



LUND UNIVERSITY

Examensarbeten 1966-71 : Sammanställning av examensarbeten utförda vid Byggnadsmateriallära, LTH

LTH, Avd Byggnadsmaterial

1972

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

LTH, A. B. (1972). *Examensarbeten 1966-71 : Sammanställning av examensarbeten utförda vid Byggnadsmateriallära, LTH.* (Rapport 33). 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**

EXAMENSARBETEN 1966-71

**SAMMANSTÄLLNING AV EXAMENSARBETEN
UTFÖRDA VID BYGGNADSMATERIALLÄRA, LTH**

RAPPORT 33

LUND 1972

FÖRORD

Examensarbetare utgör en ingalunda försumbar del av forskningspotentialen vid en teknisk högskola. Ett examensarbete kan vara en väsentlig pusselbit i ett större forskningsprojekt, en första orientering om någon ny problemställning, ett förförsök för bedömning av bärkraften hos nya uppslag, en tillämpning av teorier på ett praktiskt fall, en sammanställning av litteraturen på ett avgränsat område mm. Alla examensarbeten leder till någon form av resultat. Vissa examensarbeten är synnerligen väl genomförda, andra är medelmåttiga, en mindre del är dåliga. En fullständig publicering av en institutions examensarbeten görs sällan. Tyvärr blir många resultat liggande oanvända i skrivbordslådor.

Det senare har vi ansett vara olämpligt och därför beslutat oss för att åtminstone i referatform publicera alla examensarbeten som utförts i byggnadsmateriallära vid LTH. I denna rapport finns referat av samtliga 21 examensarbeten som utförts från starten t o m år 1971. I realiteten innebär detta examensarbeten från 1966 t o m 1971.

Referaten har sammanförts i följande huvudgrupper:

- 1 Beständighet
- 2 Reologi
- 3 Fukt
- 4 Betong
- 5 Trä
- 6 Struktur

Vår forskning har länge varit knuten till funktionsbegreppen beständighet, reologi och fukt, vilket gör de tre första grupperna helt naturliga. Emellertid utförs även en del forskning och åtskilliga examensarbeten inom speciella materialgrupper eller problemtyper, varav grupperna 4-6. Om emellertid en studie gjorts av t ex träs krypning så har den hänförts till reologi och inte till trä.

I varje referat anges examensarbeters, handledares och referentens namn, vidare tidpunkt för arbetets avslutande. Om arbetet eller delar

därav publicerats anges även detta i referatet.

De fullständiga examensarbetena finns tillgängliga för intresserade på avd. för byggnadsmateriallära, LTH.

Lund i februari 1972

Sven G Bergström

INNEHÅLL

	Sid
FÖRORD	1
1 BESTÄNDIGHET	3
1.1 Adiabatisk kalorimeter för frysbar vattenmängd	3
1.2 Månstorps gavlar	5
1.3 Korrosion på grund av HCl från PVC-bränder	7
2 REOLOGI	11
2.1 Inverkan av långtidsdeformation hos träbjälklag	11
2.2 Kryp försök med trä- en jämförelse mellan konstruktions- virke och helrent virke	15
2.3 Kryp försök med trä under sorption	18
2.4 Träs krypning vid konstant klimat	21
2.5 Krypning hos plastbetong	23
2.6 Spricköverbyggande skikt	26
3 FUKT	29
3.1 Grundläggande lagar för fuktvandring i porösa byggnads- material	29
3.2 Kalibreringsarbete och kontrollmätningar med utrustning för bestämning av fukttillståndet i betong	31
3.3 Fuktmätning med gammastrålning	33
4 BETONG	35
4.1 Inverkan av skillnader mellan blandningskonsistens och gjutningskonsistens hos betong (I)	35
4.2 Inverkan av skillnader mellan blandningskonsistens och gjutnings konsistens hos betong (II)	38
4.3 Undersökning av möjligheten att använda krossat material i stället för naturgrus vid betongtillverkning	41
4.4 Materialproblem vid betonggjutning vintertid	44
4.5 Fiberarmerad betong	47
5 TRÄ	50
5.1 Undersökning av polyetylenglykolstabiliserat trä	50
5.2 Trä impregnerat med polyetylenglykol och melaminharts	52
6 STRUKTUR	
6.1 En beskrivning av makro- och mikrostruktur hos olika byggnadsmaterial (I)	54
6.2 En beskrivning av makro- och mikrostruktur hos olika byggnadsmaterial (II)	55

1 BESTÄNDIGHET

1.1 Adiabatisk kalorimeter för frysbar vattenmängd

Examensarbetare: Roland Thapper
 Handedare: Prof S G Bergström
 Klart: December 1967
 Referent: Göran Fagerlund

Bakgrund

Vid avdelningen hade just påbörjats en stor studie av byggnadsmaterials frostbeständighet. Avsikten med denna studie var att försöka bekräfta en teori av existensen av kritiska vattenmättnadsgrader med hänsyn till frysning.

Vattenmättnadsgrad definieras

$$S = \frac{w_f}{w_f + 1}$$

där w_f är mängd frysbart vatten vid lägsta aktuella temperatur
 1 = mängd luftporer före frysning

Studien delades upp i två delar:

- en fysikalisk linje ledd av Roland Thapper, med syfte att bestämma värden på w_f
- en teknisk linje ledd av referenten med syfte att påvisa existensen av kritiska vattenmättnadsgrader.

Roland Thapper påbörjade arbetet på fysikalisk linje med att utveckla en kalorimeter. Arbetet resulterade i ett examensarbete.

Kalorimetern

Kalorimetern övertogs från Cement- och Betonginstitutet i Stockholm. Den var då anpassad för studier av frysning av vatten i små lerprover.

Thapper utvecklade en provkroppshållare för provkroppar av storlek

30x30x120 mm. Uppställningen av kalorimetern framgår av FIG 1.

Regleringsmetoden var manuell, se FIG 2. Varje avvikelse mellan ytttemperaturen hos den yttre kopparbehållaren och den inre provkroppshållaren av mässing avlästes på en mV-mätare och korrigerades via energitillförsel till lamporna i frysboxen.

Försök

Thapper gjorde dels kalibreringsförsök med rent vatten, dels testade han två tegelsorter. Först frystes materialet ner till $\sim -12^{\circ}\text{C}$. Därefter tillfördes energi till värmeslingan på provkroppshållaren, varvid temperaturen hos provkroppen steg. Vid isens smältning åtgick "extra energi" varur mängd smält is kunde beräknas.

En typisk upptiningskurva framgår av FIG 3. På grund av stor värmetröghet i provkroppshållaren kunde enbart total mängd fruset vatten indikeras, inte succesiv smältning vid temperaturer $< 0^{\circ}\text{C}$.

Kalorimetern har sedermera utvecklats vidare av referenten och bl a automatiserats.

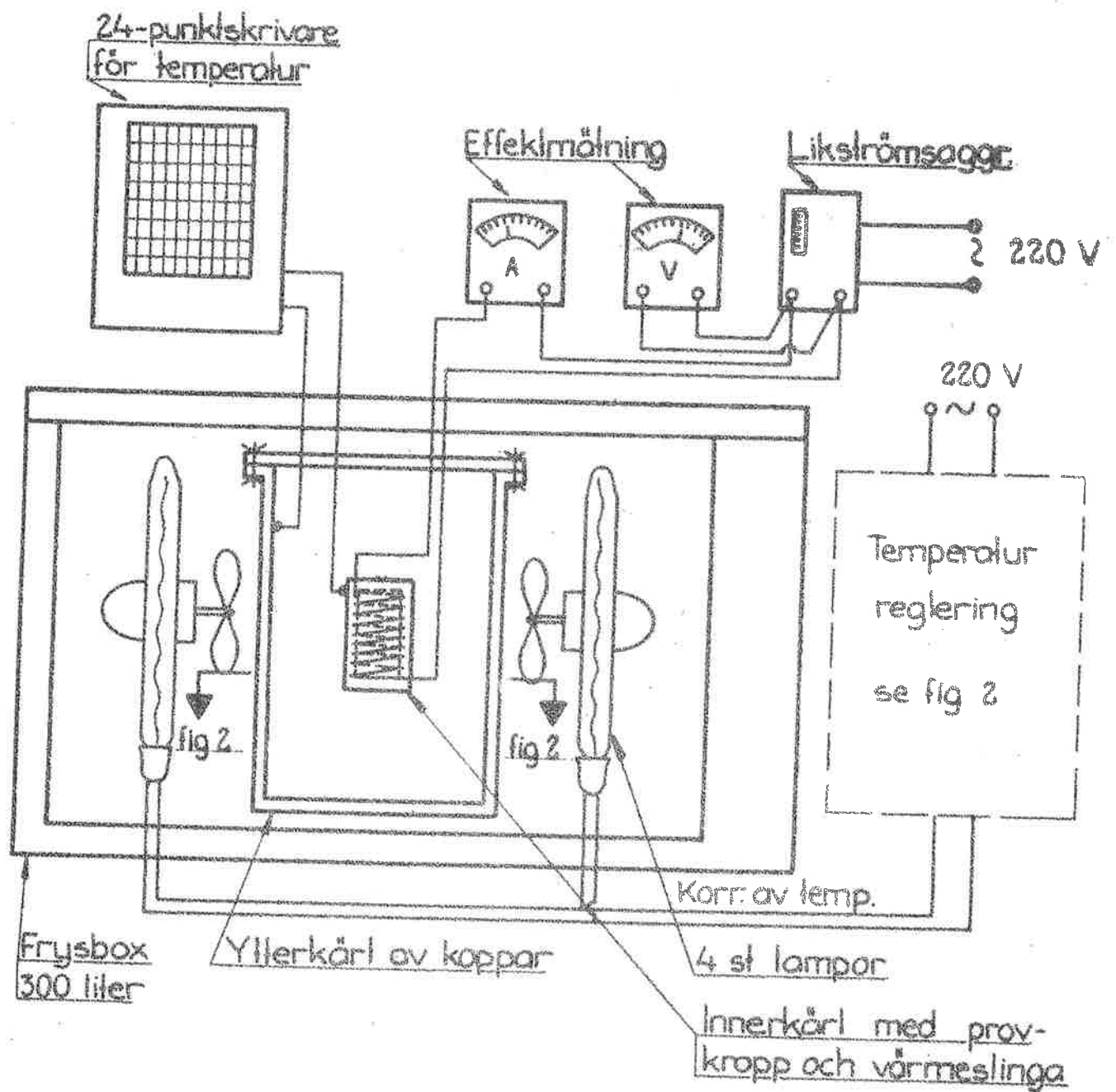


FIG 1 Adiabatisk kalorimeter för bestämning av frysbar vatten-
mängd.

Uppställning.

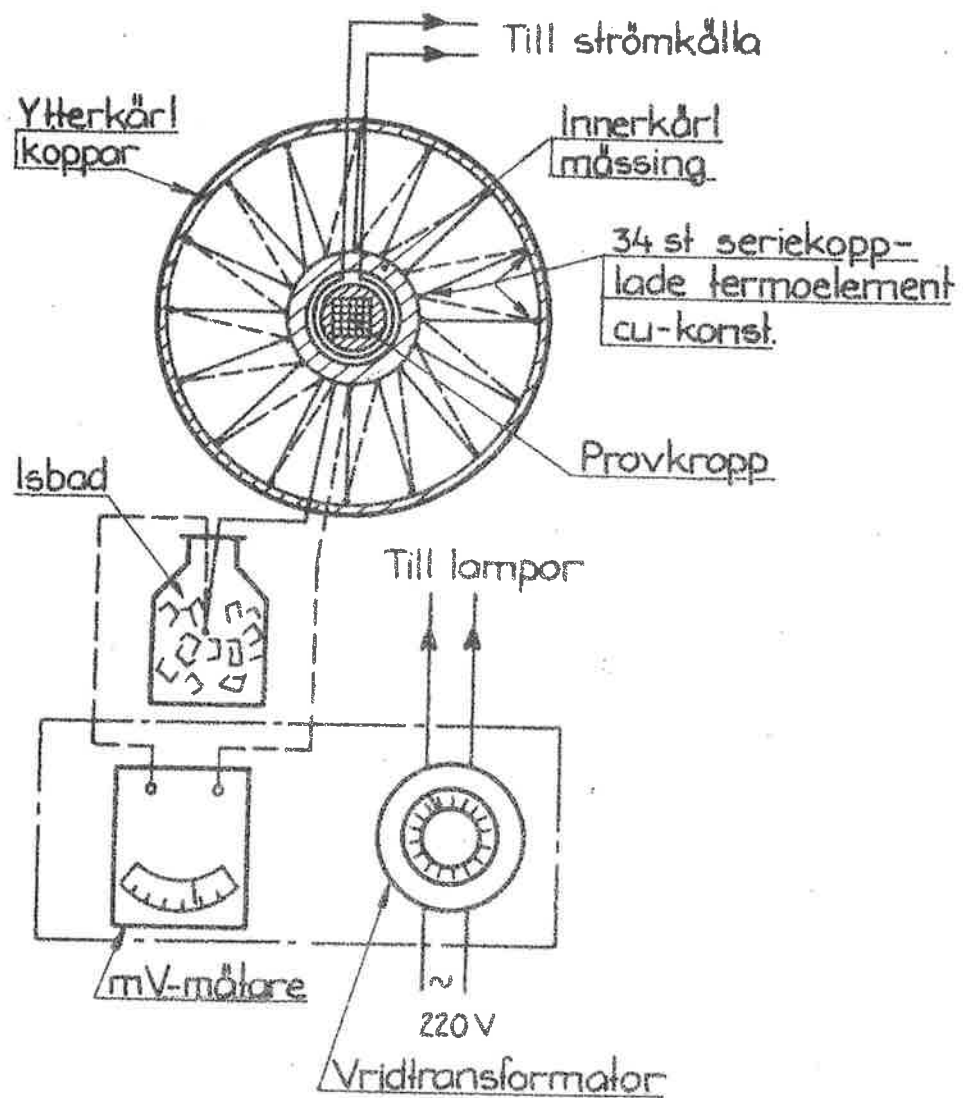


FIG 2 Princip för reglering av kalorimeter.

Utsida
innerkärl

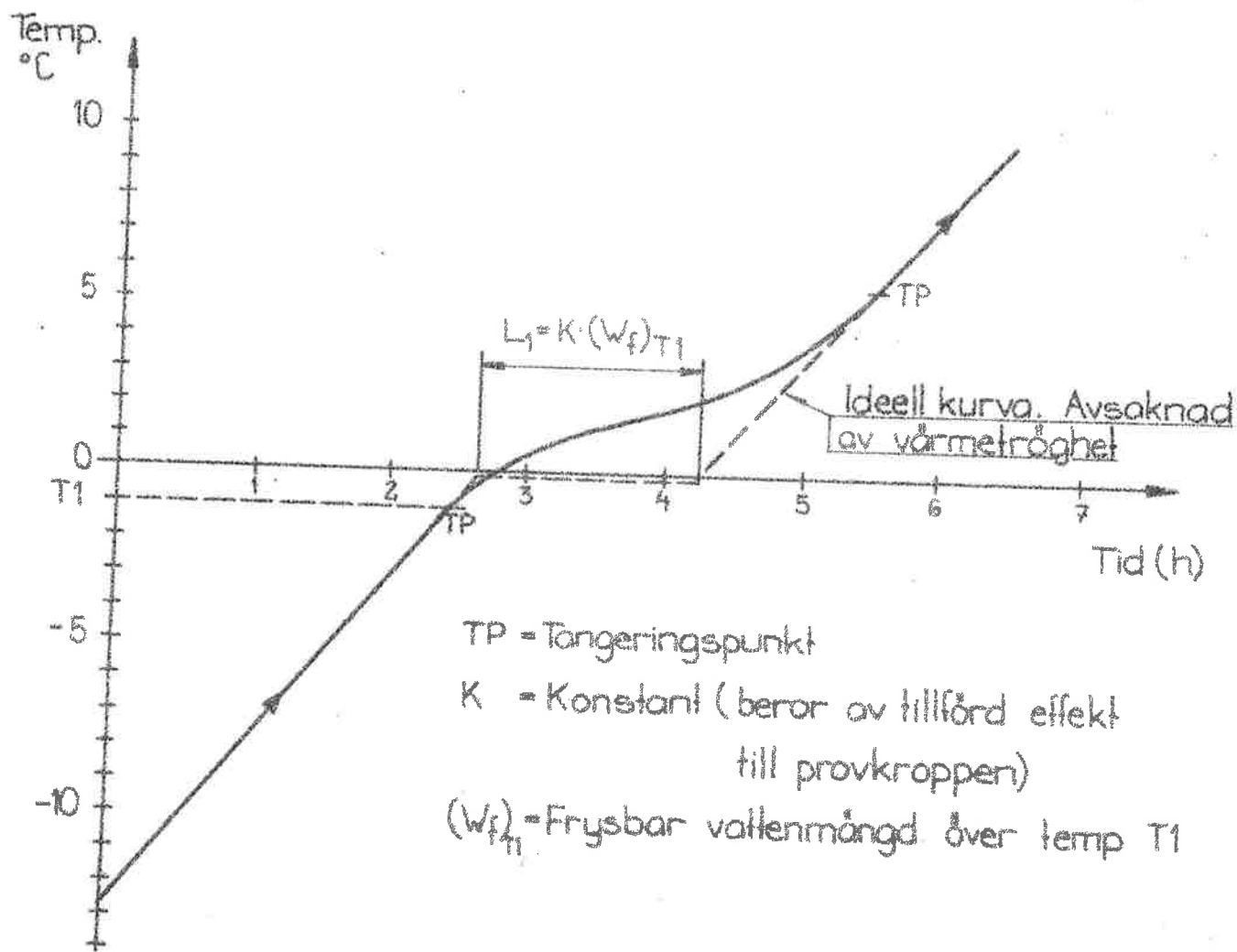


FIG 3 Kalorimeterförsök, vatten.

1.2 Månstorps gavlar

Examensarbetare: Per-Olof Mattsson, Mahmod Mazlumolhosseini
Handledare: Prof Sven G Bergström
Klart: April 1970
Referent: Per-Olof Mattsson

Examensarbetet om Månstorps gavlar tillkom på initiativ av sakkunniggruppen för byggnadsminnesvård vid Statens Institut för Byggnadsforskning. Man ville i undersökningen belysa verkan av att blanda nya och gamla material, studera effekten och varaktigheten av genomförda renoveringar, diskutera lämpliga skyddsmetoder för ett byggnadsminne av ruinkaraktär samt kartlägga det aktuella byggnadsminnets allmänna tillstånd.

Månstorps gavlar i sydvästra Skåne är ruinen av en 1500-talsborg, som efter lång tids förfall grundligt restaurerades mellan åren 1928-1936. En rekonstruktion av borganläggningen visas i FIG 1 och det nuvarande utseendet samt utförda restaureringar framgår av FIG 2 och 3. Sedan man på detta sätt beslutat att bevara ruinen åt framtiden, har man också accepterat ett kontinuerligt underhålls- och restaureringsarbete på den.

Som uppföljning av tidigare utförda restaureringsarbeten och som hjälp till kommande sådana, har en undersökning utförts av ruinens nuvarande skick vad avser byggnadsdelarnas stabilitet och funktion och materialets grad av nedbrytning. I denna genomgång påpekas också var speciellt angelägna reparationsarbeten erfordras, t ex behov av att förankra lösa stenar på murkrönen och att stabilisera den östra gaveln, som är starkt försvagad genom ett ras i portvalvet.

En speciell undersökning göres av tegel- och tegelkvaliteter, speciellt med hänsyn till beständighet mot vittring under inverkan av frost. Härvid har de tre olika förekommande tegelkvaliteterna, nämligen det ursprungliga 1500-talsteglet, tegel från 1930-talsrestaureringen samt tegel från en under början av 1960-talet utförd restaurering undersökts. Frostbeständigheten uttryckt som minskning av E-modul efter frysprovning vid olika vattenmättnadsgrader hos teglet har redovisats i diagram

enl FIG 4, 5 och 6. För vattenmättnadsgrader där $\frac{E}{E_0} = 100\%$ är teglet frostbeständigt medan sönderfrysning sker vid vattenmättnadsgrader där $\frac{E}{E_0} = 0$. För 60-talsteglet (FIG 6) fanns en skarpt markerad övergångszon vid vattenmättnadsgraden 75-80 %. De vattenmättnadsgrader som i verkligheten kan uppkomma i de olika tegeltyperna diskuteras och redovisas i diagrammen dels som uppnådda värden vid kapillärsugning 1 tim, 2 dygn resp 10 dygn från fri vattenyta i laboratorium, dels som uppmätta vattenmättnadsgrader i tegel på platser (pilarna). Det konstateras att teglet i ruinen är utsatt för mycket stark nedfuktning, varför höga krav måste ställas på teglets frostbeständighet om skador helt skall undvikas.

En diskussion förs om olika restaureringsteoriers tillämpning på Månstorps gavlar och slutligen betonas vikten av att allmänheten informeras om ruinen och ges goda möjligheter att besöka den.

Teckenförklaring



Partier restaurerade
under 1930-talet.



Partier restaurerade
under 1960-talet.

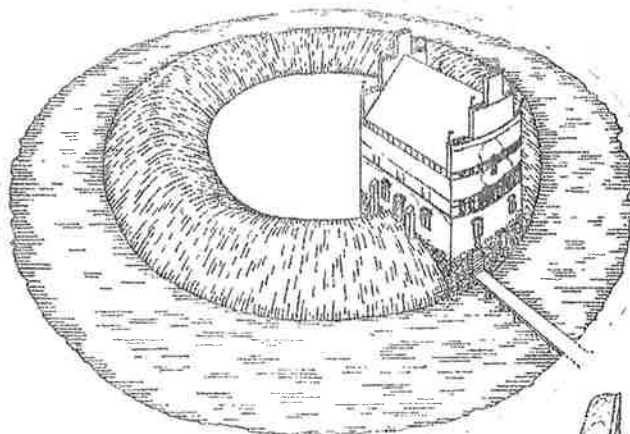


FIG. 1 Rekonstruktion av borganlägg-
ningen enligt Sandblad (1937)

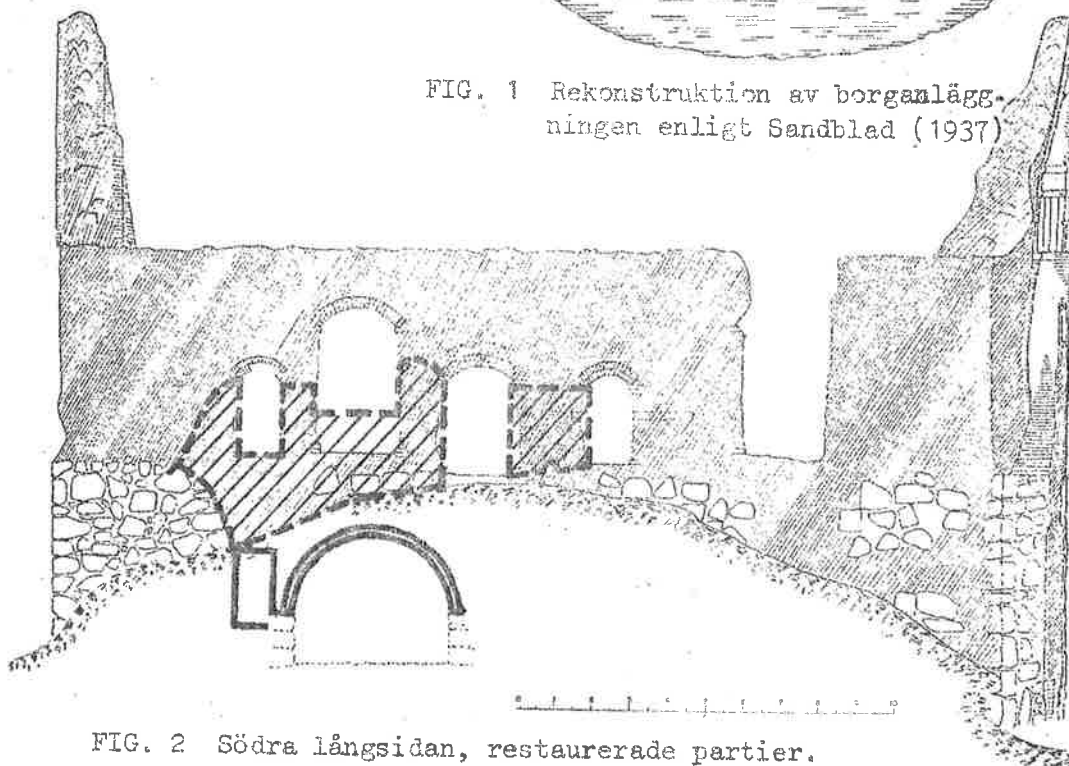


FIG. 2 Södra långsidan, restaurerade partier.

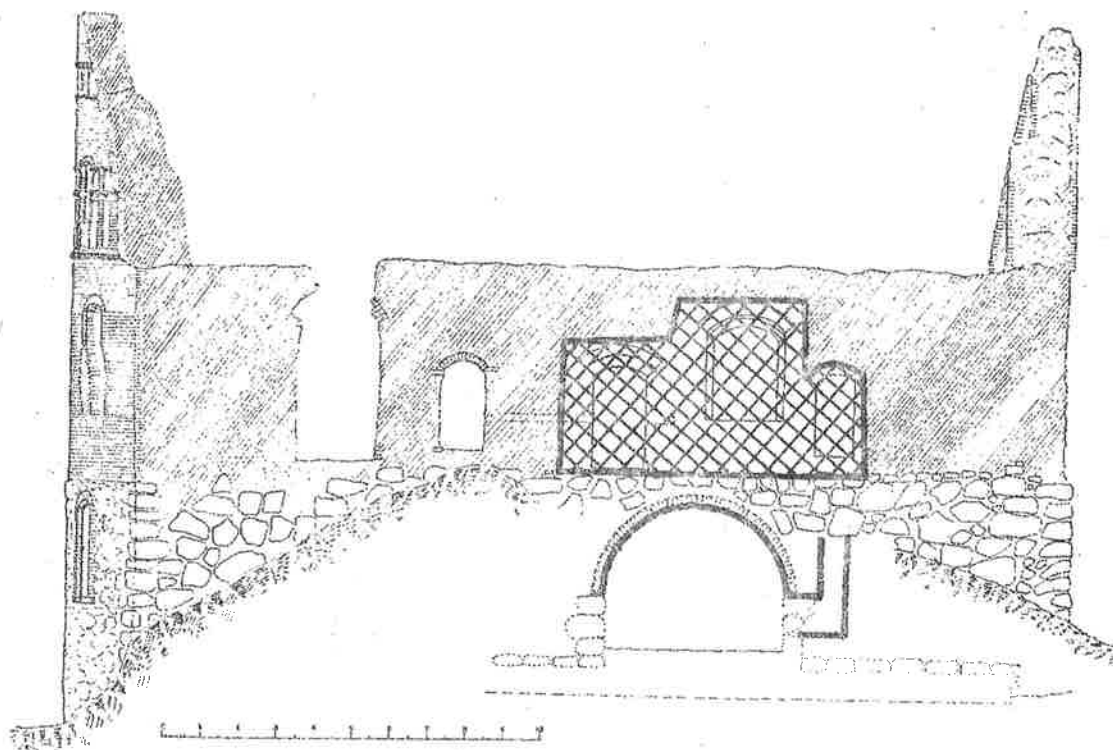
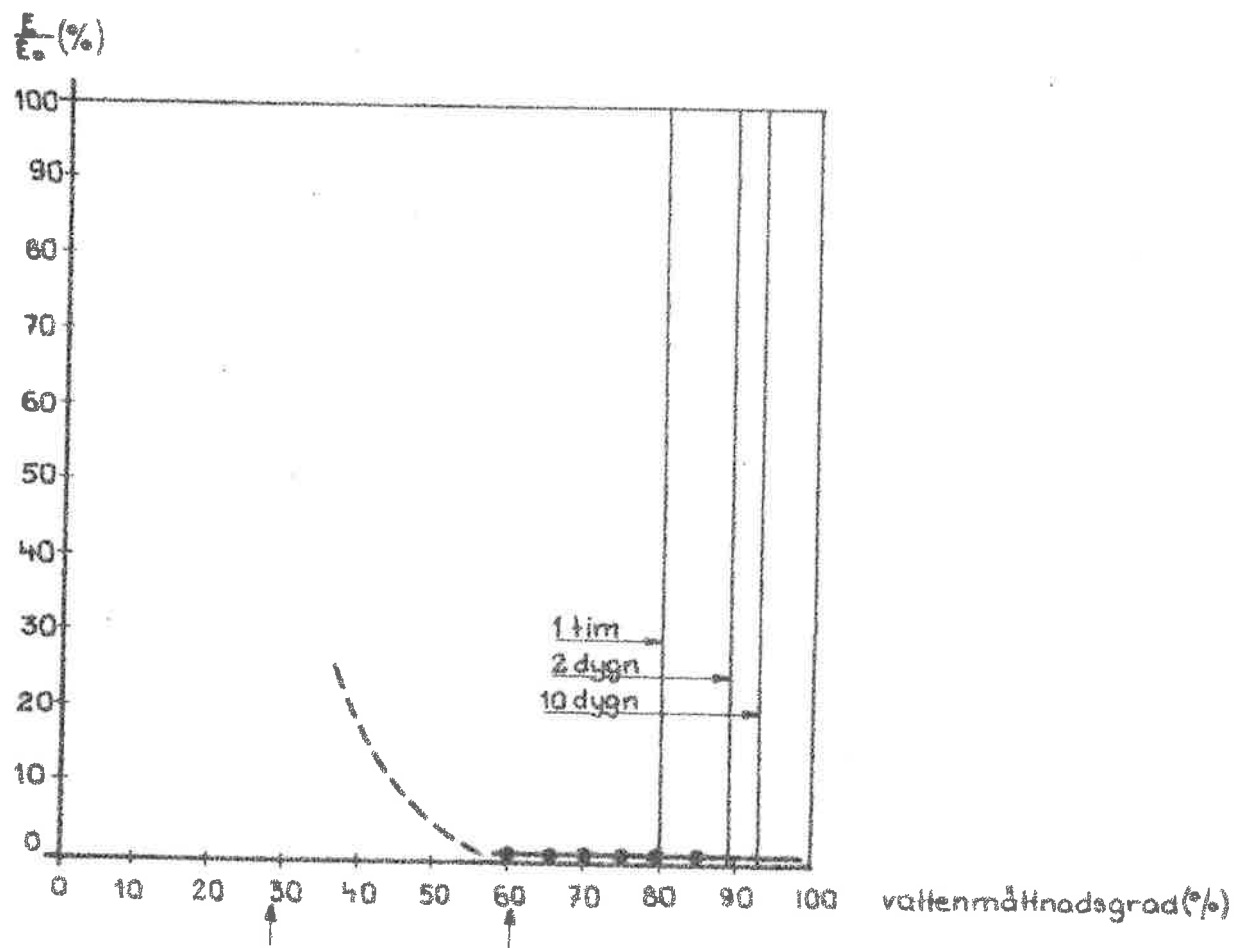


FIG. 3 Norra långsidan, restaurerade partier.

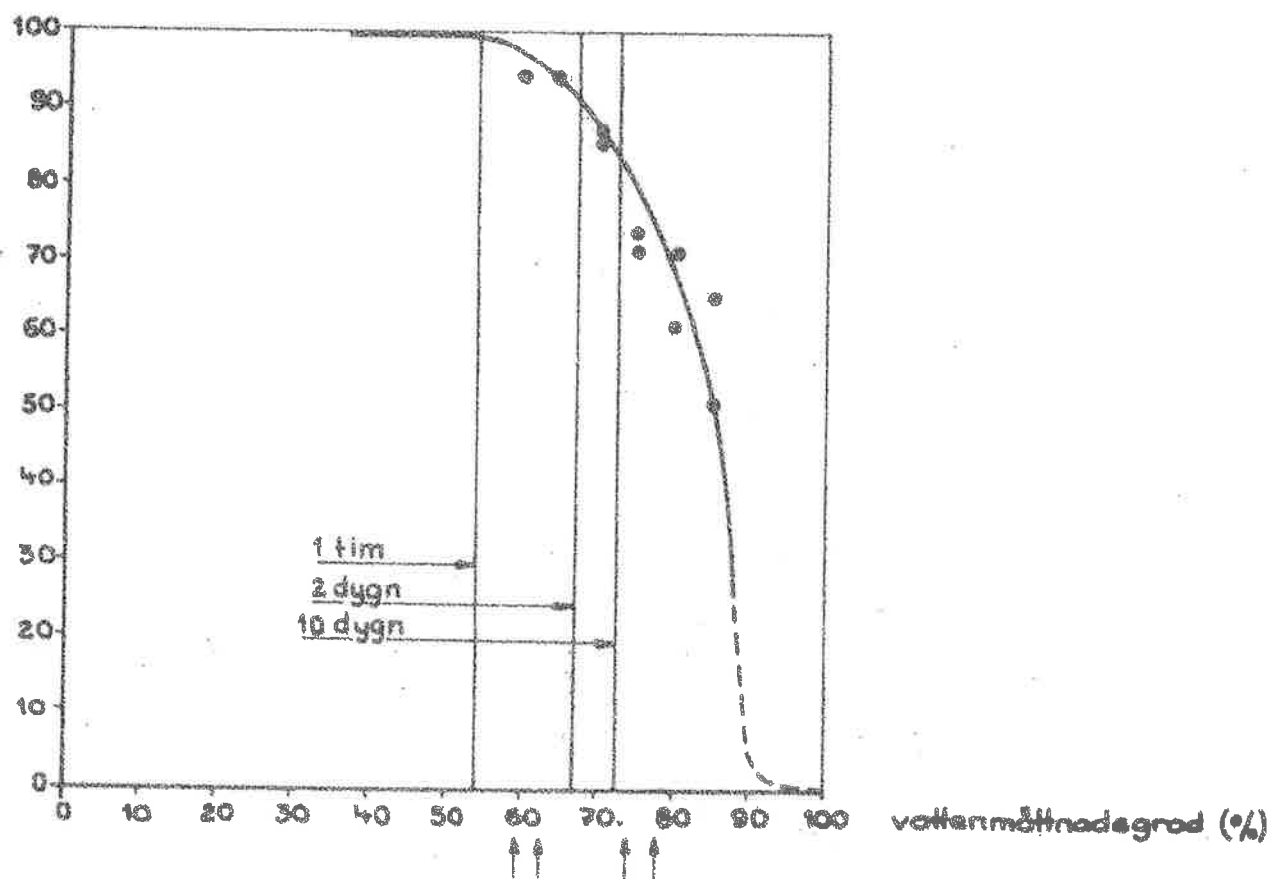


$$\gamma = 1810 \text{ kg/m}^3$$

$$p = 32,7\%$$

FIG 4 Frysprovning av 1500-talstegel.

$\frac{E}{E_0} (\%)$

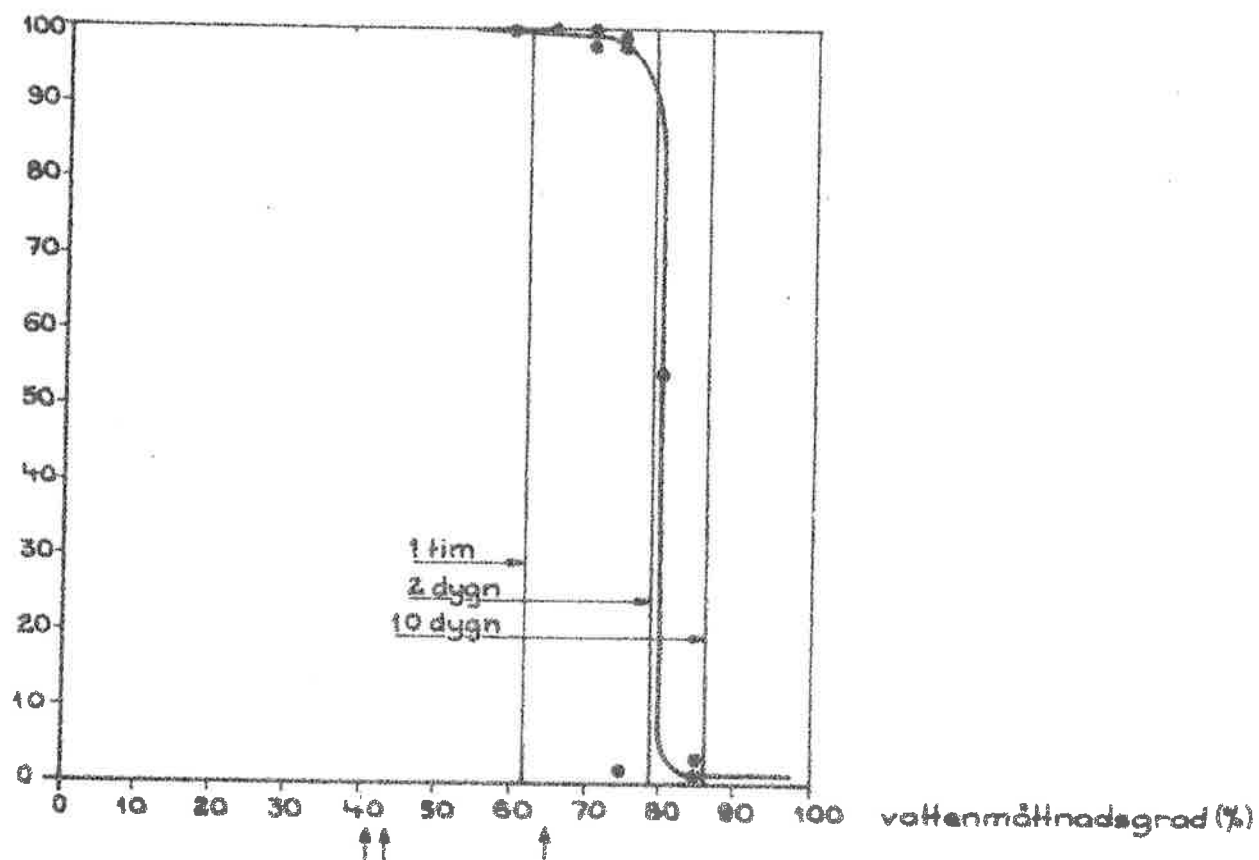


$\gamma = 2080 \text{ kg/m}^3$

$p = 20,9 \%$

FIG 5 Frysprovning av 1930-talstegel.

$\frac{F}{E_0} (\%)$



$\gamma = 1600 \text{ kg/m}^3$

$p = 27,3 \%$

FIG 6 Frysprovning av 1960-talstegel.

1.3 Korrosion på grund av HCl från PVC-bränder

Examensarbetare: Per-Erik Hedlund och Anders Willner
 Handledare: Prof Sven G Bergström och forskn.ing Leif Erlandsson
 Klart: September 1970
 Referent: Sven G Bergström

I några mycket uppmärksammade redogörelser för bränder, där PVC varit inblandat, har man konstaterat svår korrosion på blottade metallytor men också på armering i betongkonstruktioner. Korrosion har orsakats av klorväte (HCl-gas), som frigörs vid termisk sönderdelning av PVC. Några sådana fall har redovisats av Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft /1/. En följd av olika larmrapporter blev kongressen Skydd 69 om plast, brand och korrosion i vars handlingar /2/ många intressanta rapporter om frågorna har tryckts. En omfattande studie av gasens inträngningshastighet i betong och konsekvenserna härav har gjorts av Locher och Sprung /3/. De konkluderade att betongkvaliteten var en viktig faktor i skeendet. Hög resistens hos betongen skulle uppnås om vct begränsades till 0,55. Vidare måste HCl-koncentrationen i brandgaserna vara hög, exponeringen vara i flera dagar, temperaturen väsentligt överstiga $+50^{\circ}\text{C}$ och betongen ständigt hållas fuktig efter exponeringen för HCl-gas om farligt angrepp skulle ske.

Vi har gjort en mycket begränsad studie i ett examensarbete, där vi p g a begränsad tid och begränsade resurser måste förenkla förutsättningarna något.

Vi valde att arbeta med cylindriska provkroppar (FIG 1), där i varje provkropp armeringsstänger placerats så att hela den avsedda täckskiktvariationen fanns med i provkroppen. Exponering skedde från mantelytan. Vi arbetade med två förhållandevis låga betongkvaliteter, karakteriserade av vct = 0,7 och 1,0. Täckskikten varierades mellan 10 och 45 mm. Vi arbetade med atmosfär mättad med HCl-gas vid 80°C .

Betongen var vid exponeringen 3 mån gammal. Exponeringen för HCl-gas gjordes i 9 timmar. Då vissa källor syntes indikera att vattenbegjutning efter exponeringen kunde förvärra angreppet, doppades hälften av provkropparna i vatten under 1 timme omedelbart efter exponeringen.

Betongen analyserades vid olika tidpunkter med avseende på Cl-halt på olika avstånd från ytan genom välvilligt tillmötesgående från Cement- och Betonglaboratoriet, Limhamn.

Korrosion på armeringen angavs med den skala som tillämpas vid kontroll av rostskydd i gasbetongelement /4/, dvs "Europeisk rostgradsskala för rostskyddsfärger". Skalan anger rostgraden i siffervärden 1-10, där 10 är helt oskadad och 1 är totalt skadad yta. Följande tabeller 1-4 visar de väsentliga resultaten. För varje exponeringstid och täckskikt ges två siffror, t ex 4/5. Den första siffran gäller armeringsstångens utsida, som ligger närmast den exponerade ytan, den andra siffran armeringsstångens insida. Den första kolumnen avser noll-värde bestämt före exponering.

Tabellerna visar klart att problemet korrosion på armeringsstänger under inverkan av HCl-gas inte kan negligeras. Dock behövs vattentillgång för att korrosionen skall bli av någon större omfattning. Detta framgår av en inbördes jämförelse mellan tabellerna 1 och 2 och mellan tabellerna 3 och 4. Vid vct = 1 har höga skadegrader (låga siffervärden) uppnåtts vid så tjocka täckskikt som 30 à 40 mm, dock endast i vattenbegjutna provkroppar. Vid vct = 0,70, vilket ungefär motsvarar K250, har större skador uppstått in till 20 mm djup, dock alltså endast efter vattenbegjutning.

Tilläggas bör att vatten i praktiken tillförs exponerade ytor vid släckning och rengöring.

TABELL 1. Rostgrad på armeringsstål.
vct = 1,0, vattenbegjutning.

Tid efter exponering Täckskikt mm	Noll- värde	15 dygn	27 dygn	61 dygn	91 dygn
15	9/10	5/7	4/5	6/4	5/5
20	10/10	5/6	4/6	5/6	5/5
25	9/10	5/8	4/6	5/7	5/7
30	10/10	5/9	4/7	4/7	6/10
40	10/10	7/10	6/10	10/10	6/10
50	10/10	9/10	10/10	9/10	9/10

TABELL 2. Rostgrad på armeringsstål.
vct = 1,0, ej vattenbegjutning.

Tid efter exponering Täckskikt mm	Noll- värde	15 dygn	27 dygn	61 dygn	91 dygn
15	9/10	10/10	8/10	6/10	10/10
20	10/10	10/10	10/10	6/10	9/10
25	9/10	10/10	10/10	8/10	9/10
30	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
40	10/10	10/10	9/10	10/10	10/10
50	10/10	10/10	9/10	7/10	10/10

TABELL 3. Rostgrad på armeringsstål.
vct = 0,70, vattenbegjuten

Tid efter exponering Täckskikt mm	Noll- värde	27 dygn	61 dygn	91 dygn
15	10/10	5/6	6/10	6/7
20	9/10	5/7	9/10	8/9
25	10/10	9/9	7/10	9/10
30	10/10	9/10	8/10	9/10
40	10/10	9/9	7*/10	9/10
50	10/10	10/10	10/10	9/10

* brist hos isoleringen på betongcylinderns basyta.

TABELL 4. Rostgrad på armeringsstål.
vct = 0,70, ej vattenbegjuten.

Tid efter exponering Täckskikt mm	Noll- värde	27 dygn	61 dygn	91 dygn
15	10/10	8/10	10/10	10/10
20	9/10	9/10	9/10	9/10
25	10/10	9/10	10/10	9/10
30	10/10	7/10	9/10	10/10
40	10/10	9/10	9/10	9/10
50	10/10	9/10	10/10	10/10

1. Der Abbrand von Kunststoffen und seine Folgen.
Schadenspiegel årg. 11, April 1968.
2. Skydd 69. Plastics - Fire - Corrosion.
International Symposium and 15th Nordic Fire Protection Day,
Stockholm 1969.
3. F W Locher & S Sprung: Ein wirkung auf Beton, Beton 2-70 och
3-70.
4. Svensk Byggnorm - supplement
SBN-S 25:6. Gasbetongelementnormer.
Statens Planverk, Publ nr 14 1968.

Armeringsstål $\varnothing 10$ Ks 40
Mått i mm

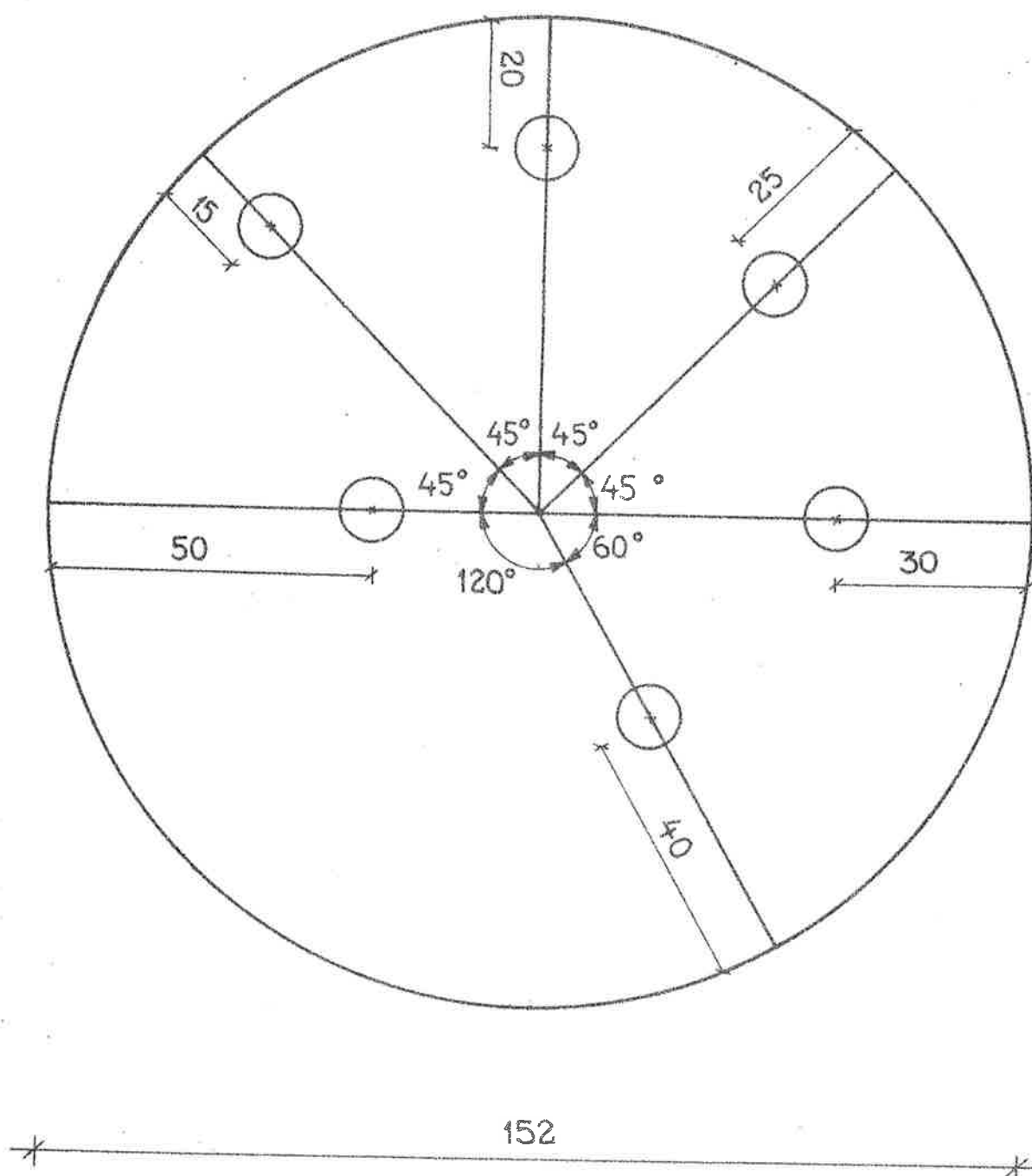


FIG 1 Tvärsnitt av provkropp vid korrosionsundersökning. De små ringarna är armeringsstänger.

