



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



ROBERT KLIGER

# Ytbärande, träbaserad takkonstruktion

R22: 1993

Krypning, beständighet och  
brottsäkerhet

R22:1993

YTBÄRANDE, TRÄBASERAD TAKKONSTRUKTION  
Krypning, beständighet och brottsäkerhet

Robert Kliger

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
900779-4 från Byggforskningsrådet till  
AB Ranaverken, Vara.

## REFERAT

Rapporten behandlar utveckling, provning och utvärdering av några takelement. Genom att utnyttja skivmaterial som tryck- och dragfläns i samverkan med träbalkar i livet ville man utveckla en förbättrad elementtyp för takkonstruktioner. Syftet var bl a att prova några elementet dels under kortidsbelastning och dels under långtidsbelastning

Sammanlagt tillverkades fem takelement. Som ingående material användes konstruktionsplywood i överfläns, massiva träbalkar i livet och tunn stålplåt i underfläns. För fyra element limmades plywood respektive stålplåt med polyuretanlim och för ett element användes endast spikförband.

Kortidsprovning av tre element visade att elementen uppfyllde kravet på bärförmåga med mångfaldig brottsäkerhet. Långtidsprovning av två element genomfördes under ett år i naturligt uteklimat, men under tak. Uppmätta deformationerna och töjningarna påverkades en hel del av varierande klimatet.

Nedböjningskriteriet i bruksgränstillståndet kommer att vara helt avgörande vid dimensionering av takelement. För "verkliga takelement" där överflänsen är utsatt för varierande fukt medan underflänsen ligger i mer eller mindre konstant klimat (inomhus) kommer snö- och fuktbelastning inte nödvändigtvis att leda till en ökad nedböjning. Under sommaren uttorkas den övre flänsen och detta resulterar i ökande nedböjningar, men endast med elementetsegentygd som yttre last.

**I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.**

**Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.**

**R22:1993**

**ISBN 91-540-5544-X**  
**Byggeforskningsrådet, Stockholm**

**gotab** 97908, Stockholm 1993

# INNEHÅLL

Sid

Förord

Beteckningar

1	INLEDNING	1
1.1	Allmänt	1
1.2	Bakgrund	2
1.3	Syfte	2
2	DIMENSIONERING- OCH BERÄKNINGSPRINCIPER	3
2.1	Allmänt	3
2.2	Fullständig samverkan	3
2.3	Ofullständig samverkan	5
2.4	“Normmässig” dimensionering av ytbärande kassettelement	9
2.4.1	Brottgränstillstånd	10
2.4.2	Bruksgränstillstånd	10
3	TILLVERKNING AV ELEMENT	13
3.1	Allmänt	13
3.2	Delmaterialets elastiska egenskaper	16
3.3	Förbandens elastiska egenskaper	16
4	KORTTIDSBELASTNING	23
4.1	Allmänt	
4.2	Belastningsanordning och mätutrustning	23
4.3	Resultat av korttidsprovning - jämförelse med beräknade värden	25
4.3.1	Element I med spiklimmat förband	26
4.3.2	Element II med spikat förband	28
4.3.3	Element V med spiklimmat förband	31
4.4	Sammanfattning av korttidsprovning	35
5	LÅNGTIDSFÖRSÖK	39
5.1	Allmänt	39
5.2	Belastningsanordning och försökets genomförande	39
5.3	Resultat av långtidsbelastning	42
5.4	Sammanfattning av långtidsförsök	48
6	PRODUKTIONSTEKNISKA ASPEKTER.	49

7. SLUTSATSER	51
8. REFERENSER	53
Bilaga A	
Materialegenskaper hos trävirke.	
Bilaga B	
Last-deformationssamband. Provning av förband. Resultat.	
Bilaga C	
Simulering av långtidsbelastning. Indata och resultat för element III.	
Bilaga D	
Anslutningsdetaljer.	

## Förord

I denna rapport redovisas utveckling av träbaserade ytbärande takelement, avsedda primärt för industribyggnader. Arbetet omfattar utformning, tillverkning, provning samt utvärdering av provningsresultaten. Provingarna omfattar dels korttidsprovning till brott dels långtidsprovning i ett naturligt varierande uteklimat. Parallellt med denna rapport har mera omfattande studier om ytbärande kassetelement redovisats i en publikation från Avdelningen för Stål- och Träbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola. Publikationen [1] ligger delvis till grund för de teoretiska beräkningarna.

Arbetet är finansierat med anslag från Byggforskningsrådet till AB Ranaverken, projektnr 900979-4, och är ett samarbetsprojekt mellan detta företag och CTH, Avdelningen för Stål- och Träbyggnad. Delar av försöket har planerats i samråd med tekn lic Carl-Johan Johansson (SP, Borås) som också har läst och kommenterat rapportmanuskriptet.

Jag vill tacka följande företag och personer för deras bidrag och hjälp under arbetets gång:

- Gazell AB för stålplåten,
- Roland Brodin på Nobel Industrier för polyuretanlim,
- Jan Gustavsson på Gunnebo för spik och lån av spikpistol,
- verkstadspersonalen på AB Ranaverken för entusiastiskt engagemang i projektet och framförallt Christer Svensson för omsorgsfull avläsning under långtidsförsöket,
- Professor Bo Edlund på Stål- och Träbyggnad för synpunkter och kommentarer till rapportmanuskriptet,
- Fru Ilona Slottenberg på Stål- och Träbyggnad för renritning av figurer,
- Håkan Ingvarsson, AB Ranaverken och Sten Tharing, Tharings Ingenjörbyrå för givande diskussioner,
- samt laboratoriepersonalen på Stål- och träbyggnad.

Dessutom vill jag tacka alla andra som hjälpt till vid projektets genomförande.

Göteborg i december 1992

Robert Kliger  
Tekn lic

## Beteckningar

A, B, C, D, E, F	konstanter redovisade i ekv 2.15
$A_i$	area i del i
$A_{liv}$	livets area
$B_{eff}$	effektiv plåtbredd
B, t, l	limfogens bredd, tjocklek och längd
$E_i$	elasticitetsmodul i del i
$E_P, E_A, E_B, E_C$	dimensionerande E-moduler för olika lasttyper enligt NR
$E_d, E_k$	dimensionerande resp. karakteristisk elasticitetsmodul
$EI_o$	summan av alla delelement böjstyvheter $E_i I_i$
$(EI)_x$	sektionens böjstyvhet
$(ES)_k$	statiska momentet av delar utanför snitt k
$\Delta F$	uppmätt lastökning i fogen
$F_{vd}, F_{vk}$	dimensionerande och karakteristiskt grundvärde på bärförmåga för en spik
G	livbalkens skjuvmodul, fogens skjuvmodul
K	förbandets förskjutningsmodul
L	elementets spännvidd
$M_i$	moment i del i
$M_B^{red}$	stödmoment reducerat m h t mittupplagets bredd
$N_i$	normalkraft i del i
$N_i'$	skjuvflöde i del i
$N_d, N_{cd}, N_{td}$	dimensioneringsvärde, normalkraft, utsatt för tryck resp. dragning,
P	yttre last
$Q_{TL}$	total jämnt utbredd last, summan av $Q_P, Q_A, Q_B$ och $Q_C$
$S_{ii}$	förskjutningsmodul per längdenhet mellan delarna ii
$S_s^{medel}$	medelförskjutningsmodul per längdenhet — spikförband
$S_l^{medel}$	medelförskjutningsmodul per längdenhet — limförband
T, V	tvärkraft
$\Delta T$	temperaturförändring
$a_1, a_2,$	konstanter redovisade i ekv 2.11
$b_i$	flänsbredd i del i
$b_{pl}$	flänsbredd (plåt)
$b_f$	fri flänsbredd
c	spikarnas centrumavstånd



$f_k$	karaktäristiskt grundvärde på hållfasthet
$f_{yk}$	plåtens sträckgräns
$g_{0,1,2}, h_{0,1,2}, \alpha_{1,2}, d_{1,2}$	konstanter redovisade i ekv 2.14
$h_f$	flänshöjd
$h_i$	tjocklek i del i
$t$	tid
$t_{eff}$	effektiv plåttjocklek
$t_f, t_w$	plåtens- resp. livbalkens tjocklek
$r_{ii}$	inbördesavstånd mellan delar ii
$n$	antal livbalkar, antal spikar per skär
$w_{tot}$	total nedböjning
$w_b$	nedböjning av moment
$w_v$	nedböjning av tvärkraft
$x$	koordinat i elementets längdriktning
$z$	koordinat i elementets höjdriktning
$z_{TP}$	tyngdpunktsavstånd definierat i fig 2.2

#### Grekiska beteckningar

$\alpha_L$	längdkoordinat ( $\alpha=0,25$ )
$\beta_f$	flänsens slankhet
$\Delta\delta$	ökning av förskjutningen i fogen
$\epsilon_i$	töjning i del i
$\epsilon_{cr}, \sigma_{cr}$	kritisk bucklingstöjning resp. spänning
$\Phi(t)$	relativ krypning
$\varphi_{sii}$	relativa förskjutningar mellan delarna ii
$\kappa_r, \gamma_m, \gamma_n$	partialkoefficienter enligt NR
$\lambda_{1,2}$	konstanter redovisade i ekv 2.13
$\lambda$	slankhetstal
$\sigma_{bi}$	böjspänning i del i
$\tau_k$	skjuvspänning i del i
$\omega_{ji}$	konstanter redovisade i ekv 2.9



## 1 INLEDNING

### 1.1 Allmänt

AB Ranaverken producerar takbalkar och stommar i stål, främst avsedda för industri- och kontorsbyggnader. De utför även montage och levererar "nyckelfärdiga" hus. Taken täcks oftast med bärande profilerad tunnplåt som ibland även utnyttjas för att stabilisera stommen. Den främsta anledningen till att ersätta mer traditionellt platsbyggda tak med ytbärande fabriksstillverkade takelement är tidsbesparingen vid montaget på byggsplats. Ytbärande takelement är ett bättre arbetsunderlag och är i allmänhet styvare än trapetsprofilerad plåt speciellt under montaget. Det är lättare att bygga taköverhäng och det kan vara fördelaktigt att bygga med större centrumavstånd för primärstommen för att spara på grundläggnings- och stomkostnader. Det finns andra takelement på marknaden som är baserade på trä- respektive lättbalk (av plåt) och som utnyttjar samverkan mellan ingående material. Dessa element är inte speciellt materialsnåla och elementhöjden bestäms ofta utgående från isoleringstjockleken.

De bärande delarna i ett takelement som utvecklades på Ranaverken var massiva träbalkar (alternativt kan limträ- eller fanérbalkar användas) i livet, plywood i den övre skivan samt plan tunnplåt i den nedre skivan, se fig 1.1. Full samverkan mellan ingående delmaterial är tillgodosedd med hjälp av ett två-komponent polyuretanlim.

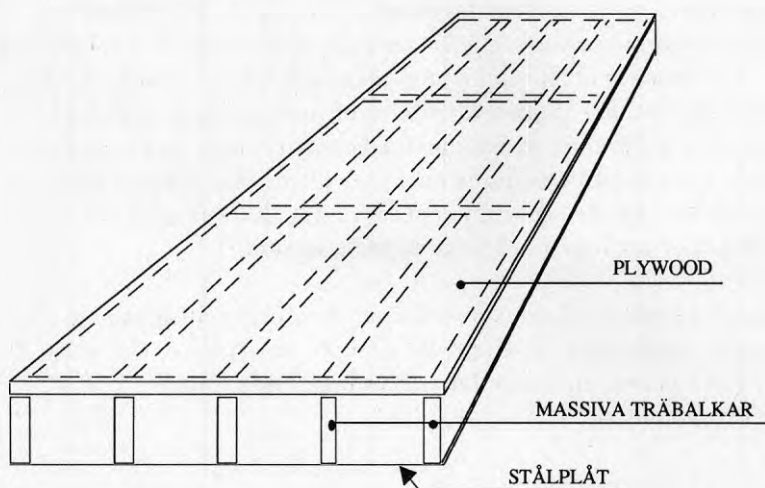


Fig. 1. Ytbärande takelement utvecklat av AB Ranaverken.

## 1.2 Bakgrund

I slutet på 70-talet tillverkade AB Ranaverken takelement i form av kassetter som bestod av massiva träbalkar/limträbalkar och skivmaterial i undre och övre flänsen. I dessa kassetter utnyttjades endast livbalkarna som bärande. Alltför hög kostnad för elementens utformning, där livbalkarna fungerade som åsar upplagda på primärstomme, samt diverse problem som till exempel skarvarna mellan elementen, ledde till att man aldrig började serietillverka dem. Mot denna bakgrund kommer man på AB Ranaverken att utveckla en förbättrad elementtyp. Genom att utnyttja skivmaterial som tryck- och dragfläns — dvs i ytbärande funktion — vill man satsa på materialsnåla och statistiskt sett effektivare konstruktioner än kassetter utan samverkan. Tak- och bjälklagskassetter sammansatta av trä, träbaserade material och även metall, gips- och cementbaserade skivor är exempel på ytbärande element där man låter delkomponenterna samverka med varandra.

## 1.3 Syfte

Syftet med kortidsförsöken var att utvärdera beteende, bärförmåga och deformationsutveckling hos några ytbärande takelement, där förbanden antingen var spiklimmade eller spikade. Om man av någon anledning skulle misslyckas med limningen, skulle endast spikförbandet svara för brott-säkerheten i ett takelement.

Syftet med långtidsförsöken var att studera långtidsdeformationerna hos ytbärande takelement vid en lastnivå motsvarande 10 respektive 20 % av beräknad brottlast. Detta motsvarar ungefär vanlig snölast i snözon 1 respektive snözon 2. Syftet var dessutom att ha elementen belastade under flera år för att studera deras beständighet. En djupare förståelse för beteendet, bl a under långtidsbelastning, hos ytbärande sammansatta konstruktioner uppbyggda av trä och träbaserade material tillsammans med mer idealt elastiskt material såsom stålplåt, är nödvändig för att kunna optimera det slutliga valet av delmaterial som kommer att ingå i det ytbärande elementet.

Produktionstekniska aspekter såsom tillverkning, montering, utformning av skarvar samt förankringsdetaljer, speciellt till primär stomme av stål, är en viktig del för AB Ranaverken, eftersom den måste ingå i den totala bedömningen av lönsamheten.

## 2 DIMENSIONERING- OCH BERÄKNINGSPRINCIPER

### 2.1 Allmänt

Konstruktionselement, som är sammansatta av olika material som sammanfogas på något sätt, fungerar — beroende på förbandets styvhet — mer eller mindre fullständigt som en enhet. Ett svetsförband kan anses ge fullständig samverkan mellan två delelement. Limförband anses oftast också ge fullständig samverkan. Vissa elastomeriska limtyper har emellertid en mycket låg skjuvmodul och kan därför inte anses ge fullständig samverkan. Dessa förband kan ge rörelser mellan två skikt som är av samma storleksordning som vid mekaniska förband såsom skruv- eller spikförband. Epoxilim eller två-komponent polyuretanlim anses vara limtyper som i princip ger full samverkan mellan material med skilda egenskaper.

Båda skivmaterialen (plywood och stålplåt) i övre respektive undre fläns är spiklimmade till balkarna i livet. Limmet är ett två-komponent polyuretanlim med goda krypnings och åldringsegenskaper [2]. Det är vidare önskvärt att kontrollera takelementets brottsäkerhet i ett tänkt fall (misslyckad limning), där endast spikarna överför skjuvkrafter mellan delarna. Härvid beaktas att svenskt byggnadsnorm NR 6:4213 [3] föreskriver att hänsyn skall tas till eftergivligheten i mekaniska förband.

I detta kapitel anges principer för dimensionering/kontrollberäkning av sammansatta tvärsnitt med fullständig eller ofullständig samverkan. Fullständig samverkan anses representera spiklimmat förband, medan ofullständig samverkan representerar förband med endast spikar.

### 2.2 Fullständig samverkan

För ett sammansatt tvärsnitt med fullständig samverkan mellan tvärsnittsdelar kan man beskriva balkens funktion med klassisk balkteori. Vid praktisk beräkning av sådant tvärsnitt kan man antingen vikta olika ingående material E-moduler eller utföra beräkning med ett transformerat tvärsnitt, där balkens bredder ändras så att en och samma E-modul kan användas för hela tvärsnittet, se fig. 2.1. Tvärsnittskonstanter som areor, tröghetsmoment och böjmotstånd beräknas för det transformerade tvärsnittet. Referensvärdet för E-modulen  $E=E_2$  används för hela tvärsnittet. Dimensioneringen görs på samma sätt som för en massiv och osymmetrisk balk med en konstant E-modul.

För att exemplifiera en beräkningsgång visas nedan gällande formler för

beräkning av en del av ett sammansatt ytbärande kassettelement, se fig 2.2, där de olika materialens E-moduler viktas.

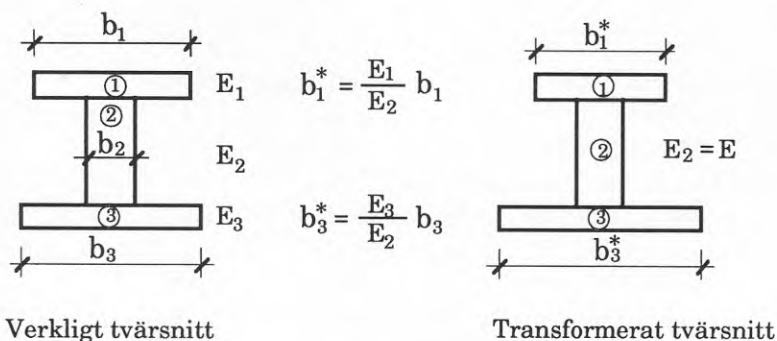


Fig 2.1 Transformerings av ett tvärsnitt

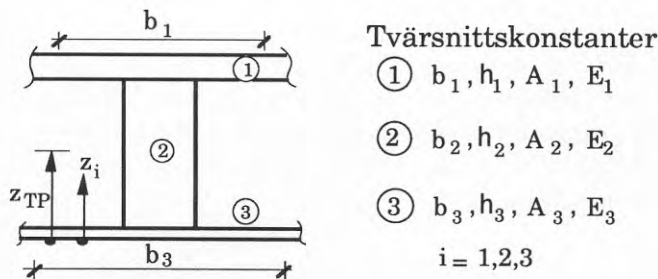


Fig 2.2 Tvärsektion av ett sammansatt element (mittleden)

Tyngdpunktsavstånd  $z_{TP}$

$$z_{TP} = \frac{\sum E_i A_i z_i}{\sum E_i A_i} \quad (2.1)$$

Sektionens böjstyvhet,  $(EI)_x$

$$(EI)_x = \sum E_i I_i + \sum E_i A_i (z_{TP} - z_i)^2 \quad (2.2)$$

Statiska momentet av delar utanför snitt k,  $(ES)_k$

$$(ES)_k = \sum_k E_i S_i \quad \text{där } S_i = A_i |z_{TP} - z_i| \quad (2.3)$$

### Påkänningarna i fläns och liv.

Böjspänning i del i

$$\sigma_{bi} = \frac{M E_i}{(EI)_x} (z_{TP} - z_i) \quad (2.4)$$

Skjuvspänning i snitt k

$$\tau_k = \frac{T (ES)_k}{(EI)_x b_k} \quad (2.5)$$

### Nedböjning av tvärsnittet belastad med jämnt utbredd last.

Nedböjning av moment

$$w_b = \frac{5 q L^4}{384 (EI)_x} \quad (2.6)$$

Nedböjning av tvärkraft vid jämnt utbredd last

$$w_v = \frac{M_x}{G A_{liv}} \quad (2.7)$$

Den totala nedböjningen vid full samverkan  $w_{tot}$  är summan av  $w_b$  och  $w_v$ .

### 2.3 Ofullständig samverkan

För sammansatta balkar eller delar av ytbärande kassetelement med ofullständig samverkan bör man ta hänsyn till glidning mellan tvärsnittsdelarna, se fig 2.3.

