

ICKE BÄRANDE INNERVÄGGAR EN SAMVERKANSKONSTRUKTION

EXAMENSARBETE

Handledare: Sture Åkerlund

LUND SEPTEMBER 1988

Nisse Below
Patrik Pålsson

Tekniska Högskolan i Lund
Avdelningen för Bärande Konstruktioner



Lund Institute of Technology
Department of Structural Engineering

ICKE BÄRANDE INNERVÄGGAR EN SAMVERKANSKONSTRUKTION

EXAMENSARBETE

Handledare: Sture Åkerlund

LUND SEPTEMBER 1988

Nisse Below
Patrik Pålsson

Förord

I december 1987 tog vi kontakt med Torbjörn Persson på Gyproc i Malmö efter att vi hade sett ett anslag på skolan om examensarbete. Arbetet gick ut på att bestämma en generell beräkningsmodell för icke bärande väggars styvhet. Det skulle innebära en hel del teoretiska beräkningar, programutveckling samt praktiska försök. Vi tyckte att detta skulle passa oss med tanke på vår valda studieinriktning och det verkade intressant och omväxlande.

Vi väntade till i början av mars innan vi bestämde oss och tog då kontakt med Sture Åkerlund som skulle fungera som handledare på skolan. Han gav oss lite råd och drog upp vissa riktlinjer för hur arbetet skulle utföras samt begränsade omfattningen något för att det skulle ligga inom tidsramen för ett examensarbete.

Vi vill här tacka Sture Åkerlund och Torbjörn Persson som alltid ställt upp när vi stött på problem samt Per-Olof Rosenqvist som hjälpte oss vid laborationerna.

Lund hösten 1988

Nisse Below

Patrik Påhlsson

<u>Innehållsförteckning</u>	sid.
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund och syfte	1
1.2 Omfattning	3
2 Analytiska uttryck för samverkanskonstruktioner	4
2.1 Omfattning	4
2.2 Grundekvation för fritt upplagd balk	4
2.3 Fästdonens s-avstånd	9
2.4 Inspänningsmoment och godtyckligt placerad P-last, bakgrund	10
2.41 Konstant inspänningsmoment	11
2.42 Godtyckligt placerad P-last	12
3 Praktiska prov för bestämning av materialparametrar	13
3.1 Omfattning syfte och mål	13
3.21 Belastningsprov	13
3.22 Utförande	16
3.23 Resultat av böjprov	18
3.3 Dragprov	20
3.4 Utvärdering av laboratorieresultat	22
3.5 Sammanfattning av försöksresultat	28
4 Känslighetsanalys	29
4.1 Syfte	29
4.2 Metod och resultat	29
5 Sammanfattning	39
6 Referenser	40

Bilaga 1.

Deformationskurvor från böjprov

Beteckningslista

Följande beteckningar används i uttryck och ekvationer.

c	Skjuvmodul för lim (N/m^3)
$(EA)_f$	EA för flänsen
$(EA)_l$	EA för livet
EI	Sammansatta styvheten
$(EI)_f$	EI för flänsen runt sin tyngdpunkt
$(EI)_l$	EI för livet runt sin tyngdpunkt
FF	Förstoringsfaktor p.g.a. ofullständig samverkan
k	Skjuvmodul för fästdon (N/m)
L	Vägghöjd (balklängd)
P	Punktlast (N)
q	Linjelast (N/m)
r	Avstånd mellan flänsens och livets tyngdpunkter
S	Skruvavstånd
u	Förskjutning mellan liv och fläns
Y	Nedböjning
Y_0	Nedböjning vid fullständig samverkan

1. Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

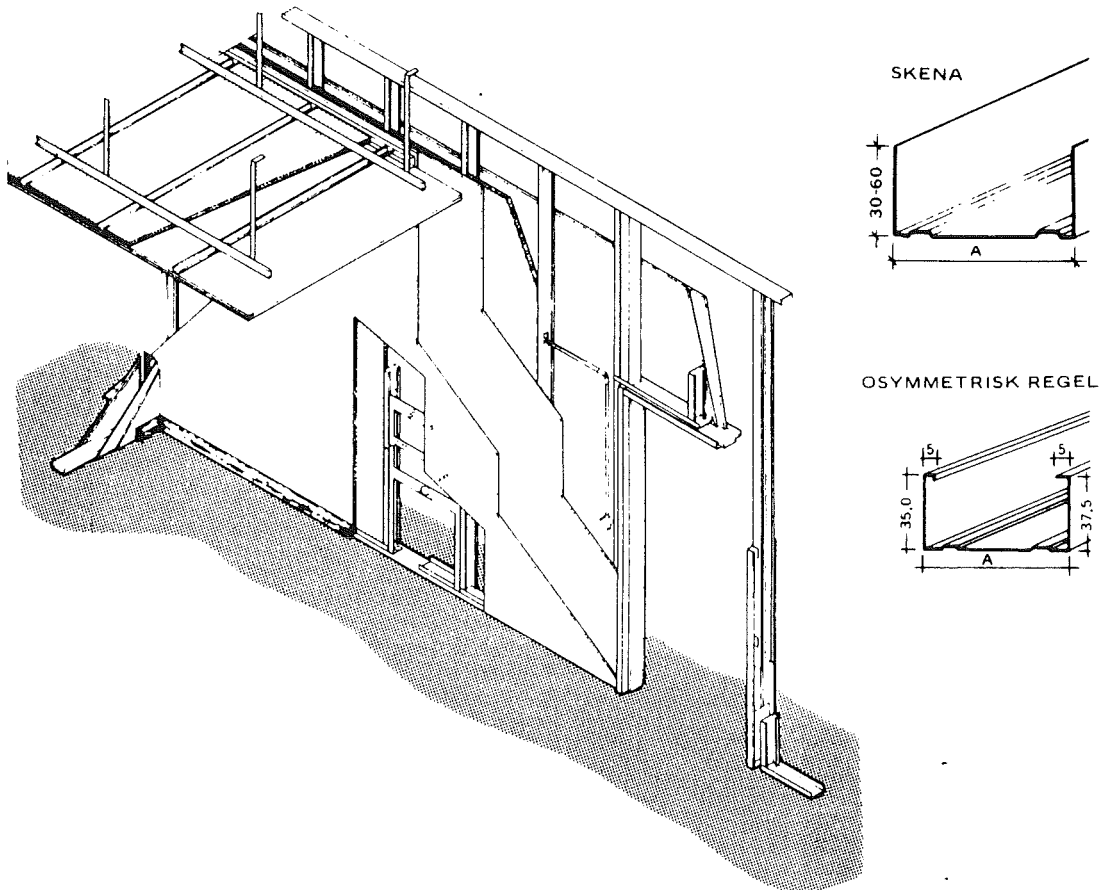
Icke bärande väggar på regelstomme måste ha en viss styvhet för att inte upplevas som veka eller obehagliga. De bör dessutom utan större deformationer kunna ta upp laster från t.ex. vägghängda bokhyllor m.m. Detta har tidigare inte varit något problem men på senare tid har det blivit allt vanligare med höga icke bärande väggar, t.ex. i biografen. Med modern lättbyggnadsteknik blir dessa väggar gärna slanka och måste på något sätt, gärna det billigaste, göras styvare.

Gyproc är ledande i Sverige på gipsskivor och kompletta byggsystem för väggar och tak inomhus. Den vanligaste innerväggen har under en lång tid varit gips på stålregelstomme. Systemet är rationellt och flexibelt. Tunna stålreglar ställs i stålskenor som skruvats i golv och tak och därefter sätts gipsplattorna upp med skruv i reglar och skenor. Självborrande skruv används vid montering vilket gör att arbetet går mycket fort. Mer om byggtekniken finns att läsa i Gyprocs handbok, "Lättbyggnadsteknik". Figur 1 på nästa sida visar ett exempel på hur en vägg kan se ut samt ingående delar.

På Gyproc i Malmö har utvecklingsavdelningen under en tid arbetat med problemen kring höga icke bärande väggar och här kommer vårt examensarbete in som en del av ett projekt på Gyproc.

Möjligheterna att få en gipsvägg på stålregelstomme böjstyvare är många. Kombinationerna av reglar, skivor, skruvavstånd m.m. tycks vara oändligt många varför vi i den här rapporten koncentrerat oss på enskilda variablers bidrag till väggstyvheten. Vi har tittat på några av dessa möjligheter och vad de ger för bidrag till väggens styvhet.

Examensarbetet har ingen ambition att ta fram de billigaste lösningarna eller att försöka optimera styvheten utan ska bara visa några av de möjligheter som finns för att få en vägg styvare samt att ta fram en bra beräkningsmodell med vettiga materialparametrar.



Figur 1. Exempel ur Gyprocs handbok. Reglar c 600, stål-tjocklek 0.56 mm. Skivorna är 1200 mm breda.

1.2 Omfattning

Arbetet är uppdelat i tre delar.

Den första delen är en allmän del där de analytiska beräkningsmodellerna för samverkanskonstruktioner redovisas. Konstruktioner och belastningsfall är valda med utgångspunkt från icke bärande väggar och tänkbara laster.

I den andra delen redovisas resultaten vi fick fram under de belastningsprov av väggar samt dragprov av förband som utförts. Denna del blev en ganska stor bit av examensarbetets omfattning vilket inte var meningen från början.

Tredje biten av vårt arbete innebar att försöka ta reda på hur väggens styvhet förändras när en enskild variabel varierar. För detta utvecklades ett beräkningsprogram på PC. I programmet kan enskilda variabler lätt ändras så att det på ett enkelt sätt går att se hur de bidrar till väggens styvhet. Materialparametrarna valde vi utifrån labbresultaten.

2. Analytiska uttryck för samverkanskonstruktioner

2.1. Omfattning

Vi har studerat 2 olika väggtyper, schaktvägg och vanlig vägg, för i första hand en horisontell linjelast mitt över väggen. Att detta lastfall är speciellt intressant beror på att Gyproc ställt som krav att en vägg inte får böja ut mer än $1/250$ av sin höjd för en linjelast $P=500$ N/m mitt över väggen.

Den vanliga väggen, 101-väggen, d.v.s. ett skivlag på varje sida om regeln beräknas som ett I-tvårsnitt. Väggtypen kan också ha 2 skivlag på varje sida och benämns då 202-vägg.

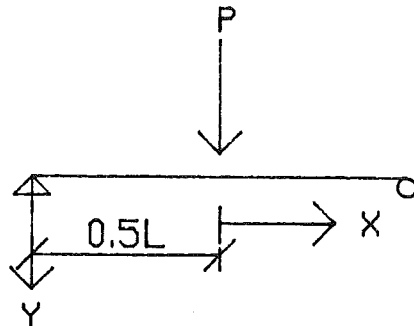
Schaktväggen som används i badrum framför rörschakt eller vid delad stomme för att öka ljudisoleringen kan ha en, två eller tre skivlag på ena sidan regeln, 100-, 200- eller 300-vägg. Väggtypen beräknas som ett T-tvårsnitt.

Vi har även tagit fram ett uttryck för väggar belastade med en linjelast i $1/4$ -delspunkten samt ett för fallet med ett inspänningsmoment i ändarna.

Ekvationerna kan även tillämpas på limmade konstruktioner efter vissa ändringar. Just limmade väggar var intressant eftersom det aldrig provats hos Gyproc och det kan tyckas att en styvare konstruktion skulle kunna erhållas på detta sätt.

2.2 Grundekvation för fritt upplagt balkelement

De följande ekvationerna har vi tagit fram efter härledning i "Stål och träkonstruktioner FK II, LTH 1987". I den danska rapporten "Träkonstruktioner Beregning, SBI-Anvisning 135" finns färdiga uttryck för de nedan redovisade fallen.



Figur 2. Väggen generaliseras till fritt upplagd balk med punktlast.

Ekvationen för ett fritt upplagt balkelement enligt figur 2 belastad med punktlast på mitten kan skrivas

$$y(x) = -y_0(x) + FT$$

där y_0 är nedböjning vid fullständig samverkan och FT är en term som tillkommer p.g.a. den förskjutning som uppkommer mellan liv och fläns vid belastning.

$$Y_0(x) = \frac{P}{EI} \left[\frac{Lx^2}{8} - \frac{x^3}{12} - \frac{L^3}{48} \right]$$

$$FT(x) = \frac{P(1-\beta^2)}{2D^2EI} \left[-\frac{\beta}{D} \tanh \frac{DL}{2\beta} \cosh \frac{DL}{\beta} + \frac{\beta}{D} \sinh \frac{Dx}{\beta} - x + \frac{L}{2} \right]$$

där P är en punktlast.

För fallet $x=0$ blir uttrycket

$$Y(0) = \frac{PL^3}{48EI} \left[1 + \frac{12(1-\beta^2)}{D^2L^2} \left[1 - \frac{\tanh \left[\frac{DL}{2\beta} \right]}{\frac{DL}{2\beta}} \right] \right]$$

Detta kan tolkas som

$$Y(0) = Y_0 * FF$$

där FF är en förstöringsfaktor.

Konstanterna D^2 och β^2 beror på tvärsnittets geometri, d.v.s. vald väggtyp.

För I-tvärsnittet, se figur 3, blir konstanterna

$$D^2 = \frac{k}{S(EI)_f}$$

och

$$\beta^2 = \frac{2(EI)_f + (EI)_l}{EI}$$

och för T-tvärsnittet, se figur 4, blir de

$$D^2 = \frac{k}{\frac{S(EI)_f + (EI)_l}{(EA)_f (EA)_l}}$$

och

$$\beta^2 = \frac{(EI)_f + (EI)_l}{EI}$$

För konstanterna gäller:

$(EI)_f = EI$ för flänsen (skivan) runt sin tyngdpunkt

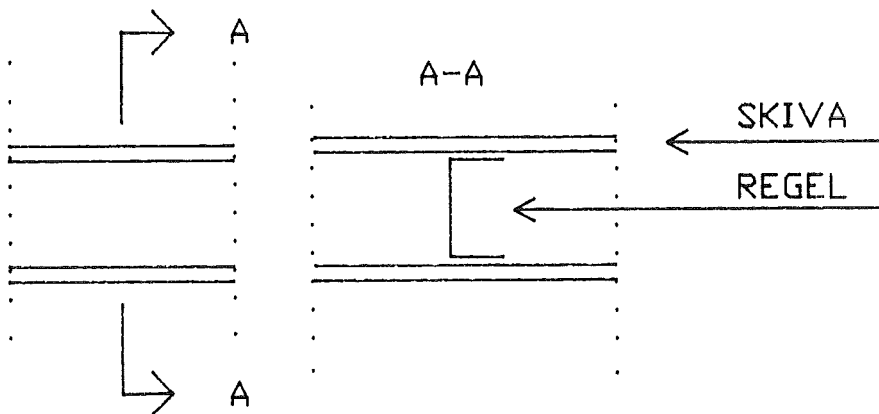
$(EI)_l = EI$ för livet (regeln) runt sin tyngdpunkt

$EI =$ sammansatt styvhet

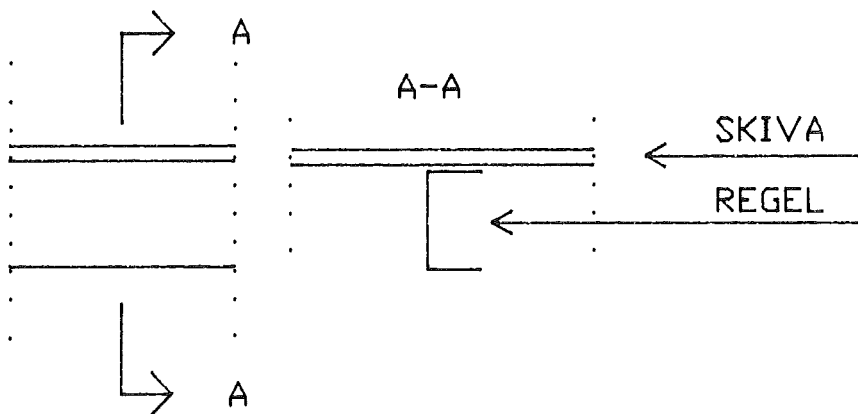
$(EA)_f = EA$ för flänsen där A är flänsens effektiva area

$k =$ fästdonens skjuvmodul (N/m)

$s = c/c$ för fästdonen



Figur 3. I-tvårsnitt eller 101-vägg.



Figur 4. T-tvårsnitt eller 100-vägg.

En utbredd last kan uppkomma p.g.a. inre vindlast och ekvationen blir då istället:

$$Y(0) = \frac{5qL^4}{384EI} \left[1 + \frac{48(1-\beta^2)}{5D^2L^2} \left[\frac{8\beta^2}{D^2L^2} \left[\frac{1}{\cosh \left[\frac{DL}{2\beta} \right]} - 1 \right] + 1 \right] \right]$$

där q är en utbredd last (N/m).

För konstanterna D^2 och β^2 gäller sambanden enligt föregående.

Vid hård vind kan den inre vindlasten uppgå till 0.3 kN/m² vilket för en normal innervägg, 2.40 m hög 101-vägg, ger en utböjning på ca. 3 mm.

För en limmad konstruktion förändras konstanten D^2 något eftersom skruvarna då bytts ut mot lim.

För I-tvärsnittet blir

$$D^2 = \frac{cb_1}{(EA)_f}$$

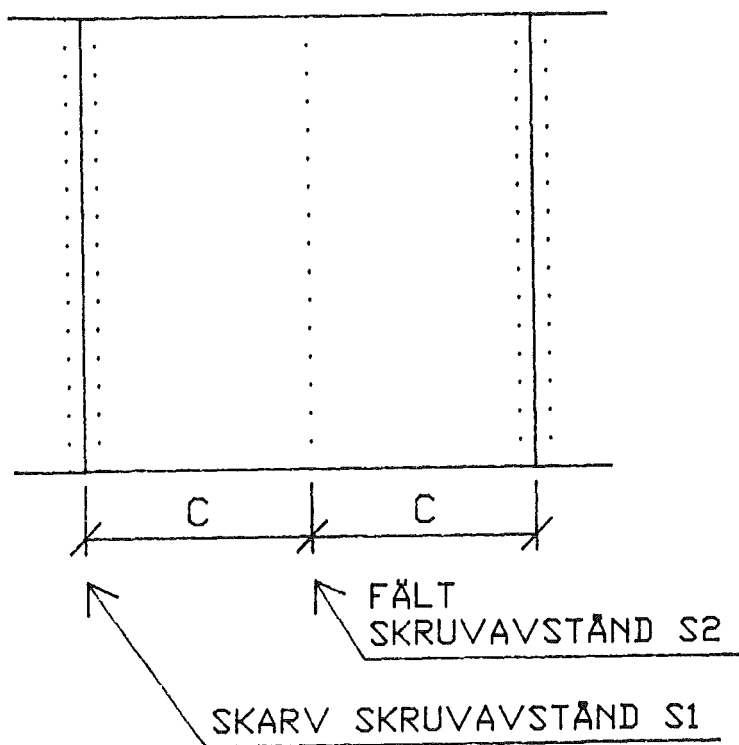
och för T-tvärsnittet blir

$$D^2 = \frac{cb_1}{\frac{(EA)_f + (EA)_l}{(EA)_f (EA)_l}}$$

Konstanten c är limmets skjuvmodul (N/m³) och b_1 är livbredden mot flänsen, i vårt fall regelns flänsbredd.