2 REOLOGI

2.1 Inverkan av långtidsdeformationer hos träbjälklag

Examensarbetare: Lennart Eriksson och Jan Gustafsson
 Handledare: Tekn lic Anders Nielsen
 Klart: September 1969
 Referent: Per Gunnar Burström

Referatet bygger till stor del på en artikel av handledaren och examensarbetarna /1/.

Relativt få undersökningar om tidsberoende deformationer har utförts med trä i virkesdimensioner. Dock visar i litteraturen funna resultat från vissa sådana och resultat från försök med små felfria provkroppar att krypningen kan beskrivas med en rät linje i ett dubbellogaritmiskt diagram. Det betyder att kryptalet, $\phi = \phi(t)$, vilket är krypnedböjningen genom momentannedböjningen, kan bestämmas av formeln

$$\phi = A \cdot t^b \quad (1)$$

där A och b är konstanter och t är tiden.

Målet för den nedan beskrivna undersökningen har varit att kartlägga de tidsberoende deformationernas ungefärliga storlek genom mätningar på träkonstruktioner av olika ålder.

Undersökningsmetod

Balkarna förutsätts från början ha varit raka. På en sträcka av 3 m av en fritt upplagd balk uppmättes den nu existerande, totala nedböjningen, y_t . Styvheten EI hos balken bestämdes ur den tilläggsdeformation Δy , som uppstod vid påföring av en känd last, P . Ur styvheten och den uppskattade belastningen på balken beräknades den elastiska nedböjningen, y_e . Då den totala nedböjningen är summan av den elastiska nedböjningen och krypnedböjningen, y_c , kan den sistnämnda bestämmas ur

$$y_c = y_t - y_e \quad (2)$$

Kryptalet kan härafter beräknas av

$$\phi = y_c / y_e \quad (3)$$

Nedböjningarna kan också med geometriska formler överföras till töjningar, ϵ .

Mätobjekt

Undersökningen omfattade elva objekt, därav åtta med statistiskt bestämda balkar och tre med kontinuerliga balkar. Objektens ålder varierade mellan 1 och 120 år.

Mätresultat

De uppmätta totala nedböjningarna över 3 m-sträckan, y_t , framgår av FIG 1. Om balkarna varit krokiga från början har de troligen placerats så att de blivit överhöjda. Detta är förklaringen till att några av balkarna visar negativt y_t , dvs att de fortfarande är överhöjda.

Kryptalet ϕ har beräknats med användning av ekv (3). Resultatet presenteras i FIG 2. Balkar som vid beräkning enl ekv (2) uppvisar negativ krypning har ej medtagits i FIG 2.

För att undersöka krypningens spänningsberoende har kryptöjningen efter ett år, ϵ_{e1} , beräknats. Vid denna beräkning har konstanten b i ekv (1) med ledning av försöksresultat i litteraturen uppskattats till 0,3. I FIG 3 har ϵ_{c1} ritats som funktion av spänningen.

Felberäkning

Två felberäkningar har utförts, en för metod- och mätfel och en för den enskilda mätningens spridning.

På grundval av felberäkningen har felgränser inritats i FIG 2 och 3.

Diskussion

Vid värderingen av undersökningens resultat torde det vara rimligt att

skilja på limträ och vanligt konstruktionsvirke med dess sprickor och kvistar.

Som framgår av FIG 1 är de uppmätta totala nedböjningarna, y_t , störst för konstruktionsvirke och relativt små för limträ. Det betyder att bestämningen av krypningen enligt den valda metoden blir säkrast på konstruktionsvirket, medan resultaten från mätningarna på limträ blir mycket influerade av mätfel, överhöjning och kastningar. Detta kommer till synes i de stora mätfels- och konfidensintervallerna kring mätningarna på limträbalkarna. Med hänsyn till de få mätobjekten och den stora osäkerheten måste man avstå från att dra slutsatser om limträns krypning utifrån denna undersökning.

Beträffande konstruktionsvirke har ekv (1) angivits som samband mellan kryptal och tid för tider upp till ett år. De resultat som avsåts i FIG 2 motsäger ej att denna modell skulle kunna användas även vid längre tider. Mellan diagrammets medelvärden för konstruktionsträ kan inläggas en rät linje med ekvationen

$$\phi = A \cdot t^b = 1,3 \cdot t^{0,3} \quad (4)$$

där t är tiden mätt i år. $A = 1,3$ anger kryptalet efter ett år. Potensen $b = 0,3$ avläses som linjens lutning i diagrammet.

Beträffande krypningens spänningsberoende skall det sägas, att man vanligen uppfattar trä som ett linjärt material, det vill säga att krypningen är direkt proportionell mot spänningen. Detta motsäges inte av denna undersökning. Som framgår av FIG 3 kan man till följd av den stora spridningen mycket väl räkna med ett linjärt samband mellan ϵ_{c1} och σ .

$$\epsilon_{c1} = a \cdot \sigma = 0,7 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma \quad (5)$$

I undersökningen har kryptalet använts som krypmått därför att man då omedelbart får en uppfattning om långtidsdeformationerna i förhållande till den lätt åtkomliga korttidsdeformationen. Det ger emellertid inga upplysningar om krypningens absoluta värde.

Slutsatser

Trots den stora osäkerheten i mätmetoden kan man sammanfattningsvis säga följande.

Spridningen på krypningen hos träkonstruktioner är mycket stor.

Kryptalet för vanligt konstruktionsvirke ligger i medeltal på 1,3 efter 1 år, 2,5 efter 10 år och ca 5 efter 100 år. Osäkerheten i kryptalen är stor.

Undersökningen motsäger inte att kryptalet ϕ för vanligt konstruktionsvirke beskrivs av sambandet

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

där t är tiden efter belastningen i år, A och b är konstanter. A varierar mellan 0,6 och 2,7 med medelvärdet 1,3 och b varierar mellan 0,1 och 0,5 med medelvärdet 0,3.

Undersökningen motsäger ej att kryptöjningen är linjärt beroende av spänningen.

Litteratur

- /1/ Nielsen, Eriksson, Gustafsson: Långtidsdeformationer i träbjälklag. Byggmästaren 8 1970.

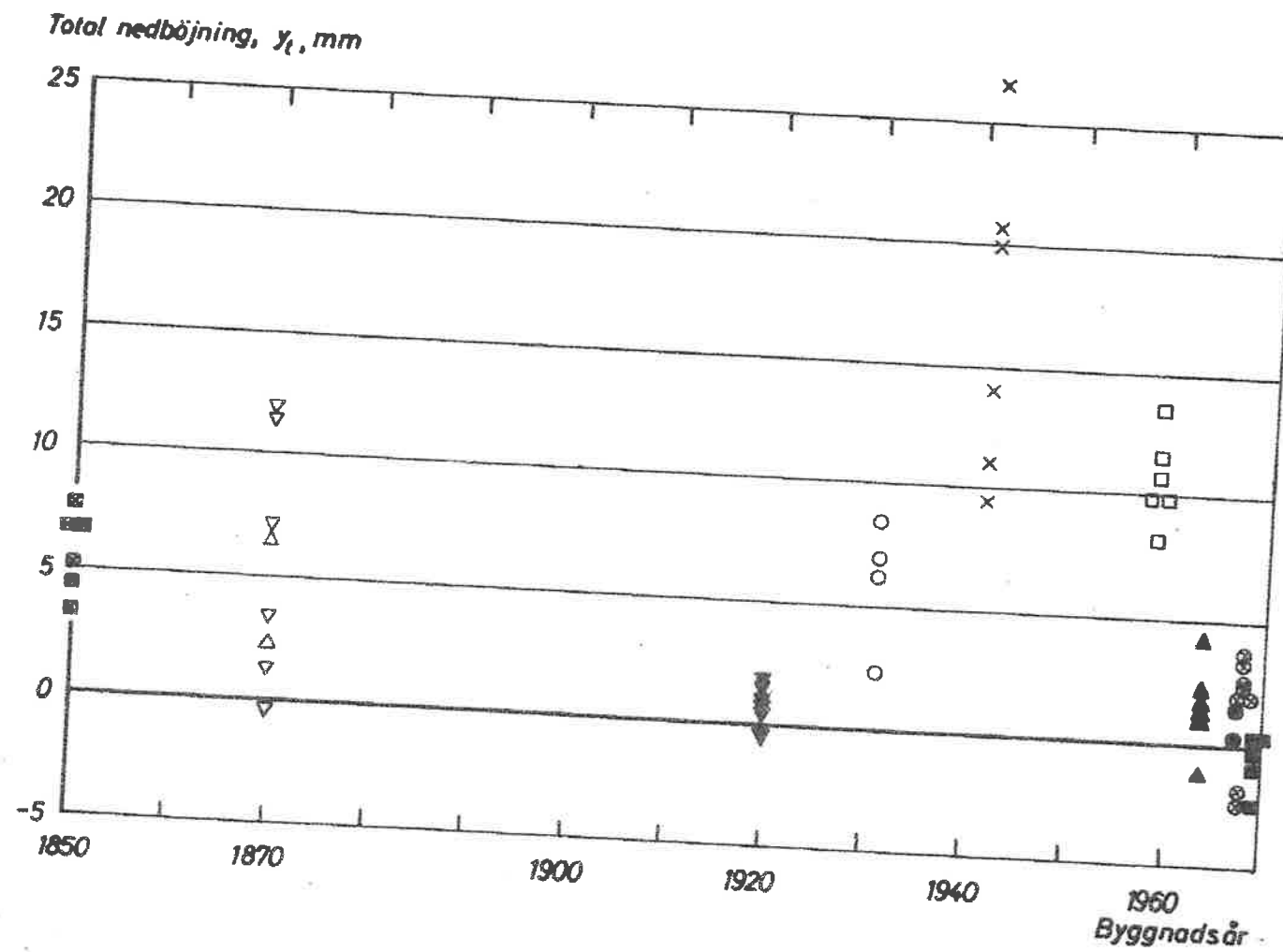


FIG 1 Uppmätta totala nedböjningar, y_t , som funktion av byggnadsår.

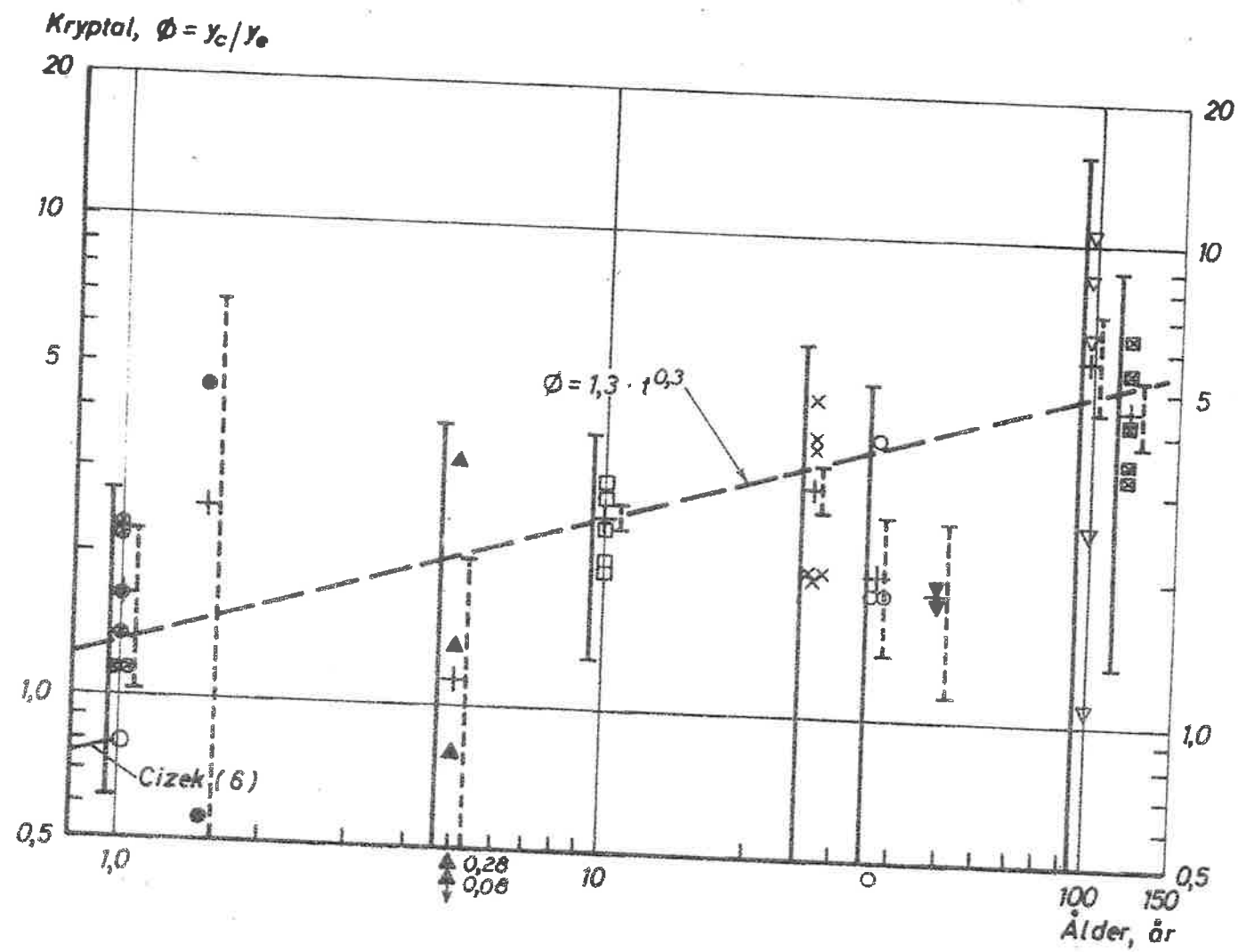


FIG 2 Kryptalet ϕ som funktion av åldern.

+ = medelvärde

| = 95 % konfidensintervall för enskild mätning

| = maximalt mätfel.

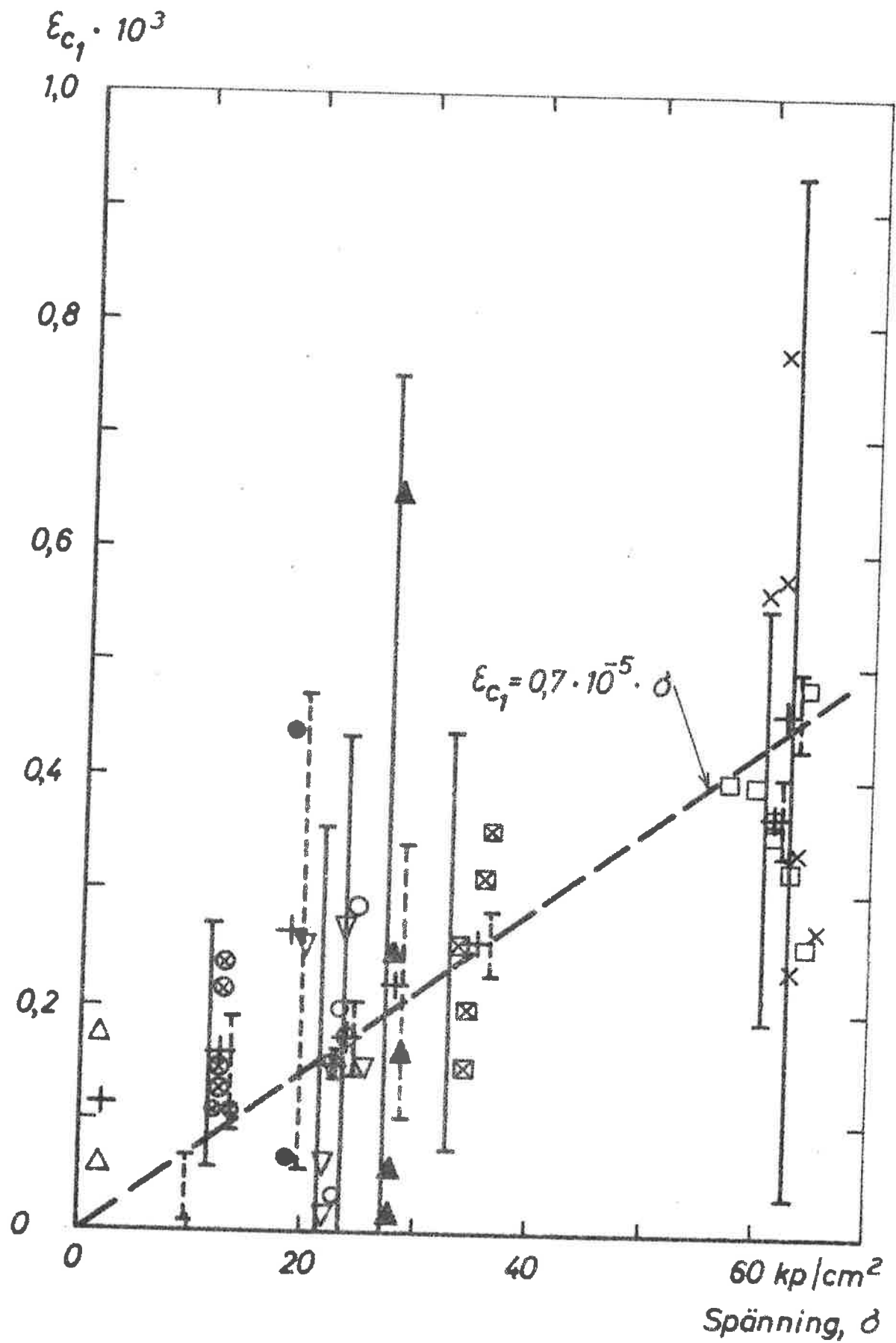


FIG 3 Kryptöjningen efter ett års last ϵ_{c1} , som funktion av beräknad maximal böjspänning, σ

+ = medelvärde

— = 95 % konfidensintervall för enskild mätning

| = maximalt mätfel

2.2 Krypförsök med trä - en jämförelse mellan konstruktionsvirke och helrent virke

Examensarbetare: Mauritz Altahr-Cederberg, Hans Danielsson
 Handledare: Tekn lic Anders Nielsen, Tekn lic Sture Åkerlund
 Klart: Juli 1970
 Referent: , Civ ing Lars-Göran Mattisson

Målsättning

Målsättningen för undersökningen har varit att för trä i fuktjämnvikt.

- I jämföra krypningen hos konstruktionsvirke med krypningen hos små provkroppar av helrent virke
- II erhålla en uppfattning om krypningens storlek hos konstruktionsvirke

Teoretisk bakgrund

Författarna har valt att redovisa krypningen med hjälp av kryptalet ϕ_c definierat av följande ekvation

$$\phi_c = \delta_c / \delta_{e1}$$

där δ_c är den aktuella nedböjningen hos provkropparna, vilka belastades med ett böjande moment. δ_{e1} är den momentana nedböjningen vid belastningen.

Krypförloppen försökte man sedan beskriva med hjälp av en matematisk funktion

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

där A och b är konstanter, bestämda av aktuella mätresultat, och t är tiden. Genom logaritmering av funktionen

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

erhålles en rät linje i ett dubbellogaritmiskt koordinatsystem.

Variabler

Förutom själva huvuduppgiften att jämföra stora provkroppar av konstruktionsvirke med små provkroppar av helrent virke har man valt att studera inverken av två nivåer hos fyra olika parametrar. Parametrarna och deras nivåer var följande:

Träslag	→ Fur och Gran
Träkvalitet	→ T200 och T300
Relativ luftfuktighet	→ 65 % och 80 %
Spänningsnivå	→ $1,0 \cdot \sigma_{till}$ och $2,0 \cdot \sigma_{till}$

(anm. $\sigma_{till} = 100 \text{ kp/cm}^2$, för T300 och $\sigma_{till} = 80 \text{ kp/cm}^2$ för T200)

På spänningsnivån $2 \cdot \sigma_{till}$ dubblerades antalet provkroppar, för att man även skulle kunna studera återhämtningens inverkan på brotthållfastheten (jfr FIG 1).

Temperaturen hölls konstant ($+20^\circ\text{C}$) under samtliga försök. Provkropparna konditionerades till fuktjämvikt i respektive klimat (65 % RH och 80 % RH) före provning.

Försöksuppläggning

Krypningen registrerades som nedböjningen hos fyrapunktsbelastade balkar. Mätningarna utfördes under 1 dygn utom i ett fall då krypförloppet följdes i 32 dygn för att kontrollera antagandet om krypfunktionens linearitet i ett dubbellogaritmiskt diagram.

Förutom krypningen undersöktes återhämtningen, brottlasten och återhämtningens betydelse för brottlasten. Brottlasten bestämdes på krypprovkropparna efter återhämtning, utom på de tidigare 3 nämnda extra provkropparna vid nivån $2 \sigma_{till}$, vilka belastades till brott utan föregående återhämtning.

Parallellt testades också tryckhållfastheten, draghållfastheten, böjdraghållfastheten, volymvikt, fukthalt och E-modulen enligt standardmetoder.

Resultat

Följande fyra konklusioner av försöken har författarna själva dragit:

En bedömning av krypningens storlek utifrån prov med helrent virke ger värden på osäkra sidan. Avvikelsen är markant i hela försöksmaterialet.

Krypningen har ett snabbare förlopp hos konstruktionsvirket ($b_{stor} > b_{liten}$) även om den relativa krympningen (ϕ_c) inte blir större än hos det helrena virket förrän efter en viss tid ($A_{stor} < A_{liten}$). Betydelsen av konstanterna A och b klargöres under teoretisk bakgrund.

Krypningen är större hos fur än hos gran i respektive klimat. Krypningen sker dock ungefär lika fort.

Krypningen är större i klimatet med den högre relativa fuktigheten.

Som exempel på uppmätta resultat visas i FIG 2 kryptalet ϕ_c som funktion av tiden i dubbellogaritmiskt koordinatsystem för stor och liten provkropp av fur i 65° RH. Exemplet är taget från långtidsförsöket (mätning under 32 dygn).

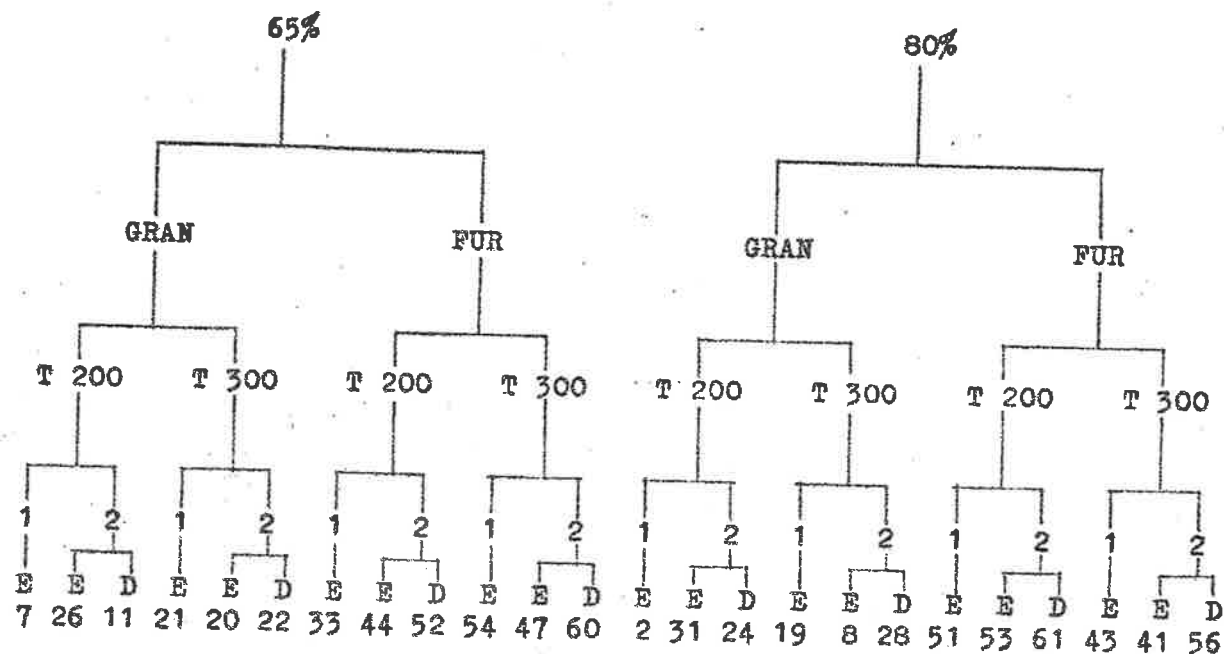
Rel.fuktighet

Träslag

Kvalitet

Spänningsnivå (σ_{till})

Tidpunkt för brott¹⁾
och provkroppsnummer



1) D=direkt efter krypförsök, E=efter återhämtning i 2 dygn

OBS! Varje provkroppsnummer representerar ett jämförande försök, dvs EN STOR OCH EN LITEN PROVKROPP

FIG 1 Försöksuppställning.

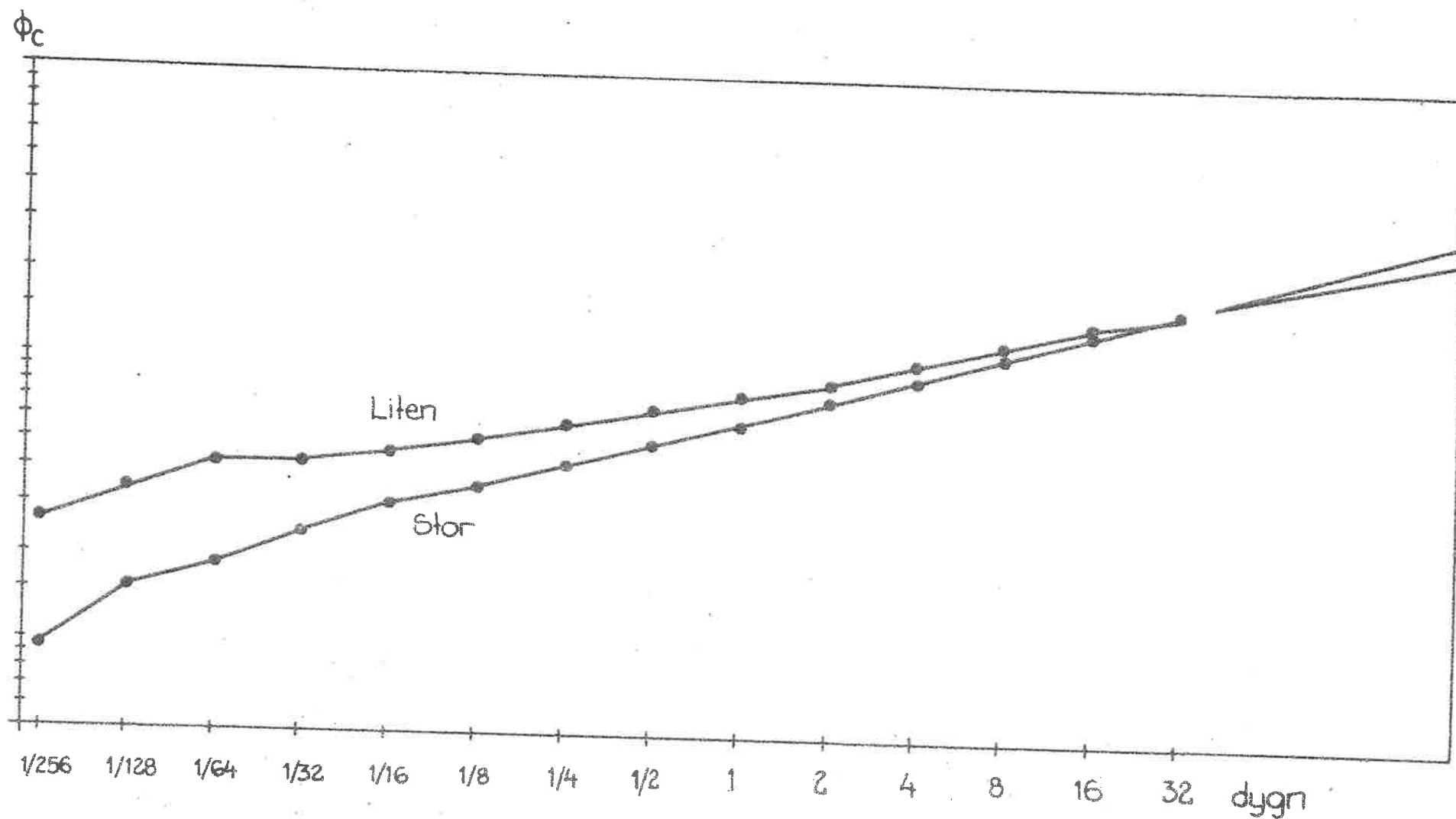


FIG 2 Kryptalet som funktion av tiden för stor resp. liten provkropp.
av fur vid 65% RF.

2.3 Krypförsök med trä under sorption

Examensarbetare: Crister Nilsson, Jan-Åke S Persson
 Handledare: Tekn lic Anders Nielsen
 Klart: Augusti 1970
 Referent: Civ ing Lars-Göran Mattisson

Målsättning

Avsikten med arbetet har varit att undersöka sorptionens inverkan på krypningen hos dels konstruktionsvirke och dels små provkroppar av helrent virke.

Teoretisk bakgrund

Genom litteraturstudier kunde författarna konstatera att krypning hos trä vid konstant klimat kan beskrivas med hjälp av en rät linje i dubbel logaritmiskt diagram, dvs krypfunktionen kan uttryckas på följande sätt

$$\phi_c = A \times t^b$$

där A och b är konstanter och t är tiden. ϕ_c är kryptalet, dvs krypningen i förhållande till initialdeformationen.

Om däremot krypningen sker under samtidig fuktkvotsförändring hos trä erhålles en betydligt större krypning än under konstanta förhållanden. I ett sådant fall får krypkurvan ett S-format förlopp i ett dubbello-
garitmiskt diagram med start- och slutände i princip tangerande kryp-
kurvan för konstant klimat.

Författarna har även påpekat att summan av deformationen p g a läng-
re tids belastning och p g a fuktkvotsförändring var för sig är väsent-
ligt mindre än deformationen p g a samtidig inverkan av fuktkvotsför-
ändring och belastning.

Variabler

Fyra olika parametrars inverkan på krypningen studerades. Parametrarna

hölls enbart på två olika nivåer enligt nedanstående:

Träslag	→ Fur och Gran
Träkvalitet	→ T200 och T300
Relativ luftfuktighet	→ 65 % → 80 % och 80 % → 65 %
Spänningsnivå	→ $1,0 \times \sigma_{till}$ och $2,0 \cdot \sigma_{till}$

(anm $\sigma_{till} = 100 \text{ kp/cm}^2$ för T300 och $\sigma_{till} = 80 \text{ kp/cm}^2$ för T200)

Krypförsöken utfördes på två små provkroppar av helrent virke för varje parameter-kombination medan endast en provkropp av konstruktionsvirke testades för varje kombination. Några försök med konstruktionsvirke av gran utfördes ej heller p g a den begränsade tid som stod till förfogande. För övrigt hänvisas till FIG 1, som åskådliggör försöks kombinationerna.

Försöksuppläggningsen

I ett appendix redovisar författarna en ursprunglig försöksplanering med renodlade dragförsök. P g a tidsmässiga och ekonomiska begränsningar tvingades man emellertid överge dessa planer och utföra experimenten som böjförsök.

Krypningen uppmättes som nedböjningen hos fyrapunktsbelastade balkar. Även den initiella nedböjningen vid belastningen uppmättes för att ställas i relation till krypningen, varigenom kryptalet ($\phi_c = \frac{\delta_c}{\delta_{e1}}$) kunde beräknas. De stora provkropparna var belastade under 18 dygn och de små under 10 dygn. Därefter gjordes avlastning och den momentana återhämtningen och återhämtningen efter 1 dygn uppmättes. Parallellt med nedböjningsmätningarna mättes också provkropparnas fuktkvoter. För de små provkropparna befanns sorptionen vara avslutad efter 8 dygn och provkropparna hade inställt sig på den för klimatet aktuella fuktjämnvikten.

Volymvikt, fukthalt och elasticitetsmodulen bestämdes också.

Resultat

Ur författarnas diskussion av försöksresultaten har följande konklusioner

sioner hämtas:

Eftersom försöksresultaten visar stor spridning, bör den svaga tendensen att kryptalet vid sorption skulle öka med spänningen inte tas för allvarligt. Man kan utan något större fel räkna med kryptalet som spänningsoberoende även vid sorption.

Antagandet om S-format förlopp för kryptalet, som funktion av tiden i log-log-diagram kan anses styrkt. Figur 2 visar medelvärdeskurvorna för kryptalet som funktion av tiden i ett log-log-diagram för fur. Fuktkvotsförändringen hos provkropparna är även medtagen.

Gran uppvisar mindre krypning till en början, men tendensen är sedan att gran påverkas kraftigare av sorptionen än fur. Slutvärdet tycks därför vara av samma storleksordning.

I FIG 3 har krypningen under sorption jämförts med krypningen under konstant klimat. De senare kurvorna är hämtade ur ett tidigare examensarbete av Althar-Cederberg och Danielsson. (Se föregående examensarbete.) Här framkommer tydligt den väsentligt större krypningen som erhålles under sorption i förhållande till konstant klimat.

Kryphastigheten visade sig vara mycket känslig för förändringar i fuktkvoten hos materialet.

Jämförelse mellan elasticitetsmodulen vid pålastning och avlastning visade inte någon förändring av denna under sorptionsförloppet.

Försöken visar att det hänsynstagande till formförändring av ständig last, som anges i Svensk Byggnorm 67, inte kan anses tillräckligt.

SCHEMA ÖVER BÖJFÖRSÖK

SMÅ PROVKROPPAR 20×20×440 mm

Träslag	FUR								GRAN																							
Kvalitet	T 300				T 200				T 300				T 200																			
Klimat	65→80%		80→65%		65→80%		80→65%		65→80%		80→65%		65→80%		80→65%																	
Spänning	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$																
Provkr. nr.	39a	58a	50a	39b	49a	64a	49b	63a	59a	36a	59b	40a	48a	38b	35b	23a	32a	6a	13a	9a	4a	4b	25a	12a	29a	12b	14a	17a	16a	17b	30a	
Omgång	2	4	2	1	4	3	1	2	4	1	2	4	1	3	3	2	3	3	3	4	4	2	2	1	1	3	2	1	4	4	3	1

STORA PROVKROPPAR 2"×4"×3,2 m

Träslag	FUR							
Kvalitet	T 300				T 200			
Klimat	65→80%		80→65%		65→80%		80→65%	
Spänning	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$	σ_{till}	$2 \times \sigma_{till}$
Provkr. nr.	50	39	49	63	59	36	48	35
Omgång	2	3	2	3	3	2	3	2

EXTRA PROVKROPPAR (STORA)

- 58. Fur. T 300. 65%→80% r.f. 0,8· σ_{till} .
- 40. " . T 200. " " 1,25· σ_{till} .
- 64. " . T 300. 80%→65% r.f. 0,8· σ_{till} .
- 38. " . T 200. " " 1,25· σ_{till} .

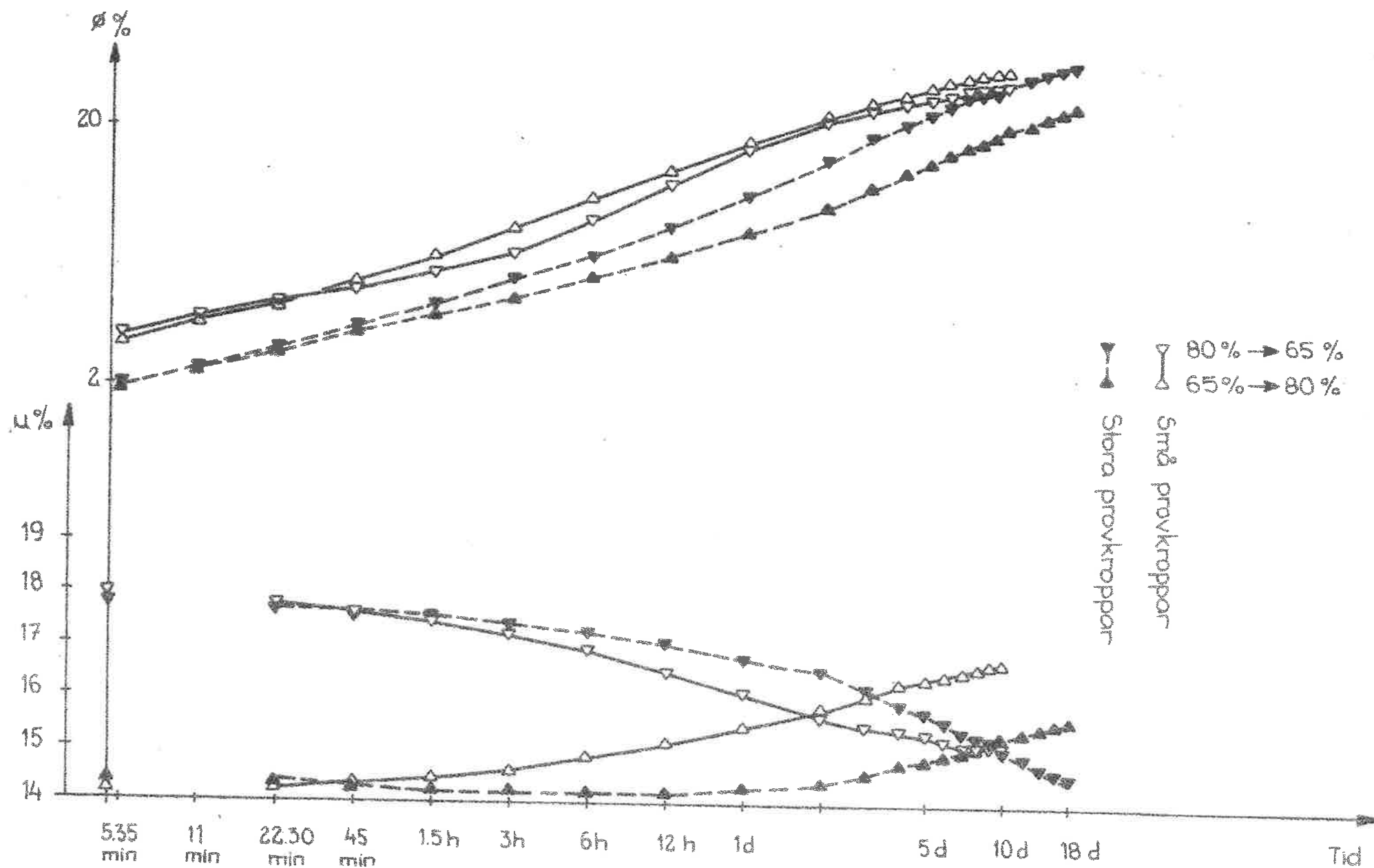


FIG 2 Kryptalet och fuktkvoten som funktion av tiden för stor resp. liten provkropp av fur vid sorption.

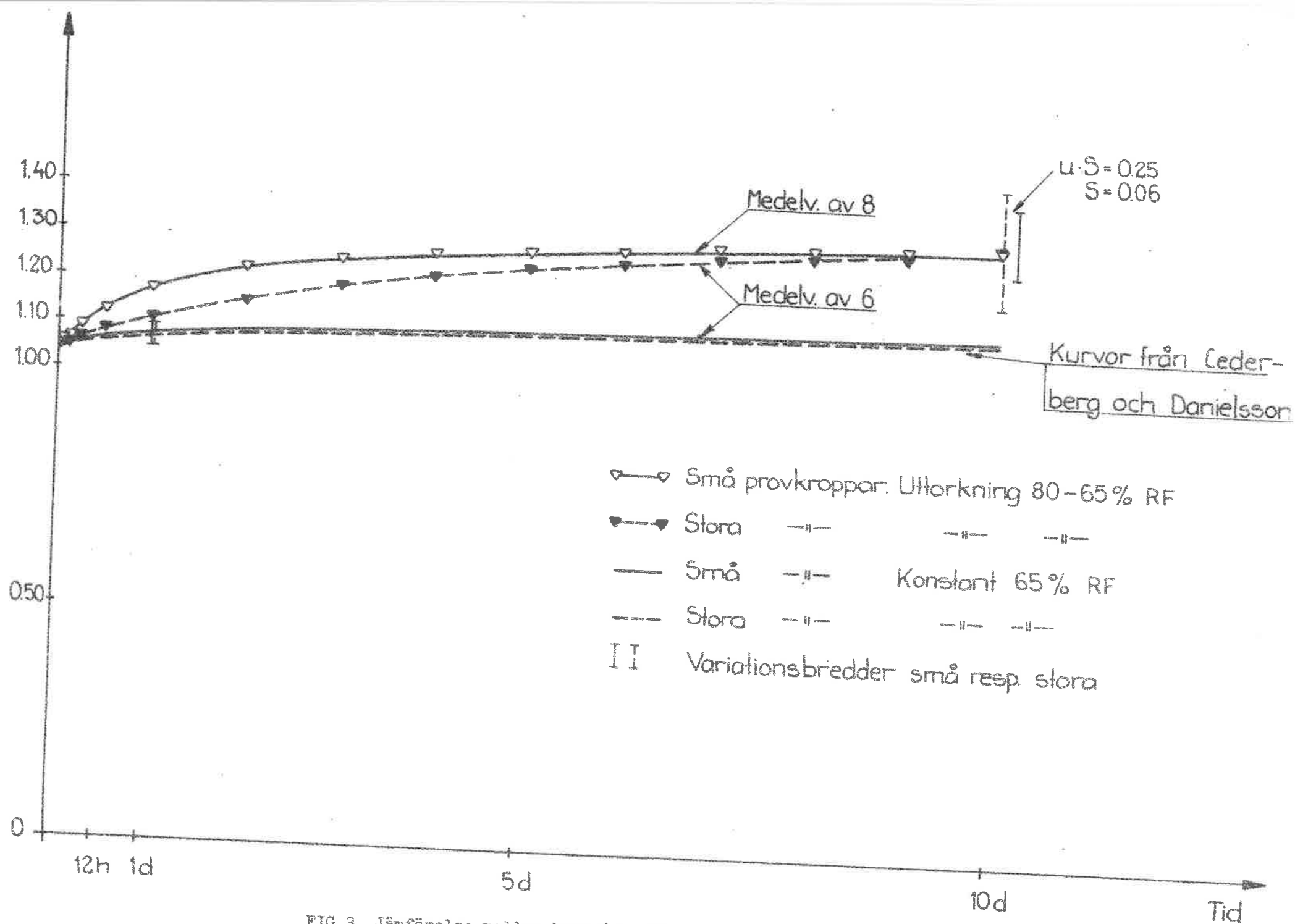


FIG 3 Jämförelse mellan krypning vid sorption och vid konstant klimat för fur.

2.4 Träs krypning vid konstant klimat

Examensarbetare: Kjell-Åke Wallin
 Handedare: Tekn lic Anders Nielsen
 Klart: September 1971
 Referent: Bengt Toolanen

Målsättningen med detta arbete har varit att genom litteraturstudier och bearbetning av krypundersökningar på trä undersöka träs krypning som funktion av tid, temperatur, fukthalt och belastningsintensitet. Därvid försöker man få fram representativa värden på dessa faktorerers inflytande på kryptalet vid böjbelastning. Detta är givetvis en värdefull kunskap vid bedömning av träs deformationer

Krypningen hos trä bestäms allmänt av växtfaktorer, klimatfaktorer och belastningsfaktorer. De två sistnämnda kan betecknas som påverkbara faktorer och denna studie berör således dessa faktorerers inverkan.

Vid krypning kan man särskilja olika deformationstyper, nämligen grundkrypning (utanfuktutbyte med omgivningen), sorptionskrypning (vid fuktutbyte med omgivningen), fria fuktbetingade rörelser (krympning och svällning) och förhindrade sådana (krypning p g a hindrade svällnings- och krympningsrörelser).

I detta arbete har krypning vid konstant klimat studerats. Därvid har författaren studerat litteratur över undersökningar som är gjorda på området och därefter med hjälp av ur dessa framtagna data konstruerat diagram över krypningen hos trä. I arbetet ges en översikt över litteratur och försöksbetingelser vid de olika studerade fallen.

Krypningen hos trä kan ofta beskrivas matematiskt med formeln:

$$\phi = A \cdot t^N$$

där kryptalet $\phi = \frac{\delta_c}{\delta_0} = \frac{\text{krypnedböjn}}{\text{initialnedböjn}}$

A = konstant

t = tiden

N = konstant

Denna ekv form representeras i ett log-log diagram av en rät linje. Detta underlättar utvärderingen och sammanställningen av data.

I detta arbete har som referenskurva för krypningens tidsberoende valts kurvan under de yttre betingelserna

- temperatur $T = 20^{\circ}\text{C}$
- fukthalten $u = 14\%$ eller motsv r. f = 65 %
- spänningsnivån $\frac{\sigma}{\sigma_B} = 55\%$ ($\sigma_B = \text{brottlast}$)

Därefter har författaren härlett korr.diagram för inverkan av andra värden på dessa påverkbara faktorer genom sammanställning av försök gjorda vid varierande värden på dessa.

Med hjälp av referenskurvan och korr.diagrammen kan man bedöma krypningens storlek vid olika yttre betingelser. Krypningen kan således beskrivas enligt följande formel,

$$\phi = \phi_{\text{ref}} \cdot a \cdot b \cdot c \quad \text{där}$$

$$\phi_{\text{ref}} = \text{krypningen ur ref.kurvan}$$

$$a, b, c = \text{korr.faktorer ur korr.diagram.}$$

Det referensdiagram och de korr.diagram författaren utarbetat framgår av FIG 1-- 4.

I FIG 1 visas referenskurvan och spridningsområdet för denna. Referenskurvan kan matematiskt beskrivas med formeln

$$\phi_{\text{ref}} = 0.022 \cdot t^{0.33} \quad (t = \text{tiden i timmar})$$

Figur 2 visar ett korr.diagram för temperaturens inverkan på krypningen. Därav kan man observera en starkt ökad krypning vid en ökad temperatur.

Figur 3 visar inverkan av aktuell spänningsnivå (% av brottvärdet). Korr.faktorn ökar därvid snabbt vid spänningsnivåer överstigande ca 40 % av brottlasten.

Figur 4 visar korr.katordigram för inverkan av olika fukttillstånd. Vid ökade fukthalter får man ökade krypdeformationer.

