



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

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



Rapport

R40:1985

Stålfiberbetong

Tillämpning och provning

Arvo Miller

*R
9/10*

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

Byggeforskningsrådet

R40:1985

STÅLFIBERBETONG

Tillämpning och provning

Arvo Miller

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
770102-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Institutet för Innovationsteknik, Stockholm

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

R40:1985

ISBN 91-540-4354-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | Sid |
|--|-----|
| 1. INLEDNING | 1 |
| 2. TEORETISKA OCH PRAKTISKA SYNPUNKTER PÅ FIBERBETONG | 1 |
| 2.1 Fiberdimensioner | 1 |
| 2.2 Fiberorientering | 6 |
| 2.3 Fiberfördelning | 8 |
| 3. INSTALLATIONSGOLV | 9 |
| 3.1 Golvplattor för datacentraler | 9 |
| 3.2 Produktionsteknik | 11 |
| 3.3 Stödben | 13 |
| 3.4 Brandprovning | 14 |
| 3.5 Golvplattor för butikshallar | 16 |
| 4. INREDNINGAR I SVINSTALLAR | 16 |
| Skärmväggar | 17 |
| Utfyllnader | 19 |
| 5. LOCK FÖR URINRÄNNA I STALLAR | 21 |
| 6. BALKONGFRONTER | 24 |
| 7. STAKET | 26 |
| 8. KRAFTLEDNINGSSTOLPAR | 30 |
| 9. SKIVMATERIAL | 36 |
| 10. UTVÄRDERING AV HÅLLFASTHETSDATA | 38 |

1. INLEDNING

Avsikten med projektet har varit att underlätta introduktionen av fiberbetong i första hand beträffande nya tillämpningar, dimensionering och provning. Arbetet har utförts tillsammans med Precon AB Falkenberg, Ingvar Sällström, avseende en rad olika tillämpningar och med Byggnadsfirman Forss & Son AB Stockholm, Stig Peterzén, avseende framställning av skivmaterial.

I det följande behandlas

- motiv för produktutval och produktutformning
- belastningsförutsättningar och eventuella andra funktionskrav
- konstruktiva lösningar och dimensionering
- tillverkningstekniska problem
- provning och utvärdering av hållfasthetsdata

De produkter, som har kommit till praktisk användning, har kunnat följas under 2 - 4 år och har visat sig motsvara ställda förväntningar.

Behov har konstaterats av nya tillverkningsmetoder som möjliggör användning av längre fibrer. De fibrer, som kan användas vid konventionell blandningsprocess, utnyttjas inte effektivt. Vid brott dras fibrerna genomgående ut ur betongen utan att uppnå fibrernas brottspänning.

2. TEORETISKA OCH PRAKTISKA SYNPUNKTER PÅ FIBERBETONG

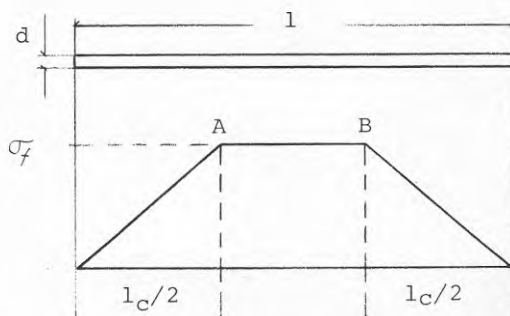
2.1 Fiberdimensioner

Bearbetbarheten hos stålfiberbetongmassa bestämmer vid konventionell blandningsprocess fiberutformningen och den maximala fibertillsatsen. Fibrer med ett lågt längd-diameter förhållande (l/d) ger god arbetbarhet medan ett högt l/d fordras för att uppnå högre hållfasthetsdata. Man har funnit att ett optimalt l/d -förhållande vid konventionell blandning är ca 100.

De tunnaste fibrer, som är allmänt tillgängliga, har en diameter av 0,25 - 0,30 mm. En optimal fiberlängd för dessa fibrer är således 25 - 30 mm. Vid en fiber-volym av 1,5% erhålls en relativt lätt bearbetbar betongmassa. Ökas fiberlängden till 40 - 50 mm vid oförändrat l/d -förhållande sker en viss försämring av ar-

betbarheten medförande i allmänhet att fibervolymen måste sänkas något. Med arbetbarhet menas såväl blandning som dosering och utläggning.

