

**Rapport**

**R1:1982**

# **Sprutad stålfiberarmerad puts**

**Bertil Sandell**  
**Vitold Saretok**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	82-0001
Plac	<i>Ser</i>

*V.  
S.S.*

R1:82

SPRUTAD STÄLFIBERARMERAD PUTS

Bertil Sandell  
Vitold Saretok

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771202-1  
från Statens råd för byggnadsforskning till Betong-  
sprutnings AB, BESAB, Göteborg.

031/520900

Joe Andersson

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

R1:82

ISBN 91-540-3640-2  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.

LiberTryck Stockholm 1981 136846

## INNEHÅLL

1.	BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE .....	5
2.	PUTS, ALLMÄNT .....	7
3.	ARMERING AV PUTS .....	9
3.1	Konventionell armering .....	9
3.2	Fiberarmering .....	10
3.2.1	Olika fibermaterial .....	11
4.	PRODUKTIONSMETODER .....	14
5.	PROVNINGARNAS OMFATTNING .....	15
6.	FÖRSÖKSBETINGELSER OCH FÖRSÖK .....	18
6.1	Material och sammansättning .....	18
6.1.1	Bruk .....	18
6.2	Utrustning och tillverkning .....	19
6.3	Förförsök	
7.	PROVNINGSRESULTAT .....	23
7.1	Lufthalt, tryck- o. böjdraghållfasthet ....	23
7.2	Densitet och fiberhalt .....	25
7.3	Böjdraghållfasthet och mittpunkts- nedböjning .....	26
7.4	Tvärdraghållfasthet .....	32
7.5	Vattenabsorption .....	33
7.6	Vatteninträning .....	34
7.7	Fuktdiffusion .....	38
7.8	Fuktrörelser .....	40
7.9	Ensidig fuktning .....	41
7.10	Temperaturrörelser .....	42
7.11	Slagprov .....	42
7.12	Fallprov med kula .....	44
7.12.1	Jämförelse mellan oarmerade och fiber- armerade provkroppar .....	44
7.12.2	Jämförelse mellan nätarmerade och fiberarmerade provkroppar .....	46
7.13	Frostresistens .....	53
7.14	Korrosionsbeteende .....	55
7.14.1	Provplattor utan ytskikt .....	55

7.14.2	Provplattor med ytskikt .....	57
7.15	Förhindrad krympning vid snabbt insättande uttorkning .....	58
8.	FÄSTANORDNINGAR .....	60
8.1	Fästanordningens förankring i fiberputsen .....	60
8.2	Fästanordningens förankring i träregel .....	63
9.	UTFÖRDA ARBETEN .....	64
10.	SAMMANFATTNING .....	67
	LITTERATUR .....	70

## 1 BAKGRUND, FRÅGESTÄLLNING OCH SYFTE

Byggnadsuppvärmning svarar för cirka hälften av landets energiförbrukning och i samband med omfattande åtgärder på energisparområdet har tilläggsisolering av fastigheter fått ökad aktualitet och förväntas få stor omfattning.

Såväl tekniska som ekonomiska skäl talar för att sådan isolering i huvudsak kommer att utföras på fastigheternas utsidor.

Tilläggsisolering anses för närvarande vara ekonomiskt motiverad i samband med fasadrenoveringsarbeten på byggnader, som tidigare har mindre god värmeisolering.

Den totala ytan av putsade fasader uppskattas till 80 miljoner m<sup>2</sup>. Cirka 16 miljoner m<sup>2</sup> härav anses vara i behov av reparation.

I de allra flesta fall önskar man ingen förändring i fasadernas utseende, varför utförandet vanligen består av ett ytskikt av puts applicerat på ett underlag av ofta svaga isoleringsmaterial.

Putsningsarbeten på svaga, eftergivliga underlag får sålunda större omfattning i framtiden. Hur stor är naturligtvis beroende på kostnadsutvecklingen inom energiområdet, men också på omfattningen av statliga stödåtgärder.

Puts, som inte bygger på vidhäftning mot fasta underlag, utsätts för helt andra belastningar än traditionell puts. Sådana putsskikt måste undantagslöst armeras, varvid armeringen skall ge putsskiktet ökad draghållfasthet, vara sprickfördelande, överföra laster till förankringsorgan. Armeringen skall om möjligt vara lätt att anbringa. Fiberarmering synes härvid vara ett intressant alternativ till konventionell nätarmering.

I samband med forsknings- och utvecklingsarbete inom området stålfiberarmerad sprutbetong, har värdefulla erfarenheter gjorts beträffande cementbaserade stålfiberkompositers egenskaper såsom inverkan av fibermängd, fiberorientering, fibergeometri etc. De produktionsmetoder, som utvecklats för sprutning av stålfiberarmerad betong, är också tillämpliga vid sprutning av puts, varför en del grundkunskaper redan föreligger.

Någon egenskapsundersökning av stålfiberarmerad puts har emellertid ej utförts tidigare vare sig inom eller utom landet. En viss ledning har emellertid kunnat fås från ovan nämnda undersökningar beträffande stålfiberarmerad sprutbetong, vilket inneburit att fiberkvalitet, fibergeometri och produktionsmetod optimerats.

Undersökningen syftar till att klarlägga stålfi-berarmerad puts allmänna hållfasthetsegenskaper vid användande av två bindemedelstyper - kalk/ce-ment och murcement - samt att studera vissa fysikaliska egenskaper såsom krympning, vattenabsorption, vatteninträngning, fuktrörelser, korrosionsbeteende m m. Omfattning är närmare redovisad i tabell 5.2.

Det hade naturligtvis varit önskvärt med en mera omfattande undersökning, där exempelvis matrisens egenskaper kunde ha varierats i större utsträckning, inte minst med tanke på de olika bindemedel och bindemedelskombinationer, som idag förekommer på marknaden. Detta har emellertid inte kunnat rymmas inom tillgängliga ekonomiska ramar.

Projektet har stötts med anslag från Statens råd för byggnadsforskning.

Tillverkning av provkroppar och infästningsanordningar, sågning och lagring har utförts på BESAB i Göteborg. Provningarna har, med undantag vad som redovisats i kapitel 7.12.2, utförts på Statens Provninganstalt i Göteborg under ledning av diplomingenjör Vitold Saretok. Medarbetare på BESAB har varit civilingenjör Thomas Ericsson och civilingenjör Börje Westerdahl. Provningarna enligt kapitel 7.12.2 har letts av tekn.dr. Jonas Holmgren.

## 2 PUTS, ALLMÄNT

Kalkputs introducerades i Sverige i början på 1100-talet i samband med kyrkbyggen. Underlaget var natursten. Under 1600-talet kom tegel att användas i större utsträckning och puts fick i samband med detta ökad användning. Putsen användes dels för att täcka skavanker i murverket, dels för att åstadkomma släta jämna ytor, som på den tiden stilmässigt blev på modet. Under 1800-talet dominerade putsen som ytskikt på stenhus. I slutet på århundradet fram till början av 1900-talet användes puts även för uppbyggnad av listverk och kvadrar som imitation av huggen sten.

Även trähus försågs från mitten av 1800-talet med puts. Skälet var troligtvis en önskan att ge byggnaden ett bättre brandskydd, men sannolikt fanns också en vilja att efterlikna samtida stenhus. Under större delen av 1900-talet har putsen utförts som slätputs.

Under 1600 - 1700-talen gjordes puts mycket kalkrik. I slutet av 1700-talet och under 1800-talet användes inblandning av lera. Hydrauliskt kalkbruk förekom.

Med början på 1930-talet ägde betydelsefulla förändringar i putsmaterialets sammansättning rum. Cement tillsattes kalkbruket. I början användes cement tillsammans med kalk som bindemedel i kalkcementbruk (KC-bruk), samtidigt som man ägnade större uppmärksamhet åt lämplig ballast och bruksammansättning. Vid kontroll av på arbetsplatser blandade bruk av kalk, cement och sand upptäckte man att mycket stora felkällor förelåg, som ledde till skador. Som motåtgärd infördes ett nytt bindemedel murcement samt därefter färdiga blandningar av kalk och cement - kalkcement. Bruks-tillverkningen industrialiserades och vägning av beståndsdelarna infördes på murbruksfabrikerna. Det sista utvecklingssteget, som togs under innevarande decennium, innebar en kraftigt ökad användning av färdigblandade torrbruk. För ädelputser hade denna metod då använts i cirka 40 år.

Produktionsmetoderna mekaniserades och förbättrades. Effektiva applicerings- och blandningsutrustningar såg dagens ljus. Med inspiration från utlandet kom puts i kombination med armering att användas till fribärande konstruktioner. Rena "putshus" kom till utförande.

Genom god beständighet, lågt pris och stora möjligheter till variation i form och färg, är puts ett mycket användbart material. Användningsområdena ökar successivt. Nya bindemedel och bindemedelskombinationer och nya ballastmaterial innebär, att putsen kan ges en mängd olika egenskaper.



Förutom att hållfastheten kan varieras, framställs en hel mängd specialputser såsom värmeisolerande, brandskyddande, strålningskyddande och ljudabsorberande putser.

Som synes, har kalk/cementbaserade putser många användningsområden. En viss begränsning utgör dock materialets låga töjbarhet (sprödhet) samt dess krympning, som överskrider töjbarheten. Dessa nackdelar motverkas genom inläggning av armering, vanligtvis någon typ av stålnät.

### 3 ARMERING AV PUTS

I de flesta fall anbringas puts på fasta underlag med sådan karaktär, att god vidhäftning mellan puts och underlag erhålls. Någon armering av putsskiktet är i sådana fall inte nödvändig, då spänningar orsakade av egen tyngd, krympning och temperaturvariation m m tas upp genom vidhäftning mot underlaget. Underlaget tjänstgör som en typ av armering. Vid varierande egenskaper hos underlaget, exempelvis blandat sten och tegel, kan en armering av främst skarvarna vara motiverad på grund av spänningskoncentrationer i samband med temperatur- och fuktrörelser.

Många underlag är direkt olämpliga som putsbärande. Ytstrukturen kan exempelvis vara sådan, att vidhäftning överhuvudtaget inte kan erhållas. Stommen kan ha ett rörelsemönster, som inte överensstämmer med putsens. I sådana fall måste putsskiktet betraktas som en separat konstruktion och bör då givetvis armeras. Samma gäller puts på extremt svaga och eftergivliga underlag, t ex mineralull. Här kommer naturligtvis även andra påkänningar in i bilden, exempelvis tryck och sug genom vindkraft och mekanisk åverkan, som ställer särskilt stora krav på armeringseffekt och puts-kvalitet.

#### 3.1 Konventionell armering

Tekniken att armera spröda produkter är inte ny och exempel från Mellersta Östern visar, att primitiva former av armering med halm och hår förekom redan för 10.000 år sedan - en tidig typ av fiberarmering.

Fristående armerade putskonstruktioner utvecklades i slutet på 1800-talet av fransmannen J Monier och tysken Rabitz. Vid Rabitzputs används ett gipsbruk, som appliceras på ett flätat ståltrådsnät med 20 mm maskvidd. Vid fristående konstruktioner monteras nätet vanligen på en rundjärnstomme. Tidigare tillsattes bruket nöthår, vilket förbättrade kvaliteten väsentligt. Rabitzkonstruktioner används på grund av sin fuktkänslighet enbart till inomhuskonstruktioner, t ex undertak, övertäckning av rörslitsar, tunna skiljeväggar etc.

Monierputs påminner beträffande armeringen om Rabitzputs. Bruket är emellertid cement- eller kalkcementbaserat. Vanligtvis används ganska finmaskiga nät med maskvidder mellan 10 och 15 mm. Den bärande stommen består av rund- eller profiljärn, som också kan ingå som armeringselement.

En enkel form av armering utgörs av ett kyckling- eller hönsnät. Denna typ av nät är på grund av sin ringa styvhet emellertid svår att distansera från underlaget. På trähus används ofta den s k Idealattan, som består av kycklingnät liggande utanpå en vassmatta och ihopsydd med denna. Vassrören utgör på detta sätt utmärkta distansorgan för nätarmeringen.

Utomlands används numera i stor utsträckning sträckmetall som armering. Sträckmetall framställs genom att tunn stålplåt slitsas upp och drages isär. Sträckmetall förekommer i en mängd olika former och är ofta kantförstärkt med veckade oslitsade kanter. De ovan nämnda nättyperna är relativt lätt deformerbara, varför de inte kan förhindra sprickbildning i putsen.

Det i Sverige vanligaste armeringsnätet är den s k Saremattan, som består av ett armeringsnät med till detta svetsat krent putsnät. Armeringsnätet har en tråddiameter  $\varnothing$  2,5 och ett c/c-avstånd 100/200. Putsnätet, som är fastsytt på armeringsstommen, utgörs av ett förzinkat kycklingnät. Armeringsnätet är oförzinkat. Motsvarande typ av armering kan naturligtvis tillverkas med ett svetsat armeringsnät på vilket ett förzinkat putsnät sys fast.

All armering i tunna putsskikt kräver noggrann distansering med tanke dels på armeringens funktion, dels på korrosionsrisken. Armeringen bör ligga centralt och ha tillräckliga täckskikt. Om armeringen inte distanseras på ett tillfredsställande sätt från underlaget, finns dessutom risk för dålig utfyllnad bakom denna. Härigenom uppstår abrupta variationer i putsskiktets tjocklek, vilket vanligtvis leder till sprickbildning och sämre korrosionsskydd av armeringen.

I princip vill man ha sin armering placerad centralt i putsskiktet. På svaga, eftergivliga underlag utsätts putsskiktet för sådana laster, att dragpåckningar uppkommer i hela tvärsnittet. Idealet vore sålunda en dubbelarmering. Detta är dock av arbetstekniska skäl närmast omöjligt att utföra.

### 3.2 Fiberarmering

En annan typ av armering är korta trådar, som blandas in i putsmassan, s k fiberarmering. Önskemålet om ett i dragmekaniskt hänseende homogent material, svårigheterna med att distansera konventionell armering samt förhållandet att fibern går att blanda in i putsmassan, vilket innebär en rationaliseringsvinst, gör fiberarmeringen intressant i fristående putsskikt på svaga underlag.

### 3.2.1 Olika fibermaterial

Som framgår av tidigare avsnitt, är tekniken att armera spröda material inte någon nyhet. Välkända exempel är asbestarmerad cement och nöthårsarmerad gips. På senare tid har fiberarmerade, cementbaserade produkter rönt ett större intresse och olika fibertyper har härvid undersökts. De viktigaste fibrerna i detta sammanhang är asbest, cellulosa, glas, plast och stål.

Trots många intressanta egenskaper har de flesta av de nämnda fibertyperna nackdelar i ett eller annat avseende. De flesta av dem är mindre lämpliga som armeringsmaterial i utvändigt puts baserad på cement, murcement eller bindemedelskombinationen cement/kalk.

Kortfattat är nackdelarna följande:

Asbestfibrerna kan av yrkeshygieniska skäl inte komma i fråga.

Cellulosafibrernas fuktrörelser avviker väsentligt från matrisens, vilken kan förstöras av cellulosafibrernas sammandragning och expansion i samband med fuktvariationer. Risk för angrepp av mikroorganismer på cellulosafibern kan inte uteslutas.

Glasfibern framställs i flera olika kvaliteter. Motståndsförmågan mot alkaliangrepp varierar. Stora ansträngningar har gjorts för att framställa alkaliresistenta fibrer, men tillgängliga kvaliteter har ännu inte tillfredsställande egenskaper. Detta är särskilt accentuerat i fuktig miljö. Glasfiberns styrka och seghet avtar successivt. Om nedbrytningen avstannar på en acceptabel nivå är ännu inte utrett, men troligtvis är detta inte fallet och glasfiberarmering kan därför inte rekommenderas i fuktiga miljöer eller i konstruktioner med bärande funktion.

Plastfibrer förekommer i många olika former. De intressantaste, i kombination med cementbundna matriser, är polyamid- (nylon) och polypropylenfibrer. Av kostnadsskäl är nylonfibern mindre aktuell. Plastfibrernas ytor är vanligtvis glatta och avvisande mot cementpastan. Polypropylenfibern har dessutom vid dragbelastning en tendens till sammandragning (högt Poissonstal). Detta innebär dålig förankring i matrisen. Någon direkt förbättring av drag- eller böjdraghållfastheten fås inte vid plastfiberarmering, däremot påverkas slagsegheten positivt. Beständigheten kan ifrågasättas.

Stålfibern har, bortsett från inblandningssvårigheter, inte några direkta nackdelar och är därför det material, som idag huvudsakligast används till fiberarmering av betong.

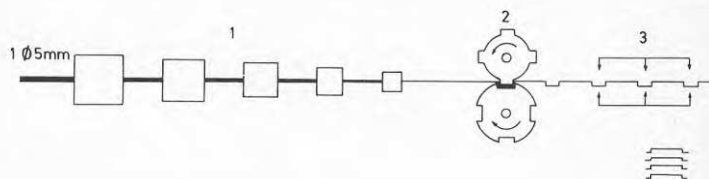
Kombinationerna stål/betong och stål/puts har använts under lång tid och omfattande erfarenheter finns beträffande materialens samverkan såväl hållfasthetsmässigt som i korrosionshänseende. Stålfibern har i mindre omfattning använts som armering i betong sedan början på 1960-talet. På senare år har forsknings- och utvecklingsarbetet fört tekniken framåt och stålfiberarmerade kompositer får allt större användning. Sålunda används stålfiberarmerad sprutbetong till bergförstärkning, skalkonstruktioner, framställning av tunna betongelement, reparation av skadad betong etc.

På marknaden finns idag en mängd olika typer av fibrer med varierande draghållfasthet och geometri.

Stålets draghållfasthet är som bekant beroende på framställningsprocessen. Det finns mjukt stål med en draghållfasthet på  $400 \text{ MN/m}^2$  och dragen tråd med hållfasthet upp till  $3.000 \text{ MN/m}^2$ . Brotttöjningen varierar mellan 25 och 2 %.

Vid fiberframställning för armeringsändamål kan man urskilja tre i princip olika framställningsmetoder; dragen tråd, stansade eller klippta fibrelement och fibrer framställda enligt den så kallade Meltexmetoden.

Dragen tråd framställs på känt sätt genom att valstråd kalldrages till önskad dimension. För att erhålla kläna dimensioner, måste dragningen utföras etappvis. Kläna dimensioner blir sålunda dyrare än grövre. Fiberdiametern varierar mellan 0,25 och 0,50 mm. Draghållfastheten på denna typ av fibrer ligger vanligtvis omkring  $1.200 \text{ MN/m}^2$ . Utseendet på fibrerna kan variera. De kan vara försedda med ändförankringar, vara vågformade eller profilerade. Figur 3.1 visar principen för tillverkning av ändhakade fibrer.