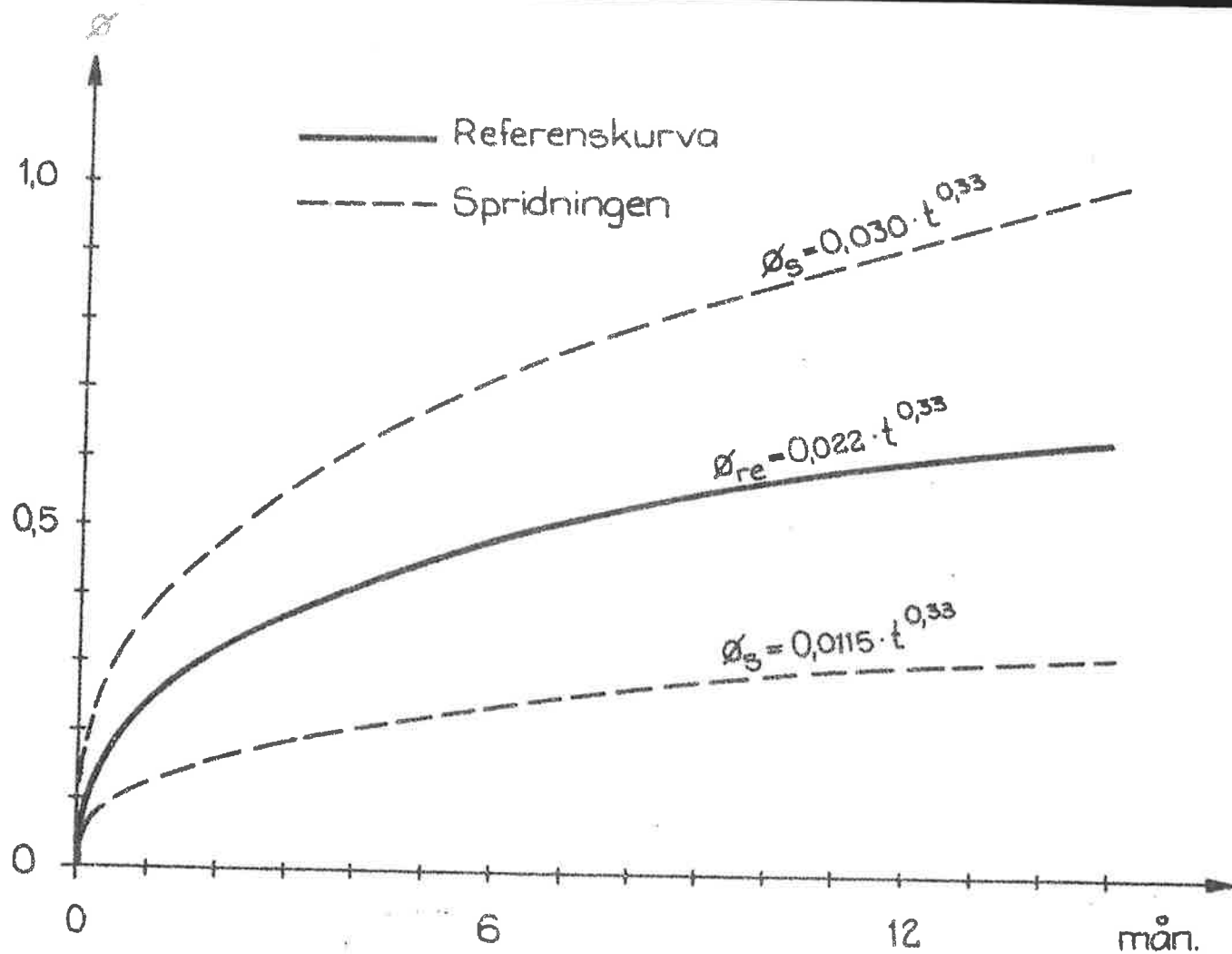


FIG 1 Referenskurva.

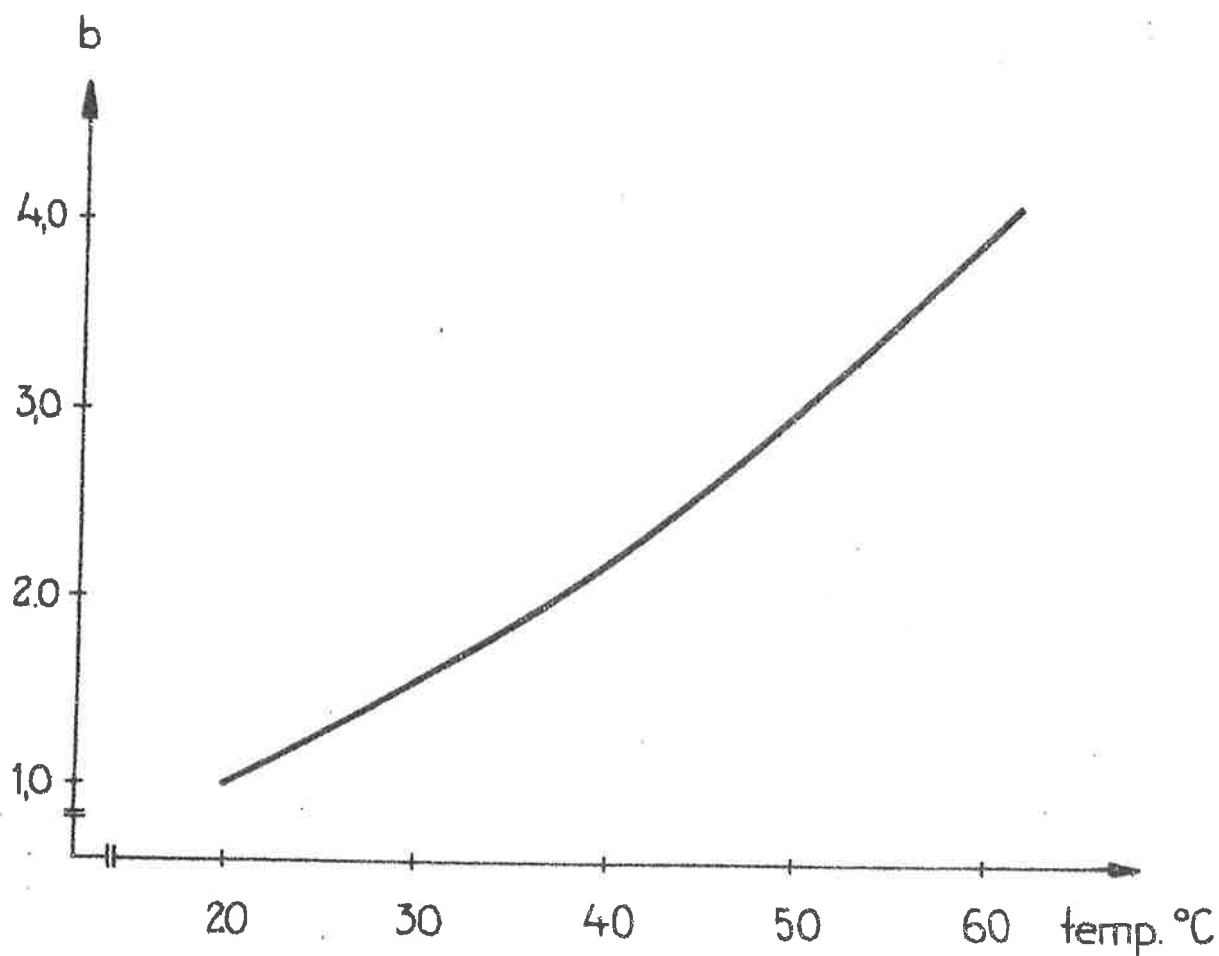


FIG 2 Korr.diagram för temp.

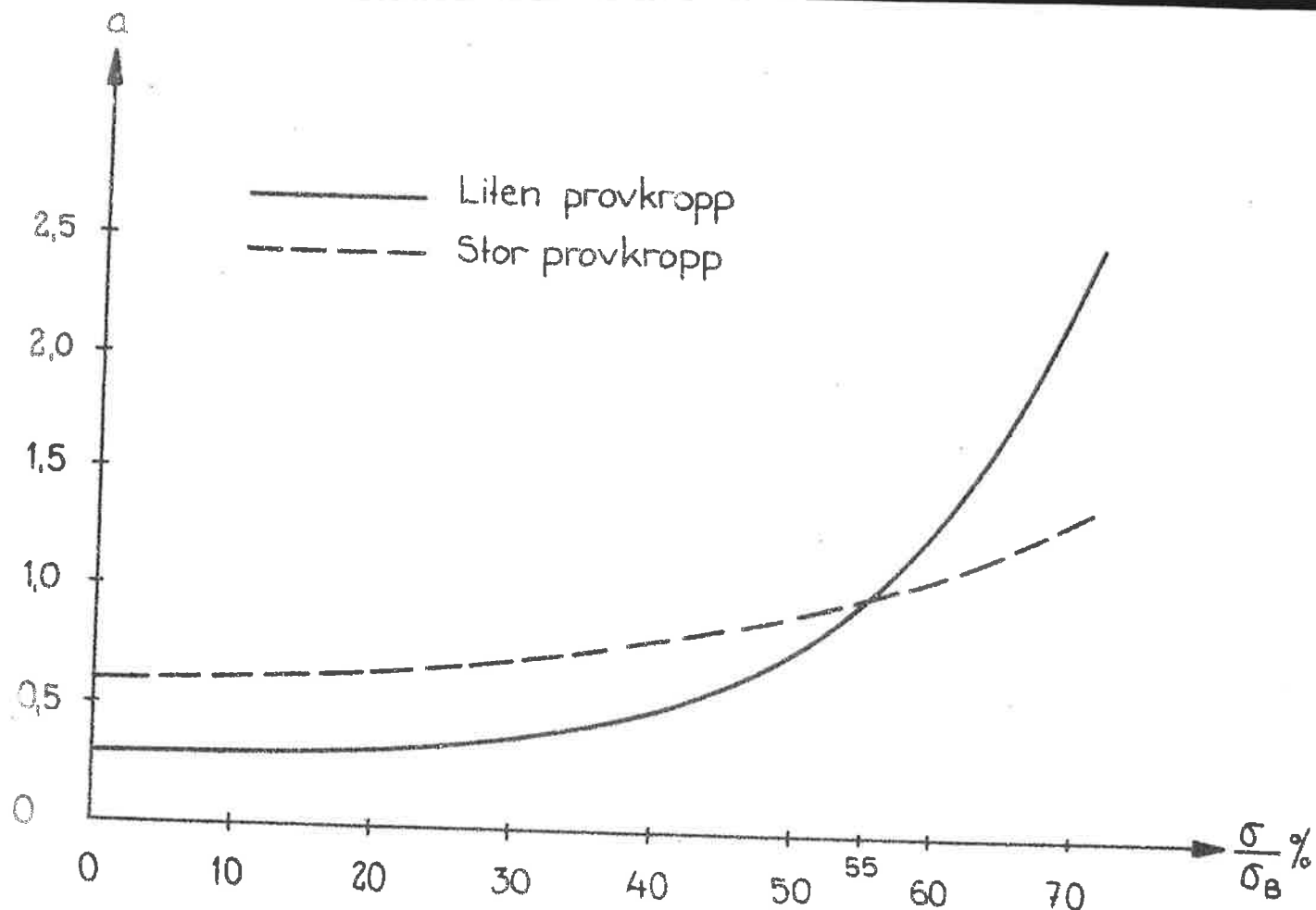


FIG 3 Korr.diagram för spänningsnivå.

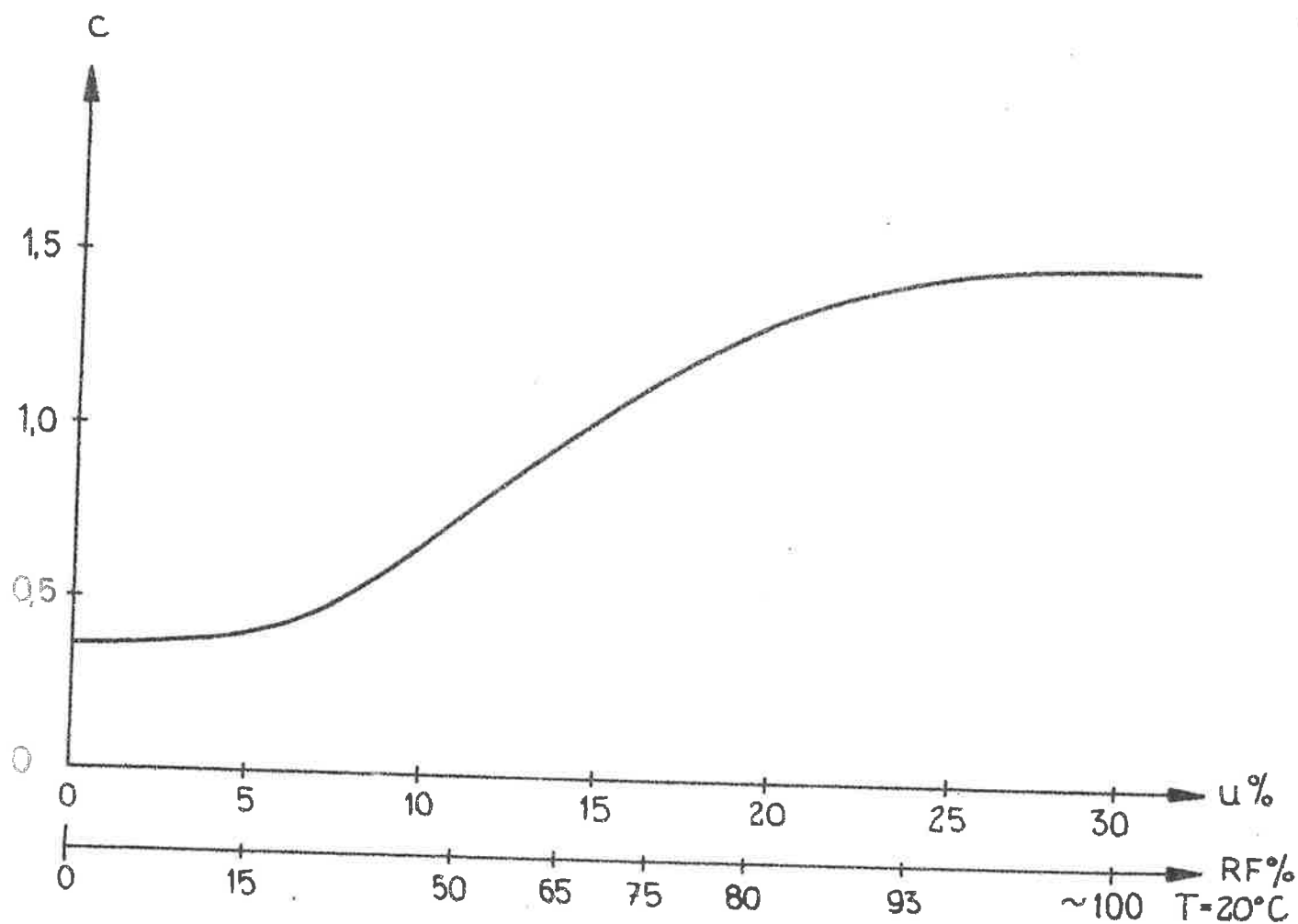


FIG 4 Korr.diagram för fukthalt.

2.5 Krypning hos plastbetong

Examensarbetare: Hans Hedin, Carl Henning Strand
Handledare: Tekn lic Anders Nielsen
Klart: September 1971
Referent: Per Gunnar Burström

Med plastbetong avses ett material som i likhet med cementbetong består av kornstorleksgraderad ballast, sammanhållen av ett lim-, som i detta fall består av en härdplast.

För att kunna använda plastbetong i bärande konstruktioner måste man bl a känna krypningsegenskaperna hos materialet. Avsikten med detta examensarbete har varit att utröna något om plastbetongs krypning, dess storlek och vilka faktorer som kan påverka den.

Litteraturstudie

Arbetet inleddes med en relativt omfattande litteraturstudie om plastbetong i allmänhet. Några särskilda undersökningar om krypningen har man ej funnit utan endast några krypkurvor "mer i förbifarten". Dessa redovisas. Gemensamt för dessa är en mycket stor krypning den första tiden, men den avtar markant efter ungefär 7 dygn.

Mängden fina partiklar, filler i ballasten har betydelse för att hålla plasten jämt fördelad i kroppen. En hög plastinblandning kräver sålunda en större andel filler än en låg.

Beträffande bindemedlets inflytande på plastbetongens egenskaper kan olika plaster ha vitt skilda egenskaper. För en och samma plast, t ex en viss polyester, spelar tillsatt typ och mängd av härdare, accelerator och eventuellt en monomer en stor roll för plastens och därmed för plastbetongens egenskaper.

Försöksuppläggning

För genomförandet av krypförsöken valde man att arbeta med renodlade tryckförsök. Provkroppsstorleken valdes till 40x40x160 mm.

Följande faktorer varierades i undersökningen: Plast-sort, plasthalt, ballastens kornfördelning och fillerhalt.

Då det i litteraturen till övervägande del skrivits om polyester- och epoxibetong valde man att arbeta med några olika fabrikat och typer av polyester och epoxi.

De plasthalter som provades var 8 och 10 vikt-% av hela massan.

Två olika siktkurvor vid samma fillerhalt undersöktes.

Andelen filler varierades så, att förhållandet plasthalt/fillerhalt antog tre värden: 2:1, 1:1 och 1:1,5.

För att utröna om krypningen är beroende av spänningen undersöktes krypningen vid tre olika spänningsnivåer, nämligen 20, 35 och 50 % av brottlasten.

Provtagningar

De egenskaper som undersökts hos plastbetongerna är: Böjdraghållfastheten, tryckhållfastheten, E-modul (dynamisk och statisk), skrymdensiteten.

Resultat

Nedanstående tabeller visar erhållna medelvärden för hållfastheten, E-modulen och skrymdensiteten för polyester- resp epoxibetong.

Polyesterbetong

Plasthalt vikts-%	γ kg/dm ³	Dynamisk E-modul kp/cm ²	Böjdrag hållfasth. kp/cm ²	Tryckhåll- fasthet kp/cm ²
8	2.30	400.000	250	1200
10	2.30	370.000	250	1250

Epoxibetong

Plasthalt vikts-%	γ kg/dm ³	Dynamisk E-modul kp/cm ²	Böjdrag hållfasth. kp/cm ²	Tryckhåll- fasthet kp/cm ²
8	2.30	385.000	265	850
10	2.29	360.000	265	850

Man kan där särskilt notera den höga böjdraghållfastheten.

De i undersökningen valda variationerna i plasthalt och typ av siktkurva spelar ej någon nämnvärd roll för de i tabellen ingående egenskaperna enligt vad undersökningen visat.

Vidare kan man ej sluta sig till att vare sig plasthalten, siktkurvan eller fillerhalten har någon utpräglad inverkan på plastbetongens töjnings- och krypningsegenskaper.

Krypningen för polyesterbetongen är stor till en början, men redan efter någon vecka avtar krypningen markant. Kryptalet är ≈ 1 redan efter 8 timmar, att jämföra med cementbetong som har kryptal 1 à 2 efter 1 år. Som nämnts avtar krypningen markant med tiden (FIG 1). Ett krypförsök upp till 8 dygn har extrapolerats till ett år och detta ger ett kryptal på ca 3.

Den expoxi som provats kröp till brott efter 1-2 dygn för en last motsvarande 35 % av brottlasten (FIG 2). Huruvida krypbrott även inträder vid en last motsvarande 20 % av brottlasten har inte klarlagts.

Undersökningen tyder alltså på att plastsorten, t ex polyester eller epoxi är den utslagsgivande faktorn för hur plastbetongens krypegenskaper ter sig.

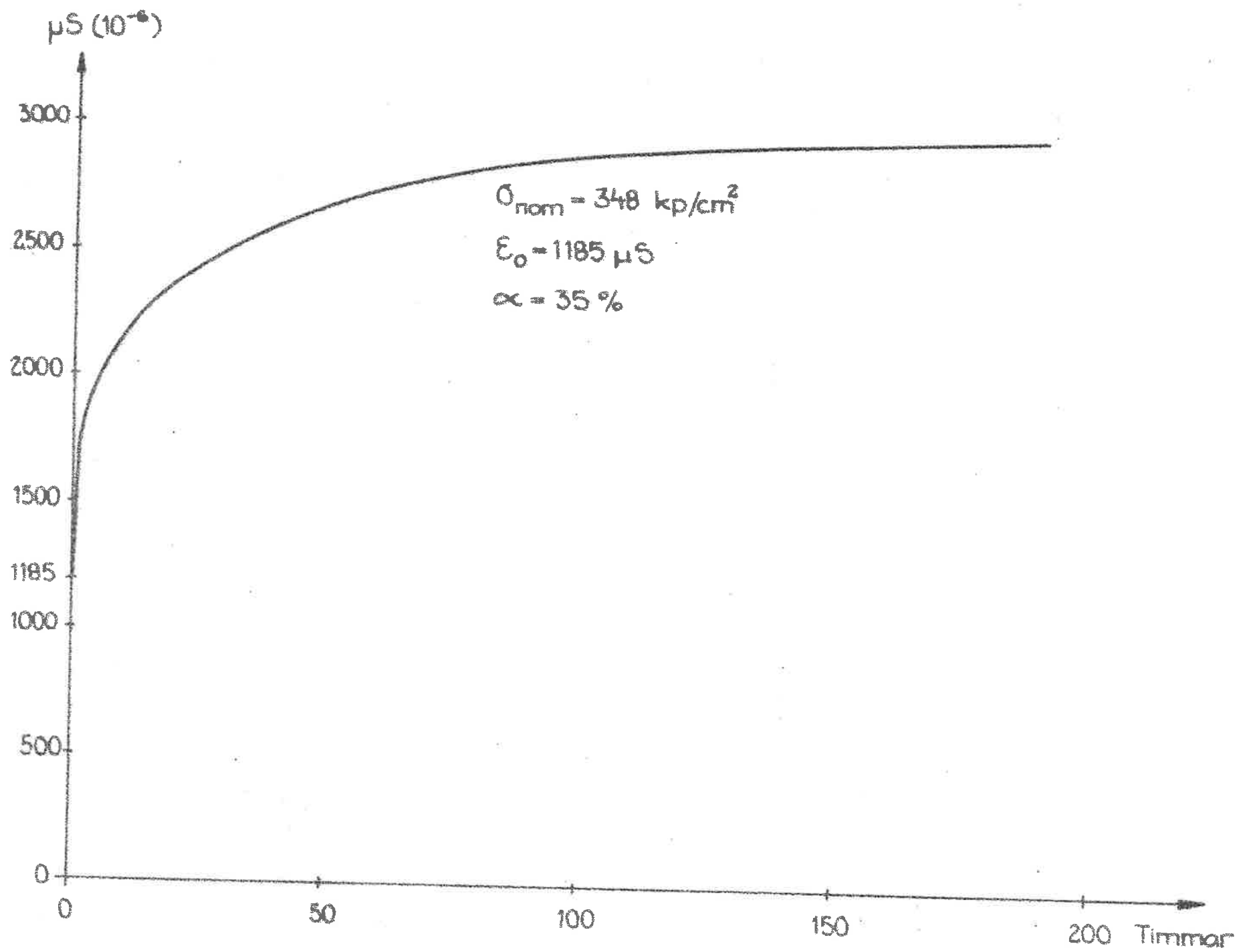


FIG 1 Totaldeformation för polyesterbetong.

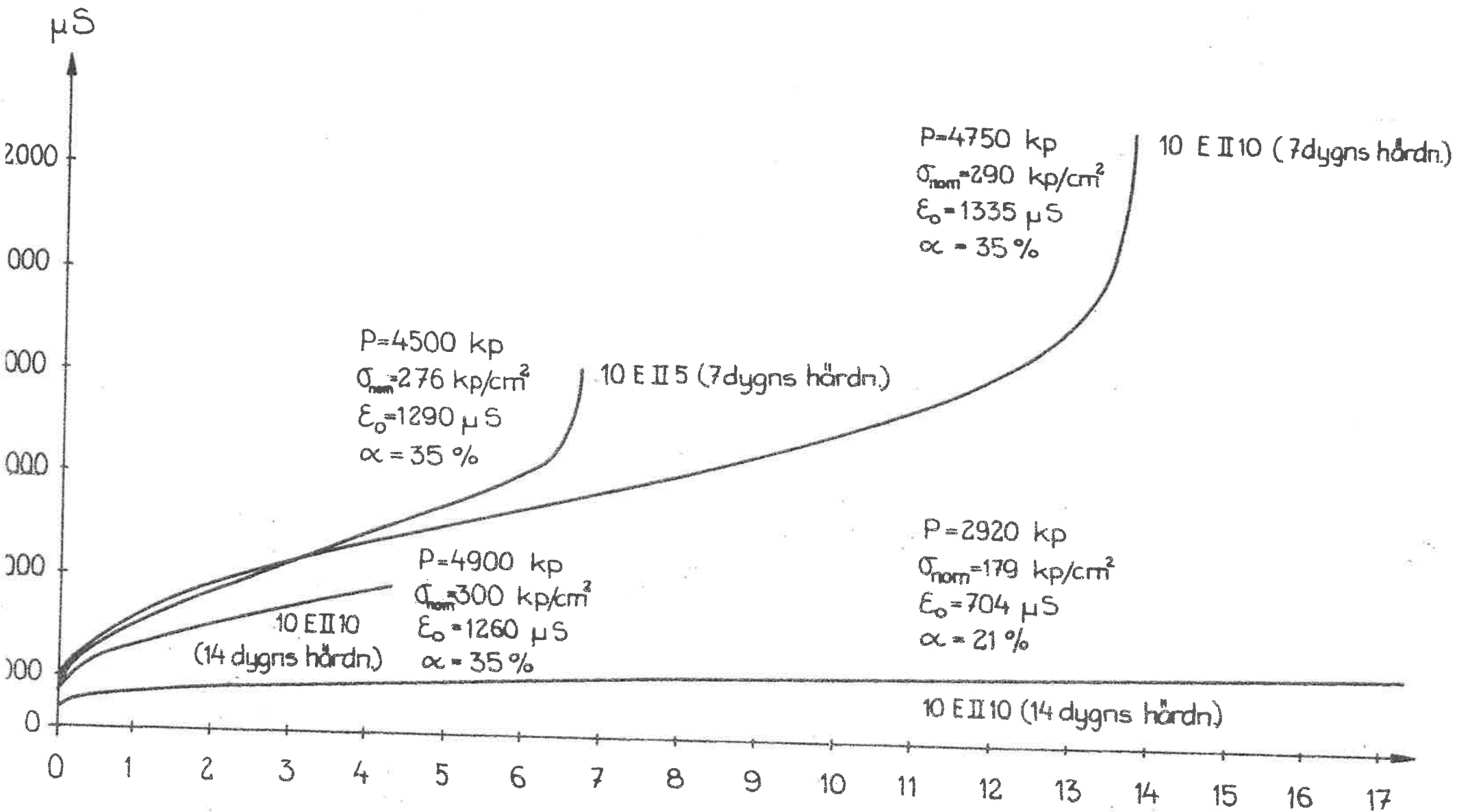


FIG 2 Totaldeformation (ϵ_{tot}) för epoxibetong.

2.6 Spricköverbyggande skikt

Examensarbetare: Anita Hartwig
 Handledare: Sven G Bergström, Per-Olof Mattsson
 Klart: Maj 1971
 Referent: Per-Olof Mattsson

Med spricköverbyggande skikt avses här sådana ytbeklädnader som genom vidhäftning är fästade mot underlag med rörelsefog eller spricka och där ytbeklädnaden vid underlagets rörelse utsätts för en koncentrerad dragspänning då fogen eller sprickan öppnar sig. Exempel på spricköverbyggande skikt är plastskikt som används för att tätta betongkonstruktioner t ex cisterner mot gaser och vätskor samt golv-, tak- och väggmaterial som helklistras mot ett underlag vars rörelser är koncentrerade till enstaka fogar eller sprickor.

En inledande undersökning över verkningssättet hos några golvmaterial använda som spricköverbyggande skikt har utförts som examensarbete vid BML LTH.

Verkningssättet hos den spricköverbyggande beklädnaden då sprickan rör sig beror av egenskaperna hos tätskiktet, bindeskiktet (limmet) och underlaget. När sprickan öppnar sig uppstår skjuvspänningar i limskiktet mellan golvmaterial och underlag, dragspänningar i golvmaterial och lokala dragspänningar i underlaget i närheten av sprickan. Tre olika typer av brott kan nu inträffa, nämligen

- a) Brott sker i limfogen lokalt på sträckan a. Detta är den vanligaste brottypen.
- b) Golvmaterialiet brister.
- c) Lokalt skjuvbrott uppstår i underlaget .

Typ av brott eller brottkombination beror av de olika materialens egenskaper samt av aktuella belastningsförhållanden, men för golvmaterial torde brottyp a vara dominerande och är den enda som inträffat under de prov som utförts i examensarbetet.

TABELL 1

Golvmaterial

1. Vinylmatta med skumplastundersida 2,5 mm
2. Vinylmatta 2 mm
3. Linoleum på juteväv 2,5 mm
4. Tryckt pappmatta (feltbase) 1,5 mm

Lim

1. Neoprengummilim Casco kontaktlim 3835
2. Akrylbaserat dispersionslim Casco Häftlin 3445
3. Akryldispersionslim Casco Cascoryl 3340

Underlagsmaterial

1. Internit 5 mm
2. Board 5 mm

Kombinationer

golv - lim - underlag

- | | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | - | 2 | - | 1 |
| 1 | - | 2 | - | 2 |
| 2 | - | 3 | - | 1 |
| 2 | - | 3 | - | 2 |
| 3 | - | 1 | - | 2 |
| 4 | - | 1 | - | 1 |

De material och materialkombinationer som använts i försöken framgår av TAB 1. I rapporten redovisas framtagna arbetslinjer för golvmaterial och underlagsmaterial. Limmen har karakteriserats genom följande prov.

5 cm breda strimlor av underlagsmaterialet har limmats ihop på en viss

längd och sedan dragits till brott. Förbandets skjuvhållfasthet som funktion av längden har bestämts. Som exempel visas i FIG 1 och 2 dessa samband för lim av typ 2 och 3. Limtyp 2 har stor deformation före brott, vilket gör att skjuvspänningarna kan fördelas någorlunda jämnt över hela limförbandet och skjuvhållfastheten blir därför oberoende av förbandets längd. Limtyp 3 är styvare än typ 2 och ger vid dragning brottavvisande spänningskoncentrationer i limförbandets ändar. Limförbandets mittparti kan alltså ej utnyttjas fullständigt, varför skjuvhållfastheten för förbandet kommer att minska med ökande längd enligt FIG 2.

Huvudförsöken har utförts på provkroppar som efterliknar ena halvan av en golvkonstruktion med spricka eller fog i underlaget, se FIG 3. Töjningen hos golvmattan samt vidhäftningsbrottets längd a har mätts då spricköppning har simulerats genom dragning i golvmattan. På två av kombinationerna, nämligen 1-2-2 och 2-3-1 har töjningsförloppet hos golvmattan studerats med hjälp av fotografering med täta intervaller.

Vid dragning i provkropparna erhöles en jämn töjning av den del av mattan som inte var limmad samt en avtagande töjning i den limmade delen, där dragkraften överfördes till underlaget genom skjuvkraften i limmet. Skjuvtöjningen av limskiktet närmast fogen kunde uppgå till ca 1 mm innan vidhäftningsbrott uppstod. Brottstäckan a ökade snabbt vid ökad töjning av golvskiktet. Dock ökades inte lasten nämvärt, utom i vissa fall då limfogen trots skjuvbrott försvårade glidning genom adhesion och friktion. Exempel på vidhäftningsbrottets utbredning med ökad sprickbredd visas i FIG 4 för kombinationerna 1-2-2 och 2-3-1.

Examensarbetet ger en introduktion till problemställningen spricköverbyggande skikt av plastiskt material och anvisar möjligheter att ta fram sådana materialkonstanter att deformations- och brottegenskaperna hos konstruktionen kan förutbestämmas.

Skjuvhållfasthet
 τ (kp/cm²)

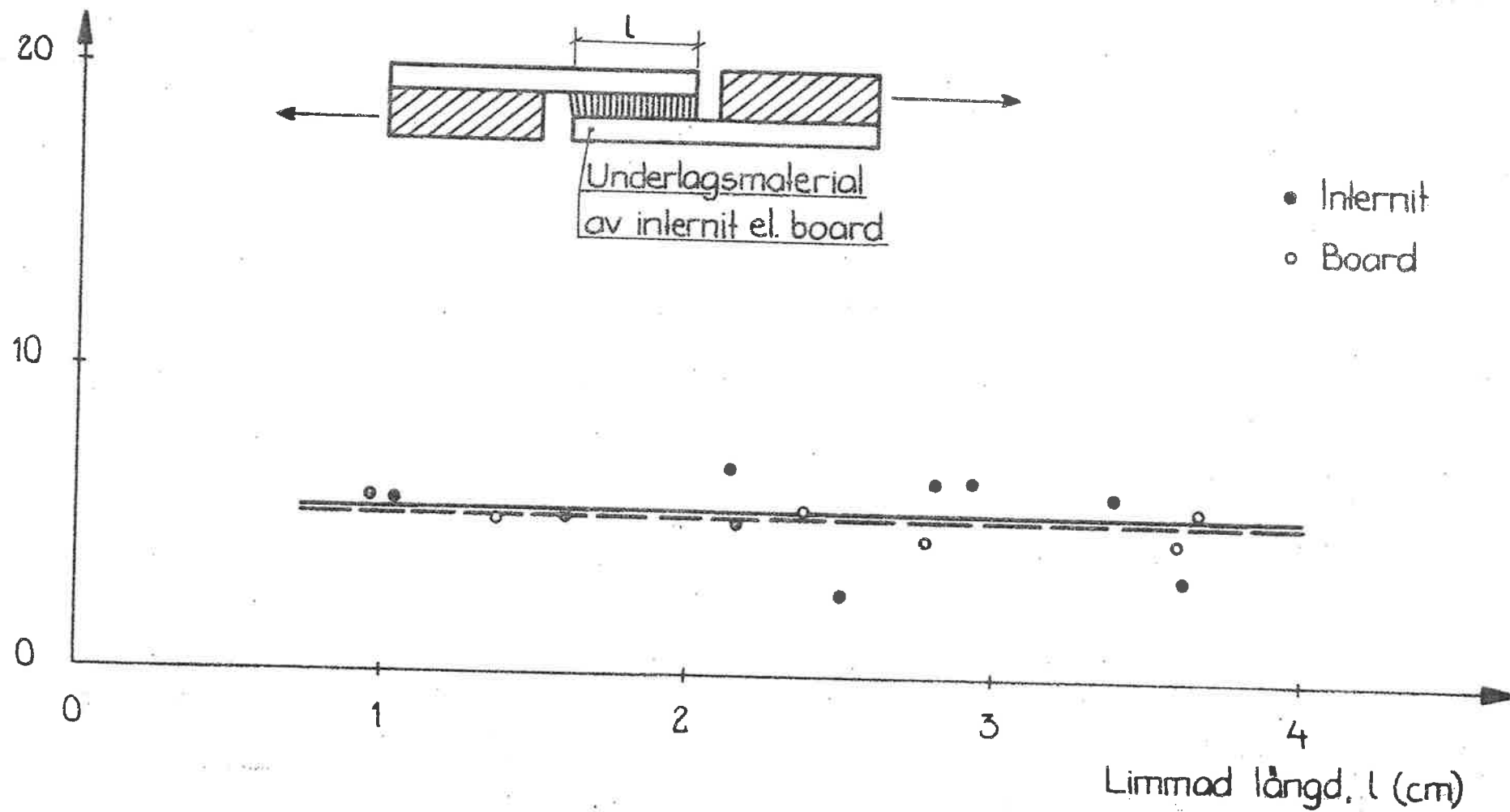


FIG 1 Skjuvhållfasthet för limtyp 2 (häftlim) som funktion av limförbandets längd.

Skjuvhållfasthet
 τ (kp/cm²)

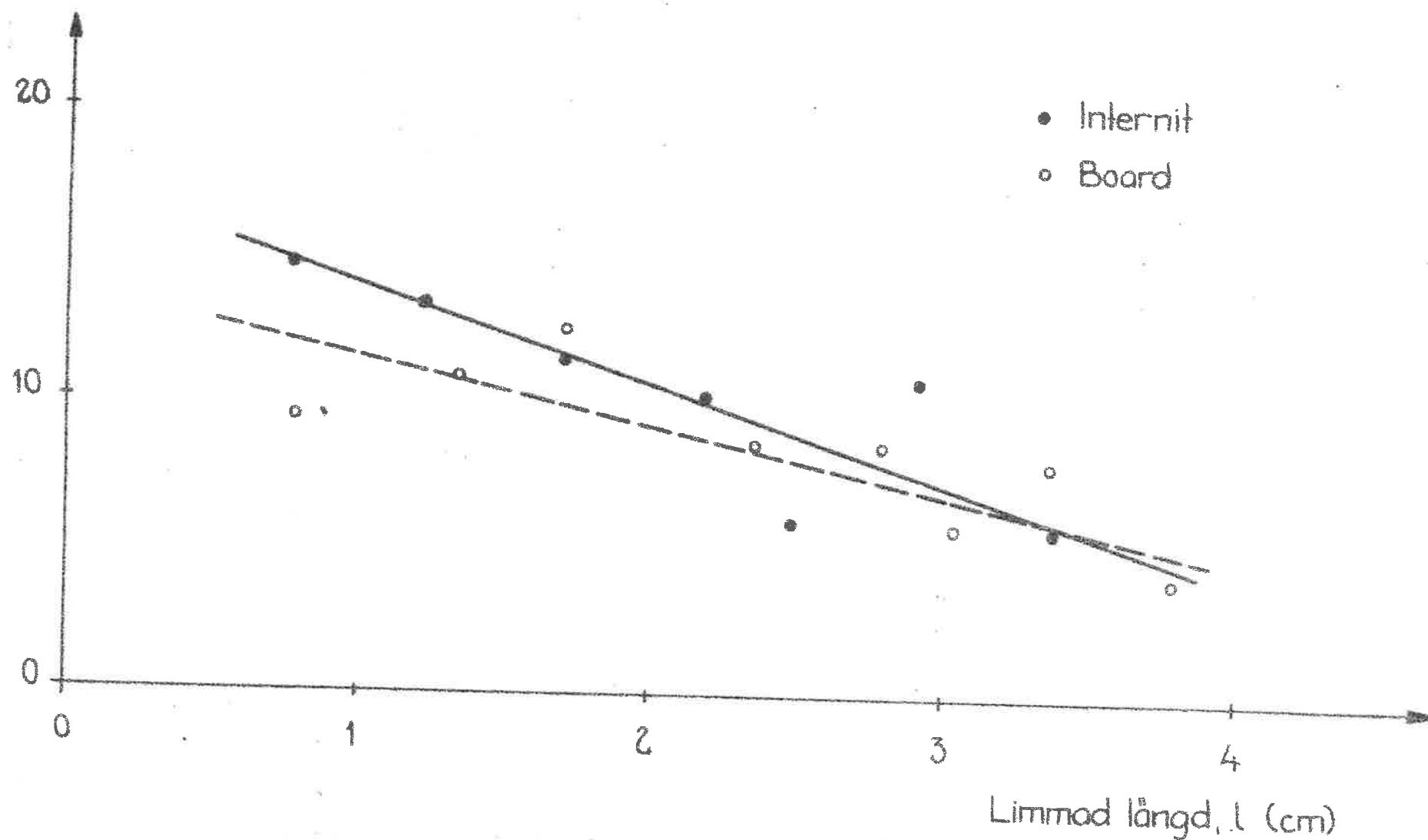


FIG 2 Skjuvhållfasthet för limtyp 3 (Cascoryl) som funktion av limförbandets längd.

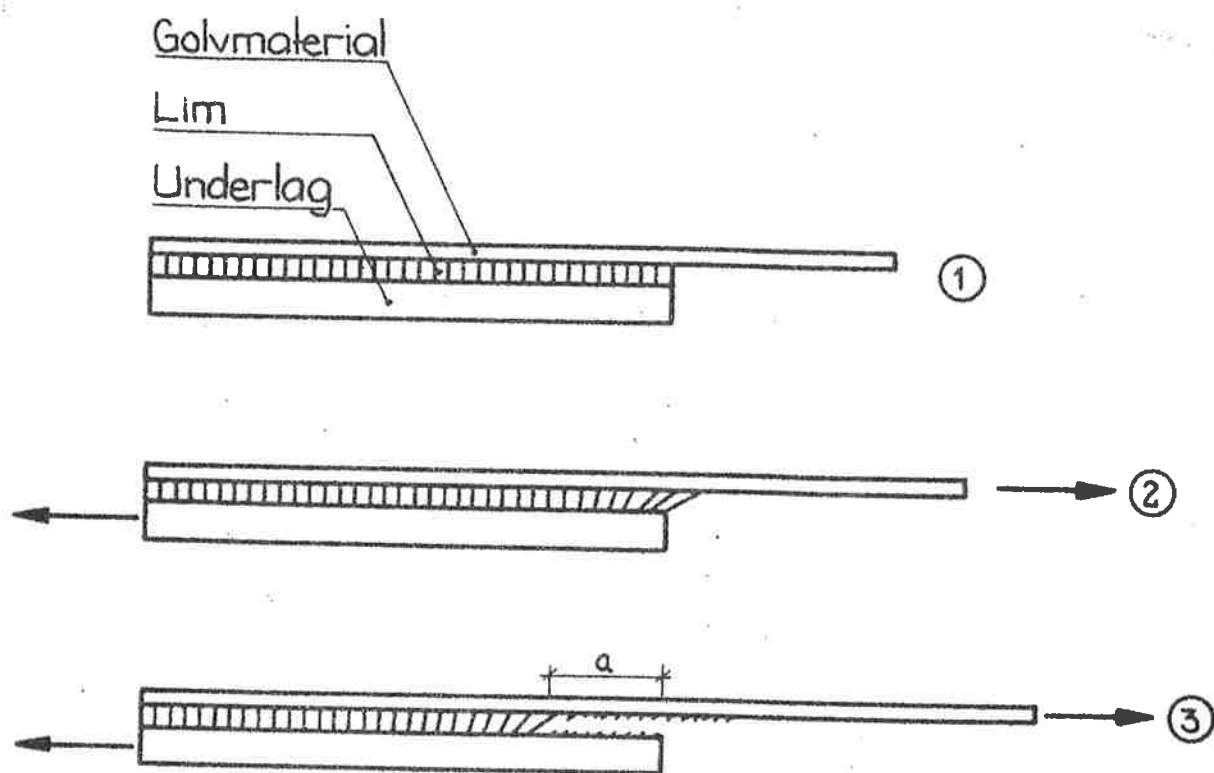


FIG 3 Uppbyggnad av provkroppar för huvudförsök samt beteende vid deformation.

- ① Före deformation
- ② Deformationsbild då vidhäftningsbrott inleds.
- ③ Deformationsbild då vidhäftningsbrott skett på sträckan a .

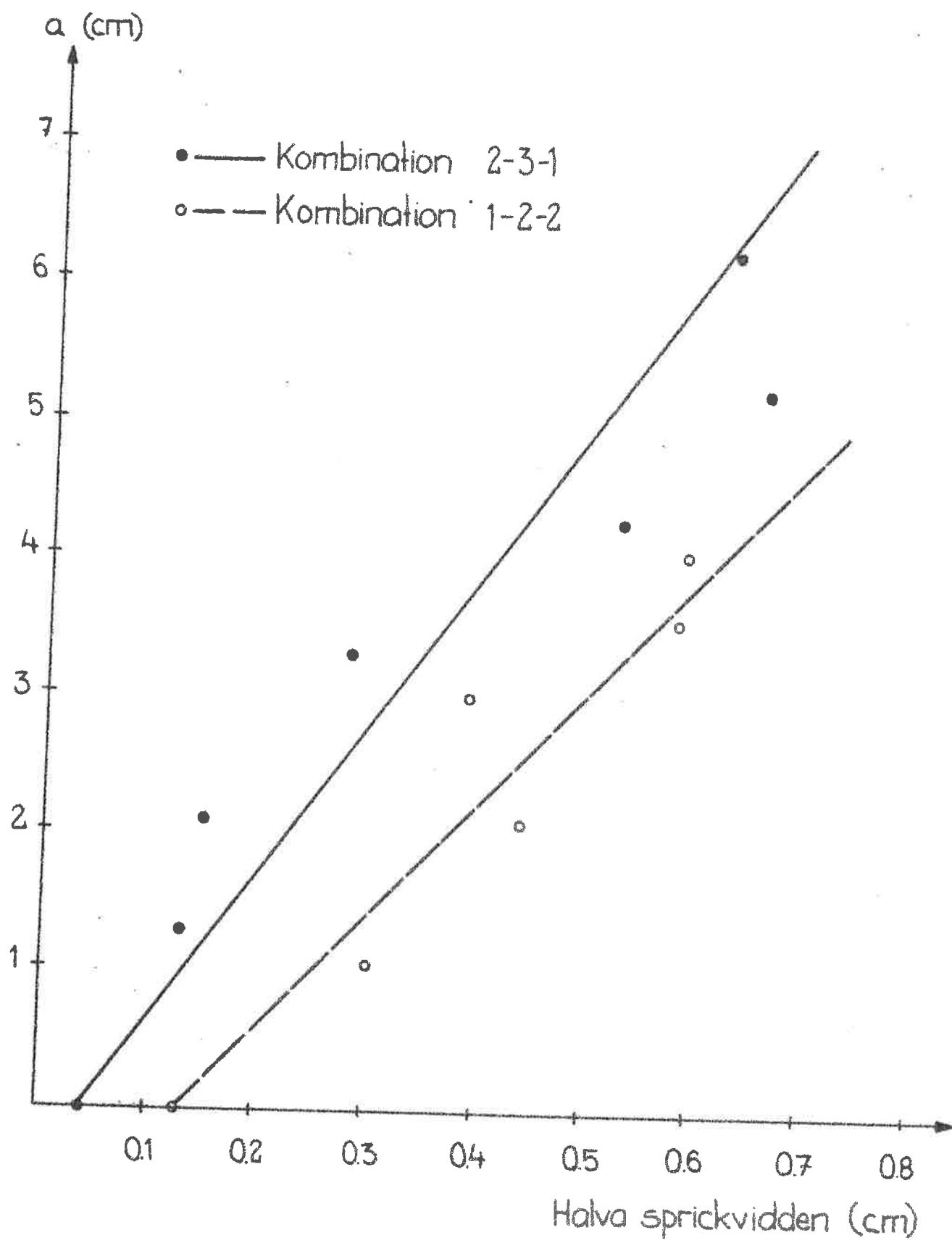


FIG 4. Vidhäftningsbrottets längd som funktion av halva sprickvidden.

2.4 Felkällor vid handhavande

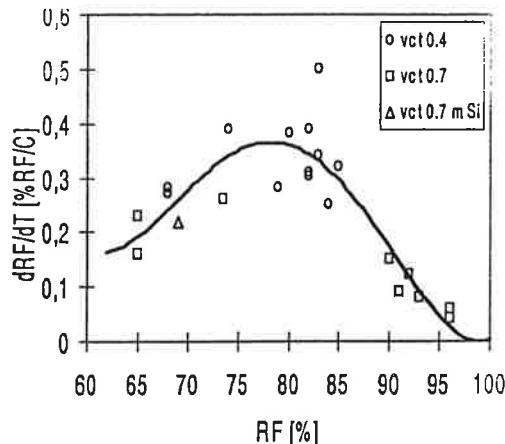
k) Mättemperaturen annan än kalibreringstemperaturen

Temperaturnivån vid mätning och kalibrering påverkar nästan alla typer av RF-instrument. Vid instrument som inte har inbyggd temperaturkompensator kan mätfelet bli stort (15-20 % RF) om mättemperaturen skiljer sig mycket från kalibreringstemperaturen, /17/. Med temperaturkompensering inbyggd i instrumentet blir felet mycket mindre, men kanske inte alltid försumbart i våra sammanhang. Lafaire /17/ redovisar mätningar gjorda vid NIST i USA som visar att felet för de provade kapacitiva givarna kan vara i storleksordningen någon % RF vid + 40 °C då givarna hade kalibrerats vid + 20 °C. Se även vid k) under Flik 12 i "Manualen".

Tillverkare av RF-instrument bör kunna upplysa om egenskaperna hos deras instrument ur denna synpunkt.

l) Mättemperatur annan än +20 °C

Fuktmätningen görs ibland vid annan temperatur än +20°C. Denna temperaturskillnad mellan mättemperaturen och +20°C ger ett fel som påverkar mätresultatet. I /19/ har Nilsson redovisat hur temperaturnivån i betong påverkar RF i betong vid konstant fukthalt i betongen. Observera att om temperaturen ökar så ökar också RF i betongen.



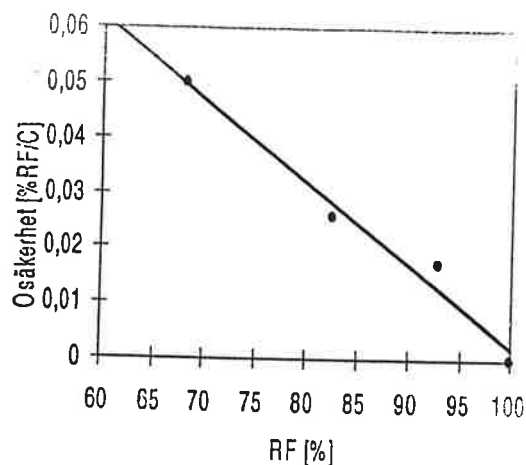
Figur 21. Mätt ändring i RF vid en grads ändring av temperaturen från +20 °C, som funktion av RF vid + 20 °C. Konstant fukthalt i betongen. /19/.

