



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.



Rapport

R58:1987

**Studie av utböjning hos
sammansatta konstruktioner vid
olika slags klimatbelastning**

Gert Westergren

Byggforskningsrådet

R58:1987

STUDIE AV UTBÖJNING HOS SAMMANSATTA KONSTRUKTIONER
VID OLIKA SLAGS KLIMATBELASTNING

Gert Westergren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821286-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Kungl. tek-
niska högskolan, Avdelningen för stålbyggnad, Stockholm.

REFERAT

Under uppvärmningssäsongen i småhus uppkommer ofta utböjningar hos t ex isolerade ytterväggar och yttertak av trä. Utböjningarna leder ofta till skador vid anslutning till andra byggnadsdelar. Orsaken till dessa är att träkonstruktionerna omges av olika klimat, inomhus- och utomhusklimat.

I rapporten formuleras en beräkningsmodell för träkonstruktioner sammansatta av två eller tre skikt med ofullständig statisk samverkan. Beräkningsresultaten jämförs med uppmätta utböjningar från laboratorieförsök i klimatrum. I anslutning till detta studeras och diskuteras åtgärder för att minimera utböjningarna med hänsyn till böjstyva tunnplåtsprofiler.

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

R58:1987

ISBN 91-540-4727-7
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLL

| | <u>Sida</u> |
|---|-------------|
| BETECKNINGAR | 7 |
| FÖRORD | 9 |
| 1 INLEDNING | 11 |
| 1.1 Bakgrund och syfte | 11 |
| 1.2 Problemdefinition | 14 |
| .1 Fuktkvot-Relativ luftfuktighet | 14 |
| .2 Samband mellan fuktkvots- och dimensionsförändring | 17 |
| .3 Transversell fuktrörelse - Utböjning | 18 |
| .4 Tvångspåkänningar | 19 |
| 1.3 Arbetets omfattning | 20 |
| 2 TEORI FÖR OFULLSTÄNDIG SAMVERKAN VID FUKT-/TEMPERATURRÖRELSE | 22 |
| 2.1 Treskiktsbalk med konstant förskjutningsmodul | 22 |
| 2.2 Tvåskiktsbalk med konstant förskjutningsmodul | 29 |
| 2.3 Känslighetsanalys | 32 |
| 2.4 Treskiktsbalk med modifierad förskjutningsmodul | 36 |
| 3 EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR | 42 |
| 3.1 Försök GI - Jämförelse mellan olika balktyper(Inledande) | 42 |
| .1 Syfte | 42 |
| .2 Försöksbeskrivning | 43 |
| .1 Provkroppsbeskrivning | 43 |
| .2 Placering av provkropp | 45 |

| | <u>Sida</u> |
|--|-------------|
| 3.1.2 .3 Klimat och klimatutrustning | 46 |
| .4 Utrustning för deformationsmätning | 47 |
| .5 Genomförande | 48 |
| .3 Resultat av deformationsmätning | 49 |
| .4 Utvärdering av deformationsresultat | 50 |
| .5 Fuktmetning med fuktgivare | 52 |
| .1 Fuktgivare | 52 |
| .2 Utvärdering av fuktmätning | 55 |
| 3.2 Försök GII - Boardbalk i samverkan med skivmaterial | 57 |
| .1 Syfte | 57 |
| .2 Försöksbeskrivning | 57 |
| .3 Resultat av deformationsmätning | 59 |
| .4 Utvärdering av deformationsresultat | 61 |
| 3.3 Försök GIII - Kompositbalk av tunnplåt och trä | 63 |
| .1 Syfte | 63 |
| .2 Försöksbeskrivning | 63 |
| .3 Resultat av deformationsmätning | 65 |
| .4 Utvärdering av deformationsmätning | 66 |
| 3.4 Försök GIV - Tunnplåtsbalk med skruvade spånskivor | 69 |
| .1 Syfte | 69 |
| .2 Försöksbeskrivning | 69 |
| .3 Resultat från deformationsmätning | 71 |
| .4 Karakteristika hos skruvförbandet | 72 |
| .5 Utvärdering av deformationsresultat | 74 |
| 3.5 Försök GV - Jämförelse mellan olika balktyper | 79 |
| .1 Syfte | 79 |
| .2 Försöksbeskrivning | 79 |
| .3 Resultat från deformationsmätning | 80 |
| .4 Resultat från fuktkvotsbestämning | 81 |
| .5 Utvärdering av försöksresultat | 82 |
| 4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER | 85 |

| | <u>Sida</u> |
|----------------------------|-------------|
| 5 SAMMANFATTNING | 89 |
| REFERENSER | 91 |
| BILAGA 1 Försök GII | 93 |
| BILAGA 2 Försök GIII | 96 |
| BILAGA 3 Försök GIV | 101 |
| BILAGA 4 Försök GV | 107 |

BETECKNINGAR

| | |
|----------------|---|
| A | Area hos hela tvärsnittet |
| A_1, A_2 | Area hos skikt 1 resp. 2 |
| $C_1 - C_{32}$ | Hjälpkonstanter i uttryck för utböjning |
| $D_1 - D_3$ | Hjälpkonstanter i uttryck för normalkraft och skjuvflöde |
| E_1, E_2 | Elasticitetsmodul för skikt 1 resp. 2 |
| I_1, I_2 | Tröghetsmoment för skikt 1 resp. 2 |
| L | Balklängd för fritt upplagd balk |
| M | Totalt moment i tvärsnittet |
| M_1, M_2 | Moment i skikt 1 resp. 2 |
| N | Normalkraft |
| Q | Skjuvkraft |
| RF | Relativ luftfuktighet |
| RH | -----"----- |
| T | Konstant fuktkvots-/temperaturförändring över skiktets höjd |
| U | Fuktkvot |
| U_F | Fibermättnadsfuktkvot |
| c | Avstånd mellan centrum på skruvarna |
| d | Steglängd mellan två diskreta punkter |
| f_{12} | Skjuvflöde |
| h | Tvärsnittshöjd |

| | |
|------------------------------------|---|
| k | Förskjutningsmodul för enskilt förbindningselement |
| k_2 | Förskjutningsmodul för två förbindningselement $k_2 = 2 k$ |
| k^* | F-modul $k^* = \frac{m k}{c}$ |
| m | Antal parallella skruvrader |
| q | Jämnt fördelad last |
| s | Förskjutning (slip) |
| t | Skivtjocklek |
| w | Förskjutning i z-riktning |
| x, y, z | Rätvinkliga koordinater |
| $\alpha, \alpha_1, \alpha_2$ | Längdutvidgningskoefficienter pga ändring av fuktkvot eller temperatur med en procent eller en grad Celsius. Index 1 resp. 2 avser skikt 1 eller 2. |
| $\Delta T, \Delta T_1, \Delta T_2$ | Fuktkvots- / Temperaturdifferenser. Index 1 resp. 2 avser skikt 1 eller 2 |
| ΔU | Fuktkvotsdifferenser |
| ϵ_1, ϵ_2 | Töjningar för skikt 1 resp. 2 vid fog mellan dessa. |
| g | Krökningsradie |

FÖRORD

Arbetet med denna rapport ingår som en del av ett större forskningsprojekt om samverkanskonstruktioner, som bedrivs vid Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, Avdelningen för Stålbyggnad under ledning av docent Per-Olof Thomasson. Projektet finansieras av Byggeforskningsrådet, BFR.

Provkroppar och material har levererats av Swanboard Masonite AB, Gyproc AB, Plannja AB, Casco AB, Nordisk Kartro AB och Hultsfredshus AB.

Alla experimentella undersökningar har utförts vid avdelningens laboratorium. Jag riktar ett tack till Claes Cullberg, Stefan Einarsson, Åke Jahlenius, Lars Johansson och Sture Karlsson som gjort laboratorieundersökningarna möjliga samt till Gunvor Öjemo som tålmodigt hjälpte till med förfärdigandet av rapporten.

Dessutom framför jag mitt varma tack till Jürgen König och min handledare Per-Olof Thomasson som bistått och uppmuntrat under arbetets gång.

Stockholm i mars 1985

Gert Westergren

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund och syfte

En byggnad utsätts för olika typer av påverkan t ex statisk belastning av egentyngd, dynamisk belastning från maskiner och klimatbelastning genom temperatur och fukt. Det är helt naturligt att vissa typer av påverkan måste beaktas mer än andra för att upprätthålla byggnadens avsedda funktion.

Bland det som oftast ej beaktas finns påverkan av luftfuktigheten på geometrin och dimensionerna hos byggnaden och dess delar. Den relativa luftfuktigheten (RF) varierar ständigt vilket innebär att också dimensionerna hos vissa material förändras, materialet sväller och krymper. Det gäller främst byggnadskonstruktioner där trä eller träbaserade material ingår. Rörelser p g a temperatur är oftast av underordnad betydelse i sådana konstruktioner. Avsevärda materialrörelser kan även uppkomma vid uttorkningskedet av byggfukt.

Vissa konstruktioner är utformade så att eventuell svällning eller krympning hos materialet mer eller mindre motverkas. Det gäller t ex för sammansatta konstruktioner med styva limförband, kontinuerliga balkar eller styva knutpunkter i ramhörn. I många konstruktioner tillåts dock fuktrörelserna att bildas helt fritt.

Ett antal referenser behandlar fenomenet och problematiken kring fuktrörelser i takstolskonstruktioner som uppkommer vintertid. I de fall som studerats utgörs den primära orsaken till utbildad rörelse av skillnaden mellan medelfuktkvoterna i över- och underram. Enligt (Onysko, 1980) har upphöjningar upp till 1/340 utav spännvidden rapporterats från byggnader i fält.

För vissa konstruktioner har ännu större upphöjning, transversella fuktrörelser, registrerats. Enligt (Tuomi, 1975) har rörelser upp till 1/200 utav spännvidden noterats hos flata takkonstruktioner i småhus. En svensk undersökning (Bergström, 1981) visar att upphöjningen hos takkassetter i 1.5-planshus kan uppgå till 1/300 utav spännvidden. I dessa fall orsakades upphöjningen av fuktkvotsskillnad mellan över- och undersida hos den klimatskiljande byggnadsdelen.

Vid intervjuer med företrädare för hustillverkare framkommer det också att fuktberoende rörelser utgör ett betydande problem. Det har lett till många skador, t ex att det utbildats synliga sprickor mellan innervägg och vindsbjälklag, att bakfall uppstått i våtutrymme etc, se FIG 1:1.

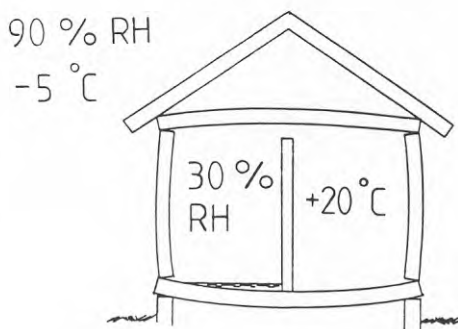


FIG 1:1 Transversella fuktrörelser i klimatskiljande byggnadskonstruktioner

I det framtida byggandet kommer hårdare krav att ställas på utnyttjandet av våra resurser. Sannolikt innebär det t ex att samverkanskonstruktioner blir vanligare, innehållande olika material med olika egenskaper. I en sådan sammansatt konstruktion med ofullständig samverkan mellan olika tvärsnittsdelar, är inverkan av fukten på konstruktionens verkningssätt ett komplext problem. En teoretisk behandling av dess inverkan på t ex transversella deformationer hos ett bjälklag, kräver flera förenklingar för att kunna genomföras.

Ökade isoleringstjocklekar kommer med stor säkerhet också att krävas i klimatskiljande byggnadsdelar. Högisolerade konstruktioner erhåller sannolikt större fuktkvotsskillnad mellan in- och utsida, se (Bergström, 1984). Inverkan av fukten genom rörelser och påkänningar är således en viktig aspekt på verkningssättet hos olika byggnadskonstruktioner.

En vanlig klimatskiljande konstruktion består ofta av balkar med förbundna skivor på in- och utsida, se FIG 1:2, där förbandet mellan delarna avgör graden av samverkan. Det föreliggande arbetet har baserats på denna grundtyp.

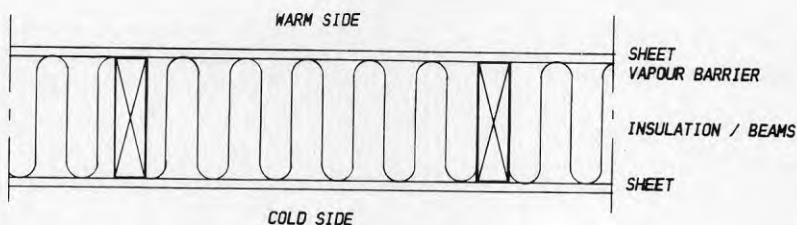


FIG 1:2 Klimatskiljande konstruktion

Syftet med denna rapport är främst att undersöka möjligheten att reducera utböjningen hos frittupplagda konstruktioner med hjälp av böjstyva tunnplåtsprofiler vid oliksidig klimatbelastning. Ett annat syfte är att studera verkningssättet hos ofullständigt samverkande sammansatta konstruktioner vid en sådan belastning. Förutom detta ägnas intresse åt att undersöka om det råder någon skillnad i utböjning på oliksidig klimatbelastning mellan några konventionella balktyper och kombinationer mellan skiva och balk.

1.2 Problemdefinition

1.2.1 Fuktkvot(U)-Relativ luftfuktighet(RF)

Variationen av RF är mer eller mindre cyklisk över året med återkommande maxvärdes-perioder under november-februari. Samtidigt råder inomhus en låg RF som leder till en extrem oliksidig klimatbelastning på klimatskiljande konstruktioner. Tiden för topp-perioden och den maximala nivån varierar något i landet beroende på klimatförhållanden. I FIG 1:3 visas variationen av RF i Västerås enligt SMHI.

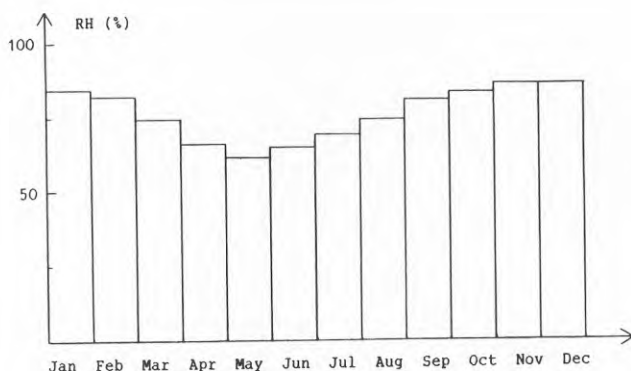


FIG 1:3 Medelvärde av uppmätt RF i Västerås
1931-1960 enligt SMHI

Ett hygroskopiskt material kan binda fukt direkt från luften, vilket påverkar fuktkvoten hos materialet. Benägenheten att ta upp fukt är relativt stor för trä och träbaserade material. TAB 1:1 visar ungefär hur mycket fukt några olika typer av material tar upp.

| MOISTURE RATIO % Temperature 20 °C | | | | |
|---------------------------------------|---------|------------|--------------------|--------------------|
| RH % | Plywood | Chip-board | Fibre-board (hard) | Wood (pine/spruce) |
| 20 | 4 | 4 | 3 | 5-6 |
| 30 | 6 | 6 | 4 | 6-7 |
| 40 | 8 | 7 | 6 | 7-8 |
| 50 | 10 | 8 | 7 | 8-9 |
| 60 | 11 | 9 | 8 | 10-11 |
| 70 | 13 | 11 | 9 | 12-13 |
| 80 | 15 | 12 | 11 | 14-16 |
| 90 | 19 | 15 | 13 | 18-20 |

TAB 1:1 Ungefärliga fuktkvoter hos trä och träbaserade material vid olika värden på RF (Lundgren, 1982)

Sambandet mellan U och RF för ett material i jämvikt är dock inte entydigt, utan beror även av materialets klimathistoria, dvs vilka klimat det varit utsatt för tidigare. I FIG 1:4 illustreras detta genom den sk hystereseffekten. Temperaturen har en liten inverkan på detta samband och kan vid normalt förekommande temperaturer försummas, se FIG 1:5.

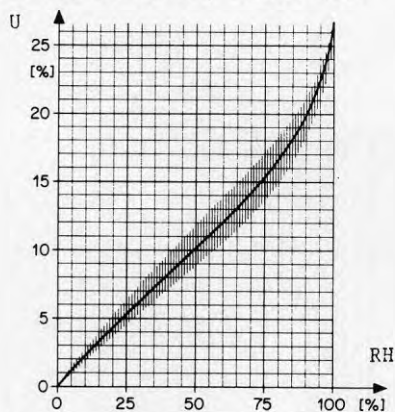


FIG 1:4 Samband mellan fuktkvot(U) och relativ luftfuktighet(RF) vid jämvikt (SIA 164, 1981)

BALANCED MOISTURE RATIO (%)

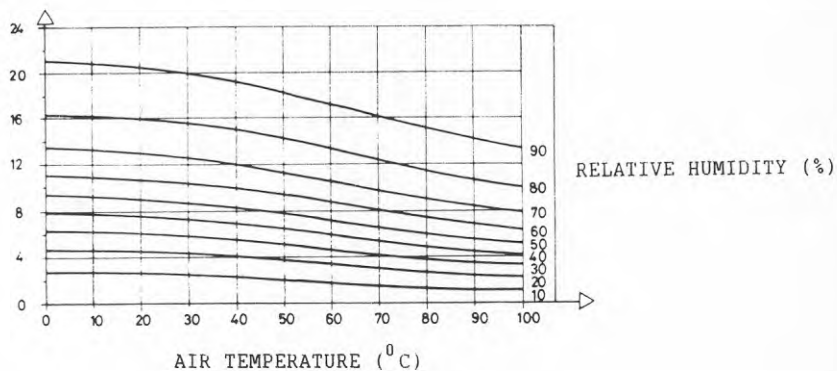
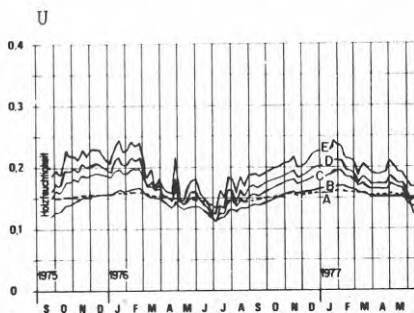


FIG 1:5 Temperaturen inverkan på sambandet mellan fuktkvot och RF (Aune, 1975)

Det tar tid för ett material att ställa in sig i jämvikt med omgivande luftfuktighet. Hur lång tid beror på diffusionsmotståndet samt dimensionerna hos materialet. Tjockare konstruktioner är trögare och påverkas därför t ex mindre av kortvariga klimatperioder med hög RF, se FIG 1:6.



| Kurve | Querschnittsmasse [cm] | Balkenlänge [cm] |
|-------|------------------------|------------------|
| A | 17 x 34 | 375 |
| B | 8 x 16 | 180 |
| C | 4 x 8 | 90 |
| D | 2 x 4 | 45 |
| E | 1 x 2 | 22 |

FIG 1:6 Variationer av medelfuktkvot hos träbjälkar med varierande tjocklekar (SIA, 1981)

1.2.2 Samband mellan fuktkvots- och dimensionsförändring

En höjning/sänkning av fuktkvoten hos t ex trä och träbaserade material leder till svällning /krympning om förändringen sker mellan absolut torrt resp. fibermättat material. I FIG 1:7 illustreras detta för förlängningen av en trästav då fuktkvoten U ändras från noll till fibermättnadspunkten U_F .

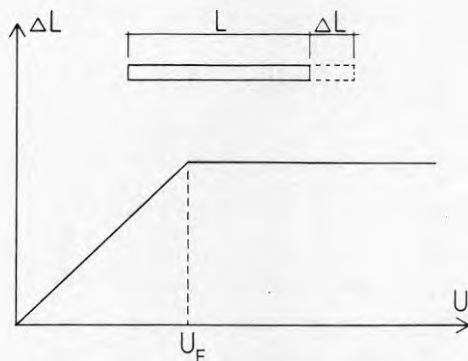


FIG 1:7 Samband mellan svällning/krympning hos en trästav och fuktkvot vid jämvikt

Benägenheten till svällning/krympning hos ett material brukar anges som en längdutvidningskoefficient α , som anger den relativa dimensionsförändringen vid förändringen av fuktkvoten med en procent. Storleken på koefficienten beror av själva materialet samt vilken huvudriktning den avser hos materialet.

Svällnings- och krympningsegenskaperna uppvisar en betydande spridning hos trä och träbaserade material. Störningar hos materialet som t ex snedfibrighet påverkar svällningen mycket i längdsled hos sågat trävirke, eftersom längdutvidningskoefficienten är mycket större vinkelrätt fibrerna än parallellt. I TAB 1:2 visas normala värden för längdutvidningskoefficienterna α hos några olika typer av material.

| M a t e r i a l | Moisture expansivity |
|-------------------------------------|---|
| Pine and Spruce parallel with grain | $0.3 \cdot 10^{-4} - 2.0 \cdot 10^{-4}$ |
| ---"-----"--- tangential w. grain | $20 \cdot 10^{-4} - 33 \cdot 10^{-4}$ |
| ---"-----"--- radial w. grain | $8.7 \cdot 10^{-4} - 17 \cdot 10^{-4}$ |
| Chipboard longitudinal direction | $1.9 \cdot 10^{-4} - 3.9 \cdot 10^{-4}$ |
| Fibreboard ---"-----"--- | $2.0 \cdot 10^{-4} - 3.3 \cdot 10^{-4}$ |

TAB 1:2 Normala längdutvidgningskoefficienter p g a fukt
(Kollman, 1950) och (Lundgren, 1982)

1.2.3 Transversell fuktrörelse-Utböjning

Transversell fuktrörelse uppkommer vid oliksidig klimatbelastning på klimatskiljande konstruktioner. Det kan t ex vara en takstolskonstruktion med värmeisolerad underram eller ett kryppgrundbjälklag. Rörelsen utbildas pga olika fuktkvoter i olika delar av byggnadskonstruktionen.

I en takstolskonstruktion uppstår fuktkvotsskillnad inom underramen samt även mellan underram och övriga delar. Den största orsaken till utbøjningen är oftast den senare differensen, se (Ellingsrud, 1982) och (Plewes, 1976). Utbøjning pga temperaturskillnader är mindre och motsatt riktad.

Utbøjning hos t ex kryppgrundbjälklag eller yttervägg, där ett enkelriktat balk-/regelsystem används, beror till största del av fuktkvotsdifferensen över balkens/regelns tvärsnittshöjd. Fördelningen av fuktkvoten över tvärsnittshöjden beror av vilka material som ingår, temperaturfördelningen över dito samt de olika klimatförhållanden som råder. Ofta approximeras fördelningen till att vara linjär över höjden, vilket inte torde ge några större fel. Jämför t ex med uppmätt fuktkvotfördelning i kap 3. Temperaturskillnaden över tvärsnittshöjden ger vid normala förutsättningar en utbøjning som motsvarar ca 10 % utav motsvarande utbøjning pga fukt. Rörelserna är motriktade.

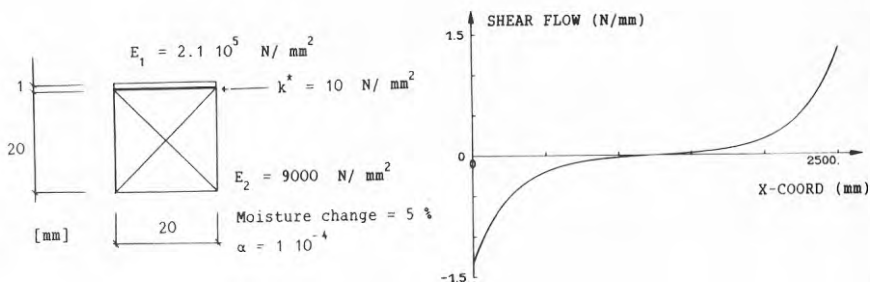


FIG 1:8 Exempel på skjuvflödesfördelning i limförband hos tvåskiktetsbalk p g a fuktrörelse

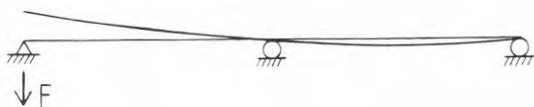


FIG 1:9 Erforderlig kraft F för att återföra en kontinuerlig balk till utgångsläget då den är utsatt för oliksidig klimatbelastning

1.3 Arbetets omfattning

Föreliggande arbete har bestått av teoretiska studier och experimentella undersökningar i laboriemiljö, av fritt upplagda konstruktionselement på två stöd, enligt godtagen grundtyp utsatta för oliksidig klimatbelastning. Intresset har främst riktats mot hur stor utböjning som utvecklats i konstruktionerna. Försöken har begränsats till att gälla en och samma tjocklek hos klimatskiljande element. Med hänsyn till det statistiska underlaget som antalet provkroppar utgör, har inverkan av materialegenskapernas spridning inte beaktats fullständigt.

En teoretisk behandling har genomförts för två- och treskiktsbalkar, med efterföljande parameterstudie av inverkan på mittutböjningens storlek och påkänningarna i skjuvförbanden. Dessa beräkningsmodeller förutsätter flera förenklingar, t ex att förskjutningsmodulen hos treskiktsbalkens förband är lika och att den är oberoende av förskjutningens storlek. För att kunna beakta sådana icke-lineariteter hos förbandet har även en modell för detta utvecklats. Detta sker genom succesiv modifiering av förskjutningsmodulen vid succesiv pålastning. Vid beräkningarna beaktas inte några eventuella krypeffekter.