2.3 Fästdonens s-avstånd

Vid montering av skivorna mot regelstommen används olika avstånd för skruvarna beroende på om det är en skarv eller om det är mitt på en skiva, se figur 5.



Figur 5. Olika skruvavstånd i skarv och fält.

Eftersom det balkelement som väljs att räkna på består av en balk med flänsbredden c måste ett för väggen genomsnittligt skruvavstånd användas. Konstanten D^2 kan för I-tvårsnittet skrivas

$$D^2 = \frac{k}{(EA)_f} (1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_3 + \dots)$$

I vårt fall blir det summerade skruvavståndet

$$1/S = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_1 = 2/S_1 + 1/S_2$$

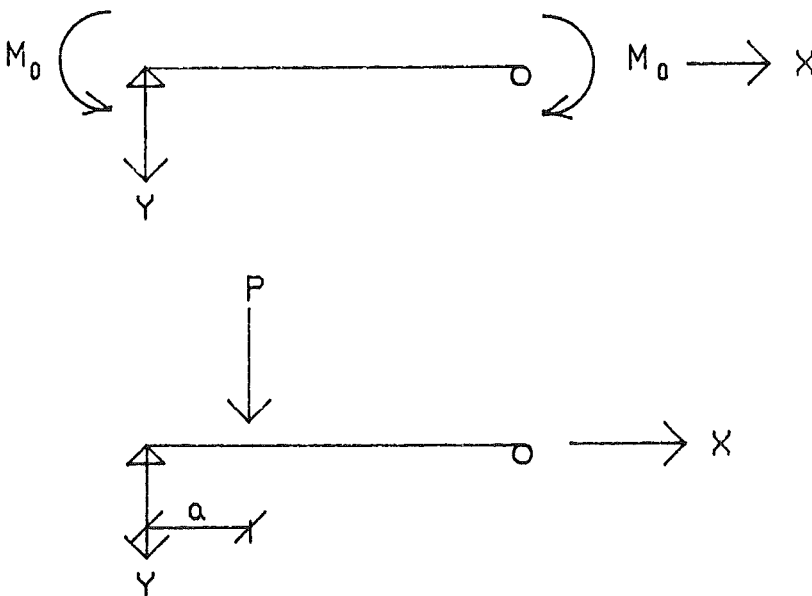
för varje skiva. Detta fördelas på två regler varför skruvavståndet S blir

$$S = 2 / (2/S_1 + 1/S_2)$$

Med normalt valda skruvavstånd, d.v.s. 0.2 m i skarvar och 0.3 m i fält blir $S = 0.15$ m. Skruvarna i golvet och takets skenor försummas.

2.4 Inspänningsmoment och godtyckligt placerad P-last

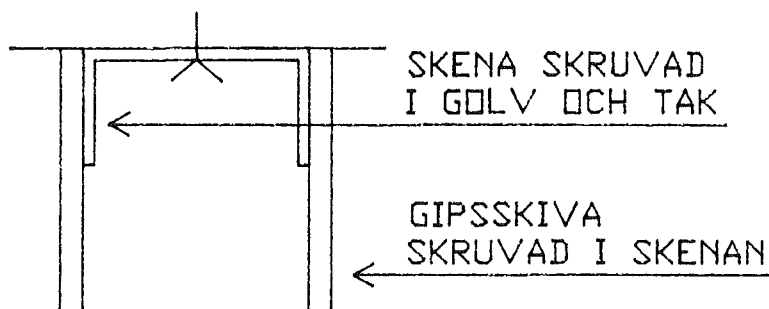
För att hitta uttryck för dessa lastfall har vi tagit hjälp av "Om sammansatta balkar och pelare med särskild hänsyn till spikade träkonstruktioner, Hjalmar Granholm CTH 1949". Granholm har för sina samband använt Fourieranalys som vi har utvecklat för två fall, se figur 6. Sture Åkerlund gjorde även han en ganska avancerad härledning utifrån kompendiet i stål och träbyggnad för fallet med inspänningsmoment. Denna härledning redovisas dock inte här.



Figur 6. Lastfall för analys enligt Granholm.

2.41 Konstant inspänningsmoment

För innerväggar uppträder inspänningsmoment p.g.a. att väggen fästs in i golv och tak med stålskenor som skruvas fast, se figur 7.



Figur 7. Väggens infästning i tak.

En jämförelse mellan teoretiskt beräknad vinkeländring för fritt upplagt balkelement och vinkelmätningar gjorda på Gyproc visar att inspänningsmomentet, om det överhuvudtaget finns, är försumbart.

Serien $Y(x)$, d.v.s. nedböjningen, utvecklas utifrån

$$M(x) = \frac{4M_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

$$a_n = \frac{2}{L} \int_0^L M(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$$

$$b_n = \int_0^L a_n \left[\frac{L}{n\pi} \right]^2 \frac{1 + \left[\frac{DL}{n\pi} \right]^2}{\beta^2 + \left[\frac{DL}{n\pi} \right]^2}$$

$$Y(x) = \frac{1}{EI} \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{n\pi x}{L}$$

Efter en del räknande får ett uttryck för $Y(x)$ följande utseende

$$Y(x) = \frac{1}{EI} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4M_0 L^2}{n^3 \pi^3} \frac{1 + \left[\frac{DL}{n\pi} \right]^2}{\beta^2 + \left[\frac{DL}{n\pi} \right]^2} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

2.42 Godtyckligt placerad P-last

Serien $Y(x)$ utvecklas enligt föregående men med skillnaden att

$$M(x) = \frac{2PL}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \sin \frac{n\pi a}{L} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

Vi har valt att utveckla serien för $a=1/4 L$ och $Y(x)$ får då följande utseende:

$$Y(x) = \frac{2PL}{\pi^4 EI} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^4} \sin \frac{n\pi}{4} \frac{1 + \left[\frac{DL}{n\pi} \right]^2}{\beta^2 + \left[\frac{DL}{n\pi} \right]^2} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

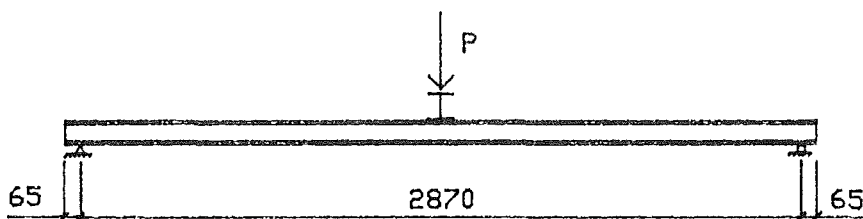
3 Praktiska prov för bestämning av materialparametrar

3.1 Omfattning syfte och mål

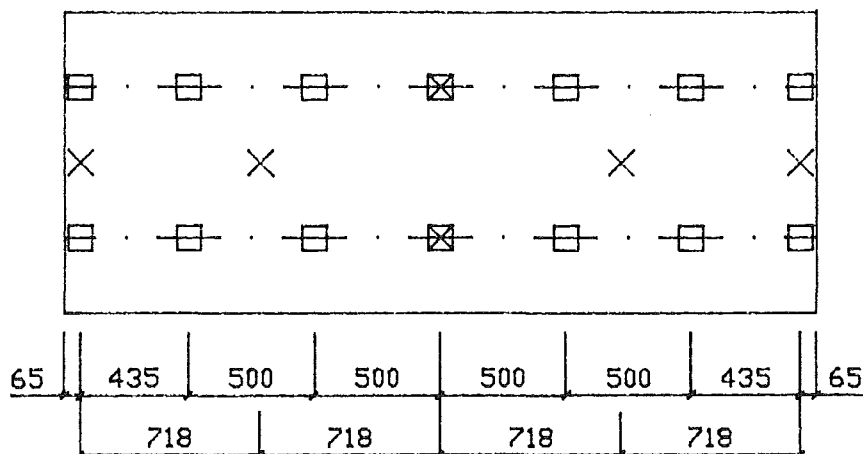
Under 3 veckor utförde vi ett antal belastningsprov av gipsväggar i högskolans laboratorium samt dragprov av förband i Gyprocs laboratorium i Varberg. Totalt 20 böjprov och 17 dragprov utfördes. Syftet med böjproven var att registrera nedböjningar och förskjutningar för att kunna kontrollera den analytiska beräkningsmodellen. Dragproven skulle ge lämpliga skjuvmoduler för skruv- och limförband.

3.21 Belastningsprov

Provväggar enligt figur 8 byggdes och belastades med en linjelast mitt över elementet.



ELEVATION



PLAN

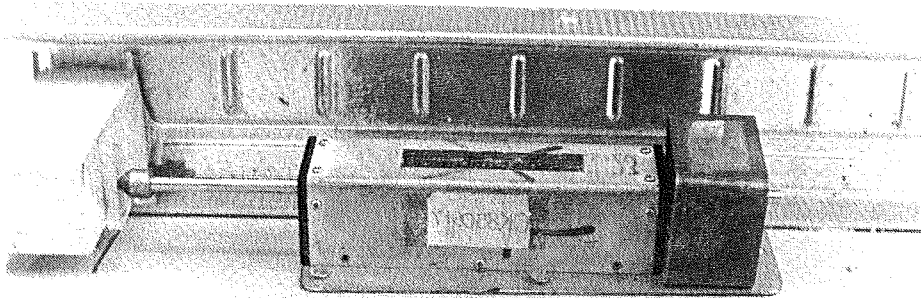
Figur 8. Labbuppställning för böjprov

De väggar som provades var:

1. 101-vägg med Gyproc normalskiva (GN) som har en E-modul på 2.7 GPa och en ytvikt på 9 kg/m². Skruvavstånd 0.2 m. Antal 4 st.
2. 101-vägg med Gyproc hård väggskiva (GH) som har en E-modul på 5.4 GPa och en ytvikt på 12 kg/m². Skruvavstånd 0.2 m. Antal 3 st.
3. 101-vägg med GN-skiva men med boxade regler, d.v.s dubbla regler som skjuts i varandra till ett fyrkantstvärsnitt. Skruvavstånd 0.2 m. Antal 3 st.
4. 100-vägg med GN skiva. Skruvavstånd 0.2 m. Antal 3 st.
5. 202-vägg med GN-skiva. Skruvavstånd 0.2 m. Antal 2 st.
6. Limmad 101-vägg med GN-skiva. Limmet var av typ Pansorfix som används vid limning av golvskeivor. Antal 3 st.
7. 101-vägg med GN-skiva. Skruvavstånd 0.1 m. Antal 2 st.

Samtliga skivor var 12.5 mm tjocka och reglarna var av typ R70, d.v.s. 70 mm höga.

Totalt 20 potentiometrar användes för att registrera nedböjningar och förskjutningar. För att kunna mäta förskjutningen mellan regel och gips skruvades potentiometrar fast i skivan med givaren vilande mot en tråkloss som limmats mot stålregeln, se figur 9. Mot tråklossen limmades en liten glasbit för att inte ojämnheter i träet skulle påverka potentiometern.



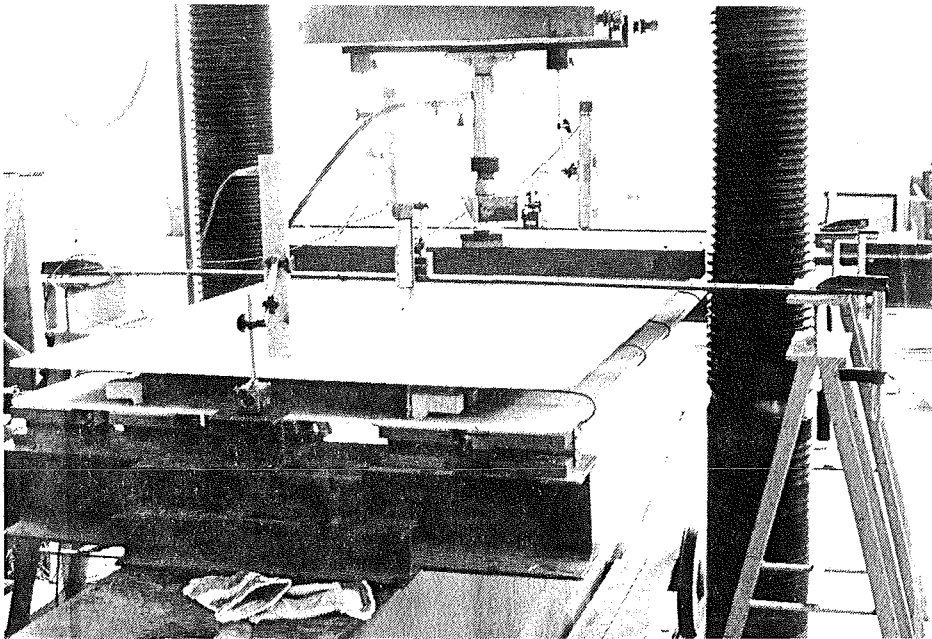
Figur 9. Potentiometer för registrering av förskjutning.

En domkraft användes som kraftkälla. Den gav en punktlast mitt på elementet som fördelades med en styv balk över skivan. Kraftgivaren och potentiometrarna anslöts till en datalog som i sin tur var ansluten till en persondator.

Balkens höga vikt vållade oss lite besvär eftersom vi inte kunde ta med dess egenvikt i programmet. Mätprogrammet är utvecklat för provtryckning av mycket styvare och tyngre konstruktioner och då är oftast egenvikten av eventuella lastfördelningsbalkar försumbar. I vårt fall var dock egenvikten omkring 10% av brottlasten och ca. 30% av 'brukslasten' 500 N/m och därmed långt från försumbar. Lösningen på problemet var att ändra programmet så att vi kunde nolla givarna utan att tryckbalken låg på. Därefter lade vi på balken och besvarade en fråga i programmet om balkens egenvikt.

De första provtryckningarna utfördes utan att ändringen var gjord men kurvan är så pass linjär i början att proven ändå kunde användas vid utvärderingen.

Figur 10 visar ett fotografi av uppställningen.



Figur 10. Uppställning för provtryckning.

3.22 Utförande

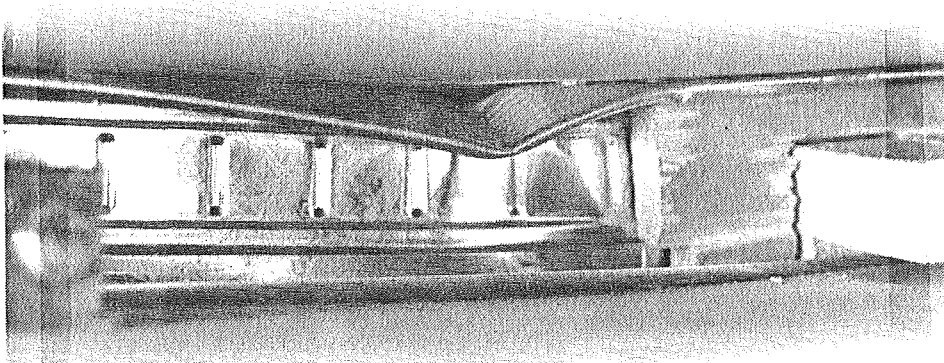
På Gyproc i Malmö hade ena skivan monterats på reglar samt klossarna för potentiometrarna limmats fast mot reglarna, d.v.s. väggelementen kom som 100-väggar. På så sätt sparade vi en hel del tid och kunde med en gång börja trycka.

Elementen lyftes upp på vaggan och förskjutningspotentiometrarna skruvades fast. Korta træklossar trycktes fast inne i reglarna under lasten för att förhindra för tidigt brott i liven. Därefter monterades den övre skivan om det

inte var en 100-vägg som skulle tryckas. De limmade väggarna fick härda i 14-48 timmar innan de trycktes. När elementen var färdiga monterades givarna för nedböjningen och vaggan rullades in under domkraften.

Nu startades datorn och potentiometrarna nollades. Därefter lyftes balken på och nedböjningar och förskjutningar för tryckbalkens egenvikt registrerades innan kraft från domkraften lades på. Domkraften pumpade vi för hand och aktuell tryckkraft visades hela tiden på skärmen. För vart 50:e N avbröt vi och lät datorn lagra kraft, nedböjningar och förskjutningar. Väggen belastades till 500 N/m och därefter släpptes lasten och kvarstående deformationer registrerades. Balken togs dock inte bort vilket berodde på att större ändringar i mätprogrammet hade krävts vilket vi ansåg låg utanför vår tidsram.

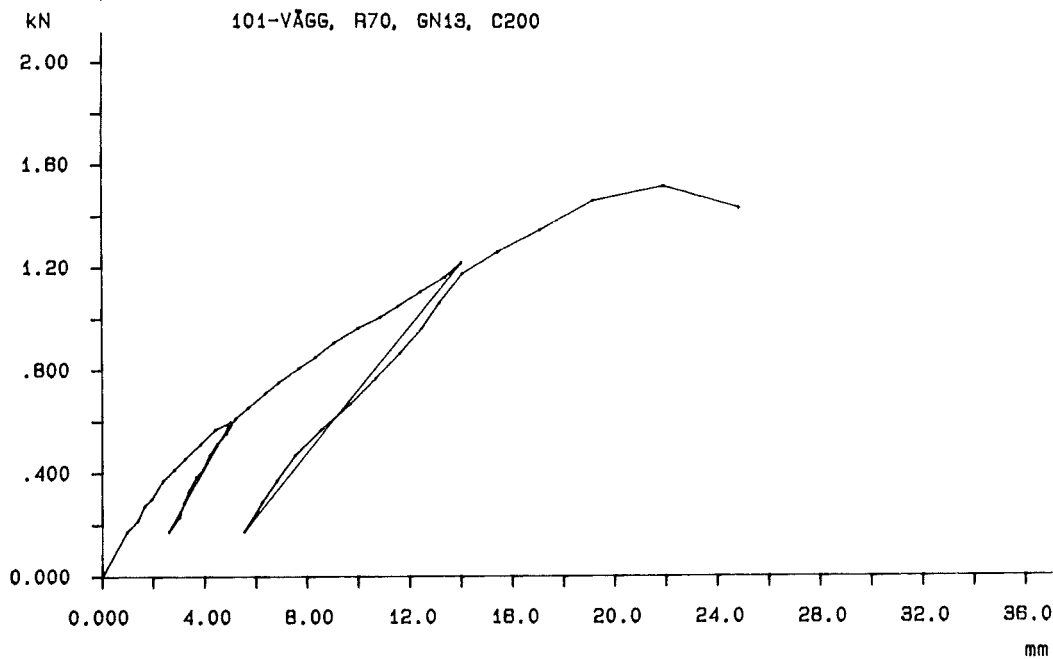
Last lades åter på i samma intervall upp till 1000 N/m för att återigen släppas och därefter belastades väggen till brott. Brottet skedde alltid i flänsen som vek sig strax utanför de inlagda förstyvningarna, se figur 11.



