



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R87:1978**

# **Våtsprutad stålfiber- armerad betong**

**Bertil Sandell**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HÖGSKOLAN : LIND  
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN  
BIBLIOTEKET

R87:1978

VÅTSPRUTAD STÅLFIBERARMERAD BETONG  
Wet mixed fibre reinforced shotcrete

av Bertil Sandell

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
771183-2 från Statens råd för byggnadsforskning till  
Betongsprutnings AB BESAB, Göteborg.

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

Nyckelord:  
sprutbetong  
fiberbetong  
stålfiber  
våtsprutning  
materialegenskaper  
arbetsteknik

UDK 693.554-486  
693.546.3

R37:1978

ISBN 91-540-2924-4  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 857813

## INNEHÅLL

FÖRORD		5
1	BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE	7
2	SPRUTBETONG, ALLMÄNT	9
2.1	Torrspjutning	9
2.2	Våtsprjutning	12
3	STÅLFIBERARMERAD BETONG, ALLMÄNT	15
4	STÅLFIBERARMERAD SPRUTBETONG, ALLMÄNT	17
5	STÅLFIBERSPRUTNING, FIBERTILLSATS I SPRUTMUNSTYCKET	21
5.1	Torrspjutning	21
5.2	Våtsprjutning	23
6	FÖRSÖKSBETINGELSER OCH FÖRSÖK	27
6.1	Material och sammansättning	27
6.2	Utrustning och tillverkning	29
6.3	Provningsmetodik	30
6.3.1	Den färska betongmassans sammanhållning och vidhäftning	30
6.3.2	Tryckhållfasthet	30
6.3.3	Böjdraghållfasthet	30
6.3.4	Slagseghet	30
6.3.5	Vidhäftning	31
6.3.6	Vattentäthet	31
6.3.7	Krympning	32
6.3.8	Fiberhalt	32
6.3.9	Porositet	32
6.3.10	Fiberorientering	32
6.4	Provningsprogram	33
7	FÖRSÖKSRESULTAT	35
7.1	Steg 1	35
7.2	Steg 2	45
8	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER	63
	LITTERATURFÖRTECKNING	66



## FÖRORD

Under senare år har stora ansträngningar gjorts såväl i Sverige som i utlandet för att finna lämpliga produktionsmetoder för stålfiberarmerad sprutad betong.

Föreliggande undersökning syftar till att närmare undersöka våtsprutad stålfiberarmerad betongs egenskaper vid användandet av en teknik där stålfibern inblandas först i sprutmunstycket.

Projektet har stötts med anslag från Statens råd för byggnadsforskning. Maskin- och materialkostnader har subventionerats av BESAB.

Hållfasthetsprovningarna har, där ej annat angivits, utförts vid Institutionen för byggmateriallära, Chalmers Tekniska Högskola, under ledning av professor R Malinowski, som även medverkat vid utformandet av provningsprogrammet.

Medarbetare i utredningen har varit civ.ing Thomas Ericsson, BESAB och civ.ing Juhan Aavik, CTH.





Inom byggnadsindustrin pågår ett ständigt utvecklingsarbete för att åstadkomma bättre material och rationellare framställnings- och produktionsmetoder. Fiberarmerad betong har härvidlag rönt en berättigad uppmärksamhet, dels med tanke på materialets speciella egenskaper, dels på grund av de rationaliseringsvinster, som kan åstadkommas genom uteslutande av det ofta tidskrävande armeringsmomentet.

Den sprutmetod, som hittills dominerat i Sverige, är den s k torrsprutningsmetoden. Vid sprutning av stålfiberarmerad betong enligt denna metod har man stött på vissa svårigheter. Dessa består huvudsakligen i att fiberbollar uppstår vid inblandning av stålfiber i torr eller jordfuktig "betongmassa". Detta innebär en otillfredsställande fiberfördelning och fiberkoncentrationerna orsakar lätt driftstopp under sprutningen. Fibrerna har också lätt för att fastna i packningar, kopplingar, matarhjul och liknande.

En nyutvecklade teknik att tillsätta fibrer i sprutmunstycket undanröjer ovan nämnda nackdelar, men vid torrsprutningsmetoden erhålles också en förhållandevis stor mängd spill, som normalt inte har så stor betydelse men som vid fibertillsats medför en onödigt stor kostnad.

Våtsprutning ger mindre spill men betongmassa med fibertillsats är ej pumpbar om man syftar till böjdraghållfastheter  $\geq 6$  MPa. En kombination av våtsprutning med fibertillsats i munstycket skulle kunna vara lösningen på problemet och vid prov, som utfördes i mindre skala, erhöles positiva resultat. Dessutom noterades en viktig bieffekt. Fibern föreföll ha en sammanhållande effekt på den färskbetongmassan. Detta ger möjlighet till reduktion och eventuellt ett uteslutande av den stora tillsats av accelererande medel, som vanligtvis används vid våtsprutning. Accelerator används för att kunna applicera betongen i någorlunda tjocka påslag och inverkar i höga koncentrationer hållfasthetsnedsättande.

Undersökningen syftar till att närmare utvärdera fiberns sammanhållande effekt på betongmassan samt egenskaperna hos våtsprutad stålfiberarmerad betong.

Undersökningen avser fiberorientering, tryckhållfasthet, böjdraghållfasthet, slagseghet, vidhäftning mot berg, porositet, vattentäthet samt krympning.



## 2 SPRUTBETONG, ALLMÄNT

Att på pneumatisk väg spruta ett betongbruk i tunna skikt förekom redan i slutet på 1800-talet. Ett lättflytande bruk trycktes från en behållare genom en slang fram till ett munstycke, där massans hastighet accelererades med hjälp av tryckluft. Massan hade en sådan konsistens, att skikten måste sprutas mycket tunna, omkring 10 mm.

I början på 1900-talet konstruerades i USA en annan typ av sprutaggregat, som i princip innebar, att en torrblandning av cement och ballastmaterial pneumatiskt transporterades fram i en slang till ett munstycke, och först där tillsattes vattnet. I princip är det samma typ av betongmassa, som i det förstnämnda fallet, men en viss skillnad föreligger i vattencementtal och anslagshastighet.

Från ovan nämnda två metoder har de något inadekvata begreppen våtsprutning och torrsprutning vuxit fram och benämningarna är numera allmänt vedertagna.

2.1 Torrsprutning

Vid torrsprutning blandas, som ovan nämnts, cement och ballast utan vattentillsats i en konventionell blandare (en fukthalt hos ballastmaterialet upp till 6 % är möjlig och i vissa fall lämplig). Därefter transporteras blandningen på pneumatisk väg genom slangar fram till ett munstycke, där vatten tillsättes i fina strålar (fig 1). Den våta blandningen sprutas sedan ut med en hastighet av ca 75 m/sek på någon form av underlag.

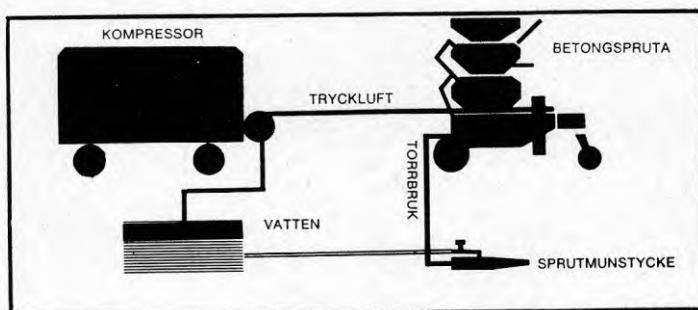


FIG. 1. Principskiss torrsprutning.  
Principle outline for dry mixed shotcrete.

För att torrbruket inte skall packa sig samman i matarslangen, fordras en relativt stor mängd transportluft. En normal betongspruta med en kapacitet torrbruk på 70 l/min fordrar ca 7000 l drivluft/min.

Betongen kan under gynnsamma förhållanden transporteras upp till en längd av omkring 500 m. Genom att betongmassan i egentlig bemärkelse inte behöver vara flytbar i matarslangen, kan vattenmängden reduceras till den från hållfasthetssynpunkt mest idealiska. Det i förhållande till våtsprutning låga vatteninnehållet ger också en betongmassa med god sammanhållning. Vidhäftningen är också bra mot de underlag, som den sprutas. Vattencementtalet ligger vanligtvis på omkring 0,3 - 0,4.

Vid fackmässigt utförande erhålles en betong av hög kvalitet. Tryckhållfasthet 30 - 70 MPa, böjdraghållfasthet ca 4,0 - 5,0 MPa. Genom strålens höga anslagshastighet och komprimerande kraft erhålles mycket god vidhäftning mot de flesta underlag. Figur 2 visar en förstärkning av bergslänt, där sprutningen utförts enligt torrmetoden.



FIG. 2. Förstärkning av bergslänt med torrspjutningsmetoden.  
Reinforcement of a rock slope with dry mixed shotcrete.

Metodens nackdelar är stor mängd återslag, dammbildning samt varierande vattencementtal beroende på att vattencementtalet regleras av munstycksföraren, vilken inte alltid kan följa eventuella variationer i materialströmmen.

Man kan skilja mellan två huvudtyper av sprutaggregat, s k 2-kammarmaskiner och rotormaskiner. 2-kammarmaskiner består, som namnet anger, av två behållare, som vid drift står under tryck. Den övre behållaren tjänar som sluss för materialet och från den undre behållaren proportioneras materialet med hjälp av ett tandat matarhjul kontinuerligt ut i en luftström (se fig 3).

Betongsprutor av 2-kammartyp är driftsäkra och ger en något jämnare frammatning av material än rotormaskinerna.

Till skillnad från 2-kammarmaskinerna, arbetar rotormaskinerna kontinuerligt utan slussning (se fig 4). Frammatning av betongmassan sker med hjälp av en rotor placerad på en vertikal axel. Rotorn är försedd med stående kamrar, som successivt påfylls uppifrån från en påfyllningsträtt. Genom rotation i kombination med ett övre och undre packningssystem, sker en successiv utmatning av betongmaterialet under tryck i maskinens nedre del. Det torra eller jordfuktiga materialet transporteras därefter genom en gummislang fram till sprutmunstycket, där vatten tillsätts. Rotormaskinen har den fördelen framför 2-kammarmaskinen, att den är lägre och lättare.

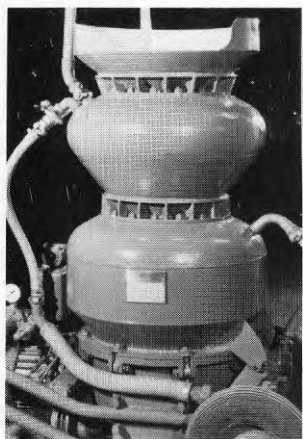


FIG. 3. 2-kammarspruta.  
2-chamber gun.



FIG. 4. Rotormaskin.  
Rotor gun.

## 2.2 Våtsprutning

Våtsprutning skiljer sig från torrsprutningsmetoden bl a genom att vattnet, som vid vanlig gjutbetong, tillsätts vid blandningen av cement och ballast och inte i sprutmunstycket (se fig 5). Vattentillsatsen är sålunda kontrollerad och ger i det avseendet en jämnare kvalitet. Den relativt blöta massan ger mindre återslag och dammar, enligt mångas uppfattning, mindre.

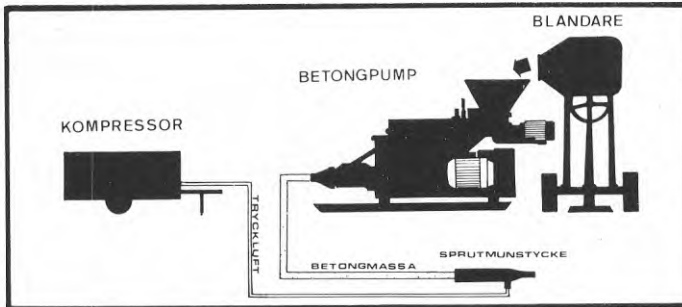


FIG. 5. Principskiss våtsprutning.  
Principle outline for wet mixed shotcrete.

För att kunna applicera den blöta massan i någorlunda tjocka skikt, tillsätts accelerator, vilket innebär försämrade hållfasthetsegenskaper beträffande tryck, böjdrag och vidhäftning. Genom den snabba bindningen uppstår svårigheter vid sprutning på armering.

Våtsprutning kan indelas i tre olika huvudgrupper, (se fig 6).

	TORRSPRUTNING	VÅTSPRUTNING		
		VATTEN TILLSÄTTS I MUNSTYCKET	FÄRDIGBLANDAD MASSA FRÅN SPRUTAGGREGATET	
			MASSAN UPPBLANDAD MED DRIVLUFT (DÜNNSTROM)	DRIVLUFT + ACC. I MUNSTYCKET (PROPFEN)
VCT	0,30 - 0,50	0,38 - 0,44	0,40 - 0,50	0,45 - 0,60
ÅTERSLAG %	25 - 45	20 - 35	20 - 35	5 - 10
SLANGLÄNGD M.	15 - 300	30 - 60	40 - 60	15 - 80
ACCELERATOR	KAN ANVÄNDAS	KAN ANVÄNDAS	NÖDVÄNDIG	NÖDVÄNDIG
KAPACITET m <sup>3</sup> /h	1,5 - 6	3 - 6	2 - 5	1,5 - 10

FIG. 6. Olika sprutmetoder.  
Different shotcrete methods.

I samtliga fall arbetar man med en färdigblandad massa, som trycks eller pumpas från sprutaggregatet till ett sprutmunstycke. Den vanligaste metoden (tyska dichtstrom) innebär, att man pumpar eller trycker en kompakt ström av betong fram till sprutmunstycket, där en riktad luftström ger betongmassan en ökad hastighet så att den kan sprutas mot någon form av underlag. Denna metod kräver god flytbarhet på betongen med åtföljande högt vattencementtal och sättmått. För att kunna applicera någorlunda tjocka påslag, tillsätts en flytande accelerator i munstycket.

För att lättare kunna transportera en styvare massa har man utvecklat metoder, där man blandar upp betongmassan med luft (tyska dünnstrom och propfen). Vid ökad luftinblandning och torrare massa ökar emellertid spillmängden.

För de nedan beskrivna försöken har den förstnämnda metoden (dichtstrom) använts.





Betong är idag ett av de allra viktigaste, för att inte säga det viktigaste, materialet inom byggnadsindustrin. Denna position har uppnåtts genom hög tryckhållfasthet, god beständighet, lågt pris samt materialets lätthanterlighet och ömhet i gjutnings- och härdningsfas. En nackdel är emellertid betongens dåliga drag- och deformationsegenskaper. Denna nackdel elimineras vanligtvis genom inläggning av konventionell armering eller spännarmering i dragpåkända zoner.

På senare år har metoden att blanda in stålfibrer i betongen intresserat många forskare. Fiberarmeringen kan särskilt vid tunna konstruktioner överta den lastbärande konventionella armeringens roll, men verkar även begränsande på sprickbildning och sprickutbredning. Vanligtvis sker inblandning av fibrer i hela tvärsnittet och man kan tala om ett "homogent" material med samma böjnings- och dragmekaniska egenskaper.

Övriga karaktäristiska egenskaper är hög seghet, något mindre krympning och en väsentligt bättre sprickfördelning vid dragpåkänningar.

Fiberarmeringens effektivitet är lägre än motsvarande volym konventionell armering. Detta beror bl a på den slumpmässiga 3-dimensionella orienteringen och på att vidhäftningsbrott inträffar före fiberbrott. Det senare naturligtvis beroende på fibrernas relativt korta längd. Långa och slanka fibrer, som från förstärkningssynpunkt är fördelaktiga, är svåra att blanda in i betongen. Man erhåller, vad man i dagligt tal kallar bollbildning, vilket har till följd, att en inhomogen fiberfördelning erhålles. Denna inblandningssvårighet uppstår i praktiken vid ett värde på den sammansatta parametern  $v \times \frac{l}{d} \geq 150$ , där  $v$  = vol-% fibrer,  $l$  = fibrernas längd i mm och  $d$  = fibrernas diameter i mm.

Vid betongsprutning tillkommer utöver bollbildningstendensen, vid inblandning av fibrer i betongmassan, även det förhållandet, att fibern lätt vill fastna i kanaler, slangar, ventiler, matarhjul etc.

Den slumpmässiga 3-dimensionella orienteringen kan vanligtvis inte styras vid konventionell betonggjutning. Vid gjutning av mycket tunnväggiga be-

tongprodukter erhålles dock automatiskt en i huvudsak 2-dimensionell orientering.