I rapportens teoridiskussion tas enbart det skede upp då fuktjämvikt inträtt, dessutom beaktas inte hur fukten påverkar de mekaniska egenskaperna hos ingående material.

2. TEORI FÖR OFULLSTÄNDIG SAMVERKAN VID FUKT-/TEMPERATURRÖRELSER

I detta kapitel härleds uttryck för normalkraft, skjuvflöde och transversell utböjning för fritt upplagda samverkansbalkar, ut-satta för fukt-/temperaturdifferenser och jämnt fördelad last. Balkarna består av två eller tre skikt med ett tunnt skjuvkrafts-överförande förband däremellan. Verkningsättet hos en sådan konstruktion är i verkligheten mycket komplicerad, vilket innebär att en rationell teoretisk behandling erfordrar förenklingar och approximationer. Därför antas i fortsättningen att samma mekaniska egenskaper råder i tvärsnittets alla fogar och att samma styvhet mot förskjutning råder utefter fogens längd. Inledningsvis förutsättes även linjärt elastiska förhållanden.

2.1 Treskiktetsbalk med konstant förskjutningsmodul

Balken betraktas som dubbelsymmetrisk med material-, förbands-egenskaper, geometri, fukt- och temperaturdifferenser. Töjningarna i fogarna på grund av fukt- eller temperaturdifferenser är till beloppet lika stora men motsatt riktade. Således är det tillräckligt att studera jämvikten i enbart en förbandsfog. Antagna positiva riktningar för fukt- och temperaturtöjningar framgår av FIG 2:2. Verkande krafter på ett balksegmentet visas i FIG 2:1

I det övre och undre skiktet orsakas töjningarna av

- Böjande moment - M_1
- Normalkraft - $N_1 = N$
- Fukt-/temperaturdifferens över skiktets höjd - ΔT_1
- Konstant fukt-/temperaturförändring - T_1

Töjningarna i mellan-skiktet orsakas av

- Böjande moment M_2
- Fukt-/temperaturdifferens ΔT_2

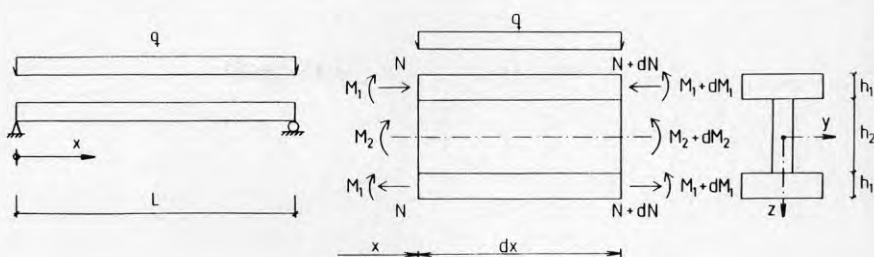


FIG 2:1 Balksegment från treskiktetsbalk

Allmänt gäller att krökningen är lika för alla tre skikten, dvs för flänsarna och liv. Med index 1 och 2 avses fläns resp. liv.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_1}{E_1 I_1} + \frac{\Delta T_1 \alpha_1}{h_1} = \frac{M_2}{E_2 I_2} + \frac{\Delta T_2 \alpha_2}{h_2} \quad (1)$$

där

M_i = Moment som verkar på skikt nr i

E_i = Elasticitetsmodul för skikt nr i

I_i = Tröghetsmoment för skikt nr i m a p dess TP-linje

ρ = Tröghetsradie för balken

α_i = Längdutvidningskoefficient för skikt nr i

I gränsskiktet fläns-liv råder följande töjningar (se FIG 2:2):

$$\epsilon_1 = \frac{M_1}{E_1 I_1} \frac{h_1}{2} - \frac{N}{E_1 A_1} + \frac{\Delta T_1 \alpha_1}{2} - T_1 \alpha_1 = \epsilon_{11} - \epsilon_{12} + \epsilon_{13} - \epsilon_{14} \quad (2)$$

$$\epsilon_2 = - \frac{M_2}{E_2 I_2} \frac{h_2}{2} - \frac{\Delta T_2 \alpha_2}{2} = - \epsilon_{21} - \epsilon_{23} \quad (3)$$

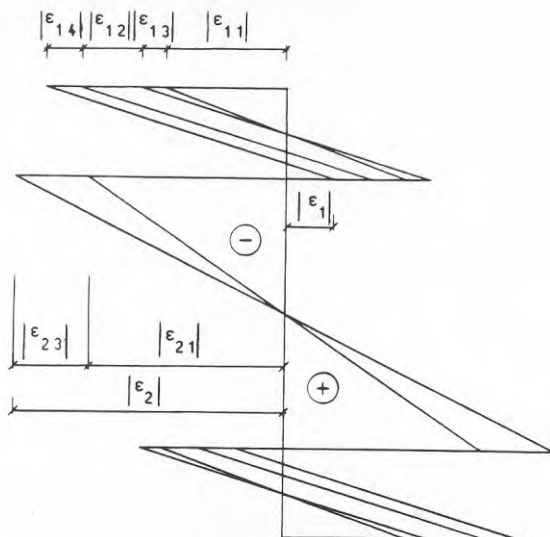


FIG 2:2 Töjningar hos treskiktsbalk

Den skjuvkraft som överförs av ett enskilt förbindningselement mellan två skikt definieras som

$$Q(x) = k s(x) \quad (4)$$

k = Förskjutningsmodul hos enskilt förbindningselement, oberoende av förskjutningen

$s = s(x)$ = Inbördes förskjutning (slip) mellan skikten

I fortsättningen beskrivs den skjuvkraftöverförande förmågan hos förbandet av förskjutningsmodulen k^* vars definition är

$$k^* = \frac{m k}{c} \quad (5)$$

m = Antal rader av förbindningselement

c = Centrumavstånd mellan förbindningselement

Differensen mellan töjningarna hos skikten blir

$$s' = \epsilon_2 - \epsilon_1 \quad (6)$$

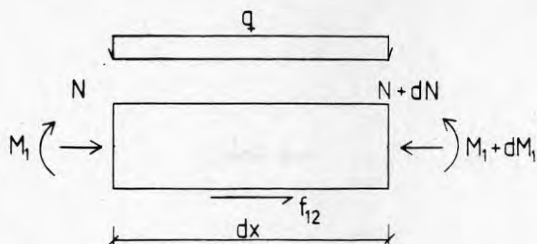


FIG 2:3 Verkande krafter på ett yttre skikt

Kraftjämvikt för det yttre skiktet ger att

$$N' = f_{12}(x) = s(x)k^* \quad (7)$$

$f_{12}(x)$ = Skjuvflödet mellan fläns och liv
 k^* = Förskjutningsmodul mellan fläns o liv

Derivera ekvation (7)

$$N'' = s'k^* \quad (8)$$

Från (1) erhålls att

$$\frac{M_1}{E_1 I_1} = -w'' - \frac{\Delta T_1 \alpha_1}{h_1} \quad (9)$$

$$\frac{M_2}{E_2 I_2} = -w'' - \frac{\Delta T_2 \alpha_2}{h_2} \quad (10)$$

Ekv (2), (3), (6), (8), (9) och (10) ger

$$\frac{N''}{k^*} = w'' \left(\frac{h_2 + h_1}{2} \right) + T_1 \alpha_1 + \frac{N}{E_1 A_1} \quad (11)$$

Momentjämvikt för dx-elementet ger att

$$M = M_2 + 2 M_1 + N(h_1 + h_2) \quad (12)$$

Ur (9) och (10) erhålls att

$$M_1 = -w'' E_1 I_1 - \frac{\Delta T_1 \alpha_1 E_1 I_1}{h_1} \quad (13)$$

$$M_2 = -w'' E_2 I_2 - \frac{\Delta T_2 \alpha_2 E_2 I_2}{h_2} \quad (14)$$

Ekv (12), (13) och (14) ger att

$$w'' = \frac{\left[-M - \frac{2\Delta T_1 \alpha_1 E_1 I_1}{h_1} - \frac{\Delta T_2 \alpha_2 E_2 I_2}{h_2} + N(h_1 + h_2) \right]}{E_2 I_2 + 2E_1 I_1} \quad (15)$$

(15) i (11) ger följande differentialekvation

$$N'' - N D_1 = M D_2 + D_3 \quad (16)$$

$$D_1 = \frac{k^* (h_1 + h_2)^2}{2(E_2 I_2 + 2E_1 I_1)} + \frac{k^*}{E_1 A_1} \quad (17)$$

$$D_2 = -\frac{k^* (h_1 + h_2)}{2(E_2 I_2 + 2E_1 I_1)} \quad (18)$$

$$D_3 = -\frac{k^* (h_1 + h_2)}{2(E_2 I_2 + 2E_1 I_1)} \left[\frac{2\Delta T_1 \alpha_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{\Delta T_2 \alpha_2 E_2 I_2}{h_2} \right] + k^* T_1 \alpha_1 \quad (19)$$

För en fritt upplagd balk blir randvillkoren

$$N(0)=0 \quad (20)$$

$$N'(L/2)=0 \quad (21)$$

Om belastningen är jämnt fördelad blir uttrycket för normalkraften

$$N = \left[\begin{array}{cc} D_3 & D_2 q \\ D_1 & (D_1)^2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{cc} \frac{e^{(\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(\sqrt{D_1} L)}} + \frac{e^{(-\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(-\sqrt{D_1} L)}} - 1 \\ \frac{e^{(\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(\sqrt{D_1} L)}} - \frac{e^{(-\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(-\sqrt{D_1} L)}} \end{array} \right] + \frac{D_2 q x^2 - D_2 q L x}{2D_1} \quad (22)$$

Skjuvflödet mellan skikten blir därmed

$$f_{12} = \left[\begin{array}{cc} D_3 & D_2 q \\ D_1 & (D_1)^2 \end{array} \right] \left[\begin{array}{cc} \frac{e^{(\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(\sqrt{D_1} L)}} - \frac{e^{(-\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(-\sqrt{D_1} L)}} \\ \frac{e^{(\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(\sqrt{D_1} L)}} + \frac{e^{(-\sqrt{D_1} x)}}{1 + e^{(-\sqrt{D_1} L)}} \end{array} \right] \sqrt{D_1} + \frac{2D_2 q x - D_2 q L}{2D_1} \quad (23)$$

Ekv (15)-(19) ger att

$$w'' = M C_1 + N'' C_2 + C_3 \quad (24)$$

$$C_1 = \frac{\left[-1 + \frac{1}{1 + \frac{2(E_2 I_2 + 2E_1 I_1)}{(h_1 + h_2)^2 E_1 A_1}} \right]}{E_2 I_2 + 2E_1 I_1} \quad (25)$$

$$C_2 = \left[\frac{(h_1 + h_2)k^*}{2} + \frac{(E_2 I_2 + 2E_1 I_1)k^*}{(h_1 + h_2)E_1 A_1} \right]^{-1} \quad (26)$$

$$C_{31} = \frac{\left[\frac{2\Delta T_1 \alpha_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{\Delta T_2 \alpha_2 E_2 I_2}{h_2} \right] \left[\frac{1}{1 + \frac{2(E_2 I_2 + 2E_1 I_1)}{E_1 A_1 (h_1 + h_2)^2}} - 1 \right]}{E_2 I_2 + 2E_1 I_1} \quad (27)$$

$$C_{32} = - \frac{T_1 \alpha_1}{\left[\frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{E_2 I_2 + 2E_1 I_1}{(h_1 + h_2) E_1 A_1} \right]} \quad (28)$$

$$C_3 = C_{31} + C_{32}$$

För jämnt fördelad last gäller att momentet

$$M = M(x) = \frac{qx}{2} (L-x) \quad (29)$$

Följande randvillkor gäller

$$w(0)=N(0)=0 \quad (30)$$

$$w'(L/2)=N'(L/2)=0 \quad (31)$$

Dessa ger efter integrering av ekv (24) uttrycket för utböjningen

$$w = C_1 q \left[-\frac{x^4}{24} + \frac{Lx^3}{12} - \frac{L^3 x}{24} \right] + N C_2 + \frac{C_3 x}{2} (x-L) \quad (32)$$

eller

$$w = w_A + N C_2 + \frac{C_3 x}{2} (x-L) \quad (33)$$

där w_A utgör utböjning utav q -last vid full samverkan.

2.2 Tvåskikttsbalk med konstant förskjutningsmodul

Motsvarande teori och uttryck som redovisats för dubbelsymmetrisk treskikttsbalk gäller även för en fritt upplagd tvåskikttsbalk. De framtagna uttrycken för t ex normalkraft, skjuvflöde och utböjning gäller dock med förändringar av några konstanter eftersom andra förutsättningar gäller. Antagna positiva töjningar framgår av FIG 2:5. Verkande krafter på ett balksegment visas i FIG 2:4.

Töjningarna i båda skikten orsakas av

- Böjande moment - M_1, M_2
- Normalkraft - $N_1 = N_2 = N$
- Fukt-/temperaturdifferens över skiktets höjd - $\Delta T_1, \Delta T_2$
- Konstant fukt-/temperaturförändring över höjden - T_1, T_2

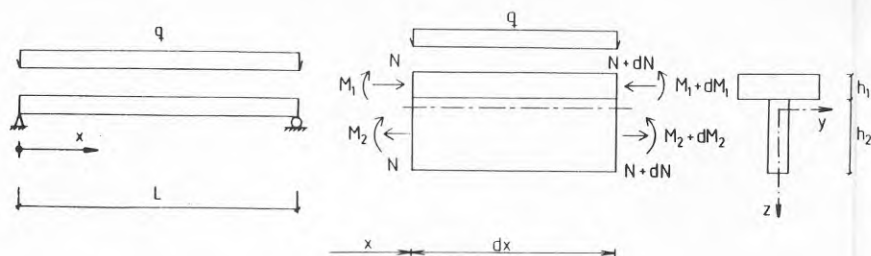


FIG 2:4 Balksegment av tvåskikttsbalk

I gränsskiktet mellan skikten råder följande töjningar (se FIG 2:5):

$$\epsilon_1 = \frac{M_1}{E_1 I_1} \frac{h_1}{2} - \frac{N}{E_1 A_1} + \frac{\Delta T_1 \alpha_1}{2} - T_1 \alpha_1 = \epsilon_{11} - \epsilon_{12} + \epsilon_{13} - \epsilon_{14} \quad (34)$$

$$\epsilon_2 = -\frac{M_2}{E_2 I_2} \frac{h_2}{2} + \frac{N}{E_2 A_2} - \frac{\Delta T_2 \alpha_2}{2} + T_2 \alpha_2 = -\epsilon_{21} + \epsilon_{22} - \epsilon_{23} - \epsilon_{24} \quad (35)$$

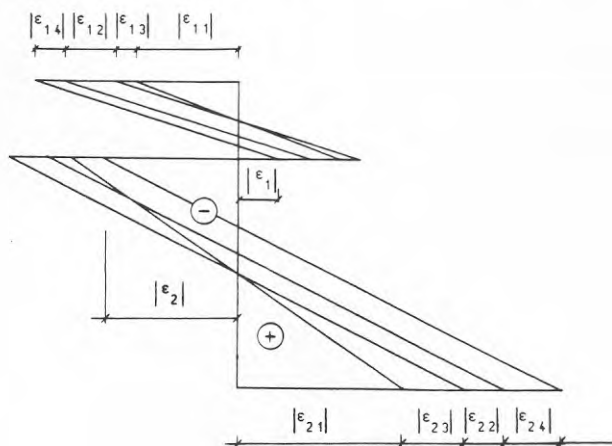


FIG 2:5 Töjningar hos tvåskikttsbalk

I de tidigare härledda uttrycken för normalkraft och skjuvflöde blir konstanterna för tvåskikttsbalken enligt nedan

$$D_1 = \frac{k^* (h_1 + h_2)^2}{4(E_1 I_1 + E_2 I_2)} + \frac{k^*}{E_1 A_1} + \frac{k^*}{E_2 A_2} \quad (36)$$

$$D_2 = - \frac{k^* (h_1 + h_2)}{2(E_1 I_1 + E_2 I_2)} \quad (37)$$

$$D_3 = - \frac{k^* (h_1 + h_2)}{2(E_1 I_1 + E_2 I_2)} \left[\frac{\Delta T_1 \alpha_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{\Delta T_2 \alpha_2 E_2 I_2}{h_2} \right] + k^* (T_1 \alpha_1 + T_2 \alpha_2) \quad (38)$$

I uttrycket för den transversella utböjningen gäller nedanstående konstanter

$$C_1 = \frac{\left[-1 + \frac{1}{1 + \frac{4(E_1 I_1 + E_2 I_2)}{(h_1 + h_2)^2} \left[\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \right]} \right]}{E_1 I_1 + E_2 I_2} \quad (39)$$

$$C_2 = \left[\frac{(h_1 + h_2) k^*}{2} + \frac{2(E_1 I_1 + E_2 I_2) k^*}{(h_1 + h_2)} \left[\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \right] \right]^{-1} \quad (40)$$

$$C_{31} = \frac{\left[\frac{1}{1 + \frac{4(E_1 I_1 + E_2 I_2)}{(h_1 + h_2)^2} \left[\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \right]} - 1 \right]}{E_1 I_1 + E_2 I_2} \quad (41)$$

$$C_{32} = - \frac{T_1 \alpha_1 + T_2 \alpha_2}{\left[\frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{2(E_2 I_2 + E_1 I_1)}{h_1 + h_2} \left[\frac{1}{E_1 A_1} + \frac{1}{E_2 A_2} \right] \right]} \quad (42)$$

$$C_3 = C_{31} + C_{32} \quad (43)$$

2.3 Känslighetsanalys

För att kunna bedömma inverkan av olika faktorer på utböjning och skjuvflöde, erfordras kännedom om samspelet mellan dessa olika parameterar och vikten av var och en.

En grundläggande faktor för en samverkanskonstruktion är graden av samverkan som beskrivs av förskjutningsmodulen k^* hos skjuvkraftsöverförande förband. Inverkan av dess storlek på mittutböjningen illustreras i FIG 2:7 för en fritt upplagd treskiktetsbalk med tvärsnitt och parametervärden enligt FIG 2:6. Balken utsätts endast för svällning resp. krympning i flänsarna. Ur kurvan framgår det att f -modulen har stor betydelse för hur stora rörelser som kan uppkomma.

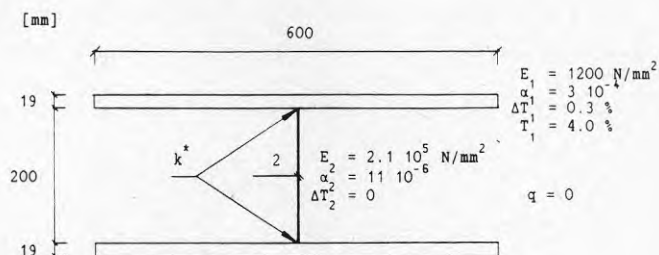


FIG 2:6 Tvärsnitt av treskiktetsbalk endast utsatt för svällning resp. krympning i flänsarna med ingående parametervärden vid beräkning av mittutböjning, $L = 2500 \text{ mm}$

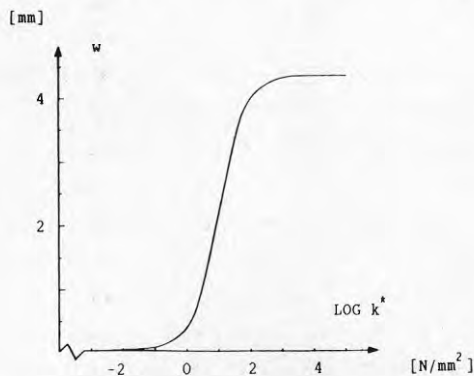


FIG 2:7 Inverkan av f -modul på mittenutböjning hos fritt upplagd treskiktetsbalk enligt FIG 2:6

Med hjälp av känslighetsanalyser för två olika tvärsnittstyper, (A och B) bestående av tre skikt, erhålls möjlighet att studera inverkan av parametervariation på mittutböjningen. I den analys som följer varieras alla parametrar vars grundvärde är skilt ifrån noll mellan faktor 1.0 till 2.0. Mittenutböjningen relateras till den utböjning då faktor 1.0 råder för alla parametrar.

För varje tvärsnittstyp genomförs känslighetsanalys för två olika värden på f-modulen. De två olika tvärsnittstyperna visas i FIG 2:8 med respektive grundvärden för ingående parametrar.

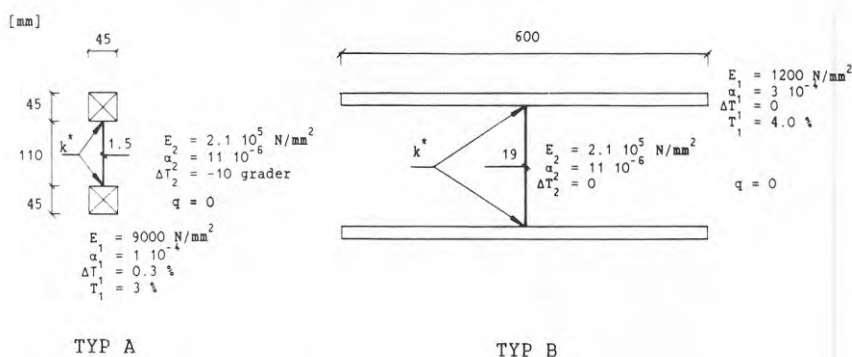


FIG 2:8 Två tvärsnittstyper, A och B, med respektive grundvärden för ingående parametrar i känslighetsanalysen, $L = 2500 \text{ mm}$

Resultatet av känslighetsanalysen presenteras i FIG 2:9-2:10. Det framgår av detta att längdutvidningskoefficienten för flänsmaterialiet α_1 och konstant fuktkvotsökning över flänsarnas tvärsnittshöjd T_1 påverkar mittenutböjningen mest. Den förstnämnda faktorn är en materialegenskap som starkt påverkas av snedfibrighet hos sågat trävirke. Det är med andra ord viktigt att använda virke av hög kvalitet, om transversella fuktrörelser skall minimeras.

Vid jämförelse mellan inverkan av olika parametrars variation bör det beaktas att den praktiskt tänkbara variationen av parametrarna naturligtvis inte är lika stor för alla. T ex varierar möjliga tvärsnittsmått inom ett begränsat spann jämfört med hur f-modulen kan variera vid kort- och långtidslast. Mellan lim- och skruvförband kan dessutom förhållandet mellan f-modulerna uppgå till flera tiopotenser.

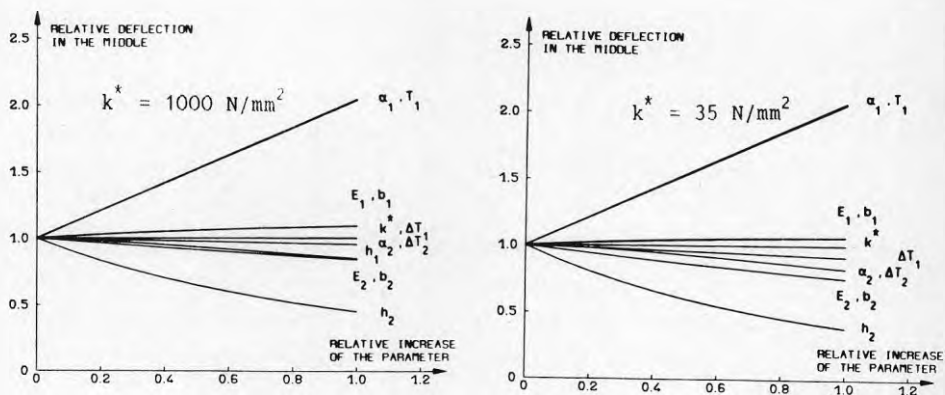


FIG 2:9 Känslighetsanalys för tvärsnitt A

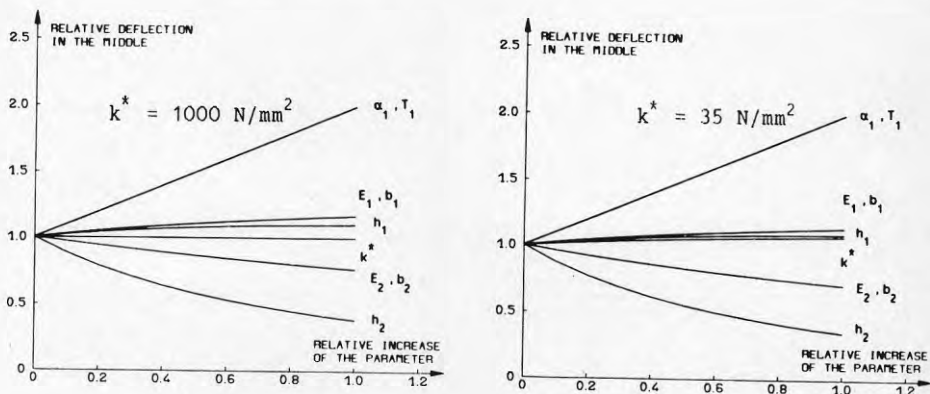


FIG 2:10 Känslighetsanalys för tvärsnitt B

2.4 Treskiktsbalk med modifierad förskjutningsmodul

För de flesta typer av förband gäller att ickelinjära egenskaper blir påtagligare ju större spänningen eller förskjutningen är. Denna effekt beaktades inte i de tidigare redovisade modellerna eftersom linjärt elastiska egenskaper förutsattes. I beräkningsmodellen nedan beaktas inverkan utav denna ickelinjära effekt. Modellen bygger på en approximation av differential-ekvationerna (16) och (24) med finita differenser.