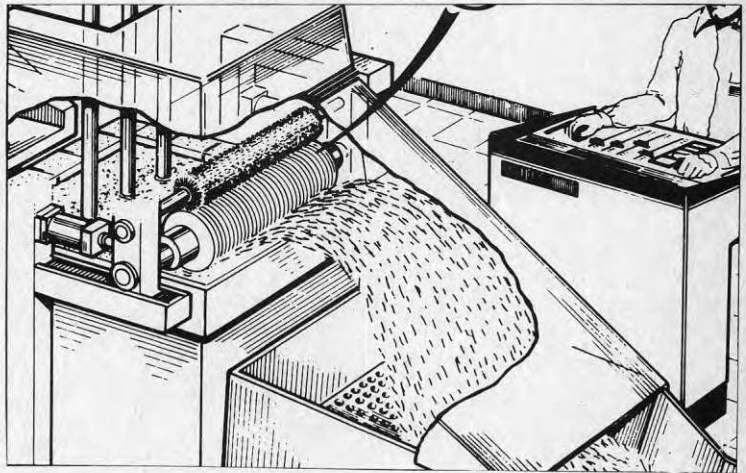


Figur 3.1.  
Tillverkning av fibrer med ändhakar.

1. Dragning av tråd ned till erforderlig diameter.
2. Mekanisk deformation.
3. Kapning.

Stansade eller klippta fibrer tillverkas med utgångsmaterial från tunn plåt eller band. Som vid dragen tråd utförs ofta någon ändförankring eller annan oregelbundenhet i formen för att förbättra vidhäftningen mot matrisen. Draghållfastheten ligger vanligtvis omkring  $700 \text{ MN/m}^2$ .

Meltexmetoden utgår från smält stål. Något nedsänkt i gjutlådan roterar ett vattenkyllt kopparhjul. I hjulet är frästa ett antal spår, vilkas längd ger fiberlängden. Smältan fastnar på rygarna mellan spåren och stelnar snabbt. Stelnandet ger krympspänningar och fibrerna släpper samt kastas iväg på grund av rotationen, se figur 3.2.



Figur 3.2.  
Tillverkning av  
Meltex-fibrer.

Såväl tvärsnitt som ytstruktur blir något oregelbundna. Framställningssättet är i princip billigt, men produktionssvårigheter har inneburit att några större kvantiteter inte finns disponibla. Meltex-fibrerna tillverkas av rosttrögt stål. Draghållfasthet omkring  $600 \text{ MN/m}^2$ .

## 4 PRODUKTIONSMETODER

Ett känt faktum från framställning av fiberarmerad betong är, att så kallade fiberbollar lätt uppkommer vid inblandning av fibern i betongmassan (se figur 6.3). Förhållandet är likartat vid inblandning i puts. Fiberbollar bildas särskilt lätt vid användandet av långa fibrer, som från förstärkningssynpunkt är fördelaktiga.

Förstärkningseffekten vid fiberarmerad betong anses vara avhängigt av uttrycket  $v \times \frac{1}{d}$ , där  $v$  = vikts% fibrer,  $l$  = fiberlängd i mm och  $d$  = fiberdiameter i mm. Sannolikt råder ett sådant samband även i cement/kalkbaserad matris. Svårigheter uppstår sålunda även vid inblandning av stålfibrer i putsbruk såvida man inte accepterar en lägre hållfasthetsnivå och använder korta och förhållandevis små mängder fibrer.

Det enklaste appliceringssättet är påslagning för hand. Tillsats av fibrer i putsmassan gör den emellertid så sammanhängande och styv, att detta appliceringssätt knappast är realistiskt. Även konventionell inblandning av fibern i betongblandaren och sprutning av fiberarmerad puts stöter på stora svårigheter på grund av massans styvhet och fibrernas tendens att fastna i ventiler, slangar etc.

Den så kallade bollbildningstendensen uppstår inte bara vid inblandning i betong och puts. Redan vid packning, transporter etc uppstår svår-lösliga fiberkoncentrationer.

För att bemästra problematiken med upplösning av fiberkoncentrationer, bollbildning och svårigheter i samband med pumpning av fiberarmerade massor, har ett system utvecklats, där fibrerna tillsätts först i munstycket. Systemet är närmare beskrivet i kapitel 6.2.

## 5 PROVNINGARNAS OMFATTNING

Provningarna skulle utföras enligt ett särskilt program, som upprättades i början av 1978. Enligt planerna ingick i undersökningen två fabriksblandade torrbrukstyper av kvalitetsklass B, nämligen kalk/cementbruk KC 35/65/550 och murcement M 100/600.

Två typer av stålfibrer skulle användas: Bekaert ZL 0,35 och Johnson & Nephew "rosttröga" Meltex, se figur 6.2.

Provsprutningarna startades hösten 1978 och efter tre månaders lagring utfördes provningarna vid Statens Provninganstalt i Göteborg.

Vid genomgång av provningsresultaten upptäcktes på flera punkter, att resultaten var svårförklarliga och att jämförelser mellan de oarmerade och armerade bruken i de båda serierna gav ologiska och i de flesta fall oanvändbara resultat. Endast i enstaka fall erhöles last-nedböjningskurvor med väntat utseende. Likaså förekom oväntade effekter vid undersökning av frostresistens och korrosionsförhållanden. Dessa observationer föranledde kompletterande undersökningar, nämligen kemisk analys av samtliga brukstyper och en specialundersökning av lufthalten i bruket efter blandning och sprutning.

Särskilt resultaten av de kemiska analyserna gjorde, att vissa i programmet återstående provningar aldrig utfördes. Det gällde fallprov med kula, bestämning av värmeledningstal och värmeutvidgning samt fortsatta försök att bestämma draghållfasthet och/eller undersöka effekten av förhindrad krympning m fl.

Utförandet och resultaten av de kemiska analyserna redovisas nedan.

För kemisk analys uttogs en prisma med dimensionerna  $20 \times 8 \times 2\frac{1}{2}$  cm ur varje undersökt platta. De slogs ihop i grupper om tre, varje grupp representerande ett av de undersökta bruken. Varje sådan grupp prismor krossades och blandades till ett gemensamt prov. Ett analysprov utkvarterades och maldes till analysfinhet.

Resultaten framgår av tabell 5.1 och visar att inte något av de fabriksblandade bruken hade den förutsatta sammansättningen. Något bruk med murcement som bindemedel förekom inte alls. Bindemedelssammansättningen svarade mot kalk/cementbruk klass C eller ännu svagare. Förhållandet bindemedel:sand varierade mellan 100/400 och 100/700.



Levererat bruk	KC	KC	KC	M	M	M
I saltsyra löslig kiselsyra, SiO <sub>2</sub> , %	2,02	1,20	2,07	1,11	1,60	1,72
Dito, korrigerad, % <sup>1)</sup>	1,71	0,88	1,77	0,80	1,31	1,42
Calciumoxid, CaO, %	11,82	9,80	12,66	10,92	12,92	11,86
Dito, korrigerad, % <sup>1)</sup>	10,22	8,12	11,10	9,30	11,40	10,28
Glödningsförlust %	7,50	6,96	9,10	8,52	10,03	8,86
Dito, korrigerad, % <sup>1)</sup>	5,98	9,23	6,27	11,63	8,70	7,24
Beräknad brukssammansättning, KC	47/53/517	69/31/700	46/54/462	77/23/600	66/34/398	57/43/517
Beräknad brukssammansättning KC, avrundat	50/50/520	70/30/700	50/50/460	75/25/600	65/35/400	55/45/520
Beteckning i rapport	"KC <sub>1</sub> "	"KC <sub>2</sub> "·B	"KC <sub>3</sub> "·M	"KC <sub>4</sub> "	"KC <sub>5</sub> "·B	"KC <sub>6</sub> "·M

Tabell 5.1.  
Kemisk analys av bruk i serie a.

1) Korrektionen avser andelen av i saltsyra löslig kiselsyra och kalciumoxid samt glödningsförlust i den använda ballasten.

Provningsresultaten för ovan nämnda bruk finns i det följande redovisade under beteckning "Serie a". Vid värderingen av resultaten i denna serie måste naturligtvis vederbörlig hänsyn tagas till den varierande sammansättningen inom denna serie.

Som en följd av ovan nämnda beslöts, att nya försök skulle utföras och uppsprutning av nya provpaneler påbörjades i början av 1980. Vissa erfarenheter från provningarna 1979 - 1980 gjorde att provningsprogrammet modifierades något. Exempelvis konstaterades, att Meltex-fibrerna inte gav optimal effekt, varför dessa uteslöts i de fortsatta undersökningarna. Provning av infästningsanordningarna gav så positiva resultat, att dessa prov inte upprepades. Dessutom beslöts att utöka det ursprungliga programmet med provning av slaghållfastheten (Charpy), undersökning av vattenabsorption samt inverkan av ensidig fuktning.

Den fortsatta undersökningen kom således att omfatta två typer av matriser, KC-bruk och murcementbruk armerade med Bekaert-fibrer. I fortsättningen benämns dessa serie b och serie c.

I det följande kommer det väsentligaste att redovisas från samtliga serier. Provningarnas omfattning framgår av tabell 5.2.

För att underlätta identifieringen, används följande beteckningar:

Serie a, matris "KC"-bruk av varierande sammansättning enligt tabell 5.1.

"KC<sub>1</sub>" och "KC<sub>4</sub>" = oarmerat KC-bruk.

"KC<sub>2</sub>" och "KC<sub>5</sub>" + B = KC-bruk armerat med Bekaert-fibrer.

"KC<sub>3</sub>" + M och "KC<sub>6</sub>" + M = KC-bruk armerat med Meltex-fibrer.

Serie b, matris av "KC"-bruk 35/65/550.

KC = oarmerat KC-bruk 35/65/550.

KC + B = KC-bruk armerat med Bekaert-fibrer.

Serie c, matris av murcementbruk.

M = murcementbruk M 100/600, oarmerat.

M + B = murcementbruk armerat med Bekaert-fibrer.

	Serie a	Serie b	Serie c
Matris	"KC" <sup>1)</sup>	KC 35/65/550	M 100/600
	Bekaert	Bekaert	Bekaert
Fibrer	Meltex	-	-
Typ av prov:			
Kemisk analys	x	-	-
Bestämning av lufthalt	x	x	x
Bestämning av tryckhållfasthet	x	x	x
Bestämning av densitet	x	x	x
Bestämning av fiberhalt	x	x	x
Böjdraghållfasthet med mittpunktnebböjning	x	x	x
Tvärdraghållfasthet	x	x	x
Vattenabsorption	x	x	x
Vatteninträning	x	x	x
Fuktdiffusion	x	x	x
Fuktrörelser	x	x	x
Inverkan av ensidig fuktning	-	x	x
Temperaturrelörelser	-	x	x
Frostresistens	x	x	x
Korrosionsbeteende	x	x	x
Slagprovning	-	x	x
Fallprov med kula	-	x	x
Förhindrad krympning av puts vid snabbt insättande uttorkning	-	-	x
Provning av infästningsanordningar	x	-	-

Tabell 5.2.  
Utförda provningar.

1) "KC" enligt TAB. 5.1

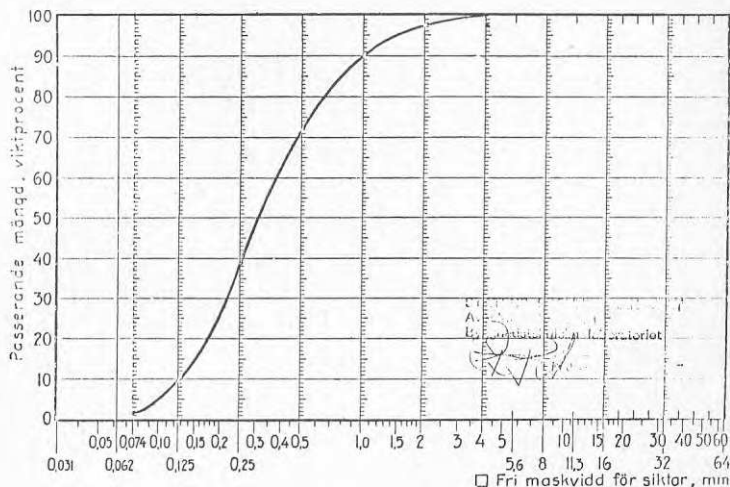
## 6 FÖRSÖKSBETINGELSER OCH FÖRSÖK

## 6.1 Material och sammansättning

## 6.1.1 Bruk

Serie a - Utförda 1978 med sammansättning enligt tabell 5.1. Allt använt material var fabriksblandat torrbruk. Maximal kornstorlek 4 mm.

Serie b - KC-bruk tillverkat på plats med sand enligt siktkurva, se figur 6.1. Bindemedel släckt murkalk E samt standardcement. Sammansättning KC 35/65/550.



Figur 6.1.  
Siktkurva sand,  
serie b.

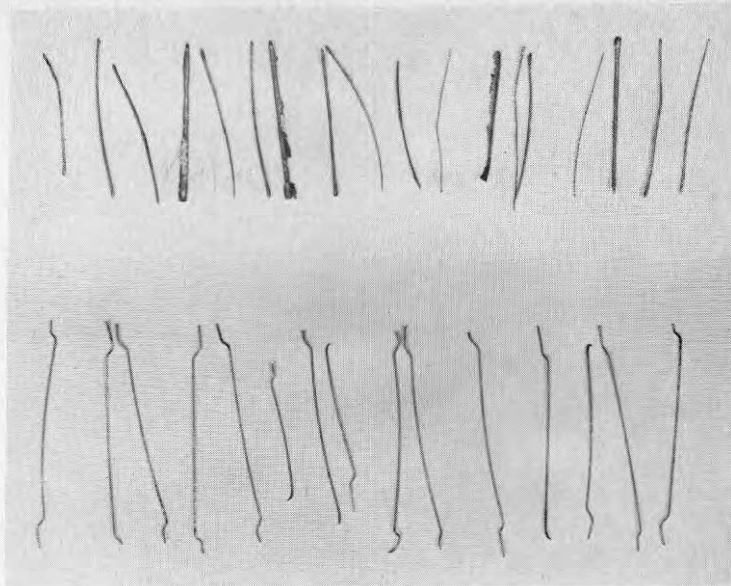
Serie c - Fabriksblandat murcementbruk "Gullex mur- och putsbruk B". Sammansättning M 100/600.

## 6.1.2 Stålfibrer

I serie a har använts två typer av stålfiberarmering, s k ändhakade fibrer ZL 0,35 - 35 (längd 35 mm, diam. 0,35) av Bekaert's fabrikat och s k Meltex-fibrer tillverkade av Johnson & Nephew. De förstnämnda tillverkas genom klippning av dragen tråd framställd av olegerad stål. I samband med klippningen bockas ändarna till hakar, se figur 6.2. Meltex-fibern tillverkas av rosttrögt stål enligt den s k slungmetoden. Trådarnas utseende framgår av figur 6.2. Längden cirka 25 mm. Fibrerna är något "koniska" och tvärsnittet varierar. Fibrerna är något ojämna i ytan.

Bekaert-fibern har en draghållfasthet  $\approx 1.200$  MN/m<sup>2</sup>. Meltex-fibern  $\approx 600$  MN/m<sup>2</sup>.

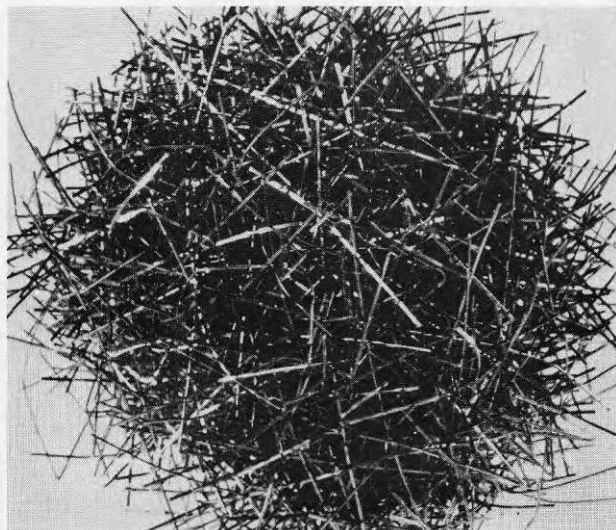
Figur 6.2.  
Stålfibrer.  
Bekaert's fibrer  
överst, Meltex-  
fibrer underst.



I serie b och c har endast ändhakade fibrer typ Bekaert använts. I rapporten betecknas Bekaerts ändhakade fibrer med B och Meltex-fibrerna med M. Exempel: Kalkcementbruk 35/65/550 armerat med Bekaert-fibrer har sålunda beteckning KC+B.

## 6.2 Utrustning och tillverkning

Vid traditionell inblandning av stålfibrer i en betong- eller bruksmassa uppstår lätt bollbildning beroende på att fibrerna under blandningsprocessen låser varandra och ansamlas i fiberbollar (se figur 6.3).

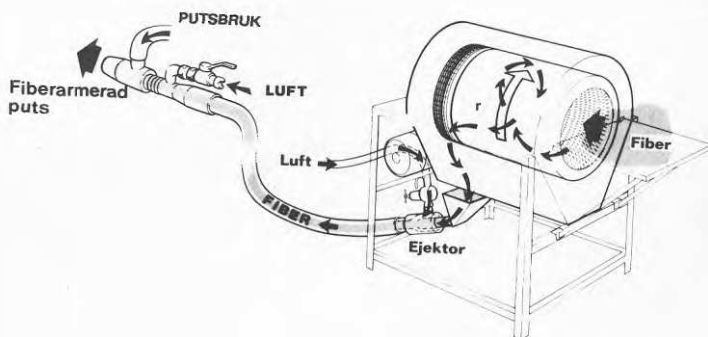


Figur 6.3.  
Fiberboll.

Risken för bollbildning ökar vid ökat längd/diameterförhållande (aspect ratio) hos fibern och ökad fibervolym. Fibergeometrin påverkar också bollbildningstendensen.

Bollbildning omöjliggör den jämna fiberfördelning i matrisen, som är nödvändig för att erhålla en homogen produkt. Vid sprutning av fiberarmerat putsbruk orsakar fiberbollarna dessutom ofta driftstörningar i pump- och materialslang.

Med anledning härav har en metod använts, där fibern tillsätts först i sprutmunstycket. Detta har skett med hjälp av en så kallad Fiber Feeder, se figur 6.4.



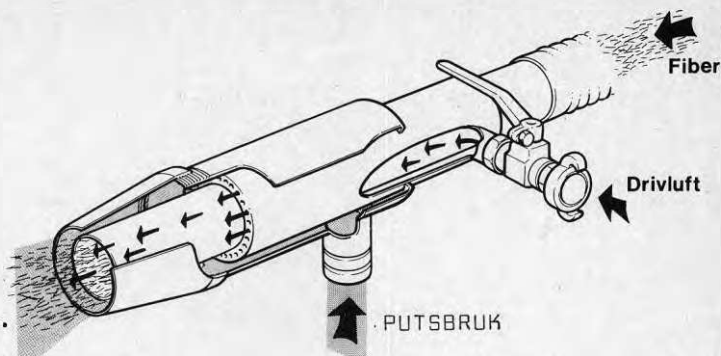
Figur 6.4.  
Fiber Feeder.