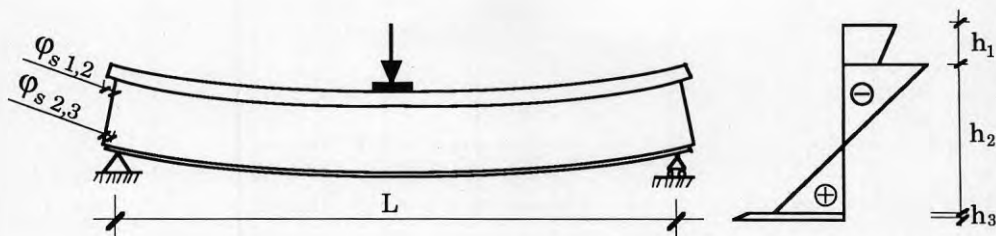


Fig 2.3 Glidning mellan delmaterial, ofullständig samverkan.

Glidning mellan delmaterialen brukar man beskriva med hjälp av förbandets förskjutningsmodul  $K$  (N/mm). Förskjutningsmodulen per längdenhet  $S$  (N/mm<sup>2</sup>) definieras som förskjutningsmodulen  $K$  dividerad med centrumavståndet  $s$  för spik (vid spikförband), se ekv 3.1, eller som förhållandet mellan skjuvspänningen gånger bredden i limfogen (skjuvflöde) och förskjutningen i limfogen (vid limförband), se ekv 3.2. Ett exempel på last-deformationsdiagram som representerar dels ett spikförband, dels ett limförband visas i kapitel 3.3. Förskjutningsmodulen bestäms vanligtvis för arbetskurvans elastiska del. Man tillåter sällan så stor deformation i ett förband att man hamnar utanför den elastiska delen.

I flera läroböcker, t ex Aune [4] eller Larsen/Riberholt [5], redovisas bakgrunden till teorin om ofullständig samverkan. Där härleds en styrande fjärdegrads differentialekvation som beskriver beteendet hos en sammansatt balk med hänsyn till glidning mellan deelementen. Differentialekvationen är uttryckt i balkens nedböjning  $w$  som funktion av en yttre last och böjande moment. Lösningar som är publicerade gäller vanligtvis för en fritt upplagd tvåskikts- eller en symmetrisk treskiktsbalk. För en osymmetrisk treskiktsbalk som har dels olika  $E$ -moduler i varje skikt, dels olika förskjutningsmoduler mellan skikten krävs en lösning för ett system av två differentialekvationer, som löstes av Norlin [6]. Härledning och lösning till ett par differentialekvationer för en osymmetrisk fritt upplagd treskiktsbalk, ekv 2.8, uttryckta som funktion av normalkraften  $N$ , finns grundligt redovisad av Kliger [1]. Definition av olika storheter som till exempel krafter och förskjutningar vilka förekommer i en tvärsektion med tre skikt visas i fig 2.4.

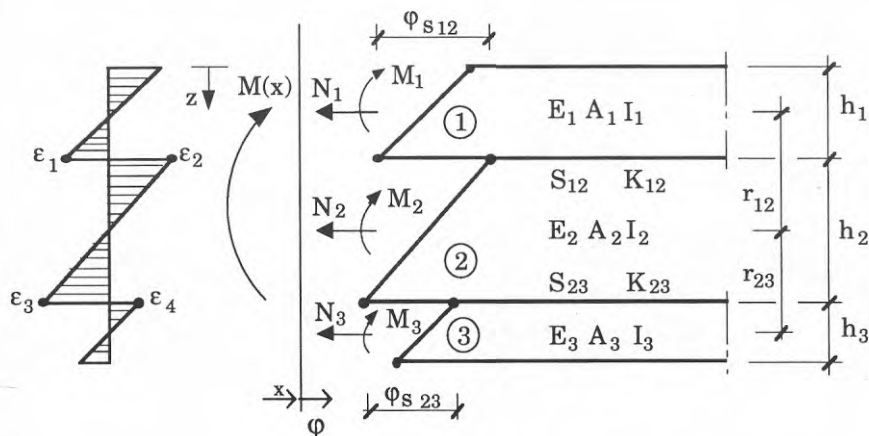


Fig 2.4 Krafter och förskjutningar i ett tvärsnitt som består av tre skikt.



$$N_1'' - \omega_{11} N_1 - \omega_{13} N_3 = \omega_{12} M$$

$$N_3'' - \omega_{31} N_1 - \omega_{33} N_3 = \omega_{23} M$$
(2.8)

konstanter  $\omega_{11}$ ,  $\omega_{13}$ ,  $\omega_{31}$ ,  $\omega_{33}$ ,  $\omega_{12}$  och  $\omega_{23}$  är redovisade i ekv 2.9. Numeriska värden för dessa konstanter beror på förskjutningsmodulerna per längdenhet  $S_{ij}$  för varje fog och  $r_{ij}$  som är inbördesavstånd mellan delement.  $EI_0$  är summan av alla delement böjstyvheter  $E_i I_i$ .

$$\left. \begin{aligned} \omega_{11} &= \frac{S_{12}}{E_1 A_1} + \frac{S_{12}}{E_2 A_2} + \frac{r_{12}^2 S_{12}}{EI_0} & \omega_{13} &= -\frac{S_{12} r_{12} r_{23}}{EI_0} + \frac{S_{12}}{E_2 A_2} \\ \omega_{31} &= -\frac{S_{23} r_{12} r_{23}}{EI_0} + \frac{S_{23}}{E_2 A_2} & \omega_{33} &= \frac{S_{23}}{E_2 A_2} + \frac{S_{23}}{E_3 A_3} + \frac{S_{23} r_{23}^2}{EI_0} \\ \omega_{12} &= \frac{S_{12} r_{12}}{EI_0} & \omega_{23} &= \frac{S_{23} r_{23}}{EI_0} \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Den sammansatta balkens nedböjning  $w(x)$  i snitt  $x$  blir

$$w(x) = w_0(x) + a_1 N_1 + a_3 N_3 \quad (2.10)$$

där  $w_0(x)$  är den totala nedböjningen vid full samverkan  $w_{tot}$  (ekv 2.6 och 2.7) och konstanterna  $a_1$  och  $a_3$  är

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{\omega_{33} r_{12} + \omega_{31} r_{23}}{\omega_{11} \omega_{33} - \omega_{13} \omega_{31}} \left( \frac{-1}{EI_0} \right) \\ a_3 &= \frac{\omega_{13} r_{12} + \omega_{11} r_{23}}{\omega_{11} \omega_{33} - \omega_{13} \omega_{31}} \left( \frac{1}{EI_0} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Här visas som ett exempel resultat (ekv 2.12-2.15) av en lösning av ekvationsystem (ekv 2.8) som gäller för jämnt utbredd last på fritt upplagd balk.

$$N_{1(x)} = A \cosh \sqrt{\lambda_2} x + B \sinh \sqrt{\lambda_1} x + C \cosh \sqrt{\lambda_2} x + D \sinh \sqrt{\lambda_2} x + g_0 + g_1 x + g_2 x^2$$

$$N_{3(x)} = A d_1 \cosh \sqrt{\lambda_1} x + B d_1 \sinh \sqrt{\lambda_1} x + C d_2 \cosh \sqrt{\lambda_2} x + D d_2 \sinh \sqrt{\lambda_2} x + h_0 + h_1 x + h_2 x^2$$
(2.12)

$$\lambda_{1,2} = \frac{\omega_{11} + \omega_{33}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\omega_{11} + \omega_{33}}{2}\right)^2 - \omega_{11} \omega_{33} + \omega_{13} \omega_{31}} \quad (2.13)$$

$$\left. \begin{aligned}
 g_1 &= \frac{\omega_{33} \omega_{12} - \omega_{13} \omega_{23}}{\omega_{13} \omega_{31} - \omega_{11} \omega_{33}} \frac{qL}{2} & h_1 &= \frac{\omega_{11} \omega_{23} - \omega_{31} \omega_{12}}{\omega_{13} \omega_{31} - \omega_{11} \omega_{33}} \frac{qL}{2} \\
 g_2 &= \frac{\omega_{13} \omega_{23} - \omega_{33} \omega_{12}}{\omega_{13} \omega_{31} - \omega_{11} \omega_{33}} \frac{q}{2} & h_2 &= \frac{\omega_{31} \omega_{12} - \omega_{11} \omega_{23}}{\omega_{13} \omega_{31} - \omega_{11} \omega_{33}} \frac{q}{2} \\
 g_0 &= \frac{(\omega_{33}^2 + \omega_{13} \omega_{31}) \omega_{12} - (\omega_{11} \omega_{13} + \omega_{13} \omega_{33}) \omega_{23}}{(\omega_{13} \omega_{31} - \omega_{11} \omega_{33})^2} q \\
 h_0 &= \frac{(\omega_{13} \omega_{31} + \omega_{11}^2) \omega_{23} - (\omega_{11} \omega_{31} + \omega_{31} + \omega_{33}) \omega_{12}}{(\omega_{13} \omega_{31} - \omega_{11} \omega_{33})^2} q
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 d_1 &= \frac{\lambda_1 - \omega_{11}}{\omega_{13}} & d_2 &= \frac{\lambda_2 - \omega_{11}}{\omega_{13}} \\
 \alpha_1 &= \frac{\sqrt{\lambda_1} L}{2} & \alpha_2 &= \frac{\sqrt{\lambda_2} L}{2}
 \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{aligned}
 B &= \frac{E \cdot d_2 \cdot F}{(d_1 - d_2) \sqrt{\lambda_1} \cosh \alpha_1} & A &= \frac{d_2 g_0 - h_0}{d_1 - d_2} \\
 D &= \frac{E d_1 \cdot F}{(d_2 - d_1) \sqrt{\lambda_2} \cosh \alpha_2} & C &= \frac{d_1 g_0 - h_0}{d_2 - d_1} \\
 E &= g_1 + g_2 L + A \sqrt{\lambda_1} \sinh \alpha_1 + C \sqrt{\lambda_2} \sinh \alpha_2 \\
 F &= h_1 + h_2 L + A d_1 \sqrt{\lambda_1} \sinh \alpha_1 + C d_2 \sqrt{\lambda_2} \sinh \alpha_2
 \end{aligned} \right\} (2.15)$$

och ekv 2.16 som är första derivatan av  $N(x)$  och representerar skjuvflöde i varje fog.

$$\begin{aligned}
 N'_{1(x)} &= A \sqrt{\lambda_1} \sinh \sqrt{\lambda_1} x + B \sqrt{\lambda_1} \cosh \sqrt{\lambda_1} x + C \sqrt{\lambda_2} \sinh \sqrt{\lambda_2} x + \\
 &\quad + D \sqrt{\lambda_2} \cosh \sqrt{\lambda_2} x + g_1 + 2g_2 x \\
 N'_{3(x)} &= A d_1 \sqrt{\lambda_1} \sinh \sqrt{\lambda_1} x + B d_1 \sqrt{\lambda_1} \cosh \sqrt{\lambda_1} x + C d_2 \sqrt{\lambda_2} \sinh \sqrt{\lambda_2} x + \\
 &\quad + D d_2 \sqrt{\lambda_2} \cosh \sqrt{\lambda_2} x + h_1 + 2h_2 x
 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Skjuvflödet  $N'_{(x)}$  mellan delementen antas vara konstant på en sträcka som motsvarar spikarnas centrumavstånd. Förutsättningen är att spikens centrumavstånd inte är för stort. I verkligheten koncentreras dock skjuvflöde till varje spik. Principiell jämförelse mellan skjuvflöde vid fullständig resp. ofullständig samverkan visas som ett exempel för en fritt upplagd balk belastad med en jämnt utbredd last, se fig 2.5.

Moment i varje delement beräknas enligt ekv 2.17.

$$\left. \begin{aligned}
 M_1 &= \frac{E_1 I_1}{EI_o} (M + N_1 r_{12} - N_3 r_{23}) \\
 M_2 &= \frac{E_2 I_2}{EI_o} (M + N_1 r_{12} - N_3 r_{23}) \\
 M_3 &= \frac{E_3 I_3}{EI_o} (M + N_1 r_{12} - N_3 r_{23})
 \end{aligned} \right\} (2.17)$$

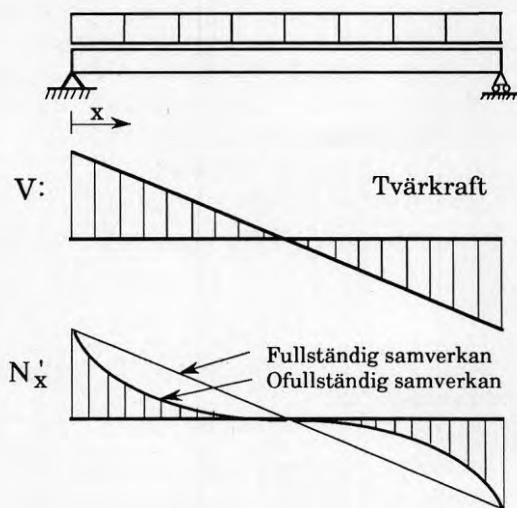


Fig 2.5 Skjuvflöde  $N'_{(x)}$  i fogen, principdiagram.

Om man använder dator med samtliga förprogrammerade ekvationer blir beräkningen för en sammansatt balk med ofullständig samverkan mycket enkel. För andra lasttyper på en fritt upplagd balk som t ex punktlast i mitten eller två punktlaster, ges härledning av motsvarande formler enligt ovan av Kliger [1].

## 2.4 "Normmässig" dimensionering av ytbärande kassetelement

Normalspänningarna är inte jämnt fördelade över flänsbredden utan avtar med avståndet från livbalkarna. Orsaken är skjuvdeformationer i flänsarna och buckling vid tunna flänsar. I Handboken Bygg [7] K28:33 står approximativa formler för reduktion av medverkande bredden för alla skivmaterial med hänsyn till skjuvdeformationer och buckling av den tryckta flänsen. Den fria flänsbredden  $b_f$  för t ex K-plywood med ytfanér i elementens längdriktning reduceras till det minsta värdet av  $0,14L$  (med hänsyn till skjuvdeformation) eller  $25h_f$  (med hänsyn till buckling av den tryckta flänsen).  $L$  betecknar fri spännvidd vid fri uppläggning och  $h_f$  betecknar flänsens tjocklek. Om den fria bredden mellan livbalkarna är större än den dubbla reducerade bredden  $2b_f$  med hänsyn till buckling måste den kritiska bucklingsspänningen kontrolleras särskilt.

### 2.4.1 Brottgränstillstånd

För ett spiklimmat tvärsnitt beräknas påkänningarna i tvärsnittet vid fullständig samverkan med hänsyn till delarnas olika E-modul enligt kap 2.2. Påkänningarna i fläns och liv beräknas enligt ekvationerna 2.4 och 2.5 för både permanent last och för variabel last och skall vara mindre än motsvarande dimensionerande hållfasthetsvärden  $f_d$  i ekv 2.18 enligt Nybyggnadsreglerna, NR, [3]:

$$f_d = \frac{\kappa_r f_k}{\gamma_m \gamma_n} \quad (2.18)$$

där  $f_k$ ,  $\kappa_r$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_n$  är beteckningarna enligt NR.

Vid en beräkning med ofullständig samverkan, t ex för ett spikat tvärsnitt, bestämmer man dimensionerande lasteffekt i form av dimensionerande normalkrafter och moment för varje delement enligt t ex ekvationerna 2.12-2.17 för aktuella lasttyper och lastkombinationer. För de böjda och tryckta eller böjda och dragna delementen gäller i brottgränstillståndet ekv 2.19.

$$\frac{N_i}{N_d} + \frac{M_i}{M_d} \leq 1 \quad (2.19)$$

där  $i = 1, 2$  eller  $3$  motsvarar tre olika delement,  
 $N_d = N_{cd}$  eller  $N_{td}$  beror på om delement är utsatt för tryck eller dragning,

Om det föreligger risk för knäckning eller vippning skall beräkning genomföras enligt NR [3] och resultaten beaktas i ekv 2.19.

Skjuvflöde  $N'_{(x)}$  i respektive fog skall beräknas enligt ekv 2.16 för att bestämma den dimensionerande lasteffekten för den mest belastade spiken som skall vara mindre än motsvarande bärförmåga för spiken  $F_{vd}$  enligt t.ex ekv 2.20.

$$F_{\max} = N'_{\max} \leq F_{vd} \quad \text{där } F_{vd} = \frac{F_{vk} \kappa_r}{\gamma_m \gamma_n} \quad (2.20)$$

där  $c$  är spikarnas centrumavstånd och  
 $F_{vd}$ ,  $F_{vk}$ ,  $\kappa_r$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_n$  är beteckningarna enligt NR.

### 2.4.2 Bruksgränstillstånd

I bruksgränstillståndet skall man kontrollera att konstruktionen uppfyller

Nybyggnadsreglernas funktionskrav och vedertagen praxis för god funktion. Den totala nedböjning  $w_{\text{tot}}$  beräknas som summan av nedböjningen orsakad av moment (ekv 2.6) och nedböjningen orsakad av tvärkraft (2.7). Härvid antas full samverkan mellan tvärsnittets olika delar. Nedböjningen får inte överstiga maximalt "tillåtna värden" eller krav för god byggnadspraxis, t ex  $L/150$  vid enbart vanlig snölast.

Vid ofullständig samverkan bestäms nedböjningen orsakad av momentet enligt ekv 2.10 som tar hänsyn till förskjutningar i fogarna.

För att underlätta beräkningarna av nedböjningar vid många olika lasttyper P, A, B eller C enligt NR, kan det vara lämpligt enligt t ex Norlin [6], att använda en viktad dimensionerande  $E_d$ -modul till exempel:

$$E_d = \frac{Q_P}{Q_{TL}} E_P + \frac{Q_A}{Q_{TL}} E_A + \frac{Q_B}{Q_{TL}} E_B + \frac{Q_C}{Q_{TL}} E_C \quad (2.21)$$

där  $Q_{TL}$  är total last =  $Q_P + Q_A + Q_B + Q_C$

$Q_P$ ,  $Q_A$ ,  $Q_B$  och  $Q_C$  är jämnt utbredda laster för olika lasttyper,  
 $E_P$ ,  $E_A$ ,  $E_B$  och  $E_C$  är dimensionerande E-moduler för olika lasttyper enligt NR.



### 3 TILLVERKNING AV ELEMENT

#### 3.1 Allmänt

Samtliga element tillverkades på AB Ranaverken i Tråvad. Syftet med tillverkning av takelement på Ranaverken var att studera de problem som kan förekomma vid en manuell tillverkning av träbaserade element, där både spikpistol och 2-komponent polyuretanlim används.

Sammanlagt tillverkades fem takelement, se sammanställning i tabell 3.1. De 6,2 meter långa elementen med spiklimmade förband användes dels vid korttidsförsök, dels vid långtidsförsök. Ett 6,2 meter långt element med endast spikat förband samt ett 10 meter långt element med spiklimmat förband användes enbart vid korttidsförsöken.

Tabell 3.1. Elementdata.

Nr.	Längd (m)	Förbandstyp	Livbalkar nr. (a, b, c)*	Medel E- modul (MPa)	Belastningstyp
I	6,2	spiklimmat	5, 8, 13	13750	korttid
II	6,2	spikat	2, 6, 14	14900	korttid
III	6,2	spiklimmat	11, 10, 12	10620	långtid
IV	6,2	spiklimmat	3, 1, 9	12560	långtid
V	10,0	spiklimmat	16, 17, 15	14500	korttid

\* Bokstäverna motsvarar varje livbalksnummer och visar balkarnas placering i varje element, se figurer 3.1 och 3.2.