Om fuktmätningen görs på byggsplatsen med en temperatur som markant avviker från temperaturen i "bruksskedet" kan felbedömningar av RF göras på flera procent. HusAMA /14/ anger att betongplattan, vid mätning, skall ha en temperatur inom intervallet +15 °C till +25 °C. För trendmätningar kan Figur 21 användas ned till +5 °C. Kurvan i Figur 21 anger det systematiska felet, men som framgår i Figur 21 finns det även en slumpmässig spridning. Denna kan enligt /20/ skrivas som

$$\text{Standardosäkerheten} = \pm b \cdot (20 - T)$$

Där b utläses i Figur 22.

T är betongens temperatur.



Standardosäkerheten för ovan beskrivna korrektion kan även beräknas med formeln
 Standardosäkerheten = $b \cdot (20 - T)$,
 $T < 20^{\circ}\text{C}$

Standardosäkerheten = $b \cdot (T - 20)$,
 $T > 20^{\circ}\text{C}$

$b = 0.0016 \cdot (100 - \text{RH})$

T = den aktuella temperaturen i betongen.

Figur 22. Osäkerhetsfaktor "b" i korrektionen vid en grads ändring av temperaturen från $+20^{\circ}\text{C}$. /20/.

Exempel:

Om RF i en betong är 90 % vid $+15^{\circ}\text{C}$ så blir RF vid $+20^{\circ}\text{C}$ $(90 + 0.15 \cdot 5)$ ca 91 %. 0.15 är avläst i Figur 21 vid 90 % RF och 5 är temperaturskillnaden.

Standardosäkerheten blir ca $0.02 \cdot (20 - 15) = \pm 0.1$ % RF. 0.02 är avläst i Figur 22.

Även vid RF-prov som tas ut ur en betongkonstruktion och som transporteras till laboratorium för RF-bestämning, så skall korrigering ske för mättemperaturen om denna inte är $+20^{\circ}\text{C}$.

m) Olika temperatur mellan RF-sensor och betong.

Vid mätning av RF **skall** temperaturskillnad mellan betong och RF-sensor undvikas. I Tabell 4 redovisas det teoretiska felet som erhålls i RF-mätningen som enbart beror på temperaturskillnad mellan betong och RF-sensor. Betongens RF och temperatur är 90% och $+20^{\circ}\text{C}$. För denna feltyp kan inte några korrigeringsanvisningar ges, varför felet måste undvikas.

TABELL 4. Teoretiskt fel i uppmätt RF på grund av temperaturskillnad mellan RF-sensor och betong.

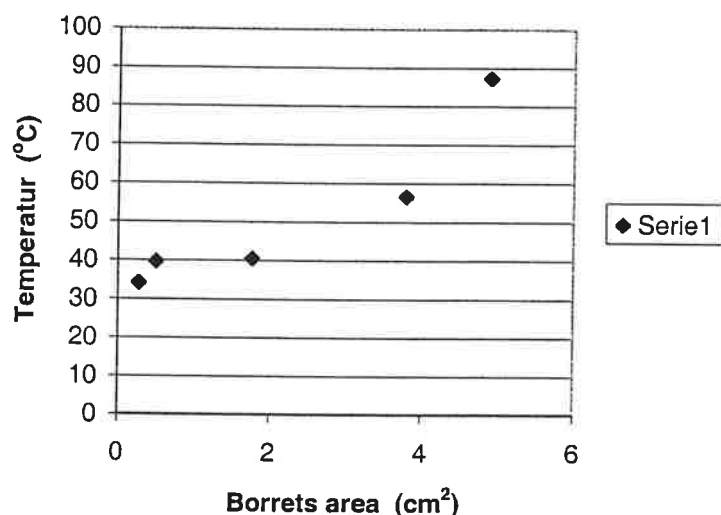
Temperaturskillnad $^{\circ}\text{C}$	% RF
0.1	0.5
0.2	1.0
0.4	2.0
1.0	5.0

Om temperaturen hos RF-sensorn är högre än betongens temperatur så blir RF-mätvärdet lägre än det verkliga RF-värdet hos betongen. Temperaturskillnaden kan orsakas t ex av att solen lyser eller har lyst på betongen eller givaren, luftdrag (vid RF-givaren) som har annan temperatur än vad betongen har. För att minska risken för denna typ av fel vid borrhålsmätning kan en isolerande "låda" ställas omkring RF-givaren. Stor temperaturskillnad

kan också uppstå om man mäter genom en värmeisolering, dvs. en del av RF-givaren är i en temperatur och en annan del av RF-givaren är i en helt annan temperatur.

n) Borrningens inverkan

Både vid borring av borrhål och vid borring för uttaget prov för RF-mätning tillförs energi som värmer betongen närmst borrhålen. Hur stor temperaturökningen blir beror bl. a på betongens hållfasthet, borrets storlek och skärpa, RF i betongen samt eventuell kylning under och efter borringen. I Figur 23 visas uppmätta temperaturer i betongen alldeles invid hål borrade med olika diameter på borren. I Figur 23 är temperaturen uppritad som funktion av borrets area. Betongens starttemperatur var ca 25 °C. Resultaten visar medelvärdet av temperaturen vid två borringar.

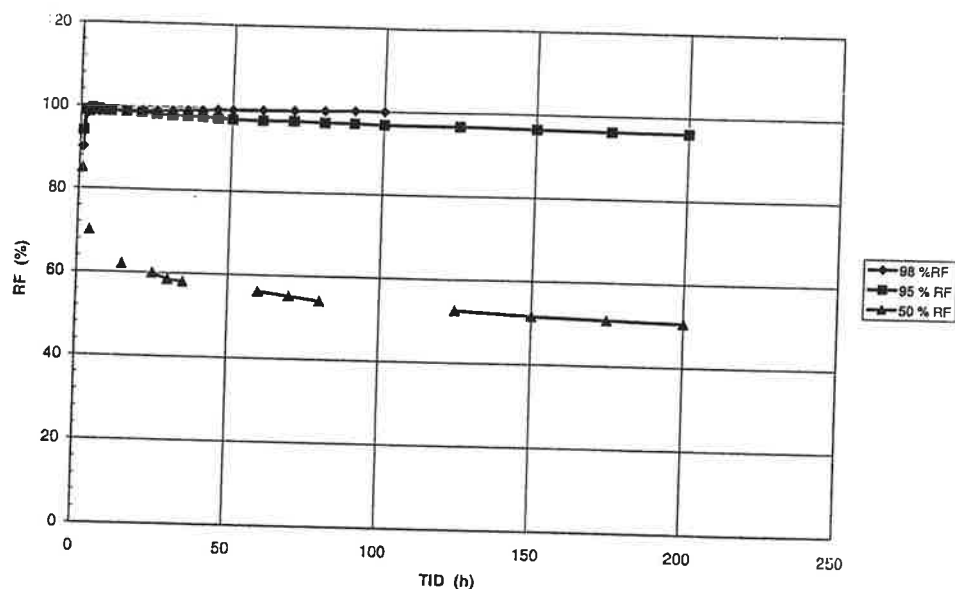


Figur 23. Uppmätt temperatur i betong strax invid borrhål med olika diameter. /21/.

Figur 23 visar att temperaturen i betongen strax invid borrhålet är ungefär proportionell mot borrets area. Vid 22 mm borr är temperaturen ca 55 °C. Denna temperatur är nästan densamma som Pastrav /24/ uppmätte i bormjölet (50-53 °C) efter borring med 20 mm borr.

I /21/ redovisas även mätvärden på temperatur i betong strax invid borrhål då betongen har olika vct, nämligen vct 0.43 och 0.85. För vct 0.43 ligger temperaturen mellan 45 och 65 °C, med ett medelvärde på 54 °C. För vct 0.85 ligger temperaturen mellan 35 och 55 °C, med ett medelvärde på 45 °C.

Pastrav /24/ samt Gårlin och Hjort /25/ har studerat borringens inverkan på RF. Ett av resultaten i /25/ är att tiden till RF-jämvikt är starkt beroende av fuktillståndet i betongen, ju lägre RF desto längre tid. För en K40 betong med ca 50 % RF tog det ca 1 vecka att uppnå jämvikt. I Figur 24 redovisas resultat från /25/.



Figur 24. Inverkan av borrhning på uppmätt RF. /25/.

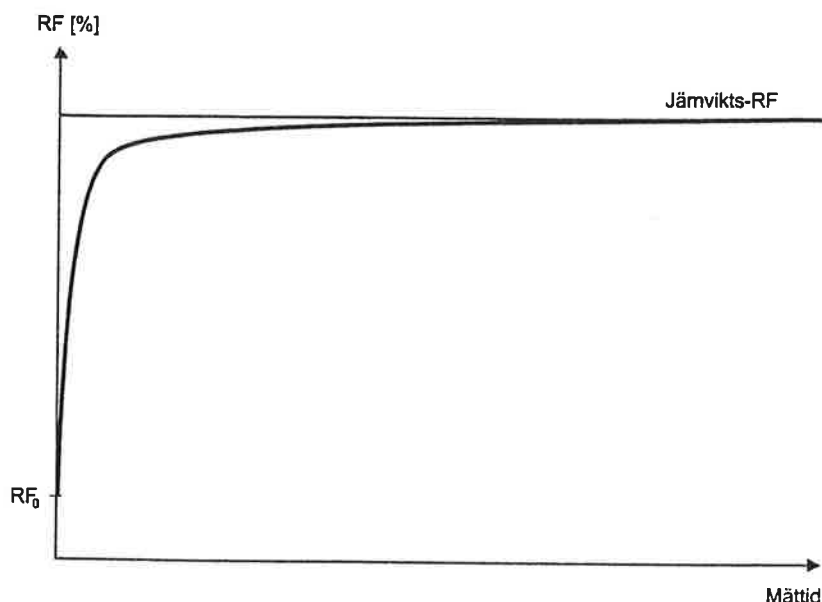
I Figur 24 framgår att RF är högst strax efter borrhningen för att därefter minska under de följande dygnet. En trolig orsak detta beteende är att energi tillförs den fukt som finns vatten i betongen. En liten del av detta vatten förångas och går upp i porluften, varvid RF höjs i materialet. Det tar sedan relativt lång tid, jämfört med temperaturökningen, för de förångade vattenmolekylerna att återgå till vätskefas. I Figur 24 framgår också att RF-givaren sattes på plats direkt efter borrhning och dammsugning av mätthålet. Detta gör att RF-proben kan ha tagit upp fukt som sedan skall återgå till betongen.

För att undvika detta fel, eftersom det är svårt att kvantifiera, så föreskriver Hus-AMA 98 minst 3 dygns väntetid innan mätning får påbörjas. Observera att Hus-AMA 98 framförallt gäller vid ny-, om- eller tillbyggnad, men normalt inte vid t ex skadeutredningar. Det bör påpekas att mätning av en egenskap (t ex RF) normalt inte skall utföras med högre krav på noggrannheten än vad som krävs i den aktuella situationen.

o) Mätid

Att mäta RF på uttagna prover, liksom i borrhål, bygger på att man väntar tills temperatur- och fuktjämvikt uppnåtts och först därefter avläser RF. Det normala och principiella mätförloppet blir då enligt Figur 25.

Uppfuktningshastigheten av RF-proben beror bl.a. på probens fuktkapacitet, betongens fuktkapacitet och fukttransportförmåga samt avdunstningsarean hos betongen. Detta medför att en och samma RF-givare kan uppnå fuktjämvikt olika fort då för t.ex. betong med olika vct eller för betong med eller utan silikastoft.



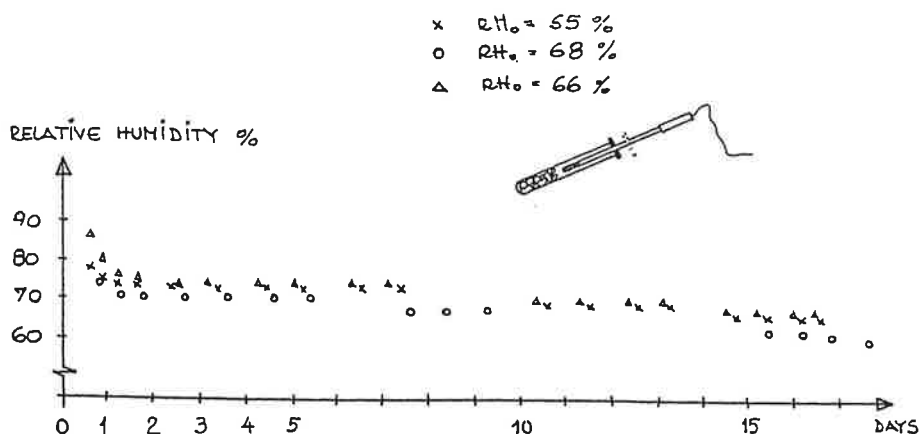
Figur 25. Principiellt och normalt mätförlopp vid RF-mätning. /26/.

RF stiger successivt tills den så småningom når ett jämviktsstillstånd, som då blir mätvärdet. Mätningen måste naturligtvis avbrytas inom rimlig tid. Detta medför då ett systematiskt fel, som normalt är mycket litet om man följer anvisningarna i HusAMA 98. Det innebär bl. a. att mätvärdet får avläsas tidigast efter 12 timmar, för betong med lågt vattenbindemedelstal (vbt) tidigast efter 48 timmar, efter det att mätningen påbörjades.

Förloppet vid mätning i borrhål, se Figur 24 ovan.

Vid utbilat eller utborrat prov finns inga undersökningar gjorda av provtagningsförfarandets inverkan på temperaturen hos provet. Det är dock rimligt att betongen närmst intill borrhålets kärnboring har värmts upp till ungefär samma temperatur som betongen intill borrhålet vid borrhålsmätning. Vid utbilningen av RF-provet tillförs även energi som ger en viss temperaturhöjning, se även /26/.

Pastrav /24/ har studerat ett fall som troligtvis sällan förekommer i praktiken, men som kan tjäna som ett ytterlighetsexempel. Pastrav värmden upp ett helt RF-prov till 65 °C. Efter avslutad uppvärmning tog det endast några timmar att uppnå temperaturstabilitet men det tog minst 18 dygn att uppnå RF-jämvikt, se Figur 26.



Figur 26. Ändring av RF i provrör p.g.a. en initiell uppvärmning till 60-60 °C. /24/. Om kortare mättid skulle användas än de som anges i HusAMA, så kan man normalt inte beräkna effekterna av den kortare mättiden, dvs. för kort mättid är ett grovt fel.

Vid mättid enligt manualtexten sätts standardosäkerheten till noll (0) % RF,

p) Temperaturvariationer under mätning

Betong i sig är ett värme- och fuktrögt material och temperaturen och fuktinnehållet ändras ganska långsamt. Det är därför troligt att temperatur-RF- kurvan i Figur 21 kan användas för att ta hänsyn till varierande temperatur under mätningen.

I /16/ redovisas resultat från mätningar i "borrhål" varvid ändringen i RF blev ca $\pm 0.1\%$ (3s) då temperaturen i betongen varierade $\pm 0.2\text{ °C}$ (3s). Samtidigt var variationen i omgivande rumsluft ca $\pm 0.4\text{ °C}$ (3s). Dvs känslighetsfaktorn, c_i , blir $0.5\text{ \%RF/°C}$ för temperaturvariationer i betongen. Antag att temperaturen i betongen vid borrhålsmätning varierar maximalt inom $\pm 1.0\text{ °C}$ (yttre gränser). Om rektangelfördelning antas blir standardosäkerheten $\pm 1/\sqrt{3} = \pm 0.58\text{ °C}$. Detta ger med relationen ovan att standardosäkerheten i RF blir ca $\pm 0.3\%$ RF.

Sjöberg redovisar dock i /5/ något större inverkan temperaturvariationens inverkan. Värden i Tabell 5 är från /5/.

TABELL 5. Största uppmätta variation i RF i betong på grund av transienta temperaturförlopp. /5/.

Variation i temperatur	Uppmätt variation
$\pm 0,1\text{ °C}$	$\pm 0,5\text{ \% RF}$
$\pm 0,5\text{ °C}$	$\pm 1,0\text{ \% RF}$

Resultaten i Tabell 5 avser största uppmätta variation i RF och är inte omräknat till standardmätosäkerhet.

Adler /18/ har vid fältmätningar mätt olika RF då betongkonstruktionen är under uppvärmning eller avsvälning jämfört med då mätning har utförts några dagar efter det temperaturen i

konstruktionen har stabiliserats. Dvs. mätning under uppvärmnings eller avsvlningsfasen skall undvikas.

Vid RF-bestämning i laboratorium ger temperaturvariationen $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (yttre gränser), i luften inne i provröret, att standardosäkerheten vid antagen triangelfördelning blir $0.2/\sqrt{6} = \pm 0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$. Med känslighetsfaktorn $5\text{ \%RF}/^{\circ}\text{C}$ ger detta att standardosäkerheten i RF blir ca $\pm 0.4\text{ \%RF}$. Det är luftens RF som påverkas snabbast av temperaturändringarna eftersom luften massa och därmed värmekapacitet är försumbar jämfört med provbitarna av betong. Det betyder att luften i provröret kan ha en temperatur som skiljer sig ifrån provets temperatur. Inverkan på RF av olika maximala temperaturvariationer visas i Tabell 6 nedan.

TABELL 6. Osäkerhet i RF bestämning på uttaget prov p.g.a. temperaturvariationer under mätning

Maximal temperaturvariation, se ovan, $^{\circ}\text{C}$	Standardosäkerhet i RF (%RF)
0.1	0.2
0.2	0.4
0.5	1.0
1.0	2.0

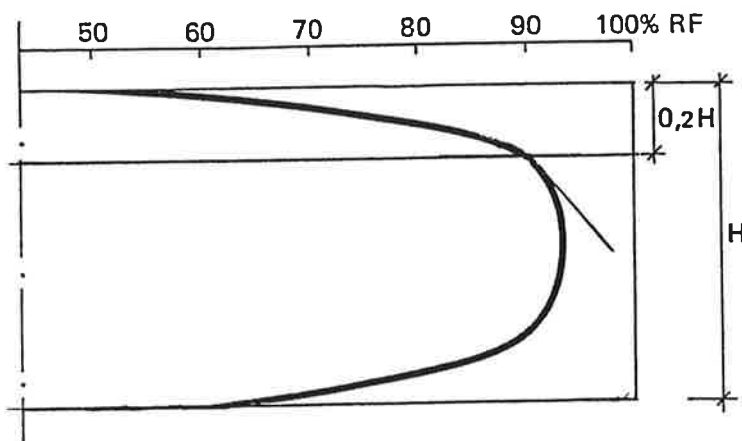
Det bör påpekas att det är temperaturvariationerna inne i provröret och inte direkt temperaturvariationerna i omgivande rum som kan orsaka de osäkerheter som anges i Tabell 6. Det går att utforma mätutrustningen så att rummets temperaturvariationer avskärmas helt eller delvis från provbehållarna.

q) Ojämnt uttaget prov.

Vid uttagning av prov för RF-bestämning i laboratorium, kan det uttagna provet ibland vara mindre representativt för mätdjupet enligt Sjöberg /5/. Hans studie visar dock att felet normalt är litet, med en standardmätosäkerhet på $0.2\text{ \%RF}$

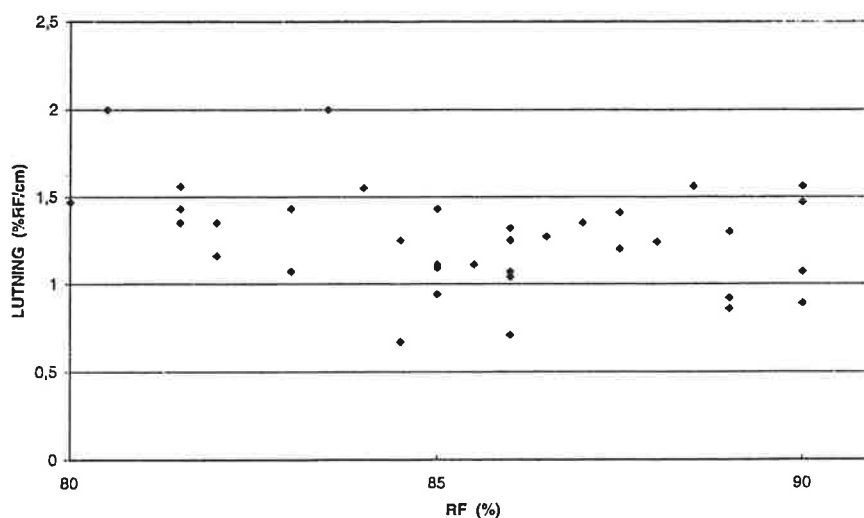
r) Avvikelse i mätålsdjup

Avvikelse från det minsta mätdjupet (d) påverkar uppmätt RF. En typisk RF-profil visas i Figur 27 nedan.



Figur 27. Principiell RF-profil vid dubbelsidig uttorkning.

I Figur 27 är inlagt en vertikal linje vid 20 % av plattans (väggens) tjocklek. Även uttorkningskurvans lutning (gradient) vid 20 %:s-linjen är inlagd. Denna är inlagd under 20 %:s-linjen. Lutningen beror bl.a. på härdningsförhållanden, t.ex. vattenhärdning och membranhärdning ger olika RF-profil vid uttorkningens start och en tid därefter. I Figur 28 visas uppmätt lutning för ett antal RF-profiler. Lutningarna är uppmätta under 20 %:s-linjen. I Figur 28 ingår resultat från betong med vct mellan ca 0.80 och 0.35 samt med och utan silikastoft.



Figur 28. Uppmätt lutning (gradient) på RF-profiler, från 20 %:s mätdjup och inåt. Betongtjockleken är 180 mm. 20 %:s mätdjupet är 36 mm.

Resultaten i Figur 28 gäller för betongtjockleken 180 mm. Lutningen på några andra RF-profiler vid betongtjocklekarna 100, 250 och 360 mm (dubbelsidig uttorkning) har även uppmätts. RF-lutningen från 20 %:s mätdjup och inåt kan skrivas

$$Lutningen = 11/(H/2) \pm 3/(H/2) \text{ vid dubbelsidig uttorkning (\%RF/cm)}$$

$$Lutningen = 11/H \pm 3/H \text{ vid enkelsidig uttorkning (\%RF/cm)}$$

H = Betongtjocklek (cm).

$\pm 3/(H/2)$ resp. $\pm 3/H$ avser en standardavvikelse.

Exempel:

Antag att platttjockleken (H) är 160 mm samt att uttorkningen är dubbelsidig (= 80 mm enkelsidig). Antag vidare att medelvärdet för det uppmätta mätthålsdjupet är 34 mm, med en variation om ± 3 mm, där ± 3 mm är de yttre gränserna för detta fel som är rektangelfördelat.

Ekvivalent (minsta) mätdjup är $0.20 \cdot 160 = 32$ mm. Skillnaden mellan uppmätt och ekvivalent mätdjup är $(34 - 32) = 2$ mm = 0.2 cm.

Standardosäkerheten för mätdjupet = $0.3/\sqrt{3} = 0.173$ (cm), vilket ger att

relativa standardosäkerheten för mätdjupet är $0.173/0.2 = 0.866$.

Lutningen = $11/(16/2) \pm 3/(16/2) = 1.375 \pm 0.375$ (%RF/cm), vilket ger att relativa standardosäkerheten för lutningen är $0.375/1.375 = 0.273$.

Korrigerig av mätvärde till ekvivalent djup sker, i detta fall, genom att minska mätvärdet med ändringen i RF på grund av felaktigt mätdjup. Ändringen i RF skrivs som lutningen i RF-profilen multiplicerat med skillnaden mellan fel och rätt mätdjup, dvs. $y = x_1 \cdot x_2$.

x_1 = lutningen i RF-profilen = 1 (%RF/cm)

x_2 = Skillnaden mellan fel (uppmätt) och rätt (ekvivalent) mätdjup = -0.2 (cm).

Då två eller flera variabler multipliceras eller divideras med varandra, så beräknas osäkerheten med hjälp av de relativa standardosäkerheterna

$$u^2(y)y^2 = u^2(x_1)x_1^2 + u^2(x_2)x_2^2$$

I vårt fall:

$$u^2(y)y^2 = 0.273^2 + 0.866^2 = 0.824.$$

$y = x_1 \cdot x_2 = 1.375 \cdot (-0.2) = -0.3$, dvs. uppmätt RF skall minskas med 0.3 % RF för att få RF på det ekvivalenta mätdjupet.

$$u^2(y) = 0.824 \cdot y^2 = 0.824 \cdot 0.2^2 = 0.0330$$

$$u(y) = \sqrt{0.0330} = \pm 0.18 \text{ \%RF (en standardavvikelse).}$$

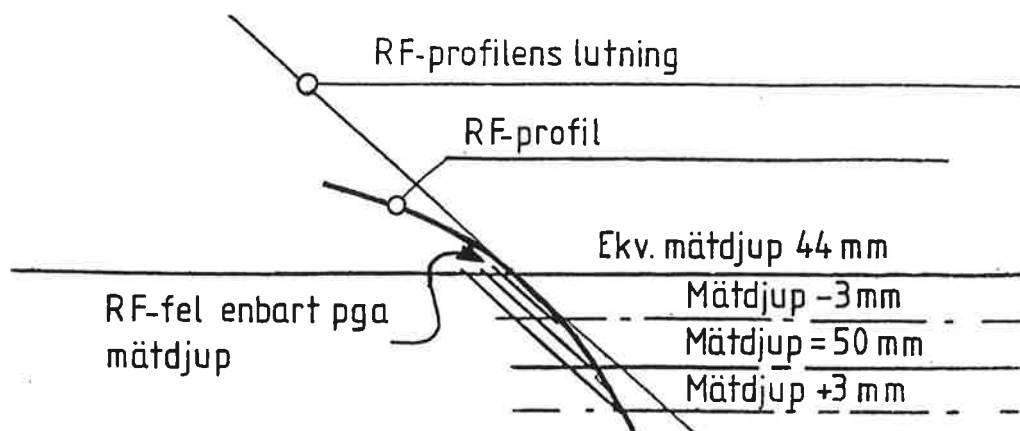
Ekvationen ovan kan användas då x_1 respektive x_2 är betydligt större än motsvarande standardosäkerhet. Om så inte är fallet används följande ekvation, som är ekvation (S4.3) i EAL-R2-S1-Sv, /3/.

$$u^2(y) = x_2^2 \cdot u^2(x_1) + x_1^2 \cdot u^2(x_2) + u^2(x_1) \cdot u^2(x_2)$$

I vårt fall får vi

$$u^2(y) = 0.2^2 \cdot 0.375^2 + 1.375^2 \cdot 0.173^2 + 0.375^2 \cdot 0.173^2 = 0.0664 \Rightarrow u(y) = \sqrt{0.0664} = 0.26 \text{ \%RF}$$

$u(y) = \pm 0.26 \text{ \%RF}$ (en standardavvikelse), dvs. standardosäkerheten är betydligt större än beräknat med den första ekvationen. I detta fall måste den senare ekvationen användas.



Figur 29. Inverkan av felaktigt borrhålsdjup, se exemplet ovan. Figuren visar endast inverkan av djupet och inte inverkan av osäkerheten i lutningen.

s) Avvikelse i plattjocklek

Den verkliga konstruktionstjockleken kan skilja sig ifrån tjockleken som anges på konstruktionsritningarna. Johansson och Warris redovisar i /22/ en studie av dimensionsavvikelser i armerade betongkonstruktioner. Några av deras resultat visas Tabell 7.

TABELL 7. Dimensionsavvikelser hos armerade betongplattor. /22/.

Mät-plats	Antal mätningar	Nom. Tjocklek	A_0 Mm	S Mm
B1	42	160.0	+7.5	6.0
2	84	160.0	-2.3	5.6
3	51	160.0	-2.9	7.3
4	36	160.0	+1.3	4.9
5	72	160.0	+7.0	4.9
6	42	160.0	+10.4	7.0
7	81	160.0	-0.1	4.0
8	51	160.0	-15.6	5.8
9	45	160.0	+0.5	4.5
10	42	160.0	+3.9	5.4
11	48	160.0	+6.3	4.5
12	39	140.0	+6.9	7.1
Mv	633		+1.9	5.7

a_0 är skillnad mellan medelvärdet av mätta värdena och nominella värden.
 s är standardavvikelsen i de mätta värdena.

Studien av Johansson Och Warris är från 1969 och det är troligt att moderna utsättnings- och gjutmetoder har medfört att skillnaden mellan den verkliga och den nominella betongtjockleken har minskat sedan dess. Enligt BBK avsnitt 8.9 gäller följande toleranser för betongtvärsnitt, normalvärden.

TABELL 8. Toleranser för betongtvärsnitt. /23/.

Tvärsnittsmått a i mm	Största avvikelse
$A \leq 100$	$0.10 \cdot a$
$100 < a < 2000$	$10 + 0.005 \cdot a$
$A \geq 2000$	$20 + 0.001 \cdot a$

För en 200 mm tjock betongplatta medför BBK 94 att den största måttavvikelsen får vara $10 + 0.005 \cdot 200 = 11$ mm.

Enligt Manualen, flik 12, punkt s, skall man räkna på följande sätt;

Betongplatta på mark. De största variationerna antas vara ± 10 % av plattjockleken.

Platsgjutet mellanbjälklag. De största variationerna antas vara 5 % av plattjockleken

Ovanstående Manualregler ger för ett 200 mm tjock betongplatta (mellanbjälklag) att de största variationerna blir $0.05 \cdot 200 = 10$ mm, vilket kan jämföras med 11 mm beräknat enligt BBK 94. Slutsatsen blir, att för vanliga plattjocklekar är reglerna i Manualen är en rimlig approximation av föreskrifterna i BBK.

Det bör påpekas att om man har mätt upp större variationer på det enskilda bjälklaget, så skall man naturligtvis använda sig av dessa.

Exempel:

Antag platta på mark med tjockleken 80 mm. Antag vidare att uttorkningen är enkelsidig.

Den största variationen i plattjocklek blir $\pm 0.10 \cdot 80 = 8$ mm. Antag rektangelfördelning med de yttre gränserna ± 8 mm. Detta ger att standardosäkerheten för totala plattjockleken blir $\pm 8/\sqrt{3} = 4.62$ mm, dvs. ca ± 4.6 mm.

Det ekvivalenta mätdjupet $0.4 \cdot 80 = 32$ mm.

Tjockleken 80 mm – 4.6 mm (standardosäkerheten) ger 75.4 mm. "Ekvivalent djup" för 75.4 mm blir $0.4 \cdot 75.4 = 30.2$ mm.

Tjockleken 80 mm + 4.6 mm ger 84.6 mm. "Ekvivalent djup" för 84.6 mm blir $0.4 \cdot 84.6 = 33.8$ mm.

Detta exempel visar att en avvikelse i plattjocklek inte slår igenom helt och hållet på det ekvivalenta mätdjupet. Här fick vi det ekvivalenta mätdjupet till 32 ± 1.8 mm (1s).

Sättet i exemplet att beräkna inverkan på ekvivalent djup av avvikelse i plattjocklek var gjort enbart ur tydlighetssynpunkt. Enklare att beräkna inverkan på ekvivalent djup är vid

Betongplatta på mark. Standardosäkerheten på ekvivalent djup $= 0.4 \cdot 0.10 \cdot H/\sqrt{3} = 0.0231 \cdot H$ mm.

Platsgjutet mellanbjälklag. Standardosäkerheten på ekvivalent djup $= 0.2 \cdot 0.05 \cdot H/\sqrt{3} = 0.00578 \cdot H$ mm

H = bjälklagets tjocklek.

Exempel

Förutsättningar se exemplet ovan och exemplet under r)

Standardsäkerheten på ekvivalent djup = $0.0231 \cdot 80 = \pm 1.85$ mm, dvs. som i exemplet ovan.

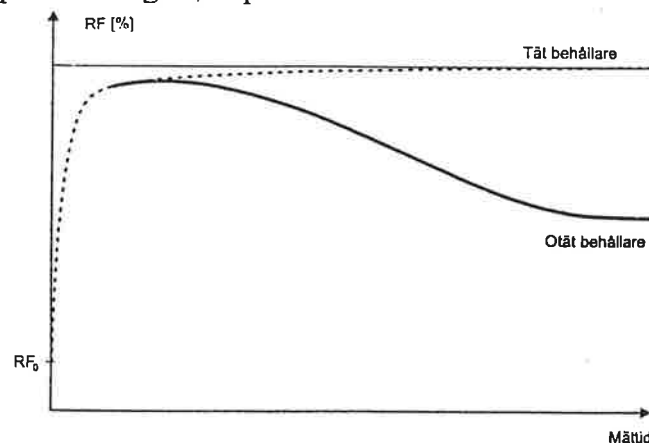
$$u^2(y) = x_2^2 \cdot u^2(x_1) + x_1^2 \cdot u^2(x_2) + u^2(x_1) \cdot u^2(x_2)$$

I vårt fall får vi

$$u^2(y) = 0^2 \cdot 0.375^2 + 1.375^2 \cdot 0.185^2 + 0.375^2 \cdot 0.185^2 = 0.0695 \Rightarrow u(y) = \sqrt{0.0695} = 0.26 \% \text{RF}$$

t) Ångläckage

Ångläckage är ett grovt fel, vilket man inte kan ta hänsyn till på matematisk väg. Det gäller för den som utför RF-mätningen att noga utföra föreskrivna tätningar samt kontrollera tätheten mellan t.ex. foderrör och betong. Humi-Guard har tagit fram en täthetsprovare till sin utrustning. Den består av gummiblåsa (boll) med en fattning som passar deras foderrör. Innan gummibollens fattning trycks ned i foderröret har bollen pressats samman. Om bollen utvidgas, då den är tätt ansluten till foderröret, finns läckage mellan foderrör och betong. Täthetsprovningen utförs lämpligen då den nedre tätningen är på plats men innan tätningen vid betongytan är monterad. Om läckage uppstår i provröret eller i behållaren med de uttagna betongbitarna, kan man få det principiella mätförloppet som visas i Figur 30. /26/. Ett läckage som kan uppstå i provrör av glas, är provröret får ett mindre hål i botten.



Figur 30. Principiellt mätförlopp vid mätning på prover i en provbehållare som läcker eller absorberar fukt. /26/.

Mätförloppet visar en ”puckel” efter en relativt kort tid och därefter successivt sjunkande RF. Som jämförelse redovisas i figuren hur kurvan ser ut med en tät behållare.

u) Temperatureffekter vid provförvaring

Olämpliga temperatureffekter kan uppkomma under transport, hantering och lagring av ett prov. Extrema temperaturvariationer kan helt enkelt ge kondens i provbehållaren då provbehållaren kyls (svalnar) tidigare än provet och får en lägre temperatur än det fuktiga provet. Sådan kondens ger en uttorkning av provet och det tar lång tid för provet att återgå till

sitt ursprungliga fukttillstånd. Provbhållaren måste hela tiden efter uttagning fram till mätning förvaras i värmeisolerade eller värmetröga boxar eller i rimligt temperaturstabila rum.

v) Avdunstning vid provuttagning

Beräkningar och jämförelser med försök visar på, att inverkan av avdunstning under provtagning är försumbar om de krav som anges i Manualen följs. Det gäller dels dimensionen på provet och dels längsta hanteringstid för provet. Beräkningarna visar att det endast är de yttersta 10-dels mm på provet som påverkas av uttorkningen. Då denna del har torkat så minskar fukttransportförmågan genom detta. Den torra delen kan mer eller mindre sägas fungera som en "tät hinna" på provet.

3. EXEMPEL PÅ OSÄKERHETSBERÄKNINGAR

3.1 Exempel*)

Metod

Bestämning av relativ fuktighet (RF, RH) i hårdnad betong på ekvivalent mätdjup genom mätning i borrarat hål med insatt plaströr.

Relativa fuktigheten (RF) erhålls ur

$$RF = RF_o + \text{korrektionsstermer enligt tabellen nedan.}$$

där

RF = relativ fuktighet, skattat värde, %

RF_o = Relativ fuktighet, avläst värde, %

Förutsättningar

Provning sker i princip enligt manualen "Fuktmätning i Betong" /27/, i vilken några olika fuktmätningsskott beskrivs detaljerat. Manualen "Fuktmätning i betong" kallas i detta exempel enbart för Manualen.

Utrustning

Fuktgivare och temperaturgivare

Fuktgivarens mätprincip är kapacitansmätning. Fuktgivaren är nyligen kalibrerad i en mycket kvalificerad fuktgenerator. I kalibreringsintyget anges att den uppskattade osäkerheten i alstrad RF är $\pm 0.3 \% RF$ ($k = 2$). Följande Tabell ingick i kalibreringsintyget.

***) Exemplet är ett pedagogiskt exempel, varför avvikelser från Manualen kan förekomma.**

TABELL 9. Utdrag ur kalibreringsintyg.

RF* (%)	Temperatur ¹⁾ (°C)	RF (%)	Temperatur (°C)
75.09	20.06	75.8	20.0
84.95	20.06	85.5	20.0
90.09	20.06	90.5	20.0
95.09	20.06	96.4	20.0

¹⁾ RF och temperatur hos den alstrade luften.

Kolumn 3 och 4 i Tabell 9 redovisar uppmätta värden på den kalibrerade RF-givaren. Mätutrustningens display för temperaturer har skaldelning 0.1°C.

Instrument för mätning av borrhålets djup

Digitalt skjutmått används, vilket har skaldelningen 0.1 mm. Skjutmättet är inte kalibrerat.

Instrument för mätning av betongplattans tjocklek.

För mätning av betongplattans tjocklek används talmeter, som har indelningen 1 mm. Talmetern är inte kalibrerad.

Mätning

I Manualen godtas RF-bestämning i borrhål med kapacitiv givare.

Rutin för bormning av mätthål

- Kontrollera att verklig plattjocklek stämmer med teoretisk plattjocklek.
- Hålet skall borraras med toleransen 0-2 mm för djupt.
- Kontrollera håldjupet utmed borrhålets omkrets. Om toleransen inte uppnås görs ett nytt hål på avståndet minst två gånger borrhålets djup från första hålet.
- Dammsug hålet eller blås ur det extremt noga.
- Täta hålet med ett plaströr. Tätningen skall gå enda ned till avsett mätdjup. Kontrollera att montaget är tätt.
- Tillslut röret med en gummiplugg.
- Numrera/märk mätpunkten ovanpå gummipluggen och på betongen.

Rutin för RF-bestämning i borrhål

- Montage av RF-givare får tidigast utföras tre dygn efter bormning av mätthål.
- Innan montage av givare så kontrolleras att plaströret fortfarande tätar mot betongen.
- Avläsning får inte ske förrän mätvärdet stabiliserats, dock minst 12 timmar efter givarmontage.

Vid flerbostadshus anger Manualen det skall finnas minst en mätpunkt per trapphus och våningsplan, varför det i detta exempel endast räknas med en RF-mätpunkt.

Skattade storheter

Plattjocklek: Uppmätt tjocklek vid tre olika mätplatser var (224, 220 och 217 mm). Detta gör att plattans medeltjocklek antas motsvara nominell tjocklek, dvs. 220 mm.

Borrhålsdjup: Ekvivalent mätdjup skall vara $0.2 \cdot \text{plattjockleken} = 0.2 \cdot 220 = 44 \text{ mm}$.
Borrhålsdjupet får ha "toleransen" 0 – 2 mm. Medeldjupet uppmättes till 46 mm.

Avläst temperatur vid RF-givare: = 15.0 °C

Relativ fuktighet, avläst: = 85.0 % RF

Osäkerhetsbidrag

Nedan visas en tabellsammanställning av de olika osäkerhetsbidragen, och efter tabellen redovisas hur de enskilda osäkerhetsbidragen har beräknats. Osäkerhetsbidragen har samma litterering både i Tabell 10 och den efterföljande texten. Littereringen i Tabell 10 överensstämmer med littereringen under flik 12 i Manualen.

TABELL 10. Sammanställning av osäkerheten i RF-mätningar.

	<u>Mätmetod</u>	Mätning i borrhål med kapacitiv RF-givare							
		Exempel på osäkerhetsberäkning							
		Storhet X_i	Skattning x_i	Fel- område	Utvär- dering styp	Sanno- likhet sförde- lning	Standard mätosäke- rhet för instorhet	Känslig- hets-faktor	Bidrag till standard- mätosäkerhet $U_i(y)=c_i \cdot u(x_i)$
	Mätinstrument								
b	Icke linearitet	RF		± 0.5	B	R	0.29	1	0.29
c	Drift hos RF-givare	RF		± 0.75	B	R	0.43	1	0.43
d	Hysterés hos RF-givare	RF		0			0		0
e	Fuktkapacitet	RF	+0.5%	$\pm 0,5$			0.29	1	0.29
	Kalibrering								
g	Osäkerhet i kalibrering	RF					0.15		0.15
	Handhavande								
k	Mättemp. annan än kalibr.-temp	°C		0					0
l	Mättemp. annan än 20°C.	RF	+1.5%				0.12		0.12
m	Olika temp mellan givare och btg.	°C							0
n	Borrningens inverkan	RF		0					0
o	Mättid	RF		0					0
p	Temp. Variationer under mätning	°C		± 1	B	R	0.58	0.5	0.30
r	Avvikelse i mätdjup	cm	0				Se r.	nedan	0.28
s	Avvikelse i plattjocklek	cm	0				Se s.	nedan	0.09
	Avläst mätvärde	RF	85.0						
	Korrigerat mätvärde		87.0						
	Kombinerad mätosäkerhet								0.75
	Utvidgad mätosäkerhet, $k = 2$								1.5

Resultatangivelse: Uppmätt RF i betongplattan är $87.0 \% \pm 1.5 \% \text{ RF}$.

Den angivna utvidgade mätosäkerheten är produkten av standardmätosäkerhet och täckningsfaktorn $k = 2$, vilket för en normalfördelning svarar mot en täckningssannolikhet av ungefär 95 %. Standardmätosäkerheten har bestämts i enlighet med EAL:s publikation EAL-R2.

b. Icke linearitet

De använda RF-givarna skall kalibreras med relativt täta RF intervall (75, 85, 90 och 95 %RF) och betraktas som linjära mellan kalibreringspunkterna, vilket medför att korrekturen av mätvärdet sätts till noll. En viss olinearitet kan dock förekomma mellan kalibreringspunkterna. De yttre gränserna (a_+ och a_-) inom vilket den olinjära kalibreringskurvan antas ligga, är den linjära kalibreringskurvan $\pm 0.5 \% \text{ RF}$. Denna osäkerhet på $\pm 0.5 \% \text{ RF}$ antas vara rektangelfördelad, varvid fås att standardavvikelsen blir $0.5/\sqrt{3} = 0.29 \% \text{ RF}$.

b. Drift hos RF-givare

RF-givarna kalibreras minst en gång per år samt när de regelbundna kontrollerna av kalibreringen påvisar behov av ny kalibrering. Korrekturen av mätvärdet kan därmed sättas lika med noll. Då någon av de regelbundna kontrollerna ger ett mätvärde, för RF-givare som används vid mätning i borrhål vilket avviker med mer än 1.5 % RF, så skall ny kalibrering utföras. Detta intervall inom vilket kontrollvärdet kan variera ger att vi har en osäkerhet på $\pm 1.5 \% \text{ RF}$, vilken antas vara rektangelfördelad, varvid standardavvikelsen blir $1.5/\sqrt{3} = 0.87 \% \text{ RF}$.

I vårt fall är RF-givaren nykalibrerad och kontroll av kalibreringen har utförts direkt efter mottagandet av RF-givaren varvid man inte upptäckte någon drift hos givaren.

Osäkerheten borde i detta fall kunna anses mindre än $\pm 1.5 \% \text{ RF}$, lämpligen $\pm 0.75 \% \text{ RF}$, som med antagen rektangelfördelning ger standardosäkerheten $0.75/\sqrt{3} = 0.43 \% \text{ RF}$.

d. Hysterés hos RF-givare

Mätning enligt manualen, d.v.s. kalibrering och RF-mätning utförs från lägre RF till högre RF, vilket innebär att RF-givaren hela tiden befinner sig på jämviktsfuktkurvan för uppfuktning. Detta betyder att vi inte har någon hysterés hos RF-givaren. Detta medför att korrekturen samt osäkerheten kan sättas till noll (0).

e. Fuktkapacitet

De värden som finns att tillgå på givarnas fuktkapacitet visas i tabellen nedan. Om RF-givaren själv tar upp fukt (fuktkapacitet) kan detta medföra att fukten från betongen inte är tillräcklig för att erhålla rätt RF.

TABELL 11. Fuktkapacitet hos kapacitiv RF-givare i detta exempel.

	RF	Fuktkapacitet	Borrhål $\delta RH/s$
Vaisala	40 – 97 %	4 mg	+0.5/0.29

Det värde (δRH) som anges i tabellen ovan, för mätning med kapacitiv RF-givare är ett systematiskt fel. En korrigering av mätvärdet skall utföras, uppmätt RF skall ökas med aktuellt värde. RF-intervallet i tabellen gäller för fallet att givaren först har torkat ut till ca 40 % RH (rumsklimat) och därefter placeras i mätbålet. Ju högre betongens RF är desto mer fukt absorberas av RF-givaren, huvudsakligen av filtret.

Det slumpmässiga felet antas vara rektangelfördelat med de yttre gränserna (a_+ och a_-) givet av värdet i tabellen ovan. Standardavvikelsen blir, vid rektangelfördelning, aktuellt värde/ $\sqrt{3}$, se (s) i tabellen.

Vid mätning i borrhål kommer så småningom RF-givaren helt i jämvikt med betongen, varför inverkan av fuktkapaciteten blir försumbar. En bedömning är att då RF givaren har suttit på plats ca 14 dagar, så kan man bortse från denna inverkan.

f. Noggrannhet på temperaturangivelse.

Vaisalas mätprincip bygger på kapacitansändring i en tunn polymerfilm, på grund av fuktupptagning i filmen. Vi kan tills vidare bortse från denna felkälla.

g. Osäkerhet i kalibreringen

RF-givaren är nyligen kalibrerad. I kalibreringsintyget anges att den skattade osäkerheten i alstrad RF hos fuktgeneratoren är ± 0.3 % RF ($k = 2$), vilket ger att $u(x_i) = 0.15$ % RF. Denna siffra (0.15) är endast en del i standardosäkerheten vid kalibreringen. Man skall även ta hänsyn till osäkerheten som orsakas av instrumentets upplösning. RF anges med en decimal. Dvs. varje decimal som anges på instrumentets display "täcker" decimalsiffran ± 0.05 % RF. Detta ger med rektangelfördelning att $u(x_i) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029$ % RF. Denna senare standardosäkerhet är försumbar i förhållande till fuktgenerators standardosäkerhet.

k. Mättemperatur annan än kalibreringstemperaturen.

Enligt Widerhold /28/ kan kapacitiva RF-sensorer vara något känsliga för temperatur. Detta medför att utslaget för en viss RF ändras med temperaturen. I instrument med inbyggd temperaturkompensator sker en elektronisk compensation. Det är dock svårt att få exakt rätt compensation till ändringen i kapacitansen hos RF-sensorn. Det saknas dock mer utförligt material angående detta "fel". Tills vidare så anses detta fel försumbart om RF-sensorn med instrument är kalibrerad vid +20 °C och mätningen utförs i intervallet +15 till +25 °C.

l. Mättemperatur annan än 20°C.

Korrektionen görs enligt Figur 21, dvs. $x_i = (20-15) \cdot 0.3 = +1.5 \text{ \% RF}$.

Standardosäkerheten för ovan beskrivna korrektion beräknas med formeln;

Standardosäkerheten = $b \times (20 - T)$, $T < 20^\circ\text{C}$

Standardosäkerheten = $b \times (T - 20)$, $T > 20^\circ\text{C}$

$b = 0.0016 \cdot (100 - \text{RH})$

T = den aktuella temperaturen i betongen.

Avläst RF, temperatur +15 °C ger $u(x_i) = 0.0016 \cdot (100-85) \cdot (20-15) = 0.12 \text{ \% RF}$.

m. Olika temperatur mellan givare och betong.