Fiber Feedern består av en roterande trumma, som med hjälp av speciella piggar löser upp fiberkoncentrationerna. De frigjorda fibrerna 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 sprutmunstycket, där den tillsätts bruksblandningen.

Fibermängden kan avpassas så, att den överensstämmer med olika kapaciteter på puts-sprutningsaggregatet.

Vid sprutning av proverna har använts ett munstycke enligt figur 6.5. Munstycket är utformat så, att fibrerna tillsätts centralt och omges - när de lämnar munstycksöppningen - av en mantel av bruksmassan, vilket reducerar fiberspillet.

Figur 6.5.  
Munstycke för fi-  
berarmerad puts.



Bruket tillverkades dels i en 150-liters tvångsblandare, dels i en snabbgående sk Thabblandare och pumpades med en Putzmeister PKS fram till sprutmunstycket, där drivluften tillsattes.

Innan provkropparna ingående i försöksserien började tillverkas, sprutades några provpaneler i ett förförsök. Ur dessa provpaneler sågades kuber, böjbjalkar och prismor för slagprovning. Resultat framgår av kapitel 6.3.

I huvudförsöket sprutades i träformar 950 x 950 x 25 mm. De oarmerade proverna sprutades i två påslag och de fiberarmerade i ett påslag. Sprutriktningen var nära vinkelrät mot formbotten. Vid sprutning orienterar sig fibrerna huvudsakligen parallellt med underlaget. Man får på detta sätt en tvådimensionell orientering med fibrerna liggande parallellt med putsskiktets plan, vilket är fördelaktigt. Sprutningen utfördes på BESAB's provsprutningsområde i Hisings Backa.

Efter ett dygns förvaring på sprutstället, avformades proverna och förvarades inomhus i fuktig och uppvärmd miljö (cirka +18° C).

När bruket uppnått erforderlig hållfasthet sågades plattorna upp i mindre provkroppar med diamantkapskiva. Sågningen utfördes på BESAB, Hisings Backa.

Efter uppsågningen transporterades provkropparna till provningsanstalten, där de lagrades i konstantrum vid +20° C och 50 % relativ fuktighet.

Provningarna påbörjades 3 - 4 månader efter det att provkropparna framställts. Detta för att eliminera inverkan av olika lagringstider och lagringsbetingelser.

### 6.3 Förförsök

I samband med våtsprutning av väggar i BESAB's industribyggnad, Tagenevägen 5, tillverkades två provserier om vardera två plattor, vilka våtsprutades i formar 60 x 60 x 10 cm. Serie 1 utgjordes av KC-bruk 35/65/550 och serie 2 av KC-bruk 35/65/650. I varje serie sprutades en platta med och en utan fibertillsats. Som sprutaggregat användes en Putzmeister typ P 13. I förekommande fall användes fibrer av typ Bekaert ZL 35/0,35, vilka tillsattes direkt i sprutmunstycket med hjälp av en FF 50/75.

Plattorna lagrades utomhus täckta med tomma cementsäckar, vilka hölls fuktiga genom vattning.

Provningsen, vilken utfördes efter 28 dygn, omfattade bestämning av tryck- och böjdraghållfasthet samt slagseghet. Vid bestämning av tryckhållfasthet användes 5 cm kuber och vid övriga prover 4 x 4 x 16 cm prismor. Belastningsriktningen har varit parallell med sprutriktningen. Dessutom har tryckhållfastheten även bestämts vinkelrätt sprutriktningen.

Fiberhalten bestämdes genom nedkrossning och vägning av ett antal provkroppar och uppgick i medeltal till 5,3 vikt%.

Provningsarna utfördes vid Institutionerna för Byggnadsmateriallära (tryck- och böjdraghållfasthet) och Hållfasthetslära (slagseghet), Chalmers Tekniska Högskola.

Sammanställning av provningsresultatens medelvärde visas i tabell 6.1.

	Tryckhållfasthet MPa		Böj- drag- håll- fasthet MPa	Slag- seghet KJ/m <sup>2</sup>
	//Sprut- riktning	⊥ Sprut- riktning		
KC 35/65/550				
O-prov	3.1		1.5	13
Fiberprov	19.4	12.1	7.2	78
KC 35/65/650				
O-prov	2.2		1.0	10
Fiberprov	4.8	1.8	1.9	27

Tabell 6.1.  
Provningsresultat  
förförsök.

Jämförelse mellan hållfasthetsvärdena i förförsök och huvudförsök kan ej göras på olika dimensioner hos provkropparna.

## 7.1 Lufthalt, tryck- o. böjdraghållfasthet

Serie a - Vid undersökning av frostresistens för serie a konstaterades sönderfrysningar från 1 mm ytavflagningar till helt sönderfrusna provkroppar, se kapitel 7.13. Detta upptäcktes såväl på oarmerade som armerade provkroppar. Då moderna bruk innehåller luftporbildande medel, som ger frostresistens, föranledde detta en särskild undersökning. Denna utfördes på följande sätt:

Tjänsteman vid Statens Provningsanstalt var närvarande vid två sprutningsförsök av oarmerad puts och bestämde lufthalten i bruket omedelbart efter blandning och därefter omedelbart efter sprutning. Torrbruket var märkta "Stockningsbruk" respektive "Murbruk".

Av nyss blandat respektive nyss sprutat bruk tillverkades 3 st prismor 25 x 25 x 170 mm enligt bindemedelsnormen. Dessa provades vid 28 dygns ålder varvid densitet, böjdrag- och tryckhållfasthet bestämdes. Två säckar av nämnda torrbruk medtogs till Provningsanstalten, blandades på laboratorium och provades enligt bindemedelsnormen. Resultaten framgår av tabell 7.1.

	1) Stockningsbruk			2) Murbruk		
	Lab.- blandat	Sprutat		Lab.- blandat	Sprutat	
		Efter blandn.	Efter sprutn.		Efter blandn.	Efter sprutn.
Lufthalt %	10.7	9.9	7.9	19.8	15.1	8.2
Böjdrag- hållfast- het Mpa	3.14	3.16	2.98	2.89	3.19	3.22
	3.05	3.08	2.91	2.98	3.16	3.17
	3.08	3.05	2.93	3.03	3.20	3.23
Med.värde	<u>3.1</u>	<u>3.1</u>	<u>2.9</u>	<u>3.0</u>	<u>3.2</u>	<u>3.2</u>
Tryckhåll- fasthet Mpa	8.32	9.45	9.48	9.20	10.09	10.70
	8.51	9.45	9.18	9.86	9.86	10.67
	8.44	9.50	10.23	9.29	9.83	11.66
	8.30	9.57	9.95	9.07	9.73	11.83
	8.76	9.17	9.70	9.24	9.98	12.27
Med.värde	<u>8.5</u>	<u>9.5</u>	<u>9.6</u>	<u>9.3</u>	<u>9.9</u>	<u>11.4</u>
Densitet kg/m <sup>3</sup>	-	1978	1991	-	1831	1810
	-	1999	2004	-	1825	1842
	-	1972	2036	-	1829	1866
Med.värde		<u>1983</u>	<u>2010</u>		<u>1828</u>	<u>1839</u>

Tabell 7.1.  
Lufthalts- och  
hållfasthetsbe-  
stämning, serie a.

1) Stockningsbruk = "KC<sub>1</sub>"

2) Murbruk = "KC<sub>4</sub>"



Serierna b och c - Vid sprutning av serierna b och c gjordes lufthaltsbestämningar på liknande sätt som med serie a. Resultaten framgår av tabell 7.2.

	Serie b. KC 35/65/550			Serie c. M 100/600		
	Lab.-blandat	Sprutat		Lab.-blandat	Sprutat	
		Efter blandn.	Efter sprutn.		Efter blandn.	Efter sprutn.
Lufthalt %	12	11	5	20	12	6
Böjdrag-hållfasthet Mpa	2.75 2.72 2.79 2.81 2.73 2.86	3.33 3.29 3.31 3.43 3.22 3.32	- - - - - -	3.38 3.27 3.41 3.33 3.36 3.24	3.28 3.22 3.38 3.40 3.35 3.23	- - - - - -
Med. värde	<u>2.8</u>	<u>3.3</u>		<u>3.3</u>	<u>3.3</u>	
Tryck-hållfasthet Mpa	8.63 8.40 8.48 8.40 8.24 8.08 8.55 8.32 8.24 8.08 8.16 8.48	9.18 9.34 8.79 9.34 8.87 9.10 9.65 8.79 9.57 8.48 8.79 9.73	- - - - - - - - - - - -	14.0 14.3 14.4 13.7 13.3 14.5 14.3 13.6 14.4 13.7 13.9 13.7	11.5 11.6 11.3 11.4 11.7 11.9 11.1 11.9 12.0 12.0 12.2 12.3	- - - - - - - - - - - -
Med. värde	<u>8.3</u>	<u>9.1</u>		<u>14.0</u>	<u>12.0</u>	

Tabell 7.2.  
Lufthalts- och  
hållfasthetsbe-  
stämning, serier-  
na b och c.

Sammanfattningsvis har lufthalten förändrats från utgångsmaterial till dess att putsmassan är sprutad på underlaget enligt tabell 7.3.

Se- rie	Brukstyp	Lufthalt vid blandning i lab.	Lufthalt efter blandning i Thabb- blandare	Lufthalt efter sprutning
a	Stockningsbruk	10,4 %	9,9 %	7,9 %
a	Murbruk	19,8 %	15,1 %	8,2 %
b	KC 35/65/550	12,0 %	11,0 %	5,0 %
c	M 100/600	20,0 %	12,0 %	6,0 %

Tabell 7.3.  
Lufthaltsför-  
ändring.

Av sammanställningen framgår, att lufthalten reduceras avsevärt vid den mekaniska bearbetningen i blandare, sprutaggregat och sannolikt även i sprutstrålen och vid anslaget mot underlaget. Då de flesta större putsarbeten utföres sprutade, är detta - med tanke på att bruket för att vara frostresistent, bör ha ett luftinnehåll på 15 - 20 % - allvarligt. Vad lufthaltminskningen beror på och hur problemet skall lösas, ligger inte inom ramen för detta arbete. Det bör därför bli föremål för en särskild undersökning.

## 7.2 Densitet och fiberhalt

Vid oarmerade provkroppar och armerade, där fiberinnehållet inte bestämts, har densiteten bestämts genom mätning och vägning. Där fiberinnehållet bestämts genom krossning av provkroppen och vägning av fibrer, har densiteten bestämts med den s k paraffinmetoden. Densiteten är i dessa fall omräknad till fiberfritt bruk.

För bestämning av fiberhalten slogs vägda provbitar sönder med hammare, varefter fibrerna fångades upp med magnet, tvättades rena från bruksrester med inhiberad saltsyra och vägdes. Provbitarna vägde mellan 400 och 600 gram.

Serie a - Resultat.

Material	Vikt % fibrer	Densitet kg/m <sup>3</sup>
"KC <sub>1</sub> " + B	5.98	1810
	5.58	1810
	5.20	1810
Medelvärde	<u>5.58</u>	<u>1810</u>
"KC <sub>3</sub> " + M	2.19	1870
	5.90	1870
	6.09	1820
Medelvärde	<u>4.73</u>	<u>1850</u>
"KC <sub>5</sub> " + B	5.67	1940
	6.36	1990
	6.03	1950
Medelvärde	<u>6.02</u>	<u>1960</u>
"KC <sub>6</sub> " + M	2.47	2030
	3.02	2090
	2.09	1890
Medelvärde	<u>2.53</u>	<u>2010</u>

Tabell 7.4.  
Fibermängd och densitet, serie a.

## Serierna b och c - Resultat.

Material	Vikt% fibrer	Densitet kg/m <sup>3</sup>
KC 35/65/550 + B	8.0	2070
	6.7	2010
	6.8	
	5.5	
Medelvärde	<u>6.8</u>	<u>2040</u>
M 100/600 + B	7.4	2140
	5.0	2130
	5.2	
	6.0	
Medelvärde	<u>5.9</u>	<u>2135</u>

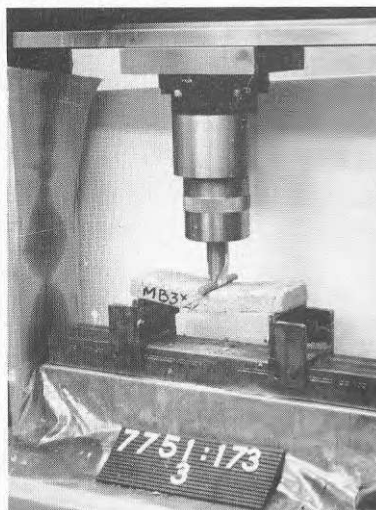
Tabell 7.5.  
Fibermängd och  
densitet.  
Serierna b o. c.

7.3 Böjdraghållfasthet och mittpunktsnedböjning  
I serie a bestämdes böjdraghållfastheten på prismor med bredderna 25, 40 och 80 mm. De förstnämnda (25 mm) skulle ge anknytning till dels den i bindemedelsnormerna angivna provningsmetoden, dels resultat erhållna vid provning av olika bruk enligt dessa normer.

Vid sågning av fiberarmerad puts blir kanterna ganska söndertrasade. Kanteffekten blir naturligtvis mest kännbar vid de 25 mm breda prismorna, varför 25 mm breda provkroppar uteslöts i serierna b och c. Resultaten från provningarna av 25 mm prismor i serie a redovisas inte.

I samtliga fall utfördes provningen genom mittpunktsbelastning. Spännvidden var 200 mm.

Samtliga provningar utfördes i en Instronmaskin med samtidig registrering av last och mittpunktsnedböjning, se figur 7.1.



Figur 7.1.  
Böjprovning av  
fiberarmerad  
prisma.  
OBS! den stora  
segheten.

Mittpunktsnedböjningen anges i mm vid max. böjdraghållfasthet samt vid 75 % av max. böjdraghållfasthet sedan denna passerats.

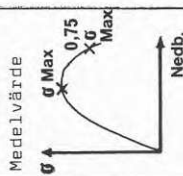
Serie a - En sammanfattning av bøjprovningarna framgående av tabellerna 7.6 och 7.7.

Serie a												
Bøjdraghållfasthet $\sigma_{max}$ Mpa Medelvärde	"KC <sub>1</sub> "		"KC <sub>2</sub> " + B		"KC <sub>3</sub> " + M		"KC <sub>4</sub> "		"KC <sub>5</sub> " + B		"KC <sub>6</sub> " + M	
	$\sigma_{max}$	0.75 $\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$	0.75 $\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$	0.75 $\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$	0.75 $\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$	0.75 $\sigma_{max}$	$\sigma_{max}$	0.75 $\sigma_{max}$
2.09 3.97 3.13 <u>3.15</u>	2.71 3.05 3.45 <u>3.07</u>	1.96 2.26 2.34 <u>2.19</u>	1.94 2.15 3.53 <u>2.54</u>	5.74 6.92 7.15 <u>6.60</u>	4.99 4.68 3.89 <u>4.52</u>							
Mittpunktsnedböjning mm Medelvärde	0.2 0.3 0.2 <u>0.2</u>	- - - <u>0.2</u>	0.2 0.3 0.3 <u>0.3</u>	1.7 1.6 1.9 <u>1.7</u>	0.6 0.7 0.6 <u>0.6</u>							
	1926 1972 1905 <u>1934</u>	1944 1936 1960 <u>1947</u>	2035 2070 2037 <u>2047</u>	2004 2043 1072 <u>2006</u>	2128 2166 2153 <u>2157</u>	2091 2076 1961 <u>2043</u>						
	Densitet kg/m <sup>3</sup> Medelvärde	1926 1972 1905 <u>1934</u>	1944 1936 1960 <u>1947</u>	2035 2070 2037 <u>2047</u>	2004 2043 1072 <u>2006</u>	2128 2166 2153 <u>2157</u>	2091 2076 1961 <u>2043</u>					

Tabell 7.6.  
Resultat från bøjdragprovning serie a.  
Balkbredd 40 mm.

Tabell 7.7.  
Resultat från  
böjdragprovning  
serie a.  
Balkbredd 80 mm.

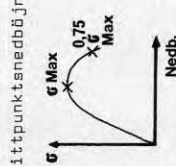
Serie a												
	"KC <sub>1</sub> "		"KC <sub>2</sub> " + B		"KC <sub>3</sub> " + M		"KC <sub>4</sub> "		"KC <sub>5</sub> " + B		"KC <sub>6</sub> " + M	
	$\sigma_{\max}$	0.75 $\sigma_{\max}$	$\sigma_{\max}$	0.75 $\sigma_{\max}$	$\sigma_{\max}$	0.75 $\sigma_{\max}$	$\sigma_{\max}$	0.75 $\sigma_{\max}$	$\sigma_{\max}$	0.75 $\sigma_{\max}$	$\sigma_{\max}$	0.75 $\sigma_{\max}$
Böjdraghållfasthet $\sigma_{\max}$	2.46		4.32		2.35		3.59		6.51		4.39	
	3.66		2.49		2.11		2.55		7.92		5.40	
	2.79		3.95		2.86		2.12		10.19		4.35	
Mpa												
Medelvärde	2.97		3.58		2.44		2.76		8.21		4.71	
Mittpunktsnedböjning mm	0.2	-	1.9	4.3	0.6	1.5	0.4	-	1.9	4.3	0.4	0.7
	0.4	-	1.4	4.2	0.7	1.8	0.4	-	1.6	4.6	0.5	0.9
	0.4	-	1.3	3.3	0.6	1.7	0.3	-	1.7	3.3	0.5	1.1
Medelvärde	0.3		1.5	3.9	0.7	1.7	0.4		1.7	4.1	0.5	0.9
Densitet kg/m <sup>3</sup>	1926		1944		2035		2004		2128		2091	
	1972		1936		2070		2043		2186		2076	
	1905		1960		2037		1972		2153		1961	
Medelvärde	1934		1947		2047		2006		2157		2043	



Serierna b och c - En sammanfattning av bøjprovningarna framgår av tabellerna 7.8 och 7.9.

