

SKIVA SOM STABILISERANDE ELEMENT PÅ GLESPANEL

EXAMENSARBETE

Handledare: Sture Åkerlund och Tomas Alsmarker

Lund 1988

Anders Ranby
Mats Sihvonen

TVBK-5034

FÖRORD

Examensarbetet kommer att behandla området " skiva som stabiliserande element". I detta fall betyder det en innertakskonstruktion bestående av en stomme av glespanel och reglar på vilken gipsplank monterats. Vi avser att ta fram brottlast för konstruktionen samt att se på olika faktorer som kan påverka brottlasten.

Vi vill här tacka våra handledare

Sture Åkerlund

Tomas Alsmarker

för deras hjälp under arbetets gång.

Vi vill även tacka all personal i V o V - sektionens lab.hall och verkstad för deras hjälp och vägledning. Slutligen vill vi tacka Gyproc för bidrag med material och utrustning.

ANDERS RANBY

MATS SIHVONEN

LUND

NORGES NATIONALDAG

1988

SAMMANFATTNING

Målsättningen med detta examensarbete har varit att studera skivverkan och ta fram brottlasten för en innertaks konstruktion. Takkonstruktionen som studerats bestod av gipsskivor på glespanelstomme som i sin tur spikats på en regelstomme. Arbetet har utförts dels som praktiska försök i Väg och Vattensektionens labbhall på LTH och dels som teoretiska beräkningar med hjälp av ett finitelementprogram.

Det finns många parametrar som kan påverka brottlastens storlek som till exempel

- * fästdonens fjäderkonstant
- * avstånd mellan fästdon
- * avstånd mellan fästdon och fri kant
- * stommens fjäderkonstant
- * gipsskivornas placering (längs/tvärs glespanelen)
- * avstånd mellan skivor (om skivorna kan rotera fritt innan de stöter i varandra)

Utifrån detta valdes att

- * ta fram fjäderkonstanten för fästdon
- * prova takkonstruktionens stomme utan gipsskivor
- * prova takkonstruktionen med gipsskivor monterade enligt tillverkarens monteringsanvisningar

Fjäderkonstanter för två olika typer av förband (spik, skruv) bestämdes med laborieförsök på LTH. Resultaten från dessa försök gav följande

- * $K_{spik}=650$ KN/m
- * $K_{skruv}=850$ KN/m

Takkonstruktionen provades sedan i tre olika försöksuppställningar.

1. stomme utan gips
2. längsmonterad gips
3. tvärsmonterad gips

Försöksuppställningarna kan studeras i figurerna 3.3-3.6. Provkroppar tillverkades enligt Gyprocs monteringsanvisningarna och provades sedan i en provrigg. Resultatet från provningen blev

Försök	Last (KN)
1. stomme utan gips	-
2. längsmonterad gips	18
3. tvärsmonterad gips	14

Iakttagelser under försökens gång och studier av tidigare gjorda försök av Sture Åkerlund [9] visade att skivornas placering i förhållande till glespanelen spelar en avgörande roll.

Som jämförelse gjordes beräkningar med befintliga metoder för skivkonstruktioner. Beräkningarna gjordes enligt följande modeller

1. CALFEM
 2. Degerman/Åkerlund [2]
 3. Tunnpåtskonstruktioner [6]
- vilka gav följande resultat;

Beräkningsmodell	Last (KN)
1. CALFEM	11
2. Degerman/Åkerlund	5.3
3. Tunnpåtskonstruktioner	8.7

Den dåliga överensstämmelsen mellan praktik och teori beror sannolikt på svårigheten att i de teoretiska modellerna ta hänsyn till vad som händer då skivorna börjar rotera och då stöter emot varandra. Andra problem i detta sammanhang är att beskriva det plastiska förloppet i brottstadiet. I beräkningsmodellerna har antagits att brott sker då något av fästdonen trycks ur gipsskivan. Vid de praktiska försöken har belastningen ökat tills ett "totalt" brott inträffat. Vid en jämförelse av ovanstående brottkriterium och händelse förloppet vid fullskaleförsöken, tabell 3.2, erhålls att brott inträffat vid drygt 12 KN. Detta ger då att CALFEM beräkningarna får en relativt god överensstämmelse med de fullskaleförsöken.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sida

FÖRORD

SAMMANFATTNING

1 ARBETETS OMFATTNING 1

2 FÖRBANDSPROV

2.1 ALLMÄNT OM FÖRBANDSPROV	3
2.2 UTRUSTNING TILL FÖRBANDSPROV	5
2.3 PROVKROPPAR TILL FÖRBANDSPROV	
2.3.1 Provkropparnas benämning	7
2.3.2 Provkropparnas utseende	8
2.3.3 Provkropparnas material	11
2.4 UTFÖRANDE AV FÖRBANDSPROV	
2.4.1 Montering av provkroppar	13
2.4.2 Montering i Alwetron	13
2.4.3 Provning	14
2.5 RESULTAT AV FÖRBANDSPROV	
2.5.1 Resultat spikförband	17
2.5.2 Resultat skruvförband	20

3 FULLSKALEFÖRSÖK

3.1 ALLMÄNT OM FULLSKALEFÖRSÖK	22
3.2 UTRUSTNING TILL FULLSKALEFÖRSÖK	23
3.3 PROVKROPPAR TILL FULLSKALEFÖRSÖK	
3.3.1 Material till fullskaleförsök	25
3.3.2 Sammansättning av provkroppar	26
3.4 UTFÖRANDE AV FULLSKALEFÖRSÖK	28
3.5 RESULTAT AV FULLSKALEFÖRSÖK	31

4 CALFEMBERÄKNINGAR

4.1 ALLMÄNT OM CALFEMBERÄKNINGAR	34
4.2 ELEMENTMODELLERING AV TAKET	34
4.3 INDATA TILL PROGRAMMET	35
4.4 UTFÖRANDE AV BERÄKNINGAR	36
4.5 RESULTAT FRÅN CALFEMBERÄKNINGAR	41

5 HANDRÄKNINGSMODELLER

5.1 Metod 1	43
5.2 Metod 2	45

6 JÄMFÖRELSE AV OLIKA MODELLERS RESULTAT 49

REFERENSER 50

BILAGOR

1 ARBETETS OMFATTNING

För att kunna studera hur en innertaks konstruktion fungerar behövs kännedom om hur varje del i denna fungerar. Vi började med att dela upp taket i dess beståndsdelar:

- * reglar (takstolens underben)
- * plastfolie
- * glespanel
- * spik
- * gipsplank
- * gipsskruv

Verkningsätt och karakteristika för delarna ovan finns dokumenterade i olika rapporter. Det finns dock inte mycket skrivet om hur delarna fungerar tillsammans. Efter samtal med handledarna Sture Åkerlund och Tomas Alsmarker, beslutades att följande arbetsmönster skulle följas.

1. Ta fram fästonskarakteristika för spikförband och gipsskruvförband.
2. Undersöka hur enbart regel och glespanelsstomme fungerar.
3. Göra fullskaleförsök på två modeller av innertaket, med gipsplank monterade dels längs och dels tvärs glespanelen.
4. Göra en datorberäkning på konstruktionen.
5. Använda befintliga handräkningsmodeller för skivkonstruktioner, exempelvis enligt Tunnpåtskonstruktioner [6], Degerman/Åkerlund Beräkningsmodeller [2]

Första steget innebar att ställa upp relevanta försöksmodeller. Med utgångspunkt från dessa tillverkades därefter provkroppar, infästningsanordningar och provrigg. Sedan följde tester i provningsmaskin och i försöksrigg.

Nästa steg var utvärdering av försöken, som gav oss fästdonens karakteristika samt kraft- deformations samband för den totala konstruktionen.

Därefter återstod arbetet med att kontrollera möjligheten att med rimliga insatser räkna fram ett kraft-deformationssamband för takkonstruktionen.

Här användes ett för undervisning vid LTH utvecklat FEM program CALFEM. Arbetet började med att göra en element-modellering av taket, som gick att mata in i programmet. Från datorkörningarna erhöles data om deformationer i olika punkter av taket vid olika laster.

Utifrån detta gjordes kraft-deformations kurvor som sedan jämfördes med kurvor från fullskaleförsöken.

Beräkningarna avslutades med studier av befintliga beräkningsmodeller så som Tunnpåtskonstruktioner [6] och Degerman/Åkerlund Beräkningsmodeller [2]. Från dessa metoder erhöles en total last för konstruktionen som jämfördes med lasterna som vi fått från fullskaleförsök och datorberäkningar.

2 FÖRBANDSPROV

2.1 ALLMÄNT OM FÖRBANDSPROV

Förbandsproven gjordes av två anledningar.

1. För att få fram fästonskaraktistika som senare använts vid beräkningar för hand och med hjälp av dator
2. För att få en uppfattning om vilken typ av brott som senare kunde väntas vid fullskaleförsöken.

I den takkonstruktion som testades ingick två olika fästdon, trådspik (spik) och gipsskruv (skruv), samt byggmaterialen trä och gips. Med tanke på de ingående materialens anisotropi bestämdes därför att olika typer av prov skulle göras. Före beslut om hur dessa prov skulle genomföras, antalet provtyper, samt hur många tester som skulle genomföras inom varje provtyp studerades Bo Källsners rapport [5] där liknande försök gjorts. Detta ledde till följande resultat:

1. Samtliga prov utfördes som dragprov. *)
2. Tio olika provtyper testades, fyra spikförband och sex skruvförband. **)
3. Fem tester inom varje provtyp. ***)
4. Proven utfördes med konstant deformationshastighet motsvarande statisk last. ****)

*) Med den tillgängliga utrustning och av praktiska skäl var detta lämpligast.

**) Proven skulle visa på skillnader då kraftriktning i förhållande till fiberriktning och avstånd mellan fästdon och fri kant varierade. Diskussioner ledde till att tre kraftriktningar provades på båda förbandstyperna. Skruvförbanden provades med två olika kantavstånd i samtliga kraftriktningar, och spikförbanden provades med två olika kantavstånd i en kraftriktning.

***) För att få statistisk säkerhet i resultaten.

****) Laster som takkonstruktionen utsätts för (vindlast) räknas oftast som statisk last.

2.2 UTRUSTNING TILL FÖRBANDSPROV

Utrustningen för genomförandet av förbandsproven bestod av följande:

- * Alwetron, universalprovningssmaskin
- * Deformationsgivare
- * X-Y skrivare
- * Provkroppar
- * Infästningsanordningar av plattjärn

Dragproven utfördes i en provningssmaskin typ Alwetron se bild 2.1, på V o V - sektionen, Lunds Tekniska Högskola.

Provkropparna kunde inte monteras direkt i Alwetronen utan att speciella system av plattjärn tillverkades. Ett par av dessa system kan studeras i bilderna 2.1 och 2.2 .

Med Alwetronen erhöles arbetskurvan för en provkropp kontinuerligt plottad på en pappersremsa. Det ansågs dock att mätsystemet i Alwetronen gav ett otillfredställande resultat på deformationen. Alwetronens mätsystem gav ett totalt värde på deformationen, vilken kan ha uppstått antingen i de olika infästningarna av provkroppen till Alwetronen, eller i själva förbandet. För att undvika detta problem monterades en potentiometer vid själva spiken, se bild 2.2.

Potentiometerplaceringen gjordes så att en tänkt horisontell linje drogs genom spikskallen. Längs denna linje skruvades potentiometern fast i provkroppen. Dessutom återfinns potentiometerens mätpunkt längs denna linje. Potentiometern kopplades sedan samman med Alwetronens lastcell till en separat X-Y skrivare.

Med denna utrustning kunde sedan arbetskurvan för fästdonet plottas kontinuerligt.

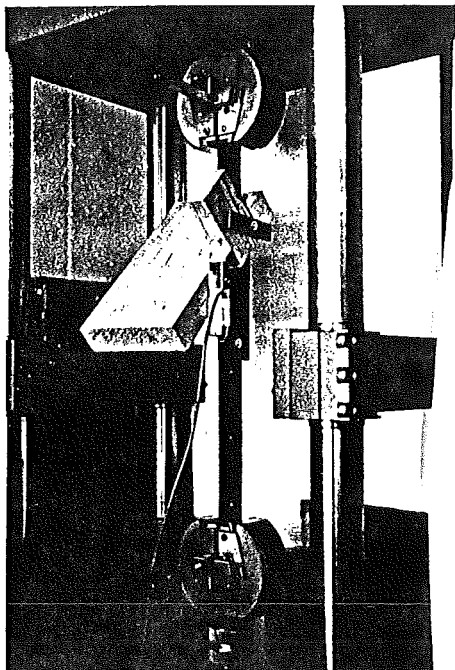


Bild 2.1 Fotografiet visar Alwetronen med ett av proven monterade. Här kan även infästningssystemet med plattjärn beskådas.

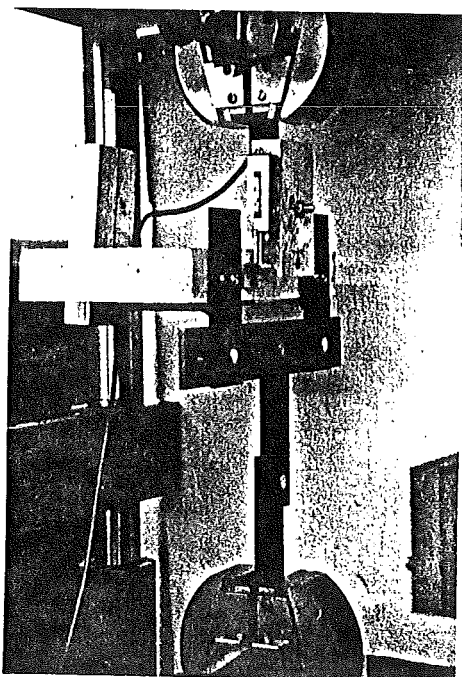


Bild 2.2 Fotografiet visar infästningssystemet där plattjärnen är skruvade med träskruvar i provkroppen. På provkroppens vänstra sida kan även potentiometers placering skönjas.

2.3 PROVSKROPPAR TILL FÖRBANDSPROV

2.3.1 Provkropparnas benämning

De olika proven benämndes efter typ av förband, spik- eller gipsskruvförband. Med spikförband menades att provet utfördes med en bit regel och en bit glespanel sammanfogade med ett spik. På samma sätt fick gipsskruvförbandet sitt namn då det syftade till att en bit gipsplank och en bit glespanel sammanfogats med en gipsskruv.

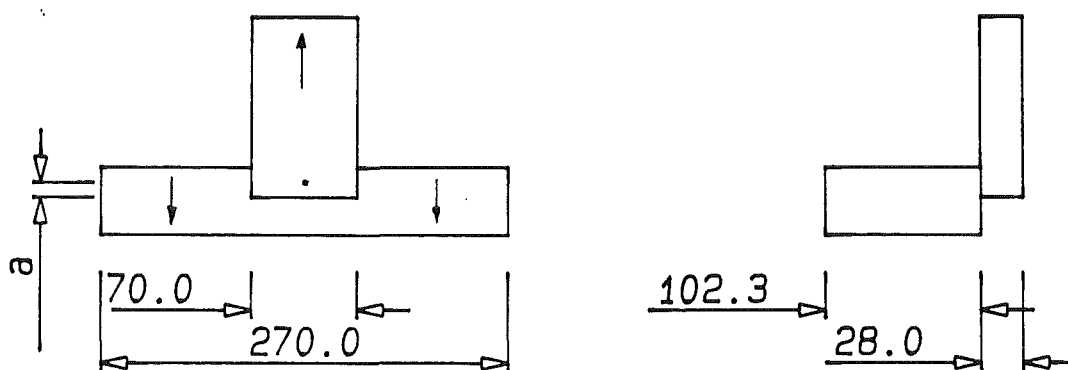
Eftersom proven utfördes med olika kraftriktningar i förhållande till fiberriktningen fick provens namn ett suffix beroende på vinkeln mellan kraftriktning och fiberriktning på glespanelen. Dessa suffix var V = vinkelrät, P = parallell, 45 = 45 graders lutning mellan kraftriktning och glespanelens fiberriktning. I de fall proven utfördes med olika avstånd mellan spik och fri kant samt mellan gipsskruv och fri kant fick provets namn ytterligare ett suffix i form av en romersk siffra.

Detta gav namn typ:

Spik.P.I = spikförband, kraftriktning parallell med fiberriktningen, avstånd till fri kant av typ I

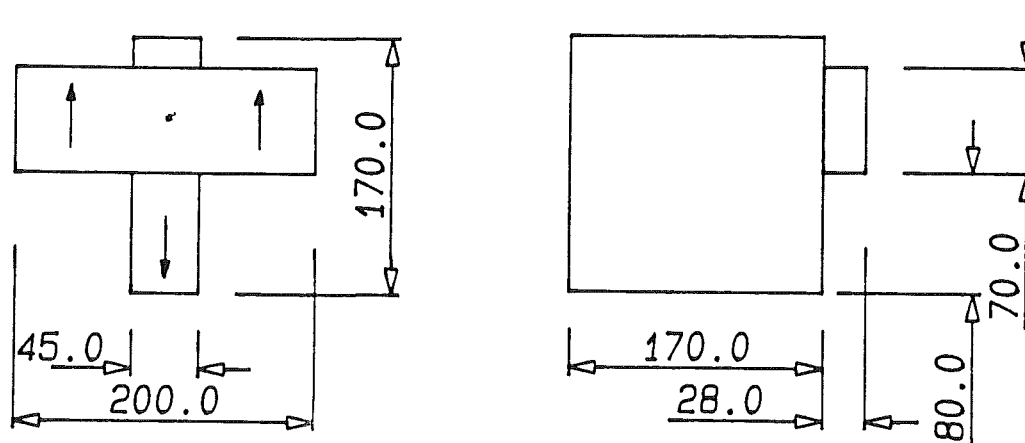
2.3.2 Provkropparnas utseende

I detta kapitel redovisas figurer på de olika provkropparna för att ge en åskådlig dokumentation av deras storlek och utseende.

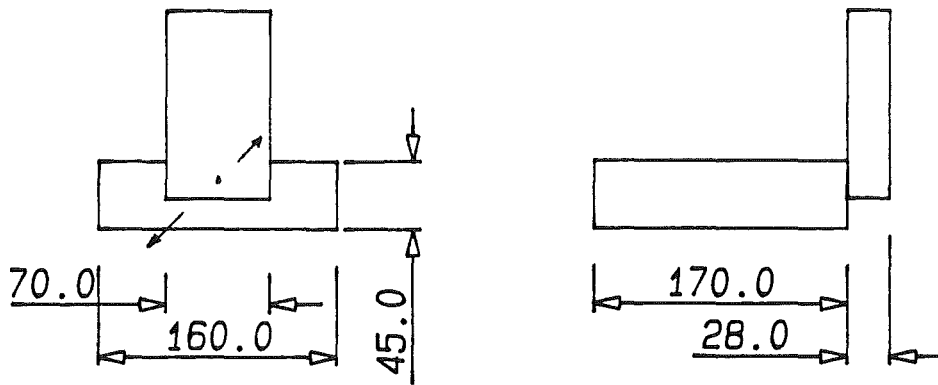


Figur 2.1 Spik.P.I o II

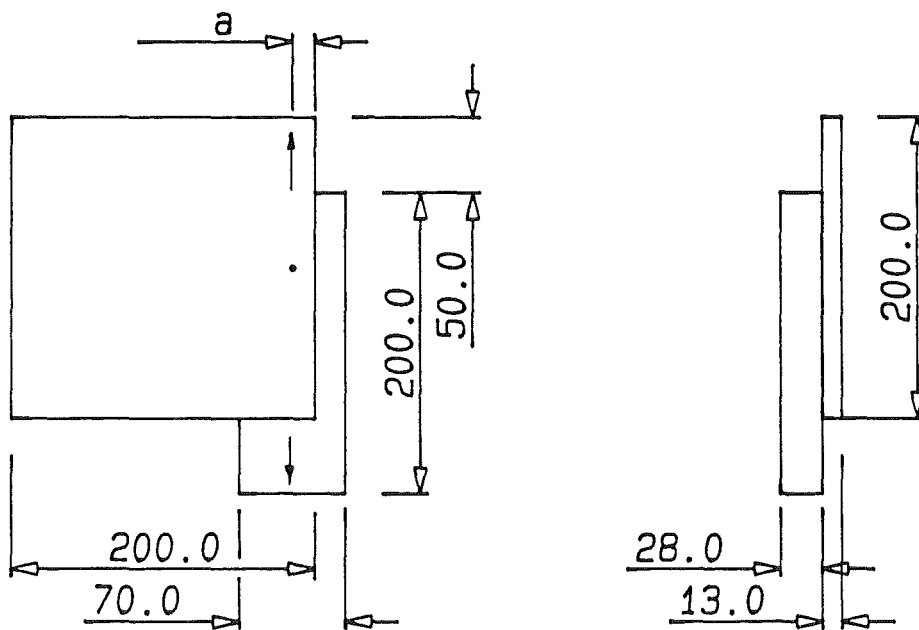
För Spik.P.I är $a = 12.5$ mm
 Spik.P.II är $a = 32.5$ mm



Figur 2.2 Spik.V



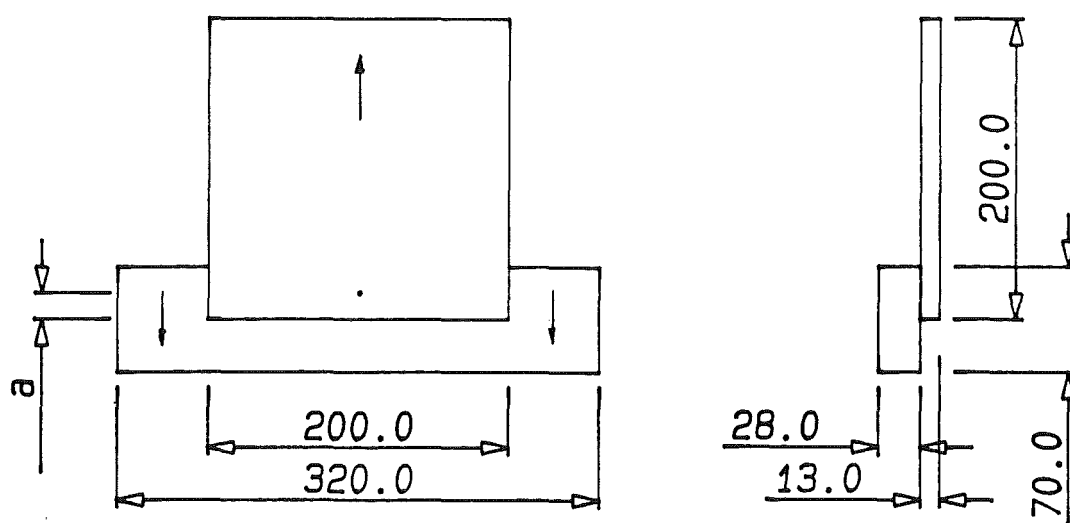
Figur 2.3 Spik.45



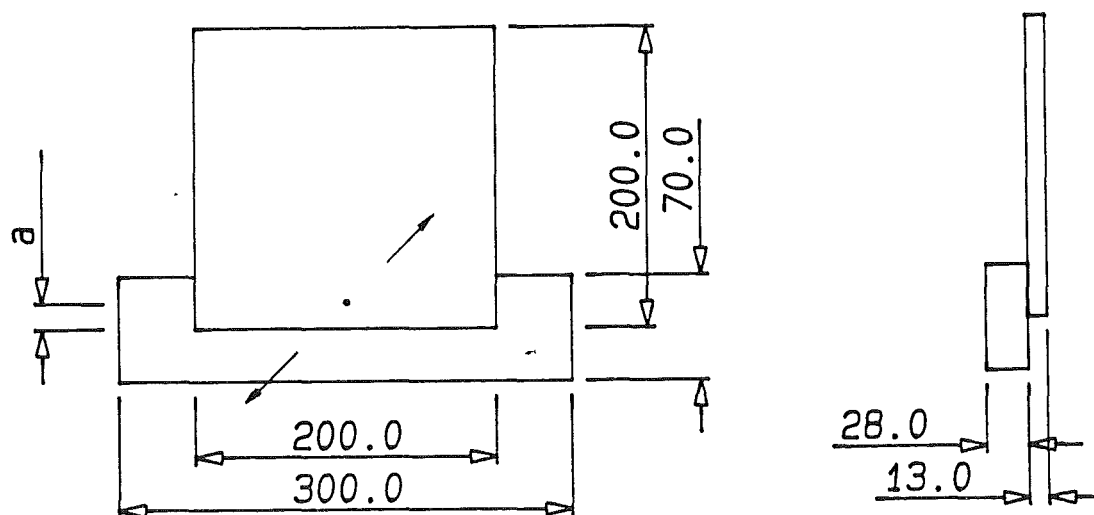
Figur 2.4 Skruv.P.I o II

För Skruv.P.I är $a = 10$ mm

Skruv.P.II är $a = 15$ mm



Figur 2.5 Skruv.V.I o II För Skruv.V.I är $a = 10$ mm
Skruv.V.II är $a = 15$ mm



figur 2.6 Skruv.45.I o II För Skruv.45.I är $a = 10$ mm
Skruv.45.II är $a = 15$ mm

2.3.3 Provkropparnas material

Material spikförband

* Reglar	45*170	T 30
* Glespanel	28*70	Ö-virke
* Spik	100*34	Gunnebo

Material gipsskruvförband

* Glespanel	28*70	övirke
* Gipsplank	13 mm	Gyproc
* Skruv	T 29	Gyproc

Någon finare gallring av virket gjordes inte utan endast det virke som var från den yttersta ytveden sållades bort. Detta medförde en relativt stor spridning av kvaliteten med allt från ''balsaträ till kärnvirke''. Orsaken till detta val var dels ekonomiskt, dels att den verkliga situationen på en arbetsplats skulle efterliknas.