Figur 11. Fotografi av brott.

3.23 Resultat av böjprov

De resultat som lagrades fick vi ut på skrivare och plotter. Alla krafter, nedböjningar och förskjutningar skrevs ut på skrivare men endast mittnedböjningarna plottades, se figur 12. Samtliga plottar redovisas i bilaga 1.



Figur 12. Kraft-nedböjningsplot från belastningsprov.

Vi kunde med en gång konstatera att den inbördes spridningen var relativt liten för samma väggtyper, men att nedböjningarna var något mindre än väntat. De belastningsprov som Gyproc utfört gav en större utböjning trots att dessa element var något inspända av golv och takskenor.

Resultatet redovisas i tabell 1. Några av de redovisade nedböjningarna är framtagna med extrapolation eftersom vi vid de första proven inte hade med egenvikten av balken. De verkliga värdena är angivna inom parantes. I brottlasten är egenvikten av balken medräknad. De tre prov som misslyckades är inte med i tabellen.

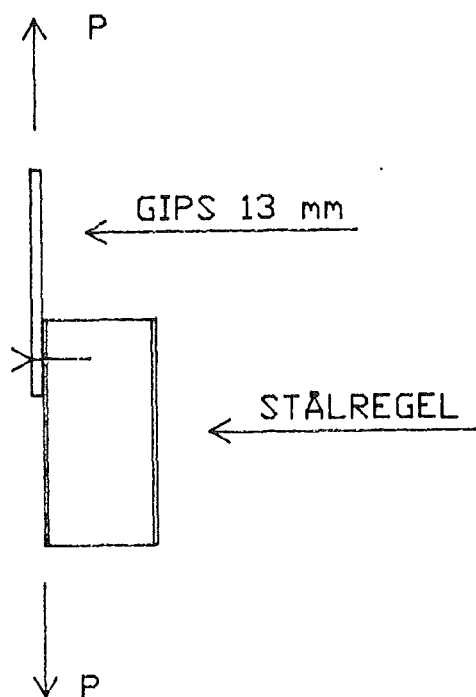
Tabell 1.

Resultat från böjprov. Nedböjning för $P=500$ N/m. Vägghöjd 2.87 m.

Väggtyp	Mittnedböjning för $P=500$ N/m (mm)	Brottlast (kN/m)	Anmärkning
101-vägg GN, C200	5.0 5.5	1.3 1.0	
101-vägg GH, C200	3.0 (3.3) 3.0 (3.5)	2.0 1.7	Extrapolerad Extrapolerad
101.vägg GN,Limmad	7.8 8.3 8.6	1.6 1.5 2.5	Härdad 48 h Härdad 14 h Härdad 21 h
101-vägg GN, C200 Boxad	3.1 3.4 3.3	2.4 2.6 2.6	
100-vägg GN,C200	9.9 (10.5) 8.6 (9.5) 9.0 (9.8)	1.3 1.2 1.1	Extrapolerad Extrapolerad Extrapolerad
202-vägg GN, C200	3.4 3.6	1.0 1.0	
101-vägg GN, C100	3.3 3.5	1.5 1.5	

3.3 Dragprov

17 st. provkroppar hade satts ihop på Gyproc i Malmö för dragprov, se figur 13.



Figur 13. Provkropp för bestämning av skjuvmodul.

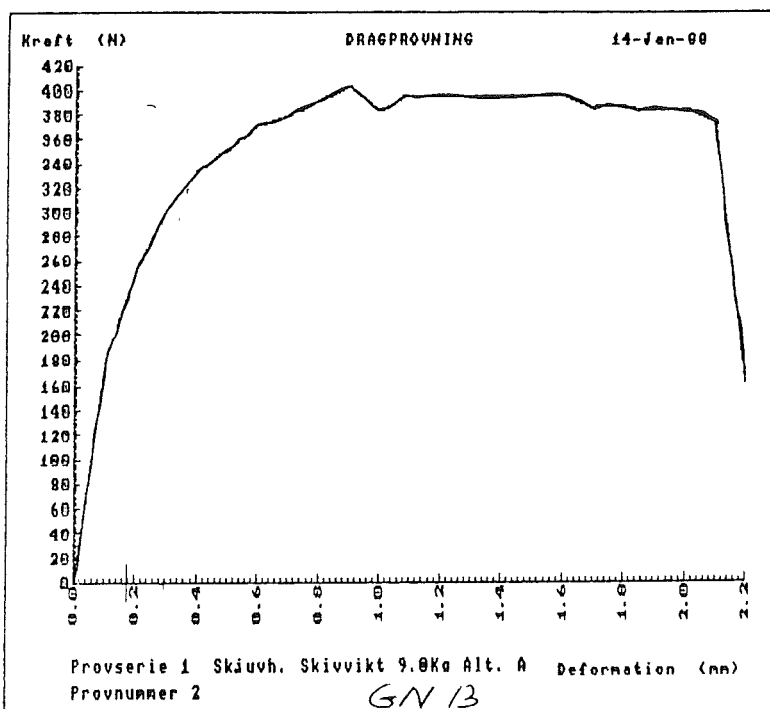
De olika provkropparna var:

1. Stålrregel R70 limmad mot GN-skiva
2. Stålrregel R70 skruvad i GN-skiva
3. Stålrregel R70 skruvad i GH-skiva
4. Boxad stålrregel R70 skruvad i GN-skiva

Dessa provkroppar drogs i en Alvetron och det kunde med en gång konstateras att endast proven med limförbanden var lyckade. De övriga skjuvmodulerna låg alldeles för lågt vid jämförelse med böjproven. Detta kan ha berott på att skruvarna "skakade" upp något under transporter och förspänningen minskade.

Limförbandet låg däremot mycket över förväntad skjuvmodul vilket förmodligen berodde på mycket längre härdningstid än vid böjproven samt att tving hade använts vid limningen. Vid limningen av väggelementet var förmodligen inte reglarna riktigt plana eftersom vi limmade när skivan låg på vaggan. Den ena limfogen, d.v.s. den som Gyproc gjort, torde dock ha varit bättre.

Problemet med de misslyckade skruvförbandsproven löstes genom att vi fick tillgång till förbandsprov som utförts tidigare av Gyproc. Det var totalt 3 oberoende försöks-serier och dessa stämde bättre överens med förväntade skjuvmoduler. Figur 14 visar en arbetskurva för GN-skiva med en skruv i stålregel.



Figur 14. Exempel på kraft-deformationskurva för skruvförband

3.4 Utvärdering av laboratorieresultat

Tyngdpunkten i utvärderingen ligger i att hitta lämpliga k-moduler för skruv och limförband eftersom detta är den enda egentliga osäkra parametern i vår beräkningsmodell. Även E-modulen för gips är något osäker eftersom den bestämts ur böjprov med en påtaglig spridning.

Ur beräkningsmodellen kunde vi baklänges beräkna k-moduler dels utifrån mittnedböjningarna och dels utifrån de uppmätta förskjutningarna. Mittnedböjningen registrerades av två givare vars medelvärde gav ett k-värde. Förskjutningarna registrerades i 3 olika snitt av fyra givare i varje snitt vilket gav 3 k-moduler för varje väggelement. Ur dessa 3 k-moduler beräknades ett medelvärde. Resultaten redovisas i tabell 2.

Tabell 2.

Beräknade skjuvmoduler utifrån provtryckningar.

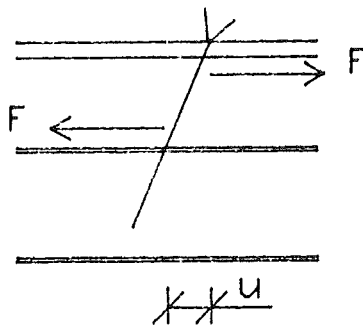
Väggtyp	k beräknat från nedböjningen y	k beräknat från förskjutningen u
101, GN, C200	1300 kN/m	1400 kN/m
202, GN, C200	1400 kN/m	1500 kN/m
101, GN, C100	1800 kN/m	2400 kN/m
101, GN, C200, Boxad	1400 kN/m	2300 kN/m
100, GN, C200	500 kN/m	1100 kN/m
101, GH, C200	3200 kN/m	1900 kN/m
101, GN, Limmad	47 MN/m ³	47 MN/m ³

De på sina ställen stora skillnaderna är svåra att förklara. De små förskjutningarna samt konstruktionens okänslighet för förändringar i k-moduler vid låga väggar kan vara en förklaring. Den låga skjuvmodulen för 100-väggen beräknad ur nedböjningen kan bero på att reglarna vikt sig

något vid upplagen vilket bidragit till den större nedböjningen och därmed till den lägre skjuvmodulen.

Ett ekvivalent skruvavstånd för limmet med $c=47 \text{ MN/m}^3$ blir ca. 0.65 m.

För att nu utifrån dragproven utvärdera skjuvmodulerna för skruv och limförbanden måste de krafter som verkar på förbanden bestämmas. Figur 15 visar krafterna mellan skiva och regel.



Figur 15. Förskjutning mellan skiva och regel.

I ett snitt x verkar kraften F som förskjuter livet från flänsen sträckan u . Kraften i snittet x blir då $F(x)=k \cdot u(x)$ där $u(x)$ beror förutom av x bl.a. på k -modul och längden på elementet. För fallet med P -last på mitten beräknas u med uttrycket

$$u(x) = \frac{Pr}{2D^2EI} \left[- \tanh \frac{DL}{2\beta} \sinh \frac{Dx}{\beta} + \cosh \frac{Dx}{\beta} - 1 \right]$$

där r är avståndet från flänsens (skivans) tyngdpunkt till livets (regelns) tyngdpunkt.

Tabell 3 och 4 visar beräknade förskjutningar och fästonskrafter i snittet $x=L/2$, d.v.s. vid balkände, för olika vägghöjder och k -moduler.

Tabell 3.

Teoretiskt beräknade fästonskrafter för olika skjuvmoduler och vägghöjder. 101-vägg med GN-skiva vid $P=500$ N/m.

k=1000 kN/m			k=2000 kN/m	
Vägghöjd (m)	Förskjutning $u(L/2)$ (mm)	Skruvkraft F (N)	Förskjutning $u(L/2)$ (mm)	Skruvkraft F (N)
3	0.21	210	0.13	260
4	0.25	250	0.14	280
5	0.27	270	0.15	300
6	0.29	290	0.15	300

Tabell 4.

Teoretiskt beräknade fästonskrafter för olika skjuvmoduler och vägghöjder. 101-vägg med GH-skiva vid $P=500$ N/m.

k=2000 kN/m			k=3000 kN/m	
Vägghöjd (m)	Förskjutning $u(L/2)$ (mm)	Skruvkraft F (N)	Förskjutning $u(L/2)$ (mm)	Skruvkraft F (N)
3	0.14	280	0.10	300
4	0.15	300	0.11	330
5	0.16	320	0.11	330
6	0.16	320	0.11	330

Ett övre gränsvärde för skruvkraften tycks ligga runt 300 N varför vi valde att utgå från detta när vi bestämde skjuvmodulen utifrån dragproven Gyproc gjort. I tabell 5 redovisas de ur dragproven beräknade skjuvmodulerna.

Tabell 5.

Sekantmoduler för $F=300$ N beräknade ur dragprovresultat av skruvförband.

GN-skiva		GH-skiva	
Nr.	k-modul (kN/m)	Nr.	k-modul (kN/m)
1	714	1	6000
2	1000	2	1275
3	571	3	5555
4	1250		
5	2500		
6	600		
7	1667		
8	1250		
9	833		
10	1000		
11	882		

Ett medelvärde för GN ger $k=1115$ kN/m vilket är något lägre än tidigare beräknat k . Vi tycker dock att k bör väljas till 1100-1200 kN/m för GN-skivan. När det gäller GH-skivan är det lite svårare. Resultaten från dragproven verkar något höga i jämförelse med resultatet från böjproven varför vi anser att ett k för GH-skiva utifrån det material vi har bör väljas till ca. 2000 kN/m.

På samma sätt som för skruvförbanden togs krafterna fram i limförbanden ($F=c*b_{\text{stål}}*u(x)$ N/m). Böjproven hade gett oss ett c på 47 MN/m³ och dragproven verkade ligga runt 150 kN/m³ varför vi utgick från dessa värden. Resultaten redovisas i tabell 6.

Tabell 6.

Teoretiskt beräknade skjuvkrafter i limfogen för olika skjuvmoduler och vägghöjder. 101-vägg med GN-skiva vid $P=500$ N/m.

c=50 MN/m ³			c=150 MN/m ³		
Vägghöjd (m)	Förskjutning u(L/2) (mm)	Skjuvkraft (N/m)	Förskjutning u(L/2) (mm)	Skjuvkraft (N/m)	
3	0.34	595	0.20	1050	
4	0.48	848	0.24	1260	
5	0.59	1033	0.26	1365	
6	0.67	1173	0.28	1470	

Efter att ha tittat på dragprovresultaten verkar skjuvkraften $F=2000$ N/m lämplig att utgå ifrån. Kraften F multipliceras med längden av limfogen för respektive prov för att skjuvmodulen ska kunna bestämmas ur de uppmätta kurvorna.

Resultaten redovisas i tabell 7.

Tabell 7.

Sekantmoduler för limförband vid skjuvkraft 2000 N/m beräknade ur dragprovresultat.

Nr.	Limlängd (m)	Skjuvkraft (N)	Skjuvmodul (MN/m ³)
1	0.165	330	95.2
2	0.152	304	188.0
3	0.155	310	87.9
4	0.150	300	143.0
5	0.155	310	190.0

Medelvärdet för c blir 140.8 MN/m³. Böjproven gav ett c på 47 MN/m³ men som påpekats innan var utförandet av den limningen inte förstklassig. Att i en riktig väggkonstruktion

uppnå samma klass på limningen som fogarna i dragkropparna verkar heller inte troligt varför ett c-värde någonstans runt 100 MN/m^3 bör vara rimligt.

Ett c på 100 MN/m^3 motsvaras av en skjuvmodul för skruv på knappt 600 kN/m vid normalt skruvavstånd. För att komma upp i samma skjuvmoduler som skruven bör limmet ha minst dubbla skjuvmodulen.

3.5 Sammanfattning av försöksresultat

Tabell 8 nedan visar skillnaden mellan teoretiskt beräknade utböjningar och medelvärden av labbresultat.

Tabell 8.

Jämförelse mellan teoretiskt beräknade och uppmätta värden för $P=500$ N/m. Nedböjningen Y i väggmitt samt förskjutningen u vid balkände.

Väggtyp	Praktiska försök (mm)		Teoretiska beräkningar (mm)		Vald skjuvmodul
	$Y(0)$	$u(L/2)$	$Y(0)$	$u(L/2)$	
101-vägg GN, C200	5.3	0.18	5.8	0.20	1000 kN/m
			5.6	0.19	1100 kN/m
			5.4	0.18	1200 kN/m
101-vägg GN, C100	3.4	0.06	4.4	0.13	1000 kN/m
			4.2	0.12	1100 kN/m
			4.0	0.11	1200 kN/m
101-vägg GN, C200 Boxad	3.2	0.06	3.8	0.14	1000 kN/m
			3.7	0.13	1100 kN/m
			3.6	0.12	1200 kN/m
202-vägg GN, C200	3.5	0.13	4.2	0.19	1000 kN/m
			4.0	0.18	1100 kN/m
			3.9	0.17	1200 kN/m
101-vägg GH, C200	3.0	0.13	3.9	0.13	2000 kN/m
			3.5	0.11	2500 kN/m
			3.2	0.10	3000 kN/m
100-vägg GN, C200	9.2	0.23	8.1	0.23	1000 kN/m
			7.9	0.22	1100 kN/m
			7.8	0.21	1200 kN/m
101-vägg GN, Limmad	8.2	0.33	8.1	0.32	50 MN/m ³
			6.6	0.24	100 MN/m ³
			5.7	0.11	150 MN/m ³

För de valda skjuvmodulerna ligger de beräknade resultaten på säkra sidan med undantag för 100-väggen och den limmade väggen. Vad som skulle hända vid provtryckning av högre väggar är svårt att säga men för att erhålla 'säkrare' värden borde detta vara nästa steg.

4. Känslighetsanalys

4.1 Syfte

Då vår beräkningsmodell består av en rad parametrar såsom effektiv bredd, skruvavstånd, regeldimension m.m. som kan varieras kommer givetsvis resultatet att påverkas av hur man väljer dessa parametrar. För att se hur resultatet förändras vid ändringar av dessa parametrar har vi gjort en känslighetsanalys. Vad vi ville komma fram till var om man kunde förkasta vissa parameterändringar såsom oväsentliga, d.v.s. de påverkar inte resultatet i någon större grad, och få fram andra som ger en markant förändring.

4.2 Metod och resultat

Vi gick till väga så att en parameter varierades medan de andra hölls fasta vid ett bestämt grundvärde. Detta gjordes med hjälp av ett program skrivet i Fortran på PC. Data och resultat lagras på en fil som skrivs ut på printer. För redovisningens skull gjorde vi ett tillägg i programmet så att resultatet kunde plottas. Detta gjordes med hjälp av programmet Chart-Master.