Modellen formuleras i detta fall för en fritt upplagd dubbelsymmetrisk treskiktsbalk på två stöd, vilken antas var belastad med jämnt fördelad last. På grund av symmetri studeras endast ena balkhalvan, vilken indelas i n stycken diskreta punkter med steglängden d , se FIG 2:11. Genom att approximera andraderivatan av normalkraft och utböjning med centrala differenskvoten i ekv. (16) och (24) erhålls följande två ekvationssystem

$$N_{i-1} - N_i (2 + d^2 D_{1i}) + N_{i+1} = d^2 (M_i D_{2i} + D_{3i}) \quad (44)$$

$$w_{i-1} - 2w_i + w_{i+1} = d^2 (M_i C_{1i} + C_{3i}) + C_{2i} (N_{i-1} - 2N_i + N_{i+1}) \quad (45)$$

$$i=2,3,4,\dots,n-1,n$$

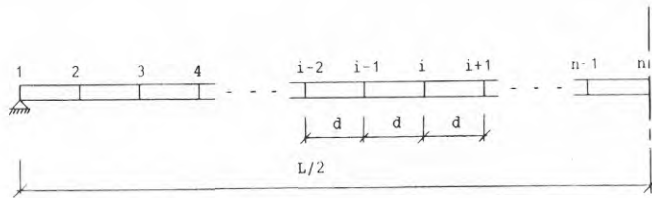


FIG 2:11 Indelning av balkhalvan i diskreta punkter

Konstanterna $D_{1i}, D_{2i}, D_{3i}, C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}$ motsvarar de tidigare definierade D_1, D_2, D_3, C_1, C_2 och C_3 , med den viktiga skillnaden att de förstnämnda endast gäller för punkt nr i med f -modulen k_i^* . Ekvationssystemen blir lösbara med randvillkoren $N_1=0, w_1=0$ och att funktionerna är symmetriska kring balkens mitt. Vid den approximation som utförts ovan med finita differenser införs s_k trunkationsfel. Andra derivatan erhåller på detta sätt ett fel som är proportionellt mot steglängden i kvadrat. Totala felet kan dock reduceras genom förfinad indelning av punkterna och/eller m h a Richardsonextrapolation.

I modellen förutsätts att last-deformationskurvan för förbandet approximeras och representeras av en styckvis linjär kurva med definierade brytpunkter, se FIG 2:12. Beräkningen sker genom att lasten påförs succesivt med kontinuerlig kontroll av om totala förskjutningarna i de diskreta punkterna passerar gränsvärdena enligt last-deformationskurvan. Varje lasttyp, jämnt utbredd last (q) och fukt- och temperaturlasterna ($\Delta T_1, \Delta T_2, T_1$) delas upp i små laststeg.

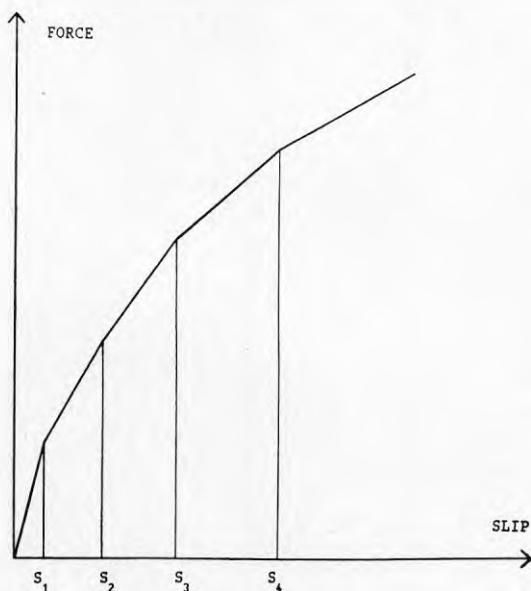


FIG 2:12 Styckvis linjär last-deformationskurva för skjuvkraftsöverförande förband

Innan någon last påförs förutsätts att förskjutningsmodulen k_i^* i varje diskret punkt tilldelas det värde som erhålls från den approximerade last-deformationskurvas första del. Lasten påförs sedan med det nämnda laststeget med efterföljande beräkning av utböjning, normalkraft, skjuvflöde och förskjutningar (slip) i alla punkter m h a ekvationssystemen (44) och (45). Kontroll sker därefter av om totala slipet överskrider det första gränsvärdet s_1 i någon diskret punkt, se FIG 2:12. Om så inte är fallet ökas lasten med ytterligare laststeg med efterföljande beräkningar, till dess att totala slipet i någon punkt passerar gränsvärdet, varvid utböjning, normalkraft, skjuvflöde och slip i alla punkter samt summan av laststegen sparas. Förskjutningsmodulen modifieras i de punkter där slipet överskrider första gränsvärdet s_1 .

Därmed utgör balken en ny struktur med förändrade egenskaper. Lastpåförandet av den återstående lasten börjar därför från noll och genomförs på motsvarande sätt som ovan, till dess att totala förskjutningen (inklusive bidraget från förra strukturen) i någon punkt passerar ett gränsvärde enligt FIG 2:12. Utböjning, normalkraft, skjuvflöde och slip samt last från denna strukturberäkning sparas och f-modulen modifieras i de aktuella punkterna.

Den nya strukturen pålastas med den återstående lasten på motsvarande sätt som ovan osv, osv. Detta pågår till dess att all last påförts. Total utböjning, normalkraft, skjuvflöde och slip i alla diskreta punkter erhålls därefter genom att summera resultaten från beräkningarna av varje struktur. I FIG 2:13 visas ett flödesschema för den beskrivna beräkningsgången, vilket använts i ett datorprogram.

Indata: Tvärsnittsmått, materialdata, last-deformationskurva, antal diskreta punkter, lastvärden på alla lasttyper, antal laststeg per lasttyp

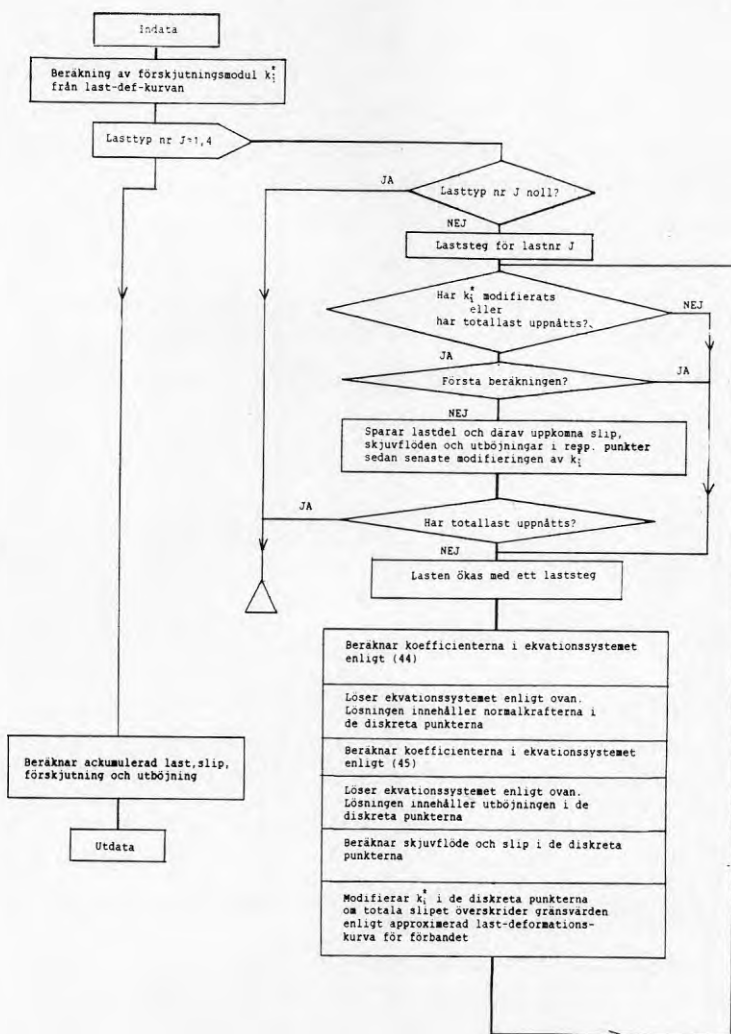


FIG 2:13 Flödesschema för beräkningsmodell som beaktar icke-linjära egenskaper hos förbandet

Hur stora är då skillnaderna mellan dessa beräkningsmodeller? Naturligtvis beror det på hur stora spänningar förbandet utsätts för och hur pass påtagliga de ickelinjära egenskaperna är. För att illustrera eventuella skillnader visas nedan ett beräknings-exempel.

En fritt upplagd treskiktsbalk ($L=2500\text{mm}$) av tunnplåt och spån-skivor utsätts för fuktbelastning i skivmaterialet, se FIG 2:14. Detta sker genom att differensen mellan flänsarnas medelfuktkvot sättes till $2T_1 = 10\%$. I beräkningsmodellen med modifierad f -modul utnyttjas uppmätt lastdeformationskurva enligt FIG 2:14, vilken approximeras till en styckvis linjär kurva. Belastningen delas upp i 20 laststeg. Balkhalvan delas upp i $n=20$ diskreta punkter. I den andra modellen används den första delen av den sistnämnda kurvan som initiell f -modul. Lastdeformationskurvan är hämtad från ett skjuvförsök med ett skruvförband S19H i avsnitt 3.4.4.

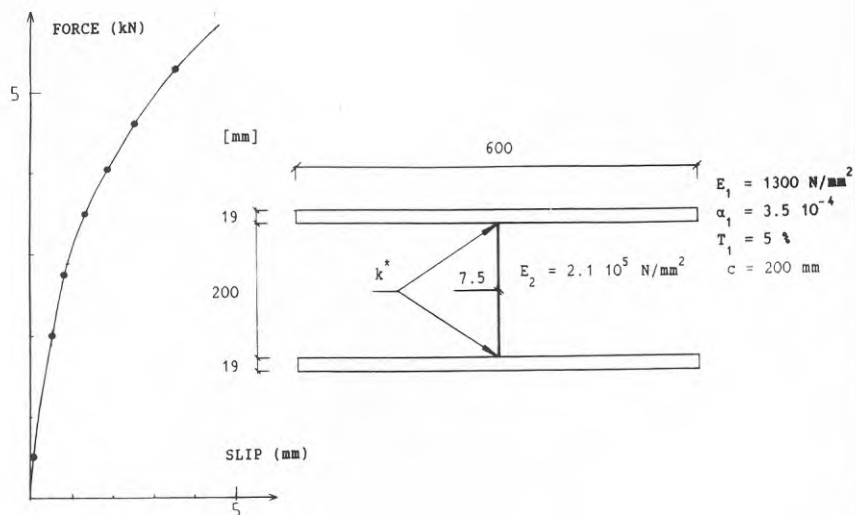


FIG 2:14 Indata för beräkningsexempel med last-deformationskurva och tvärsnittsdata

I FIG 2:15 och 2:16 jämförs beräknade skjuvflöden och utböjningar för de två olika modellerna. Det framgår att skjuvflödet reduceras kraftigt vid änden och att utböjningen minskar för modellen med modifierad förskjutningsmodul. Om däremot skruvavståndet c skulle varit mindre, hade skillnaden mellan modellerna varit mindre eftersom lägre spänningsnivåer skulle erhållits i skruvarna.

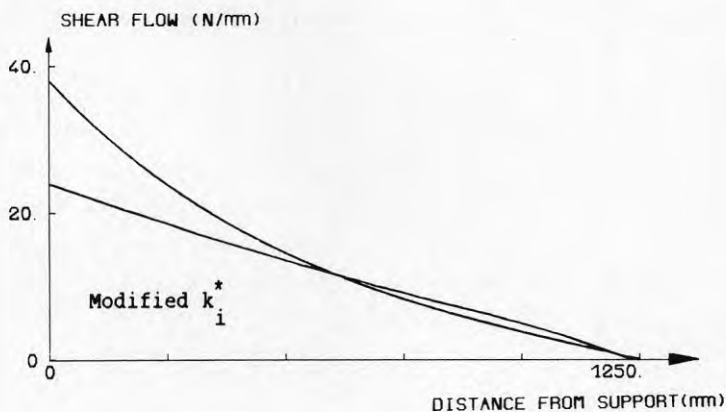


FIG 2:15 Beräknade skjuvflöden enligt beräkningsexempel

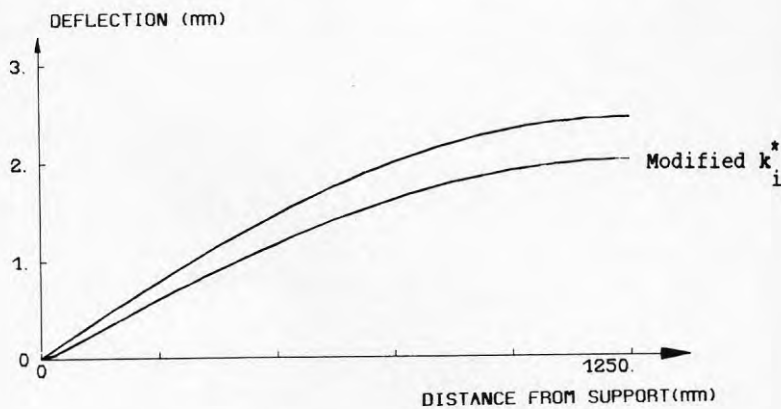


FIG 2:16 Beräknade utböjningar enligt beräkningsexempel

3. EXPERIMENTELLA UNDERSÖKNINGAR

För att försöka klarlägga verkningsätt och funktion hos klimatskiljande byggnadsdelar beträffande rörelser p g a fukt, genomfördes fem experimentella undersökningar. Klimatskiljande provkroppar föreställande vägg- eller bottenbjälklagselement utsattes för olika klimat på var sida om provkroppen, sk oliksidig klimatbelastning. Provkropparna var i princip uppbyggda av två värmeisolerade balkar med skivmaterial på över- och undersida.

I försöken studerades främst storleken av utbildad transversell rörelse hos provkroppar bestående av olika balktyper och skivmaterial med olika grad av samverkan. Den försöksbeskrivning som ges i försök GI gäller även för de följande försöken. Om skillnader eller avvikelser förekommer anges dessa i anslutning till respektive försök. Mätresultaten utvärderas i anslutning till varje försök samt diskuteras i kapitel 4.

3.1 Försök GI - Jämförelse mellan olika balktyper(Inledande)

3.1.1 Syfte

Syftet var att studera och få erfarenhet av själva provningstekniken samt att studera och jämföra några olika balkars utböjningsegenskaper vid oliksidig klimatbelastning, som normalt råder på en huskonstruktion.

3.1.2 Försöksbeskrivning

3.1.2.1 Provkroppsbeskrivning

I försöket användes totalt fyra provkroppar. Dessa motsvarade i princip klimatskiljande byggnadsdelar som t ex bjälklagselement. Tre av dessa var uppbyggda på likartat sätt med två balkar, mineralull och skivmaterial. I detta försök användes gipsskivestrimlor som skivmaterial vilka var skruvade med endast en skruv per balk. På detta sätt erhöles ingen kraftupptagande förmåga hos skivmaterialet och således ingen samverkan mellan skiva och balk. I FIG 3:1 visas den principiella uppbyggnaden av de tre provkropparna. Skillnaden mellan dessa bestod i vilken typ av balk som användes, nämligen massiv träbalk av furu, Kartrobalk av gran och Masonitebalk, se FIG 3:2.

Den fjärde provkroppen, med beteckningen GID, var ett bjälklagselement av typ Nail Web tillverkat av Hultsfredshus AB. Provkroppen bestod av 22 mm spånskiva som över- och underfläns med mellanliggande mineralull. Skivorna var ihoppressad med profilerade plåtliv vid provkroppens yttersidor. Yttermått 2500*600*200 mm. Se FIG 3:3.

Kortsidorna på varje provkropp förseddes med rundstång svetsad mot en ändplåt för att möjliggöra fri rotation runt denna, se FIG 3:4. Innan försöket konditionerades alla provkroppar i ett relativt konstant klimat med RF 55-60 %. Med torrviktsmetoden bestämdes därefter fuktkvoten hos trämaterialet till ca 11.5 % .

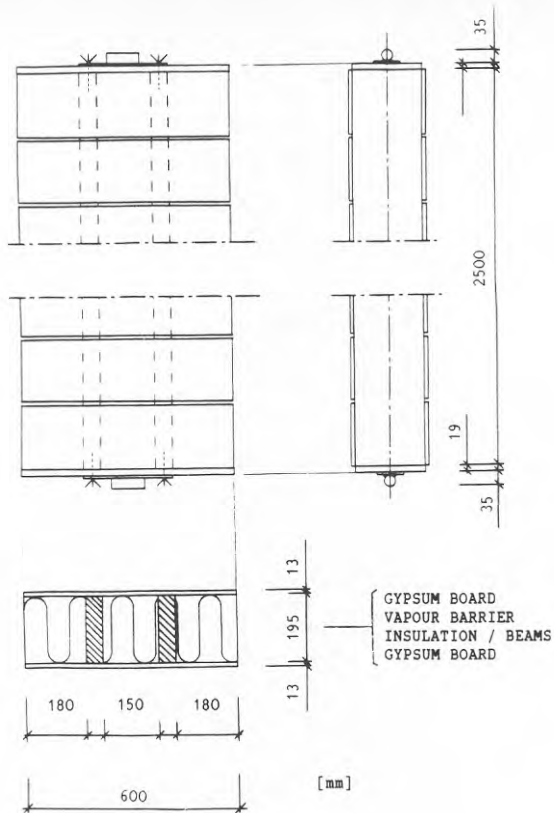


FIG 3:1 Principiell uppbyggnad av provkropparna (sektion o sidovy)

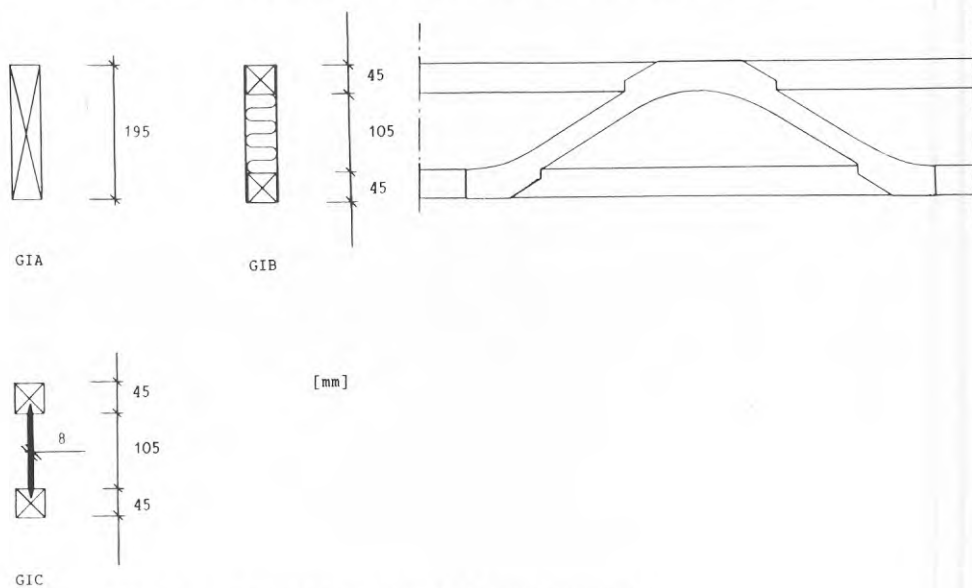


FIG 3:2 Använda balktyper i provkropparna

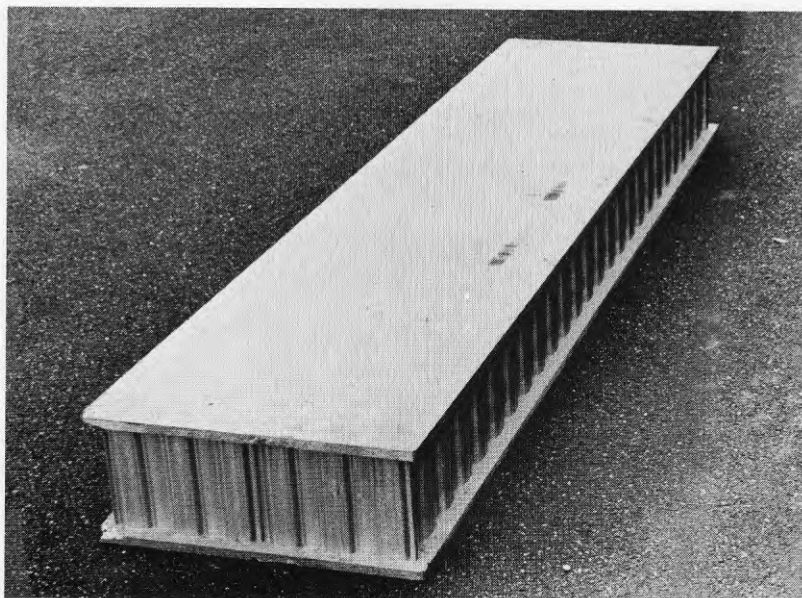


FIG 3:3 Nail Web

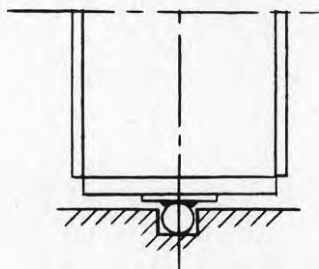


FIG 3:4 Anordning för uppläggning av provkropp med fastsvetsad rundstång i lagerskål

3.1.2.2 Placering av provkropp

Provkroppen placerades i vertikalläge med fri lagring i båda ändar, dvs med fri rotation parallellt med kortsidans längdaxel. Provkroppen ställdes först i den nedre lagerskålen (se FIG 3:4) varpå provkroppen restes till vertikalläge. Den övre lager skålen var delbar så att provkroppen skulle kunna resas till detta läge.

Efter uppresning placerades passbitar in vid övre lagerskålen så att vertikalt glapp blev litet. Lagerskålarna var fastskruvade i en träram, se FIG 3:5. Virket till ramen bestod av 45*195 mm. Träramen var i sin tur skruvad mot en ram av stålprofiler samt mot undergjuten betong.

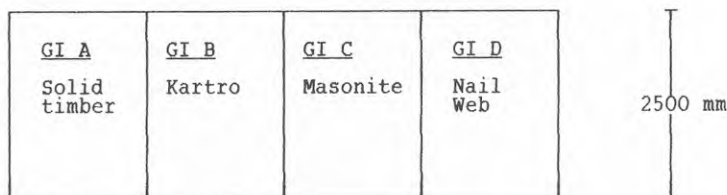


FIG 3:5 Principiellt utseende hos träram och placering av provkropparna i vertikalläge (Vy från varma rummet)

3.1.2.3 Klimat och klimatutrustning

Den oliksidiga klimatbelastningen är störst på en huskonstruktion under vintern då temperatur- och RF-differenserna är störst. I Mellan-Sverige underskrider utetemperaturen fryspunkten och RF når upp till 80-90 %, samtidigt som inomhustemperaturen normalt är 20 grader och RF kan nå ned till 25-30 %.

Vid kylning med kylaggregat råder dock svårigheter att kombinera högt RF och låg temperatur pga för stor utkondensering på kyl-elementet. Eftersom sambandet fuktkvot-RF vid normalt förekommande temperaturer i praktiken är oberoende av temperaturen och att problemet baseras på en fuktkvotsskillnad, genomfördes försöken med en förhöjd temperaturnivå.

Provkropparna monterades mellan två olika rum där klimaten kunde regleras, se FIG 3:6. I det ena rummet, varma rummet, reglerades endast temperaturen och i det andra, kalla rummet, reglerades både temperatur och relativ luftfuktighet (RF). De rådande klimatparametrarna under försökets gång var:

- Kalla rummet T= ca 13 grader RF= ca 85 %
- Varma rummet T= ca 37 grader RF= ca 20 %

Trots att ingen fuktreglering förekom i det varma rummet rådde mycket stabila förhållanden. Värmetillförseln erhöles genom en termostatstyrd värmefläkt med effekten 3 kW. I det kalla rummet reglerades temperaturen av en termostatstyrd kylanläggning. RF reglerades av en hygroskop kopplad till en aerosolapparat. Klimaten registrerades kontinuerligt i klimatrummen m h a termohygrografer, vilka kalibrerades mot en psykrometer av typ Assmann.