Fingerskarvade träbalkar som användes som längsgående livbalkar köptes hyvlade i dimension 45 x 170 mm<sup>2</sup>, kvalitet K24. Dessa balkar numrerades med löpande nummer från 1 till 19 och deras korttidselasticitetsmodul (E-modul) uppmättes. Syftet med mätningarna av E-modulen var att placera balkar med "samma" styvhet i samma element samt att använda dessa E-modulers medelvärden som indata vid de teoretiska beräkningar av last-deformationssambanden.

Balkarna spikades ihop med kortlingar till ramar enligt fig. 3.1 och 3.2 med 2 st räfflade spik 3,1 x 75 i varje kortlingsände. De längsgående balkarna placerades så att de skulle belastas i samma riktning som vid bestämning av E-modulen.

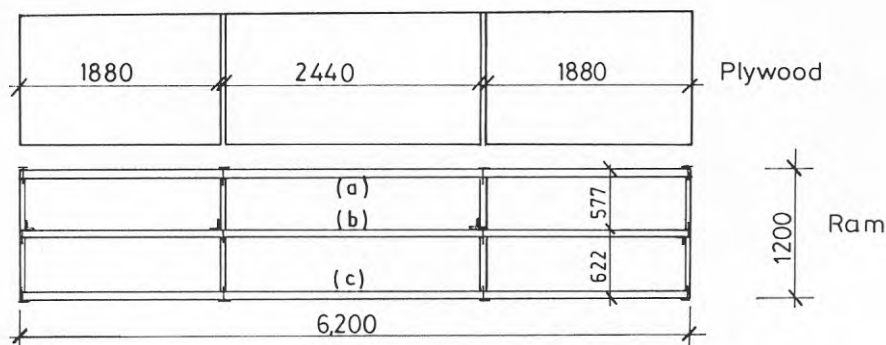


Fig. 3.1 Placering av längsgående balkar och kortlingar i ramar samt placering av plywoodskivorna, element I - IV.

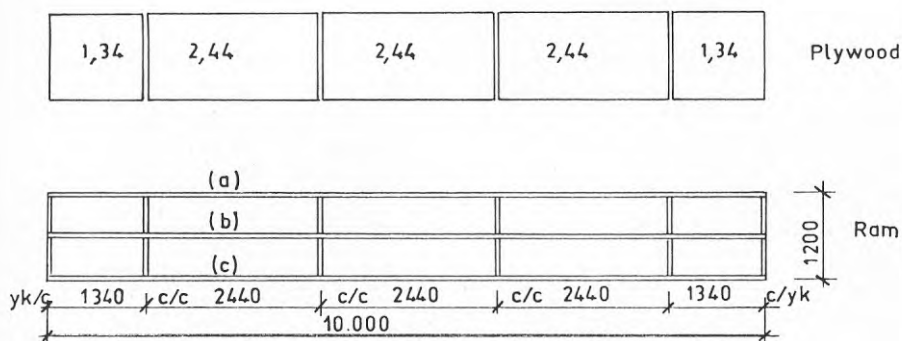


Fig. 3.2 Placering av längsgående balkar och kortlingar i ramar samt placering av plywoodskivorna, element V.

Alla element tillverkades ovanpå fyra bockar som placerades med två meters inbördes avstånd. Ramen, som var vek utan skivor, placerades upp och ner på bockarna. Den tunna stålplåten (tjocklek 0,6 mm) monterades först ovanpå träramen. Två-komponent polyuretanlim (Foss Than 2K 1819 + härdare 956) blandades i förhållande 5:1 (viktandelar) i sådan mängd att det räckte att limma två plåtar till två träramar. En limpistol med en munstycke som gav en limsträng på ungefär 10 mm diameter användes för att sprida lim på varje balks kantyta. Ingen yterliggare bearbetning av balkarnas hyvlade kantytor gjordes före limning. Plåten lades oskarvad med en "primad" yta (tvättad och torr) ovanpå ramen som var täckt av lim. Plåten spikades till ramen med kamgångade spikar 2,0 x 35 cc 60. Den täta spikningen var nödvändig för att åstadkomma en kontinuerlig fixering mellan limmade ytor (benämning



spiklimning). Spikpistol användes till all spikning. Vid samma tidpunkt tillverkades några små provkroppar med samma limblandning som användes till elementtillverkning, se fig 3.3. Dessa små provkroppar användes till förbandsprovning. Plywoodskivorna (P30) med tjockleken 12,2 mm spiklimmades på samma sätt som plåten till andra sidan ramen. Här användes samma spiktyp som tidigare, men centrumavståndet var 100 mm.

Limmet blandades i sammanlagt fyra omgångar för att tillverka fyra element; två omgångar till förband plåt/trä och två omgångar till förband plywood/trä. Vid varje limblandning tillverkades minst sex små provkroppar av varje sort. Även för elementet med endast spikade förband användes samma spiktyp och samma centrumavstånd som för de spiklimmade elementen. Sex små provkroppar av varje typ tillverkades med endast spikade förband.

### 3.2 Delmaterialets elastiska egenskaper

Samtliga balkars E-modul uppmättes innan de spiklimmades i ett element enligt ovan. Mätningen utfördes med hjälp av viktkorgar och ett ok med en mätklocka. Balkarna placerades på högkant ovanpå två bockar med inbördes avstånd på 6 meter (den fria spännvidden var 6 meter). Balkarna var stagade mot vippning på fyra ställen: över upplagen och ungefär i en tredjedel av spännvidden. Stagningen över upplagen var en vanlig gaffellagring (två vinkeljärn svetsade till upplagsbocken). Stagning i fältet utfördes med två vertikala rör med teflon på mot balksidan. Rören stod fast vid golvet och stagade träbalkarna så att de kunde röra sig fritt i vertikalplanet.

Balkar med 6 meters spännvidd belastades med två korgar i tredjedelspunkten. Krökningen mättes över mittdelen på balken med ett meter långt ok som placerades på ovasidan. Mätningen noterades för tre olika laster. Dessa laster gav konstant böjspänning i balkens mittdel motsvarande 1,5, 3,4 och 5,3 MPa.

E-modulens medelvärde beräknades för varje balk. Balkar med längden 10 meter mättes på motsvarande sätt. Spännvidden för dessa balkar var 8 meter, böjspänningen i balkens mittdel motsvarade 2,2, 5,1 och 8 MPa och krökningen registrerades över samma mittområde som för de kortare balkarna (6 meter).

För samtliga balkar uppmättes medelvärde för tvärsnittet (BxH), längden, fuktkvoten och formfel som kantkrokighet, skevhet och flatbøj. Dessutom noterades förekomsten av synliga sprickor, tjurved samt placeringen av fingerskarvar längs samtliga balkar. Vid provbelastning till brott kan dessa defekter ha en avgörande betydelse för brottmönstret för hela elementet.

Sammanställning av mätningar på samtliga träbalkar redovisas i bilaga A. I tabell 3.1 visas en förteckning över de träbalkar som ingår i varje element och deras E-modulsmedelvärde för varje element.

Balkarna nr 4 och 7 hade den lägsta E-modulen och den största uppmätta skevheten. Dessutom hade balk 7 hög andel tjurved. Därför valdes att såga dessa balkar samt balk 18 till kortlingar. Sammanlagt 44 kortlingsbitar 532 mm långa behövdes för att staga livbalkar, förstärka elementen över upplagen samt som underlag för skarvning av plywoodskivor som används i den tryckta flänsen.

Plywoodskivorna (konstruktionsplywood av gran) var 12,2 mm tjocka med mått 1200 x 2440 mm<sup>2</sup> uppbyggda av 5-skikt fanér och av kvalitet P30. E-modulen vid tryckbelastning har antagits som 12000 MPa enligt skivtillverkaren.

Stålplåt 0,6 mm tjock tillverkades av Ahlsells (numera Gazell) fabrik i Anderslöv och levererades i rullat format. Kvalitet var SS 1412, båda sidor var alkydlackade, och den sidan på plåten som hade en matt kulör var avfettad. Ytbehandling var samma som den Ahlsell tillämpar för en annan kund som använder plåten till sandwichkonstruktion av industriportar som sammanfogas med polyuretanlim.

### 3.3 Förbandens elastiska egenskaper

Ett förband har en avgörande betydelse för hur en sammansatt konstruktion uppför sig. För två material som limmas ihop anses att limmet bör ha en skjuvmodul som ligger mellan de sammanfogade materialens skjuvmoduler. Detta innebär att man vid tillverkningen av provelementen borde använda en limtyp för fogen stål-trä och en annan för fogen trä-plywood. Från praktisk synpunkt valdes samma lim till båda fogarna. Trä och plywood uppvisar ungefär samma rörelse orsakade av fukt- och temperaturvariationer. Även om polyuretanlimmet är styvare än trä, kommer fogen mellan trä och plywood att ha mycket goda hållfasthets- och styvhetsegenskaper. Viktigt vid limningen är att ytorna är rena och att träbaserade material inte har en högre fuktkvot än 16%. Är fuktkvoten högre sjunker foghållfastheten drastiskt på grund av att luftblåsor bildas vid reaktion mellan limmet och det vatten som finns i virket. Det använda trävirket och plywooden hade en fuktkvot på max 16% enligt mätningar utförda med en elektrisk fuktmätare, se bilaga A.

För att kunna teoretiskt utvärdera samverkan mellan delmaterialen i ett provelement behöver man data för en förskjutningsmodul per längdenhet som

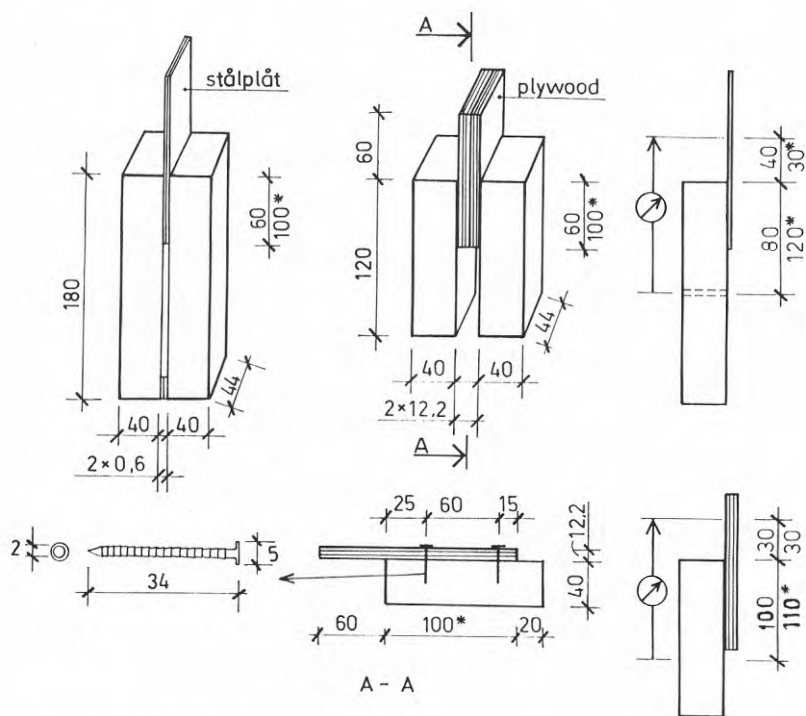
beskriver fogens styvhet och deformationsegenskaper.

Fogarnas hållfasthets- och deformationsegenskaper bestämdes genom korttidsbelastning till brott. Sammanlagt tillverkades minst sex prover som representerade fogar mellan stål och trä resp. mellan trä och plywood. Båda materialkombinationerna var representerade av två förbandstyper dvs limförband med två-komponent polyuretanlim och spikförband med kamgängade spikar 2,0 x 34 (beteckning N55 2,03 x 35 RC) av en speciell typ som har en limfilm runt hela spiken. När en sådan spik slås in i träet med hjälp av en spikpistol, utvecklas värme av rörelseenergin som i sin tur smälter limmet kring spiken. Denna typ av spik får en bättre förankrings-hållfasthet i trä än en mer konventionell typ.

Samtliga små provkroppar tillverkades vid samma tillfälle som elementen. Virket till provkropparna var sågat från kortlingar. Träbitar, 40 mm höga togs från både kortlingens över- och underkant. Plåten respektive plywooden limmades mot den yta på träbiten som var balkens ursprungliga under- respektive överkantsyta. Både limblandning och inställning av spikpistolen var samma för både elementen och för de små förbandsproverna. Alla små förbandsprover låg ca ett år i ett konditioneringsrum med konstant klimat (21°C, 65 % RH) innan provningen genomfördes. Båda fogtyperna provades så att två provkroppar av samma typ sattes ihop till ett symmetriskt prov, se fig. 3.3. Fogen mellan trä och plåt utsattes för dragskjuvning, medan fogen mellan trä och plywood utsattes för tryckskjuvning. Längden för spiklimmad respektive spikad yta var 60 mm respektive 100 mm, se fig 3.3. Fogarnas tjocklek i förbandsproverna varierade mellan 0,1 och 2 mm. Spikarnas placering, dvs de centrumavstånd och kantavstånd, som gäller för såväl förbandet trä/plåt som för förbandet trä/plywood, framgår av sektion A-A, i fig 3.3. Deformationerna mättes med två digitala klockor som registrerade de relativa förskjutningarna mellan delmaterialen på varje sida av provkroppen, se fig 3.4. Vid sådan utformning av provkropparna får man en viss inverkan av drag- respektive tryckspänningar i fogarna speciellt vid högre spänningsnivå [8]. I dessa försök var man framför allt intresserad av förskjutningsmodulen vid låg spänningsnivå, medan brottlastvärden vid den ögynnsamma belastningen var av sekundärt intresse.

Resultat av last-deformationssamband som ritades med x-y - skrivaren under provningen visas i Bilaga B. Provningstiden per prov varierade mellan 40 och 90 sekunder (spik-/limförband). Förskjutningsmodulen för limförband med polyuretan var lägre än motsvarande värden beräknade från figur 3.5 publicerade av Wernersson [9], där limfogar mättes mera exakt på mycket mindre provkroppar. Observera att för skjuvspänning under 1 MPa (fig 3.5)

förekommer i princip ingen förskjutning i limfogen även för en komponent polyuretanlim. För proven enligt fig. 3.3 uppmättes däremot förskjutningar även för laster som motsvarar lägre skjuvspänning än 1 MPa. Anledningen härtill var att den relativa förskjutningen till en del berodde på att delmaterialen som deformerades elastiskt, eftersom mätning görs över längre sträcka, se fig 3.4. Jämför även Bilaga B. Förlängning av plåten respektive förkortning av plywooden på en sträcka av 40 mm vid en skjuvspänning på 1 MPa i fogen motsvarar ca 0,02 mm respektive 0,03 mm. Vid beräkningar av förskjutningsmodulen per längdenhet, tabell 3.2, korrigerades samtliga värden för elastisk deformation av delmaterialen.

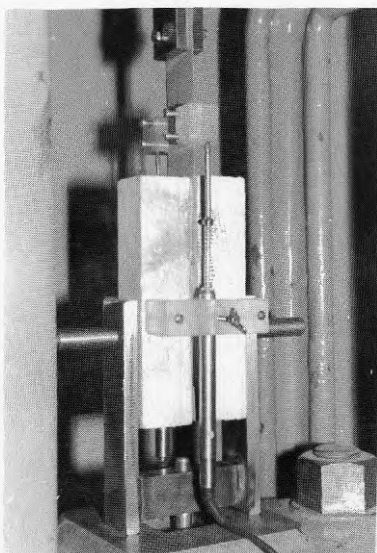


\* mått gäller enbart spikförband

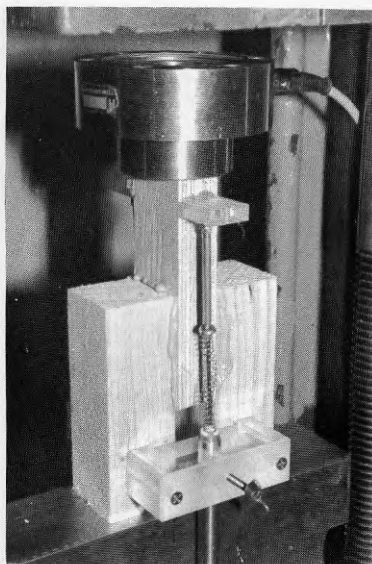
Fig. 3.3 Utformning av förbandsprover, kamgängad spik N55 dim 2,03 x 35.

Limförband mellan trä och plywood gick alltid till brott i plywooden, i skiktet mellan två fanér med skilda huvudriktningar, medan för limförband mellan trä och plåt brott alltid erhöles mellan lack- och zinkskikt. Plåtens lack var den svagaste länken i ett limförband med trä. Detta stämmer mycket väl överens med resultat av Dolk och Jansson [2] som redovisar accelererad långtidsprovning av fogar med polyuretanlim mellan trämaterial och

stålkomponenter. De har dragit slutsatserna att vid 100 % RF klarar tvåkomponent polyuretanfog skjuvspänningar motsvarande 0,8 MPa i mer än ca 8000 timmar vid 50°C. Våt lack orsakade den lägsta brottlasten. Varmförzinkad plåtyta borde föredras framför lackad yta speciellt när fukt eller vatten kan förekomma. Vid hög temperatur (över 50°C) och våt yta resulterade även zinkoxidskikt i låga brottspänningar.



a. Förband trä/plåt (drag)



b. Förband trä/plywood (tryck)

Fig 3.4 Provning genom drag- resp tryckskjuvning

Dolk och Jansson [2] redovisar för brotthållfastheter mellan 4,3 och 6,5 MPa vid 20°C för polyuretanlim 1819/1821, medan för prover genomförda på CTH var brotthållfastheten mellan 1,8 och 2,6 MPa, vid 20°C. Dragspänningar vinkelrätt fogen och mycket större provkroppar som har avvikit från standardutförandet har orsakat de mycket lägre brottspänningarna. De skjuvspänningar som maximalt kan förekomma i limfogar i takelement är dock ganska små och motsvarar 0,7 MPa vid maximal snölast.

Brotthållfastheten för limförband mellan trä och 12,2 mm K-plywood varierade mellan 4,0 och 5,0 MPa.

Brottlasten för spikförbandet mellan trä och plywood kan approximativt antas till spikens utdragshållfasthet, eftersom skjuvkrafterna i förbandet efter hand

som tvärbelastningen ökar övergår till dragkrafter i spiken, se fig 3.6. I de flesta försöken har spiken blivit urdragen ur träet medan i ett försök har spikens huvud genomstansat 12,2 mm tjock plywoodskiva. Brottlasten per spik varierade mellan 1,3 och 1,4 kN.

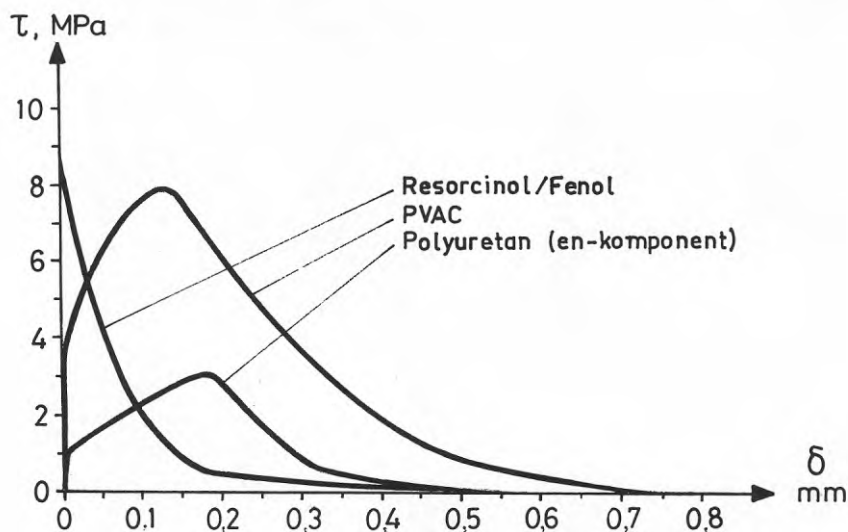


Fig 3.5 Spänning- förskjutningsdiagram för tre olika limtyper (fog mellan trämaterial). Efter Wernersson [9].