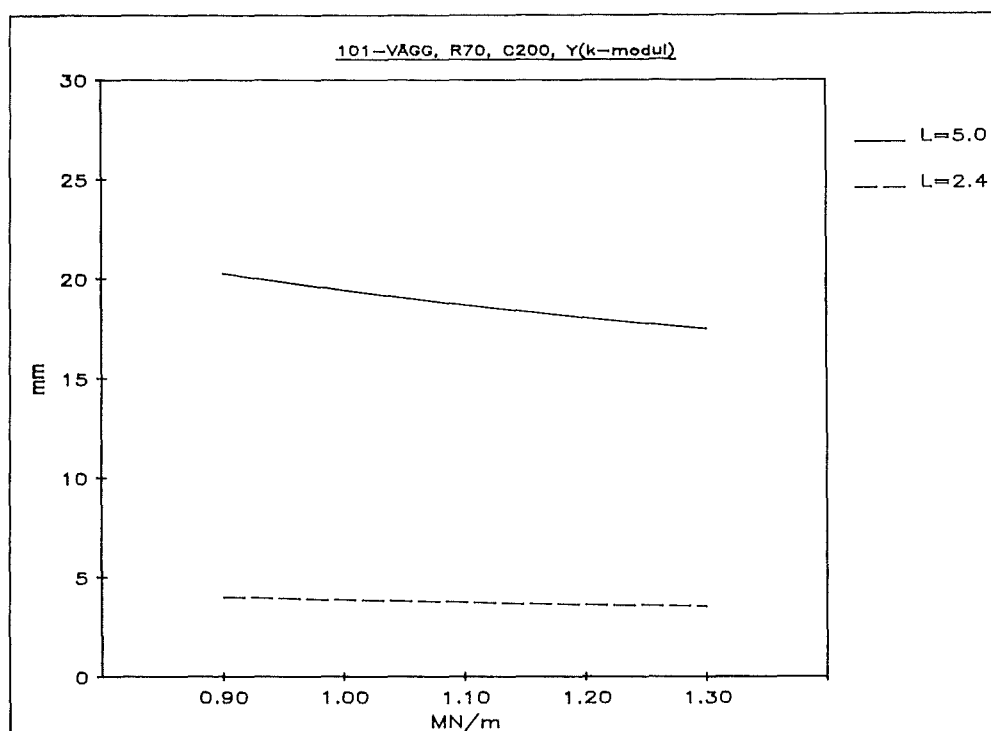
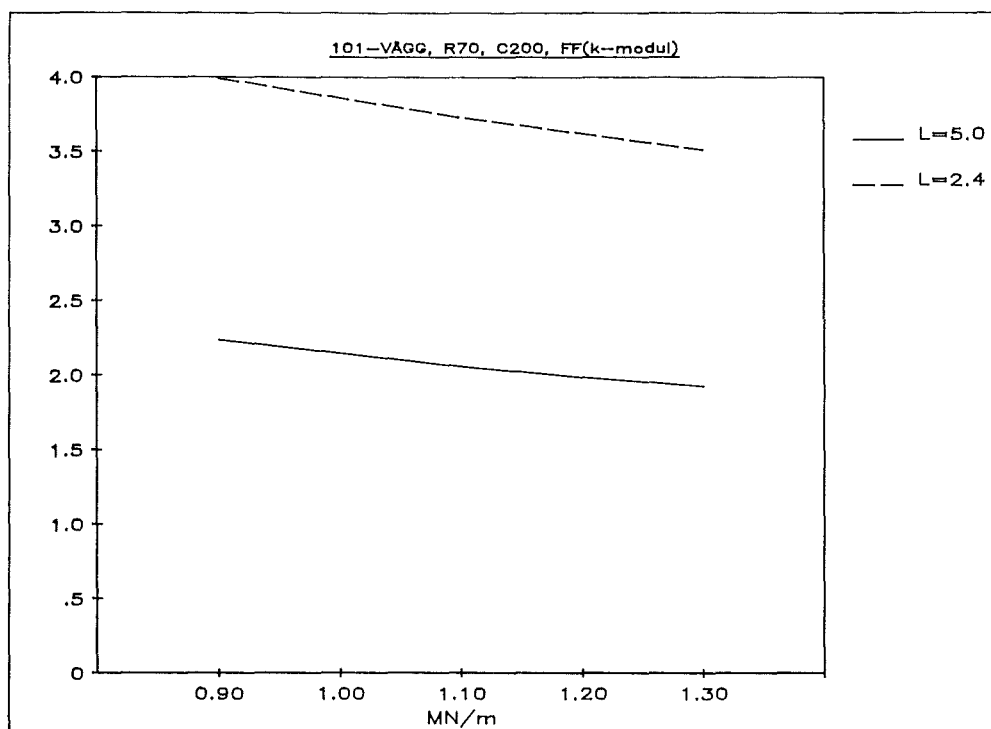
Vid känslighetsanalysen tittade vi på följande parametrars inverkan på resultatet:

1. k-modul, grundvärde valt till $k=1100$ kN/m för GN och $k=2000$ kN/m för GH. För lim är $c=100$ MN/m³
2. Medverkande bredd, regelavstånd som grundvärde
3. Gipsens E-modul, grundvärde valt till 2.7 GPa för och 5.4 GPa för GH
4. Skruvavstånd, grundvärde valt till $c=0.2$ m.

De tre första kan anses som osäkra parametrar. Att E-modulen anses som osäker beror på att Gyproc bestämt dem genom böjprov som haft en påtaglig spridning.

Vägghöjderna valdes till 2.4 och 5.0 meter för att se skillnaden mellan hög och låg vägg. För varje parameter tittade vi sen på hur utböjningen och förstoringsfaktorn förändrades för en ändring. Förstoringsfaktorn FF är i detta sammanhang mycket intressant eftersom den talar om hur samverkan mellan regel och skiva påverkas. FF=1 innebär fullständig samverkan.

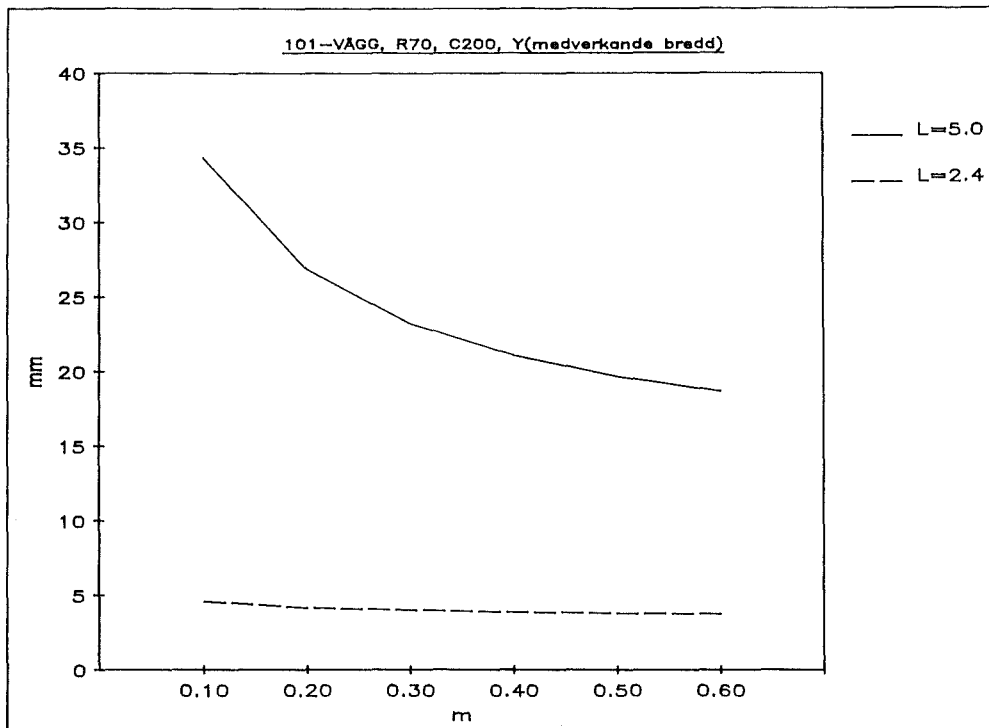
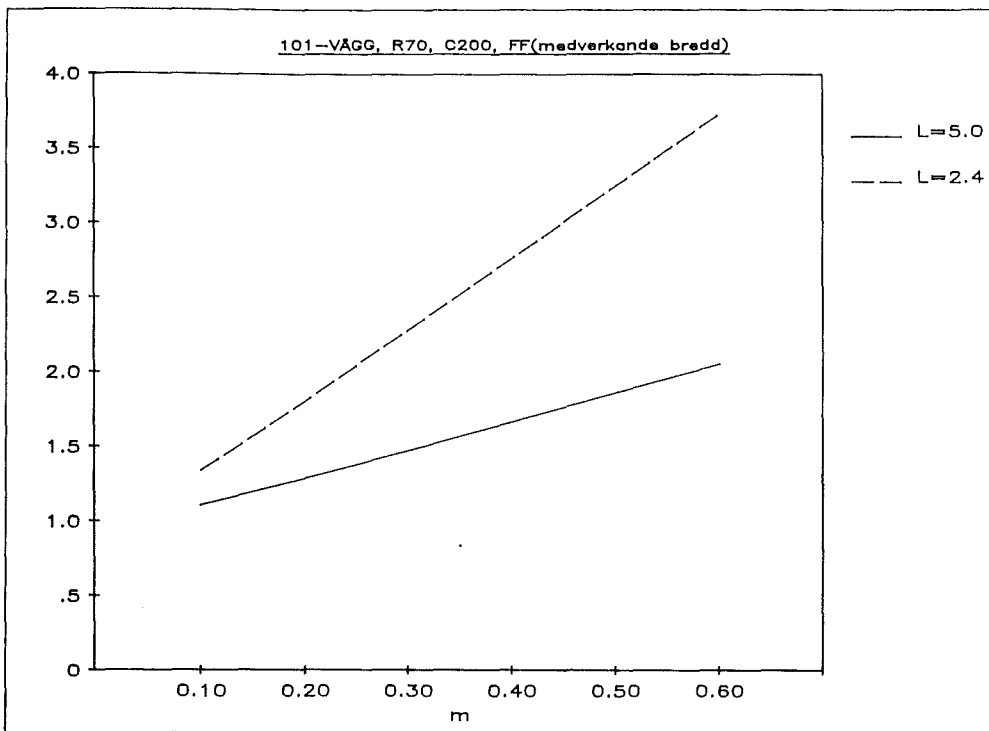
Nedan följer ett antal plottar från känslighetsanalysen med kommentarer. För plottarna gäller grundvärdet för alla parametrar utom den som varieras. Som skiva valde vi Gyprocs normalskiva GN och som regel valdes R70 c 600. Kraften är 500N/m.



Figur 15. Känslighetsanalys av k-modul för 101-vägg.

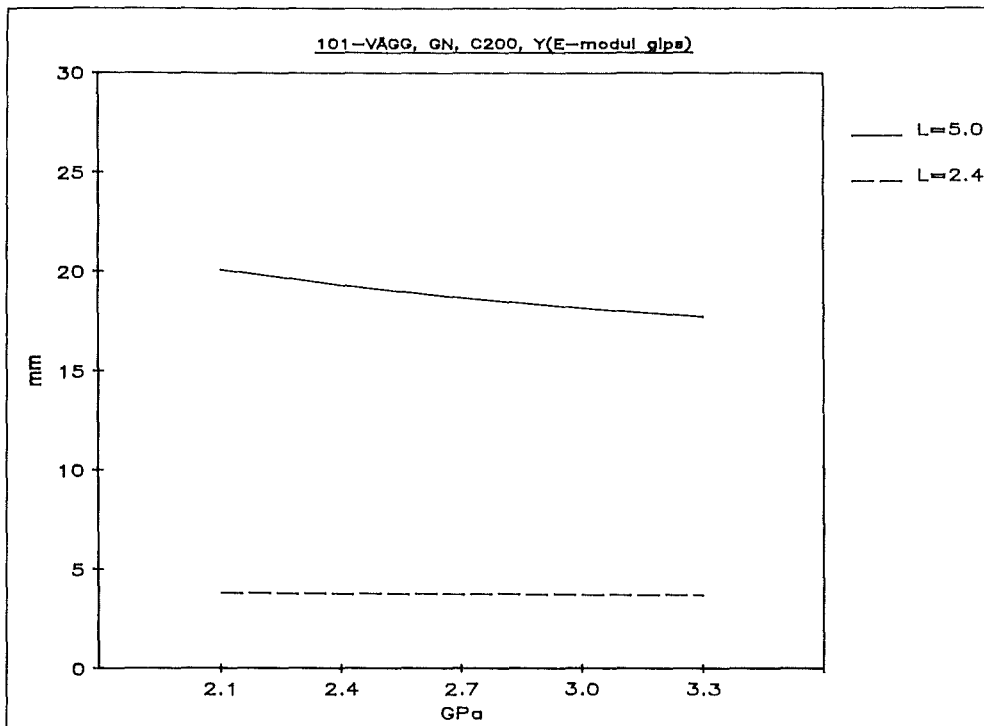
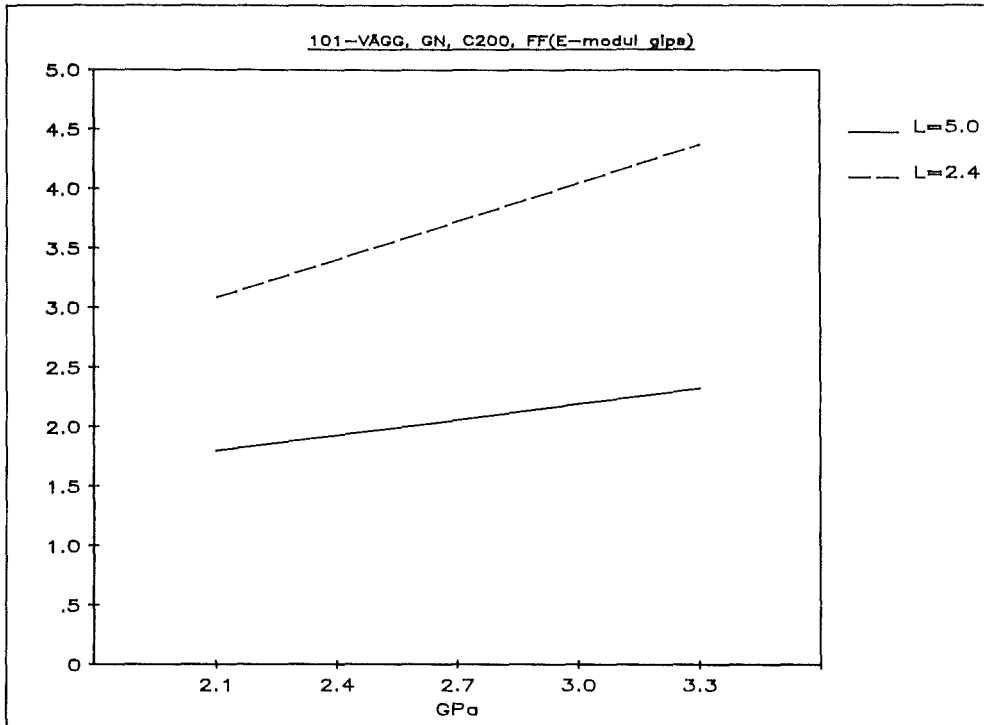
För valet av k-modul är beräkningsmodellen relativt okänslig. En ändring på 10 % av k-modulen resulterar i en förändring på ca. 3 % för nedböjningen Y och förstöringsfaktorn FF. På höga väggar är dock skillnaden märkbar.

För 100-väggen är skillnaden inte större än 1-2 % för samma förändring.



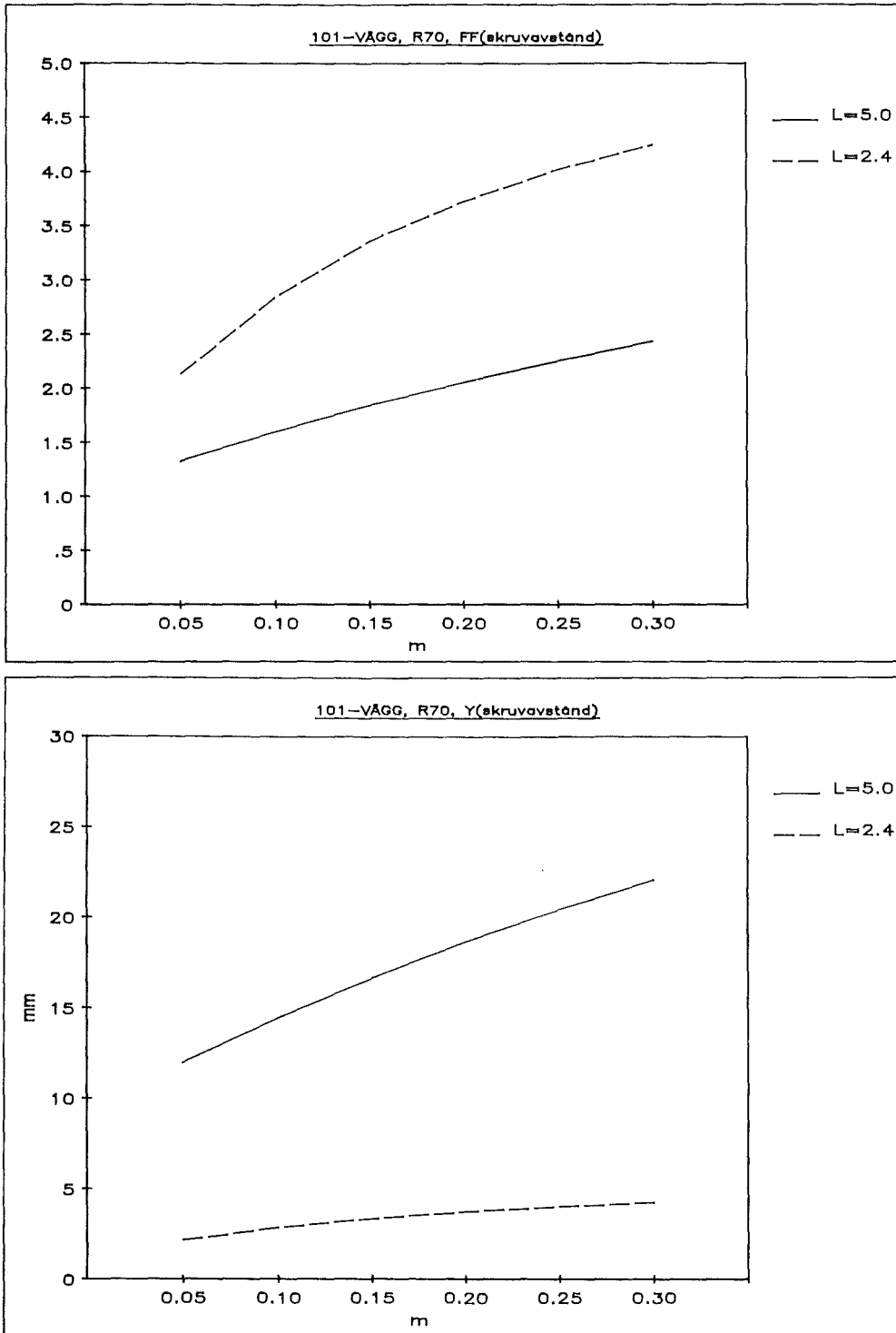
Figur 16. Känslighetsanalys av medverkande bredd för 101-vägg.

När det gäller den medverkande bredden hos skivan som tillgodoräknas är modellen lite känsligare. En sänkning från 0.6 till 0.55 m ger en minskning av förstoringstorn på 5-7 % där det högre värdet gäller för den lägre väggen. Nedböjningen påverkas dock inte mer än ca. 2 %. Att använda regelavståndet som medverkande bredd verkar vettigt både utifrån BBK-79 och våra försök.



Figur 17. Känslighetsanalys av gipsens E-modul.

För E-modul gäller samma som för medverkande bredd. En minskning på 10 % ger 7-8 % större förstöringsfaktor men bara ca. 2 % större utböjning.