Med magnetisk fiberorientering kan fibrerna orienteras 1-dimensionellt, vilket kan vara intressant vid fabrikstillverkade produkter såsom plank, skivor, rör etc.

Vid sprutning erhålles automatiskt en 2-dimensionell orientering, där fibrerna i huvudsak ligger parallellt med underlaget.

Sprutad stålfiberarmerad betong anses vara en mycket intressant produktionsmetod av följande orsaker:

Sprutförfarandet ger en 2-dimensionell orientering (se fig 7). Med sprutmetoden kan fibern appliceras i sådana zoner, där dragspänningar förväntas uppkomma. Där risk för missfärgning genom rostbildning i ytan föreligger, kan ett täcksikt utan fiberinnehåll lätt appliceras.



FIG. 7. Detalj av brottyta och del av framsida på provplatta av fiberbetong.  
Detail of fracture and part of front on test panel of fibre concrete.

Sprutbetong används vanligtvis i tunna konstruktioner utan grov dragarmering. Ofta har dessa konstruktioner en komplicerad form (ex.vis skal, tunna bågformiga konstruktioner, sprutade skikt på ojämna bergytor, brand- och korrosionsskydd på stålkonstruktioner etc). I sådana fall är den konventionella armeringen kostsam att utföra.

Särskilt stora fördelar erhålles vid ytförstärkning av berg. Det komplicerade armeringsarbetet, där armeringen skall formas efter oregelbundna bergytor,

kan helt elimineras och betong och armering appliceras i en enda arbetsoperation.

Fiberinblandning sker vanligtvis i hela tvärsnittet, vilket är fördelaktigt vid de varierande och ofta obestämbara spänningsförhållande, som råder vid ytförstärkning av berg. Robotaggregatet kan med fördel användas, varvid kostnaden för den ställning, som erfordras för konventionell armering, bortfaller (se fig 8).

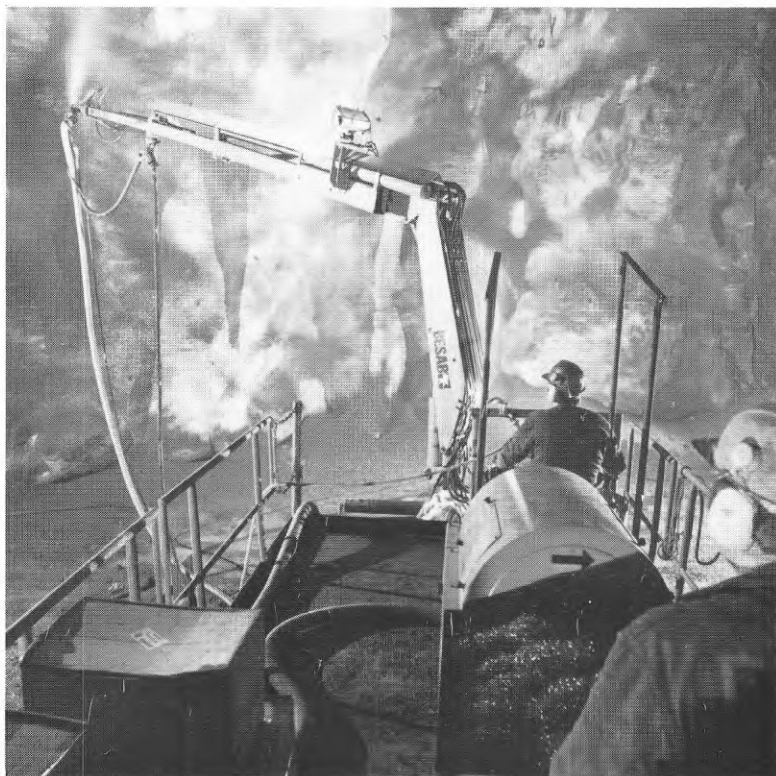


FIG. 8. Robotsprutad fiberbetong.  
Application of steel fibrous shotcrete with remote control.

Andra intressanta användningsområden är reparation av skadad betong, brand- och korrosionsskydd, sprutning av konstruktioner utsatta för termiska eller mekaniska chocker, sprutning av tätskikt på olika underlag.

I början på 1970-talet utfördes de första sprutningarna i Sverige med stålfiberarmerad torrsprutad betong, men problem med bollbildning (se fig 9) och störningar genom stopp i aggregat och slangar innebar, att de förväntningar, som ställts på metoden, inte helt kunde uppfyllas. Framför allt gällde detta vid användandet av s k 2-kammarmaskiner, då fibertussar lätt bildades vid matarhulets rotation i den jordfuktiga betongmassan. Fibern blev också både i blandare och sprutaggregat utsatt för sådan mekanisk åverkan, med deformation som följde, att armeringseffekten inte blev fullgod.

Problem uppstod även vid användandet av rotormaskiner, då stålfibern lätt tränger in mellan rotorns gummipackningar, varvid dessa snabbt förstörs.

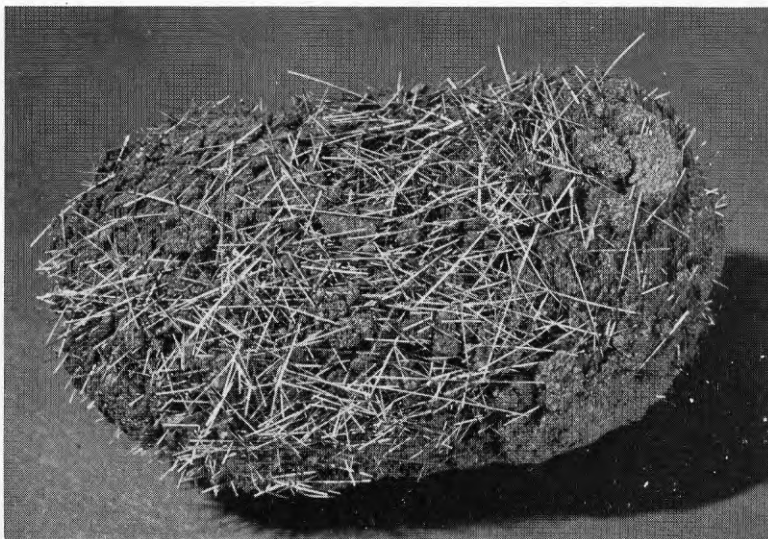


FIG. 9. Fiberboll.  
Fibre ball.

Vid konventionell inblandning har man också vid våtsprutningsförfarandet stött på svårigheter. Betongmassan, med inblandning av fibrer, fastnar lätt i kolvar, ventiler etc. Vid användandet av våtsprutor arbetande enligt tryckkärlsprincipen, innebär fibertillsatsen väsentligt ökad friktion mellan betongmassa och matarledning, vilket omöjliggör en säker drift. Några arbeten med våtsprutad fiberbetong enligt denna metod har heller inte veterligen utförts.



## 5 STÅLFIBERSPRUTNING, FIBERTILLSATS I MUNSTYCKET

### 5.1 Torrspjutning

Med anledning av de svårigheter, som nämnts ovan, har en ny teknik utvecklats, där fibern tillsätts först i sprutmunstycket. Dessutom har utvecklats en dispergerings- och proportioneringsutrustning (Fibre feeder) för att på ett säkert sätt upplösa fiberkoncentrationer och föra fram fibrerna i en jämn ström till sprutmunstycket (se fig 10). Sammanflätning av fibrer uppstår nämligen inte bara under inblandningsmomentet. Även vid packning och transport av fibrer uppstår svårupplösta fiberkoncentrationer.

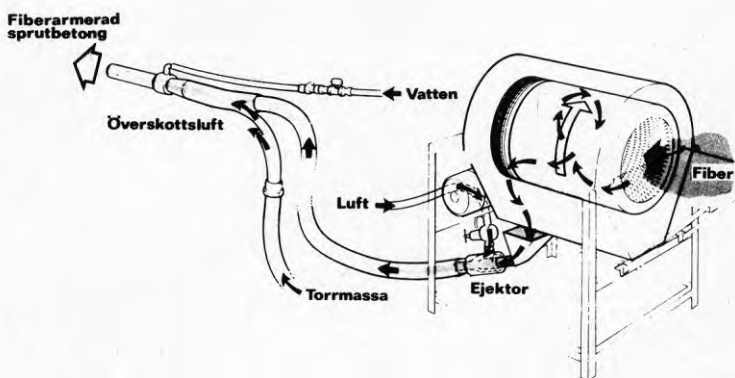


FIG. 10. Principskiss Fibre feeder.  
Principle sketch Fibre feeder.

Fibre feedern består av en roterande trumma (fig 11), som med hjälp av speciella piggar löser upp fiberkoncentrationerna. Den frigjorda fibern matas fram mot en ställbar nätförsedd öppning i trummans främre del, där själva doseringen sker. Fibern faller ner i en mottagningsträtt och blåses med hjälp av en ringejektor fram till munstycket, där den tillsätts den jordfuktiga betongblandningen.

Fibermängden kan avpassas så, att den överensstämmer med olika kapaciteter på betongsprutningsaggregatet. Anordningen kan användas för olika fibertyper, såsom präglade fibrer, vågformade fibrer, fibrer med ändkrokar, släta fibrer etc.

Utrustningen går att använda både till torr- och våtsprutning.

Tekniken innebär, att en stor mängd fibrer kan tillsättas och att aspect ratio (fiberlängd dividerad med fiberdiameter), kan hållas högt, vilket innebär, att fiberteknikens fördelar bättre kan utnyttjas.

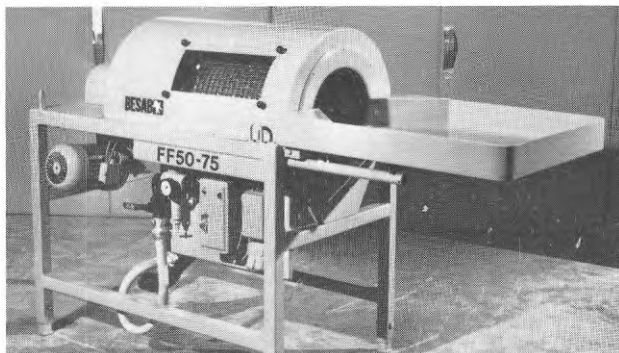


FIG. 11. Fibre feeder.

Under perioden 1977 - 1978 har ett 15-tal arbeten utförts med denna metod, bl a bergförstärkningar, reparation av skadad betong, samt sprutning av tätskikt på makadam (se fig 12, 13 och 14).



FIG. 12. Stabilisering av lerslänter, Tuveskredet.  
Stabilization of clay slopes at the Tuve catastrophe.





FIG. 13. Tätning med fiberbetong i vattenkanal.  
Sealing with fibrous shotcrete, water channel



FIG. 14. Förstärkning av schakt i oljelagringsanläggning.  
Reinforcement of shaft, rock room for oil storage

## 5.2 Våtsprutning

Våtsprutad fiberbetong har hittills varit en okänd teknik. I samband med putssprutningar och försök till reduktion av fiberspillet vid torrsprutning, konstruerades ett speciellt munstycke för våtsprutad betong och puts. Munstyckets konstruktion framgår av fig 15. Munstycke av denna typ har använts vid provsprutningarna. Frammatning och proportionering av fibrer sker med samma utrustning som vid torrsprutning.

Munstycket är utformat så, att fibern tillsätts centralt och omges, när den lämnar munstycksöppningen, av en mantel av betongmassa, vilket reducerar fiberspillet.

Vid de försök i mindre skala som utfördes, minskade fiberspillet väsentligt samtidigt som fibern visade sig ha en viss sammanhållande effekt på betongmassan efter att denna applicerats på formytan. Detta var av stort intresse, då man vid våtsprutning tidigare alltid fått kompensera den relativt blöta massan med tillsats av en stor mängd accelerator (i munstycket). Denna acceleratortillsats, som innebär försämrade håll-

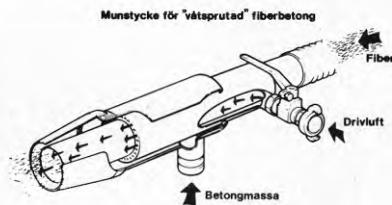


FIG. 15. Nozzle for wet sprayed shotcrete.

fasthetsegenskaper, skulle då kunna reduceras eller uteslutas, varvid en av våtsprutningsmetodens nackdelar elimineras.

I samband med ovan nämnda provsprutningar, sprutades också några provplattor med olika vattencementtal och fiberinnehåll, vilka med avseende på böjdraghållfasthet provats på Statens Provningsanstalt. Provningsen utfördes på balkar 80 x 10 x 15 cm. På två av balkarna utfördes nedböjningsmätningar (se bilaga till tabell 1). Resultaten redovisas i tabell 1 och fig 16. Fiberarmeringen utgjordes av ändhakade fibrer 35 x 0,35 mm.

TAB. 1. Sammanställning av provningsresultat.

Balk nr	Blandningsförhållande (viktsproportioner)	Vattencementtal	Fiberhalt (volym-%)	Böjdraghållfasthet, 28 dygn	
				Sprickspänning (MPa)	Brottspänning (MPa)
I A	1:3.35	0.87	0	4.85	4.85
I B	1:3.35	0.87	0	4.67	4.67
I C	1:3.35	0.87	0	4.64	4.64
I D	1:3.35	0.87	0	4.76	4.76
II A	1:3.35	0.87	1.0	4.50	7.90
II B	1:3.35	0.87	1.0	4.80	7.58
II C	1:3.35	0.87	1.0	4.30	7.75
II D	1:3.35	0.87	1.0	4.40	7.29
III A	1:3.35	0.77	1.0	4.20	7.56
III B	1:3.35	0.77	1.0	5.20	9.96
III C	1:3.35	0.77	1.0	5.10	9.35
III D	1:3.35	0.77	1.0	4.50	9.02
IV A	1:3.0	0.55	1.2	5.30	7.49
IV B	1:3.0	0.55	1.2	6.20	10.27
IV C	1:3.0	0.55	1.2	5.90	9.73
IV D	1:3.0	0.55	1.2	6.50	10.96

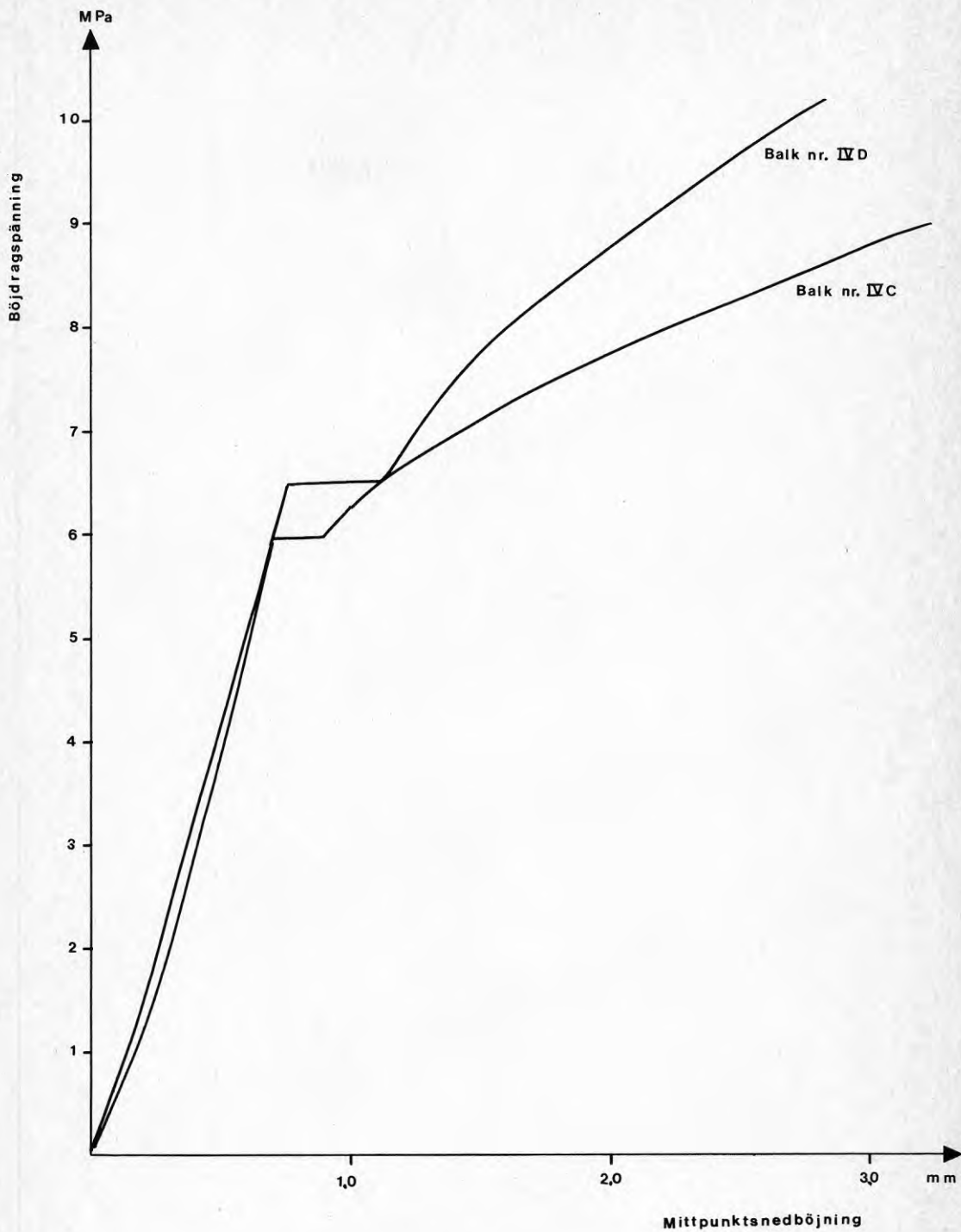


FIG. 16. Spännings - nedböjningsdiagram.  
Stress - deflection curve.