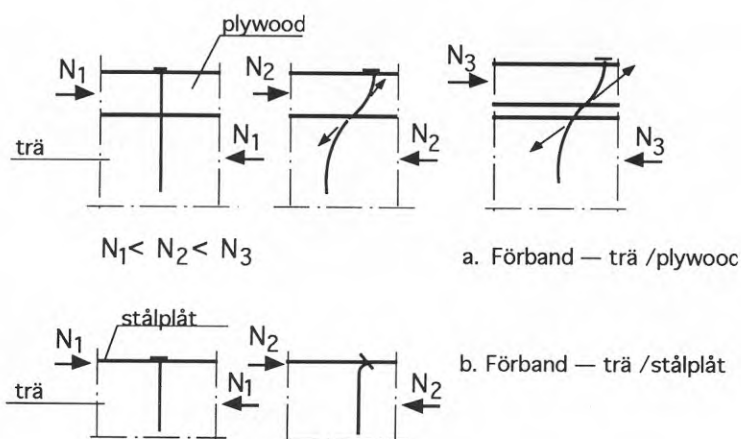


Fig 3.6 Tvärbelastning av spikförband.

Det karakteristiska grundvärdet för bärförmågan vid tvärkraftsbelastning av en räfflad spik per skär anges enligt NR [3] som:

$$F_{vk}^1 = 160 \cdot \emptyset^{1.7} = 160 \cdot 2,03^{1.7} = 533 \text{ N} \quad (\text{trä/plywood})$$

$$F_{vk}^2 = F_{vk}^1 \cdot 1,25 = 666 \text{ N} \quad (\text{trä/plåt})$$

Brottlasten för spikförbandet mellan trä och plåt begränsas oftast av plåtens hållkantryck. Endast i ett fall erhöles skjuvbrott för en spik (spiken blev avskuren nedanför spikens huvud). Varje provat förband bestod av två spikar, se fig 3.3. I några fall satt en spik för nära kanten på träet; kantavstånd ca 14 mm. Detta var den primära orsaken till lite för låga brottvärden per spik om man jämför med spikförband mellan trä och plywood som förväntas ha lägre värden än förband mellan plåt och trä. Brottlasten per spik varierade mellan 1,3 och 1,5 kN.

Sammanfattning av samtliga uppmätta förskjutningsmoduler per längdenhet redovisas i tabell 3.2.

Tabell 3.2. Förskjutningsmoduler per längdenhet  $S$  (N/mm<sup>2</sup>).

Förbands- typ	Provnings- metod	Delmaterial	Korrektion (mm) pga deform i delmater.	$S^{\text{medel}}$ (N/mm <sup>2</sup> )
Lim	trycksjuvning	trä/plywood	0,066	<b>740</b>
Lim	dragsjuvning	trä/plåt	0,032	<b>170</b>
Spik	trycksjuvning	trä/plywood	0,017	<b>7</b>
Spik	dragsjuvning	trä/plåt	0,017	<b>14</b>

Förskjutningsmodulen per längdenhet,  $S_s^{\text{medel}}$ , för spikförbandet beräknades med spikarnas centrumavstånd  $c = 60$  mm enligt ekv 3.1.

$$S_s^{\text{medel}} = \frac{\Delta F}{\Delta \delta \cdot n \cdot c} \quad (3.1)$$

där

$\Delta \delta$  är ökning av förskjutningen i fogen uppmätt vid lastökning  $\Delta F$ ,  
 $n$  är antal spikar/skär i fogen och  $c$  är spikarnas centrumavstånd.

Förskjutningsmodulen per längdenhet,  $S_l^{\text{medel}}$ , för limförbandet beräknas enligt ekv 3.2.

$$\sigma_l^{\text{medel}} = G \cdot \frac{B}{t} = \frac{\tau t}{\delta} \cdot \frac{B}{t} = \frac{\Delta F}{\Delta \delta \cdot 2 \cdot l} \quad (3.2)$$

där  $\Delta \delta$  och  $\Delta F$  enligt ovan,  
  $G$  är fogens skjuvmodul,  
  $\tau$  är skjuvspänningen i fogen,  
  $l$ ,  $B$  och  $t$  är limfogens längd, bredd och tjocklek.



## 4 KORTTIDSBELASTNING

### 4.1 Allmänt

Avsikten med korttidsförsöken har varit att *dels* jämföra takelementens last-deformationssamband i teori och verklighet, *dels* utvärdera takelementets beteende under belastning. Tre element provbelastades till brott på CTH, laboratoriet vid Inst. för Konstruktionsteknik. Element I och II hade spännvidden 6,1 m och belastades fritt upplagda med fyra (jämnt fördelade) linjelaster. Element V var 10 m långt och provades kontinuerligt upplagt över två lika långa fack belastat med två punktlaster i varje spann. Hela korttidsprovningen videofilmades för att bättre kunna utvärdera brottförloppet och eventuellt kunna iakttaga förskjutningar i fogarna eller instabilitetsfenomen, som man annars lätt kan missa på över 6 meter långa element.

### 4.2 Belastningsanordning och mätutrustning

Vid bestämning av bärförmågan sker dimensionering av takelement vanligtvis utgående ifrån att lasten är en jämnt fördelad last. För att approximera den utbredda lasten belastades elementen med fyra linjelaster över hela elements bredden. De fritt upplagda elementen I och II belastades på samma sätt, se fig 4.1. I mitten på element I och II (maximal konstantmomentområde) uppmättes mittnedböjning visavi last. Element V som var upplagt över två lika långa fack (spännvidd 4,96 m per fack) belastades med två punktlaster per fack, se fig 4.2. Nedböjningen mättes 2 meter från ena ytterstödet. Lasterna 2P påfördes med en pump och två hydrauliska domkrafter, så att varje last avväxlades på två lika stora laster P. Efter  $\approx 0,5$  kN är lasten lika stor från varje domkraft. Lastcellen var placerad under den ena domkraften. Noggrannheten för dessa lastceller är  $\pm 0,25$  % av uppmätt värde. På element I och V mättes töjningar med hjälp av trådtöjningsgivare som satt kring mitten (element I) respektive 100 mm från mittupplaget (element V), se figurer 4.1 och 4.2.

För element I och V (spiklimmade förband) har man utgått ifrån att det inte blir några förskjutningar mellan deelementen. På samtliga element har man före provningen ritat små streck över fogen på livbalkens överkant och överflänsen (plywood) och på livbalkens underkant och plåten nära upplagen respektive en meter från upplagen. Om det förekommit relativa förskjutningar mellan livet och flänsarna, så skulle man kunna konstatera detta med hjälp av delningen av den ritade linjen, även om storleken på förskjutningen inte kunde mätas med stor noggrannhet (skjutmått).

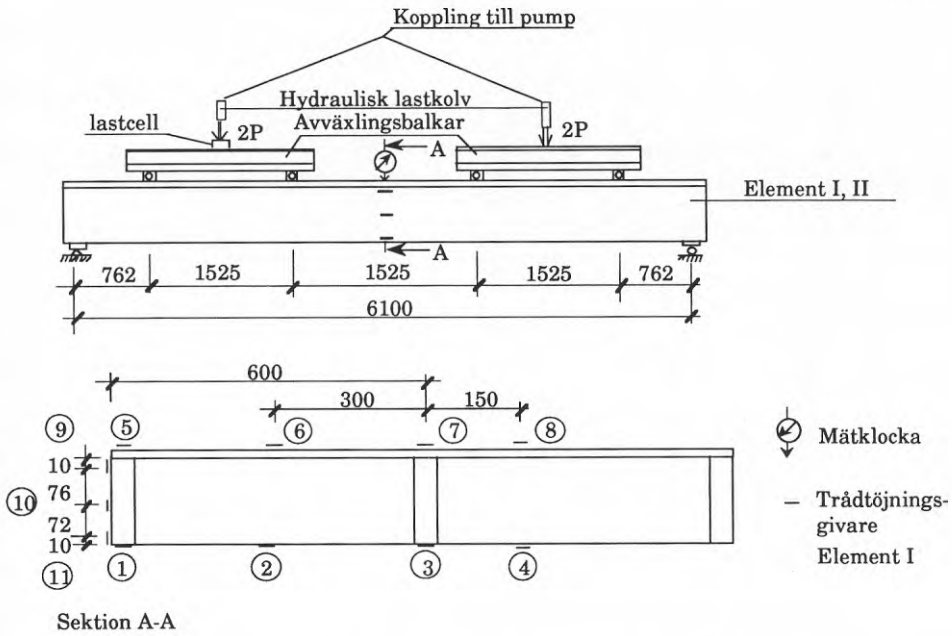


Fig 4.1 Belastningsgeometri och placering av mätklockor och trådtöjningsgivare, element I och II.

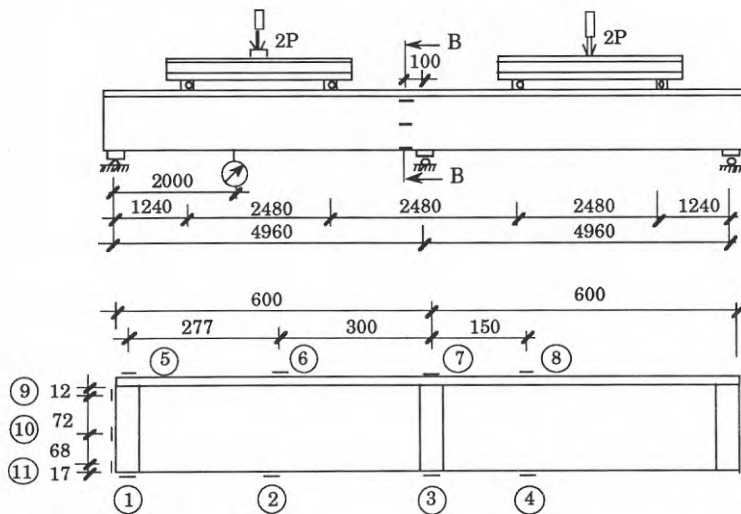


Fig 4.2 Belastningsgeometri och placering av mätklockor och trådtöjningsgivare, element V.

Nedböjningar och töjningar mättes först vid pålastning med avväxlingsbalkar (motsvarar  $0,2 \text{ kN/m}^2$ ), därefter vid varje ökning av lasten. Laststegen var i början ca  $1 \text{ kN}$  per pump ( $2P$ ). Efter det att man har överskridit  $4,5 \text{ kN/m}^2$  har man ökad laststegen till ungefär  $2 \text{ kN}$  per pump ( $2P$ ). Hela pålastningsförloppet upp till brott genomfördes på ca  $15 \text{ min}$ .

### 4.3 Resultat av korttidsprovning — jämförelse med beräknade värden.

Jämförelse mellan ett element med spiklimmat förband (El I) och ett element med endast spikat förband (El II) kan t. ex. göras genom att studera last-nedböjningssambanden för dessa element, se fig 4.3.

Ett linjärt samband mellan last och nedböjning gällde för element I upp till  $8,5 \text{ kN}$  (motsvarar  $4,6 \text{ kN/m}^2$ ) och för element II upp till  $6 \text{ kN}$  ( $3,3 \text{ kN/m}^2$ ).

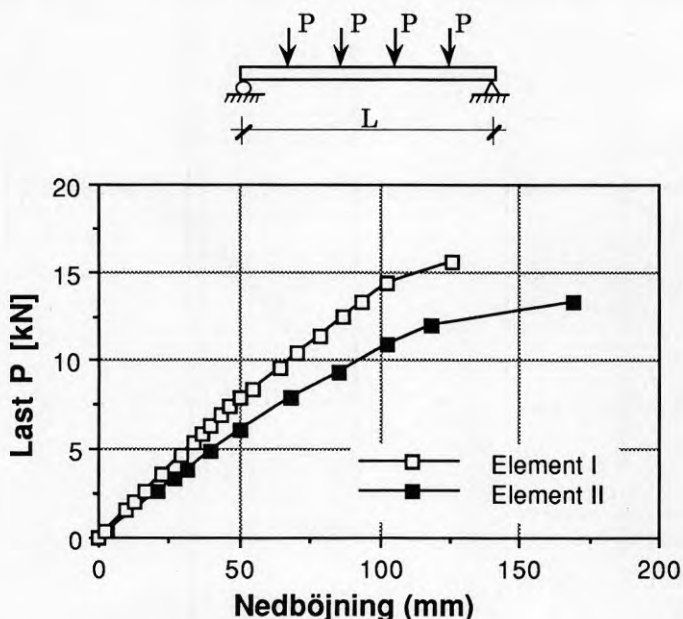


Fig 4.3. Uppmätta last-nedböjning ( $P-w$ ) för elementen I och II:

I fortsättningen redovisas jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden separat för varje element. Samtliga töjningar, spänningar och nedböjningar beräknades med hjälp av ekvationerna 2.9 - 2.17 och som indata användes de uppmätta elastiska egenskaperna för träbalkar och förband. För samtliga

uppmätta linjelaster i kN anges också den motsvarande jämnt utbredda, ekvivalenta lasten uttryckt i kN/m<sup>2</sup> inom parentes.

#### 4.3.1 Element I med spiklimmat förband.

I fig 4.4 redovisas samtliga uppmätta töjningar. Töjningar i både plåt och plywood är linjära upptill ca 1 ‰. Plywooden på trycksidan bucklar (jämför värden från töjningsgivare 6 som satt på överytan mittemellan de längsgående balkarna) vid lasten 8,6 kN (4,7 kN/m<sup>2</sup>) som motsvarar ungefär den last när mittnedböjningen börjar avvika från den raka linjen, se fig. 4.3. Plåten på dragsidan uppvisar i princip ett linjärt samband mellan last och töjning för samtliga uppmätta punkter, se fig 4.4. Flytning i plåten börjar ske vid lasten 14,5 kN (7,9 kN/m<sup>2</sup>) och registreras endast på de mest utsatta ställena, dvs där plåten är limmad till livbalkar. Försöket avbröts vid brottlasten  $P = 15,7 \text{ kN}$  (8,5 kN/m<sup>2</sup>). Plywood bröts i mitten på elementet (max moment område) samtidigt som plåten böjde uppåt mellan livbalkarna (skålning, "dishing effect"). Träbalkar i livet just före brott visade inga synliga sprickor, dragbrott eller stukning trots höga böjspänningar ( $\approx 30 \text{ MPa}$ ).

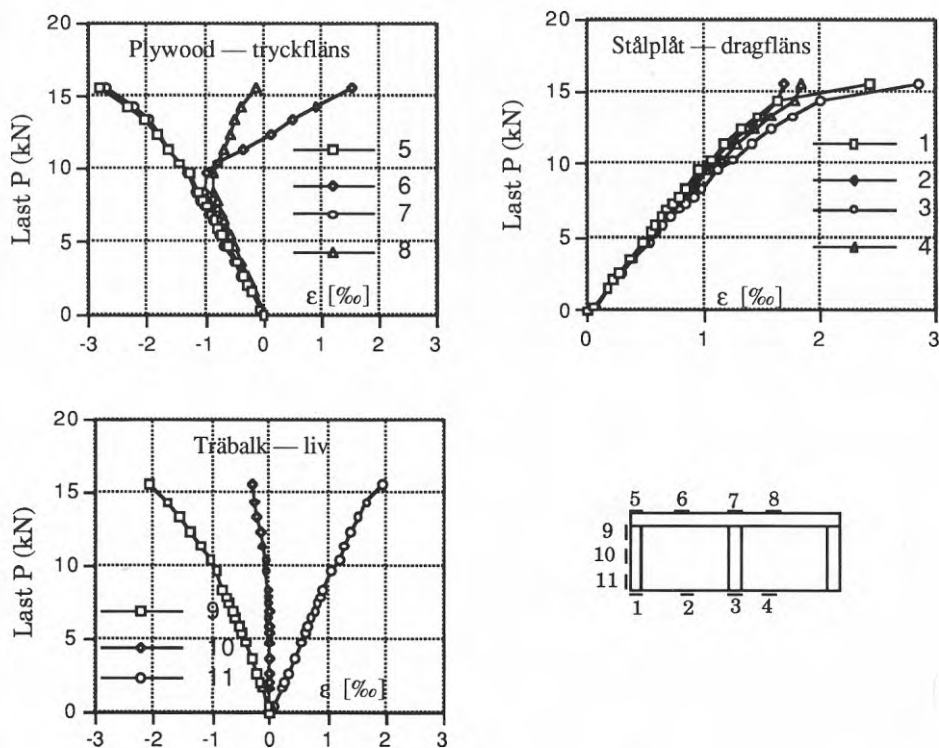


Fig 4.4 Uppmätt last-töjningsdiagram, Element I.

Den kritiska töjningen som motsvarar ideellt elastisk buckling kan beräknas enligt ekv 4.1.

$$\epsilon_{cr} = \frac{\sigma_{cr}}{E} = \frac{k_G \pi^2 0,6 E_{o,k}}{12 (1 - \nu^2) E_{o,k}} \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 2,169 \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 2169 \left(\frac{12,2}{577}\right)^2 = 0,97\% \quad (4.1)$$

Det verkar rimligt att räkna med verklig tjocklek och  $0,6 E_0$  för plywood med 5 fanér och vars ytfanér ligger i elementets längdriktning. Tre fanér av fem är verksamma, dvs 60 % av ytan. Den beräknade kritiska bucklingstöjningen  $\epsilon_{cr} = 0,97\%$  stämmer väl överens med den uppmätta, se fig 4.4.

Jämförelse mellan uppmätta och beräknade nedböjningar och töjningar visas i figurerna 4.5 - 4.7. Töjningarna som redovisas i dessa figurer var uppmätta över och under livbalken i mitten på elementet. Den goda överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta töjningar erhöles genom att stegvis reducera medverkande bredden *dels* för plywood, med början från bucklingstöjningen, *dels* för plåten, med början så snart töjningen överstigit plåtens flyttöjning. Last-nedböjningssambanden stämmer sämre överens, se fig 4.5, än last - töjningssamband uppmätt i samtliga delement. Anledningen kan vara att belastningen med många avläsningar tog ca 20 min och en viss krypning har förekommit under den tiden.

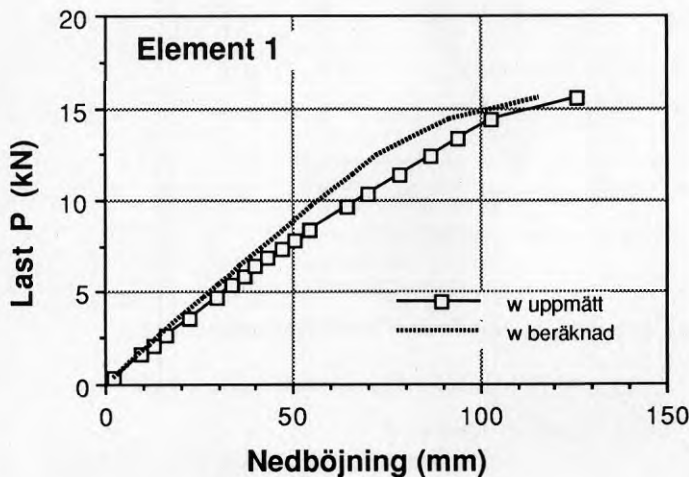


Fig 4.5 Last - nedböjning. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden.

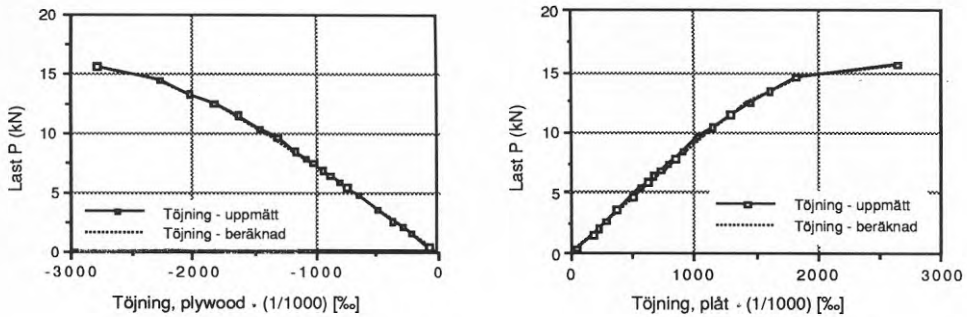


Fig 4.6 Last - töjning för plywood och stålplåt. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden.