För att erhålla samma material i de olika provtyperna gjordes följande uppdelning av virket. Från virket och gipsen som levererats plockades fem stycken representativa glespanelslängder, en stycken regel och fem stycken gipsplank ut. Glespanelslängderna kapades så att i varje provtyp ingick glespanelsbitar från de fem olika längderna. På samma sätt togs provbitar ur de fem gipsplanken till de sex olika provtyperna med skruvförband. Delarna som kapats från regel och glespanel förvarades sedan i klimatrum för att uppnå fuktkvotsjämvikt vid 20 C och 65% RF. Bitarna från gipsplanken förvarades dock i vanligt rumsklimat.

I samband med dragprovningen gjordes en dokumentation av varje provkropp. För trädelarna bestämdes dess fuktkvot och densitet, samt för gipsplanken dess ytvikt. Resultaten från denna dokumentation finns redovisade nedan i tabellerna 2.1 - 2.4.

Tabell 2.1 Densitet och fuktkvot för regeln
i spikförbandet

Försök	P.I	P.II	V	45
δ_t (kg/m ³)	363.4	363.4	390.8	370.2
s (kg/m ³)	12.3	12.3	5.8	12.1
u (%)	14.4	14.4	14.7	14.6
s (%)	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabell 2.2 Densitet och fuktkvot för glespanelen
i spikförbandet

Försök	P.I	P.II	V	45
δ_t (kg/m ³)	407.0	418.8	413.4	411.7
s (kg/m ³)	61.9	64.8	64.1	46.5
u (%)	14.7	14.5	14.5	14.6
s (%)	0.3	0.3	0.3	0.4

Tabell 2.3 Densitet och fuktkvot för glespanelen
i skruvförbandet

Försök	P.I	P.II	V.I	V.II	45.I	45.II
δ_t (kg/m ³)	462.2	462.2	419.4	419.4	430.1	430.1
s (kg/m ³)	82.6	82.6	69.6	69.6	60.9	60.9
u (%)	13.1	13.1	11.9	11.9	11.5	11.5
s (%)	0.4	0.4	0.6	0.6	0.3	0.3

Tabell 2.4 Ytvikt för gipsplank i skruvförbandet

Försök	P.I	P.II	V.I	V.II	45.I	45.II
m (kg/m ²)	9.45	9.31	9.38	9.29	9.34	9.33
s (kg/m ²)	0.13	0.12	0.15	0.08	0.08	0.15

2.4 UTFÖRANDE

2.4.1 Montering av provkroppar

Provkropparna monterades genom hopfogning av glespanel och regel samt glespanel och gipsplank. För att förhindra att glespanelen sprack vid spikningen förborrades spikhålen till 3 mm.

Beroende på träytornas råhet och hur hårt trädelarna spikas ihop så kommer friktionen i fogen att variera. För att minska effekten av detta placerades en plastfolie mellan delarna före monteringen. I fallet med glespanel och gipsplank användes ingen plastfolie eftersom gipsplanken i sig är klädd med ett pappskick vilket minskar friktionen.

Vid hopskrivningen användes en för ändamålet avsedd skruvdragare med vilken kraften mellan gips och glespanel blev den samma i samtliga fall.

2.4.2 Montering i Alwetron

Infästningen av provkroppen i Alwetronen kunde inte göras direkt utan ett speciellt infästningssystem för varje provtyp måste tillverkas. Detta system skulle även se till att dragkraften fick en så rak väg som möjligt genom provkroppen. Dessutom skulle systemet inte ge upphov till något moment i provkroppen. Infästningsanordningen skulle även göra det lätt att montera proven i Alwetronen. Dessa krav ledde till olika typer av mekaniska system av plattjärn med vilka kraftvägen genom provkroppen nära nog överensstämde med Alwetronens centrumlinje.

2.4.3 Provning

Provningen utfördes med konstant deformationshastighet. Hastigheten valdes enligt tidigare gjorda försök [1] till 2 mm/min, vilket motsvarar statisk last.

Brottkriterium valdes enligt SBN 80 [8] till

- * 15 mm deformation i fogen
- * materialbrott

Under försökens gång fördes noteringar över händelseförloppet med avseende på provkropparna. Nedan följer en generell redovisning av dessa anteckningar.

Tabell 2.5

Spik.P.I	
Def (mm)	Anteckningar
1.5 - 3	Knakar i virket
6 - 8	Träflisa trycks ur glespanelen
10 - 12	Glespanel och regel skiljs åt i två fall
15	Försöket avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.6

Spik.P.II	
Def (mm)	Anteckningar
1 - 3	Knakar i virket
3 - 6	Spikskallen tränger in i virket
8 - 12	Glespanel och regel skiljs åt i två fall
15	Försöket avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.7

Spik.V.	
Def (mm)	Anteckningar
1 - 15	Knakar i virket
6 - 8	Spikskallen tränger in i virket
10	Synlig spricka i glespanelen i ett fall
15	Försöket avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.8

Spik.45.	
Def (mm)	Anteckningar
1 - 3	Knakar i virket
3 - 4	Synbar spricka i glespanelen
5 - 8	Flisa trycks ur glespanelen
9 - 12	Spikskallen dras in i glespanelen
12 - 14	Glespanel och regel skiljs åt i två fall
15	Försöket avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.9

Skruv.P.I	
Def (mm)	Anteckningar
2 - 4	Skruven på väg in i gipsen Bula bildas under skruven
5 - 6	Gips och glespanel skiljs åt
15	Provet avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.10

Skruv.P.II	
Def (mm)	Anteckningar
2 - 4	Skruven på väg in i gipsen
3 - 5	Gipsen spricker under skruven
4 - 8	Gipsen krossas under skruven
12	Skruven gick av i ett fall
15	Proven avbryts Skruvarna odeformerade i fyra fall

Tabell 2.11

Skruv.V.I	
Def (mm)	Anteckningar
0.5 - 1	Knakar i fogen
0.5 - 2	Bula på gipskanten
3 - 4	Pappen spricker, proven avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.12

Skruv.V.II	
Def (mm)	Anteckningar
0.2 - 0.5	Knakar i fogen, gipsen spricker
1 - 2	En bit gips lossnar
2 - 3	Försöket avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.13

Skruv.45.I	
Def (mm)	Anteckningar
0.5 - 1	Bula på gipskanten
2 - 3	Pappen spricker
3 - 5	Proven avbryts Skruvarna odeformerade

Tabell 2.14

Skruv.45.II	
Def (mm)	
0.5 - 2	Knäpper i gipsen (spricka)
2 - 3	Skruven dras in i gipsen
4 - 5	Flisa skjivas ur gipsen
6 - 7	Proven avbryts Skruvarna odeformerade

2.5 RESULTAT AV FÖRBANDSPROV

2.5.1 Resultat spikförband

I diagram 2.1 visas medelvärde av kraft- deformationssambanden för varje spikförbandstyp. Medelvärde av kraften är beräknad vid varje hel millimeter. Samtliga kurvor för varje spikförbandstyp finns redovisade i bilaga 1.1-1.4.

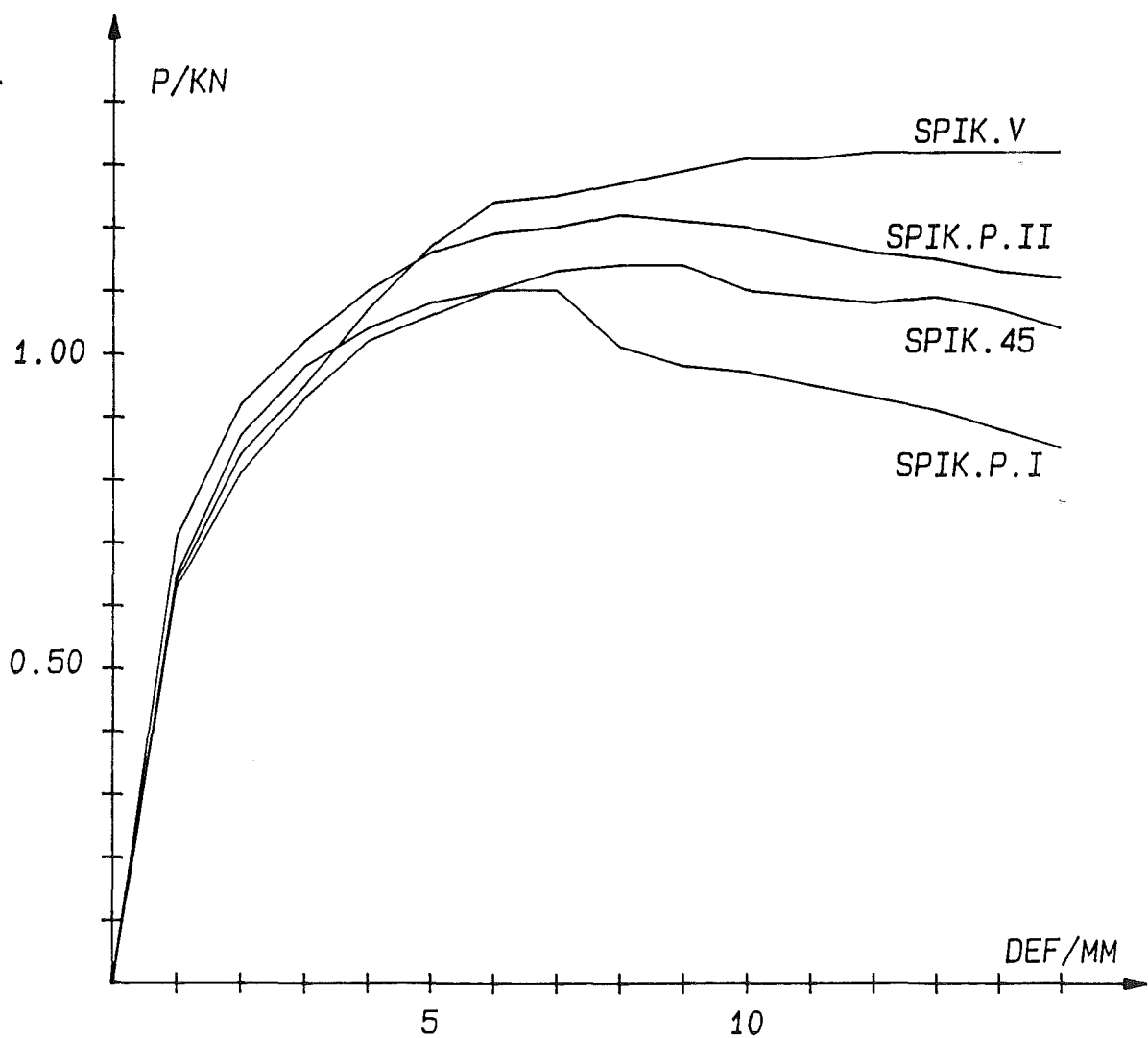


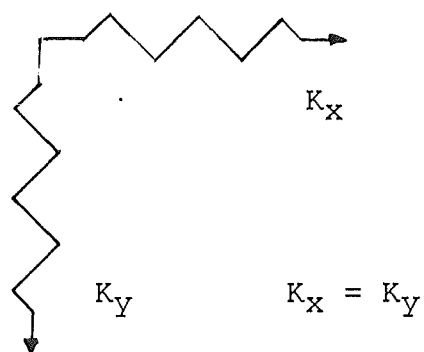
Diagram 2.1 Kraft- deformationssambanden för spikförband

Medelvärdet av brottlasten för varje förbandstyp bestämdes med hjälp av kurvorna i bilaga 1.1-1.4 till följande värden enligt tabell 2.15.

Tabell 2.15 Medelvärde av brottlast för spikförband

Försök	P.I	P.II	V	45
Kraft (KN)	1.12	1.20	1.25	1.10

Ur diagram 2.1 erhålls att kraft- deformationssambanden visar tämligen liten spridning inom intervallet 0 - 5 mm. Ur diagram 2.1 fås också att vid små deformationer är kraft-deformations sambandet oberoende av kraftens riktning i förhållande till fiberriktningen. Med dessa iakttagelser modellerades spikförbanden som ett fjäderpar enligt figur 2.7.



Figur 2.7 Modell av förband

Ett teoretiskt kraft- deformationssamband enligt diagram 2.2 bestämdes med hjälp av diagram 2.1. Den elastiska delen av kurvan motsvarar fjäderkonstanten för det modellerade spikförbandet. Denna fjäderkonstant bestämdes till $K_{\text{spik}} = 650 \text{ KN/m}$.

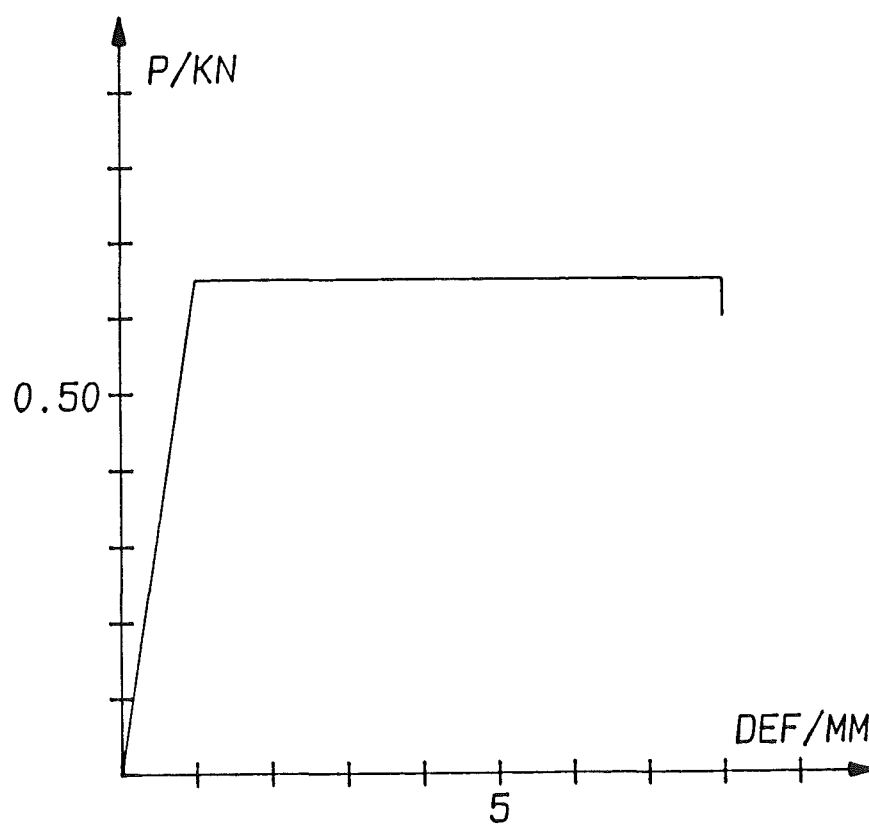


Diagram 2.2 Teoretiskt kraft- deformationssamband för spikförband

2.5.1 Resultat skruvförband

I diagram 2.3 visas medelvärde av kraft- deformations- sambanden för varje skruvförbandstyp. Samtliga kurvor för varje skruvförbandstyp finns redovisade i bilaga 2.1-2.4.

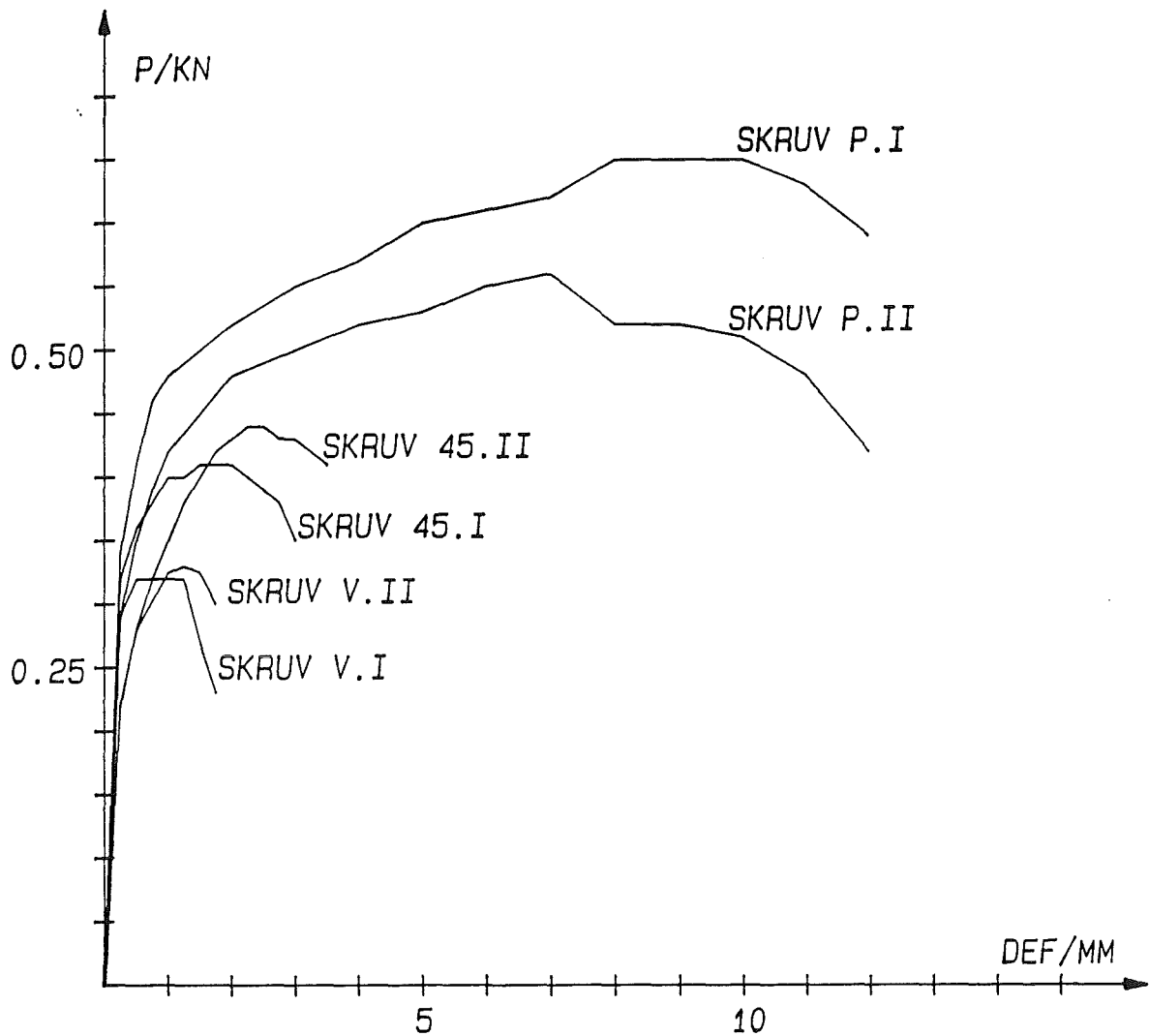


Diagram 2.3 Kraft- deformationssamband för skruvförband

Medelvärdet av brottlasten för varje skruvförbandstyp bestämdes med hjälp av kurvorna i bilaga 2.1-2.4 till följande värden enligt tabell 2.16

Tabell 2.16 Medelvärde av brottlast för skruvförband

Försök	P.I	P.II	V.I	V.II	45.I	45.II
Kraft (KN)	0.50	0.50	0.35	0.30	0.40	0.45

Ur diagram 2.3 ses att kraft- deformationssambanden visar en relativt stor spridning beroende på kraftens riktning i förhållande till gipskanten. För att kunna göra samma modellering av ett skruvförband som för spikförbandet gjordes en åtskillnad då kraften i förbandet är riktad in i skivan (TYP A) samt då kraften är riktad ut från skivan.(TYP B) Skruvförbandet modellerades enligt figur 2.7.

Ett teoretiskt kraft- deformationssamband enligt diagram 2.4 bestämdes med hjälp av diagram 2.3. Den elastiska delen av kurvan motsvarar fjäderkonstanten för det modellerade skruvförbandet , som bestämdes till $K_{\text{skruv}} = 850 \text{ KN/m}$

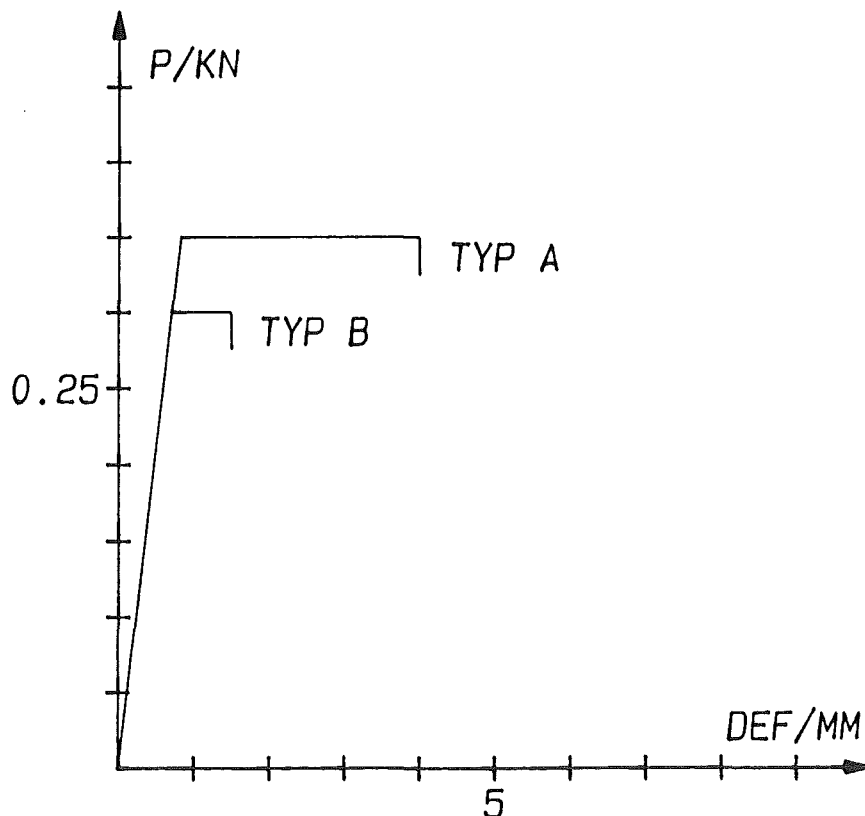


Diagram 2.4 Teoretiskt kraft- deformationssamband för skruvförband

3 FULLSKALEFÖRSÖK

3.1 ALLMÄNT OM FULLSKALEFÖRSÖK

Tre försök med fullskalemodeller genomfördes. Att endast tre försök gjordes berodde dels på tidsbrist, dels på att tidigare försök gjorts - ett väntat resultat fanns - och till sist försöksutrustningens tillgänglighet.

Försöken genomfördes i V o V - sektionens lab.hall. Förberedelsetiden uppgick till två veckor. Under denna tid kompletterades försöksriggen, stöd tillverkades och monterades, hävstänger av HEA-profiler sågades till och mätutrustningen sattes ihop.