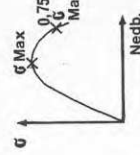
	Serie b				Serie c			
	KC 35/65/550		KC 35/65/550+B		M 100/600		M 100/600+B	
	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$
Bøjdraghållfasthet	2.68	6.03	6.03	1.65	7.64	7.64	7.64	7.64
$\sigma_{max}$	4.11	5.82	5.82	0.79	9.80	9.80	9.80	9.80
Mpa	3.62	5.67	5.67	3.01	4.61	4.61	4.61	4.61
	4.92	4.96	4.96	5.31	4.35	4.35	4.35	4.35
	3.09	5.65	5.65	2.28	8.70	8.70	8.70	8.70
	3.19	5.46	5.46	2.50	7.21	7.21	7.21	7.21
	3.21	7.07	7.07	2.67	7.89	7.89	7.89	7.89
	3.95	4.85	4.85	2.45	8.70	8.70	8.70	8.70
	3.60	5.81	5.81	2.88	7.37	7.37	7.37	7.37
Medelvärde								
Förstärkningsfaktor		1.61	1.61					
Förstärkningsfaktor								
	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{0.75}$
	0.09	2.72	4.46	0.34	1.68	4.84	1.68	4.84
	0.30	4.30	4.30	0.32	2.40	(2.68)	2.40	(2.68)
	0.20	1.31	3.87	0.19	1.96	(3.28)	1.96	(3.28)
	0.26	1.62	5.98	0.33	1.00	2.77	1.00	2.77
	0.23	3.40	6.08	0.19	1.26	3.53	1.26	3.53
	0.18	2.02	4.89	0.20	1.44	4.14	1.44	4.14
	0.18	5.00	5.68	0.27	1.30	3.57	1.30	3.57
	0.22	3.63	5.59	0.27	1.30	3.57	1.30	3.57
	0.21	2.76	5.10	0.27	1.55	3.71	1.55	3.71
	1924	1853	1853	1630	1990	1990	1990	1990
	1947	1919	1919	1633	2039	2039	2039	2039
	1890	1952	1952	2004	2005	2005	2005	2005
	1889	1860	1860	1984	1978	1978	1978	1978
	1879	1852	1852	1934	1980	1980	1980	1980
	1909	1850	1850	1962	2115	2115	2115	2115
	1762	1921	1921	1953	1954	1954	1954	1954
	1802	1960	1960	1936	2032	2032	2032	2032
	1875	1893	1893	1879	2011	2011	2011	2011
Densitet								
kg/m <sup>3</sup>								
Medelvärde								

Tabell 7.8.  
Resultat från  
bøjdragprovning  
serierna b och c.  
Balkbredd 40 mm.



Tabell 7.9.  
Resultat från  
bøjdragprovning  
serierna b och c.  
Balkbredd 80 mm.

	Serie b				Serie c			
	KC 35/65/550		KC 35/65/550+8		M 100/600		M 100/600+8	
	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$
Bøjdraghållfasthet	3.14	7.59	3.14	7.59	2.08	9.98	2.08	9.98
$\sigma_{\max}$	3.62	(2.97)	3.62	(2.97)	2.03	10.62	2.03	10.62
	4.19	6.63	4.19	6.63	3.17	(2.12)	3.17	(2.12)
	4.17	7.11	4.17	7.11	3.00	(2.09)	3.00	(2.09)
	2.64	4.64	2.64	4.64	2.21	7.86	2.21	7.86
	2.81	6.13	2.81	6.13	2.93	8.37	2.93	8.37
	3.86	6.61	3.86	6.61	2.76	8.21	2.76	8.21
	2.52	6.23	2.52	6.23	2.69	8.03	2.69	8.03
	3.37	6.57	3.37	6.57	2.74	8.84	2.74	8.84
Medelvärde	Förstärkningsfaktor		Förstärkningsfaktor		Förstärkningsfaktor		Förstärkningsfaktor	
	1.95		1.95		3.23		3.23	
Mittpunktsnedböjning mm	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$	$\sigma_{\max}$	$\sigma_{0.75}$
	0.20	4.39	0.20	4.39	0.30	4.28	0.30	4.28
	0.25	4.71	0.25	4.71	0.30	4.30	0.30	4.30
	0.31	5.93	0.31	5.93	-	2.16	-	2.16
	0.27	1.91	0.27	1.91	-	2.60	-	2.60
	0.19	2.33	0.19	2.33	-	2.10	-	2.10
	0.20	1.96	0.20	1.96	-	2.10	-	2.10
	0.30	2.27	0.30	2.27	-	1.58	-	1.58
	0.17	2.24	0.17	2.24	-	1.43	-	1.43
	0.24	2.19	0.24	2.19	-	1.70	-	1.70
	0.24	4.96	0.24	4.96	0.22	1.97	0.22	1.97
Densitet	1680	1962	1680	1962	1646	2102	1646	2102
kg/m <sup>3</sup>	1936	(1755)	1936	(1755)	1665	2099	1665	2099
	1912	1881	1912	1881	1930	1963	1930	1963
	1936	1989	1936	1989	1946	2037	1946	2037
	1900	1867	1900	1867	1942	2135	1942	2135
	1925	1900	1925	1900	1919	2018	1919	2018
	1898	1902	1898	1902	1911	2076	1911	2076
	1863	1901	1863	1901	1943	2086	1943	2086
Medelvärde	1906		1926		1863		2064	



Stålfiberarmerad puts baserad på en matris av bruk med kalkcement eller murcement som bindemedel beter sig i dragmekaniskt hänseende på samma sätt som en fiberarmerad betong. Stålfibern medverkar vid lastupptagning genom samverkan med matrisen. Detta är möjligt genom fibermateriallets styvhet och vidhäftning mellan fibrer och matris.

Den uppsprickning, som fås vid proportionalitetsgränsen i den fiberarmerade matrisen, hindras i sin tillväxt genom att en eller flera fibrer överbryggar spricköppningen. Ytterligare energi krävs då för en ökning av sprickan. Brott sker sedan när initialsprickan, eller någon annan bildad

spricka, vidgas så att de spricköverbryggande fibrerna dras ut. I vissa fall kan även brott erhållas genom att fibrerna dras av.

Om den kraft i fibrerna, som verkar begränsande på initialsprickans tillväxt är tillräckligt stor, kan matrisen belastas ytterligare tills en ny spricka initieras och ökar. Denna successiva uppsprickning i flera sprickor ger en god sprickfördelning och liten sprickvidd.

För att få ett högt värde på böjdraghållfasthet, god sprickfördelning och liten sprickvidd, har fiberlängd, fibergeometri och matrisens kvalitet stor betydelse. Andra viktiga parametrar är fiberinnehåll och fiberorientering.

De flesta undersökningar beträffande fiberarmerad betong visar, att böjdraghållfastheten kan relateras till armeringsgraden genom faktorn  $V_f \times \frac{1}{d}$ , där  $V_f$  = volym% fibrer,  $l$  = fiberlängd i mm och  $d$  = fiberdiameter i mm. Ett högt värde ger hög förstärkningseffekt. Mycket talar för att förhållandet är detsamma vid kalk- och murcementbaserade matriser. De i undersökningen ingående provkropparna armerade med de relativt korta Meltext-fibrerna har, som framgår i tabell 7.7, givit sämre böjdraghållfasthet än motsvarande armerade med de längre ändhakade Bekaert-fibrerna. Deformationen är också väsentligt lägre för Meltex-fibrerna.

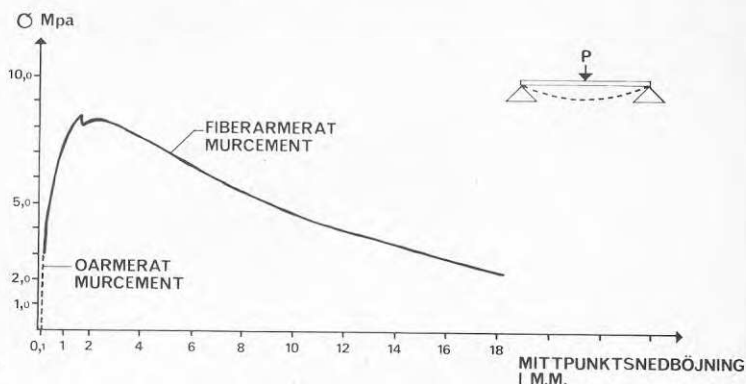
För serierna b och c, tabell 7.9, redovisas medelvärden från böjdragprovningsen med 6,57 respektive 8,84 MPa, d v s en 2-3 gångers förbättring jämfört med den oarmerade matrisen. Murcementmatrisen har det högsta värdet. Den erhållna förstärkningseffekten ligger i nivå med de resultat, som erhållits vid provning av sprutad stålfiberarmerad betong. Mittpunktsnedböjningen är vid  $\sigma$  max. något större för KC-bruket än för motsvarande murcementbruk. Av nedböjningsmätningarna vid  $\sigma$  max. och  $0,75 \sigma$  max. framgår materialets goda deformationsförmåga.

Segheten kan värderas efter ytan under spänningsnedböjningsdiagrammet. Vilket deformationsområde som skall väljas, är beroende på den kravprofil konstruktionen har. Exempelvis kan sprickvidden vara avgörande i ett fall, i andra segheten vid max.last eller segheten tills att den lastupptagande förmågan är helt uttömd.

Energiupptagningsförmågan, beräknad som hela ytan under last-nedböjningskurvan (figur 7.2), är för ett murcement armerat med Bekaert-fibrer ca 100 gånger större än för en oarmerad matris.



Figur 7.2 visar ett typiskt last-nedböjningsdiagram för serie c.



Figur 7.2.  
Last-nedböjningsdiagram för oarmerat o. stålfiberarmerat murcement.

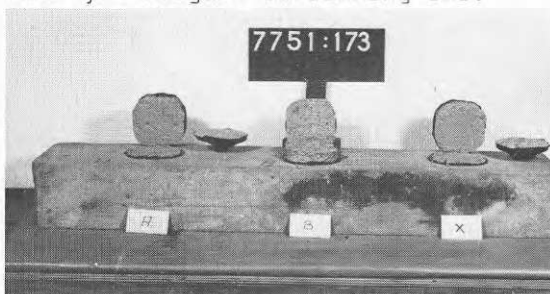
#### 7.4 Tvärdraghållfasthet

För bestämning av tvärdraghållfastheten användes kvadratiska provkroppar med 80 mm sida och runda de hörn, area 60 cm<sup>2</sup>, se figur 7.3.



Figur 7.3.  
Provningsanordning för bestämning av tvärdraghållfastheten.

På varje provkroppas översida limmades med epoxilim en cirkulär aluminiumplatta med 80 mm diameter. Denna drogs loss med en från ytan vinkelrätt riktad kraft. Därvid hände det ofta, att ett på ytan av provkroppen anrikat fiberfritt eller fiberfattigt cirka 1 - 2 mm tjockt skikt lossnade, se figur 7.4. I dessa fall borstades brottytan med stålborste och en ny aluminiumplatta limmades fast och drogs loss. I enstaka fall fick ytterligare en limning ske.



Figur 7.4.  
Lossdragna provkroppar.

Serie a - Resultat.

Serie a					
"KC <sub>1</sub> "	"KC <sub>2</sub> " + B	"KC <sub>3</sub> " + M	"KC <sub>4</sub> "	"KC <sub>5</sub> " + B	"KC <sub>6</sub> " + M
0.62	0.30	0.65	0.73	0.50	0.57
0.69	0.31	0.73	0.42	0.74	0.80
0.82	0.34	1.27	0.45	0.70	0.52
0.59	0.30	0.82	0.56	0.73	0.68
0.94	0.23	0.88	0.50	0.87	0.40
MV <u>0.73</u>	<u>0.30</u>	<u>0.87</u>	<u>0.53</u>	<u>0.71</u>	<u>0.59</u>

Tabell 7.10.  
Tvärdraghållfasthet MPa.

Serierna b och c - Resultat.

Serie b		Serie c	
KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
0.63	0.95	0.35	0.45
0.64	1.00	0.33	0.52
0.76	0.95	0.53	0.75
0.74	0.91	0.57	0.79
0.77	0.92	0.41	0.85
0.67	0.95	0.35	0.90
0.92	0.90	0.56	0.82
0.79	0.78	0.66	0.78
MV <u>0.74</u>	<u>0.92</u>	<u>0.47</u>	<u>0.73</u>

Tabell 7.11.  
Tvärdraghållfasthet MPa.

Hos de båda kalkcementbruken i serie b inträffade brottet i medeltal 5 (KC) respektive 7 mm (KC+B) från ytan. Hos murcementbruket i serie c vid första försöket inom den översta mm, vid det andra försöket på  $2\frac{1}{2}$  respektive  $1\frac{1}{2}$  mm från ytan.

Fibrerna orienterar sig vid sprutning huvudsakligen parallellt med underlaget, dvs vinkelrätt mot sprut- och dragriktningen. Det finns alltså få fibrer, som är orienterade så att de kan uppta dragpåkänningar vid dragning parallellt med sprutriktningen, vilket är förklaringen till den måttliga ökningen av tvärdraghållfastheten.

### 7.5 Vattenabsorption

Vattenabsorptionen bestämdes genom vattenlagring av provbitar av respektive platta samt därefter torkning vid  $105^{\circ}$  C. Resultatet anger skillnaden i vikt mellan en genom vattenlagring fuktmättad platta och samma platta i torrt tillstånd. Skillnaden anges i % av den torra plattans vikt.

## Serie a - Resultat.

Serie a					
"KC <sub>1</sub> "	"KC <sub>2</sub> " + B	"KC <sub>3</sub> " + M	"KC <sub>4</sub> "	"KC <sub>5</sub> " + B	"KC <sub>6</sub> " + M
14.6	11.9	12.5	11.9	10.4	11.2
11.4	12.4	11.2	10.8	9.9	10.5
13.8	12.5	11.8	11.0	9.9	12.8
MV <u>13.3</u>	<u>12.3</u>	<u>11.8</u>	<u>11.2</u>	<u>10.1</u>	<u>11.5</u>

Tabell 7.12.  
Vattenabsorption.  
% av torrvikten.

## Serierna b och c - Resultat.

Serie b		Serie c	
KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
13.0	13.6	12.6	11.8
12.8	14.6	12.3	11.2
10.1	15.5	13.4	11.3
12.4	12.2	11.0	10.6
MV <u>12.0</u>	<u>14.0</u>	<u>12.3</u>	<u>11.2</u>

Tabell 7.13.  
Vattenabsorption.  
% av torrvikten.

Fiberarmeringen synes inte påverka vattenabsorptionen.

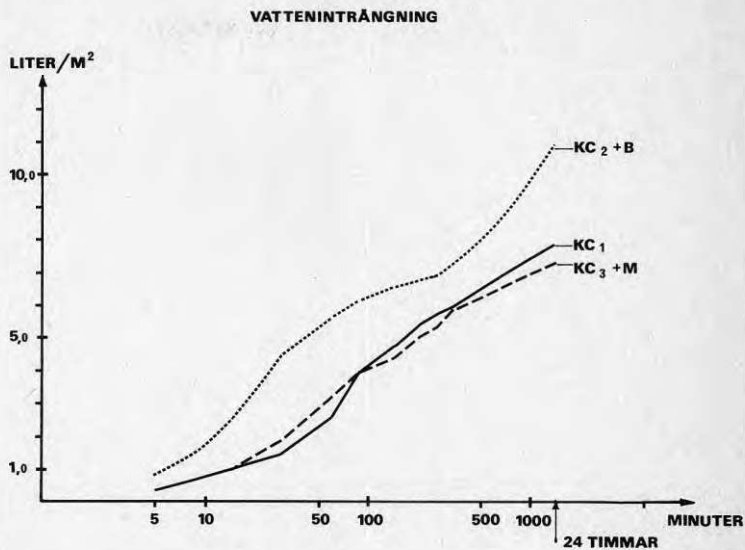
## 7.6 Vatteninträngning

Vatteninträngningen bestämdes på provkroppar med 40 x 40 mm yta medelst "trattprovet", beskrivet i ER-nämndens rapport 3:68. Vattenövertrycket, som hölls konstant, var 100 mm vp (1000 N/mm<sup>2</sup>). Till skillnad mot den angivna metodbeskrivningen förekom här ingen lättbetong som underlag för putsen (se figur 7.5).

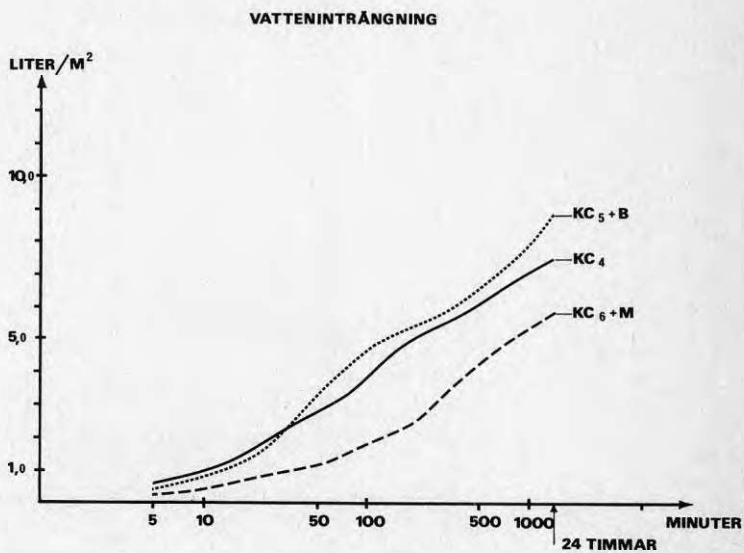


Figur 7.5.  
Bestämning av  
vatteninträngning  
under tryck.

Serie a - De upptagna vattenmängderna i  $l/m^2$  som funktion av tiden är sammanställda i nedanstående diagram, figurerna 7.6 och 7.7. Varje angivet värde är medelvärde från 6 provkroppar, uttagna parvis ur de 3 i varje prov ingående 3 plattorna.



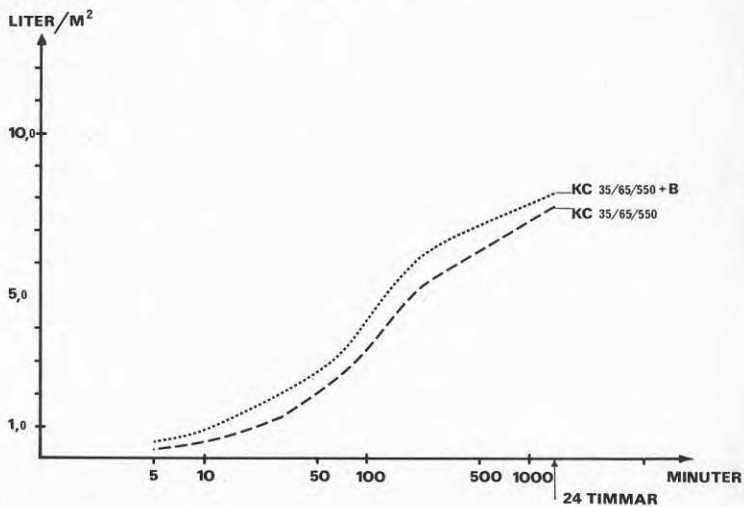
Figur 7.6.  
Vatteninträngning  
serie a.



Figur 7.7.  
Vatteninträngning  
serie a.