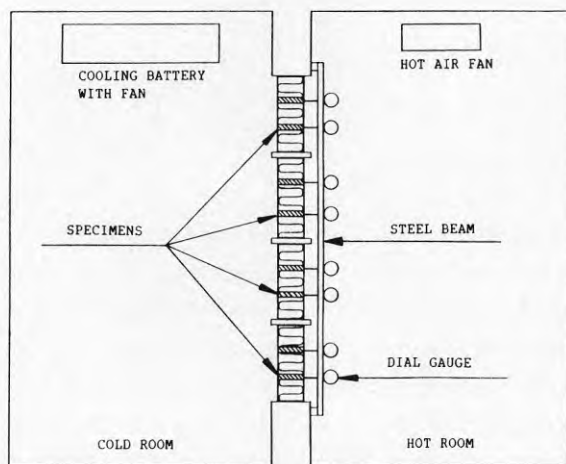


FIG 3:6 Plan över klimatrummen med utrustning

3.1.2.4 Urustning för deformationsmätning

I försöket användes totalt 16 stycken mekaniska mätklockor, fyra på varje provkropp, placerade i det varma rummet enligt FIG 3:7. Övre- och mellanraden av mätklockor var monterade på stålprofiler med längden ca 2900 mm. Varje ände på stålprofilerna klämdes fast mot en utstående klack från stålramen. Mätklockorna i undre raden monterades på individuella stativ.

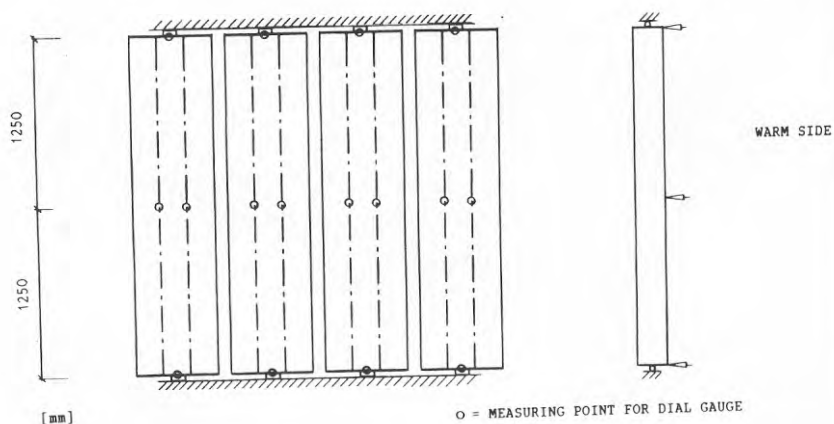


FIG 3:7 Placering av mätklockor

3.1.2.5 Genomförande

Efter uppmonteringen av provkropparna startades klimatstyrningen i de båda klimatrumsen. Temperaturhöjningen i det varma rummet orsakade temperaturrörelser hos klockupphängningen, vilket dock kunde beaktas genom att börja avläsningen först när önskad temperatur uppnåtts. Eftersom temperaturstabiliseringen (i det varma rummet) skedde mycket snabbare än fuktstabiliseringen (i provkroppen) kan inträffad fuktrörelse under denna tid försummas. Registrering av klockvärden gjordes ca en gång per arbetsdag och pågick totalt 11 veckor.

Klimatet var stabilt i det varma rummet under hela försöket. I det kalla rummet förekom dock en viss svängning i klimatet, temperaturen varierade mellan 12 till 14 grader och RF mellan 80 till 90 %.

3.1.3 Resultat av deformationsmätning

Med hjälp av mätklockorna uppmättes provkroppens rörelser vid kortändarna och vid dess mitt på balkarna. Medelvärdet av rörelsen vid mitten i förhållande till kortändarnas rörelser betecknas nedan som medelvärde av mittutböjning. I FIG 3:8 visas denna för varje provkropp under försöksperioden. Ur TAB 3:1 framgår avvikelser från medelvärdet av mittutböjningen hos varje balk vid fullt utbildad rörelse.

Erfoderlig tid för att uppnå fuktjämvikt och stabilisering av utbildad rörelse varierade mellan de olika typerna. I TAB 3:2 visas antalet erfoderliga dagar för att erhålla olika andelar av slutlig deformation.

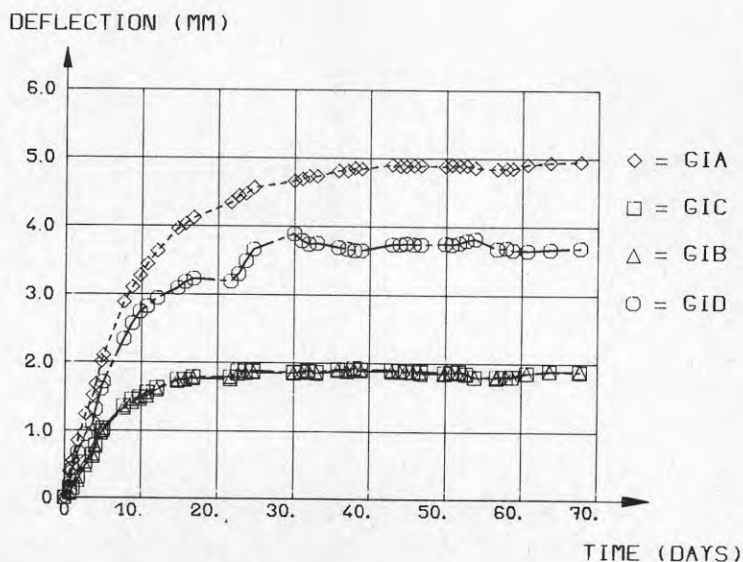


FIG 3:8 Medelvärde av mittutböjningen

| Specimen | Deflection in the middle mm | Deviation mm |
|----------|-----------------------------|--------------|
| GIA | 5.0 | ± 1.4 |
| GIB | 1.9 | ± 0.1 |
| GIC | 1.9 | ± 0.1 |
| GID | 3.7 | ± 0.02 |

TAB 3:1 Medelvärde och avvikelse för slutlig utböjning

| Specimen | Number of days to attain a part of the total deflection | | |
|----------|---|------|-------|
| | 50 % | 75 % | 100 % |
| GIA | 7 | 14 | 43 |
| GIB | 5 | 9 | 23 |
| GIC | 5 | 9 | 23 |
| GID | 6 | 10 | 25 |

TAB 3:2 Tabell med erforderlig tid tills 50,75 och 100 % av maximal utböjning utbildats

3.1.4 Utvärdering av deformationsresultat

Vid betraktande av FIG 3:8 framgår det att en oväntad stor skillnad råder mellan GIA och de övriga provkropparna. Avvikelsen från medelvärdet vid fullt utbildad deformation för provkropp GIA är dessutom misstänksamt stor, se TAB 3:1. Enligt (Bergström, 1981) och (Edlund, 1975) tyder ingenting på att en så stor skillnad i fuktrörelse skulle råda mellan massiv träbalk och Masonitebalk.

Eftersom endast enkla klockor användes vid upplag finns ingen kontroll av om eventuell rotation kring elementets längdaxel förekommit hos provkropparna. Vid uppmontering av GIA noterades en stor skevhet hos provkroppen vilket krävde avsevärda krafter för placering av detta i vertikalplanet. Sannolikt var vridstyvheten hos infästningarna av upplagsanordningar i provkropp och omgivande träram inte tillräckligt stor för förhindra en rotation av provkroppen kring dess längdaxel.

Ytterligare en faktor som kan ha påverkat deformationerna är eventuell uppkomst av vertikala tvångskrafter orsakade av ofri svällning. Skillnaden mellan de massiva balkarna, se TAB 3:1, kan även ha berott på att virkesegenskaperna, dvs längdutvidgningskoefficienterna pga fukt, hos dessa var extremt olika. Men vid okulär efterbesiktning föreföll balkarna vara lika vad beträffar kvistar och snedfibrighet.

Den svällning som erhöles över balkarnas tvärsnittshöjd, bedömdes vara helt fri och opåverkad vid balkändarna med hänsyn till eftergivligheten hos infästning och utförandet av lagerplåtarna (se FIG 3:4). Beräknad utböjning av uppmätta deformationer kan därför betraktas som opåverkad av skillnader i höjdändringar utefter balkens längd. Det fel som infördes vid bestämningen av utböjningen, p g a att rörelsen vid upplaget mättes vid provkroppens kortsida och inte vid upplagets rotationscentrum, kan betraktas som försumbart.

Vid försökets avslutning utfördes ingen fuktkvotsbestämning. Därmed saknas noggrannare kännedom om fuktkvotsgradienten i balkarna. Men utifrån RF-värden i klimatrullen kan dock fuktkvoten U uppskattas. Det bör noteras att sambandet ej är entydigt samt att det sannolikt inte råder samma klimat vid balkens begränsningsytor som det råder i respektive klimatrum. En uppskattning av fuktkvotsgradienten utifrån uppmätta RF-värden i klimatrullen ger:

$$\begin{array}{l} \text{RF} = 80 \% \quad \text{motsvarar ungefär } U = 18 \% \\ \text{RF} = 25 \% \quad \text{-----"-----} \quad U = 7 \% \\ \Delta U = 11 \% \end{array}$$

Med den antagna fuktkvotsgradienten och antagande om att linjär fuktkvotsfördelning råder kan totalt utbildad mittutböjning beräknas. För en fritt upplagd massiv träbalk med tvärsnittshöjden 200 mm och längdutvidgningskoefficienten pga fukt $\alpha=10^{-4}$ per % fuktkvotsändring blir mittutböjningen

$$w = \frac{\Delta U \alpha L^2}{8 h} = \frac{11 \cdot 10^{-4} \cdot 2500^2}{8 \cdot 200} = 4.3 \text{ mm}$$

En slutgiltig jämförelse och utvärdering av beräknade och uppmätta värden är omöjlig att göra, eftersom t ex fuktkvotsgradienten vid försöksslut ej är känd och att vissa försökstekniska brister föreligger:

- För få mätklockor
- Ingen fuktkvotsbestämning vid försöksslut
- Eventuellt ofri svällning i axialled

Vid efterföljande försök avses att eliminera dessa faktorer genom att använda 6 mätklockor per provkropp, fuktkvotsbestämning vid försökets start och avslutning samt kontroll av att fri svällning sker i axialled.

3.1.5 Fuktmätning med fuktgivare

3.1.5.1 Fuktgivare

Under försöket provades en speciell teknik att mäta RF i olika tvärsnittspunkter. Tekniken bygger på användande av en fukt-känslig kondensator i en svängningskrets där utgående frekvens påverkas av RF. Med hjälp av en frekvensräknare kan frekvensen från givaren erhållas, se FIG 3:9.

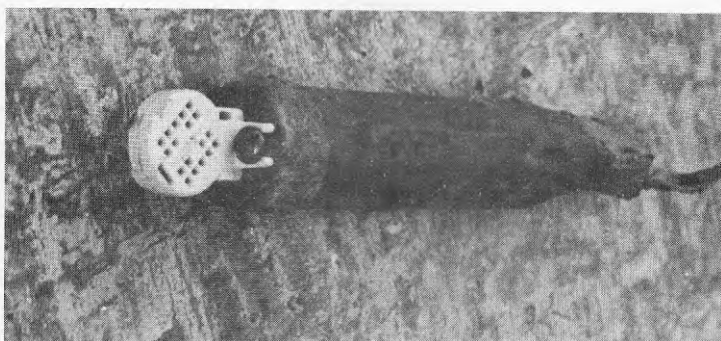


FIG 3:9 Fuktgivare

Innan försöket startades kalibrerades varje givarkrets för några olika nivåer på RF, vilket gav ett grovt samband mellan RF och frekvens. Sambandet visade sig inte vara entydigt eftersom viss hystereseffekt kunde antydast. Ett tredjegradspolynom anpassades till fyra koordinatpunkter (frekvens, RF) som erhöles från kalibreringen.

Kalibreringen utfördes i ett plasttält med rumstemperatur där RF reglerades av en hygrostat kopplad till en aerosolapparat (se FIG 3:10). För att åstadkomma snabb och effektiv luftomblandning användes en fläkt. Trots detta varierade RF pga att fuktillförseln kom stötvis, vilket försvårade kalibreringen. Vid bestämning av rådande RF i tältet användes Assmann psykrometer. Registreringen av frekvenserna under försöket utfördes med frekvensräknaren placerad i det varma rummet.

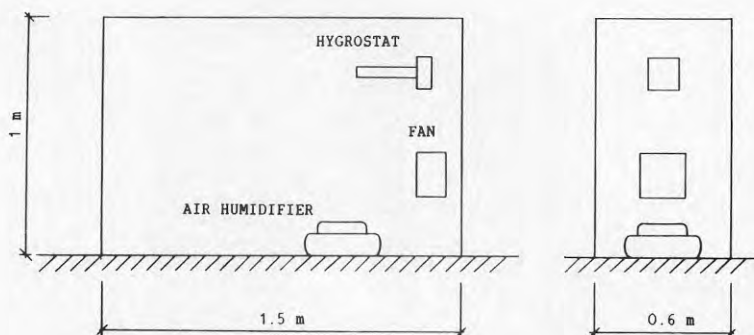


FIG 3:10 Kalibrering av fuktgivare i plasttält

Under försöket mättes RF i provkropparna GIA, GIB och GIC. Fuktgivarna monterades in i täta hålrum i olika tvärsnittspunkter på balkarnas massiva trädelar. I GIC monterades även en givare fritt placerad invid boardlivet. I FIG 3:11 visas placering och numrering av fuktgivarna. Resultatet av fuktmätningarna kan beskådas i FIG 3:12 och FIG 3:13.

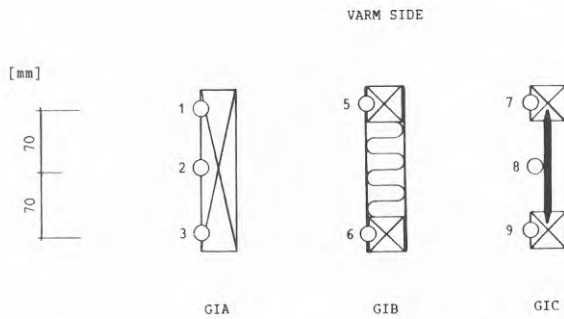


FIG 3:11 Placering och numrering av fuktgivare

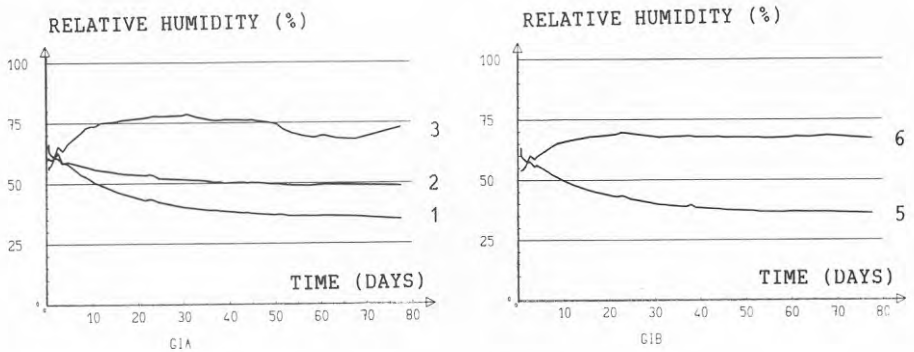


FIG 3:12 Variation av RF i GIA och GIB

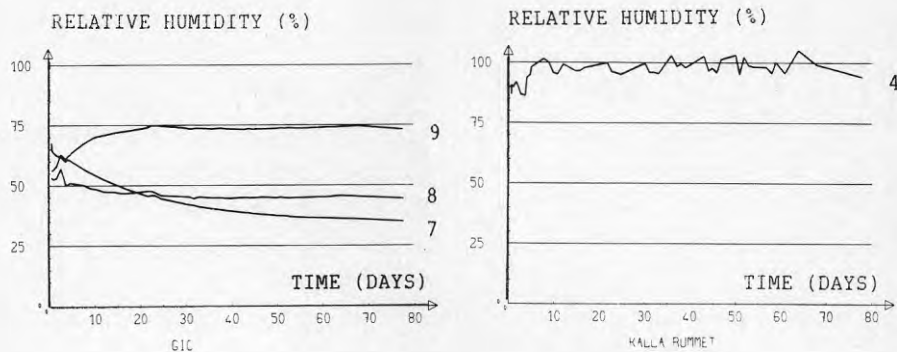


FIG 3:13 Variation av RF i GIC och i kalla rummet

3.1.5.2 Utvärdering av fuktmätning

Vid bestämningen av RF fanns vissa felkällor som påverkar osäkerheten hos resultatet. Felkällorna återfanns vid bla kalibreringen och polynomapproximationen. Nedan redovisas uppskattad storlek på felen.

| | | |
|---------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Psykrometer | $\pm 1 \%$ RF ("Absoluta procent") | Uppskattad ur avl.noggrannhet. |
| Klimatvar. i tältet | $\pm 2 \%$ RF - " ----- " - | Uppskattad |
| Polyn.approx. | $\pm 3 \%$ RF - " ----- " - | Uppskattad |
| Totalt fel: | $\pm 6 \%$ RF - " ----- " - | |

Feluppskattningen som gjorts ovan gäller mätningar vid en och samma tidpunkt. Om mätningar sker över en längre tidsperiod bör även hänsyn tas till hur sambandet beror av tiden. Efter försöksslutet gjordes därför en andra kalibrering vid två olika RF i plasttältet. Medeldifferensen mellan de uppmätta RF-värdena vid första och andra kalibreringen visas i FIG 3:14 för alla givare. Det framgår att största differensen uppträder hos givare som varit placerad i den fuktigaste miljön. Möjligtvis indikerar detta att givarens egenskaper "åldras" mest i fuktigt klimat.

Om fuktkvoter önskas bestämmas utifrån de erhållna RF-värdena tillkommer ytterligare fel eftersom sambandet mellan fuktkvot och RF inte är entydigt. Uppskattningsvis erhålls totalt en osäkerhet på ca $\pm 2-3$ % absoluta procentenheter. Till detta kommer eventuella fel pga tidseffekter.

MEASURING

CONDENSATOR

| | | |
|---|---|--------------|
| 1 | - | (w,solid) |
| 2 | 4-5% lower RH at the 2:nd, same frequency | (m,solid) |
| 3 | - | (c,solid) |
| 4 | 11-12% -----"----- | (cold room) |
| 5 | 0-1% -----"----- | (w,kartro) |
| 6 | 4-5% -----"----- | (c,kartro) |
| 7 | 0-1% -----"----- | (w,masonite) |
| 8 | 3-4% -----"----- | (m,masonite) |
| 9 | 6-8% -----"----- | (c,masonite) |

FIG 3:14 Avvikelse mellan 1:a o 2:a kalibreringen
(w=varma sidan,m=mitten och c=kalla s.)

3.2 Försök GII - Boardbalk i samverkan med skivmaterial

3.2.1 Syfte

Syftet var att studera skivans och skivmaterialets inverkan på den transversella deformationen vid oliksidig klimatbelastning, vid ofullständig samverkan mellan skiva och balk.

3.2.2 Försöksbeskrivning

Som vid försök GI ingick även i detta försök totalt fyra stycken provkroppar. Alla var uppbyggda enligt samma grundprincip som GIC, dvs med Masonitebalk H200 (se FIG 3:1-3:2), dock med undantag av skivmaterial och dess infästning. Provkropparna förseddes med hela eller strimlade skivor, vilka skruvades med gipsskruv 3.5*25 mm, se FIG 3:15. På de hela skivorna var centrumavståndet mellan skruvarna (c-avståndet) 300 mm. Provkropparnas beteckningar och principiella uppbyggnad redovisas i FIG 3:16



FIG 3:15 Gipsskruv typ Panel-Kwick I

| Specimen | Warm side | Cold side |
|----------|------------------------|--------------------|
| GII A | 13mm whole Gypsumboard | sliced Gypsumboard |
| GII B | 13mm whole Gypsub. | 9mm whole Gypsub. |
| GII C | sliced Gypsub. | sliced Gypsub. |
| GII D | 12mm whole Chipb. | 12mm whole Chipb. |

FIG 3:16 Provkropparnas beteckning och uppbyggnad

Vid inplacering av provkropparna i vertikalläge kontrollerades att tillräckligt spelrum erhöles för rörelser hos provkroppen i dess längdriktning. För att kunna registrera eventuell horisontell rotation av provkropparna användes dubbla mätklockor även vid kortändarna. Vid försöket användes således totalt 6 stycken mätklockor. Placeringen av mätklockorna framgår av FIG 3:17. En schematisk skiss över provkropparnas placering i försöksutrymmet visas i FIG 3:18.

Pga av termostattekniska problem förekom vissa temperaturvariationer i det varma rummet. Skillnaden mellan maximum- och minimum-temperatur uppgick till 5 grader.

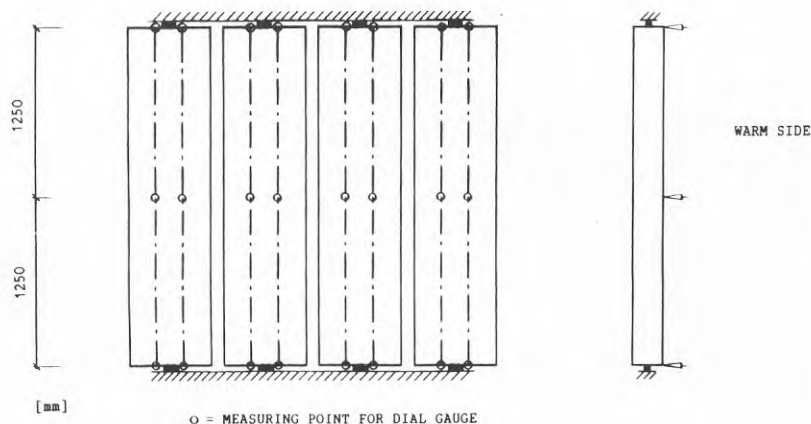


FIG 3:17 Placering av mätklockorna (Vy fr v-rummet)

| GII C | GII B | GII A | GII D |
|---|--|---|---|
| sliced Gypsum + sliced Gypsum | whole Gy. 13 mm + whole Gy. 9 mm | whole Gy. 13 mm + sliced Gypsum | whole Ch. 12 mm + whole Ch. 12 mm |

2500 mm

FIG 3:18 Vy från det varma klimatrummet med provkropparna i vertikalläge

3.2.3 Resultat av deformationsmätning

I texten som följer avser balkutböjning (b-utböjning) mitt-utböjningen som beräknas från klockavläsningar längs en och samma balk. Medelvärdet av b-utböjningarna inom samma provkropp benämns provkroppsutböjning (p-utböjning). I FIG 3:19 och 3:20 visas uppmätt p-utböjning för alla fyra provkroppar dels för alla mätfällena och dels när temperaturen varit ungefär lika ca ± 0.5 grader. Därav framgår att de aktuella temperaturvariationerna inte påverkade mätresultatet speciellt mycket. B-utböjningarna för GIIA visas i FIG 3:21, för de övriga provkropparna hänvisas till FIG B1:1-B1:3 i Bilaga 1.

Insvängningsförloppet för provkropparna förtydligas i TAB 3:3, där antal dagar anges för att uppnå 50, 75 och 100% av utbildad utböjning vid försökslut.

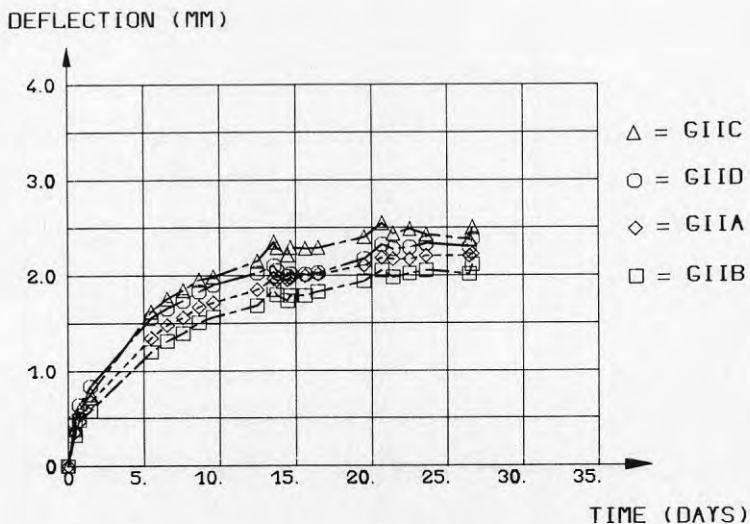


FIG 3:19 Provkroppsutböjning GIIA-GIID
(Alla avläsningar)

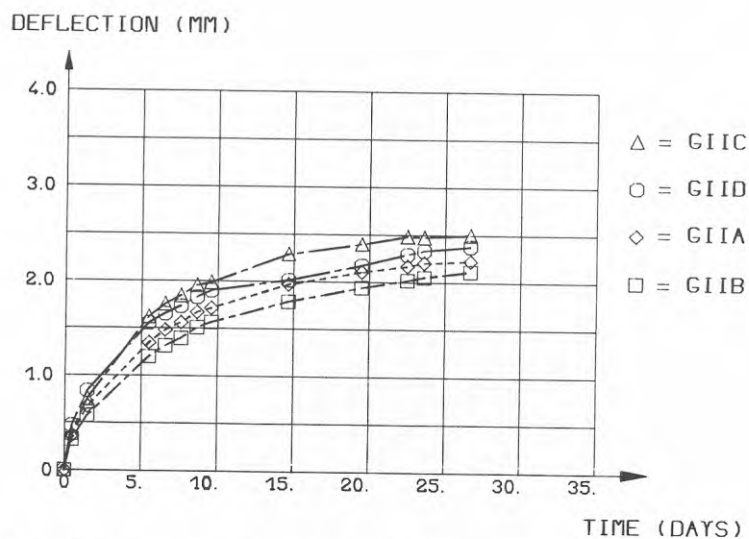


FIG 3:20 Provkroppsutböjning GIIC-GIID
Avläsningar vid samma temperatur ± 0.5 grader

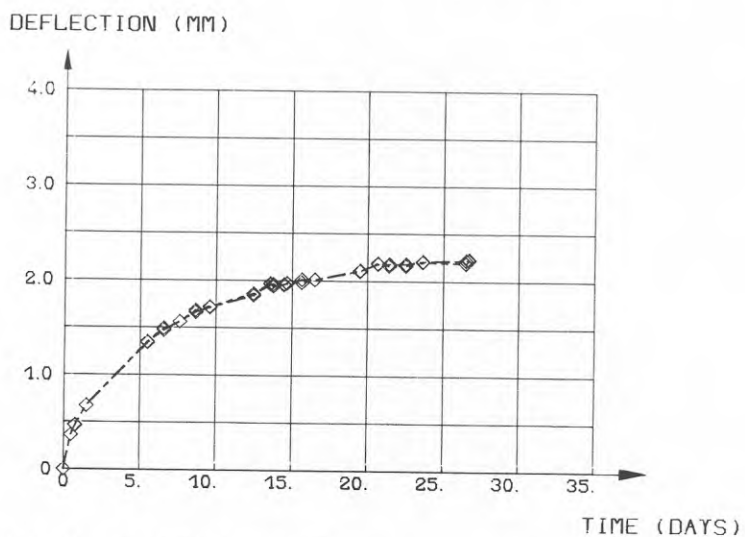


FIG 3:21 Balkutböjning GIIA

| Specimen | Number of days to attain a part of the total deflection | | |
|----------|---|------|-------|
| | 50 % | 75 % | 100 % |
| GIIA | 5 | 8 | 27 |
| GIIB | " | " | " |
| GIIC | " | " | " |
| GIID | " | " | " |

TAB 3:3 Antal dygn för att erhålla 50,75 resp 100 % av utböjning vid försöksslut

3.2.4 Utvärdering av deformationsresultat

Det bör beaktas att balkutböjningens variation inom varje provkropp är av samma storleksordning som skillnaderna mellan provkroppsutböjningarna. Detta gör att jämförelser mellan provkropparna blir osäkra, vissa indikationer kan dock skönjas.