### 6.1 Material och sammansättning

Cement. - Cementas standardportlandcement, tillverkad vid fabriken i Skövde.

Ballast. - Natursand 0 - 4 mm från fyndighet i Vägerse, levererad av SABEMA. Siktkurva, se fig 17.

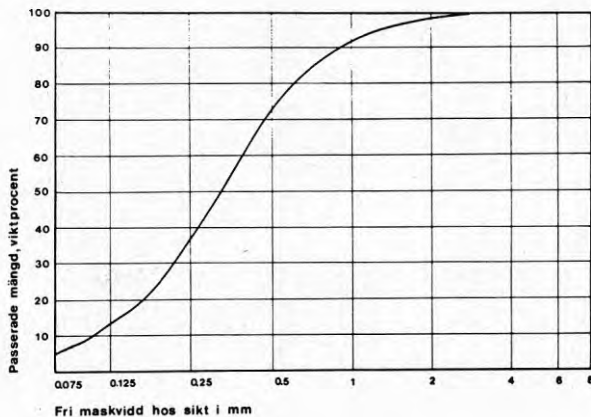


FIG. 17. Siktkurva över använt ballastmaterial.  
Sieve curve.

Sprutbetongen. - Har sammansatts av cement och sand i viktsproportionerna 1:3. Cementmängd 475 kg/m<sup>3</sup>. Vattencementtal omkring 0.55.

Tillsatsmedel. - I konsistensförbättrande syfte har luftporbildande och vattenreducerande tillsatsmedel använts. Mängden tillsatsmedel har varit ca 1 % av cementvikten.

I de fall, där accelerator har använts, har denna varit av alkalisilikattyp. Angiven procenthalt avser % av cementvikten.

Stålfibrer. - Fiberarmeringen har i förekommande fall utgjorts av ändhakad stålfiber 35 x 0.35 mm, brottspänning ca 1200 N/mm<sup>2</sup>.  
(Aspect ratio  $\frac{l}{d}=100$ )  
Se fig 18.

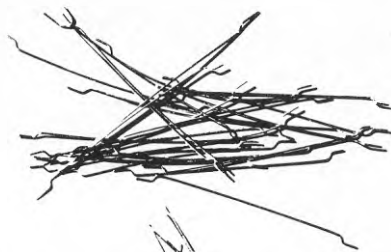


FIG. 18. Ändhakad stålfiber.  
Hooked steel fibre.

Vatten. - Från Göteborgs stad vattenledningsnät.

## 6.2 Utrustning och tillverkning

Betongen tillverkas med hjälp av en 150 liters tvångsblandare.

Med hjälp av en Putzmeister PKS pumpades betongmassan till sprutmunstycket, där drivluften och i förekommande fall accelerator tillsattes.

Fibrerna inblandades i betongmassan i sprutmunstycket med hjälp av en Fibre-feeder 50/75. Se fig 11.

Acceleratorn tillsattes betongmassan via ett tryckkärl, genom drivluften.

Samtliga prover, utom vidhäftningsproverna, sprutades i stålformar 80 x 80 x 10 cm. Vidhäftningsproverna sprutades mot stenplattor av granit, kalksten och skiffer, storlek ca 60 x 60 x 3 cm.

Sprutningen utfördes på BESAB's provsprutningsområde i Hisings Backa (se fig 19). Sprutriktingen var nära vinkelrätt mot formbotten resp. stenplattor.

Då provningarna till största delen utförts under vintertid, har huvuddelen av provplattorna sprutats i ett för ändamålet uppfört tält med uppvärmning.

Efter ett dygns förvaring på provsprutningsstället har proverna förvarats inomhus i annat uppvärmt utrymme (ca + 18<sup>o</sup> C). Vidhäftningsproverna har lagrats i uppvärmt vatten (ca + 20<sup>o</sup> C) fram till provning, övriga prover har lagrats i fuktig miljö.

När betongen uppnått erforderlig hållfasthet, avformades plattorna och uppsågades i mindre provkroppar. Sågningen utfördes på BESAB, Hisings Backa, med diamantsåg.



FIG. 19. Sprutning av provplattor med Putzmeister PKS och Fibre feeder 50/75.  
Spraying of test panels with a Putzmeister PKS and a Fibre feeder 50/75.

### 6.3 Provningsmetodik

#### 6.3.1 Den färska betongmassans sammanhållning och vidhäftning

För att på ett enkelt sätt bedöma den färska betongmassans sammanhållning, användes ett provningsförfarande enl följande: Betongen sprutades mot en vertikal plywoodskiva, ca 1 x 1 m, och påslagstjockleken mättes i ett antal punkter på skivan.

Vid bedömning av den färska betongmassans vidhäftning användes samma metod som i föregående försök, dock sprutades betongen denna gång uppåt mot en horisontell plywoodskiva.

I båda fallen jämfördes betong med tillsats av enbart accelerator med betong innehållande endast fibrer.

Redovisade påslagstjocklekar utgör för varje provningstillfälle medelvärden av fem olika mätningar.

#### 6.3.2 Tryckhållfasthet

Tryckhållfastheten bestämdes på utsågade kuber 7x7x7 cm. För att motverka ev. ytojämnheter, trycktes kuberna med ytmellanlägg av porösa träfiberplattor. Belastningsriktningen var parallell med sprutriktningen.

#### 6.3.3 Böjdraghållfasthet

Böjdraghållfastheten bestämdes genom att utsågade prismor med dimensionen 4x4x16 cm belastades, med en punktlast på mitten, till brott. Den fria spännvidden var 10 cm och lasten påfördes parallellt med sprutriktningen.

#### 6.3.4 Slagseghet

Slagsegheten bestämdes på utsågade prismor 4x4x16 cm med hjälp av en pendelhammare enl metod Charpy. Pendelhammaren hade försetts med specialgjorda klackar passande till den aktuella provkroppstorleken. Den fria spännvidden mellan klackarna var 4,5 cm. Belastningsriktningen var parallell med sprutriktningen. Provningsapparat, se fig 20.

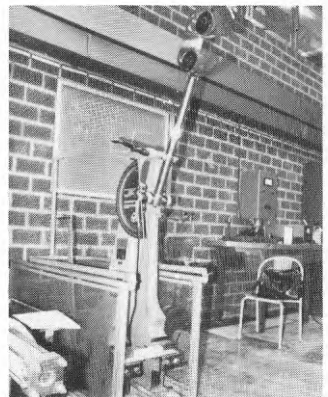


FIG. 20. Provning av slagseghet. Impact test.



### 6.3.5 Vidhäftning

Vidhäftningen bestämdes med dragprov på utborrade cylindrar ca  $\varnothing$  8 cm på följande sätt: Efter renkapning av ändytorna fastlimmades stålplattor försedda med fäste för en ledad draganordning. Provkropparna inspändes därefter i en dragprovningssmaskin och utsattes för centriskt placerad, axiellt riktad dragkraft, vilken successivt ökades tills brott erhöles. Se fig 21.

Vidhäftningsprov utfördes för tre olika bergarter: Bohusgranit, offerdalsskiffer och kalksten från Slite. För varje bergart provades två olika ytstrukturer, nämligen rå (naturlig) yta och slipad yta. Provingen utfördes efter 14 dygn.

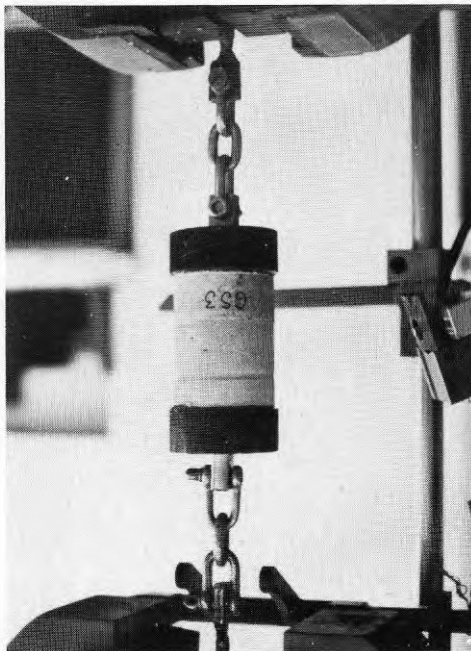


FIG. 21. Proving av vidhäftning.  
Bond strength test.

### 6.3.6 Vattentäthet

Vattentätheten bestämdes på utsågade provkroppar med dimensionen 25x25x10 cm. Vattentrycket påfördes parallellt med sprutriktingen.

### 6.3.7 Krympning

Krympningen bestämdes genom mätning av längdändringen hos utsågade provkroppar med dimensionen 10x10x40 cm, på vilka två mätdubbar med ett inbördes avstånd av ca 20 cm pålimmats. Mätningen gjordes med en Staegermätare med en noggrannhet av 0,001 mm. Se fig 22.



FIG. 22. Krympningsmätning.  
Shrinking test.

### 6.3.8 Fiberhalt

Fiberhalten kontrollerades genom att provkroppen vägdes och sedan nedkrossades, varefter de i provkroppen befintliga fibrerna plockades ur och vägdes.

### 6.3.9 Porositet

Porositeten bestämdes genom att provkroppen helt torkades ur i en ugn (+ 105° C) och därefter vägdes, varefter provkroppen placerades i ett vattenbad. När provkroppen helt mättats med vatten, vägdes den ånyo.

### 6.3.10 Fiberorientering

Fiberorienteringen bestämdes genom räkning av antalet fibrer inom en viss area av provkroppen. Räkningen genomfördes på sågsnitt och i tre inbördes vinkelräta riktningar. Mängd avsågade fibrer räknades.

Där inte annat anges, har alla provningar skett normenligt och efter 28 dygn.

Redovisade hållfastheter etc utgör medelvärde av minst tre prov per provningstillfälle och betongblandning.

#### 6.4 Provningsprogram

Steg I. - Studium av nio olika betongtyper med varierande sammansättning. Variabler: Mängd fibrer och mängd accelerator, se tabell 2.

TAB. 2

Serie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceleratormängd vikt-%	0	0	0	8	8	8	5	5	5
Fiberhalt vol-%	0	1.1	1.4	0	1.1	1.4	0	1.1	1.4

Bestämning av:

- Den färiska betongmassans vidhäftning och sammanhållning.
- Den härdade betongens tryck- och böjdraghållfasthet.
- Fiberorientering.

Steg II.- Avser att närmare undersöka den blandning ur de ovan angivna serierna om nio, som visat sig ha de bästa egenskaperna med avseende på tryck- och böjdraghållfasthet.

För denna optimala blandning undersöks: Tryckhållfasthet, böjdraghållfasthetsutveckling, slagseghet, vidhäftning mot olika bergarter, vattentäthet och krympning.



## 7 FÖRSÖKSRESULTAT

### 7.1 Steg I

En sammanställning av erhållna provningsresultat är gjord i tabell 3.

Den färska betongmassans sammanhållning och vidhäftning framgår av fig 23 och 24, där betong med tillsats av enbart accelerator jämförs med betong innehållande fibrer men utan accelerator.

Tryck- respektive böjdraghållfasthet som funktion av acceleratormängd, se fig 25 och 27, och som funktion av fiberhalt, fig 26 och 28.

Fiberorienteringen redovisas i tabell 4 och fig 29.

TAB. 3. Steg I. Sammanställning av provningsresultat.

Serie nr.	Accelerator-mängd (vikt-%)	Fiberhalt (vol-%)	Påslags-tjocklek med.värde vägg (cm)	Påslags-tjocklek med.värde (cm)	Påslags-tjocklek, tjocklek, densitet 28 dygn (kg/m <sup>3</sup> )	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	Densitet Tryckhåll-fæsthet (kg/m <sup>3</sup> )	Anmärkingar	
1	0	0	4	1	6.25	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	43.7		
					5.50			2231		42.2
					5.50			2231		43.5
					5.75			2243		43.1
					14.5			2221		46.7
2	0	1.1	17	3	14.8	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	49.6	aFiberhalten understiger 1.1 vol-%. b Snedbelastning skjubbrott.	
					(10.5) <sup>a</sup>			2197		45.1
					14.7			2195		47.1
					20.0			2190		45.5
					(15.1) <sup>b</sup>			2289		58.4
3	0	1.4	18	3	19.6	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	48.0		
					4.4			2216		50.6
					3.5			2245		23.1
					3.6			2070		23.6
					3.8			2089		22.2
4	8	0	20	3	3.8	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	22.2		
					18.6			2067		23.0
					16.3			2075		39.1
					18.5			2123		35.1
					17.8			2133		43.6
5	8	1.1	20	4	18.3 <sup>c</sup>	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	39.3	cFiberhalt 1.5 vol-%. d Snedbelastning skjubbrott.	
					22.5 <sup>c</sup>			2142		49.2
					(14.1) <sup>d</sup>			2198		48.4
					20.4			2172		48.6
					6.3			2206		48.7
6	8	1.4	20	4	5.3	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	36.8		
					5.7			2190		40.6
					5.8			2186		41.0
					19.8			2191		39.5
					21.6			2177		55.4
7	5	0	16	4	21.2	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	58.3		
					20.9 <sup>e</sup>			2227		58.3
					(13.3) <sup>e</sup>			2230		56.3
					(13.8) <sup>e</sup>			2227		55.7
					20.1			2211		59.8
8	5	1.1	20	3	20.1	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm	KUBER 7 x 7 x 7 cm	59.4	eFiberhalt 0.95 vol-%	
					20.1			2215		59.0
					20.1			2227		59.4
					20.1			2218		59.0
					20.1			2220		59.4

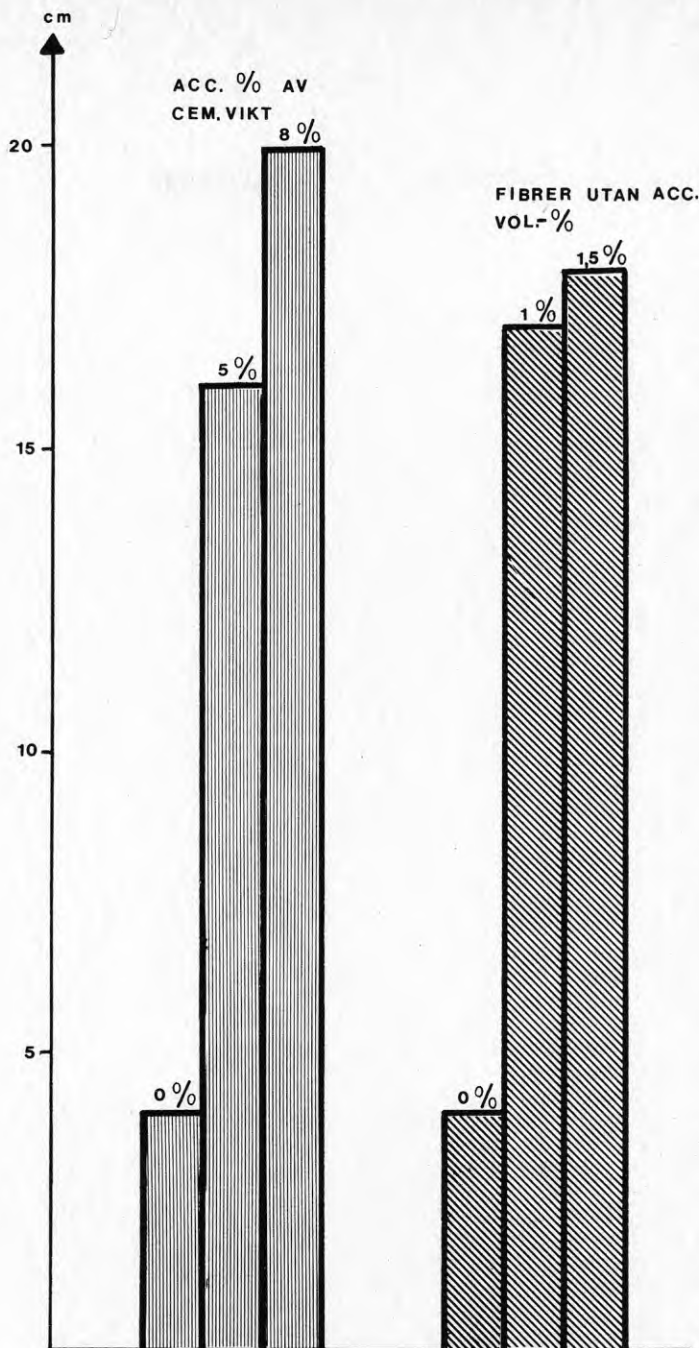


FIG. 23. Fiberns och acceleratorns inverkan på påslagets tjocklek. Vågg.

