LUND UNIVERSITY

Krypning hos högtrycksånghärdad gasbetong

Nielsen, Anders

1968

Link to publication

Citation for published version (APA):
Nielsen, A. (1968). *Krypning hos högtrycksånghärdad gasbetong*. [Licentiatavhandling, Avdelningen för Byggnadsmaterial]. Tid. Institutionen för byggnadsteknik, Tekniska högskolan i Lund.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

INSTITUTIONEN FÖR BYGGNADSTEKNIK
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

DIVISION OF BUILDING TECHNOLOGY
THE LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

KRYPNING HOS HÖGTRYCKSÅNGHÄRDAD GASBETONG

CREEP OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

ANDERS NIELSEN

BULLETIN 4

LUND, SWEDEN 1968

INSTITUTIONEN FÖR BYGGNADSTEKNIK
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND

DIVISION OF BUILDING TECHNOLOGY
THE LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

KRYPNING HOS HÖGTRYCKSÅNGHÄRDAD GASBETONG

CREEP OF AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

ANDERS NIELSEN

BULLETIN 4

LUND, SWEDEN 1968

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
			[illegible]
		[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Bulletin nr 4

ERRATA

Sid	Rad	Står	Läs
12	10	krypningen	krympningen
16	30	proportionellt mot	en funktion av
45	5	trärarmeringen	tvärarmeringen
63	21	influerar	ingår i
70	3	6	b

Tabell	Kolumn	Står	Läs
2.1 s.2	8	0. 8	0.18
5.1	6	0.95	10.95
6.3	6	0.98	0.98
			0.51
		1.07	1.07
6.7	8	0.0044	-0.0044
7.1	2,3	$\bar{E}\ 10^{-3}$	$\bar{E}\ 10^{+3}$

INNEHÅLL

sid

Förord 6

1. Inledning

1.1. Undersökningens syfte 7

1.2. Bakgrund 7

1.3. Tillverkning av gasbetong 8

1.4. Struktur och materialdata 9

2. Teori

2.1. Tidigare försök 12

2.2. Krypmodell 14

2.3. Influerande faktorer 15

2.3.1. Faktorindelning 16

2.3.2. Fabrikationsfaktorer 17

2.3.3. Klimatfaktorer 17

2.3.4. Belastningsfaktorer 18

3. Allmänt om försöken

3.1. Försöksöversikt 19

3.2. Val av krypprovningsmetod 19

4. Försök A. Orienterande undersökning

4.1. Försöksplanering 22

4.1.1. Syfte 22

4.1.2. Uppläggning 22

4.1.3. Material 23

4.1.4. Provkroppsuttagning 23

4.2. Utförande 24

4.2.1. Konditionering och försegling 24

4.2.2. Böjdraghållfasthet 24

4.2.3. Krypning och återhämtning ... 25

4.3. Resultat 26

4.3.1. Fuktkvot och volymvikt 26

4.3.2. Böjdraghållfasthet och elasticitetsmodul 26

4.3.3. Krypningens storleksordning och tidsberoende 27

sid

4.3.4. Krypning och belastnings-
intensitet 28
4.3.5. Spridningen på kryptöjningarna 29
4.3.6. Återhämtning 30

5. Försök B. Orienterande undersökning av krypning under uttorkning
5.1. Försöksplanering 32
5.1.1. Syfte 32
5.1.2. Teori 32
5.1.3. Uppläggning 32
5.1.4. Material 33
5.2. Utförande 33
5.2.1. Konditionering och fuktkontroll 33
5.2.2. Krypning och återhämtning 34
5.3. Resultat 34
5.3.1. Uttorkningsförlopp, fuktfördelning 34
5.3.2. Elasticitetsmoduler 35
5.3.3. Krypningens storleksordning och tidsberoende 35
5.4. Uttorkningens betydelse 37
5.4.1. 80-90 %-klimatet 37
5.4.2. 40-50 %-klimatet 39

6. Försök C. Gasbetong från fyra fabriker
6.1. Försöksplanering 41
6.1.1. Syfte och uppläggning 41
6.1.2. Val av fuktnivåer 41
6.1.3. Material 43
6.1.4. Provkroppsuttagning 44
6.2. Utförande 45
6.2.1. Konditionering och försegling 45
6.2.2. Hållfasthet 46
6.2.3. Krympning 46
6.2.4. Krypning 47
6.2.5. Fuktisotermer 48

sid

6.3. Resultat 48
6.3.1. Volymvikter och fuktkvoter ... 48
6.3.2. Fuktkvotsändringar 49
6.3.3. Hållfasthet och elasticitetsmodul 50
6.3.4. Krympning 52
6.3.5. Krypningens storleksordning och tidsberoende 52
6.3.6. Krypning och belastningsintensitet 53
6.3.7. Krypning och materialegenskaper 54
6.3.8. Spridning på kryptöjningarna 55

7. Diskussion
7.1. Krypningens storleksordning och tidsberoende 58
7.1.1. Kryptalet 58
7.1.2. Storleksordningen produkterna emellan 59
7.1.3. Tidsberoendet 60
7.2. Krypning och belastningsintensitet .. 61
7.3. Krypning och kvoten γ/E 61
7.4. Krypning och fuktkvot 62
7.5. Spridningen 65

8. Avslutning
8.1. Konklusioner..... 67
8.2. Vidare forskning 68

Sammanfattning 69
English summary 71
Appendix A. Utformning av krypuppställning 73
Appendix B. Materialdata i försök C
B.1. Volymvikt 75
B.2. Fuktkvot 76
B.3. Böjdraghållfasthet 77
B.4. Tryckhållfasthet 78
B.5. Elasticitetsmodul 79
B.6. Empiriska samband 80

sid

Litteratur..... 82

Symboler..... 85

Tabeller

Tabell 2.1. Data från tidigare försök

Tabell 4.1. Materialdata, försök A

Tabell 4.2. Krypförsöksdata, försök A

Tabell 4.3. Återhämtningsdata, försök A

Tabell 5.1. Materialdata, försök B

Tabell 5.2. Krypförsöksdata, försök B

Tabell 6.1. Volymvikter, försök C

Tabell 6.2. Fuktkvoter vid försöksstarten, försök C

Tabell 6.3. Böjdraghållfasthet, försök C

Tabell 6.4. Tryckhållfasthet, försök C

Tabell 6.5. Elasticitetsmodul, försök C

Tabell 6.6. Krympning, försök C

Tabell 6.7 Krypförsöksdata, försök C

Tabell 6.8. Medeltal och spridning på krypparametrar, försök C

Tabell 6.9. Storheterna a och b, försök C

Tabell 6.10. Diverse parametrar, försök C

Tabell 7.1. Beräkning av kryptal, alla försök

Figurer

Figur 1.1-1.4

Figur 2.1

Figur 3.1-3.2

Figur 4.1-4.10

Figur 5.1-5.5

Figur 6.1-6.20

Figur 7.1-7.4

Figur B.1-B.2

Litteraturhänvisningar har i texten markerats med understruket författarnamn efterföljt av utgivningsåret i parantes, t ex Schäffler (60).

Förord

Avsikten med föreliggande arbete har varit att undersöka oarmerad högtrycksånghärdad gasbetongs grundkrypning.

Statens Betongkommittés Lättbetongutskott uppmärksammade 1963-64 att vetande saknades på detta område. En litteraturinventering vid avd för Byggnadsmateriallära 1964-65 klargjorde att vetandet om de svenska gasbetongprodukternas krypegenskaper var obefintligt. Ett förförsök utfördes i 1966-67. Undersökningens huvudförsök igångsattes 1967 och är ännu ej avslutat. Föreliggande rapport handlar om förförsöken och huvudförsökets första 256 dygn.

Det är författarens förhoppning att resultaten må finna användning i konstruktionsanalys och i utvecklingsarbete i industrin, även om de i den form de här föreligger, där sorptionskrypning ej är tillräckligt behandlad, huvudsakligen tjänar till allmän belysning av de autoklaverade silikatmaterialens deformationsförhållanden. Författaren vill härmed framföra sitt varma tack till professor S G Bergström för inspiration och kritiska diskussioner. Ett tack skall också riktas till AB Siporex och AB Ytong för provelement och hjälp vid uppläggningen. Ytterligare vill författaren tacka fil kand Lars Holst vid Institutionen för Matematisk statistik för hjälp vid försöksplanering och bearbetning, instrumentmakare Allan Berlin för noggrant arbete med apparaturen, civ ing Lennart Ahlgren för hjälp vid upptagning av sorptionsisotermer, kartriterskan Birgitta Ericson för omsorgsfullt ritarbete och ing Gunvor Hällnor för flitigt protokoll- och beräkningsarbete och för hjälp vid korrekturläsningen, samt alla vid avd för Byggnadsmateriallära för utförd hjälp och visat intresse.

Arbetet har delvis finansierats av Statens Råd för Byggnadsforskning. Det har utförts vid Institutionen för Byggnadsteknik, avd Byggnadsmateriallära och framlägges härmed tillsammans med rapporten "Byggnadsmaterials reologi" som licentiatavhandling vid nämnda avdelning.

Lund den 1 augusti 1968

Anders Nielsen

1. INLEDNING

1.1. Undersökningens syfte

Avsikten med arbetet har varit att undersöka oarmerad högtrycksånghärdad gasbetongs grundkrypning och då speciellt grundkrypningen hos fyra svenska produkter.

Följande punkter skulle undersökas.

Krypningens storleksordning,
krypningens tidsberoende,
krypningens beroende av belastningsintensiteten,
krypningens beroende av fukthalten,
krypningens samband med andra materialegenskaper (volymvikt och elasticitetsmodul) och
spridningen hos krypningen inom fabrikerna.

Dessutom har orienterande undersökningar av krypning under uttorkning medtagits.

Undersökningen har utförts med oarmerat material och en nominell volymvikt på 0,5 kg/dm^3, vid enaxligt spänningstillstånd och vid konstant temperatur.

1.2. Bakgrund

Gasbetongmaterialets krypning har inflytande på långtidsdeformationer hos tak- och bjälklagselement. Dessa långtidsdeformationer har betydelse bl a för de kanttryck man får på underlaget vid elementens uppläggning och för vattenavrinningen på mycket platta tak. Ytterligare har gasbetongmaterialets krypning betydelse för bedömning av sprickrisker. Ottoson (63) har i samband med sin undersökning av sprickbildning i mellanväggar av lättbetongplank diskuterat betydelsen av krympning och krypning.

De första försök, som har gjorts i detta problemkomplex, är mätning av

[illegible]

[illegible]

[illegible]

nedböjningar hos armerade element (Nylander & Sahlin (57), Schäffler (60), Ödegård (61) och Short & Kinniburgh (61). Statens Betongkommittés Lättbetongutskott gjorde i samband med arbetet med lättbetongnormerna en inventering av resultaten från dessa försök (Statens Betongkommitté (65)). Man fick en mycket svårförklarlig bild med stora spridningar hos resultaten. Dessa spridningar är bl a orsakade av att mätningarna är gjorda på element. Nedböjningen hos dessa är också bestämd av konstruktiva detaljer förutom av gasbetongmaterialets krypning.

Det saknades systematiska undersökningar av krypningen hos själva gasbetongmaterialet, speciellt svenska produkter, varför den här redovisade undersökningen har igångsatts.

1.3. Tillverkning av gasbetong

Av hänsyn till vissa diskussioner och hänvisningar i det följande skall det kort redogöras för tillverkningen av gasbetong. Redogörelsen kan ej bli fullständig bl a därför att en del av processerna är firmahemligheter. Redogörelsen är bl a baserad på en artikel av Santesson (64).

Gasbetong framställes av cement och/eller kalk, sand eventuellt masugnsslagg och vatten. Sanden och/eller masugnsslaggen males tillsammans med vatten till slam i kulkvarnar. Slammet blandas sedan med cement och/eller kalk, vatten s k toppslam (slam av massa, avskrapat på ett senare stadium i produktionen), och vissa regulatorer till en massa med lämplig konsistens. Omedelbart före gjutningen tillsättes finmalet aluminiumpulver.

Formarna är ca 2 m breda, 6-8 m långa och 0,6 m eller för vissa Siporexprodukter, 1,2 m höga. Innan eller omedelbart efter gjutningen placeras eventuell armering i formen.

Vid gjutningen fylls formen endast till hälften. Efter gjutningen börjar aluminium och kalciumhydroxyd i massan att reagera och bilda vätgas som små blåsor. Härvid jäser massan till ungefär den dubbla volymen och fyller ut formen. Massans slutliga volymvikt regleras genom recep-

turen. Siporex- och Ytongförfarandet skiljer sig i gjutningen vid att Siporexmaterialet blir gjutet i ett skikt, medan Ytongmaterialet gjuts i två skikt.

Efter gjutningen och jäsningen, som tar ca 1/2 timme, står massan och hårdnar i 6-8 timmar. Sedan skäres de stora blocken till med hjälp av ståltrådar. Uppskärningsförfarandet skiljer sig något vid de olika fabrikaten.

Härefter följer ånghärdningen, autoklaveringen, vid 10-11 atmosfärers, tryck (ca 180°C). Processen tar minst 12 timmar. Tiden är olika på olika fabriker.

Under autoklaveringen accelereras härdningsprocesserna i massan. I den slutliga produkten har cementet (kalken) reagerat med sanden (masugnslaggen) och bildat kalciumsilikathydrater. Den viktigaste av dessa föreningar betecknas tobermorit.

Efter autoklaveringen är gasbetongmaterialet som sådant färdigt. De flesta hydratationsprocesserna har ägt rum. Endast smärre egenskapsändringar kan registreras efteråt.

I de armerade produkterna kan man genom lämplig reglering av recepturen åstadkomma en icke obetydlig förspänning av armeringen under autoklaveringsprocessen. Vid uppvärmningen utvidgar sig såväl stål som gasbetong. Vid avkylningen drar stålet sig mera samman än gasbetongen, varvid det uppstår dragkrafter i stålet och tryckkrafter i gasbetongen.

En del produkter undergår till slut några mekaniska bearbetningar, såsom fräsning och ytbehandling.

1.4. Struktur och materialdata

På fig 1.1 ses brottytor i två gasbetongprov och på fig 1.2 slipytor i fyra prov. Man ser sfäriska blåsor med diameter på 0,1-2 mm. Som framgår av bilden varierar porstorleken dels inom ett och samma prov, dels proven emellan. Orsakerna till variationerna är många. Bl a skall nämnas, att

aluminiumpulvrets förmalningsgrad har betydelse, och att grova blåsor kan bildas bakom armeringen.

De till synes täta väggarna mellan de större blåsorna har nyligen undersökts med elektronmikroskop av Purins och Lindén (67). Från deras arbete återgives fig 1.3 som visar porväggen i en gasbetong (γ = 0,5) i 24000 gångers förstoring. Man ser flata kristaller uppbyggda i en rymdstabil struktur och vita molnartade materialansamlingar.

Purins och Lindén karakteriserar de molnartade ansamlingarna som kalciumsilikat, och de nämner ej de flata kristallerna. Det är emellertid högst sannolikt att dessa flata kristaller är tobermorit eller andra reaktionsprodukter i tobermoritgruppen. Enligt Taylor (64) har dessa ämnen plåt- eller nålformade kristaller. Molnen kan vara hydratationsprodukter, som ger kristaller, som skrynklad folie (t ex C-S-H (I)). Möjligheten finns emellertid också, att de kan vara rester av sandkorn eller cementkorn. Strukturen kan sammanfattande karakteriseras sålunda. Man har en mängd sfäriska blåsor 0,1-2 mm i diameter (makroporer) härstammande från vätgasbildningen, och en mängd oregelbundet formade porer av storleksordningen 0,001 mm, (mikroporer), härstammande från hydratationsprocessen. Porantalet mellan dessa två grupper är ringa. Det finns inga slutna porer.

Sammanfattningen ovan stämmer kvalitativt överens med porvolymfördelningsmätningar av Krischer (63), vars resultat för Ytong (γ = 0,65) återges i fig 1.4. Man ser en topp för porradier mellan 0,01 mm och 0,1 mm motsvarande makroporerna och en topp kring 10^{-5} mm motsvarande mikroporerna.

Specifika vikten för de fasta ämnena i gasbetong är ca 2,5 g/cm^3. Porositeterna för de olika kvaliteterna framgår av schemat nedan.

Porositeter för gasbetong				
Volymvikt	0,4	0,5	0,65	kg/dm^3
Porositet	84	80	74	%

Ottoson (68) har i handboken Bygg givit en översikt över det mesta av dagens vetande om gasbetongens framställning och egenskaper och över de produkter, som kan erhållas. En liknande framställning finner man i Lättbetonghandboken (68), där även leveransmöjligheterna från de olika fabrikerna framgår.

Till orientering visas nedan några medelkvalitetstal för de tre nominella volymvikterna 0,4, 0,5 och 0,65 kg/dm^3.

Kvalitetstal för gasbetong			
Volymvikt, kg/dm^3	0,4	0,5	0,65
Tryckhållfasthet, kp/cm^2	15	30	60
Böjdraghållfasthet, kp/cm^2	4	9	14
Elasticitetsmodul, 10^3 kp/cm^2	10	15	25

Vodyanoi	[illegible]	0,05
Tyrovskii	[illegible]	60
Zdlovskii	2	6
Tikanovskii	[illegible]	25

2. TEORI

2.1. Tidigare försök

Nedan skall diskuteras de tidigare försöken med långtidsdeformationer hos gasbetong, som har utförts av Nylander och Sahlin (57), Schäffler (60), Ödegård (61), Short och Kinnibargh (61) och Kruml (64). Dessutom har ett försök som ej diskuteras, utförts av Sell (60).

Alla försöken med undantag av Krumls har utförts på element med det rent praktiska syftet att se hur mycket ett konstruktionselement långtidsdeformeras. (Nylander och Sahlin gjorde också mätningar på prismor, men resultaten är svårtolkade eftersom krypningen hade mycket stort inflytande.) En översikt över ovannämnda försök ges i tabell 2.1 och för elementförsöken i fig 2.1.

I tabell 2.1 anger kolumn (3) råvaror och eventuell upplysning om fabrikat, kolumn (4) torrvolymvikten, kolumn (5) dragarmeringsprocenten, kolumn (6) tryckarmeringsprocenten och kolumn (7) belastningsintensiteten uttryckt som momentet genom brottmomentet. Kolumn (8) ger kryptalet efter 1 år. För varje element anges i kolumn (8) överst kryptalet för nedböjningar, ϕ, därnäst kryptalet för gasbetongen i trycksidan ϕ' och nederst kryptalet för gasbetongen i trycksidan korrigerad för krympning, ϕ''. Kolumn (9) anger den relativa luftfuktigheten i försöksutrymmet och kolumn (10) en gruppindelning efter råvaror, jfr nedan.

I fig 2.1 har i dubbellogaritmisk skala ritats nedböjningskryptalets variation med tiden. För överskådlighetens skull har endast enstaka riktpunkter tagits med från varje kurva. I själva verket är de flesta av kurvorna mera oregelbundna än figuren visar till följd av fuktvariationer under försökstiden.

Det är inte möjligt att utvärdera själva gasbetongmaterialernas krypning av elementförsöken. Nedböjningen av ett element är endast delvis bestämd av gasbetongmaterialets deformationsegenskaper.

Dessutom inverkar armeringsprocenten, armeringens läge, eventuell tryck-

armering, belastningsintensiteten och den i avsnitt 1.3 omtalade förspänningskraften på såväl de momentana som de tidsberoende nedböjningarna. Exempel på dessa inverkningar kan utläsas av kurvorna i fig 2.1.

Den översta kurvan (nr 1) härstammar från ett element utan tryckarmering. - Belastningsintensitetens betydelse framgår bl a av kurva 5 och 8 som härstammar från element av samma material. För kurva 5 är $M/M_{brott} = 0,34$ och $\phi_{1år} = 0,88$. För kurva 8 är $M/M_{brott} = 0,20$ och $\phi_{1år} = 1,22$. Orsaken är möjligen att gasbetongen vid den lägre belastningsintensiteten också medverkar till att ta dragkrafter, och på så sätt ger relativt större krypdeformationer. Orsaken till att de två kurvorna skiljer sig så mycket från varandra kan dock också vara, att spridningen på krypningen inom fabriken är stor, jfr avsnitt 7.5. (Absolutnedböjningarna för kurva 5 är större än för kurva 8).

Förspänningskraften verkar på så sätt, att nollinjen sänkes och eventuellt faller utanför tvärsnittet, så att detta förblir osprucket. Ett större betongtvärsnitt kommer att vara verksamt och de absoluta nedböjningarna blir mindre än för ett motsvarande ej förspännt, sprucket tvärsnitt. Förspänningen influerar tydligen även de tidsberoende deformationerna. I alla fall har rätt stora förspänningskrafter uppmätts i de element som har givit de i fig 2.1 lägst liggande kurvorna (nr 16, 17, 18 och 19).

Man ser av denna analys, att det till synes är möjligt att med konstruktiva medel minska, eventuellt eleiminera, långtidsdeformationer hos element.

Schäffler har mätt krypdeformationen hos gasbetongen i elementens överkant. Kryptalen efter 1 år för dessa mätningar finns i tabell 2.1, kolumn (8), värdena ϕ' och ϕ''. Mätningarna är emellertid influerade av spänningstillståndet i elementen, också innan belastningen.

2.2. Krypmodell

Orsakerna till krypning i cementbundna system skall enligt Ruetz (66) tillskrivas skjuvning i vattenskikten, som finns mellan gelpartiklarna. Grundvetenskapligt baserade ekvationer för krypningens tidsförlopp kan ställas upp på grundval av dessa teorier. Parameterbestämningen i dessa ekvationer fordrar emellertid undersökningar som ligger utanför ramen för detta arbete. Här skall tillämpas en rent empirisk modell.

Kryptöjningen, ε_c, antas kunna beskrivas med en produkt av en tidsfunktion och en spänningsfunktion, jfr Nielsen (68 b),

$$\varepsilon_c = f(t) \cdot g(\sigma) \tag{2.1}$$

f(t) diskuteras i detta avsnitt, $g(\sigma)$ i avsnitt 2.3.4.

För f(t) strävar man efter en funktion, som med så få parametrar som möjligt beskriver krypförloppet så bra som möjligt. Av fig 2.1 ser man att de flesta av kurvorna är räta linjer i log-log-diagrammet. Detta betyder att man sannolikt för själva gasbetongmaterialets krypning kan sätta

$$f(t) = t^b \tag{2.2}$$

(En kurva med ekvationen

$$\varepsilon_c = A \cdot t^b \tag{2.3}$$

ger i ett dubbellogaritmiskt diagram en rät linje med lutning b och ordinatan A för tiden t = 1.)

Kurvorna i fig 2.1 ger värden för b mellan 0 och 0,5.

Mot potensuttrycket (2.2) kan invändas att det ej anger någon slutkrypning. Därtill kan sägas att modellen endast skall beskriva förhållanden inom försökstiden. All extrapolation är farlig om man ej har någon teori

för hur den bör ske. - Wittmann och Klug (68) har för cementpasta påvisat att det finns ett slutkrypvärde. Resonemanget går möjligen att överföra till gasbetong.

2.3. Influerande faktorer

2.3.1. Faktorindelning

De faktorer som påverkar gasbetongs deformations- och hållfasthetsegenskaper grupperas i fabrikationsfaktorer, klimatfaktorer och belastningsfaktorer.

Fabrikationsfaktorerna bestämmer materialets struktur. De kan ej påverkas vid försöket och är sålunda opåverkbara faktorer.

Klimatfaktorerna fukt och temperatur påverkar materialets struktur genom vattenupptagning och termisk utvidgning. De kan kontrolleras under försöket. Detsamma gäller belastningsfaktorerna. Klimatfaktorer och belastningsfaktorer betecknas påverkbara faktorer.

En översikt över de viktigaste av de influerande faktorerna finnes i schemat nedan. De i försöken studerade faktorerna har understrukits. Fabrikationsfaktorerna har studerats som helhet genom val av olika fabriker.

INFLUERANDE FAKTORER		
Opåverkbara	Påverkbara	
Fabrikationsfaktorer	Klimatfaktorer	Belastningsfaktorer
Råvaror	Fuktnivå	Belastningsnivå
Proportionering	Fuktväxling	Belastningshastighet
Förmalning	Temperaturnivå	
Blandning	Temperaturväxling	Belastningsvaraktighet
Härdning		

[illegible]

[illegible]

[illegible]

2.3.2. Fabrikationsfaktorer

Allmänt kan sägas att alla de i framställningsprocessen ingående stegen är faktorer, som påverkar hållfasthets- och deformationsegenskaperna. Särskilt skall dock uppmärksammas de fem faktorerna i schemat ovan.

Råmaterialen har utan tvivel stor betydelse för deformationsegenskaperna. Schäffler konstaterar att han fick de största krypningarna hos material tillverkat av kalk, cement och flygaska och av kalk, cement och sandmjöl (kvartsmjöl). Mindre krypning fick han hos material tillverkat av kalk, masugnsslagg och flygaska, respektive med kalk och skifferaska och minst hos material framställt av cement och sandmjöl.

Till Schäfflers konstaterande skall anmärkas, att hans material härstammar från olika fabriker med olika produktionsprocesser. Det är möjligt att variationer i dessa processer helt kan ändra deformationsegenskaperna. En sak som pekar i den riktningen är de helt olika resultaten, som har framkommit i Nylander-Sahlins och Ödegårds försök, jfr fig 2.1. Elementen till dessa försök uttogs från samma fabrik under 1953 respektive 1959.

Produktionsprocessernas betydelse kan icke klargöras med försök av den typ som redovisas i föreliggande rapport. De måste studeras genom intensivundersökning på varje fabrik för sig.

Konklusionen av detta må bli att det knappast är möjligt att förutsäga någonting om storleksordningen av krypningen hos elementen, än mindre av gasbetongmaterialet, utifrån upplysningar om råmaterialen. För att dock belysa saken har fabrikerna i försök C valts med helt olika råvaror.

Fabrikationsfaktorerna påverkar grundvärdena av volymvikt (γ), elasticitetsmodul (E) och hållfasthet. Wittman och Klug (68) fann att krypningen hos cementpasta och betong är proportionell mot 1/E. För trä fann Miller och Benicak (67) att krypningen är proportionell mot γ/E. I denna rapport skall det undersökas om gasbetongs krypning också är beroende av γ/E.

2.3.3. Klimatfaktorer

Som Ruetz (66) visar för cementpasta, spelar fukthalten i materialet en väsentlig roll för krypningen, jfr Nielsen (68 b) avsnitt 4.2.2. Silikatmaterialet gasbetong förmodas reagera för vatten på samma sätt som cementpasta.

För konstant fukthalt i materialet kan man därför förvänta större krypning med större fukthalt. Vattenskikten mellan gelpartiklarna ökar med fukthalten och orsakar större krypning. Storleksordningen av fukthaltens inverkan på grundkrypningen skall belysas i undersökningen.

Krypning under varierande fukthalt, sorptionskrypning, blir större än grundkrypning. En orienterande undersökning med sorptionskrypning genomföres (försök B).

Temperaturens inflytande på krypningen kan bestämmas med formler av den typ, som Arrhenius uppställt för kemisk reaktionshastighet. I denna undersökning hålles temperaturen konstant vid 20 $\pm$ 1 ^{o}C.

Här skall nämnas att luftföroreningar också har betydelse för deformationsförloppet. Bergström (57) har anfört hur deformationerna i takplattor över ett järnverk ökade avsevärd under åren till följd av att gasbetongmaterialet blev förstört av svavelhaltiga ångor. Kurva 20 och 21 i fig 2.1 (försök av Short och Kinniburgh (61) visar skillnaden i elementdeformation för element utomhus i industrimiljö och inomhus i laboratorieklimat. I industrimiljön har kryptalet uppgått till det femdubbla av laboratorievärdet och plattan går sönder efter 260 dygn.

2.3.4. Belastningsfaktorer

Den belastningsfaktor som primärt studeras i föreliggande undersökning är belastningsnivån. - Helt naturligt kommer belastningens varaktighet också att studeras, men mera "bredvid".

För betong kan Boltzmanns superpositionsprincip användas för belastningar upp till ca 50 % av brottlasten. Gasbetong kan förmodas följa samma regel, dvs att

$$g(\sigma) = a \cdot \sigma \tag{2.4}$$

För högre belastningar har Wittmann (66) använt uttrycket

$$g(\sigma) = a'' \cdot \sinh(k \cdot \sigma) \tag{2.5}$$

jfr Nielsen (68 b) avsnitt 2.2.4.

M a p belastningens varaktighet skall upplysas att Sell (60) har funnit att för gasbetong ligger långtidshållfastheten på ca 80 % av korttidshållfastheten. För betong är motsvarande siffra ca 60 %.

2.4. Sammanfattning

De tidigare försöken ger upplysningar om krypningens tidsförlopp. Vissa upplysningar om storleksordningen av krypningen hos själva gasbetongmaterialet kan fås från Schäfflers försök.

Man kan förvänta att få stor spridning i krypresultatet på grund av de många influerande faktorerna.

För denna undersökning har det ansetts lämpligt att studera de i avsnitt 1.1 angivna faktorerna.

3. ALLMÄNT OM FÖRSÖKEN

3.1. Försöksöversikt

De här rapporterade undersökningarna omfattar tre försök, betecknade A, B och C. En översikt över de studerade fenomenen och faktorerna i de tre försöken ses i schemat nedan.

Försök A är förförsök till försök C. Endast en fabriks produkter har ingått. Försöket har tidigare rapporterats (Nielsen (67)).

Försök B är utfört på samma provkroppar, som ingick i försök A för orientering om vad som händer vid krypning under uttorkning. Försöket har tidigare rapporterats (Nielsen (68 a)

Försök C är huvudförsöket i undersökningen. 4 fabrikat ingick, även det från försök A. Försöket rapporteras för första gången i föreliggande rapport.

För att få ett så gott intryck av variationen inom fabrikatet som möjligt har provkropparna blivit uttagna godtyckligt från fabrikernas produktion.

Det har eftersträvats att eliminera de icke studerade faktorernas inflytande genom noggrant försöksarbete. För att undvika systematiska fel har provkropparna således i alla moment av arbetet behandlats i godtycklig ordning och i ny ordningsföljd vid varje nytt moment (randomisering).

3.2. Val av krypprovningsmetod

Krypning kan mätas på provkroppar utsatta för ren dragning, rent tryck eller för böjningspåverkan. Drag- och tryckförsök ger resultat som är relativt enkla att tolka. Det uppmätta krypresultatet hänför sig omedelbart till den rena enaxliga spänningen. Krypresultatet har uppkommit endast vid en spänningsnivå. Böjningsförsöket ger ett något mera svårtolkat resultat. Den uppmätta krypdeformationen är ett medelvärde av

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Försöksöversikt			
Försök	Omfattade fenomen	Studerade faktorer	Tidpunkt
A Beskrivning i avsnitt 4	Grundkrypning, 32 dygn Återhämtning, 90 dygn	1 fabrikat (Dalby I) 5 spänningar 1 fuktnivå (1 upprepning)	Nov 1966 - mars 1967
B Beskrivning i avsnitt 5	Krypning under uttorkning, 63 dygn Återhämtning, 13 dygn	1 fabrikat (Dalby I) 5 spänningar 2 klimat	Mars - maj 1967
C Beskrivning i avsnitt 6	Grundkrypning, 256 dygn (Krypning under fuktvandring)	4 fabrikat: Vit Ytong, K Blå Ytong, B Södertälje Siporex, S Dalby I Siporex, D 2 spänningar 2 fuktnivåer (1 upprepning)	Från juli 1967

krypningen i drag- och trycksida. Dessutom varierar spänningen i balken från över- till undersida. Böjningsförsöket kan därför endast väntas ge samma resultat som tryck- och dragförsök om Boltzmanns superpositionsprincip är giltig.

Dragförsök är mycket svåra att arrangera på porösa, spröda material. Dessutom gäller att om drag- eller tryckförsök skall utföras på någorlunda stora representativa stycken av materialet, krävs mycket stora krafter för att åstadkomma mätbara deformationer. Böjningsförsök är mycket enkla att arrangera; de ger mätbara deformationer för relativt små pålastningar. Böjbalkar kan därför uttas rätt stora, så att de representerar materialet bättre. På grund av överläggningar enligt

ovan och med tanke på att försöket är av orienterande karaktär valdes att använda böjningsförsök. Det valdes en balk med två punktlaster, där man får ett konstant moment på mittsträckan, på vilken nedböjningen mätes. Dimensioneringen av uppställningen beskrives i appendix A. Uppställningen finns ritad på fig 3.1 och fotograferad på fig 3.2.

Nedböjningen mätes med en mekanisk mätklocka. Olika elektriska mätmetoder övervägdes men förkastades av i huvudsak två orsaker. Laboratoriets instrumentkapacitet var på den tidpunkten begränsad och man var ej säker på att kunna behärska långtidsstabiliteten hos instrumenten.

Mätklockans delning är 1/1000 mm. Klockan kan avläsas endast på hela streck. Detta orsakar att krypkurvorna i log-skala (fig 4.6, 5.3, 5.4 och 6.10 - 6.13), framträder med ganska stora språng vid de minsta deformationerna.

4. FÖRSÖK A. ORIENTERANDE UNDERSÖKNING

4.1. Försöksplanering

4.1.1. Syfte

Avsikten med detta försöksavsnitt var att få en orienterande bild av krypningen hos materialet från en enstaka fabrik. Försöket var avsett som förförsök för de senare undersökningarna. I försöket ingick prövning av krypmätutrustningen. I övrigt skulle följande bestämmas:

Krypningens storleksordning
Krypningens tidsberoende
Krypningens beroende av belastningsintensiteten
Krypningens beroende av materialegenskaper
Spridningen på krypdeformationerna

4.1.2. Uppläggning

Eftersom detta försök var av orienterande karaktär blev det av begränsad omfattning. Det valdes att göra två krypbestämningar för var och en av spänningsnivåerna 2, 3, 4, 5 och 6 kp/cm^2. Spänningarna avser maximal böjspänning enl Navier. Böjdraghållfastheten ligger i nivån 10 kp/cm^2. Långtidshållfastheten uppskattas på grundval av erfarenheter från andra material till att vara ungefär 60 % av detta värde, varför det inte är möjligt att gå upp till högre spänningar än 6 kp/cm^2. Fyra provkroppar utan belastning medtogs för att kontrollera krypningen från egenvikten. Allt som allt fick man 14 provkroppar. Beteckningarna på dessa framgår av schemat nedan.

Försök A, provkroppar

Spänning, kp/cm^2	0	2	3	4	5	6
Beteckning	0.1 0.3	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1
	0.2 0.4	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Försöksfuktkvoten valdes till jämnvikt med ett normalt användningsklimat 40-60 % rf, ca 20°C. Eftersom grundkrypning skulle studeras förseglades proven. Det valdes att låta belastningen verka i ca 1 månad och sedan avlasta för att studera återhämtningsförloppet. Uttorkningsförloppet från leveransfuktkvot till försöksfuktkvot jämte volymvikt och böjdraghållfasthet skulle kontrolleras. Vid på- och avlastning av krypbalkarna blev det dessutom möjligheter att mäta materialets elasticitetsmodul.

4.1.3. Material

Materialet var från Siporexfabriken Dalby I. Den nominella volymvikten var 0.5 kg/dm^3. Råmaterialen här är cement och kvartssand som huvudbeståndsdelar, dessutom tillsätts en mindre mängd kalk som konsistensregulator och aluminiumpulver som jäsningsmedel. Alla element var gjutna i 60 cm höga formar. Autoklaveringen försiggick vid ca 180°C och ca 10 atm tryck.

En av provkropparna, nr 6.2, blev av ett misstag uttaget ur ett element framställt på den nya fabriken Dalby II. Råmaterialen är också här cement och kvartssand, men här ingår även en större del kalk som bindemedel. Elementen i den nya fabriken gjuts i 120 cm höga formar.

4.1.4. Provkroppsuttagning

Försöket avsåg att inom en enstaka fabrik ge en bild av krypningen hos en produkt, som nominellt borde vara ensartad. Provkropparna skulle därför uttagas så att de i så stor utsträckning som möjligt representerar produktionen. Det valdes att uttaga elementen godtyckligt på fabrikens lager. 16 väggelement uttogs. - De hade smärre fel och sprickor som bedömdes vara betydelselösa för försöket. De var producerade i perioden 6 augusti till 17 september 1966. Det fanns ej två som var gjorda samma dag. Elementens tjocklek var 15, 20 eller 25 cm och längden varierade mellan 204 cm och 274 cm. Bredden var 60 cm. Provkroppar om 120 cm x 8 cm x 4 cm utsågades godtyckligt i elementet. Dock togs hänsyn till att armering och monteringsträpinnar inte fick förekomma i provkroppen.

Provkroppens smala sida (4 cm x 20 cm) lades vinkelrätt mot jäsningsriktningen. Provkroppen visas på fig 4.1. Den ena delen av kroppen an-

vändes till krypning och den andra delen till kontroll av böjdraghållfasthet och fuktkvot.

4.2. Utförande

4.2.1. Konditionering och försegling

Provkropparna uppställdes omedelbart efter sågningen oemballerade i ett källarrum med temperaturvariationer mellan 18°C och 21°C och fuktvariationer mellan 40 % och 60 % rel luftfuktighet. De vägdes varje dag tills de var i jämnvikt med den omgivande luften. Härefter kapades de till exakt längd för krypprov (78 cm) och för böjdraghållfasthetsprovning (ca 40 cm), jfr fig 4.1.

Efter böjdragprovningen limmades glasmätbrickor fast med Araldit-lim på provkropparna, varefter dessa förseglades i plastfolie. Folien var 0,1 mm polyeten utformad som en slang. Provkroppen placerades i slangen som åtstramades genom dubbelvikning i provkroppens ena sida. På detta sätt blev provkroppen försedd med ett lager plast på över- och undersida. Till försegling användes maskeringstejp. Till tätning runtom glasbitarna användes Araldit-lim. Förseglade provkroppar syns på fig 4.2. Förseglingens täthet kommer att diskuteras under avsnitt 4.3.1.

Fuktkvoten vid emballeringen bestämdes på de två balkdelarna från böjdraghållfasthetsprovningen genom uttorkning i 105°C. Krypbalkarnas volymvikt bestämdes: Dimensionerna bestämdes med skjutmått. Torrvikten beräknades genom korrektion av vikten innan emballering med den aktuella fuktkvoten bestämd på balkdelarna.

4.2.2. Böjdraghållfasthet

På provkropparna 4 cm x 8 cm x ca 40 cm bestämdes böjdraghållfastheten i institutionens hävarmsprovningsmaskin. Det bestämdes endast ett värde på böjdraghållfastheten för varje element.

Belastningshastigheten var ca 24 kp/cm^2 per min. En punktlast på mitten användes. Lageravståndet var 32 cm. Provningen skedde i konditioneringsrummet och omedelbart innan förseglingen av krypprovkropparna. Man kan

sålunda anse att hållfasthetsresultaten och krypresultaten hänför sig till samma fuktkvot.

4.2.3. Krypning och återhämtning

Belastningarna i varje ända av balkarna bestämdes utifrån de aktuella måtten på balken enligt Navier's formel så att man fick de ovannämnda nominella spänningarna, 2, 3, 4, 5 och 6 kp/cm^2, (jfr appendix A). Krypförsöket startades genom att man vid båda ändarna av provkroppen i tur och ordning för hand lade på tryckfördelningsbiten, kulan, kroken och hinken med lasten. Mätklockan avlästes innan och omedelbart efter pålastningen och härefter vid nedan nämnda tider efter starten.

1/256 dygn ∿ 5 min (38 sek)
1/128 dygn ∿ 11 min (15 sek)
1/64 dygn ∿ 22 min (30 sek)
1/32 dygn ∿ 45 min
1/16 dygn ∿ 1 tim 30 min
1/8 dygn ∿ 3 tim
1/4 dygn ∿ 6 tim
1/2 dygn ∿ 12 tim
1 dygn ∿ 24 tim
2 dygn

Dessa intervaller ger ekvidistanta avstånd i en logaritmisk avbildning. Efter det andra dygnet lästes deformationerna varje dag tills det 32 dygnet.

Vid denna tidpunkt togs belastningen bort. Mätklockan avlästes innan och omedelbart efter avlastningen och därefter vid ovan nämnda tidpunkter efter avlastningen. Avläsningen skedde härefter i tre månader. I början avlästes varje dag, sedan varannan dag. Klimatet i rummet var 20°C ± 1°C och 80 ± 2 % r f under hela försökstiden.

Vid det 20 dygnet fotograferades uppställningen med hjälp av stora fotolampor, varvid temperaturen höjdes något. Detta orsakade tillfälligt något större deformationer. Dessa försvann igen, men lutningen på några av kurvorna ändrades en aning, jfr fig 4.5.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

4.3. Resultat

4.3.1. Fuktkvot och volymvikt

Fuktkvotsvariationen: balkarna från leveransfuktkvoten 30 % till försöksfuktkvoten 2.9 % bestämdes. Den har tidigare redovisats (Nielsen (67)). Försöksfuktkvoten för balkarna framgår av tabell 4.1. Den var i medeltal 2.9 % med spridningen 0.3 %.

Det skall här anmärkas, att det ej har registrerats vid vilken relativ luftfuktighet mellan de ovan nämnda 40-60 % rf proverna kom i jämnvikt.

Volymvikten för balkarna framgår även av tabellen. Den var i medeltal 0.508 kg/dm^3 med spridningen 0.009 kg/dm^3.