Det primära syftet med fullskaleförsöken var att bestämma styvhet och brottlast för en modell i full skala. Dessutom var vi intresserade av hur konstruktionen deformerades, vid vilken last olika brott uppstod, hur gipsplanken betedde sig samt vilken betydelse placeringen av gipsplanken hade.

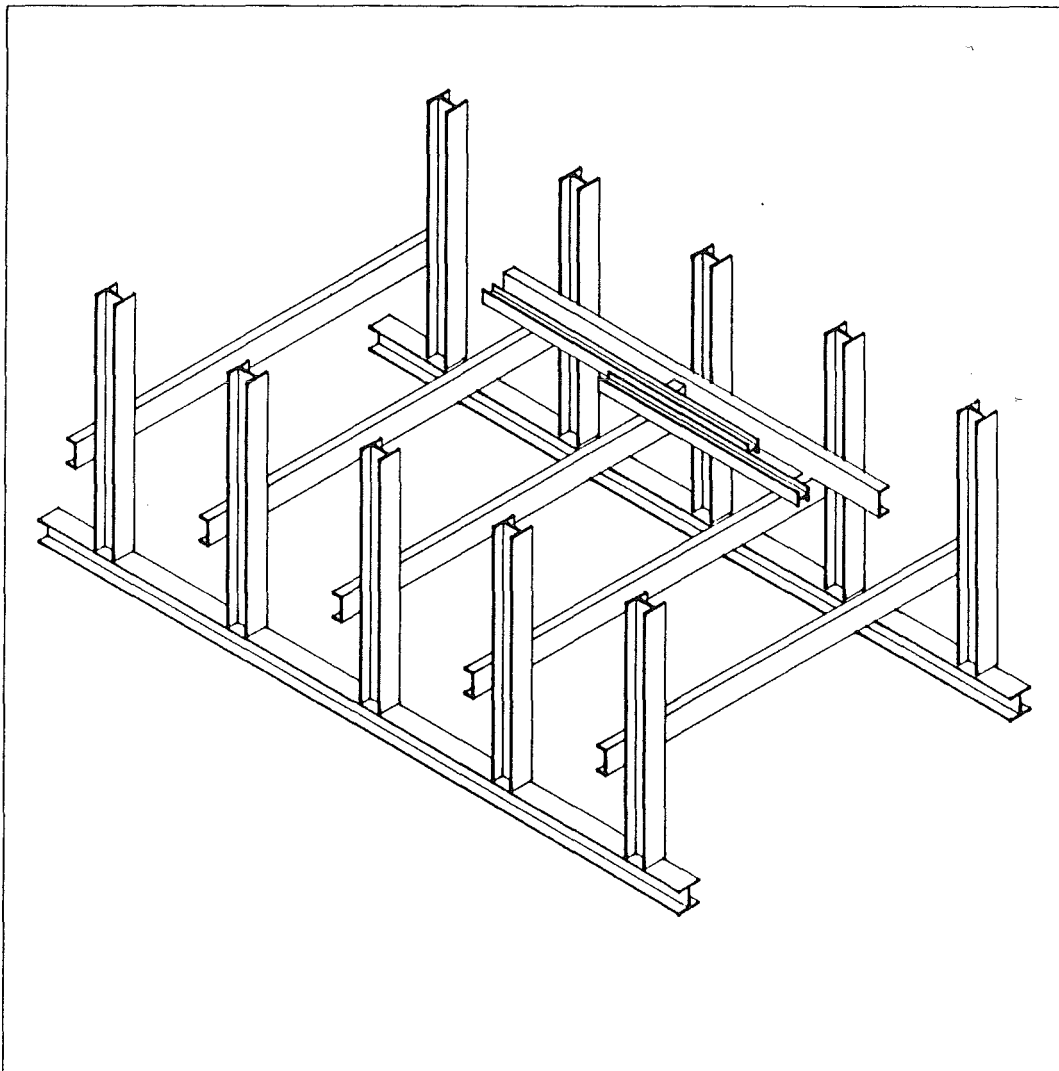
Först genomfördes ett försök utan någon gipsplank. Syftet var att kontrollera försöksutrustningen, men även att få en uppfattning om hur själva regelstommen uppför sig vid pålastning. Därefter följde ett försök med gipsen längsmonterad och till sist provades den provkropp där gipsplanken monterats på tvären.

3.2 UTRUSTNING TILL FULLSKALEFÖRSÖK

Utrustningen till fullskaleförsöken utgjordes av en försöksrigg (i vilken provkropparna byggdes upp), en hydraulisk kolv, 21 potentiometrar samt två kraftgivare kopplade till en PC med registreringsmöjlighet och plotter.

Försöksrigg:

Försöksriggen utgjordes av HEA140 och UPE180-profiler enligt figur 3.1 och försågs med rull- resp. fixlager vid stödpunkterna.



Figur 3.1 Komplettest försöksrigg med hävstänger.

Hydraulisk kolv:

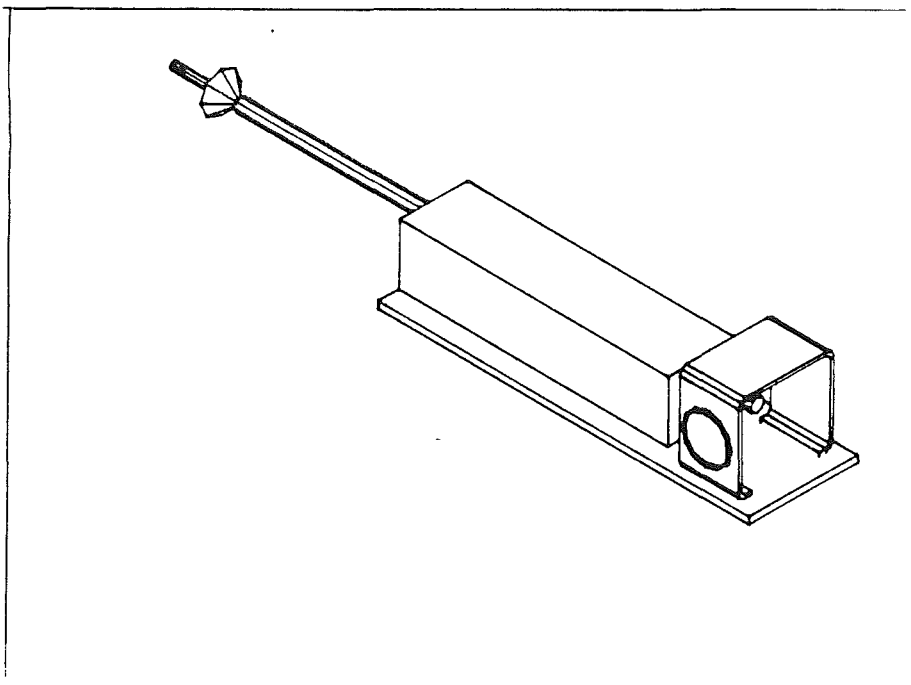
Kolven (Bacho CA10-200) monterades på riggen och kraften fördelades med hävstänger upplagda på T-profiler till tre lika stora krafter. Hävstångerna bestod av HEA100-profiler.

Kraftgivare:

Kraftgivarna av märket Bofors monterades mellan stödpunkterna och ytterreglarna. Här mättes upplagskrafterna kontinuerligt och registrerades på PC:n.

Potensiometrar:

Potensiometrarna monterades med skruv i provkroppen alternativt på stativ med magnet.



Figur 3.2 Potensiometer av typ Samae.

3.3 PROVKROPPAR TILL FULLSKALEFÖRSÖK

3.3.1 Material till fullskaleförsök

* Reglar	45*170	T30
* Glespanel	28*70	övirke
* Gipsplank	2400*600*13	Gyproc
* Skruv	T29	Gyproc
* Spik	100*3,4	Gunnebo

Materialens egenskaper så som densitet, fuktkvot och ytvikt för träreglar, glespanel och gipsplank mättes och framgår av tabell nedan.

Tabell 3.1a

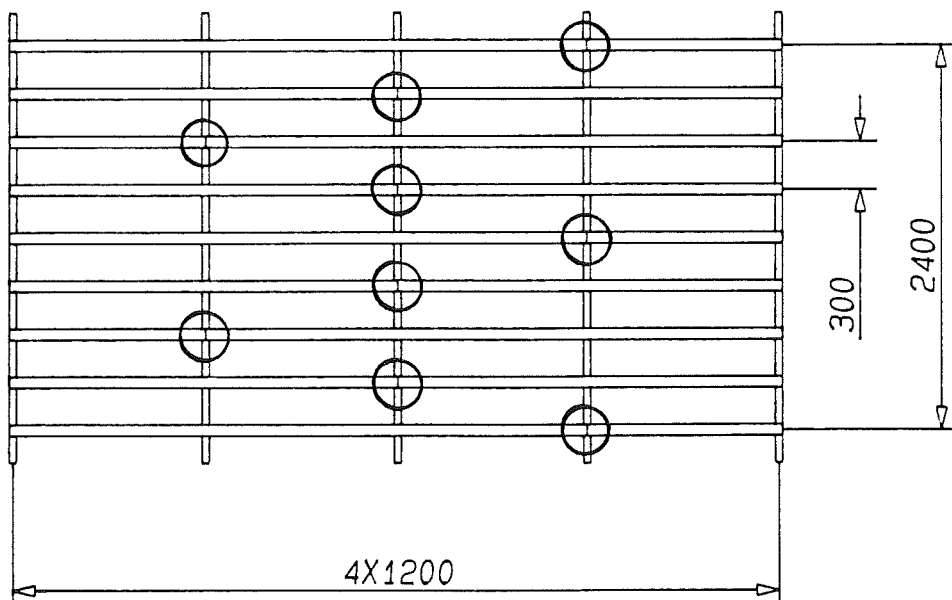
Material	Glespanel		Regel
	2	3	
Försök	2	3	2 o 3
δ_t (kg/m ³)	404.4	390.3	396.7
s (kg/m ³)	70.3	56.2	24.6
u (%)	11.5	12.3	11.1
s (%)	0.7	0.4	0.2

Tabell 3.1b

Material	Gipsplank	
	2	3
Försök	2	3
m (kg/m ²)	9.28	9.28
s (kg/m ²)	0.10	0.08

3.3.2 Sammansättning av provkroppar

Tre olika provkroppar monterades, en för varje försök. En provkropp bestod av fem regler (vilka skulle efterlikna underramarna i en takstolsunderdel) med cc 1200. På reglarna spikades glespanel med två spik per knutpunkt. Antalet spik bestämdes efter kontakt med Planverket, Arbetarskyddstyrelsen och småhustillverkare. Mellan regler och glespanel lades plastfolie, dels för att minska friktionen och dels för att efterlikna det genomtrampningsskydd som ofta finns. Glespanelen spikades på cc 300 med skarvarna (vilka hade samma placering hos samtliga provkroppar) enligt figur 3.3. På två av de tre regel-glespanelstommarna skruvades gipsplank. Gipsen monterades med ett kantavstånd av 10 mm och med centrumavstånd enligt Gyprocs [3] anvisningar, se figur 3.4a och 3.4b. Skruven, som drogs med skruvdragare, försänktes ej. Gipsskarvarna försköts så att de olika provkropparna hade utseende enligt figurerna 3.5 och 3.6.



Figur 3.3 Regelstomme med skarvar i glespanelen.

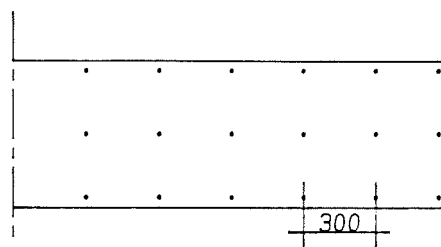
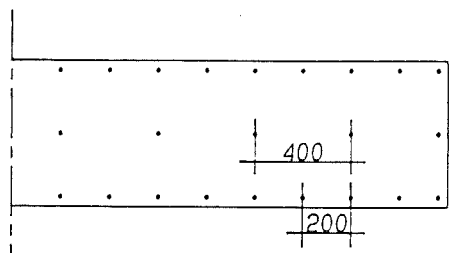
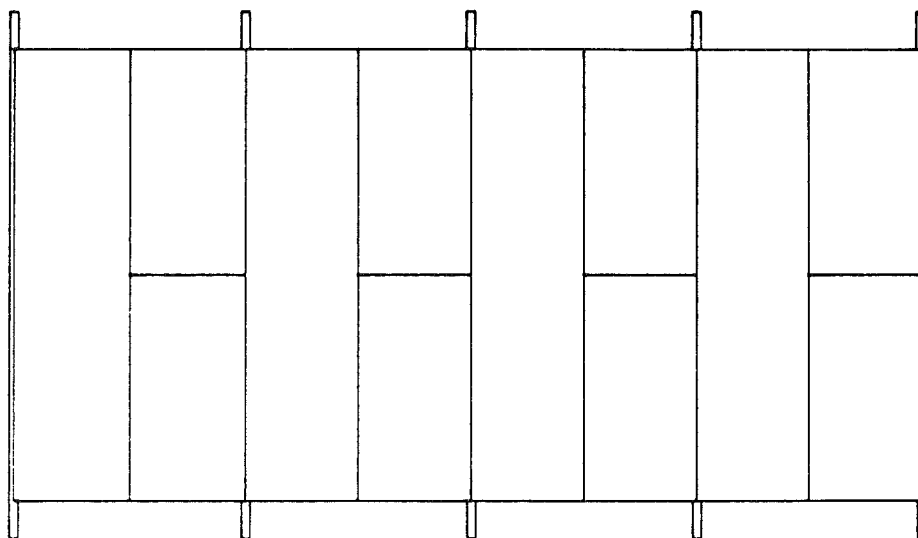
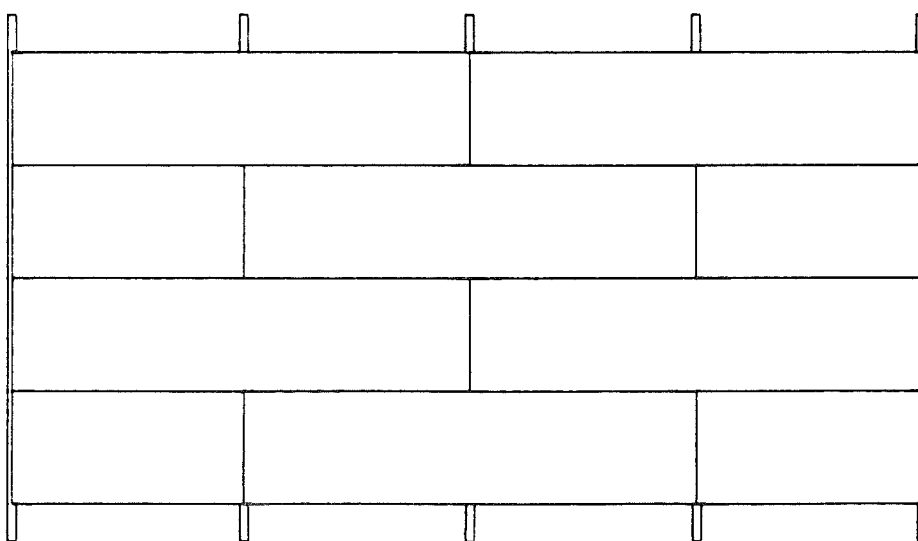


Fig.3.4a Skruvavstånd vid
längsmonterad gips.

Fig.3.4b Skruvavstånd vid
tvärsmonterad gips.



Figur 3.5 Gipsplank monterade på längden, försök 2.



Figur 3.6 Gipsplank monterade på tvären, försök 3.

UTFÖRANDE AV FULLSKALEFÖRSÖK

Provkropparna monterades direkt i försöksriggen dagen före själva provningen. Virket hade då tillbringat 20 dygn i klimatrum med +20 C, 65 % RF och hade en fuktkvot av 12 % (glespanel) respektive 11 % (reglar). Även ytvikten hos gipsplanken bestämdes, denna uppgick till 9,3 kg/m².

Potensiometerplaceringen (som framgår av figurerna 3.7, 3.8 och 3.9) bestämdes på grundval av tillgång på potentiometrar, kontrollpunkter och mätpunkter.

Eftersom andra försök pågick begränsades antalet potentiometrar till 21 stycken. De placerades på sådana ställen att vi skulle kunna kontrollera att försöksförloppet blev riktigt. Även försöksriggens deformation mättes i försöken. De mätpunkter som valdes var ställen som beskrev enskilda förbands-, (men även hela provkroppens) rörelser. Potensiometrarna skruvades fast och mätte mot (för försöken pålimmade) aluminiumvinklar respektive plexiglasskivor.

På grund av brist på potentiometrar användes mätklockor på en del ställen, se figur 3.8 och 3.9. Dessa avlästes manuellt.

Vid upplagen mellan regel och stålprofil monterades kraftgivare. På detta sätt kunde lastökningen kontrolleras och även en varning om eventuell snedbelastning erhållas.

Före själva tryckningen lyftes den aktuella provkroppen upp på små massiva rullar för att eliminera friktionen. Vidare fanns spannar med bly tillgängliga, då det i tidigare försök visat sig att provkroppen gärna reser sig vid belastning.

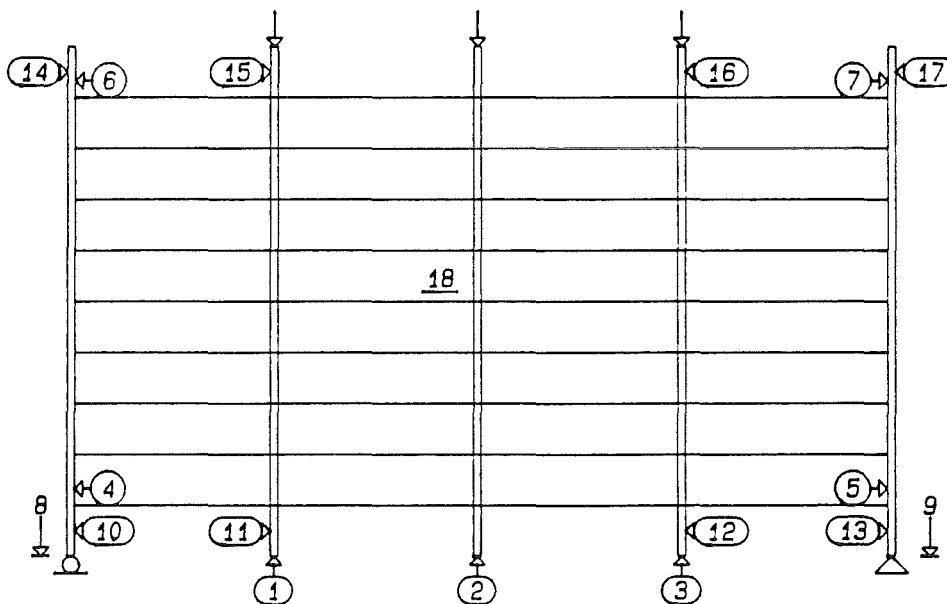
Alla potentiometrar och kraftgivare kontrollerades före respektive provning påbörjades.

Pålastningen vilken sköttes manuellt var 500 N/minut. PC:n visade med hjälp av kraftgivarna kontinuerligt reaktionskrafterna i stöden. Under provningarnas genomförande lades stor vikt vid dokumentation och registrering av provningsförloppet.

Efter varje försök togs provbitar av virket för bestämning av fuktkvot och torrdensitet. Vidare undersöktes huruvida gipsskruvarna deformerats.

Den av provkropparna som saknade gips provades först (försök 1). Därefter provades den med längsmonterad gips (försök 2) och till sist provkroppen med tvärsmonterad gips (försök 3).

Försöken avbröts då deformationen ökade vid konstant last.



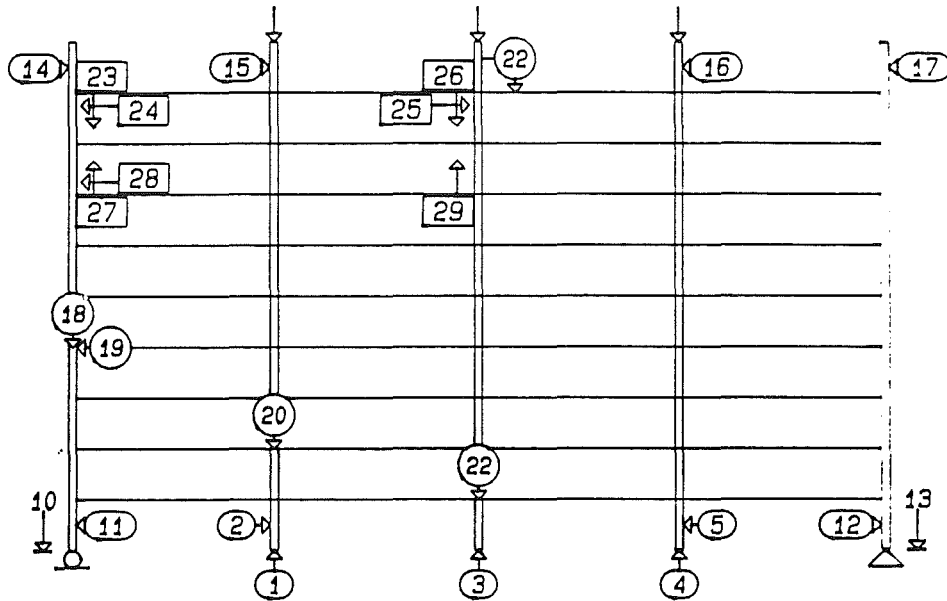
Figur 3.7 Potensiometerplacering i försök 1.

8 mäter riggens förskjutning.

14 mäter reglarnas förskjutning.

6 mäter deformationen i spikförband mellan regel och glespanel.

18 mäter vertikalförskjutningen av provkroppen.

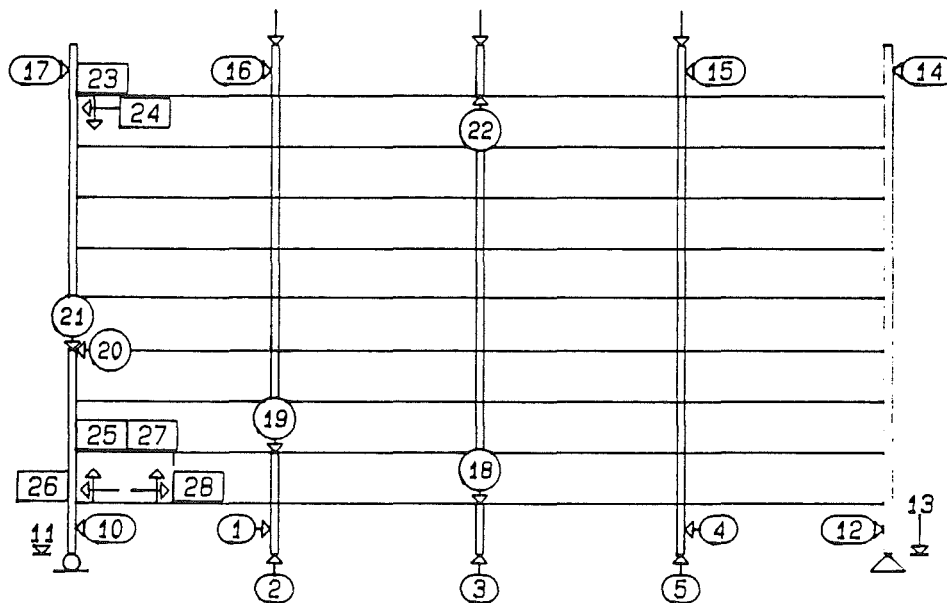


Figur 3.8 Potensiometerplacering i försök 2.

23 mäter deformationen i skruvförband mellan glespanel och gips.

I övrigt symboler enligt figur 3.7.

1, 3 och 4 utgörs av mätklockor.



Figur 3.9 Potensiometerplacering i försök 3.

Symboler enligt figur 3.7 och 3.8.