Effect of accelerator dosage and fibre content on the thickness of the shotcrete lining. Test against plywood wall.

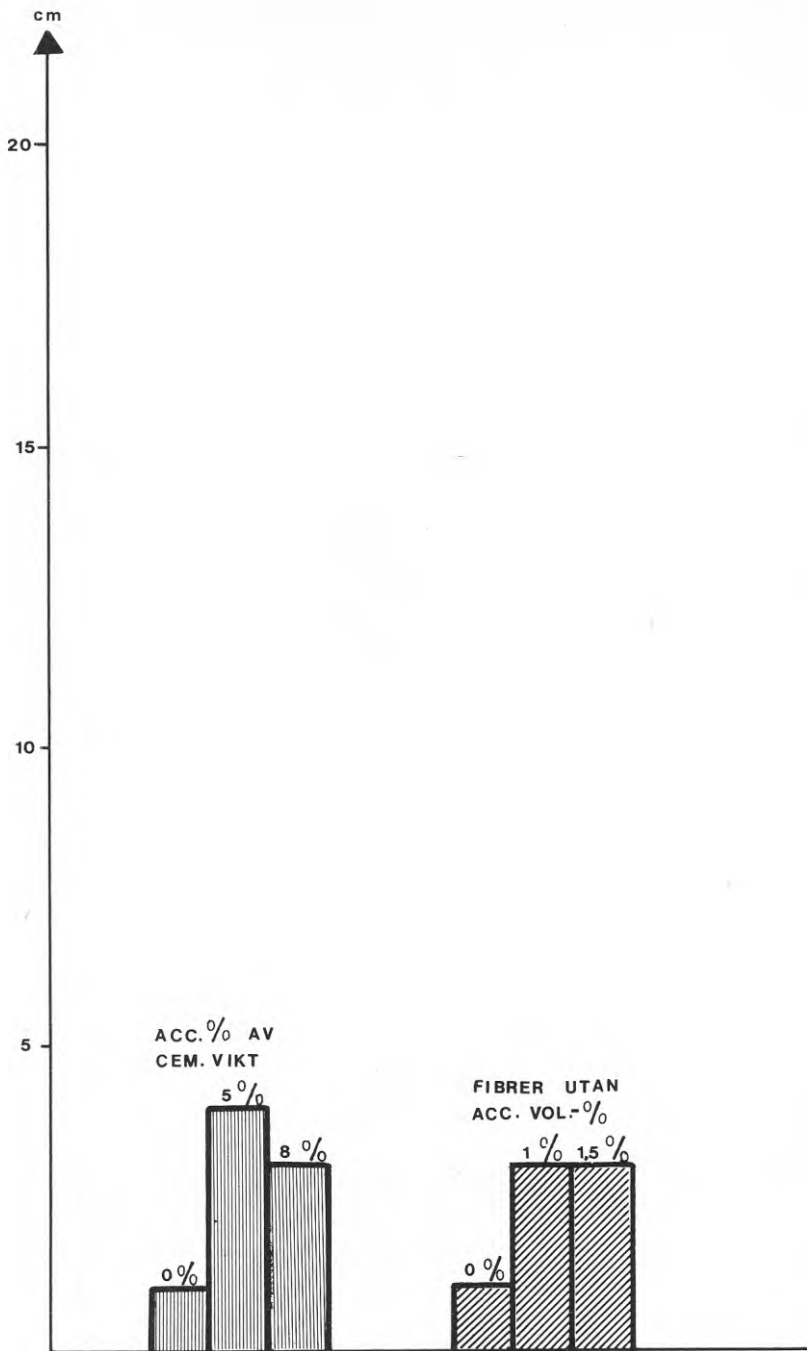


FIG. 24. Fiberns och accelerators inverkan på påslagets tjocklek. Tak.

Effect of accelerator dosage and fibre content on the thickness of the shotcrete lining. Test against plywood roof.



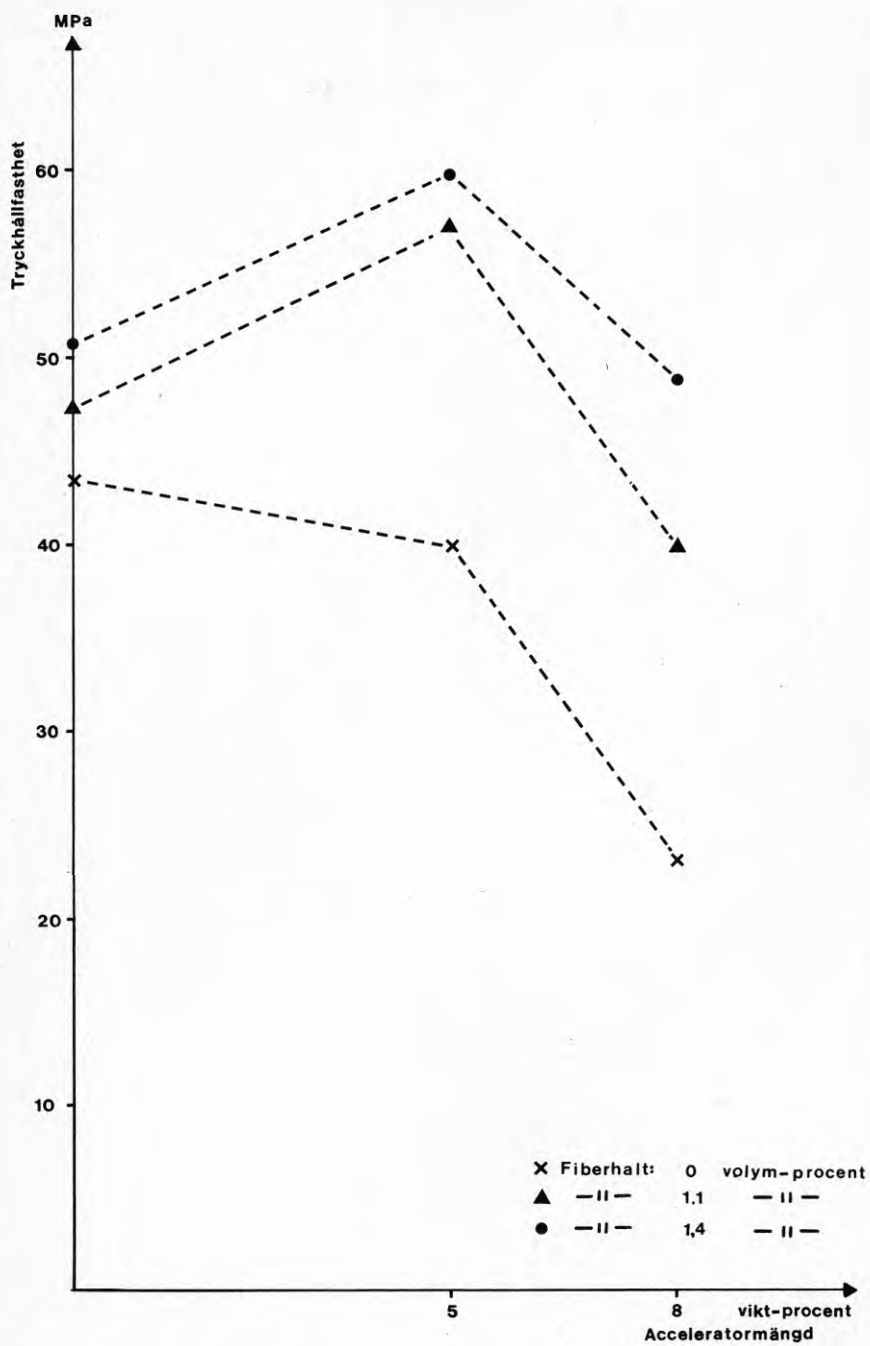


FIG. 25. Tryckhållfastheten som funktion av acceleratormängden.  
Compressive strength as a function of accelerator dosage.

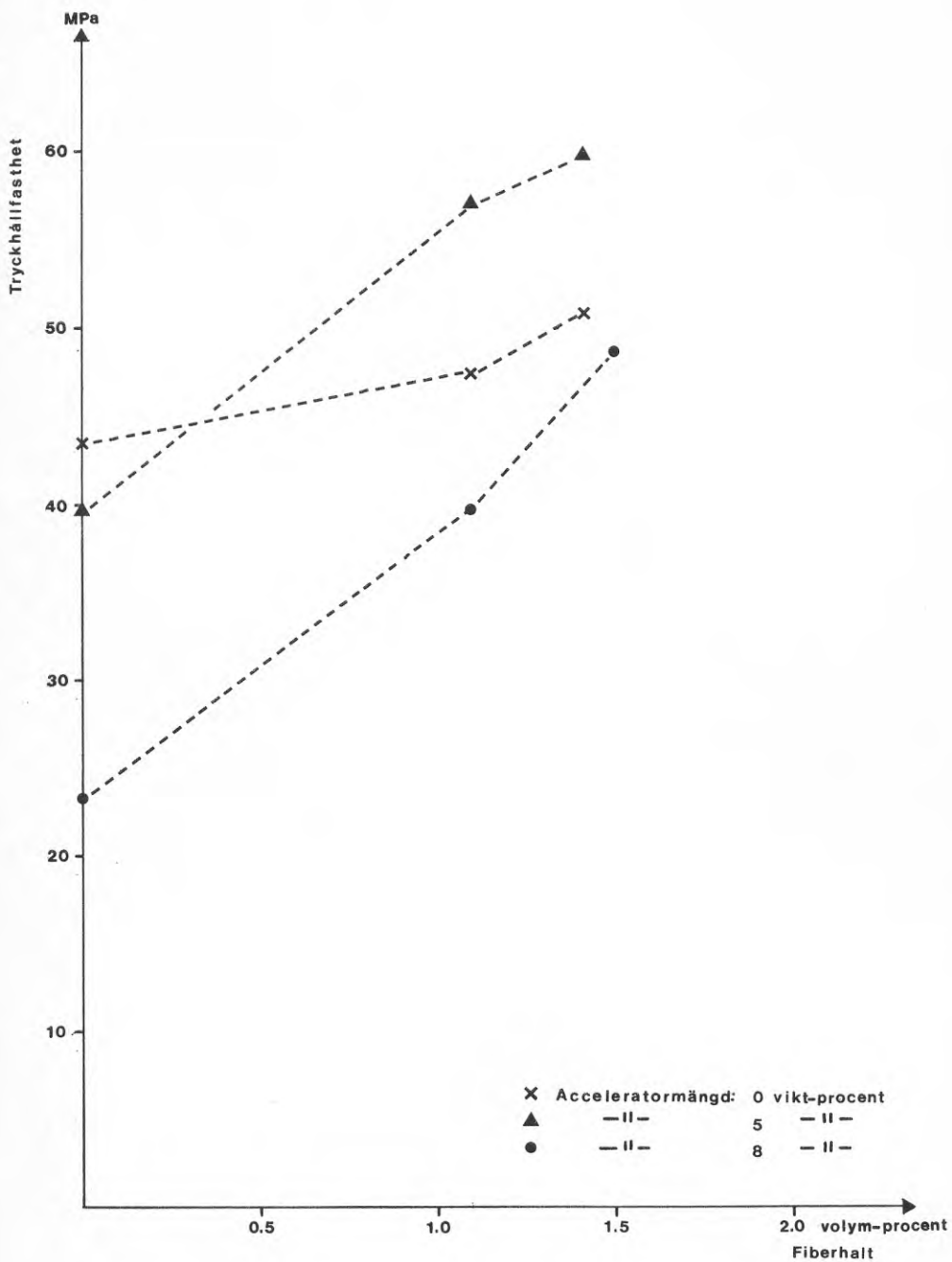


FIG. 26. Tryckhållfastheten som funktion av fiberhalten.  
Compressive strength as a function of fibre content.

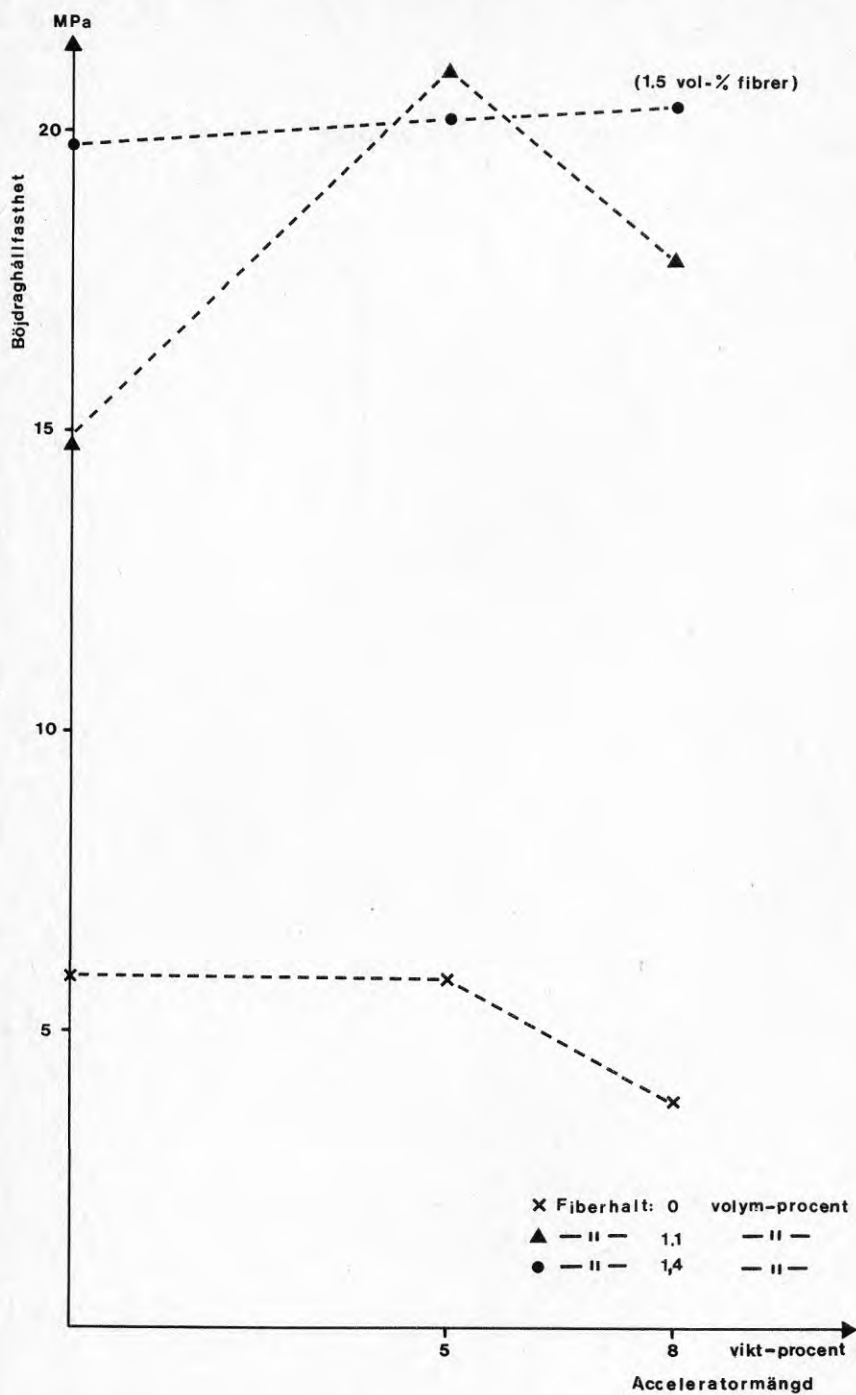


FIG. 27. Böjdraghållfastheten som funktion av acceleratormängden.  
 Flexural strength as a function of accelerator dosage.