Vid mätning av RF skall temperaturskillnad mellan betong och RF-sensor undvikas. Det går inte att ange några korrigeringsanvisningar för denna typ av fel. Felet kan uppskattas teoretiskt, men den uppskattningen behöver inte alltid stämma med verkligheten.

Standardosäkerheten sätts tillsvidare till noll (0) % RF.

n. Borrningens inverkan.

Vid mätning i borrar hål samt uttagning av prover skall erforderlig tid gå enligt manualen mellan borrar / provtagning och RF-bestämning. Osäkerheten sätts då till 0 % RF.

o. Mättid.

Vid mättid enligt manualtexten sätts osäkerheten till noll (0) % RF.

p. Temperaturvariationer under mätning

Antag att temperaturen i betongen vid fältmätningar varierar maximalt inom $\pm 1.0^\circ\text{C}$ (yttre gränser). Om rektangelfördelning antas blir standardavvikelsen $1.0/\sqrt{3} = 0.58^\circ\text{C}$. Detta ger enligt p) sid 34 att standardavvikelsen i RF blir ca 0.3 % RF.

r. Avvikelse i mätdjup.

RH ökar med ökande djup från ytan. Ändringen i RH med avståndet i cm i djupled kan enligt tidigare i kompendiet skrivas

$11/(H/2) \pm 3/(H/2)$ vid dubbelsidig uttorkning (%RH/cm)

$11/H \pm 3/H$ vid enkelsidig uttorkning (%RH/cm)

H = betongtjocklek (cm)

$3/(H/2)$ resp. $3/H$ avser en standardavvikelse.

Ändringen i RF enligt ovan, gäller från ekvivalent mätdjup och ca en cm inåt i betongen.

Enligt /27/ skall borrhål borraras 0 – 2 mm djupare än det beräknade ekvivalenta mätdjupet. Mätdjupet antas bestämmas på ± 3 mm.

Plattjockleken (H) är 220 mm och uttorkningen är dubbelsidig. Uppmätt mätthålsdjup är $46\text{mm} \pm 3$ mm, där $\pm 3\text{mm}$ är de yttre gränserna för detta fel som är rektangelfördelat. Ekvivalent mätdjup är $0.20 \cdot 220 = 44$ mm. Skillnad mellan uppmätt och ekvivalent Mätdjup är $(46 - 44) = 2\text{mm} = 0.2$ cm.

Standardosäkerheten för mätdjupet $= 0.3/\sqrt{3} = 0.173$ (cm), vilket ger att relativa standardosäkerheten för mätdjupet är $0.173/0.2 = 0.865$.

Lutningen $= 11/(22/2) \pm 3/(22/2) = 1 \pm 0.272$ (%RF/cm), vilket ger att relativa standardosäkerheten för lutningen är $0.272/1 = 0.272$.

Korrigerig av mätvärde till ekvivalent djup sker, i detta fall, genom att minska mätvärdet med ändringen i RF på grund av felaktigt mätdjup. Ändringen i RF skrivs som lutningen i RF-profilen multiplicerat med skillnaden mellan fel och rätt mätdjup, dvs. $y = x_1 \cdot x_2 = 1 \cdot 0.2 = 0.2$ % RF. Detta värde är så litet att korrigeringen kan försummas.

x_1 = lutningen i RF-profilen $= 1$ (%RF/cm)

x_2 = Skillnaden i mellan felaktigt och rätt mätdjup $= -0.2$ (cm)

Då två eller flera variabler multipliceras eller divideras med varandra, så beräknas osäkerheten med hjälp av de relativa standardosäkerheterna

$$u^2(y)y^2 = u^2(x_1)x_1^2 + u^2(x_2)x_2^2$$

I vårt fall:

$$u^2(y)y^2 = 0.272^2 + 0.865^2 = 0.822$$

$$u^2(y) = 0.822 \cdot y^2 = 0.822 \cdot 0.2^2 = 0.0329$$

$$u(y) = \sqrt{0.0329} = \pm 0.18 \text{ (en standardavvikelse).}$$

Ekvationen ovan kan användas då x_1 respektive x_2 är betydligt större än motsvarande standardosäkerhet. Om så inte är fallet används följande ekvation, som är ekvation (S4.3) i EAL-R2-S1-Sv, /3/.

$$u^2(y) = x_2^2 \cdot u^2(x_1) + x_1^2 \cdot u^2(x_2) + u^2(x_1) \cdot u^2(x_2)$$

I vårt fall får vi

$$u^2(y) = 0.2^2 \cdot 0.173^2 + 1^2 \cdot 0.272^2 + 0.173^2 \cdot 0.272^2 = 0.0774 \Rightarrow u(y) = \sqrt{0.0774} = 0.278.$$

$u(y) = \pm 0.28$ % RF (en standardavvikelse), dvs. standardosäkerheten är betydligt större än beräknat med den första ekvationen. I detta fall måste den senare ekvationen användas. Motsvarande beräkning för 160 mm tjock, dubbelsidigt torkande, betongplatta ger att för denna är $u(y) = 0.26$ %RF.

s. Avvikelse i plattjocklek.

Platsgjutet mellanbjälklag. Maximal variation i plattjocklek antas vara $\pm 5\%$.

För en 220 mm tjock betongplatta antas då att a_+ och a_- är 231 mm respektive 209 mm, dvs. $a = 11$ mm.

Vi bedömer att fördelningen av tjockleksvariationerna är koncentrerad mot mitten, varför en triangelfördelning används. Standardavvikelsen blir $1.1/\sqrt{6} = 0.45$ cm.

Detta värde avser standardavvikelsen för hela tjockleken. Den relativa standardavvikelsen blir $0.45/22.0 = 0.0205$ (22 är tjockleken i cm) Nominellt mätdjup 20 % av plattjockleken $= 0.2 \cdot 22 = 4.4$ cm. Variationerna i plattjocklek (11mm) medför att standardavvikelsen på nominellt mätdjup av denna blir

$$0.0205 \cdot 4.4 = 0.09 \text{ cm}$$

$$\text{Lutningen på gradienten} = 11/(H/2) \pm 3/(H/2) = 11/11 \pm 3/11 = 1.0 \pm 0.27.$$

Då två eller flera variabler multipliceras eller divideras med varandra, så beräknas osäkerheten normalt med hjälp av de relativa standardosäkerheterna (standardosäkerheten delat med medelvärdet eller mätvärdet). Detta förfarande kan användas då x_1 respektive x_2 är betydligt större än motsvarande standardosäkerhet. Om så inte är fallet används följande ekvation, ekvation (S4.3) i EAL-R2-S1-Sv, /3/. I vårt fall så är $x_1 = 0$, eftersom vi inte har någon avvikelse från nominellt mätdjup. Standardavvikelsen på detta djup pga. tjockleksvariationer är 0.09 cm.

$$u^2(y) = x_2^2 \cdot u^2(x_1) + x_1^2 \cdot u^2(x_2) + u^2(x_1) \cdot u^2(x_2)$$

Vi får

$$u^2(y) = 1^2 \cdot 0.09^2 + 0^2 \cdot 0.27^2 + 0.09^2 \cdot 0.27^2 = 0.0087 \Rightarrow u(y) = 0.094 \% \text{ RF.}$$

$$u(y) = 0.09 \% \text{ RF (en standardavvikelse).}$$

För en 160 mm tjock, dubbelsidigt torkande, betongplatta ger motsvarande beräkningar att $u(y) = 0.19 \% \text{ RF}$ (en standardavvikelse).

Korrigerat mätvärde, vid $+20^\circ\text{C}$, blir $85 + 0.5 + 1.5 = 87.0 \% \text{ RF}$.

Resultatangivelse: Uppmätt RF i betongplattan är $87.0 \% \pm 1.5 \% \text{ RF}$.

Den angivna utvidgade mätosäkerheten är produkten av standardmätosäkerhet och täckningsfaktorn $k = 2$, vilket för en normalfördelning svarar mot en täckningssannolikhet av ungefär 95 %. Standardmätosäkerheten har bestämts i enlighet med EAL:s publikation EAL-R2.

4. REFERENSER

1. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. International Organization for Standardization, ISO. Första utgåva 1993, korrigerad och nytryckt 1995, Geneve,
2. Angivande av mätosäkerhet vid kalibrering. European cooperation for Accreditation of Laboratories. Publikation EAL-R2-Sv. 1998. Information om skriften kan fås från SWEDAC.
3. Supplement till EAL-R2-Sv, Angivande av mätosäkerhet vid kalibrering. European cooperation for Accreditation of Laboratories. Publikation EAL-R2-S1-Sv. 1998. Information om skriften kan fås från SWEDAC.
4. Hedenblad, G. Fuktsäkerhet i byggnader. Uttorkning av byggfukt i betong - torktider och fuktmätning. Byggforskningsrådet T12:1995.
5. Sjöberg, A. Mätosäkerhet vid fuktmätning i betong med kapacitiva fuktgivare - en bedömning av faktorer som påverkar osäkerheten samt hur de kan minskas. Byggnadsmaterial, CTH. Rapport P-98:1, 1998, Göteborg.
6. Lauber, A. Föredrag "Felmedvetenhet" vid kursen "Kalibrering och mätosäkerhetsberäkning i industrin" arrangerat av Institute for International Research AB (IIR), Stockholm. 1998.
7. Möller, G., Petersons, N. Betonghandboken, Material, utgåva 2, avsnitt 11.13:6. Svensk Byggtjänst, Stockholm. 1994.
8. 20 %-aren.....
9. Olbjer, L. Experimentell och industriell statistik. Lunds Universitet och Tekniska Högskolan i Lund. Avdelningen för Matematisk Statistik. 1998. Lund
10. Blom, G. Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar. Studentlitteratur, tredje upplagan. 1980. Lund.
11. Rydén T. och Lindgren G. Kompendium i Markovprocesser. Institutionen för matematisk statistik, Lunds Universitet och Lunds Tekniska Högskola. 1996, Lund.
12. A Guide to the Measurement of Humidity. The Institute of Measurement and Control. 1996, London.
13. Hedenblad, G. Fuktmätning i högpresterande betong. Konsortiet "Högpresterande Betongkonstruktioner". Intern rapport M8:4. Kan erhållas från Byggnadsmaterial, Lunds Tekniska Högskola. 1996. Lund.
14. Hus AMA 98. Svensk Byggtjänst, Solna.
15. Greenspan, L. Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions. Journal of Research of the National Bureau of Standards – A. Physics and Chemistry Vol. 81A, No. 1, 1977.

- 16 Hedenblad, G. Moisture Permeability of Mature Concrete, Cement Mortar and Cement Paste. Byggnadsmaterial, LTH. Rapport TVBM-1014, 1993, Lund.
17. Lafarie, J.P. Accuracy of relative humidity instruments. Energy Engineering, Vol 85, nr 2, 1988.
18. Adler, O. Personlig information, 1998.
19. Nilsson, L-O. Temperatureffekter vid mätning av relativ fuktighet i betong, preliminära resultat (på engelska). Fuktgruppen vid LTH. Fuktgruppen informerar 1987:1, 1987, Lund.
20. Sjöberg, A. Personlig information, 1999.
21. Resultat från Danmarks Tekniske Universitet.....
22. Johansson, A. och Warris, B. Deviation in the Location of Reinforcement. Cement- och Betonginstitutet. Handlingar nr 40. Stockholm, 1969.
23. BBK 94.band 2 avsnitt 8.9.
24. Pastrav, M. Moisture and Temperature Measurements in Concrete. Risk for Misleading Results when Measuring in Drilled Holes. Proceedings of the 2nd Symposium Building Physics in the Nordic Countries. Trondheim 1990. Tapir Publishers 1990.
25. Gårlin, G. och Hjort, M. Att mäta relativ fuktighet i betong. Byggnadsfysik, SP. Arbetsrapport SP AR 1995:62, 1995, Borås.
26. Nilsson, L-O., Hedenblad, G., Samuelsson, I. och Sjöberg, A. Temperatureffekter vid mätning på uttagna prover. AMA-nytt Mark•Hus 1/99, Svensk Byggtjänst, Solna.
27. Rapp, T. Manual Fuktmätning i Betong. Version RBK 991004. Rådet för ByggKompetens – RBK. Stockholm. 1999.
28. Wiederhold, P.R. Water Vapor Measurement – Methods and Instrumentation. Marcel Dekker Inc. New York, USA, 1997.

5. BETECKNINGAR

N = antal instorheter

U = utvidgad mätosäkerhet

V = varians

X = instorhet

Y = utstorhet

a = halva bredden för rektangulär och triangulär fördelning

c = känslighetsfaktor

f = funktion för samband mellan utstorhet och instorhet, modellfunktion

k = täckningsfaktor

n = antal mätvärden i en mätserie

s = standardavvikelse för ett begränsat antal mätvärden

$u(x_i)$ = standardmätosäkerhet för instorhet

$u_i(y)$ = bidrag till standardmätosäkerhet = $c_i \cdot u(x_i)$

$u(y)$ = kombinerad mätosäkerhet

x_i = skattning av instorhet som används vid utvärdering av mätresultat

y = skattad utstorhet, beräknad från skattningen av instorheterna

Δ_j = korrektionsterm för systematisk effekt hos utstorhet Y eller instorhet X

δ_j = skattad korrektionsterm för systematisk effekt hos utstorhet y eller instorhet x

μ = väntevärde, medelvärde

σ = standardavvikelse för en serie med obegränsat antal mätvärden

3 FUKT

3.1 Grundläggande lagar för fuktvandring i porösa byggnadsmaterial

Examensarbetare: Lennart Ahlgren

Handledare: Prof Sven G Bergström

Klart: September 1966

Referent: Lennart Ahlgren

Examensarbetet är utgivet som intern rapport vid Institutionen för byggnadsteknik. Arbetet är utfört som en litteraturstudie.

Inledningsvis betonas, att fuktvandring i porösa byggnadsmaterial är en komplicerad mekanism sammansatt av en mängd grundläggande processer, som samverkar eller motverkar varandra. Intimt förknippade med fuktvandringsproblemen är värmeledningsfrågorna. Fuktinnehållet hos materialet kan ha stor inverkan på den transporterade fuktmängden. Förekomsten av både ångfas och vätskefas samtidigt försvårar ytterligare. Härtill kommer variationer med olika materialslag och strukturer.

De första kapitlen i rapporten behandlar kortfattat materialens porstruktur, fuktfixering och fuktisotermen. Därefter behandlas de grundläggande transportmekanismerna betraktade var för sig. I det sista kapitlet tas även upp något om kombinerad transport av vätska och ånga.

I kapitlet om fuktfixering redogörs bl a för de olika sätt på vilka fukt kan bindas till ett material inte bara i molekyllär form utan även i vätskefas. I samband med adsorptionsbindning behandlas helt kort B.E.T.-teori. Vidare redogörs för fuktens bindning vid kapillärkondensation.

I kapitlet som behandlar fuktisotermen redogörs för hur vattnet är bundet i materialet vid olika relativa fuktigheter. Skillnaden mellan sorptions- och desorptionsisotemer diskuteras även.

Därefter behandlas de olika fukttransportmekanismerna. Först behandlas den transport som äger rum då fukten finns i form av ånga i materialet.

Fukttransport i ångfas hos material med porer, vilkas radie är större än fria medelväglängden för vattenångmolekylerna, sker huvudsakligen som ett diffusionsförlopp. Transporten sker härvid mot partialtrycksgradientens riktning (från högre till lägre partialtryck). Då porerna är mindre sker transporten i form av effusion. Även här är den transporterade mängden proportionell mot vattenångans partialtrycksgradient och riktad mot densamma. Denna sistnämnda process kan även ske under inverkan av en temperaturgradient. Vattenången transporteras härvid mot den högre temperaturen. En makroskopisk rörelse, s k termisk glidning, hos vattenångskiktet utefter väggarna i makroporerna kan komma till stånd i temperaturgradientens riktning.

Transport i vätskefasen sker huvudsakligen under inverkan av kapillärpotentialen och tyngdkraftspotentialen. Då kapillärpotentialen ändras med temperaturen kan en vätsketransport ske i värmeströmmens riktning. Under inverkan av temperaturgradienten kan i ett tunt vätskeskikt vid kapillärväggen en rörelse ske mot värmeströmmen. Denna process kallas termoosmos.

Osmotiska krafter kan ge upphov till vattentransport. Väsentliga fukt-mängder kan även transporteras med hjälp av totaltrycksgradienter.

Vid praktisk tillämpning är de i rapporten redovisade formlerna i de flesta fallen av ringa värde. Eftersom flera av de separata processerna samtidigt kommer till stånd, måste man söka sig andra vägar. Approximativa metoder för beräkning av fuktvandringen måste härvid användas. Några sådana metoder har även framkommit och i vissa speciella fall visat god överensstämmelse med verkligheten, men de har alla sin begränsning.

3.2 Kalibreringsarbete och kontrollmätningar med utrustning för bestämning av fukttillståndet i betong

Examensarbetare: Lars-Olof Nordbäck

Handledare: Lennart Ahlgren

Klart: Augusti 1971

Referent: Lennart Ahlgren

Stort intresse föreligger beträffande metoder för icke-förstörande mätning av fukt på olika djup i byggnadsmaterial. Framför allt intresserar mätning av den fukt som finns i området över det hygroskopiska. En metod har bl a utvecklats av Lee och Bryden-Smith. Denna metod har modifierats något vid avdelningen för byggnadsmateriallära och några mindre tester har utförts. I föreliggande examensarbete har det gjorts en bredare undersökning av metodens möjligheter att **mäta** fukt i betong.

Metoden bygger på att man i betong gjuter in en känselkropp eller givare (se FIG 1). Denna givare kopplas i en strömkrets (se FIG 2), som är försörjd med växelström. Resistansen mellan givarens elektroder ändras med fukttinnehållet i givaren, som följer betongens fukttinnehåll. Resistansändringen ger upphov till ändring av strömstyrkan, som avläses på ett instrument.

De båda elektroderna, av vilka den yttre har formen av en spiral, är inbäddade i ett högtrycksånghärdat cementbruk. Högtrycksånghärningen vid 180°C och 10 atm utförs för att öka givarnas långtidsstabilitet. Givarna har en diameter på 10 mm och är 25 mm långa.

För att kontrollera givarnas funktion samt för att kalibrera dem, göts de in i provkroppar av olika betongkvaliteter. Kvaliteterna var K200, K300 och K400. maximal stenstorlek 12 mm. Provkropparnas dimensioner var 30x20x20 cm. Fyra ytor var förseglade med epoxi och aluminiumfolie medan två motstående av de större ytorna var fria. I varje provkropp ingöts tre givare på djupen 5, 7,5 och 10 cm räknat från ena ytan. Vidare tillverkades även en provkropp bestående av en äldre delvis uttorkad betong med måtten 30x20x14 cm, på vilken göts en 6 cm tjock överbetong med kvaliteten K300 så att en provkropp av samma storlek som ovan erhöles. På djupen 3 resp 4 cm i överbetongen ingöts givare. Till var och en av dessa provkroppar tillverkades sju stycken

dummyprovkroppar utan givare, som hanterades på samma sätt som de med givare.

Efter några dagars vattenlagring placerades samtliga provkroppar i ett klimatrum med $+20^{\circ}\text{C}$ och 65 % RF. Under 1/2-års tid följdes därefter provkropparnas uttorkning. De ingjutna givarnas resistans registrerades med regelbundna intervall under uttorkningsperioden. Helt stabila avläsningsvärden erhöles efter 15-90 sekunder för de olika givarna. De flesta givarna var stabila efter ca 30 sekunder. De strömstyrkor som avlästes var av storleksordningen hundratals μA , med en avläsningsnoggrannhet på 1 μA när. Resistansvariationen med tiden (se FIG 3) visar att bortsett från de tio första dygnen var de maximala avvikelserna $\pm 0,2 \text{ k}\Omega$. Detta motsvarar 2-4 % av avläst värde.

Under det halvår som examensarbetet pågick, bestämdes fuktkvoterna hos dummy-provkropparna. Fem provkroppar av varje sort förbrukades härvid. De resterande två av varje sort sparades för provtagning och kontroll av givarna vid senare tidpunkt. Vid olika tidpunkter, lämpligt fördelade under perioden, togs fuktprover genom uthuggning på en provkropp av varje sort. Tre olika prover togs på varje djup i provkroppen, som motsvarar djupet för givarna. Medelvärde av dessa tre som funktion av tiden visar att avvikelsen från medelkurvan hos den enskilda bestämningen är 0,2-0,4 viktprocent.

Avsättes logaritmen för resistansen hos varje givare som funktion av fuktkvoten på givarens nivå erhålls avvikelser från denna kalibreringskurva på $\pm 0,3-0,5$ viktprocent. Avsättes däremot logaritmen för resistansen som funktion av fuktkvoten hos den ovan nämnda medelkurvan, erhålls maximala avvikelser på $\pm 0,1-0,2$ viktprocent (se FIG 4). Kalibreringskurvorna blev räta, i stort sett parallella, linjer. Vid användning av givarna krävs alltså en eller vid noggranna bestämningar två kalibreringspunkter.

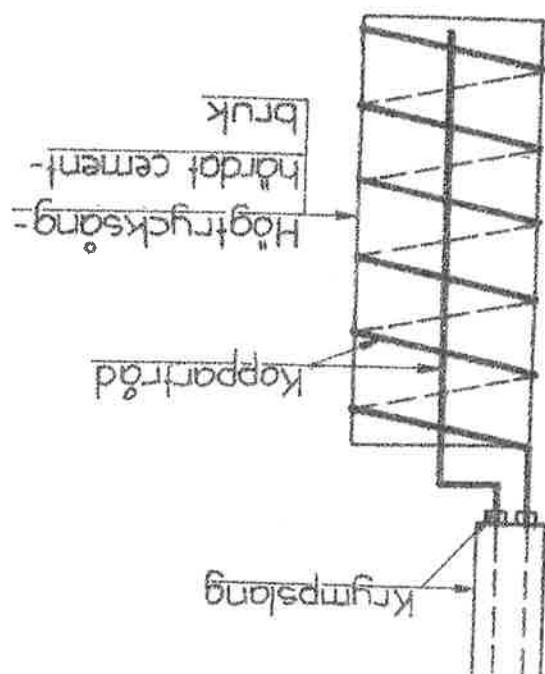


FIG 1 Fuktgivarens konstruktion.

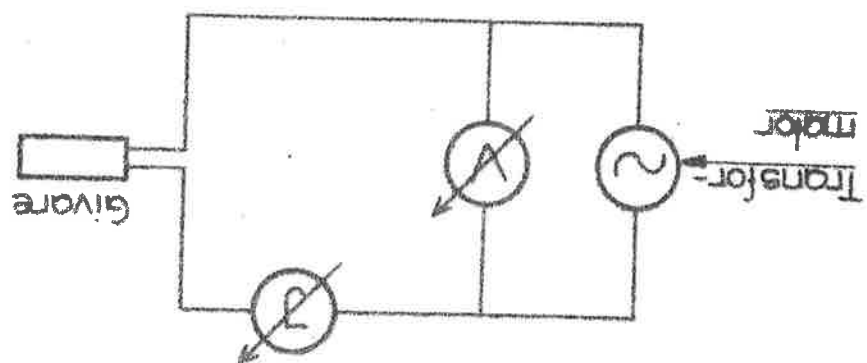


FIG 2 Kopplingschema.

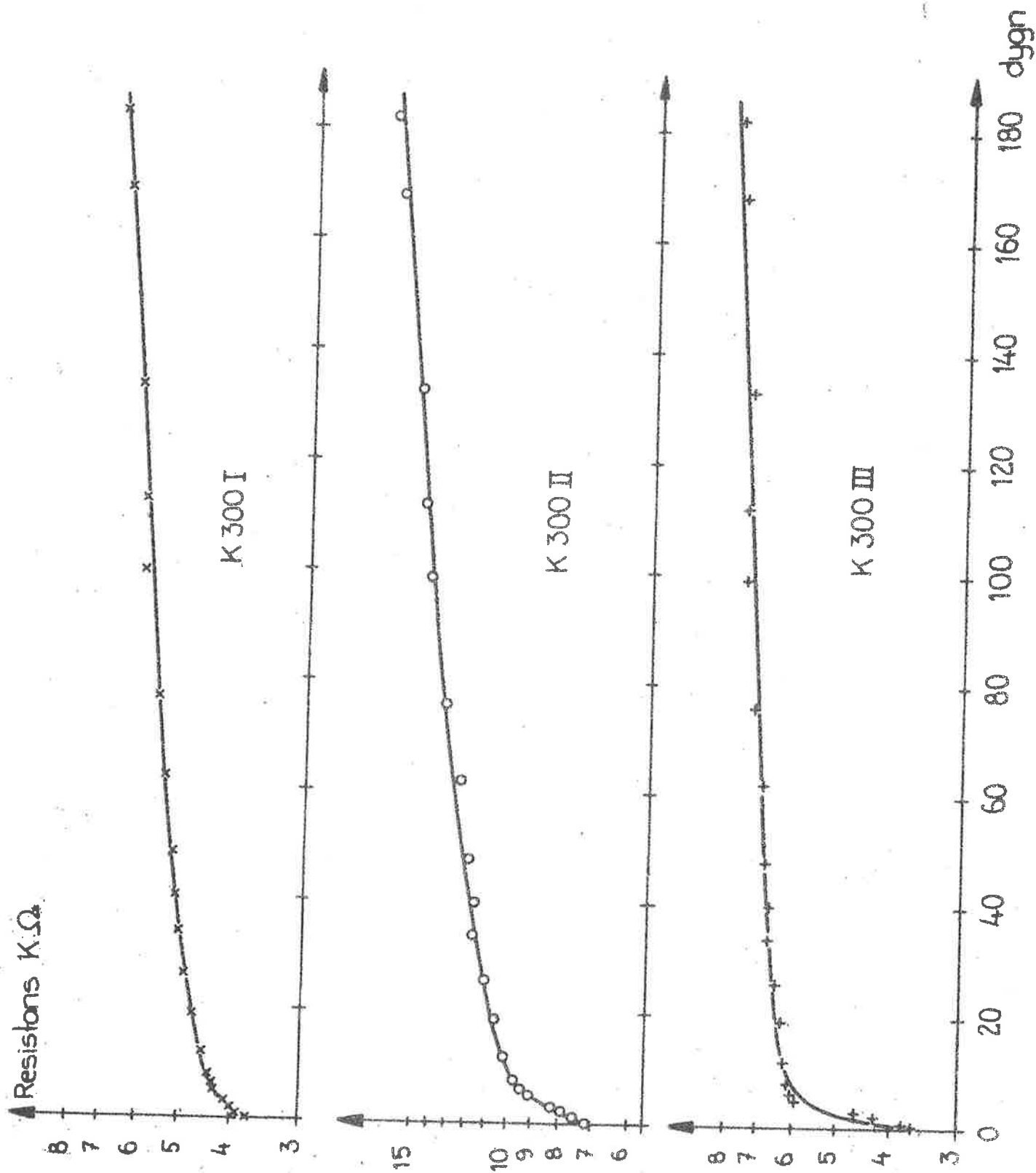


FIG 3 Avlästa resistansvärden vid olika tidpunkter under uttorkningsförloppet.

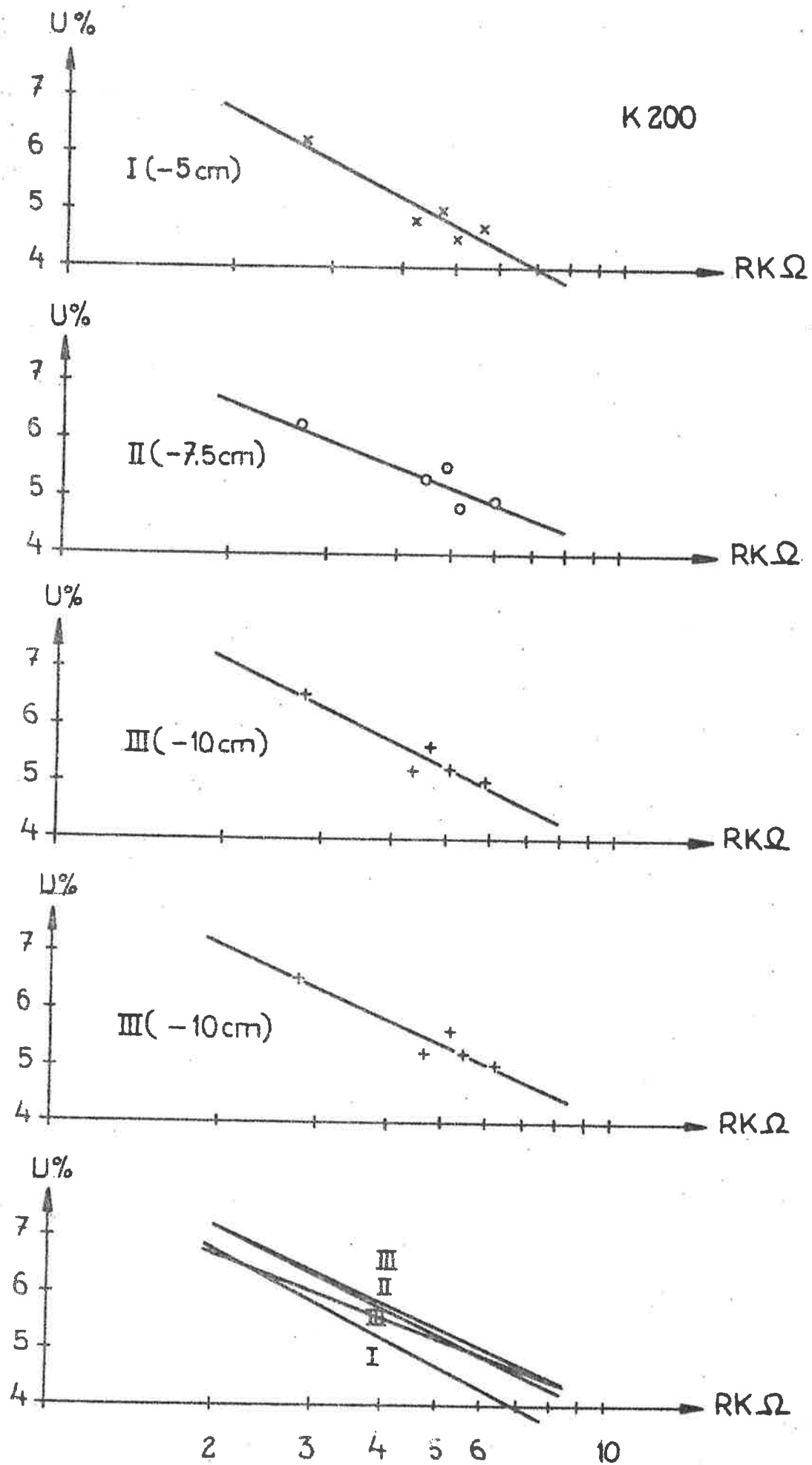


FIG 4 Kalibreringskurvor för fyra olika givare i betong K200.

3.3 Fuktmätning med gammastrålning

Examensarbetare: Kaj Jönsson

Handledare: Lennart Ahlgren och Thomas B Johansson

Klart: Juni 1971

Referent: Lennart Ahlgren

Under ovanstående rubrik döljer sig två olika examensarbeten utförda vid Institutionen för kärnfysik, LTH, i nära samarbete med avdelningen för byggnadsmateriallära. Båda är publicerade i rapporter från Institutionen för kärnfysik. Det första har titeln "Förberedande undersökning rörande mätning av fukt i byggnadsmaterial med gammastrålning" av Thomas B Johansson och det andra har titeln "Metod för studium av fuktändringsförlopp i byggnadsmaterial" av Kaj Jönsson. Arbetena behandlar framför allt mätning av fukt i betong, men metoderna är även tillämpbara på andra material.

Metoderna baserar sig på användning av γ -strålande preparat, som ingjuts i betong. Den strålning som passerar betongen utan att förlora en energi detekteras med halvledardetektor. Den detekterade strålningen utgör ett mått på betongens täthet och därmed på fuktigheten. Eftersom andelen kemiskt bundet vatten hos betong ändras med tiden, måste även detta vatten räknas till fuktigheten. Bestämning av hydratationsgraden vid några enstaka tillfällen under t ex ett uttorkningsförlopp gör att man lätt kan korrigera för det kemiskt bundna vattnet, varvid ett mått på det förångningsbara vattnet erhålls.

Teoretiskt visas att fukttinnehållet i betongen kan beräknas ur formeln:

$$f' = \frac{k - \lambda t - \ln n}{a}$$

där f' = totala vattenvolymen dividerad med volymen uttorkad
(1000°C) betong

λ = det radioaktiva preparatets sönderfallskonstant

t = tiden

n = antalet fotoner ut ur betongen

k = konstant som bestäms av rymdvinkeln och detektorns effektivitet.

$$a = \frac{x \cdot N_a \cdot \sigma_v \cdot \rho_v}{A}$$

där x = djupet i betongen

N_a = Avogadros tal

σ_v = vattnets totala absorptionstvärnitt

ρ_v = vattnets densitet

A = vattnets atomvikt

Målsättningen för undersökningarna har varit att bestämma det förångningsbara vattnet på olika djup i betong med en noggrannhet på $\pm 0,5$ viktprocent. Felberäkningar i de båda examensarbetena visar att detta är fullt möjligt. Härmed krävs det emellertid en noggrannhet på mindre än 0,01 mm i avståndet mellan detektor och ingjutet preparat.

Vid det första examensarbetet ingöts i ett betongblock preparat på olika djup. Blocket var satt under endimensionell uttorkning i ett stabilt klimat. Dummies göts till detta block ur vilka jämförande fuktprover togs. Försöksuppställningen vid mätningarna framgår av FIG 1.

Flyttningar av både betongblock och detektor gjorde, att det ovan angivna avståndet mellan preparat och detektor ej kunde hållas med tillräcklig noggrannhet. Alltför stor spridning erhöles vid mätningarna.

Vid det andra examensarbetet ingöts emellertid endast ett preparat och hela försöksuppställningen (se FIG 2) hölls fixerad. FIG 3 visar mätningarna utförda under ett uttorkningsförlopp. Maximala avvikelser från medelkurvan är av storleksordningen 0,5 volymprocent eller 0,2 viktprocent. I FIG 3 är även inlagda tre fuktkvoter som är bestämda på ett dummyblock.

En ny mätserie ha igångsatts med preparat ingjutna på olika djup. För att klara erforderlig noggrannhet i avståndbestämningen då detektorn flyttas, har ett preparat placerats i betongytan med vars hjälp detektorns läge kan bestämmas.

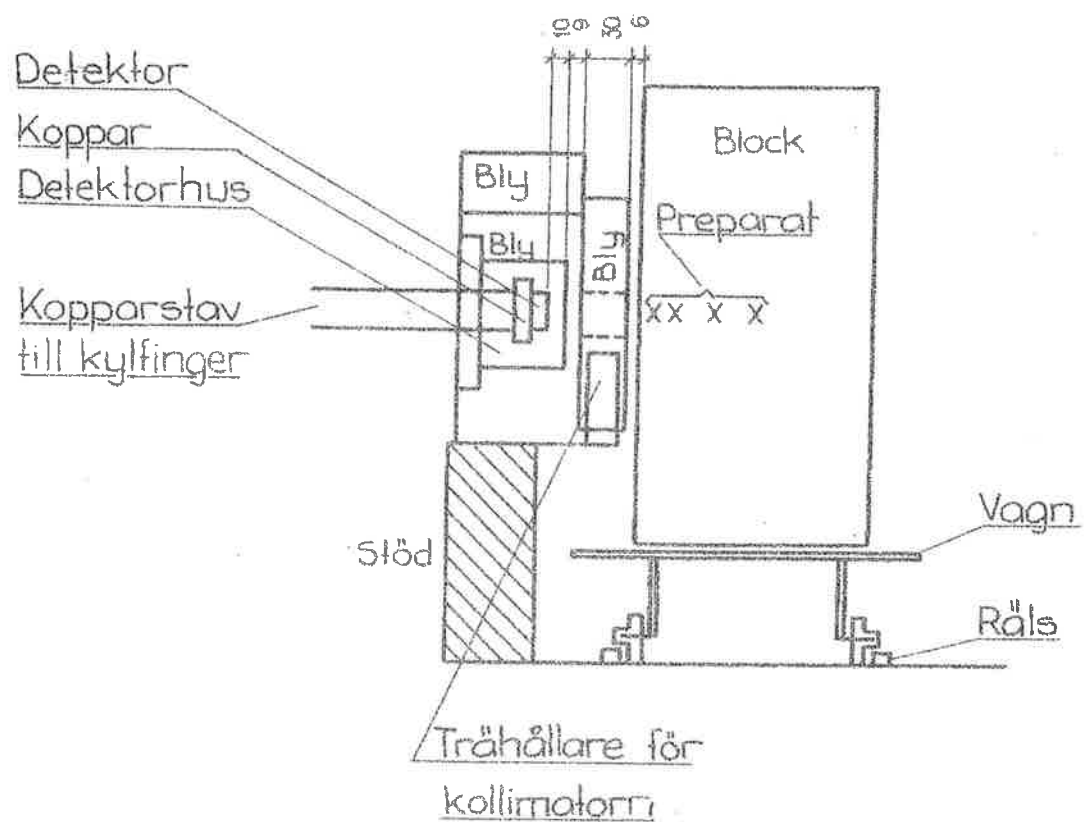


FIG 1 Försöksuppställning vid mätning på betongblock med preparat på olika djup.

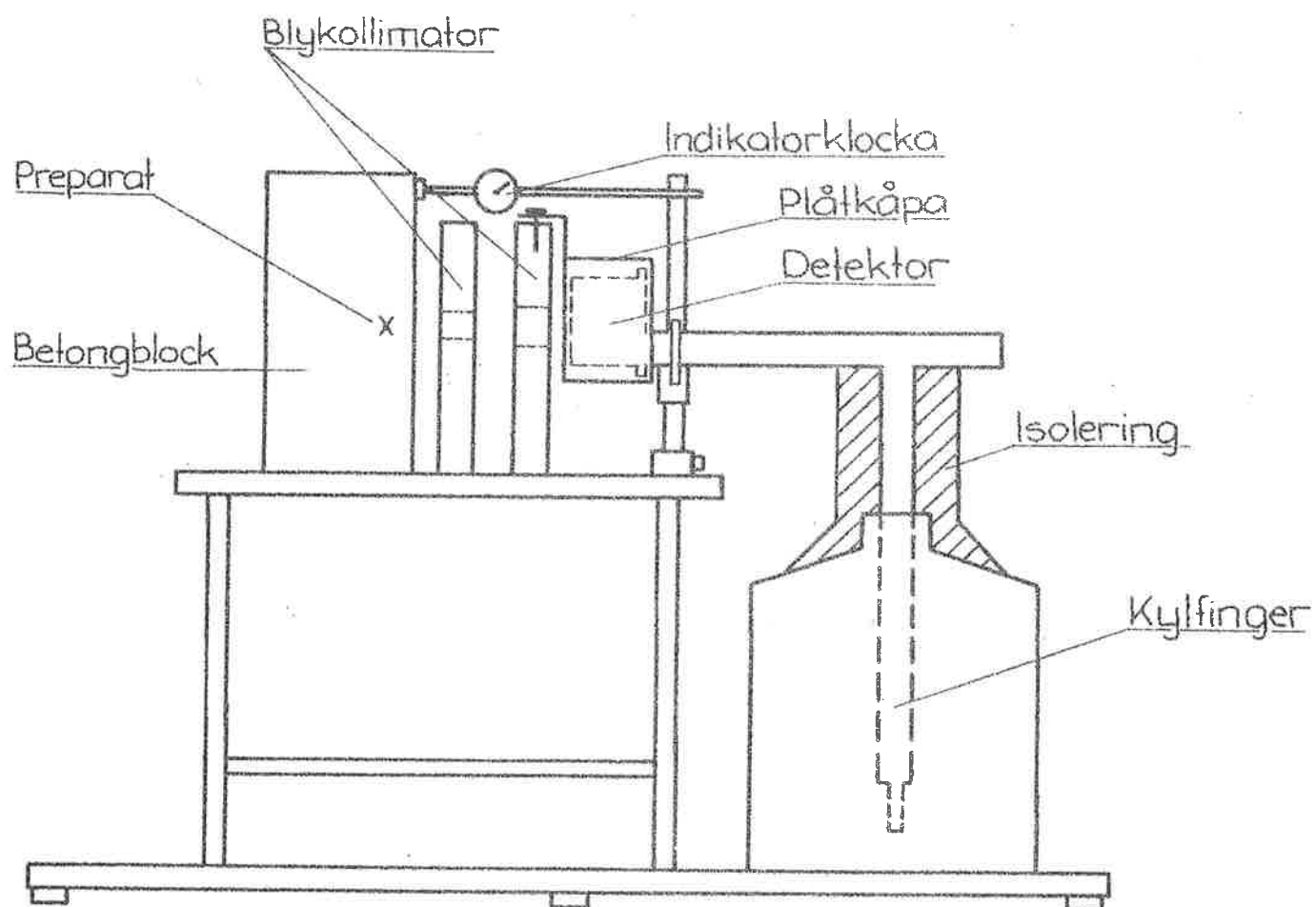


FIG 2 Försökupställning vid mätning på betongblock med ett preparat.

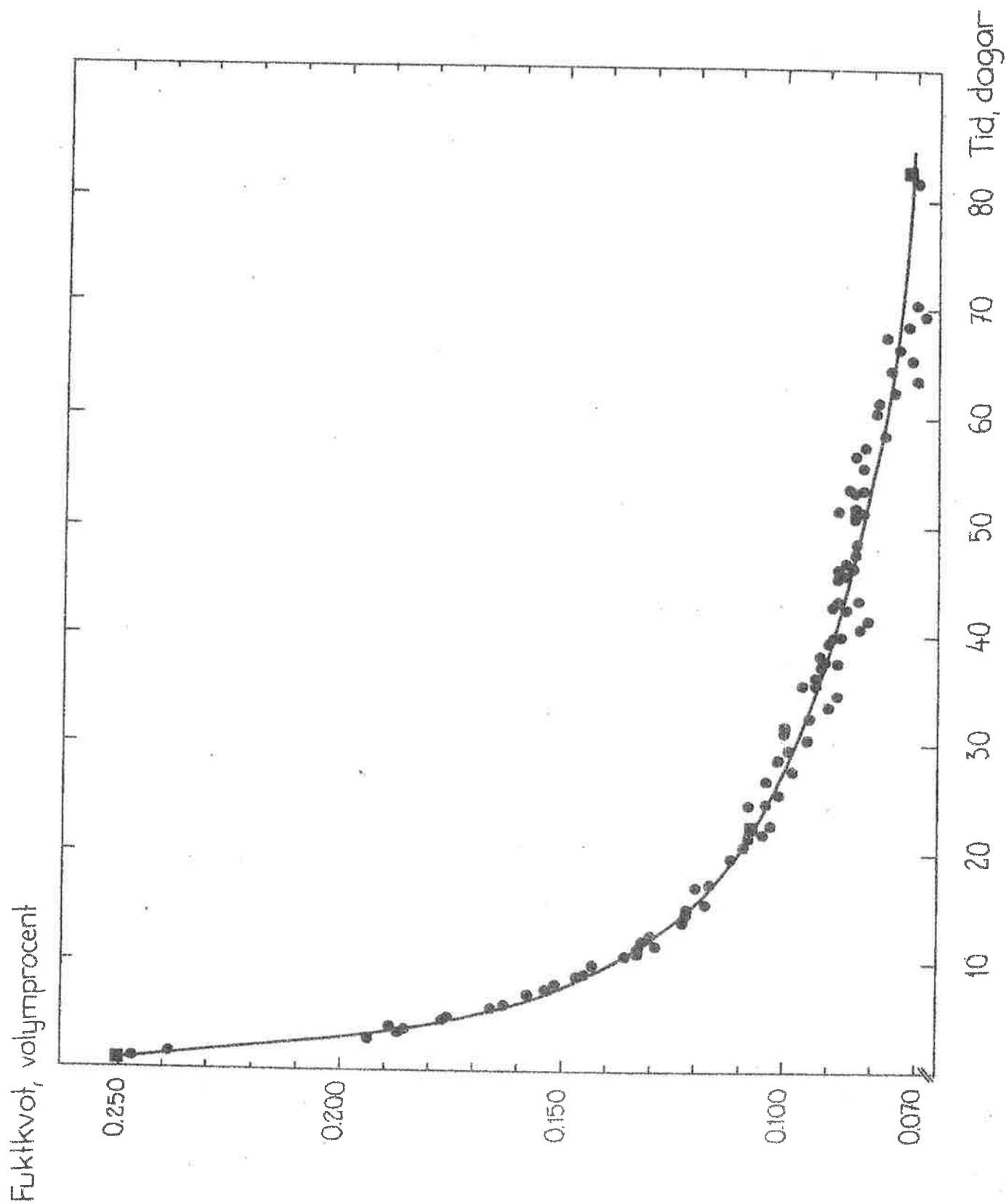


FIG 3 Fuktkvotsvärden bestämda vid olika tidpunkter under uttorkningsförloppet.

- med γ -strålning
- uttorkning i värmeskåp

4 BETONG

4.1 Inverkan av skillnader mellan blandningskonsistens och gjutningskonsistens hos betong (Se även ex.arbete 4.2)

Examensarbetare: Georg Andersson, Kaj Andersson och Benth Lönnberg

Handledare: Prof S G Bergström

Klart: Juli 1968

Referent: Göran Fagerlund

Referatet bygger till stor del på en artikel av Bergström /1/.

Bakgrund

I kylig väderlek och vid korta transportavstånd kan man räkna med att betongen vid gjutstället har samma konsistens som vid blandarstationen. Är emellertid väntetiden mellan blandning och gjutning lång, så hinner betongen styvna innan gjutning. Detta kompenseras med att man blandar med lösare konsistens så att betongen får rätt konsistens vid gjutstället. Kommer då betongegenskaperna, t ex hållfastheten, att bli desamma som när man gjuter omedelbart efter blandning till rätt konsistens?

Denna frågeställning har tagits upp i två examensarbeten, varav det andra redovisas i 4.2.

Tidigare studier har bl a gjorts av R Johansen /2/.

Försöksutförande

En enda betongkvalitet, K250, testades. Cementtyp var Limhamn Std.

Följande metodik användes (se schema i FIG 1).

Betongen tillverkades med fem olika konsistensnivåer, sättmått 2, 5, 8, 11 och 14 cm. Sättmått 2 cm var referensblandning. Provkroppar göts vid dessa konsistenser direkt efter blandningen.

De blandningar som var lösare än 2 cm sättmått fick sedan vila till dess att konsistensen styvnat till 2 cm, varefter provkroppar göts. Detta simulerar skeendet på gjutplatsen, där betongen efter varierande väntetid gjuts vid samma konsistens. (I varje fall är avsikten att betongen skall ha konstant konsistens.) Slutligen tillsattes vatten till de styvnade blandningarna så att ursprunglig blandningskonsistens (5, 8, 11 och 14 cm) återställdes, varefter en tredje omgång provkroppar göts.

Hela serien upprepades en gång.

Blandningskonsistensen varierades genom variation av cementhalten vid oförändrat vct. Reglering av konsistens gjordes sålunda via varierande cementpastamängd.

Vattenseparationsprov togs vid alla gjuttillfällen.

Resultat och konklusioner

Hållfasthetsresultaten visas i FIG 2.

Samtliga hållfasthetsvärden har satts i relation till referensblandningens hållfasthet, dvs hållfastheten hos en betong proportionerad till rätt konsistens och gjuten omedelbart efter blandning

Trots att konsistensvariationen gjorts så att vct är oförändrat, sjunker hållfastheten vid lösare konsistens med 0 à 15 %. Detta är den välkända effekt man får av att öka cementpastahalten vid oförändrat vct.

Inblandning av vatten i redan tillstyvnade blandningar är en förkastlig metod.

Gjutning av tillstyvnad betong ger genomgående högre hållfasthet än gjutning av samma betongmassa direkt efter blandningen. Dock räcker ökningen inte till att höja nivån till referensblandningens nivå.

Vissa vattenseparationsresultat visas i FIG 3. Som synes minskas vat-

tenseparationen starkt hos den tillstyvnade betongen och ökar sedan inte nämnvärt när denna blöts upp till ursprunglig konsistens.