En fiber med diameter d och längd l belastas genom den omgivande matrisen. Belastningen sker genom skjuvkrafter τ och fiberspänningen σ_f stiger tills brott inträffar.



Fiberspänningen ökar från fiberändarna och om fibern är tillräckligt lång uppnås fiberns brottspänning mellan A och B och brott uppstår någonstans inom detta område.

Det framgår att korta fibrer, mindre än l_c , inte uppnår brottspänningen utan dras ut ur matrisen. Detta innebär ett ineffektivt utnyttjande av fibrer och därför bör fiberlängden vara större än den kritiska fiberlängden l_c eller

$$\frac{l_c}{d} > \frac{\sigma_f}{2\tau}$$

Fiberlängden l_c är beroende av τ och minskar t ex vid lägre vct och när matrisen hårdnar. τ kan vidare vara beroende av fiberns ytbeskaffenhet och diameter.

Beträffande vidhäftningen mellan fiber och matris skiljer man mellan elastisk skjuvbindning A och friktionsbindning B. I det senare fallet sker en utdragning av fibern.



Av intresse är storleken av bindningskrafter mellan fibrer och matris. I de flesta undersökningar har uppgivits data på medelvidhäftning, som varierar mellan 0,8 och 13 N/mm². I ett fall uppges den elastiska skjuvbindningen till 9 N/mm² och i tre fall friktionsbindningen till 3 - 10 N/mm² (1). Undersökningar är utförda både med cementpasta, bruk och betong.

Vidhäftningen mellan stålfibrer och betongbruk² förbättras med tiden och kan antas uppnå 5 - 10 N/mm². Tabellen nedan visar hur den kritiska fiberlängden varierar med vidhäftningen vid en fiberstyrka av 2000 N/mm².

| | | Kritisk fiberlängd l_c mm | | |
|---------------------|-------|-----------------------------|-----|--------|
| τ | $d =$ | 0,3 | 0,4 | 1,0 |
| 1 N/mm ² | | 300 | 400 | 1000 |
| 5 " | | 60 | 80 | 200 |
| 10 " | | 30 | 40 | 100 |
| Använd fiberlängd | | 25-30 | 40 | ca 500 |

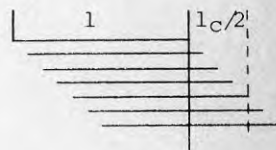
Diametrar 0,3 och 0,4 används vid konventionell blandning och vanligen torde uppnås en vidhäftning av ca 5 N/mm². Detta innebär att den kritiska fiberlängden är 60 - 80 mm och att vid den använda fiberlängden 25 - 40 mm fibrernas styrka inte utnyttjas. Vid brott dras fibrerna genomgående ut ur matrisen. Av praktiska skäl kan man inte minska fiberdiametern.

Behov föreligger av produktionsmetoder där man kan utnyttja längre fibrer. Frågan är hur långa fibrerna lämpligen bör vara för att dels utnyttja fiberstyrkan dels bibehålla de seghetsegenskaper som karakteriserar fiberbetong.

Vid tidig betongålder dras även mycket långa fibrer ut ur betongen på grund av att vidhäftningen är sämre och den kritiska fiberlängden således lång. Brottenergi och slagseghet är höga. Åldrandet förbättrar vidhäftningen och reducerar den kritiska fiberlängden. Fiberbrott kan nu uppstå i kortare fibrer. Som en följd därav sker en viss minskning av brottenergin och segheten.

Effekten av fiberlängden kan åskådliggöras med följande figur.

Endast de fibrer, som sticker ut längre än $l_c/2$, kan betraktas som fullt effektiva. De kan uppta last tills de går av. Samtidigt kommer fibrer eller fiberändar kortare än $l_c/2$ att dras ut.



Uttryck av följande typ har härletts för längdeffektivitet.

$$\eta = 1 - \frac{l_c}{2l}$$

| | | | | | |
|---------|-----|-----|------|------|----------|
| l/l_c | 0,5 | 1,0 | 2,0 | 3,0 | ∞ |
| η | 0 | 0,5 | 0,75 | 0,83 | 1,0 |

Som tidigare visats kan man vid konventionell blandning och vid maximal vidhäftning uppnå en kritisk fiberlängd som är lika med den fiberlängd som praktiskt kan användas, $l = l_c$ ger en längdeffektivitet av 0,5. Styrkemässigt är det fördelaktigare att arbeta med en fiberlängd motsvarande ca 2 - 3 l_c .