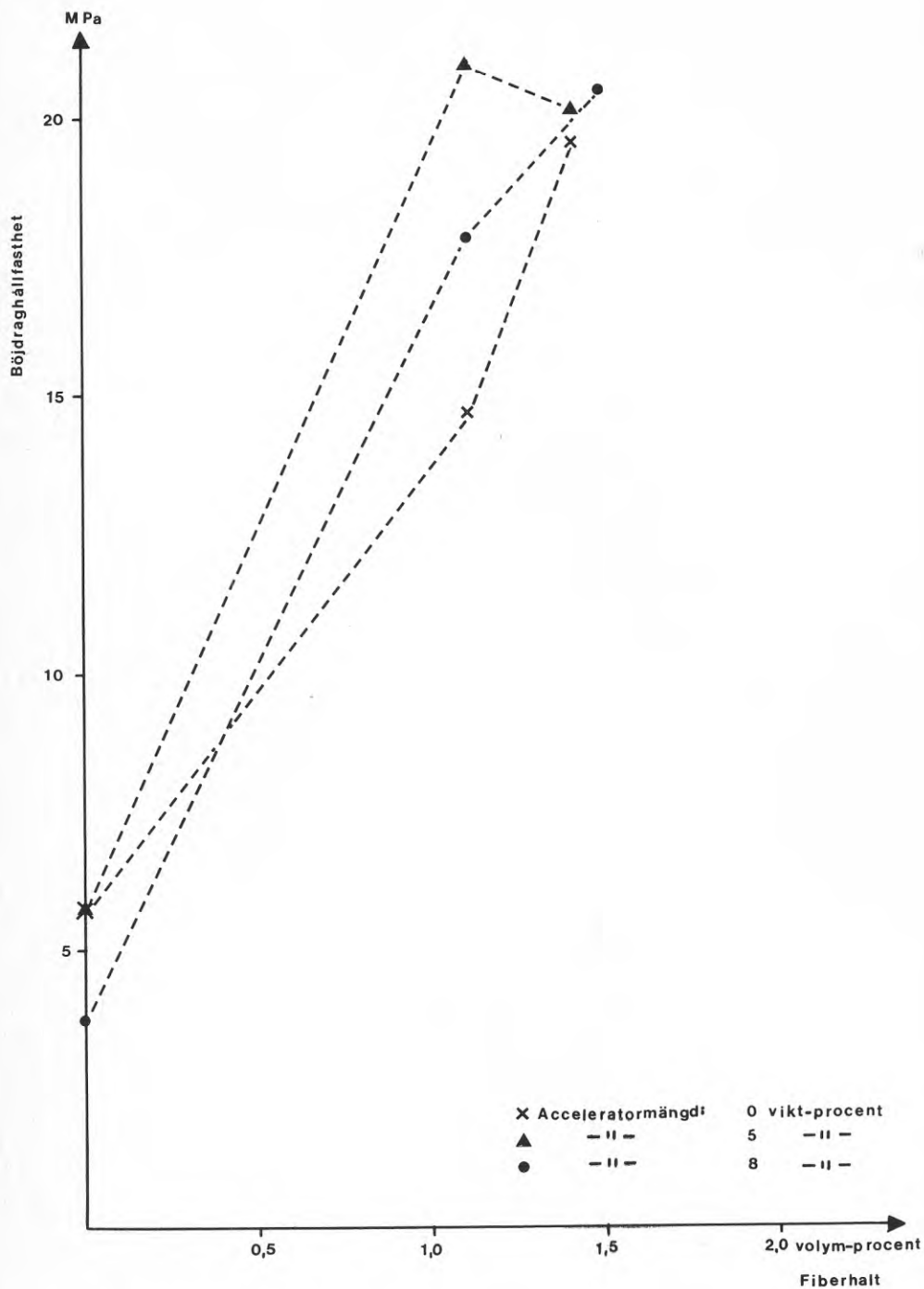
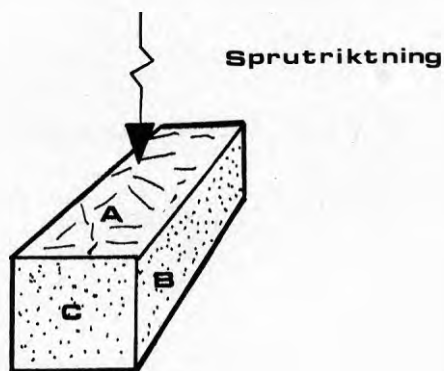


FIG. 28. Böjdraghållfastheten som funktion av fiberhalten.  
Flexural strength as a function of fibre content.



TAB. 4. Fiberorientering. Antal fibrer i såg-  
snitt, räknat per  $\text{cm}^2$ .

Prov nr	Antal fibrer i sågsnitt, räknat per $\text{cm}^2$ .		
	Yta vinkelrätt sprutriktningen (A)	Yta parallellt sprutriktning- en (B)	Yta parallellt sprutriktning- en (C)
1	0	11	2
	0	8	3
	0	13	4
	0	8	3
2	0	17	9
	0	9	3
	0	8	7
	0	11	9
3	0	5	6
	0	7	9
	0	8	7
	0	9	5
4	0	7	12
	2	6	7
	0	11	2
	1	6	4

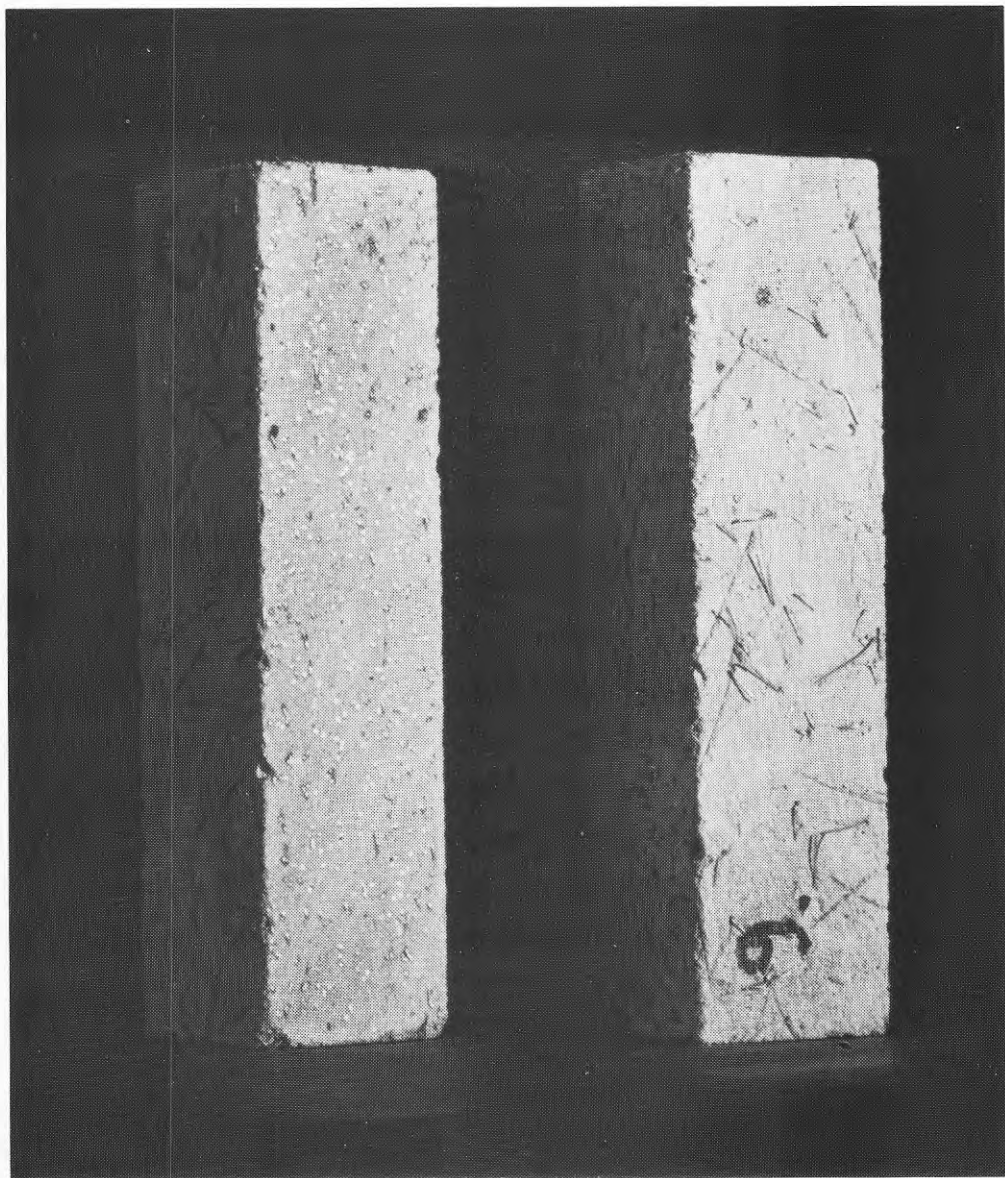


FIG. 29. Fiberorientering. Till vänster yta skuren vinkelrätt och till höger parallellt med sprut-  
riktningen.  
Fibre orientation. Left: section perpendicular to  
the spraying direction, right: section parallel to  
the spraying direction.

7.2 Steg II

Av resultaten från föregående försök framgår det, att de betongblandningar, som innehåller 0 och 8 vikt-% accelerator i kombination med 1.1 resp. 1.4 vol-% fibrer, uppvisar lägre tryck- och böjdraghållfasthet än kombinationen 5 vikt-% accelerator och 1.1 resp. 1.4 vol-% fibrer. Den högre acceleratormängden gav så snabb bindning, att kompakteringsproblem uppstod, vilket vid fiberinblandning gav upphov till en inhomogen slutprodukt, se fig 30.

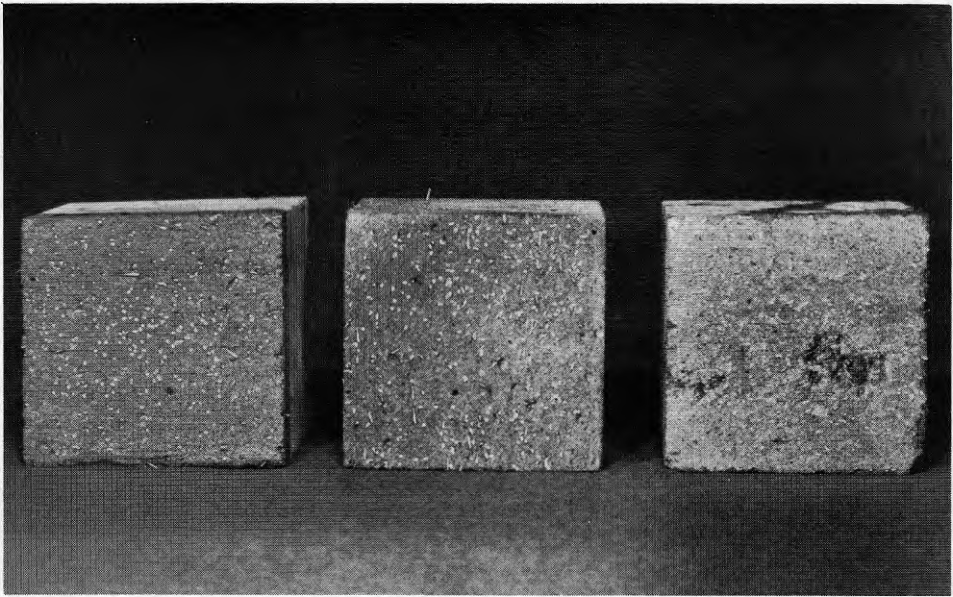


FIG. 30. Snittytor på betongtyperna 2, 8 och 5. Observera den högra kubens dåliga kompaktering beroende på hög acceleratortillsats (8 %). Sawn surfaces on concrete type 2, 8 and 5. Note the bad compaction of the right cube caused by high accelerator dosage (8 %).

På grund av att två typer av betong resultatmässigt låg nära varandra, valdes att i steg II vidare undersöka både betong med 1.1 respektive 1.4 vol-% fibrer i kombination med 5 vikt-% accelerator. I undersökningen ingick även en referensbetong utan fiber- och utan acceleratorinblandning.

En sammanställning av erhållna provningsresultat är gjord i tabell 5.

Tryck- och böjdraghållfastheten som funktion av fiberhalt framgår av fig 31 resp. 33. I fig 32 visas en oarmerad och en fiberarmerad kub efter brott.

Böjdraghållfasthetsutveckling, se fig 34.

Slagsegheten som funktion av fiberhalt, se fig 35.

Vidhäftning mot berg framgår av tabell 6 - 8 och fig 36. I den senare är, där inte annat anges, endast rena vidhäftningsbrott medtagna.

I fig 37 redovisas resultaten från vattentäthetsprovningarna.

Den oförhindrade krympningen framgår av fig 38.



TAB. 5. Steg II. Sammanställning av provningsresultat.

Accelera- tor- mängd (vikt- %)	Fiber- halt (vol- %)	PRISMOR 4 x 4 x 16 cm				Slag- segnet 28 dygn (kJ/m <sup>2</sup> )	KUBER 7x7x7 cm		Porosi- tet, med- värde (vol- %)	Vatten- inträngn. efter 24 tim vid 8 atö(cm)	Vattentätethet	
		Böjdraghållfasthetsutveckling (MPa)	1 dygn 3 dygn 7 dygn 28 dygn 90 dygn	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Tryckhållfasthet (MPa)							
0	0	5.5	5.9	5.5	4.8	11.4	18	2224	45.7	19	0.5	Ja
		6.1	6.2	5.8	5.3	8.4	17	2241	51.9		0.5	Ja
		<u>5.3</u>	<u>6.2</u>	<u>5.8</u>	4.5	10.4	<u>15</u>	2240	45.3		2.3	Ja
		5.6	6.1	5.7	5.9	<u>7.3</u>	17	2232	44.4			
					5.8	9.4		2257	47.6			
					<u>5.9</u>			2238	46.2			
					5.4			<u>2223</u>	<u>43.5</u>			
								2234	46.4			
5	1.1	16.1	16.2	19.1	18.7	22.6	84	2234	52.5	21	2.5	Ja
		15.7	16.8	18.5	18.2	22.6	92	2239	55.0		5.2	Ja
		<u>15.6</u>	<u>17.5</u>	<u>20.2</u>	20.8	<u>25.3</u>	150	2251	57.5		6.5	Ja
		15.8	16.8	19.3	<u>22.1</u>	23.5	84	<u>2252</u>	<u>57.5</u>			
					20.0		110	2244	55.6			
							<u>104</u>					
							104					
5	1.4	-	-	10.8	(30.3) <sup>a</sup>	-	112	2246	(60.2) <sup>a</sup>	21	3.5	Ja
				13.0	21.3		(124) <sup>a</sup>	2199	56.1		4.5	Ja
				14.8	20.6		<u>103</u>	<u>2206</u>	<u>58.5</u>		5.0	Ja
				<u>11.5</u>	(31.7) <sup>a</sup>		<u>108</u>	<u>2217</u>	<u>57.3</u>			
				12.5	(29.3) <sup>a</sup>							
					<u>21.0</u>							
					(30.4) <sup>a</sup>							