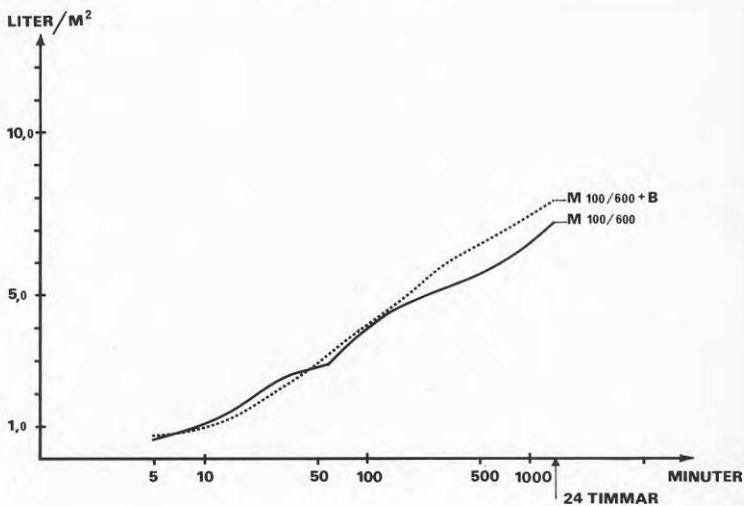
Serierna b och c - De upptagna vattenmängderna anges i l/m<sup>2</sup> som funktion av tiden och är sammanställda i figurerna 7.8 och 7.9. För varje prov uttogs en provkropp ur vardera av de 4 ingående plattorna.

#### VATTENINTRÄNGNING



Figur 7.8.  
Vatteninträngning  
serie b.

#### VATTENINTRÄNGNING



Figur 7.9.  
Vatteninträngning  
serie c.

Av de i figurerna 7.8 och 7.9 för serierna b och c redovisade siffrorna, har vatteninträgningshastighet beräknats för perioderna 0-30 minuter, 30-90 minuter och 90-270 minuter. Värdena redovisas i tabell 7.14 nedan.

Period	Serie b		Serie c	
	KC35/65/550	KC35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
0-30 min	2.6	4.0	4.8	4.4
30-90 min	1.8	2.0	2.0	1.7
90-270 min	0.86	0.86	0.40	0.63

Tabell 7.14.  
Vatteninträgningshastighet  
l/m<sup>2</sup> h.

Bruken i serie a har så varierande sammansättning att adekvata jämförelser inte kan göras.

För serierna b och c ligger vatteninträgningen på samma nivå för oarmerade och fiberarmerade matriser. En liten skillnad - som kan ligga inom ramen för mätfel - kan märkas såtillvida, att vatteninträgningen är något större i fiberarmerade matriser. Om skillnaden är en realitet, kan detta förklaras av att det eventuellt uppkommer sammanhängande diskontinuiteter längs fiberytorna.

Bortsett från det oarmerade bruket M 100/600 uppfylles kraven på täthet enligt Hus AMA, klass P/8 a.

## 7.7 Fuktdiffusion

Fuktdiffusionen bestämdes medelst "skålmotoden" enligt ER-nämndens rapport 3:68, "Torr- och våtmetoden".

Resultaten anges dels - som i den angivna metodbeskrivningen - i  $\text{g}/\text{m}^2 \text{ h mmHg}$ , dels som fuktdiffusionsmotstånd i  $\text{s}/\text{m}$ . Omräkningen har skett enligt planverkets publikation 1975:3 "Fukt- och vattenisolering".

Serie a - Resultaten vid provning enligt våtmetoden redovisas i tabell 7.15 och för provning enligt torrmetoden i tabell 7.16.

	Serie a					
	"KC <sub>1</sub> "	"KC <sub>2</sub> " + B	"KC <sub>3</sub> " + M	"KC <sub>4</sub> "	"KC <sub>5</sub> " + B	"KC <sub>6</sub> " + M
Fuktdiffusion	23.4	17.1	26.5	20.8	12.4	12.9
	24.0	19.6	-	15.2	10.8	12.8
$\text{G}/\text{m}^2 \text{ mm HG}$	22.0	13.2	21.3	21.5	12.3	13.0
Med.värde	<u>23.1</u>	<u>16.6</u>	<u>23.9</u>	<u>19.2</u>	<u>11.8</u>	<u>12.9</u>
Fuktdiffusion	0.15	0.21	0.14	0.17	0.29	0.28
motstånd	0.15	0.18	-	0.24	0.33	0.28
$\text{s}/\text{m} \cdot 10^3$	0.16	0.27	0.17	0.17	0.29	0.28
Med.värde	<u>0.15</u>	<u>0.22</u>	<u>0.16</u>	<u>0.19</u>	<u>0.30</u>	<u>0.28</u>

Tabell 7.15.  
Fuktdiffusion  
resp. fuktdiffu-  
sionsmotstånd.  
"Våtmetoden".

	Serie a					
	"KC <sub>1</sub> "	"KC <sub>2</sub> " + B	"KC <sub>3</sub> " + M	"KC <sub>4</sub> "	"KC <sub>5</sub> " + B	"KC <sub>6</sub> " + M
Fuktdiffusion	0.11	0.19	0.19	0.16	0.07	0.19
	0.09	0.19	0.16	0.14	0.06	0.20
$\text{G}/\text{m}^2 \text{ mm HG}$	0.11	0.20	0.18	0.10	0.15	0.21
Med.värde	<u>0.11</u>	<u>0.19</u>	<u>0.18</u>	<u>0.13</u>	<u>0.09</u>	<u>0.20</u>
Fuktdiffusion	32.7	18.9	18.9	22.5	51.4	18.9
motstånd	40.0	18.9	22.5	25.7	60.0	18.0
$\text{s}/\text{m} \cdot 10^3$	32.7	18.0	20.0	36.0	24.0	17.1
Med.värde	<u>35.1</u>	<u>18.6</u>	<u>20.5</u>	<u>28.1</u>	<u>45.1</u>	<u>18.0</u>

Tabell 7.16.  
Fuktdiffusion  
resp. fuktdiffu-  
sionsmotstånd.  
"Torrmetoden".

Serierna b och c - Resultaten vid provning enligt våtmetoden redovisas i tabell 7.17 och för provning enligt torrmetoden i tabell 7.18.

Tabell 7.17.  
Fuktdiffusion  
resp. fuktdiffu-  
sionsmotstånd.  
"Våtmetoden".

	Serie b		Serie c	
	KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M100/600+B
Fukt- diffusion	8.7 9.9 11.5	10.5 9.9 10.2	9.0 9.6 11.1	10.1 10.3 11.2
G/ $\bar{m}$ mm HG	11.2	8.4	11.3	10.9
Med.värde	<u>10.3</u>	<u>9.7</u>	<u>10.2</u>	<u>10.6</u>
Fukt- diffusion motstånd s/m-10 <sup>3</sup>	0.41 0.36 0.31 0.32	0.34 0.36 0.35 0.42	0.40 0.37 0.32 0.31	0.35 0.35 0.32 0.33
Med.värde	<u>0.35</u>	<u>0.37</u>	<u>0.35</u>	<u>0.34</u>

Tabell 7.18.  
Fuktdiffusion  
resp. fuktdiffu-  
sionsmotstånd.  
"Torrmetoden".

	Serie b		Serie c	
	KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
Fukt- diffusion	0.07 0.12 0.10	0.14 0.08 0.09	0.30 0.14 0.18	0.05 0.16 0.07
G/ $\bar{m}$ mm HG	0.15	0.09	0.19	0.07
Med.värde	<u>0.11</u>	<u>0.10</u>	<u>0.20</u>	<u>0.09</u>
Fukt- diffusion motstånd s/m-10 <sup>3</sup>	48.2 30.8 34.0 24.0	25.7 43.5 38.3 41.9	11.6 26.1 20.3 19.0	83.2 21.6 50.4 54.1
Med.värde	<u>34.3</u>	<u>37.4</u>	<u>19.2</u>	<u>52.3</u>

Provningarna enligt "Våtmetoden" visar ingen skillnad mellan oarmerade och fiberarmerade provkroppar.

Vid provning enligt "Torrmetoden" föreligger inte heller någon nämnvärd skillnad i serie b. Där emot kan man konstatera en svärförklarlig skillnad mellan oarmerat och fiberarmerat murcementbruk i serie c. Fibertillsatsen kan emellertid rimligtvis inte minska fuktdiffusionen och ej heller öka fuktdiffusionsmotståndet så mycket som tabellvärdena anger.

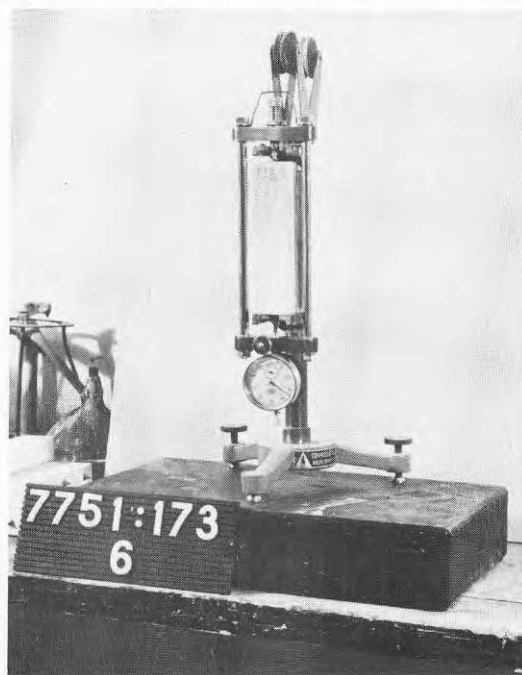
Man bör observera, att provningarna utförts på prismor med något varierande tjocklek, mellan 20 och 25 mm, vilket förklarar de låga och höga värdena på fuktdiffusion respektive fuktdiffusionsmotstånd. Provningar enligt ER-nämnden har utförts på 15 mm tjocka prismor.



## 7.8 Fuktrörelser

Den fria krympningen mellan vattenmättat tillstånd och jämvikt med luft vid 20° C och 50 % relativ luftfuktighet bestämdes på följande sätt:

Rörelserna bestämdes på cirka  $\frac{1}{2}$  år gamla, 40 mm breda och 160 mm långa provkroppar. Dessa försågs i ändarna med mät-dubbar, mättades med vatten genom vattenlagring i 2 dygn och placerades där-efter i ett konditioneringsrum (20° C, 50 % relativ luftfuktighet). Längdändringarna mättes enligt Graf-Kaufmann, se figur 7.10. Försöket avslutades då både vikt- och längdändringarna hade upphört. Mät-dubbarna limmades fast i hål som borrades i provkropparnas ändar. Eftersom putserna var relativt svaga, kunde vissa skador ha uppstått vid borrningen, särskilt hos fiberarmade provkroppar, som var svårborrade.



Figur 7.10.  
Graf-Kaufmanns  
apparat.

Serie a - Resultat.

		Serie a					
		"KC <sub>1</sub> "	"KC <sub>2</sub> " + B	"KC <sub>3</sub> " + M	"KC <sub>4</sub> "	"KC <sub>5</sub> " + B	"KC <sub>6</sub> " + M
		0.47	0.16	0.58	1.51	0.83	0.91
		0.57	0.21	0.56	0.99	1.40	0.85
		0.39	0.27	0.63	1.25	1.10	0.82
Med. värde		<u>0.48</u>	<u>0.21</u>	<u>0.59</u>	<u>1.25</u>	<u>1.11</u>	<u>0.86</u>

Tabell 7.19.  
Fuktrörelse.  
Krympning 0/00.

Serierna b och c - (Resultat.

Tabell 7.20.  
Fuktrörelse.  
Krympning 0/00.

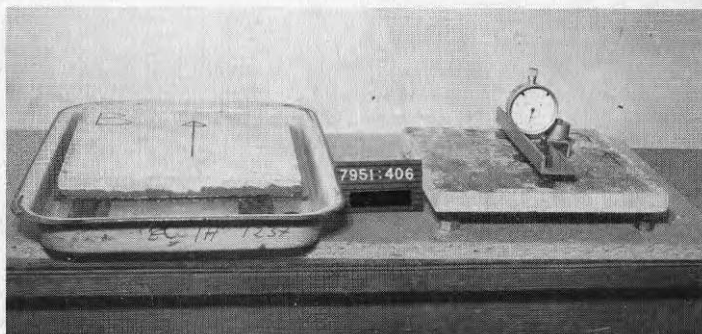
	Serie b		Serie c	
	KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
-		0.60	1.20	0.71
-		0.50	0.93	0.70
-		0.45	1.06	0.64
Med.värde		<u>0.52</u>	<u>1.06</u>	<u>0.68</u>

Den fria krympningen mellan vattenmättat tillstånd och jämvikt vid 20<sup>o</sup> C och 50 % relativ fuktighet är beroende av en mängd parametrar, såsom matrisens täthet, kornstorlek, kornfördelning, fiberhalt, fiberfördelning, fiberorientering m m. Rimligtvis bör fibrer orienterade i rörelseriktningen ha en hämmande effekt på krympningarna. I alla fall utom i kombinationen KC-matris och Meltex-fibrer har konstaterats en sådan effekt. För kombinationen Murcement - Bekaert-fibrer är minskningen så stor som 36 %.

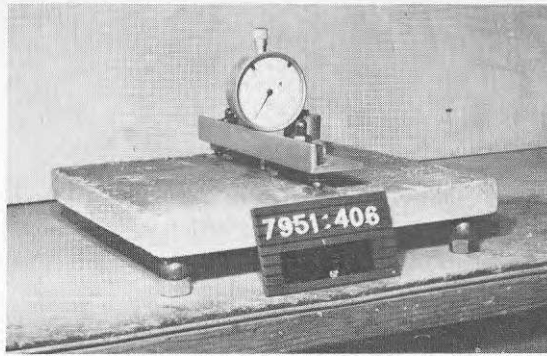
### 7.9 Ensidig fuktning

Inverkan av ensidig fuktning undersöktes på plattor med dimensionerna 250 x 250 mm. På ena sidan av dessa limmades små glasplattor med ett o/c-avstånd av 180 mm som upplag för en krökningsmätare. Efter nollmätning doppades denna sida av plattan 3 mm djupt i vatten under 30 minuter, varefter den genom den ensidiga befuktningen uppkomna krökningen av plattan uppmättes, se figur 7.11. Ytterligare mätningar utfördes efter 60 minuter respektive 24 timmars förvaring i rumsluft då det från ena sidan av plattan upptagna vattnet under dessa tider haft möjlighet att fördela sig i plattan. Plattorna hade då återgått till sin ursprungliga form.

Figur 7.11.  
Till vänster provplatta neddoppad 3 mm i vatten, till höger mätning av krökningen.



Figur 7.12.  
Krökningsmätare  
placerad på prov-  
kroppen.



Resultaten från 30 minuters ensidig fuktning framgår av tabell 7.21.

Serie b		Serie c	
KC 35/65/550	KC35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
35	16	25	11
31	12	-	9
31	13	25	13
MV <u>32</u>	<u>14</u>	<u>25</u>	<u>11</u>

Tabell 7.21.  
Ensidig fuktning  
30 min. Utböj-  
ning i 1/1000 mm.

Fiberarmeringen har mycket gynnsam inverkan på utböjningen, som i stort sett halverats.

#### 7.10 Temperaturrelser

Temperaturrelserna bestämdes på samma provkropppar som fuktrörelserna. Provkropparnas längder mättes efter konditionering vid  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $+10^{\circ}\text{C}$  och  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Längdutvidgningskoefficienterna redovisas i tabell 7.22.

Serie b		Serie c	
KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
$11.3 \cdot 10^{-6}$	$12.3 \cdot 10^{-6}$	$11.0 \cdot 10^{-6}$	$10.7 \cdot 10^{-6}$

Tabell 7.22.  
Längdutvidgnings-  
koefficient.

#### 7.11 Slagprov

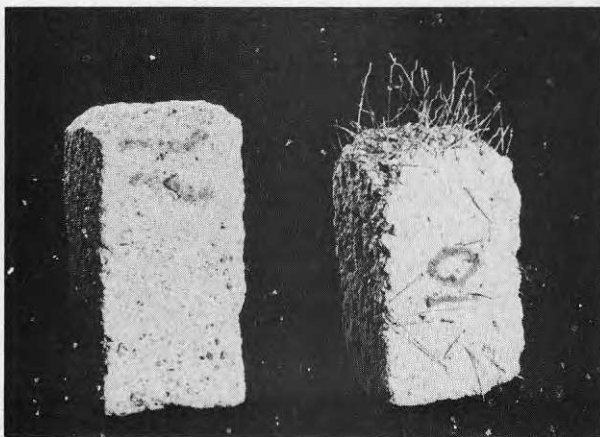
För slagprovning utsågades ur plattorna 20 mm breda remsor, vilka kapades till lämplig längd. Provnigen utfördes i en slagprovare av fabrikat Alpha med 1500 J kapacitet. Slagarbetet anges i relation till provets tvärsnittsarea, ca  $450\text{ mm}^2$ .

Den använda slagprovaren är avbildad på figur 7.13, några provkroppar efter slagningen på figur 7.14.

Provningsresultaten redovisas i tabell 7.23. Dessa kan användas endast för jämförelse av likvärdiga materialslag, t ex olika bruk. Siffrorna kan inte användas för beräkningar.



Figur 7.13.  
Slagprovare. En provkropp insatt för slagprovning.



Figur 7.14.  
Oarmerad och fiberarmerad provkropp efter slagprovet.

## Slagprovning - Resultat.

Serie b		Serie c	
KC 35/65/550	KC 35/65/550+B	M 100/600	M 100/600+B
1.4	13.8	1.4	13.3
1.4	16.9	1.4	18.0
1.4	19.7	1.4	9.1
1.4	13.9	1.4	10.5
1.4	8.2	1.4	9.3
1.4	13.3	1.4	17.9
1.4	12.3	1.4	12.3
1.4	10.1	1.4	13.5
MV <u>1.4</u>	<u>13.5</u>	<u>1.4</u>	<u>13.0</u>

Tabell 7.23.  
Slagseghet  
KJ/m<sup>3</sup>.

I enlighet med tidigare erfarenheter från försök med stålfiberarmerad betong, erhålles en helt annan nivå på slagarbetet vid fiberarmering. Nivån är cirka 10 gånger högre vid armerat bruk jämfört med oarmerat.

## 7.12 Fallprov med kula

Vid dessa försök användes en stålkula med vikten 1.830 gram. Kulan har fritt fått falla från olika nivåer, varvid sprickbildning, sprickmönster, utstötning och utböjning studerats. Plattorna låg vid försöket på mineralullsplattor med densiteten 58 kg per m<sup>3</sup>.

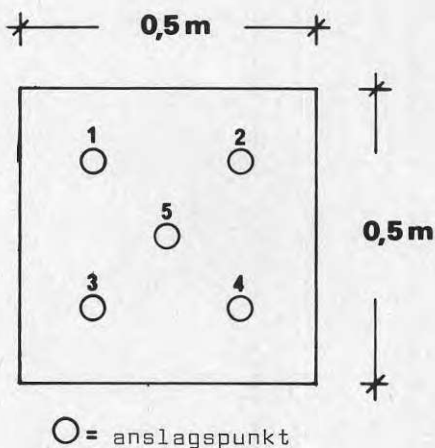
Jämförelser mellan oarmerade och fiberarmerade bruk har utförts vid Statens Provningsanstalt i Göteborg. Jämförelser mellan nätarmerade och fiberarmerade bruk i Stockholm under ledning av tekn.dr Jonas Holmgren.

