsalningarna gjordes, men gick snarast ut på att de var onödiga.

HJORTSBERGA



Plan, skala: 1: 800



HJORTSBERGA

Byggår	Uppfördes 1838-40 som gemensam kyrka för Hjortsberga och Kvenneberga församlingar sedan deras medeltida kyrkor dömts ut av Esaias Tegnér vid visitation.
Byggmästare	Jonas Persson från Vislanda.
Ritningar	Samuel Enander vid Överintendentsämbetet. Ritningarna senare reviderade i vissa detaljer av häradsmurare Jonas Malmberg som ansvarade för murarbetet. ⁹
Material, kyrka	Sten
Yttertak	Kopparplåt på taktro av gammal typ.
Innertak	Välvt innertak av trä utan puts på undersidan.
Material takstolar	Barträ. Dymlingar av barträ.
Kyrkans inre bredd [m]	16,82
Väggarnas tjocklek [m]	1,21
Väggarnas höjd [m]	7,2
Taklutning	36°
Antal takstolar	23
Centrumavstånd [m]	1,41
Dimensioner [cm]	Sparre: 17,5 x 16 Nedre hanbjälke: 16,5 x 17,5 Övre hanbjälke: 14 x 14,5 Inre, långt stödben: 17 x 16,5 Mittstycke: 14 x 14,5 Dymlingar: 2,5 x 2,5 - 3,5 x 3,5
Knutpunkter	Sparrar i nock: slitstapp med dymling. Övre hanbjälke/sparre: laxning med en dymling och en spik. Nedre hanbjälke/sparre: skymd. Långa inre stödben/sparre: "stötfog" med 105-110 centimeters anliggningslängd. Tre till fyra spikar låser förbandet. Långt stödben/nedre hanbjälke: kryssförband laxstjärtform. Vertikalt stödben/sparre: rakt blad. Mittstycket är spikat mot takstolen. Snedstråvor som utgör ställning för valvet är hophuggna med hanbjälken med laxstjärt.
Upplag	Ej åtkomliga för inspektion.
Deformationer och skador	Väggarna lutar 12 cm. utåt mitt på norra långväggen och 9 cm. mitt på södra långväggen.

Hjortsberga, forts.



Hjortsberga, forts.

Åtgärder och lagningar: Kyrkan är sedan 1982 försedd med dragstag tvärs kyrkorummet. Stagen är förankrade i stålbalkar på murkrönen. Nedre hanbjälkarnas förbindning med sparrarna har förstärkts med plywoodskivor som spikats tätt mot takstolarnas bäge sidor.

Övrigt Församlingen ville 1920 täcka taket med eternit, men fick inte tillstånd från Kungliga byggnadsstyrelsen. Hjortsberga pastorat beslutade 1920 att täcka kyrkan med spån av furukärne "samma ämne hvarmed den nu är täckt". Man ångrade sig tydligen, för kyrkan var täckt med kopparplåt då den avsynades av Paul Boberg 1923.

Kommentar till åtgärder och lagningar

Enligt en skrivelse i november 1980 från Ingenjörfirman Pehrs & Co i Växjö till arkitektfirman Regebro & Co i Alvesta har man kontrollerat kyrkväggarna med hänsyn till stjälpning på grund av krafter från takstolarna enligt SBN-75 kap 23. Beräkningar och krafter redovisas inte men man har kommit fram till att kyrkoväggen är instabil för snölast. "Detta förhållande har existerat ända sedan kyrkan byggdes, men den förskjutning av kyrkväggen som skett har något försämrat situationen." Ett handskrivet PS anger att "Normenl. vindlast är ung. lika illa som snölast".¹⁰ Uppenbarligen har väggarna deformerats, men av arkivmaterialet framgår inga redovisningar av deformationernas storlek.

Hjortsberga kyrkoråd ansöker hos Landsantikvarie af Trampe vid Smålands Museum om tillstånd att få utföra reparation av takstolarna i Hjortsberga kyrka enligt ritningar från Regebro & Co samt Pehrs & Co. Man ser allvarligt på väggarnas deformationer och kyrkan hålls stängd av säkerhetsskäl under några månader under vintern 1980-81.¹¹ Landsantikvarien anser att ärendet ligger utanför hans kompetensområde och sänder ansökan till Riksantikvarieämbetet. Handskrivet på hans skrivelse kan man läsa: " Kan detta belysas och utredas bättre? En mängd drag- och hängstag i kyrkorummet blir ytterst störande." Signaturen efter den lilla noteringen är oläslig.