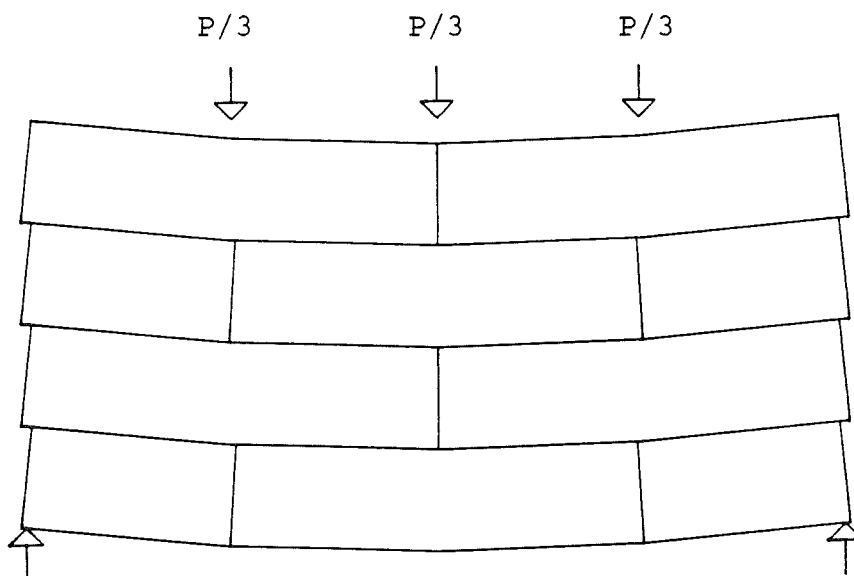
2, 3 och 5 utgörs av mätklockor.

3.5 RESULTAT AV FULLSKALEFÖRSÖK

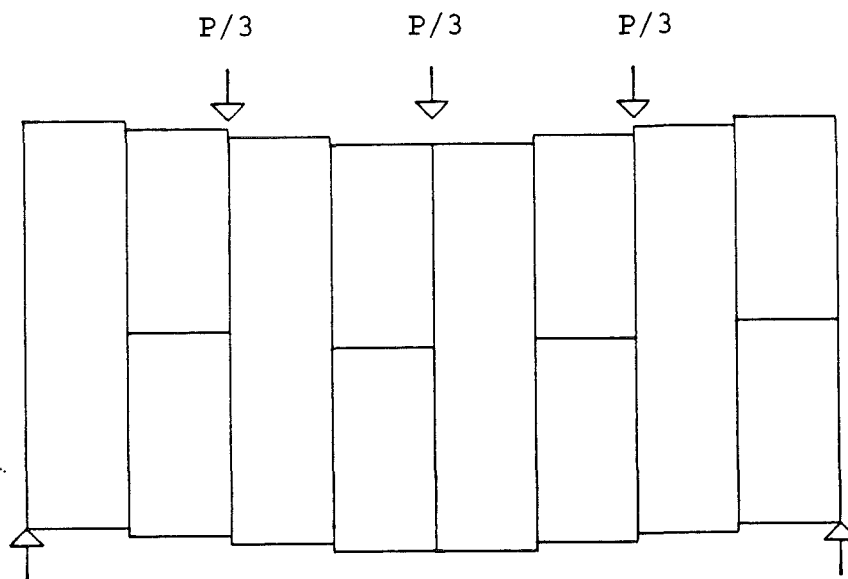
Då endast regelstommen belastades (försök 1) erhöjls stora deformationer redan vid små laster. Modellen uppträdde som om alla spikförband vore ledade. Försöket visade också att försöksutrustningen fungerade som planerat.

I försök 2 uppträdde mycket mindre deformationer i jämförelse med försök 1. Emellertid tvingades försöket "frysa" vid lasten 6 kN då försöksriggen deformerats så mycket att vajrar måste monteras. Brottlasten uppgick till 18 kN.

Liksom i försök 2 erhöjls mindre deformationer i försök 3 vid jämförelse med försök 1. I detta försök gled vajrarna vid lasten 5 kN och resultatet blev därför osäkert. Erhållen brottlast uppgick till 14 kN. De erhållna värdena i försök 2 och 3 tyder på att gipsplankens monteringsriktning har en avgörande betydelse för deformationsförloppet och brottlastens värde. I försök 2 uppförde sig gipsen som balkar, medan den i försök 3 mer liknade stående stavar vilka förskjutits sinsemellan.



Figur 3.10 I försök 2 uppförde sig gipsen likt balkar.



Figur 3.11 I försök 3 uppförde sig gipsen likt stående stavar vilka förskjutits sinsemellan.

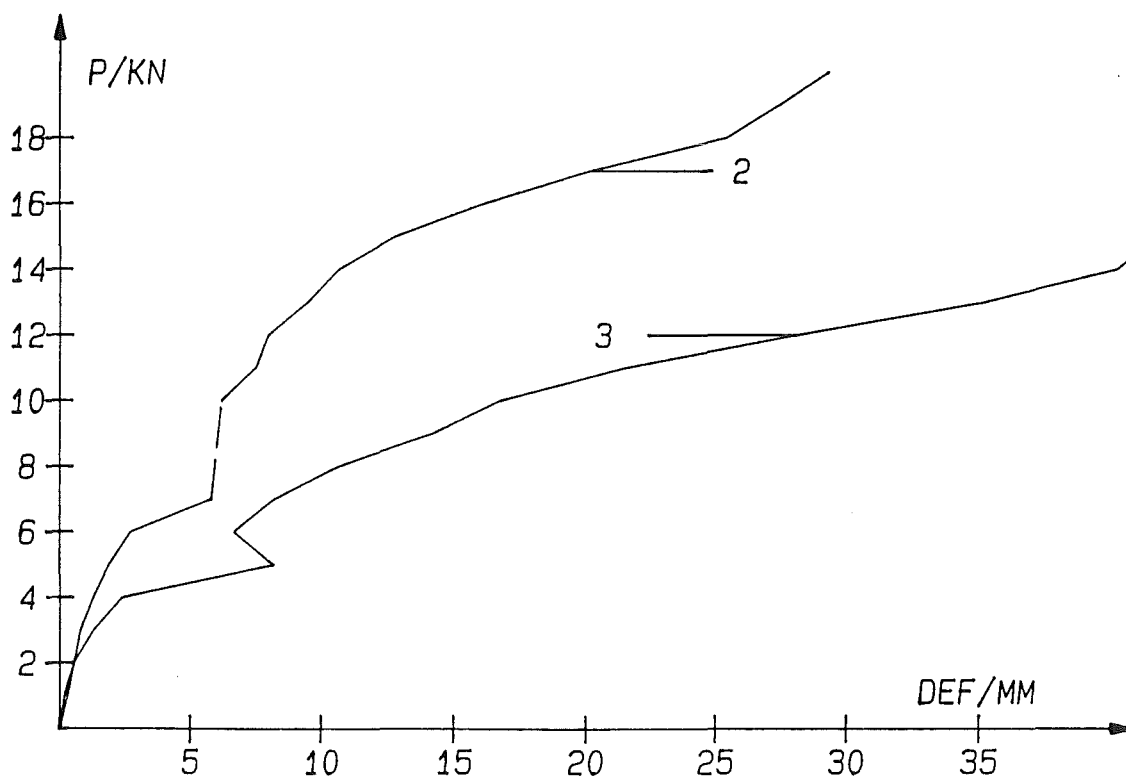


Diagram 3.1 Nedböjningen i mittregeln som funktion av lasten P , försök 2 och 3.

IAKTTAGELSER

Tabell 3.2

Försök 2	
Last (kN)	Anteckningar
5.5	Synbara deformationer
6 - 9	Problem med försöksriggen
7	Knakningar i gipsen
12	Gipsen spricker längs de yttre kanterna
13	Glipor i gipsskarvarna
14	Ordentliga knakningar
17	De yttersta skruvarna krossar igenom gipsen
18	De näst yttersta skruvarna krossar igenom gipsen
	Brottlast, två gipsskruvar avbrutna

Tabell 3.3

Försök 3	
Last (kN)	Anteckningar
5	Vajrarna glider
6	Knakningar i gipsen
7	Gipsplanken börjar vrida sig, knakningar
9	Skruvar börjar skjuvas ur gipsen längs de dragna diagonalerna, knakningar
11	Ordentliga knakningar
14	Brottlast, fyra gipsskruvar avbrutna

4 CALFEM BERÄKNINGAR

4.1 ALLMÄNT OM CALFEMBERÄKNINGAR

Calfem är ett interaktivt datorprogram och står för "Computer Aided Learning of Finite Element Method". Programmet, som kan användas för olika strukturmekaniska problem och fältproblem, är baserat på ett kommandospråk. Programanvändaren styr alltså beräkningsprocessen genom att ge kommandon.

Syftet med calfemberäkningen var, att kunna använda de vid förbandsprovningarna framtagna fästtonsstyvheter i ett system där resultatet kunde jämföras med resultatet från fullskaleförsöken.

Arbetet inleddes med mindre körningar på PC och avslutades med en serie där lasten succesivt ökades, här användes skolans VAX-dator.

4.2 ELEMENTMODELLERING AV TAKET

Modellerna byggdes upp med hjälp av fjäder-, balk- och skivelement.

Reglar och glespanel modellerades som tvådimensionella balkar. Spikförbanden representerades av två fjäder-element, ett i x-led och ett i y-led. Skruvförbanden modellerades på samma sätt som spikförbanden.

Gipsplanken delades upp i rektangulära skivelement, där deras storlek bestämdes av skruvförbandens placering. Genom att dela modellen och reducera antalet skruvar erhöles 208 frihetsgrader istället för cirka 1800.

4.3 INDATA

Elasticitetsmodulen valdes för konstruktions- och övirke enligt [8] och för gips enligt [5] .

Gips	E=2.9 GPa
Övirke	E=6.0 GPa
T30	E=10 GPa

4.4 UTFÖRANDE AV BERÄKNINGAR

Arbetsgången bestämdes av aktuell dators kapacitet. Då en modell med samtliga fästdon representerade hade krävt för stort utrymme måste antalet fästdon minskas och därmed antalet frihetsgrader. Första åtgärden var att göra en modell av halva det tak som provats i lab.-hallen, (försök 2). Denna åtgärd var emellertid inte tillräcklig. Nästa steg blev därför att plocka bort en del av fästdonen och göra de som blev kvar desto styvare. Inledningsvis gjordes en modell av endast en skiva. Här tilläts alla fästdon vara kvar. Fästdonsegenskaperna bestämdes enligt de inledande förbandsprovningarna.

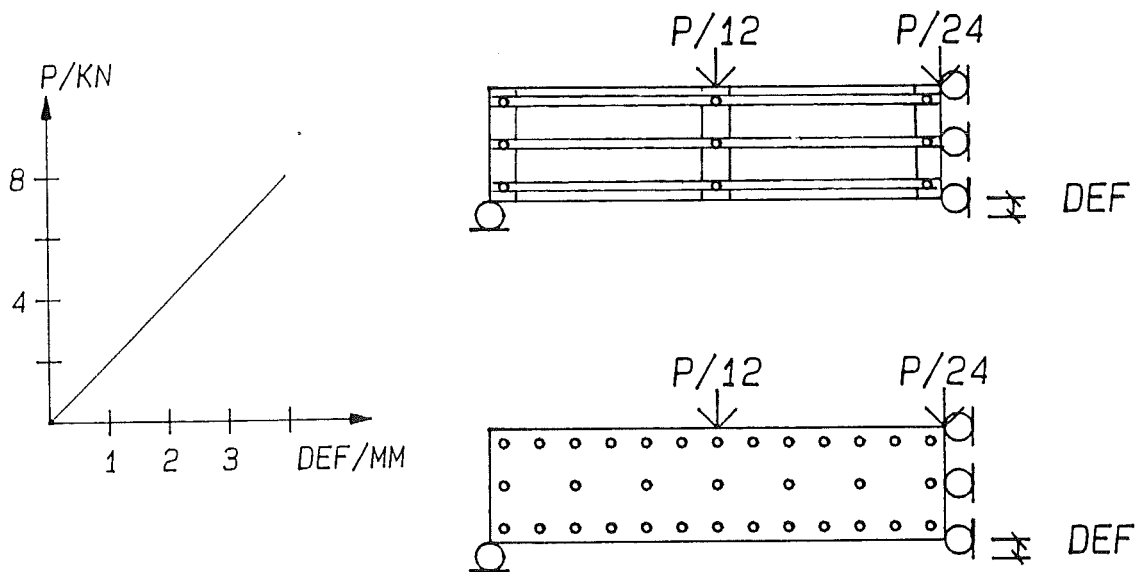


Diagram 4.1 Deformation-lastkurva där samtliga fästdon är kvar. Modell enligt figur.

I nästa modell plockades mittglespanelen och sju fästdon bort. Då resultaten jämfördes var skillnaden endast marginell.

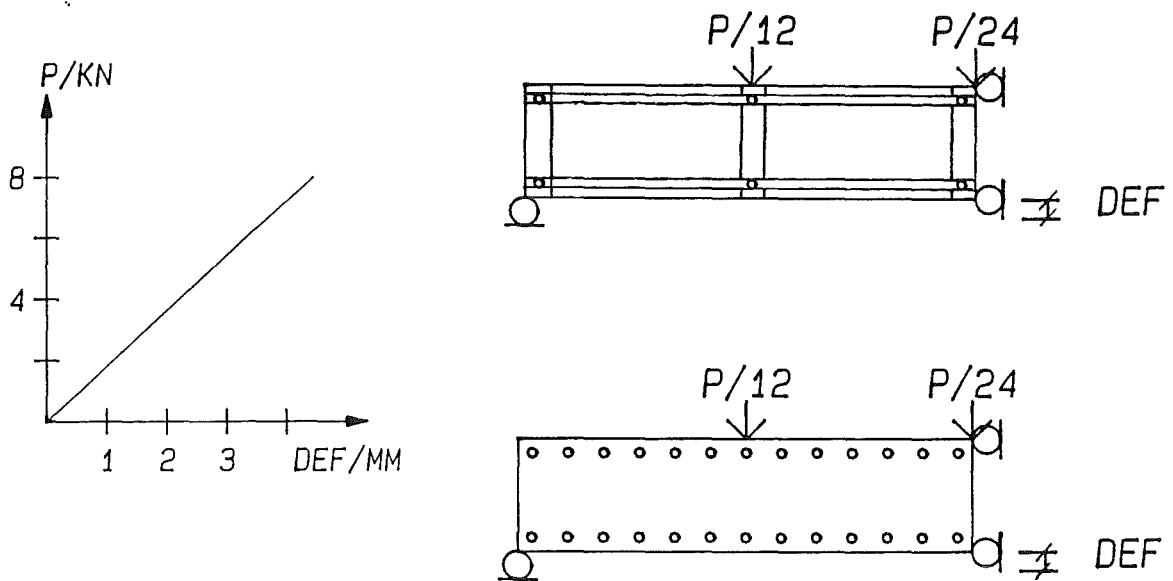


Diagram 4.2 Deformation-lastkurva då mittglespanelen och sju fästdon tagits bort. Modell enligt figur.

I en tredje modell valdes att plocka bort 16 av de totalt 26 fästdonen från föregående modell. Nu återstod alltså endast 10 fästdon.

Genom att jämföra resultaten i de båda modellerna kunde de nya fästdonsegenskaperna bestämmas. Då lika last gav lika deformation ansågs så vara fallet.

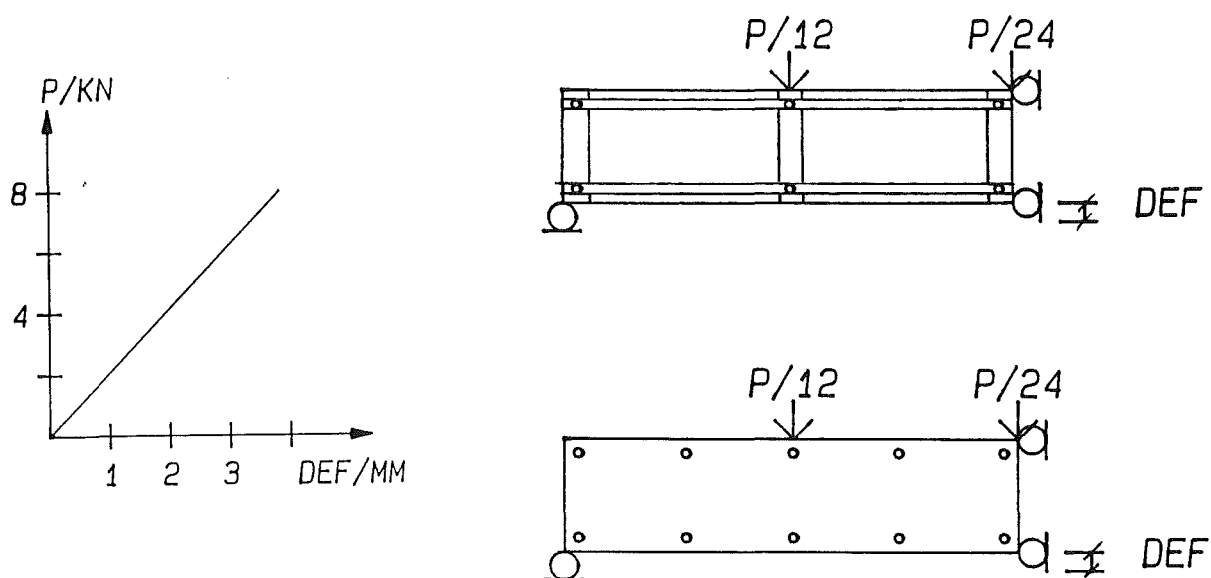


Diagram 4.3 Deformation-lastkurva då 16 av de 26 fäst-donen plockats bort. Modell enligt figur.

De ovan beskrivna modellerna utfördes på skolans PC-nätverk. Minneskapaciteten utnyttjades till >90 procent. Resultatet av de tre inledande beräkningarna visade att det nu var möjligt att modellera halva taket med ett mindre antal fästdon. De ursprungliga 321 fästdonen representerades nu av 59 stycken, figur 4.4.

Arbetsgången utgjordes av en serie körningar där lasten succesivt ökades. Efter studier av fästdonens arbetskurvor (erhållna i kapitel 2) bestämdes att egenskaperna skulle vara elastiska upp till 780 N alternativt 1040 N per fästdon beroende på deformationens riktning. Då maximal kraft uppträtt sattes denna konstant så länge deformationen inte överskred 1.5 mm alternativt 4.0 mm. De högre värdena sattes då deformationen var riktad in i gipsen, jämför diagram 2.4 .

Meningen var sedan att plocka bort fästdonen helt. Denna idé gick dock ej att genomföra då modellens andra fästdon belastades för mycket.

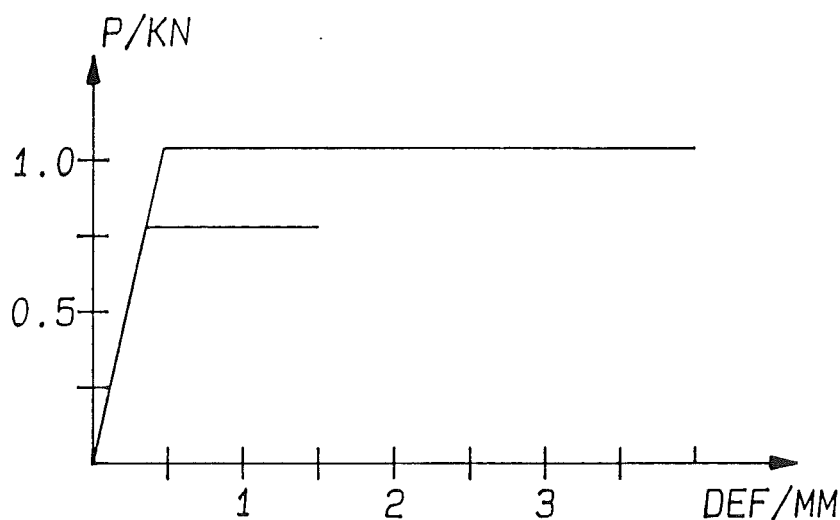
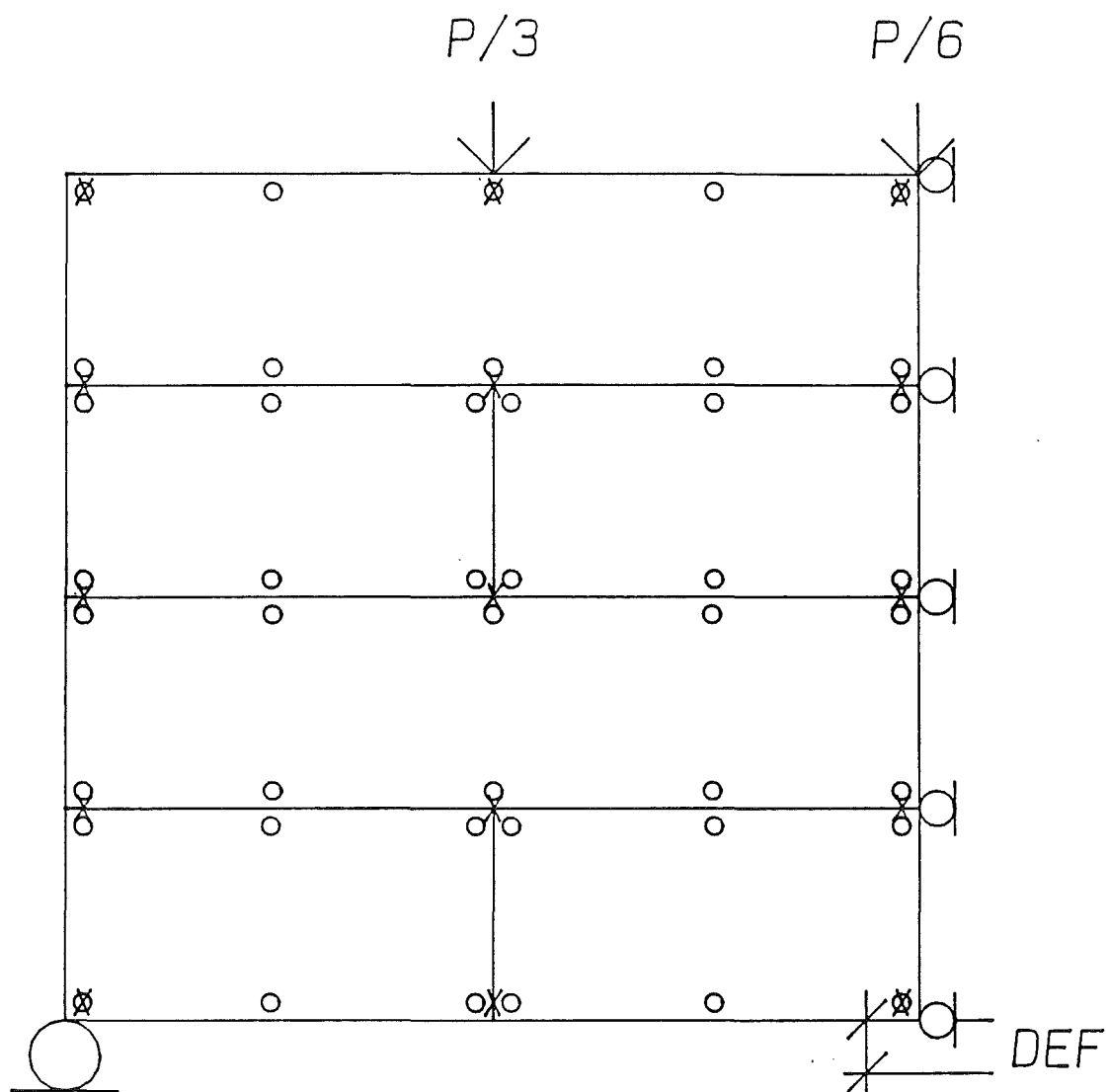


Diagram 4.4 De i texten beskrivna karakteristika för skruv, vilken användes vid calfemkörningen.



Figur 4.4 Calfemodellens utseende då de 331 fästdonen reducerats till 59 stycken.

X = spikförband

O = skruvförband

4.5 RESULTAT AV CALFEMBERÄKNINGAR

Beräkningar gjordes vid en totallast P_{tot} på 3, 6, 8, 9 och 10 kN. Resultatet, diagram 4.5, visar en i stort sett linjär kurva från $P_{tot}=0$ till $P_{tot}=9$ kN. Vid 10 kN böjer kurvan av. Förloppet kan beskrivas med hjälp av nedanstående tabell och figurer. Jämför även iakttagelser i kapitel 3.5.