Storleken på p-utböjningen, för provkropp med en viss balk, kan påverkas genom lämplig kombination av skivmaterial och samverkan balk/skiva. Av använda skivmaterial dimensionändras i princip endast spånskivorna av fukten. Eftersom längdutvidgningskoefficienten är större för spånskivematerial än trä borde p-utböjningen varit större för GIID än GIIC, i motsats till uppmätta resultat. Vid en högre grad av samverkan skulle dock utböjningen säkerligen blivit större.

För skivmaterial av gips gäller dock motsatsen eftersom dimensionsändringar pga fukt är försumbara. Vid samverkan med balk kan skivorna därför motverka fuktrörelser, ju större samverkan desto mindre utböjning. Detta framgår också ur FIG 3:20 att GIIB erhåller en lägre p-utböjning.

Gipsskivan har således en gynnsam inverkan på transversella fuktrörelser om god samverkan råder. Storleken på den reducerande effekten beror av ett flertal faktorer, t ex förskjutningsmodulen hos förbandet och skivans E-modul, och kombinationen mellan dessa. Det är sannolikt att transversella fuktrörelser i vissa fall kan halveras vid rätt val av skivmaterial.

En viktig aspekt i detta sammanhang, som inte utreds här, gäller långtidsegenskaperna hos skivmaterialet och förbandet mellan skiva-balk. Eftersom ett inre spänningstillstånd utbildas under vinterhalvåret med varaktigheter kring ett halvår borde detta med stor säkerhet ha en stor inverkan.

3.3 Försök GIII - Kompositbalk av stålplåt och trä

3.3.1 Syfte

Syftet med försöket var att studera effekten av inre böjstyvhet på transversella fuktrörelser hos en kompositbalk. Med inre böjstyvhet avses en balkdel som är hygroskopiskt opåverkad och som genom ett inre spänningstillstånd kan motverka utböjning pga fuktkvotsdifferens, t ex en tunnplåtprofil av stål.

3.3.2 Försöksbeskrivning

I provkropparna, enligt samma grundtyp som i försök GI, ingick en speciell typ av kompositbalk. Den var uppbyggd av en kallformad c-profil av stålplåt med limmade träflänsar (Polyuretanlim Casco 1820/1821), se FIG 3:22. Plåttjockleken hos profilen var 0.9 eller 2.0 mm.

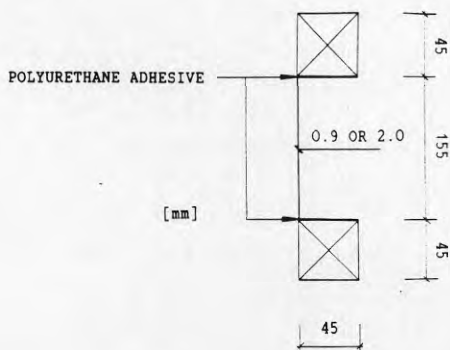


FIG 3:22 Tvärsnitt av kompositbalk stålplåt-trä

Limningen av kompositbalkarna utfördes inomhus med efterföljande presstid på ca 7 dagar. Eftersom endast strimlade gipsskivor användes förekom ingen samverkan mellan skiva och balk. I FIG 3:23 redovisas provkropparnas beteckningar, uppbyggnad samt den principiella placeringen av provkropparna i klimatrumsrummen. Följande klimatparametrar gällde vid försöket

- Kalla rummet T=14 grader Celsius RF=80-85 %
- Varma rummet T=38 grader Celsius RF=20 %

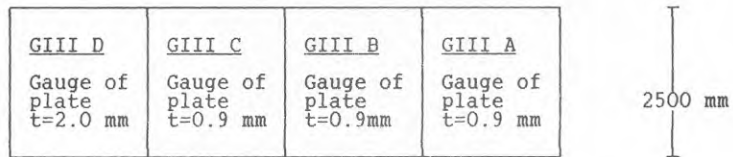


FIG 3:23 Provkropparnas uppbyggnad samt placering i vertikalläge (Vy från varma rummet)

Totalt användes sex mekaniska mätklockor per provkropp placerade enligt FIG 3:24. För att kontrollera deformationsmätningen med mätklockor utfördes även mätning med mikrometerskruv vid halva spännvidden, mellan provkropp och en uppspänd ståltråd. I FIG 3:24 och FIG 3:25 visas placeringen av mätpunkterna och tråden. Deformationsmätningen med mikrometerskruv skedde således endast vid en mätpunkt per provkropp.

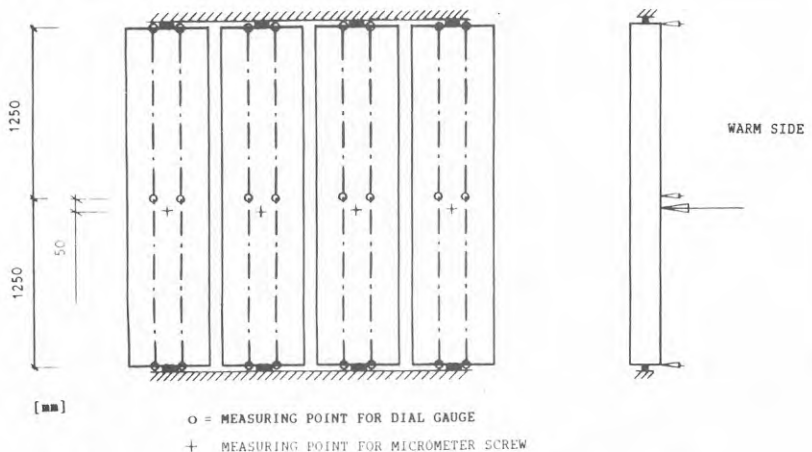


FIG 3:24 Placering av mätklockor, ståltråd och mätpunkter för mikrometerskruv (Vy från varma rummet)

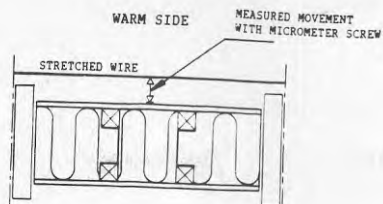


FIG 3:25 Placering av tråd och mätpunkter

Vid start av klimatstyrningen uppstod problem med temperaturregleringen, temperaturen steg initieellt till ca 50 grader istället för 38 grader. Avläsningen av mätklockorna påbörjades därför först efter ca 1 dygn från start. Däremot utfördes mikrometerskruvavläsningarna från början eftersom temperaturinverkan på den mätanordningen ansågs vara försumbar. Efter ca 3 dygn från första avläsningen av mätklockorna justerades temperaturen ca 2 grader till 38 grader. Under försöket kontrollerades att inga axiella tvångsspänningar erhöles vid provkropparnas ändar.

3.3.3 Resultat av deformationsmätning

I FIG 3:26 visas provkroppsutböjningen för varje provkropp. Balkutböjningen visas i Bilaga 2 för varje provkropp, se FIG B2:1-B2:4. Uppmätt medelrörelse av de båda mätklockorna vid mitten jämförs i FIG B2:5-B2:8 med registrerad rörelse m h a mikrometerskruv.

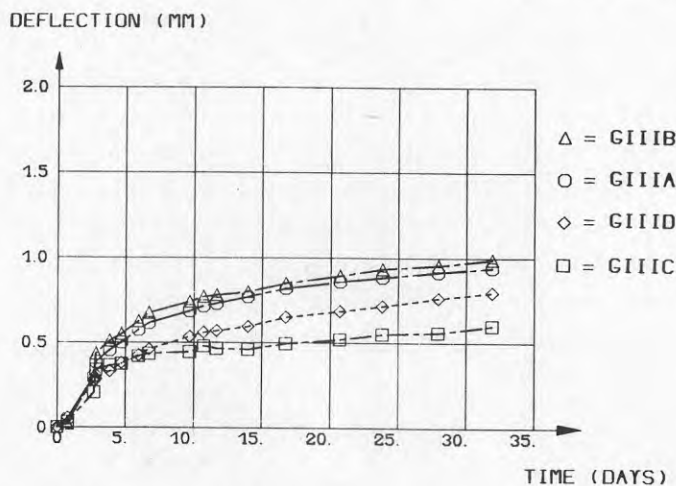


FIG 3:26 Provkroppsutböjningar i försök GIII

3.3.4 Utvärdering av mätresultat

Med aktuell balktyp erhöles en större inre böjstyvhet som motverkade fuktrörelserna avsevärt, jämfört t ex med försök GII. Provkroppsutböjningen reducerades i detta försök med 60-70 % av p-utböjningen i försök GII. Böjstyvheten var i stort sett lika för dessa båda balktyper.

Jämfört med konventionell massiv träbalk reducerades p-utböjningen med ca 70 % ($t=0.9\text{mm}$), se försök GV. Eftersom utböjningen är parabelformad blir motsvarande p-utböjning ca 4 mm, eller ca $L/1250$, för en provkropp med spännvidden $L=5.0$ m. Utböjningen är således betydligt mindre för denna balktyp och orsakar därmed mindre skada i en byggnad, jämfört med t ex massiv träbalk där p-utböjningen kan uppgå till $L/400$ vid motsvarande spännvidd.

Vid jämförelse mellan deformationsmätning med mekanisk mätklocka och mikrometerskruv framgår det ur FIG B2:5-B2:8 att ingen större skillnad råder mellan de båda mätmetoderna. Tidräkningen börjar vid första mikrometeravläsningen ca ett dygn före första klockavläsningen. Den rörelse som utbildats i provkroppen p g a fukt-kvots- och temperaturdifferens under detta dygn beaktades alltså inte vid deformationsmätning med mätklocka.

Redovisade p-utböjningar i FIG 3:26 verkar rimliga utom att utböjningen för GIIID var större än för t ex GIIIC, se nedanstående jämförelseberäkning. P-utböjningen borde ha varit minst för GIIID eftersom plättjockleken och därmed också den inre böjstyvheten var större. Orsaker till denna omkastning kan bero på olika längdutvidgningskoefficienter vid fuktändring samt även av varierande E-modul hos virket. P g a den temperaturjustering som omnämnts tidigare erhöles en hastig deformationsändring efter ca tre dygn, vilket också framgår ur figuren.

Fuktkvotsdifferens ΔU och temperaturdifferens ΔT är två yttre faktorer som påverkar p-utböjningen. Här definieras dessa som skillnaden mellan flänsarnas medelfuktkvot respektive medeltemperatur. Efter försöket bestämdes fuktkvotsdifferensen ΔU för GIIIC och GIIID till 3.8% respektive 4.2% för. Vid beräkning av temperaturfördelningen över tvärsnittet, enligt endimensionellt värmefflöde, blir temperaturdifferensen över stålprofilen försumbar.

Vid beräkningen antas att

- Fullständig samverkan råder mellan profil och träflänsar
- Ingen temperaturdifferens i profilen och träflänsarna
- Elasticitetsmodul för stål $2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$
- Elasticitetsmodul för trä 9000 N/mm^2
- Längdutvidningskoefficient för trä p g a fukt $\alpha = 1 \cdot 10^{-4}$
- Längdutvidningskoefficient för trä p g a temperatur $\alpha = 5 \cdot 10^{-6}$

Svällning respektive krympning p g a av fukt och temperatur antas vara lika över hela flänsens höjd, se FIG 3:27. I TAB 3:4 visas beräknad p-utböjning för två olika värden på ΔU , 3.5 och 4.0 %. Eftersom flera av de ingående parameterarna är behäftade med stor osäkerhet p g a stor spridning är det svårt att uppnå en helt jämförbar beräkning. Beräknade p-utböjningar är dock av samma storleksordning som de experimentellt uppmätta.

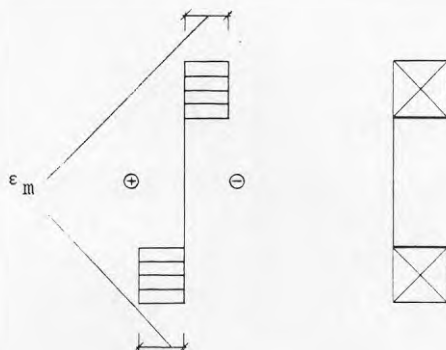


FIG 3:27 Antagen töjningsfördelning vid beräkning av p-utböjning

| Calculated specimen deflection mm | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ΔU % | Gauge of plate $t = 0.9$ mm | Gauge of plate $t = 2.0$ mm |
| 3.5 | 1.3 | 1.0 |
| 4.0 | 1.5 | 1.1 |

TAB 3:4 Beräknade p-utböjningar för kompositbalk

3.4 Försök GIV - Tunnbränselbalk med skruvade spånskivor

3.4.1 Syfte

Syftet med försöket var att studera inverkan av skivtjocklek och grad av samverkan på transversell fuktrörelse hos en samverkanskonstruktion, sammansatt av tunnplåtsbalk av stål med fastskruvade spånskivor vid flänsarna.

3.4.2 Försöksbeskrivning

I försöket användes en speciell lättbalk av stålplåt tillverkad av Plannja AB, Termobalken (plåttjocklek=2.5mm) se FIG 3:28. Den principiella uppbyggnaden av provkropparna visas i FIG 3:29. Provkropparna bestod av hela spånskivor (tjockl. 12 eller 19 mm), vilka var monterade med skruv av typ Panel-Kwick II (se FIG 3:30). Centrumavståndet mellan skruvarna i längdriktningen var 50, 200 eller 400 mm beroende på provkropp. Totalt ingick fyra stycken provkroppar i försöket, enligt FIG 3:31.

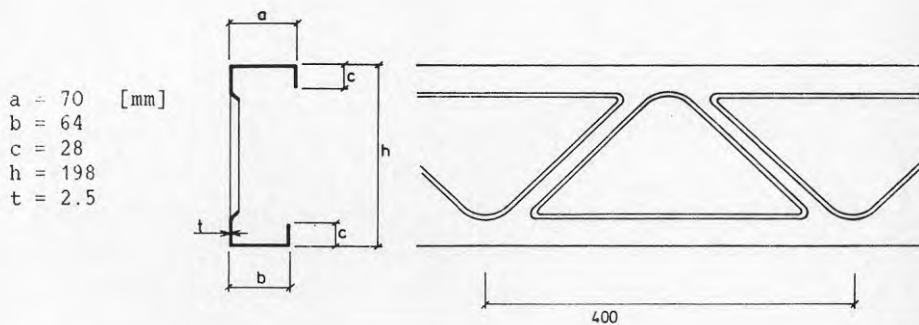


FIG 3:28 Termobalken tillverkad Plannja AB

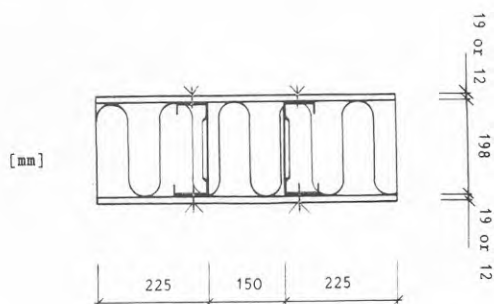


FIG 3:29 Tvärsnitt av provkropp

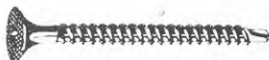


FIG 3:30 Skruv typ Panel-Kwick 3.5*25mm resp 3.5*45mm

| <u>GIVA</u> | <u>GIVE</u> | <u>GIVC</u> | <u>GIVD</u> |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 19 mm Chipboard + | 19 mm Chipboard + | 19 mm Chipboard + | 12 mm Chipboard + |
| 19 mm Chipboard | 19 mm Chipboard | 19 mm Chipboard | 12 mm Chipboard |
| c=50 mm | c=200 mm | c=400 mm | c=200 mm |

2500 mm

FIG 3:31 Ingående provkroppar i försöket placerade i försöksutrymme (Vy från varma rummet)

Innan försöksstart konditionerades skivmaterialet i RF 55-60 % och fuktkvoten uppgick därmed till ca 8 % . Under försökets gång kontrollerades att inga axiella tvångsspänningar uppstod p g a ofri svällning vid provkroppssändarna. Deformationsmätningen genomfördes med sex mätklockor per provkropp och kontrollmätning skedde med mikrometerskruv, se FIG 3:32. Förutom detta mättes även temperaturen vid olika tvärsnittspunkter hos stålprofilen samt fuktkvoten i skivmaterialet.

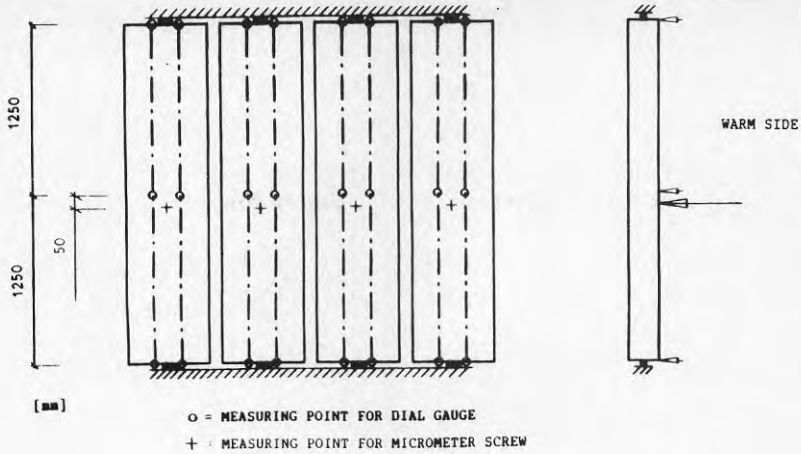


FIG 3:32 Placering av mätlockor och mätpunkter för mikrometerskruv

3.4.3 Resultat från deformationsmätning

I FIG 3:33 visas p-utböjningarna för alla ingående provkroppar. Balkutböjningarna visas i Bilaga 3, FIG B3:1-B3:4.

I FIG B3:5-B3:8 jämförs uppmätt rörelse med mätlocka och mikrometerskruv för varje provkropp.

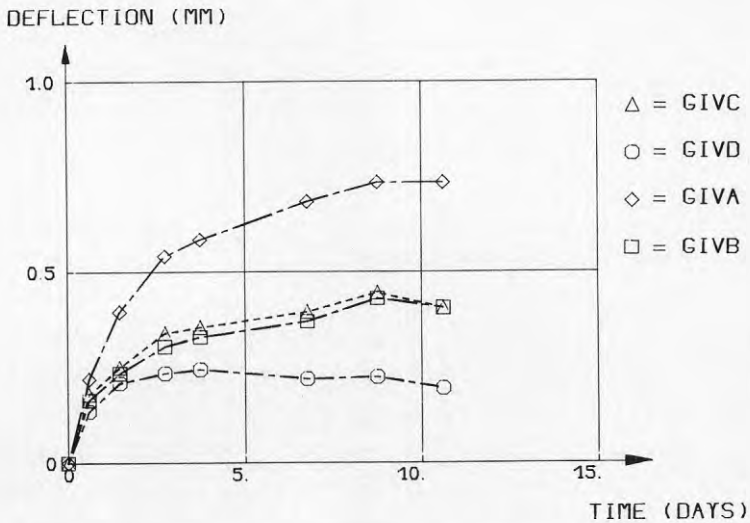


FIG 3:33 Provkroppsutböjningar för alla fyra provkroppar

Resultatet av temperaturmätningen hos stålprofilen med mätpunkterna fördelade enligt FIG 3:34 framgår av TAB 3:5. Medelvärdet av temperaturdifferensen mellan flänsarna blev 14 grader. Fuktkvoterna i med spånskivorna bestämdes m h a torrviktsmetoden till 5 % på den varma sidan och 10 % på den kalla.

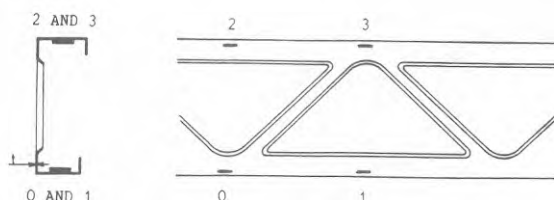


FIG 3:34 Mätpunkter vid temperaturmätning hos lättbalk av stål

| Point of measuring | Temperature °C |
|--------------------|-------------------|
| 0 | + 31.6 |
| 1 | + 31.8 |
| 2 | + 17.1 |
| 3 | + 17.9 |

TAB 3:5 Uppmätt temperatur hos stålprofil

3.4.4 Karakteristika hos skruvförbandet

För att genomföra teoretiska beräkningar t ex utav utböjning pga fukt eller temperaturpåverkan, erfordras kännedom om sambandet mellan last och förskjutning för den enskilda skruven i skruvförbandet. I texten som följer redovisas resultat från skruvförsök under korttidsbelastning (belastningshastighet 1kN/min) av skruvförband utformade enligt FIG 3:35. Eftersom spånskivans mekaniska egenskaper varierar med fuktkvoten genomfördes försöken vid två olika fuktkvotsnivåer hos skivmaterialet, motsvarande de förhållanden som rådde i klimatrumsen. Provkropparna tillverkades i normalt inomhusklimat.

Ur last-deformationsdiagrammen, se Bilaga 3 FIG B3:9, uppskattas den initiella förskjutningsmodulen k_2 för två skruvar. I TAB 3:6 redovisas uppmätta värden av denna samt fuktkvoten. Vid beräkning enligt teorin för dubbelsymmetrisk treskiktsbalk används en annan förskjutningsmodul k^* som beskriver förhållandet mellan skjuvflöde och förskjutning i det medium som förbinder skikten. Det gäller generellt att relationen mellan dem kan tecknas enligt följande

$$k^* = \frac{k_2 \cdot m}{2 \cdot c}$$

m = Antalet skruvrader

c = Centrumavstånd mellan skruvarna

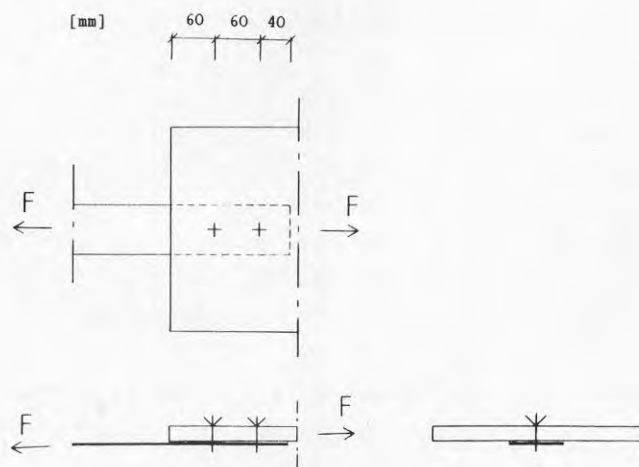


FIG 3:35 Skjuvförsök av skruvförband

| Specimen | Thickness of sheet [mm] | Moisture ratio % | k_2 [kN/mm] |
|----------|----------------------------|---------------------|------------------|
| S12E | 12 | 3.6 | 7.5 |
| S12F | 12 | 3.7 | 6.8 |
| S12G | 12 | 8.9 | 7.5 |
| S12H | 12 | 9.0 | 8.6 |
| S19E | 19 | 3.6 | 6.8 |
| S19F | 19 | 3.6 | 7.1 |
| S19G | 19 | 8.9 | 9.8 |
| S19H | 19 | 9.3 | 8.1 |

TAB 3:6 Initiell förskjutningsmodul k_2 (för två skruvar) och fuktkvot plåttjocklek $t = 2.5$ mm

3.4.5 Utvärdering av deformationsresultat

Det kan konstateras att uppmätt p-utböjning var mycket liten för aktuella kombinationer av skiva och balk. Men samtidigt bör det påpekas att böjstyvheten hos balken var mycket stor jämfört med använda balkar i tidigare försök, t ex ca 4 ggr större än massiv träbalk 45*195 mm. P-utböjningen var mellan 1/8000 till 1/3700 utav spännvidden ($L = 2.5$ m), eller omräknat till $L = 5.0$ m var utböjningen 1/4200 till 1/1700 utav spännvidden.