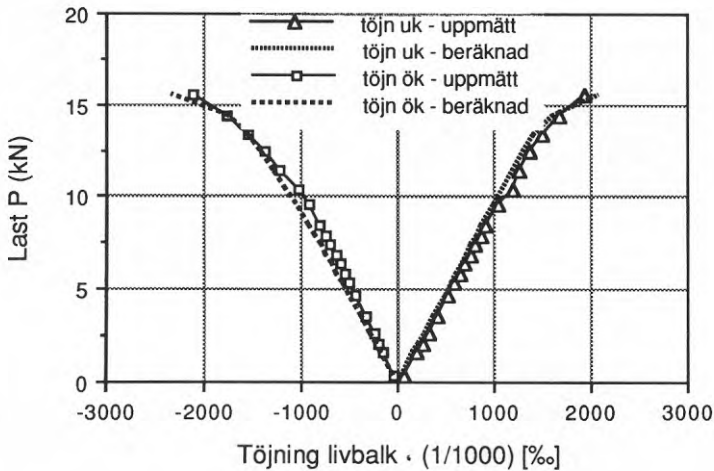


Fig 4.7 Last - töjning för livbalk. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden.

#### 4.3.2 Element II, med spikat förband

I detta försök registrerades endast last och mittnedböjning. Plywooden visade inte den tendens till buckling som var så tydlig vid provning av element I. Redan vid lasten  $P = 3,9 \text{ kN}$  ( $2,1 \text{ kN/m}^2$ ) kunde man märka en viss relativ förskjutning mellan plywood och livbalk. Det slutliga brottet skedde vid lastnivån  $P = 13,3 \text{ kN}$  ( $7,3 \text{ kN/m}^2$ ). Orsaken var böjbrott i livbalken i elementets

mittområde. Före brottet var plåten kraftig böjd uppåt mellan livbalkarna (skålning). Hela belastningen till brott tog ca 10 minuter. Last-nedböjnings-samband för både beräknade och uppmätta värden visas i fig 4.8. Med antagna konstanter  $S$  i båda fogar erhålles ett korrigerat last-nedböjningssamband. Med förskjutningsmoduler i båda fogarna som är konstanta under hela belastningsförloppet erhöles ett linjärt samband, medan med varierande förskjutningsmoduler (sekantmodul framtagen från förbandets arbetskurvor, Bilaga B) får man ännu bättre överensstämmelse mellan beräknade och uppmätta nedböjningar.

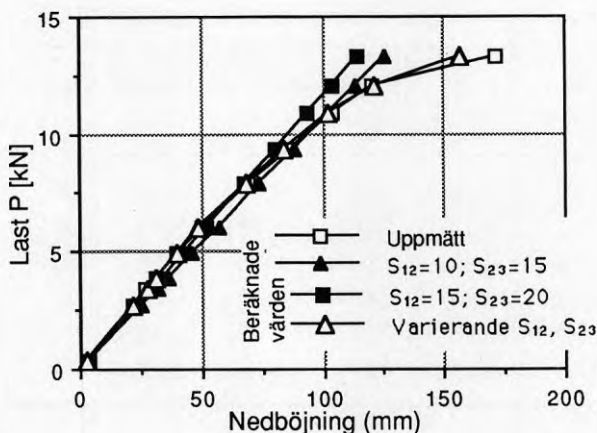


Fig 4.8 Last - nedböjning. Jämförelse mellan uppmätta och beräknade värden, element II.

Vid den lastnivå ( $2,58 \text{ kN/m}^2$ ) som motsvarar belastning av snölastens karakteristiska värden i snözon 3 och jämnte elementens egentygnd var element I 35% styvare än element II (uppmätt nedböjning 39,9 mm), trots att ca 7% styvare livbalkar användes i element II i jämförelse med element I. Vid lägre samverkansgrad kommer livbalkarna att vara utsatta för mycket större påkänningar än vid högre samverkansgrad. Av samma skäl blir tryck- respektive dragfläns mindre belastad vid lägre samverkansgrad. Teoretiska beräkningar av elementet med samma ingångsdata som används vid nedböjningsberäkning har visat att plywoodflänsen aldrig uppnådde den teoretiska bucklingslasten enligt ekv 4.1. Samma beräkning visar att töjningarna i plåten inte skulle överstiga 1,0 ‰, se tabell 4.1.

För att teoretiskt kunna beräkna last-nedböjningssamband för element II med större noggrannhet för laster som överskrider  $4 \text{ kN/m}^2$  krävs icke-linjär teori för flerskiktshalkar med ofullständig samverkan. Förskjutningsmodulen för spikförband måste då beskrivas även över den elastisk-plastiska delen av

arbetskurvan. Emellertid tillåter man inte så stora deformationer i verkliga konstruktioner att man måste tillämpa icke-linjär teori. I detta exempel används sekantmodulen för last - förskjutningssambandet för att bestämma förskjutningsmodulen för spikförbanden mellan trä och plåt samt mellan trä och plywood för laster som överskrider 4 kN/m<sup>2</sup>.

I tabell 4.1 och tabell 4.2 redovisas några beräknade nedböjningar, töjningar och relativa förskjutningar för element II. Samma ingångsvärden användes för samtliga teoretiska beräkningar som visas i tabellerna samt i fig 4.1 och 4.2.

Tabell 4.1 Beräknade nedböjningar och töjningar vid varierande förskjutningsmoduler S. (S<sub>12</sub> = trä/plywood, S<sub>23</sub> = plåt/trä)

Last [kN]	w mätt [mm]	w ber [mm]	ε ply [‰]	ε plåt [‰]	ε liv ök [‰]	ε liv uk [‰]	S <sub>12</sub>	S <sub>23</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
0,4	3,5	3,0	-0,037	0,028	-0,063	0,060	20	25
3,4	26,7	27,3	-0,338	0,261	-0,580	0,556	20	25
6,1	50,3	49,9	-0,605	0,467	-1,038	0,995	20	25
9,3	86,6	84,3	-0,808	0,651	-1,808	1,716	12	18
12,0	120,1	121,0	-0,853	0,744	-2,624	2,463	6	13
13,3	171,0	157,1	-0,401	0,795	-3,560	3,099	2	10

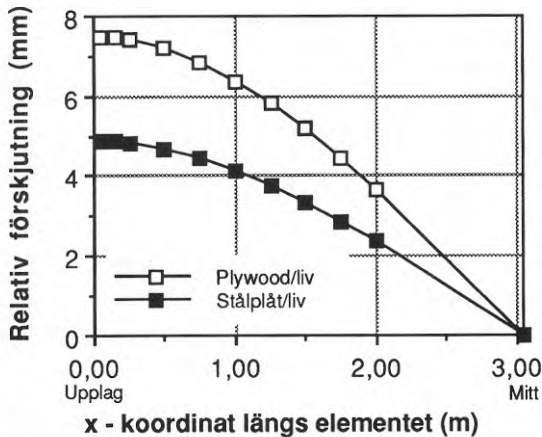


Fig 4.9 Beräkning av relativa förskjutningar mellan plywood - träbalk respektive träbalk - plåt.



Tabell 4.2 Beräknade, strax före brott, relativa förskjutningar  $\varphi_s$  mellan delelement och spikkrafter  $F$  i förbanden som funktion av avståndet  $x$  från upplaget.

Avst $x$ [m]	$\varphi_{s12}$ [mm]	$\varphi_{s23}$ [mm]	$F_{12max}$ [kN]	$F_{23max}$ [kN]
0,05	7,5	4,9	1,50	2,92
0,15	7,4 (9,0)	4,9 (4,6)	1,49	2,91
0,50	7,2	4,7	1,44	2,80
1,00	6,4	4,1	1,28	2,48
1,50	5,2	3,3	1,04	2,00
2,00	3,7	2,4	0,74	1,42

Observera att relativa förskjutningar uppmätta med skjutmått (värden inom parentes - tabell 4.2) mellan trä och plywood ( $\varphi_{s12}$ ) och trä och plåt ( $\varphi_{s23}$ ) 150 mm från ena upplaget strax före brott stämmer någorlunda överens med de beräknade värdena. I fig 4.9 visas hur relativa förskjutningar mellan delelement varierar längs elementet.

#### 4.3.3 Element V med spiklimmat förband

Element V skilde sig från de andra elementen genom att det var 10 m långt och provades kontinuerligt upplagt över 3 stöd. Anledningen till att genomföra detta försök var att utvärdera beteendet även av ett kontinuerligt upplagt element. Denna typ av uppläggning kan vara dominerande vid användning som takelement i industribyggnader. Primärstommen byggs ofta med inbördes avstånd på ca 6 meter, medan ett takelement kan täcka 2 fack, dvs ca 12 meter.

Belastning och registrering av mätningar genomfördes enligt figur 4.2. Intresset koncentrerades till flänsarna närmast mittupplaget. Plåten som är mycket tunn kommer att bli tryckt medan plywood i den övre flänsen blir dragen närmast mittupplaget.

I figur 4.10 visas uppmätta töjningar närmast mittupplaget. Man kan se att medverkande bredd för både plåt och plywood även vid låga laster är ojämnt fördelad över tvärsnittet. Jämför resultaten för fritt upplagt element i fig 4.4 med töjningarna som mättes i mittsnittet.

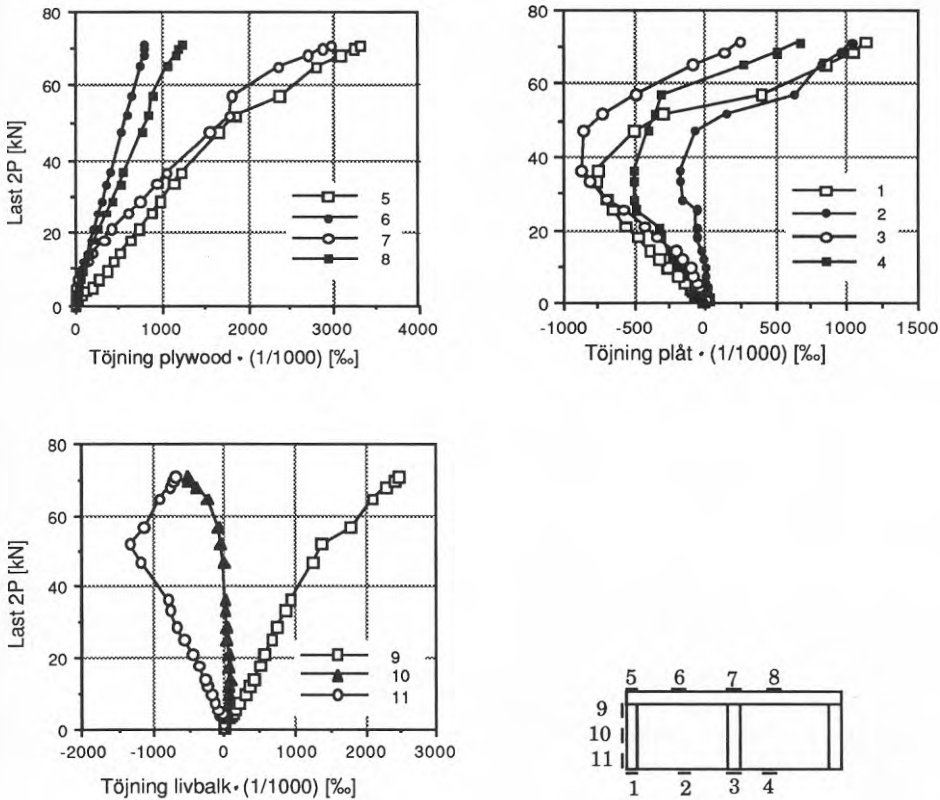


Fig. 4.10 Last-töjningsdiagram, uppmätt närmast mittupplaget, element V.

Vid lasten  $2P \approx 40 \text{ kN}$  ( $6,7 \text{ kN/m}^2$ ) uppmärksammades en kraftig knall och plåten bucklade så att töjningarna övergick från tryck till dragning. Orsaken var troligen skålning av dragflänsen i mittdelen av facket. Flänsarna som är axiellt belastade påverkas av kraftkomponenter som är riktade mot neutrallagret. Dessa krafter bidrar till att den tryckta delen av plåten nära mittupplaget övergår till dragning genom att bucklan (i plåten) böjdes inåt tvärsnittet. Trådtöjningsgivarna borde ha varit placerade på båda sidor om plåten för att kunna studera buckling på ett bättre sätt. Punkterna 1 och 3, fig 4.10, skall inte vara dragna. Förklaringen är att trådtöjningsgivarna i dessa punkter låg för nära mittupplaget och vid höga laster var livintryckningen stor, se fig 4.12. Efter livintryckningen var underkanten på plåten dragen närmast mittupplaget.

Den tryckta delen av plåten (tjocklek 0,6 mm) bucklar vid mycket små laster.

Enligt Tunnpålsnormer StBK-N5 [10] finns inga regler för beräkning när  $\beta_f$  överstiger 500 och man rekommenderar provning.

$$\beta_f = b_{pl}/t_f = \frac{(1200 - 135)}{2 \cdot 0,51} = \frac{532,5}{0,51} = 1044 \gg 500 \quad (4.2)$$

Enligt Handboken Bygg K18:23 [7] blir

$$\lambda = \frac{0,526 \cdot b_{pl}}{\kappa_\beta \cdot t_f} \sqrt{\frac{f_{yk}}{E_k}} = \frac{0,526 \cdot 532,5}{1,0 \cdot 0,51} \sqrt{\frac{260}{210000}} = 19,3 \gg 0,6 \quad (4.3)$$

$$t_{eff} = (0,06 + \frac{0,85}{\lambda} - \frac{0,172}{\lambda^2}) t_f = (0,06 + 0,044 - 0,001) 0,51 = 0,0528 \quad (4.4)$$

Den effektiva plåttjockleken är i detta exemplet 0,51 mm vid mycket små laster för att minska till 0,053 nära brott. Om man räknar om plåtens bredd (över mittstödet och vid brottlastnivån) till effektiv totalbredd blir  $B_{eff}$

$$B_{eff} = n \cdot t_w + (n-1) b_{pl} \frac{t_{eff}}{t_f} = 135 + 2 \cdot 532,5 \frac{0,0528}{0,51} = 135 + 109 = 244 \text{ mm} \quad (4.5)$$

där  $b_{pl}$  = plåtens bredd  
 $t_f$  = plåtens tjocklek  
 $t_{eff}$  = effektiv plåttjocklek  
 $B_{eff}$  = effektiv plåtbredd  
 $n$  = antal livbalkar  
 $t_w$  = livbalkens tjocklek  
 $f_{yk}$  = plåtens flytgräns

Nedböjningsökningen var linjär ända upp till  $2P = 47 \text{ kN}$  ( $7,9 \text{ kN/m}^2$ ), se fig. 4.11. Den teoretiska beräkningen av last-nedböjningssamband (beräknades enl. ekv. 4.6) stämde väl överens med den uppmätta. Vid beräkning av nedböjningarna korrigerades nedböjningarna med hänsyn till medverkande bredd. Medverkande bredden uppskattades med hjälp av uppmätta töjningar.

$$w_{(x)}^{tot} = w_b^{tot} + w_v \quad (4.6)$$

$w_b^{tot}$  - total nedböjning av böjdeformationer  
 $w_v$  - nedböjning av skjuvdeformationer

$$w_b^{tot} = \frac{Q_{ekv} \cdot L^3 \cdot x}{24 EI_x} \left[ 1 - 2\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{x}{L}\right)^3 \right] + \frac{M_B^{red} \cdot L \cdot x}{6 EI_x} \left[ 1 - \left(\frac{x}{L}\right)^2 \right] + a_1 N_1 + a_3 N_3 \quad (4.6a)$$

där första delen av  $w_b$  är bidraget från ekvivalent jämnt utbredd last  $q_{ekv}$ , andra delen av  $w_b$  är bidrag av negativt stödmoment  $M_B^{red}$  och den sista delen  $a_1 N_1 + a_3 N_3$  är litet bidrag (vid limförband) vid beräkning med ofullständig samverkan enligt kapitel 2.3.

$$\text{där } M_B^{red} = P \cdot 0,05 - 1,5 \cdot P \cdot L \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot \frac{(L - 0,05)}{L}$$

$M_B^{red}$  är stödmoment reducerat m h t mittupplagets bredd 100 mm.

$$w_v = (P \alpha L + \frac{M_B^{red} x}{L}) \cdot \frac{1}{G A_{liv}} \quad (4.6b)$$

där  $G$  är livbalkens uppskattade skjuvmodul enligt NR [3] och  $A_{liv}$  är balkens totala tvärsnittsarea.

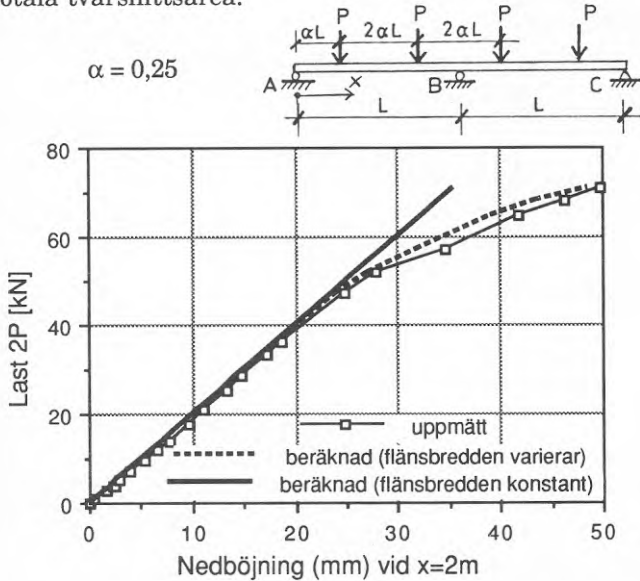


Fig 4.11 Uppmätt och beräknad nedböjning

Beräkning av nedböjningen 2 meter ifrån ytterstödet genomfördes på två olika sätt, se fig. 4.11.

- Vid första beräkning reducerades (som en grov approximation) båda flänsarnas bredd med ca 15 % längs hela elementet.
- Vid andra beräkning (flänsbredden varierar med lasten) minskningen av medverkande bredden baserades uppskattningsvis på uppmätta töjningarna i respektive fläns för att bestämma sektionens böjstyvhet  $EI_x$

(ekv. 2.2) vid mittstödet och vid beräkning av konstanter vid ofullständig samverkan (ekv. 2.9).

Pålastningen av element V avbröts vid lasten  $2P = 70,9 \text{ kN}$  ( $11,9 \text{ kN/m}^2$ ) utan att brottlasten uppnåts. Orsaken var för stora intryckningsdeformationer över mittupplaget, se fig. 4.12.

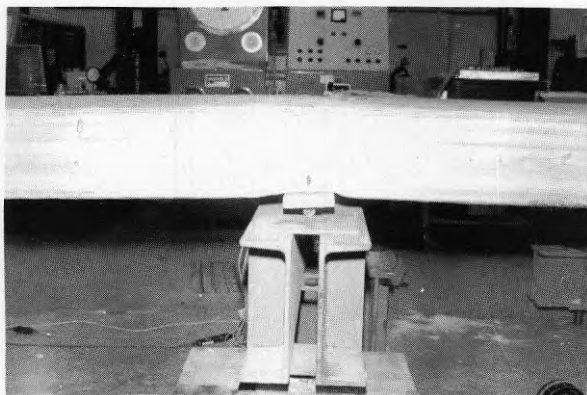


Fig. 4.12 Bild av mittupplaget vid den maximala lasten, element V.