<sup>a</sup>Fiberhalt 1.8 vol-%

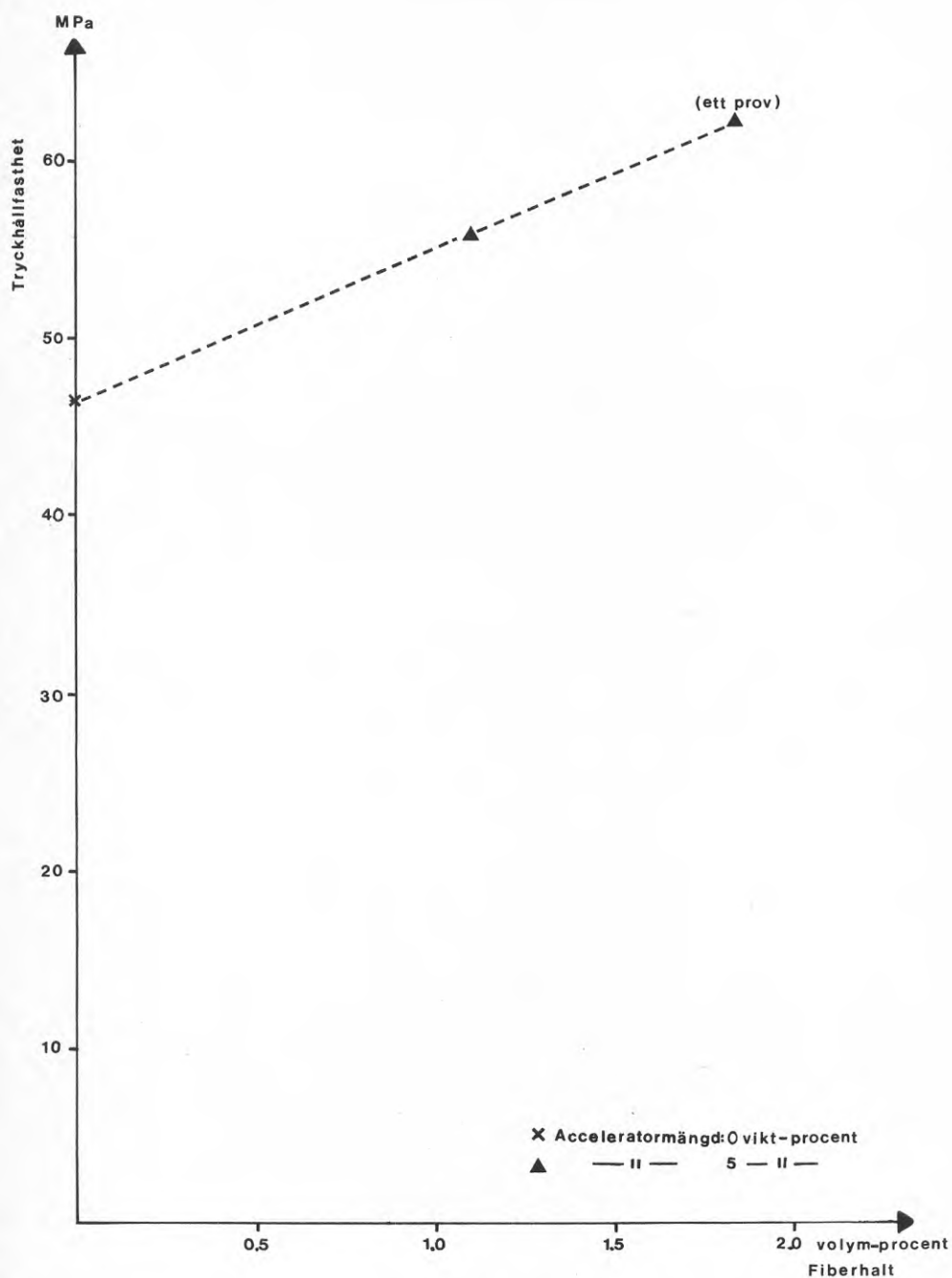


FIG. 31. Tryckhållfastheten som funktion av fiberhalten.  
Compressive strength as a function of fibre content.

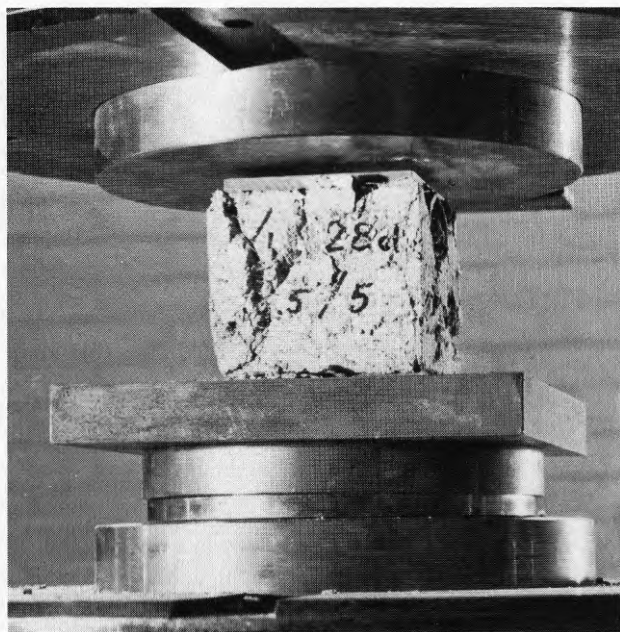
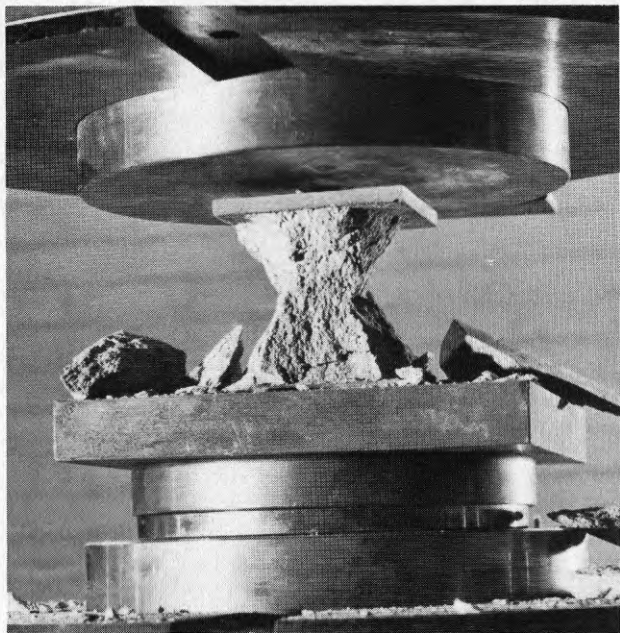


FIG. 32. Darmerad (överst) respektive fiberarmerad kub efter brott.  
Unreinforced (over) and fibre reinforced cube after cracking.

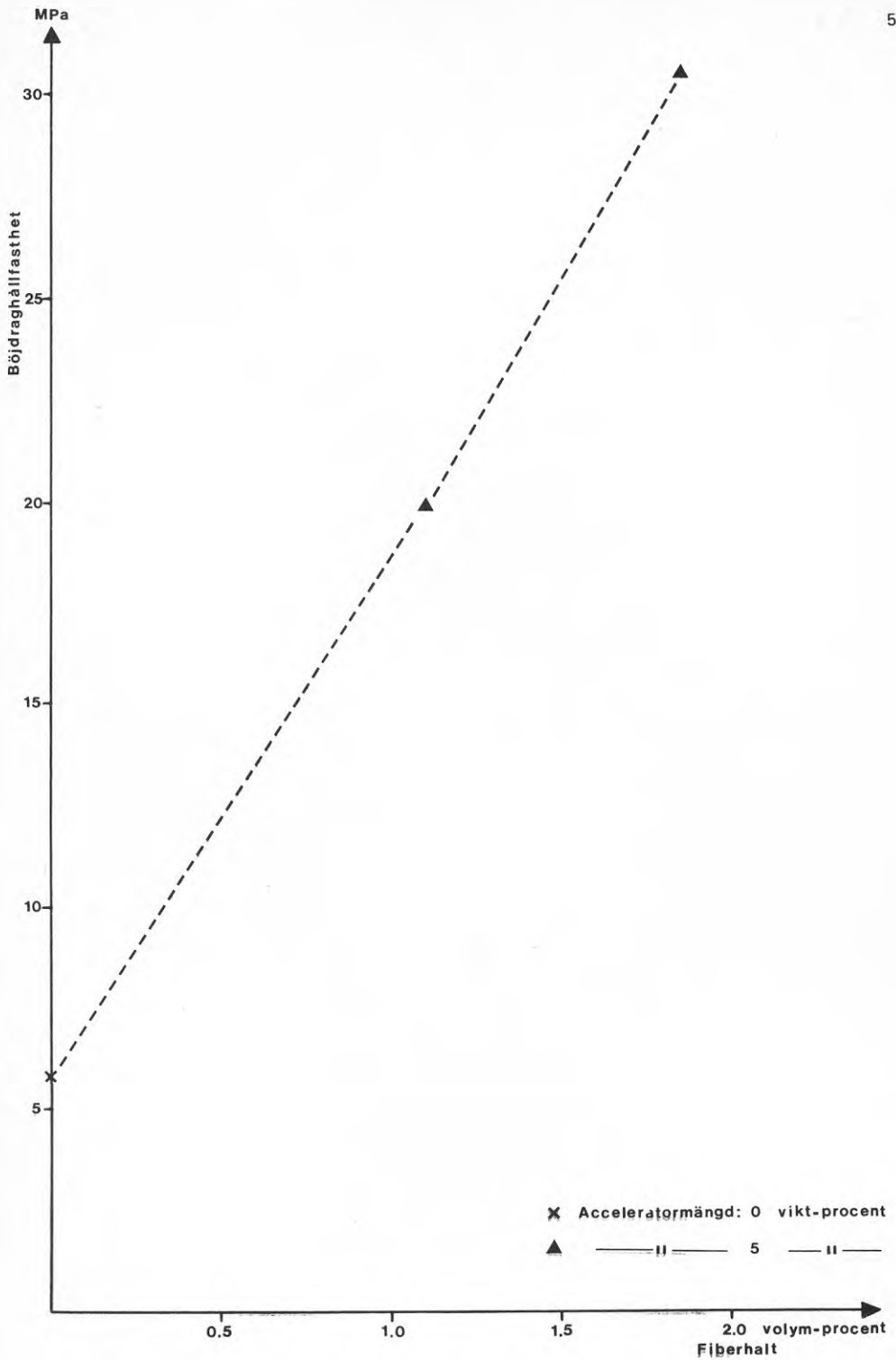


FIG. 33. Böjdraghållfastheten som funktion av fiberhalten.  
Flexural strength as a function of fibre content.

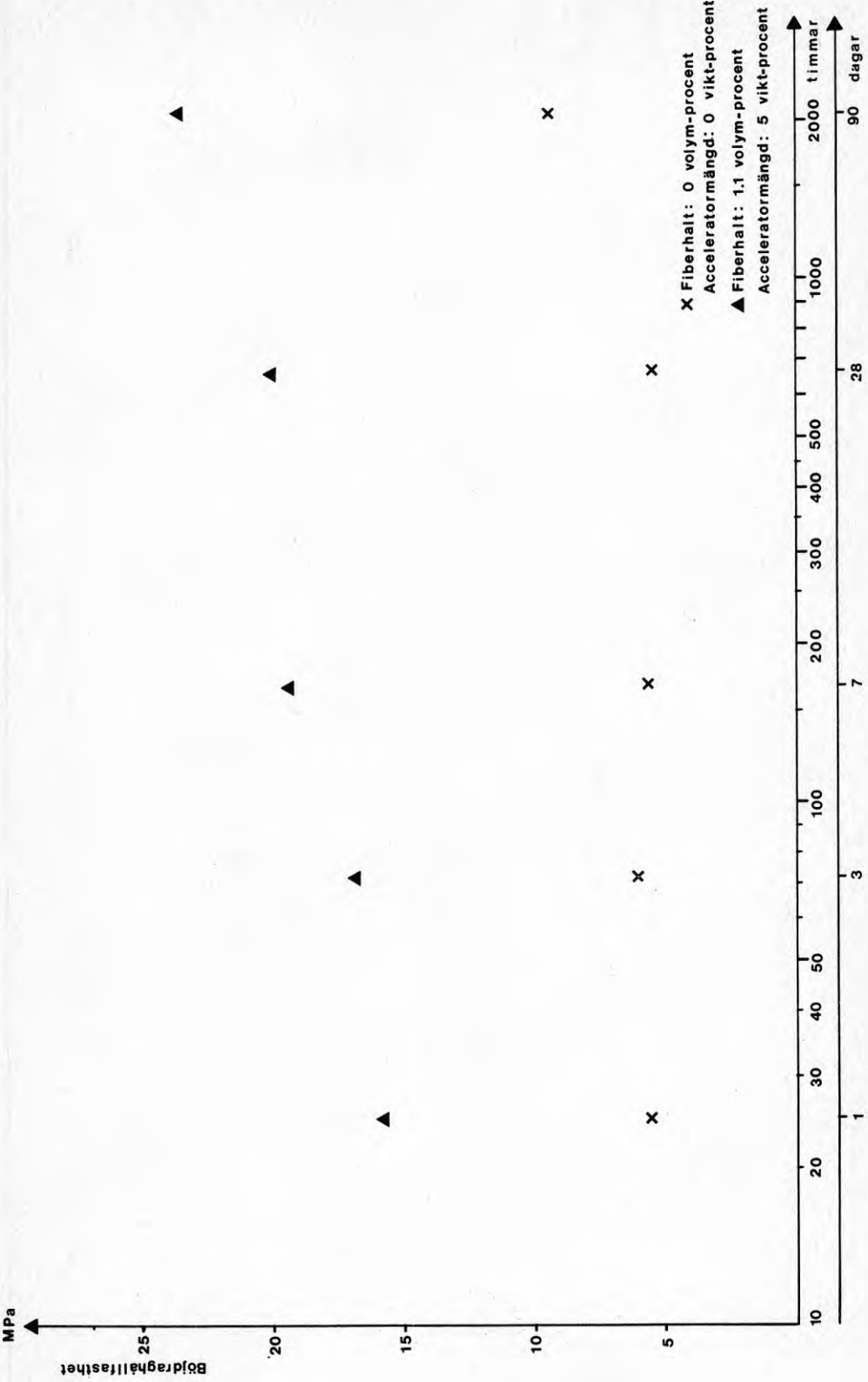


FIG. 34. Böjdraghållfasthetsutveckling.  
Relationship between flexural strength and age.

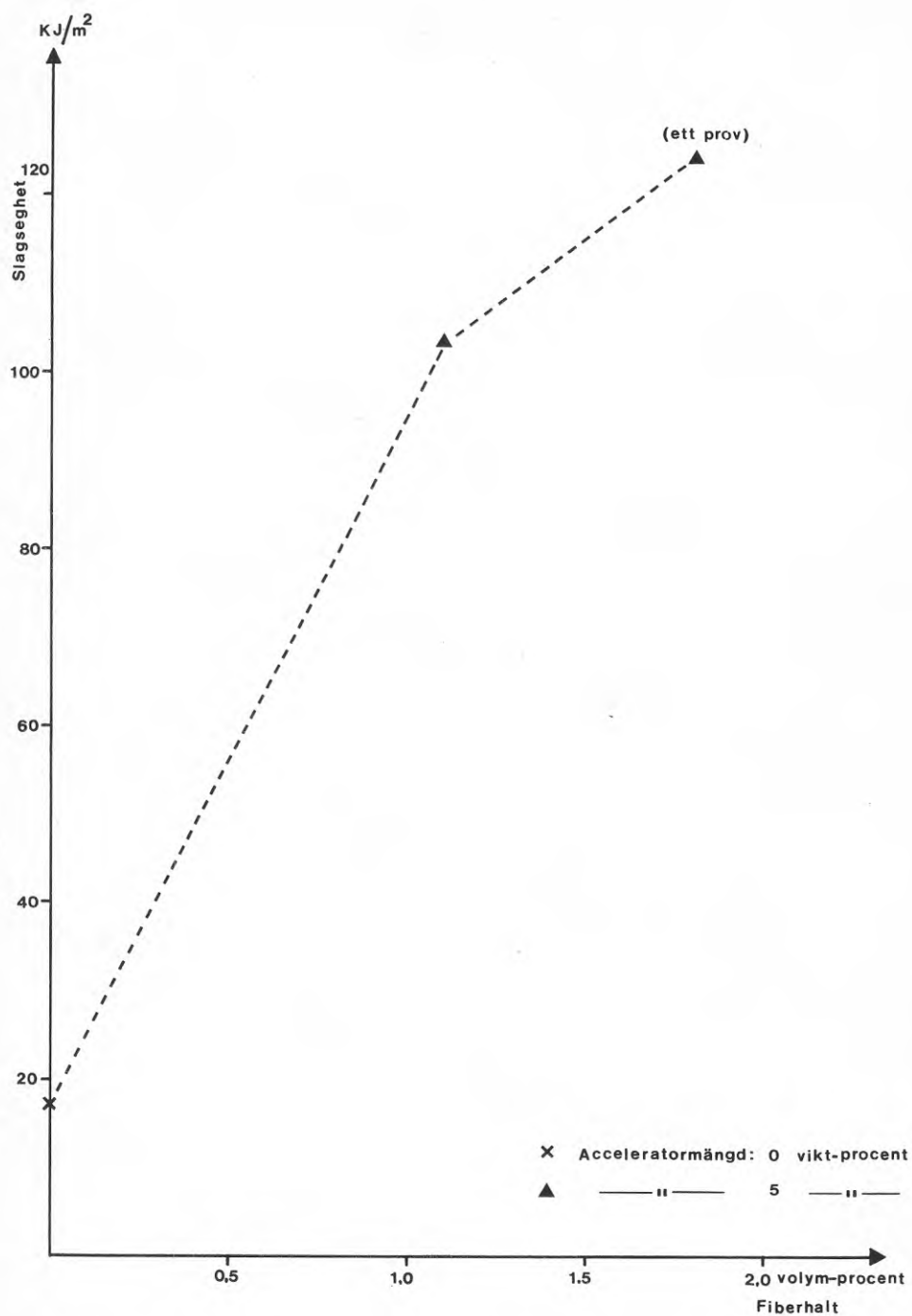


FIG. 35. Slagssegheten som funktion av fiberhalten.  
Impact strength as a function of fibre content.