Det är anmärkningsvärt att p-utböjningen var ungefär lika stor för både provkropp GIVB och GIVC eftersom skruvförbandets skjuvstyvhet var dubbelt så stor för GIVB. P-utböjningen för GIVC verkar dock riktigare m h t jämförelsen av registrerad rörelse vid provkropparnas mitt, m h a mätklocka och mikrometerskruv.

Om registrerad utböjning för GIVC därmed förutsätts vara godtagbar borde utböjningen för GIVB vara större, så är dock inte fallet. Vid motsvarande jämförelse mellan mätklocka och mikrometerskruv förefaller det sig som om mätklockorna vid GIVB:s mitt registrerat en för liten rörelse, se Bilaga 3 FIG B3:6.

Vid beräkning av p-utböjningen blir det normalt nödvändigt att uppskatta värden på en del materialparameterar om de inte verifierats. Eftersom flera egenskaper hos träbaserade material ofta har en betydande statistisk spridning kan därför beräkningen te sig relativt osäker vid jämförelse med uppmätta p-utböjningar. Detta gäller t ex elasticitetsmodul, fuktkvot och längdutvidgningskoefficient p g a fukt. För att illustrera osäkerheten hos beräknade utböjningar genomfördes jämförande beräkningar utifrån två möjliga och sannolika alterantiv av materialindata. Vid beräkning med modifierad förskjutningsmodul användes den erhållna last-deformationskurvan från skjuvförsök S19H, se FIG B3:9. F-modulen för dess första del utgör den initiella förskjutningsmodulen för provkroppar med 19 mm spånskiva vid beräkning med konstant f-modul. Parametervärdena framgår av TAB 3:7.

| Parameters of the material | Alt 1 | Alt 2 |
|---|---------------------|---------------------|
| Slip modulus for (t= 12 mm) two screws (t= 19 mm) k_2 (kN/mm) | 7.6 | 7.6 |
| Moisture difference between the sheets $2T_1$ (%) | 5 | 6 |
| Temperature diff. (beam) ΔT_2 (grader C) | -14 | -12 |
| Youngs modulus (beam) E (N/mm ²) | $2.1 \cdot 10^5$ | $2.1 \cdot 10^5$ |
| Youngs modulus (sheet) E (N/mm ²) | 1200 | 1300 |
| Thermal expansivity (beam) α | $11 \cdot 10^{-6}$ | $11 \cdot 10^{-6}$ |
| Moisture expansivity (sheet) α | $3.0 \cdot 10^{-4}$ | $3.5 \cdot 10^{-4}$ |

TAB 3:7 Parametervärden vid beräkning av mittutböjning

Beräkningen utfördes enligt teorin för dubbelsymmetrisk treskiktetsbalk, med och utan modifiering av förskjutningsmodulen. Vid modifiering användes n= 20 diskreta punkter och varje lasttyp delades in i 20 laststeg, se avsnitt 2.4. I TAB 3:8 jämförs uppmätta och beräknade p-utböjningar. Det framgår av beräkningarna att det krävs god kännedom om alla ingående parametrar för att erhålla ett användbart resultat, små variationer av parametervärdena får en stor inverkan på den beräknade utböjningen. Tyvärr kan dock vissa parametervärden endast uppskattas mycket grovt om inte en grundlig utredning utförs. Dessa osäkerheter utgör de

största felkällorna vid beräkning av utböjning jämfört med t ex själva beräkningsmodellen. Det är sannolikt att det fel som uppstår pga att samma f-modul antas gälla för båda fogarna är litet i relation till övriga felkällor. Vidare visar beräkningarna att antagandet om linjärt elastiska förhållanden i detta fall ger försumbara fel vad beträffar utböjningen. Däremot får detta antagande felaktigare konsekvenser vid beräkning av skjuvflödet. Beräkningsresultatet för alt. 1 med c-avståndet 50 mm verkar dock motsägelsefullt. Den beräknade utböjningen enligt modell med modifierad förskjutningsmodul är större än för beräkning med konstant f-modul. I den tidigare modellen beaktas icke linjära egenskaper hos förbandet, vilket borde leda till det motsatta. Förklaringen till detta är att modellen med modifierad f-modul är approximativ och innehåller därmed fel, vilket beror av storleken hos steglängden d (se avsnitt 2.4). Om steglängden minskas tillräckligt kommer den beräknade utböjningen att bli mindre än det beräknade värdet enligt modell med konstant f-modul.

| Specimen deflection mm | | | | | |
|---------------------------|----------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| C-dist. (mm) | Measured | Calculated | | | |
| | | Alt 1 | | Alt 2 | |
| | | Const k [*] | Modif k [*] n=20 | Const k [*] | Modif k [*] n=20 |
| 50 (t=19) | 0.74 | 0.19 | 0.22 | 0.63 | 0.61 |
| 200 (t=19) | 0.41 | 0.00 | -0.02 | 0.52 | 0.29 |
| 400 (t=19) | 0.41 | -0.15 | -0.15 | 0.35 | 0.06 |
| 200 (t=12) | 0.20 | -0.16 | | 0.11 | |

TAB 3:8 Provkroppsböjning genom försök och beräkning

Böjstyvheten hos provkroppsbalkarna var, som det tidigare nämn-
des, stor i förhållande till motsvarande balkar i massivt trä. En
direkt jämförelse av transversella rörelser blir därför orättvis.
För att erhålla en bättre grund för jämförelse genomförs nedan en
utböjningsberäkning för två bjälklag med spånskivor ($L=2.5$ m),
där tunnplåtsbalk och träbalk har samma böjstyvhet och tvär-
snittshöjd. Beräkningen sker enligt teorin för dubbelsymmetrisk
treskiktetsbalk med konstant f -modul. Aktuella tvärsnitt visas i
FIG 3:36 med tillhörande parametervärden enligt TAB 3:9.
Resultatet från denna beräkning framgår av TAB 3:10.

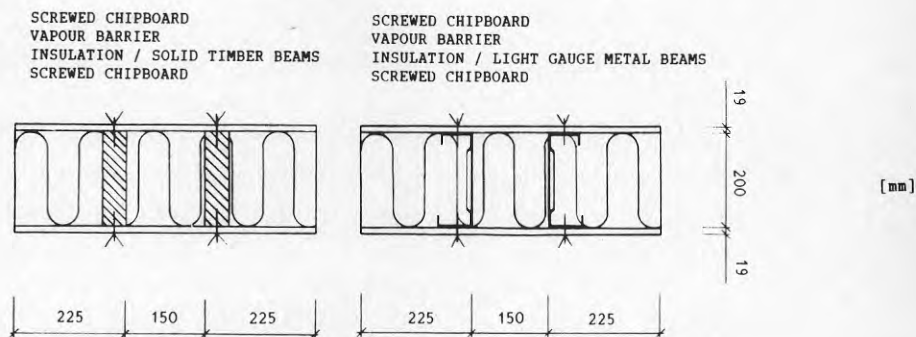


FIG 3:36 Tvärsnitt som beräknas med indata enligt TAB 3:9

| Parameters of the material | | Timber beam | Light gauge beam |
|--|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Slip modulus for two screws | k_2 (kN/mm) | 7.8 | 7.8 |
| Moisture difference between the sheets | $2T_1$ (%) | 6 | 6 |
| Moisture difference (beam) | ΔT_2 (%) | 6 | - |
| Temperature difference (beam) | ΔT_2 (grader C) | 0 | -14 |
| Youngs modulus (beam) | E (N/mm ²) | 9000 | $2.1 \cdot 10^5$ |
| Youngs modulus (sheet) | E (N/mm ²) | 1300 | 1300 |
| Thermal expansivity (beam) | α | - | $11 \cdot 10^{-6}$ |
| Moisture expansivity (sheet) | α | $3.0 \cdot 10^{-4}$ | $3.0 \cdot 10^{-4}$ |

TAB 3:9 Parametervärden vid beräkning av mittutböjning $L=2.5$ m

| Calculated deflection mm | | |
|-----------------------------|-------------|------------------|
| C-dist. mm | Timber beam | Light gauge beam |
| 50 | 3.8 | 1.9 |
| 200 | 3.5 | 1.4 |
| 400 | 3.3 | 1.0 |

TAB 3:10 Beräknad mittutböjning hos olika bjälklag

Valet av vissa parametervärden kan diskuteras eftersom stor osäkerhet och spridning råder. T ex att fuktkvotsdifferensen för skivorna och balkarna borde variera eftersom temperaturfördelningen varierar mellan olika bjälklagstyper. Dessutom är det sannolikt att förskjutningsmodulen inte är lika för de olika bjälklagstyperna eftersom materialen i balkarna är olika.

För att illustrera hur variationer hos vissa parametrar påverkar den beräknade utböjningen visas i TAB 3:11 resultat av några beräkningar där vissa parametrar varierats, gällande för tvärsnitten i FIG 3:36.

| Calculated deflection mm | | | | |
|-----------------------------|--|--|---|---|
| C-dist mm | Timber beam $T_1 = 3.5 \%$ $\Delta T_2 = 7 \%$ | Timber beam $k_2 = 3900 \text{ N/mm}$ | Timber beam $T_1 = 3.5 \%$ $\Delta T_2 = 7 \%$ $k_2 = 3900 \text{ N/mm}$ | Light gauge beam $\Delta T_2 = -18 \text{ grad}$ |
| 50 | 4.4 | 3.7 | 4.3 | 1.8 |
| 200 | 4.1 | 3.3 | 3.8 | 1.3 |
| 400 | 3.8 | 3.0 | 3.5 | 0.9 |

TAB 3:11 Beräkning av mittutböjning hos olika bjälklag med variation av vissa parametrar $L = 2.5 \text{ m}$

3.5 Försök GV - Jämförelse mellan olika balktyper

3.5.1 Syfte

Pga tidigare omnämnda omständigheter bedömdes deformationsresultaten i försök GI vara alltför osäkra, för att kunna utgöra en bas för vidare värdering. Därför genomfördes en del av försöket ytterligare en gång, med jämförelse mellan olika balktyper med avseende på transversell deformation.

3.5.2 Försöksbeskrivning

Försöket efterliknade nästan till fullo försök GI med några undantag:

- Tre provkroppar med uppbyggnad enligt FIG 3:37
- Kontroll av fri svällning i provkroppens längdriktning
- Medeltemperatur i kalla rummet var ca 12 grader
- RF i varma rummet ca 15 %
- Utböjningsmätning utfördes med sex mätklockor per provkropp och vid dess mitt även med mikrometerskruv, se FIG 3:38
- Ingen fuktmätning med fuktgivare utfördes p g a dess osäkerhet

| <u>GV B</u> | <u>GV A</u> | <u>GV C</u> |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| Kartro | Solid timber | Masonite |
| with sliced Gypsumb. | with sliced Gypsumb. | with sliced Gypsumb. |

2500 mm

FIG 3:37 Vy från det varma klimatrummet med provkropparna i vertikalläge

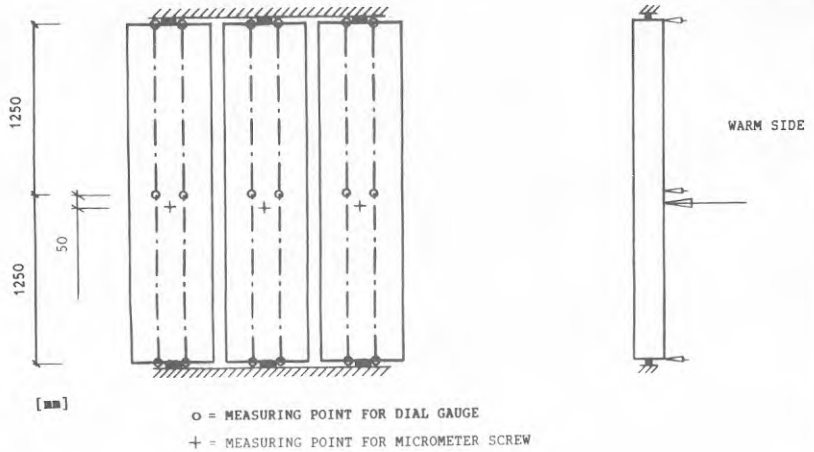


FIG 3:38 Placering av mätklockor och mätpunkter för mikrometerskruv

3.5.3 Resultat från deformationsmätning

Provkroppsutböjningen för respektive provkropp visas i FIG 3:39. Som en repetition kan nämnas att p-utböjningen definieras som medelvärdet av mittutböjningen för de två ingående balkarna (balkutböjningen). B-utböjningen visas i Bilaga 4, FIG B4:1-B4:3. Jämförelse mellan uppmätt rörelse vid provkroppens mitt mha mätklocka och mikrometerskruv visas i FIG B4:4-B4:6.

DEFLECTION (MM)

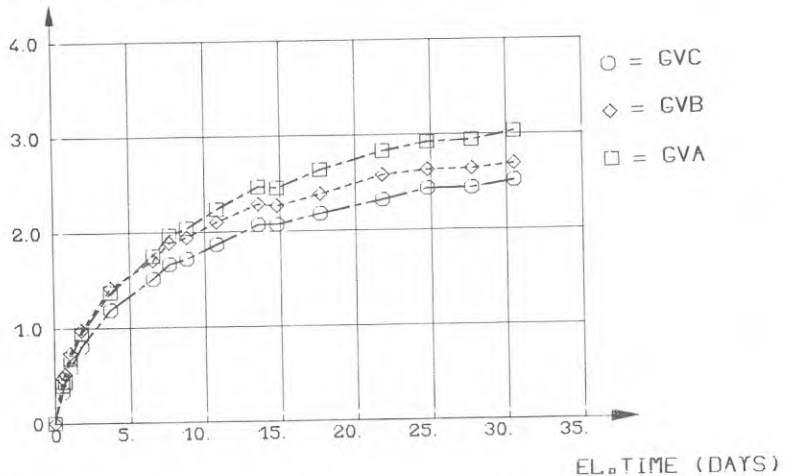


FIG 3:39 Provkroppsutböjning för alla provkroppar

3.5.4 Resultat från fuktkvotsbestämning

M h a torrviktsmetoden bestämdes fuktkvoten vid försöksslut i ett flertal olika tvärsnittsdelar av balkarna. I FIG 3:40-3:42 visas uppmätt fuktkvotsfördelningen vid två tvärsnitt per provkropp.

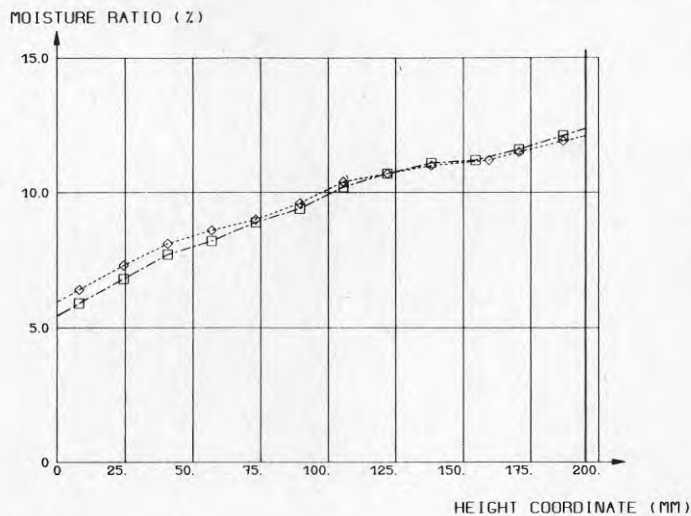


FIG 3:40 Fuktkvotsfördelning för GVA (Massiv balk)

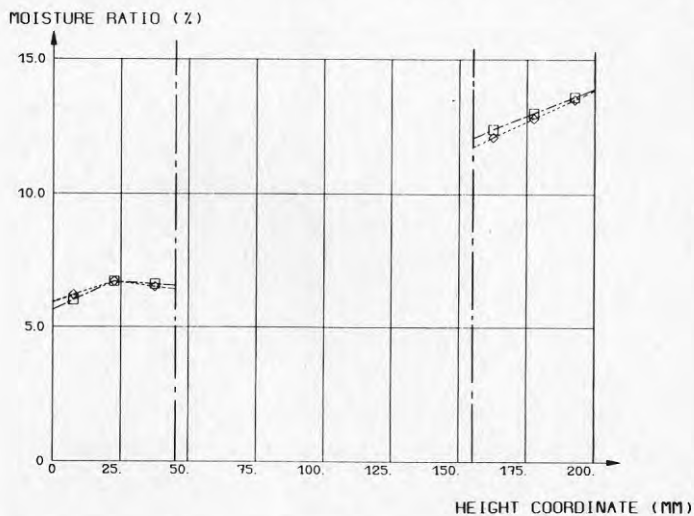


FIG 3:41 Fuktkvotsfördelning för GVB (Kartro balk)

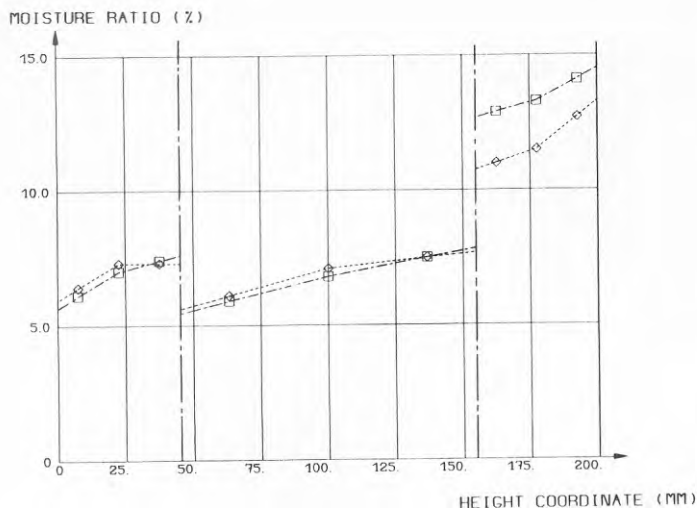


FIG 3:42 Fuktkvotsfördelning för GVC (Masonite balk)

3.5.5 Utvärdering av försöksresultat

Det framgår av detta försök att den massiva träbalken erhöll betydande transversella rörelser vid oliksidig klimatbelastning, ca 15 % större än Masonite- och Kartrobalken. Eftersom det statistiska underlaget är starkt begränsat går det dock inte att dra några säkra slutsatser.

Resultatet tyder dock på att Masonite- och Kartrobalken uppvisar ett något gynnsammare verkningssätt än massiv träbalk med motsvarande balkhöjd, trots en större fuktkvotsdifferens. Orsaken till detta kan vara att virkeskvaliteten var bättre, dvs mindre snedfibrighet och därmed också lägre längdutvidgningskoefficient parallellt med fibrerna. Det kan även bero på att skjuvdeformationer reducerade utböjningen hos M- och K-balken.

Den uppmätta p-utböjningen hos GVA uppgick till 1/833 av spännvidden $L = 2500$ mm, eller omräknat för $L = 5000$ mm till 1/416. En enkel beräkning av p-utböjningen enligt en approximerad linjär fukt- och temperaturfördelning utförs nedan vid fri svällning/krympning. Temperaturdifferensen ΔT antas till 15 grader, α_1 till 10^{-4} och α_2 till $5 \cdot 10^{-6}$.

$$w = \frac{(\Delta U \alpha_1 - \Delta T \alpha_2) L^2}{8 h} = \frac{(6.5 \cdot 10^{-4} - 15 \cdot 5 \cdot 10^{-6}) 2500^2}{8 \cdot 195} = 2.3 \text{ mm}$$

- α_1 = Längdutvidgningskoefficient vid fuktkvotsändring
 α_2 = Längdutvidgningskoefficient vid temperaturändring
 ΔT = Temperaturdifferens
 ΔU = Fuktkvotsdifferens
 L = Balkens längd
 h = Balkens tvärsnittshöjd

Den beräknade utböjningen utgör således 77 % utav det uppmätta värdet. En helt exakt beräkning är naturligt nog i praktiken omöjlig, eftersom det råder stor spridning av materialegenskaperna hos trä. P-utböjningen för provkropp GVB var ca 90 % relativt GVA, dvs 1/925 utav spännvidden $l=2500$ mm eller 1/462 av $l=5000$ mm. GVC erhöll p-utböjningen 1/1000 utav spännvidden $l=2500$ mm eller 1/500 av $l=5000$ mm. Detta var den till storleken minsta deformationen, ca 83 % relativt GVA.

Beräkning av p-utböjningen för GVC sker nedan enligt teorin för dubbelsymmetrisk treskiktsbalk med konstant f-modul, med praktiskt taget full samverkan. Inverkan av eventuella temperaturörelser beaktades inte. Det beräknade värdet utgör 128 % av det uppmätta. Följande parametervärden antogs:

- $\Delta T_1 = 1.7 \%$ Fuktkvotsdifferens över fläns
 $\Delta T_2 = 2.5 \%$ Fuktkvotsdifferens över liv
 $2T_1 = 6.2 \%$ Differens mellan flänsarnas medelfuktkvoter
 $\alpha_1 = 10^{-4}$ i träflänsarna och $3 \cdot 10^{-4}$ i boardlivet

Den beräknade p-utböjningen blir

$$w = 3.2 \text{ mm} \quad \text{Jämför försök} - 2.5 \text{ mm}$$

Enligt jämförelsekurvorna, se Bilaga 4 FIG B4:4-B4:6, uppstod en hastig deformationsökning efter ca 3-4 dygn från försöksstart. Sannolikt berodde detta på temperaturrelse hos mätanordning orsakad av ökad temperatur i klimatrummet. Effekten av detta på uppmätt p-utböjning är dock sannolikt marginell, eftersom den i princip utgör en differens mellan två mätvärden.

4. DISKUSSION OCH SLUTSATSER

I de försök som utförts har deformationsegenskaperna p g a fuktkvotsdifferens studerats dels hos olika balktyper och dels hos några olika klimatskiljande konstruktioner (typ bjälklag). Eftersom den valda oliksidiga klimatbelastningen motsvarar den under året största uppträdande klimatskillnaden, bör de uppmätta utböjningarna betraktas som maximivärden under ett år. I alla försök som utförts ingick ett begränsat antal provkroppar. Det statistiska underlaget är därför i vissa fall otillräckligt för att dra säkra slutsatser. Indikationer kan dock skönjas.

Inom gruppen balkar framstår kompositbalken med limmad c-profil av tunnplåt (GIII) som mycket god vad gäller fuktdeformationer. Den utbildade deformationen var endast 20-30 % av motsvarande för massiv träbalk. Böjstyvheten var ungefär lika för dessa båda balkar. Sämsta egenskaperna uppvisade massiv träbalk, tätt följd av Kartro- och Masonitebalken. Det förefaller som om M-balken uppvisar ett något gynnsammare beteende än massiv balk, ca 10-20 % mindre utböjning.

Vid försök med olika klimatskiljande konstruktioner/element framstår kombinationen av Termobalk och skruvade spånskivor (GIV) som den bästa av de undersökta varianterna, med avseende på fuktbetingade deformationer. Böjstyvheten för denna balk var dock stor i förhållande till övriga balktyperna, ca 4 ggr större än för Masonitebalken. En direkt jämförelse med element bestående av M-balk eller massiv träbalk är därför inte relevant. Beräkningar enligt teorin för treskiktsbalk (se avsnitt 3.4.5), visar dock att element med Termobalkar med samma böjstyvhet ändå utvecklar avsevärt mindre fuktrörelser än klimatskiljande konstruktioner innehållande massiv träbalk eller M-balk. Med t ex skruvindelingen 200 mm beräknas mittutböjningen bli ca 70 % av uppmätt mittutböjningen för provkropp GIIB(M-balk med skruvade gipskivor) eller ca 50 % av uppmätt mittutböjning för provkropp GVA(massiv träbalk utan samverkan med skiva).

Det är sannolikt att mittutböjningen kan halveras hos t ex ett krypgrundsbjälklag med skruvade spånskivor på under- och ovasidan, om massiv balk bytes ut mot en Termobalk. Normalt består dock inte bjälklaget av skruvade skivor på båda sidor som dessutom är av samma typ och tjocklek. Oftast förekommer samverkan enbart mellan skiva och balk endast på ovasidan, vilket innebär att ett bjälklag med tunnplåtsbalkar och skruvad spånskivor på insidan skulle erhålla ändå mindre fuktrörelser.