Element V, symmetriskt upplagt över tre stöd, fungerar bra under belastning. Limförbanden har inte visat tecken på brott och inga mätbara relativa förskjutningar mellan deelementen. För att förhindra buckling av plåten vid mittupplaget borde kanske plåten förstärkas över området med negativt moment med plywood eller liknande. Utan denna förstärkning kan små synliga bucklor uppfattas som en estetisk olägenhet. Dessa bucklor har nästan ingen inverkan alls på lastupptagningsförmågan och elementets styvhet.

#### 4.4 Sammanfattning av korttidsprovning

Korttidsprovning av 3 st element visade att elementen uppträdde väl över förväntningarna med tanke på dels de höga värdena på uppmätt brottlast, dels på linjaritet i last-nedböjningssamband vid lastnivåer som var långt över de laster som motsvarar ekvivalent vanlig snölast i snözon 4. Element II (med spikförband) hade enligt förväntan sämre total styvhet än element I (med limförband), men den uppmätta brottlasten var endast 15 % lägre för element II än för element I. Det går givetvis inte att dra några slutsatser med endast ett försök av varje sort, men försöket visade att element II med endast spikförband väl klarar kravet på brottsäker konstruktion.

Kontrollberäkningar i brottgränstillstånd enligt Nybyggnadsreglerna visar att element räknat med full samverkan (Element I) klarar bärförmågan med god marginal för samtliga delement och förband för snölast som motsvarar snözon 2,5. Laster i snözon 3 ger att dimensioneringsvillkor för skiktstjuvning mellan första och andra fanér i plywood ej klarar normvärdet omräknat till klimatklass 2. I tabell 4.3 anges uppmätta brottlaster som omräknades till ekvivalent jämnt utbredda laster samt maximalt moment.

Nedböjningskriteriet i bruksgränstillstånd blir helt avgörande vid dimensionering av takelement. I figurerna 4.13 och 4.14 visas uppmätta nedböjningar vid stigande ekvivalent last för provbelastade element. Nivån för vanlig snölast med elementets egentyngd ger en uppfattning om elementens styvhet för olika snözoner. Nedböjningarna representerar korttidsvärden utan hänsyn till lastvaraktighetseffekten.

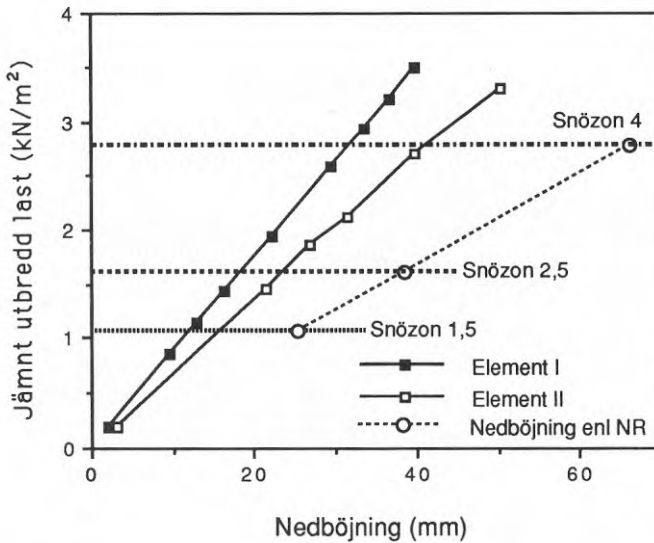


Fig. 4.13 Uppmätta nedböjningar för fritt upplagda element ( $L=6,1\text{m}$ ) och jämförelse med beräknade nedböjningar för för vanlig snölast (som reducerades med formfaktor 0,8 enligt NR) och egentyngd ( $0,22\text{ kN/m}^2$ ).

Tabell 4.3 Uppmätta brottlaster; jämförelse mellan provade element

Element (Längd m)	Uppmätt brottlaster 2P [kN]	(Ekvivalent jämnt utbredd last q [kN/m <sup>2</sup> ])	Moment vid brott [kNm]
I (L = 6,1 m)	30,5	(8,5)	47,4
II (L = 6,1 m)	26,6	(7,3)	40,7
V* (2L ≈ 10 m)	70,9	(11,9)	(M <sub>stöd</sub> ) 47,2 (M <sub>fält</sub> ) 34,4

\* Försöket avbröts utan att brottlaster uppnåddes. Vid beräkning av moment vid brott för element V har elastisk momentfördelning antagits.

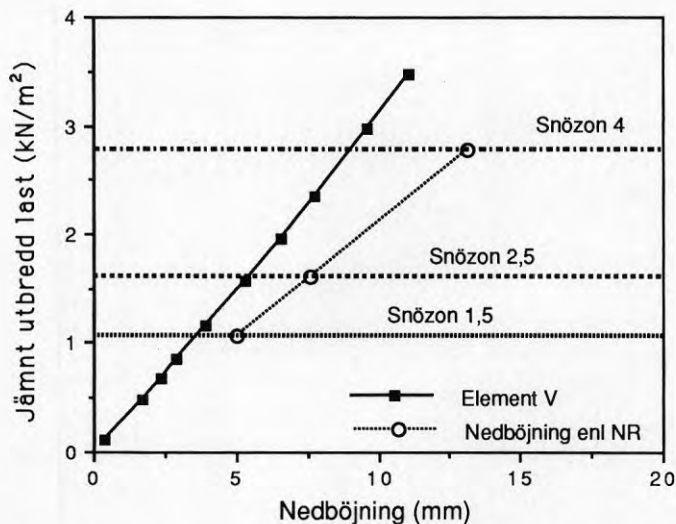


Fig. 4.14 Uppmätta nedböjningar för element upplagt över tre stöd (2L≈10 m) och jämförelse med beräknade nedböjningar för för vanlig snölast (som reducerades med formfaktor 0,8 enligt NR) och egentyngd (0,22 kN/m<sup>2</sup>).

Krypning hos trä och träbaserade material har avgörande inverkan på hela elementets långtidsdeformation. Vid dimensionering i bruksgränstillstånd av element I enligt Nybyggnadsreglerna blir den totala nedböjningen dubbelt så stor som den uppmätta (beräknat för säkerhetsklass 2, klimatklass 2, A och P last), se Fig. 4.13. För att kunna jämföra beräkningsvärden med uppmätta värden måste man naturligtvis uppskatta inverkan av långtidseffekten på den uppmätta

nedböjningen vid korttidsbelastning. Skillnaden mellan uppmätt nedböjning för element I och II blir ännu större efter lång tid. Orsaken är mycket större krypning i ett eftergivligt förband (spikförband) i jämförelse med förband med polyuretanlim som används i element I.



## 5 LÅNGTIDSFÖRSÖK

### 5.1 Allmänt

Avsikten med långtidsförsöken var att studera takelementens beteende under långtidsbelastning. Endast element med spiklimmade förband var av intresse eftersom sådana element eventuellt kommer att användas som takelement i framtiden. Två stycken element, nr III och IV, utsattes för långtidsbelastning, ute under tak, och i naturligt varierande klimat. Geometri, spännvidd, lastangrep, elementutbyggnad etc. var som för element I, se fig. 4.1.

### 5.2 Belastningsanordning och försökets genomförande

Från början var avsikten att belasta elementen inne i Ranaverkens fabrikslokal för att inte utsätta dem för allt för stora temperaturvariationer. Det visade det sig dock att golvet skakade när en stansmaskin användes. Detta skulle resultera i att elementen eventuellt skulle vara utsatta för en viss stötbelastning samt att registrering av nedböjningen inte skulle gå att genomföra med tillräcklig noggrannhet. Dessa omständigheter resulterade i att långtidsbelastningen istället genomfördes ute i ett provisoriskt tält beläget på Ranaverkens tomt och på ett betryggande avstånd från fabrikslokalen.

Varje fritt upplagt element lades på två stålbockar vars ben svetsades till livet på U-profiler, se fig 5.1. En VKR- profil  $80 \times 50 \times 4 \text{ mm}^3$ , längd ca 6 meter, svetsades fast till bockarna ca en halv meter ovan markytan. På stålprofilen monterades en mätklocka med skalnoggrannhet  $1/100 \text{ mm}$ . Under första belastnings-timmarna användes ytterligare 2 klockor, som placerades över stöden. Stödsjunkning vid pålastning mättes relativt till upplagsbalkens överkant. Upplagsplattor, 100 mm breda, vilade på en halv respektive hel stålrulle. Varje element belastades med 2 pallar med vikter som placerades symmetriskt över elementet. Varje vikt (last 2P) användes till två linjelaster tvärs över hela elementets bredd, se fig. 5.1. Efter att första vikten lades på elementet, dröjde det 2 minuter innan elementet belastades med den andra vikten. Avläsningen som skedde en minut efter det att båda vikterna var på, betraktas som en initialdeformation.

Storleken på lastnivån för element III var 20 % av brottlasten (mätt på element I). Lastnivån motsvarade vanlig snölast i snözon 2,5 plus elementets egentyngd. Lastnivån för element IV motsvarade 10 % av brottlasten.

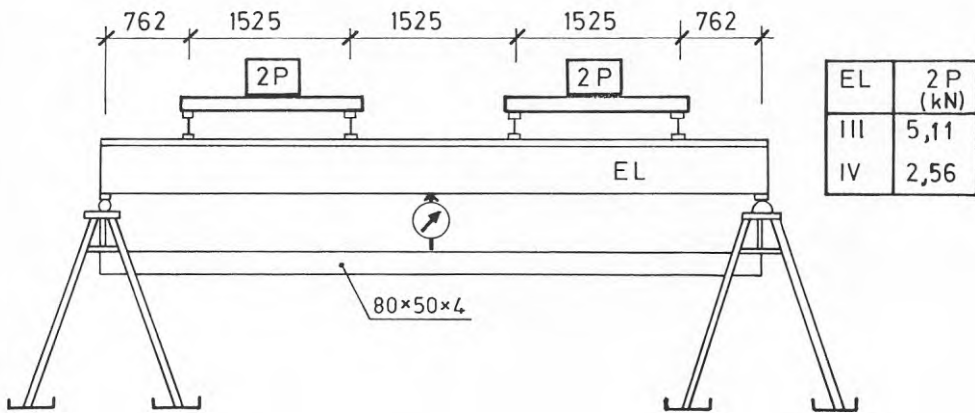


Fig. 5.1 Belastning och mätanordning, element III och IV.

Nedböjningen registrerades med hjälp av mätklockor under ett års tid. Omedelbart efter pålastningen, då nedböjningarna ökade snabbt, gjordes avläsningarna till och börja med med en minuts intervall. Intervallen ökades med tiden när deformationsändringen blev mindre. Efter tre månader gjordes bara några avläsningar i månaden. Målsättningen är att behålla elementen belastade under ytterligare flera år och att använda dem som referens för att kontrollera fogarnas beständighet i det mycket varierande klimatet (både temperatur och relativ fuktighet). Klimatet under försöket är dock mycket värre än det klimat som ett verkligt takelement kan vara utsatt för under sin livstid. Efter ett år från försökets början kommer mätklockorna att plockas bort.

För att kunna registrera nedböjningen i fortsättningen monterades 2 st fiskelinor på vardera elementet; en på var sida och längs hela elementets överkant. I mitten på varje sida av elementen monterades en liten plåt som mätreferens. Avläsning görs med ett digitalt skjutmått (noggrannhet 0,1 mm) mellan referensplåten och fiskelinan, se fig. 5.2. Fiskelinor monterades först i slutet av november 1991, dvs ca 2,5 månader efter pålastningen. Under ett halvt års tid registrerades elementens rörelse genom att avläsa både mätklockor och avståndet mellan elementens överkant och fiskelinan. Överensstämmelsen var ganska god med tanke på svårigheten att avläsa mot en lina. Under den tiden har nedböjningen ökat med 16,6 mm vid avläsning med hjälp av mätklockan och 18,1 mm (medelvärde av två avläsningar) vid avläsning mot fiskelinor för element III. I samtliga diagram som presenteras

i rapporten visas endast mätningar utförda med hjälp av mätklockor.

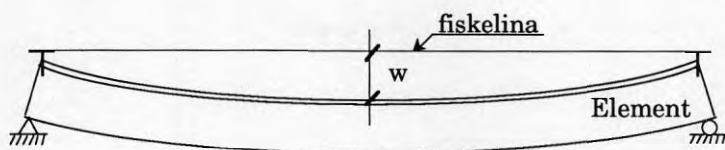


Fig. 5.2 Registrering av nedböjning  $w$  med skjutmått mot fiskelinan.



Fig. 5.3 Del av element IV inne i tältet.

Under de första dagarna efter pålastningen i september 1991 var elementen endast täckta med presenning. Efteråt byggdes en stålstomme runt elementen och presenningen användes för att täcka stommen. Under några dagar i oktober uppstod dock läckage och en okänd mängd vatten kom på elementets ovansida (plywood). Det var naturligtvis svårt att uppskatta effekten av svällningen av plywoodskivan som förmodligen har resulterat i upphöjning av elementen. I slutet på oktober monterades ett profilerat plåttak med presenning ovanpå. Vid gavlarna lämnades stora öppningar för ventilation.

Under hela försökets gång användes en termometer och en hygrometer som hängdes fritt ungefär i höjd med och mellan elementen inne i tältet för att registrera temperatur och relativ luftfuktighet. Dessa klimatparametrar lästes av samtidigt med nedböjningarna.

I mittsektionen på element III monterades Staeger mätpunkter med centrum

avstånd 200 mm. Med hjälp av dessa punkter och en Staegermätare avlästes töjningar. Mätpunkterna var placerade enligt fig. 5.4.

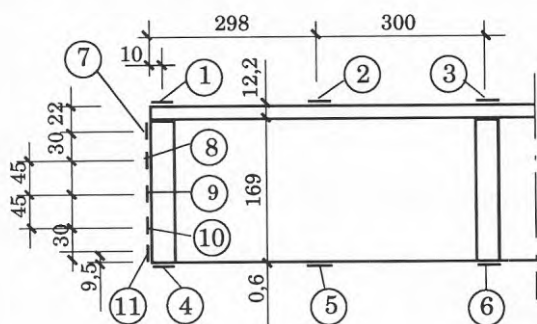


Fig. 5.4 Placering av "Staegerpunkter" 1-11 för registrering av töjningar i delmaterialen, element III.

Töjningarna mättes några gånger första dagen efter pålastning och därefter ungefär en gång i månaden.

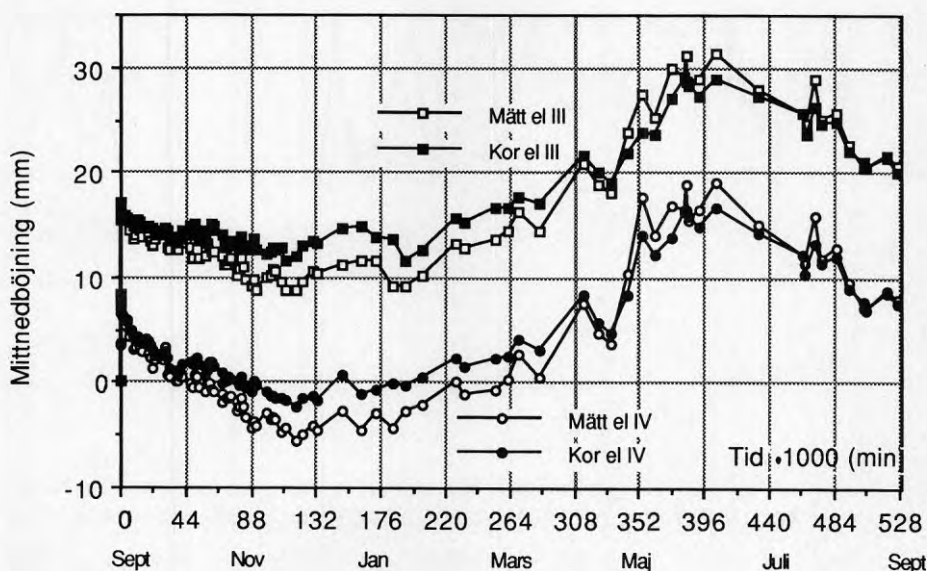
### 5.3 Resultat av långtidsbelastning

Variationen i uppmätt deformation för båda elementen under ett års tid visas i fig. 5.5. Kurvorna som redovisas i denna figur är något ovanliga, nämligen att de visar en avtagande nedböjning direkt efter pålastningen. Nedböjningar hos belastade träbaserade komponenter ökar med tiden i konstant klimat. Vid cyklisk varierande klimat ökar nedböjningen i början av belastningen under både absorption (fuktkvotsökning) och under desorption (fuktkvotsminskning). Nedböjningen brukar öka efter andra fuktcykeln under desorption och minska under absorption. Resultanten av dessa motriktade deformationer blir en ökning av den totala nedböjningen som är större ju högre lastnivån och amplituden på fuktkvotsförändringen blir. Effekten kallas för mekanosorption, se till exempel Mårtensson [11].

I figur 5.5 redovisas uppmätta nedböjningar för elementen III och IV under 1 år. Plåtens längdförändring på dragsidan ger bidrag till ett extra moment  $\Delta M$  som i sin tur bidrar till ökad eller minskad mittnedböjning  $\Delta w$  enligt ekv 5.1. Denna korrektion är relaterad till skillnaden mellan initieell temperatur och aktuell temperatur  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) och approximativt beräknad enligt ekv 5.1.

$$\Delta w = \frac{\Delta M L^2}{8 EI_{\text{tot}}} = 0,26 \Delta T \quad (5.1)$$

Motsvarande korrektion borde göras med hänsyn till krympning och svällning av plywoodskivan. Töjningsförändring orsakad av krympning-svällning beror dels på svällningskoefficienten  $\alpha$ , som skiljer sig för olika träslag och för träets olika huvudriktningar, dels på förändringar i fuktkvoten.



Mätt el = uppmätta nedböjningar för element

Kor el = korregerade nedböjningar som reducerats med hänsyn till plåtens rörelse orsakad av temperaturförändringar.

Fig. 5.5 Resultat av nedböjningsmätning under ett år, element III och IV.

Fuktkvotsvariationen i delmaterialen gick inte att uppskatta endbart med hjälp av icke-kontinuerliga avläsningar av relativa luftfuktigheten (RF). Dessutom krävs en modell som klarar av att förutsäga fuktupptagnings-hastigheten under varierande luftfuktighet. Under försöket har den relativa fuktigheten varierat mycket oregelbundet med korta cykler (bara några timmar) och med varierande amplitud, se fig 5.6. Det var ganska vanligt att RF under hösten, vintern och våren var ca 100 % under natt-och morgontimmarna för att sedan sjunka till 50 - 60 % mitt på dagen.

Långtidsförsöken för de två kassettelementen visade en tydlig minskning av nedböjningen under de första två månaderna efter pålastning, se fig.5.5. För element IV har minskningen av mittnedböjningen överstigit storleken på den totala initiala nedböjningen som uppmättes vid pålastning. Hösten 1991 och

vintern 1992 var mycket fuktiga med medeltemperaturer över noll grader. Sommaren 1992 var mycket torr med låg relativ fuktighet och temperaturer oftast över 20 °C. Den varma sommaren har resulterat i kraftigt ökade nedböjningar med högsta värden vid slutet på juni.