Efter försökstidens 122 dygn kontrollvägdes provkropparna. De hade då ökat med i medeltal 2 g, vilket motsvarar en fuktkvotsökning på 0.15 %. Under den första månaden, dvs under krypförsöket, har man troligen fått en ökning av fuktkvoten på ca 0.04 %. Detta ansågs vara utan betydelse för krypförloppet.

På grundval av viktändringen kan plastens permeabilitetskoefficient vid 50-80 % rf bestämmas till ca 0.001 g/h·m^2·mmHg.

4.3.2. Böjdraghållfasthet och elasticitetsmodul

Böjdraghållfasthetsresultaten framgår av tabell 4.1. Provkropp nr 0.2 var inte tillräckligt lång för att en böjdragprovkropp skulle kunna utsågas. Medelvärdet på böjdraghållfastheten är 9.6 kp/cm^2 med en spridning på 0.6 kp/cm^2.

Utifrån initialdeformationerna beräknas elasticitetsmodulen E för varje balk enligt den vanliga nedböjningsformeln för elastisk deformation för en balk med konstant moment, jfr appendix A ekv (1).

Det bestämdes en initialdeformation vid pålastning och en vid avlastning. Skillnaden mellan dessa var för provkropp 2.1 4 % ($5 \cdot 10^{-3}$ mm) och för de andra provkropparna var skillnaden mindre än 2 %, jfr fig 4.3 där ini-

tialdeformationerna som funktion av spänningen är avsatt. E-värdena är bestämda på grundval av medeltalet av de två deformationerna och är antecknade i tabell 4.1. Medelvärdet är 15100 kp/cm^2 och spridningen 1100 kp/cm^2.

4.3.3. Krypningens storleksordning och tidsberoende

Det samlade deformationsförloppet för en enstaka provkropp (nr 3.1) ses på fig 4.4. Krypnedböjningarna, δ_c, för alla balkarna har ritats på fig 4.5 i linjär skala. En av de provkroppar som var belastad till 6 kp/cm^2 bröts efter 18 dygn. Brottet skedde mellan stöden, ca 8 cm från det ena.

De obelastade provkropparna 0.1, 0.2, 0.3 och 0.4 har undergått ganska små deformationer, som ligger i storleksordningen av mätnoggrannheten. Det har därför inte tagits någon hänsyn till en korrektion av krypkurvorna med t ex ett medeltal av de obelastade provkropparnas nedböjningar. Fig 4.5 ger en ganska oklar bild av försöksresultatet. Man ser ingen utpräglad systematik mellan spänningsnivå och krypkurvornas höjdläge. Andra uttryckssätt ger dock bättre överblick, vilket skall visas nedan.

För att undersöka vilken matematisk modell som skulle kunna användas ritades krypkurvorna i dubbellogaritmisk skala, som visas på fig 4.6. Kurvorna framträder här ungefär rätlinjiga från 1/8 dygn. Det kan härav slutas att modellen $\delta_c = A' \cdot t^b$ med rimlighet kan användas från denna tidpunkt. För varje krypkurva har bestämts en regressionslinje för sträckan 1/8 dygn till 32 dygn i den logaritmiska avbildningen.

Regressionsberäkningen utfördes direkt på de okorrigerade krypnedböjningarna. Regressionsekvationen har formen

$$\log \delta_c = \log A' + b \log t. \qquad (4.1)$$

För att få krypdeformationerna uttryckta i relativa töjningar, ε_c, måste det erhållna värdet på log A' korrigeras med log K = $\log(l_1^2/4h)$, jfr appendix A, ekv (3). I tabell 4.2 har resultatet av regressionsanalysen jämte korrektionerna antecknats. Kolumn (5), rest, anger de en-

[illegible]

[illegible]

[illegible]

staka punkternas spridning kring regressionslinjen. Det framgår av denna kolumn, att den matematiska modellen anpassar sig bäst vid kurvorna med de högre belastningarna, ty här blir spridningen minst.

4.3.4. Krypning och belastningsintensitet

Av tabell 4.2 framgår, att b-värdena är av samma storleksordning för alla balkarna, och att de ej varierar systematiskt med spänningen. Det betyder, att A-värdena kan sägas representera storleksordningen av de olika balkarnas krypning. Vid undersökning av sambandet mellan krypning och belastningsintensitet är det därför rimligt att endast studera A. Som mått för belastningsintensiteten har vid försöksplaneringen använts spänningen σ, men även den relativa spänningen σ/σ_{bd} kan användas.

I fig 4.7 överst har A avsatts som funktion av σ. Det skattas att en kurva bättre beskriver sammanhanget än en rät linje. Ekvationen (2.5) användes.

$$A(\sigma) = a'' \cdot \sin h(k \cdot \sigma)$$

Funktionskonstanterna a'' och k bestämdes med användning av minsta kvadratmetoden till

$$a'' = 17.0 \quad , k = 0.28$$

Den erhållna kurvan har ritats in på fig 4.7. Eftersom det uppstod brott i provkropp 6.1 har denna utelämnats vid anpassningen till sinh-kurvan. Motiveringen var att eftersom brott uppstod, har det uppkommit fenomen i den brutna balken, som inte går att jämföra med vad som händer i balkarna med lägre belastning.

Prov 6.2 har också uteslutits eftersom den härstammar från en annan fabrik, jfr avsnitt 4.1.3.

Från tabell 4.2 fås medelvärdet för b = 0.25. Medelvärdet för krypningen för försök A kan då, jfr avsnitt 2.2, beskrivas vid ekvationen

$$\varepsilon_c = 17.0 \sinh (0.28\sigma)t^{0.25} \tag{4.2}$$

4.3.5. Spridningen på kryptöjningarna

Spridningen på kryptöjningarna beräknas på grundval av den ovan omtalade regressionsberäkningen i logaritmisk skala. Spridningen på logaritmuttrycket

$$\log \varepsilon_c = \log A + b \log t$$

följer den vanliga regeln för spridningen på en summa. Man får

$$s\{\log \varepsilon_c\} = \sqrt{(s\{\log A\})^2 + (\log t)^2(s\{b\})^2} \tag{4.3}$$

Spridningen redovisas t ex genom att rita 95 %-konfidensintervaller för ekvation (4.2).

Vid antilogaritmering fås följande ekvationer för övre och nedre 95 % konfidensgräns.

$$\left.\begin{matrix} \varepsilon^{ö}_{c.95} \\ \\ \varepsilon^{n}_{c.95} \end{matrix}\right\} = a''\cdot\sinh(k\cdot\sigma) \cdot t^b \cdot 10^{\pm 2\sqrt{\ }} \tag{4.4}$$

Rottecknet symboliserar högersidan i ekv (4.3)

s{log A} anger spridningen av log A kring medeltalet för varje spänningsnivå. Den kan utifrån samhörande värden på log A' i tabell 4.2 uppskattas till 0.14, s{b} är (jfr tabell 4.2) 0.026.

a sinh(k·σ) har som tidigare omtalats ritats på fig 4.7 överst. Uttrycket $y = t^b \cdot 10^{\pm 2\sqrt{\ }}$ har ritats in på samma figur nederst. Storleksordningen på konfidensområdet för en krypkurva vid en given spänning kan uppskattas genom multiplikation av ordinatorna på figurens två diagram. Det framgår av figuren att storleksordningen på 95 %-konfidensintervallet vid en given tid är större än det erhållna medeltalet. Detta måste sägas vara tämligen mycket.

Ett mera direkt uttryck för osäkerheten fås genom att rita övre och nedre konfidensgränsen som procent av krypningens medelvärde vid varje tidpunkt. Ekvationerna för kurvorna blir i detta fall

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\varepsilon^{ö}_{c.95} - \bar{\varepsilon}_c}{a''\cdot\sinh(k\sigma)t^b} \\[2ex] \dfrac{\varepsilon^{n}_{c.95} - \bar{\varepsilon}_c}{a''\cdot\sinh(k\sigma)t^b} \end{array}\right\} = (10^{\pm 2\sqrt{\ }} - 1)\ 100\%$$

Kurvorna har ritats på fig 4.8.

4.3.6. Återhämtning

Vid avlastningen blev den momentana återgången nästan densamma som den momentana deformationen vid pålastning. Den största avvikelsen var på $5\cdot 10^{-3}$mm. Det fanns ingen systematik i differenserna. Skillnaderna kan delvis förklaras som rubbningar under avlastningen. Jfr i övrigt med fig 4.6.

Ett exempel på återhämtningsförloppet visas på fig 4.4. Det framgår här att det verkar som om deformationen inte vill återgå helt, utan man får en viss kvarstående deformation, δ_p.

För att bedöma storleksordningen av fördelningen på återhämtning och kvarstående deformation gjordes följande.

Återhämtningen, $\delta_å$, som är den deformation som återgår efter det att belastningen har tagits bort, förmodas att följa en hyperbelkurva. Lägges origo vid avlastningsdagen och vid återhämtningens början får man, om $\delta_å$ räknas positiv, en hyperbelekvation av formen

$$\delta_å = t'/(m + n\ t') \qquad (4.5)$$

där t' är tiden från avlastningen, och m och n är konstanter. Maximala återhämtningen, $\delta_{å,m}$, anges av hyperbelasymptotens läge

$$\delta_{å,m} = 1/n$$

Om, jfr fig 4.4, de momentana deformationerna δ_{e_1} och δ_{e_2} antages vara exakt lika stora blir den kvarstående deformationen, δ_p, lika med differensen mellan den maximala krypdeformationen, δ_c, och $\delta_{å,m}$.

$$\delta_p = \delta_c - \delta_{å,m}$$

Konstanterna m och n kan bestämmas grafiskt. Genom att avsätta försöksresultaten på formen

$$t'/\delta_å = m + nt'$$

får man en rät linje med avskärningen m på ordinataxeln och lutningen n. Avbildningen har gjorts på fig 4.9. Hyperbelantagandet kan räknas stämma först från det 20:e avlastningsdygnet.

I tabell 4.3 har antecknats m, n, $\delta_{å,m} = 1/n$, δ_c, δ_p och δ_p/δ_c · δ_p/δ_c synes vara oberoende av spänningsnivån. I medeltal är δ_p/δ_c ca 0.28, dvs 28 % av krypdeformationen är kvarstående. Denna bestämning är ganska osäker, eftersom bestämningen av δ_p är osäker. Osäkerheten framgår bl a av den stora variationskoefficienten på 22 %. Man kan avrunda och konkludera att ca 30 % av krypdeformationen efter 32 dygn är kvarstående.

- På fig 4.10 visas de maximala krypnedböjningar som uppkom under försöket, jämte de beräknade kvarstående deformationerna. Den visade medelkurvan för krypnedböjningarna är en sinh-kurva bestämd enligt fig 4.7. Ordinatorna till medelkurvan för de kvarstående deformationerna är bestämd som 28 % av ordinatorna till sinh-kurvan.

5. FÖRSÖK B. ORIENTERANDE UNDERSÖKNING MED KRYPNING UNDER UTTORKNING

5.1. Försöksplanering

5.1.1. Syfte

Syftet med detta försöksavsnitt var att få en uppfattning om storleksordningen av krypningen och om krypkurvans form när krypningen äger rum under samtidig uttorkning.

5.1.2. Teori

Utöver vad som har skrivits i avsnitt 2.3.3. skall följande påpekas om uttorkningens inverkan på krypningen. Under uttorkningen höjs elasticitetsmodulen (jfr Purins (64)). Samtidigt krymper materialet.

Krympningen sker olikformigt (från ytan och inåt), vilket åstadkommer övergående krympspänningar. Hos en balk bör detta teoretiskt sett ej ha någon inverkan på utböjningen eftersom krympspänningarna vid likformig torkning är lika i över- och undersida. Om utböjningen ändå förekommer under uttorkning av en balk, kan man förmoda att uttorkningen ej är likformig.

Pickett (42) har studerat samverkan mellan krypning och krympning hos betong. Det visas att den ökning av krypningen hos betong, som är konstaterad till följd av uttorkning kan förklaras som en konsekvens av ojämn krympning och icke-linjärt samband mellan spänning och krypning. Fenomenet kallas ofta för Picketts effekt. Picketts effekt är mest utpräglad vid snabb uttorkning, vilket är känt för betong. Pickett visar dock också i samma uppsats att krympningen icke kan medverka till ökad krypning med mindre det framkommer oelastiska deformationer som ej är proportionella mot spänningen.

5.1.3. Uppläggning

I försök B har vattendränkta provkroppar tillåtits torka i två olika klimat, ett mycket vått (80-90 % rf) och ett mycket torrt (40-50 % rf). I båda klimaten var temperaturen 20°C.

Provkropparna från försök A användes och fördelades på de två klimaten

Spänning kp/cm^2	0	2	3	4	5	6
80-90 % rf. Prov nr	0.1 0.3	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1
40-50 % rf. Prov nr	0.2 0.4	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2

som anförts i schemat ovan.

Det planerades att belastningen skulle verka tills inflytandet av uttorkningen hade försvunnit, varefter avlastningen skulle göras och återhämtningsförloppet följas.

5.1.4. Material

Materialet är det i försök A använda Dalby Siporex. Det hänvisas till tabell 4.1 för materialdata. I tabell 5.1 anges några andra data för föreliggande försök. Den i kolumn (7) angivna böjdraghållfastheten för vått material har uppskattats genom multiplicering av böjdraghållfastheterna för torrt material med 8.8/12.2 = 0.721, som är ett från försök C känt förhållande mellan böjdraghållfastheterna i vått och torrt tillstånd för Dalby Siporex. Kolumn (8) anger belastningsintensiteten σ/σ_{bd} beräknad som den konstanta krypspänningen i relation till den uppskattade böjdraghållfastheten i vått tillstånd.

5.2. Utförande

5.2.1. Konditionering och fuktkontroll

Den erforderliga fuktkontrollen utfördes på böjdragprovbitarna från försök A (2 bitar för varje provkropp, storlek 4 x 8 x ca 20 cm). Dessa bitar blev förseglade på ändytorna och kunde på så sätt förväntas få samma uttorkningsförlopp som balkarnas mittdel. Provkropparna och kontrollprovkropparna vattendränktes i 15 dygn. Provkropparna placerades på uppställningarna i respektive rum och belastades omedelbart därefter.

Rummen var termostatstyrda till 20 ± 1°C. 80-90 % rf uppnåddes med vatten på golvet och i behållare med våta säckar. 40-50 % rf uppnåddes genom att fläktsystemet till ett laboratorium stängdes. I

båda rummen stod små ventilatorer som gav en lufthastighet kring provkropparna på max 1-2 m/sek.

5.2.2. Krypning och återhämtning

Böjbelastningsuppställningen användes. Provkropparna belastades med exakt samma last som i försök A, varigenom jämförelser mellan de två försöken kunde göras.

Försöksstarten försiggick som beskrivits för försök A i avsnitt 4.2.4. Mätklockorna avlästes också vid samma tidpunkter som då. Samtidigt med avläsningen av klockorna vägdes kontrollprovkropparna.

Deformationsförloppen följdes i 63 dygn tills proven i 80-90 % rf under ett par veckor hade varit i jämnvikt med den omgivande luften. Härefter företogs avlastning. Av diverse orsaker kunde återgångsförloppet ej följas under mer än 13 dygn.

Sista momentet var att kontrollprovkropparna uttorkades för bestämning av torrvikten.

5.3. Resultat

5.3.1. Uttorkningsförlopp, fuktfördelning

Vid vattenlagringen uppnåddes fuktkvoter på 79.6 % - 91.6 % såsom framgår av tabell 5.1, kolumn (4). Uttorkningsförloppen för proven i de två rummen framgår av fig 5.3 och 5.4. Förloppen skiljer sig så litet mellan kontrollprovkropparna, att endast en kurva för varje rum har ritats (2.1. resp 2.2.). I figurerna har ytterligare variationerna i relativa luftfuktigheten visats.

I 80-90 %-klimatet är proven i jämnvikt efter 40 dygn, medan de i 40-50 %-klimatet redan är i jämnvikt efter 15 dygn. Fuktkvoterna i kontrollprovkropparna vid försökets avslutning framgår av tabell 5.1, kolumn (5).

Efter hela försökets avslutning gjordes en kompletterande undersökning av fördelningen av fukten i en provkropp. En kontrollprovkropp

(4 x 8 x 20 cm) vattendränktes i 16 dygn stående på kantsidan. En 2 cm tjock skiva skars ur. Denna skiva sönderdelades med 4 snitt i bredd och 4 i höjdriktningen i 25 bitar, vars fuktkvoter bestämdes. Härefter blev kontrollprovkroppen lagd upp på flatsidan (som krypproven låg) och blev uttorkad i ett rum med 40-50 % rf. Efter 2, 4 och 8 dygn skars skivor ut av provkroppen till fuktkvotsbestämning som ovan. Under hela försöket var ändytorna på kontrollprovkroppen förseglade.

Resultaten av undersökningen framgår av fig. 5.1. Genom medelfuktkvoterna för småbitarna har ritats linjer så att fuktfördelningen kan uppskattas. Nära kanten är denna metod osäker, vilket markerats med punkterade linjer. Man kan se att fördelningen i begynnelsen ej är jämn. Fuktkvoten är högst i kanten och högst (ca 85 %) på den sida som har legat underst vid vattenlagringen. Medelfuktkvoten är 80 %.

Efter 2 dygn har fukten fördelat sig jämnt. Medelfuktkvoten är 48 %. Efter 4 dygn har en del av vattnet genom inverkan på tyngden runnit ner i den nedersta delen av kroppen och åstadkommit en sned fuktfördelning. Fuktkvoten i översidan skattas till 2,5 % (jämnviktsfuktkvoten). Fuktkvoten i undersidan skattas till 10 %. Medelfuktkvoten är 16 %.

Efter 8-10 dygn är fukten jämnt fördelad och i jämnvikt med rumsklimatet. Förloppet av de ovan redovisade medelfuktkvoterna med tiden stämmer ej helt med det i fig 5.4 redovisade. Detta kan bero på olika porositet hos proven.

5.3.2. Elasticitetsmoduler

Av de momentana deformationerna vid på och avlastning beräknas elasticitetsmodulerna för vått och torrt material enligt appendix A ekv (1). Resultatet framgår av tabell 5.1, kolumn (9) och (10).

Av tabellen framgår en svag tendens till att elasticitetsmodulen sjunker med ökande fuktkvot. Tar man medeltalet av samma provkropps elasticitetsmodul i försök A kan man uppställa nedanstående tabell, som visat trenden. Det är små, knappast signifikanta skillnader det rör sig om.

	Pålastning	Avlastning	Försök A	Avlastning
Prov nr	2.1 2.2 3.1 3.2 4.1 4.2	2.1 3.1 4.1	2.1 2.2 3.1 3.2 4.1 4.2	2.2 3.2 4.2
Medelfukt-kvot %	85	6.1	2.7	2.5
Medel-E, kp/cm^2	14500	15000	15200	15400

5.3.3. Krypningens storleksordning och tidsberoende

Hela deformationsförloppet för samtliga provkroppar visas på fig 5.2. Provkropparna 5.1, 5.2 och 6.2 bröts efter resp 11, 45 och 22 minuter. På grund av den korta belastningstiden har det knappast varit krymp-spänningarna som har medverkat till brottet. Detta får snarare hänföras till att materialets brottspänning är nedsatt i vått tillstånd. Av tabell 5.1, kolumn (8), framgår att belastningsintensiteterna, σ/σ_{bd}, för dessa balkar är 0.83, 0.67 resp 0.81 dvs de låg alla över $0.60 \cdot \sigma_{bd}$ som anses vara varkatighetsgränsen för många material. (Provkropp 6.1. som gick sönder i försök A, hade även $\sigma/\sigma_{bd} = 0.65 > 0.6$.)

Krypkurvorna visas i log-log-skala för balkarna i 80-90-%-klimatet på fig 5.3 och för balkarna i 40-50-%-klimatet på fig 5.4.

Av fig 5.3 framgår, att krypkurvorna för 80-90-%-klimatet med rätt god approximation kan beskrivas med en rät linje i log-log-skala (dvs en potensfunktion $\varepsilon_c = A \cdot t^b$) från 1/128 dygn till 11 dygn. Vid 11 dygn är medelfuktkvoten nere i 44 % och man kan då förmoda att fuktkvoten i ytterfibrerna är nere i det hygroskopiska området, där krympspänningar uppträder. Krypkurvorna får i varje fall härefter ett oregelbundet förlopp. Efter det 45:e dygnet, när provkropparnas fuktkvot är i jämnvikt med det påtryckta klimatet, fortsätter krypkurvorna efter en rak linje. Regressionskonstanterna b, log A', korrektionslogaritmen och konstanten

A för 1/128 till 11 dygn och för 45 till 63 dygn har angivits i tabell 5.2. Beräkningsmetoden framgår av avsnitt 4.3.3.

Av fig 5.4 ses att krypkurvorna för 40-50-%-klimatet med rätt god approximation kan beskrivas med en rät linje i log-log-skala fram till det andra dygnet. Här är fuktkvoten nere i 43 % (jfr med 44 % ovan). Krypkurvorna blir nu oregelbundna och får en anmärkningsvärd puckel, vars uppkomst skall diskuteras nedan. Pucklarna förekommer även på de obelastade provkropparna. Efter det 10:e dygnet är fuktkvoten i jämnvikt med det påtryckta klimatet och efter det 15:e dygnet fortsätter krypkurvorna efter en rät linje i log-log-diagrammet. Regressionskonstanterna för de två områdena för kurvan finns i tabell 5.2.

I tabell 5.2 har även antecknats krypfaktorn per spänningsenhet, a, ($a = A/\sigma$), för materialet innan uttorkningen. a och b har samma storleksordning i de två klimaten och beskriver krypningen av det våta materialet.

Vid utvärderingen av krypkurvorna har hänsyn ej tagits till de obelastade provkropparnas deformationer. Förloppet av dessa tages emellertid med i värderingarna i diskussionen i avsnitt 5.4.

Återhämtningen fick avbrytas redan efter 13 dygn. Utvärderingen av återhämtningens slutvärde blir därför något osäker, särskilt i 40-50-%-klimatet, där deformationerna hos kontrollproven 0.2 och 0.4 visar att oliksidigt fuktutbyte ägt rum. Viss utvärdering har gjorts Nielsen (68), men den är så osäker, att den ej har medtagits här.

5.4. Uttorkningens betydelse

5.4.1. 80-90-%-klimatet

Som det framgår av fig 5.3 är krypkurvorna i 80-90-%-klimatet raka i log-log-skala fram till det 11:e dygnet. Här börjar krympspänningar att verka, dock endast i balkarnas översida, jfr fig 5.1. Krympspänningarna kan ej vara särskilt stora, vilket kan bedömas från deformationerna av de obelastade provkropparna. De verkar emellertid i 10-20 dygn och överlagras den påtryckta spänningen. Kryphastigheten stiger,

vilket är särskilt utpräglat i prov 3.1 och 4.1. Efter viss tid (det 36:e dygnet för prov 3.1 och det 21:a dygnet för prov 4.1) börjar undersidan av balkarna att få krympspänningar varvid kryphastigheten går ned.

Efter det 45:e dygnet fortsätter proven efter en ny rak linje, dock med större lutning, b, än för det våta materialet. Bestämningen är emellertid osäker. Sträckan för bestämningen är ganska kort. Ytterligare kan det tänkas att ökningen är en följd av att den relativa luftfuktigheten i rummet har gått upp under krypningens sista två veckor, jfr fig 5.3.

Uttorkningsförloppets betydelse kan värderas genom att jämföra den efter 63 dygn erhållna krypningen med den som man skulle ha fått för det helt våta materialet och den man skulle ha fått för det torra materialet i försök A. De helt våta provkropparnas krypning efter 63 dygn, δ_v, uppskattades genom förlängning av regressionslinjen som visas på fig 5.3. De torra provkropparnas krypning efter 63 dygn, δ_t, uppskattades genom förlängning av regressionslinjen för vederbörande provkropp på fig 4.6. Den uppmätta krypningen kallas δ_u.

Resultatet framgår av tabellen nedan. I tabellen har även antecknats hur mycket δ_u är större än δ_v och δ_t.

Uttorkningens betydelse, 80-90-%-klimatet

Prov	Nedböjningar, 10^{-3}mm			Ökning av δ_u	
nr	δ_u	δ_v	δ_t	δ_u/δ_v	δ_u/δ_t
2.1	61	41	28	1.49	2.18
3.1	112	66	50	1.70	2.24
4.1	116	86	45	1.35	2.58
Medel				1.51	2.34

Ökningarna är avsevärda. Det är dock en fråga om man kan beteckna krympningens inverkan som en Picketts effekt. Pickett behandlade provkroppar som torkade jämnt från alla sidor. I detta fall har man haft en ensidig uttorkning. De små krympspänningarna från denna har samverkat med den påtryckta spänningen under lång tid och har givit krypökningarna. Det kan ifrågasättas om man skulle ha fått lika stora ökningar om proven hade tillåtits torka från någon hygroskopisk fukt-kvot, där gravitationen ej kan ge oliksidiga vattenfördelningar.

5.4.2. 40-50-%-klimatet

Förloppet av krypkurvorna i fig 5.4 tolkas så, att i 40-50-%-klimatet har provernas fuktkvot redan efter 2 dygn sjunkit så mycket, att krympspänningar börjar bildas. Av fig 5.1 drar vi slutsatsen att dessa spänningar verkar först i ovansidan som dragspänningar, eftersom det nedsjunkna vattnet hindrar undersidan i att krympa.

En skattad krympspänningsprofil visas på fig 5.5 B. Dessa krympspänningar överlagras den påtryckta spänningen och ger dels en ökad krypning och dels en extra elastisk töjning. Denna sista orsakar "pucklarna" på kurvorna i fig 5.4.

"Pucklarnas" höjd motsvarar en spänning (enligt elasticitetsteorin och Navier) av storleksordningen 0.3-0.6 kp/cm^2, jfr fig 5.5 B. Man måste dock förmoda att spänningen i den torraste sidan är mycket större än detta värde, troligen av storleksordningen 1 kp/cm^2. "Pucklarna" börjar minska, när provkropparnas undersida efter 6-7 dygn börjar krympa.

Vid 10 dygn är proven i fuktjämnvikt och vid 15 dygn fortsätter krypkurvan efter en linje med nästan samma lutning som före uttorkningen. Krypkurvan är för prov 3.2 och 4.2 förskjuten uppåt. Detta kan vara en effekt av att kryphastigheten har gått upp under uttorkningen till följd av extraspänningarna. (Förskjutningen är minst för 2.2 och störst för 4.2.) Men det kan icke uteslutas att förskjutningen kan vara en kastning av provkropparna till följd av krympningen. Detta framgår av att kontrollproven 0.2 och 0.4 har fått relativt stora permanenta deformationer.

Uttorkningens betydelse, 40-50-%-klimatet					
Prov nr	Nedböjningar, 10^{-3}mm			Ökning av δ_u	
	δ_u	δ_v	δ_t	δ_u/δ_v	δ_u/δ_t
2.2	39	43	24	0.91	1.63
3.2	63	48	54	1.31	1.17
4.2	91	75	73	1.21	1.25
Medel				1.14	1.35

Den slutliga betydelsen av uttorkningen i 40-50-%-klimatet skall bedömas genom att jämföra krypningen efter 63 dygn med den för helt vått material och den för materialet i försök A. δ_u, δ_v och δ_t bestämdes som beskrivits i föregående avsnitt.

Resultatet framgår av tabellen ovan.

Ökningarna är i detta fall måttliga. δ_u är, när spridningen beaktas, av samma storleksordning som δ_v.

Enligt Picketts teori förväntades man få de största krypdeformationerna vid den snabba uttorkningen. Det har blivit omvänt i detta försök, därför att de extraspänningar, som förmodas ge den ökade krypningen, endast har verkat kort tid i det torra, men lång tid i det våta klimatet. I det våta klimatet har spänningarna dessutom verkat på vått material, som har 40 % större krypning än torrt.

6. FÖRSÖK C. GASBETONG FRÅN FYRA FABRIKER

6.1. Försöksplanering

6.1.1. Syfte och uppläggning

Syftet med detta försök, som tills vidare utgör undersökningens huvudförsök, är, jfr avsnitt 1.1, att för gasbetong från fyra svenska fabriker göra en kartläggande undersökning av grundkrypningens storleksordning och tidsberoende, belastningsberoende, fuktkvotsberoende och beroende av materialegenskaper och spridning inom fabrik.

Det valdes att utföra försöket som faktorförsök med faktorerna fabriker, belastningar och fuktnivåer. Dessutom togs en upprepning med för att få möjligheter att värdera materialegenskapernas betydelse. Försöksplanen visas i schemat nedan. Resonemanget bakom valet av antalet faktorer och nivåer är redovisat i avsnitt 6.1.2. nedan.

Faktorförsöket ger en uppfattning om på vilket sätt krypningen sammanhänger med de valda faktorerna, men nackdelen vid denna försökstyp är, att den skattning man får på parametrarna i sammanhangen är ganska osäker. Om man önskar större säkerhet på parameterskattningen, måste man välja försöksplaner med färre faktornivåer och/eller flera provkroppar.

6.1.2. Val av faktornivåer

I avsnitt 2.3. har de olika faktorerna som kan tänkas influera krypningen diskuterats. Nedan genomgås de överläggningar, som bestämde antalet faktornivåer i försök C. I överläggningarna har ingått synpunkter

Plan för försök C
Siffrorna anger elementnummer

Spänning	Fuktnivå	Fabrik K		Fabrik B		Fabrik S		Fabrik D	
2 kp/cm^2	torr, t	1	3	9	11	17	19	25	27
	våt, v	2		10	12	18	20	26	28
4 kp/cm^2	torr, t	5	7	13	15	21	23	29	31
	våt, v	6	8	14	16	22	24	30	32

[illegible]

[illegible]

[illegible]

från gasbetongindustrin (firmorna Siporex och Ytong).

Antalet provkroppar var av praktiska skäl begränsade till 32 stycken, vilket har pressat ned antalet faktornivåer.

Det finns för närvarande 12 gasbetongfabriker i Sverige. De fyra som kunde tas med blev valda så, att man fick fyra produkter med så olika råvarusammansättning som möjligt, jfr, avsnitt 2.3.2.

Vid valet av antalet spänningsnivåer blev följande synpunkter beaktade. Om man vill bestämma sambandet mellan krypning och spänning mycket exakt bör så många spänningsnivåer som möjligt tagas med. Med det antal provkroppar som står till förfogande och den stora spridning, som man måste förvänta sig på kryptöjningarna är det emellertid illusoriskt att tänka sig någon större noggrannhet i funktionsbestämningen. Det valdes då endast två spänningsnivåer som tillsammans med origo kan ge upplysningar om funktionssambandet.

Den högsta spänningsnivån blev vald så att böjdraghållfastheten för långtidspåverkan för det svagaste materialet ej överskreds. Långtidshållfastheten ligger på ca 60 % av korttidsbrottlasten, som för vått material är ca 7.5 kp/cm^2. Den högsta spänningsnivån blev sålunda 4 kp/cm^2 och den lägsta 2 kp/cm^2. Dessa siffror blev dock först exakt bestämda, då böjdraghållfasthetsresultaten förelåg.

Då fukthaltens inflytande på krypningen var helt obekant valdes endast två fuktnivåer. Som den ena valdes fuktkvoten (t) vid jämnvikt i ett vanligt bruksklimat, 43 $\pm$ 2 % rf, 20 $\pm$ 1°C, vilket ger fuktkvoter i materialet på 2.5-3.5 %. Som den andra valdes den fuktkvot (v), som fås efter vattendränkning i 20 dygn, vilket ger fuktkvoter i materialet på 80-90 %.

I försök A hade en ökning av krypningen med volymvikten påvisats (Nielsen (67)). Det tycktes därför rimligt att ta volymvikten med som varierande faktor och t ex ha två volymviktsnivåer. Emellertid upplystes det från fabrikerna, att av de tre nominella volymvikterna, 0.4, 0.5 och 0.65, utgör 0.5 85-90 % av totalproduktionen. Det valdes därför att

enbart ta denna volymvikt med i försöket, och i gengäld få en upprepning. Upprepningen ger större säkerhet i konklusionerna. Volymviktens variation kommer emellertid på detta sätt endast med som de godtyckliga variationerna inom samma nominella volymvikt.

6.1.3. Material

Materialet till försöket togs från följande fabriker

Fabrik	Huvudråvaror	Beteckning
Kvarntorp (Vit Ytong)	Lingulitsandsten, kalk	K
Borensberg (Blå Ytong)	Alunskifferaska, ortocerkalk	B
Södertälje (Siporex)	Kvartssand, slagg, cement	S
Dalby I (Siporex)	Kvartssand, cement (kalk)	D

Materialets nominella volymvikt var 0.5 kg/dm^3.

Utöver krypningsparametrarna blev en del andra materialegenskaper bestämda. Dessa egenskaper är antecknade i schemat nedan över alla de experiment som blev utförda för samtliga 32 element.

Egenskap	Provkropps-dimension, mm	Antal per element		Resultat i tabell
		Provkropp	Bestäm-ningar	
Volymvikt	40·80·ca 100	2	2	6.1
Startfuktkvot			2	6.2
Böjdraghållf	40·40·160	3	3	6.3
Tryckhållf			6	6.4
Elasticitetsmodul	40·80·780	1	1	6.5
Krypning			1	6.7, 6.8, 6.9
Krympning	40·40·160	2	2	6.6

För två prov av varje fabrikat blev sorptionsisotermer bestämda. Dessa kurvor framgår av fig 6.20.

6.1.4. Provkroppsuttagning

Försöket syftar till att ge en bild av hela fabrikens produktion, och icke blott förhållanden inom en enstaka vagn eller på specialtillverkade prov. Materialet blev därför uttaget ur fabrikens vanliga produktion under en månad, så att vissa tidsberoende variationer kom med. Det hade varit bättre att få en ännu längre period, men de praktiska förhållanden satte också här en gräns.

På 8 godtyckligt valda dagar under april-maj 1967 togs det ut 1 element (ej murblock) från 3 olika vagnar. Elementen tilläts ha smärre transportskador. När provtagningen var slut reste författaren själv runt till fabrikerna och var där med om grovuppsågningen.

Bland varje uttagningsdags 3 element utvaldes 2. Det tredje blev lagt i reserv. Av de 2 utsågades godtyckligt grovblock, jfr fig 6.1. Armeringsjärn och träpinnar undveks. Alla grovblocken skickades till Dalby Siporexfabrik där den exakta uppsågningen, jfr fig 6.1, ägde rum. Av de två elementen från samma uttagningsdag valdes ett till försökskropp och ett till reserv.

Några speciella förhållanden för provtagningen på de olika fabrikerna skall omnämnas.

På fabrik K hade man på grund av ett missförstånd ständigt tagit ut det element som i autoklaven ligger överst på vagnen, dvs ett sidoelement från formen. Detta betyder att viss variation inom vagnar ej har kommit med. Grimer och Brewer (65) har gjort en undersökning över olika egenskapers (bl a hållfasthetens) variation inom en vagn för fyra olika engelska produkter. De fann att egenskapernas medelvärde inte är signifikant olika för mitt- och sidoskikten i vagnen. Det pekar på att detta fel i uttagningen inte kan ha så stor betydelse för spridningen på försöket. (En större spridningskälla är säkert variationen mellan botten- och topplager i formen, och denna variation kommer med vid provtagningen.)

På fabrik B blev provkropparna uttagna av en och samma elementtyp (Mellanväggselement 100 x 500 x 2750 mm) eftersom det var den enda typ element som på den tidpunkten producerades, där det gick att få ut det önskade blocket. Den blev då endast 100 mm i höjden och ej 110 mm som visas på fig 6.1. Trärameringen var förskjuten så att det gick att få ut grovblocken i mitten.

6.2. Utförande

6.2.1. Konditionering och försegling

Krypprovkroppar och fuktkontrollbitar blev först delade efter konditionering. Efter sågningen enl fig 6.1, men innan konditioneringen förseglades ändytorna med latexlim och plastfolie. Härvid beräknades fuktkontrollbitarna få samma fuktkvot som krypbalken under konditioneringen. Dessutom blev krypbalkarna försedda med mätdubbar, jfr avsnitt 4.2.1. Vägning skedde innan, mellan och efter dessa arbetssteg.

Hälften av balkarna (alla med udda nummer) lagrades till järnvikt med 43 ± 1 % rf, 20 ± 1°C. Detta tog 19 dygn.

Den andra hälften (alla med jämna nummer) lades i vatten, 20 ± 1°C, i 20 dygn.

Tillsammans med respektive krypprovkroppar lagrades 3 prismor (40·40·160 mm) för kontroll av hållfastheten.

Efter konditioneringen sågades fuktkontrollbitarna av från krypbalkarna. Latexförseglingen kapades också bort, varefter fuktkontrollbitarna omedelbart vägdes. Provernas torrvikt bestämdes efter uttorkningen vid 103 ± 2°C.

Efter tillsågningen i mått och samtidigt med fuktkontrollen emballerades krypbalkarna i plast på samma sätt som i försök A, jfr avsnitt 4.2.2. och fig 4.2, varefter de låg i ca 1 vecka innan pålastningen.

Torrvolymvikten blev också bestämd på fuktkontrollbitarna. Volymen av bitarna blev bestämd genom mätning med skjutmått och genom hydro-

statisk vägning. Medeltalet av volymbestämningarna användes. (Volymvikternas spridning inom samma balk var emellertid så stor, att det extra arbetet med den noggranna hydrostatiska volymbestämningen knappast var motiverad, jfr med värdet $\overline{s\{\gamma\}}$ i tabell 6.1, kolumn (6).

6.2.2. Hållfasthet

När detta försök genomfördes stod en noggrannare provningsutrustning till förfogande än vid försök A. Hållfasthetskontrollerna blev därför av större omfattning än i det första försöket.

Böjdrag- och tryckhållfastheten blev bestämd på 4 x 4 x 16 cm prismor enligt det av Cembureau (59) rekommenderade förfarandet för bestämning av dessa båda egenskaper för cementbruksprismor. Mätdonen visas på fig 6.2.

Den använda provningsmaskinen, som har elektronisk kraftmätning, var av märket "Alwetron".

För varje krypprovkropp provades 3 godtyckligt valda kontrollprismor. För de torra provkropparna försiggick provningen i konditioneringsklimatet (43 ± 2 % rf, 20 ± 1°C) omedelbart innan förseglingen av krypproven. För de våta provkropparna försiggick provningen i 68 ± 2 % rf, 20 ± 1°C efter förseglingen av krypproven. Avdunstningen från de våta prismorna var hindrad ända fram till provningstidpunkten genom förvaring i våta trasor.

6.2.3. Krympning

Krympningen blev bestämd på 4 x 4 x 16 cm prismor enligt den i förslag till Lättbetongnormerna 1965 angivna metoden. Enligt denna blev krympningen mätt på prismor som lagrades 3 dygn i vatten med 20 ± 2°C och sedan fick de torka ut i ett rum med 43 ± 2 % rf och 20 ± 2°C.

Provkropparna var i ändytorna försedda med mätdubbar (rundhuvud mässingsskruv) fastgjutna med svavel.

För varje element provades 2 prismor.

Krympuppställningen visas på fig 6.3.

6.2.4. Krypning

Vid krypningsmätningen blev den på fig 3.1 och 3.2 visade böjuppställningen använd. En överblick över samtliga krypuppställningar får man av fig 6.4.

På grund av erfarenheterna från försök A ansågs det vid försöksstarten ej behövligt att ha obelastade kontrollprov med. Med avseende på kontroll av förseglingens täthet borde de dock ha varit med.

På grundval av hållfasthetsresultaten fastställdes spänningarna till 2 och 4 kp/cm^2 (jfr avsnitt 6.1.2), och belastningen i hinkarna bestämdes utifrån den önskade spänningen och de aktuella provbalkarnas mått (jfr appendix A).

Innan försöksstarten placerades provkropparna i försöksanordningarna, mätbryggorna, tryckfördelningsbitar och kulor anbragtes och mätklockorna nollställdes. De nedre och övre tryckfördelningsbitarna placerades i rätt läge med mall.

Belastningen (krok, hink och sand) lades på för hand. Försöket räknades starta när hela belastningen var påförd. Första avläsningen, som ger momentandeformationen, togs omedelbart när mätklockans visare hade kommit i ro. Sedan gjordes avläsningarna vid de i avsnitt 4.2.4 angivna tiderna. Efter det första dygnet lästes

varje dag tills 2:a veckan hade gått,
varannan dag tills 4:e veckan hade gått,
varje vecka tills 3:e månaden hade gått,
varannan vecka tills 7:e månaden hade gått.
varje månad till försökets slut.

Balkarna belastades med 1 minuts intervaller. De är i skrivande stund fortfarande under last.

Alla balkarna uppställdes i samma lokal (ett skyddsrum). Temperaturen har mycket långsamt pendlat mellan 19°C och 22°C.

Den relativa luftfuktigheten ansågs kunna få variera godtyckligt eftersom provkropparna var förseglade. Under den första tiden hölls alla ventilationsöppningar stängda. Luftfuktigheten steg därför från 70 % rf vid försöksstarten till 83 % rf efter 4 veckor, varefter den pendlade mellan 80 och 85 % rf. Efter 120 dygn blev det nödvändigt (på grund av mögelbildning på väggarna) att öppna för ventilation. Rf sjönk omedelbart och har under resten av försökstiden pendlat mellan 30 % och 60 % med ganska snabba växlingar.

6.2.5. Fuktisotermer

För två element för varje fabrikat (nr 4, 8, 11, 14, 17, 24, 25 och 28) blev desorptions- och absorptionsisotermer bestämda i den av Ahlgren (68) konstruerade klimatkammaren. Isotermerna syns på fig 6.20.