I fig 1 återges böjdraghållfasthet för fiberbetong armerad med dels korta fibrer 30 - 40 mm, $l/d = 100$ dels med långa fibrer 500 mm, $l/d = 500$. Fibrerna är i huvudsak endimensionellt orienterade. Styrkeökningen är påtaglig vid det större l/d -förhållandet.

I samma figur har hållfasthetsdata återgetts som funktion av $v_f l/d$ d v s fibervolym multiplicerad med längddiameterförhållandet. I det här fallet tycks de korta och tunna fibrerna vara effektivare än de långa och grövre. Detta torde sammanhånga med att antalet tunnare fibrer är större och har ett mindre avstånd mellan fibrerna än de grövre. Enligt Romualdi & Batson (2) skulle fibrerna minska spänningen i sprickspetsarna i materialet och därigenom öka sprickspänningen. Sprickspänningen skulle vara relaterad till medelavståndet mellan fibrer. Giltigheten i denna ansats har diskuterats och olika formler för beräkning av medelavstånd har presenterats. Enligt Krenckel (3) gäller följande uttryck för 1-dimensionellt orienterade fibrer.

$$\text{medelavstånd } S = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{d}{\sqrt{v_f}}$$

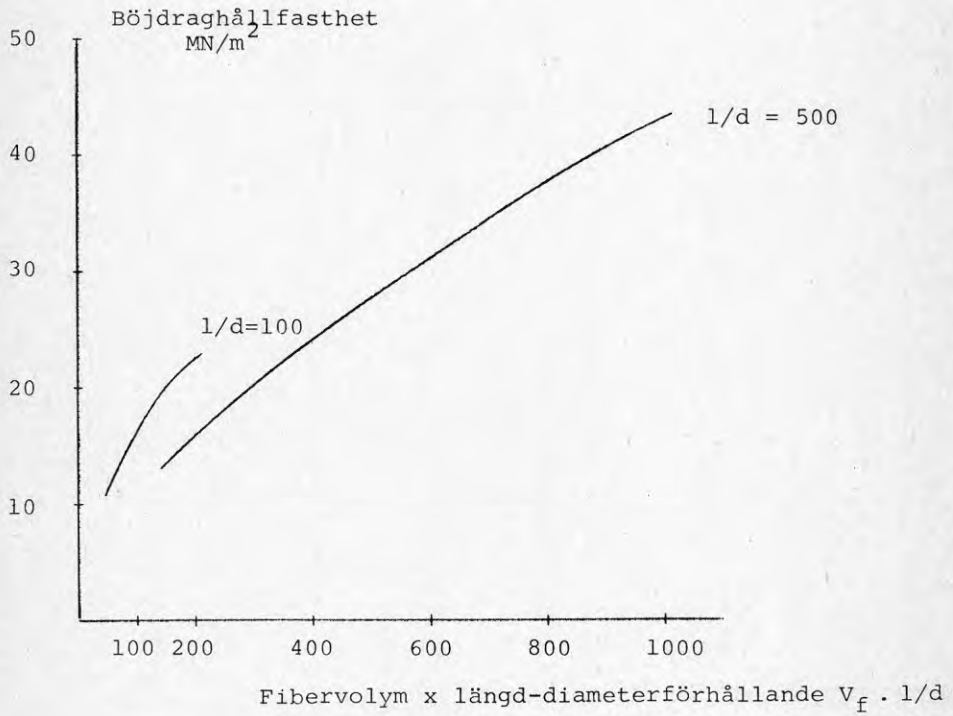
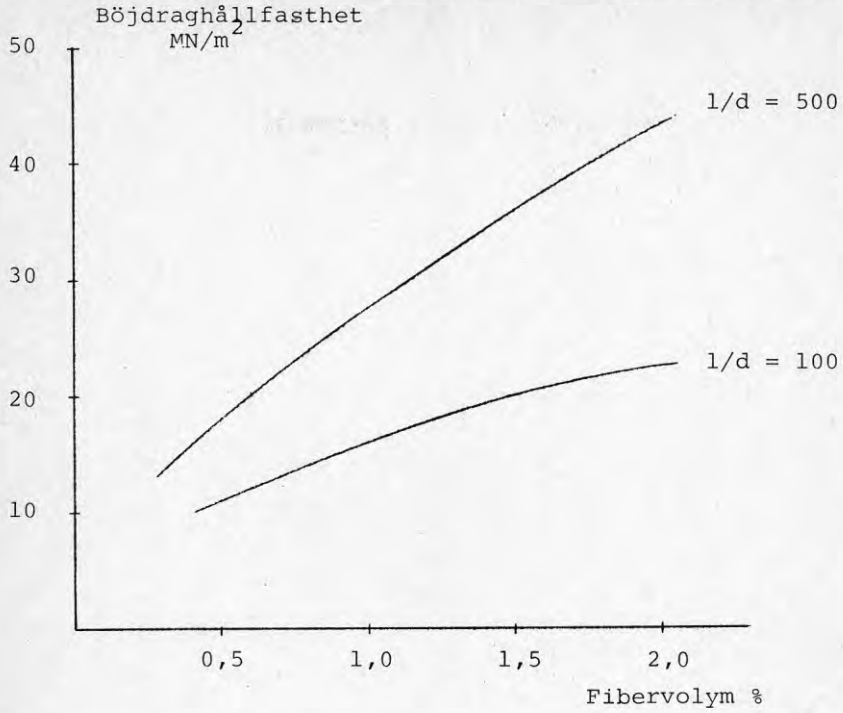
Vid t ex 1,5 vol% fibrer erhålls följande medelavstånd