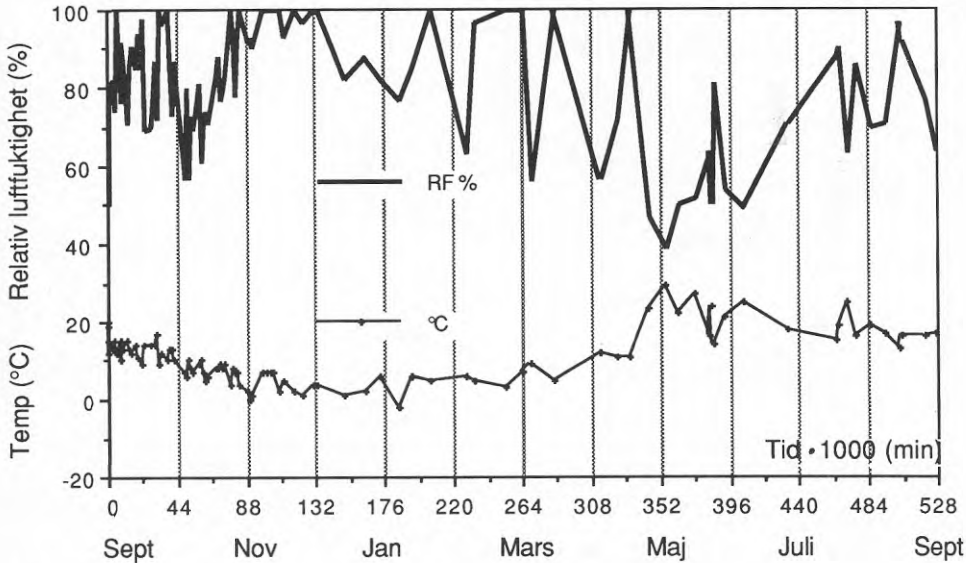
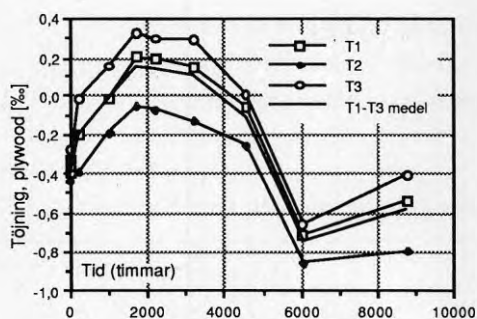
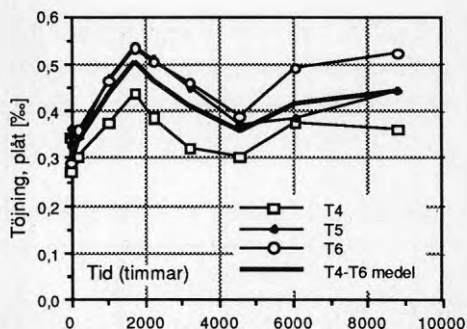


Fig. 5.6 Variation av relativ luftfuktighet och temperatur under försöksperioden (medelvärde).

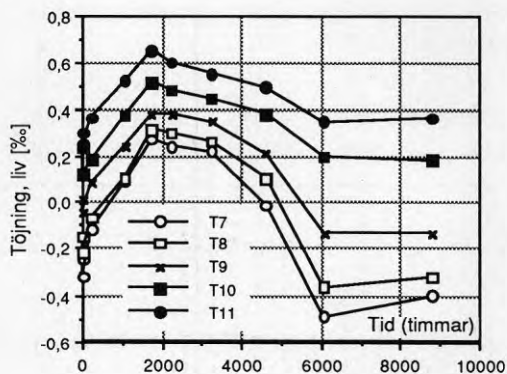
Med hjälp av Staegerpunkter, som var placerade i spännviddens mitt, se figuren 5.4 (element III), mättes längdförändringar på en 200 mm lång sträcka och på 11 ställen i tvärsnittet. Längdförändringarna beror dels på spänningar orsakade av den yttre lasten, dels på krympning och svällning i delmaterialen orsakade av fuktkvotens ändring i de träbaserade materialen och av temperaturförändringar i plåten. För K-plywood kan exempelvis längdändringen uppgå till 1 % i huvudriktningarna när en torr plywoodskiva blir blöt. De uppmätta längdändringarna, se fig 5.7, visar ökande värden under de första två och en halv månaderna. Under vinterperioden blev plywoodskivans längdökning orsakad av fukt större än hoptryckning orsakad av yttre last. Det gjordes tyvärr ingen mekanisk töjningsmätning under de två varmaste månaderna under sommaren. Därför saknas det sådana mätningar i intervallet ca 6000 och 8500 timmar.



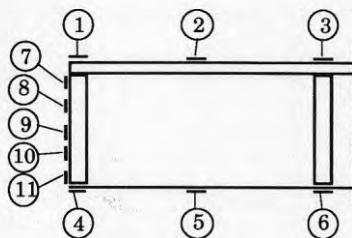
a) Tryckfläns



b) Dragfläns



c) Liv



Staegepunkter

Fig. 5.7. Uppmätta töjningar, placering av Staegepunkter 1-11.

Simulering av inverkan av långtidsbelastning utvecklades med hjälp av programmet WingZ och programmeringspråkett Hyperscript. Samtliga ekvationer för ofullständig samverkan enligt kapitel 2 tillsammans med beskrivning av krypningsförloppet ligger till grund för beräkningen. Indata och resultat från en sådan beräkning för element III visas i Bilaga C. Beskrivning av en enkel metod för simulering av krypningsförloppet i sammansatta ytbärande kassetelement finns redovisad i Kliger [1]. I exemplet i Bilaga C beskrivs krypning i ingående delmaterial och i fogarna med exponentiella funktioner (power law). Konstanterna  $a$ ,  $b$  och  $c$  som ingår i krypfunktionen för träbalkar baseras på mätningar av Mohager [12] gjorda

för konstruktionsvirke utsatta för varierande fukt.

I tabell 5.1 redovisas uppmätta och beräknade nedböjningar under olika tidsperioder under försöksperioden (12 månader). Relativ krypning  $\Phi(t)$  i tabellen definieras som kvoten mellan uppmätt nedböjning efter tiden  $t$  och initiell nedböjning ( $t=1$  minut).

Tabell 5.1. Resultat av mätningar och beräkningar av element III och IV

Tid (t) [timmar]	Element III				Element IV			
	w mätt [mm]	w ber [mm]	$\Phi(t)$ mätt	$\Phi(t)$ ber	w mätt [mm]	w ber [mm]	$\Phi(t)$ mätt	$\Phi(t)$ ber
0	16,2	16,1	1,00	1,00	7,1	7,3	1,00	1,00
500	14,0	18,7	0,86	1,17	2,8	8,5	0,40	1,17
1800	11,5	20,0	0,71	1,24	-1,7	9,1	-0,24	1,25
5400	20,0	21,4	1,24	1,33	5,8	9,8	0,82	1,34
6749	29,0	21,8	1,79	1,36	16,6	9,9	2,34	1,36
8788	20,5	22,2	1,27	1,38	8,0	10,1	1,13	1,39

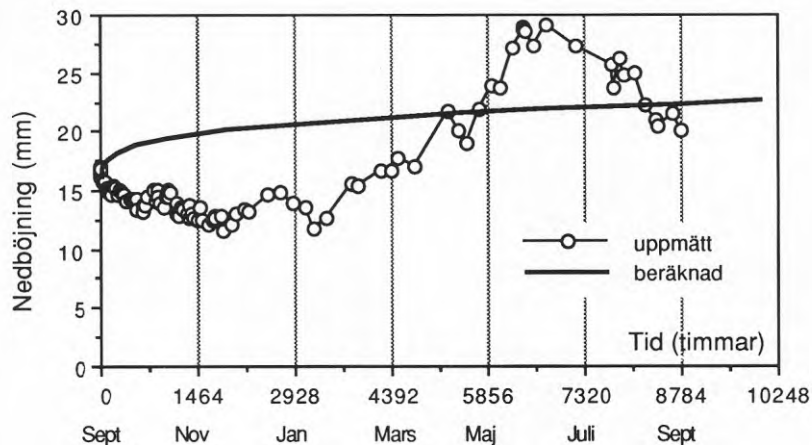


Fig. 5.8 Uppmätt och beräknad mittnedböjning, element III.

I fig 5.8. redovisas en jämförelse mellan uppmätt och simulerad långtidsdeformation. Den beräknade krypkurvan följer ett mer konventionellt förlopp och tar inte hänsyn till den klimatberoende svällningen av de träbaserade delmaterialen. Samtidigt med nedböjningen, beräknades också töjningarna i



samtliga ingående delmaterial. Dessa beräknade töjningar jämfördes med uppmätta medeltöjningar, enligt figur 5.7, för plywood och plåt samt för överkant respektive underkant livbalk, se figurerna 5.9 och 5.10. De beräknade värdena stämmer ganska bra med de uppmätta efter ett års tid med undantag för mätningarna utförda på stålplåten. Vid hög samverkansgrad, som är fallet här med limförband, minskar spänningarna i livbalkarna och ökar i flänsarna p g a krypeffekten. Den uppmätta töjningsökningen i stålplåten (underflänsen) verkar vara orimligt stor. Om hela värdet på den genomsnittliga, uppmätta medeltöjningen i plåten vilket var ca 0,44 ‰ vore en töjning orsakad av lasten, så skulle detta motsvara en spänning på ca 90 MPa.

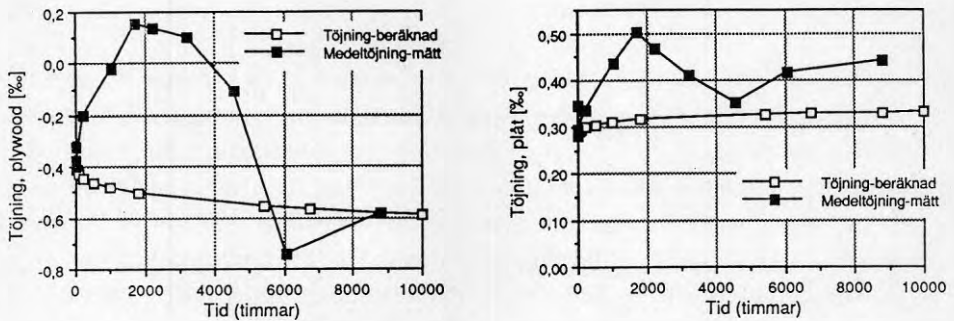


Fig. 5.9 Beräknade och uppmätta töjningsförändringar i flänsarna, element III.

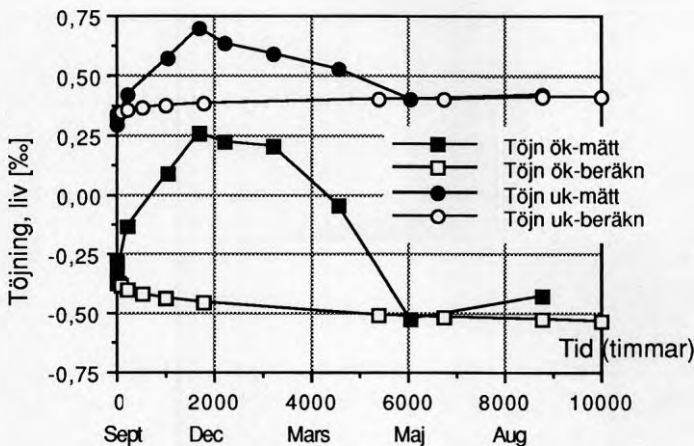


Fig. 5.10 Beräknade och uppmätta töjningsförändringar i överkant- respektive underkant livbalk, element III.

## 5.4 Sammanfattning av långtidsprovning

Långtidsprovningen av 2 st element i okontrollerat, naturligt uteklimat under tak visade att de uppmätta deformationerna och töjningarna genomgått stora förändringar. Elementen var utsatta för konstant dödviktslast under hela året och för varierande klimat som påverkar elementen från alla sidor.

Mätningresultaten visade stora variationer mellan fuktiga och kalla tidsperioder och torra och varma sommardagar. Även dygnsvariationer mellan dag och natt kunde överstiga 2 mm mittnedböjning. Kraftig nedfuktning av elementen under hösten var tillräcklig för att "lyfta" hela element IV tillsammans med lasten. Upplyftningen var så stor att den har överskridit initialnedböjningen.

Det verkar inte som den relativa krypningen efter 10 år kommer att överstiga värdet 2, dvs dubblering av den initiala elastiska nedböjningen trots att elementen är utsatta för såväl mekanosorption, dvs tidsperioder med hög absorption och desorption, som konstant "hög" last. Det borde naturligtvis vara av intresse, att lämna elementen belastade under flera år. Efter ett år blev den relativa krypningen 1,27 för element III och 1,13 för element IV. Den beräknade relativa krypningen för båda elementen var ca 1,39 trots att dödviktslasten för element IV var bara hälften så stor som för element III, se tabell 5.1.

## 6 PRODUKTIONSTEKNISKA ASPEKTER

Fem stycken provelement tillverkades manuellt. Vid en industriell tillverkning måste man använda en tillverkningslinje, där olika produktionsmoment skiljs åt. Speciellt kapning av plåt, limning och spikning måste ske maskinellt.

Alla tillverkningsdetaljer är inte lösta. Orsaken är att man inte har kunnat prova elementen på ett uppbyggt "riktigt" industritak. Skisser är framtagna på anslutningsdetaljer, exempelvis skarvar i både längs- och tvärriktning och vid nock och takfot som redovisas i Bilaga D.



## 7. SLUTSATSER

Takelement med olika delmaterial med olika egenskaper, sammanfogade med spiklimmade förband, har mycket goda möjligheter att vara effektiva och ekonomiskt försvarbara konstruktioner. Delmaterialen bör utnyttjas optimalt, så att material med goda egenskaper placeras i elementen på ett sådant sätt att dessa egenskaper utnyttjas helt, till exempel plywood som tryckfläns eller tunn stålplåt som dragfläns. Spikförband med goda skjuv- och drag-egenskaper står för brottsäkerheten, medan limförband står för styvheten.

Korttidsprovningarna har visat att elementen uppfyllde kravet på bärförmåga bättre än väntat. Även element med endast spikförband visade minst trefaldig brottsäkerhet om man räknar med element belastat med snölast i snözon 2. Nedböjningskriteriet i bruksgränstillståndet kommer att vara helt avgörande vid dimensionering av takelement. Kryp faktorer enligt Nybyggnadsregler för olika träbaserade delmaterial och för olika lasttyper är av stor betydelse för den teoretiska nedböjningens slutvärde. Det är viktigt att använda material i tryckflänsen och limförband som har goda långtidsegenskaper. Det krävs samtidigt bättre kunskap om sammansatta konstruktioners långtidsegenskaper. Med dagens kunskap och gällande föreskrifter använder man karakteristiska hållfasthets- och styvhetsvärden för varje delkomponent med tillhörande omräkningsfaktorer för beräkning av bärförmågan och styvheten hos den sammansatta konstruktionen med hänsyn till klimatklass och lasternas varaktighet. Direkt användning av dessa styvhetsnedsättande omräkningsfaktorer för varje enskild träbaserad komponent leder till att den sammansatta konstruktionens styvhet blir underskattad från nedböjnings-synpunkt vid dimensionering i bruksgränstillståndet.

För "verkliga takelement" där överflänsen är utsatt för varierande fukt medan underflänsen ligger i mer eller mindre konstant klimat (inomhus) kommer snö- och fuktbelastning inte nödvändigtvis att leda till en ökad nedböjning. Under sommaren uttorkas den övre flänsen och detta resulterar i ökande nedböjningar, men endast med egentyngd som yttre last.



## 8. REFERENSER

- [1] **Kliger, I. R.:** Stressed-skin panels – short and long-term behaviour. CTH, Stål- och träbyggnad, Publ 93:1 Göteborg, 1993.
- [2] **Dolk, Å.- Jansson, J-F.:** Accelererad långtidsprovning av polyuretanlim för bärande konstruktioner av trämaterial och stålkomponenter. Träteknik Centrum. Stockholm 1984.
- [3] Nybyggnadsregler (**NR**). Föreskrifter och allmänna råd. Boverketsförfattningssamling, BFS 1988:18. Stockholm 1989.
- [4] **Aune, P.:** Trekonstruksjoner. Tapirs Forlag, Trondheim 1975.
- [5] **Larsen, H.J.- Riberholt, H.:** Trækonstruktions. Beregning. SBI-Anvisning 135. 2 udgave. Statens Byggeforskningsinstitut 1988.
- [6] **Norlin, B.:** Ofullständig samverkan i flerskiktsbalkar av trä. Föreläsningssanteckningar i kursen Träbyggnadsteknik. KTH. Privat kommunikation 1991.
- [7] **Handboken Bygg.** Konstruktionsteknik. LiberFörlag. Stockholm 1985.
- [8] **Kliger, R.:** Creep properties of wood and wood-based materials for structural elements. Part 1. Experimental investigations of components for stressed-skin panels. Göteborg 1986, CTH, Stål- och träbyggnad, Int. skr. S 86:12.
- [9] **Wernersson, H.:** Wood adhesive bonds – Fracture softening properties in shear and in tension. Report TVSM-3012. Avd. för Byggnadsmekanik. LTH. Lund 1992.
- [10] **StBK-N5.:** Tunnsplåtsnorm. Statens stålbyggnadskommitté. AB Svensk Byggtjänst 1980.
- [11] **Mårtensson, A.:** Mechanical behaviour of wood exposed to humidity variations. Report TVBK-1006. Avd. för Bärande Konstruktioner. LTH. Lund 1992.
- [12] **Mohager, S.:** Studier av krypning hos trä. Med särskild hänsyn till inverkan av konstanta och cykliskt varierande fuktillstånd. Byggmateriellära, KTH. TRITA-BYMA 1987:1.





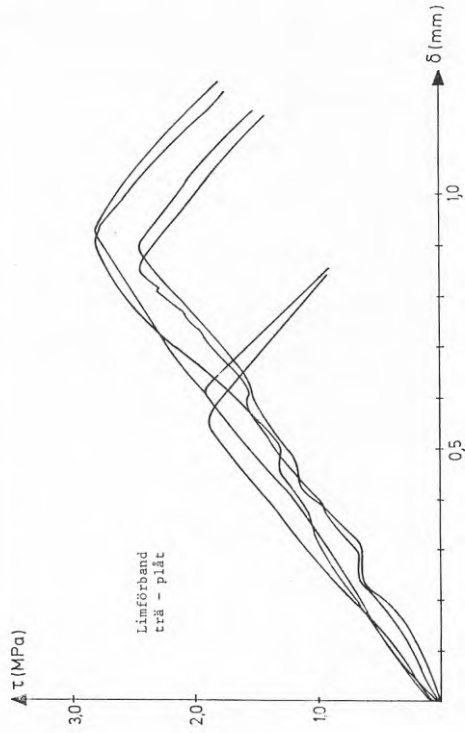
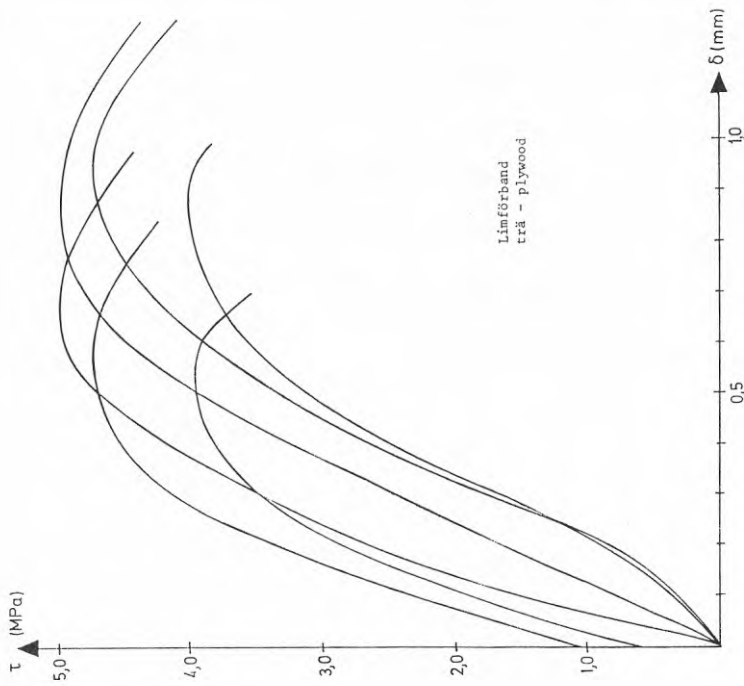
Materialgenskaper hos trävirke.