Med hjälp av s k direkta konstruktionslösningar, t ex lämplig kombination av balktyp, skivmaterial och förband, kan transversella fuktrörelser reduceras. På basis av försöksresultat och beräkningar visar det sig att utnyttjandet av tunnplåtsprofiler i byggnadskonstruktioner är mycket effektiv med stora reduktioner av rörelserna. Skivmaterialets inverkan kan självfallet vara negativ eller positiv dels beroende på materialets fuktegenskaper i förhållande till balkens och dels beroende på graden av samverkan mellan skiva/balk. I detta sammanhang bör det också understrykas att eventuella krypeffekter ofta kan vara av avgörande betydelse för graden av samverkan. I de försök där betydande inre spänningar byggdes upp i provkropparna, t ex GIV, var försökstiden relativt kort. Om försöksperioden utsträckts ytterligare några veckor hade utböjningen sannolikt minskat p g a krypning, en tendens till återgående rörelse framgår ur utböjningskurvan i försök GIV.

Det bästa sättet att undvika fuktrörelserna vore att helt avstå från att använda fuktkänsligt (svällnings- och krympningsbenäget) material i byggnadskonstruktioner hos småhus. Det är givetvis orimligt med tanke på dagens materialkostnader och produktionsekonomi. Möjligtvis kan en viss del ersättas med fuktokänsligt material. Om fuktkänsligt material t ex begränsas till en sida av den klimatskiljande konstruktionen kan sannolikt utböjningen reduceras avsevärt, jämför med tidigare resonemang om Termobalkar och skruvade spånskivor. Även en kompositbalk av stålplåtprofil limmad mot trävirke kan byggas upp efter samma princip. En annan tänkbar s k direkt konstruktionslösning vore att öka isoleringstjockleken utan att öka balkhöjden, vilket skulle innebära en mindre fuktkvotsdifferens över balkens tvärsnittshöjd. Några av de nämnda direkta konstruktionslösningarna illustreras i FIG 4:1.

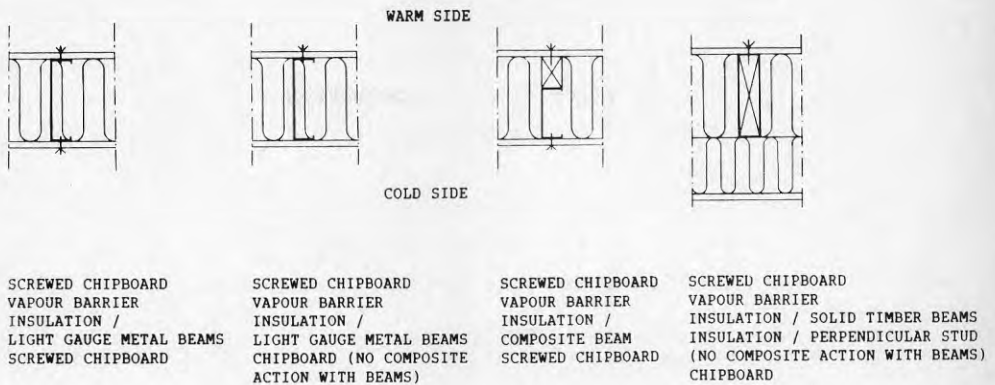


FIG 4:1 Exempel på s k direkta konstruktionslösningar på problemet med transversella fuktrörelser

I vissa fall kan kanske transversella fuktrörelser tillåtas om effekterna av dessa inte är skadliga eller märkbara. Med hjälp av s k indirekta konstruktionslösningar kan detta åstadkommas, t ex genom att anordna en rörelsefog mellan isolerat takbjälklag och mellanvägg med en döljande taklist monterad i taket. Liknande arrangemang kan anordnas för hanbjälkar etc. Exempel på sådana lösningar visas i (Bergström, 1981).

Det finns naturligtvis många problem som är förknippade med svällning och krympning av hygroskopiskt material. Transversella fuktrörelser p g a oliksidig klimatbelastning hos fritt upplagda element på två stöd, är enbart ett bland många problem. I förlängningen av detta problem finns t ex frågeställningen om hur statistiskt obestämda konstruktioner fungerar vid samma påverkan. T ex kan ett isolerat kryppgrundbjälklag över tre stöd erhålla upplagskrafter till följd av klimatbelastningen. Inverkan på deformationer och bärförmåga är inte klarlagd. Sannolikt över-skrids inte bjälklagets hållfasthet p g a krypeffekter och att lokala deformationer relaxerar uppträdande påkänningar. Det kvarstår således många viktiga och intressanta frågor kring statistiskt obestämda konstruktioner vid fuktpåverkan.

Ett annat problem är effekten av eventuella egenspanningar hos limmade sammansatta konstruktioner när de utsätts för klimatförändringar. Egenspanningarna kan uppkomma p g a dels olika fuktrörelser hos olika material t ex hos boardbalkar och dels att de ingående materialen konditionerats i helt olika relativa luftfuktigheter. Det är möjligt att skjuvdeformationer i skivmaterialet reducerar spänningarna. Övriga problem som kan vara av intresse är effekten av ojämn uttorkning av byggfukt vilket är ett likartat problem med oliksidig klimatbelastning.

5. SAMMANFATTNING

I denna rapport behandlas problemet med transversella rörelser p g a oliksidig klimatbelastning hos klimatskiljande byggnads-konstruktioner, t ex isolerade ytterväggar och bjälklag där trä eller träbaserat material ingår. Detta fenomen uppträder som mest vintertid när största skillnaden råder mellan inomhus- och utomhusklimat. Främsta syftet med denna rapport är att studera dels möjligheterna att använda böjstyva tunnplåtsprofiler för att motverka dessa rörelser och dels verkningssättet hos en sammansatt konstruktion vid oliksidig klimatbelastning.

För fritt upplagda ofullständigt samverkande två- och treskiktsbalkar härleds uttryck för normalkraft, skjuvflöde och utböjning då de är utsatta för fukt-/temperaturdifferenser och jämnt fördelad last. I dessa modeller antas att det skjuvkraftsöverförande förbandet är linjärt elastiskt. I anslutning till det utförs en känslighetsanalys över de ingående parametrarna. Den visar att variationer speciellt hos längdutvidgningskoefficienter och fuktkvotsparameterar har den största inverkan på de beräknade utböjningarna. Eftersom de flesta förband har ickelinjära egenskaper presenteras en beräkningsmodell som beaktar detta för treskiktsbalken, baserad på finita differenser. Utböjningen påverkas relativt lite vid beaktande av ickelinjära effekter i de undersökta fallen. Skjuvflödesfördelningen, utmed förbandet mellan skikten, påverkas genom att maximivärdena reduceras betydligt vid balkens ändar.

Största delen av det arbete som ligger till grund för rapporten bedrevs genom laboratorieförsök i klimatrum. Studier skedde av maximalt utbildad transversell rörelse hos några olika typer av klimatskiljande provkroppar. Tvärsnittshöjderna var i stort sett lika för alla provkroppar. Provkropparna bestod dels av några balktyper från konventionella småhusstommar, t ex massiv träbalk, och dels av kombinationer av olika balktyper och skivmaterial med statisk samverkan däremellan. Förutom de mer traditionella konstruktionerna undersöktes även några ovanligare kombinationer av böjstyva tunnplåtsprofiler av stål i samverkan med hygroskopiskt material, t ex Termobalk med skruvade spånskivor.

Resultatet av laboratorieundersökningarna visar bl a att mittutböjningen kan uppgå till ca $1/400$ utav spännvidden 5.0 m för en massiv träbalk. Det förefaller som om Masonitebalken erhåller något mindre utböjning. Vid utnyttjande av böjstyva tunnplåtsprofiler i stället för massiv träbalk kan utböjningen reduceras avsevärt, i vissa fall mer än halveras. Hur mycket beror på kombinationen av böjstyvhet, grad av samverkan och övriga materialegenskaper hos de ingående materialen. Eventuella krypeffekter kan få stor inverkan vid sådana typer av konstruktioner.

Det statistiska underlaget är otillräckligt för att dra säkra slutsatser. Men försöksresultaten uppvisar trots det påvisbara indikationer. Vid jämförelse mellan experimentellt uppmätta och beräknade utböjningar överensstämmer dessa inte helt. Detta beror sannolikt på att flera av de ingående parametrarna vid beräkningen, speciellt materialegenskaperna, är förknippade med stor statistisk spridning.

REFERENSER

Aune, P, 1975, "Treskonstruksjoner". Tapir, NTH, Oslo.

Bergström, U, 1981, "Fukt- och temperaturberoende rörelser i småhus-trästommar". Rapport nr 109, Träförädlingsbyrån.

Bergström, U, 1984, "Högisolerade konstruktioner aktualiserar fuktforskning", Byggmästaren nr 2, s 27-29.

Edlund, G, 1975, "Uppmätta deformationer orsakade av fukt- och temperaturgradienten i huselement". Svenska Träforsknings Institutet (STFI), Meddelande i serie B, nr 318.

Einführung in die Norm SIA 164 (1981).Holzbau Autographie zum Fortbildungskurs für Bauingenieure 7-9 Oktober 1981 an der ETH, Zurich. Publikation Nr 81-1, Baustatik und Stahlbau.

Ellingsrud, O, Mjös, N, 1982, "Upward deflection of woodtrusses". Meddelelse nr 63, The Norwegian Institute of wood working and wood technology.

Kollman, F, 1950, "Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe". Zweite Auflage, Erster Band.

König, J, 1981, "The composite beam action of cold formed sections and boards". Swedish Council for Building Research, D14:1981.

Lundgren, S A, 1967, "Träskivor som byggnadsmaterial". Del 1.

Lundgren, S A, 1982, "Träskivor". Del 1, Träinformation.

Onysko, D M, Bellosillo, S B, and Aplin, E N, 1980, "Seasonal uplift of roof trusses: A progress report". Forintek, EFPL, Ontario, Canada.

Percival, D H, Comus, Q B, 1979, "Ceiling-floor partition separation phenomonon - A survey of the problem". Proc. of the Metal Plate Wood Truss Conference, pp 160-167. Forest Prod. Res. Soc., Madison, Wis.

Percival, D H, Suddarth, S K, 1983, "Longitudinal moisture response in trusslumber - A potential cause of ceilingpartition or floorpartition separation", Forest Products Journal vol 33, no 11/12.

Plewes, W G, 1976, "Upward deflection of wood trusses in winter". Building Res. Note No. 107. National Research Council, Ottawa, Canada.

Sabnis, G M, 1979, "Handbook of composite construcion engi-
neering". Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Tuomi, R L, Temple, D M, 1975, "Bowling of roofjoists induced by moisture gradients and slope of grain". Res. Pap. FPL 262. USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab., Madison, Wis.

BILAGA 1

FÖRSÖK GII

FIG B1:1-B1:3 - Balkutböjningar för tre av provkropparna

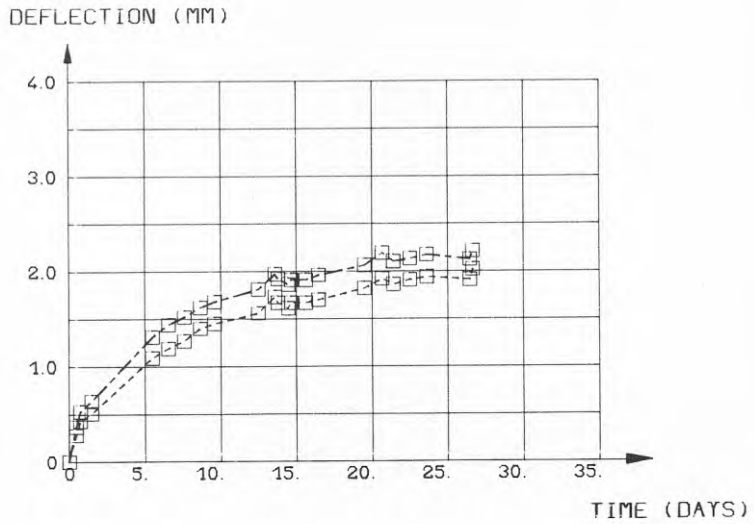


FIG B1:1 Balkutböjningar för provkropp GIIB

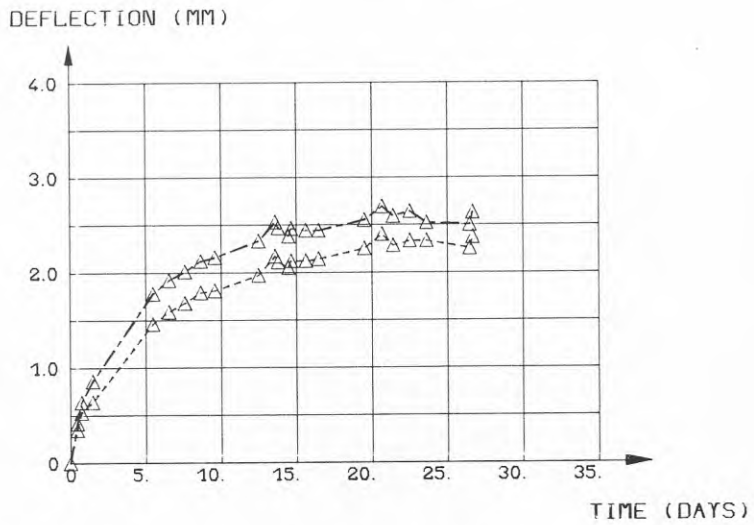


FIG B1:2 Balkutböjningar för provkropp GIIC

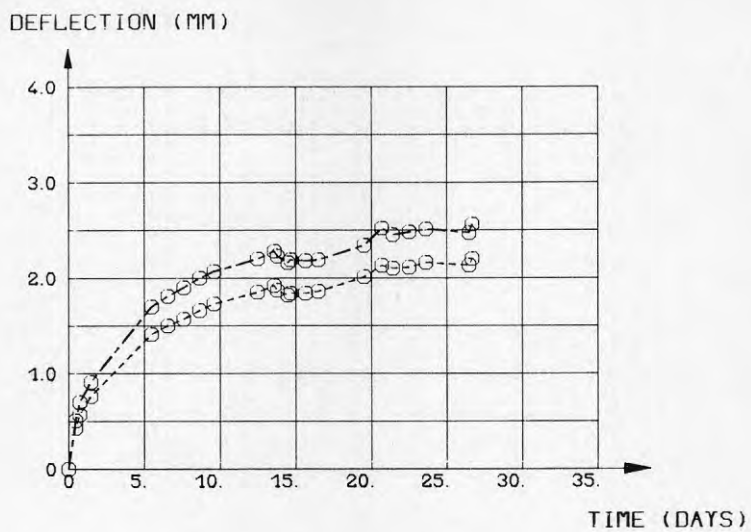


FIG B1:3 Balkutböjningar för provkropp GIID

BILAGA 2

FÖRSÖK GIII

- FIG B2:1-B2:4 - Balkutböjningar för alla provkroppar
- FIG B2:5-B2:8 - Jämförelse mellan deformationsmätning med mikrometerskruv och mekanisk mätlocka

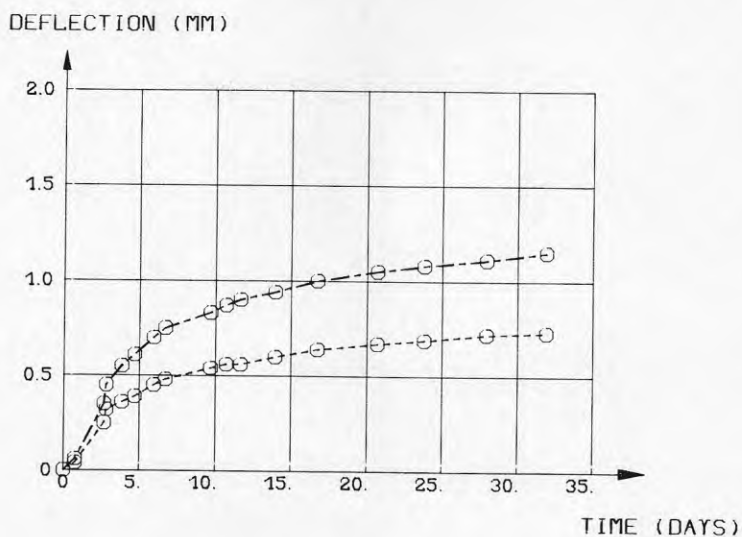


FIG B2:1 Balkutböjning för provkropp GIIIA

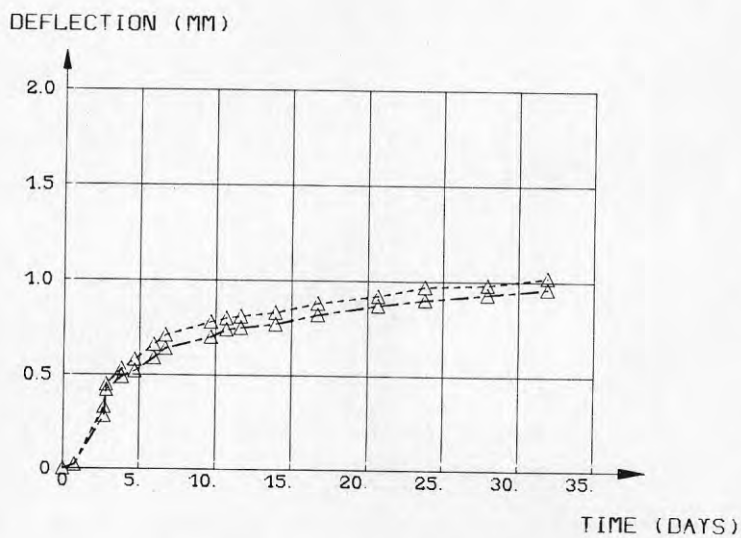


FIG B2:2 Balkutböjning för provkropp GIIIB

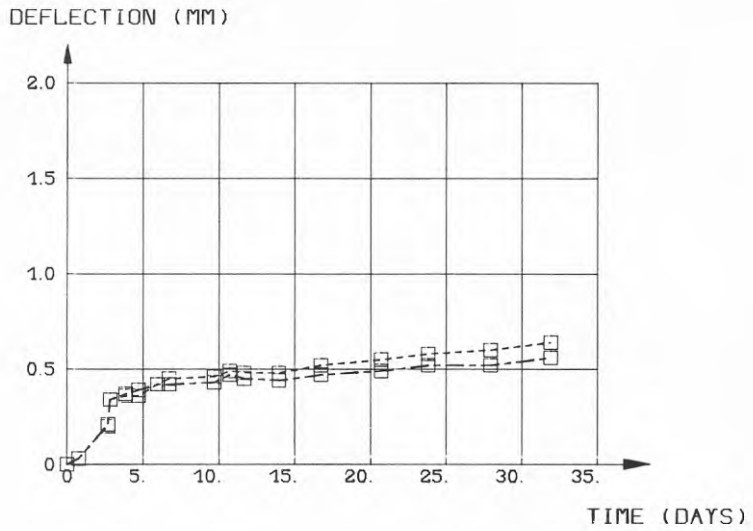


FIG B2:3 Balkutböjning för provkropp GIIC

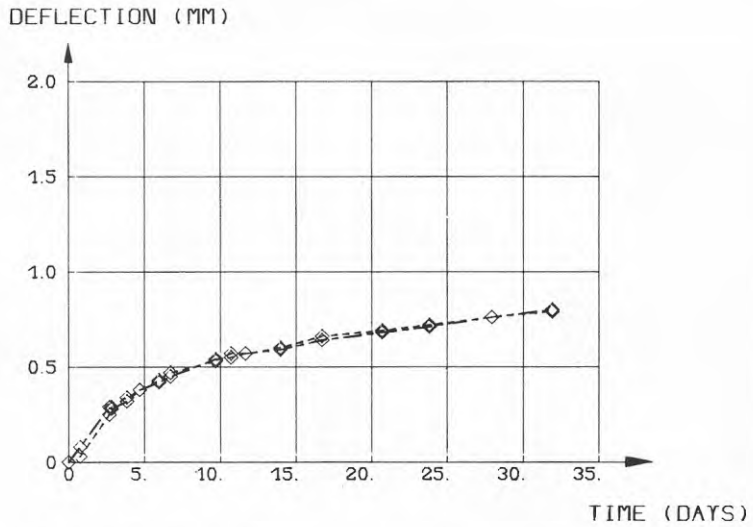


FIG B2:4 Balkutböjning för provkropp GIID

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

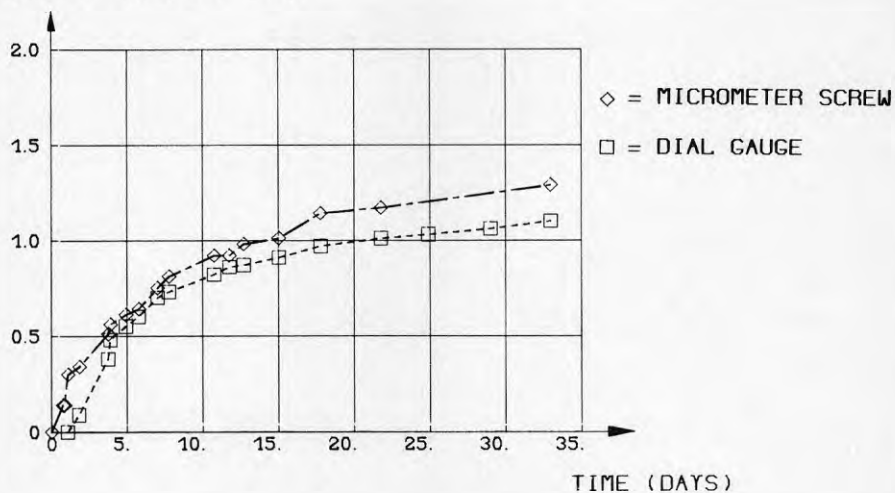


FIG B2.5 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIIIA

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

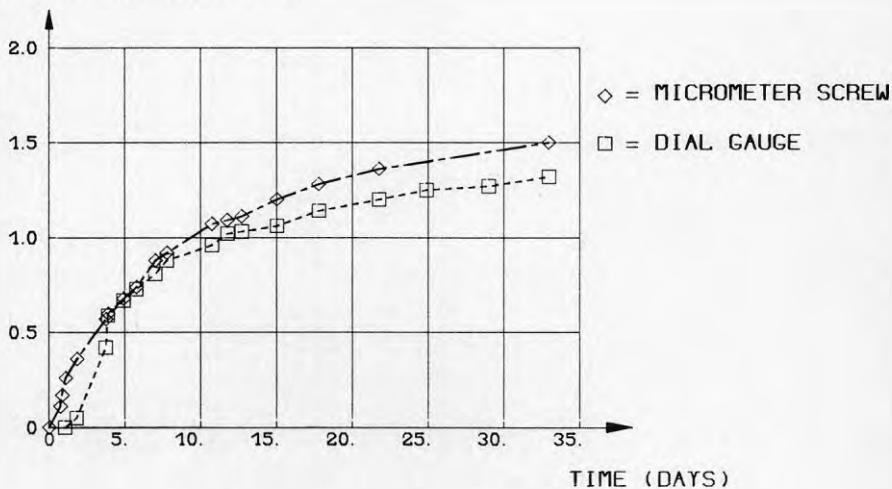


FIG B2.6 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIIIB

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

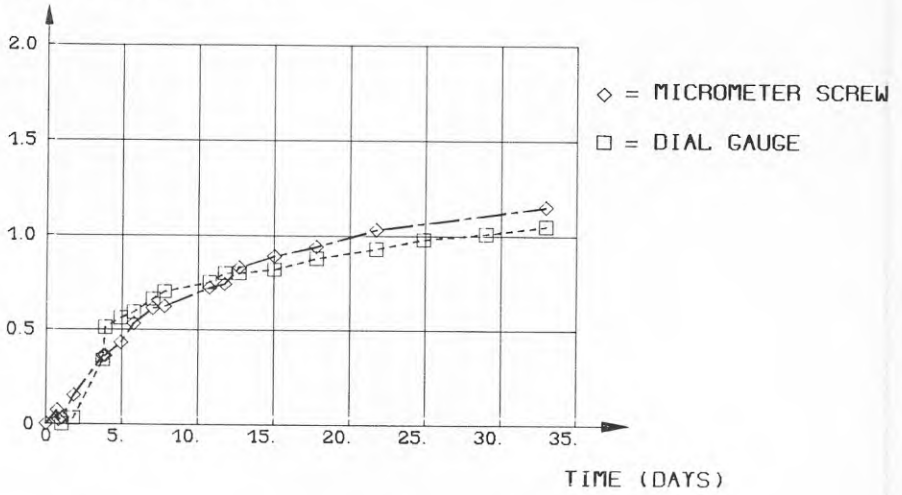


FIG B2:7 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIIC

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

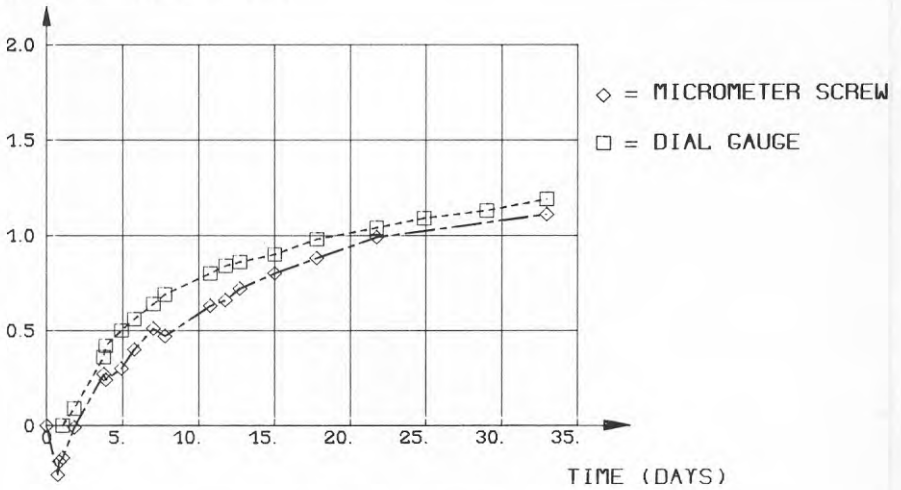


FIG B2:8 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIID

BILAGA 3

FÖRSÖK GIV

- FIG B3:1-B3:4 - Balkutböjningar för alla provkroppar
- FIG B3:5-B3:8 - Jämförelse mellan deformationsmätning med mikrometerskruv och mekanisk mätlocka
- FIG B3:9 - Last-deformationsdiagram från skjuvförsök