## 7.12.1 Jämförelse mellan oarmerade och fiberarmerade provkroppar

Efter några orienterande försök på överblivna plattor från serie a konstaterades, att de oarmerade och armerade plattorna reagerade helt olika vid fallprovet. De oarmerade plattorna sprack i 2 - 6 bitar vid fallhöjder omkring 10 cm. De armerade plattorna kunde med den använda kulan och fallhöjder upp till cirka 2 meter inte bringas att sönderfalla i bitar.

Vid en viss fallhöjd observerades på plattans undersida små radiella sprickor utgående från anslagspunkten. Vid större fallhöjder bildades en cirkulär spricka med cirka 100 mm diameter.

Vid fallprov på platta av fiberarmerat bruk utfördes normalt fem prov med fyra av anslagspunkterna belägna på plattans diagonaler mitt emellan plattans mittpunkt och vart och ett av de fyra hörnen och den femte i plattans mittpunkt (se figur 7.15). I sistnämnda punkt utfördes i några fall upprepade prov med ökad fallhöjd till dess en tydlig tendens till genomstansning erhöles, indikerad av en ringformad spjälkningsspricka på plattans undersida. Vid de lägre fallhöjderna erhöles som regel endast fina radiella, från anslagspunkten utgående sprickor. Efter avslutad provning uppmättes dels maximala sprickvidden på plattans undersida i respektive anslagspunkt, dels utbuktningen av plattans yta mätt som avvikelser från planhet på en längd av 130 mm symmetriskt omkring anslagspunkten. Det bör påpekas, att någon planhetsmätning före fallproven ej utförts varigenom en redan före provet befintlig avvikelse från planhet ej kunnat beaktas.



Figur 7.15.  
Skiss över prov-  
platta.

I tabell 7.24 anges uppmätta sprickvidder och utbuktningar. I de fall, där största sprickan utgjorts av en ringformad spjälkningsspricka, har ingen entydig sprickviddsmätning kunnat utföras. Dessa fall har i kolumnen för sprickvidd markerats med S.

## Fallprov med kula - Resultat.

Material	Platta nr.	Anslagspunkt	Fallhöjd cm	Max. sprickvidd mm	Utbuktning mm		
KC 35/65/550	1		5	Inga skador	-		
			10	Sprack i bitar	-		
	2		5	Inga skador	-		
			10	Sprack i bitar	-		
			5	Inga skador	-		
			10	Sprack i bitar	-		
KC 35/65/660 + B	1		70	0,05	0,2		
			80	0,05	0,2		
			100	0,05	0,3		
			110	0,05	0,4		
			120	S	0,8		
	2		80	0,02	0,0		
			90	0,05	0,1		
			100	S	0,3		
			110	0,06	0,2		
			120	S	0,7		
	3		90	0,01	0,2		
			100	0,02	0,1		
			110	0,03	0,4		
			120	0,06	0,3		
130			-	-			
150			-	-			
180			S	1,3			
M 100/600			1		10	Sprack i bitar	-
					15	Sprack i bitar	-
M 100/600+B	1		80	0,01	0,0		
			100	S	0,6		
			90	0,01	0,1		
			100	0,05	0,4		
			100	0,05	0,4		
	2		80	0,00	0,1		
			90	0,00	0,1		
			100	0,01	0,1		
			110	0,05	0,1		
			160	S	0,9		
	3		80	S	0,2		
			80	0,08	0,6		
			90	0,06	0,0		
			100	0,06	0,4		
			100	0,08	0,6		

Tabell 7.24.  
Fallprov med  
kula.

### 7.12.2 Jämförelse mellan nätarmerade och fiberarmerade provkroppar

Som komplement till fallförsök utförda vid Statens Provningsanstalt utfördes under tiden 1980.11.14 - 1980.11.26 provningar med 6 st plattor under samma betingelser. Provningsarna leddes av tekn.dr. Jonas Holmgren.

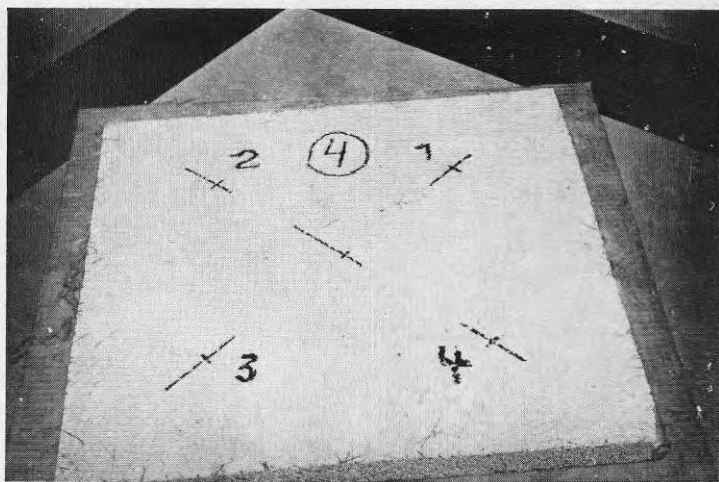
Ungefär två månader före provning sprutades 6 st murcementputsskivor 1 x 1 meter med cirka 25 mm tjocklek. 3 skivor armerades med nät  $\neq$   $\varnothing$  1 mm c 18 mm. 3 skivor försågs med fiberarmering Bekaert ZL 0,35 x 35.

Före provning utsågades centriskt ur varje skiva en platta 0,5 x 0,5 meter samt ur de fiberarmerade skivorna ett stycke för nedkrossning och be-

stämning av fiberhalt. Fiberhalten i plattorna 2, 4 och 6 var 6,2 vikts%.

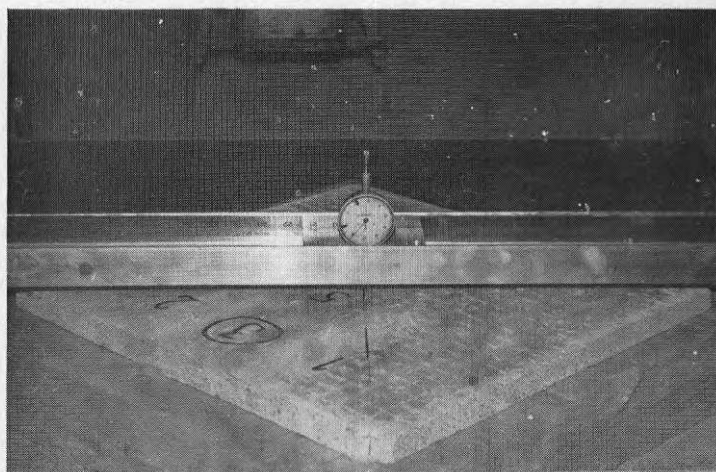
Provplattor med nätarmering har givits udda nummer. Plattor med fiberarmering jämna nummer.

Provplattorna märktes upp med provpunkter och mätpunkter före första släpp (se figur 7.16).



Figur 7.16.  
Uppmärkt prov-  
platta.

Uppmätning av initialutböjning och senare även tillskottsutböjning gjordes på plattornas baksida på en mätsträcka av 130 mm centriskt placerad över respektive anslagspunkt. Härvid lades puts-skivan upp och ned i en ram. En linjal med en flyttbar mätklocka användes för uppmätning av de tre mätpunkternas lägen (se figur 7.17).

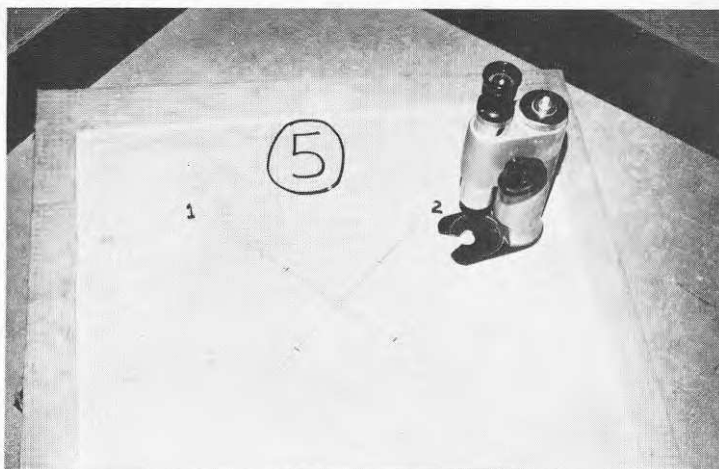


Figur 7.17.  
Mätning av ut-  
böjning.



Vid fallförsöket var skivan lagd på 2 st 50 mm mineralullsskivor med densitet 58 kg per  $m^3$  (Gullfiber fasad 1275). Stålkulan släpptes från varierande höjd mot provpunkterna.

Sprickbredder mättes med sprickmikroskop med en noggrannhet på 0,1 mm (se figur 7.18). Sprickor inritades med svart spritpenna och fotograferades regelbundet.



Figur 7.18.  
Sprickmikroskop.

Plattorna 1, 2, 3 och 4 utsattes för släpp med ökande fallhöjd i provpunkterna 1, 2, 3, 4 och 5. Sprickor och utböjningar registrerades och mättes. Därefter gjordes släpp med ökande fallhöjd (180 cm som mest) mot punkt 5 (plattans centrum). Vid plattorna 1 och 2 gjordes sprickregistrering endast på baksidan.

Plattorna 5 och 6 utsattes endast för släpp mot punkt 5 från 180 respektive 230 cm höjd.

Provningsresultaten för nätarmerade prover framgår av tabell 7.25 och för fiberarmerade av tabell 7.26. Dessutom har maximala sprickbredder på plattans ovan- och undersida som funktion av fallhöjd mot mittpunkten (punkt 5) redovisats för nätarmerade prover i diagram figur 7.19 och för fiberarmerade prover i diagram 7.20.

Resultaten av kröknings- och sprickviddsmätningar vid nätarmerade plattor måste ses mot bakgrunden till att plattorna efter genomgående sprickornas uppkomst ledar kring armeringsnätet (gångjärnsverkan).

## Fallprov med kula, nätarmering - Resultat.

		Nätarmering								
		Platta 1			Platta 3			Platta 5		
		Max. sprickbredd mm		Ut-böjn. mm	Max. sprickbredd mm		Ut-böjn. mm	Max. sprickbredd mm		Ut-böjn. mm
Punkt nr	Fallhöjd cm	Ovan-sida	Under-sida	Ut-böjn. mm	Ovan-sida	Under-sida	Ut-böjn. mm	Ovan-sida	Under-sida	Ut-böjn. mm
1	80	-	-	0.50	0.1	-	-0.08	-	-	-
2	90	-	-	0.17	0.15	-	0.18	-	-	-
3	100	-	-	0.01	0.2	-	0.50	-	-	-
4	110	-	-	0.35	0.2	-	0.27	-	-	-
5	120	0.3	0.3	0.37	0.2	0.4	0.76	-	-	-
5	130	0.6	0.6	0.95	0.6	0.5	1.39	-	-	-
5	150	0.7	0.7 S	1.53	1.0	- S	-	-	-	-
5	180	0.85	0.85 S	-	-	- S	3.55	0.2	0.2 S	1.19
5	230	-	-	-	-	-	-	0.4	0.5 S	3.82

Tabell 7.25.  
Fallprov med  
kula, nätarme-  
ring.

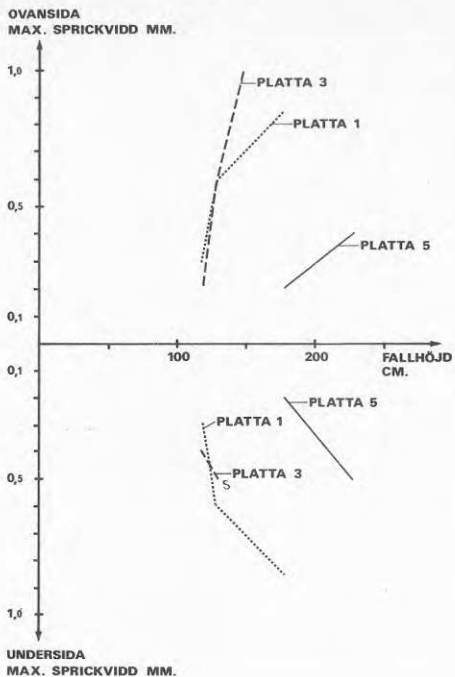
Anm. Utböjningsmätningarna osäkra p g a "gångjärnsverkan" i genomgående sprickor.

## Fallprov med kula, fiberarmering - Resultat.

		Fiberarmering								
		Platta 2			Platta 4			Platta 6		
		Max. sprickbredd mm		Ut-böjn. mm	Max. sprickbredd mm		Ut-böjn. mm	Max. sprickbredd mm		Ut-böjn. mm
Punkt nr	Fallhöjd cm	Ovan-sida	Under-sida	Ut-böjn. mm	Ovan-sida	Under-sida	Ut-böjn. mm	Ovan-sida	Under-sida	Ut-böjn. mm
1	80	-	-	0.17	-	-	0.20	-	-	-
2	90	-	-	0.15	-	-	-0.29 <sup>x</sup>	-	-	-
3	100	-	-	0.31	-	-	0.12	-	-	-
4	110	-	-	0.80	-	-	0.28	-	-	-
5	120	-	-	0.46	-	-	0.65	-	-	-
5	130	-	S	1.40	-	-	0.96	-	-	-
5	150	-	0.1 S	2.84	-	0 S	1.90	-	-	-
5	180	-	0.4 S	4.81	-	0 S	2.57	-	0	1.99
5	230	-	-	-	-	-	-	-	0.2 S	4.02

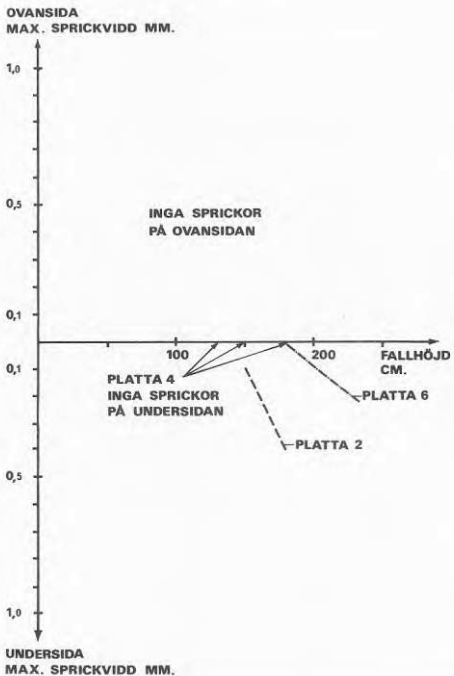
Tabell 7.26.  
Fallprov med  
kula, fiberarme-  
ring.

FALLPROV MED KULA  
NÄTARMERAD MURCEMENTPUTS



Figur 7.19.  
Fallprov med kula,  
nätarmering.

FALLPROV MED KULA  
STÅLFIBERARMERAD MURCEMENTPUTS



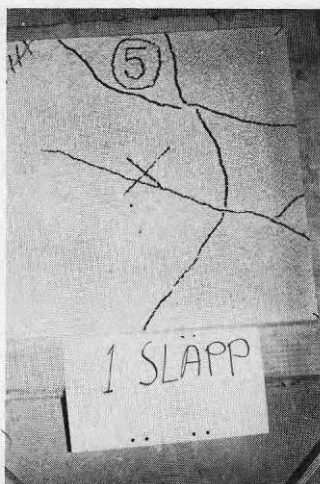
Figur 7.20.  
Fallprov med kula,  
fiberarmering.

Av diagrammen framgår, att sprickvidderna är betydligt mindre vid fiberarmerade provkroppar och att inga mätbara sprickor kan konstateras på plattornas ovansida.

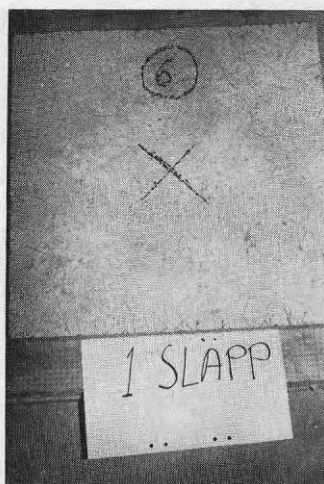
De fiberarmerade plattorna har endast skador lokalt kring anslagspunkten omkring 120 mm medan däremot skadorna vid nätarmerade prover har större utbredning.

Figur 7.21 till 7.25 visar skador och sprickmönster. Sprickorna har markerats med spritpenna. Nätarmering visas till vänster och fiberarmering till höger.

Figur 7.21.  
Plattornas ovansida vid fallhöjd 180 cm. Ett slag mot plattornas mittpunkter. Inga sprickor på den fiberarmerade plattan.

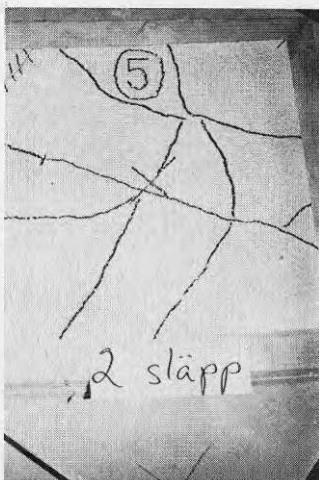


Nätarmerad

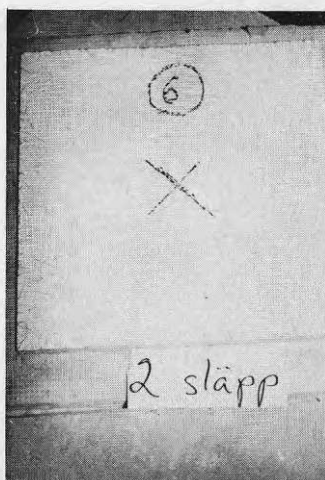


Fiberarmerad

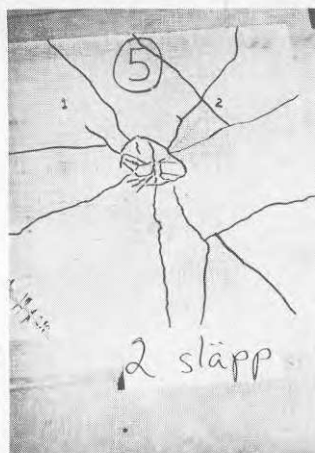
Figur 7.22.  
Plattornas ovansida vid fallhöjd 230 cm. Två slag mot plattornas mittpunkter. Inga sprickor på den fiberarmerade plattan.