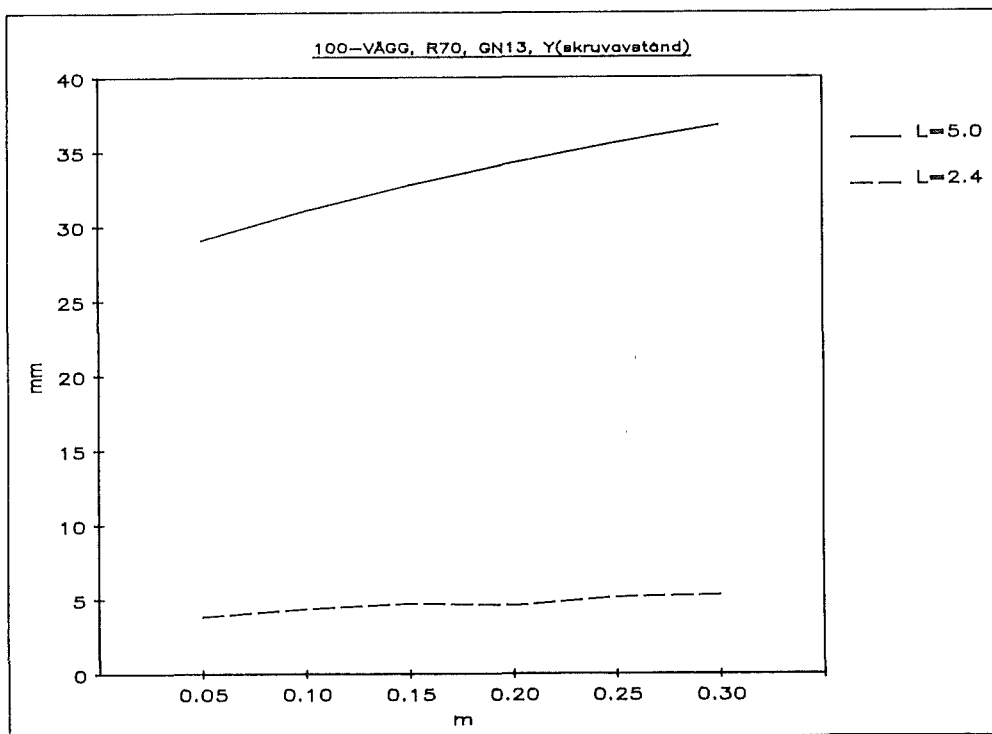


Figur 18. Känslighetsanalys av skruvavstånd för 101-vägg.

Skruvavstånden är mycket intressanta eftersom det är något som kan påverkas. En minskning från 0.15 m till 0.1 m ger än förändring på ca 15 % både för förstöringsfaktorn och nedböjningen. 100-väggen är i detta fall något mindre känslig och minskningen blir 6-7 %.

Allmänt kan sägas om ovanstående att en låg vägg är mycket okänslig för förändringar medan en hög vägg blir mycket känslig om man ser till utböjningen. Att förstoringsfaktorn är något känsligare för en kort vägg än för en hög var kanske det enda som förvånade oss. Detta innebär ju att samverkan mellan delarna har större betydelse för en kort vägg än för en hög.

För 100-väggen ser kurvorna likadana ut. Kurvan för förstoringsfaktorn ligger lägre och är något flackare medan nedböjningskurvan av förklarliga skäl ligger högre upp. Generellt kan sägas att samma förändringar av en variabel som ovan påverkar nedböjningen och förstoringsfaktorn något mindre vilket innebär att 100-väggen är okänsligare för förändringar. Figur 19. visar förstoringsfaktorn som funktion av skruvavstånd för 100-väggen.



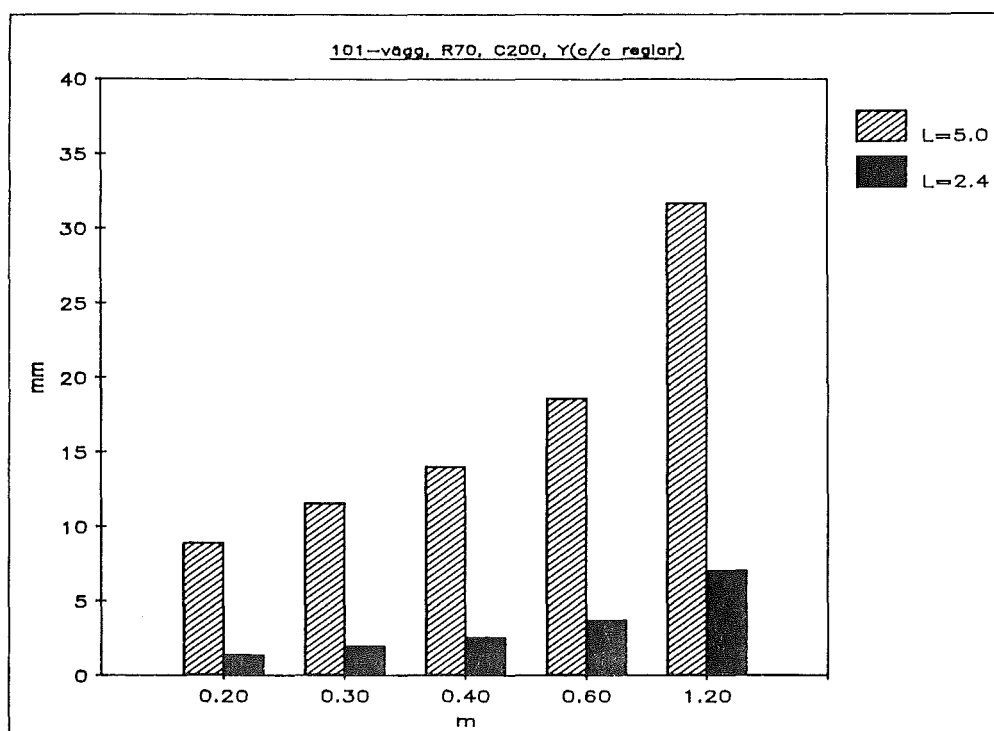
Figur 19. Känslighetsanalys av skruvavstånd för 100-vägg.

Det som ligger närmast till hands om en styvare väggkonstruktion behövs är att byta ingående delar mot styvare eller att förändra konstruktionen. Några av de möjlig-

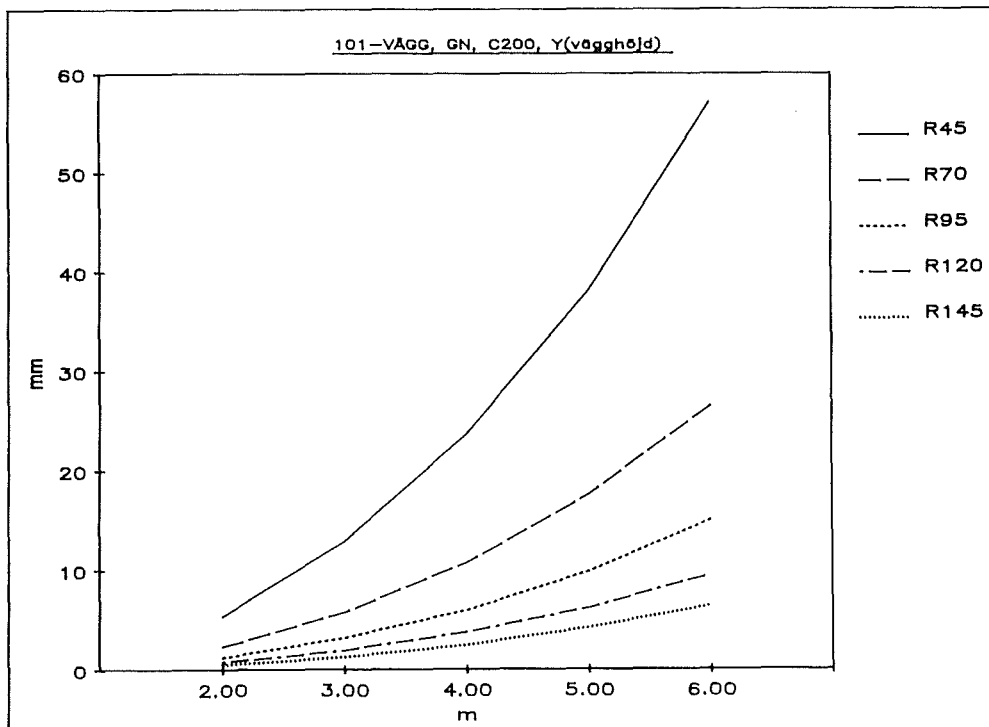
heter som finns och som vi har tittat på är följande:

1. Tätare regler
2. Större regeldimension
3. Byt GN-skivan till en GH-skiva
4. Dubbla skivlag
5. Boxa reglarna
6. Limma skivorna mot reglarna

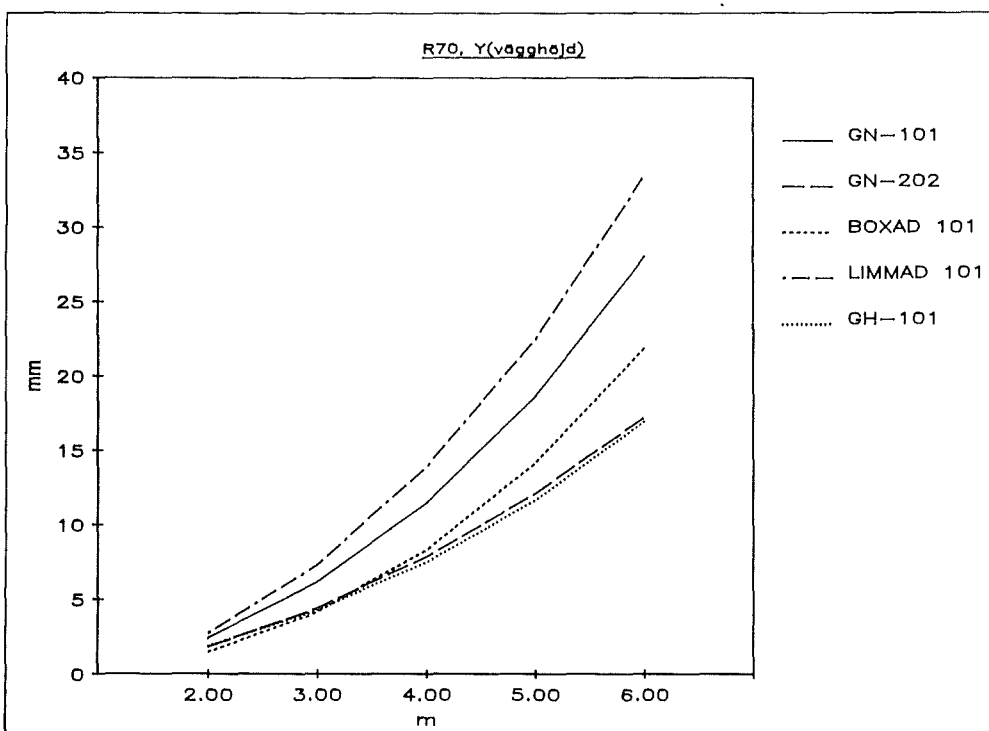
Nedan visas plottar på dessa möjligheter men några kombinationer av ovanstående redovisas inte. För alla parametrar gäller grundvärdena enligt ovan.



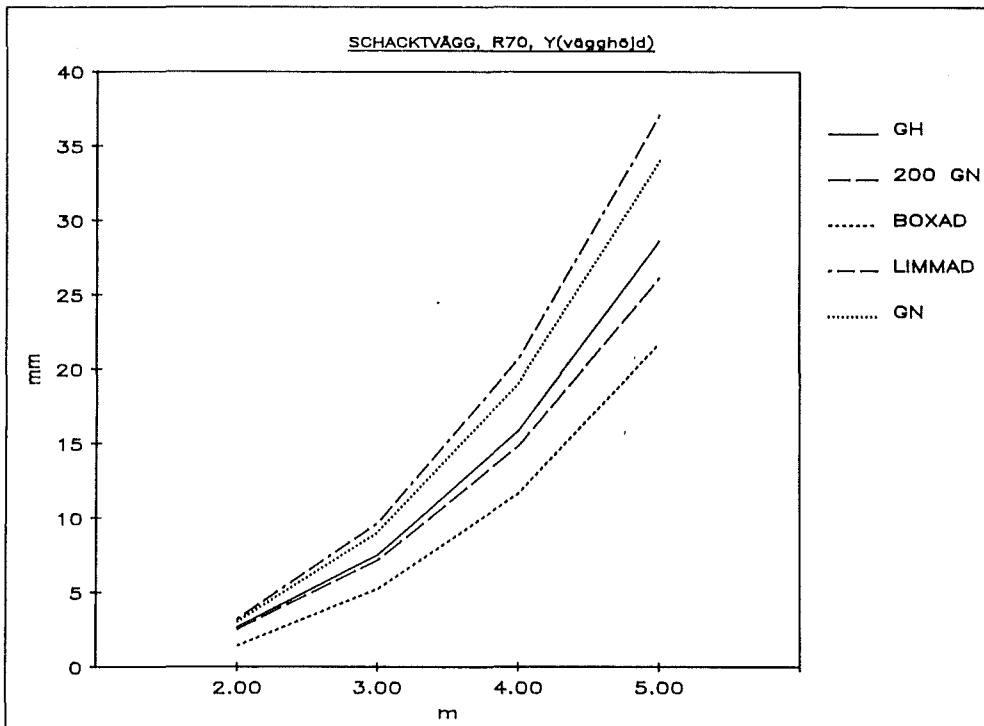
Figur 20. Utböjning för olika regelavstånd. 101-vägg.



Figur 21. Utböjning för olika regeldimensioner. 101-vägg



Figur 22. Utböjning för olika väggkonstruktioner.
101-väggar och 202-väggar.



Figur 23. Utböjning för olika väggkonstruktioner.
Schaktväggar.

Det som kan konstateras av ovanstående är att limmet som användes inte kan användas i praktiken. Bättre lim finns säkert. Något annat som var intressant är att boxad väggkonstruktion skär 202-väggen och GH-väggen vid en höjd av ca. 3.5 meter, se figur 21. Denna effekt uppkommer inte för schaktväggen, se figur 22. I övrigt var resultaten väntade.

5. Sammanfattning

Detta examensarbete gick ut på att hitta en beräkningsmodell för icke bärande innerväggar av gips på stålregelstomme som utsätts för i första hand en linjelast mitt över väggen. Vi skulle också ta reda på hur enskilda parametrar påverkar väggens styvhet.

Efter våra försök anser vi att vi har en bra modell för beräkning av låga väggar men vad som händer vid högre konstruktioner vet vi inte riktigt.

När det gäller enskilda materialparametrar har vi gjort en del antagande vid känslighetsanalysen. T.ex. har vi antagit att skjuvmodulen för en skruv genom 2 skivor är samma som för en skiva m.m.

De flesta resultat från känslighetsanalysen är ej häpnadsväckande och kunde ha förutsatts t.ex. att vi får en styvare vägg vid en tätare skruvning. Vad som kan vara intressant i den verkliga produktionen är hur mycket tätare vi måste skruva för att erhålla en vägg med tillräcklig styvhet. Detta kan sedan jämföras med något annat sätt att styva upp väggen t.ex. kraftigare reglar. Dessa kombinationer tenderar att bli oändliga. Här får sunt förnuft och "know how" hos personen som jobbar med detta komma in för att en vettig produkt ska erhållas.

6. Referenser

Gyproc Handbok Lättbyggnadsteknik 1986 3:e upplagan

Om sammansatta balkar och pelare med särskild hänsyn till spikade träkonstruktioner ,CTH:s handlingar nr. 88 1949

Stål och träkonstruktioner BK FKII LTH 1987

Träkonstruktioner Beregning SBI Anvisning 135, Statens Byggeforskningsinstitut 1983 (Danmark)