Lufthalten hos färsk massa kan anses vara ett mått på betongens komprimerbarhet. Medelvärden av lufthalten i de båda serierna visas i FIG 4. Som väntat sjunker lufthalten med lösare konsistens. Den tillstyvnade betongen är svår att komprimera medan den uppblötta har mycket lägre lufthalt.

Litteratur

- /1/ S G Bergström Byggnadsmaterialforskning vid LTH. Del II: Betongforskning, Cement & Betong 1971:4.
- /2/ R Johansen Transport av fabrikkbetong - optimaliseringsmuligheter. Betongen idag 1964:2.

Blandnings- konsistens sättnått cm	Gjutningskonsistenser		
	direkt efter blandning	efter tillstyvnande	efter vattentillsats
2	② referens- blandning	—	—
5	5	2	5
8	8	2	8
11	11	2	11
14	14	2	14

FIG 1 Schema över blandnings- och gjutningskonsistenser.

Hållfasthet (%)

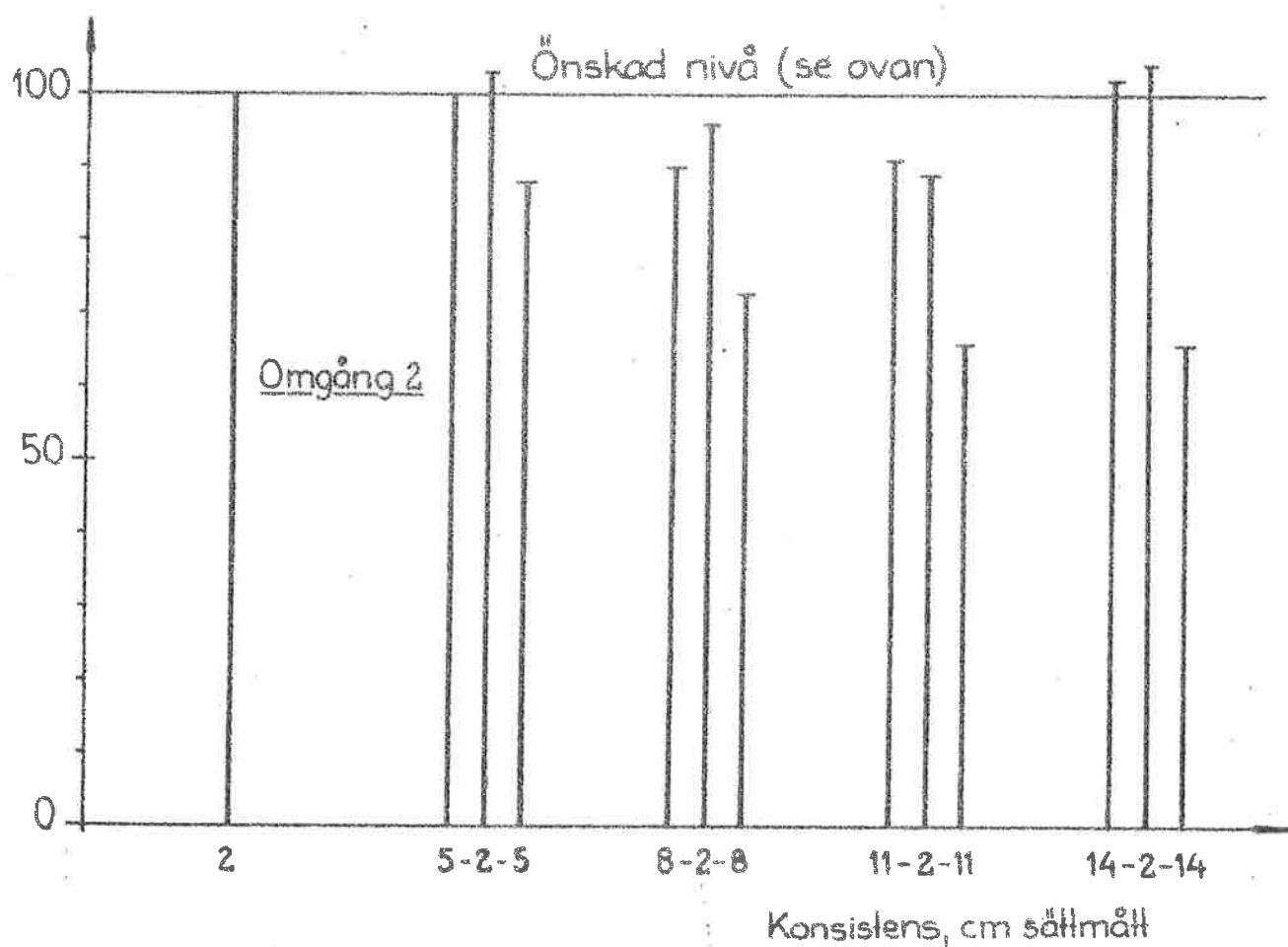
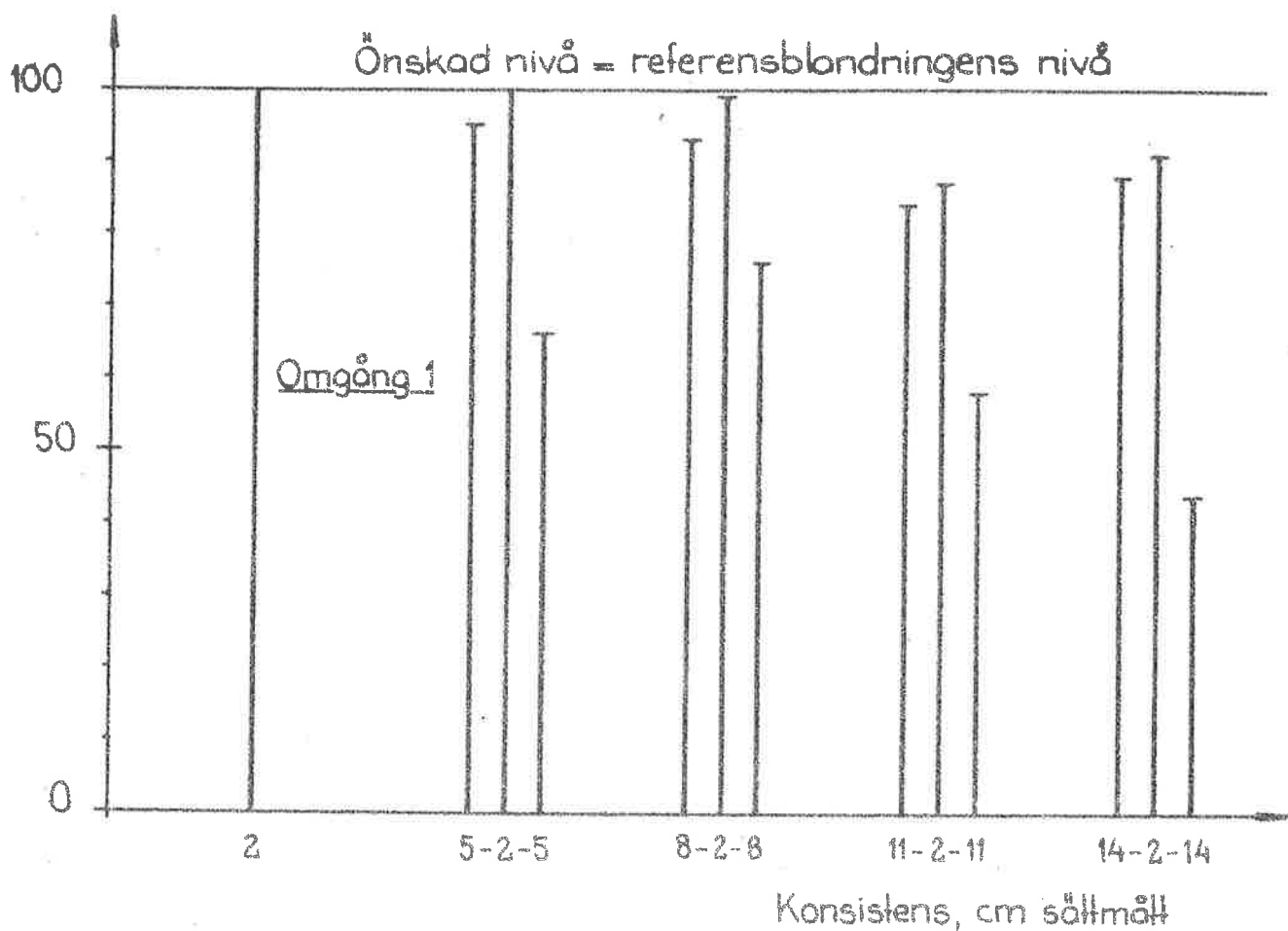


FIG 2 Hållfasthet vid olika gjutningskonsistenser. K250, konsistensvariation med mängden cementpasta.

Vattensep. g H₂O

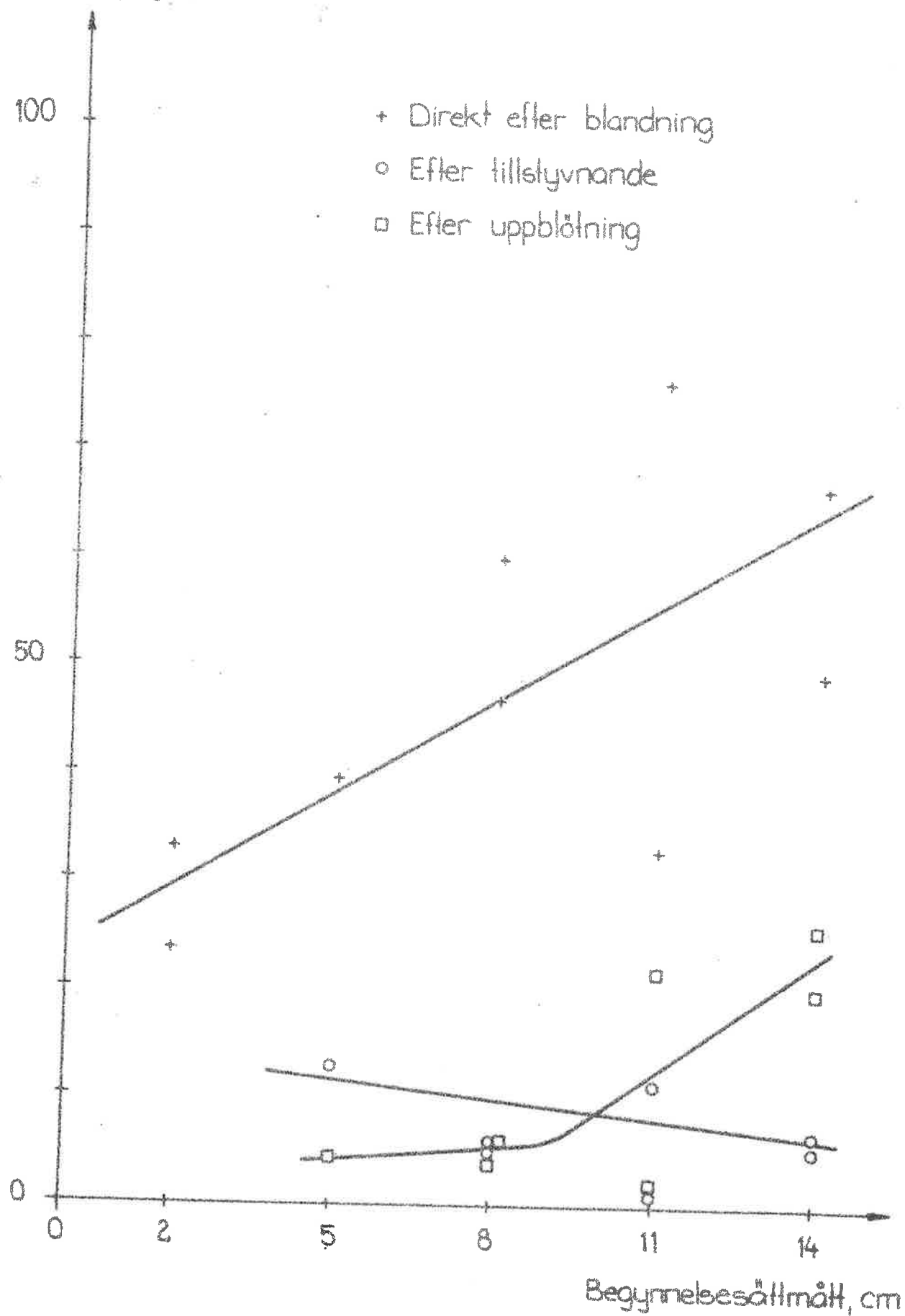


FIG 3 Vattenseparation som funktion av begynnellesättningsmätt.

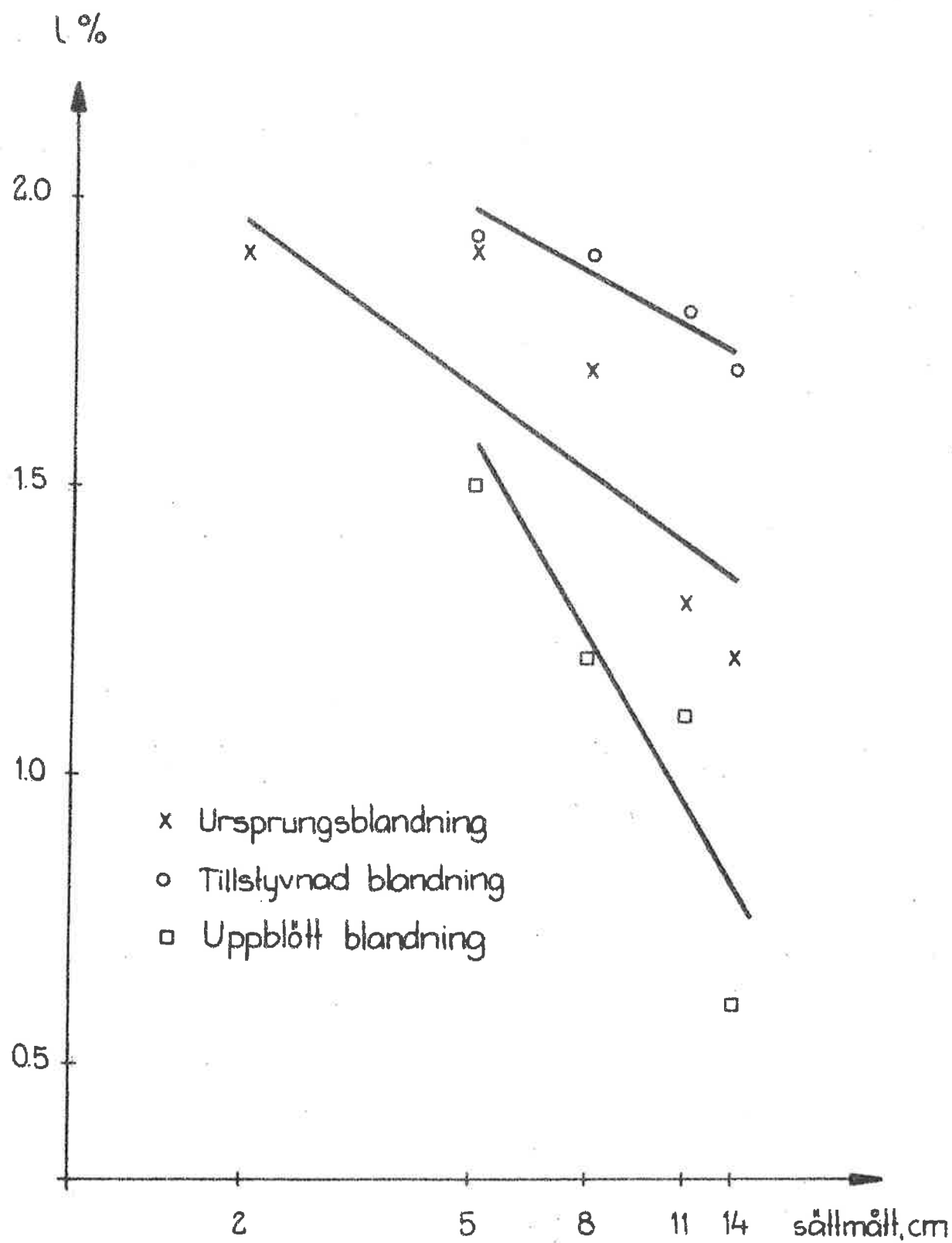


FIG 4 Lufthalten som funktion av konsistensen.

4.2 Inverkan av skillnader mellan blandningskonsistens och gjutningskonsistens hos betong (Se även ex.arbete 4.1)

Examensarbetare: Mats Albing , Staffan Bergqvist
Handledare: Prof S G' Bergström och G Fagerlund
Klart: Juni 1971
Referent: Göran Fagerlund

Referatet bygger till stor del på en artikel av Bergström /1/.

Bakgrund

I kylig väderlek och vid korta transportavstånd kan man räkna med att betongen vid gjutstället har samma konsistens som vid blandarstationen. Är emellertid väntetiden mellan blandning och gjutning lång, så hinner betongen styvna innan gjutning. Detta kompenseras med att man blandar med lösare konsistens så att betongen får rätt konsistens vid gjutstället. Kommer då betongegenskaperna, t ex hållfastheten, att bli desamma som när man gjuter omedelbart efter blandning till rätt konsistens?

Denna frågeställning har tagits upp i två examensarbeten varav det ena redovisas i 4.1.

Tidigare studier har bl a gjorts av R Johansen /2/.

Försöksutförande

Två betongkvaliteter testades, K250 och K350. Cementet var Limhamns Std.

Följande metodik användes (se schema i FIG 1).

Betongen tillverkades med fem olika konsistensnivåer, sättmått 2, 5, 8, 11 och 14 cm. Sättmått 2 cm var referensblandning. Provkroppar göts vid dessa konsistenser direkt efter blandningen.

De blandningar som var lösare än 2 cm sättmått fick sedan vila till

dess att konsistensen styvnat till 2 cm, varefter provkroppar göts. Detta simulerar skeendet på gjutplatsen, där betongen efter varierande väntetid gjuts vid samma konsistens. (I varje fall är avsikten att betongen skall ha konstant konsistens.) Slutligen tillsattes vatten till de styvnade blandningarna så att ursprunglig blandningskonsistens (5, 8, 11 och 14 cm) återställdes, varefter en tredje omgång provkroppar göts.

Ingen upprepning av försöksserierna gjordes.

Blandningskonsistensen varierades genom varierande vattentillsatser vid konstant cementhalt, dvs reglering av konsistensen medförde varierande vct.

Vattenseparationsprov togs vid alla gjuttillfällen.

Resultat och konklusioner

Hållfasthetsresultaten visas i FIG 2.

Samtliga hållfasthetsvärden har satts i relation till referensblandningens hållfasthet, dvs hållfastheten hos en betong proportionerad till rätt konsistens och gjuten omedelbart efter blandning.

Emedan konsistensvariationen gjorts via ökande vct sjunker hållfastheten alltmera ju lösare konsistensen är.

Att blöta upp en redan tillstyvnad betong till rätt konsistens är helt förkastligt. Bortåt halva hållfastheten tappas då.

I motsats till resultatet av examensarbete 4.1, så tappas ytterligare hållfasthet vid gjutning av tillstyvnad betong i jämförelse med gjutning direkt efter blandning.

Vissa vattenseparationsresultat visas i FIG 3 och 4 uttryckt i relation till vattenhalt. Som synes stiger vattenseparationen med ökande vattenhalt hos den färska blandningen. Vattenseparationsprov uttagna dels efter tillstyvnande till sättmättet 2 dels efter uppblötning uppvisar ett maximum vid en viss vattenhalt. Vid ökande vattenhalt

sjunker separationen. Den uppblötta blandningen visar trots ökad vattenhalt inte någon högre vattenseparation. Dess max.punkt ligger dessutom förskjuten mot högre vattenhalter.

Litteratur

- /1/ S G Bergström Byggnadsmaterialforskning vid LTH. Del II: Betongforskning. Cement & Betong 1971:4.
- /2/ R Johansen Transport av fabrikkbetong - optimaliseringsmuligheter. Betongen idag 1964:2.

Blandnings- konsistens sättnått cm	Gjutningskonsistenser		
	direkt efter blandning	efter tillstyvnande	efter vattentillsats
2	② referens- blandning	—	—
5	5	2	5
8	8	2	8
11	11	2	11
14	14	2	14

FIG 1 Schema över blandnings- och gjutningskonsistenser.

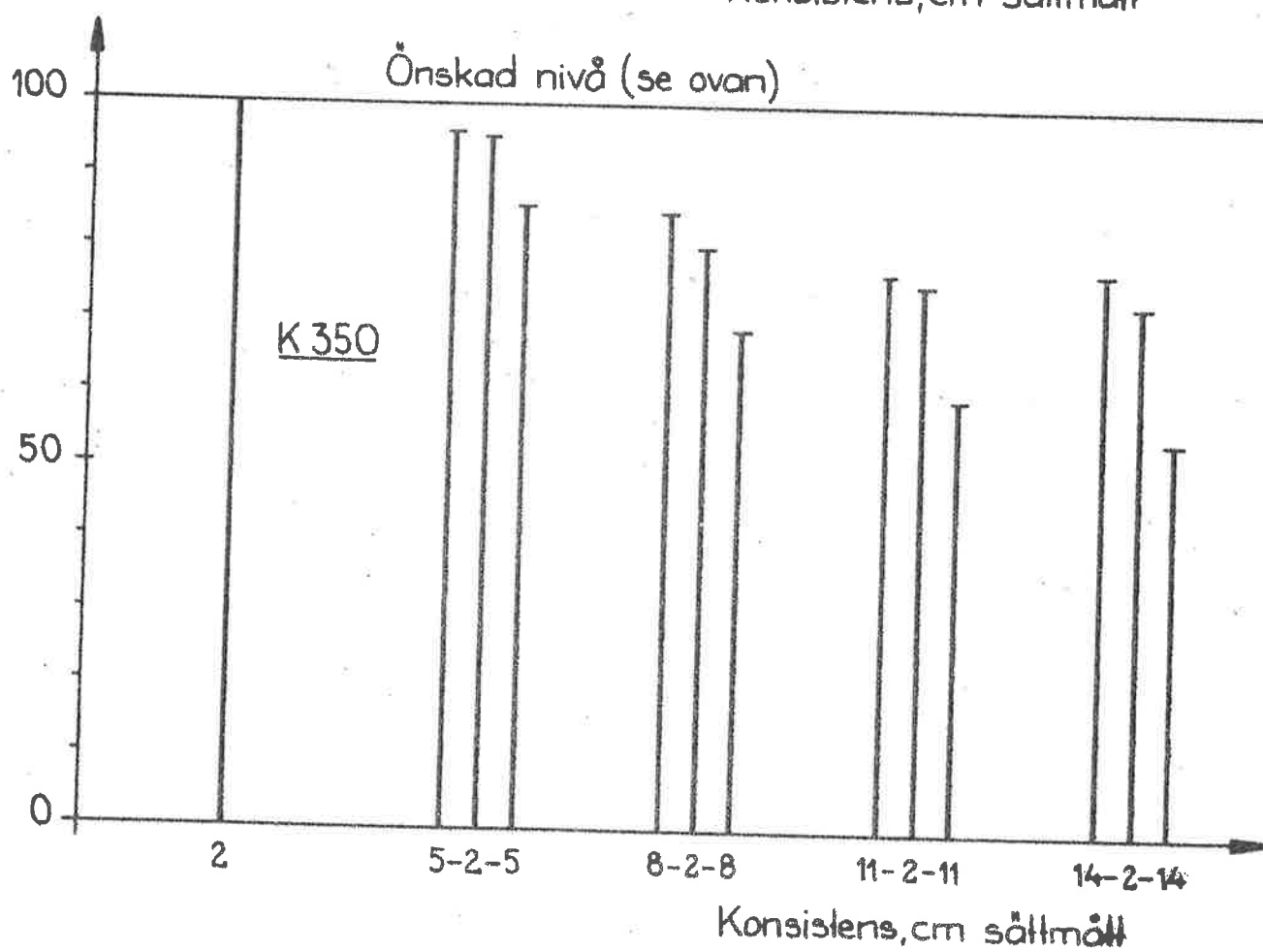
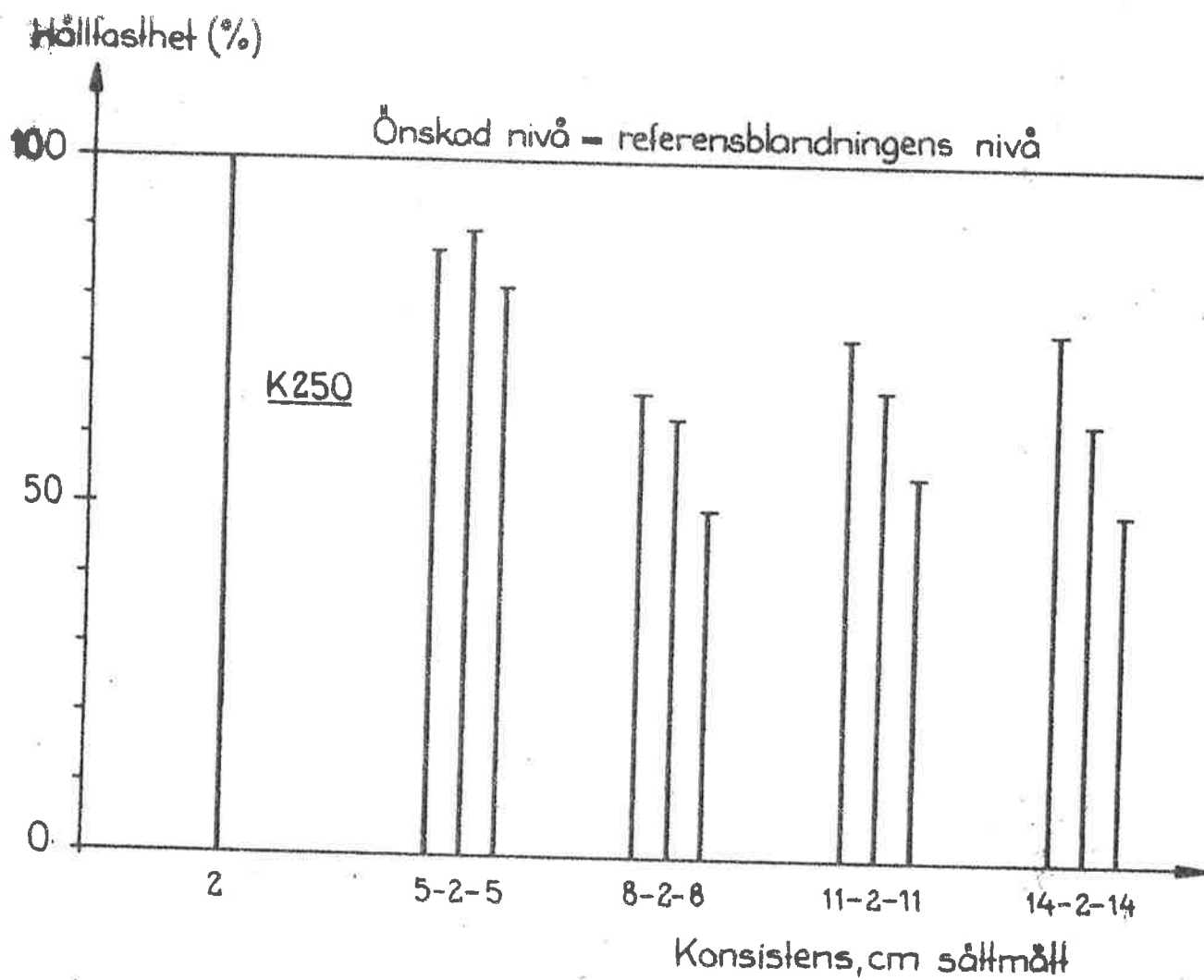


FIG 2 Hållfasthet vid olika gjutningskonsistenser. K250 och K350.
Konsistensvariation med vct.

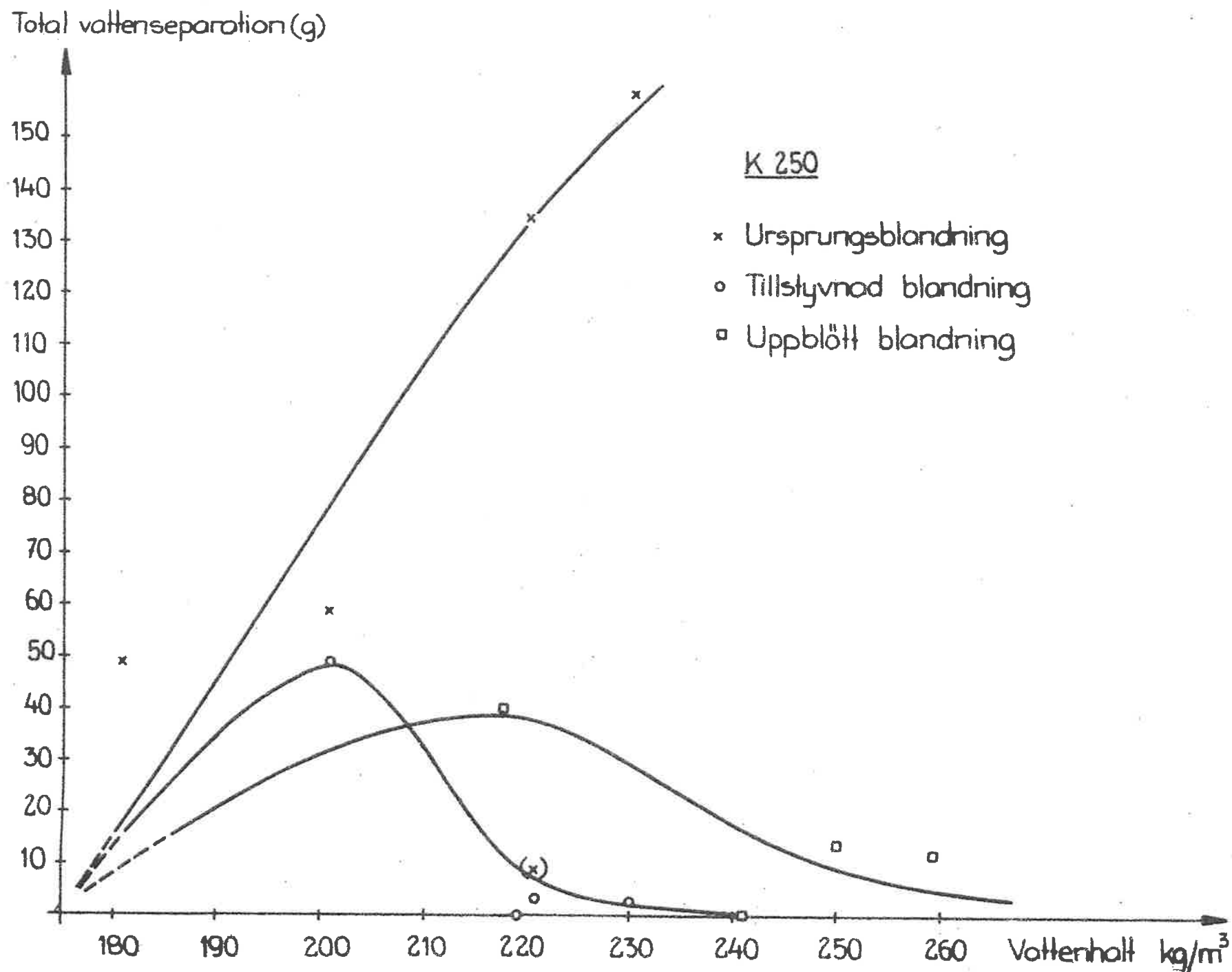


FIG 3 Totala vattenseparationen som funktion av vattenhalten.

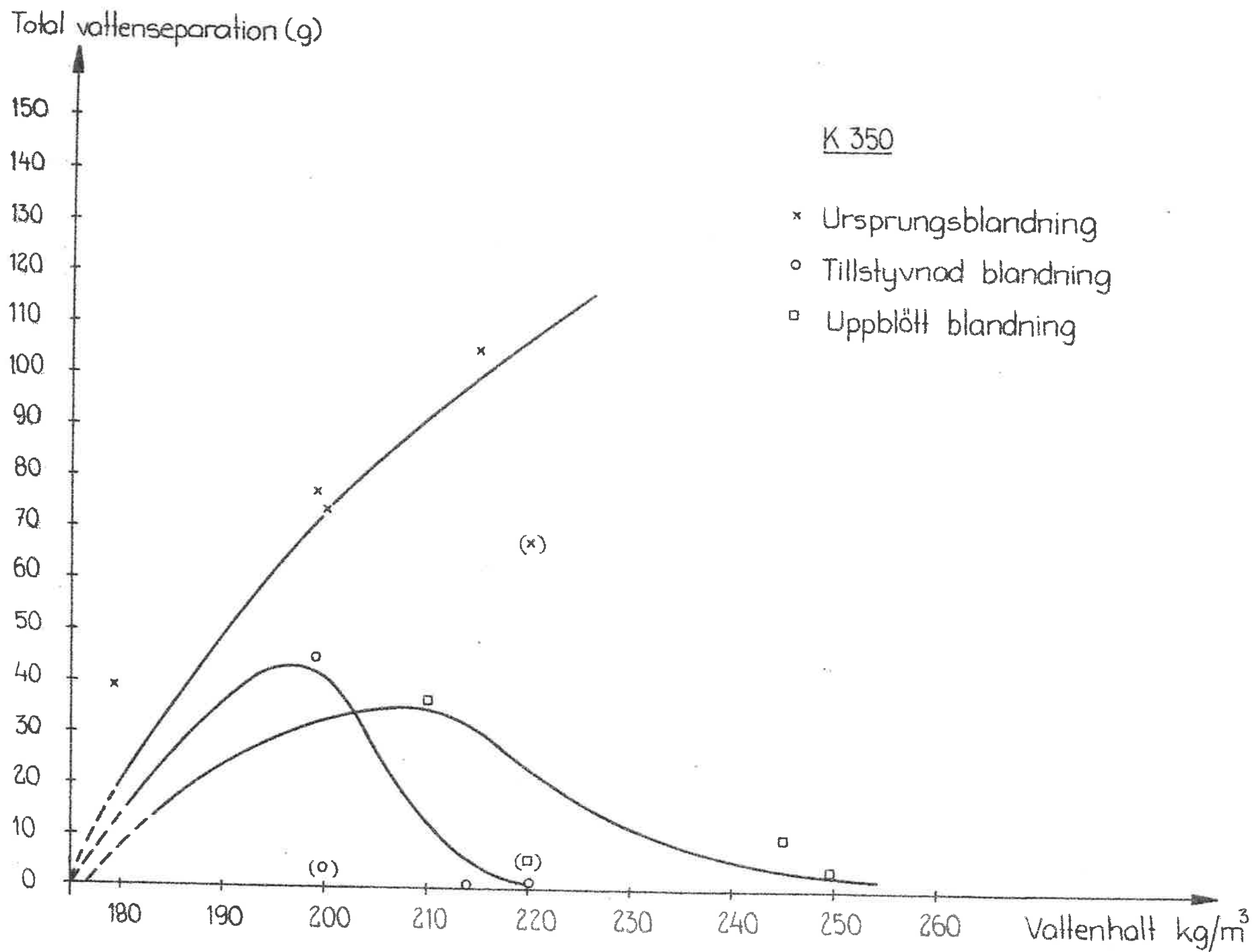


FIG 4 Totala vattenseparationen som funktion av vattenhalten.

4.3 Undersökning av möjligheten att använda krossat material i stället för naturgrus vid betongtillverkning

Examensarbetare: Per Gunnar Burström, Lars-Göran Mattisson och
Lars Carlsson

Handledare: Civi ing Göran Fagerlund

Klart: Augusti 1969

Referent: Per Gunnar Burström

Referatet bygger till vissa delar också på en artikel av Bergström /1/.

Bakgrund

Detta examensarbete har utförts som en avslutande fjärde etapp i en större undersökning, som utförts på uppdrag av AB Sydsten, där avsikten var att kartlägga konsekvenserna av en övergång till helt krossad ballast i en framtid med sinande naturgrustillgångar.

Försöksuppläggning

I försöken arbetades konsekvent med två kvalitetsnivåer, K250T och K400T, (T står för trögflytande konsistens).

Tidigare undersökningar hade visat att bearbetbarheten hos en krossgrus-betong är dålig. Därför var den primära uppgiften att försöka förbättra denna. Detta ansågs kunna uppnås genom att dels öka cementhalten och dels tillsätta ett vattenreducerande och plasticerande medel (Barra LV). Man tänkte sig också en kombination av båda dessa åtgärder.

Tidigare utförda försök visade också att en god bearbetbarhet kunde uppnås om en lämplig sandsiktkurva användes (finhetsmodul ≤ 2.20). Därför användes en sandsiktkurva enligt FIG 1 med finhetsmodulen lika med 1.70. Denna hade tidigare befunnits ge gynnsamma gjutegenskaper.

Om det naturliga utfallet vid krossningen endast siktas vid 2 mm, får man en sandsiktkurva med hög halt av fina partiklar $< 0,125$. Då sådana kurvor med hög halt av fina partiklar och partikelsprång 2-4 mm har visat sig ge gynnsamma resultat, fanns anledning att även testa det naturliga utfallet.

Vid varje gjutning eftersträvades ett sättmått på ungefär 6.0 cm (trögflytande).

Då höga cementhalter kan ge upphov till ökad krympning, bestämdes också att denna borde närmare undersökas. Överhuvudtaget tycks krossgrusbetong kräva mer vatten än normala naturgrusbetonger, dels p g a att man måste hålla så höga fillerhalter och dels p g a det krossade materialets annorlunda kornform och ytstruktur. Dessa höga vattenhalter verkar också krympningsökande.

Resultat och konklusioner

Hållfasthet

Någon hållfasthetsökning vid övergång till krossballast har ej erhållits. Sambandet hållfasthet - vct överensstämmer väl med motsvarande samband för naturgrusbetong. Dock ligger de erhållna hållfasthetsvärdena genomgående högre än den välkända laboratoriekurvan. Det bör därvid observeras att stenfraktionen i referensbetongen utgjordes av makadam.

Bearbetbarhet

Förutsättning: Även om sättmättet indikerade oförändrad konsistens vid övergång från naturgrus till krossgrus, så visade Mo-mätaren betydligt högre värden än enligt Betongbestämmelserna /2/. Den subjektiva bedömningen överensstämde med Mo-mätarens utslag. I FIG 2, där rutorna inringar samhörande värden på Mo- och sättmått enligt /2/, kan så uppmätta konsistensvärden införas. Om t ex en blandningskonsistens noggrant styrs in i område T med avseende på sättmått, men ligger väsentligt högre än T-området med avseende på Mo-mått, så föreligger en stark indikation på dålig bearbetbarhet.

I FIG 2 har erhållna värden inlagts. Som synes faller merparten inom det eftersträvade området T. God bearbetbarhet har alltså uppnåtts genom användning av sandsiktkurva med låg finhetsmodul (≤ 2.20), t ex enligt FIG 1, där även lämplig sammansatt kurva visas. En ökad cementhalt och/eller tillsats av konsistensförbättrande tillsatsmedel förbättrar ytterligare bearbetbarheten. Dock bör påpekas att betong med

enbart konsistensförbättrande medel subjektivt bedömdes bli svårbehandlad.

Krympning

Någon ökad krympning på grund av förhöjd cementhalt har ej erhållits. De höga vattenhalterna, orsakade av de låga finhetsmodulerna, medförde däremot en krympning för betongen av maximalt 1 o/oo vid +20°C och 50 % rf.

Hållfasthetstillväxt

Tillsats av konsistensförbättrande medel har ej förorsakat någon retardation av hållfasthetstillväxten jämfört med naturgrusbetong.

Vattenseparation

Vattenseparationen synes vara något hög jämfört med normal vattenseparation för naturgrusbetong.

Ekonomi

Kostnadsökningen för att framställa en krossgrusbetong med god bearbetbarhet och tillräcklig hållfasthet blir för de gynnsammaste siktkurvorerna (enligt FIG 1 och kurvan för "naturligt utfall") av storleksordningen 2 och 3 kr/m³ för K250 resp K400. Kombination av förhöjd cementhalt och tillsats av konsistensförbättrande medel ger i stort samma kostnadsökning. I detta pris har inte kostnaden för brytning och krossning inräknats.

Litteratur

- /1/ S G Bergström: Byggnadsmaterialforskning vid LTH. Del II Betongforskning. Cement & Betong 1971:4.
- /2/ Statens betongkommitté: Bestämmelser för betongkonstruktioner. Material och utförande. B5 1965.

Burström, Calsson, Mattisson: Undersökning av möjligheten att använda krossat material i stället för naturgrus vid betongtillverkning. Intern rapport, Institutionen för Byggnadsteknik, LTH, Lund 1969.

Siktdiagram :

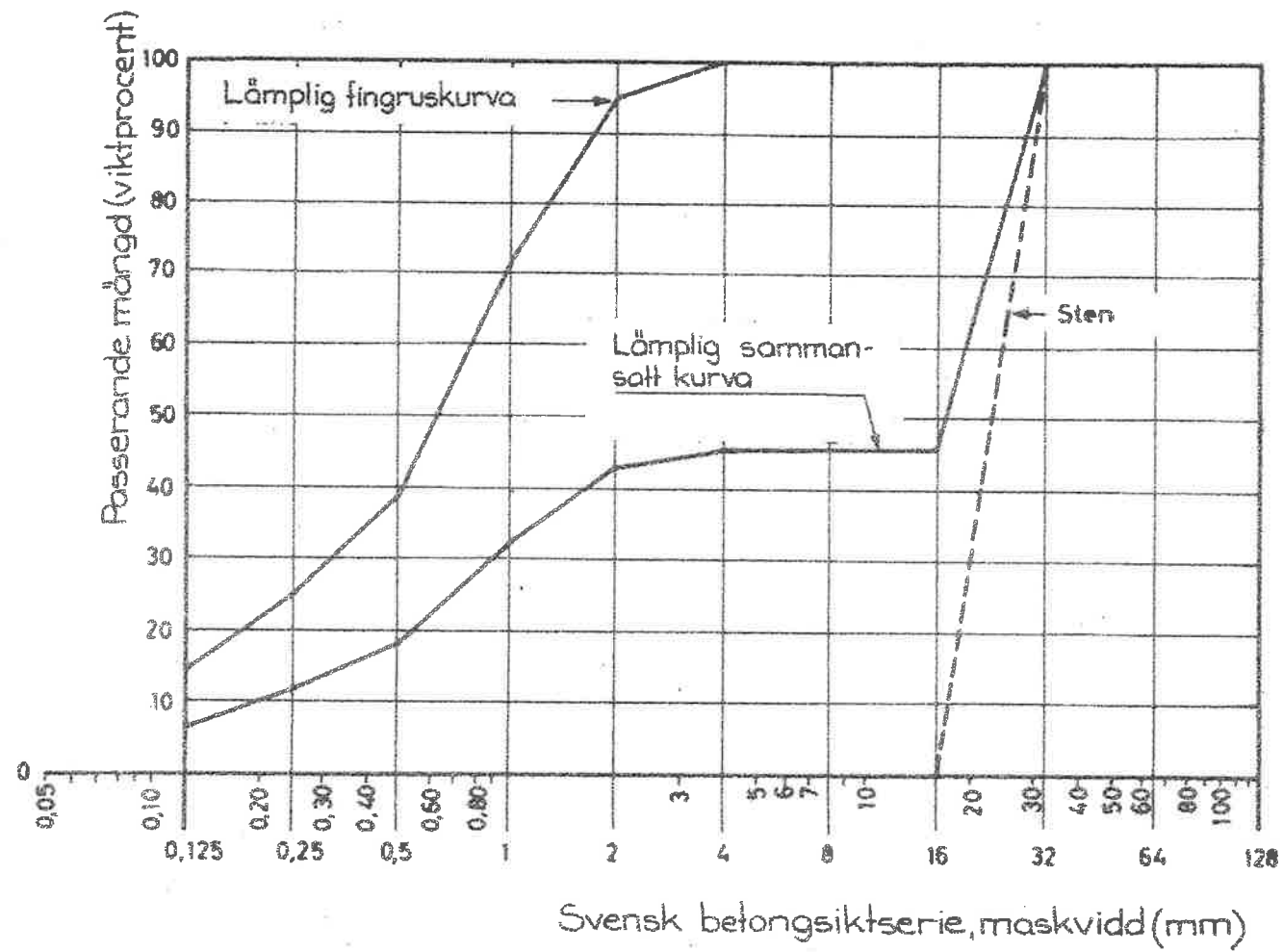


FIG 1 Lämpliga siktkurvor för krossballast.

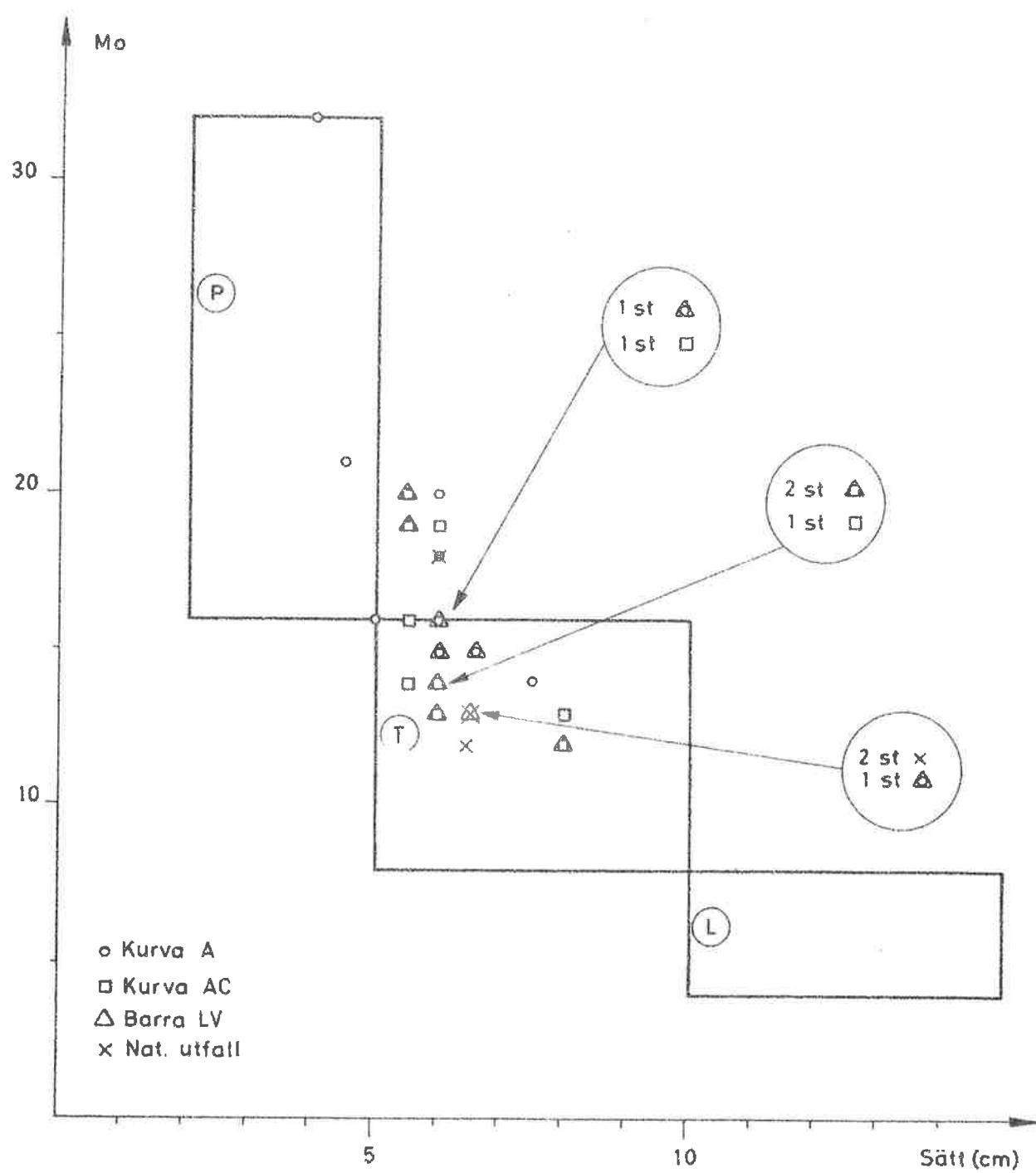


FIG 2 Samband sättnått Mo-mått.