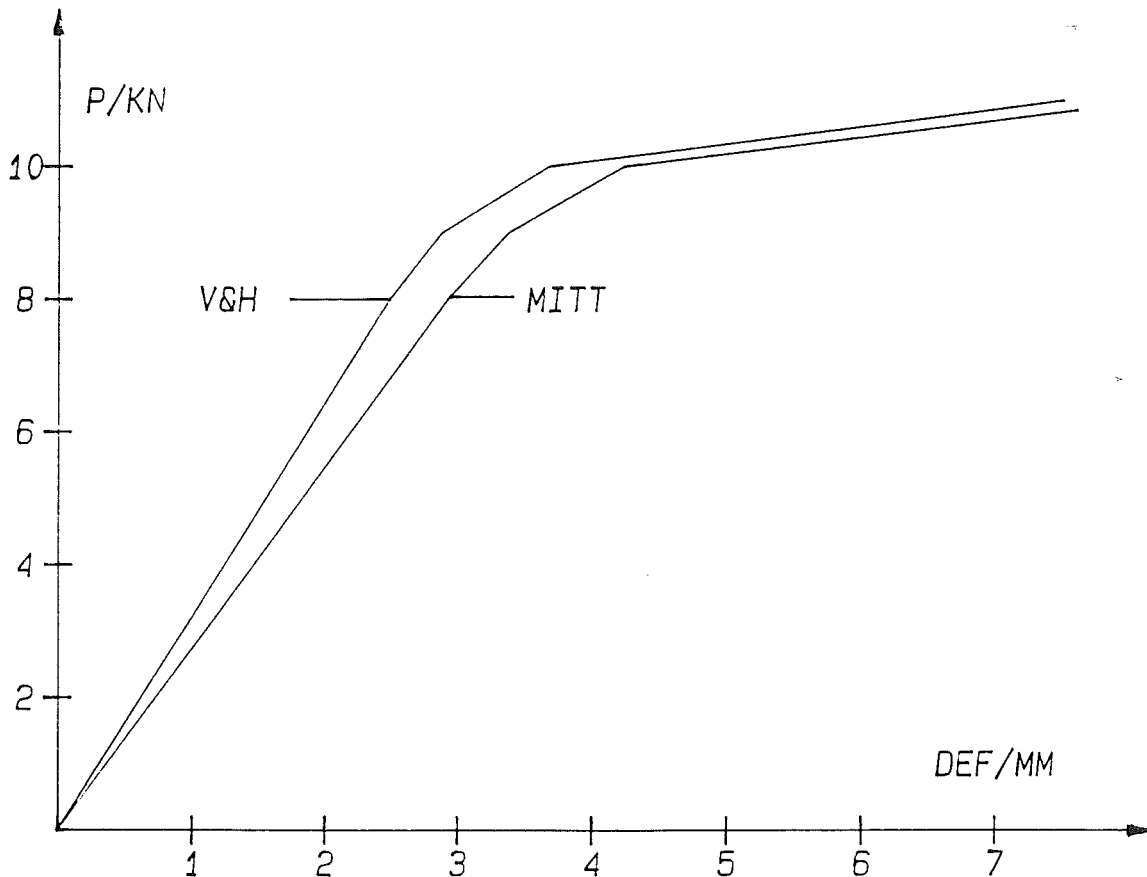
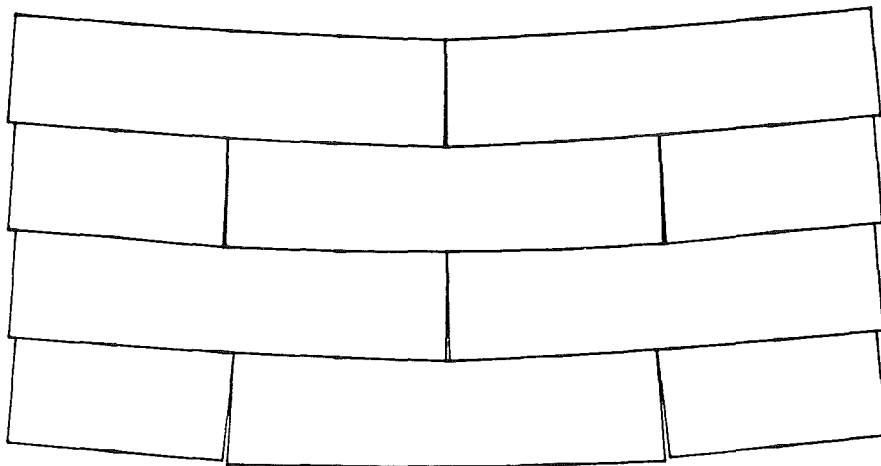


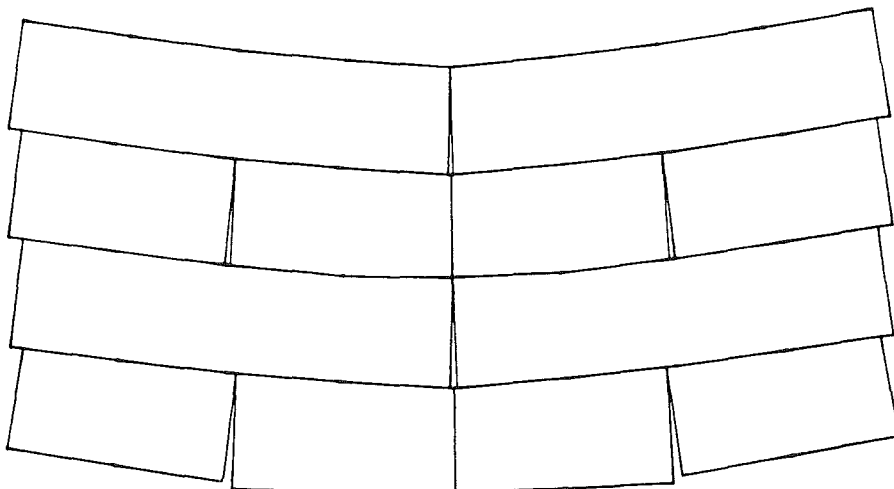
Diagram 4.5 Deformation-lastkurva för calfemberäkning.
 MITT = Nedböjning i mittregeln.
 V&H = Nedböjning i vänster resp. höger
 regel.

Tabell 4.1

Calfemförsök	
Last (kN)	Anteckningar
8	Fyra skruvförband plasticerade
9	14 skruvförband plasticerade
10	24 skruvförband plasticerade
11	Brottlast



Figur 4.5 Deformationsfigur som visar calfemmodellens utseende vid 6 kN. Jämför även figur 3.10.



Figur 4.6 Deformationsfigur som visar calfemmodellens utseende vid 10 kN. Jämför även figur 3.10.

5 HANDRÄKNINGSMODELLER

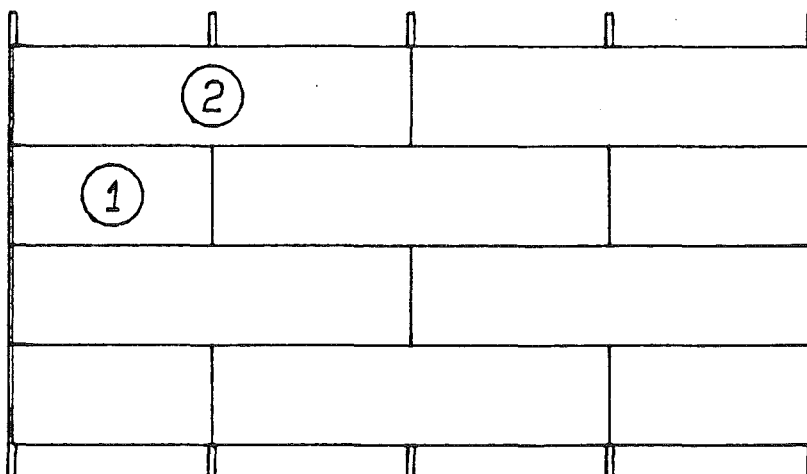
5.1 METOD 1

Metod 1 bygger på den av Degerman/Åkerlund redovisade beräkningsmodellen i Stabilisering av småhus, Beräkningsmodeller för horisontella bärverk sid 14-17 [2] .

Enligt denna modell bestäms den kraftupptagande förmågan av i huvudsak två faktorer. Dels begränsas bärförmågan av den maximala kraft som kan överföras från regel till glespanel. Dels begränsas bärförmågan av förbanden mellan gips och glespanel.

För modellen med 2 st 100*3.4 spik i varje glespanel blir den kraft som kan överföras mellan regel och glespanel 3.0 kN/m. Kraften som överförs mellan gips och glespanel blir däremot svårare att bestämma.

Med mått och dimensioner enligt tidigare beskrivning betraktas en utskuren del, ett fack med bredden 1.2 respektive 2.4 meter. I modellen antages att den yttre glespanelen tar upp de krafter som behövs för skivans jämvikt, medan den inre överför krafter mellan reglarna.



Figur 5.1 1 del med bredden 1.2 meter, figur 5.2
2 del med bredden 2.4 meter, figur 5.3

Betrakta en del med bredden 1.2 meter, figur 5.2.

$$M = 2(0.2+0.6) p^{\text{till}} = 1.6 p^{\text{till}}$$

$$T = M/2*0.6 = 1.33 p^{\text{till}}/\text{skiva}$$

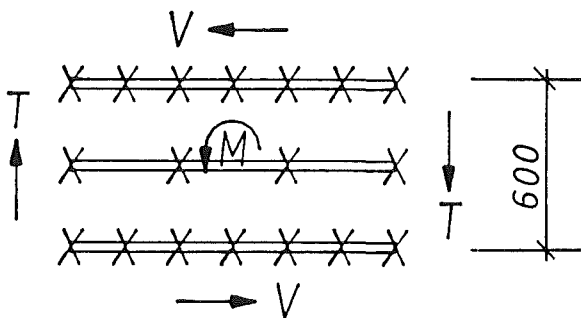
$$T = 1.33p^{\text{till}}/0.6 = 2.22 p^{\text{till}}/\text{m}$$

$$V = M/0.6 = 2.67 p^{\text{till}}$$

$$v^{\text{till}} = 7 p^{\text{till}}$$

$$v < v^{\text{till}}$$

$$\underline{T = 2.22 p^{\text{till}}/\text{m}}$$



Figur 5.2

Betrakta en del med bredden 2.4 meter, figur 5.3.

$$M = 2(0.4+0.8+1.2) p^{\text{till}} = 4.8 p^{\text{till}}$$

$$T = M/2*1.2 = 2.0 p^{\text{till}}/\text{skiva}$$

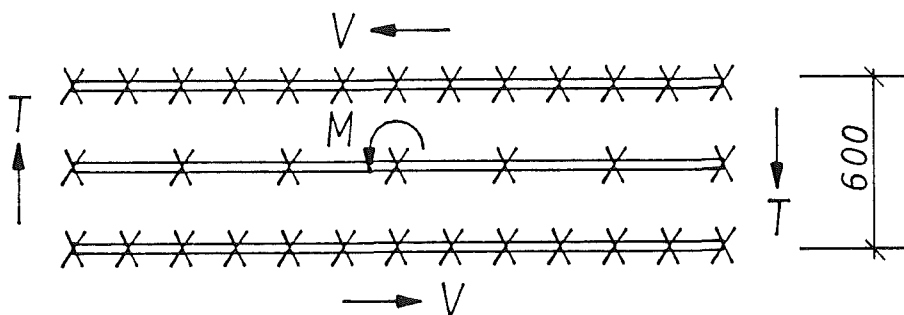
$$T = 2.0p^{\text{till}}/0.6 = 3.33p^{\text{till}}/\text{m}$$

$$V = M/0.6 = 8.0 p^{\text{till}}$$

$$v^{\text{till}} = 13 p^{\text{till}}$$

$$v < v^{\text{till}}$$

$$\underline{T = 3.33 p^{\text{till}}/\text{m}}$$



Figur 5.3

$$T_{\text{med}} = (2.22 + 3.33) p^{\text{till}} / 2$$

$$T_{\text{med}} = 2.78 p^{\text{till}} / \text{m}$$

$$T_{\text{tot}} = 2.78 p^{\text{till}} * 2.4 = 6.67 p^{\text{till}}$$

$$P_{\text{tot}} = 2 * T_{\text{tot}} = 13.3 p^{\text{till}}$$

Enligt förbandsproven i kapitel 2 är $p^{\text{till}} = 0.4 \text{ kN}$

$$\underline{P_{\text{tot}} = 5.3 \text{ kN}}$$

I modellen förutsetts att gipsplank och glespanel är löskopplade från varandra i fackgränserna. Detta bidrar till att den tillåtna lasten blir relativt liten.

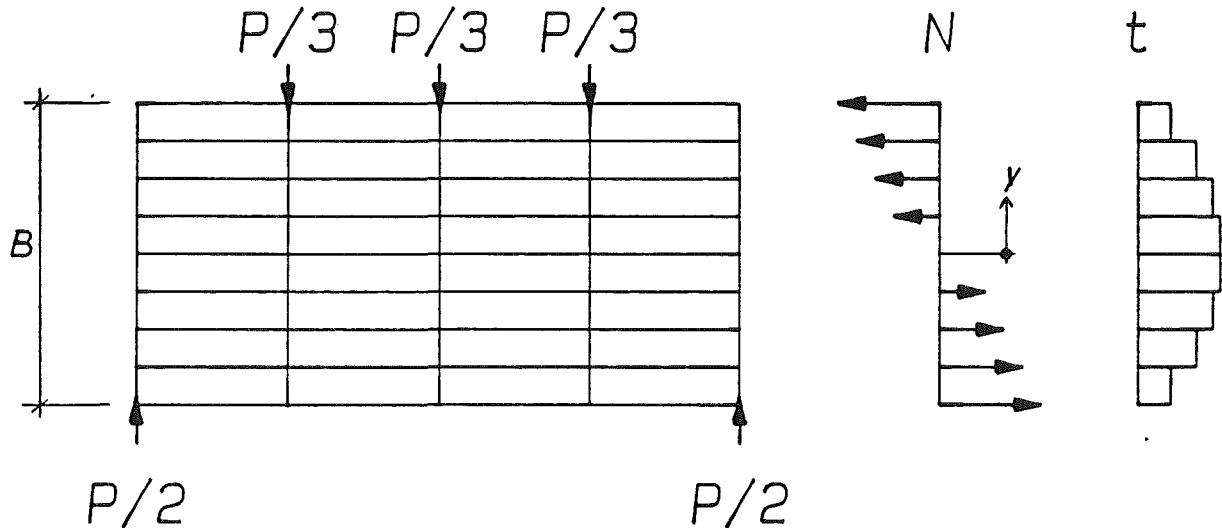
5.2 METOD 2

Denna metod är hämtad ur Lundin, Tunnsplåtkonstruktioner-Beräkning, utformning, utförande [6] och är alltså avsedd att användas vid plåtdimensionering. Takuppbyggnaden är emellertid densamma som i vårt fall.

I modellen kan taket förenklat sägas verka som en hög I-balk med tunt liv. Avgörande för hur stor last taket kan ta upp är i regel fästdonens lastupptagande förmåga.

I detta fall kan deformationen i gipsplanken antas ske med bibehållande av plana tvärsnitt och med samverkan av samtliga glespaneler. Normalkraften blir med denna modell rätlinjigt fördelad.

I motsats till metod 1 är gipsplanken hel, dvs full samverkan mellan gipsplanken.



Figur 5.4 N = Normalkraft
t = Skjuvflöde i gipsen

$$N = M/B \cdot (B-2y)/B \cdot f_1 \quad t = R/B \cdot f_2 \quad R = P/2$$

Då antalet glespaneler är nio erhålls enligt [6] sid 67:

Glesp.nr	1	2	3	4	5
$(B-2y)/B \cdot f_1$	0.53	0.40	0.27	0.13	0.0

Fält mellan glesp.nr	1-2	2-3	3-4	4-5
f_2	0.53	0.93	1.20	1.33

Momentet fås som

$$-M + P/2 * L/2 - P/3 * L/4 = 0$$

$$M = PL/4 - PL/12 = 2PL/12 = \underline{PL/6}$$

Beräkning av yttersta glespanelerna

$$F_{A2} = c_L * t \text{ (kraft mellan glespanel och gips)}$$

$$F_{B3} = c_t * t \text{ (längs skarv)}$$

$$c_L = c/c = 0.2\text{m (längs glespanelen)}$$

$$c_t = c/c = 0.3\text{m (tvärs glespanelen)}$$

$$t = \text{skjuvflödet} = 0.53 * R/B$$

$$R = \text{max. avskärningskraft i skivan} = P/2$$

$$B = \text{bredden} = 2.4\text{m}$$

$$F_{A2} = 0.022083P \text{ och } F_{B3} = 0.033125P$$

$$F_{B1} = P/3 * 1/9 * 1/5 = 0.007407P \text{ (koncentrerad last)}$$

$$F_B = F_{B1} + F_{B3}$$

$$p^{\text{till}} = 0.4 \text{ kN} \leq (F_A^2 + F_B^2)^{0.5}$$

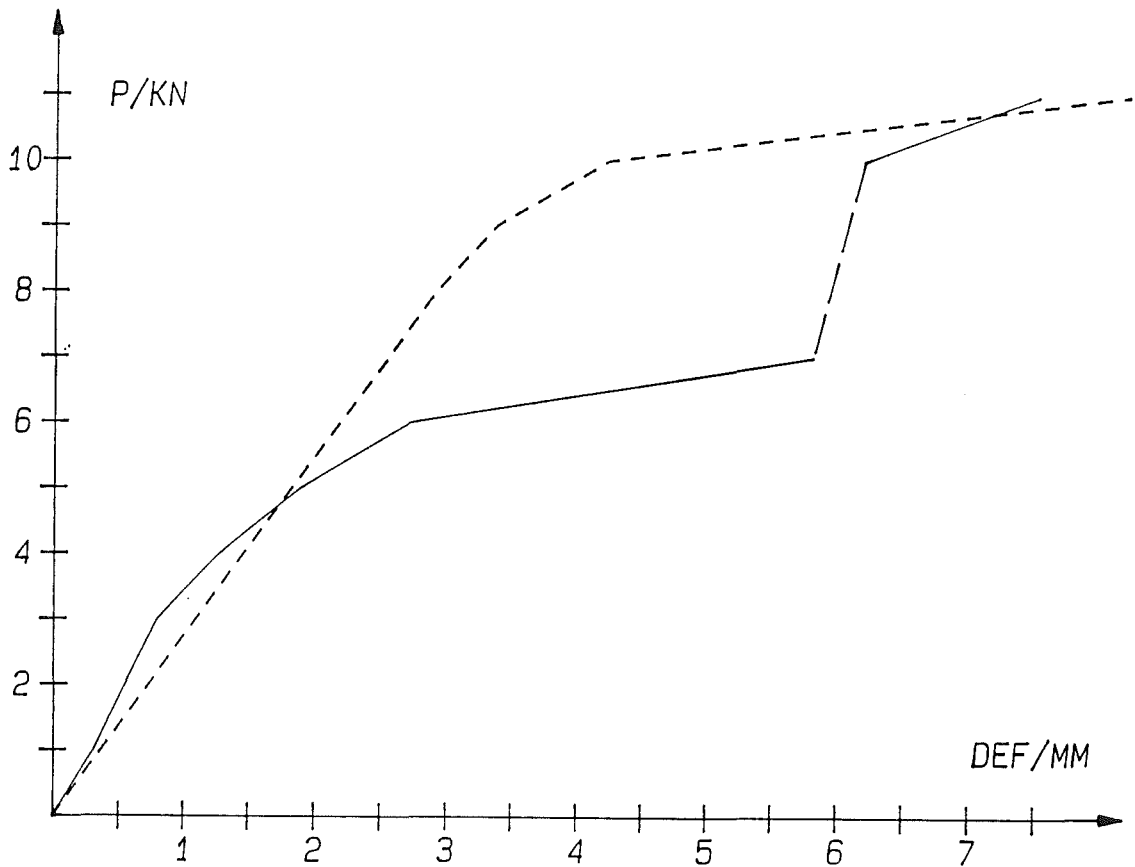
$$\underline{p^{\text{tot}} = 8.7 \text{ kN}}$$

6 JÄMFÖRELSER AV OLIKA MODELLERS RESULTAT

FÖRSÖK	Max uppmätt last (kN)	Max tillåten last (kN)	Deform. vid till.last (mm)
Försök 2 (kap 3)	18	14	12
Calfember. (kap 4)	11	10	4.0
Försök IV [9]	18	12	12
Metod 1 (kap 5)	--	5.3	--
Metod 2 (kap 5)	--	8.7	--

Tabell 6.1 Uppmätta och beräknade resultat. Maximal tillåten last i fullskaleförsöken beräknades med hjälp av [8] kapitel 21A.312 rad 5.

I tabell 6.1 framgår de olika mät- och beräkningsresultaten. De två fullskaleförsöken visar god överensstämmelse trots att de utförts av olika personer vid skilda tillfällen. Tillåten last är ungefär 13 kN. Även calfemberäkningen (vilken ju är utförd med hjälp av fästdonskaraktistika från försöken i kap 3) tyder på en tillåten totallast på omkring 10 kN. De lägre värdet beror säkert delvis på att gipsplanken, i denna beräkning, är helt löskopplade från varandra.



Figur 6.1 Nedböjningen i mittregeln som funktion av lasten P , en jämförelse mellan försök 2 och calfemberäkningen.

-- = Calfemberäkning
 — = Försök 2

De två handräkningsmodellerna skiljer sig emellertid mer. Nästan 9 kN för metod 2 medan resultatet för metod 1 är drygt 5 kN. Orsaken till den relativt stora skillnaden beror, säkert här också, på om gipsplanken räknas som löskopplade från varandra eller ej.

Som framgår av ovan beror alltså resultatet till stor del på hur gipsen modelleras, oavsett beräkningsmetod och/eller försöksmetod.