Bengt Bergvall på Byggnadsstyrelsens Byggnadstekniska sektion yttrar sig i december 1980 över två stycken uppmättningsritningar (Regebro), två stycken konstruktionsritningar (Pehrs) samt brevet från Pehrs & Co. Bergvall påpekar att storleken på deformationen av murkrönen inte redovisas och att det inte heller anges om rörelse fortfarande pågår. Det finns inte heller några beräkningar redovisade av krafternas storlek eller hur förstärkningarna ska fungera menar Bergvall. Han konstaterar dock att dragstag förbundna med långsgående balkar på murkrön är en bra metod för att ta hand om krafterna där de uppträder. Han anser att det föreslagna antalet dragstag (8) förefaller stort.

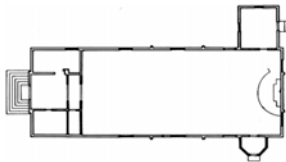
Pehrs & Co kompletterar materialet till Riksantikvarieämbetet med statiska beräkningar. Endast en sida har arkiverats. Där konstaterar man att takstolens horisontalkraft gjort så att muren förskjutits utåt. "Enligt uppgift är denna förskjutning som störst 15-20 cm i murens övre del mitt ute i kyrkorummet." Det framgår också att man vill undvika besvär orsakade av förspänning av stagen. Man väljer därför så grova stag att förskjutningen av takstolarna innan erforderlig mothållande kraft erhållits blir minimal. "Orsaken till detta är att takstolen redan är ansträngd av de befintliga förskjutningarna." Det framgår inte vad som tydde på att takstolen var ansträngd (om det fanns böjbrott i konstruktionen, eller om knutpunkterna var deformerade).¹²

Bergvall yttrar sig till Riksantikvarieämbetet över de kompletterande handlingarna. Han menar fortfarande att beräkningarna inte innehåller någon redogörelse för hur konstruktionen är tänkt att fungera eller någon diskussion om alternativ. Han anser att en enkel överslagsberäkning borde visa att om balkarna på långhusets väggar gjordes kontinuerliga så skulle antalet dragstag kunna reduceras till fem, två vid gavlarna och tre i mitten.

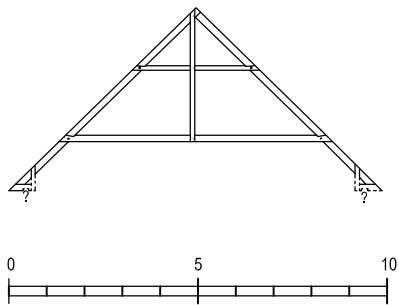
Pehrs & Co räknar sedan på Bergvalls förslag med fem stag.¹³ Riksantikvarieämbetet godkänner det reviderade förslaget till insättning av dragstag och förstärkning av takstolarnas knutpunkter. Man ifrågasätter inte förstärkningen av takstolarna.¹⁴



HÄRLUNDA



Plan, skala: 1: 800



Övre hanbjälke/sparre

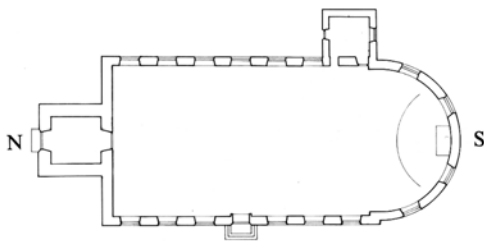


Nedre hanbjälke/sparre

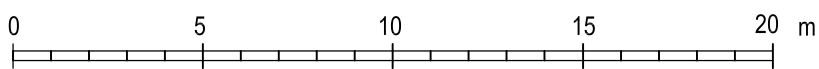
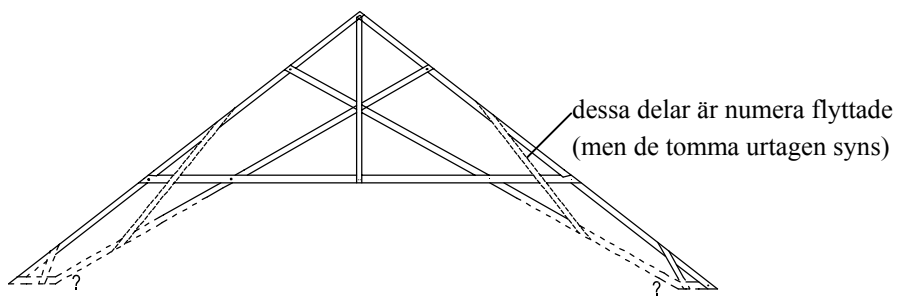
HÄRLUNDA