| | | |
|--------------|---------|---------|
| Diameter | 0,3 mm | 1,0 mm |
| Medelavstånd | 2,18 mm | 7,27 mm |

Medelavståndet mellan fibrer kan sägas ge ett mått på armeringens effektivitet speciellt vid uppsprickningen. Medelavståndet sammanhänger även med den sammanlagda fiberyta, som enligt Krenckel skulle kunna användas för att beskriva uppsprickningsförloppet. För fibrer med cirkulärt tvärsnitt och diameter d erhålls följande

Böjdraghållfasthet

Fig 1



uttryck för den sammanlagda fiberytan (specific fibre surface, SFS)

$$SFS = \frac{4 \cdot V_f}{d}$$

vid v_f lika med 1,5 % erhålls

| | | |
|-------------------------------|--------|--------|
| Diameter | 0,3 mm | 1,0 mm |
| SFS mm^2/mm^3 | 0,20 | 0,06 |

Samband mellan SFS och medelavstånd mellan sprickor (3)

| | SFS mm^2/mm^3 | Sprickavstånd mm |
|----------------|-------------------------------|------------------|
| Ferrocement | 0,12 - 0,50 | 5 - 20 |
| Armerad betong | 0,005 - 0,020 | 50 - 200 |

Dessa samband återgivna i fig 2 ger för de aktuella fibrerna i fiberbetong följande sprickavstånd

| | | |
|------------------|-----|-----|
| Diameter mm | 0,3 | 1,0 |
| Sprickavstånd mm | 17 | 27 |

Det praktiska arbetet med fiberbetong har visat att medelsprickavståndet vid 1-dimensionellt orienterade fibrer är ca 10 mm kortare än vad enligt ovan har härletts. Detta kan bero på att fiberytan, SFS, inte tar hänsyn till fiberorienteringen.