Bilaga 1

Resultat från böjprov

kN

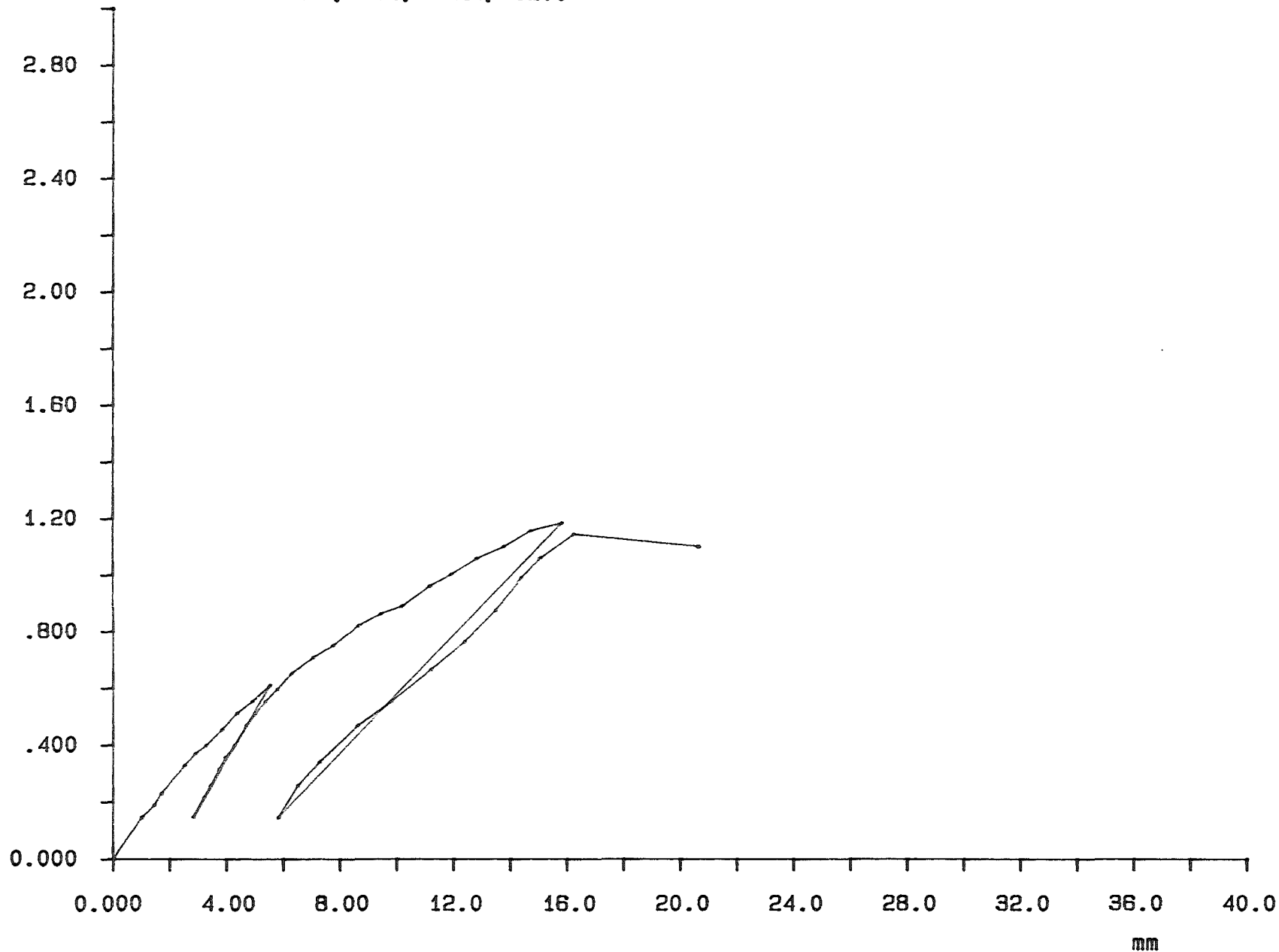
101-VÄGG, R70, GN13, C200

29 JUNI 1988

14: 29: 09

FILENAME: 1A

X = 28 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

101-VÄGG, R70, GN13, C200

22 JUNI 1988

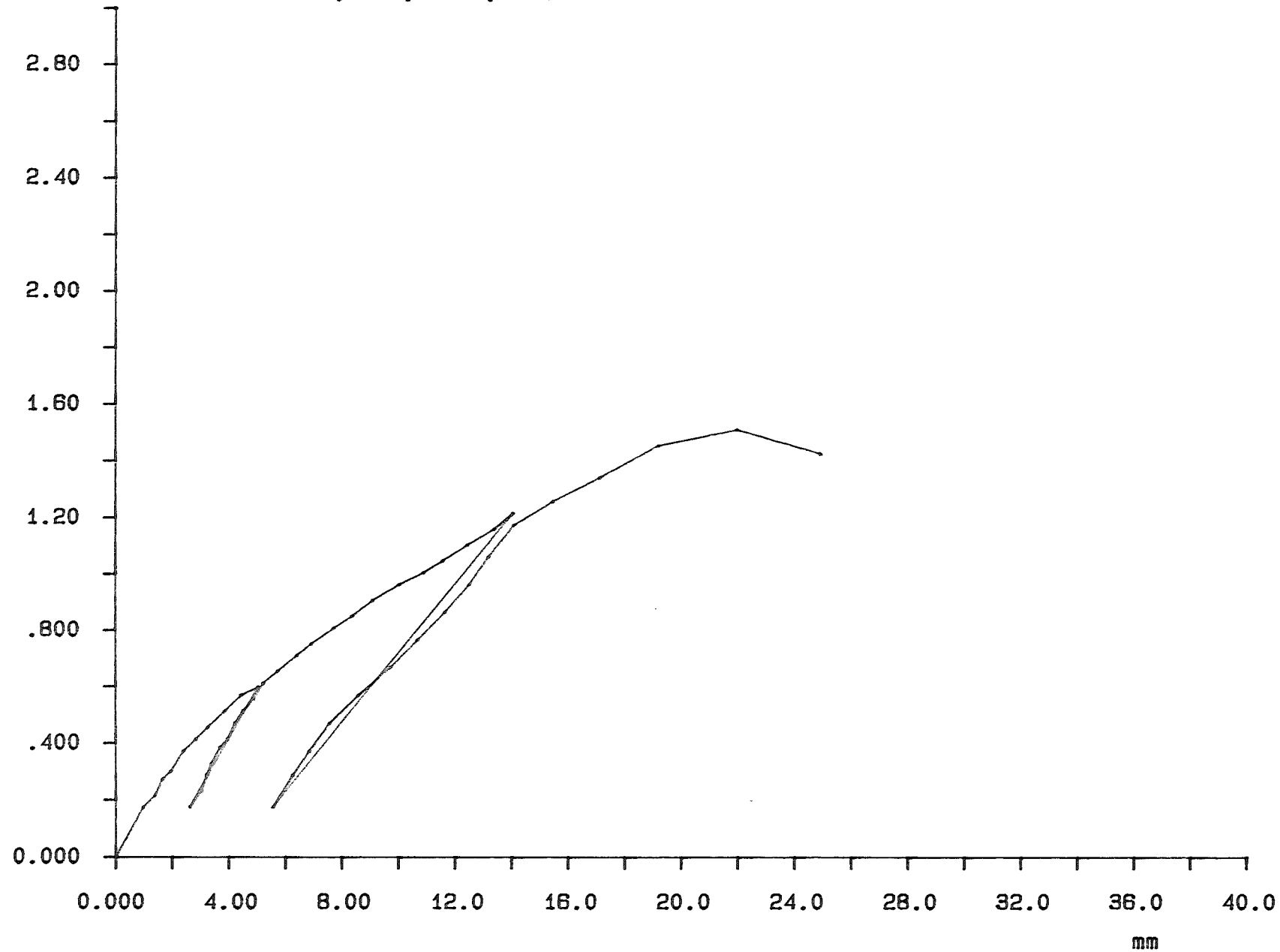
11: 41: 03

FILENAME: A2

DEFEKT

X = 28 27 -1 -1 SUM

Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

KN

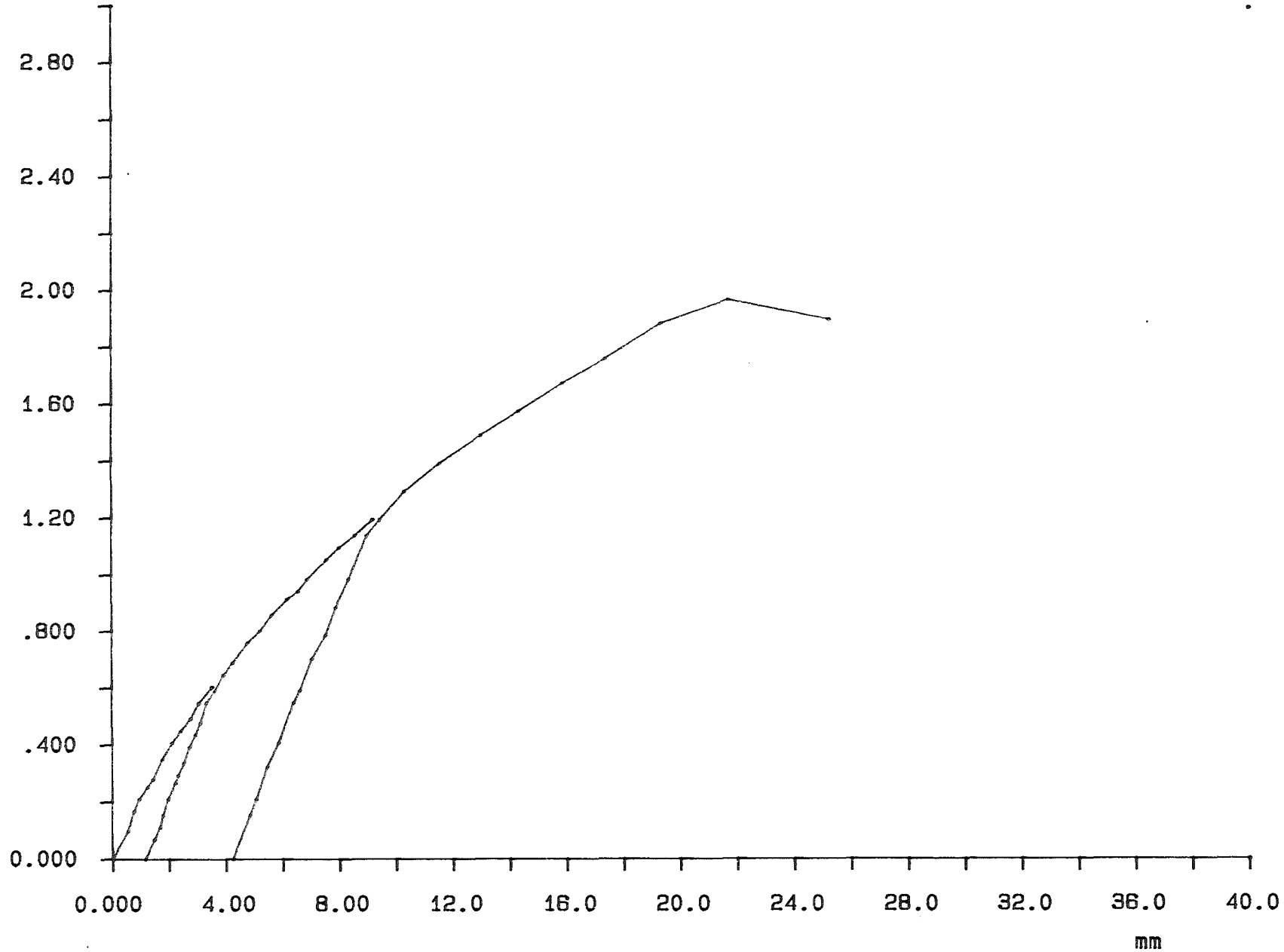
101-VÄGG, R70, 6H13, C200

22 JUNI 1988

11: 10: 46

FILENAME: B2BB

X = 28 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

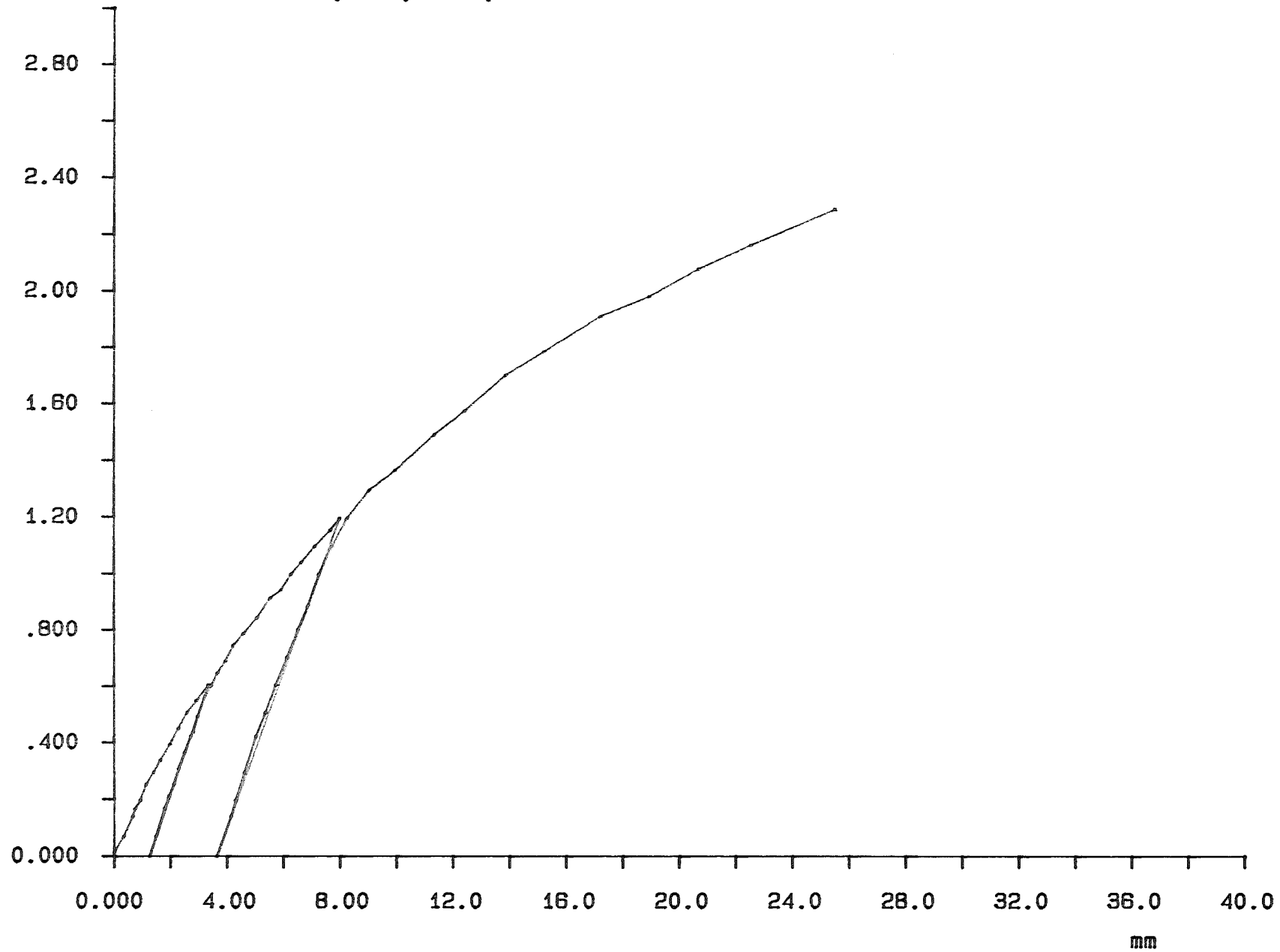
101-VÄGG, R70, GH13, C200

22 JUNI 1988

11: 48: 56

FILENAME: B10CC

X = 28 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RIIA PLOT

kN

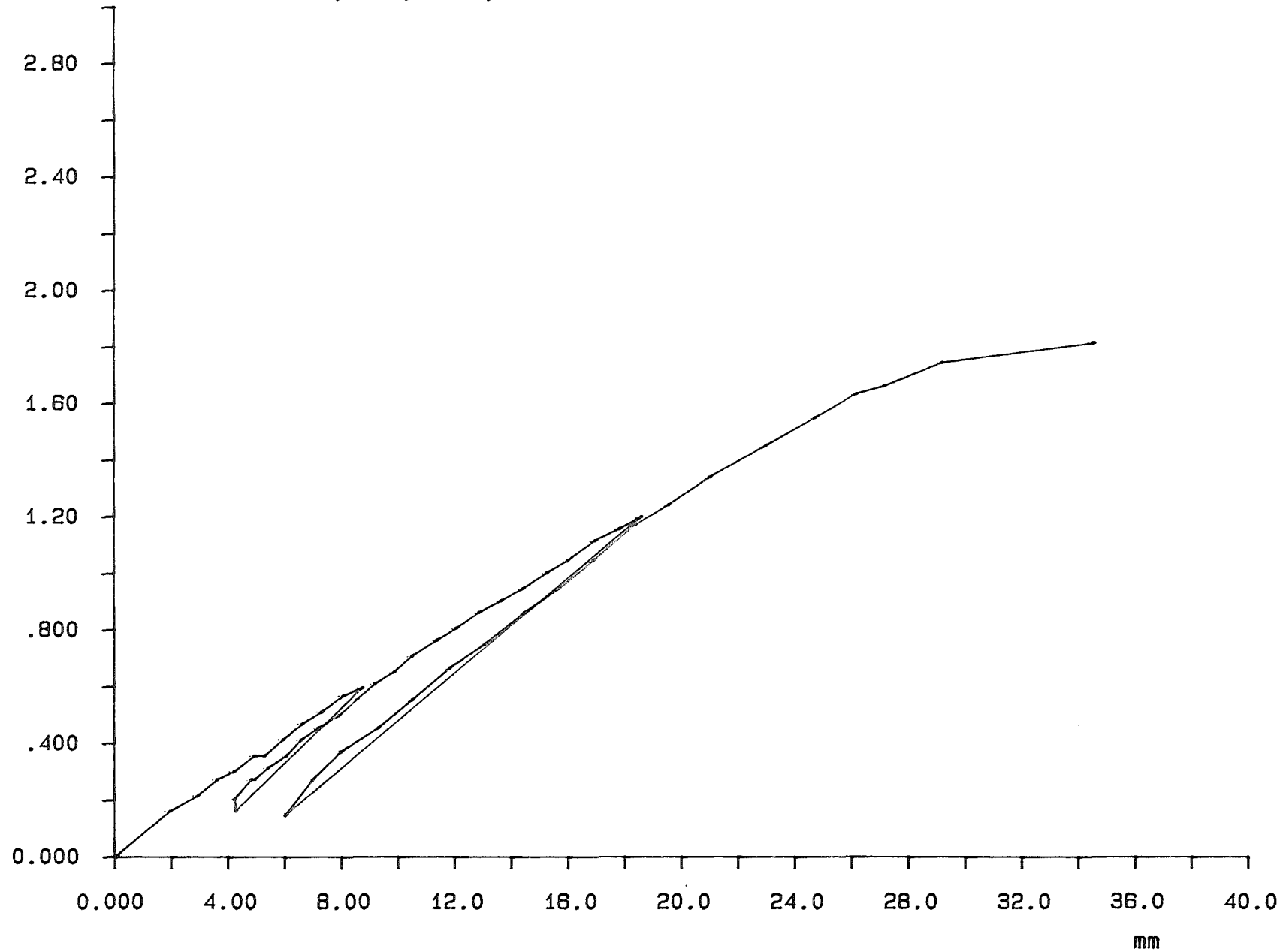
101-VÄGG, R70, GN13, LIMMAD

21 JUNI 1988

15: 37: 42

FILENAME: C2

X =28 Y = 1



RITA PLOT

kN

101-VÄGG, R70, GN13, LIMMAD

22 JUNI 1988

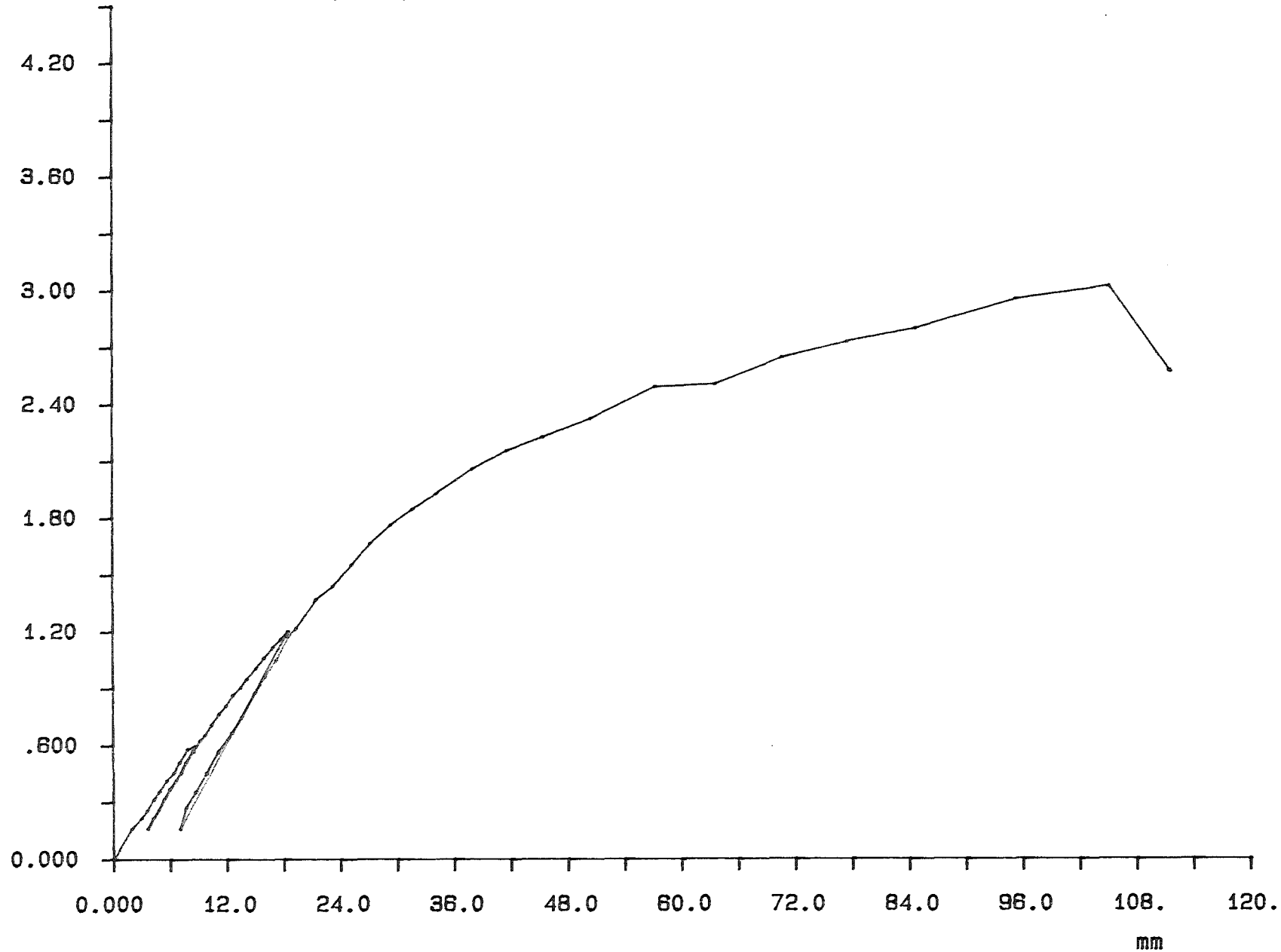
13: 49: 25

FILENAME: C3

H=21h