Byggår	Den tidigare kyrkan på platsen byggdes om så radikalt 1822 att det närmast innebar en nybyggnad.
Byggmästare	Byggmästare 1822 Johannes Ehrenberg från Kånna.
Ritningar	Uppmättningsritningar 1922.
Material, kyrka	Liggande timmer på stensockel.
Yttertak	Kopparplåt på panel av gammal typ. Ursprungligen spåntäckt.
Innertak	Välvt innertak av trä utan puts på undersidan.
Material, takstolar	Barrträ. Dymlingar av barrträ.
Kyrkans inre bredd [m]	8,97
Väggarnas tjocklek [m]	En timmerstocks bredd. Ej uppmätt.
Väggarnas höjd [m]	Ca 5,2
Taklutning	45°
Antal takstolar	15
Centrumavstånd	1,15
Dimensioner [cm]	Sparre: 14 x 17,5 Nedre hanbjälke: 11 x 12 Övre hanbjälke: 14 x 17,5 Mittstycke: 11 x 12 Dymlingar: 3 x 3
Knutpunkter	Sparrarna i nock: slitstapp med dymling. Hanbjälke/sparre: laxning med dymling. Mittstycket spikat mot takstolen.
Upplag	Takfoten kan inte nås för inspektion.
Deformationer och skador	Nedre hanbjälken är dragbelastad. Dess hopfogningar med sparren är isärdragna på samtliga långhustakstolar. Kyrkans långväggar lutade båda 8 cm. utåt mitt på väggen.
Åtgärder och lagningar	Inga åtgärder har gjorts i den bärande konstruktionen, men det finns påsälningar på samtliga långhustakstolar.

RYSSBY



Plan, skala: 1: 800

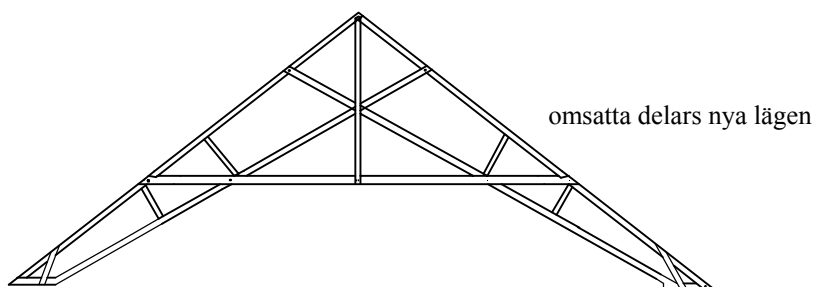


Ursprunglig utformning.

RYSSBY

Byggår	1844
Byggmästare	P Petersson från Sandhult i Älvsborgs län
Ritningar	Ritningar hade uppgjorts 1836 av Axel Nyström.
Material, kyrka	Sten
Yttertak	Taket på långhuset är sedan omkring 1949 täckt med skiffer på panel. Panelen är av modern typ. Kor och torn är täckta med plåt. Vid restaureringen 1947-51 gick man ifrån det fastställda förslaget med kopparplåt på långhuset för att "...Arbetsmarknadsstyrelsen bestämt motsätter sig användningen av kopparplåt som taktäckningsmaterial". ¹⁵
Innertak	Välvt innertak av trä utan puts.
Material, takstolar	Barrträ. (Dymlingar av barrträ.)
Kyrkans inre bredd [m]	16,05
Väggarnas tjocklek [m]	0,98
Väggarnas höjd [m]	6,7
Taklutning	38°
Antal takstolar	28
Centrumavstånd [m]	1,06
Dimensioner [cm]	Sparre, väst: 15,5 x 16,5 Sparre, öst 18 x 15,5 - på lågkant Hanjälke: 15,5 x 20 Saxsparre: 15 x 18 Mittstycke: 13,5 x 12,5 Omsatt del: 14 x 14 Stödben: okänt x 14 Dymlingar: 3 x 3
Knutpunkter	Sparrar i nock: slitstapp och dymling. Hanjälke/sparre: laxning med dymling. Saxsparre/sparre: raka blad med dymling. Stödben/sparre: rakt blad. Mittstycket är spikat mot takstolen. Kryssförband saxsparre/saxsparre och saxsparre/hanjälke: raka blad. De omsatta delarna är insatta utan egentlig förbindning, se nästa sida. Sparre/stickbjälke: sannolikt tappförband, förbindningen låst med en dymling.
Upplag	Takfoten kunde inte nås för dokumentation.