TAB. 6. Sammanställning av vidhäftningsprov. Kalksten.

Bergart	Fiber- halt (vol- %)	Acc.- mängd (vikt- %)	Drag- kraft (N)	Vidhäft- nings- spänning (MPa)	Brotttyp
KALKSTEN, slip.yta	0	0	4200	0.77	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	0	0	5500	1.01	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	0	0	4650	0.86	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	0	0	2600	0.48	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	0	0	3050	0.56	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, rå yta	0	0	5300	0.97	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, rå yta	0	0	6300	1.16	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, rå yta	0	0	9500	(> 1.76)	Brott i sten
KALKSTEN, rå yta	0	0	2000	(> 0.37)	Brott i sten
KALKSTEN, rå yta	0	0	6900	(> 1.28)	Brott i betong
KALKSTEN, slip.yta	1.5	0	4600	(> 0.85)	Brott i betong
KALKSTEN, slip.yta	1.5	0	5100	0.94	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	1.5	0	4000	(> 0.74)	Brott i limfog
KALKSTEN, rå yta	1.5	0	7500	(> 1.38)	Brott i sten
KALKSTEN, rå yta	1.5	0	4300	(> 0.79)	Brott i sten
KALKSTEN, slip.yta	1.0	5	6700	1.31	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	1.0	5	8800	1.72	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, slip.yta	1.0	5	4400	0.86	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, rå yta	1.0	5	6700	1.31	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, rå yta	1.0	5	5750	1.13	Vidhäftn.brott
KALKSTEN, rå yta	1.0	5	9400	1.84	Vidhäftn.brott

TAB. 7. Sammanställning av vidhäftningsprov. Skiffer.

Bergart	Fiber- halt (vol- %)	Acc.- mängd (vikt- %)	Drag- kraft (N)	Vidhäft- nings- spänning (MPa)	Brotttyp
SKIFFER, slip.yta	0	0	8000	(> 1.47)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	0	0	8900	(> 1.64)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	0	0	2800	0.52	Vidhäftn.brott
SKIFFER, slip.yta	0	0	2850	0.53	Vidhäftn.brott
SKIFFER, slip.yta	0	0	3850	0.71	Vidhäftn.brott
SKIFFER, rå yta	0	0	2500	(> 0.46)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	0	0	3900	(> 0.72)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	0	0	5200	(> 0.96)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	0	0	4050	0.75	Vidhäftn.brott
SKIFFER, rå yta	0	0	5300	0.98	Vidhäftn.brott
SKIFFER, rå yta	0	0	5250	0.97	Vidhäftn.brott
SKIFFER, slip.yta	1.5	0	7500	(> 1.38)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	1.5	0	5100	(> 0.94)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	1.5	0	6000	(> 1.10)	Brott i limfog
SKIFFER, rå yta	1.5	0	2000	(> 0.37)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	1.5	0	2500	(> 0.50)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	1.5	0	4300	(> 0.79)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	1.0	5	7650	(> 1.50)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	1.0	5	7250	(> 1.42)	Brott i sten
SKIFFER, slip.yta	1.0	5	9200	(> 1.80)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	1.0	5	6500	(> 1.28)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	1.0	5	6400	(> 1.26)	Brott i sten
SKIFFER, rå yta	1.0	5	6300	(> 1.24)	Brott i sten



TAB. 8. Sammanställning av vidhäftningsprov. Granit.

Bergart	Fiber- halt (vol- %)	Acc.- mängd (vikt- %)	Drag- kraft (N)	Vidhäft- nings- spänning (MPa)	Brottyp
GRANIT, slipad yta	0	0	7900	1.45	Vidhäftn.brott
GRANIT, slipad yta	0	0	8200	1.50	Vidhäftn.brott
GRANIT, slipad yta	0	0	4250	0.79	Vidhäftn.brott
GRANIT, slipad yta	0	0	4100	0.76	Vidhäftn.brott
GRANIT, slipad yta	0	0	4150	0.77	Vidhäftn.brott
GRANIT, rå yta	0	0	5000	(> 0.92)	Brott i limfog
GRANIT, rå yta	0	0	6810	1.25	Vidhäftn.brott
GRANIT, rå yta	0	0	4950	0.91	Vidhäftn.brott
GRANIT, rå yta	0	0	6000	1.11	Vidhäftn.brott
GRANIT, rå yta	0	0	5100	(> 0.94)	50 % i betong, 50 % i sten
GRANIT, slipad yta	1,5	0	6000	(> 1.10)	Brott i limfog
GRANIT, slipad yta	1.5	0	5700	1.05	Vidhäftn.brott
GRANIT, rå yta	1.5	0	6800	(> 1.25)	Brott i limfog
GRANIT, rå yta	1.5	0	5000	1.09	Vidhäftn.brott
GRANIT, slipad yta	1.0	5	9200	(> 1.80)	Brott i betong
GRANIT, slipad yta	1.0	5	8000	(> 1.57)	Brott i betong
GRANIT, slipad yta	1.0	5	7900	(> 1.55)	Brott i betong
GRANIT, rå yta	1.0	5	6300	1.24	Vidhäftn.brott
GRANIT, rå yta	1.0	5	10500	(> 2.06)	Brott i betong
GRANIT, rå yta	1.0	5	9100	1.78	Vidhäftn.brott

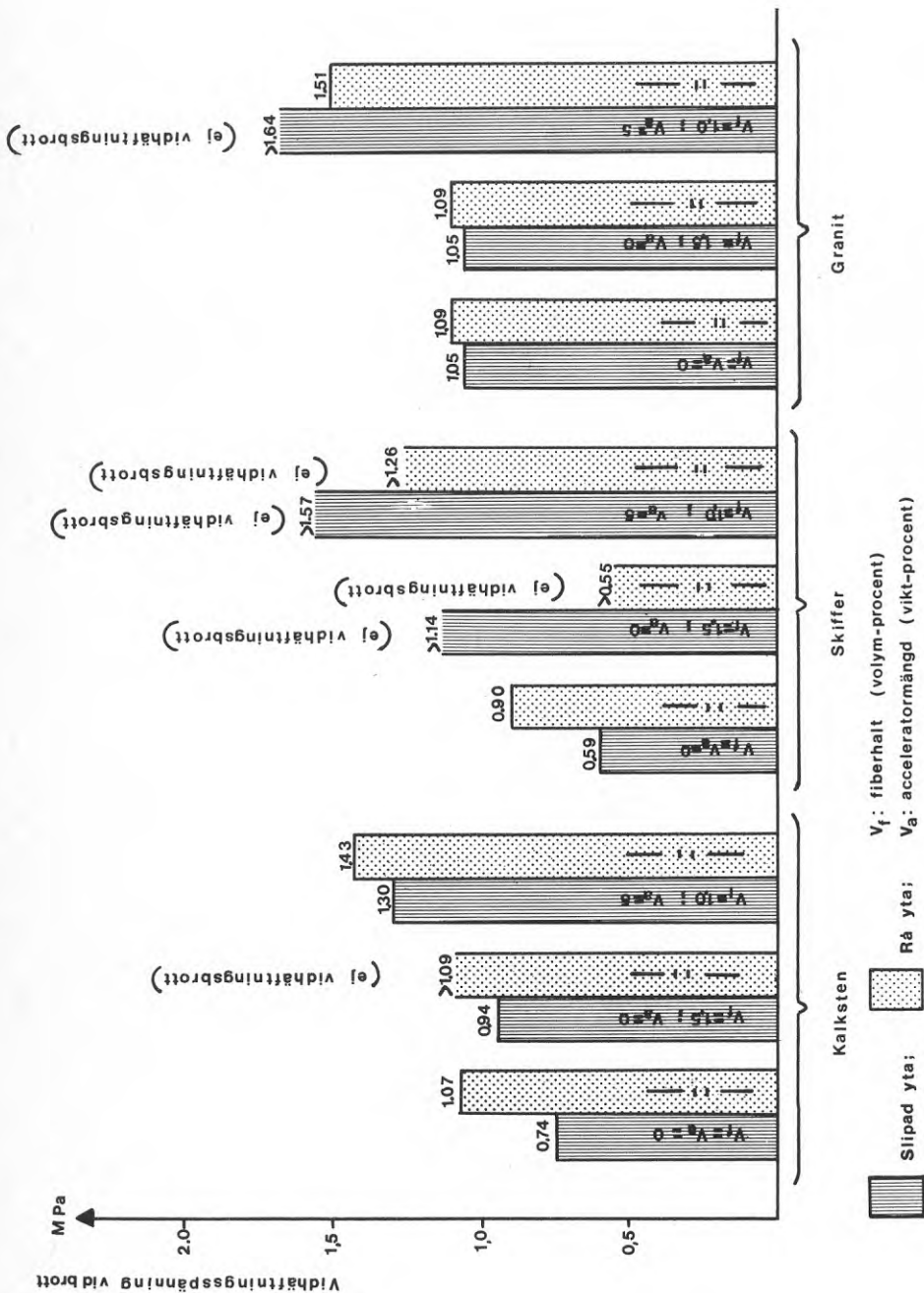


FIG. 36. Resultat från provningar mot kalksten, skiffer och granit. Bond strength against lime-stone, slate and granite.

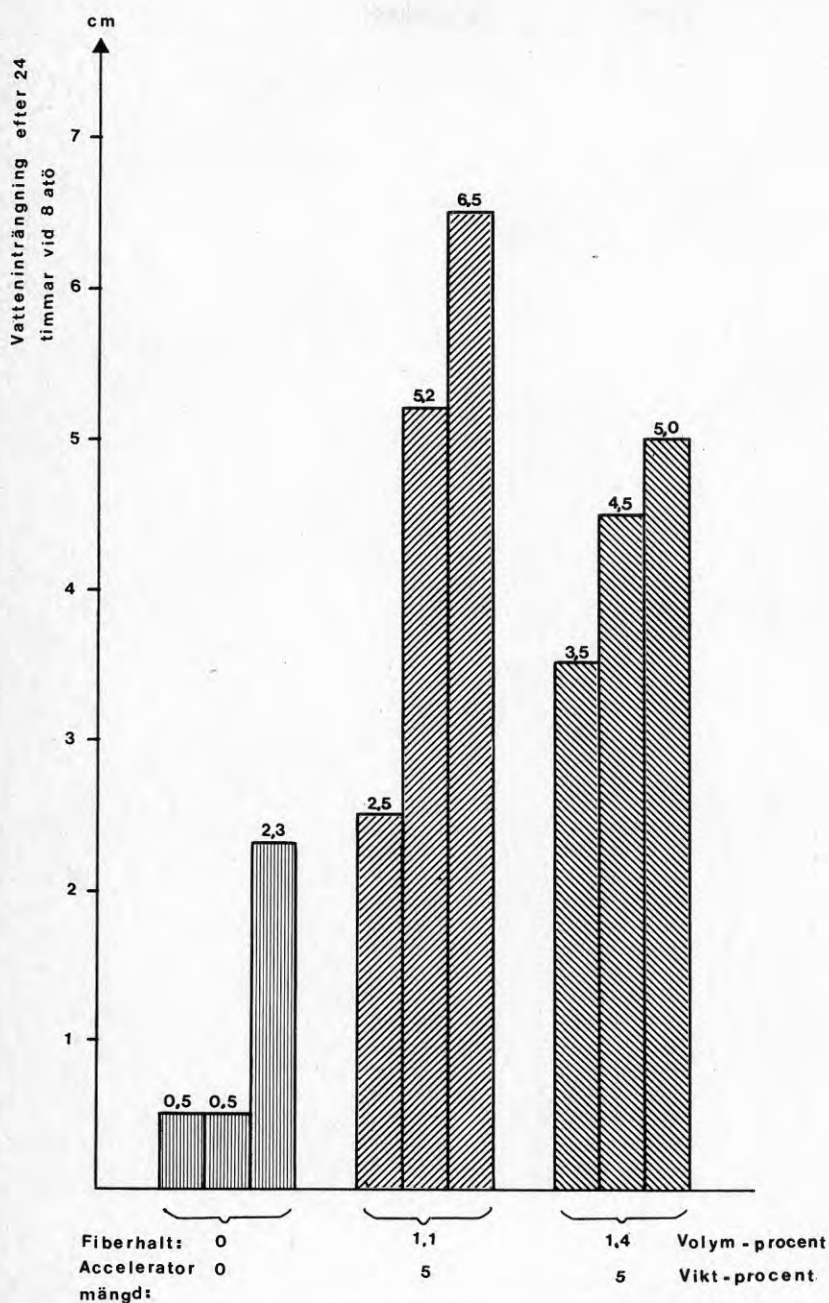


FIG. 37. Vattentäthetsprovning. Vatteninträning efter 24 timmar vid 8 atö.  
Test of waterproofness. Water penetration after 24 hours at 8 atö.

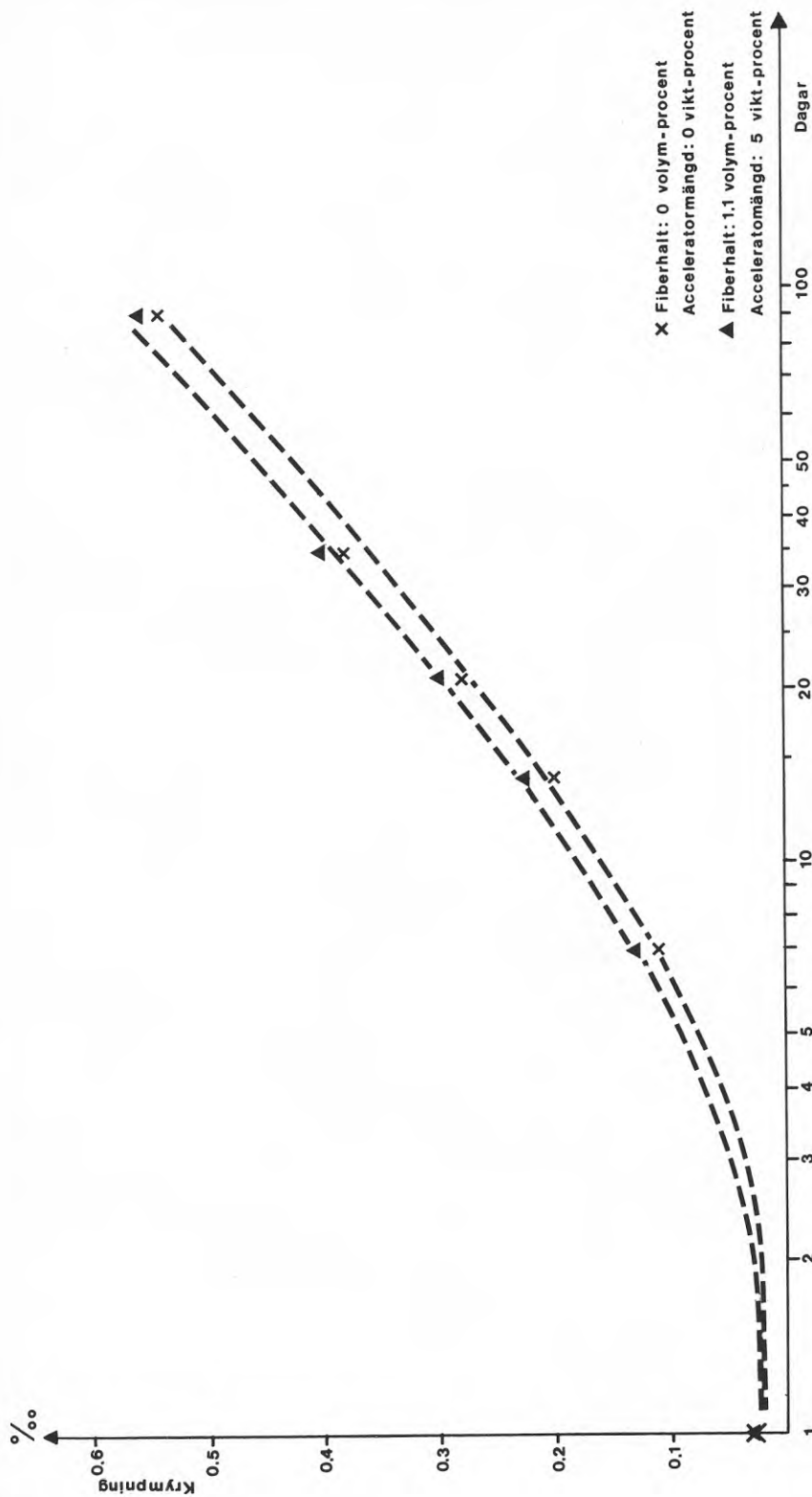


FIG 38. Oförhindrad krympning.  
Free shrinkage.