För fabrik D syns två markant skilda desorptionskurvor. Den övre är bestämd utifrån vattenmättat tillstånd. Den andra är, liksom desorptionskurvorna för de övriga fabrikaten, bestämd utifrån en lägre begynnelsefuktkvot (15 % < u < 20 %).

6.3. Resultat

6.3.1. Volymvikter och fuktkvoter

Volymvikterna har angivits i tabell 6.1 och sammanfattats i schemat nedan. Fig 6.5 är ett översiktsdiagram för volymvikterna.

Fuktkvoterna vid försöksstarten har angivits i tabell 6.2 och sammanfattats i schemat nedan. Fig 6.6 är ett översiktsdiagram för fuktkvoterna.

De hygroskopiska fuktkvoterna på fuktnivå t visar sig stämma med de i fig 6.20 ritade desorptionsisotermerna. Att fuktkvoten, $\bar{\bar{u}}$, för fabrik S på fuktnivå v är lägre än för de övriga fabrikerna beror troligen på en annan porstruktur hos detta material.

En mera ingående utvärdering av mätningarna av volymvikter och fuktkvoter ges i appendix B.

		Volymvikter g/cm^3			
Fabrik		K	B	S	D
$\bar{\bar{\gamma}}$		0.480	0.520	0.496	0.489
$s\{\bar{\gamma}\}$		0.004	0.014	0.010	0.012
		Fuktkvoter, viktsprocent			
t	$\bar{\bar{u}}$	2.6	3.3	3.3	2.9
	$s\{\bar{u}\}$	0.2	0.2	0.1	0.4
v	$\bar{\bar{u}}$	92	95	84	91
	$s\{\bar{u}\}$	2	1	3	5

6.3.2. Fuktkvotsändringar

Den använda plastförseglingen har ej varit tät, utan man har fått en fuktvandring genom den under försökstiden. Detta har orsakat ändringar av provkropparnas fuktkvoter.

Som redovisats i avsnitt 6.2.4 hade man under de första 120 dygnen ca 80 % rf. Under denna tid har vatten avgått från provkropparna på fuktnivå v och vatten trängt in i proven på fuktnivå t. Efter det 120:e dygnet har rf pendlat mellan 30 och 50 % vilket har orsakat ytterligare uttorkning av v-provkropparna och uttorkning av de uppfuktade provkropparna på fuktnivå t. Alla provkropparna strävar efter att inta fuktjämnvikt med medeltalet av rf eftersom plastförseglingen ej hindrar, utan endast försenar fukttransporten.

Vägning av en våt reservprovkropp som har legat 260 dygn i ett lagerrum med 40-50 % rf gav en vattenförlust på 35 g, motsvarande 2,5 % fukt. På grundval härav beräknades en permeabilitetskoefficient för plasten av storleksordningen 0.003 g/h·m^2·mmHg. Andra försök med samma plast med stora partialtrycksskillnader har gett värden på 0.002 och 0.004 g/h·m^2·mmHg.

Vid försök A blev permeabilitetskoefficienten bestämd till

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

0.001 $g/h \cdot m^2 \cdot mmHg$ vid partialtryck svarande till 80 % rf och 50 % rf. Detta stämmer någorlunda med de ovan refererade värden som är uppnätta vid högre partialtryck, där materialen ofta har större permeabilitetskoefficienter. Bestämningen är som synes osäker.

Tyvärr kunde provkropparna på fuktnivå t ej kontrollvägas. I stället kan ett överslag över genomsläppningen göras. Under förutsättning av en permeabilitetskoefficient på 2 à $4 \cdot 10^{-3}$ $g/h \cdot m^2 \cdot mmHg$, och partialtryck motsvarande 80 % rf på utsidan och 43 % rf ökande till 60 % rf på insidan, får man under de 120 dygn, som den höga fuktigheten råder, en inträngning i provkroppen på 7 à 14 g. Detta motsvarar en ökning av fuktkvoten på 0.6 à 1.1 %.

Fukten som kommer in genom plasten fördelar sig mycket snabbt jämnt i i gasbetongen, vars permeabilitetskoefficient är en tiopotens större än plastens (0.04 $g/h \cdot m \cdot mmHg$ mot den ovan bestämda 0.004 $g/h \cdot m \cdot mmHg$). De partialtrycksgradienter som är nödvändiga för att transportera det inkomna vattnet bort från ytskiktet är av storleksordningen $0.1 \cdot mmHg/cm$.

Sedan klimatet ändrats efter 120 dygn, börjar balkarna åter torka. Efter det 256:e dygnet är provkropparna på fuktnivå t sannolikt i närheten av jämnvikt med medelvärdet på rf i rummet dvs ca 45 % rf.

En kontrollvägning efter 260 dygn av den våta krypprovkroppen, nr 30, som bröts omedelbart efter starten och som blev liggande i rummet med obruten försegling gav en vattenförlust på 32 g, motsvarande en minskning av fuktkvoten på ca 2.5 %. På de stora fuktkvoterna på 80-90 % betyder detta absolut sett ej mycket. Men när vattnet efterhand sjunker ned i undersidan av balkarna kan denna uttorkning åstadkomma krympspänningar och egenskapsändringar i balkarnas översida. Klimatet kring v-balkarna bör därför ändras till 100 % rf om man fortfarande önskar att mäta helt vått material.

6.3.3. Hållfasthet och elasticitetsmodul

Resultatet av bestämningen av böjdraghållfasthet, σ_t, tryckhållfasthet, σ_{bd}, och elasticitetsmodul, E, återges dels i tabellerna 6.3, 6.4, och 6.5 respektive och dels i översiktsdiagrammena fig 6.7, 6.8 och 6.9 respektive.

Av tabellerna kan utläsas medeltal och spridning inom element och inom fabriker och fuktkvoter. Variationen av dessa siffror säger en del om de olika produkternas kvalitet. I appendix B har kvaliteten delvis diskuterats. I appendix B finns även redovisat empiriska sammanhang mellan σ_t, σ_{bd}, E och volymvikten γ.

I schemat nedan finns en sammanställning av medeltalen för σ_t, σ_{bd} och E för fabriker och fuktkvoter. Man ser en markant sänkning med ökande fuktkvot av alla parametrarna för alla fabrikerna. Ett undantag utgör dock E för fabrik S som ligger på samma nivå vid båda fuktkvoterna, även om σ_{bd} och σ_t sjunker. Detta är anmärkningsvärt. Iakttagelsen skall kopplas till att krypbenägenheten för detta fabrikat också befinnes vara oberoende av fuktkvoten

Översikt över σ_{bd}, σ_t och E kp/cm^2

Parameter	Fuktnivå	Fabrik K	Fabrik B	Fabrik S	Fabrik D	Medel
σ_{bd}	t	16.3	14.7	16.3	12.2	14.9
	v	12.2	11.8	11.0	8.8	11.0
	Medel	14.3	13.3	13.7	10.5	13.0
σ_t	t	48.3	49.4	47.6	41.5	46.9
	v	33.8	35.9	35.9	25.1	32.6
	Medel	41.4	42.7	41.7	33.3	39.8
E	t	20.2	17.0	21.1	17.6	19.0
	v	15.1	14.4	21.8	13.5	16.2
	Medel	17.7	15.7	21.5	15.6	17.6

6.3.4. Krympning

Resultatet av krympningsmätningarna framgår av tabell 6.6. Resultaten i kolumn (4) är medelvärde av två mätningar, $\bar{\bar{\varepsilon}}_k$. Kolumn (6) anger medelvärdet av spridningarna mellan dessa två mätningar, $\overline{s\{\varepsilon_k\}}$. Kolumn (7) anger medeltalet för varje fabrik, $\bar{\bar{\bar{\varepsilon}}}_k$. Kolumn (8) anger variansen och kolumn (9) spridningen på $\bar{\bar{\varepsilon}}_k$.

Medelvärdet av krympningen för fabrik K och S ligger på 0.23 ‰ och för fabrik B och D på 0.25 ‰. Skillnaden är ej signifikant. Det är anmärkningsvärt, att krympningen är så liten och att fabrikaten ligger så nära varann.

Man hade fått en annan bild av krympningen om uttorkningen hade drivits till t ex 30 % rf i stället för till de nomerade 43 % rf, eftersom det är bekant bl a från undersökningar av Statens Betongkommitté, att krympningen ökar väsentligt vid låga luftfuktigheter.

6.3.5. Krypningens storleksordning och tidsberoende

Redovisningen av det samlade deformationsförloppet föreligger i två delar. De direkt avlästa momentannedböjningarna har antecknats i tabell 6.5 och användes för bestämning av elasticitetsmodulerna. De direkt avlästa krypnedböjningarna har avsatts i de dubbellogaritmiska diagrammen fig 6.10 - 6.13.

Krypkurvorna för fuktnivå v kan ses ansluta sig så väl till en rät linje att ekvationen $\varepsilon_c = A \cdot t^b$ kan användas som krypmodell. Av tidsmässiga skäl blev beräkningen utförd för intervallet 1/128 till 100 dygn. Det visade sig emellertid vara lämpligt med 100 dygn som övre gräns, eftersom några av kurvorna (nr 2, 4, 6, 12, 18 och 26) efter denna tidpunkt börjar avvika uppåt eller neråt från den räta linjen. Detta är troligen en följd av den i avsnitt 6.3.2 beskrivna uttorkningen. Att kurva 28 redan på ett tidigt stadium avviker från den räta linjen är förbryllande. Orsaken har ej kunnat fastställas.

Krypkurvorna för fuktnivå t, fabrik K, B och D kan ses ansluta sig till en rät linje fram till mellan 8 och 16 dygn. Här börjar alla dessa kurvor att kröka uppåt. Krypkurvorna för fuktnivå t, fabrik S ses att vara något

så när raka ända fram till 256 dygn. Orsaken till uppåtkrökningen kan kvalitativt och kvantitativt förklaras med provkropparnas ökande fuktkvot, som ändrar materialegenskaperna (se avsnitt 7.3). Regressionslinjerna har för krypkurvorna för fuktnivå t anpassats i intervallet 1/128 till 10 dygn.

Resultatet av regressionsanalyserna har redovisats i tabell 6.7. Medeltal och spridning på A och b har redovisats i tabell 6.8. A och b har ritats in på översiktsdiagrammen fig 6.14 och 6.15 respektive.

Av fig 6.14 ses omedelbart att storleksordningen av A är den samma på fuktnivå t för alla fabrikat. Däremot finns det väsentliga signifikanta skillnader fabrikaten emellan på fuktnivå v. Speciellt märks att A för fabrik S är helt oberoende av fuktnivån.

Av fig 6.15 ser man att storleksordningen av b är den samma för alla fabriker. Det finns inga signifikanta skillnader mellan b-värdena för fabriker, fuktnivåer eller spänningsnivåer över försöket som helhet. Betraktas fabrik S för sig ses, att den också med avseende på b har ett speciellt förhållande. b för fuktnivå v är signifikant mindre än b för fuktnivå t.

Med hänsyn till att b är av samma storleksordning för alla fabriker har faktorn A ensam använts som mått för krypningen vid undersökningarna nedan.

6.3.6. Krypning och belastningsintensitet

Från värdena på $\bar{A}$ i tabell 6.8 ser man att det finns god proportionalitet mellan krypning och spänning på fuktnivå t. Speciellt är totalmedeltalen i kolumn (8) proportionella mot spänningen. På fuktnivå v är förhållandena olika för de olika fabrikerna. För fabrik B och S råder proportionalitet, medan det för fabrik K och D verkar som om krypningen ökar mer än proportionellt med spänningen. Tendensen är dock ej signifikant.

Som mått på belastningsintensiteten kan i stället för spänningen, σ, användas den relativa spänningen σ/σ_{bd}. Denna parameter tar bättre än spänningen hänsyn till den enskilda balkens lastupptagande förmåga. På

fig 6.16 har ritats faktorn A som funktion av σ/σ_{bd}. σ/σ_{bd} beräknad som $\sigma/\overline{\sigma_{bd}}$ för varje element återfinns i tabell 6.10.

Betraktas i fig 6.16 varje fabrik och fuktkvot för sig ser man, att det finns någorlunda proportionalitet mellan A och belastningsintensiteten med små tendenser till uppåtkrökning. Tendensen till uppåtkrökning blir tydligare om man betraktar figuren som helhet, men den är ej övertygande.

Resonemanget ovan visar att materialet är linjärt inom det undersökta spänningsområdet. Man kan, jfr ekv (2.1) och (2.4), uttrycka kryptöjningarna med formeln

$$\varepsilon_c = a \cdot \sigma \cdot t^b \tag{6.1}$$

där $a = A/\sigma$. Medeltalen av a och b för fabriker och fuktnivåer är antecknade i tabell 6.9. De enskilda värdena av a är angivna i tabell 6.10, kolumn (6).

6.3.7. Krypning och materialegenskaper

Krypningen, uttryckt genom a, har undersökts som funktion av volymvikten, γ, men det kan ej som i försök A påvisas något tydligt samband mellan dessa storheter utifrån värdena i försök C.

Enl avsnitt 2.3.2 finns det skäl att undersöka sambandet mellan krypningen och storheten γ/E. γ/E redovisas i tabell 6.10. I fig 6.17 har a ritats som funktion av γ/E.

Figuren antyder en viss korrelation mellan de två storheterna för fabrikerna K, B och D. Eftersom försöket ej direkt är upplagt för att visa en sådan korrelation kan undersökningen på denna punkt endast bli fingervisande.

Som empirisk beskrivning av sambandet kan för varje fabrik användas en rät linje

$$a = C_1 (\gamma/E - C_2) \tag{6.2}$$

Konstanter i ekvationen $a = C_1 (\gamma/E - C_2)$				
Fabrik	K	B	S	D
C_1 cm^3/g		0.64		
C_2 10^{-5} g/kp·cm	1.96	2.62	(1.80)	2.15

Det förefaller rimligt att använda samma lutning C_1 på alla linjerna och låta endast C_2 vara fabriksberoende. Vid en grafisk bestämning erhölls värdena i schemat ovan. För fabrik S faller alla punkterna inom ett mycket litet område. Bestämningen av konstanterna blir i detta fall rent formell och sker i analogi med bestämningen för de andra fabrikerna.

Det är anmärkningsvärt för sambanden ekv (6.2), att man med denna ekvation kan beskriva krypningens variation med fuktkvoten genom elasticitetsmodulens variation med fuktkvoten.

6.3.8. Spridningen på kryptöjningarna

95 %-konfidensintervallen för kryptöjningarna bestäms. Övre och nedre gräns för 95 %-konfidensintervallet kring en krypkurva fås efter antilogaritmering av ekv (4.3) till

$$\left.\begin{matrix} \varepsilon^{ö}_{c,95} \\ \varepsilon^{n}_{c,95} \end{matrix}\right\} = a \cdot \sigma \cdot t^{b} \cdot 10^{\pm 2\sqrt{\ }} \qquad (6.3)$$

där rottecknet anger högersidan av ekv (4.3).

De varianser, som skall ingå under rottecknet fås från värdena på log A och b i tabell 6.7. Man erhåller värdena i schemat nedan för variansen mellan upprepningar inom varje fabrik och fuktnivå.

Varianser inom fabriker och fuktnivåer. Faktor 10^{-4}				
		$(s\{\log A\})^2$	$(s\{b\})^2$	
Fuktnivå	t	v	t	v
Fabrik K	1.56	30.13	1.24	1.74
Fabrik B	10.60	25.45	1.64	3.72
Fabrik S	2.17	80.83	1.72	14.71
Fabrik D	8.17	1.45	8.84	18.17
Medel	5.62	34.47	3.36	9.59

Dessa varianser beskriver hur noggrannt försöket är utfört och hur mycket försöksresultaten varierar inom varje fabrik och fuktnivå. De inkluderar ej variationerna mellan fabriker och mellan fuktkvoter.

Av schemat ses att varianserna är mycket olika. Antalet prov är emellertid för litet för att man med säkerhet skall kunna skilja på dem. Varianserna för fuktnivå v är dock för de flesta av fabrikerna större än för fuktnivå t. Det bedöms därför vara rimligt att bilda medeltalen av varianserna för varje fuktnivå och använda dessa medeltal under rottecknet i ekv (6.3).

Ett konfidensintervall beräknat på detta vis kommer då att ange det intervall inom vilket en krypkurva från en bestämd fabrik på bestämd fuktnivå med 95 % sannolikhet kommer att ligga. Användningen av medeltalen på detta vis kommer att missgynna vissa fabriker, t ex fabrik K på fuktnivå t. Det har emellertid bedömts vara bättre att ge ett överskådligt överslag över konfidensintervallernas storleksordning, än att redovisa konfindensintervaller för varje fabrik och fuktkvot för sig.

Redovisningen av konfidensintervallerna sker på två sätt. I fig 6.18 har övre och nedre 95 %-konfidensgräns ritats efter ekvationerna

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

$$\left.\begin{array}{l} \varepsilon^{ö}_{c,95} / a \cdot \sigma \\ \\ \varepsilon^{n}_{c,95} / a \cdot \sigma \end{array}\right\} = t^{b} \cdot 10 \pm 2\sqrt{} \qquad (6.4)$$

som erhålles vid transformation av ekv (6.3). Fig 6.18 är oberoende av krypfaktorn a och spänningen σ. Som potens har medeltalet på b, 0,21, blivit valt.

I fig 6.19 har övre och nedre 95 %-konfidensgränsen ritats som procent av krypningens medelvärde till varje tidpunkt. Ekvationerna för kurvorna blir i detta fall

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\varepsilon^{ö}_{c,95} - \bar{\varepsilon}_{c}}{a \cdot \sigma \cdot t^{b}} \\ \\ \dfrac{\varepsilon^{n}_{c,95} - \bar{\varepsilon}_{c}}{a \cdot \sigma \cdot t^{b}} \end{array}\right\} = (10 \pm 2\sqrt{} - 1)\ 100\ \% \qquad (6.5)$$

Detta erhålles också vid transformation av ekv (6.3). - Fig 6.19 är oberoende av a, b och σ. I figuren kan man, populärt sagt, avläsa ± gränserna i procent för krypförsöken på element från en bestämd fabrik på bestämd fuktnivå.

7. DISKUSSION

7.1. Krypningens storleksordning och tidsberoende

7.1.1. Kryptalet

Kryptöjningarnas storlek i förhållande till de momentana töjningarna storlek skall illustreras genom redovisning av kryptalet, ϕ''. Detta är definierat som kryptöjningen, ε_c, dividerad med den momentana töjningen, ε_e. Användes ekv (6.1) för kryptöjningen fås följande uttryck för kryptalet.

$$\phi'' = a \cdot \sigma \cdot t^b / (\sigma/E) = a \cdot E \cdot t^b \qquad (7.1)$$

Om t mätes i dygn blir storheten a · E kryptalet efter det första dygnet.

I tabell 7.1 har för försök A, försök B's första våta del och försök C antecknats $\bar{a}$, $\bar{b}$, $\bar{E}$, $\bar{a} \cdot \bar{E}$, $365^{\bar{b}}$ och kryptalet efter ett år $\phi''_{1\ år}$, beräknat enligt ekv (7.1). Det ses att $\phi''_{1\ år}$ för fuktnivå t ligger på 0.21 - 0.36 och för fuktnivå v på 0.21 - 0.42. Dessa siffror är medelvärden för $\phi''_{1\ år}$.

Spridningen på ϕ'' bestämmes dels av kryptöjningens spridning och dels av spridningen på elasticitetsmodulen. Den senare är dock rätt liten i förhållande till den första, jfr tabell 6.5. 95 %-konfidensintervallen i fig 6.19 kan därför också räknas att gälla för ϕ''

Jämföres värdena i tabell 7.1 för de två fuktnivåerna, ser man att för fabrik K, B och D är $\phi''_{1\ år}$ på fuktnivå v något större än $\phi''_{1\ år}$ på fuktnivå t. För fabrik S är förhållandet omvänt. $\bar{a} \cdot \bar{E}$ är 0.072 på båda fuktnivåerna, men det låga värdet på $\bar{b}$ på fuktnivå v i samband med att $\bar{E}$ är av samma storleksordning på båda fuktnivåerna, gör att man på fuktnivå t får $\phi''_{1\ år} = 0.28$ och på fuktnivå v $\phi''_{1\ år} = 0.21$.

Av tabell 2.1 kolumn (8) ses, att de erhållna värdena för $\phi''_{1\ år}$ ligger under Schäfflers värden för kurva 2, 4, 5 och 11 och är av samma storleksordning som värdena för kurva 15, 16 och 17, som refererar sig till

gasbetong av cement och sandmjöl. 16 och 17 är troligen Siporex. Krumls resultat för Porosilikat RG provat vid 100 % rf är av samma storleksordning som de för fuktnivå t erhållna värdena.

För jämförelse med de här erhållna resultaten skall påpekas, att man för grundkrypning hos vanlig betong har $\phi''_{1\ år}$ av storleksordningen 0.7 - 2 (Wagner(58)), och för grundkrypning hos porballastbetong 0.6 - 1.3 (Kruml(68)).

För sorptionskrypning kan man inte ange något bestämt kryptal, eftersom krypningen är beroende av fuktvandringens förlopp.

För försök B kan kryptalen skattas med användning av ekv (7.1) på värdena i tabell 5.1 och 5.2. Man finner att medelvärdet för kryptalet vid uttorkning i 40-50 %-klimatet är $\phi'_{1\ år} = 0.43$, vilket är av samma storlek som kryptalet för vått material, jfr tabell 7.1.

För uttorkning i 80-90 %-klimatet finner man $\phi'_{1\ år} = 0.99$, dvs en fördubbling i relation till vått material och en tredubbling i relation till torrt material i försök A. Dessa värden på $\phi'_{1\ år}$ är mycket osäkra, men ej osannolika, jfr de i tabell 2.1, kolumn (8) antecknade värdena för $\phi'_{1\ år}$.

7.1.2. Storleksordningen produkterna emellan

Krypningens storleksordning hos de fyra produkterna i försök C framgår av tabellerna 6.8, 6.9 och 7.1 och fig 6.14. Man konstaterar, att krypningen uttryckt med parametern a, när spridningen tages i betraktande, är den samma för de fyra fabrikerna på fuktnivå t. Man ser således ej något beroende av råmaterialen, som Schäffler fann, jfr avsnitt 2.3.2.

Att materialet blir vått har mycket olika inverkan på de fyra fabrikerna. På fabrikerna K och D får man en fördubbling av krypningen. För fabrik B får man ca 50 % ökning, men för fabrik S påverkas krypningens storleksordning inte alls.

Om krypningen, jfr avsnitt 2.2, kan tillskrivas skjuvning i vattenskikt mellan kristallerna, verkar det rimligt, att man får ökad krypning med ökad fuktkvot. Det förefaller då mycket intressant, att materialet från fabrik S ej uppvisar något fuktberoende hos a, men väl hos exponenten b, där de andra materialen ej visar något beroende. Orsaken till detta särskilda beteende skall sökas i materialstrukturen. Reaktionsprodukterna i gasbetongen från fabrik S måste ha en uppbyggnad så att de binder vatten på ett annat sätt än hos de andra fabrikaten. Detta kan möjligen belysas genom strukturstudier, såsom röntgenspektroskopi och elektronmikroskopering, jfr fig 1.3.

En antydan om att gasbetongen från fabrik S har en annan porstruktur än de andra materialen är att den endast fick en fuktkvot på 80-85 %, där de andra produkterna har 85-95 % på fuktnivå v.

7.1.3. Tidsberoendet

Som man ser av framställningen i avsnitt 4, 5 och 6 beskriver ekv (2.3) med god noggrannhet krypningens tidsförlopp i de försöksavsnitt, där fuktkvoten kan räknas vara konstant.

I de här redovisade försöken har erhållits b-värden på mellan 0.18 och 0.25 med enstaka värden för försök B på 0.45. Detta är lägre än för de i tabell 2.1 och fig 2.1 redovisade gamla försöken, där b ligger mellan 0.35 och 0.45.

Det måste emellertid ifrågasättas om b kan uppfattas som varande en materialkonstant. Misstanken uppkommer, när man jämför b-värdena i tabell 4.2 för försök A med värdena för samma, våta provkroppar i försök B, tabell 5.2. I fig 7.1 har sammanhörande värden avsatts. Värdena i försök B skiljer sig mycket från de i försök A erhållna, och det finns ingen utpräglad systematik i variationerna.

Det är möjligt att b, dvs tidsförloppet, är beroende av den tidigare belastningshistorien, häri inkluderat krympning, men detta kan ej påvisas med de föreliggande försöksresultaten.

7.2. Krypning och belastningsintensitet

Krypningens beroende av belastningsintensiteten har redovisats för försök A i avsnitt 4.3.4. Försöksresultaten där beskrives bäst av den i avsnitt 2.3.4 omtalade sinh-funktion ekv (2.6).

Resultaten från försök C redovisas i avsnitt 6.3.6, där det konkluderas, att man vid de belastningsintensiteter, som har undersökts, kan räkna gasbetong som ett linjärt material, men att sinh-lagen ej motsäges av försöken.

Sambandet mellan krypning och belastningsintensitet kan även illustreras genom att avsätta krypfaktorn A som funktion av belastningsintensiteten σ/σ_{bd} för alla försök på material från fabrik D, dvs resultaten från försök A, försök B (våta provkroppar) och försök C. Detta har gjorts på fig 7.2 (σ/σ_{bd}-värdena för försök A och B är lite osäkra därför att det endast finns en bestämning av σ_{bd} i försök A, och σ_{bd} för försök B har erhållits genom korrektion av värdet från försök A (jfr avsnitt 5.1.4).)

För jämförelsens skull har i figuren ritats tre kurvor. $A = 17 \cdot 10^{-6}$ sinh $(2.8\ \sigma/\sigma_{bd})$ beskriver ungefär resultaten i försök A, jfr ekv (4.2). $A = 48 \cdot 10^{-6}\ (\sigma/\sigma_{bd})$ och $A = 79 \cdot 10^{-6}\ (\sigma/\sigma_{bd})$ är grafiskt bestämda linjer som beskriver resultaten i försök C, fuktnivå t, resp fuktnivå v.

Av fig 7.2. framgår att det är vid de höga belastningsintensiteterna, som sinh-fuktionen får aktualitet. För $\sigma/\sigma_{bd} < 0.5$ kan man begagna ett linjärt samband mellan krypfaktorn och belastningsintensiteten.

7.3. Krypningen och kvoten γ/E

I avsnitt 6.3.7 undersökes för försök C krypfaktorn a som funktion av storheten γ/E. I fig 6.17 är försöksresultaten avsatta. Sambandet kan empiriskt beskrivas med ekv (6.2) med de i schemat i samma avsnitt angivna värdena för konstanterna C_1 och C_2.

En annan undersökning om det finns ett samband kan göras genom att för fabrik D avsätta alla de sammanhörande värdena som finns för a och γ/E

i försök A, försök B's våta del och försök C. Detta har gjorts i fig 7.3. Ett samband mellan de två storheterna kan ej avvisas. Det är ej säkert att ekv (6.2) ger den bästa beskrivningen. En noggrannare bestämning måste emellertid ske genom ett försök, som är speciellt dimensionerat för detta.

Den mycket stora spridningen på fig 7.3 skall ses mot bakgrunden att det ej är säkert att det endast är γ/E, som bestämmer storleken på a. Andra materialegenskaper, t ex porstorleksfördelningen, kan tänkas influera krypningen. Detta får utrönas vid nya försök.

Det intressanta med ett samband mellan a och γ/E är dels, att man får möjlighet att uppskatta krypningen för ett element om man känner materialkonstanterna γ och E och dels, att man kan beskriva krypningens fuktkvotsberoende genom E's variation med fuktkvoten.

Det samlade resultatet för grundkrypningen bestämt i försök C kan därför beskrivas genom kombination av ekv (6.1) och (6.2) till

$$\varepsilon_c = C_1 \, (\gamma/E - C_2) \cdot \sigma \cdot t^b \qquad (7.2)$$

7.4. Krypning och fuktkvot

Fuktkvotens betydelse för krypningens storleksordning och tidsberoende har redan diskuterats ovan. Nedan skall dels givas en kritik av försöksplanen och dels givas en förklaring på avvikelserna från regressionslinjerna hos krypkurvorna på fuktnivå t.

Det hade varit bra att ha haft flera fuktnivåer med i försöksplanen för att bättre kunna bedöma fuktkvotens betydelse och sambandet mellan a och γ/E. Sålunda kan det efter bearbetningen av försöksresultatet konstateras, att fyra fuktnivåer hade givit mer information än två fuktnivåer och en upprepning. Upprepningen användes endast till skattning av spridningen i ekv (6.3). Denna skattning kunde ha gjorts på annat sätt.

Som beskrivits i avsnitt 6.3.2 har fuktkvoten i provkropparna i försök C

ändrats under försökstiden. För material på fuktnivå t har fuktkvoten ökats. Denna ökning i fuktkvoten skall nedan förklaras vara orsak till att krypkurvorna för fabrik K, B och D kröker uppåt i förhållande till regressionslinjerna, som det framgår av fig 6.10, 6.11 och 6.13.

Avvikelsen från regressionslinjerna för de olika provkropparna vid det 120 dygnet har antecknats i schemat nedan. Vid det 120 dygnet ändrades klimatet i rummet och kryphastigheten blev genast mindre.

Avvikning från regressionslinjerna vid 120 dygn
Fuktnivå t. Siffrorna anger 10^{-3} mm

Spänning	Fabrik			
	K	B	S	D
2 kp/cm^2	10	6	6	8
	5	5	- 1	8
4 kp/cm^2	14	12	- 2	11
	21	14	- 1	13

Dessa avvikelser kan såväl kvalitativt som kvantitativt förklaras utifrån minskningen av den statiska elasticitetsmodulen med den ökande fuktkvoten.

Totaltöjningen $\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_c$ blir med användning av ekv (7.2)

$$\varepsilon = \sigma/E + \sigma \cdot C_1 \, (\gamma/E - C_2) \, t^b \qquad (7.3)$$

som visar att E influerar såväl momentan- som kryptöjningen.

Elasticitetsmodulens variation med fuktkvoten har studerats av Purins (64). Med ledning av hans resultat och de mätningar av E, som föreligger i detta försök (tabell 6.5) kan elasticitetsmodulens variation med fuktkvoten skattas till 0.4 à 1.0 · 10^3 kp/cm^2 per 1 % fuktkvot i området 2-6 % fukt. Variationen är mycket fabrikatberoende.

Ökningen i fuktkvoten kan jfr avsnitt 6.3.2 skattas till 0.6 à 1.1 %.

Utifrån ekv (7.3) kan man beräkna ökningarna i deformationerna från det 10 dygnet, där fuktändringarna skattas att få betydelse, till det 120 dygnet, där klimatet ändras. Momentandelen i ekv (7.3) ger inga beräkningssvårigheter. Krypningen i ekvationen beräknas med en enkel numerisk integration, där tiden från 10 till 120 dygn delas upp i fyra intervaller, som med var sin ändring av E ger ett bidrag till den slutliga deformationen. E räknas att variera linjärt med tiden.

Beräkningen har för överskådlighetens skull genomförts för en minskning på $0.5 \cdot 10^3$ kp/cm^2 hos en hög elasticitetsmodul ($21 \cdot 10^3$ kp/cm^2) och hos en låg elasticitetsmodul ($16 \cdot 10^3$ kp/cm^2). Ökningarna i 10^{-3} mm är angivna i schemat nedan. Ändringarna verkar vara av samma storleksordning som de uppmätta avvikelserna i schemat ovan. Speciellt i avseende på den osäkerhet, som finns i bestämningen av E's variation är överensstämmelsen god.

Beräknade ökningar i deformationerna vid 120 dygn vid minskning av E med $0.5 \cdot 10^3$ kp/cm^2
Fuktnivå t. Siffrorna anger 10^{-3}mm.

Spänning kp/cm^2	E kp/cm^2	$\Delta\delta_e$	$\Delta\delta_c$	Totalt
2	$21 \cdot 10^3$	2	1	3
	$16 \cdot 10^3$	4	3	7
4	$21 \cdot 10^3$	4	3	7
	$16 \cdot 0^3$	8	6	14

Ytterligare ett belägg för att elasticitetsmodul och krypning för fabrik S är oberoende av fuktkvoten får man genom att krypkurvorna för fuktnivå t på denna fabrik (fig 6.12) inte uppvisar någon särskild ökning i intervallet 10 till 120 dygn.

Svällning kan knappast tänkas ha något regelbundet inflytande på

avvikelserna från regressionslinjen, eftersom en svällning sker jämnt i över- och undersida och sålunda ej orsakar nedböjning. Oregelbundna kastningar, som man kan se på kontrollprovkropparna i försök A (fig 4.5) och försök B (fig 5.2), förekommer säkert också i försök C och ökar osäkerheten på kurvorna.

7.5. Spridningen

95 %-konfidensintervall för krypkurvor för en enstaka fabrik och fuktkvot är beräknade i försök A (avsnitt 4.3.5) och i försök C (avsnitt 6.3.8).

Jämföras 95 %-konfidensgränserna för de två försöken, t ex via fig 4.8 och 6.19, ses att 95 %-konfidensintervallet är något större för försök A än för något av fuktnivåerna i försök C. Detta kan bero på att försök C är noggrannare utfört. En annan orsak till skillnaden är emellertid att det i försök A ingår 8 provkroppar i bestämningen, medan det i försök C endast ingår 4 provkroppar.

De ovan omtalade konfidensintervallen beskriver variationen på fabrikernas produktion under ca en månad. Spridningen inom en enstaka leverans blir troligen något mindre.

Om man skall se vilka spridningar som man kan förvänta i praktiken måste man emellertid beakta, att man där i de flesta fall har sorptionskrypning. Man får större krypning och större spridningar till följd av variationerna i fuktutbytet.

I fig 7.4 har ritats variationsområdet för kryptalet för grundkrypning ϕ'' för försök A och C. För försök A har området konstruerats genom att från medelkurvan (ekv (7.1) med de i tabell 7.1 angivna värdena) avsätta 95 %-konfidensgränserna bestämda utifrån fig 4.8.

För försök C har området konstruerats genom att från den högst liggande medelkurvan för ϕ'' bestämd enligt ekv (7.1) (Fabrik D, fuktnivå v) avsätta den övre 95 %-konfidensgränsen för fuktnivå v bestämd enligt

fig 6.19, och från den lägst liggande kurvan (Fabrik B, fuktnivå t) avsätta nedre konfidensgränsen för fuktnivå t.

Man kan jämföra fig 7.4 med elementkryptalskruvorna i fig 2.1. Man ser att de uppmätta materialkryptalen faller i det öppna området mellan de två kurvskarorna i fig 2.1, och att variationen i materialkryptalen är av samma storleksordning som variationen på elementkryptalen bestämd vid de tidigare försöken.

8. AVSLUTNING

8.1. Konklusioner

Av undersökningen kan slutsatserna nedan dragas. (Här har beteckningarna torrt och vått material använts för material på fuktnivå t resp v.

1) Medelvärdet för kryptalet för grundkrypning för alla fabrikerna ligger efter 1 år på 0.24 för torrt material och 0.33 för vått material.

2) De fyra fabrikernas kryptöjningar är av samma storleksordning för torrt material. För vått material uppvisar fabrik K och D 100 % ökning, fabrik B 50 % ökning och fabrik S ingen ökning.

3) Grundkrypningen följer en potensfunktion $\varepsilon_c = A \cdot t^b$ under försökstidens ca 9 månader. Medelvärdet av b är 0.21.

4) Krypningen växer linjärt med spänningar under 50 % av brottspänningen, häröver växer krypningen kraftigare.

5) Krypningen förefaller att för varje fabrik växa med storheten γ/E. Härigenom kan krypningens fuktkvotsberoende beskrivas med elasticitetsmodulens fuktkvotsberoende.

6) Variationsområdet för kryptalet efter ett år är för en enskild fabrik för torrt material 60 % och för vått material 100 % av fabrikens medeltal.

7) Vid försök A har efter krypning i 32 dygn funnits en permanent töjning på ca 30 % av kryptöjningen (ca 6 % av momentandeformationen).

8) Vid försök B har funnits kryptal för uttorkningskrypning, som kan uppskattas till 0.8 - 1.2 efter 1 år.

8.2. Vidare forskning

Undersökningen har visat, att en mängd punkter bör undersökas innan gasbetongens krypning kan sägas vara tillfredsställande belyst.

En ny mätapparatur bör utformas så att krypningen kan mätas på mindre provkroppar och så att klimatet kring provkroppen kan styras noggrannt.

Genom att använda mindre provkroppar blir den praktiska möjligheten större för att kartlägga krypningen hos alla de svenska fabrikernas produkter, vilket också borde göras.

Strukturundersökningar av materialet måste införas för att man skall få en möjlighet att uppklara orsaken till materialens högst olika fuktberoende vid höga fuktkvoter.

Av stor betydelse för praktiken är hur uttorkningen influerar krypningsförloppet, vilket också borde utrönas. Härigenom skulle också provstorlekens betydelse för krypningen bli belyst.

Slutkrypvärdets existens och läge bör belysas. Möjligen är detta värde också beroende av provkroppsstorleken.

För en noggrann analys bör även förhållandet mellan tryck- och dragkrypning studeras.

Sammanfattning

Grundkrypningen hos fyra produkter av högtrycksånghärdad gasbetong undersöks.

Tidigare försök av andra författare med krypning på konstruktionselement analyseras, varvid den konstruktiva utformningens betydelse för elementets krypdeformation påpekas.

Krypningen mätes på böjbelastade balkar med tvärsnitt 4 x 8 cm över en sträcka av 40 cm med konstant moment.

Ett förförsök utfördes med 10 provkroppar av ett enstaka fabrikat. De konstanta böjspänningarna var 2, 3, 4, 5 och 6 kp/cm^2. Provkropparna var förseglade. (Försök A).

En orienterande undersökning av desorptionskrypning utfördes på samma provkroppar och med samma spänningar som i ovan. (Försök B).

Huvudförsöket (försök C) är ett faktorförsök med 32 provkroppar fördelade på fyra fabriker, två fuktnivåer (torrt ∿ 3 och vått ∿ 90 vikts %), 2 böjspänningsnivåer (2 och 4 kp/cm^2) samt en upprepning. Provkropparna var förseglade. De representerade fabrikernas produktion under en månad. De fyra fabrikerna använder olika råvaror vid produktionen.

Undersökningen har bl a visat följande.

Medelvärdet för grundkrypningens kryptal (kryptöjning genom momentantöjning) är efter 1 år 0.24 för torrt och 0.33 för vått material. Variationsområdet för en enskild fabrik är för torrt material 60 % och för ett vått material 100 % av fabrikens medeltal.

De fyra fabrikernas kryptöjningar är av samma storleksordning för torrt material. För vått material uppvisar två fabriker 100 % ökning i relation till torrt material, en fabrik 50 % ökning, och en fabrik ingen ökning.

Kryptöjningens, ε_c, samband med tiden, t, beskrives av funktionen

$$\varepsilon_c = A \cdot t^b$$

under försökstidens ca 9 månader. Medelvärdet av 6 är 0.21.

Krypningen växer linjärt med spänningarna under 50 % av brottspänningen, varefter tillväxten sker kraftigare.

Krypningen förefaller att (för varje fabrik) växa med storheten γ/E, där γ är torrvolymvikten och E elasticitetsmodulen vid den aktuella fuktkvoten. Härigenom kan krypningens fuktberoende beskrivas med elasticitetsmodulens fuktberoende.

Vid försök A uppmättes efter krypning i 32 dygn en permanent töjning på ca 30 % av kryptöjningen (ca 6 % av momentantöjningen).

Vid försök B uppmättes för uttorkningskrypning kryptal, som skattas till att efter ett år variera mellan 0.8 och 1.2.

English Summary

Basic creep of four manufactures of autoclaved aerated light-weight concrete was investigated.

Earlier investigations of longterm deformation of construction elements were analysed. Hereby the influence of the design on the deformation was discussed.

The creep was measured on beams of plain, unreinforced material. The cross-section was 4 x 8 cm and the span with constant moment 40 cm.

A pilot test was made with 10 specimens of one manufacture. The constant bending stresses were 2, 3, 4, 5 and 6 kp/cm^2. The test specimens were sealed. (Test A).

A pilot test with creep of drying material was made with the same test specimens and with the same stresses as above. (Test B).

The main investigation (Test C) was a factorial experiment with 32 specimens from four factories, two moisture levels(dry $\sim$ 3 % and wet $\sim$ 90 % water by weight), 2 levels of stress(2 and 4 kp/cm^2) and with one replication. The test specimens were sealed. The specimens represented the production of the factories during a month. The factories used different raw materials.

The average value of the creep factor (i.e. creep strain divided by momentary strain) of the basic creep is after one year 0.24 for dry material and 0.33 for wet material. The range of variation for one manufacture is for dry material about 60 % and for wet material about 100 % of the average value.

The creep strains of the four manufactures are of the same magnitude for dry material. For wet material two manufactures show an increase of 100 % in relation to dry material, one manufacture shows an increase of 50 % and one manufacture no increase at all.

The relation of the creep strain, ε_c, to time, t, is during the first 9 months of the test described by $\varepsilon_c = A \cdot t^b$. The average value of b is 0.21.

The creep can be calculated as increasing linearly with the stress at stresses below 50 % of the bending strength, after which the increase is more rapid.

The creep seams to increase (for every factory) with the ratio δ/E, where γ is the weight per unit volume and E the modulus of elasticity. Owing to the moisture dependence of E the creep can be described by the moisture dependence of this ratio..