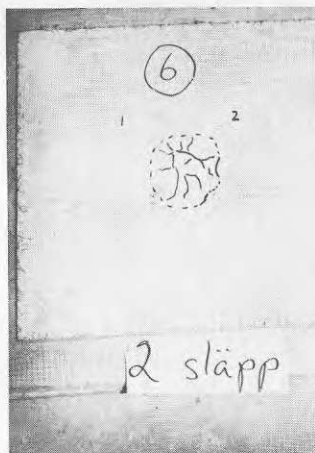
Nätarmerad



Fiberarmerad



Figur 7.23.  
Plattornas baksidor vid fallhöjd 230 cm. Två slag mot plattornas mittpunkter.



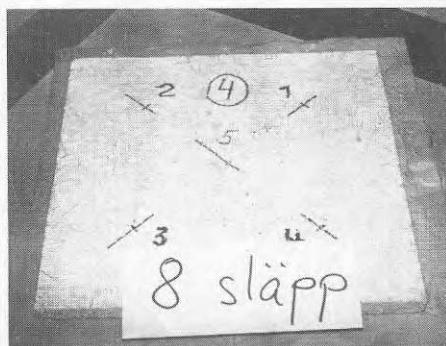
Nätarmerad

Fiberarmerad



Figur 7.24.  
Ovansidorna på provplattorna 3 och 4 efter 8 slag. Slagserie enl. tabellerna 7.25 och 7.26. Inga sprickor på fiberarmerade plattan.

Nätarmerad

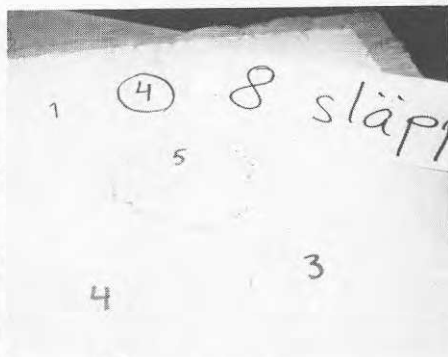


Fiberarmerad



Figur 7.25.  
Baksidorna på provplattorna 3 och 4 efter 8 slag. Slagserie enl. tabellerna 7.25 och 7.26.

Nätarmerad



Fiberarmerad

### 7.13 Frostresistens

Serie a - Frostresistensen bestämdes på sätt som anges i SIS 22 01 11, varvid 250 mm långa och 80 mm breda remsor av putsplattorna användes.

Provkropparna var efter de i standarden angivna 25 frysnings-tiningscyklerna helt sönderfrusna. Eftersom detta resultat kunde ha orsakats av vid sågningen uppkomna kantskador, utfördes nya prov varvid provkropparnas sågade ytor tätades med en hartzparaffinsmälta. Dessutom repeterades provningen med större (25 x 25 cm) provplattor, vars kanter också tätades.

Efter 25 frysningscykler av 80 mm breda prismor observerades följande:

Prov be-  
tecknat:

- "KC<sub>1</sub>" Prismorna helt sönderfrusna.
- "KC<sub>2</sub>" + B Prismorna helt sönderfrusna.
- "KC<sub>3</sub>" + M Prismorna helt sönderfrusna.
- "KC<sub>4</sub>" Ytorna och kanterna sönderfrusna.
- "KC<sub>5</sub>" + B Mindre skador på ytan och kanterna.
- "KC<sub>6</sub>" + M 2 - 4 mm ytavflagningar, kantskador.

Efter 25 frysningscykler av provplattor 25x25 cm observerades följande:

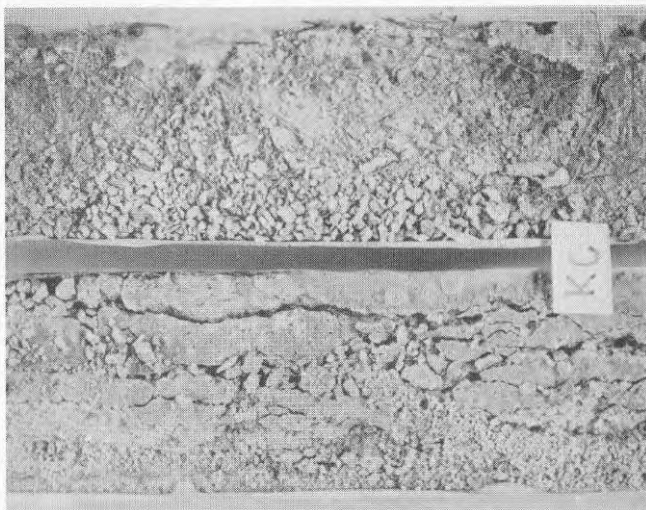
- "KC<sub>2</sub>" + B Prismorna helt sönderfrusna.
- "KC<sub>5</sub>" + B Cirka 2 mm djupa ytavflagningar.

På en särskilt framställd platta av fiberarmerat bruk med ytskikt av oarmerat bruk uppträdde efter 25 frysningscykler 1 - 3 mm djupa ytavfrysningar. Dessa resultat föranledde en särskild undersökning beträffande luftinnehåll eftersom det visade sig, att såväl oarmerat bruk som armerat frös sönder. Samtidigt är det känt, att moderna bruk, som innehåller luftporbildande medel, ger frostresistent a putser.

Resultaten från lufthaltsbestämningarna framgår av kapitel 7.1. Genom att lufthalten minskas under blandnings- och sprutningsskedet, blir putsen inte frostresistent. De provkroppar, som tillverkats på Provningsanstalten och som inte sprutats, uppvisade däremot inga frostsador.

Serierna b och c - Frostresistensen bestämdes på sätt, som anges i SIS 22 01 11, varvid 250 mm långa och 80 mm breda remsor av putsplattorna användes. Dessa tätades på undersidan och kanterna med aluminiumfolie. Samtliga provkroppar hade efter de föreskrivna 25 cyklerna fått mindre eller större frostsador. Orsaken till dessa synes vara den luftförlust, som sker vid blandning och

sprutning (se även kapitel 7.1). Utseendet på några av provkropparna efter avslutad frysprovning visas på figurerna 7.26 och 7.27.



Figur 7.26.  
KC och KC+B  
efter frys-  
provning.



Figur 7.27  
M och M+B  
efter frys-  
provning.

Beträffande luftinnehåll hänvisas till kapitel 7.1. Ett tillräckligt luftinnehåll i den färdiga produkten kan troligtvis erhållas genom en skonsammare blandning och ett större luftinnehåll i ursprungsblandningen.

## 7.14 Korrosionsbeteende

### 7.14.1 Provplattor utan ytskikt

Serie a - Korrosionsbeteendet av de i bruken inbäddade armeringstrådarna undersöktes först på 20 cm långa och 4 cm breda remsor av de armerade plattorna. Denna undersökning utfördes i salt-dimmeapparat enligt SIS 18 41 90. Provningsen pågick i 14 dygn. Eftersom här liknande observationer gjordes som vid frysprovningsen, utfördes även här nya försök med provkroppar, vars snittytor tätats med en hartzparaffinmälta. Ytan på "sprutsidan" var ej täckt med oarmerat bruk, varför fibrerna på denna sida var exponerade i ytan. Dessutom repeterades provningen med större (24 x 24 cm) provplattor, vars kanter också tätades.

På 40 mm breda prismor observerades följande:

"KC<sub>2</sub>" + B och "KC<sub>5</sub>" + B - Hos hela prismor endast för salt-dimme exponerade trådar rostiga. Vid böjprovnings avbrutna och sedan i rumsluft lagrade prismor var trådarna rostiga i exponerade brottsprickor.

På plattor 24 x 24 cm observerades följande:

"KC<sub>2</sub>" + B - Kanterna skadade runt om trots det pålagda skyddet. I ytan liggande stålfibrer avrostade respektive rostiga.

Efter sönderbrytning av plattan kunde observeras, att det förekom rostfläckar i tvärsnittet (porer i bruket).

"KC<sub>5</sub>" + B - I ytan liggande fibrer rostiga respektive avrostade. Efter sönderbrytning av plattan kunde inga rostfläckar i tvärsnittet observeras hos den ena av de provade plattorna, medan sådana förekom särskilt i mitten av tvärsnittet hos den andra plattan. Det är möjligt att där fanns en sprutskarv.



Figur 7.28.  
KC och KC+B efter  
korrosionsprov-  
ning. De fyra  
provkropparna  
till höger oarme-  
rade.





Figur 7.29.  
M och M+B efter  
korrosionsprov-  
ning. De fyra  
provkropparna  
till vänster oar-  
merade.

"KC<sub>3</sub>" + M och "KC<sub>6</sub>" + M - I ett avbrutet snitt före-  
kom enstaka rostfläckar, cirka 1 på 10 exponerade  
trådar. De i bruk inbäddade trådarna var oan-  
gripna.

Serierna b och c - Korrosionsbeteendet av de i  
bruket inbäddade armeringstrådarna undersöktes  
på provkroppar framställda på samma sätt som  
beskrivits under kapitel 7.13, "Frostresistens".  
Provningsen utfördes i saltdimmeapparat enligt  
SIS 18 41 90. Provningsen pågick i 14 dygn. Vid  
en därefter företagen okulärbesiktning kunde kon-  
stateras, att de utstickande trådarna hade rostet  
eller rentav rostet av.

Efter sönderbrytning av provkropparna kunde kon-  
stateras, att spår av rost förekom hos KC-bruket  
i ett 1 - 3 mm tjockt ytskikt av provkropparna  
(mest omkring 1 mm) och i ett 3 - 6 mm tjockt  
skikt hos provkroppar av murcementbruket (mest  
3 - 4 mm). Fotografierna 7.28 och 7.29 visar  
provkropparna efter uttagning ur saltdimmeappa-  
raten.

Resultaten av undersökningen visar, att Meltex-  
fibrer från korrosionssynpunkt är lämpligare än  
Bekaert-fibrer. Vid användande av Bekaert-fib-  
rer rostar utstickande trådar av. Vid KC-bruk  
förekommer inga skador på djupet. Vid Murcement  
förekommer spår av rost något djupare.

## 7.14.2 Provplattor med ytskikt

Serierna b och c - Mot bakgrunden till att en fiberarmerad puts vanligtvis förses med ett färgat ytskikt av KC-baserat bruk eller ett motsvarande avjämnings-skikt som underlag för målningsbehandling, utfördes också försök på sådana provkroppar.

I samtliga fall avjämnades den fiberputsade ytan med ett tunt skikt utan fibrer med tjocklekar mellan 2 - 10 mm. Inte i något fall förekom rostgenomslag. Resultaten framgår av tabell 7.27.

Fiberputs- typ	Tjock- lek mm	Avjämnings- påslag typ	Tjock- lek mm	Vtbehandling typ	Tjock- lek mm	Rost- utslag från fiber- putsen
KC-bruk	27	KC 2:1:12	8	Stänkputs	4	Inga
KC-bruk	28	KC 2:1:12	10	Spritputs	2	Inga
KC-bruk	24	KC 2:1:12	8	Silikatfärg	< 1	Inga
KC-bruk	36	KC 2:1:12	4	Silikatfärg	< 1	Inga
Murcement	36	Murcement	8	Stänkputs	4	Inga
Murcement	29	Murcement	12	Spritputs	2	Inga
Murcement	21	Murcement	9	Silikatfärg	< 1	Inga
Murcement	41	Murcement	4	Silikatfärg	< 1	Inga

Tabell 7.27.  
Resultat från  
korrosionsprov.

## 7.15 Förhindrad krympning vid snabbt insättande uttorkning

Förhindrad krympning i samband med fiberarmerad betong har bl a undersökts av Bo Malmberg (Fiberbetong, Nordforsks projektkommitté för FRC-material, Stockholm 1977).

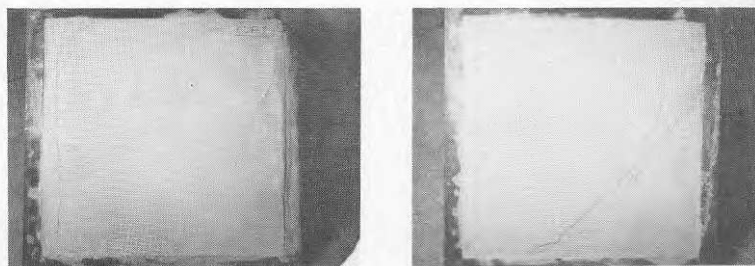
Resultaten från denna undersökning torde i princip vara tillämpliga även vid fiberarmerad puts, särskilt med tanke på den överensstämmelse som konstaterats vid jämförelse mellan cementbaserade och KC- respektive murcementbaserade matriser, exempelvis böjdraghållfasthet, arbetsupptagande förmåga, fri krympning m m.

Fasadputs utsätts ofta för stark uttorkning med risk för sprickbildning.

Några enkla prover har därför utförts för att jämföra fiberarmerad och oarmerad puts i ett korttidsperspektiv. Fiberarmerad respektive oarmerad puts utsattes för uttorkning vid en temperatur av cirka +30°. Luftomsättningen var måttlig. 4 st prover har utförts med murcementmatrix M 400/600: 2 st fiberarmerade och 2 st oarmerade. Provningsen har utförts i ställådor med måtten 600 x 600 x 20 mm. Lådorna har tillverkats av 6 mm stålplåt. Runt kanterna har lådorna förstyvats med L-järn 45 x 45 x 5 mm. För att förankra putsskiktet utefter sidorna, har avsågade 5" spik

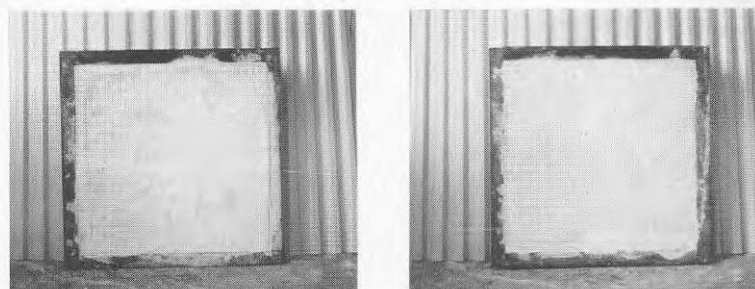
svetsats fast runt kanterna med ett c/c-avstånd av 30 mm. Spikens utstickande längd 30 mm. Lådornas bottnar har täckts med plastfolie för att förhindra vidhäftning mot bottnarna.

Två timmar efter det att putsen applicerats i lådorna utsattes proverna liggande för en temperatur av + 29<sup>o</sup> C. Temperaturen åstadkoms genom fläktar, som blåste varmluft på provkropparna. Efter 1 dygn restes provlådorna. Observationer gjordes efter 2 timmar, 5 timmar, 1, 2, 3 samt 7 dygn. Några synliga sprickor kunde inte observeras förrän efter 3:e dygnet, då sprickor hade uppstått på de oarmerade provkropparna OA1 och OA2, sprickvidder omkring 0,2 mm. Se figur 7.30.



Figur 7.30.  
Oarmerade prov-  
kroppar efter  
3 dygn.

Efter 7 dygn observerades ytterligare en spricka på provkropp OA1. Sprickan på OA2 hade vidgats något och uppgick till max 0,3 mm, se figur 7.31.



Figur 7.31.  
Oarmerade prov-  
kroppar efter  
7 dygn.

På de fiberarmerade provkropparna upptäcktes ingen sprickbildning.

Vid putsarbeten utförda i verkligheten under o-  
gynnsamma förhållanden kan säkert temperaturer  
upp till +80° C uppstå. Erfarenhetsmässigt kom-  
mer då självklart sprickbildningen betydligt  
snabbare p g a den hastigare vattenavgången.  
Oavsett temperaturområde, hastigheten i vatten-  
avgång, torde fiberarmeringen ha en gynnsam ef-  
fekt på uppkomsten och fördelningen av sprick-  
bildning i samband med snabb uttorkning.

## 8 FÄSTANORDNINGAR

Serie a - Största användningsområdet för fiberarmerad puts torde bli puts på tilläggsisolering. Hur putsskiktet då skall förankras i byggnadens stomme är en väsentlig fråga. I princip torde alla nu vanliga upphängningssystem kunna användas, exempelvis Serporocksystemet, infästningar enligt tekn.dr Arne Johnsons system etc.

En viktig fråga är hur själva förankringsorganet skall vara utformat för att få ett gott fäste i den fiberarmerade putsen.

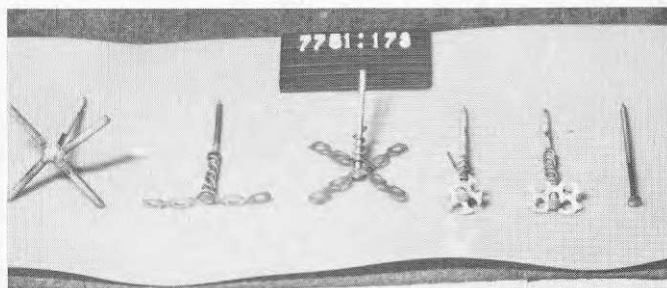
Med anledning av detta har några inledande försök utförts, där förankringsorganet utgjorts av en rostfri kamspik med huvud. Jämförande prover har utförts med olika tilläggsanordningar för att förbättra infästningen i fiberputsen. Samtidigt har utdragsprover utförts på spik inslagna i träreglar.

Ett upphängningssystem med träreglar är ett vanligt utförande och förankringen av putsskiktet kan då ske med rostfri spik med utstickande huvud.

## 8.1 Fästeanordningens förankring i fiberputs

En platta sprutades upp på underlag av Siporex. På underlaget, som kring varje islagen spik urgröptes till cirka 5 mm djup, sprutades stålfiberarmerad puts. Förutom försöket med enbart kamspiken (kamspik 75 x 3,0 mm, kamförsedd del 45 mm), gjordes olika försök med på olika sätt utformade bricker och kryss enligt nedanstående förteckning och figur 8.1.

1. Fastsvetsat kryss.
2. Perforerad plåtremsa.
3. Kryss av perforerad plåt.
4. Perforerad plåtskiva cirkulär.
5. Perforerad plåtskiva rektangulär.
6. Spik utan tilläggsanordning.



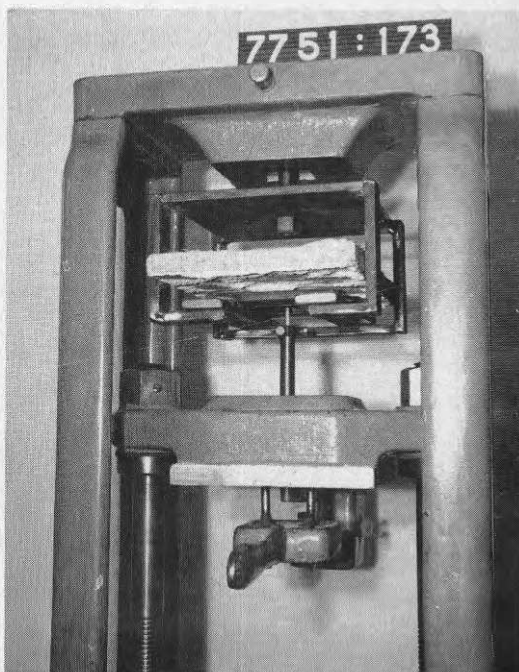
Figur 8.1.  
Provade fäst-  
anordningar.