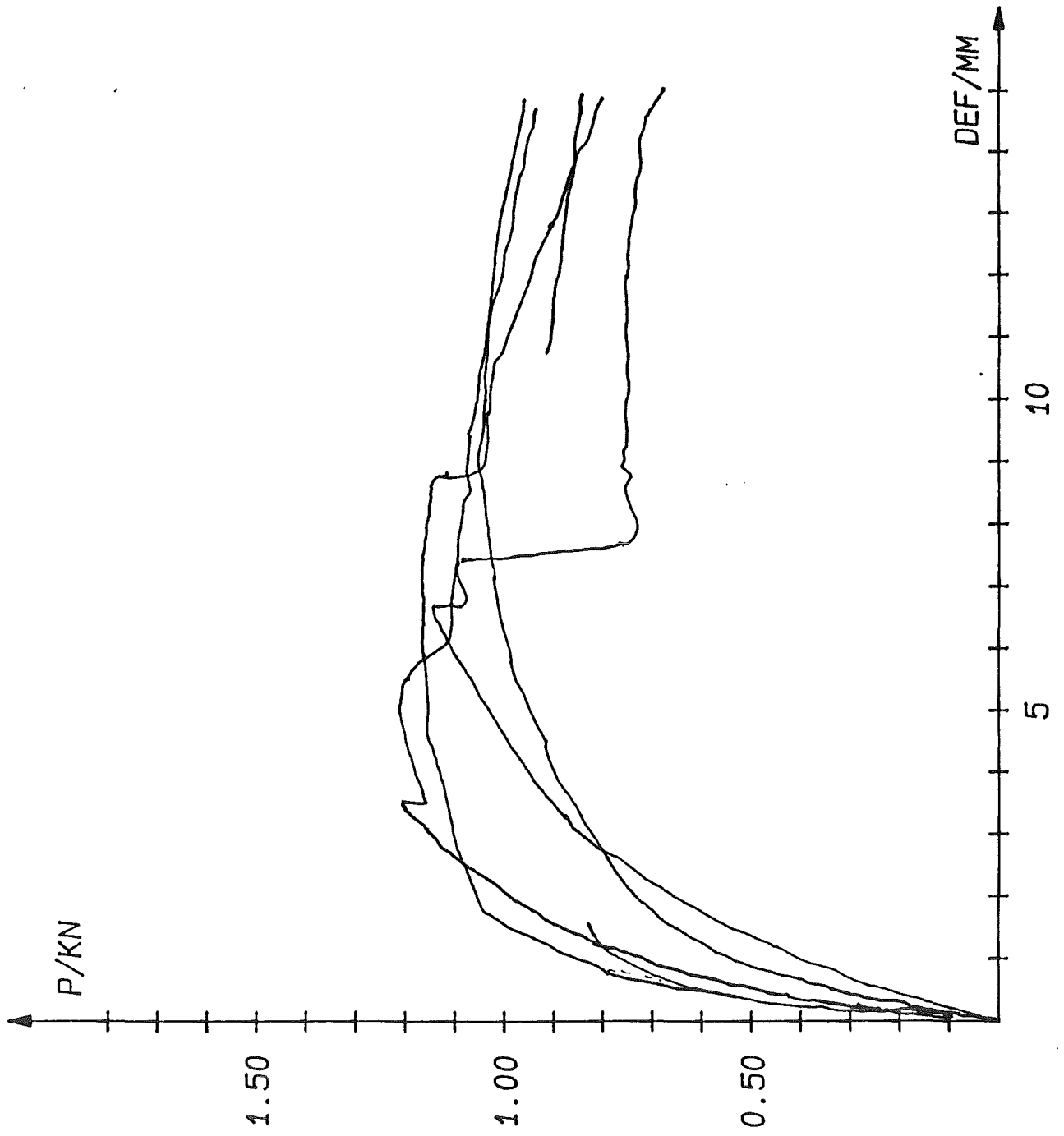
REFERENSER

- [1] Andersson U A, Girhammar H. Influence of Loading Rate on the Capacity of Nailed Timber Joints. Fortifikationsförvaltningen, Forskningsbyrån Report A5:86. Eskilstuna 1986
- [2] Degerman T, Åkerlund S. Stabilisering av småhus, Beräkningsmodeller för horisontella bärverk. Rapport TVBK-3006. Lund 1979
- [3] Gyproc handbok. Lättbyggnadsteknik. 2:a upplagan. Malmö 1986
- [4] Johannesson B, Johansson C J. Typprovning av träkonstruktioner, regler och kommentarer. Teknisk rapport SP-RAPP 1983-12. Borås 1983
- [5] Källsner B. Skivor som vindstabiliserande element vid träregelväggar. Träteknikrapport nr 56. Oktober 1984
- [6] Lundin Kurt. Tunnbränskonstruktioner, Beräkning, utformning, utförande. Stålbyggnadsinstitutet publikation 39.1975. Motala 1975
- [7] Möller. Ny metod för beräkning av spikförband. CTH NR 117. Göteborg 1951
- [8] Statens Planverk. SBN 80. Stockholm 1982
- [9] Åkerlund S. Fem försök med gipsskivor på glespanel. Rapport TVBK-7007. Lund 1981

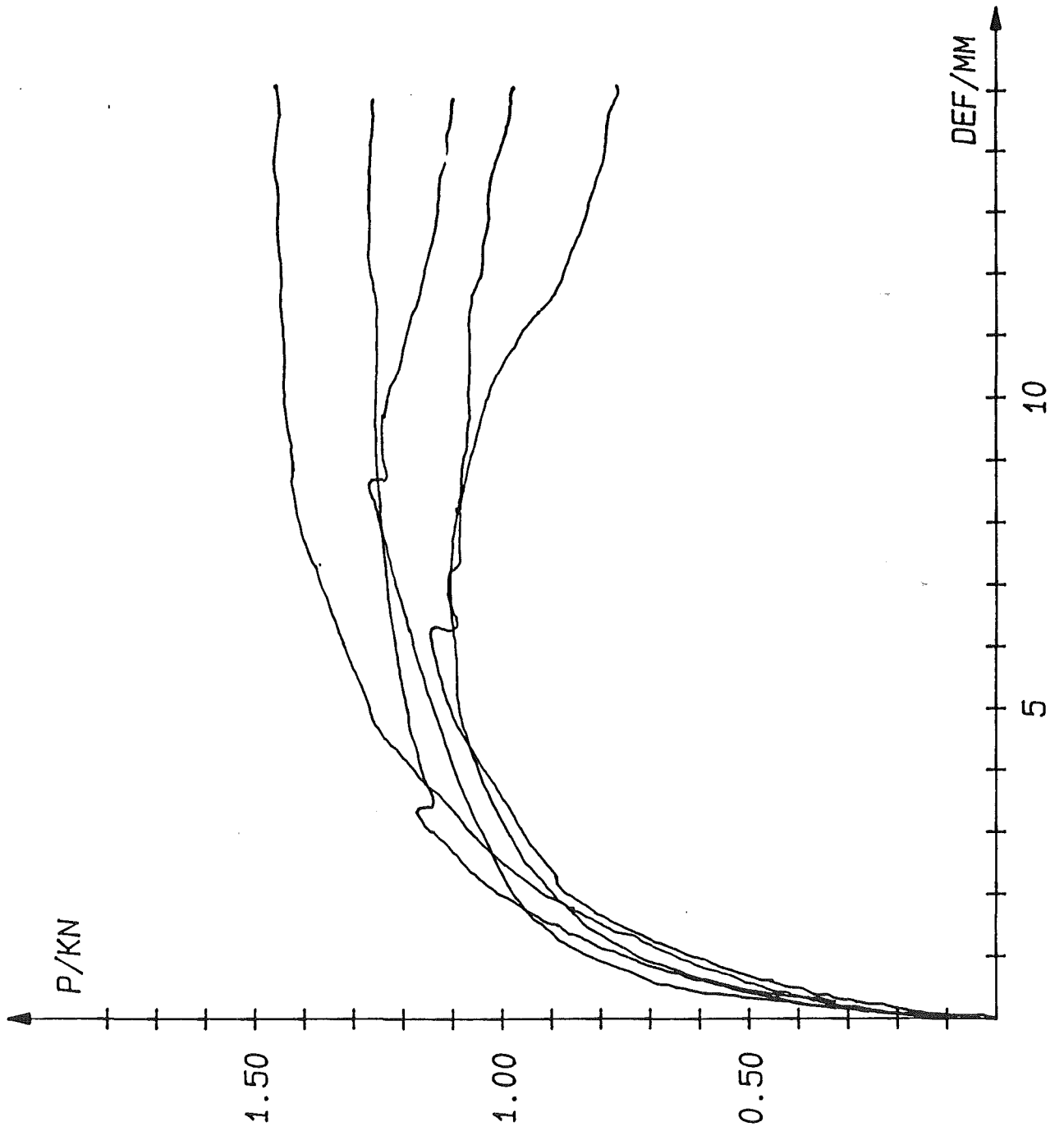
INNEHÅLLSFÖRTECKNING TILL BILAGOR

- BILAGA 1 Kraft-deformationssamband SPIKFÖRBAND
 - Bilaga 1.1 SPIK.P.I
 - Bilaga 1.2 SPIK.P.II
 - Bilaga 1.3 SPIK.V
 - Bilaga 1.4 SPIK.45
- BILAGA 2 Kraft-deformationssamband SKRUVFÖRBAND
 - Bilaga 2.1 SKRUV.P.I
 - Bilaga 2.2 SKRUV.P.II
 - Bilaga 2.3 SKRUV.V.I
 - Bilaga 2.4 SKRUV.V.II
 - Bilaga 2.5 SKRUV.45.I
 - Bilaga 2.6 SKRUV.45.II
- BILAGA 3 Kraft-deformationssamband FULLSKALEFÖRSÖK
 - Bilaga 3.1 Totalnedböjning i mittreglar, försök 1
 - Bilaga 3.2 Deformation i spikförband, försök 1
 - Bilaga 3.3 Totalnedböjning i mittreglar, försök 2
 - Bilaga 3.4 Deformation i skruvförband, försök 2
 - Bilaga 3.5 Deformation i skruvförband, försök 2
 - Bilaga 3.6 Totalnedböjning i mittreglar, försök 3
 - Bilaga 3.7 Deformation i skruvförband, försök 3
 - Bilaga 3.8 Deformation i skruvförband, försök 3
- BILAGA 4 Kraft-deformationssamband CALFEMBERÄKNINGAR
 - Bilaga 4.1 Totalnedböjning i mittreglar
- BILAGA 5 Kraft-deformationssamband JÄMFÖRELSE
 - Bilaga 5.1 Deformation i skruvförband
 - Bilaga 5.2 Deformation i skruvförband
 - Bilaga 5.3 Deformation i skruvförband

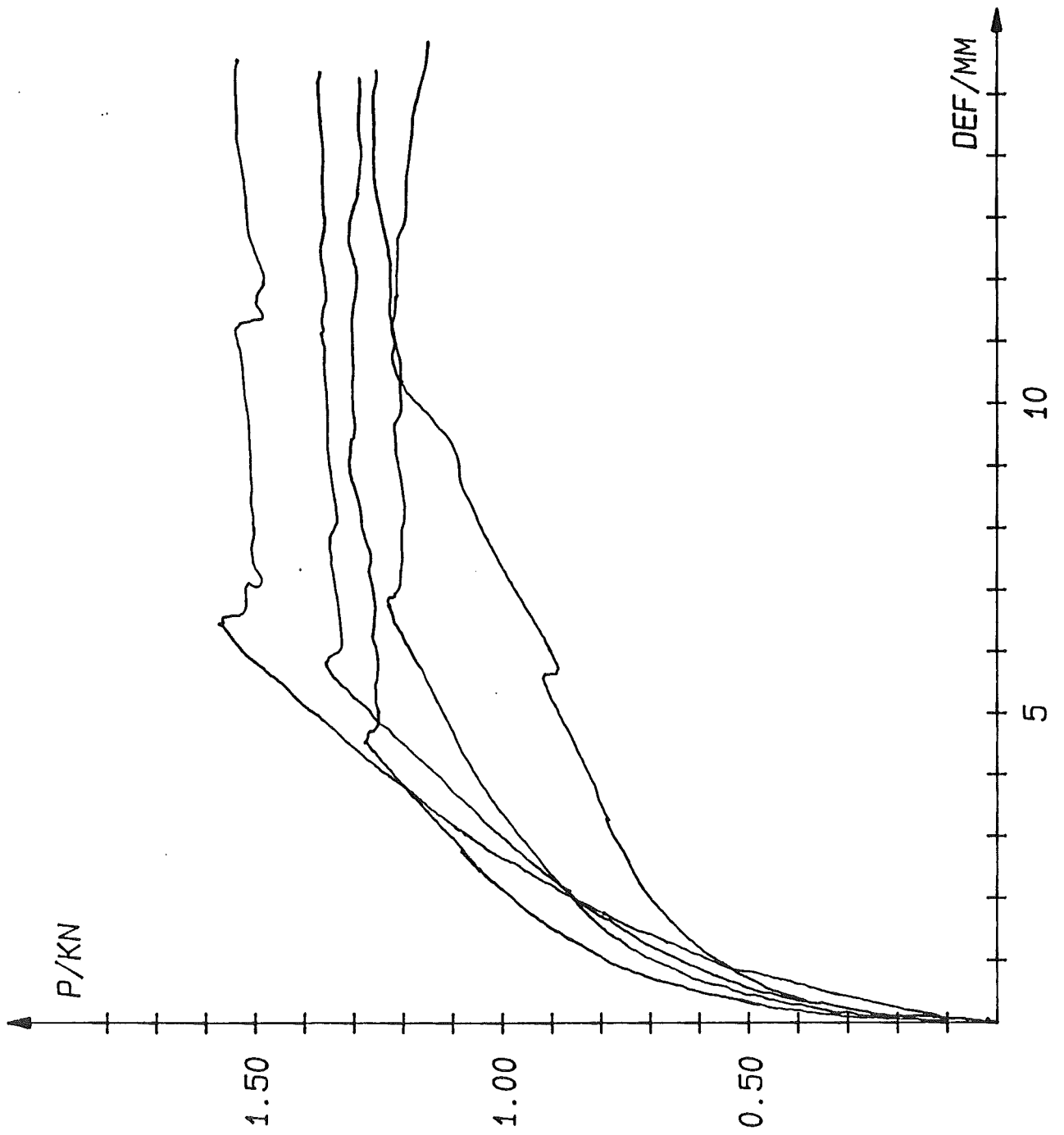
Bilaga 1.1 Kraft-deformationssamband för SPIK.P.I



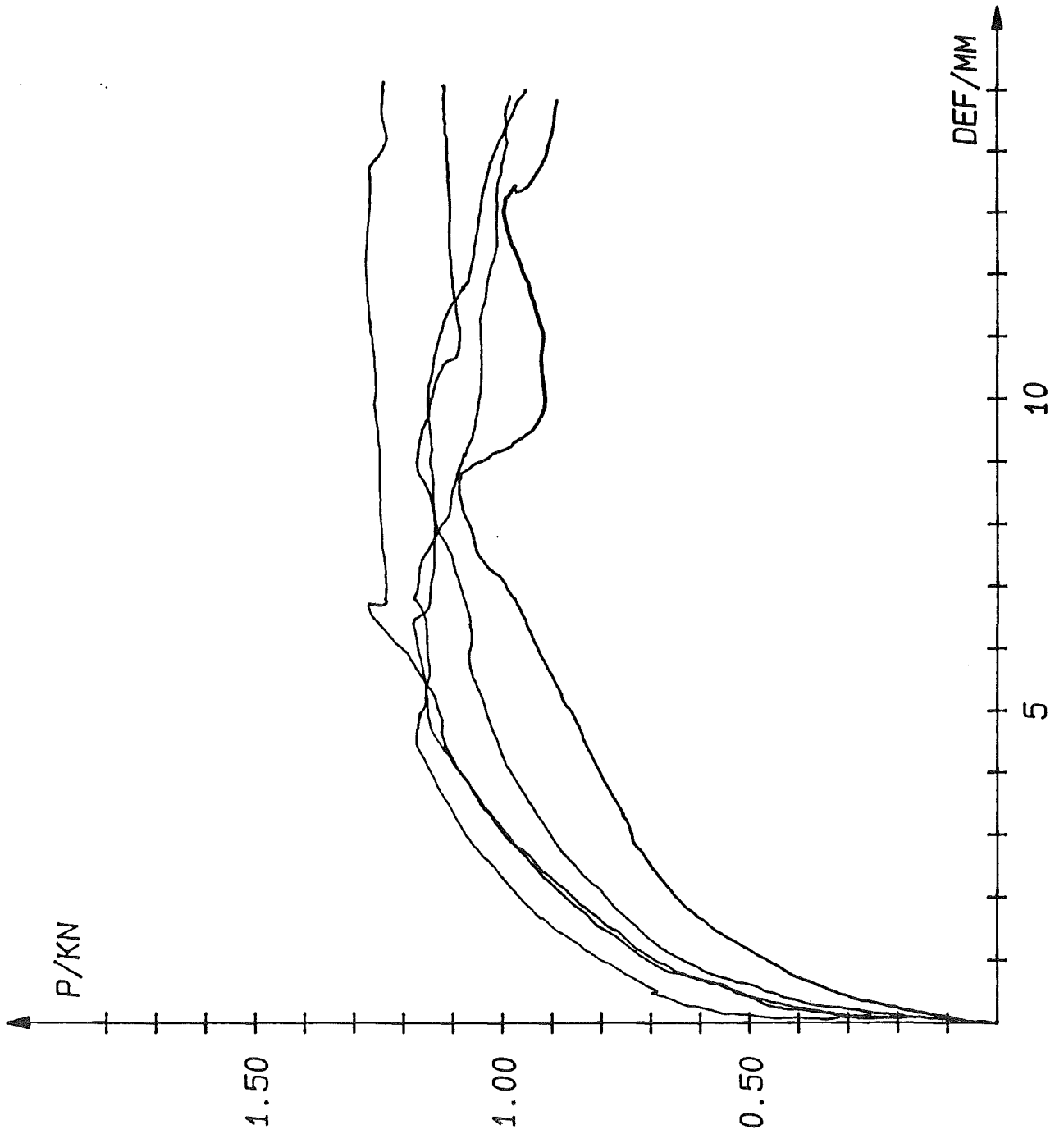
BILAGA 1.2 Kraft-deformationssamband SPIK.P.II



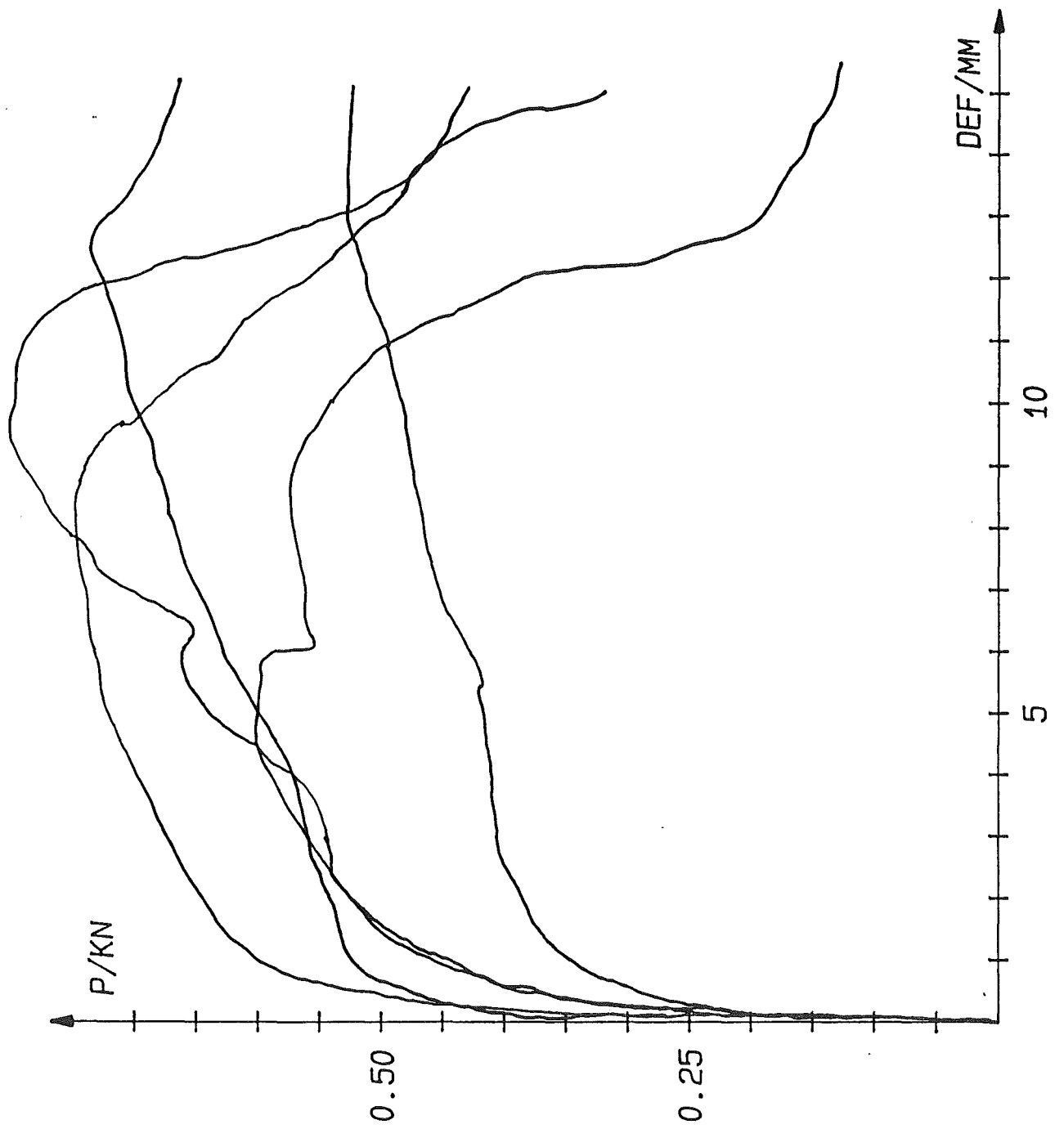
BILAGA 1.3 Kraft-deformationssamband SPIK.V



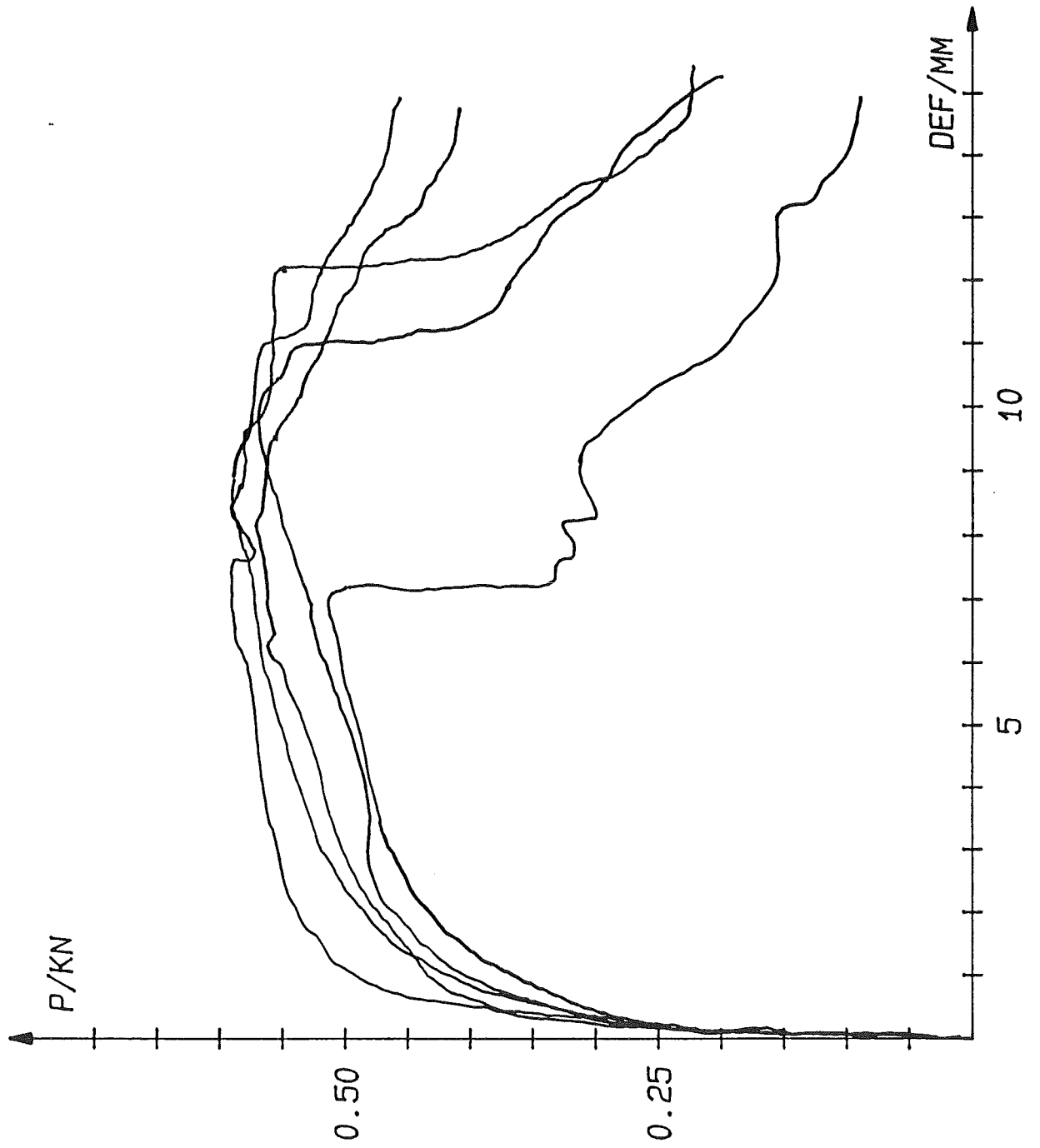
BILAGA 1.4 Kaft-deformationssamband SPIK.45