Ryssby, forts.



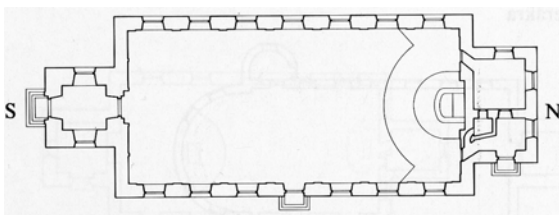
Ryssby, forts.

Deformationer och skador	Västra långsidan lutar 17 cm mitt på. Lutningen avtar mot kortsidorna, men vid korrundeln i söder lutar väggen fortfarande 12 cm. Östra långsidan lutar 12 cm mitt på. Den uppmätta takstolens mittstycke är nästan helt utdragen inock.
Åtgärder och lagningar	Tätt spikade brädor på varje takstol sedan en restaurering 1947-51. Snedställda virken har ursprungligen funnits mellan sparrar och saxsparrar, se skissen nedan. Delarna finns med på en uppmättningsritning från den 10 juni 1947, undertecknad Hans Lindén. De tomma urtagen är synliga idag. Delarna kapades och placerades annorlunda vid restaureringen 1947-51.

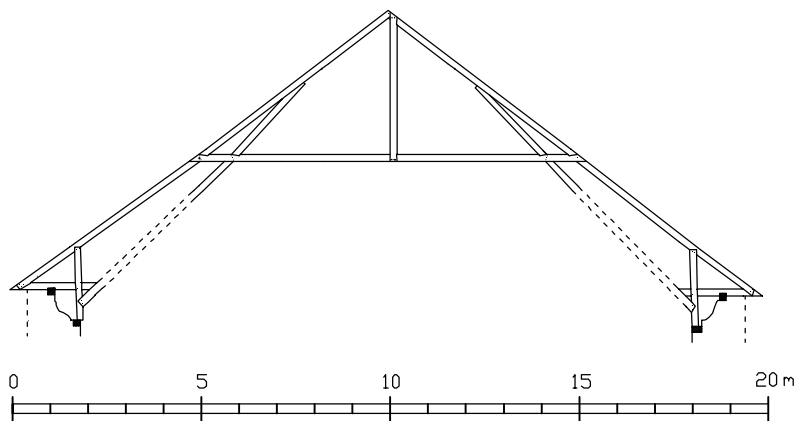
Kommentar till åtgärder och lagningar

Varje takstol över långhuset är förstärkt genom att ett stort antal brädor är spikade på bägge sidor. På den ena sidan av takstolen är brädorna nästan vertikala, på den andra nästan horisontella. I "PM över förslag till restaurering av Ryssby kyrka, Kronobergs län", undertecknat av Hans Lindén, länsarkitekt i Växjö den 2 januari 1948 kan man läsa: "Takstolar. För att förhindra ytterligare förskjutningar påspikas 1 1/2" brädor, såsom panel från varje takstols upplag å mur och upptill första knutpunkt ovan hanbjälke enligt anvisning å ritning."¹⁶ Någon ytterligare information om vilken process som föregick förstärkningen av takkonstruktionen får man inte av arkivmaterialet på ATA. Det står heller ingenting om att vissa takstolsdelar är omsatta.