Putsbruket sprutades på i tre omgångar: 5 mm fyllning av groparna samt två skikt á 10 mm. Före provningen avlägsnades gasbetongen och plattan sågades upp i kvadratiska bitar med var sin spik i mitten av provkroppen.



Figur 8.2.  
Provplattans utseende sedan lättbetongen avlägsnats.

Provkroppen monterades med spikspetsen stucken genom ett  $\varnothing$  70 mm hål i en 25 mm tjock stålplåt. Dragkraften ansattes i spikens kamförsedda del. Den högst uppnådda lasten betecknas som brottlast. Sedan denna uppnåtts, kan spiken dras ut ytterligare någon cm innan lasten sjunker till halva brottlasten.



Figur 8.3.  
Provningsanordning för utdragning av inputsad spik.



Figur 8.4.  
Försöket avslutat.  
Spiken utdragen.



Figur 8.5.  
Spik med cirkulär  
bricka utdragen  
ur fiberputsen.

Spikar med på dessa fastsatta tilläggsanordningar för utbredning av spikskallen gav vid utdragsprov följande resultat:

Typ av förankring	Utdragskraft, N Medelvärde av två prov
Fastsvetsat kryss	3450
Perforerad plåtremsa	3250
Kryss av perforerad plåt	2200
Perforerad plåtskiva, cirkulär	4080
Perforerad plåtskiva, rektangulär	3100
Spik utan tilläggs- anordning	3350

### 8.2 Fästanordningens förankring i träregel

Som jämförelse gjordes utdragsprov på samma kamspik islagna till 45 mm djup (kamgångad del) i furuvirke. Spiken drogs ut ur såväl torrt som vattenlagrat virke.

Utdragskraften i N för de använda kamspikarna islagna i torrt respektive vått furuvirke var följande:

Utdragskraft, N för islagen spik	
i torrt virke	i vått virke
850	1150
1250	1050
1110	1000
1115	1100
1200	950
MV <u>1110</u>	MV <u>1030</u>

Av resultaten framgår, att tilläggsanordningarna inte gav någon nämnvärd förbättring i förhållande till endast spikskallen, sannolikt p g a inbäddningssvårigheter i bruket. Utdragskraften för att dra ut spiken ur den fiberarmerade putsen är också 3 - 4 gånger större än utdragskraften för spik i träregel. Någon tilläggsanordning för förankring i fiberbetongen är sålunda inte nödvändig vid ett förankringssystem som det ovan beskrivna.

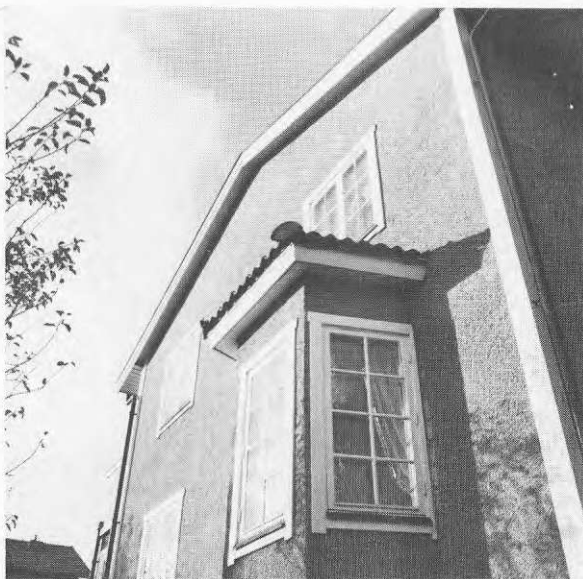


## 9 UTFÖRDA ARBETEN

När det gäller stålfiberarmerad sprutbetong har sedan några år ganska omfattande arbeten utförts huvudsakligast inom området bergförstärkning, men fiberarmerad sprutbetong används även inom andra områden såsom vid reparation av skadad betong, brand- och korrosionsskydd, skalkonstruktioner, tunna element m m.

Några mindre arbeten med fiberarmerad puts har också utförts och skall i korthet beskrivas nedan.

På en tvåvåningsvilla i Göteborg har stålfiberarmerad puts använts i samband med tilläggsisolering, se figur 9.1.



Figur 9.1.  
Tvåvåningsvilla  
försedd med ut-  
vändig tilläggs-  
isolering av mi-  
neralull, ytskikt  
av stålfiberarme-  
rad puts.

Två olika system har använts för att förankra putsskiktet i stommen. I ena fallet användes stående regler som fastsattes i väggen med rostfria förankringsorgan. I reglarnas framkant applicerades rostfria kamspik 75,0 x 3,0 mm (se kapitel 8.1) med ett c/c-avstånd av cirka 200 mm. Spiken slogs in så långt, att 15 mm blev kvar utstickande. Den fiberarmerade putsen sprutades - efter det att en lättgrundning utförts - direkt mot mineralullsskivorna. Tjocklek cirka 20 mm. Fiberputsens täcktes med en genomfärgad spritputs.

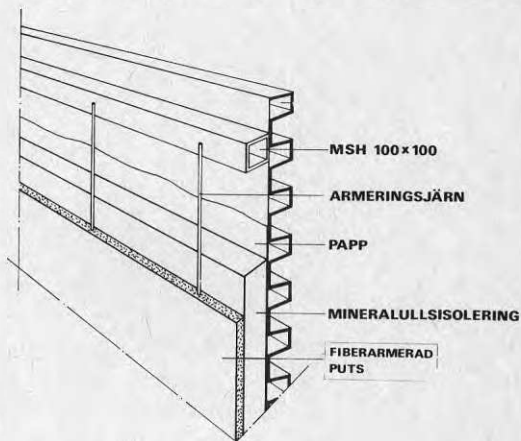
I andra fallet användes inte regler och spik som fästorgan för putsen. I stället gjöts en ny sockel förankrad vid den gamla. På denna sockel "ställdes" sedan putsskiktet. För att förhindra

"tippning" förankrades putsskiktet punktvis med en särskild rostfri spik med bricka. Spiken med bricka användes även vid monteringen av mineralullsskivorna. Putsskiktet applicerades på samma sätt som i första fallet.

Objektet följs upp kontinuerligt. Under de två år, som gått sedan objektet utförts, har ingen sprickbildning eller andra olägenheter kunnat konstateras.

Ytterligare några arbeten av samma karaktär har utförts i Göteborgsregionen.

Fiberarmerad puts har också kommit till utförande i samband med invändiga yttskikt på mineralull i en industribyggnad. Stommen var i detta fall utförd av prefabricerade betongpelare och balkar. Väggen består utifrån räknat av profilerad plåt, mineralull och puts, se figur 9.2 och figur 9.3.



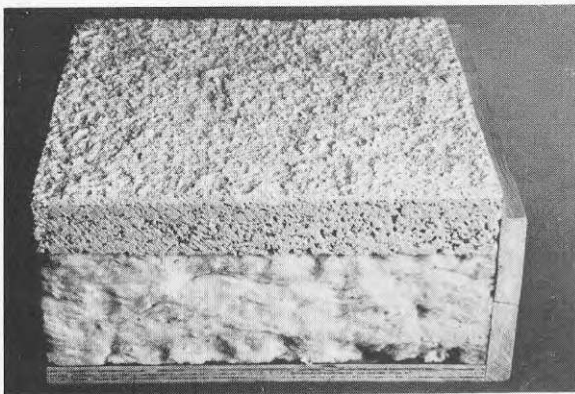
Figur 9.2.  
Fiberarmerat  
putsskikt som in-  
vändig beklädnad  
på mineralulls-  
isolering.



Figur 9.3.  
Industribyggnad  
försedd med in-  
vändig beklädnad  
av fiberarmerad  
puts.

En viss del av byggnaden har utförts med cirka 20 mm tjock fiberarmerad puts, under det att andra delar utförts med nätarmerad dito. Nätarmeringen utgörs av kycklingnät. Putsskiktet är förankrat i vertikala armeringsstänger, som fixerats i liggande stålreglar (se figur 9.2). Närtill står putsskiktet på en betongsockel.

I samtliga fall, där nätarmering använts, kan sprickbildningar konstateras, huvudsakligast vertikala sådana. Den fiberarmerade delen är sprickfri. Något täckskikt på den fiberarmerade putsen förekom inte. Enstaka fibrer sticker fram ur ytan men innebär i detta fall inte någon olägenhet.



Figur 9.4.  
Utsågat avsnitt  
av fiberarmerad  
puts sprutad mot  
mineralullsiso-  
lering.

## 10 SAMMANFATTNING

Rapporten behandlar stålfiberarmerad puts egenskaper vid användandet av två bindemedelstyper - kalk/cement och murcement - i kombination med två olika typer av stålfibrer.

Tryck-, böjdrag- och tvärdraghållfasthet har provats. Vissa fysikaliska egenskaper såsom vattenabsorption, vatteninträngning, fuktdiffusion, fukt- och temperaturrörelser, inverkan av ensidig fuktning, frostresistens, korrosionsbeteende och förhindrad krympning har undersökts. Dessutom har jämförelse gjorts mellan konventionellt armerad och fiberarmerad puts beträffande motståndskraften mot slag (fallprov med kula).

Det har visat sig att fibrerna - på samma sätt som vid sprutning av fiberarmerad betong - orienterar sig i stort sett tvådimensionellt parallellt med underlaget. Denna orientering är i de flesta fall fördelaktig.

Vid provning av böjdraghållfasthet på fiberarmerad puts, har värden mellan 6 - 9 MPa erhållits. Jämfört med oarmerad puts har böjdraghållfastheten ökat 2 - 3 gånger.

Stålfiberarmering ger en väsentlig förbättring av slagsegheten. Den armerade matrisens slagseghet var i nivån 13 KJ/m<sup>2</sup>, den oarmerade 1,4 KJ/m<sup>2</sup>.

Tvärdraghållfastheten ökar obetydligt p g a att fibrerna huvudsakligast är orienterade vinkelrätt mot dragriktningen.

En stor nackdel vid puts på svaga underlag, exempelvis mineralull, är känsligheten för mekanisk åverkan. Vid jämförelse med nätarmerad puts har, vid prov med fallande kula, fiberarmeringen avsevärt förbättrat motståndskraften mot sprickbildning, framför allt på anslagssidan. Där sprickor uppstod var dessa små och väl fördelade. Man får inte som vid sprucken nätarmerad puts någon "gångjärnsverkan".

Den arbetsupptagande förmågan räknat som ytan under last-nedböjningsdiagrammet fram till 75 % av max.lasten, är cirka 75 gånger högre än för oarmerade prover.

Fiberarmeringen synes inte påverka vattenabsorptionen vid vattenlagring. Vatteninträngningen under tryck ligger på samma nivå för oarmerade och armerade provkroppar. Den är något större vid fiberarmerade bruk, men skillnaden är obetydlig.

Vid jämförelse av fuktrörelser mellan armerad och oarmerad matris, har stora skillnader uppmätts. Fiberarmerad puts krymper mindre vid uttorkning.

Vid förhindrad krympning i samband med snabb uttorkning motverkar fibern uppkomsten av krympsprickor.

Vid mätning av utböjning i samband med ensidig fuktning, har fiberarmeringen gynnsam inverkan. Utböjningen var med fiberarmering ungefär hälften så stor som vid provkroppar utan fibrer.

Några säkra skillnader i temperaturrörelser har ej konstaterats mellan armerad och oarmerad matris.

Vid korrosionsproven har konstaterats, att Meltex-fibrer är mindre känsliga än Bekaert-fibrer (dragen tråd). Utstickande Bekaert-fibrer rostar av intill bruksytan. Vid provkroppar utan ytskikt med utstickande Bekaert-fibrer i kombination med murcement, har konstaterats spår av rost i ett skikt cirka 3 mm från ytan. Vid provkroppar försedda med täckskikt förekom inga skador.

Såväl oarmerade som fiberarmerade provkroppar har visat dålig frostresistens. I båda fallen har konstaterats så stora luftförluster vid blandnings- och appliceringsmomenten, att provkropparna inte i något fall innehållit rekommenderad luftmängd.

Prov med olika typer av förankringsorgan har utförts. Dessa förefaller kunna utföras mycket enkelt. Utdragskraften ur den fiberarmerade putsen för en rostfri spik med huvud, har ett medelvärde av 3.350 N, vilket är 3 - 4 gånger högre än utdragskraften för en spik i en träregel.

Fiberarmerad puts har många positiva egenskaper särskilt intressanta vid putsning på svaga underlag. Konstruktivt erhålls ett jämnstarkt tvärsnitt, som har samma lastupptagande förmåga oavsett belastningsriktning. Egenskaper som hög draghållfasthet, god arbetsupptagande förmåga, fördelaktig sprickfördelning och hög slagseghet är värdefulla då puts appliceras på svaga underlag. Liten utböjning vid ensidig fuktning och små rörelser vid varierande fuktförhållande är också värdefulla egenskaper.

För både oarmerad och fiberarmerad puts har erforderlig frostresistens inte uppnåtts. Detta torde kunna avhjälpas med en större lufttillsats i ursprungsblandningen.

Stålfiberarmerad puts bör förses med ett ytskikt, exempelvis av sprit- eller stänkputs, KC-färg eller liknande, för att förhindra missfärgning från rostande fibrer.

Arbetstekniskt försvinner det traditionella armeringsmomentet, vilket är en fördel. Stor noggrannhet och yrkesskicklighet fordras emellertid vid utförandet för att få en homogen produkt.

## LITTERATUR

ACI, 1974, Fiber reinforced concrete, American Concrete Institute, Publication SP-44, Detroit.

Dührkop, H, Saretok, V, Sneck, T & Svendsen, S D, 1966, Bruk, murning, putsning. (Statens råd för byggnadsforskning). Stockholm.

Elmarsson, Bengt, 1979, Puts på tilläggsisolering, Tio experimentbyggnadsprojekt för prov av olika metoder. (Statens råd för byggnadsforskning).

Hagman, Folke, 1978, Puts som ytskikt på mineralull och cellplast. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R8:1978.

Hannant, D J, 1978, Fibre cements and fibre concretes, John Wiley & Son's Ltd.

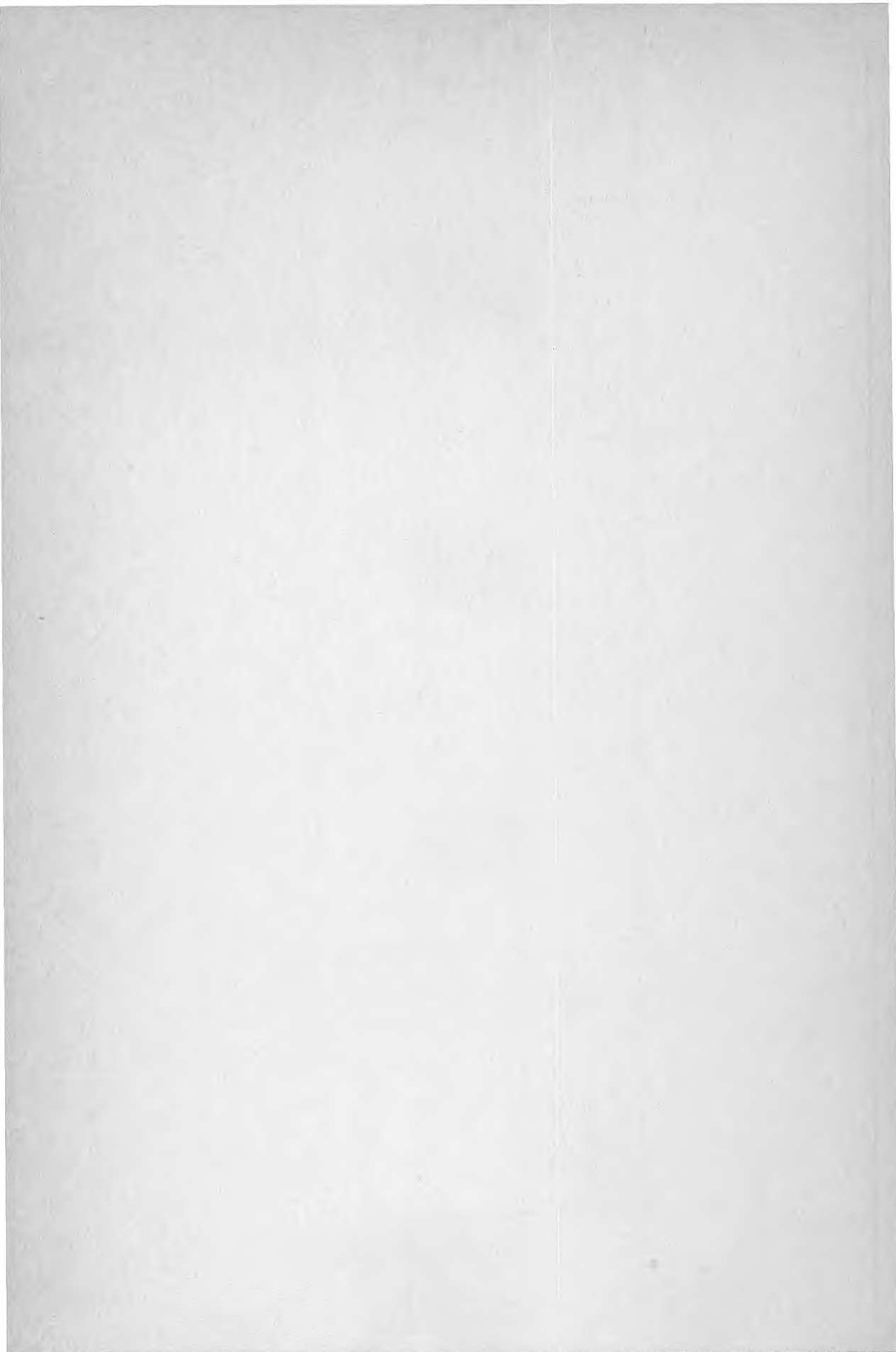
Henages, C H, 1980, New developments in steel fibrous shotcrete, Concrete construction, March 1980.

Johnston, Colin, D, 1980, Fibre reinforced concrete, Progress in concrete technology, Ottawa, Canada.

Nordforsk, 1977, Fiberbetong, Nordforsk projekt-kommitté för FRC-material, delrapporter och huvudrapport, Stockholm.

RILEM, 1975, Fiber reinforced cement and concrete, RILEM symposium, 1975, The Construction Press Ltd, Hornby, Lancaster.

Sandell, Bertil, 1978, Våtsprutad stålfiberarmad betong. (Statens råd för byggnadsforskning). Rapport R87:1978.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
771202-1 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Betongsprutnings AB, BESAB, Göteborg.**

**R1: 1982**

**ISBN 91-540-3640-2**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700501**

**Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner o. material**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**

STATENS RÅD FÖR BYGGNADSFORSKNING