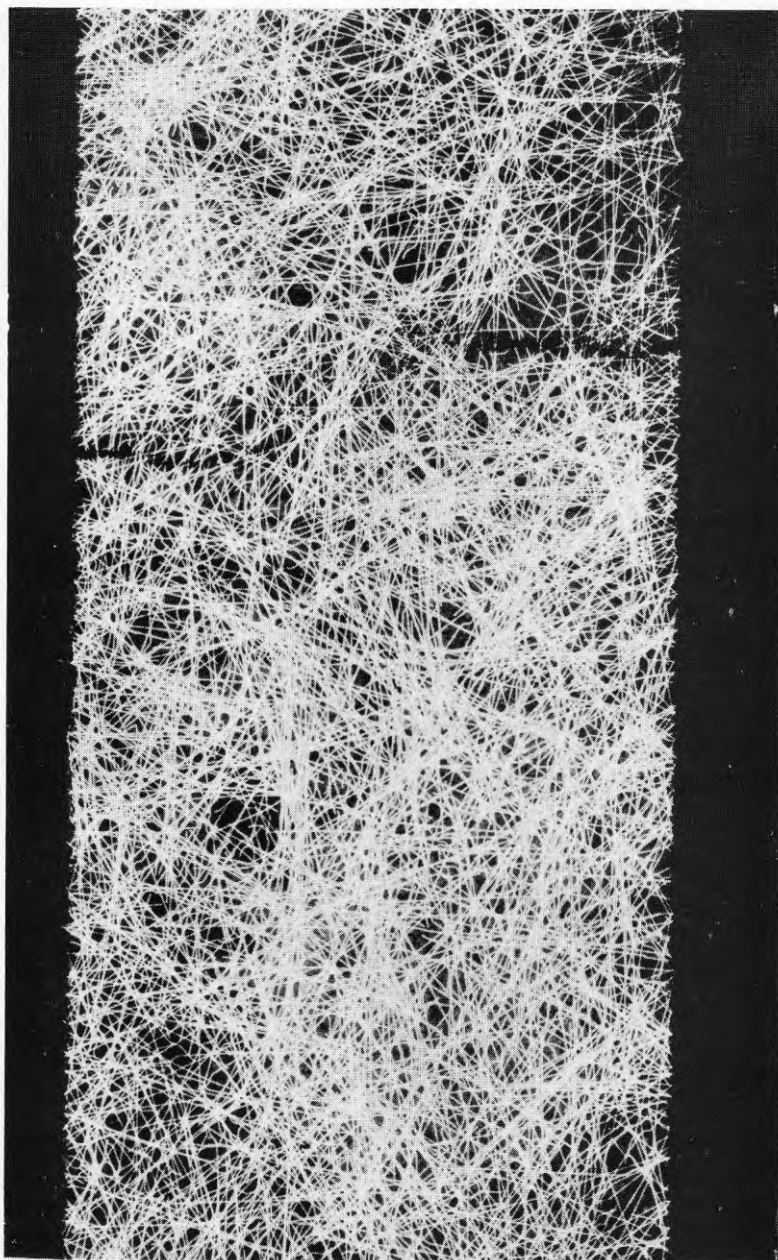


FIG. 39. Röntgenfotografi av en 25 mm stålfiberarmerad provkropp efter brott.  
X-ray photo of a 25 mm steel fibre reinforced specimen after failure.



FIG. 40. Vidhäftningsprovning. Kombinerat vidhäftningsbetongbrott.  
Test of bond strength. Failure in the contact surface and in the concrete.

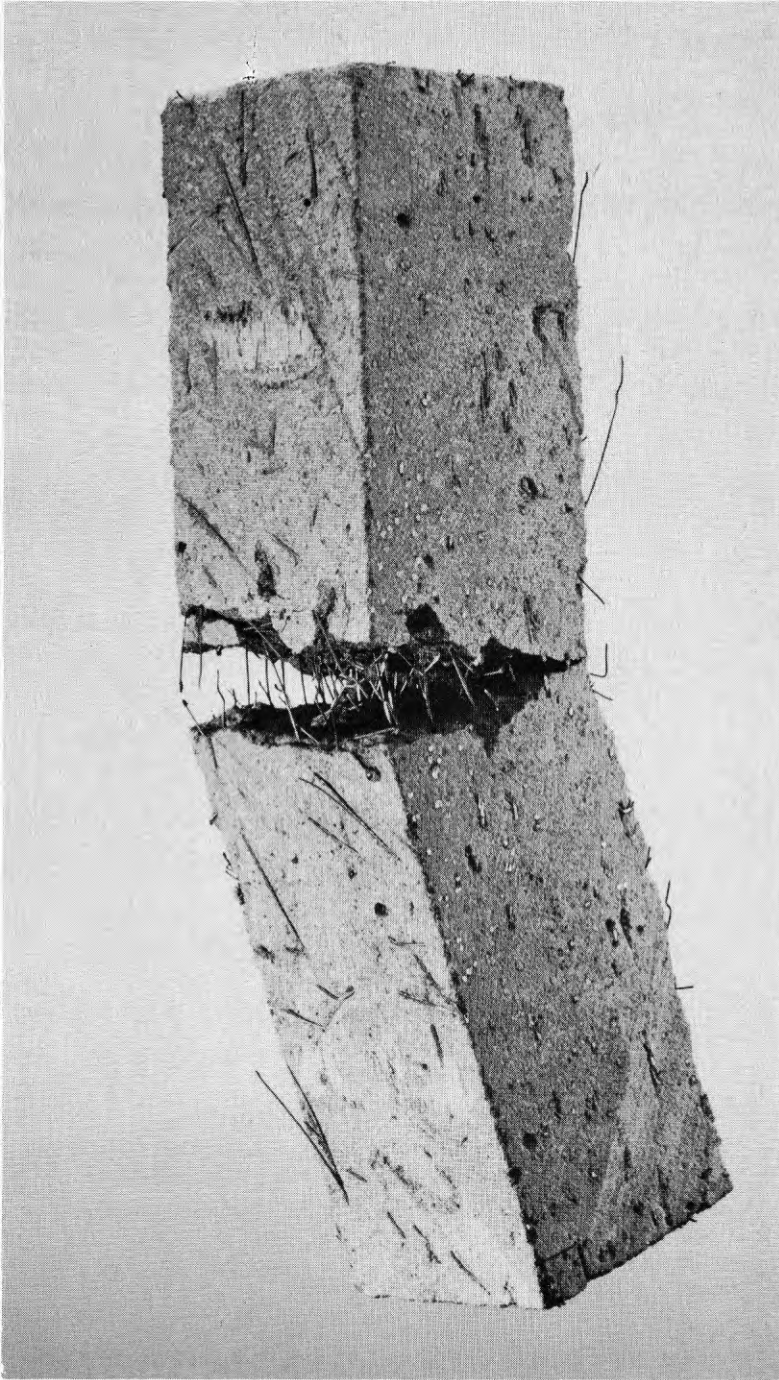


FIG. 41. Böjdragbalk efter brott.  
Flexural test specimen after failure.





Av de resultat, som erhållits, kan man dra den slutsatsen, att våtsprutning i kombination med stålfibertillsats i munstycket är en bättre produktionsmetod vad som avser fiberspill och uppnådda hållfastheter än de, som hittills praktiserats.

Direkta jämförelser med tidigare utförda provningar i Sverige och utlandet är givetvis svåra att göra, då försöksbetingelserna varierar från fall till fall. Jämfört med de resultat, som finns redovisade i Sverige (Claes Alberts, Norforsk Fiberbetong, delrapport II. Bertil Sandell, Cement- och Betonginstitutets informationsdag 1977. Börje Westerdahl, examensarbete CTH 1978) är emellertid undersökningsresultaten så markant mycket bättre att man, trots variationer i försöksbetingelserna, vågar dra en sådan slutsats. Exempelvis har böjdraghållfastheten vid 28 dygn i stort sett fördubbats jämfört med resultaten i ovan nämnda undersökningar. Detta gäller även korttidshållfastheten. Vid exempelvis 1 dygn är medelvärdet så högt som 15,8 MPa (vid  $v \times \frac{1}{d} = 110$  och med 5 % accelerator-tillsats).

Den primära orsaken är, att den förhållandevis blöta massan, innehållande lite luft, fångar upp fibrerna bättre i sprutskedet och omsluter dem bättre i den färdiga produkten.

De höga hållfastheter som erhållits är emellertid inte bara att hänföra till våtsprutningsmetoden som sådan. Sammansättningen på den använda matrisen, hög cementshalt och relativt liten kornstorlek är bättre anpassad för fiberbetong än tidigare använda, men passar också våtsprutningsmetoden bättre än torr-sprutningsmetoden. Som framgår av fig 39, som är en röntgenbild av en fiberarmerad provkropp, har vid böjdragprovning många fibrer dragits av, vilket är ovanligt. Normalt är vidhäftningen mellan fibrer och matris sådan, att fibern dras ut ur matrisen.

Anmärkningsvärt är, att en acceleratortillsats av 5 % på cementvikten i alla undersökta avseenden påverkar fiberbetongen positivt, under det att den oarmerade betong, som väntat, uppvisar sämre värden med acceleratortillsats.

Undersökningen bekräftar tidigare känt faktum, att ett högt värde på  $v \times \frac{1}{d}$  (volym fiber  $\times$  fiberlängd/fiberdiameter) ger bra dragmekaniska egenskaper.

I en av provplattorna har fibermängden uppgått till 1,8 vol-% ( $v \times \frac{1}{d} = 180$ ). Medelvärdet för böjdraghållfastheten blev på detta prov så högt som 30.4 MPa. I praktiken torde en så stor fibermängd inte vara lämplig, då kompakteringssvårigheter uppstår framförallt vid högt värde på  $\frac{1}{d}$ .

Slagsegheten vid 1.4 % fibrer är 5,5 ggr högre än utan fibertillsats. Jämfört med tidigare utförda slagseghetsprovningar på prismor utförda enligt torrsprutningsmetoden, är värdet ca 2 ggr högre vid de våtsprutade proverna.

Beträffande vidhäftning mot berg visar resultaten stor spridning till stor del beroende på variationer i underlagets mineralogiska sammansättning och struktur. På underlag av kalksten visar fiberbetongen bättre resultat, i övriga fall är resultaten mera svårbedömda, då brott ofta uppstått i berg eller betong. Sannolikt påverkar inte fiberinblandningen vidhäftningen. En något mindre krympning hos fiberbetong kan motverka skjuvspänningar i gränsskiktet mellan berg och betong, vilket eventuellt kan inverka positivt.

Tryckhållfastheten vinkelrät fiberriktningen är något bättre för fiberbetong än för oarmerad betong, vilket beror på, att de tvärsänningar, som uppstår vid provning på kuber, upptas av fiberarmeringen.

Skillnaden i krympning mellan provkroppar med och utan fibrer är liten. Detta beror sannolikt på att mängden fibermaterial är låg och att fiberns styvhet endast har mycket måttlig inverkan på den fria krympningen.

Vatteninträngningen har visat sig vara större vid fiberarmerade provkroppar, vilket sannolikt beror på sammanhängande diskontinuiteter längs fiberytorerna. I samtliga fall har dock proverna gott och väl varit vattentäta enligt KB 5.

Beträffande den färska betongmassans sammanhållning visar undersökningen en klart positiv effekt av fibertillsatsen, däremot förbättras inte vidhäftningen mellan färsk betongmassa och de underlag, som använts vid provsprutningarna. Fiberns gynnsamma effekt på sammanhållningen gör, att acceleratoren kan reduceras eller uteslutas. Mängden fiberspill varierar mycket beroende på sprutriktning,

underlagets beskaffenhet, mängd drivluft etc och kan variera mellan 5 och 20 %.

Beträffande dammätning, har tillfredsställande försöksbetingelser inte kunnat åstadkommas. Den del av undersökningen senareläggs och kommer att ingå i BFR-projektet "Våtsprutad fiberarmerad puts".

De erhållna resultaten pekar på, att stålfiberarmerad våtsprutad betong tycks vara ett bättre alternativ än torrsprutad dito. De bästa hållfasthetsresultaten har erhållits med en tillsats av 5 % accelerator. Detta sett såväl ur teknisk som ekonomisk synvinkel. Huruvida acceleratortillsatsen har någon inverkan på personalen ur yrkeshygienisk synvinkel, bör närmare utredas. Torrmetoden har emellertid egenskaper, som gör att den i vissa fall ändå är motiverad. Betongmassan kan exempelvis transporteras högre och längre med torrmetoden. Våtmetoden kräver en mycket väl sammansatt pumpbar massa, vilket med vissa ballastmaterial kan vara svår att erhålla. Maskinparken består idag till ca 95 % av torrsprutningsaggregat, vilket man också måste ta hänsyn till.

Viktigt är naturligtvis att få genomfört ett eller flera större arbeten enligt våtsprutningsmetoden för att få de produktionstekniska problemen belysta på ett mera realistiskt sätt.

Några sådana arbeten skulle också ge svar på vilka hållfasthetskrav, provningsnormer m m man bör uppställa för kommande arbeten.

Mot bakgrund till de utförda provningarna borde man tills vidare i varje fall kunna räkna med en böjdraghållfasthet av 10 MPa. Beträffande tryckhållfasthet och vidhäftning mot olika underlag, kan lämpligen de värden, som för närvarande tillämpas, gälla även för våtsprutad fiberbetong.

## LITTERATURFÖRTECKNING

ACI, 1974. Fiber reinforced concrete. American concrete institute. Publ. SP-44, 554 p. Detroit.

Nordforsk, 1977. Fiberbetong. Nordforsks projektkommitté för FRC-material, delrapporter och huvudrapport. Stockholm.

RILEM, 1975. Fibre reinforced cement and concrete. RILEM symposium 1975. The construction Press Ltd, Hornby, Lancaster.

Sandell, Bertil, 1977. Stålfiberarmerad sprutbetong. Cement- och betonginstitutet, sammanfattning Informationsdagen 1977, p. 50 - 75. Stockholm.

Sandell, Bertil, 1977. Särtryck ur Bergsprängningskommitténs protokoll från diskussionsmöte i Stockholm den 17 februari 1977. Stockholm.

Westerdahl, Börje, 1978. Stålfiberarmerad sprutbetong, examensarbete 78:1. Chalmers Tekniska Högskola, avd. för byggnadsmaterial. Göteborg.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771183-2 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Betongsprutning AB  
BESAB, Göteborg**

**R87:1978**

**ISBN 91-540-2924-4**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600787**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner o material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm**

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**