Test A showed after creep in 32 days a permanent strain of about 30 % of the creep strain (about 6 % of the momentary strain).

Test B with creep of drying material showed creep factors which are estimated to vary between 0.8 and 1.2 after one year

APPENDIX A

UTFORMNING AV KRYPUPPSTÄLLNING

För bestämning av krypdeformationen användes en försöksuppställning till böjningspåverkning av balkar som är visad på fig 3.1 och 3.2.

Val av provkroppstvärsnitt

Den använda provkroppen har dimensionerna 4 cm x 8 cm x 78 cm. Denna storlek har valts efter en del överläggningar och experiment som kommer att omtalas nedan. Det finns skäl som talar för att provkroppens tvärsnitt skall vara så stort som möjligt och andra som talar för att det skall vara så litet som möjligt.

För en så stor provkropp som möjligt talar att en stor provkropp bättre representerar ett genomsnitt av materialet än en liten. - Spridningen på slutresultatet vill troligen gå ned när provkroppen är stor, därför att tillfälliga fel får mindre betydelse. Detta gäller åtminstone för hållfasthetsförsök, men får förmodas gälla också för krypförsök. (Vid ett försök med gasbetongs böjdraghållfasthet fann vi hos provkroppar med ett tvärsnitt på h x d = 8 x 16 cm en variationskoefficient på 3 % och för provkroppar med h x d = 4 x 8 cm en variationskoefficient på 6 %.)

För användning av en provkropp med mindre tvärsnitt men samma längd, talar att deformationerna blir större för samma spänning, sålunda att man får större noggrannhet för en given mätklocka. För en provkropp med mindre tvärsnitt talar också att det går snabbare att få den inställd på önskad fuktkvot än en större provkropp med större tvärsnitt.

Tvärsnittet 4 x 8 cm valdes som kompromiss mellan de dimensioner som kan fastställas utifrån de ovan framförda synpunkterna.

Val av längdmått

Försöksanordningen ger ett konstant moment i mittdelen av balken. Den elastiska nedböjningen, δ_e, bestämmes som bekant av

$$\delta_e = \frac{l_1^2 \cdot \sigma}{4h \cdot E} \tag{1}$$

där spänningen σ enligt Navier är

$$\sigma = \frac{6P \cdot l_2}{dh^2} \tag{2}$$

Beteckningarna framgår av fig 3.1 och 4.1. P är belastningen på en balkända.

Sambandet mellan krypnedböjningen, δ_c, och kryptöjningen i balkens över- och undersida, ε_c, framgår av ekvationen

$$\delta_c = \frac{l_1^2}{4h} \cdot \varepsilon_c \tag{3}$$

Mittdelens längd, l_1, valdes till 40 cm. Med höjden h = 4 cm får korrektionsfaktorn $l_1^2/4h$ i ekv (1) och (3) storleksordningen $1.0 \cdot 10^2$ cm, vilket underlättar bearbetningsarbetet.

Totallängden l_3 på den utkragande delen av balken har bestämts till 19 cm, varvid de elastiska nedböjningarna till följd av egenvikten blir ungefär noll.

Belastningsbestämning

Belastningen på varje balkända, jfr ekv (2), bestämms av

$$P = \frac{\sigma \cdot d \cdot h^2}{6 \cdot l_2} \tag{4}$$

Belastningen bestämms innan försöket startar, med hänsyn tagen till balkarnas aktuella höjd- och breddmått.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

APPENDIX B

MATERIALDATA I FÖRSÖK C

B.1. Volymvikter

Volymvikterna har angivits i tabell 6.1. De i kolumn (4) angivna värdena $\bar{\gamma}$, är medelvärdet av bestämningarna på bestämningarna, γ, på de två fukt-kontrollbitarna. Spridningen på dessa bestämningar, $s\{\gamma\}$, har skattats för varje element, men endast medeltalet, $\overline{s\{\gamma\}}$, har anförts i kolumn (6). $\overline{s\{\gamma\}}$ anger spridningen på provningsmetoden och på volymvikten inom samma element.

I kolumn (7) har angivits medeltalet på volymvikten inom varje fabrik $\bar{\bar{\gamma}}$. Varians, $s^2\{\bar{\gamma}\}$, och spridning, $s\{\bar{\gamma}\}$ av värdena i kolumn (4) har angivits i kolumn (8) resp (9). $\bar{\bar{\gamma}}$, $s\{\bar{\gamma}\}$ och $\overline{s\{\gamma\}}$ har angivits nedan.

Fabrik	K	B	S	D
$\bar{\bar{\gamma}}$. g/cm^3	0.480	0.520	0.496	0.489
$s\{\bar{\gamma}\}$ g/cm^3	0.004	0.014	0.010	0.012
$\overline{s\{\gamma\}}$ g/cm^3	0.002	0.011	0.003	0.005

I fig 6.5 ses ett översiktsdiagram för volymvikterna.

Resultatet för element nr 1 ligger något utanför de övriga resultaten från fabrik K. Detta orsakas av att provkroppen råkade bli uttagen precis i skarven mellan två gjutningar (jfr avsnitt 1.3), varför porerna i en tredjedel av kroppen är mindre med ökad volymvikt till följd. Provresultatet har ej medräknats i medelvärde och spridning.

Osäkerheten på mätmetoderna kan skattas motsvara en spridning på 0.002 g/cm^3. Detta är främst orsakat av osäkerheten på volymbestämningen. Av schemat ovan ser man att för fabrik K och S är spridningen på själva volymvikten inom ett element obefintlig, eftersom $\overline{s\{\gamma\}}$ här är av samma storleksordning som mätmetodens spridning 0.002 g/cm^3. För fabrik D och B har man större spridning i volymvikten inom elementen. För fabrik

[illegible]

[illegible]

[illegible]

B är denna spridning bl a orsakad av förekomsten av centimeterstora blåsbildningar i provkropparna. Blåsorna härstammar från armeringsjärnens "skuggverkan". (Jfr bild 1.2).

B. 2. Fuktkvoter

Fuktkvoterna har angivits i tabell 6.2. Liksom för volymvikterna är varje i kolumn (4) angivet värde medeltal av två bestämningar, $\bar{\bar{u}}$. Spridningen s{u} på varje enkel bestämning har angivits i kolumn (5) och medeltalet av dessa spridningar, $\overline{s\{u\}}$, i kolumn (6). Kolumn (7) anger medeltalet $\bar{\bar{u}}$ inom varje fabrik och fuktnivå. Varians, $s^2\{\bar{\bar{u}}\}$, och spridning, $s\{\bar{\bar{u}}\}$, på värdena i kolumn (4) har angivits i kolumn (8) resp (9).

$\bar{\bar{u}}$, $s\{\bar{\bar{u}}\}$, och $\overline{s\{u\}}$ har sammanfattats nedan avrundade till den noggrannhet spridningen motiverar.

Fabrik		K	B	S	D
	$\bar{\bar{u}}$, %	2.6	3.3	3.3	2.9
t	$s\{\bar{\bar{u}}\}$, %	0.2	0.2	0.1	0.4
	$\overline{s\{u\}}$, %	0.1	0.1	0.2	0.1
	$\bar{\bar{u}}$, %	92	95	84	91
v	$s\{\bar{\bar{u}}\}$, %	2	1	3	5
	$\overline{s\{u\}}$, %	1	1	1	3

För fabrik S, fuktnivå t, har $\overline{s\{u\}}$ blivit större än $s\{\bar{\bar{u}}\}$. Skillnaden är dock ej signifikant, vilket den ej heller är för fabrik K och B. Det betyder att osäkerheten på fuktkvoten här är någorlunda densamma inom som mellan element.

Ett översiktsdiagram för fuktkvoterna visas på fig 6.6.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

[illegible]

[illegible]

B.3. Böjdraghållfasthet

Böjdraghållfastheten, σ_{bd}, blev bestämd på 4.4.16 cm prismor, enl RILEM-Cembureau och Lättbetongnormförslaget. För varje element provades 3 prismor.

Resultaten framgår av tabell 6.3 och fig 6.7. I tabellen anger kolumn (4) medelvärdet för de tre prismorna, $\overline{\sigma_{bd}}$, och kolumn (5) spridningen på de tre bestämningarna, $s\{\sigma_{bd}\}$. Kolumn (6) anger medelvärdet, $\overline{s\{\sigma_{bd}\}}$ av dessa spridningar. Den är ett mått på spridningen inom ett element inom vederbörande fabrik och fuktnivå. - I kolumn (7) har antecknats medelvärdet för de fyra elementen inom varje fabrik och fuktkvot, $\overline{\overline{\sigma}}_{bd}$. I kolumn (8) har variansen på $\overline{\overline{\sigma}}_{bd}$ beräknats, $s^2\{\overline{\sigma}_{bd}\}$ och i kolumn (9) spridningen på desamma, $s\{\overline{\sigma}_{bd}\}$.

Medeltalen för fabriker och fuktnivåer sammanfattas i schemat nedan.

σ_{bd} kp/cm^2		Fabrik K	B	S	D	Medel
Fuktnivå	t	16.3	14.7	16.3	12.2	14.9
	v	12.2	11.8	11.0	8.8	11.0
Medel		14.3	13.3	13.7	10.5	13.0

Vid variansanalys på resultaten finner man signifikant skillnad mellan resultaten på de två fuktnivåerna. Vidare finner man signifikant skillnad mellan fabriker. Detta är dock främst orsakat av att fabrik D ligger så lågt. Fabrikerna K, B och S skiljer sig något mindre från varandra. Vid t-test finner man skillnad mellan resultaten från fabrik K och B ($0.05 < p < 0.02$), men ej skillnad mellan K och S och B och S.

I tabell 6.3 är det anmärkningsvärt att spridningen inom element är större på fuktnivå t än på v. (Medeltalet på variansen inom element på fuktnivå t är signifikant större än medeltalet på variansen inom element på fuktnivå v, $p < 0.005$.) Detta kan möjligen förklaras med, att det

finns större och mer varierande inre spänningar i de torra än i de våta provkropparna.

Spridningen mellan element inom fabrik B är större än motsvarande spridning hos de andra fabrikerna, vilket orsakas av att materialet från fabrik B har flera stora blåsor än de andra materialen.

B.4. Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten, σ_t, blev bestämd på de halva prismorna som uppkommer vid böjdragprovningen (modified cube test) enl RILEM-Cembureau. För varje element föreligger sålunda 2 x 3 = 6 provkroppar.

Resultaten framgår av tabell 6.4 och fig 6.8. I tabellen anger kolumn (4) medelvärdet av de sex provkropparna $\bar{\sigma}_t$. Spridningarna i kolumn (5) och (6) är beräknade på medelvärdena av två och två sammanhörande halvprismor. Medelvärdet på spridningen mellan halvprismaresultatet har bestämts till 2.3 kp/cm^2, dvs att den är av samma storleksordning som den i kolumn (5) och (6) anförda spridningen som är 2.1 kp/cm^2 i medelvärde.

Kolumn (7) anger totalmedeltalet, $\bar{\bar{\sigma}}_t$, för varje fabrik och fuktkvot. Kolumn (8) anger variansen och kolumn (9) spridningen inom varje fabrik och fuktnivå beräknad av medeltalen i kolumn (4). - Medeltalen för fabriker och fuktnivåer sammanfattas i schemat nedan.

σ_t kp/cm^2		Fabrik K	B	S	D	Medel
Fuktnivå	t	48.3	49.4	47.6	41.5	46.9
	v	33.8	35.9	35.9	25.1	32.6
Medel		41.4	42.7	41.7	33.3	39.8

Skillnaden i totalmedeltalen för de två fuktnivåerna är signifikant ($p < 0.001$). Totalmedeltalet för fabrik D är signifikant mindre än de

[illegible]

[illegible]

[illegible]

från fabrikerna K, B och S ($p < 0.001$), medan skillnaderna mellan resultaten från dessa tre fabriker ej är signifikant.

Varianserna i kolumn (8) är anmärkningsvärt större för fabrik B än för någon av de andra, troligen återigen orsakad av de stora blåsorna i detta material.

B.5. Elasticitetsmodul

Elasticitetsmodulen blev bestämd utifrån krypbalkernas momentandeformation, jfr appendix A. För varje element föreligger därför endast en bestämning.

Resultaten ses i tabell 6.5 och fig 6.9. I tabellen redovisas de okorrigerade momenta deformationerna i kolumn (5). I kolumn (6) har anteckknats korrektionsfaktorn $k = 4h/l_1^2 = 4h/40^2 = (h/4)\cdot 10^{-2}\ cm^{-1}$, och i kolumn (7) $E = \sigma/(\delta_e \cdot k)$. I kolumn (8) finns medeltalet, $\overline{E}$, för varje fabrik och fuktnivå, i kolumn (9) variansen och i kolumn (10) spridningen, s{E} för varje fabrik och fuktnivå.

Medeltalen för fabriker och fuktnivåer sammanfattas i schemat nedan.

E kp/cm^2		Fabrik K	B	S	D	Medel
Fuktnivå	t	20.2	17.0	21.1	17.6	19.0
	v	15.1	14.4	21.8	13.5	16.2
Medel		17.7	15.7	21.5	15.6	17.6

Liksom för hållfastheterna ser man här en signifikant sänkning av elasticitetsmodulerna vid övergång från fuktnivå t till v. Detta gäller dock ej för fabrik S, där nivån är samma på båda fuktnivåerna.

Ser man på totalmedeltalen för fabrikerna finner man signifikant skillnad mellan värdet för fabrik S och de övriga, för fabrik K och de övriga, men ingen skillnad mellan fabrik B's och D's totalmedeltal.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

B.6. Empiriska samband

Två ganska praktiska empiriska samband mellan σ_{bd} och σ_t och mellan E, γ och σ_t skall undersökas nedan.

Tidigare erfarenheter visar, att det finns ett av hållfasthetsnivån oberoende förhållande mellan de två hållfasthetsparametrarna, σ_t och σ_{bd} av storleksordning 3-5. (Bergström et al (65)). Resultaten från försök C har ritats på fig B.1. En regressionslinje genom origo ger

$$\sigma_t = 3.07 \cdot \sigma_{bd} \tag{B.1}$$

vilket stämmer med storleksordningen ovan.

För de enstaka fabrikerna är det ej linjen genom origo som ger den bästa anpassningen till punktskaran, men däremot en linje utanför origo

$$\sigma_t = \alpha \cdot \sigma_{bd} + \beta \tag{B.2}$$

Konstanterna α och β anges nedan för varje fabrik och för alla punkter.

Fabrik	α	β
K	3.65	- 11.0
B	4.26	- 14.0
S	2.23	11.4
D	4.58	- 14.8
Alla	3.10	- 0.3

Alltså här har fabrik S ett särskilt förhållande. - Som det framgår av schemat ovan är det för hela punkskaran det samma om man räknar med (B.1) eller (B.2).

Hillerborg (61) anger för E, γ och σ_t sambandet

$$E = 5500\ \gamma \sqrt{q_t} \tag{B.3}$$

[illegible]

[illegible]

[illegible]

I fig B.2 har för försök C ritats E/γ som funktion av $\sqrt{\sigma_t}$. Det ses att för fabrikerna K, B och D ökar E/γ med $\sqrt{\sigma_t}$, när torra och våta prov tages i betraktande. För fabrik S minskar E/γ med $\sqrt{\sigma_t}$, när alla prov tages med, jfr försöksresultaten ovan. Tendensen är emellertid svag och osäker.

Lägges regressionslinjer genom origo får man att α i formeln

$$E/\gamma = \alpha \cdot \sqrt{\sigma_t}$$

för varje fabrik och totalt blir

Fabrik	α
K	5700
B	4600
S	6700
D	5600
Alla	5600

Man finner rimlig överensstämmelse med formel (B.3)

LITTERATUR

AHLGREN, L: Årsrapport till Statens Råd för Byggnadsforskning om Fuktforskning. Byggnadsmateriallära, LTH. Maskinskriven rapport, Lund 1968.

BERGSTRÖM, S G: Skador på Siporextak över järnverk. Cement- och Betonginstitutet. Utredning nr 2. Stockholm 1957.

BERGSTRÖM, S G, HALVORSEN, U A och NIELSEN, A: Kompendium i byggnadsmateriallära, LTH. Lund 1965.

CEMBUREAU: On the testing of cement. Malmö 1959.

GRIMER, F J och BREWER, R S: The within-cake variation of autoclaved aerated concrete, autoclaved calcium silicate building products. Papers read at the Symposium London 1965. London 1967.

HILLERBORG, A: Compressive strength and deformation of light weight concrete. General report RILEM-symposium Göteborg 1960. Proceedings Göteborg 1961.

KRISCHER, O: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin 1963.

KRUML, F: Schwinden und Kriechen von Leichtbetonen. Baustoffindustrie, s 325-328. Nov 1964.

KRUML, F: Short- and long-term deformation of structural lightweight-aggregate concrete. Preprint. International Congress on Light Weight Concrete. London 1968.

LÄTTBETONGHANDBOKEN 1968: AB Lättbetong, Stockholm 1968.

MILLER, D G och BENICAK, J: Relation of creep to the vibrational properties of wood. Forest Prod. J. Vol 17, nr 12, s 36-39. Dec 1967.

NIELSEN, A: Orienterande undersökning av krypning hos högtrycksånghärdad gasbetong. Inst för byggnadsteknik, LTH. Intern rapport 4. Lund 1967.

NIELSEN, A: Orienterande undersökning av krypning under uttorkning hos högtrycksånghärdad gasbetong. Inst för byggnadsteknik, LTH. Intern rapport 5. Lund 1968 (a).

NIELSEN, A: Byggnadsmaterialreologi. Inst för byggnadsteknik, LTH. Lund 1968 (b).

NYLANDER, H och SAHLIN, S: Tillägg till rapporten "Deformationer hos armerade Siporexplattor". Maskinskriven rapport. Stockholm 1957.

OTTOSON, G: Sprickbildning i mellanväggar av lättbetongplank. Inst för byggnadsteknik, KTH. Stockholm 1963.

OTTOSON, G: Lättbetong, träullsplattor, kalksandsten. Handboken BYGG, huvuddel 2 Materiallära, kap 247. Stockholm 1968.

PICKETT, G: The effect of change in moisture-content of the creep of concrete under a sustained load. J. of the ACI. Vol 13 nr 4, s 333-355. Febr 1942.

PURINS, E: Lättbetong, bestämning av hållfasthet och några inverkande faktorer. Inst för byggnadsteknik, CTH. Göteborg 1964.

PURINS, E och LINDÉN, G: Undersökning av lättbetongens frostbeständighet och poruppbyggnad i materialet. Inst för byggnadsteknik, CTH. Göteborg 1967.

RUETZ, W: Das Kriechen des Zementsteins im Beton und seine Beeinflussung durch gleichzeitiges Schwinden. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 183. Berlin 1966.

SANTESSON, T: Siporex Lättbetong - 30 år. Cement och Betong nr 4, 1964.

SCHÄFFLER, H: Über das Kriechen von bewehrten Platten aus dampfgehärtetem Gas- und Schaumbeton. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 136. Berlin 1960.

SCHÄFFLER, H: Über das Kriechen von bewehrten Platten aus dampfgehärtetem Gasbeton und Schaumbeton. Proceedings of the RILEM-symposium Göteborg 1960. Göteborg 1961.

SELL, R: Über die Dauerstandfestigkeit von dampfgehärtetem Gasbeton. Proceedings of the RILEM-symposium Göteborg 1960. Göteborg 1961.

SHORT, A och KINNIBURGH, W: The structural use of aerated concrete. The Structural Engineer, s 1-16. Jan 1961.

STATENS BETONGKOMMITTÉ: Lättbetongutskottets kommentarer till "Normer för bärande armerade lättbetongelement". Förslag nr 3, 1965. Ej offentliggjord.

TAYLOR, H F W: The chemistry of cements. Del 2. London 1964.

WAGNER, O: Das Kriechen unbewehrten Betons. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 131. Berlin 1958.

WITTMANN, F: Kriechen bei gleichzeitigem Schwinden des Zementsteins. Rheol. Acta nr 3, s 198-204. 1966.

WITTMANN, F och KLUG, P: Zum zeitlichen Verlauf des Kriechens von Zementstein und Beton. Rheol. Acta, Band 7, Heft 1, s 93-95. 1968.

ÖDEGÅRD, E: Rapport över belastningsförsök med armerade Siporex-plattor. Maskinskriven rapport från Cement- och Betonginstitutet. Stockholm 1961.

SYMBOLER

Bokstäver

A faktor i uttrycket för kryptöjning, m/m.

A' faktor i uttrycket för krypnedböjning, 10^{-3} mm.

a $= A/\sigma$, $(kp/cm^2)^{-1}$

a' faktor i ekv (2.5)

a'' faktor i ekv (2.6)

b exponent för t

C_1 konstant i ekv (6.2); cm^3/g

C_2 konstant i ekv (6.2); g/kp·cm

d provkroppsbredd, jfr fig 4.1, mm eller cm

E elasticitetsmodul, kp/cm^2

h provkroppshöjd, jfr fig 4.1, mm eller cm

k konstant i ekv (2.6), $(kp/cm^2)^{-1}$

l_1 längd av krypbalkens mittdel, jfr fig 3.1, mm eller cm

$m\{x\}$ medelvärde av x.

m konstant i ekv (4.5).

n konstant i ekv (4.5), $(10^{-3}mm)^{-1}$

P last i ändan av krypbalk, kp

rf relativ luftfuktighet, %

$s\{x\}$ spridning på x.

$s^2\{x\}$ varians på x.

t tid från pålastning, dygn.

t' tid från avlastning, dygn.

u fuktkvot, viktsprocent.

γ torrvolymvikt, g/cm^3 eller kg/dm^3

δ nedböjning, 10^{-3} mm

ε töjning = relativ längdändring, m/m.

σ normalspänning, kp/cm^2.

ϕ kryptal för element

ϕ' kryptal för material incl krympning

ϕ'' kryptal för grundkrypning

Index

b böj-

c kryp-

d drag-

e momentan- ("elastisk")

k krymp-

m maximal

p kvarstående

å återhämtning

Tecken

$\bar{x}$ medelvärde på x

$\bar{\bar{x}}$ medelvärde på $\bar{x}$

Δx tillväxt av x

Tabell 2.1. Data från tidigare försök

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Källa	Kurv nr	Råvaror (Fabrikat)	γ_o kg/l	Armering % Drag	Armering % Tryck	Bel $\frac{M}{M_{brott}}$	ϕ ϕ' ϕ'' (1 år)	% rf	Grupp
Nylander (57)	1	(Siporex)	0.57	∿0.2	0	∿0.3	1.50 2.25 ---	56	2
Nylander (57)	10	Samma	0.68	∿0.2	∿0.07	∿0.3	0.74 0.88 ---	56	2
Schäffler (60)	2	E4 Cement, kalk och flygaska	0.75	0.32	0.11	0.29	1.21 1.16 0.59	60-65	4
Schäffler (60)	3	E3 Cement, kalk och flygaska	0.75	0.30	0.10	0.45	∿0.7 --- ---	60-65	4
Schäffler (60)	4	D4 Kalk, flygaska och masugnsslagg	0.58	0.21	0.08	0.28	0.83 0.74 0.62	60-65	6
Schäffler (60)	5	C4 Kalk, cement och sandmjöl	0.56	0.25	0.10	0.34	0.88 0.79 0.75	60-65	5
Schäffler (60)	6	B3 Cement och sand-mjöl	0.77	0.29	0.14	0.46	∿0.6 --- ---	60-65	1
Schäffler (60)	7	D3 Kalk, flygaska och masugnsslagg	0.58	0.22	0.09	0.43	∿0.5 --- ---	60-65	6
Schäffler (60)	8	C5 Kalk, cement och sandmjöl	0.56	0.25	0.10	0.20	1.22 1.25 ---	60-65	5
Schäffler (60)	9	E5 Cement, kalk och flygaska	0.75	0.31	0.10	0.21	1.09 1.07 ---	60-65	4
Schäffler (60)	11	e2 Cement och flyg-aska (skumbetong)	0.81	0.67	(0.13)	∿0.4	0.84 1.07 0.86	50-90	3
Schäffler (60)	12	C3 Kalk, cement och sandmjöl	0.56	0.23	0.09	0.45	∿0.6 --- ---	60-65	5

Tabellen fortsätter v.g.v.

Tabell 2.1. fortsättning. Data från tidigare försök

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Källa	Kurv nr	Råvaror (Fabrikat)	γ_o kg/l	Armering % Drag	Armering % Tryck	Bel $\frac{M}{M_{brott}}$	ϕ ϕ' ϕ'' (1 år)	% rf	Grupp
Schäffler (60)	13	A3 Cement och sandmjöl	0.56	0.28	0.11	0.45	∿0.5 --- ---	60-65	1
	14	f2 Kalk och bränt oljeskiffer (Ytong?)	0.55	0.19	0	∿0.3	0.46 0.78 ---	50-90	7
	15	A4 Cement och sandmjöl	0,56	0.31	0.13	0.38	0.46 0.44 0.24	60-65	1
	16	i2 Cement och sandmjöl (Siporex?)	0.79	0.75	0.16	∿0.3	0.08 -0.03 0.23	50-90	1
	17	h2 Cement och sandmjöl (Siporex?)	0.56	0.36	0.11	∿0.3	0.09 -0.26 0. 8	50-90	1
Ödegård (61)	18	Cement, kvartsmjöl, slagg (Siporex)	0.49	0.30	0.10	0.25	0.13 --- ---	Fuktkvot 5 %	2
	19	Samma.	0.49	0.30	0.10	0.28	0.08 --- ---	Fuktkvot 35 %	2
Short (61)	20	Samma som 21	---	---	---	---	0.15 --- ---	40-50	Lab. prov
	21	Samma som 20	---	---	---	---	∿0.80 x) --- ---	80	Industrimiljö
Kruul (64)	-	Porosilikat RG	0.5	Prismor		---	--- 1.35 ---	40	-
	-	Porosilikat RG	0.5	"		---	--- 1.20 ---	60	-
	-	Porosilikat RG	0.5	"		---	--- --- 0.19 o)	100	-

x) Brott efter 260 dygn

o) Möjligen tryckfel, värdet 0.91 tycks stämma bättre med de två värdena ovanför

Tabell 4.1. Materialdata, försök A

1	2	3	4	5	6	7	8
Prov nr	Volym-vikt	Försöks-fuktkvot	Böjdrag-hållfast-het.	Elastici-tetsmodul	Krypprovkropps		γ/E
					Höjd	Bredd	
	γ	u	σ_{bd}	E			
	g/cm^3	%	kp/cm^2	$10^3 kp/cm^2$	cm	cm	$10^{-5} \frac{g}{kp \cdot cm}$
0.1	0.506	2.8	9.90	-	3.99	7.96	-
0.2	-	2.9	-	-	4.02	8.10	-
0.3	0.507	2.6	9.70	-	4.06	8.01	-
0.4	0.510	3.2	8.92	-	4.07	8.07	-
2.1	0.510	2.7	8.89	16.7	4.05	8.10	3.05
2.2	0.508	2.4	9.15	15.1	4.04	8.11	3.37
3.1	0.511	3.1	9.76	14.3	4.06	8.02	3.58
3.2	0.501	2.8	9.21	15.0	3.98	8.04	3.34
4.1	0.493	2.6	10.95	14.6	4.01	8.08	3.38
4.2	0.518	2.8	9.60	15.3	4.03	8.12	3.39
5.1	0.508	3.2	9.03	14.2	4.00	8.10	3.58
5.2	0.504	3.1	10.42	14.3	3.93	7.96	3.53
6.1	0.528	3.4	9.20	14.0	4.03	8.03	3.77
6.2 x)	0.500	2.9	10.21	17.3	4.04	8.12	2.89
Medel-värde	0.508	2.9	9.61	15.1			
Spridning	0.009	0.3	0.61	1.1			
Var koeff	1.7 %	9.0 %	6.3 %	7.3 %			

x) Dalby nya fabrik

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tabell 4.2. Krypförsöksdata, försök A

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr	Kryp-spän-ning σ	Regressionsanalys Exponent b	logA'	Rest	logK	logA = logA'·K	A	a = A/σ
	kp/cm^2			Faktor 10^{-4}	-6	-6	Faktor 10^{-6}	Faktor 10^{-6}
2.1	2	0.242	1.0060	105	0.0056	1.0116	10.27	5.1
2.2	2	0.284	0.8880	157	0.0043	0.8923	7.80	3.9
3.1	3	0.275	1.1963	62	0.0073	1.2036	15.98	5.3
3.2	3	0.253	1.2950	31	0.9978-1	1.2928	19.62	6.5
4.1	4	0.225	1.2492	21	0.0013	1.2505	17.80	4.5
4.2	4	0.224	1.4397	18	0.0035	1.4432	27.75	6.9
5.1	5	0.226	1.5002	5	0.0000	1.5002	31.63	(6.3)
5.2	5	0.210	1.4876	6	0.9926-1	1.4802	30.21	(6.0)
6.1	6	(0.216)	(1.7000)	9	0.0043	1.7043	50.62	(8.4)
6.2	6	(0.225)	(1.3996)	23	0.0035	1.4031	25.30	(4.2)
Medelvärde		0.246						5.4
Spridning		0.026	0.141					

Siffror i parantes är ej medräknade i medelvärde och spridning.

Tabelle 4.2. Kryp, Strahlkammer, Tank A

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nr	Kryp-ceiz-ring	Dekrementionsmalz Exponent	Dekrementionsmalz Log A	Dekrementionsmalz [illegible]	Log A	Log A + K	A	A/e

				Faktor			Fehler	Fehler 10^{-6}
2.1	[illegible]	[illegible]	1.0060	105	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5.1
2.2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
3.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	32	0.0[illegible]	[illegible]	[illegible]	5.3
3.2	[illegible]	0.25[illegible]	1.2950	31	0.0978-1	[illegible]	[illegible]	[illegible]
4.1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	21	0.0013	1.25[illegible]	[illegible]	[illegible]
4.2	[illegible]	[illegible]	1.4357	16	0.0035	1.4[illegible]	27.75	[illegible]
5.1	[illegible]	0.226	1.5002	5	0.0000	[illegible]	[illegible]	(6.3)
5.2	[illegible]	[illegible]	1.4879	[illegible]	0.9926-1	1.4[illegible]	[illegible]	(6.0)
6.1	[illegible]	(0.215)([illegible])		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	(6.4)
6.2	[illegible]	(0.225)([illegible])		[illegible]	0.0035	1.40[illegible]	[illegible]	(4.3)
Medelvärde		[illegible]						[illegible]
Spridning		[illegible]	[illegible]					

Riktiga i perioden är ej medtagna i medelvärdet om anmärkning.

Tabell 4.3. Återhämtningsdata, försök A

1	2	3	4	5	6	7
Prov nr	m	n	δ_c	$\delta_{å,m} = 1/n$	$\delta_p = (4)-(5)$	$\frac{\delta_p}{\delta_c}$
	$\frac{1}{dg \cdot 10^{-3}mm}$	$\frac{1}{10^{-3}mm}$	10^{-3} mm	10^{-3} mm	10^{-3} mm	
2.1	0.44	0.061	25	16	9	0.36
2.2	0.57	0.059	22	17	5	0.23
3.1	0.21	0.0296	42	34	8	0.19
3.2	0.18	0.0300	49	33	16	0.33
4.1	0.19	0.0320	40	31	9	0.23
4.2	0.15	0.0225	61	44	17	0.28
5.1	0.14	0.0185	79	54	25	0.32
5.2	0.15	0.0225	66	44	22	0.33
6.2	0.18	0.0230	56	44	12	0.21
				Medelvärde		0.28
				Spridning		0.06
				Variationskoefficient		22 %

[illegible]

Tabell 5.1. Materialdata, försök B

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prov nr	Klimat	Torr-volym-vikt	Fuktkvot, u		Böjdraghåll-fasthet, σ_{bd}		σ/σ_{bd}	Elasticitets-modul, E		γ/E
			Start	Slut	Torr	Våt (uppsk)	-	På-lastn	Av-lastn	10^{-5}
	% rf	g/cm^3	%	%	kp/cm^2	kp/cm^2	-	10^3 kp/cm^2		$\frac{g}{kp\ cm}$
0.1		0.506	(84.0)	(3.9)	9.90					
0.3		0.507	(78.5)	(3.7)	9.70					
2.1	80-90	0.510	85.4	4.6	8.89	6.4	0.31	15.6	16.3	3.27
3.1		0.511	85.5	4.0	9.76	7.0	0.43	14.7	14.8	3.48
4.1		0.493	83.1	4.1	0.95	7.9	0.51	13.4	13.9	3.68
5.1		0.508	(91.6)	-	9.03	6.5	0.83	(14.1)	-	
Medelvärde		-	84.7	4.2				14.6	15.0	
0.2		-	(88.3)	(2.4)	-					
0.4		0.510	(80.0)	(2.5)	8.92					
2.2		0.508	87.8	2.4	9.15	6.6	0.30	14.1	15.1	3.60
3.2	40-50	0.501	79.6	2.5	9.21	6.6	0.46	14.6	15.5	3.43
4.2		0.518	87.5	2.5	9.60	6.9	0.42	14.5	15.6	3.57
5.2		0.504	(83.6)	-	10.42	7.5	0.67	(13.3)	-	
6.2[x)]		0.500	(84.5)	-	10.21	7.4	0.81	(17.7)	-	
Medelvärde		-	85.0	2.5				14.4	15.4	
Medelvärde		0.508	84.9	-				14.5	15.2	
Spridning		0.009								

Siffror inom parentes ej med i medelvärdesbildningarna.

x) Dalby nya fabrik

Tabelle 5.1

Labor-Ist, Maschinenbau, Versuch 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prüf-nummer	Kennwert	Prüf-volum-ität	Tränkungs-dauer	Tränkungs-temperatur °C	Vakuum-dauer min	Vakuum-druck mbar	Überdruck-dauer min	Überdruck-druck bar	Anzahl Lunker	10^{-5}
1.0			(4.0)	(2.0)	[illegible]					
1.1		[illegible]	(38.3)	[illegible]	[illegible]					
1.2	20-00	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.12	12.6	10.2	[illegible]
1.3		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.15	14.1	14.0	[illegible]
1.4		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	13.8	15.0	[illegible]
1.5		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.38	(14.1)	-	
Mittelwert		-	44.1	4.2				14.0	12.5	
2.0		-	(42.3)	[illegible]	-					
2.1		[illegible]	[illegible]	(2.0)	[illegible]					
2.2		0.200	57.8	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.40	12.1	14.1	3.60
2.3	40-00	[illegible]	19.6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	14.4	14.1	[illegible]
2.4		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.55	14.3	13.0	3.07
2.5		0.200	(24.9)	-	[illegible]	[illegible]	[illegible]	(12.3)	-	
2.6		0.200	(38.3)	-	[illegible]	[illegible]	[illegible]	(17.7)	-	
Mittelwert		-	50.1	2.3				14.4	13.5	
Gesamtwert		0.200	(4.3)	-				14.3	12.6	
Gesamtmittelwert		0.200								

Bilden keine Gesamtwerte aus mehr als 2 unabhängigen Prüfungen.

a) Lunker mm² Fläche

Tabell 5.2. Krypförsöksdata, försök B

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prov nr	Klimat	Kryp-spän-ning	σ/σ_{bd}	Regressionsanalys Tidrymd	b	log A'	log K	log A = log A'·K	A	a = A/σ
	% rf	kp/cm^2	-	dygn			10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}
2.1		2	0.31	1/128-11	0.257	1.1535	0.0056	1.1591	14.42	7.2
		2		45-63	(0.364)	1.1300	0.0056	1.1356	13.67	-
3.1	80-90	3	0.43	1/128-11	0.190	1.4719	0.0073	1.4792	30.14	10.0
		3		45-63	(0.449)	1.2402	0.0073	1.2475	17.68	-
4.1		4	0.51	1/128-11	0.228	1.5263	0.0013	1.5276	33.70	8.4
		4		45-63	(0.419)	1.3115	0.0013	1.3128	20.55	-
2.2		2	0.30	1/128- 2	0.242	1.2002	0.0043	1.2045	16.01	8.0
		2		15-63	(0.140)	1.3326	0.0043	1.3369	21.72	-
3.2	40-50	3	0.46	1/128- 2	0.153	1.3952	0.9978-11	1.3930	24.72	8.2
		3		15-63	(0.281)	1.2804	0.9978-11	1.2782	18.97	-
4.2		4	0.42	1/128- 2	0.185	1.5113	0.0035	1.5148	32.72	8.2
		4		15-63	(0.196)	1.5891	0.0035	1.5926	39.14	-
Medelvärde					0.209					8.3

Siffror i parantes ej medräknade i medelvärdet.