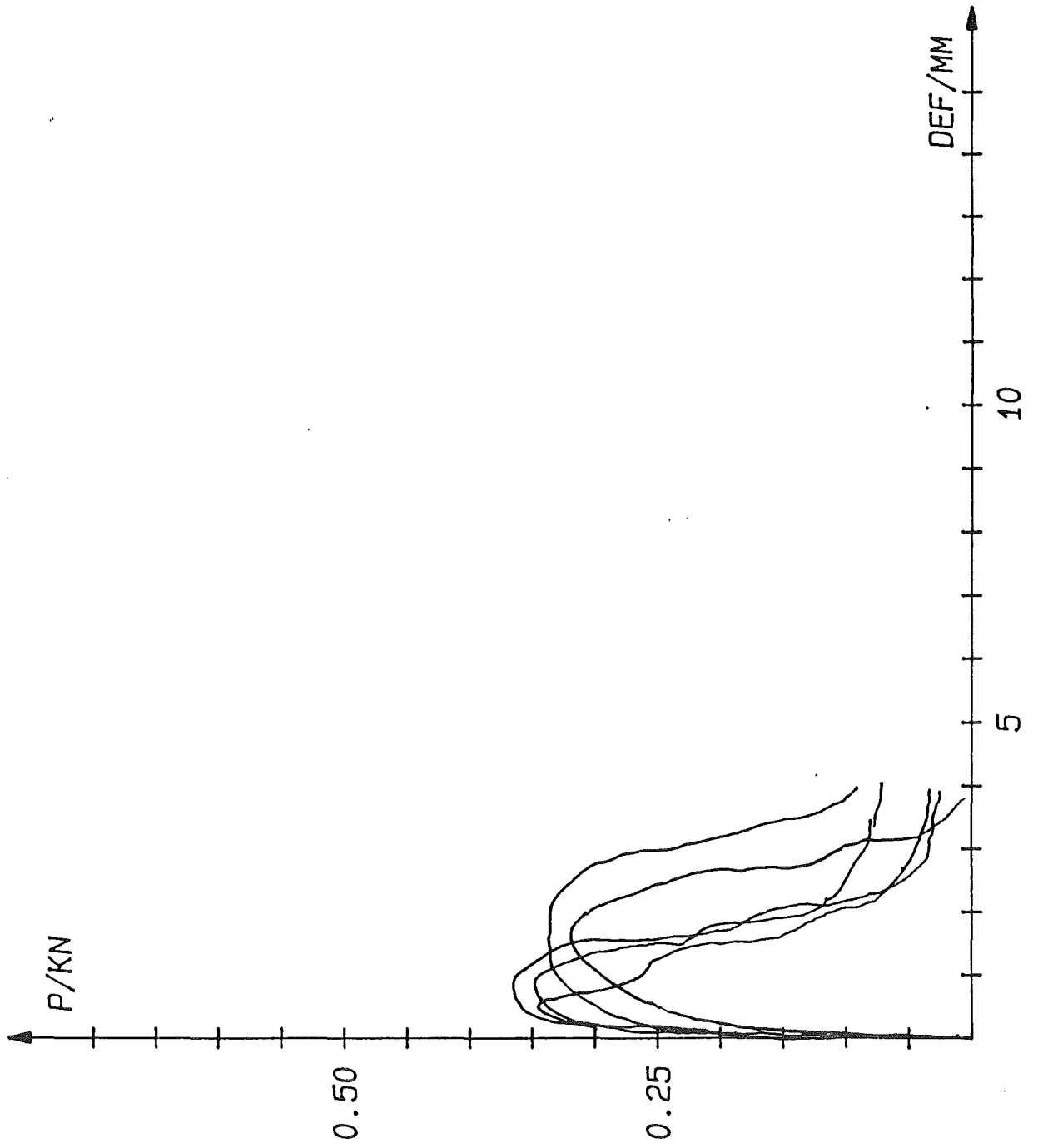
BILAGA 2.1 Kraft-deformations samband SKRUV.P.I



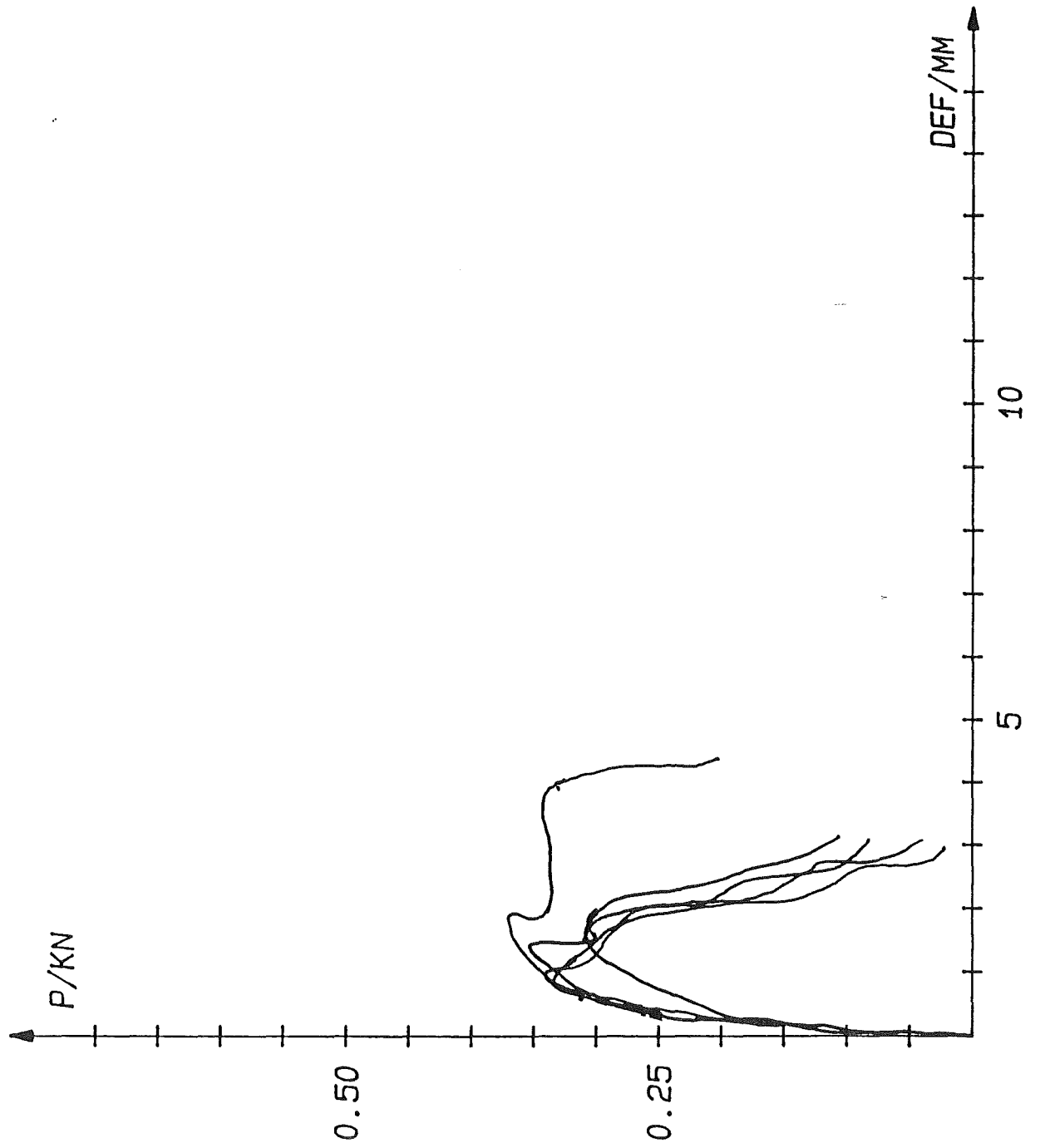
BILAGA 2.2 Kraft-deformationssamband SKRUV.P.II



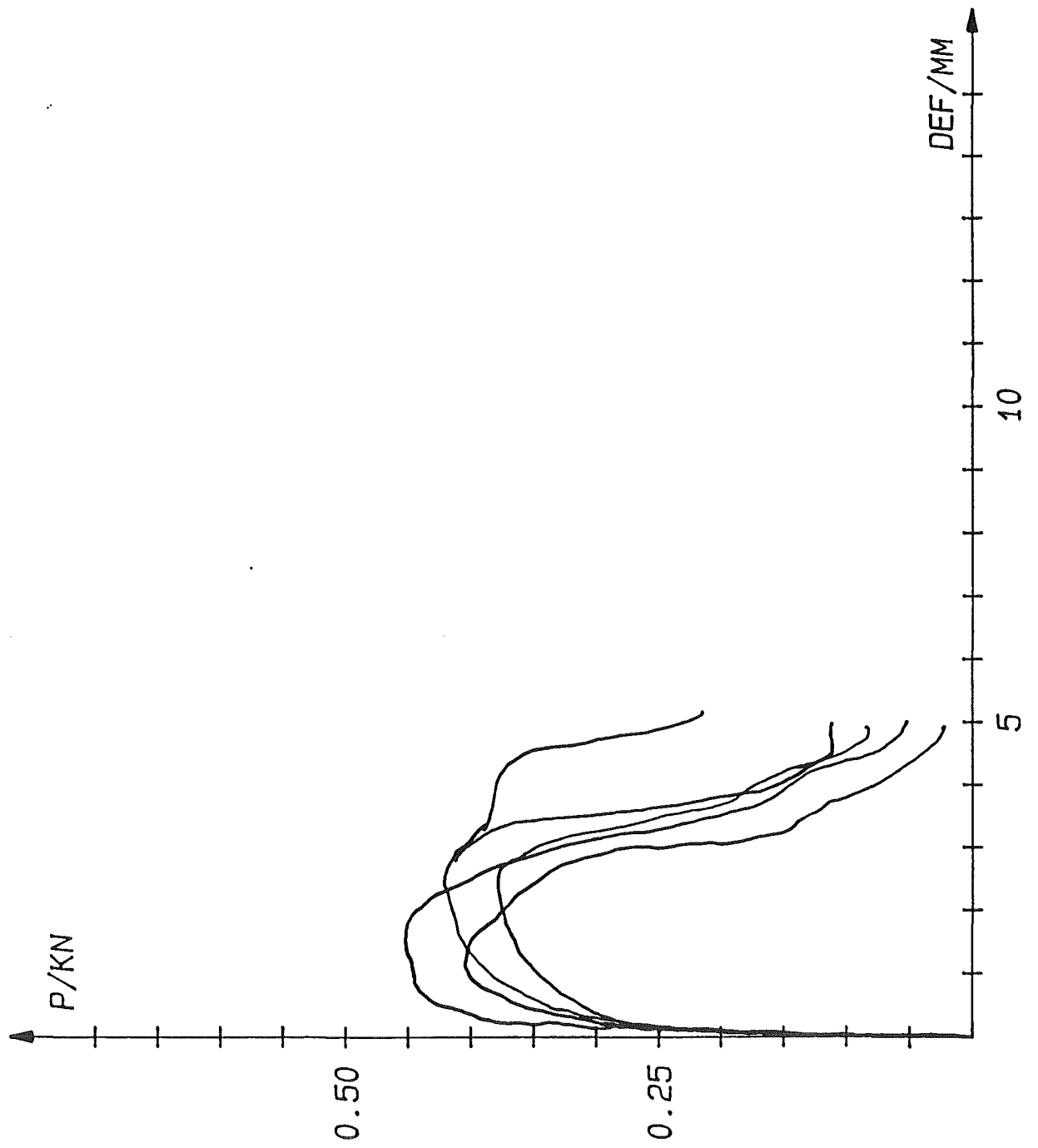
BILAGA 2.3 Kraft-deformationssamband SKRUV.V.I

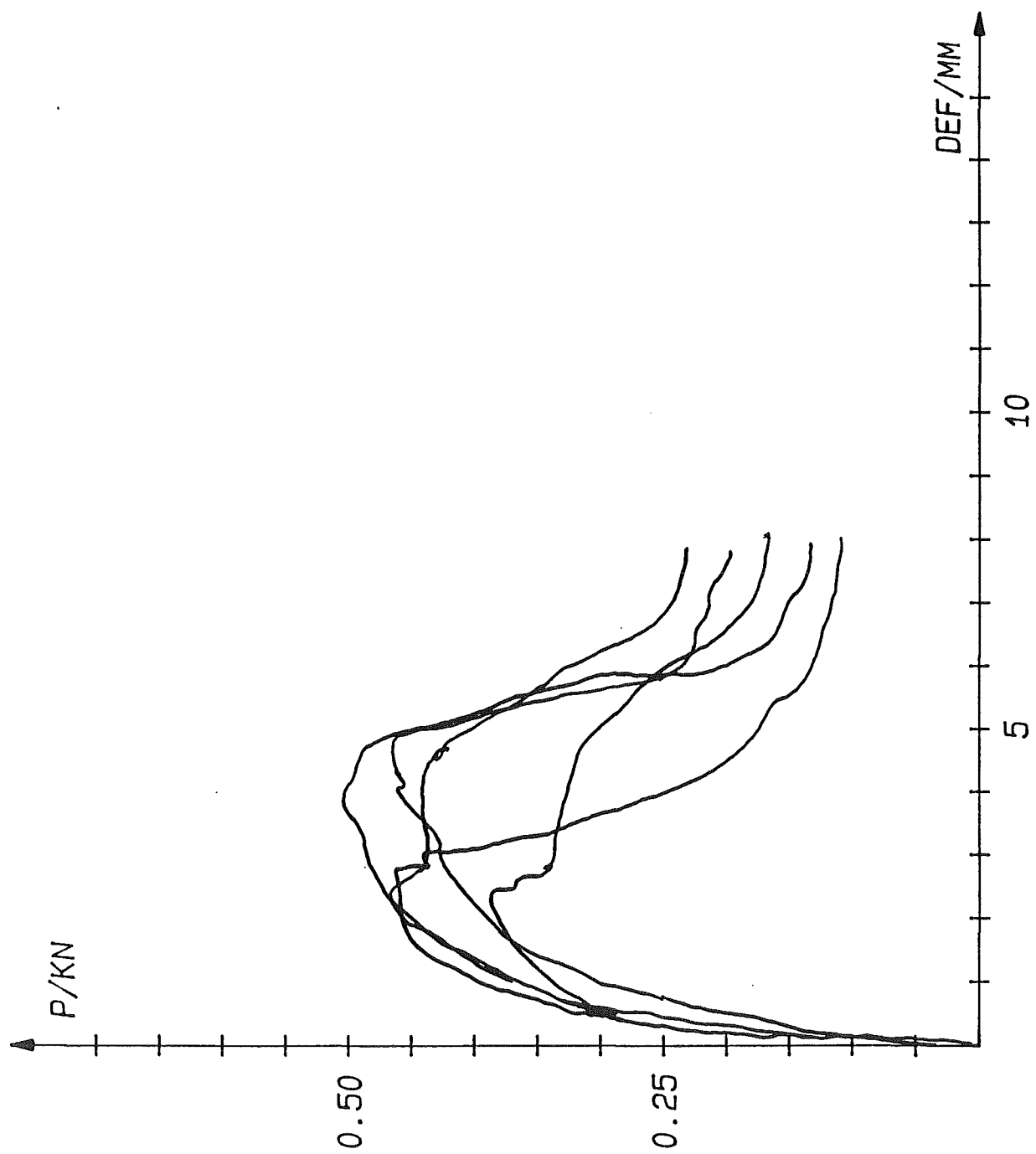


BILAGA 2.4 Kraft-deformationssamband SKRUV.V.II

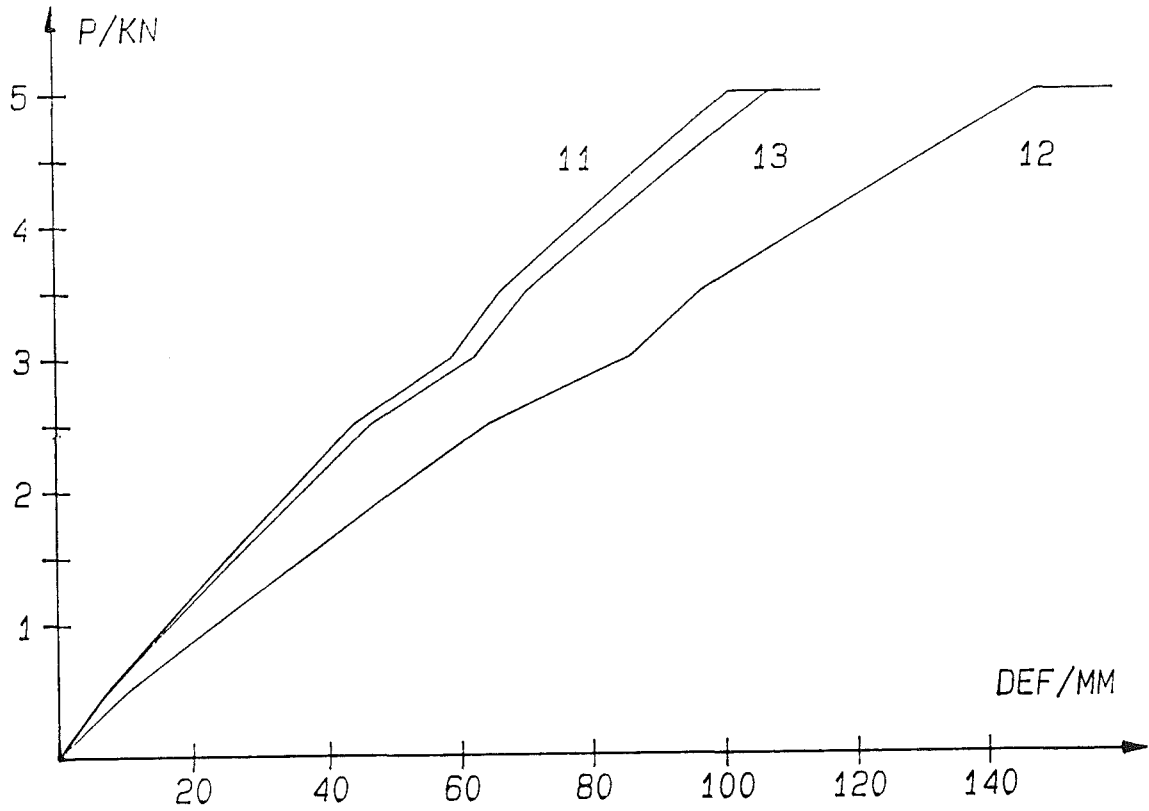


BILAGA 2.5 Kraft-deformations samband SKRUV.45.I

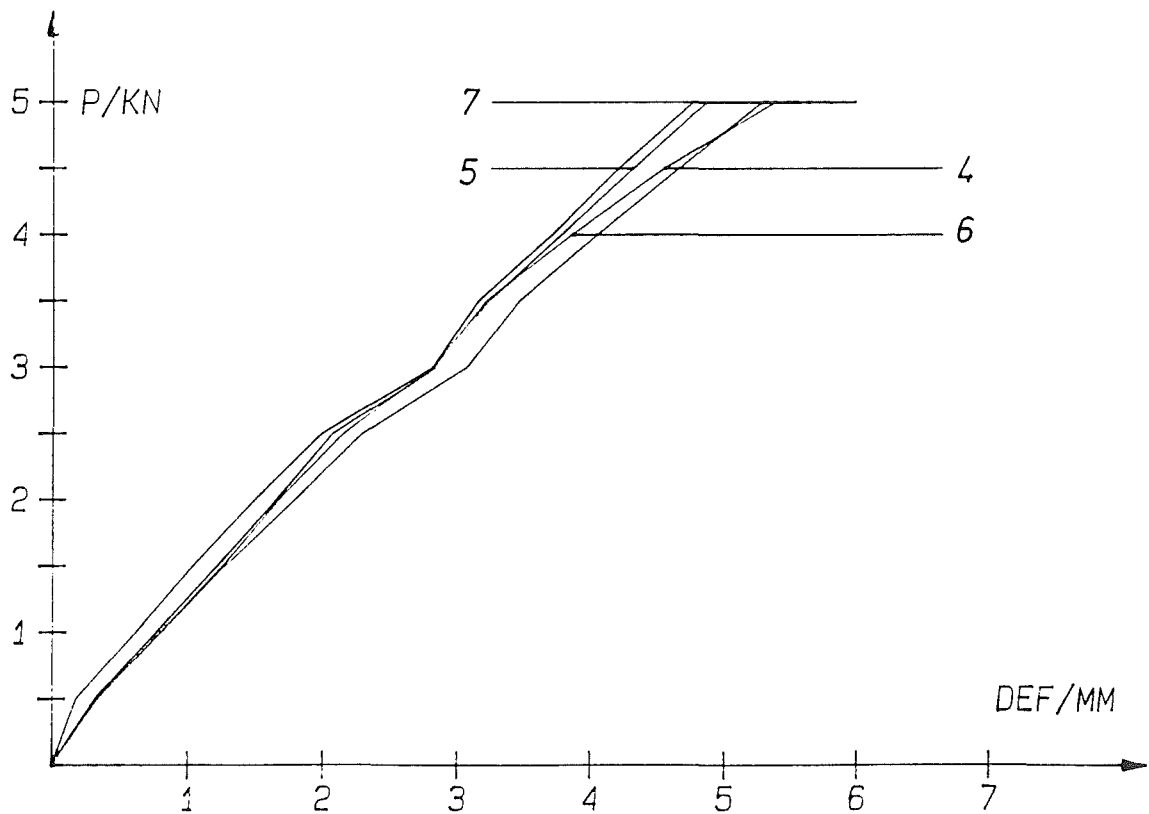




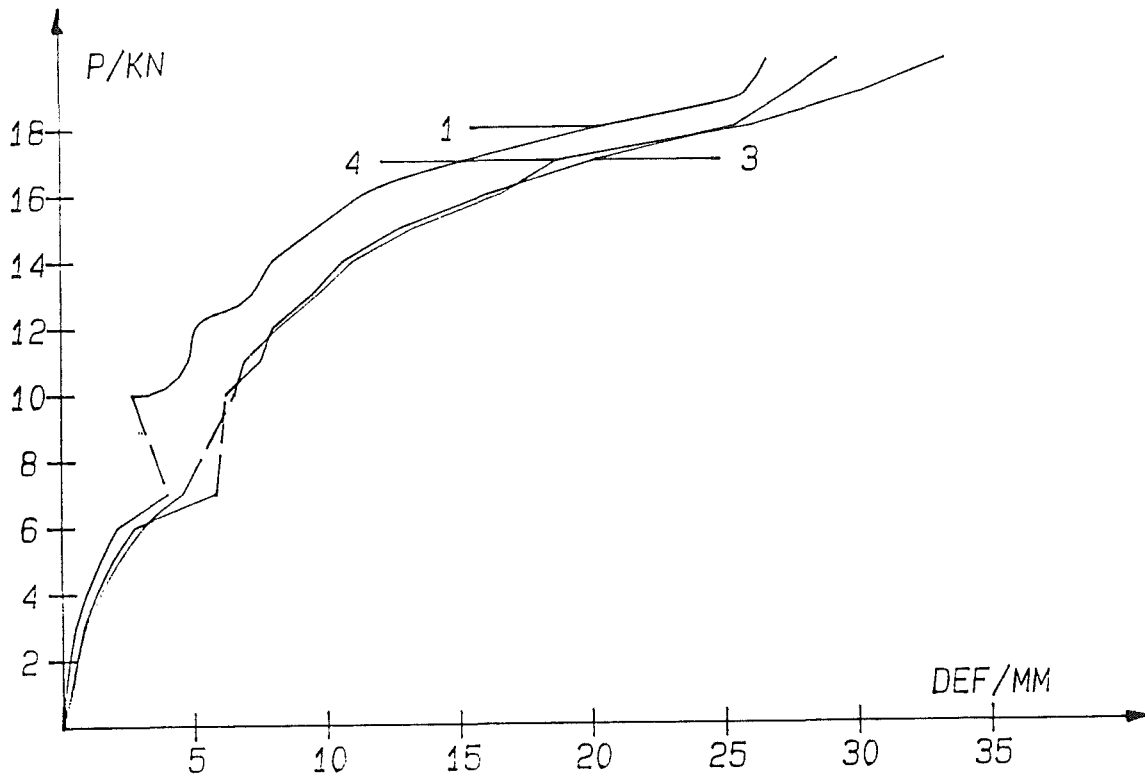
BILAGA 3.1 Kraft-deformationssamband för mittreglar i försök 1.