X = 29 27 -1 -1 SUM

Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

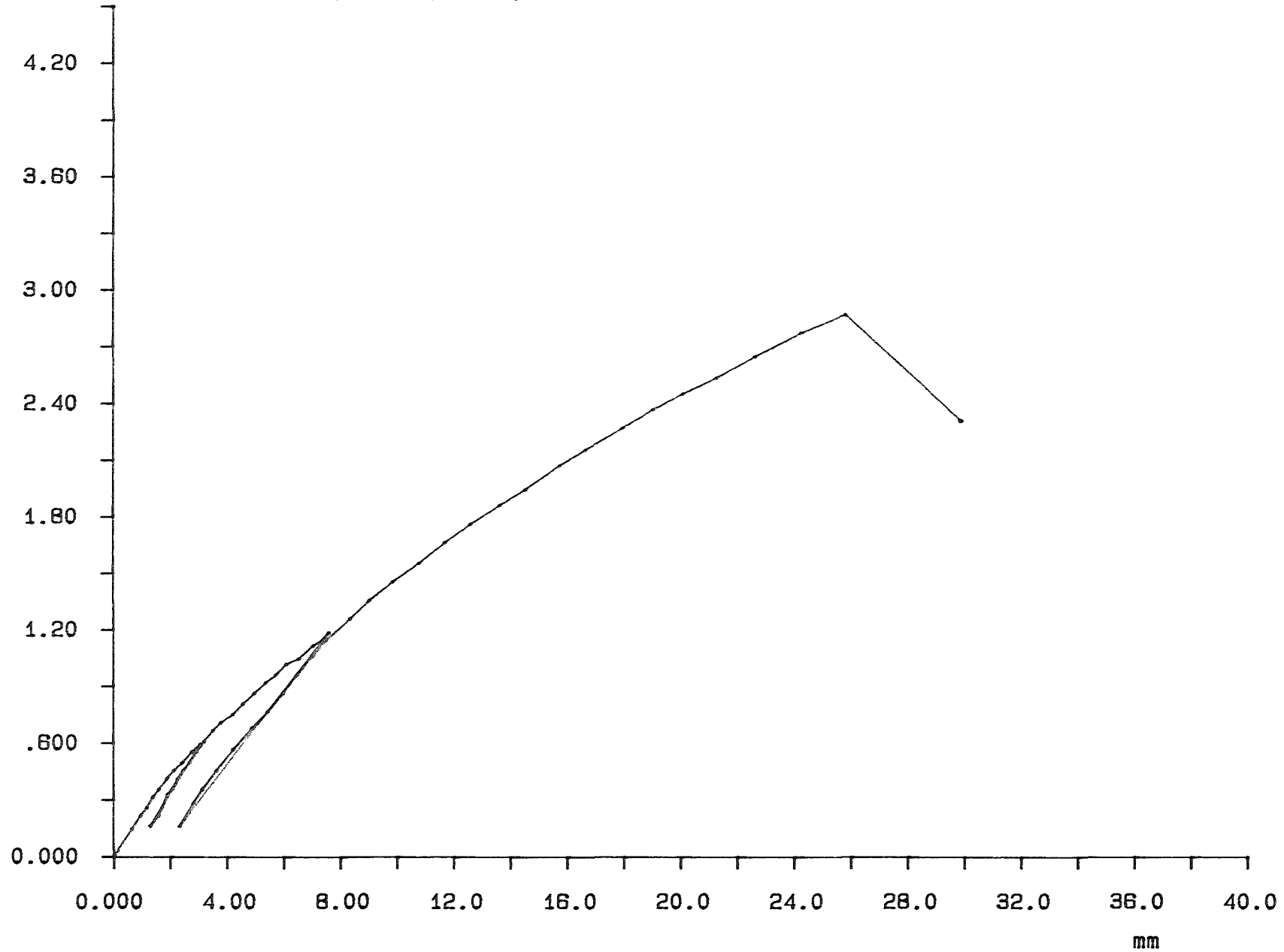
101-VÄGG, R70*2, GN13, C200

22 JUNI 1988

10:36:28

FILENAME: D1

X = 26 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



BITA PLOT

kN

101-VÄGG, R70*2, GN13, C200

22 JUNI 1988

10: 52: 00

FILENAME: D2

X =26 Y = 1

4.20

3.60

3.00

2.40

1.80

1.20

.600

0.000

0.000

4.00

8.00

12.0

16.0

20.0

24.0

28.0

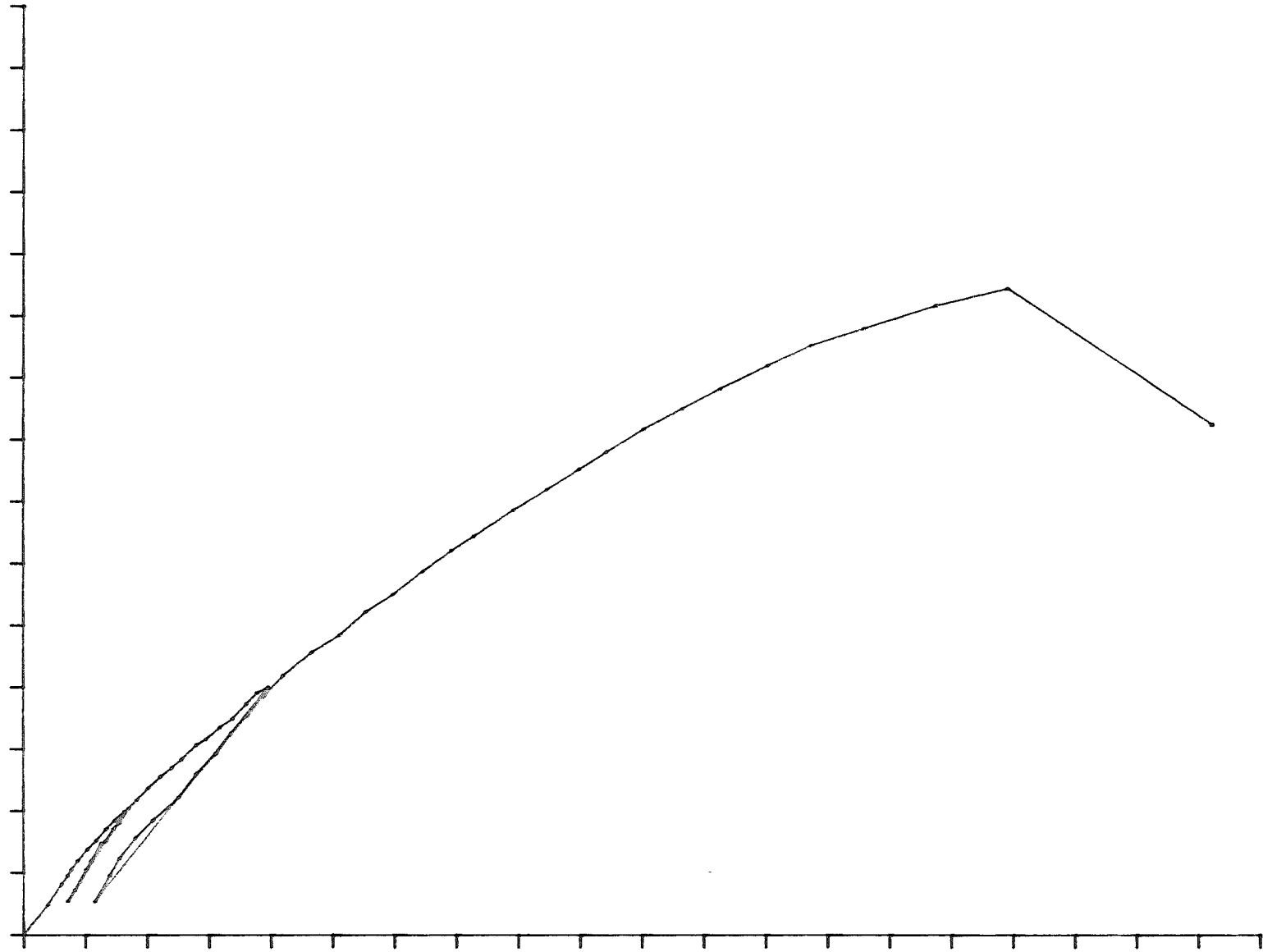
32.0

36.0

40.0

mm

RITA PLOT



kN

101-VÄGG, R70*2, GN13, C200

22 JUNI 1988

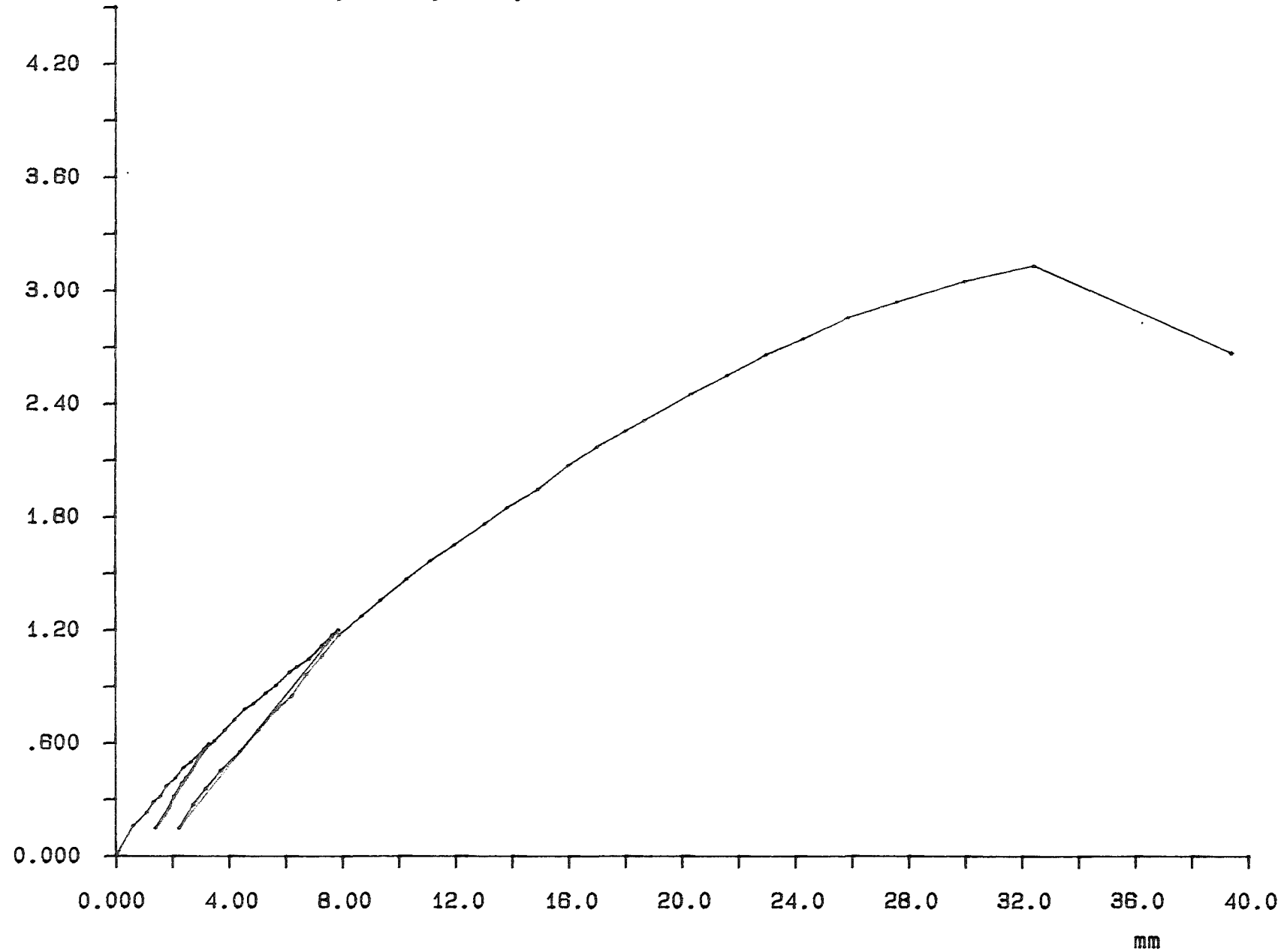
10: 21: 47

FILENAME: D3

BOXAD

X = 28 27 -1 -1 SUM

Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

KN

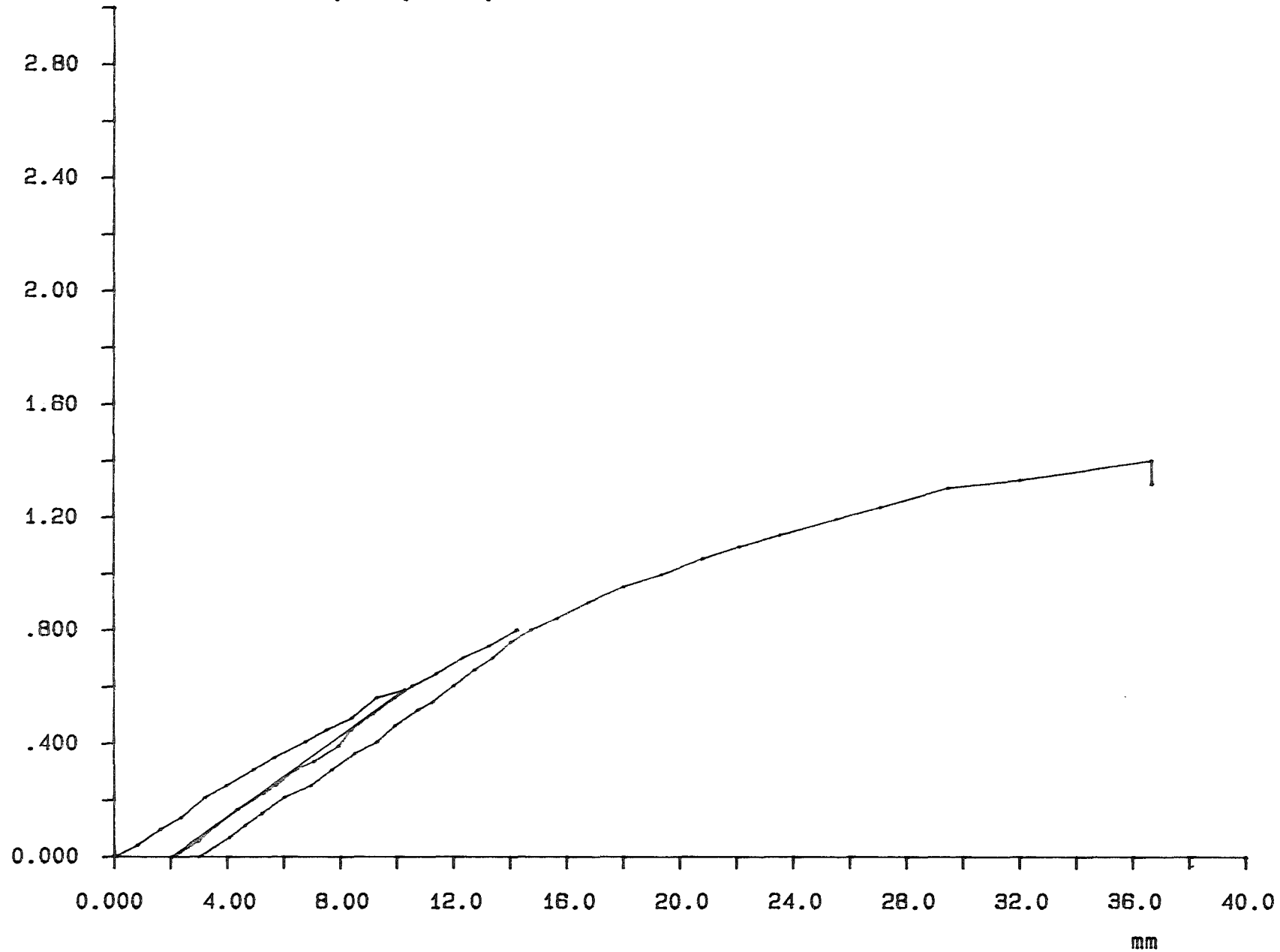
100-VÄGG, R70, GN13, C200

22 JUNI 1988

11: 20: 59

FILENAME: E1B

X = 28 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

100-VÄGG, R70, GN13, C200

22 JUNI 1988

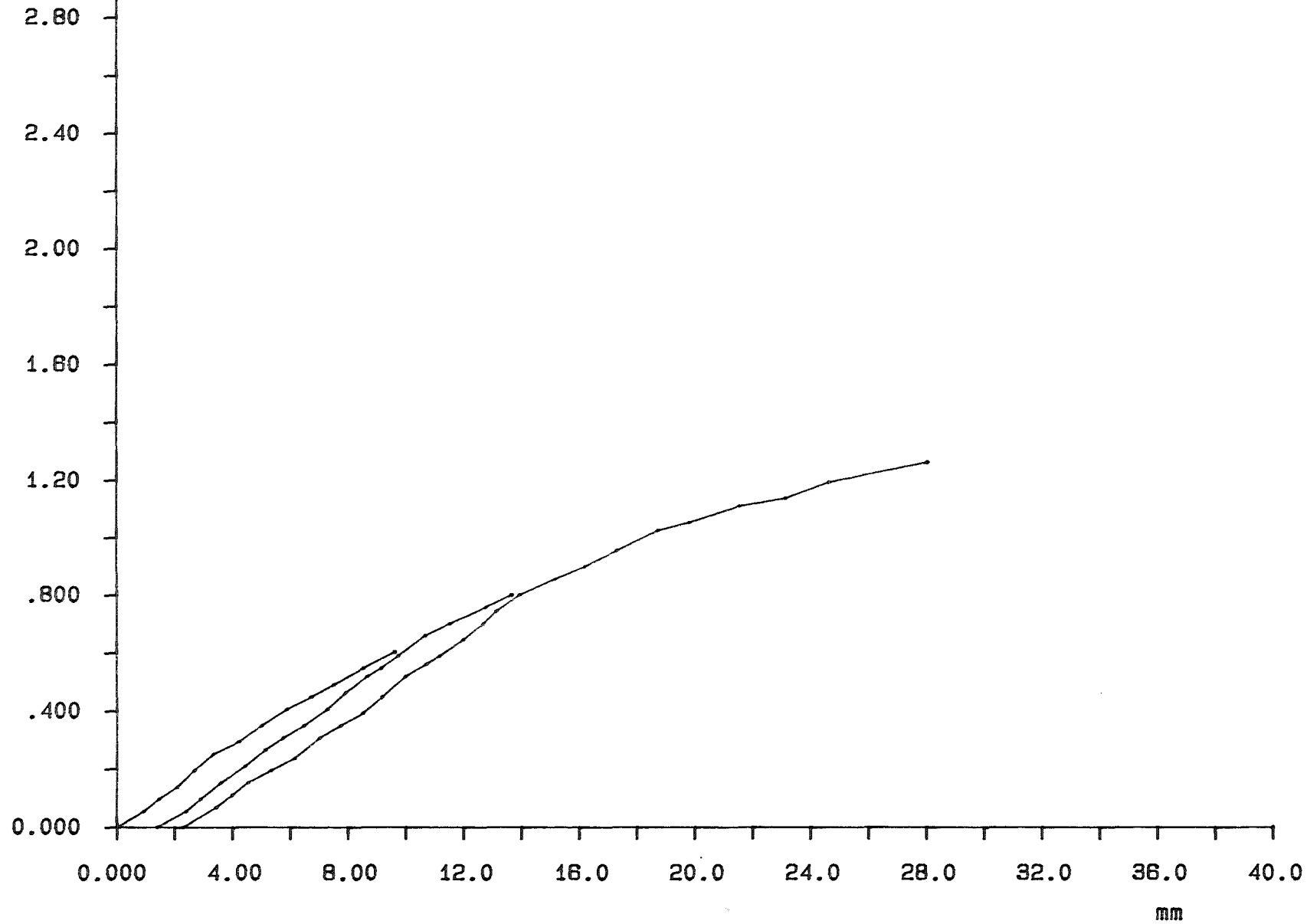
11: 32: 00

FILENAME: E2CCC

TRYCKT 26GR.