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tabell 6.1. Volymvikter i försök C. Siffror i parantes är ej med i medelvärdesbildningen

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabrik	Fukt-nivå	Element nr	Inom element			Inom fabriker		
			$\bar{\gamma}$	$s\{\gamma\}$	$\overline{s\{\gamma\}}$	$\bar{\bar{\gamma}}$	$s^2\{\bar{\gamma}\}$	$s\{\bar{\gamma}\}$
			g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3	g/cm^3	(g/cm^3)^2	g/cm^3
K	t	1	(0.516)					
		3	0.484					
		5	0.479					
		7	0.475					
	v	2	0.480					
		4	0.482					
		6	0.485					
		8	0.474		0.002	0.480	18 10^{-6}	0.004
B	t	9	0.537					
		11	0.532					
		13	0.529					
		15	0.525					
	v	10	0.499					
		12	0.503					
		14	0.516					
		16	0.510		0.011	0.520	$198 \cdot 10^{-6}$	0.014
S	t	17	0.493					
		19	0.502					
		21	0.496					
		23	0.504					
	v	18	0.482					
		20	0.482					
		22	0.505					
		24	0.508		0.003	0.496	$104 \cdot 10^{-6}$	0.010
D	t	25	0.495					
		27	0.466					
		29	0.496					
		31	0.483					
	v	26	0.500					
		28	0.479					
		30	0.484					
		32	0.495		0.005	0.489	$133 \cdot 10^{-6}$	0.012
Medel					0.006	0.496	$113 \cdot 10^{-6}$	0.011

Variationskoefficient 0.011/0.496 = 2 %

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tabell 6.2. Fuktkvoter vid försöksstarten. Försök C

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabrik	Fukt-nivå	Element nr	Inom element		Inom fabriker			
			$\bar{u}$	$s\{u\}$	$\overline{s\{u\}}$	$\{\bar{\bar{u}}\}$	$s^2\{\bar{u}\}$	$s\{\bar{u}\}$
			%	%	%	%	-	%
K	t	1	2.42	0.00				
		3	2.41	0.11				
		5	2.91	0.16				
		7	2.54	0.00	0.10	2.57	.0550	0.23
	v	2	93.4	0.3				
		4	89.2	1.8				
		6	93.5	1.6				
		8	93.3	0.5	1.2	92.3	4.43	2.1
B	t	9	3.10	0.05				
		11	3.26	0.23				
		13	3.42	0.07				
		15	3.41	0.00	0.12	3.30	.0227	0.15
	v	10	95.9	-				
		12	95.0	1.3				
		14	94.1	0.6				
		16	94.2	1.3	1.1	94.8	0.70	0.8
S	t	17	3.13	0.03				
		19	3.28	0.10				
		21	3.24	0.21				
		23	3.33	0.11	0.16	3.25	.0071	0.08
	v	18	84.9	0.9				
		20	87.5	0.2				
		22	82.0	1.5				
		24	79.8	1.8	1.2	83.6	11.30	3.4
D	t	25	2.80	0.11				
		27	3.47	-				
		29	2.67	0.02				
		31	2.78	0.22	0.14	2.94	.1330	0.38
	v	26	84.5	1.6				
		28	95.0	4.8				
		30	95.1	1.8				
		32	87.2	0.8	2.7	90.5	25.80	5.1

[illegible]

Tabell 6.3. Böjdraghållfasthetsresultat. Försök C

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabrik	Fukt-nivå	Element nr	Inom element			Inom fabrik och fuktnivå		
			$\bar{\sigma}_{bd}$	$s\{\sigma_{bd}\}$	$\overline{s\{\sigma_{bd}\}}$	$\bar{\bar{\sigma}}_{bd}$	$s^2\{\bar{\sigma}_{bd}\}$	$s\{\bar{\sigma}_{bd}\}$
			kp/cm^2	kp/cm^2	kp/cm^2	kp/cm^2	-	kp/cm^2
K	t	1	16.27	1.34				
		3	16.38	0.75				
		5	16.58	0.53				
		7	15.88	0.94	0.94	16.28	0.086	0.29
	v	2	11.59	0.79				
		4	13.33	0.17				
		6	11.66	0.16				
		8	12.29	0.39	0.46	12.20	0.648	0.80
B	t	9	13.17	1.72				
		11	16.45	0.52				
		13	14.83	0.74				
		15	14.54	0.33	0.98	14.72	1.815	1.35
	v	10	11.55	0.75				
		12	9.75	0.21				
		14	12.52	0.39				
		16	13.62	0.54		11.84	2.691	1.64
S	t	17	15.77	1.79				
		19	16.52	0.24				
		21	16.41	0.55				
		23	16.45	1.02	1.07	16.29	0.121	0.35
	v	18	10.78	0.37				
		20	10.05	0.61				
		22	11.42	1.02				
		24	11.85	0.98	0.79	11.02	0.613	0.78
D	t	25	12.86	0.74				
		27	10.92	0.20				
		29	12.69	0.60				
		31	12.33	0.89	0.66	12.19	0.777	0.88
	v	26	9.22	0.40				
		28	8.09	0.36				
		30	9.89	0.58				
		32	7.92	0.50	0.47	8.78	0.882	0.94
	Medel		12.97	0.77	0.77	12.97	0.954	0.98

Variationskoefficient 0.98/12.97 = 7,5 %

[illegible]

Tabell 6.4. Tryckhållfasthetsresultat. Försök C

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabrik	Fukt-nivå	Element nr	Inom element			Inom fabrik och fuktnivå		
			$\bar{\sigma}_t$	$s\{\sigma_t\}$	$\overline{s\{\sigma_t\}}$	$\bar{\bar{\sigma}}_t$	$s^2\{\bar{\sigma}_t\}$	$s\{\bar{\sigma}_t\}$
			kp/cm^2	kp/cm^2	kp/cm^2	kp/cm^2		kp/cm^2
K	t	1	52.8	1.4				
		3	48.5	3.9				
		5	45.8	1.8				
		7	46.3	0.4	2.3	48.3	10.0	3.2
	v	2	26.5	5.3				
		4	38.8	0.5				
		6	33.7	1.0				
		8	36.2	0.3	2.7	33.8	27.6	5.3
B	t	9	42.2	3.0				
		11	56.9	2.5				
		13	53.3	1.3				
		15	45.2	3.3	2.7	49.4	46.1	6.8
	v	10	38.3	1.2				
		12	26.7	2.8				
		14	40.8	0.7				
		16	38.0	2.9	2.1	35.9	39.3	6.3
S	t	17	48.0	1.4				
		19	48.4	1.7				
		21	50.6	3.0				
		23	43.8	3.5	2.5	47.6	8.2	2.9
	v	18	34.0	1.7				
		20	34.7	0.5				
		22	35.0	0.4				
		24	40.0	0.4	0.9	35.9	7.7	2.8
D	t	25	44.2	0.9				
		27	36.8	1.5				
		29	43.7	2.4				
		31	41.4	2.0	1.8	41.5	11.4	3.4
	v	26	25.3	1.2				
		28	21.2	0.9				
		30	29.9	1.3				
		32	24.1	1.4	1.2	25.1	13.3	3.7
	Medel		39.8	2.2	2.2	39.8	20.4	4.5

Variationskoefficient 4.5/39.8 = 11.3 %

[illegible]

Tabell 6.5. Försök C. Elasticitetsmodul bestämd på krypbalkarnas momentandeformationer, δ_{e1}.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fabrik	Fukt-nivå	Spän-ning	Element nr	δ_e	K	$E = \frac{(3)\cdot 10^6}{(5)(6)}$ 10^3	$\bar{E}$ 10^3	$S^2\{E\}$	$S\{E\}$ 10^3
		kp/cm²		10^{-3} mm	10^{-2} cm^{-1}	kp/cm²	kp/cm²	-	kp/cm²
K	t	2	1	94	0.990	21.5			
			3	96	1.015	20.5			
		4	5	204	1.017	19.3			
			7	206	1.008	19.3	20.2	1.13	1.1
	v	2	2	134	1.000	14.9			
			4	123	1.005	16.2			
		4	6	265	1.015	14.9			
			8	281	0.995	14.3	15.1	0.64	0.8
B	t	2	9	118	1.030	16.5			
			11	110	0.992	18.3			
		4	13	235	1.028	16.6			
			15	240	1.010	16.5	17.0	0.78	0.9
	v	2	10	141	1.013	14.0			
			12	144	1.013	13.7			
		4	14	266	0.997	15.1			
			16	266	1.025	14.7	14.4	0.41	0.6
S	t	2	17	96	1.010	20.6			
			19	94	1.015	21.10			
		4	21	186	0.995	21.6			
			23	188	1.013	21.0	21.1	0.17	0.4
	v	2	18	91	1.023	21.5			
			20	93	1.017	21.1			
		4	22	180	1.015	21.9			
			24	175	1.015	22.5	21.8	0.36	0.6
D	t	2	25	103	1.023	19.0			
			27	120	1.008	16.5			
		4	29	222	1.008	17.9			
			31	238	1.003	16.8	17.6	0.98	1.0
	v	2	26	130	1.003	15.3			
			28	146	1.000	13.7			
		4	30	339	1.000	11.8			
			32	306	1.008	13.0	13.5	1.61	1.3
Medel			--	--	--	17.6	17.6	0.76	0.9

Variationskoefficient 0.9/17.6 = 5.0 %

Tabell 6.6. Krympning. Försök C.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fabrik	Fukt-nivå	Element nr	Inom element			Inom fabriker		
			$\bar{\varepsilon}_k$	$s\{\varepsilon_k\}$	$\overline{s\{\varepsilon_k\}}$	$\bar{\bar{\varepsilon}}_k$	$s^2\{\bar{\bar{\varepsilon}}_k\}$	$s\{\bar{\varepsilon}_k\}$
			o/oo	o/oo	o/oo	o/oo	10^{-4}	o/oo
K	t	1	0.27					
		3	0.22					
		5	0.22					
		7	0.19					
	v	2	0.18					
		4	0.24					
		6	0.24					
		8	0.24		0.02	0.23	8.86	0.03
B	t	9	0.25					
		11	0.22					
		13	0.24					
		15	0.33					
	v	10	0.24					
		12	0.24					
		14	0.25					
		16	0.25		0.02	0.25	10.86	0.03
S	t	17	0.22					
		19	0.22					
		21	0.27					
		23	0.24					
	v	18	0.19					
		20	0.25					
		22	0.22					
		24	0.24		0.01	0.23	5.86	0.02
D	t	25	0.24					
		27	0.18					
		29	0.22					
		3	0.22					
	v	26	0.25					
		28	0.34					
		30	0.25					
		32	0.30		0.01	0.25	24.86	0.05
Medel			0.24	0.02	0.02	0.24	12.61	0.04

Variationskoefficient 0.04/24 = 17 %

Tabell 6.7. Krypförsöksdata. Försök C. Resultat av regressionsanalys på krypdeformationer.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fabrik	Fukt-nivå	Spän-ning	Element nr	Tid-rymd	b	log A'	log K	log A	A
		kp/cm^2		dygn			-6	-6	10^{-6}
K	t	2	1	1/128	0.217	0.7999	0.0044	0.7955	6.2
			3		0.202	0.7641	0.0065	0.7706	5.9
		4	5	-10	0.200	1.0998	0.0073	1.1171	13.1
			7		0.190	1.1171	0.0035	1.1206	13.2
	v	2	2	1/128	0.233	1.1751	0.0000	1.1751	15.0
			4		0.210	1.1855	0.0022	1.1877	15.4
		4	6	-100	0.217	1.4713	0.0065	1.4778	30.1
			8		0.202	1.5892	-0.0022	1.5870	38.6
B	t	2	9	1/128	0.229	0.8462	0.0128	0.8590	7.2
			11		0.208	0.7983	-0.0035	0.7948	6.2
		4	13	-10	0.220	1.0985	0.0120	1.1105	12.9
			15		0.238	1.1181	0.0043	1.1224	13.3
	v	2	10	1/128	0.250	1.0136	0.0056	1.0192	10.5
			12		0.225	1.0376	0.0056	1.0432	11.1
		4	14	-100	0.243	1.2675	-0.0013	1.2662	18.5
			16		0.207	1.3536	0.0107	1.3643	23.1
S	t	2	17	1/128	0.239	0.8119	0.0043	0.8162	6.6
			19		0.247	0.7928	0.0065	0.7993	6.3
		4	21	-10	0.221	1.1630	-0.0022	1.1608	14.5
			23		0.221	1.1317	0.0056	1.1373	13.7
	v	2	18	1/128	0.157	0.8880	0.0099	0.8979	7.9
			20		0.207	0.7176	0.0073	0.7249	5.3
		4	22	-100	0.210	1.0865	0.0065	1.0930	12.4
			24		0.132	1.1250	0.0065	1.1315	13.5
D	t	2	25	1/128	0.166	0.9182	0.0099	0.9281	8.5
			27		0.218	0.8941	0.0035	0.8976	7.9
		4	29	-10	0.232	1.1440	0.0035	1.1475	14.0
			31		0.223	1.1941	0.0013	1.1954	15.7
	v	2	26	1/128	0.237	1.2677	0.0013	1.2690	18.6
			28		0.152	1.2519	0.0000	1.2519	17.9
		4	30	-100	(0.358)	(1.9929)	0.0000	(1.9929)	(98.4)
			32		0.200	1.5945	0.0035	1.5980	39.6

Medeltal och variationsparametrar angivna i tabell 6.8.

Tabell 6.8. Medeltal och spridning på krypparametrarna. Försök C

1	2	3	4	5	6	7	8
Fukt-nivå	Spän-ning	Para-meter	Fabrik				Medel
			K	B	S	D	
		A	faktor 10^{-6}				
t	2	$\bar{A}$	6.1	6.7	6.5	8.2	6.9
	4	$\bar{A}$	13.2	13.1	14.1	14.9	13.8
	2.4	s{A}x)	0.2	0.5	0.4	0.9	0.6
v	2	$\bar{A}$	15.2	10.8	6.6	18.3	12.7
	4	$\bar{A}$	34.4	20.8	13.0	39.6	27.0
	2.4	s{A}x)	4.3	2.3	0.9	0.5	2.6
		b					
t	2	$\bar{b}$					
	4		0.20	0.22	0.23	0.21	0.22
	2.4	s{b}	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
v	2	$\bar{b}$					
	4		0.22	0.23	0.18	0.20	0.20
	2.4	s{b}	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03

x) Mellan upprepningar

Tabell 6.9. Storheterna a och b i ekvationen $\varepsilon_c = a \cdot \sigma \cdot t^b$

Fukt-nivå	Storhet	Faktor	Fabrik				Medel
			K	B	S	D	
t	a	10^{-6}	3.2	3.3	3.4	3.9	3.45
	b	-	0.20	0.22	0.23	0.21	0.22
v	a	10^{-6}	8.1	5.3	3.3	9.4	6.53
	b	-	0.21	0.22	0.18	0.20	0.20

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tabell 6.10. Försök C. Diverse parametrar.

1	2	3	4	5	6	7
Fabrik	Fukt-nivå	Spän-ning	Element nr	σ/σ_{bd}	a = A/σ	γ/E g/kp·cm
		kp/cm²			10^{-6}	10^{-5}
K	t	2	1	0.123	3.1	2.40
			3	0.122	3.0	2.36
		4	5	0.241	3.3	2.48
			7	0.252	3.3	2.46
	v	2	2	0.173	7.5	3.22
			4	0.150	7.7	2.98
		4	6	0.343	7.5	3.26
			8	0.326	9.65	3.31
B	t	2	9	0.152	3.6	3.26
			11	0.122	3.1	2.91
		4	13	0.270	3.2	3.18
			15	0.275	3.3	3.18
	v	2	10	0.173	5.3	3.57
			12	0.205	5.6	3.67
		4	14	0.320	4.6	3.42
			16	0.294	5.8	3.47
S	t	2	17	0.127	3.3	2.39
			19	0.121	3.2	2.39
		4	21	0.244	3.6	2.30
			23	0.243	3.4	2.40
	v	2	18	0.186	4.0	2.24
			20	0.199	2.6	2.28
		4	22	0.350	3.1	2.31
			24	0.338	3.4	2.26
D	t	2	25	0.156	4.3	2.61
			27	0.183	4.0	2.84
		4	29	0.315	3.5	2.77
			31	0.324	3.9	2.88
	v	2	26	0.217	9.3	3.27
			28	0.247	8.95	3.50
		4	30	0.404	( )	4.10
			32	0.505	9.90	3.81

[illegible]

[illegible]

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tabell 7.1. Beräkning av kryptal, alla försök. Kolumn (9) avser på fuktnivå t försök A och på fuktnivå v försök B medan provkropparna var våta.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fukt-nivå	Stor-het	Faktor	Försök C					Försök A & B
			Fabrik K	Fabrik B	Fabrik S	Fabrik D	Medel	Fabrik D
	$\bar{a}$	10^{-6}	3.2	3.3	3.4	3.9	3.45	5.4
	$\bar{b}$		0.20	0.22	0.23	0.21	0.22	0.25
t	$\bar{E}$	10^{-3}	20.2	17.0	21.1	17.6	19.0	15.1
	$\bar{a} \cdot \bar{E}$	10^{-3}	64.7	56.1	71.8	68.6	65.3	81.5
	365^b		3.25	3.66	3.89	3.45	-	4.38
	ϕ'' 1år		0.21	0.21	0.28	0.24	0.24	0.36
	$\bar{a}$	10^{-6}	8.1	5.3	3.3	9.4	6.53	8.3
	$\bar{b}$		0.21	0.22	0.18	0.20	0.20	0.21
V	$\bar{E}$	10^{-3}	15.1	14.4	21.8	13.5	16.2	14.5
	$\bar{a} \cdot \bar{E}$	10^{-3}	122.2	76.3	72.0	126.9	99.3	120.3
	365^b		3.45	3.66	2.89	3.25	-	3.45
	ϕ'' 1år		0.42	0.28	0.21	0.41	0.33	0.42

[illegible]

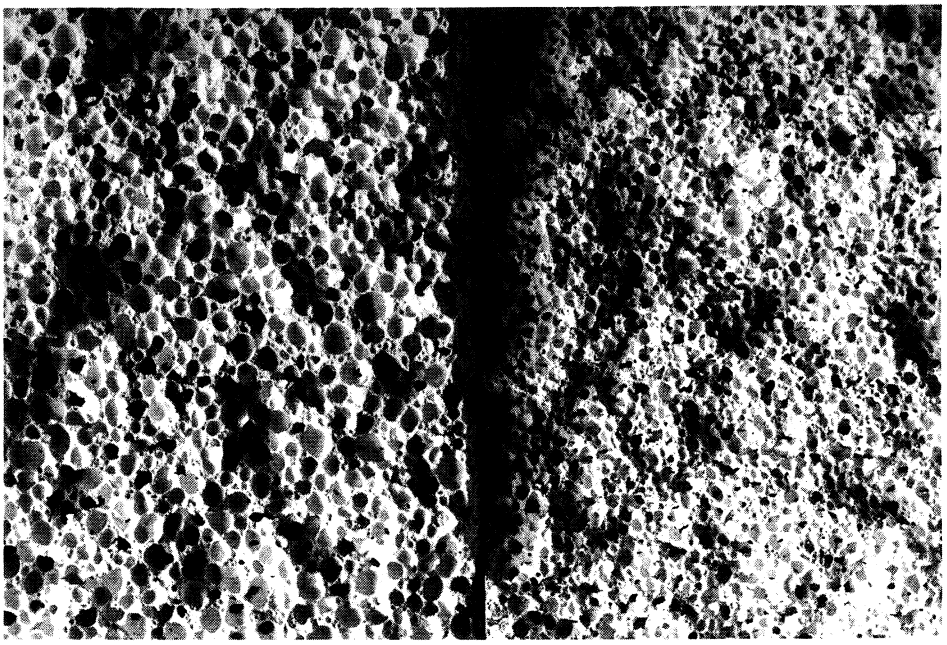


Fig 1.1 Brottytor i gasbetong från Dalby I t v och Dalby II t h. (γ = 0,5 kg/dm^3). Skala 1.7:1.

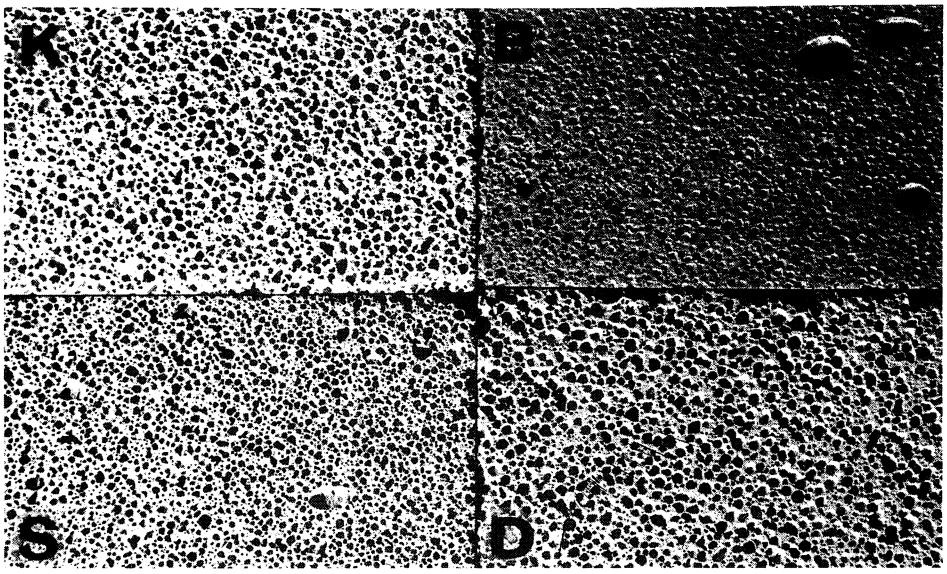


Fig 1.2 Slipytor i gasbetong av de fyra fabrikaten som ingår i försök C (γ = 0,5 kg/dm^3). Skala 1:1.

Fig 1.3 Elektronmikrofotografi av strukturen i en porvägg i gasbetong (Göteborg Siporex, γ = 0,5 kg/dm^3) se kommentarer i avsnitt 1.4. (Purins & Linden (67))

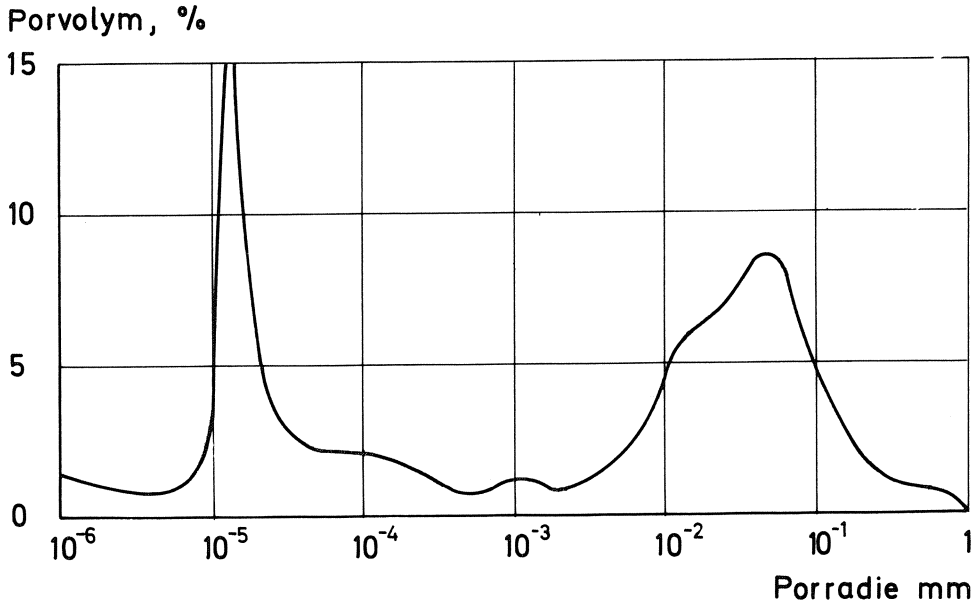


Fig 1.4 Porvolymfördelning för gasbetong (Ytong, γ = 0,5 kg/dm^3) enl Krischer (41).

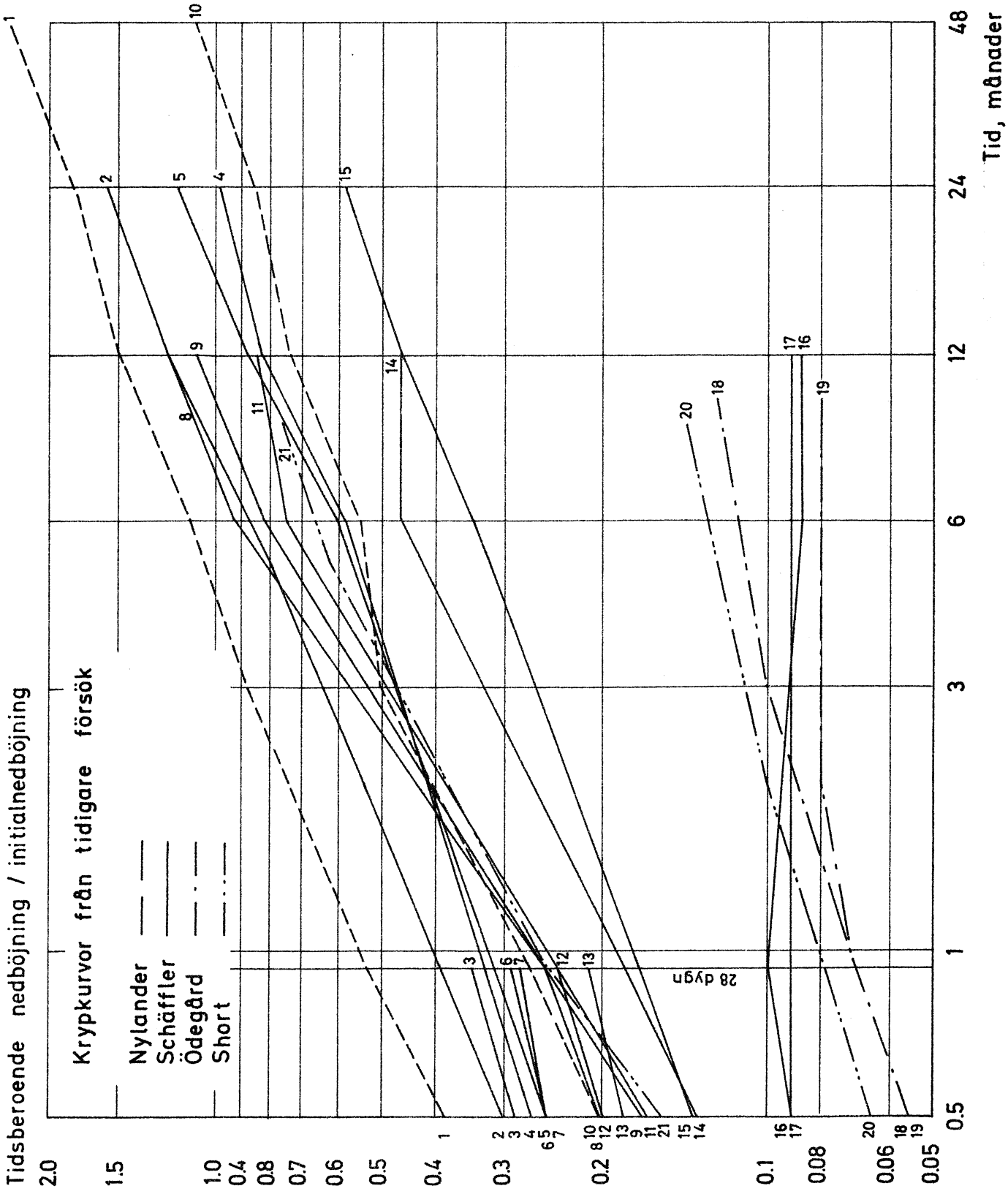


Fig 2.1 Krypkurvor från tidigare försök.

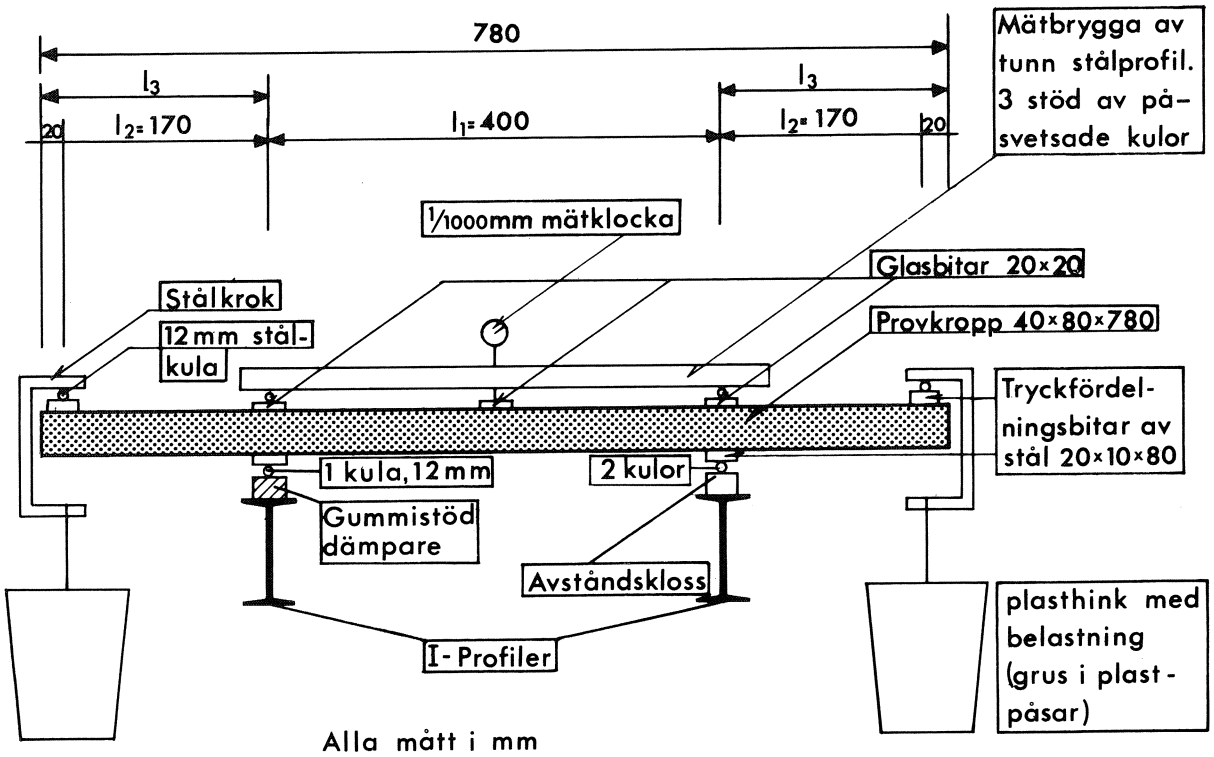


Fig 3.1 Uppställning för bestämning av gasbetongs krypning under böjningspåverkan.

Fig 3.2 Uppställning för bestämning av gasbetongs krypning under böjningspåverkan. Belastningen just påförd.

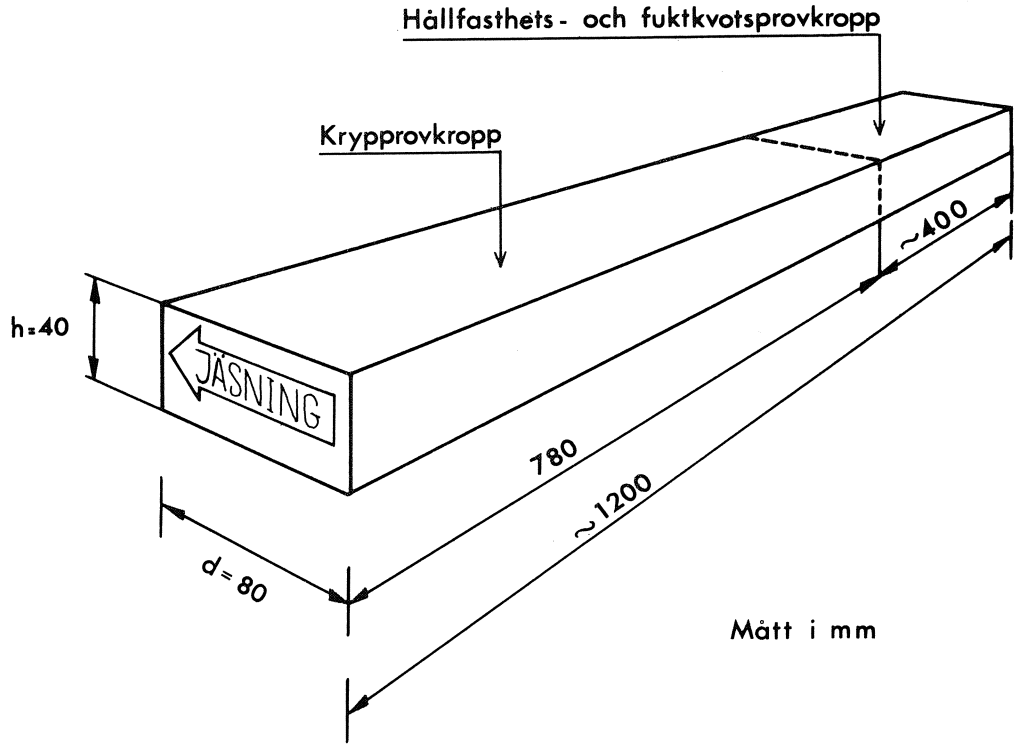


Fig 4.1 Provkroppsutsågning för försök A och B.

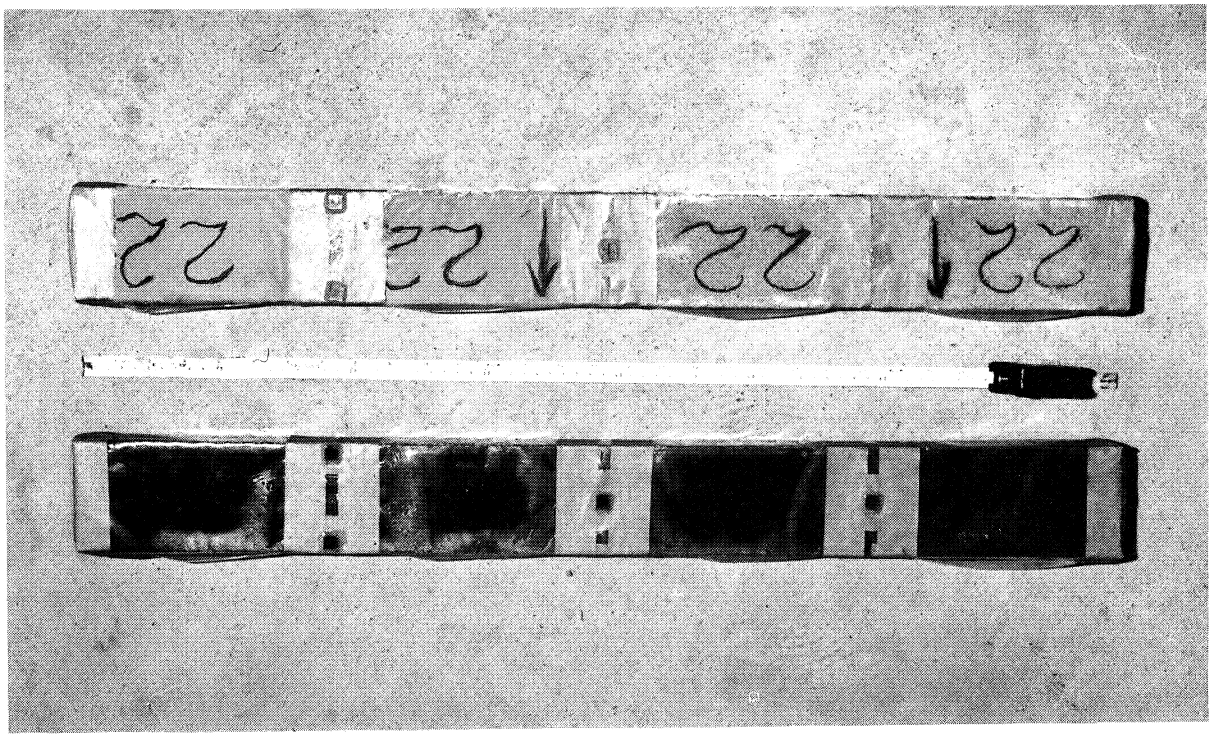


Fig 4.2 Krypprovkroppar till försök C efter försegling. Samma metod användes i försök A.

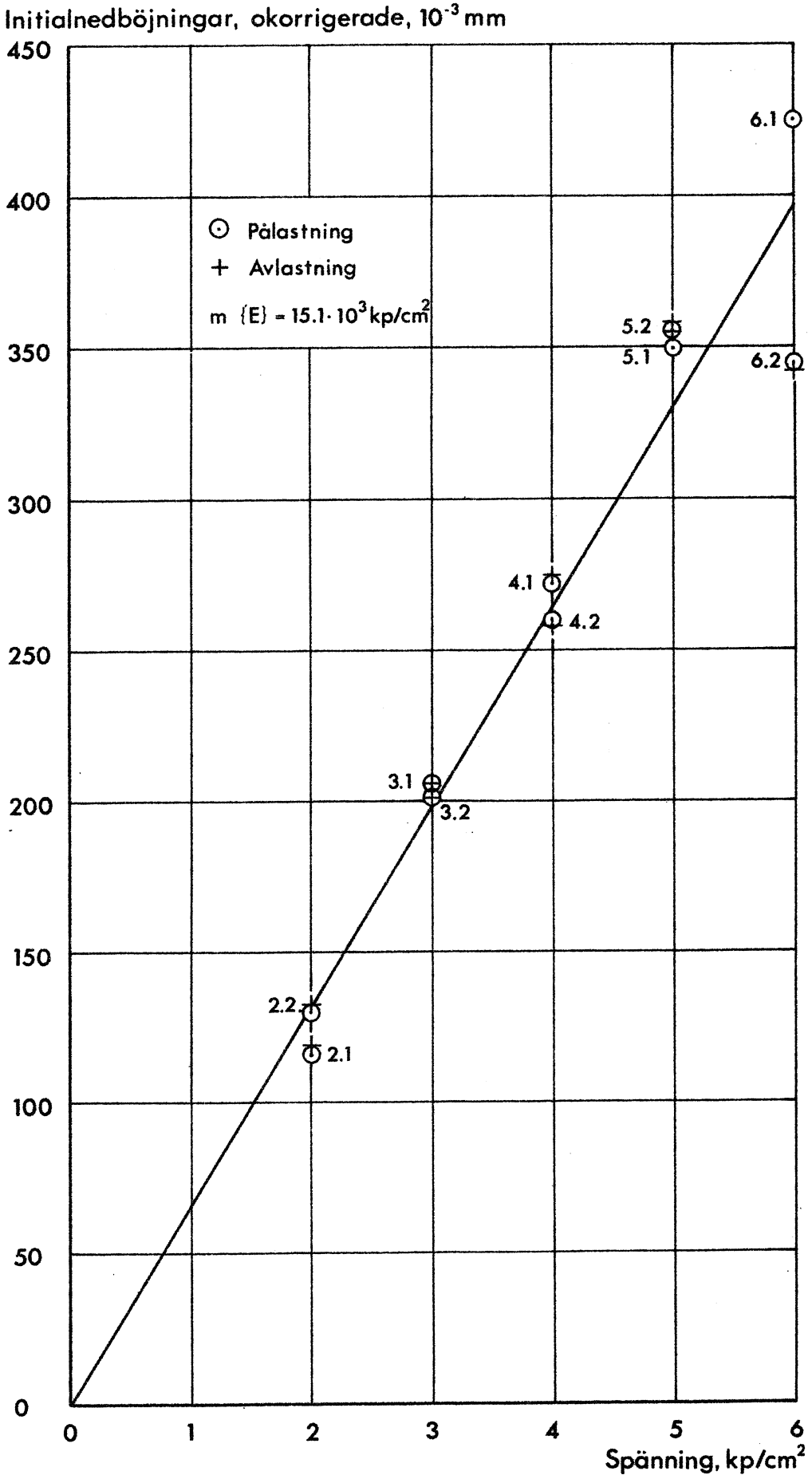


Fig 4.3 Momentandeformationer vid på och avlastning för försök A.

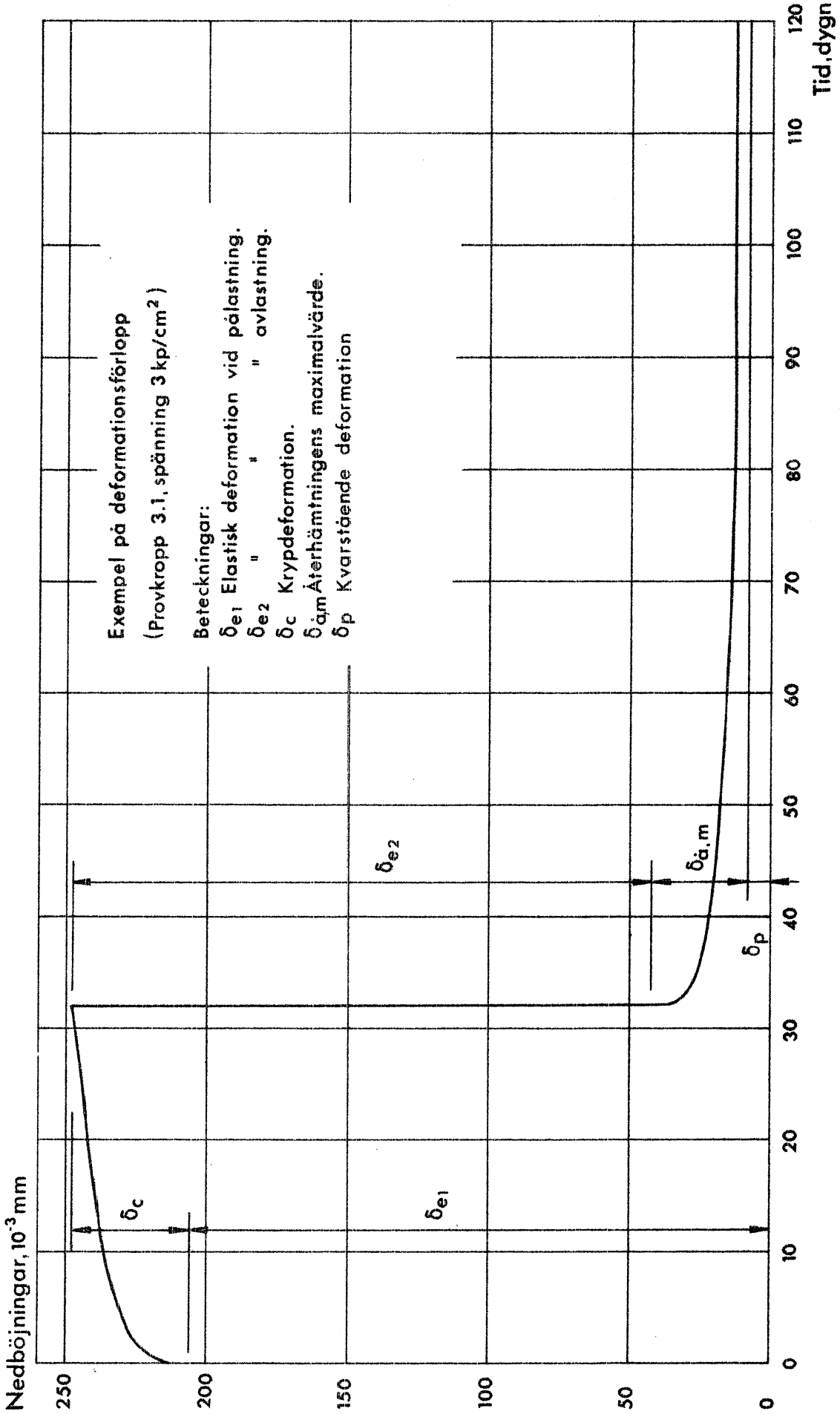


Fig 4.4 Exempel på deformationsförloppet hos en provkropp i försök A.

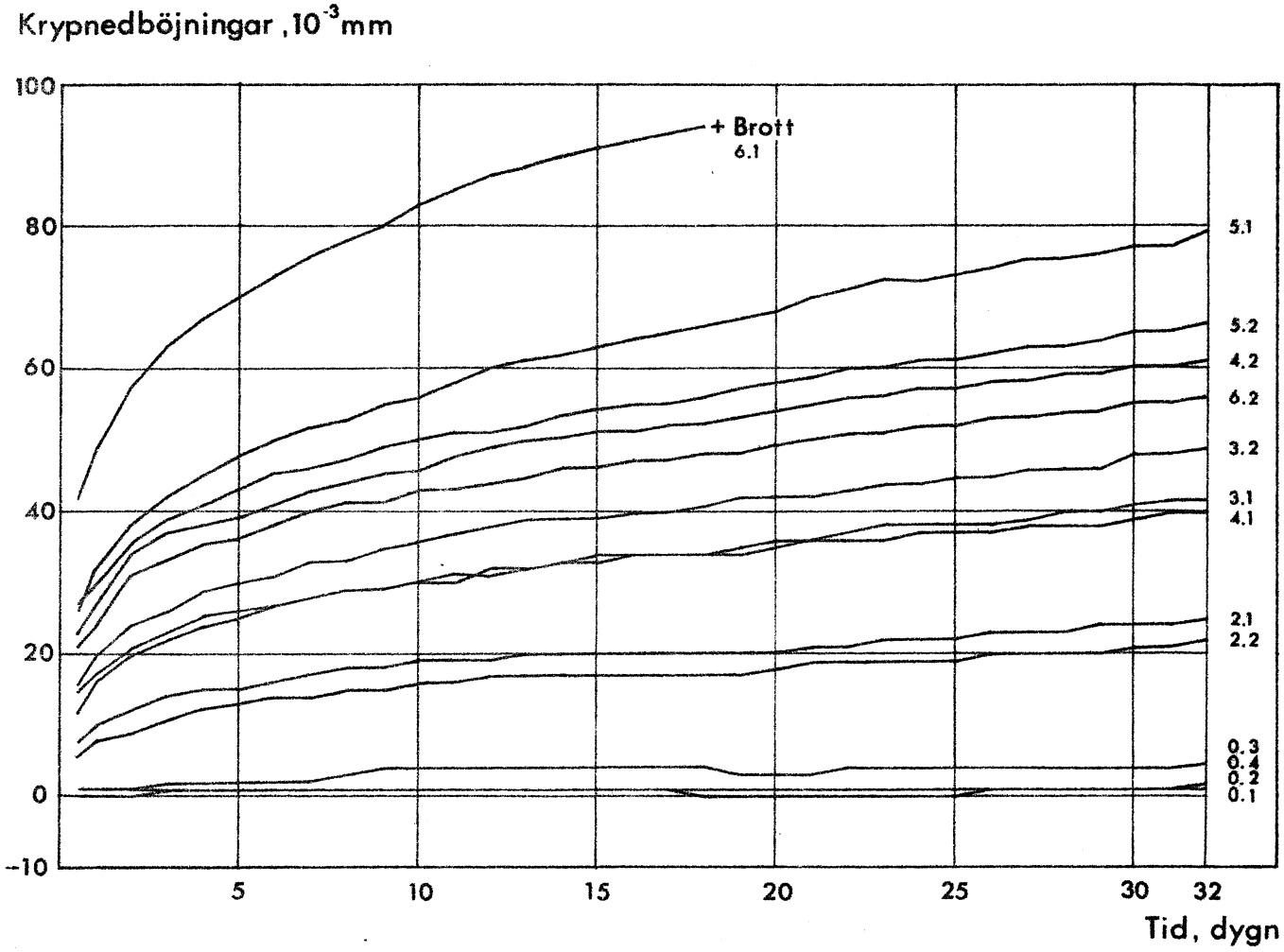


Fig 4.5 Krypnedböjningar för alla balkar i försök A.