TINGSÅS



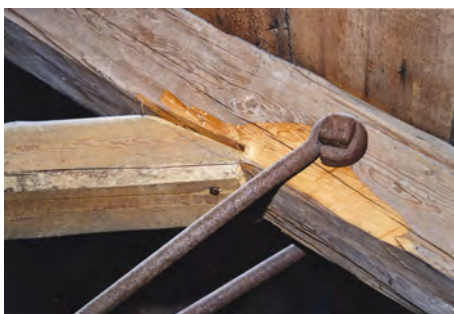
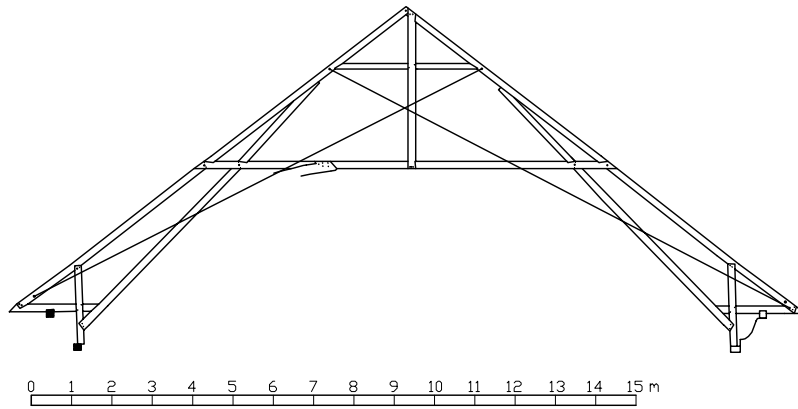
Plan, skala: 1: 800



TINGSÅS

Byggår	1853
Byggmästare	Murmästaren Jonas Malmberg (som också ansvarade för murarbetet vid byggandet av Hjortsberga kyrka.)
Ritningar	Johan Fredrik Åbom, Överintendentsämbetet. Stadfästa 1850.
Material, kyrka	Sten
Yttertak	Kopparplåt på två lager panel, en äldre liggande och en yngre stående. Kyrkan var täckt med skiffertak fram till en renovering 1953-54. ¹⁷
Innertak	Välvt innertak av trä utan puts. Valvet är "dubbelt": isolerat med spån som hålls på plats av brädor. (Ovanpå detta ligger glasull.)
Material, takstolar	Barrträ.
Kyrkans inre bredd [m]	16,28
Väggarnas tjocklek [m]	1,40
Väggarnas höjd [m]	6,8
Taklutning	36°
Antal takstolar	34
Centrumavstånd [m]	1,12
Dimensioner [cm]	Sparre: 16 x 16 Övre hanbjälke: 12,5 x 14 Nedre hanbjälke: 14 x 18 Mittstolpe: 9 x 19 Inre, långa stödben: 12 x 19 Stödben: 15 x 16 Stickbjälkar: 19 x 19
Knutpunkter	Sparrar i nock: bladförband med en dymling. Hanbjälke/sparren: laxning med en dymling och två spikar. Stödben/sparre: rakt blad med två spikar. (Blad och urtag går inte genom hela sparrens bredd. Se fig. 3.13 och 3.15) Långt, inre stödbenet/sparre: "stötfog" med fyra spikar och en dymling. Dess nedre ände är infälld i det korta stödbenet med bladförband med två spikar. Kryssförbandet långt stödben/hanbjälke: laxning låst med en dymling och två spikar. Mittstyckets spikat mot takstolen. Sparrfot: bladförband med en dymling och två spikar. Stödben/stickbjälke: rakt blad med två spikar. Stödben/murrem: stötfog. Stickbjälke/murrem: överkamning utan hak. Murremmen är inte urhuggen.
Upplag	Kan nås för inspektion.

Tingsås, forts.



Tingsås, forts.

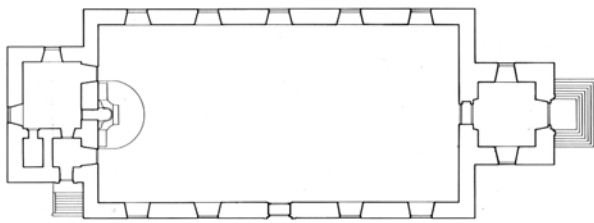
Deformationer och skador	Förbandet sparre/nedre hanbjälke är oftast tätt, på några ställen finns 0,5 - 1 cm glapp på insidan. Vid mätning av väggarnas lutning gick mätstången sönder. Inga säkra uppgifter kunde antecknas, men väggarna var inte helt i lod.
Åtgärder och lagningar	Tolv av takstolarna har försetts med dragstag av järn samt en extra övre hanbjälke, vid en restaurering under arkitekt Paul Boberg 1929.