X = 28 27 -1 -1 SUM

Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

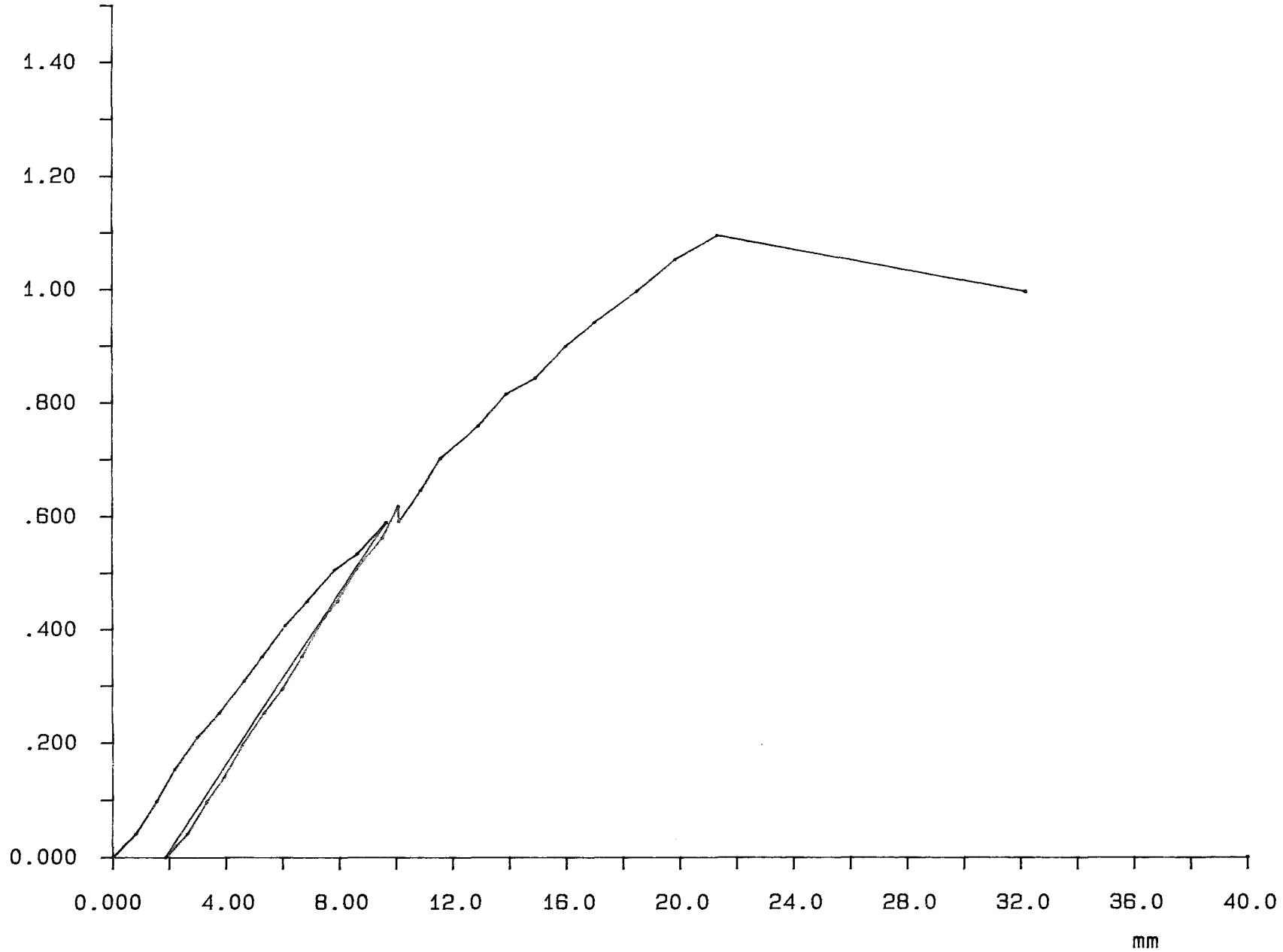
kN

SCHAKTVÄGG E3A

13 JUNI 1988
15: 15: 01

FILENAME: E3A

X = 28 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



kN

202-VÄGG, R70, GN13, C200

29 JUNI 1988

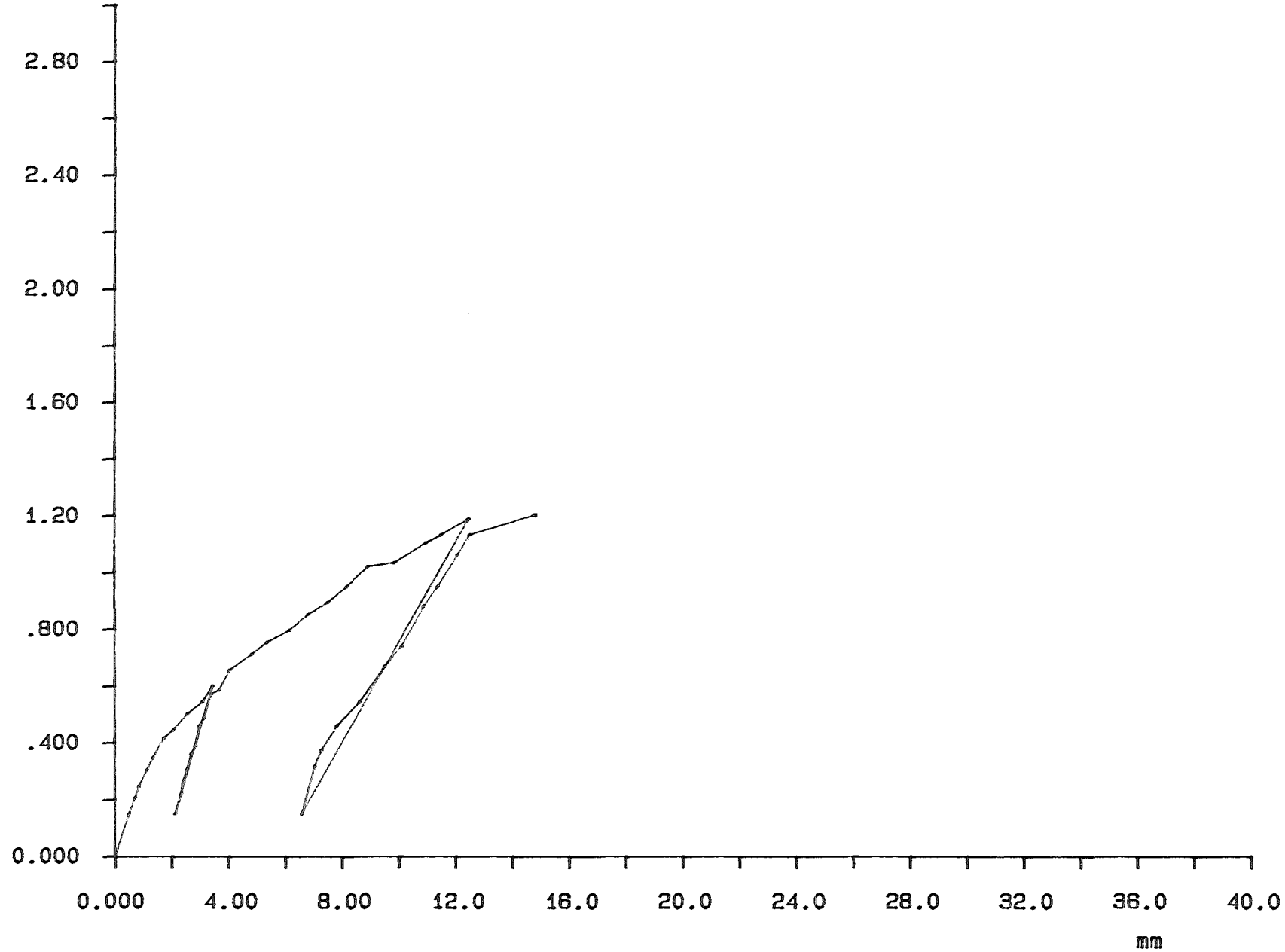
14: 16: 25

FILENAME: 3A

EJ AVS.

X = 28 27 -1 -1 SUM

Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

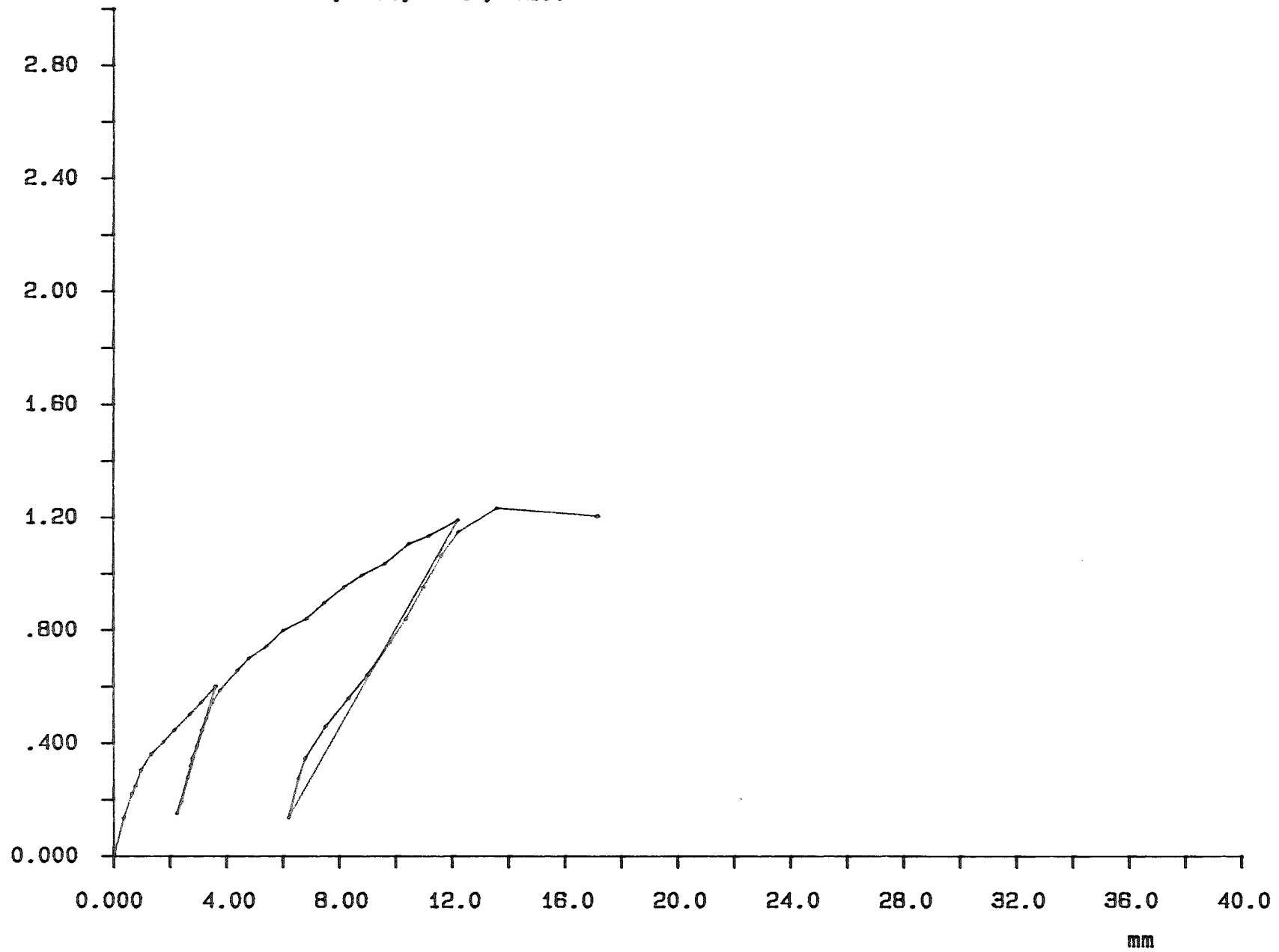
202-VÄGG, R70, GN13, C200

29 JUNI 1988

14: 22: 31

FILENAME: 3B

X = 29 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

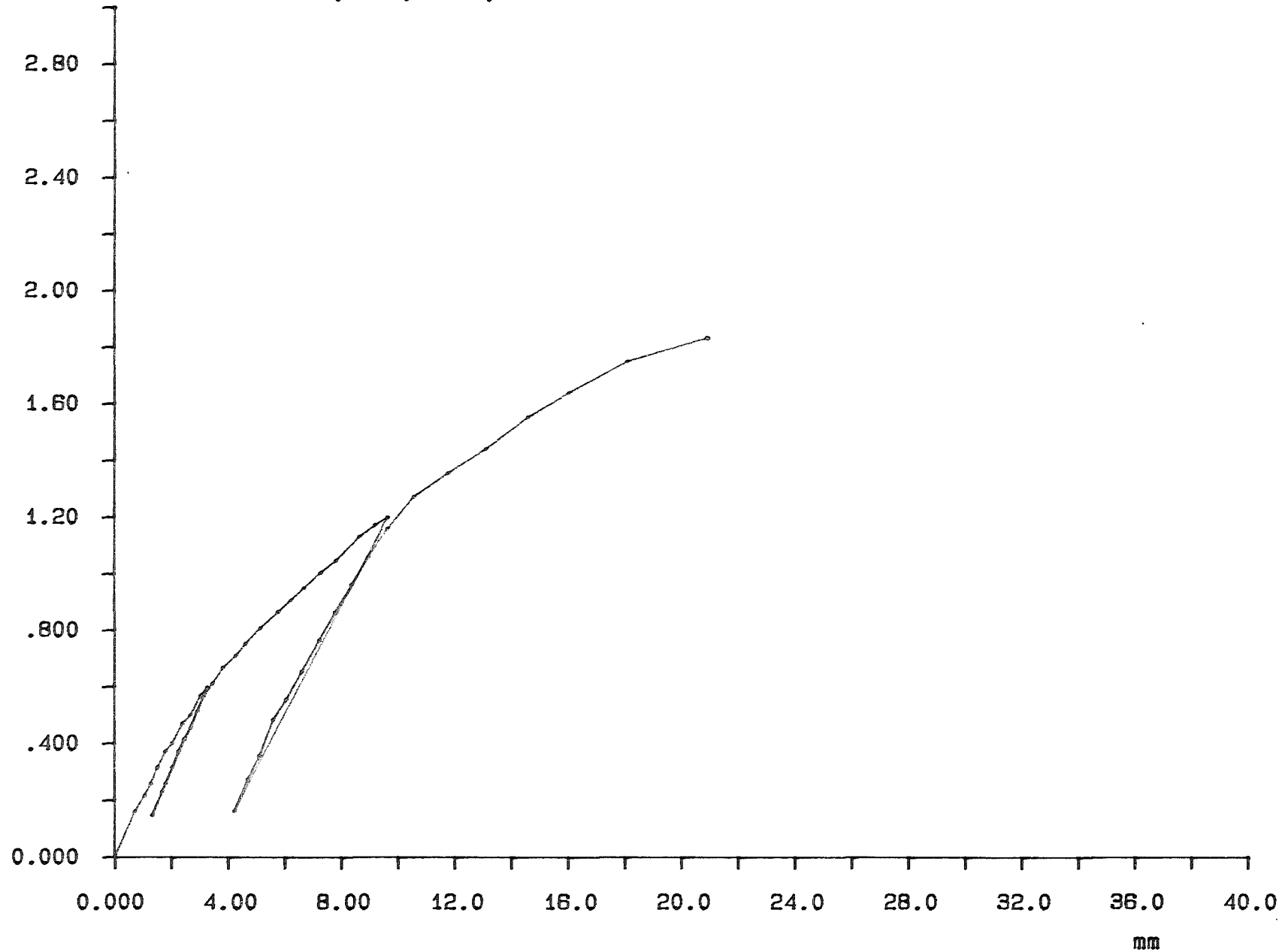
101-VÄGG, R70, GN13, C100

29 JUNI 1988

14: 01: 53

FILENAME: 2A

X = 28 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM



RITA PLOT

kN

101-VÄGG, R70, GN13, C100

29 JUNI 1988

14: 12: 45

FILENAME: 2B

X = 26 27 -1 -1 SUM
Y = 1 -1 -1 -1 SUM