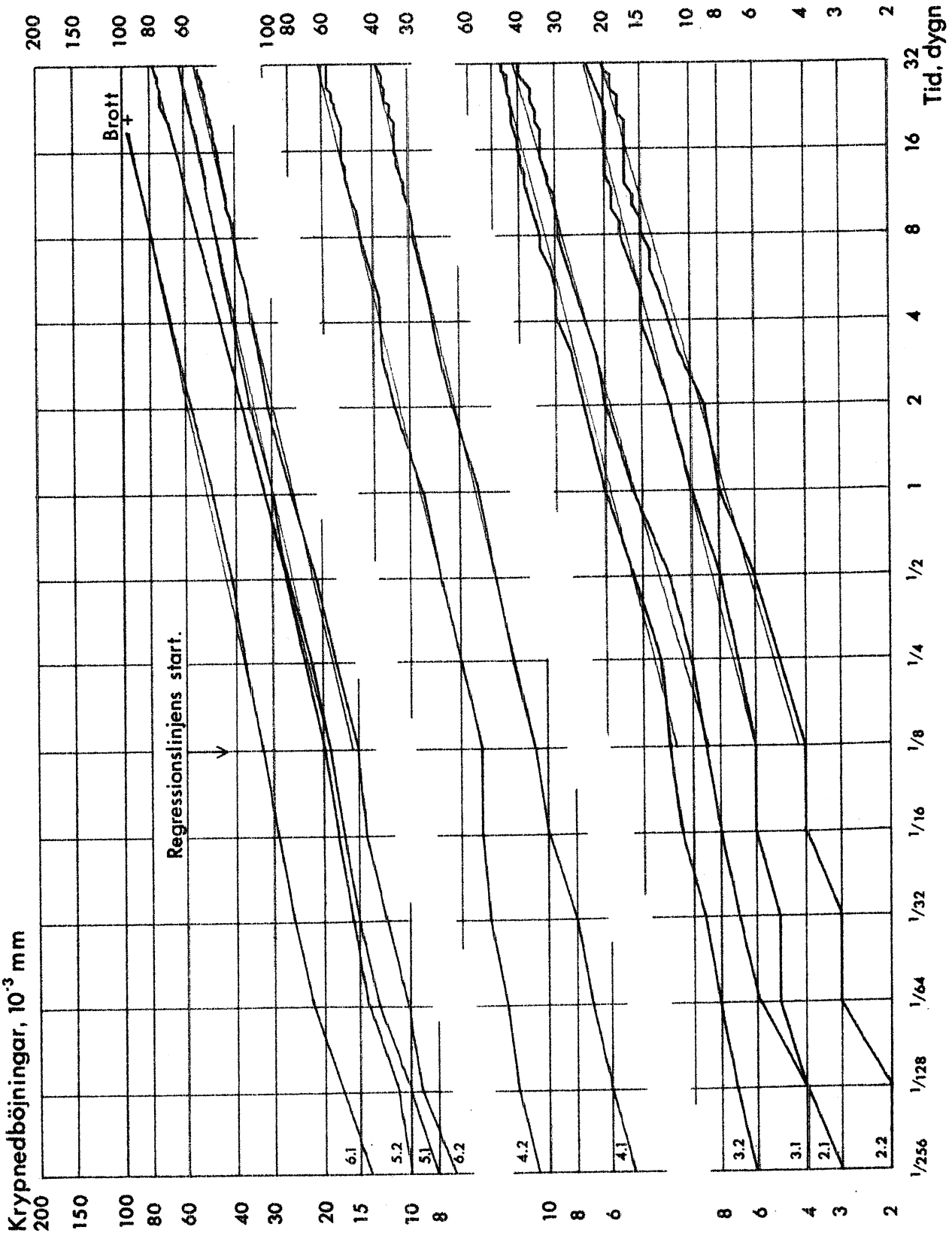
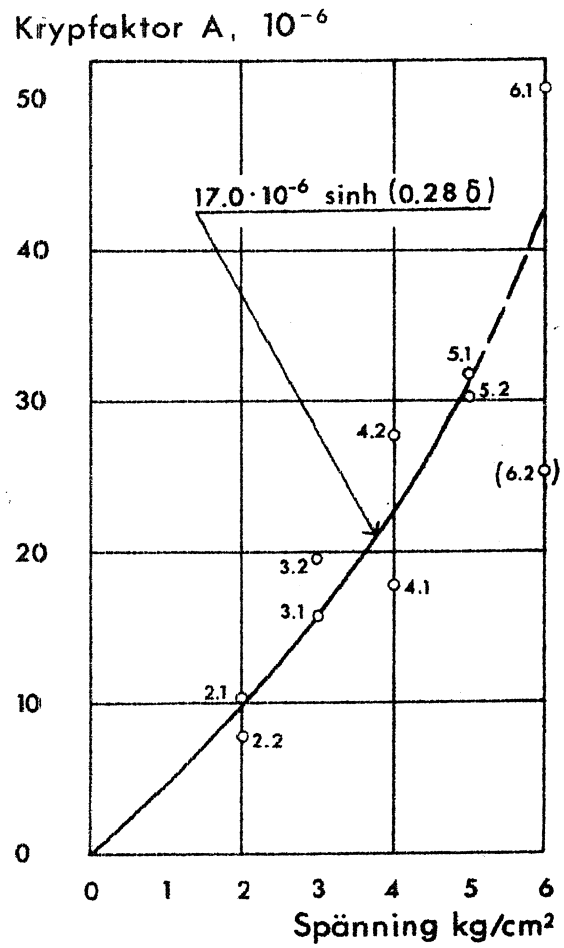
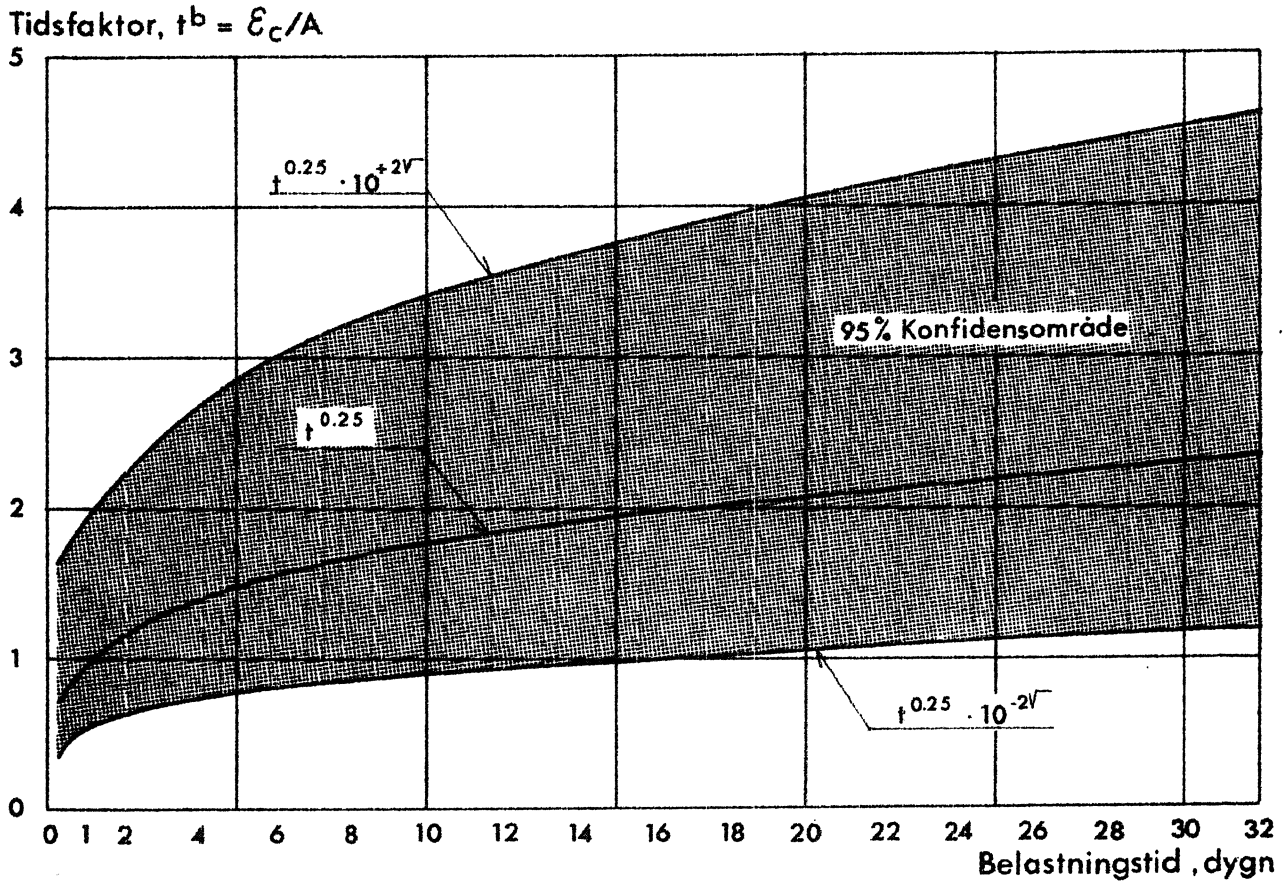


Fig 4.6 Krypnedböjningar för alla balkar i försök A. Dubbellogaritmisk skala. De tunna linjerna är regressionslinjer.

Fig 4.7 Krypningsresultat, försök A. Diagrammet t h anger faktorn A som funktion av spänningen. Diagrammet nederst anger tidsberoendet, jämte 95 %-konfidensintervaller. Krypningen för godtycklig spänning och tidpunkt fås genom multiplikation av ordinator från de två diagrammen enligt ekvationen $\varepsilon_c = A \cdot t^b$.





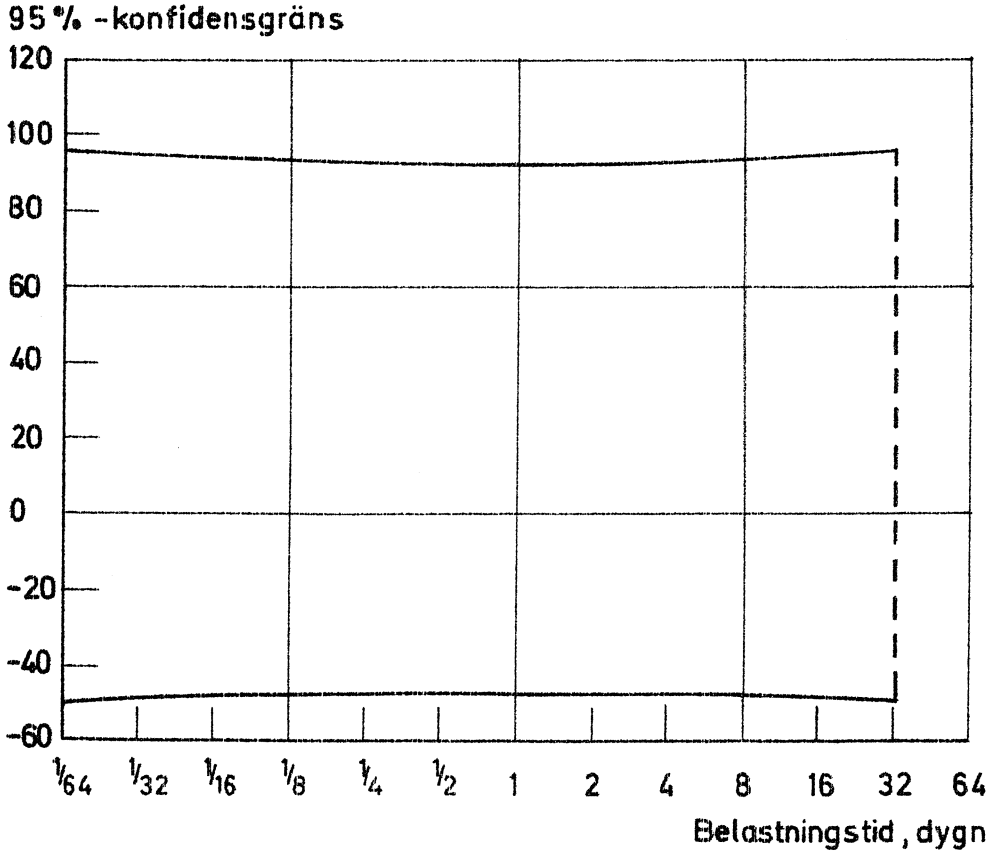


Fig 4.8 Försök A. Övre och nedre 95 %-konfidensgräns för krypkurvorna i procent av medelvärdet för krypningen vid varje tidpunkt.

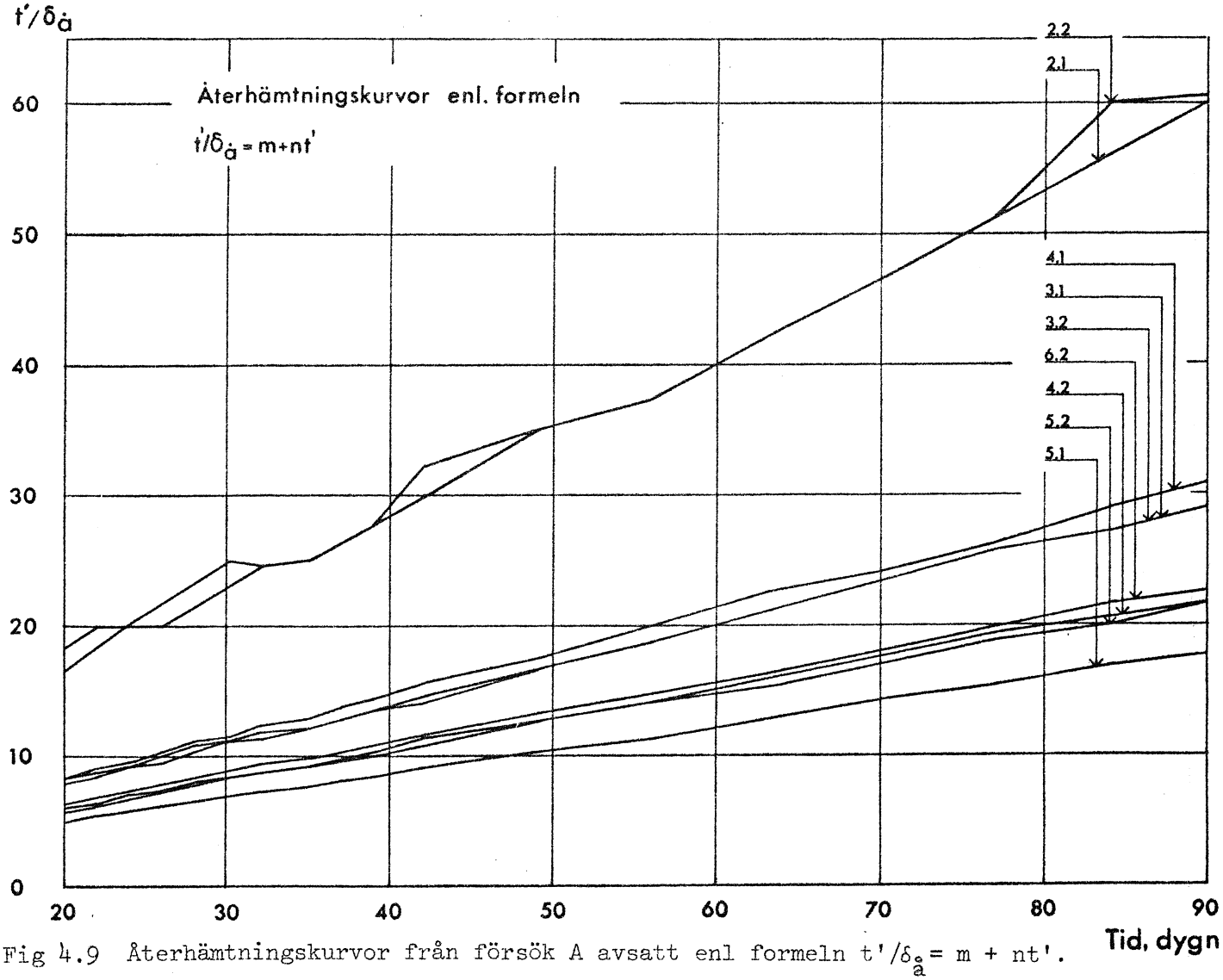


Fig 4.9 Återhämtningskurvor från försök A avsatt enl formeln $t'/\dot{\delta}_a = m + nt'$. Återhämtningens slutvärde är det reciproka värdet av lutningen n.

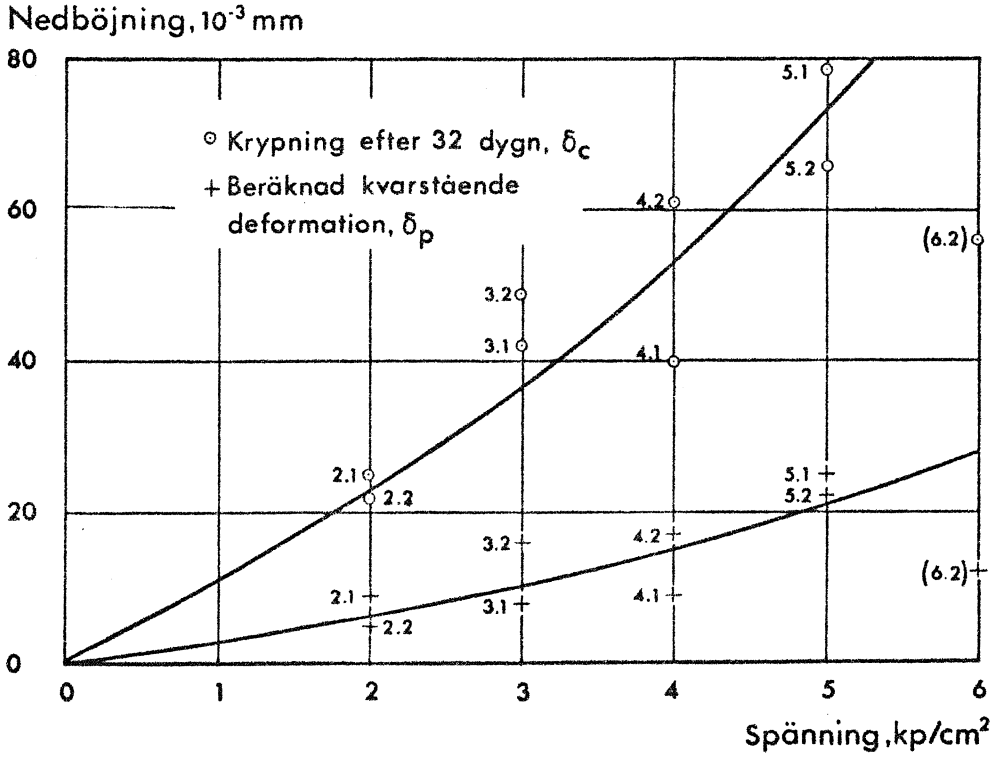


Fig 4.10 Maximalt uppnådda kryptöjningar i försök A och beräknade kvarstående töjningar som funktion av spänningen.

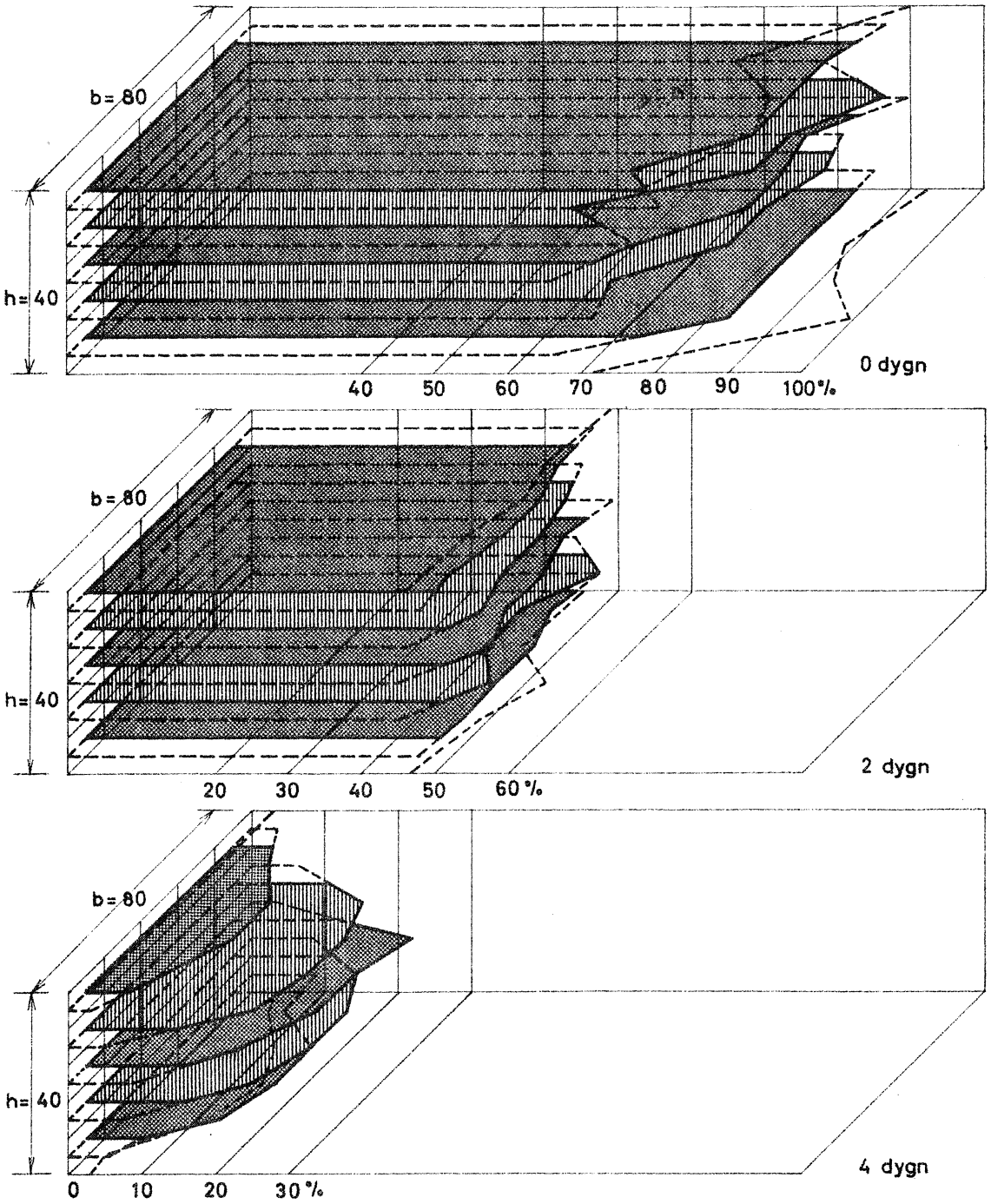


Fig 5.1 Vattenomlagring och -bortgång under de första 4 dygnen för en vattenlagrad provkropp i 40-50 % rf. Försök B.

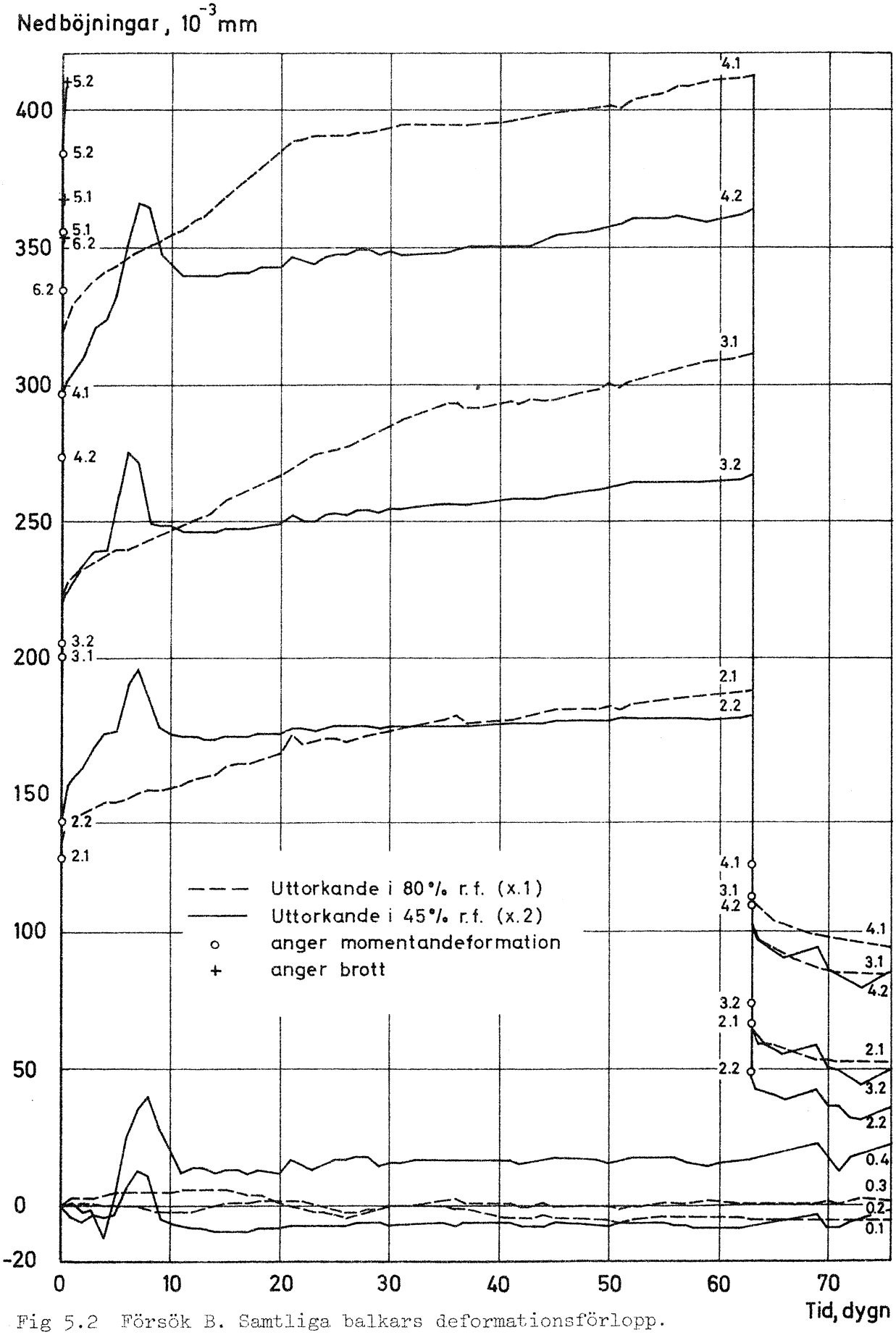


Fig 5.2 Försök B. Samtliga balkars deformationsförlopp.

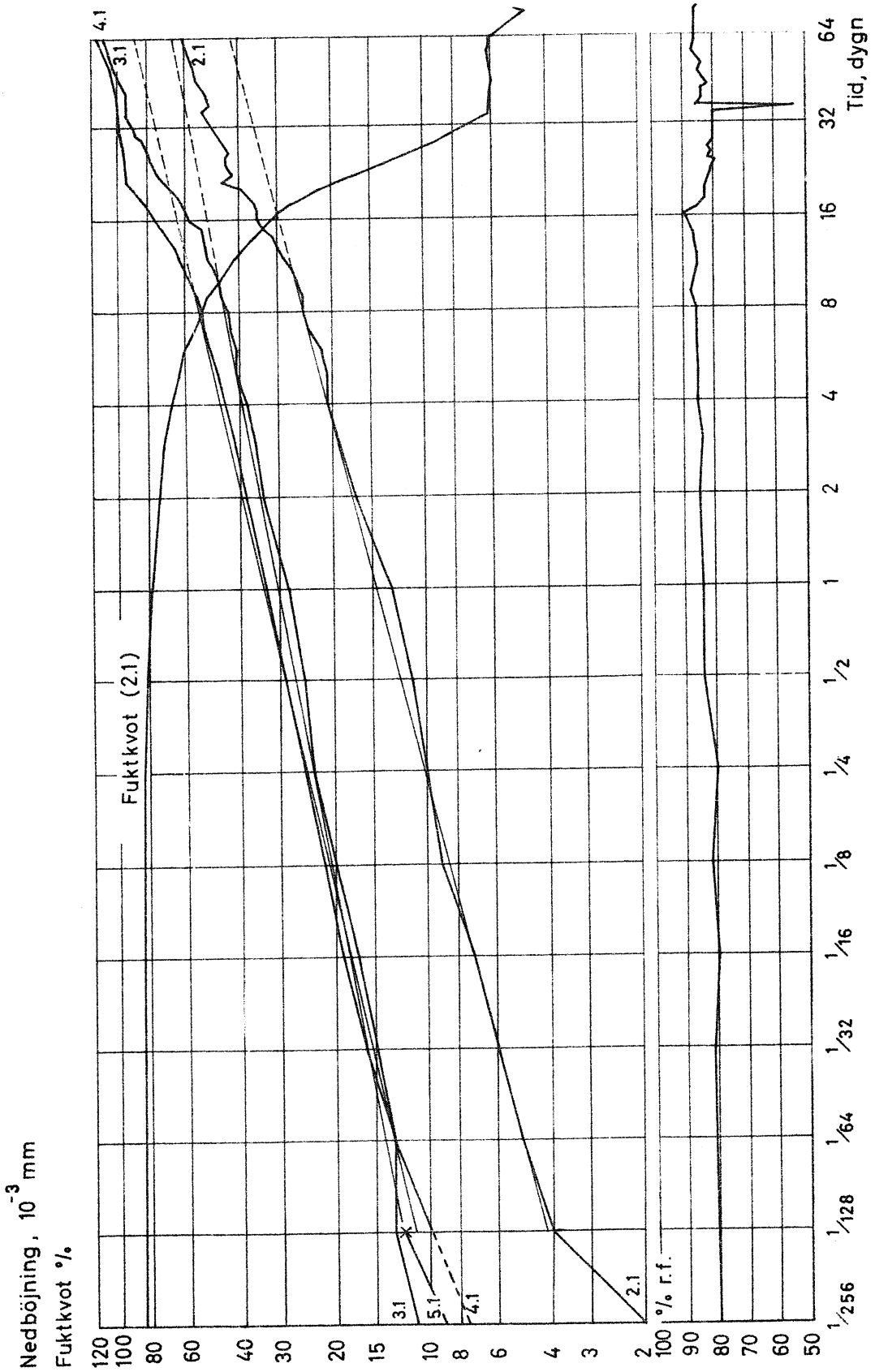


Fig 5.3 Försök B. Krypkurvor för vattendränkta prov under uttorkning i 80-90 % rf.

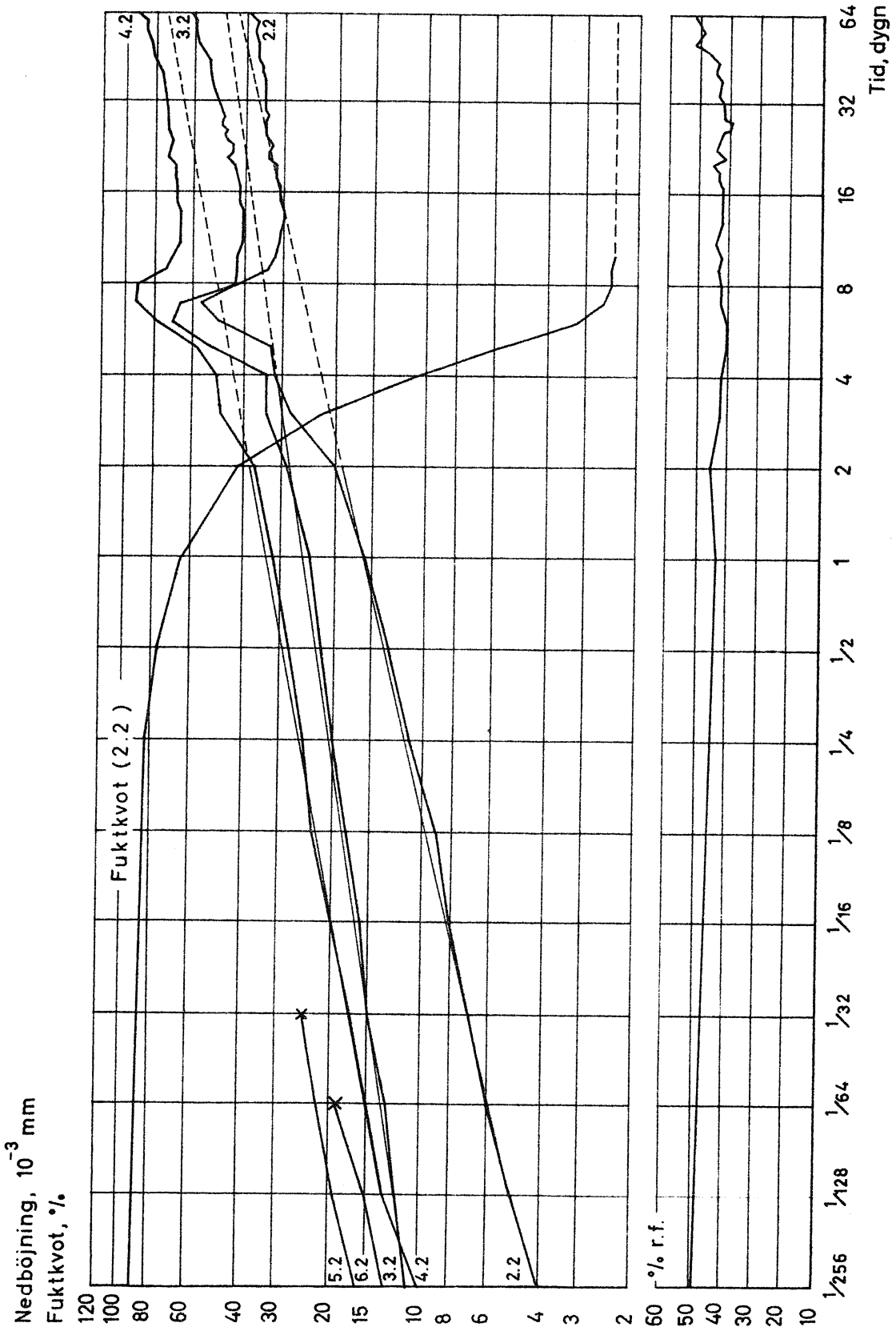


Fig 5.4 Försök B. Krypkurvor för vattendränkta prov under uttorkning i 40-50 % rf.

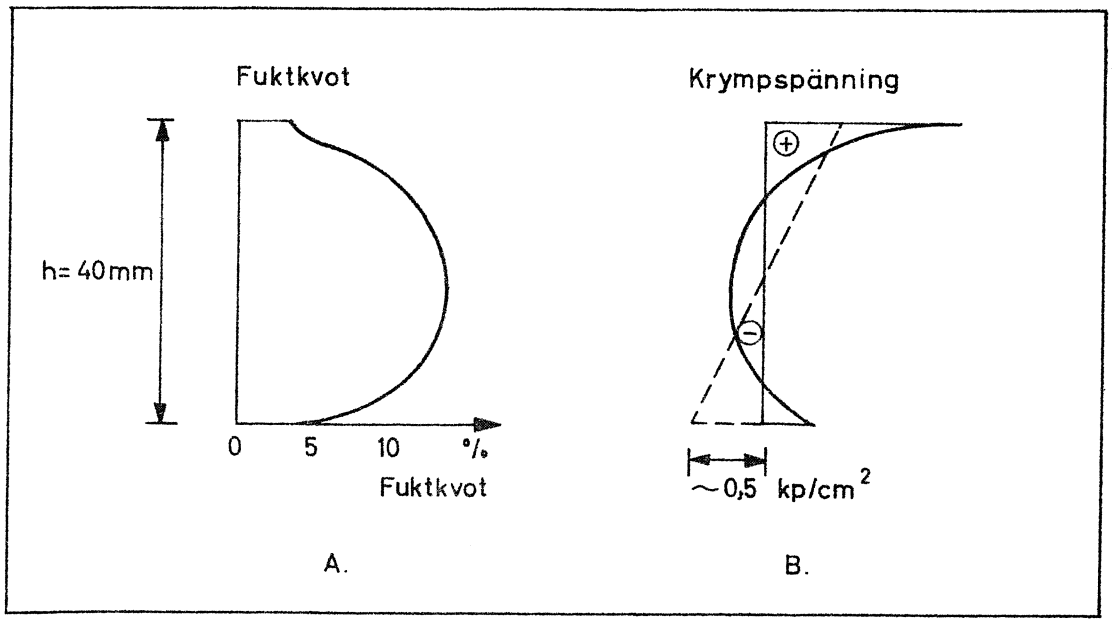


Fig 5.5 Försök B. Fuktprofil (A) och extraspänningar till följd av krympning (B) i provkroppar i 40-50 % klimatet efter ca 6 dygn. Principiellt.

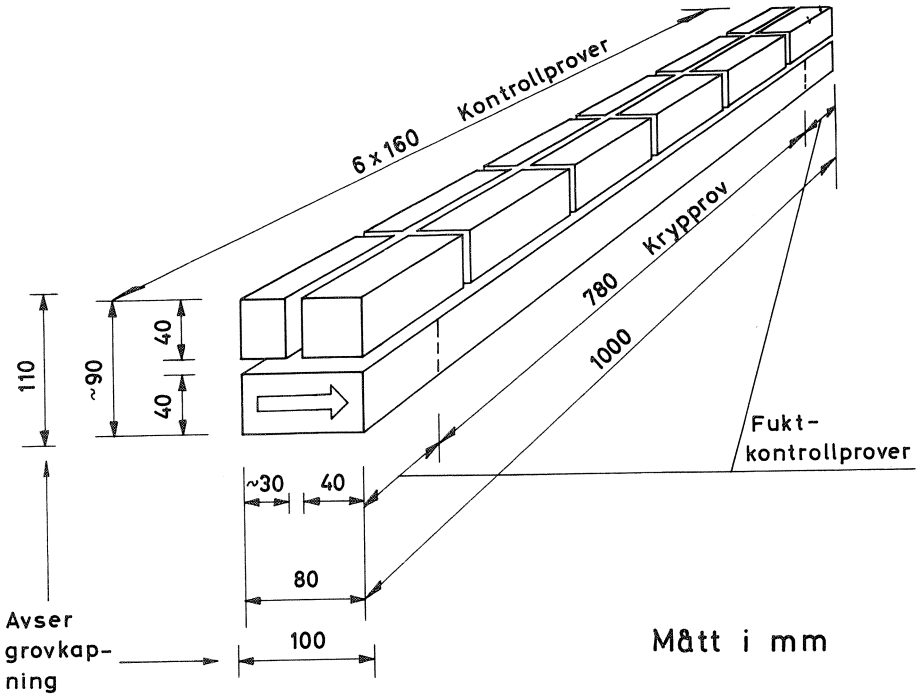


Fig 6.1 Utsågning av provkroppar till försök C. Pilen markerar jäsningsriktningen.