4.4 Materialproblem vid betonggjutning vintertid

Examensarbetare: Stanley Pålsson, Hjörtur Hansson
Handledare: Sven G Bergström, Per-Olof Mattsson
Klart: Juli 1971
Referent: Per-Olof Mattsson

Examensarbetet är en litteraturinventering inom ämnet vinterbetong. En litteraturgenomgång har tidigare gjorts av U A Halvorsen /1/ där all litteratur i ämnet fram till år 1961 medtagits. Avsikten med detta examensarbete var att belysa den utveckling som skett inom området under 1960-talet, dvs arbetet skulle komplettera Halvorsens sammanställning.

Arbetet tar upp delproblemen i faktorer som påverkar betongens tidiga hållfasthet, tid-temperaturfunktionen, frostsäkerhet, tillsatsmedel till betong, temperaturchock samt arbetsmetoder vid betonggjutning vintertid och avslutas med en sammanställning av olika länders bestämmelser och rekommendationer för vintergjutning samt med en litteraturföreteckning med 144 titlar. En stor mängd försöksresultat belyses med figurer och tabeller hämtade ur referenslitteraturen.

Problemet vid vintergjutning är att få tillräcklig härdningsgrad, dvs tillräcklig hållfasthet hos betongmassan innan frysning sker, och därför strävar man efter att få snabb hållfasthetstillväxt under det första skedet efter gjutningen. Som alltid annars är vattencementtalet den viktigaste hållfasthetsbestämmande faktorn, och i ett flertal av rekommendationerna om vintergjutning är en övre gräns för vct föreskriven.

Svårigheten att vintertid få snabb hållfasthetstillväxt beror på de låga temperaturerna vid vilka betongreaktionerna går mycket långsamt och t o m avstannar då temperaturen är tillräckligt låg, dvs ca -10°C . Betongens härdningsförhållanden vid olika temperaturer har därför behandlats av ett flertal forskare och diskuteras ingående. Även blandningstemperaturen och effekten av olika uppvärmningsmetoder av betongmassan behandlas och det konstateras att det är betongens temperatur efter blandningen som är av intresse. Vilka delmaterial som uppvärmts och till vilka temperaturer uppvärmningen skett har ringa eller ingen inverkan.

Det konstateras också att betongen måste ha en minimitemperatur av 5 å 10°C den första tiden för att härdning överhuvud taget skall komma igång. Därefter kan hydratationen fortsätta vid avsevärt lägre temperatur.

Cementtypens inverkan diskuteras och det konstateras att aluminatcement har utmärkta vintergjutningsegenskaper och är lämplig att användas vid betongkonstruktioner av tillfällig karaktär.

För beskrivning av den samlade effekten av tid och temperatur på betongens hållfasthetsutveckling har flera s k tid-temperaturfunktioner framtagits av forskare inom området. Författarna beskriver kort några olika sådana funktioner och gör en jämförelse mellan dem för olika härdningsförhållanden. Funktionernas användbarhet och begränsningar diskuteras. Ett viktigt användningsområde är de praktiskt användbara diagram och nomogram där erforderliga isolerings- och uppvärmningsåtgärder på arbetsplatsen kan avläsas som funktion av rådande yttertemperatur, konstruktionstyp och formens värmeisoleringsförmåga.

Begreppet frostsäker betong definieras och skillnader mellan frostsäker och frostbeständig betong klargörs. Frostsäker betong skall kunna tåla en eller några få fryscyklar utan att hållfasthetsförlusten överstiger ca 5 %. Den erforderliga förhärdningstiden för att frostsäker betong skall erhållas är av stort intresse och bestämmer omfattningen av erforderliga åtgärder i form av uppvärmning, värmeisolering m m som måste vidtagas vid gjutning i kyla. Den kan därför sägas vara det viktigaste materialproblemet i samband med betonggjutning vintertid.

Man refererar olika åsikter om vilka faktorer som styr den erforderliga förhärdningstiden, samt om vilka materialegenskaper som påverkar frostsäkerheten. Det konstateras att stor enighet råder om att hållfastheten är en viktig frostsäkerhetsbestämmande faktor, men att erforderlig hållfasthet är beroende av cementtyp, tillsatsmedel, vct och betongmassans konsistens och inte kan sättas till ett konstant värde oberoende av dessa faktorer, vilket tidigare hävdats. Ett stort antal försöksresultat från prov med tidig frysning av betong redovisas och kommenteras.

De speciella tillsatsmedel till betong som är aktuella vid vintergjutning är fryspunktsnedsättande medel, accelererande medel och luftporbildande medel. Här refereras försöksresultat vid provning av olika typer av sådana tillsatsmedel samt diskuteras deras verkningar och biverkningar på betongen.

Temperaturchock är inte något renodlat vinterbetongproblem, men eftersom en vanlig orsak till skadlig temperaturchock är formrivning vintertid med ytsprickor i betongen som följd, har denna fråga ändå sin givna plats i sammanhanget.

I kapitlet Arbetsmetoder redovisas olika metoder för värmehärdning av betongen. Elhärdning är en metod där elenergi på olika sätt omvandlas till värmeenergi, antingen genom att värmeelement anbringas vid betongens yta eller genom att betongen själv, armeringen eller ingjutna kablar får tjänstgöra som resistor. Högfrekvensuppvärmning nämns också som exempel på en elhärdningsmetod. Andra värmehärdningsmetoder är ånghärdning och uppvärmning genom infraröd strålning.

Slutligen genomgås i kapitlet Arbetsmetoder en ny isoleringsmetod där skumplast läggs på den färska betongen samt en ny metod att framställa varm betong med hjälp av inblåsning av ånga under blandningsprocessen.

4.5 Fiberarmerad betong

Examensarbetare: Kenneth Sandin och Rune Söderberg

Handledare: Civ ing Göran Fagerlund och Civ ing Lars-Göran Mattisson

Klart: Juni 1971

Referent: Civ ing Lars-Göran Mattisson

Målsättning

Arbetets målsättning har varit att undersöka hur stor hållfasthetsökning man kan erhålla genom inblandning av slumpmässigt fördelade korta fibrer i betong. Undersökningen har dock begränsats till två slag av fibrer, stålfibrer och asbestfibrer. Eftersom draghållfastheten är den intressanta i detta sammanhang, så har böjdrag- och ~~spräck~~ draghållfastheterna observerats.

Teoretisk bakgrund

Baserat på en litteraturstudie har författarna kort redogjort för teorierna bakom fibrernas förstärkningseffekt.

Med Griffiths sprödbrottsteori och Cumbels statistiska analys av största sannolika sprickan och den därmed bestämda brotthållfastheten, har Romualdi givit ett samband mellan draghållfastheten och c/c -avståndet hos kontinuerlig armering parallell med pålagd spänning. Detta samband och den bakom liggande teorin bygger inte på att dragspänningen upptas av armering, utan att armeringen fungerar förhindrande för spricktillväxten hos betongen.

Romualdi har även givit ett samband för omräkning av en slumpmässigt fördelad fiberprocent till ett genomsnittligt c/c -avstånd.

Dessutom har påpekats att man kan vänta sig en ökad energiupptagande förmåga ("toughness") hos fiberbetong p g a energiupptagningen vid utdragning av fibrerna ur matrisen vid brott.

Variabler

Eftersom det fanns lite erfarenhet av tillverkning av fiberarmerad betong, var det nödvändigt att först och främst komma fram till lämplig

tillverkningsteknik. Det gjordes i några förförsök vid vilka betongens sammansättning, betongens konsisten och fiberinblandningsmetodiken varierades för att man skulle kunna bestämma lämpligt betong och inblandningsmetod.

I själva huvudförsöket varierade man följande parametrar:

fibertyp	→	stålfiber och asbestfiber
betongens vct	→	0,50, 0,75 och 1,0
fiberhalten	→	0 , 1,5 (och 3,0) vol-%

Stålfibern var en huggen stålfiber med $\sim$ kvadriskt tvärsnitt 0,25 och längden 25 mm.

Asbestfibern var en kommersiellt tillgänglig produkt med varierande längd, max $\sim$ 5 mm.

Vct = 1,0 undersöktes endast för asbestfiberbetong. Likaledes användes fiberhalten 3,0 endast för asbestfiberbetong. Med stålfiberbetongen gjordes dessutom en mindre undersökning med fiberhalterna 0,9, 1,2 och 1,5 vol-%.

Försöksuppläggning

Som tidigare nämnts utfördes först några förförsök för att komma fram till lämplig betongsammansättning och fiberinblandningsmetod. Huvudförsöket utfördes sedan som bestämning av draghållfastheten med s k brasilianskt spräckprov och böjdraghållfastheten genom böjning av fyrapunkts belastade balkar. Hållfasthetstillväxten studerades som spräckdraghållfastheten vid 7, 28, 90 och 180 dygn.

För att få en uppfattning av korrosionsrisken hos stålfiberbetongen, lagrades ett antal provkroppar till hälften nedsänkta i vatten, varefter de spräcktes.

Slutligen utfördes även en fiberräkning på några brottytor för att erhålla en uppfattning om fiberfördelning i provkropparna. FIG 1 ger en principskiss av huvudförsöksuppläggningsen.

Resultat

Nedanstående konklusioner är sammanställda ur författarnas diskussioner av försöksresultaten.

En inblandning av $\sim 1,6$ vol-% stålfiber ger en ökning av spräckdraghållfastheten med 70-80 % och böjdraghållfastheten med 110-120 %.

Förstärkningsfaktorn för stålfiberbetong är i stort sett oberoende av betongens utgångskvalitet. Jfr FIG 2, som visar förstärkningsfaktorn som funktion av betongens härdningstid vid provningstillfället.

Beroende på asbestfibers stora vattenabsorption var det svårt att göra en realistisk bedömning av asbestfiberbetongens verkliga vct. En jämförelse mellan asbestfiberbetongen och den vanliga betongen är därför tämligen osäker. I stort kan man dock säga, att någon hållfasthetsökning ej erhålles för spräckdraghållfastheten medan böjdraghållfastheten ungefär ökade 30 %.

Någon effekt av korrosionen på hållfastheten kunde inte märkas under de 180 dygn som vatten-luftlagringen varade. Okulär besiktning visade att korrosionen var begränsad till det yttersta yt-skiktet.

Fiberräkningen på några utsågade ytor visade att man vid $\sim 1,6$ vol-% stålfiberinblandning erhöll en relativt ojämn fördelning av fibrerna, medan de lägre inblandningsprocenterna 0,9 och 1,2 vol-% ger bättre fördelning.

Som kan ses av FIG 3, erhöles god överensstämmelse med Romualdis teoretiskt erhållna kurva för draghållfastheten som funktion av fiberhalten.

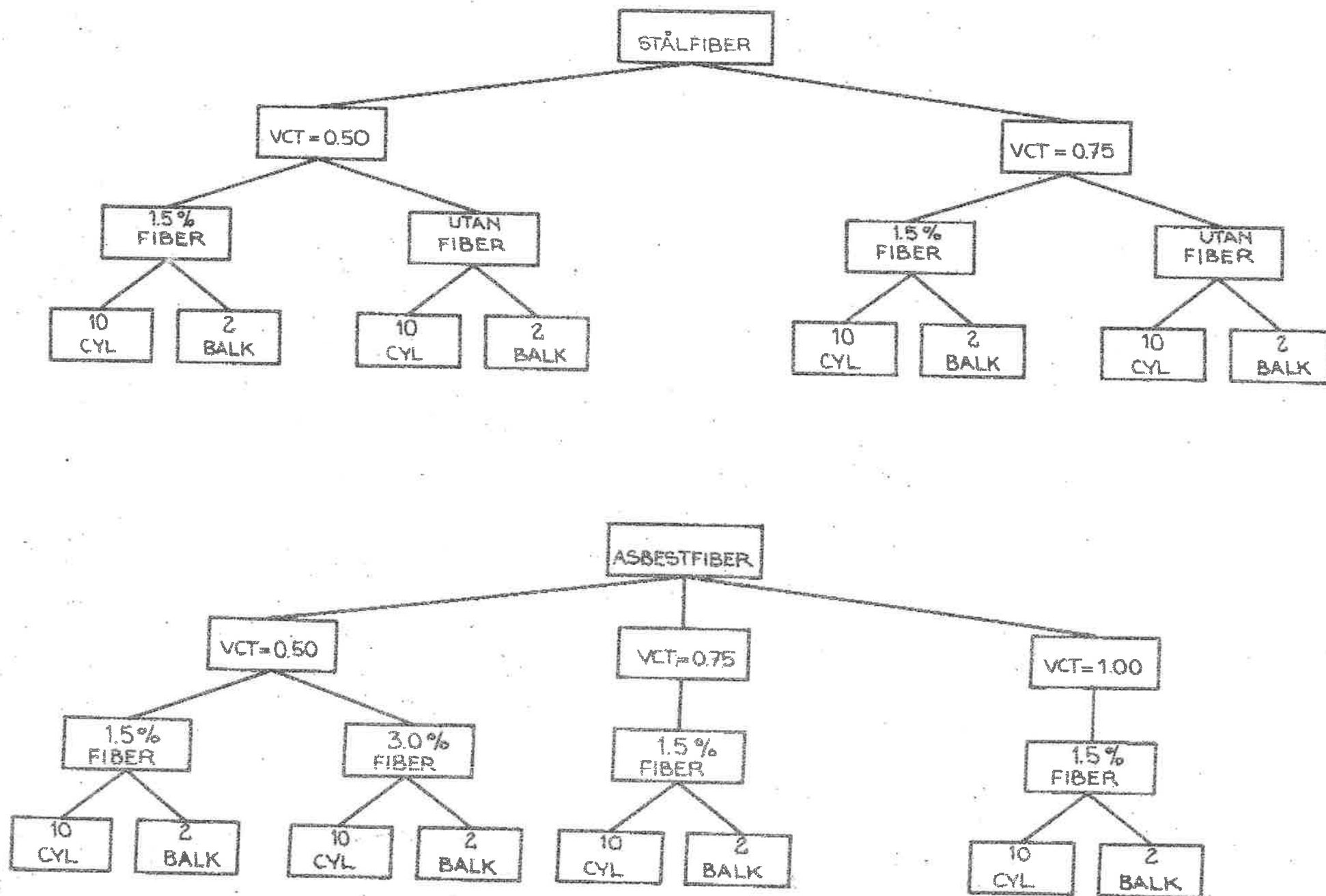


FIG 1. Försöksupställning.

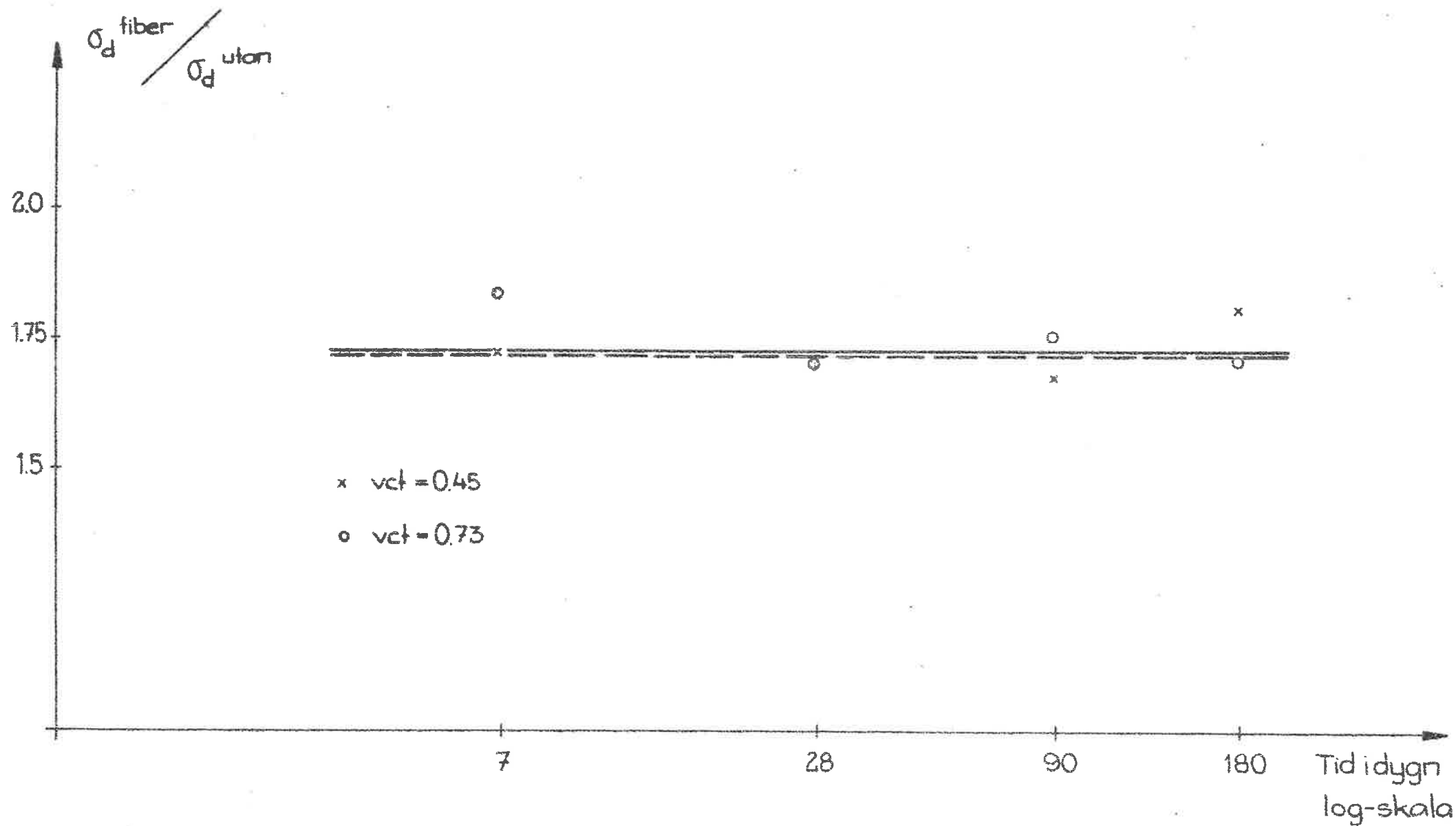


FIG 2 Förhållandet mellan draghållfastheten för betong med och utan fiber som funktion av ålder vid två olika värden på vattencementtalet.

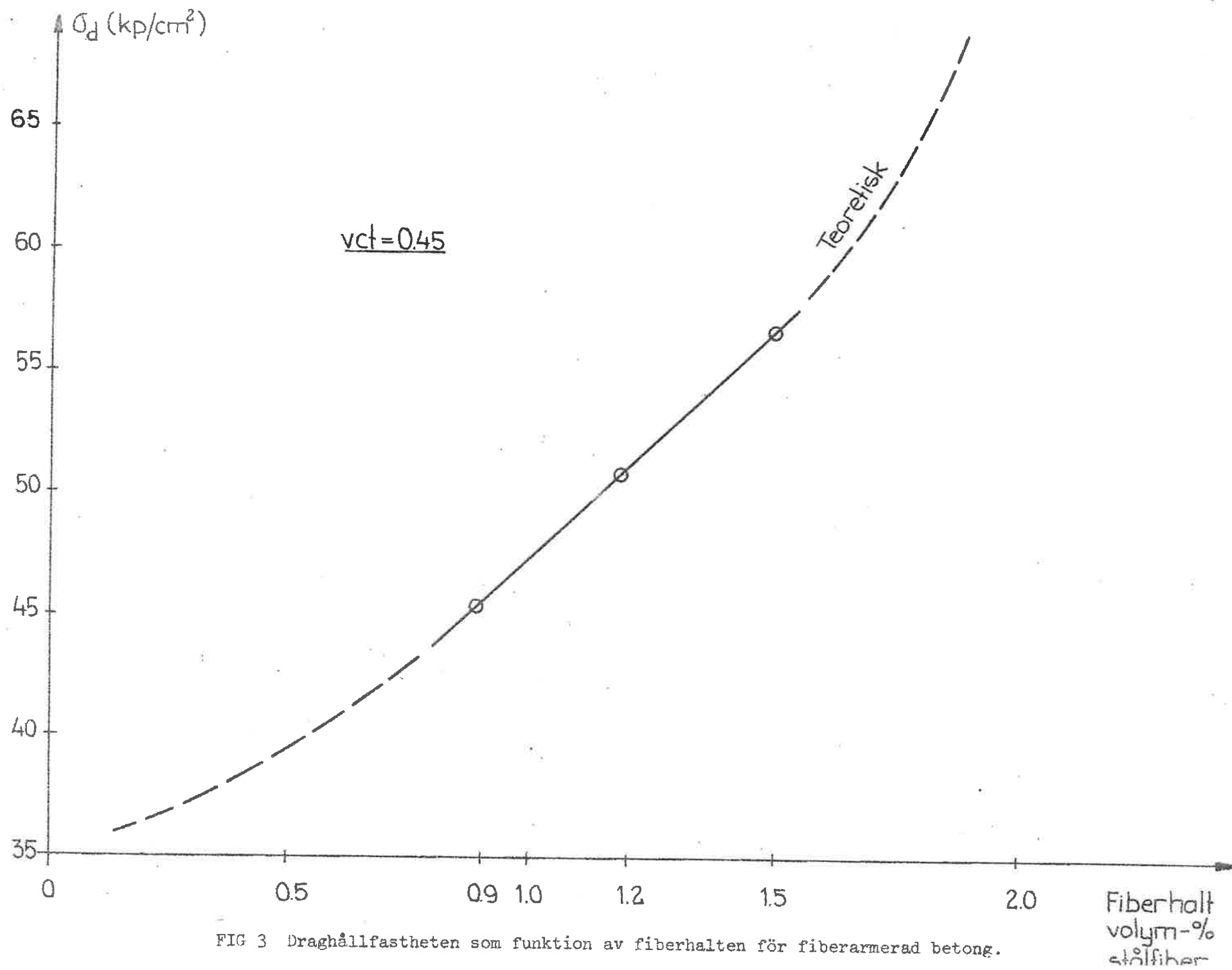


FIG 3 Draghållfastheten som funktion av fiberhalten för fiberarmerad betong.

5 TRÄ

5.1 Undersökning av polyetylenglykolstabiliserat trä

Examensarbetare: Örjan Cronström och Tom Forssander

Handledare: Tekn lic Anders Nielsen

Klart: Augusti 1968

Referent: Bengt Toolanen

Avsikten med detta examensarbete har varit att utföra en undersökning av trä impregnerat med polyetylenglykol (PEG). Därvid har intresset mest knutits till de dimensionsstabiliserande effekter en dylik impregnering har. Detta med anledning av de besvärande stora fuktbetingade rörelserna hos byggnadsmaterialet trä.

Metoden för impregnering som använts i denna undersökning har utarbetats vid Mo och Domsjö AB, Örnsköldsvik, och arbetet har därför bedrivits i samarbete med detta företag. Metoden bygger på möjligheten att utbyta vatten inne i cellväggar mot polyetylenglykol. Därvid kvarstår träet i ett uppsvällt tillstånd även vid låga fukthalter och därmed kommer de totala fuktbetingade rörelserna att reduceras.

I undersökningen har förutom de fuktbetingade rörelserna även impregnerat träs hållfasthet och förkonditioneringens effekt på impregneringsresultatet studerats. De undersökta träslagen har varit furu och bok.

Hållfasthetsundersökningen visar att impregnerat trä har ungefär samma hållfasthet som oimpregnerat vid de relativa luftfuktigheterna 30 och 65 %. Vid 90 % rf sker dock en viss reduktion av hållfastheten. Detta beror troligtvis på impregneringsmedlets stora hygroskopicitet vid fukthalter överstigande 65-70 % rf. Hållfastheten avtar vid detta klimat med ökad impregneringshalt, se FIG 1.

Vid undersökningen av de fuktbetingade rörelserna erhöles reduceringar av dessa med upp till 50 % vid jämförelse med oimpregnerat trä (se FIG 2).

Träets förmåga att upptaga polyetylenglykol vid olika relativa luft-

fuktigheter befanns vara ungefär konstant. Detta gäller speciellt för furu. För bok kan ett visst samband utläsas. Mängden upptaget impregneringsmedel minskar därvid något med ökande fuktkvot.

I samband med studiet av de fuktbetingade rörelserna har desorptionsisotermer bestämts. Dessa indikerar att impregneringsmedlets hygroskopiska punkt ligger mellan relativa luftfuktigheterna 65 och 70 %. Över hygroskopiska punkten ökar fuktkvoten hos träet avsevärt medan den under hygroskopiska punkten ligger 1-2 procentenheter lägre än för oimpregnerat trä.

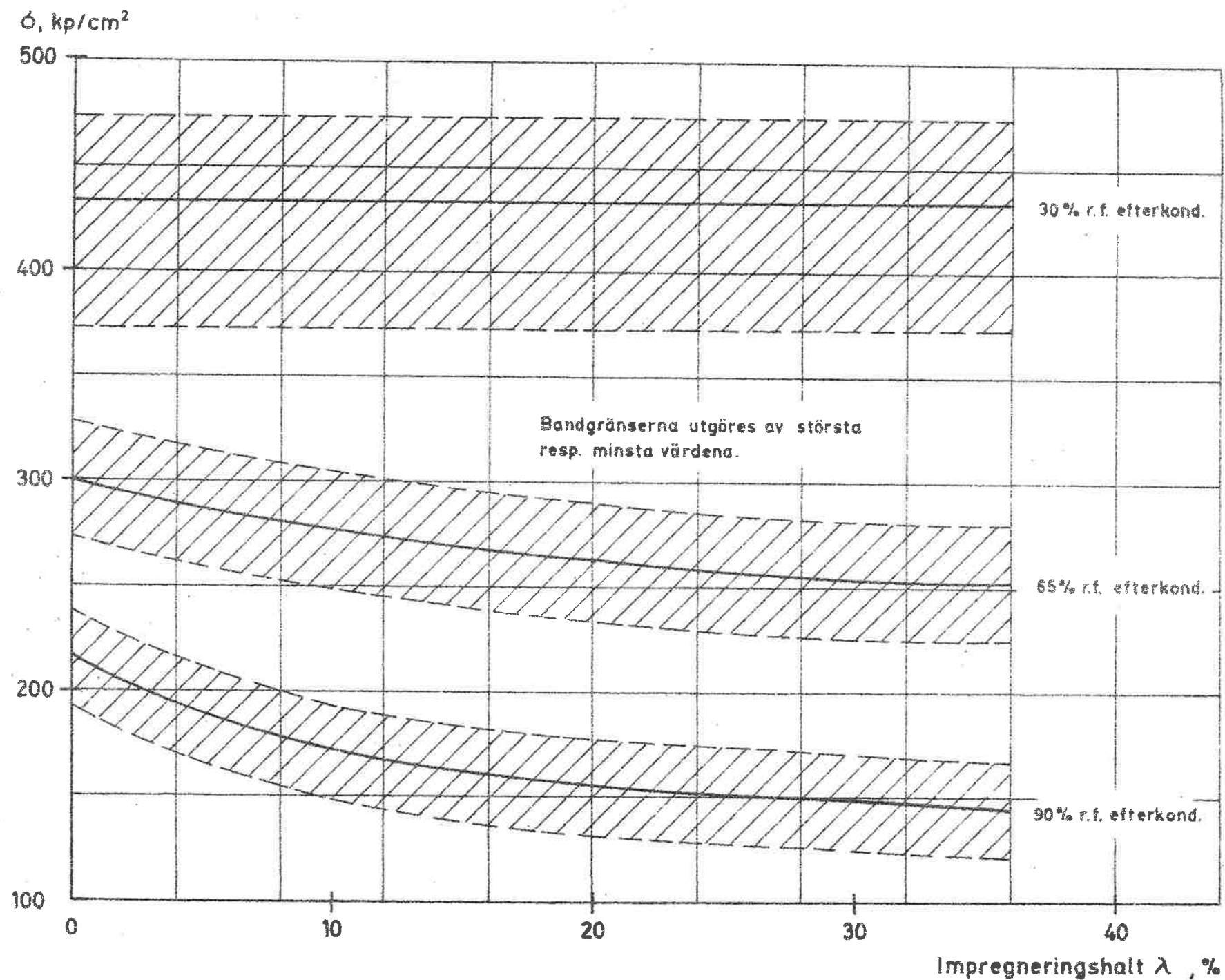


FIG 1 Tryckhållfasthet, furu, som funktion av impregneringshalt och efterkonditionering.

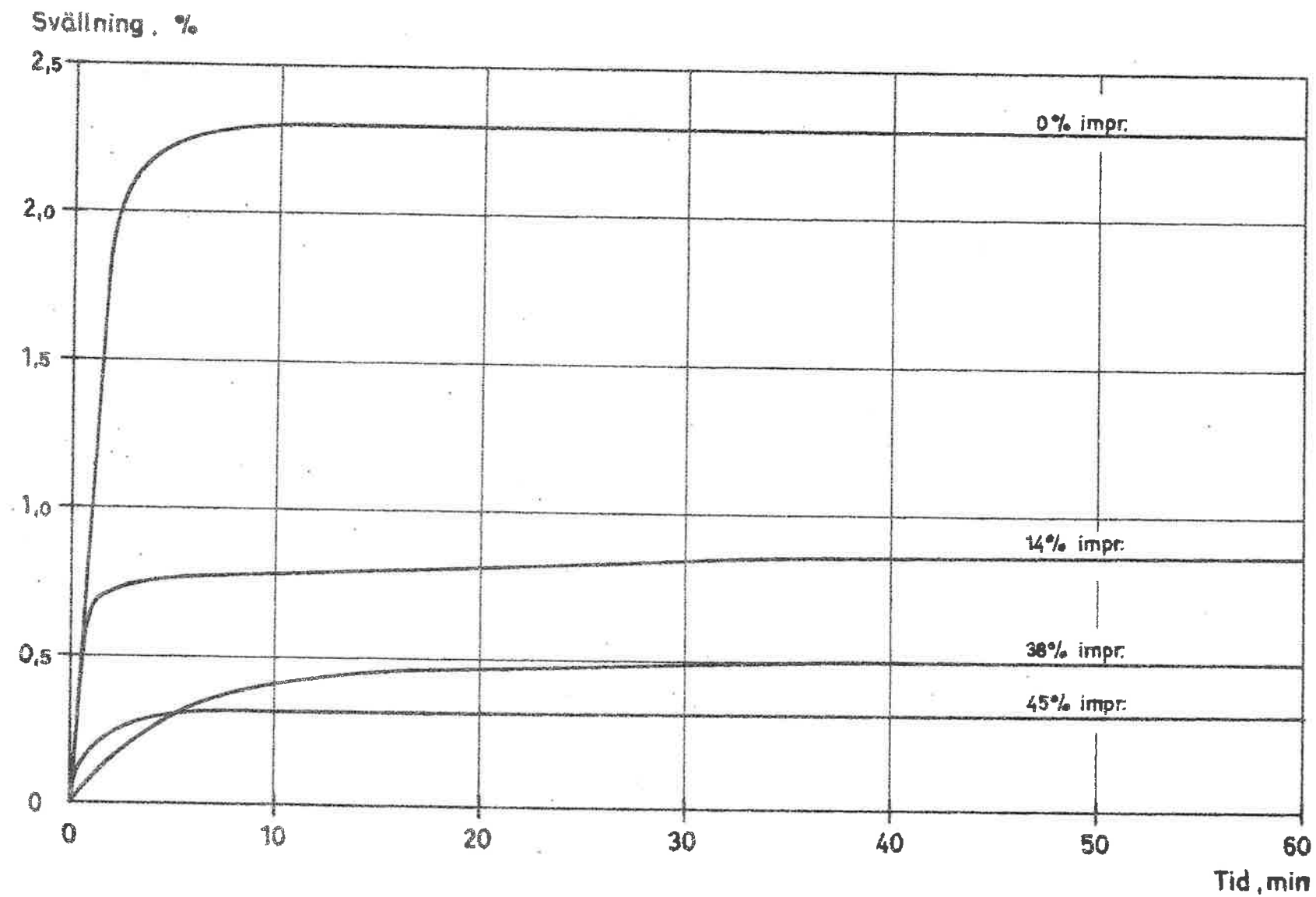


FIG 2 Radiell svällning, furu. 8,5% f.k. till fibermättad.

5.2 Trä impregnerat med polyetylenglykol och melaminharts

Examensarbetare: Mikael Hellsten och Bengt Toolanen

Handledare: Tekn lic Anders Nielsen

Klart: Juni 1971

Referent: Bengt Toolanen

Examensarbetet har utförts för att studera inverkan av polyetylenglykol-melaminhartsimpregnering på träs egenskaper. Därvid eftersträvar man främst att reducera trämaterialalets stora och anisotropa fuktbe-
tingade rörelser. En användbar metod är polyetylenglykolimpregnering, varvid impregneringsmedlet ersätter vatten i cellväggarna och därmed kommer att reducera svällnings- och krympningsrörelserna. Denna impregneringsmetod har studerats vid ett tidigare examensarbete utfört på avdelningen (jfr 5.1). Därvid noterades en viss hållfasthetsnedsättande effekt av impregneringen.

Impregneringsmetoder med impregneringslösningar innehållande melaminharts förutom polyetylenglykol, har utvecklats vid Mo och Domsjö AB, Örnsköldsvik. Därvid eftersträvar man förbättringar av det polyetylenglykolimpregnerande materialets hållfasthets- och hårdhetsegenskaper.

I examensarbetet har man studerat impregneringar med sju olika impregneringsblandningar på träslagen furu, björk och bok. De egenskaper man studerat är böjdraghållfasthet, tryckhållfasthet, hårdhets- och fuktegenskaper vid konditioneringsklimaten 33 %, 65 % och 92 % rf. Dessutom har mikroskopfotografering utförts för att utröna plastimpregnerat träs mikrostruktur.

Vid hållfasthetsundersökningen har förhöjda värden erhållits vid impregneringar innehållande melaminharts. En ökad sprödhet kan emellertid observeras och därvid främst vid låga fukthalter. Detta beror förmodligen på denna plasts egen sprödhet och på upptagningssättet i träet. I FIG 1 visas tryckhållfastheten för furu som funktion av halten melaminharts i impregneringslösningen.

Ythårdheten ökar genom användning av melaminharts vid impregneringen. I FIG 2 visas Brinell-hårdhetstalet tangentiellt för björk som funktion av halten melaminharts i lösningen. Vid impregneringsblandningar

innehållande enbart polyetylenglykol observerades vid hårdhetsmätningen en stor återhämtningsförmåga hos det impregnerade materialet.

Vid studiet av impregnerat träs fuktbetingade egenskaper befanns melaminhartsimpregnering ej ha samma reducerande effekt på svällnings- och krympningsrörelser som polyetylenglykol, se FIG 3. Detta beror på att melaminhartsen ej har en vattensubstituerande effekt på trämaterialiet. Däremot har melaminhartsen en klart fördröjande effekt på vattenupptagningen, och därför reduceras fuktbetingade rörelsernas hastighet avsevärt. Detta medför givetvis att impregnerat trä blir mindre känsligt för tillfälliga variationer i omgivningens fukthalt.

Vid studiet av de fuktbetingade rörelserna hos bok och björk, befanns impregneringar innehållande melaminharts ge större reducerande effekt i tangentiell än i radiell riktning. Eftersom den tangentiella svällningen är större än den radiella, blir impregneringens effekt positiv även i det avseendet, såtillvida att svällningsanisotropin minskar.

Undersökningen visar att impregnering med studerad metod har positiva effekter på träets egenskaper. Vilken impregneringsbehandling som bör användas är givetvis en funktion av önskvärda egenskaper hos den impregnerade produkten. Vid krav på enbart reducering av fuktbetingade rörelser, är förmodligen en impregnering med enbart polyetylenglykol tillfyllest, medan vid krav på även hållfasthets- och hårdhetsökningar är blandningar av melaminharts- och polyetylenglykol lämpliga. Därvid blir upptagningen i träet klart bättre än vid impregnering med enbart melaminharts.

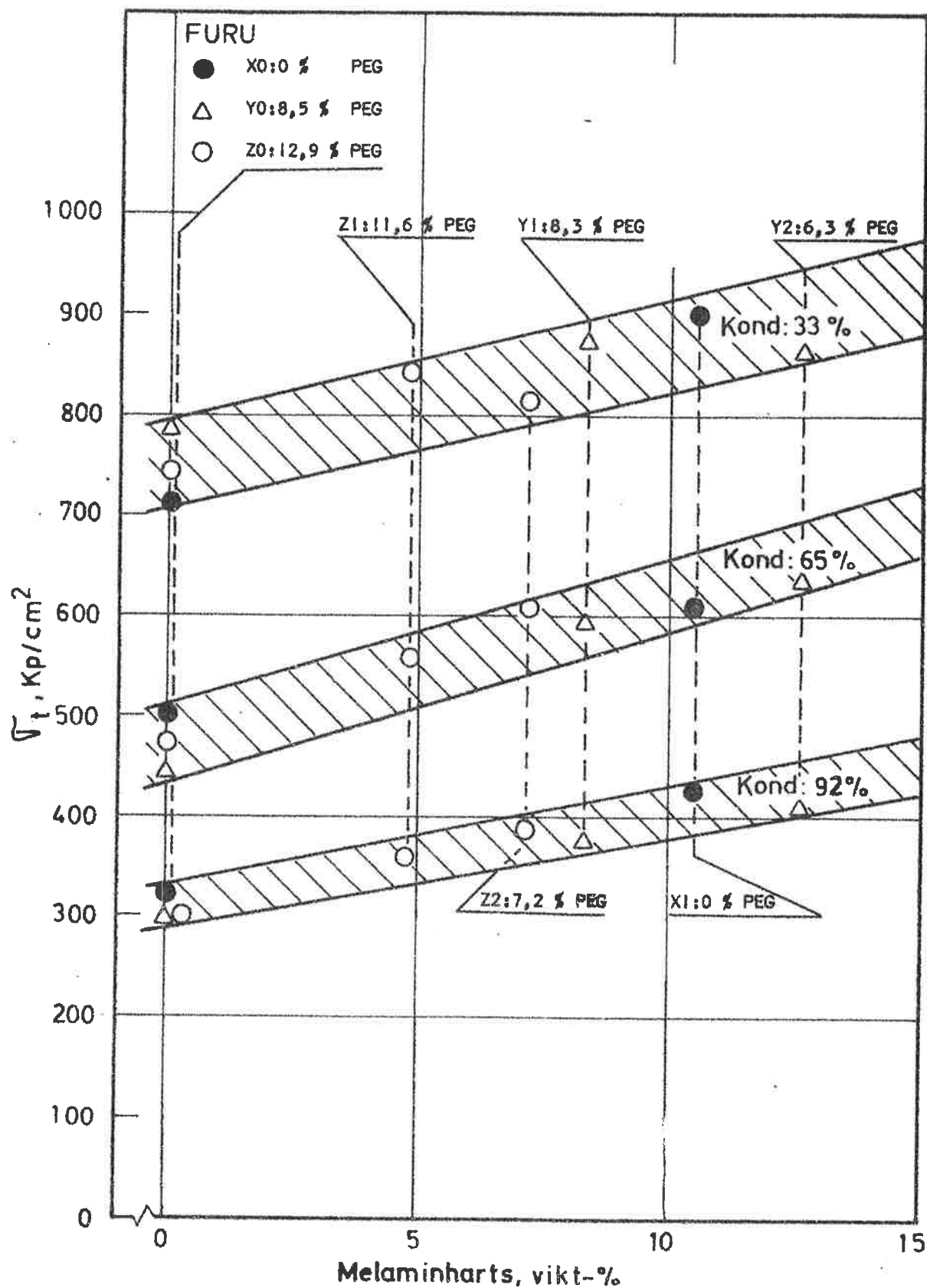


FIG 1 Tryckhållfasthet som funktion av efterkonditionering och halt melaminharts i impregneringslösningen.

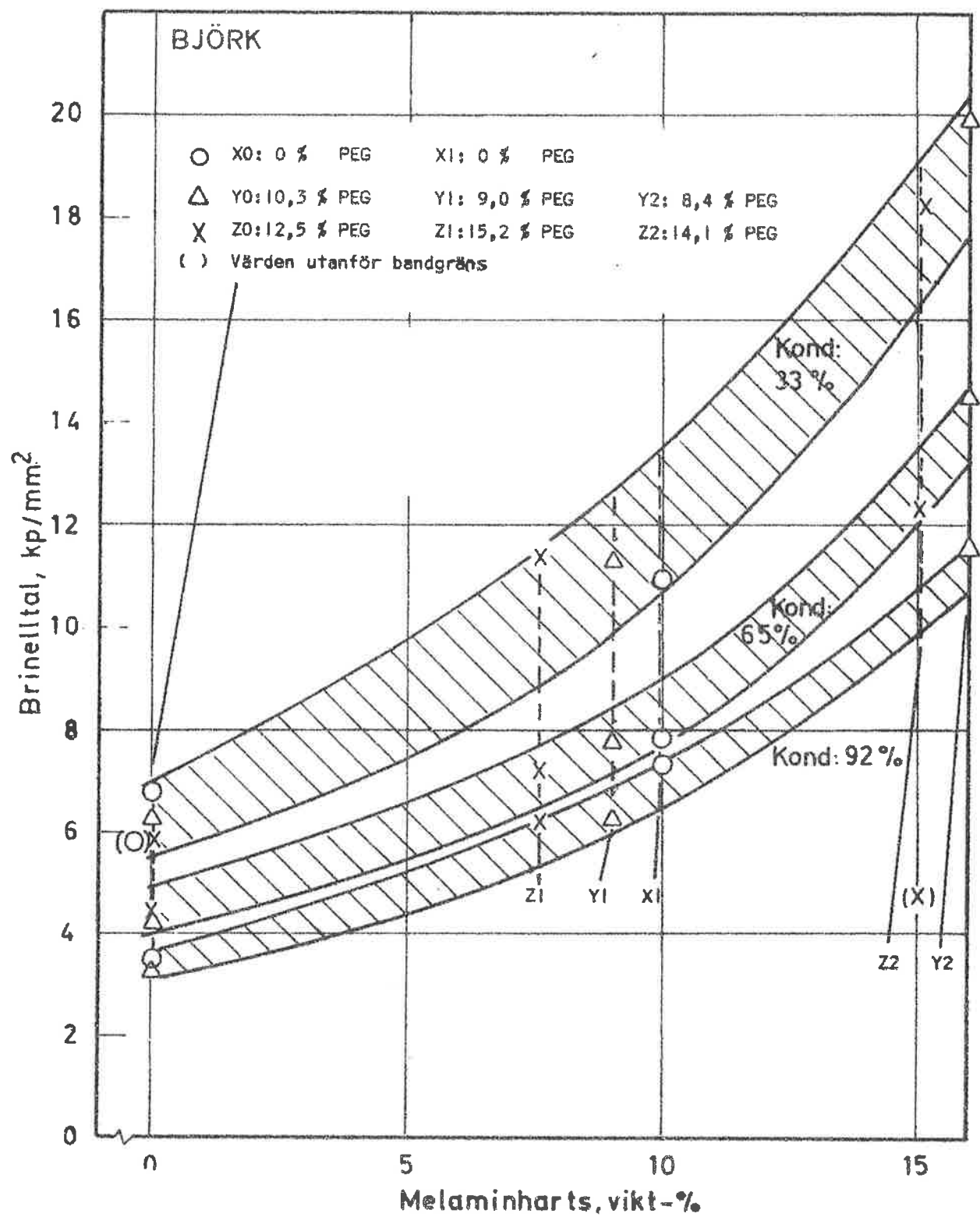


FIG 2 Hårdhetsvärdet, i fiberriktningen, som funktion av efterkonditionering och halt melaminharts i impregneringslösningen.

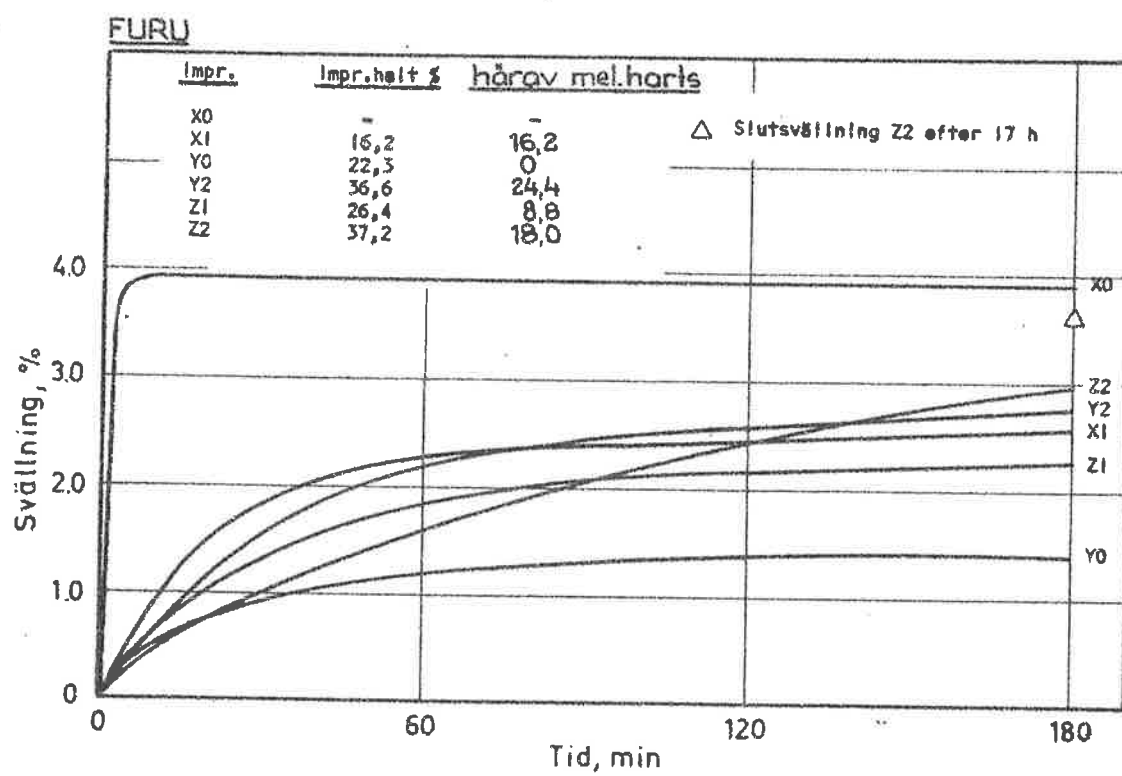


FIG 3 Radiell svällning 33 % RH-fibermättnad.

6 STRUKTUR

6.1 En beskrivning av makro- och mikrostruktur hos olika byggnadsmaterial

Examensarbetare: Peter Gustavsson och Gerhard Henriksson

Handledare: Tekn lic Anders Nielsen och forskning Leif Erlandsson

Klart: Juli 1970

Referent: Leif Erlandsson

Uppgiften var att av olika byggnadsmaterial framställa ett systematiskt bildmaterial användbart i undervisning och för forskning.

Arbetet har utförts med institutionens forskningsmikroskop (Leitz Ortholux-POL, mikrokamera ARISTOPHOT och med NIKKON kamerautrustning).

I detta fall begränsades uppgiften till att omfatta trä- och träbase-rade produkter. Två träslag, bok och fur, träfiber, spånskiva samt plywood redovisas i examensarbetet.

Av dessa material har preparat framställts för påfallande och genomfallande ljus (tunnslip).

Svartvita kopior finns i förstoringarna 2:1, 5:1, 20:1, 100:1, 300:1 och 1000:1. Motsvarande bilder finns i fär med måttskala inlagd. Totalt redovisas omkring 100 bilder, varav FIG 1-8 utgör ett urval.

Sammanfattning

Examensarbetet har resulterat i ett stort bildmaterial värdefullt för undervisningen i läroämnet samt i en instruktiv handledning i mikroskopteknik.