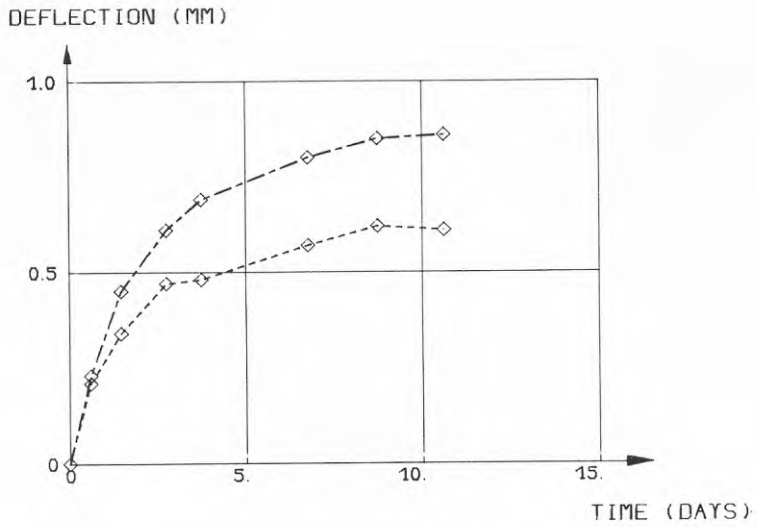


FIG B3:1 Balkutböjning för provkropp GIVA

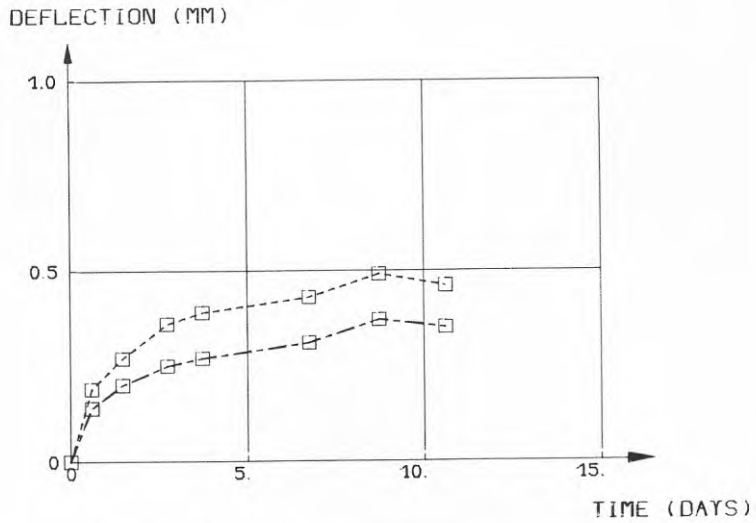


FIG B3:2 Balkutböjning för provkropp GIVB

DEFLECTION (MM)

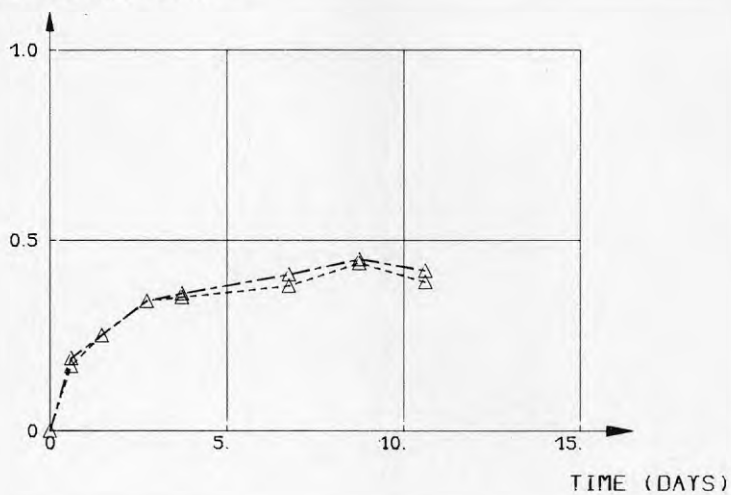


FIG B3:3 Balkutböjning för provkropp GIVC

DEFLECTION (MM)

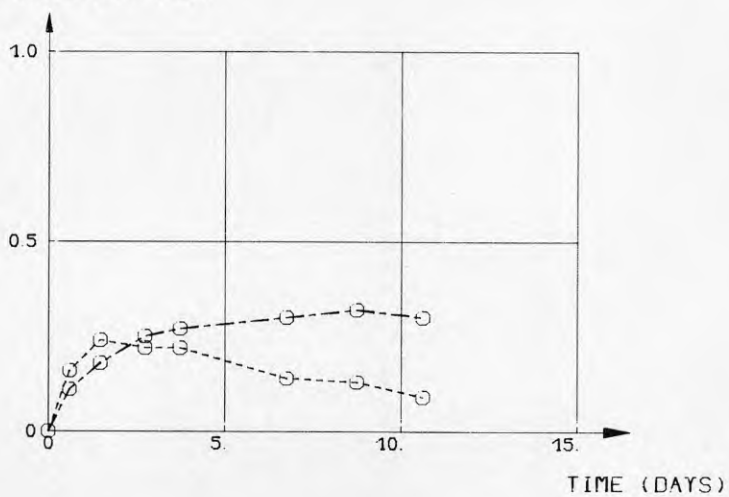


FIG B3:4 Balkutböjning för provkropp GIVD

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

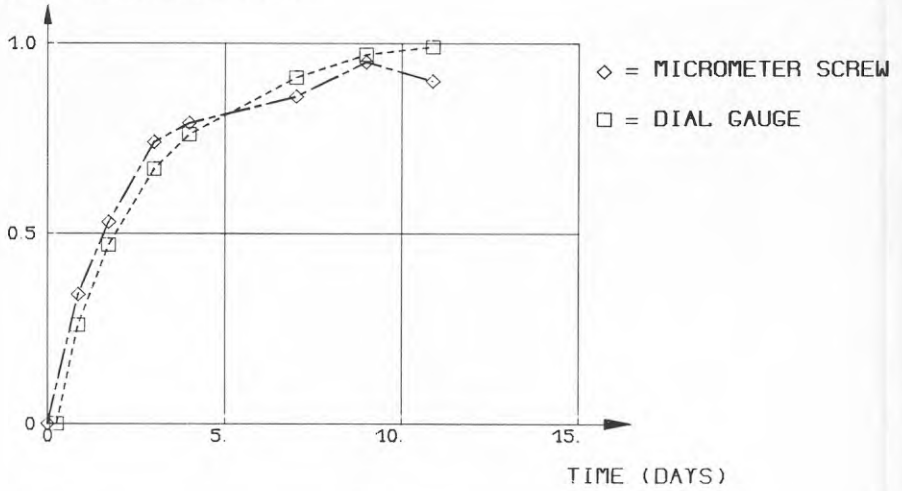


FIG B3:5 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIVA

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

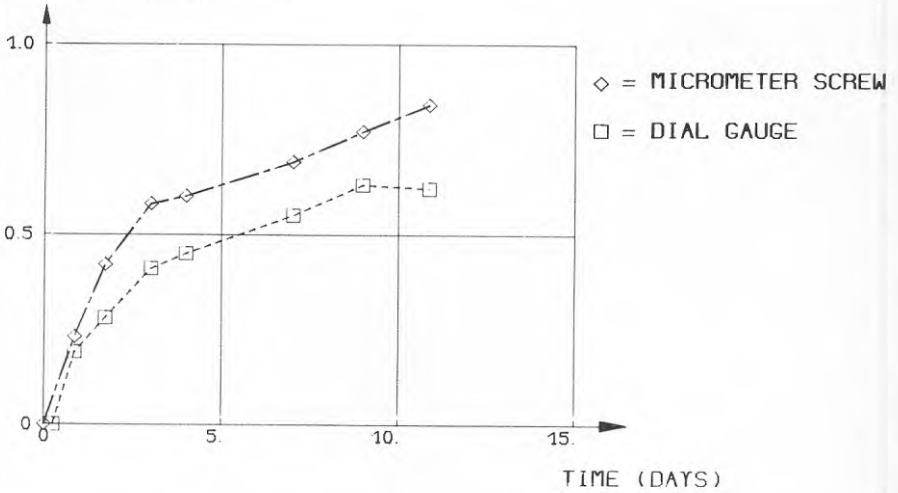


FIG B3:6 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIVB

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

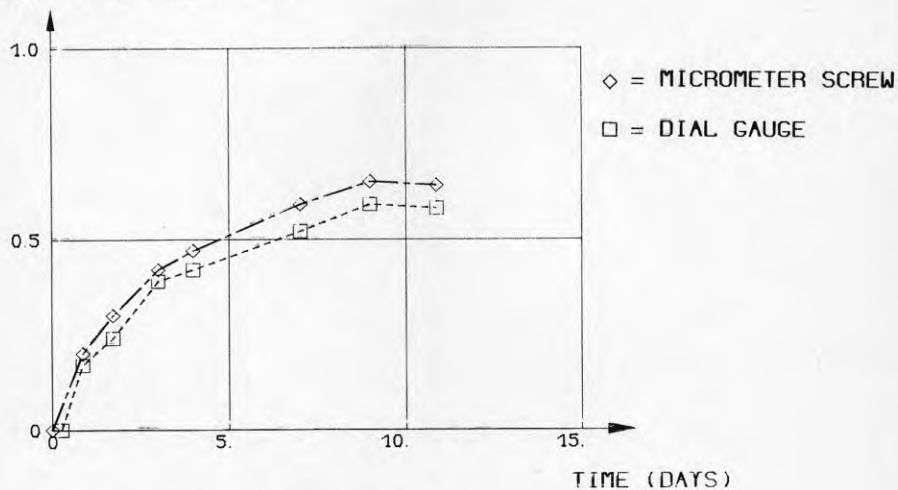


FIG B3:7 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIVC

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

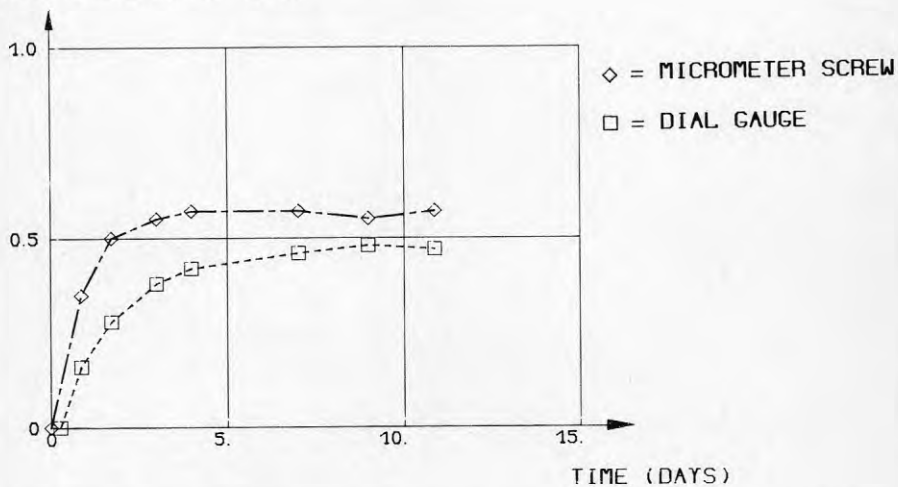


FIG B3:8 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätklocka och mikrometerskruv för provkropp GIVD

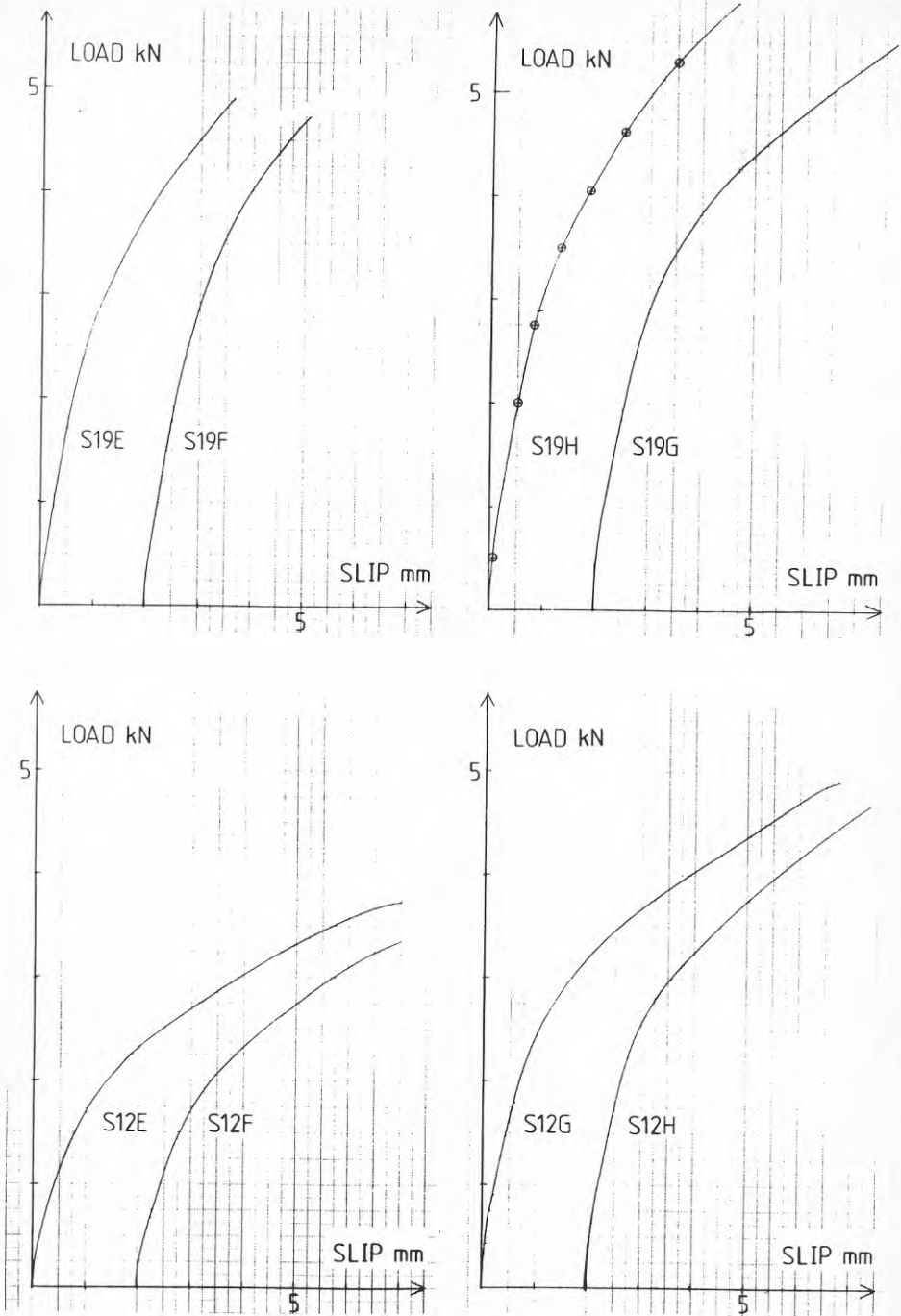


FIG B3:9 Last-förskjutningsdiagram från skjuvförsök

BILAGA 4

FÖRSÖK GV

- FIG B4:1-B4:3 - Balkutböjningar för alla provkroppar
- FIG B4:4-B4:6 - Jämförelse mellan deformationsmätning med mikrometerskruv och mekanisk mätklocka

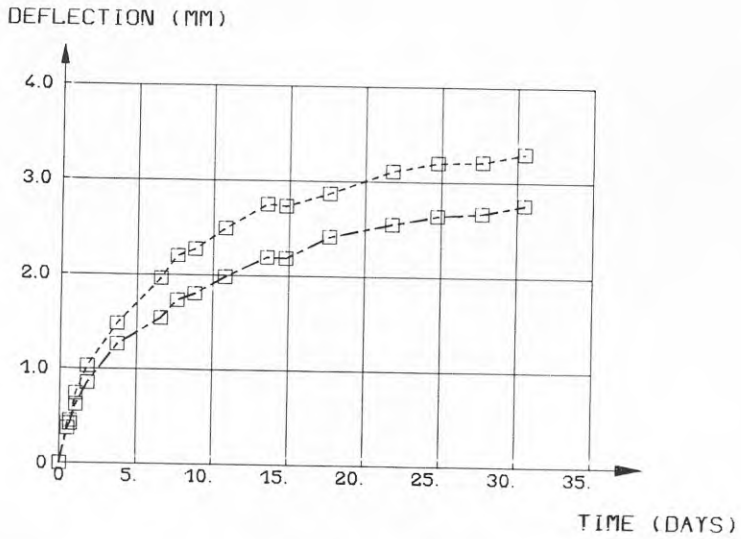


FIG B4:1 Balkutböjning för provkropp GVA

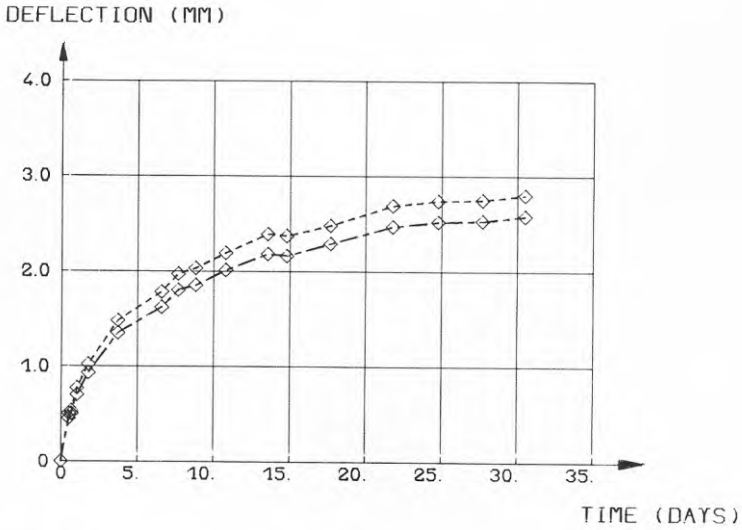


FIG B4:2 Balkutböjning för provkropp GVB

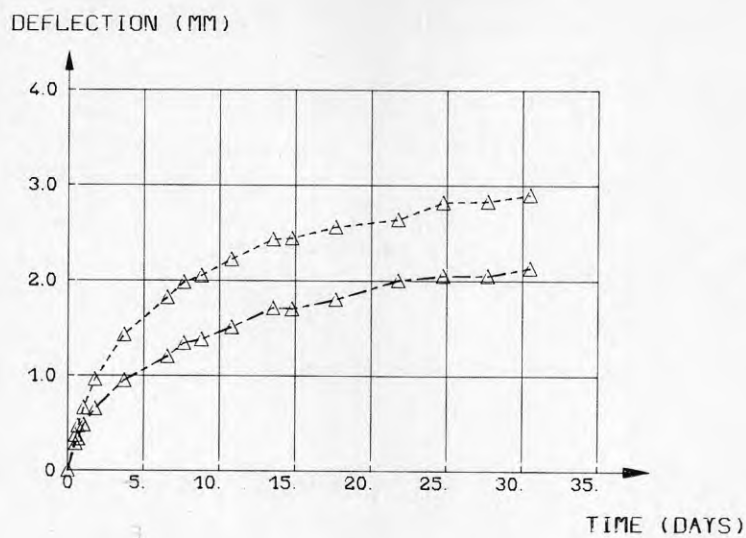


FIG B4:3 Balkutböjning för provkropp GVC

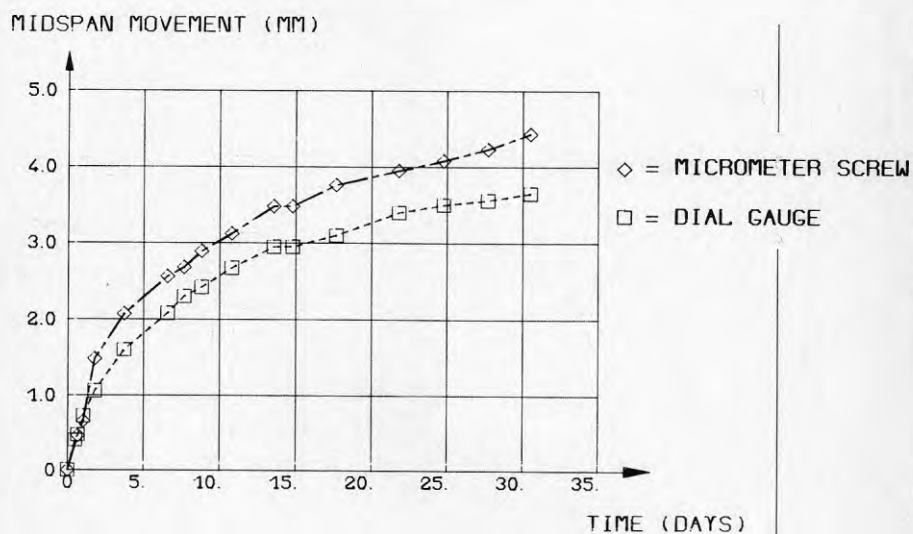


FIG B4:4 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätlocka och mikrometerskruv för provkropp GVA

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

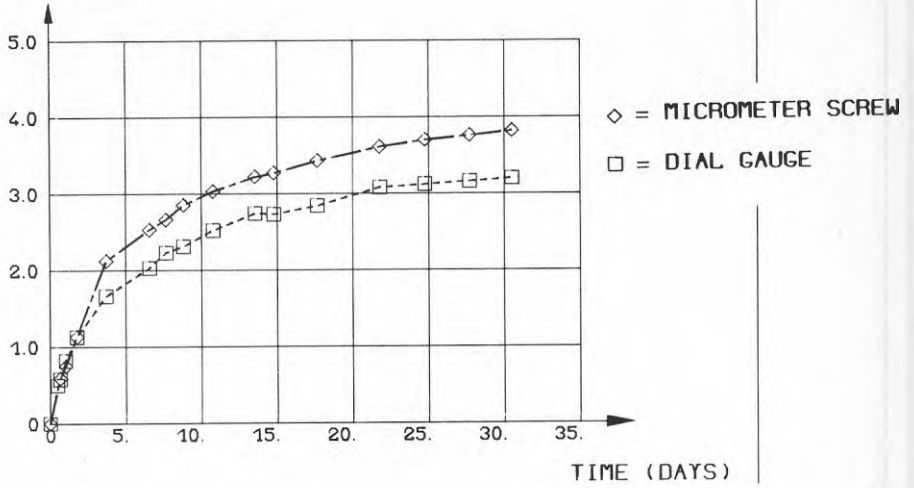


FIG B4:5 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätlocka och mikrometerskruv för provkropp GVB

MIDSPAN MOVEMENT (MM)

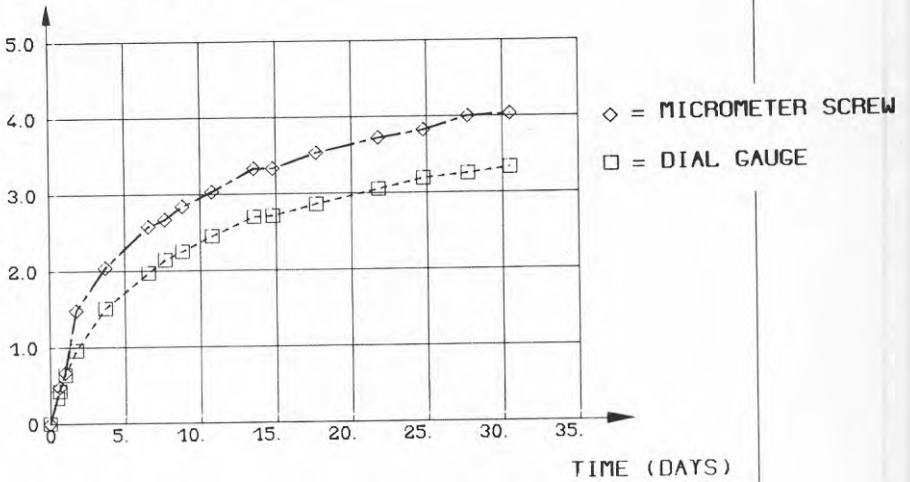


FIG B4:6 Jämförelse mellan uppmätt deformation med mätlocka och mikrometerskruv för provkropp GVC



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821286-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Kungl.
tekniska högskolan, Avdelningen för stålbyggnad, Stockholm.**

R58: 1987

ISBN 91-540-4727-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707058

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 45 kr exkl moms