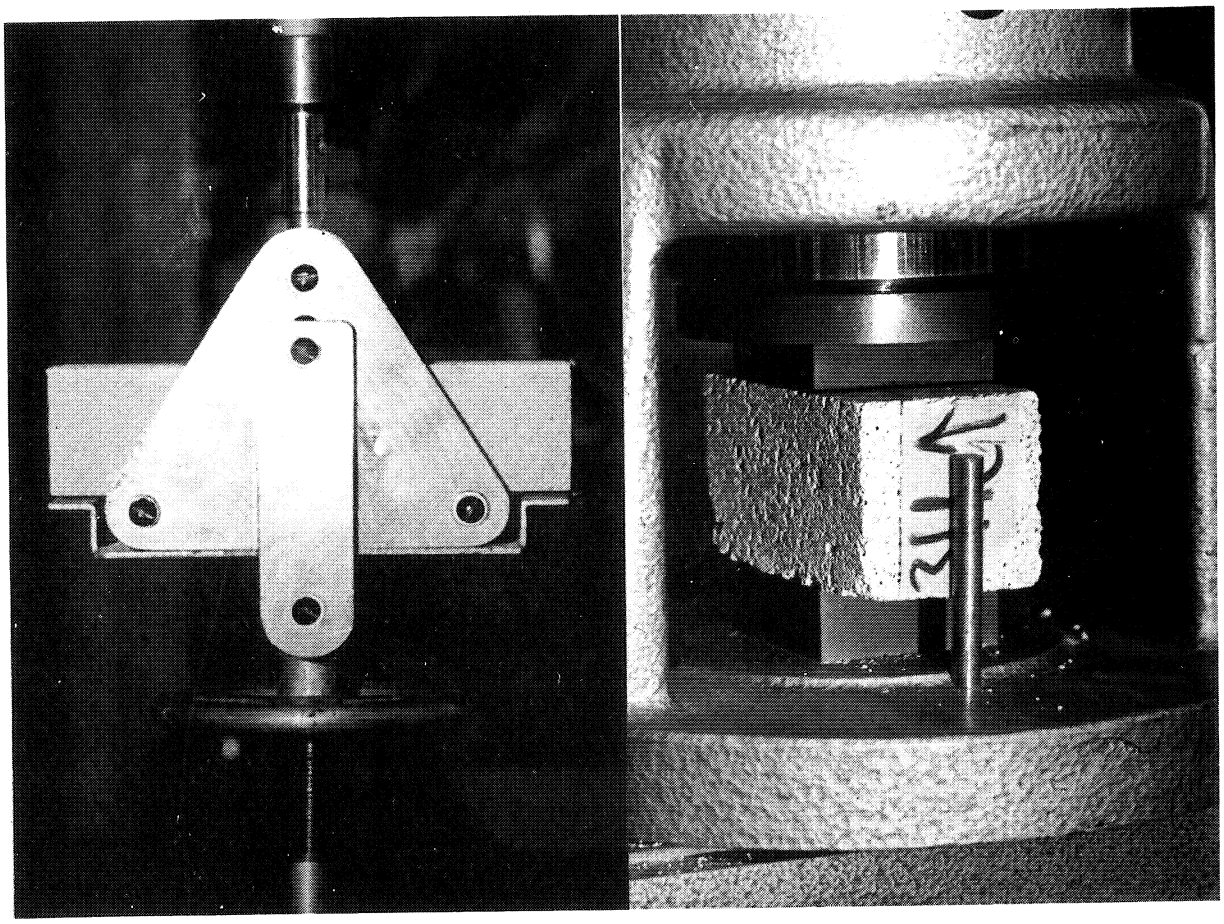


Fig 6.2 Böjdrag- och tryckprovning enl Cembureau. Pilen visar jäsningsriktningen.

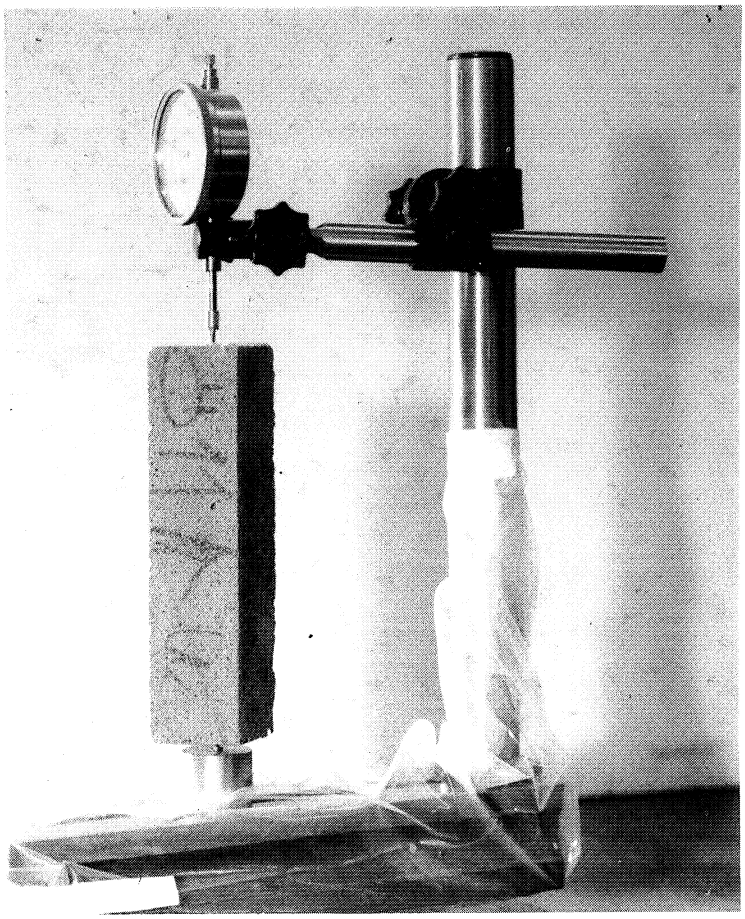


Fig 6.3 Uppställning för bestämning av gasbetongs krympning.(1/100 mm-mätklocka.)

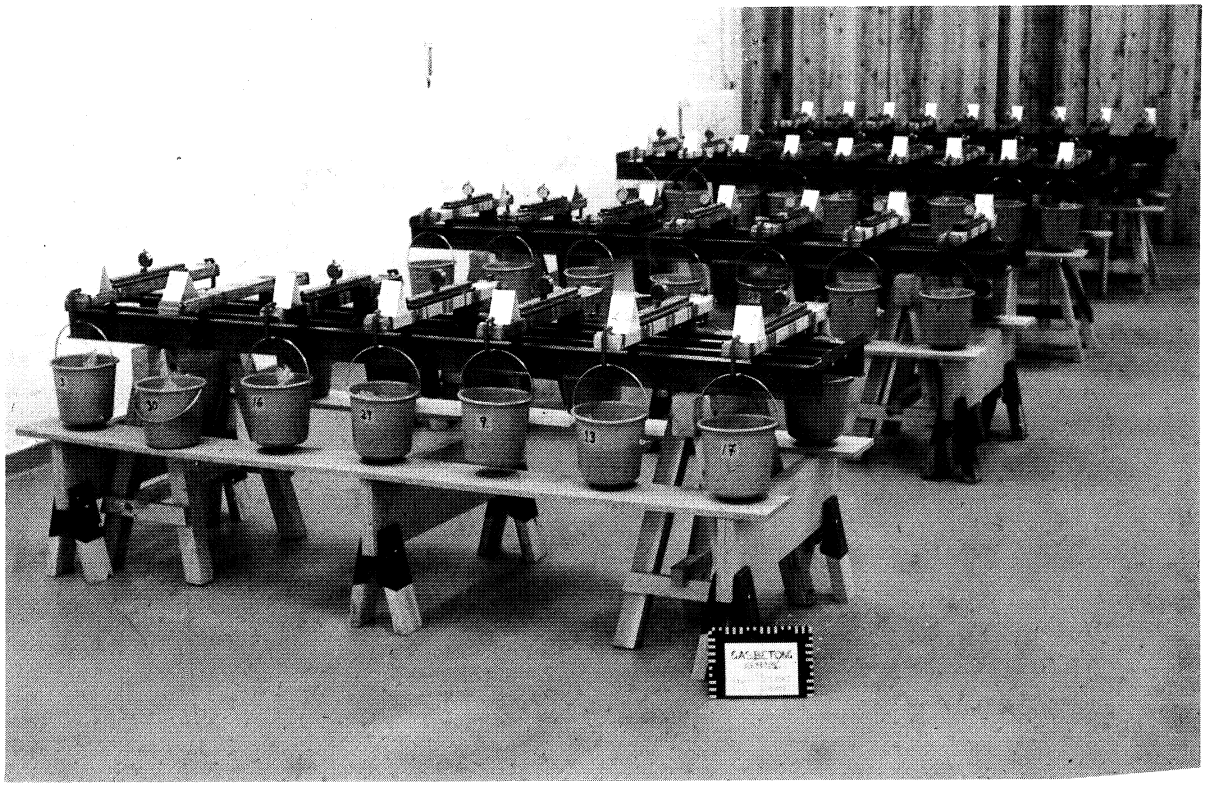


Fig 6.4 Krypuppställningarna i försök C.

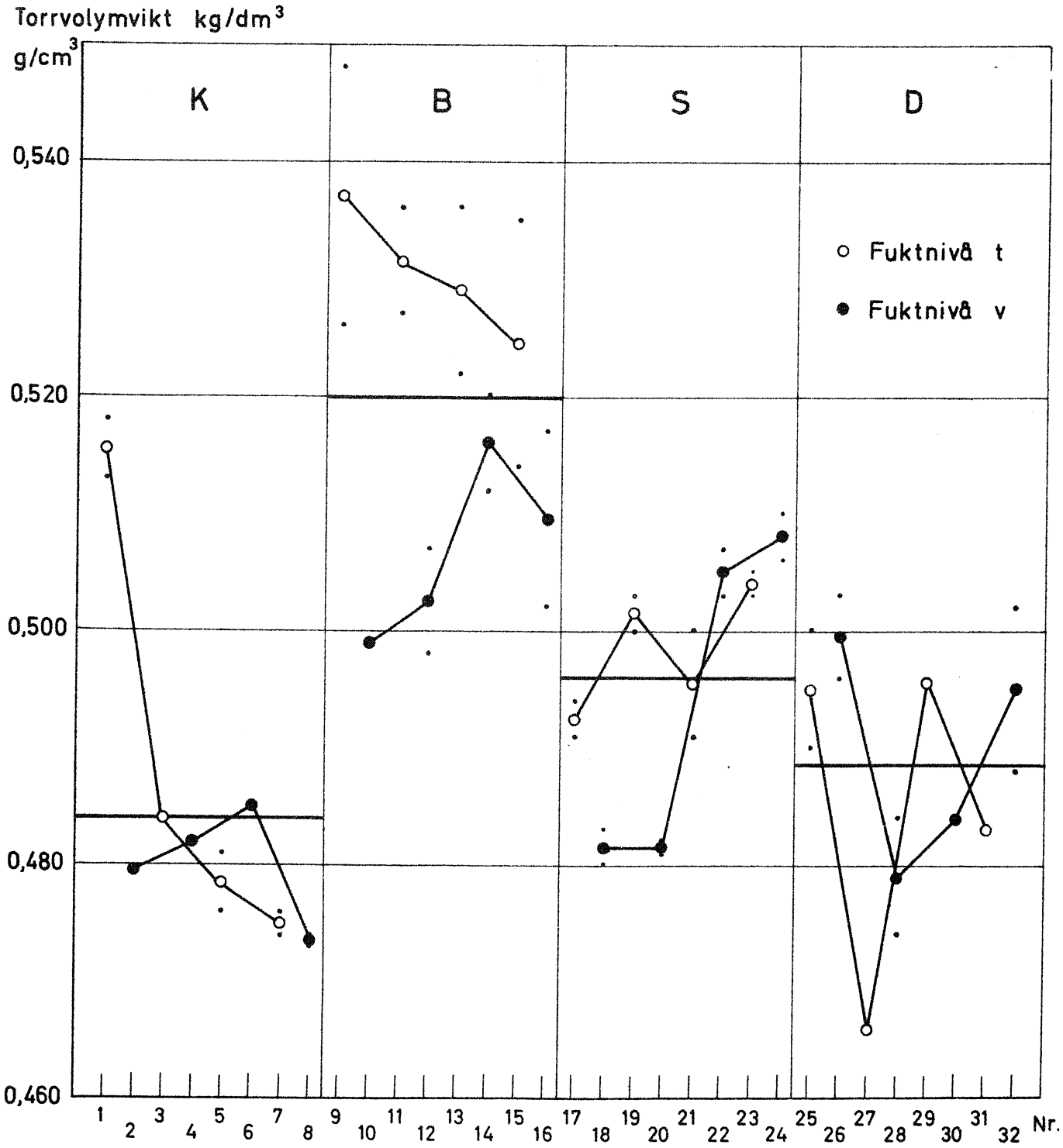


Fig 6.5 Översikt över volymvikter i försök C. Punkter anger enstaka bestämningar. Ringar anger medeltal. Kurvorna förbinder medeltal för element på samma fuktnivå. Horisontella linjer anger medelvärde.

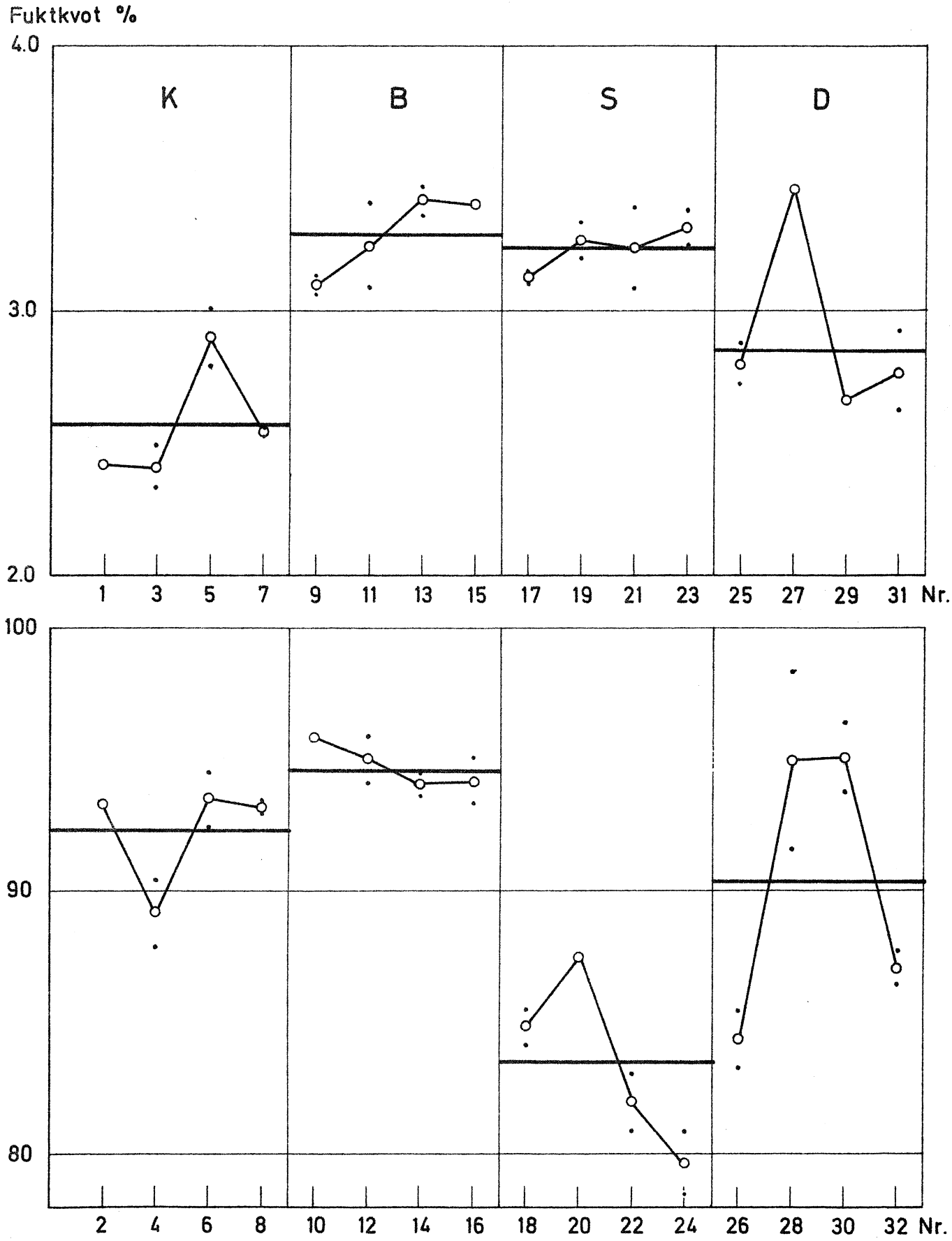


Fig 6.6 Översikt över fuktkvoter i försök C. Punkter anger enstaka bestämningar. Ringar anger medeltal. Kurvorna förbinder medeltal. Horisontella ringar anger medelvärde.

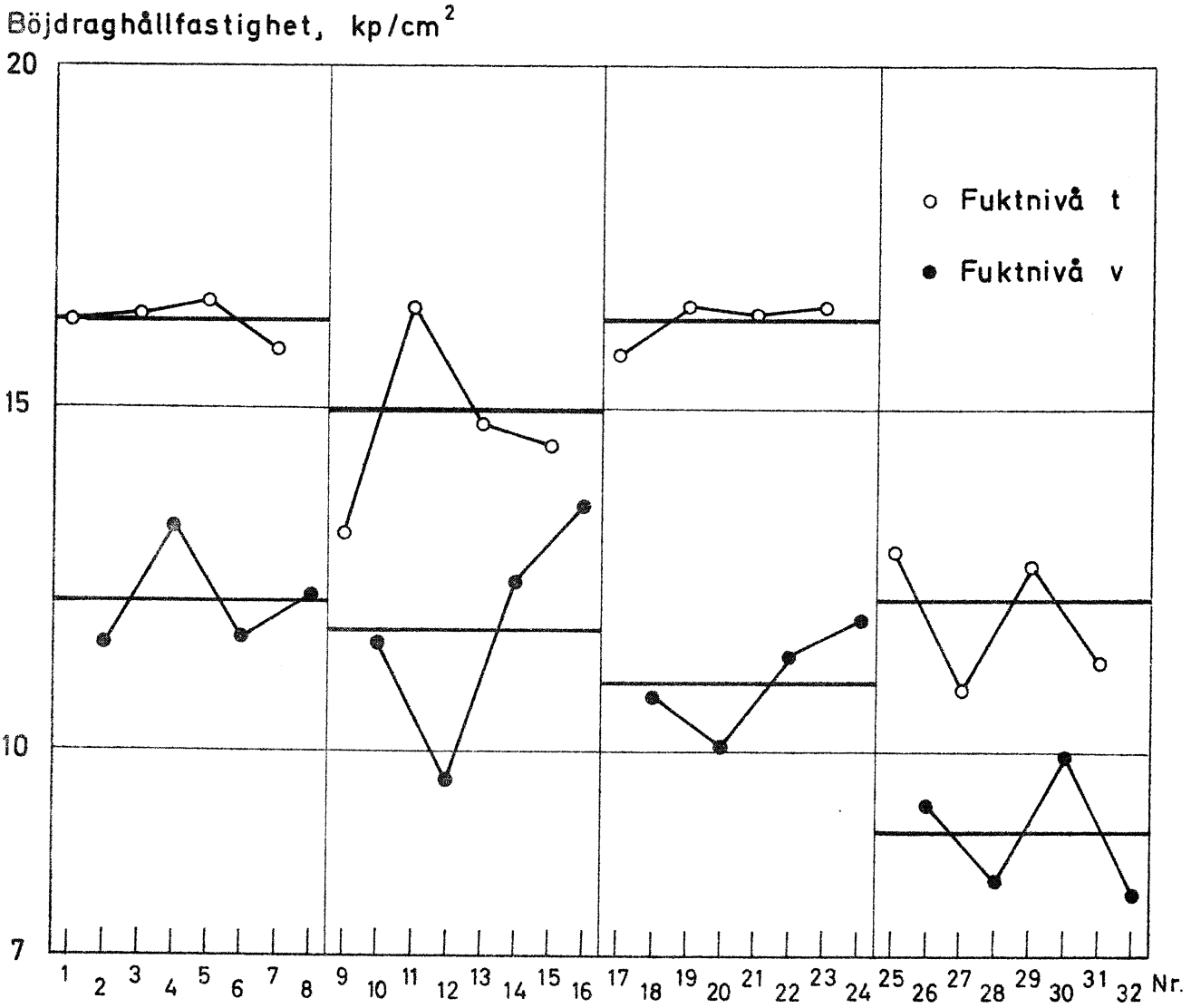


Fig 6.7 Översikt över medeltal av böjdraghållfastheter i försök C. Horisontella linjer anger medelvärde för fabriker och fuktnivåer.

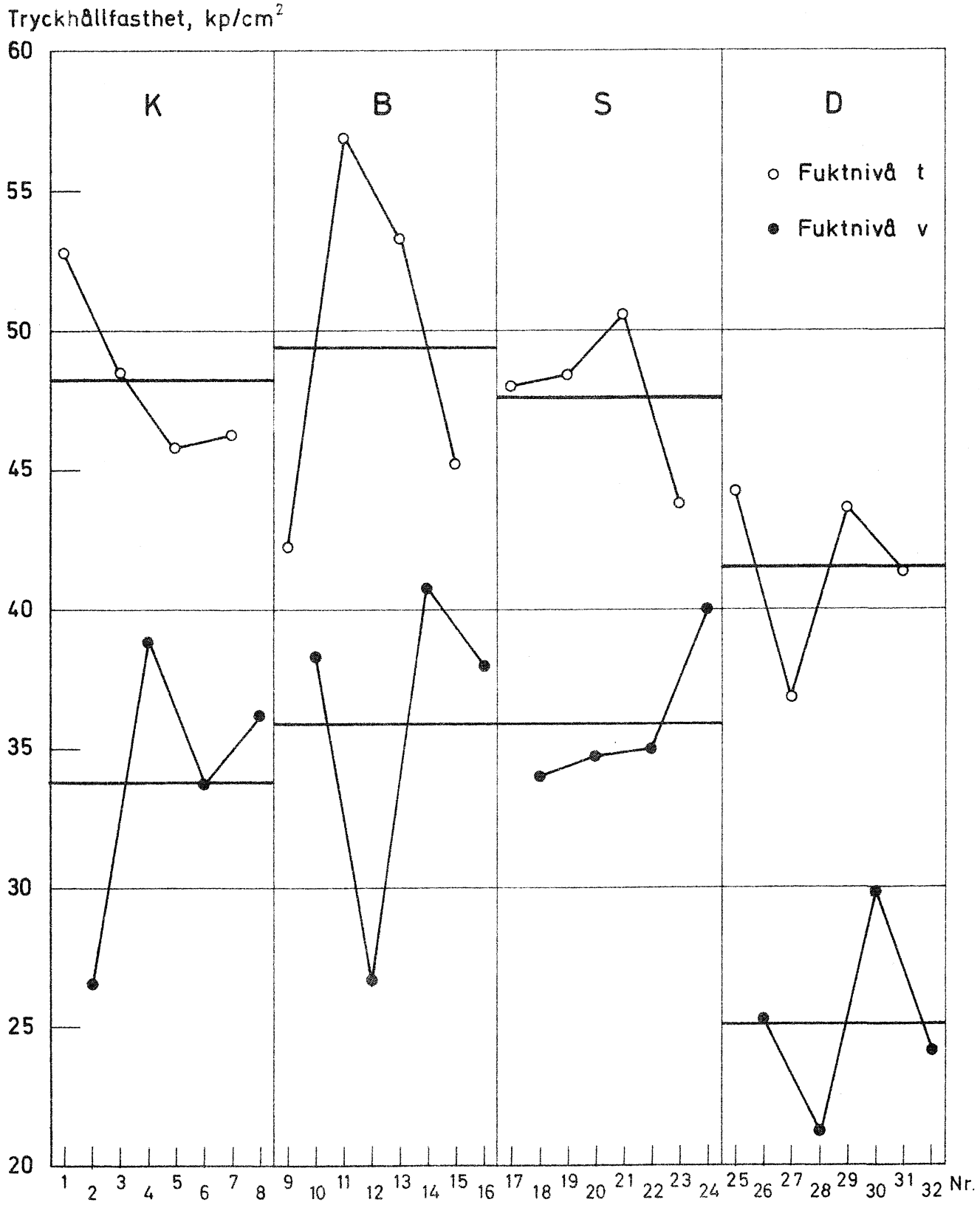


Fig 6.8 Översikt över medeltal för tryckhållfasthet i försök C. Horisontella linjer anger medelvärde för fabriker och fuktnivåer.

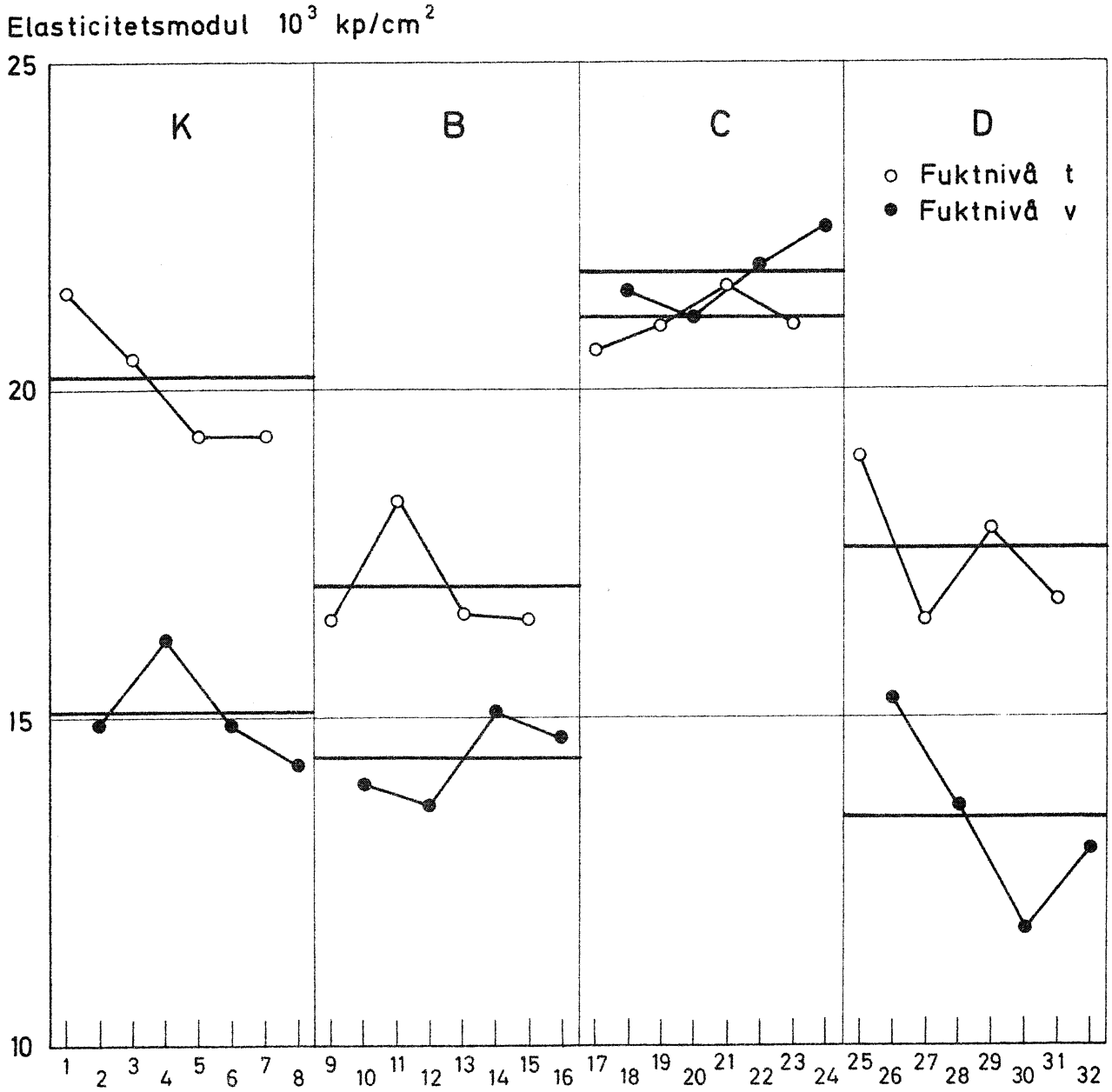


Fig 6.9 Försök C. E-modul bestämd på krypbalkar. Horisontella linjer anger medelvärden för fabriker och fuktnivåer.

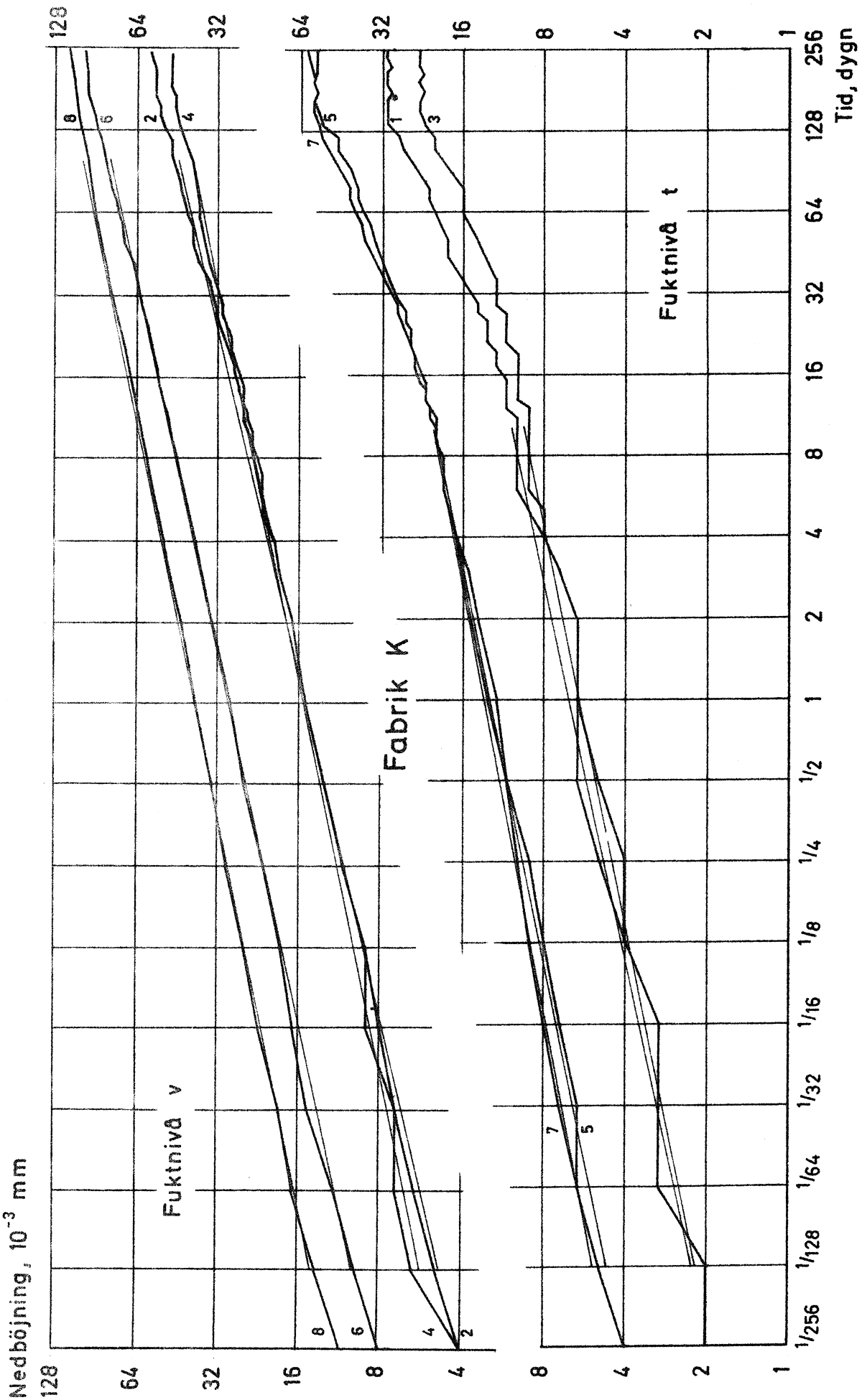


Fig 6.10 Försök C. Krypnedböjningar. Fabrik K.

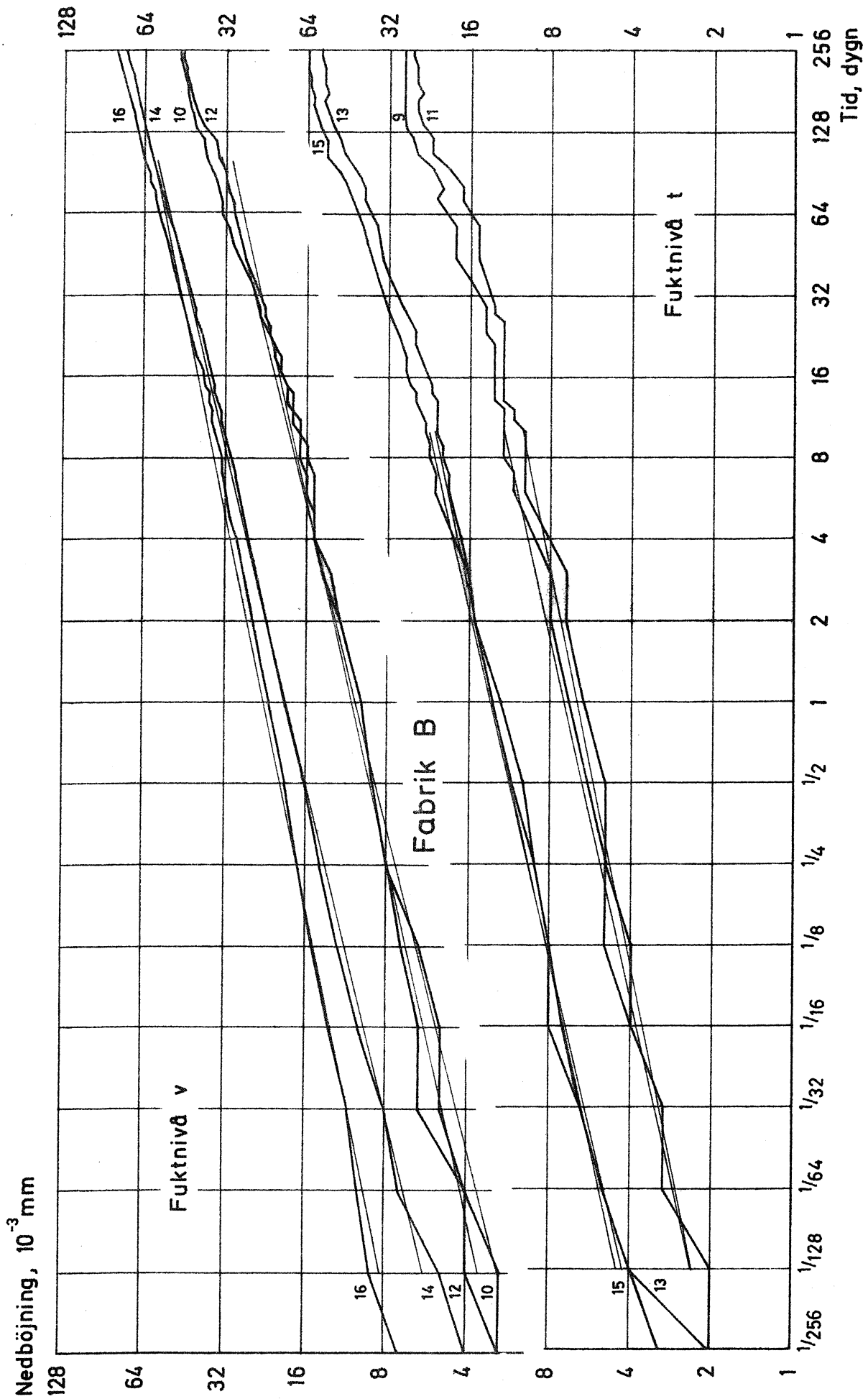


Fig 6.11 Försök C. Krypnedböjningar. Fabrik B.

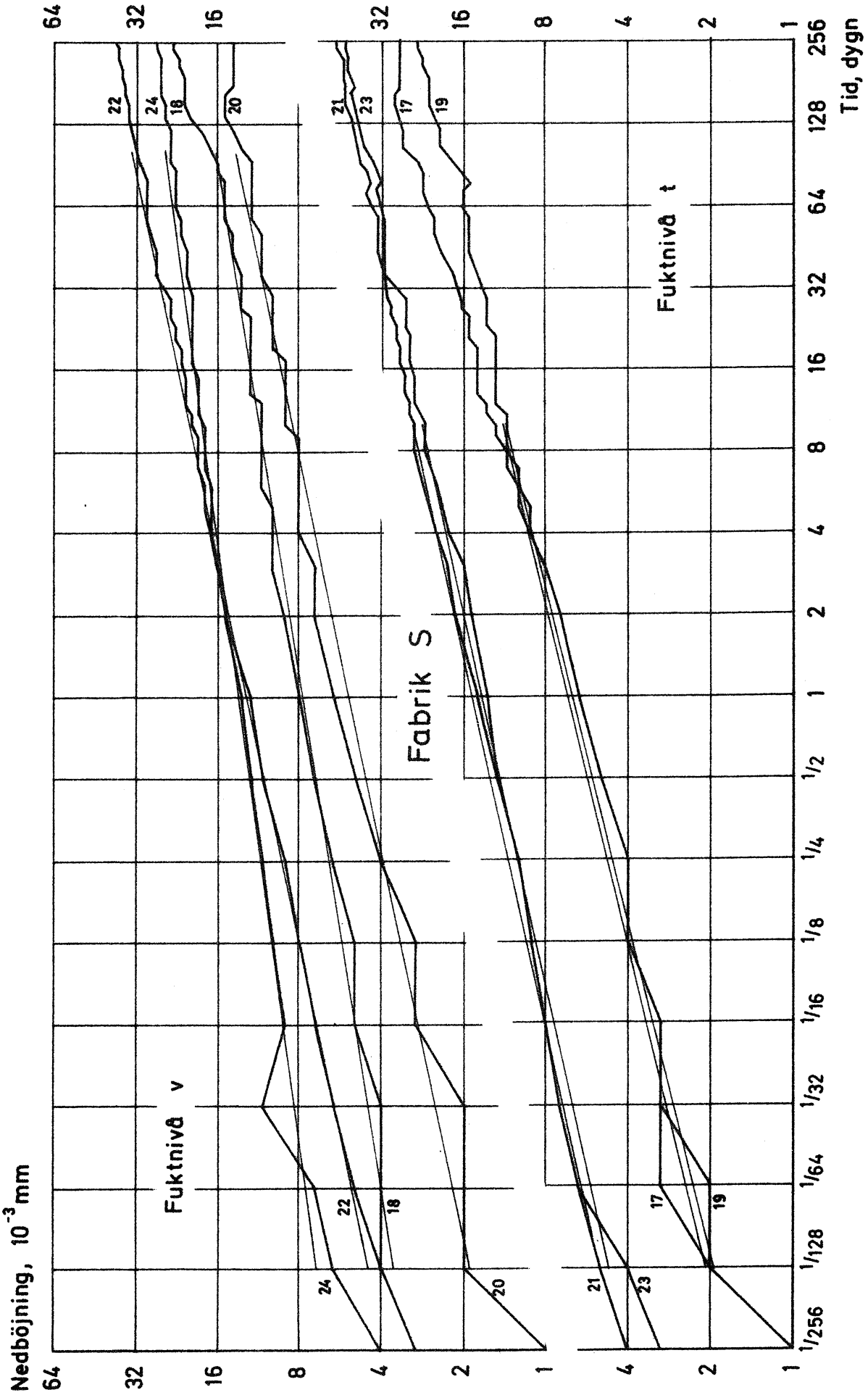


Fig 6.12 Försök C. Krypnedböjningar. Fabrik S.

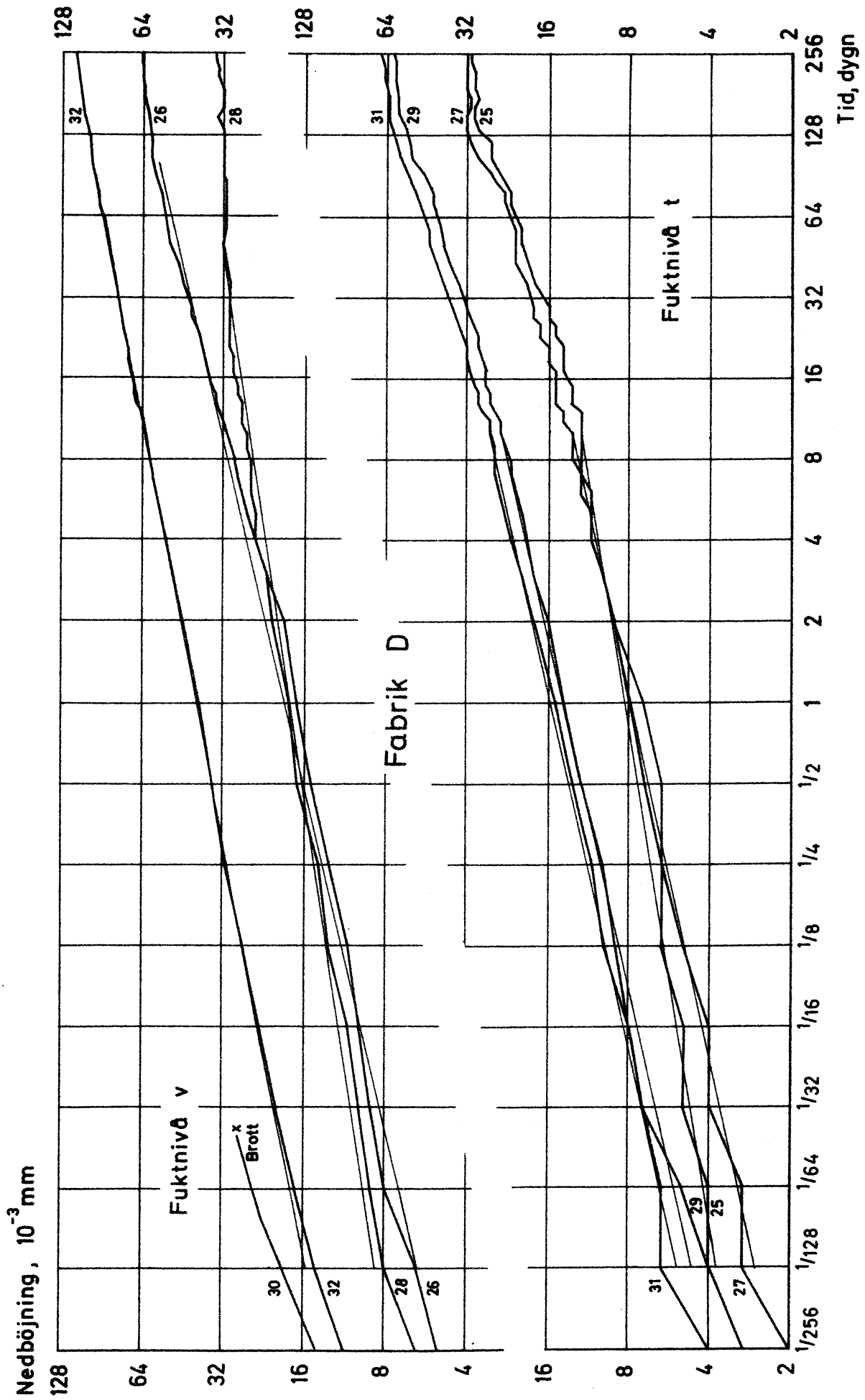


Fig 6.13 Försök C. Krypnedböjningar. Fabrik D.