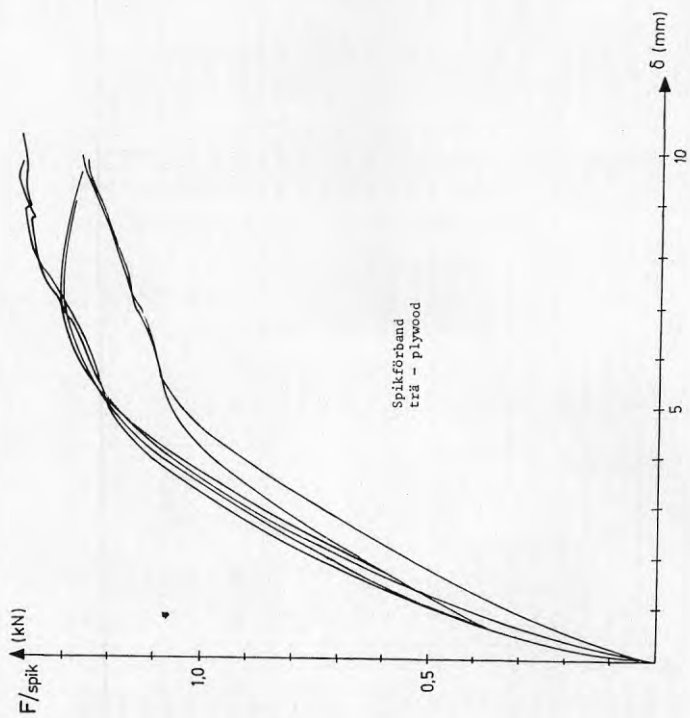
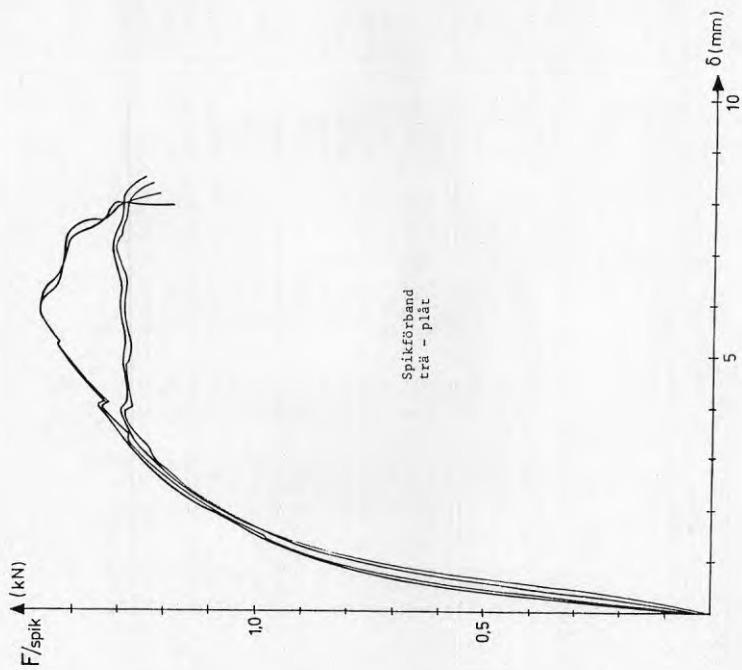
Bilaga A

Balk nr	L	H	B	E-modul (MPa)	Fuktkvot (%)	Formstabilitet (mm)			Anm.
						Dimension (mm)	Skevhet	Kantkrok	
1	6198	168	44,7	13058	13,5 - 15,5	-	10	-	
2	6197	168	44,6	14360	15 - 16	-	10	-	
3	6195	168	44,2	12753	13,2 - 14,5	-	7	8	
4	6198	168	44,5	9744	12,6 - 13,6	20	-	20	
5	6198	169	44,3	13799	13,5 - 15,0	16	-	10	
6	6198	169	44,8	15556	15 - 16	-	12	-	
7	6198	169	44,8	9446	12,9 - 14,0	30	20	-	tjurved
8	6198	168	44,9	13860	14 - 15	-	14	-	
9	6198	168	44,5	11855	13,6 - 14,6	-	10	-	
10	6198	168	44,8	10511	12,6 - 14,0	-	7	-	
11	6198	168	44,9	10958	15,6 - 16,5	-	5	-	
12	6198	168	44,3	10406	13 - 14	-	8	-	
13	6198	168	44,5	13599	14,0 - 15,5	-	7	-	
14	6198	168	44,7	14758	15,5 - 16,5	-	7	-	
<b>Medel:</b>		<b>168</b>	<b>44,6</b>	<b>12242</b>		<b>- om värden &lt; 5mm</b>			

Balk nr	L	H	B	E-modul (MPa)	Fuktkvot (%)
15	10000	168	44,7	14684	13,4 - 14,0
16	10000	168	44,7	14032	14,6 - 15,5
17	10000	168	44,7	14782	13 - 14
18	10000	168	44,7	11077	13 - 14
19	10000	168	44,7	15841	16 - 17
<b>Medel:</b>				<b>14083</b>	

EI. nr	L (m)	Balk nr			E medel
<b>I</b>	6,2	5	8	13	<b>13752</b>
<b>II</b>	6,2	2	6	14	<b>14892</b>
<b>III</b>	6,2	11	10	12	<b>10625</b>
<b>IV</b>	6,2	3	1	9	<b>12555</b>
<b>V</b>	10,0	16	17	15	<b>14500</b>





## Simulering av långtidsbelastning. Indata och resultat för element III.

## ELEMENT III

## Krypnings konstanter (power function)

Indata:		MCE		Höjd (mm)	
Längd L=	6100	E- tryckf=	11000	Bredd B <sub>1w</sub>	1100
Koord x=	3050	E-liv=	10600	t <sub>w2</sub> =	45
q (kN/m)	1,675	E-dragf=	20000	B <sub>3</sub> =	1100
Förskjutningsmodul (stål/trä)=	200			t <sub>w1</sub> =	12,2
Förskjutningsmodul (trä/plywood)=	650			t <sub>w3</sub> =	0,6

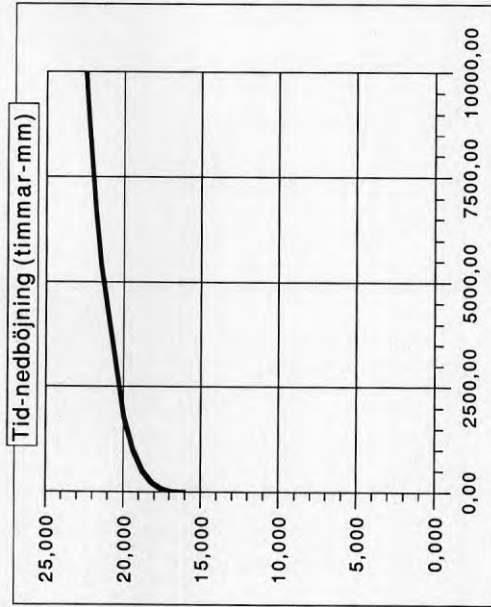
Tid	δ tot(mm)	φ tot	Spänningar (MPa)/töjningar (%)													
			Plywood						Livbalkar						Stålpilät	
			Eliv	Eply	ök σ <sub>1</sub>	uk σ <sub>2</sub>	töjn ök	ök σ <sub>3</sub>	ök tön	uk σ <sub>4</sub>	uk tön	ök σ <sub>5</sub>	uk σ <sub>6</sub>	tönuk		
0,03	16,064	1,000	10848	-4,11	-3,59	-0,379	-3,55	-0,341	3,41	0,327	57,97	58,45	0,292			
0,10	16,135	1,004	10784	-4,11	-3,59	-0,381	-3,55	-0,343	3,40	0,328	58,13	58,60	0,293			
0,25	16,209	1,009	10717	-4,11	-3,59	-0,384	-3,54	-0,345	3,38	0,329	58,28	58,76	0,294			
0,50	16,280	1,013	10654	-4,11	-3,59	-0,386	-3,54	-0,347	3,37	0,330	58,43	58,91	0,295			
1	16,366	1,019	10577	-4,11	-3,59	-0,388	-3,53	-0,350	3,35	0,332	58,62	59,10	0,296			
4	16,602	1,033	10371	-4,10	-3,58	-0,396	-3,51	-0,356	3,30	0,335	59,11	59,60	0,298			
10	16,818	1,047	9638	-4,10	-3,58	-0,402	-3,49	-0,362	3,26	0,338	59,56	60,06	0,300			
21	17,040	1,061	9425	-4,09	-3,58	-0,409	-3,48	-0,369	3,22	0,341	60,02	60,52	0,303			
33	17,204	1,071	9273	-4,09	-3,58	-0,414	-3,46	-0,373	3,19	0,344	60,35	60,86	0,304			
82	17,593	1,095	8926	-4,08	-3,57	-0,427	-3,43	-0,385	3,12	0,349	61,12	61,64	0,308			
217	18,139	1,129	8472	-4,07	-3,57	-0,444	-3,40	-0,401	3,02	0,356	62,17	62,71	0,314			
500	18,741	1,167	8015	-4,05	-3,56	-0,464	-3,36	-0,419	2,92	0,364	63,27	63,82	0,319			
1000	19,355	1,205	7587	-4,04	-3,55	-0,484	-3,32	-0,438	2,82	0,372	64,34	64,91	0,325			
1800	19,975	1,243	7193	-4,03	-3,54	-0,505	-3,29	-0,457	2,73	0,379	65,36	65,95	0,330			
5400	21,428	1,334	6391	-3,99	-3,53	-0,554	-3,21	-0,503	2,53	0,395	67,56	68,20	0,341			
6749	21,778	1,356	6220	-3,99	-3,52	-0,567	-3,20	-0,514	2,48	0,399	68,05	68,70	0,344			
8788	22,220	1,383	6015	-3,98	-3,52	-0,582	-3,18	-0,528	2,43	0,404	68,65	69,31	0,347			
10000	22,448	1,397	5914	-3,97	-3,51	-0,590	-3,17	-0,536	2,40	0,406	68,95	69,62	0,348			

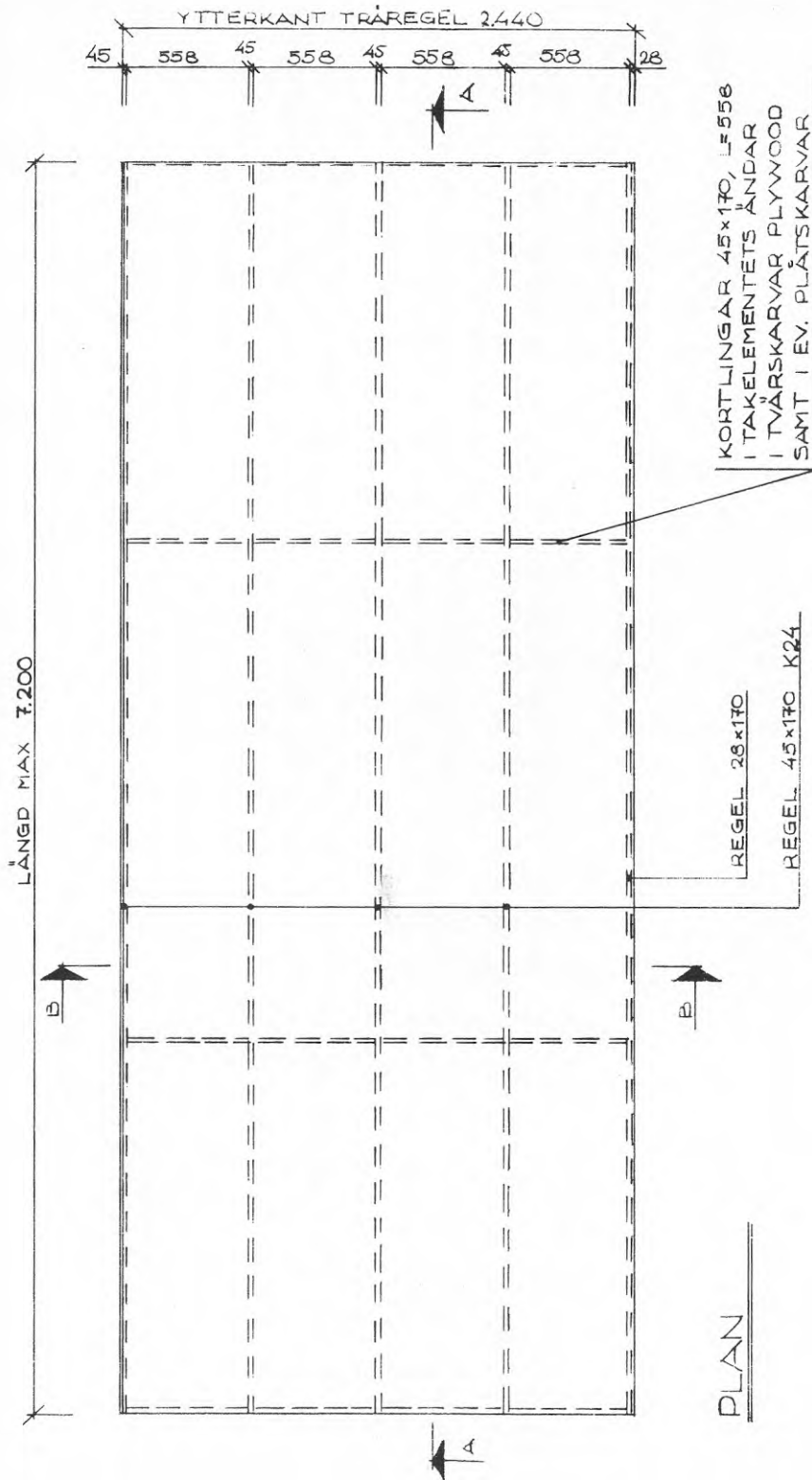
Simulering av långtidsbelastning. Indata och resultat för element III.

1

för x=150 mm från upplaget

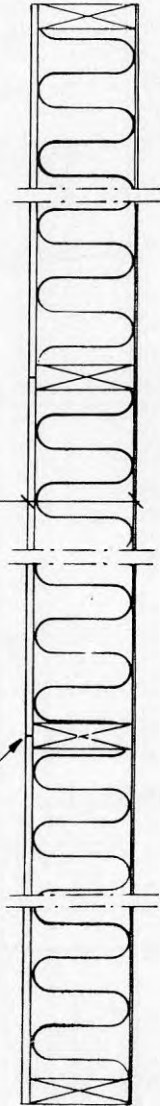
Relativ förskjutning mellan två skikt	Skjuvflöde		Tid (timmar)	
	trä/plywood	trä/plåt		
Tryckf./liv Dragfläns/liv	N1(x)	N3(x)		
2,99E-02	9,65E-02	-1,91E+01	1,90E+01	0,03
3,00E-02	9,73E-02	-1,91E+01	1,90E+01	0,10
3,02E-02	9,81E-02	-1,91E+01	1,91E+01	0,25
3,03E-02	9,88E-02	-1,91E+01	1,91E+01	0,50
3,05E-02	9,98E-02	-1,91E+01	1,92E+01	1
3,10E-02	1,02E-01	-1,91E+01	1,93E+01	4
3,14E-02	1,04E-01	-1,91E+01	1,95E+01	10
3,18E-02	1,07E-01	-1,90E+01	1,96E+01	21
3,21E-02	1,08E-01	-1,90E+01	1,98E+01	33
3,28E-02	1,12E-01	-1,90E+01	2,00E+01	82
3,37E-02	1,17E-01	-1,90E+01	2,04E+01	217
3,47E-02	1,23E-01	-1,90E+01	2,07E+01	500
3,57E-02	1,29E-01	-1,89E+01	2,11E+01	1000
3,66E-02	1,35E-01	-1,89E+01	2,14E+01	1800
3,88E-02	1,49E-01	-1,88E+01	2,21E+01	5400
3,94E-02	1,52E-01	-1,88E+01	2,23E+01	6749
4,00E-02	1,56E-01	-1,88E+01	2,25E+01	8788
4,04E-02	1,58E-01	-1,87E+01	2,26E+01	10000





PLYWOOD 12,5 MM P30 (SPIKLIMNING)  
ISOLERING 170 MM  
TRÄREGELSTOMME  
LACKERAD SLÅT STÅLPLÅT t=0,6 MM (SPIKLIMNING)

SKARV PLYWOOD

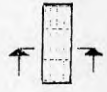
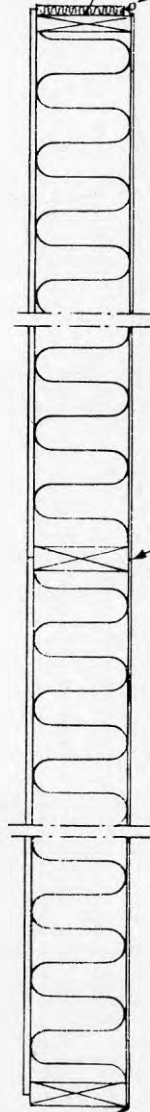


2440

15

ISOLERING 20 MM  
SLANGLIST  $\phi$  16

EV. PLÅTSKARV

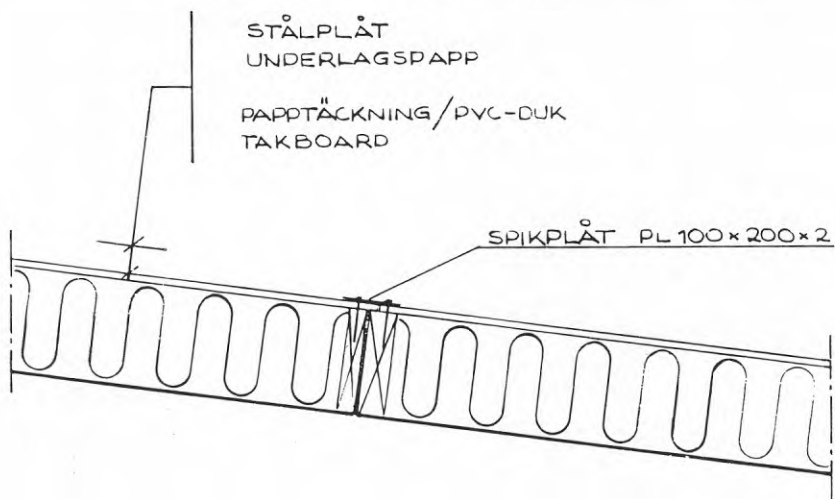


B-B

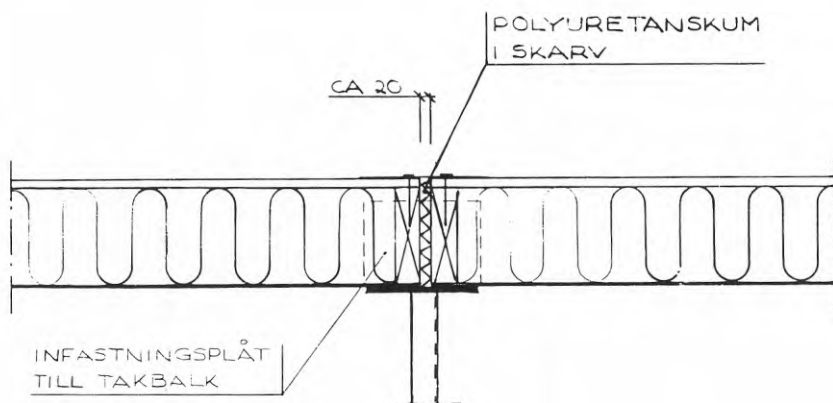
100

130

EX. YTTRE TAKBEKLÄDNAD:



MONTAGESKARV ELEMENTETS LÅNGSIDA



MONTAGESKARV ELEMENTETS KORTSIDA







**R22:1993**

ISBN 91-540-5544-X

Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6813022

Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner och  
material

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirka pris: 87 kr inkl moms