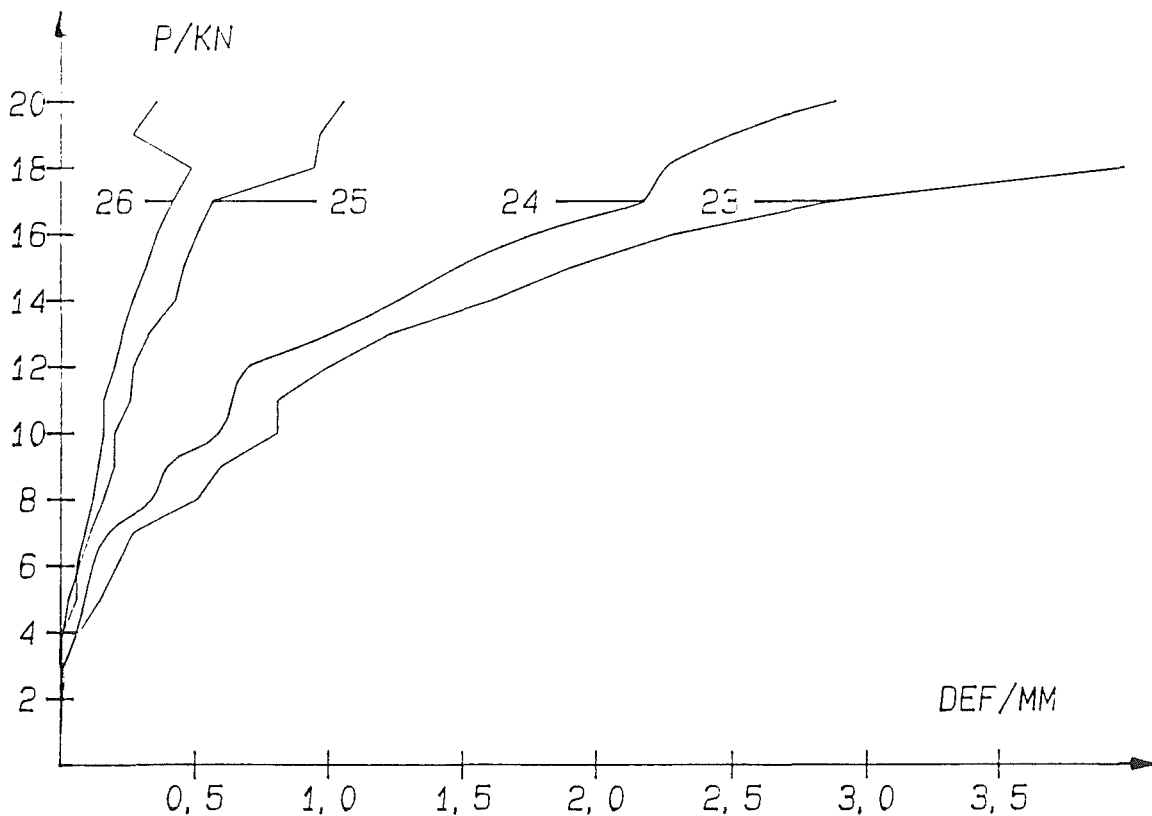
BILAGA 3.2 Kraft-deformationssamband för spikförband i försök 1.



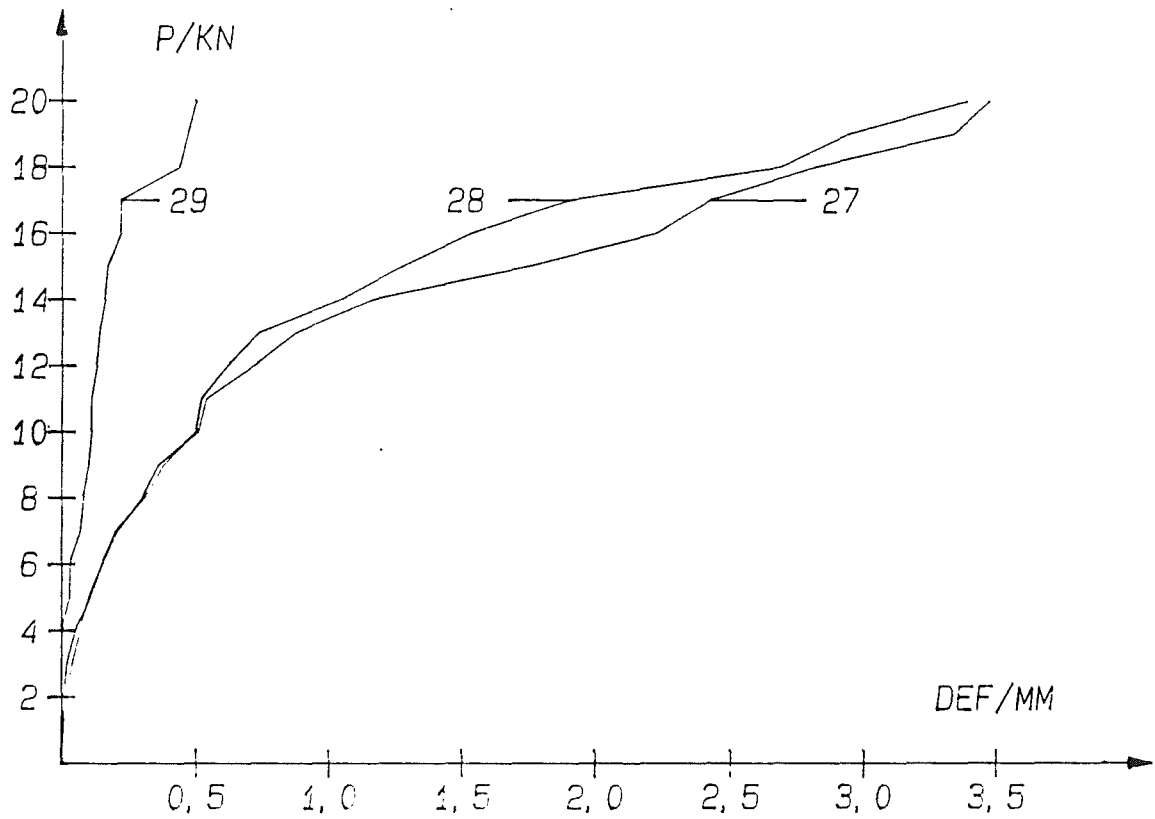
BILAGA 3.3 Kraft-deformationssamband för mittreglar i försök 2.



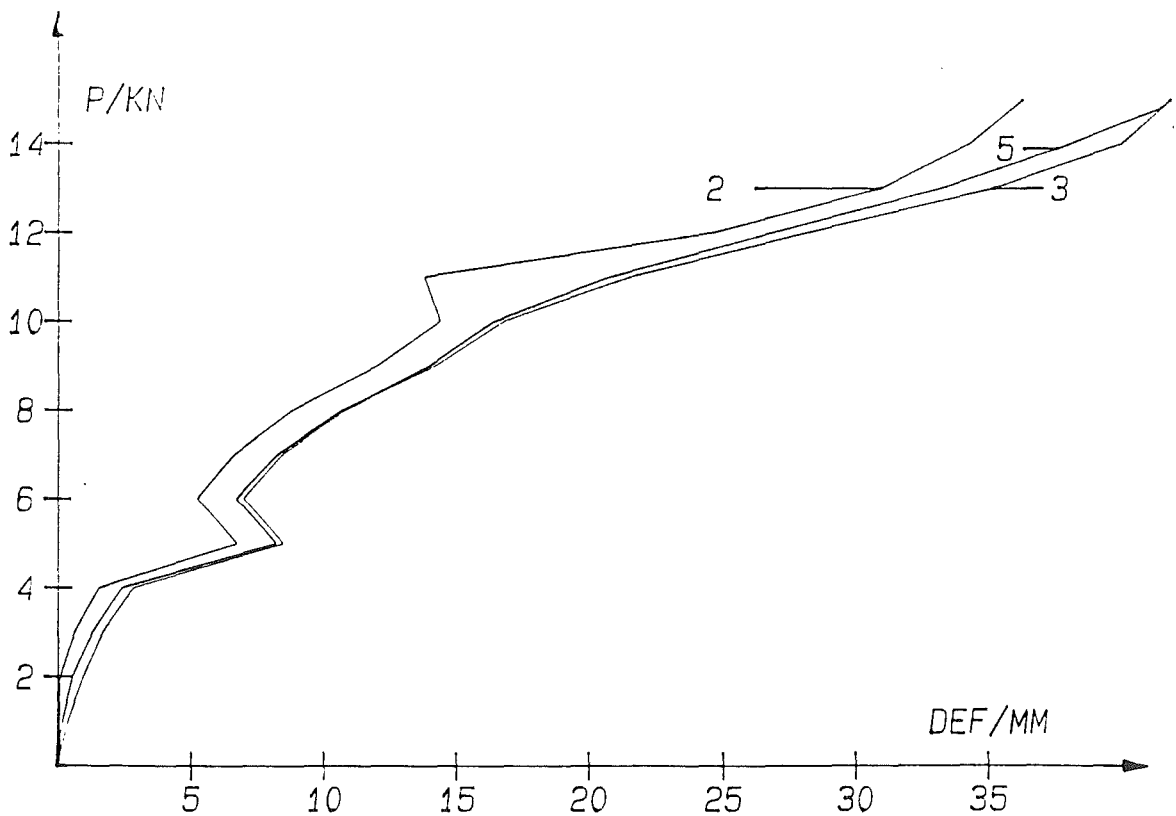
BILAGA 3.4 Kraft-deformationssamband för skruvförband i försök 2.



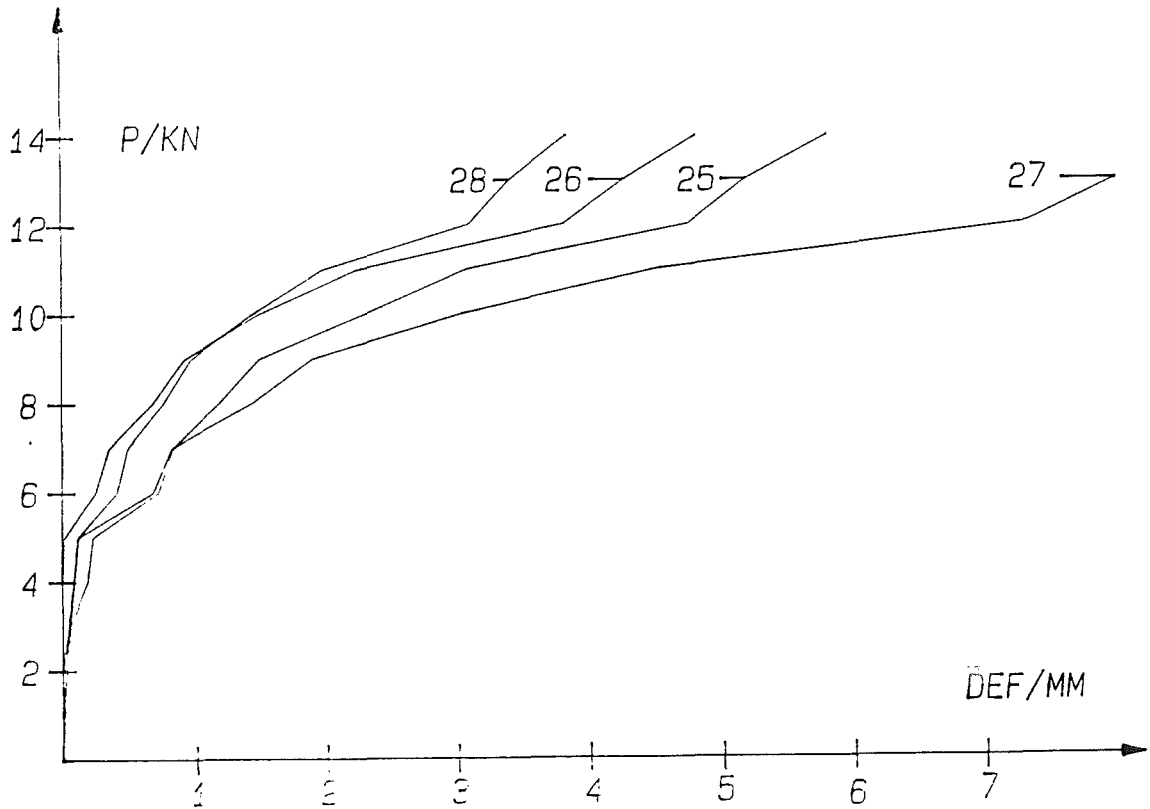
BILAGA 3.5 Kraft-deformationssamband för skruvförband i försök 2.



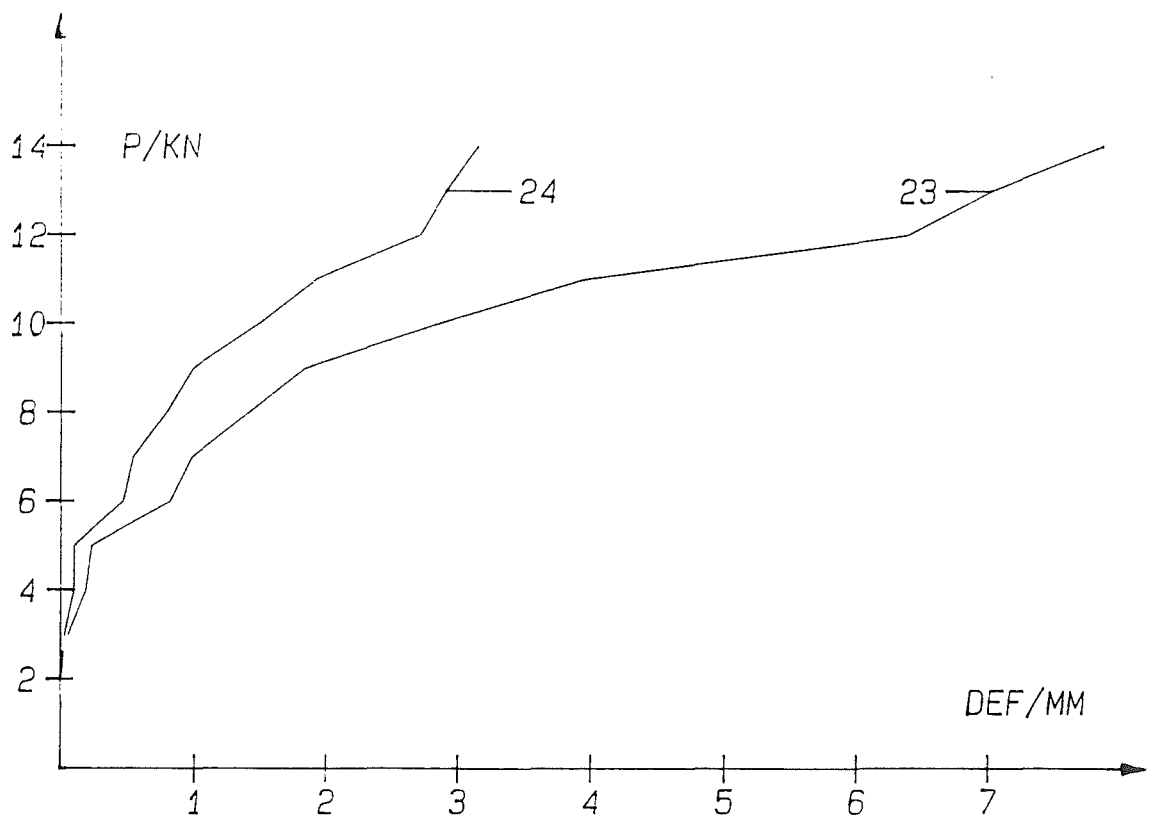
BILAGA 3.6 Kraft-deformationssamband för mittreglar i försök 3.



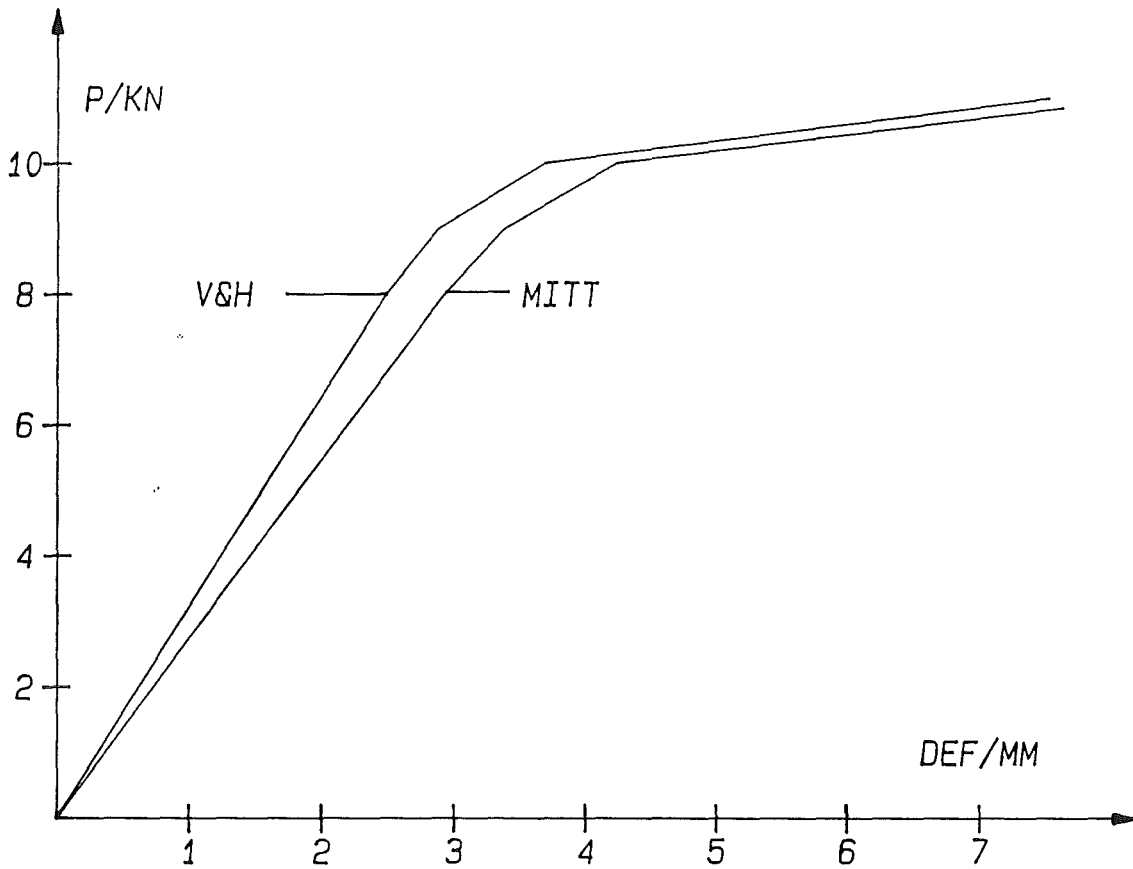
BILAGA 3.7 Kraft-deformationssamband för skruvförband i försök 3.



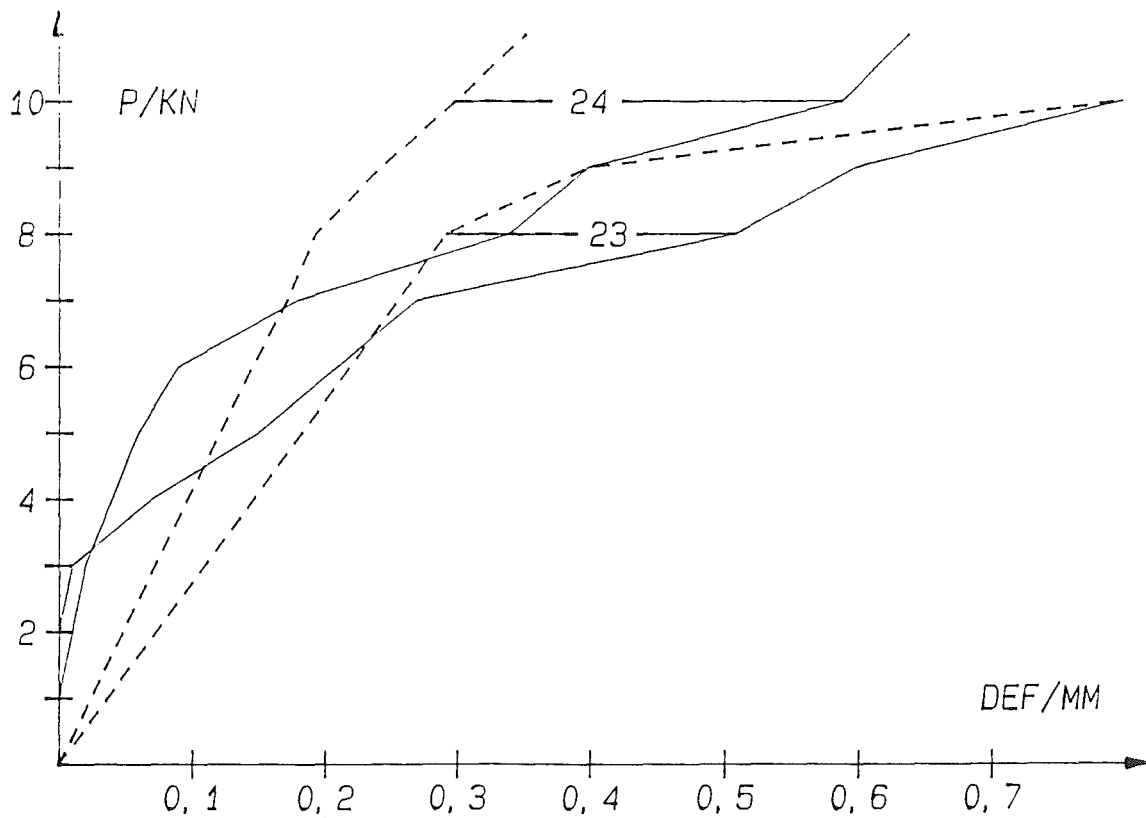
BILAGA 3.8 Kraft-deformationssamband för skruvförband i försök 3.



BILAGA 4.1 Kraft-deformationssamband för mittreglar i calfemkörning.

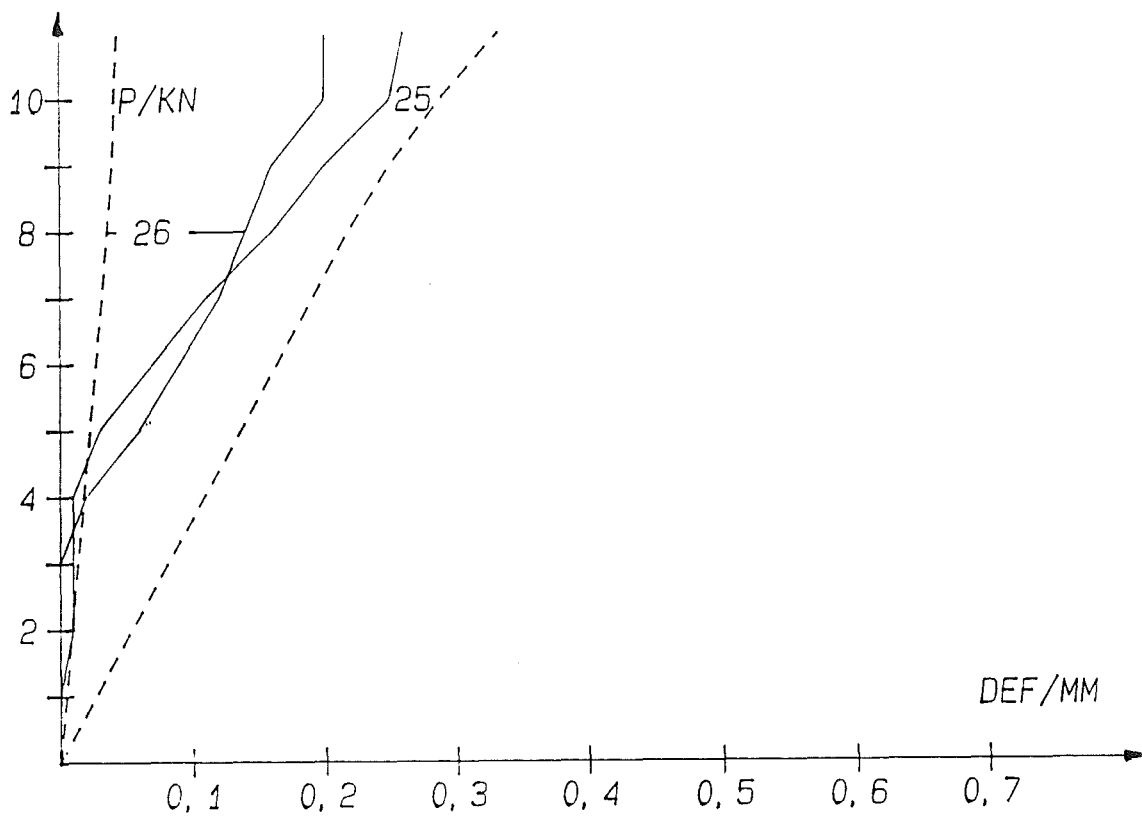


BILAGA 5.1 Kraft-deformationssamband för skruvförband
— = försök 2
- - = calfemförsök



BILAGA 5.2 Kraft-deformationssamband för skruvförband

— = försök 2
- - = calfemförsök



BILAGA 5.3 Kraft-deformationssamband för skruvförband

— = försök 2
- - = calfemförsök