0,1 mm I

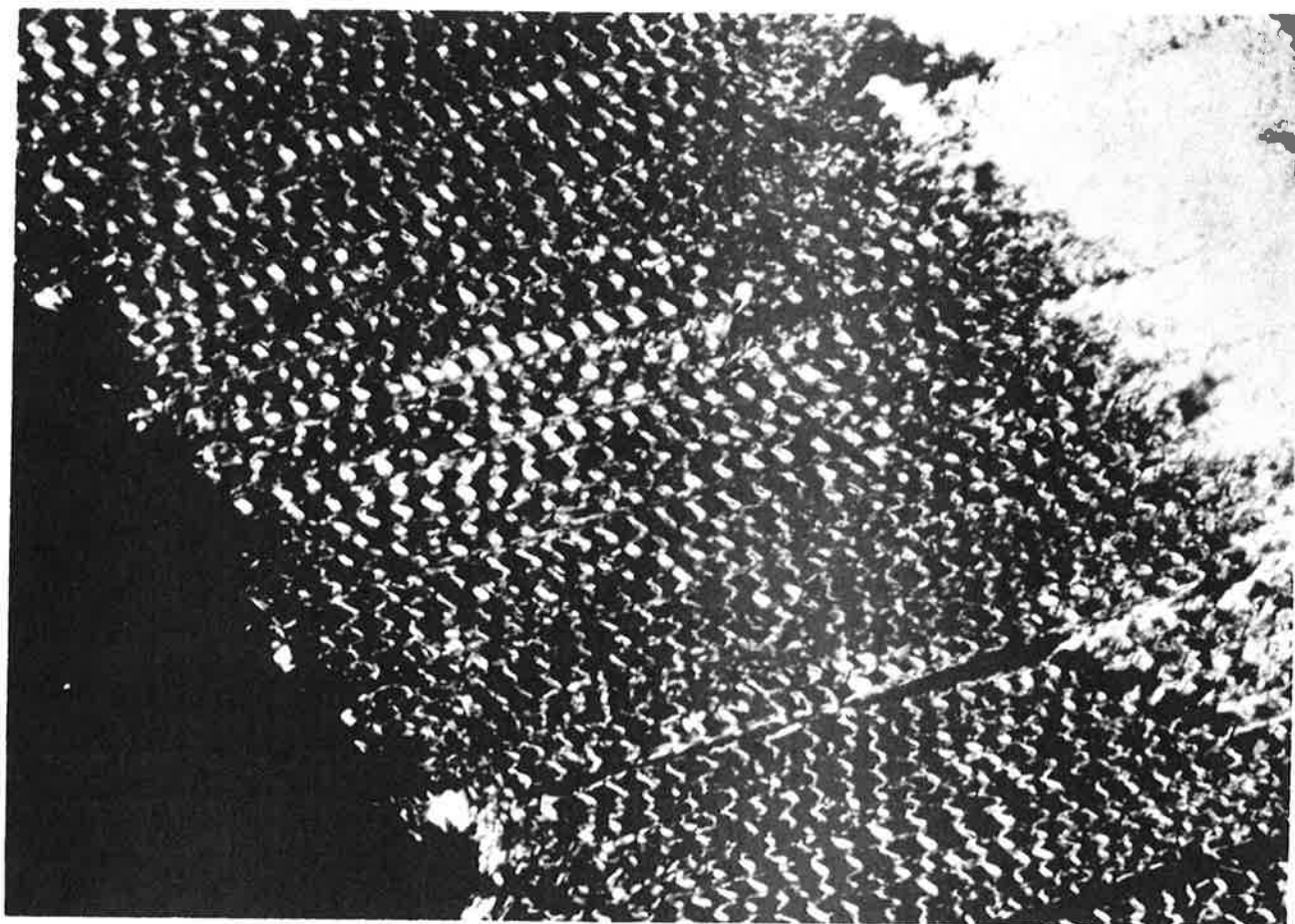


Fig 1 Fur, vinkelrätt, 100:1

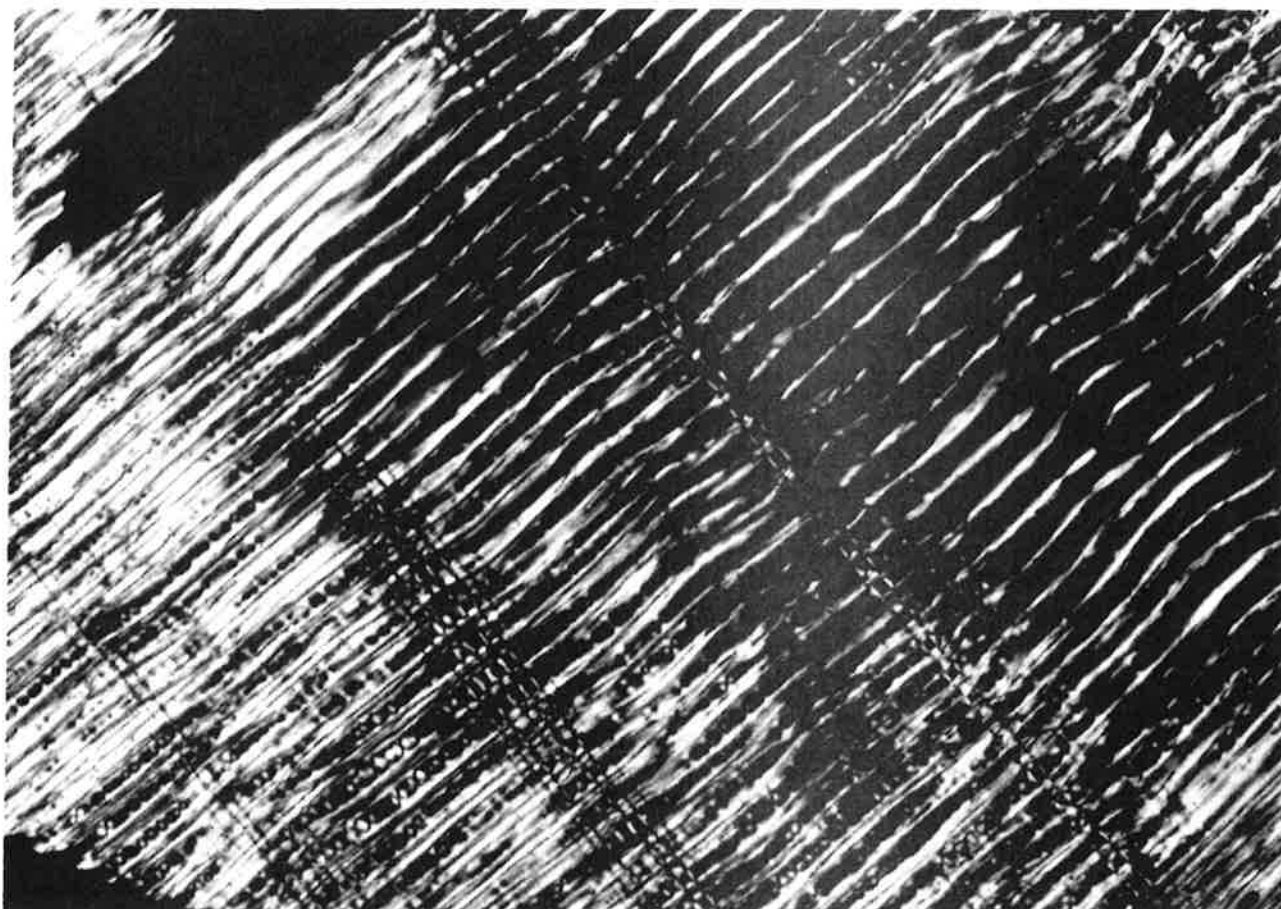


Fig 2 Fur, radiallyt, 100:1

0,1 mm

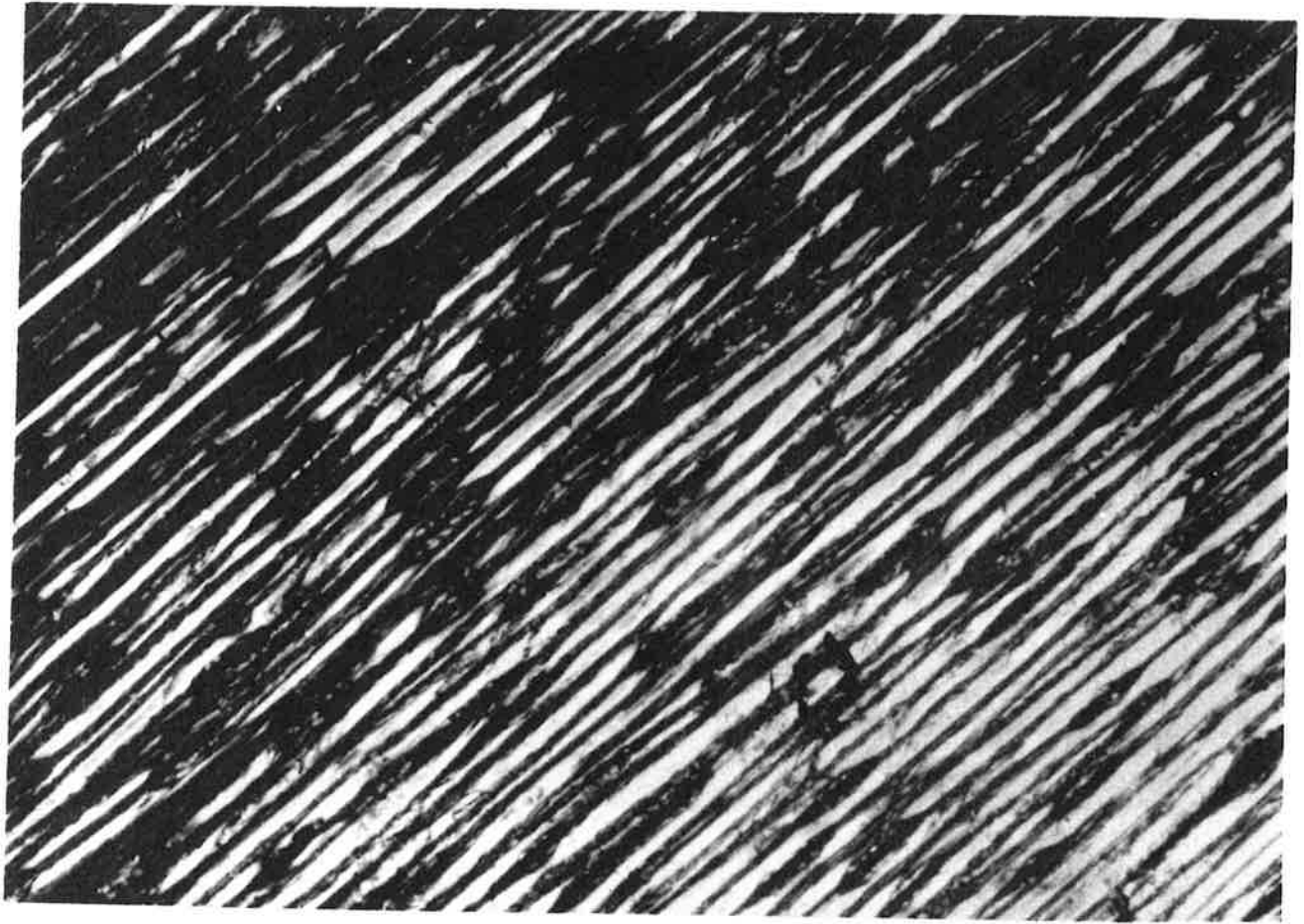


Fig 3 Fur, tangentialt, 100:1

0,1 mm

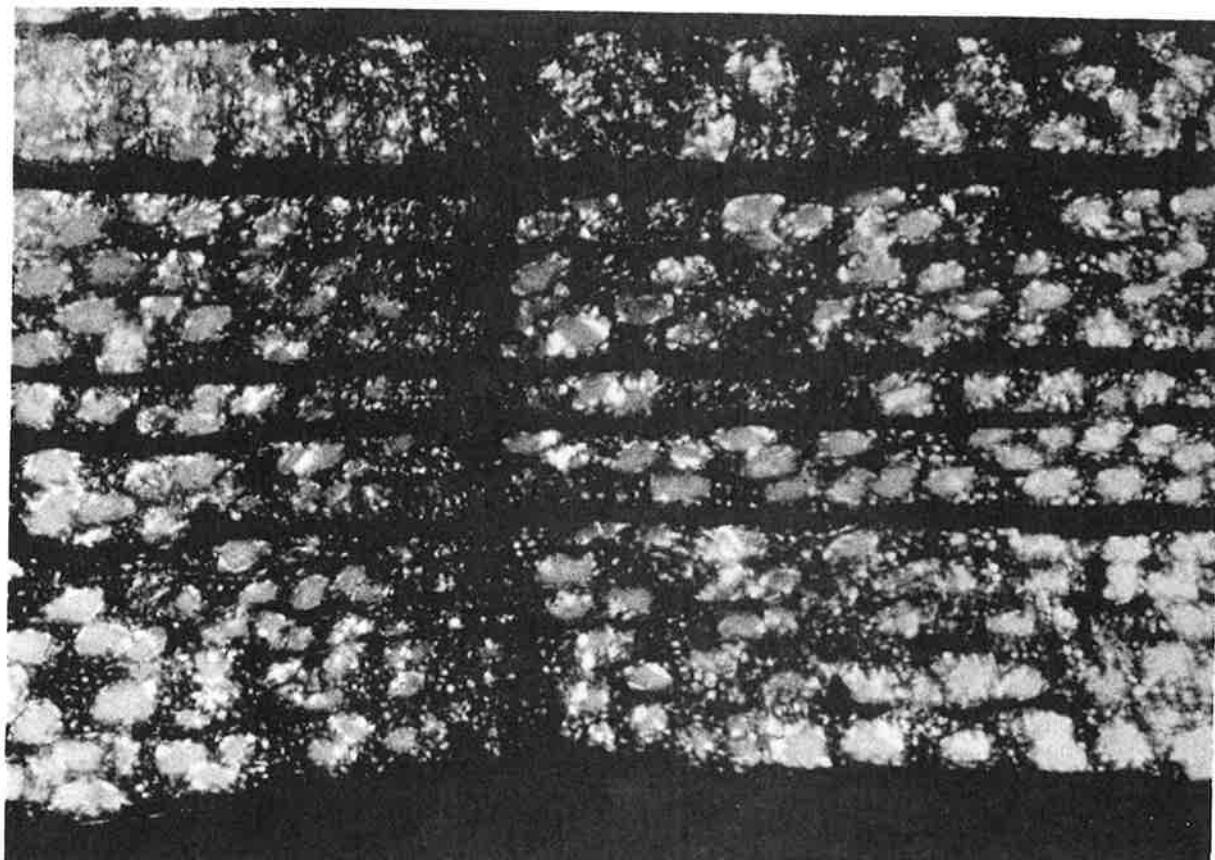


Fig 4 Bok, vinkelrätt, 100:1

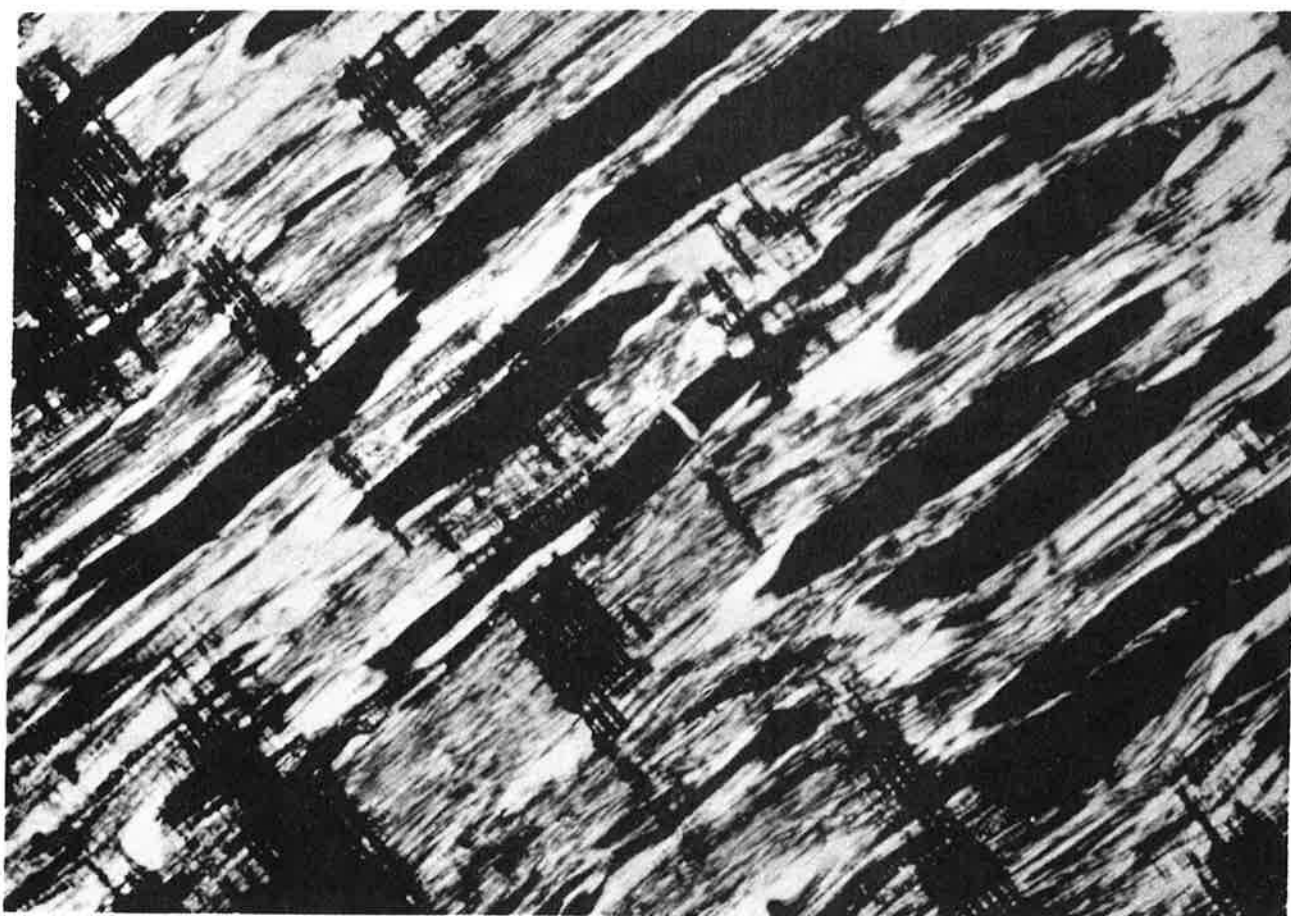


Fig 5 Bok, radiallyt, 100:1

1 mm

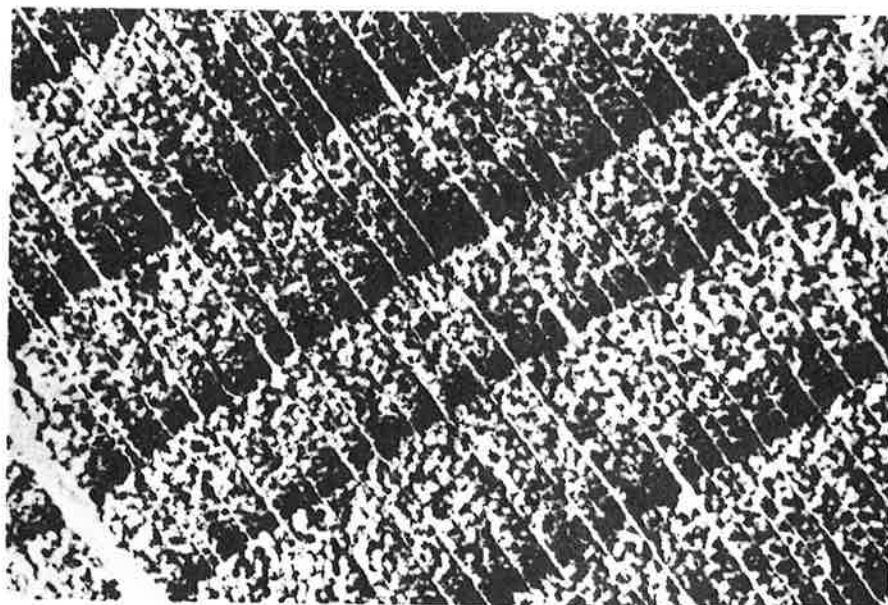


Fig 6 Bok, vinkelrätt, 20:1

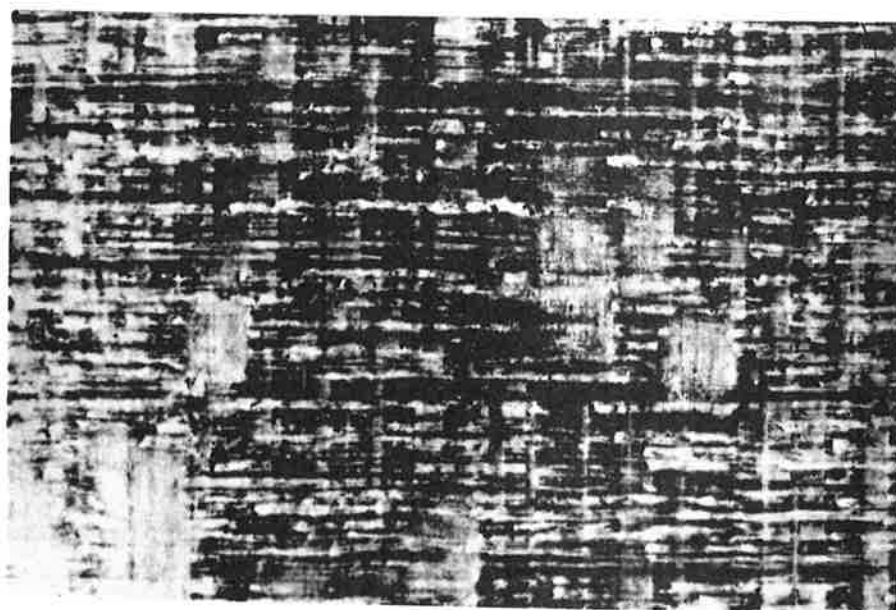


Fig 7 Bok, radially, 20:1

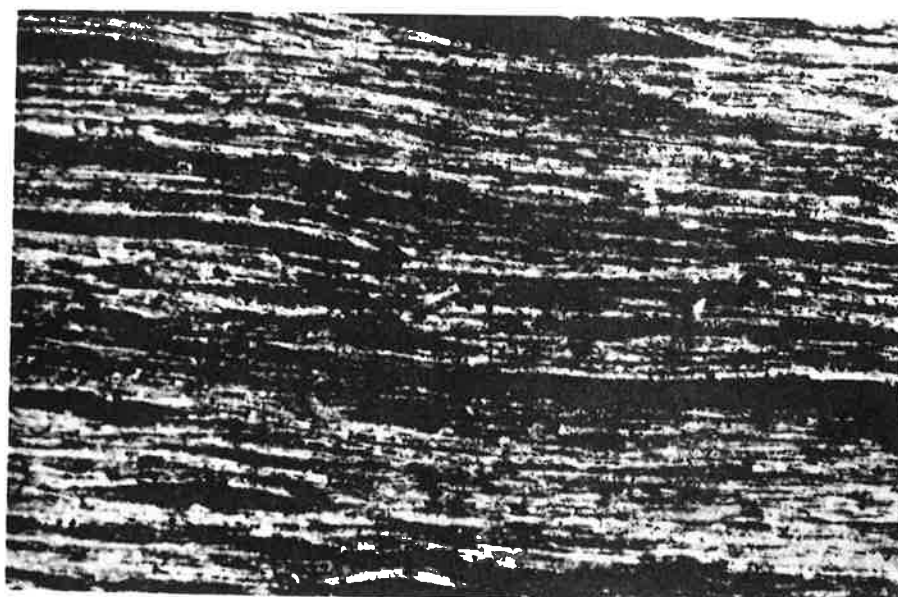


Fig 8 Bok, tangentialt 20:1

6.2 En beskrivning av makro- och mikrostruktur hos olika byggnadsmaterial

Examensarbetare: Bengt Sahlström och Cecil Törner J:r

Handledare: Civ ing Göran Fagerlund och forskn.ing Leif Erlandsson

Klart: November 1971

Referent: Leif Erlandsson

Uppgiften var att av olika byggmaterial framställa ett systematiskt bildmaterial användbart i undervisning och forskning.

Arbetet har utförts med institutionens forskningsmikroskop LEITZ ORTHOLUX-POL, makrokamera ARISTOPHOT och med NIKKON kamerautrustning.

I detta fall bestämdes uppgiften vara att ta fram bildmaterial över fyra olika gasbetongprodukter, tegel av två olika bränningsgrader, samt ett speciellt bildmaterial för studium av porstorlek och porfördelning med avseende på frostbeständighet.

Bilder i svartvitt och färg har redovisats i likhet med föregående arbete (FIG 1-8). Översiktsbilder av gasbetong och tegel i förstoringsgraderna 20 resp 30 gånger har framställts för användning i ett av Bfr finansierat forskningsprojekt rörande byggnadsmaterials frostbeständighet. De iordninggjorda preparaten har sedermera även undersökts i scanning-elektronmikroskop, varvid ytterligare bildmaterial erhållits.

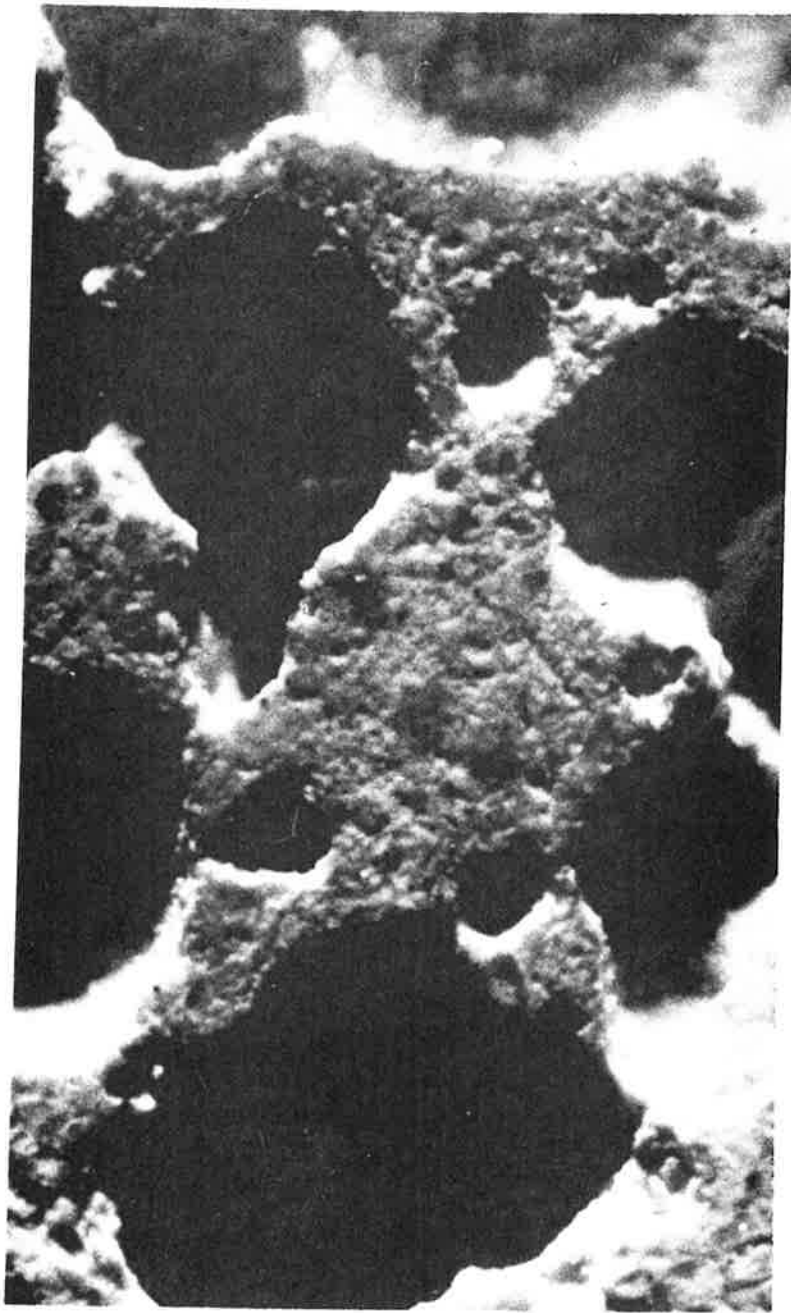
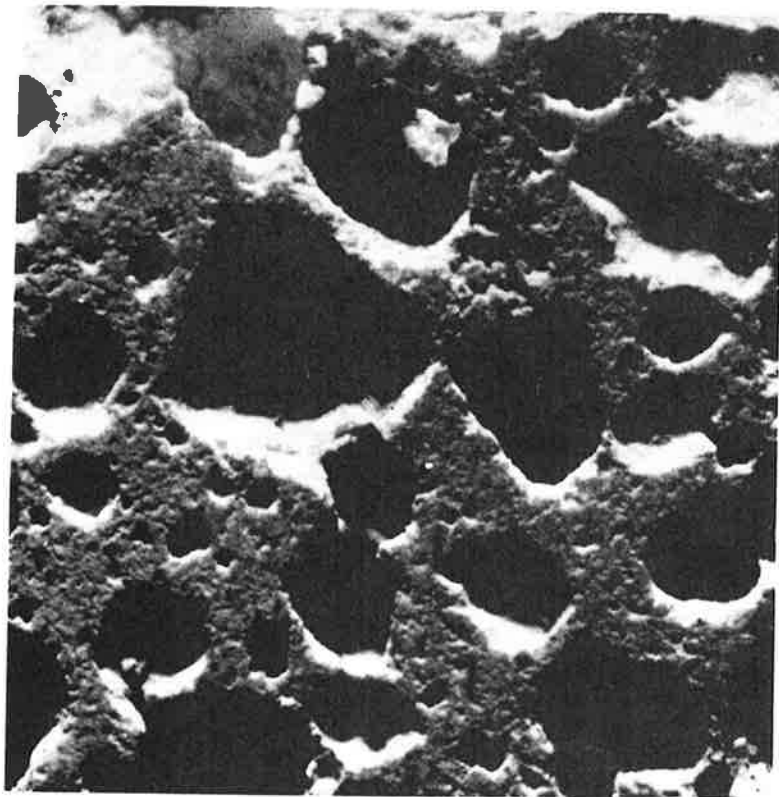


Fig 1 Gasbtg typ 3 50X
släpljus

1 mm



1mm

Fig 2 Gasbtg typ 3 20X
släpljus

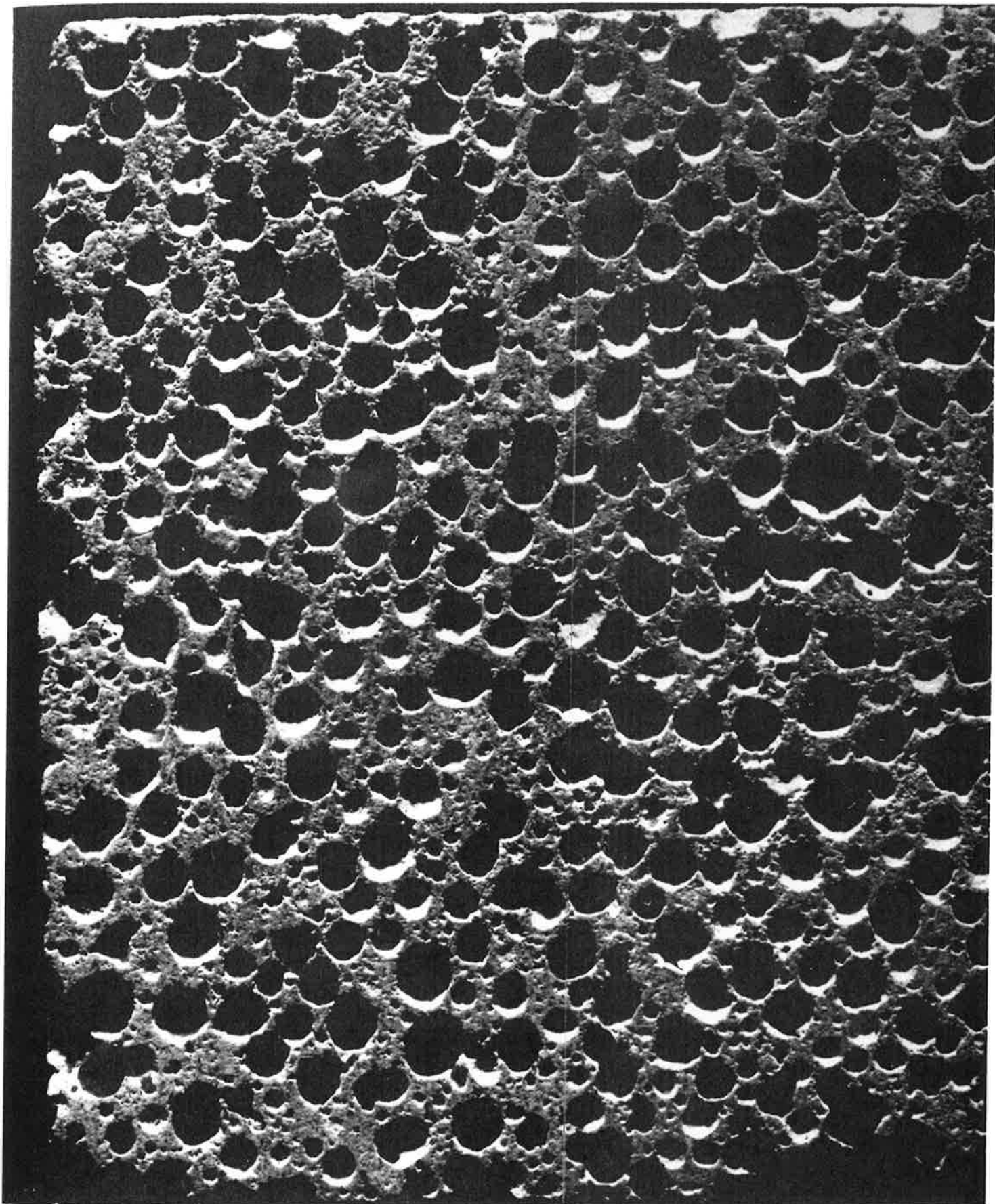


Fig 3 Gasbtg typ 2 7,5X
släpljus

1mm

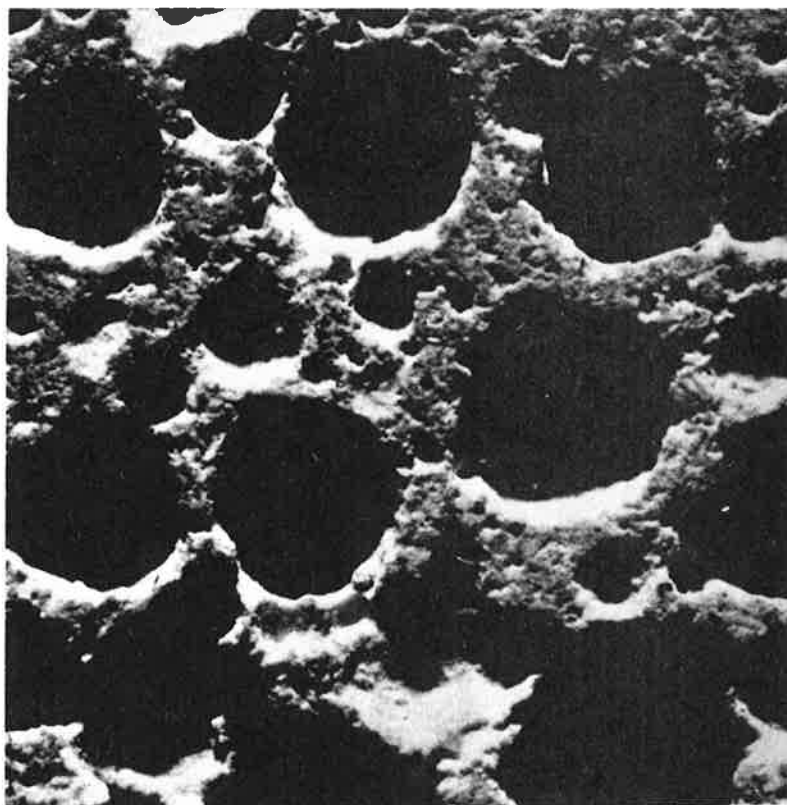
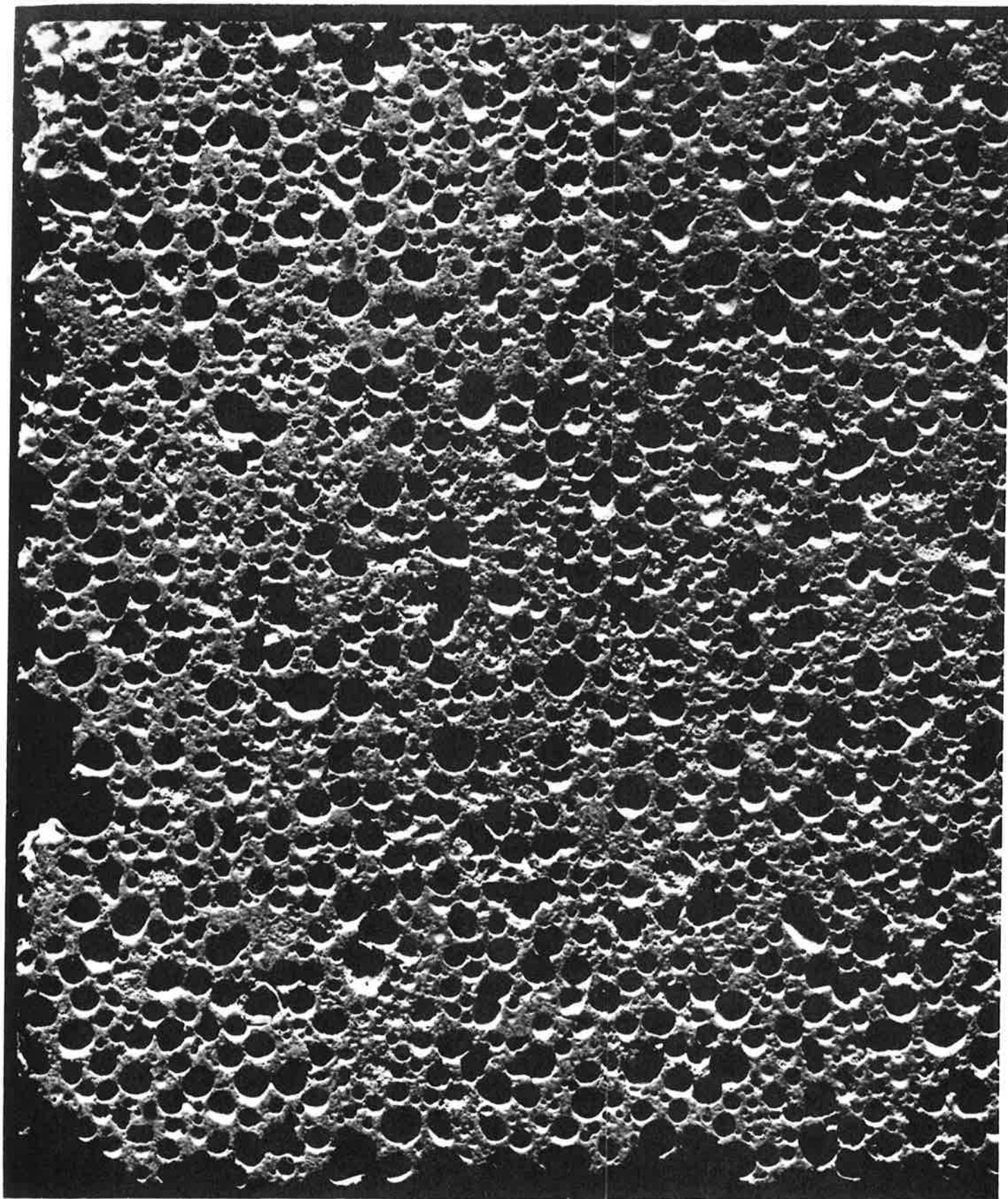


Fig 4 Gasbtg typ 2 20X
släpljus

1mm



1mm

Fig 5 Gasbtg typ 1 7,5X
släpljus

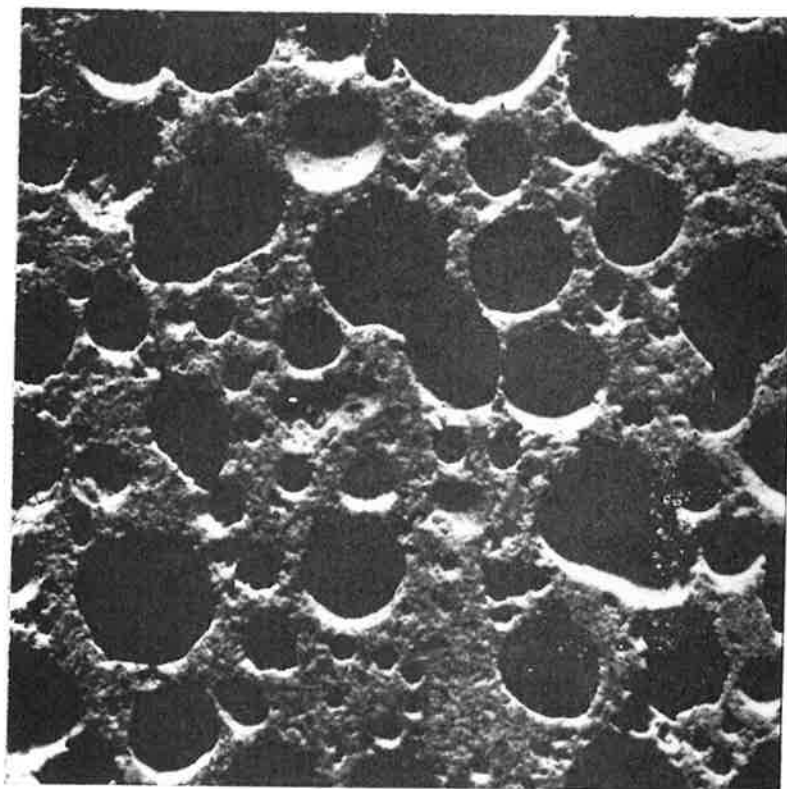


Fig 6 Gasbtg typ 1 20X
släpljus

1mm

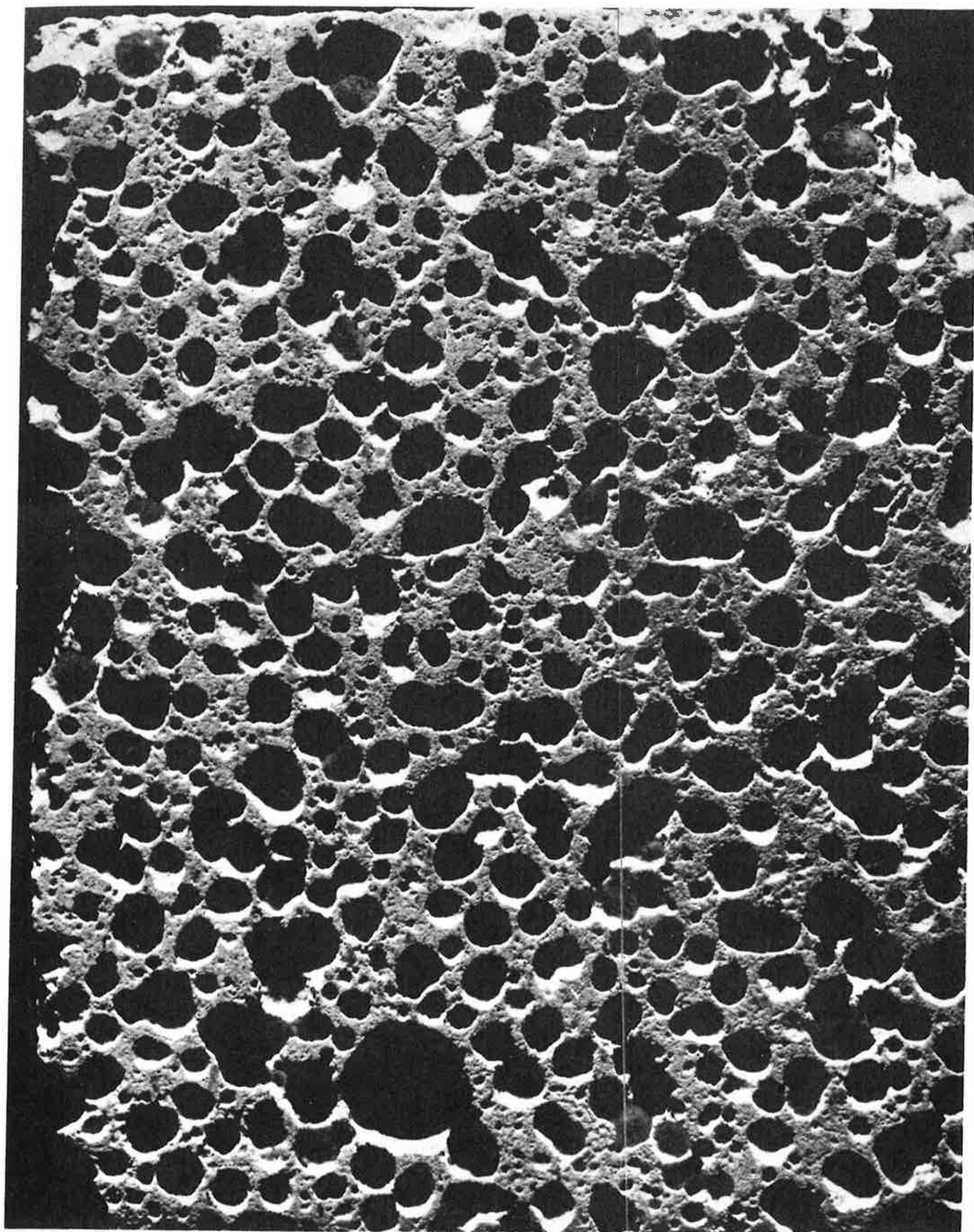


Fig 7 Gasbtg typ 4 7,5X
släpljus

1mm

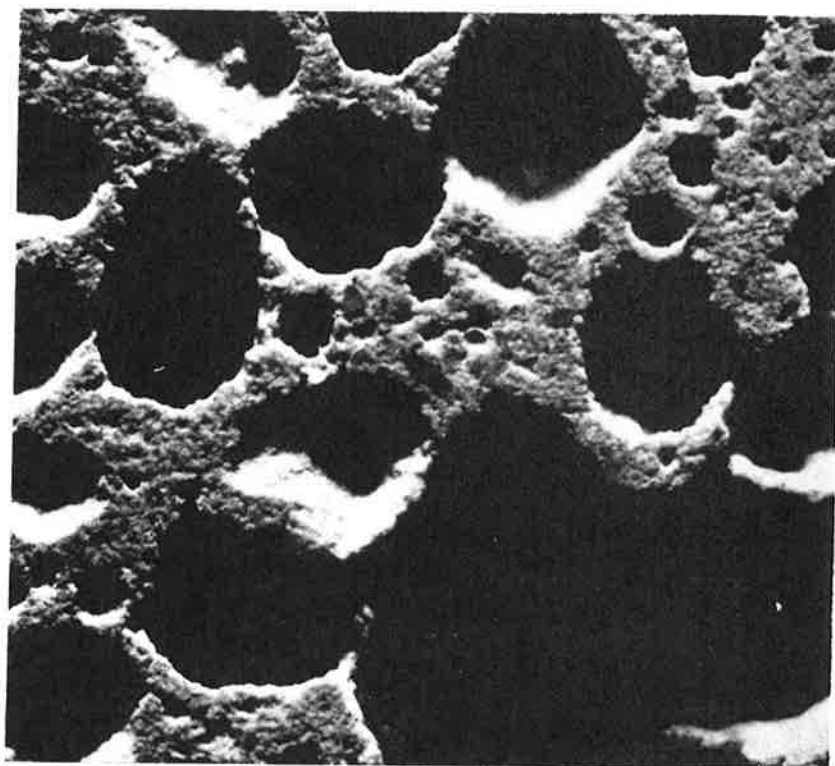


Fig 8 Gasbtg typ 4 20X
slāpljus

1mm