Kommentar till åtgärder och lagningar

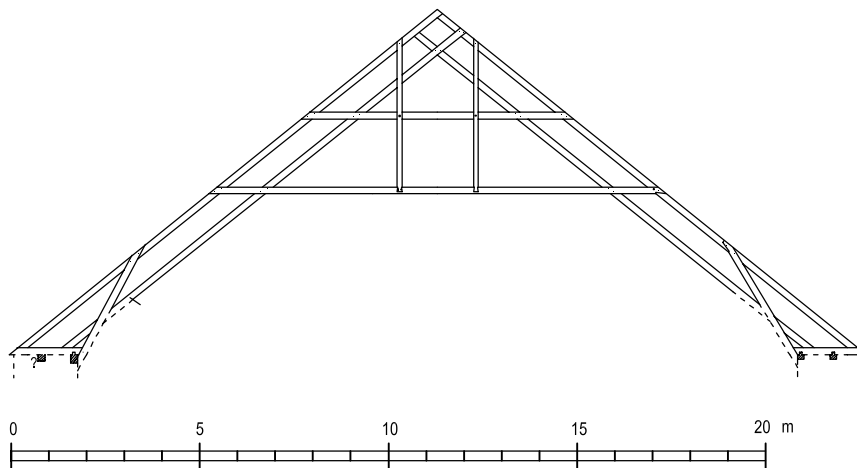
I Paul Bobergs *PM över reparation av Tingsås kyrka i Kronobergs län* från 1928 heter det: "Takstolarna äro icke fribärande och hava förskjutits vid takfoten. För att hindra takstolarnas ytterligare förskjutning mot kyrkans sidoväggar utföres betryggande förstärkning av takstolarna."¹⁸ I en arbetsbeskrivning beskrivs takstolarnas förstärkning under egen rubrik. Förstärkningen ska utgöras av 1" rundjärn, fästa i takstolsfoten med sin ena ända och i motsvarande takfall med sin andra ända. En horisontell stötta av 5 x 6" sparrvirke ska sättas in mellan ankarjärnen. Ankarjärnen ska kunna efterdras. Förstärkningen ska göras på 12 av takstolarna på mittpartiet.

Då förstärkningarna uppfördes hade kyrkan en tyngre taktäckning av skiffer. Dragstagen var inte i spänn vid besökstillfället 2001. Konstruktionen var då inte belastad med snö eller vind.

URSHULT



Plan, skala: 1: 800



URSHULT

Byggår	1808-10
Byggmästare	Nils Fredrik Wahlquist från Karlskrona
Ritningar	Daniel Forssman vid Överintendentsämbetet upprättade 1802 ritningen för kyrkan. Samma ritning skulle gälla Almundsryds kyrka.
Material, kyrka	Sten
Yttertak	Kyrkan är idag täckt med kopparplåt på panel. Ursprungligen var taket spåntäckt och en bit av den gamla spåntäckningen har sparats på sakristians vind.
Innertak	Välvt innertak av trä utan puts. Valvet är "dubbelt": de omkring 3 cm tjocka brädorna är täckta med sågspån och ett lager brädor ovanpå spånen. (Glasull ovanpå brädorna.) Valvet är idag målat på undersidan, men var mellan 1891 och 1977 täckt med målad väv.
Material, takstolar	Barrträ. Dymplingar av barrträ.
Kyrkans inre bredd [m]	18,76
Väggarnas tjocklek [m]	1,69
Väggarnas höjd [m]	-
Taklutning	36°
Antal takstolar	37
Centrumavstånd [m]	1,08
Dimensioner [cm]	Sparre: 15 x 17 Övre hanbjälke: 14,5 x 17 Nedre hanbjälke: 15 x 17 Vertikalstolpe: 5 x 14 Saxsparre: 14 x 18 Stödben: 13 x 17 Stickbjälkar: 17 x 17,5 Dymplingar: 2 x 2 - 2,5 x 2,5
Knutpunkter	Sparrar inock: bladförband med en dympling. Nedre hanbjälke/sparre: laxning med två dymplingar. Övre hanbjälke/sparre och saxsparre/sparre: raka blad med två dymplingar. (Takstol 4 och 5 avviker: laxning.) Stödben/sparre: laxning. (Urhuggningen går ej genom hela sparrens bredd, se figur nedan.) Sparre/stickbjälke: tappförband. Stickbjälke/inre murrem: dubbel överkamning. Stickbjälken är också fäst vid murremmarna med dymplingar. Vertikala hängstolpar upptill infällda i sparren med rakt blad med dympling, nedtill är infällda i hanbjälken med dubbel laxstjärt med två spikar. Korsande delar är hophuggna med raka blad.

Urshult, forts.