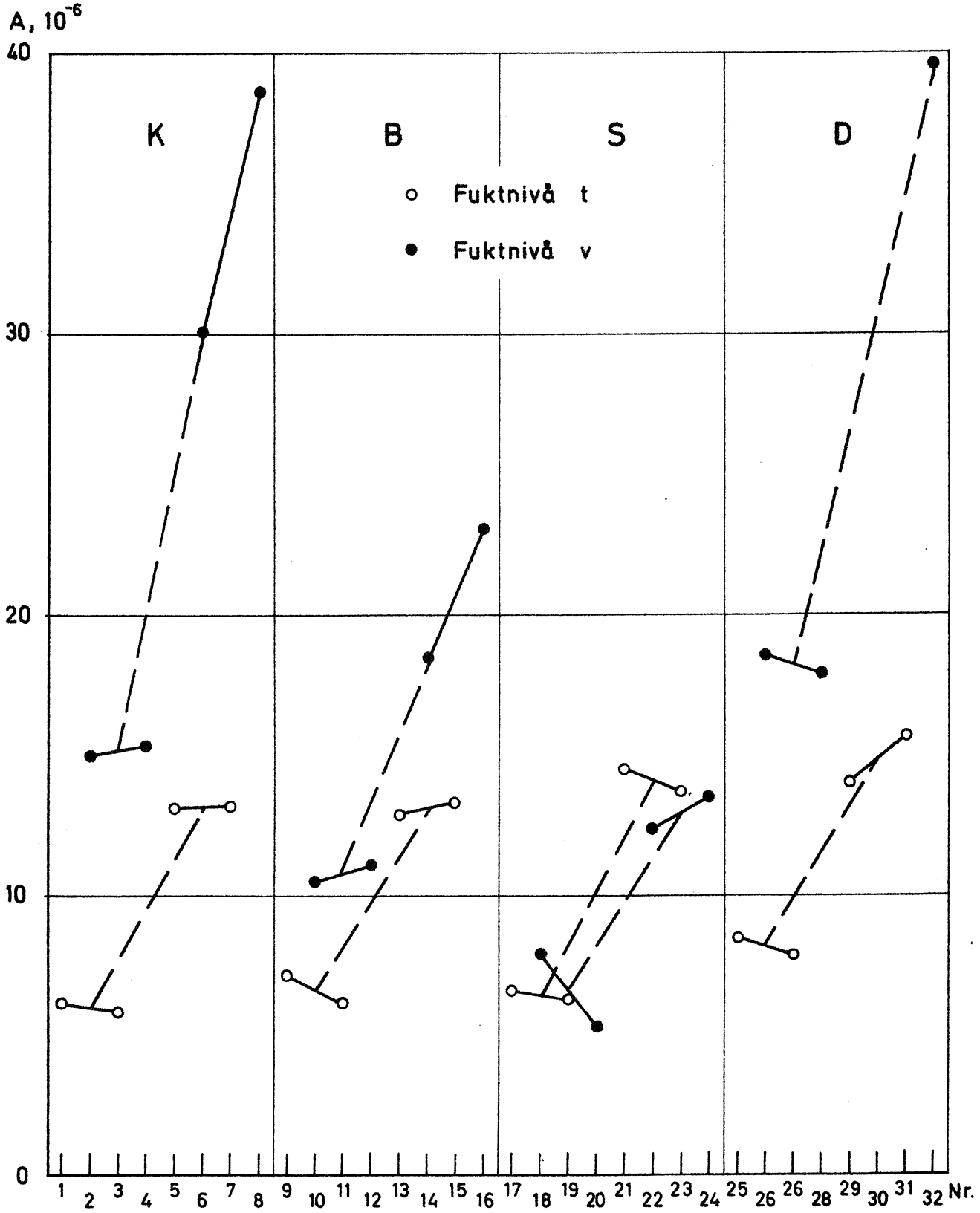


Fig 6.14 Försök C. Faktorn A i krypekvationen. Heldragna linjer förbinder upprepningar. Streckade linjer förbinder medeltal på samma fuktnivå.

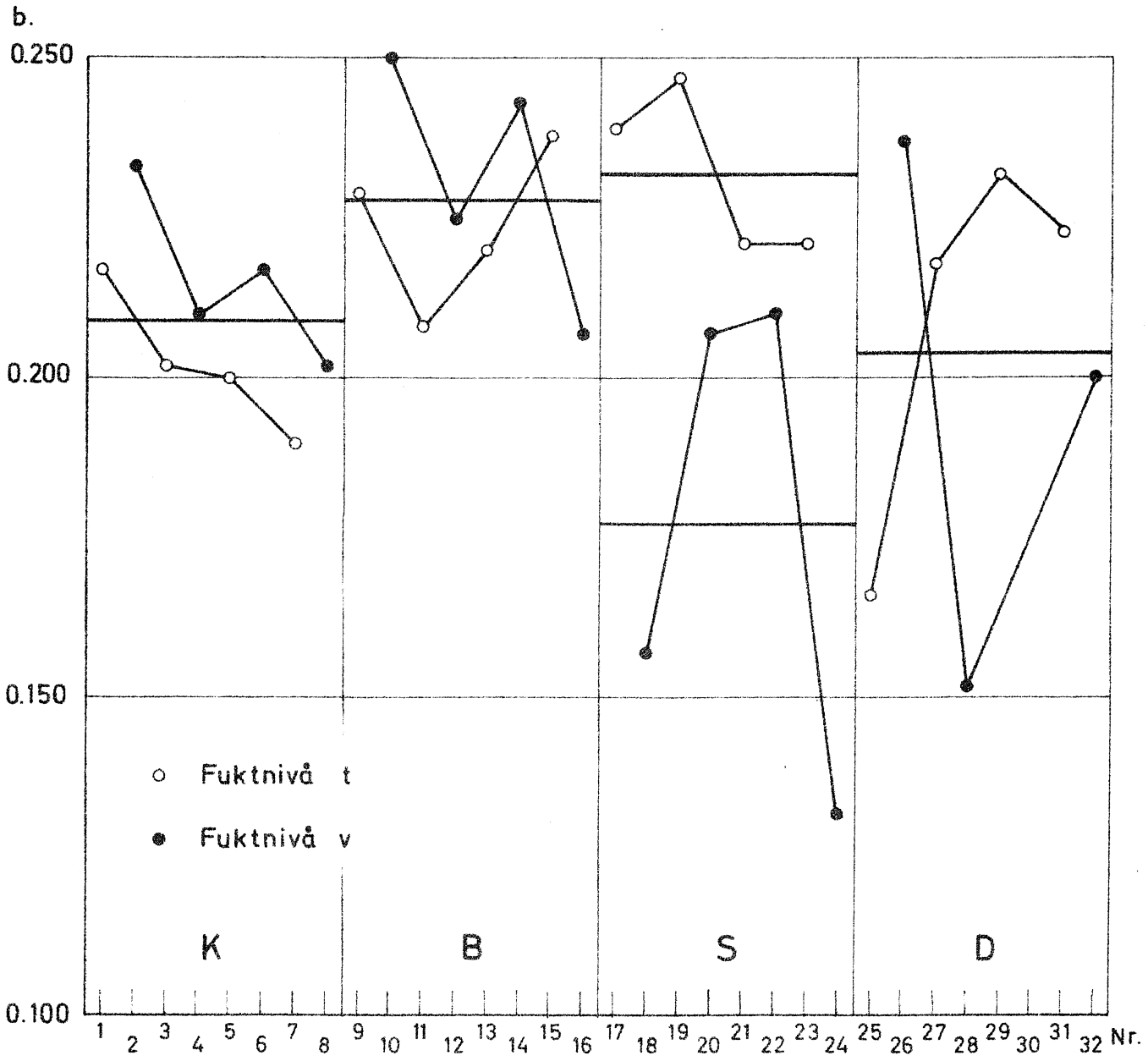


Fig 6.15 Försök C. Exponenten b i krypekvationen. Horisontella linjer anger medeltal.

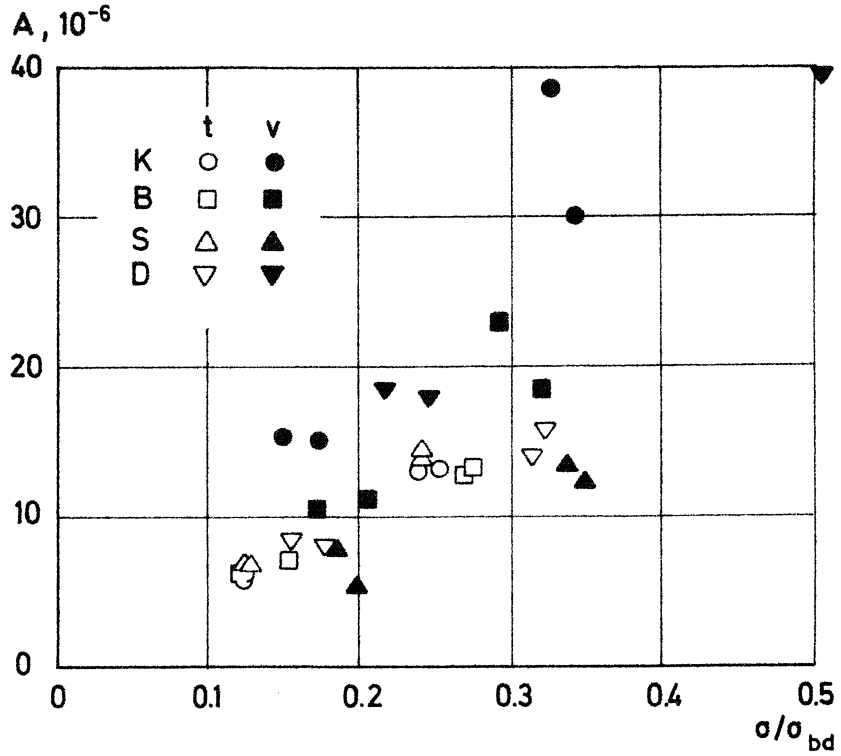


Fig 6.16 Krypfaktorn A som funktion av den relativa spänningen σ/σ_{bd}, försök C.

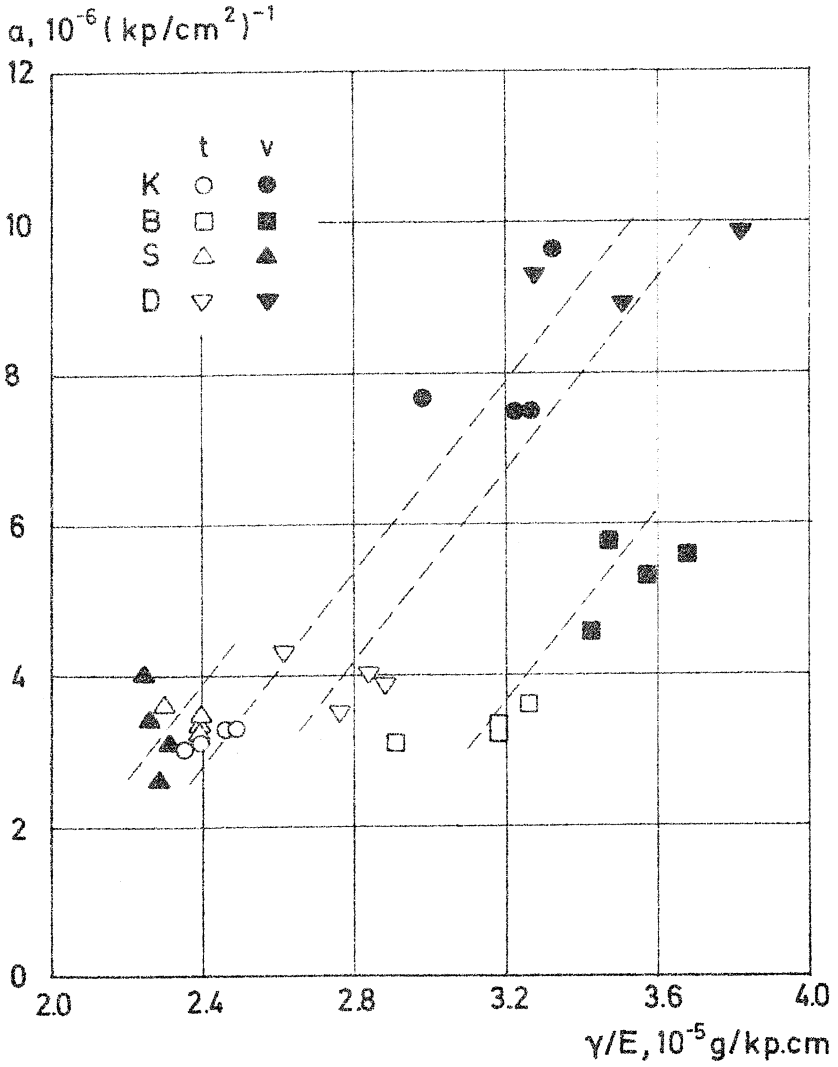


Fig 6.17 Krypfaktorn a som funktion av kvoten γ/E för fabrik K, B, S och D. Försök C.

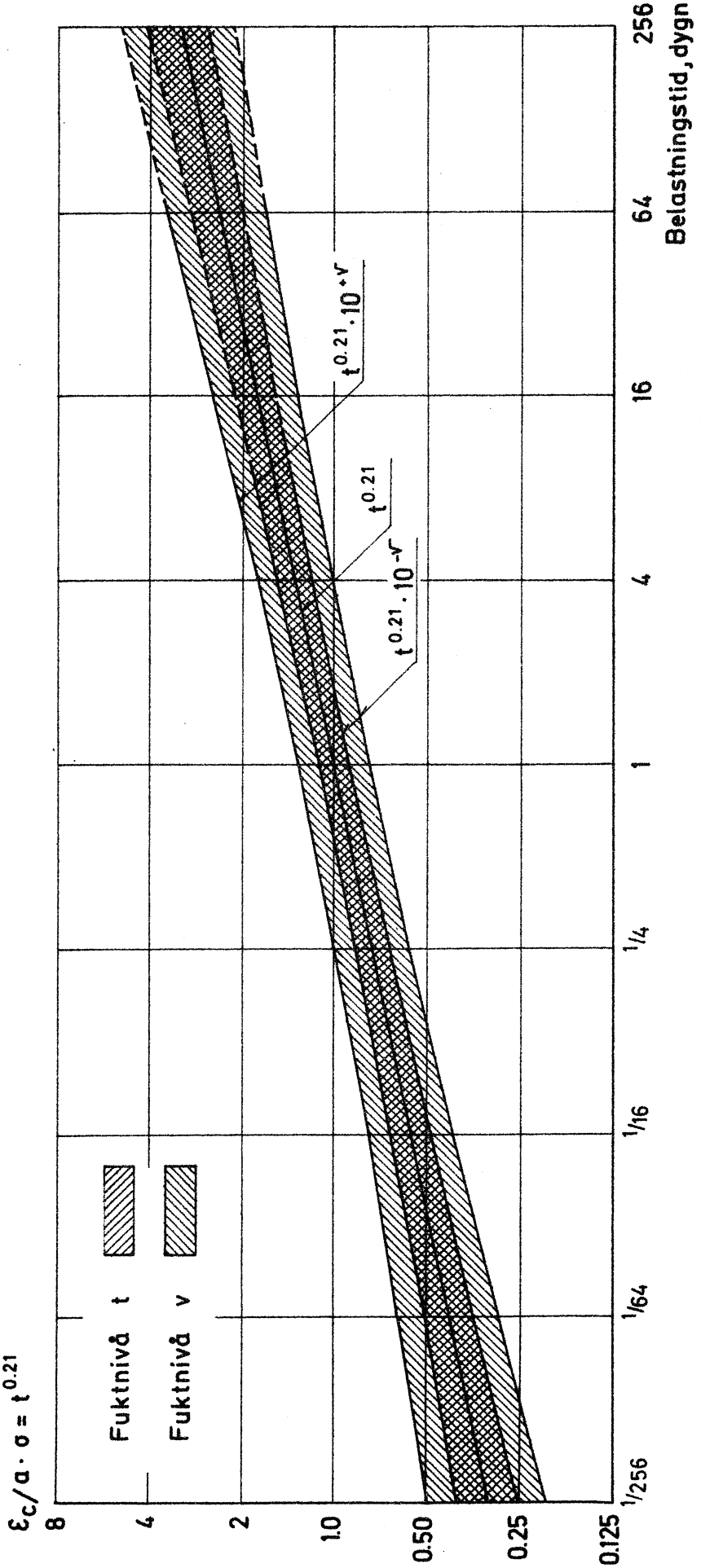


Fig 6.18 Försök C. 95 %-konfidensintervallerna för den dimensionslösa krypfunktionen $t^{0,21} = \varepsilon_c / a \cdot \delta$. Gäller för en fabrik.

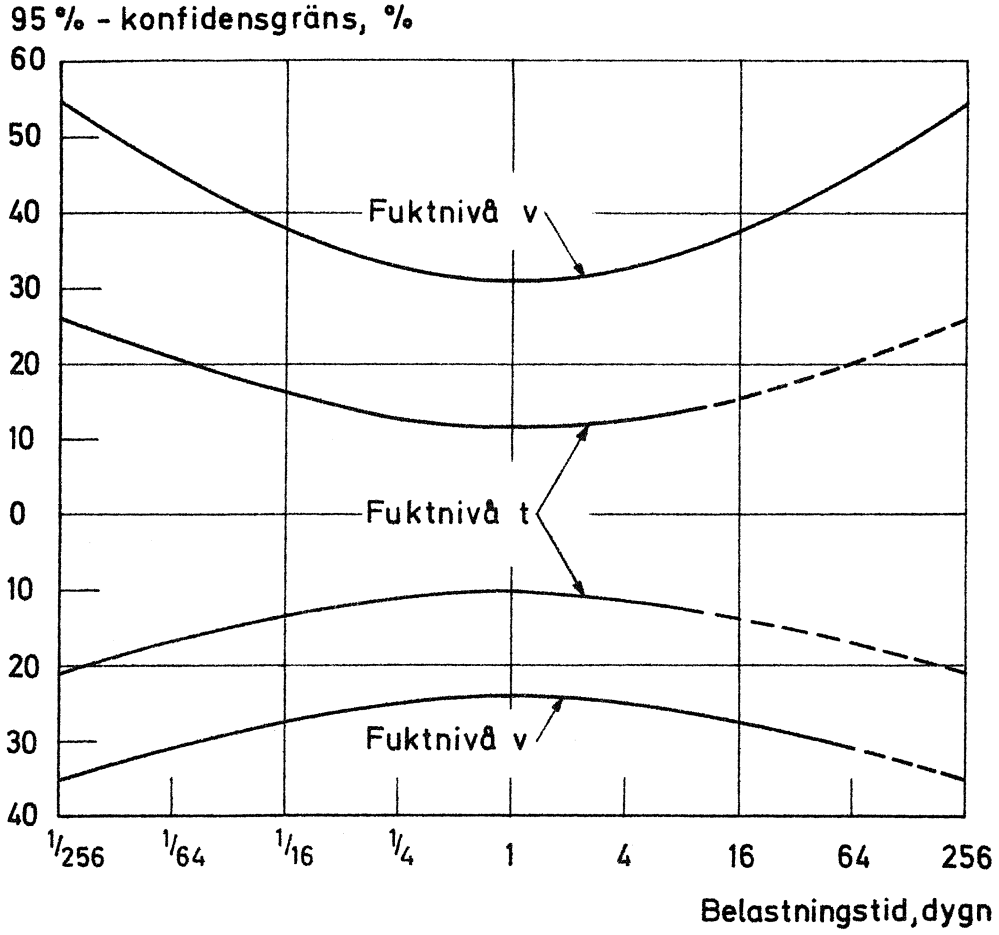


Fig 6.19 Försök C. Övre och nedre 95 %-konfidensgräns som procent av krypningens medelvärde. Gäller för en fabrik.

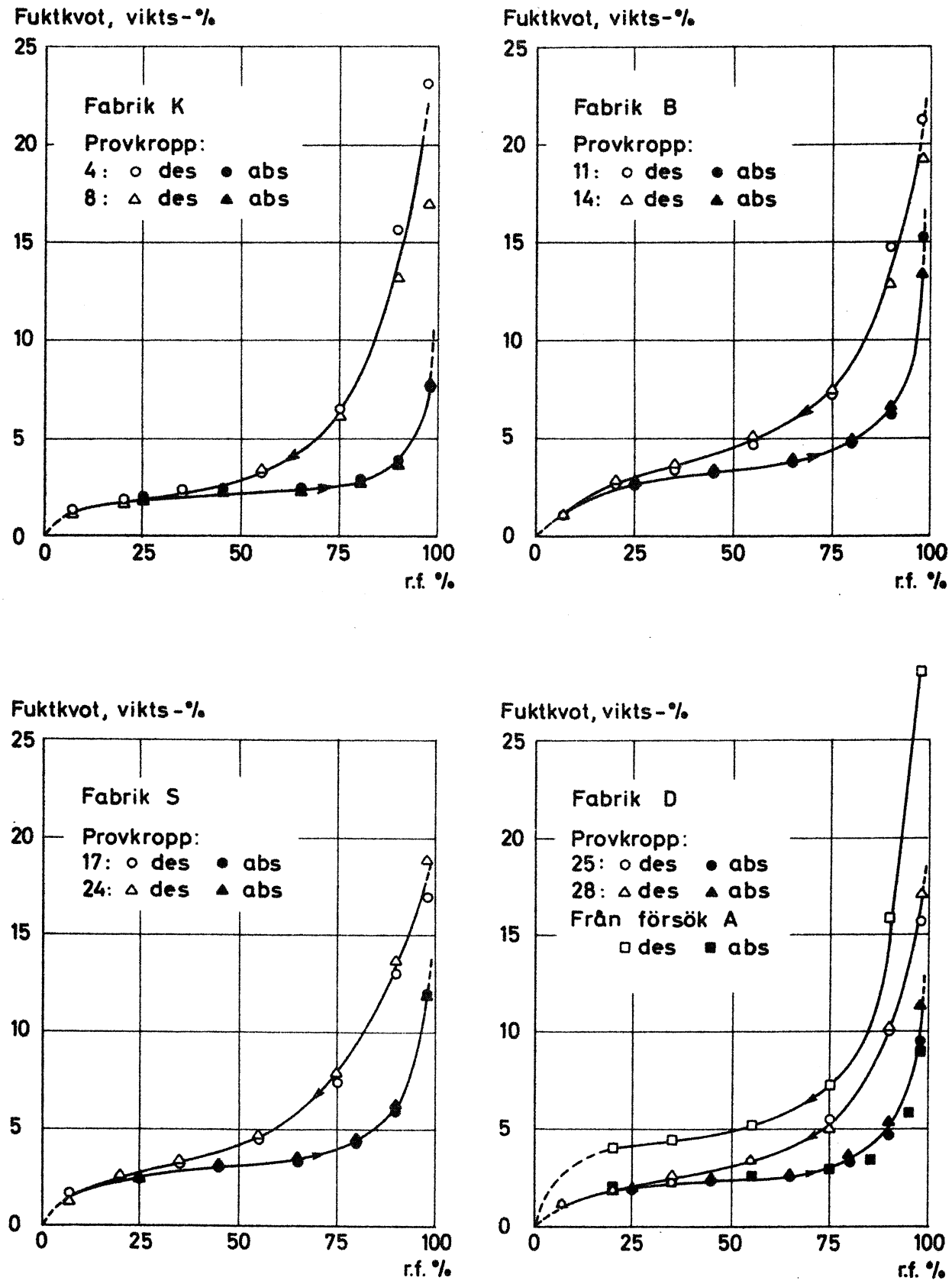


Fig 6.20 Desorptions- och absorptionsisotermer för de i försök C ingående material. Varje kurva är medelkurva för två provbitar.

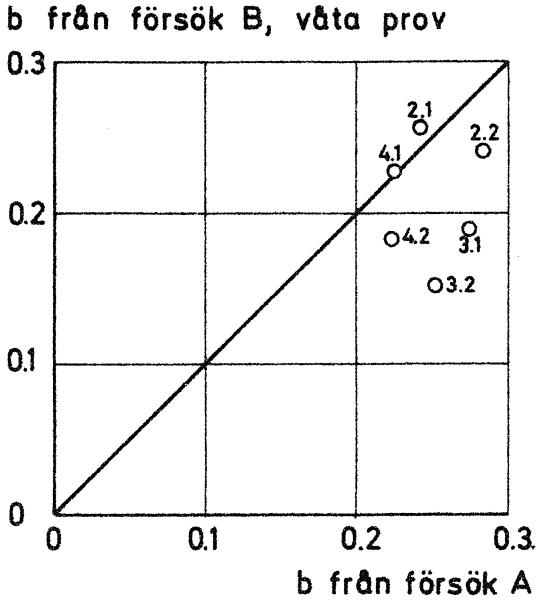


Fig 7.1 Jämförelse mellan b uppmätt på samma provkropp vid försök A och försök B, begynnelseskedet. Siffrorna anger provnummer.

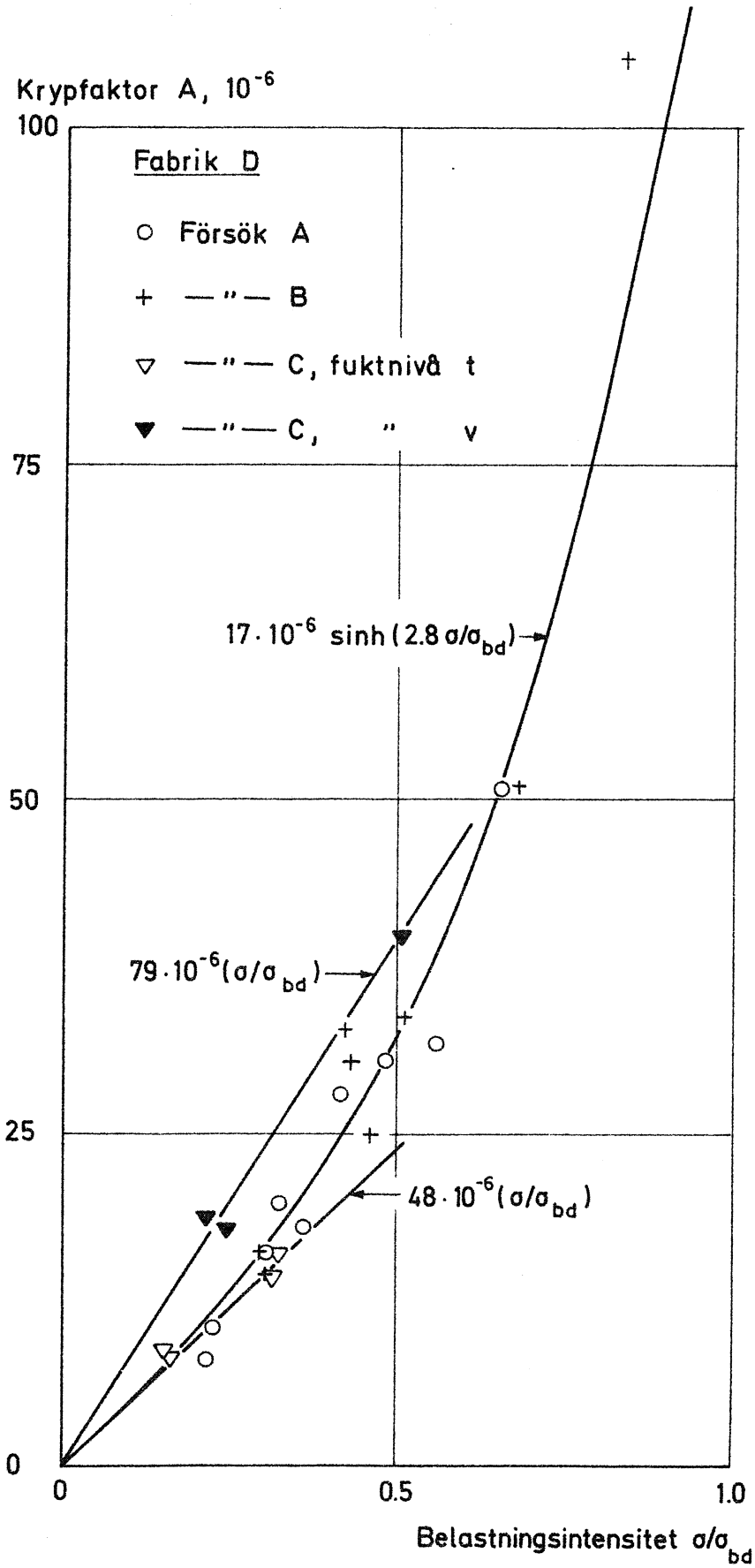


Fig 7.2 Krypfaktorn A som funktion av belastningsintensiteten σ/σ_{bd} för fabrik D. Resultat från försök A, B och C.

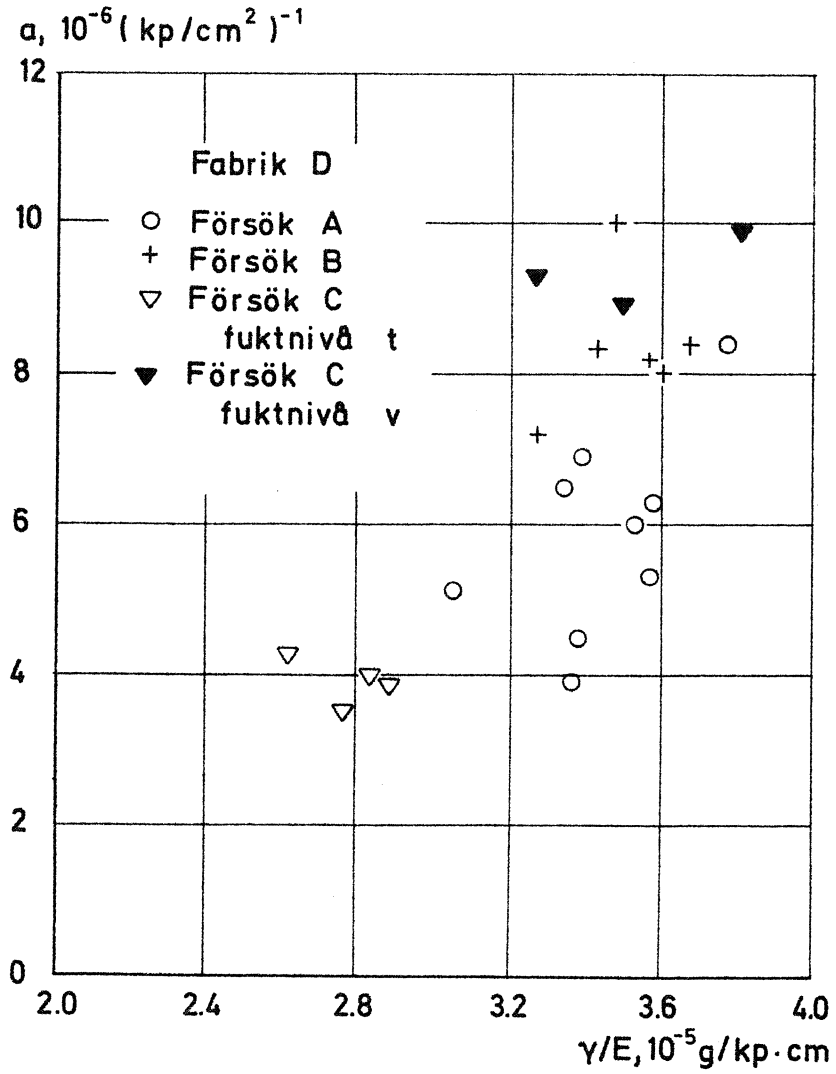


Fig 7.3 Krypfaktorn a som funktion av kvoten γ/E för fabrik D. Resultat från försök A, B och C.

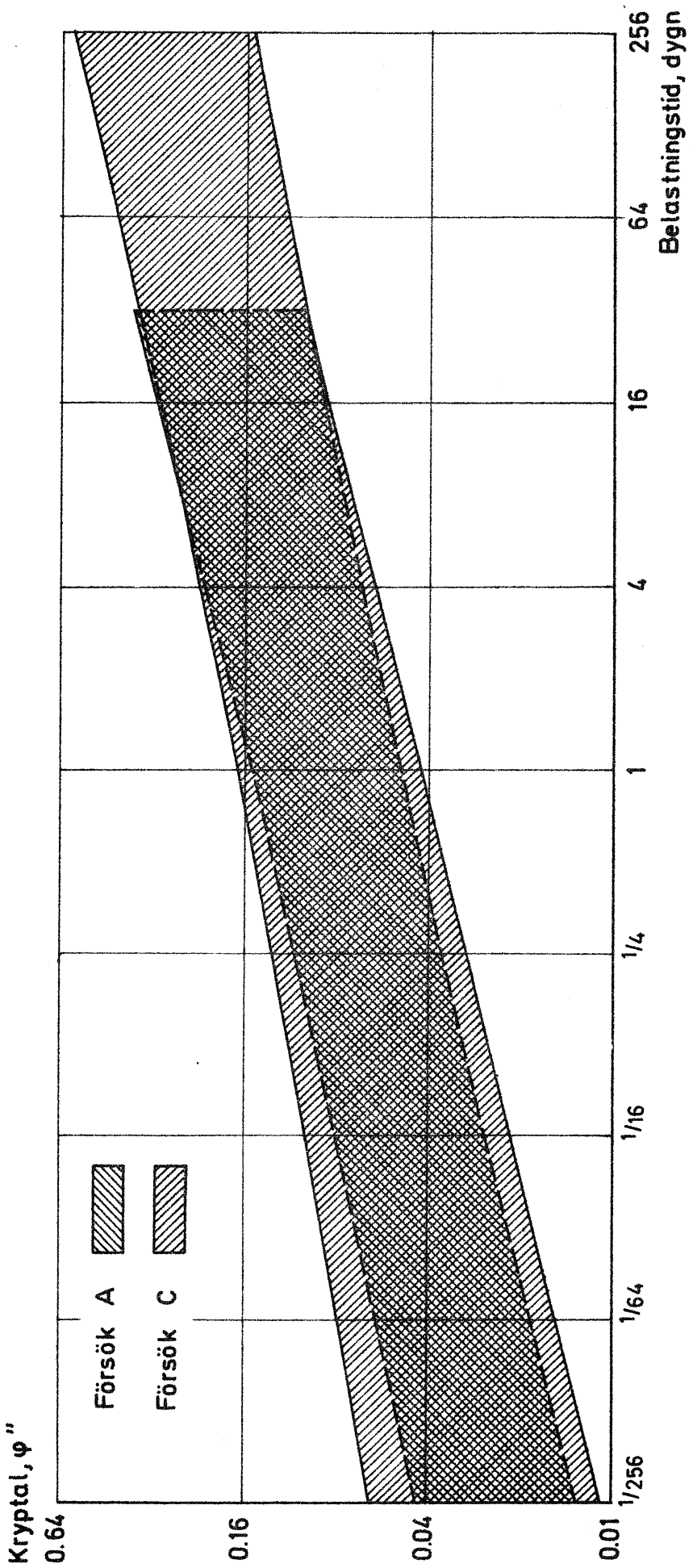


Fig 7.4 Variationsområde för kryptalet för grundkrypning φ'' för försök A och C. (95 %-konfidensområden)

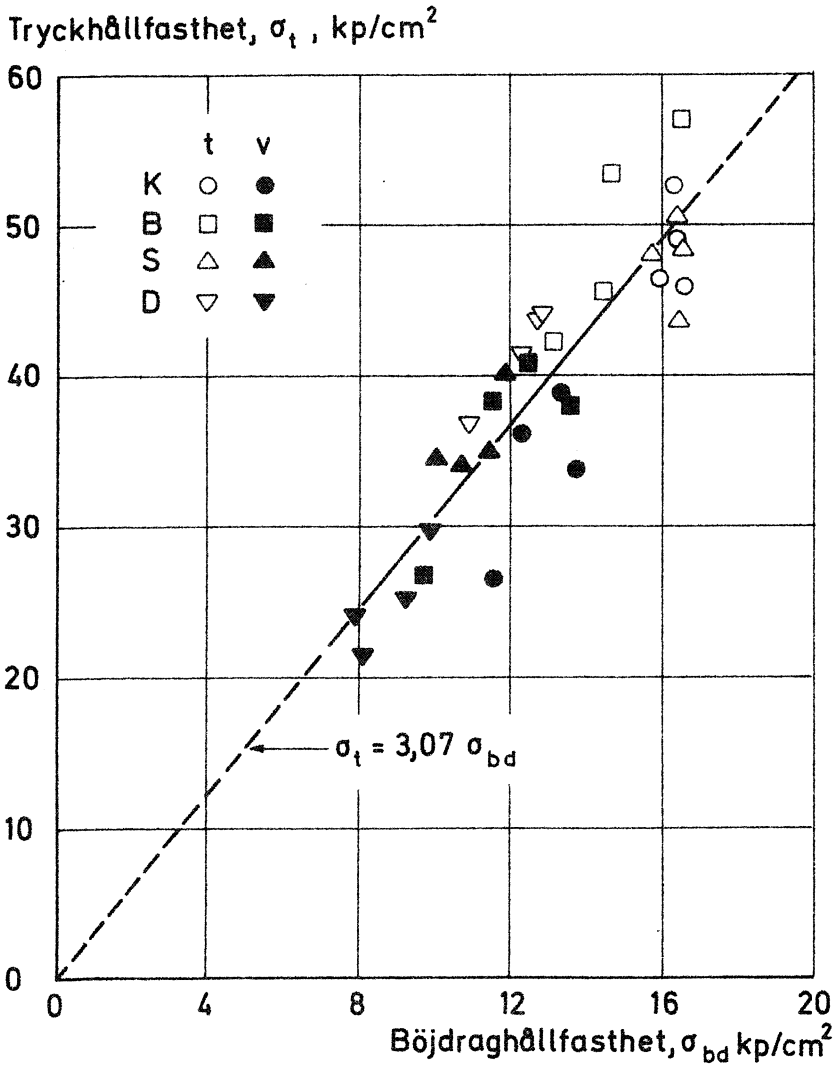


Fig B.1 Tryckhållfasthet som funktion av böjdraghållfasthet, försök C.

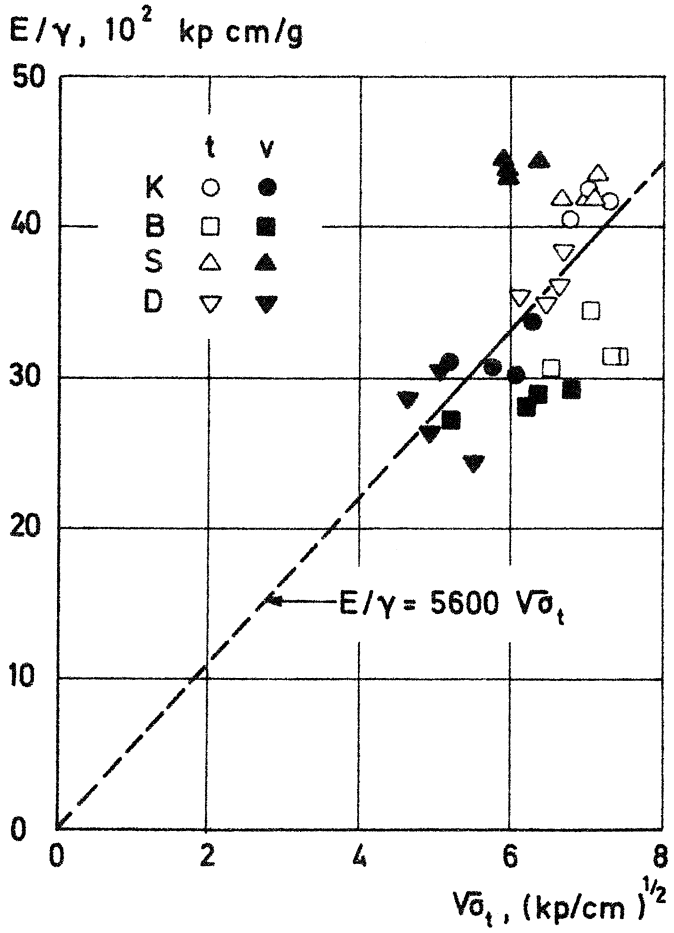


Fig B.2 Samband mellan $\sqrt{\sigma_t}$ och E/γ, försök C.