Upplag	Kan nås för inspektion. Se ritning nedan.
Deformationer och skador	<p>Övre hanbjälkens infästning till sparren är i regel tät eller har några millimeters glapp. Nedre hanbjälkens infästning till sparren glipar ofta 1,5 cm.</p> <p>Norrsidans långvägg lutar 13 cm utåt mitt på. Den är högre än sydväggen eftersom kyrkan står i en slänt. Lutningen avtar mot gavlarna till 4,5 cm vid västgaveln och 1 cm vid östgaveln. Sydsidan lutar 2 cm mitt på, ingenting vid västgaveln och 3 cm inåt vid östgaveln.</p>
Åtgärder och lagningar	Inga åtgärder har gjorts i den bärande konstruktionen, men taket har riktats upp på sydsidan i samband med en omläggning. Den södra takytans panel är av nyare typ medan den norra takytan har nyare panel ovanpå en äldre taktro.

-
- ¹ Enligt Kyrkobyggnader 1760-1860, s. 140 försågs kyrkan 1911 med ett tegeltak vilket byttes mot koppartak 1930. Är detta ett skrivfel? I ett brev från Landsantikvarie J E Anderbjörk vid Smålands museum i Växjö till Byggnadsavdelningen på RAÄ daterat den 16 juli 1956 står: "Det nuvarande taket utgöres av tegel, som synes vara bristfälligt och bör utbytas. Lämpligast är i så fall koppar." Tegeltaket från 1911 verkar därför ha legat kvar tills kopparplåten lades på 1957.
- ² Takkonstruktionen hade enligt restaureringskonsulten därmed avlastats med 50 ton.
- ³ Försedd med beteckningen UD 16/1955:2. Citaten från s. 4 och 5.
- ⁴ *Kyrkobyggnader 1760-1860: Del 2* (1993), s. 153.
- ⁵ Brev från pastorsämbetet till ÖIÄ 1913.
- ⁶ Besiktningensutlåtande. Avskrift, "undertecknad" Simon Brådhe, Stockholm den 27 januari 1923.
- ⁷ Skrivelse från Simon Brådhe, Stockholm 5 februari 1925, till Kungliga Byggnadsstyrelsen, Ang. Berga kyrka (dii 190/25).
- ⁸ Yttrande Kungliga Byggnadsstyrelsen, 25/7 1967.
- ⁹ *Kyrkobyggnader 1760-1860: Del 2* (1993), s. 200.
- ¹⁰ Skrivelse 1980-11-27 från Ingenjörfirman Pehrs & Co till arkitektfirman Regebo & Co "Ang. Hjortsberga kyrka".
- ¹¹ Tidningsurklipp Kronobergaren, Smålandsposten bland ATA:s material.
- ¹² Skrivelse daterad 81010, från Pehrs & Co till Riksantikvarieämbetet.
- ¹³ Meddelande till RAÄ 81-02-19.
- ¹⁴ Skrivelse från Riksantikvarieämbetet till Kyrkorådet i Hjortsberga församling 1981-03-19 Åke Nisbeth, Avd direktör och Kristin Tollstén, arkitekt.
- ¹⁵ Skrivelse från ark. Hans Lindén vid Länsarkitektkontoret i Växjö till Kungl. byggnadsstyrelsen. 17 februari 1949.
- ¹⁶ Det finns en ritning: "Förslag till restaurering av Ryssby kyrka, Kronobergs län den 27 juni och 7 okt 1947. Rev. 3/11 -49 Hans Lindén. Den 25/11 1949 Rejlers ingenjörbyrå AB.
- ¹⁷ *Kyrkobyggnader 1760-1860: Del 2*, sid. 307 rad 5 och sid 308 rad 6.
- ¹⁸ PM över reparation av Tingsås kyrka i Kronobergs län, undertecknat Paul Boberg i Växjö i juli 1928, sid 1.

APPENDIX 3: ETT SPECIALFALL AV HANBJÄLKENS PLACERING

Hanbjälken är normalt ett effektivt stöd för sparren och tar mycket kraft. Därmed blir *hävarmen för det mothållande momentet* liten och uttryckningskrafterna stora, se överst i fig. nedan.

För specialfallet att hanbjälken och sparren stödjer sparren *i samma punkt*, blir dock stödbenen den styvaste kraftvägen, se nederst i fig. nedan. Hanbjälken tar endast lite last, och uttryckningskrafterna blir små, trots att hanbjälken är lågt placerad.