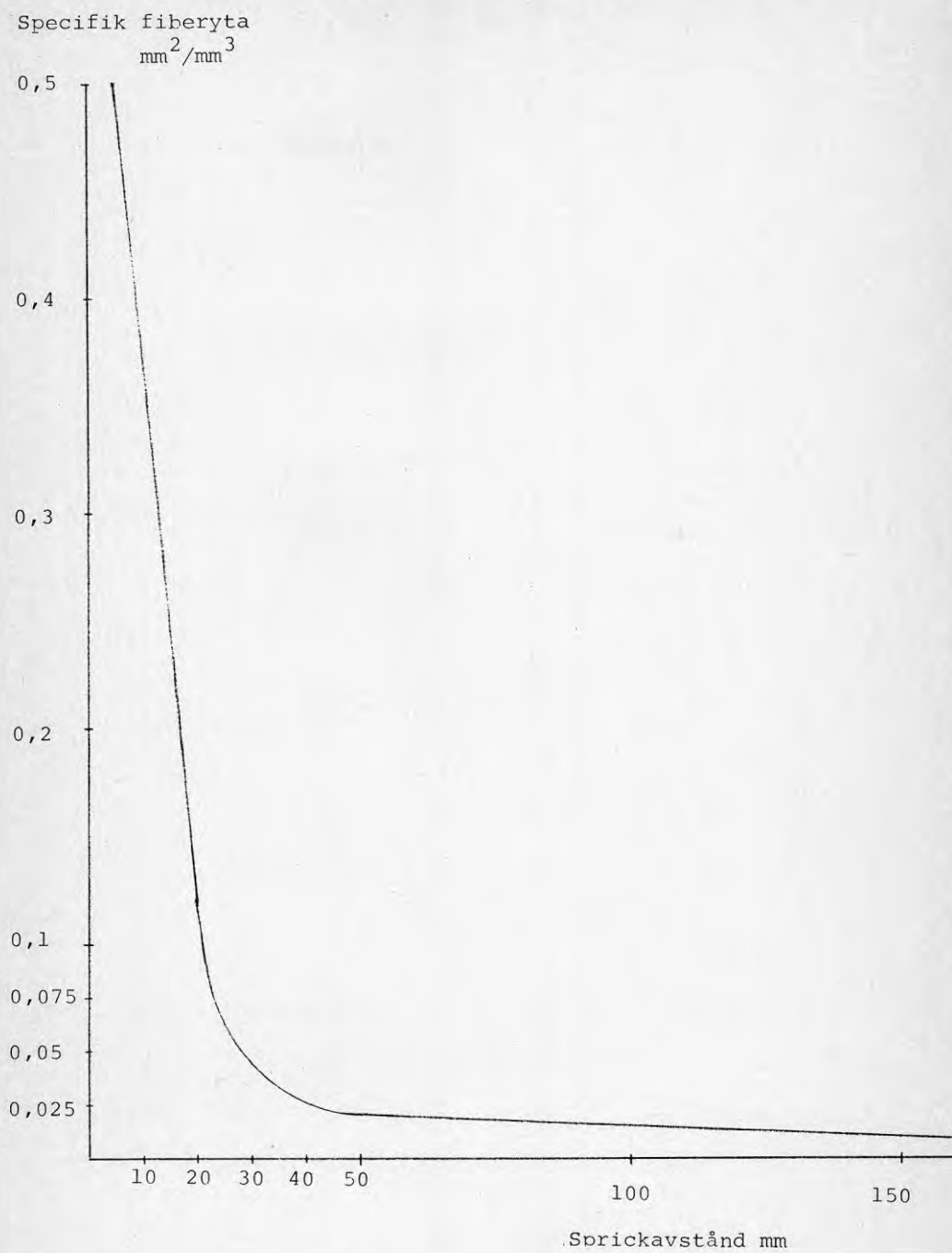
Slutligen kan framhållas att samverkan mellan matris och armering är liknande både vid konventionell- och fiberarmering och att vår kännedom om detta samband än så länge är bristfällig. Vi vet t ex att vid deformerad armering den mekaniska förankringen blir mer betydande. Dessa krafter åstadkommer dragkrafter i den omkringliggande betongen vilka i sin tur sannolikt förorsakar sprickor.

2.2 Fiberorientering

Fibrer som läggs in i korta längder och med varierande orientering kan inte utnyttjas lika effektivt som t ex kontinuerliga endimensionellt orienterade fibrer. För att värdera orienteringens inverkan på fibereffektiviteten i en viss riktning har flera olika ansatser presenterats.

Specifik fiberyta - sprickavstånd

Fig 2



| | | |
|----------------------------|---|-----------|
| 1-dimensionell orientering | | 1 |
| 2- | " | 0,38-0,63 |
| 3- | " | 0,20-0,50 |

Det har konstaterats att vid bordsvibrering av fiberbetong erhålls en viss fiberorientering, som är beroende av ballastmaterialets storlek, fiberkoncentration och provkroppens dimensioner. Fibrerna tenderar att orientera sig vinkelrätt mot den vertikala accelerationen (4). I tunnväggiga produkter där godstjockleken är mindre än fiberlängden erhålls i huvudsak tvådimensionell orientering.

Experimentella försök har visat t ex att horisontellt gjutna balkar är ca 40% starkare än vertikalt gjutna balkar (5). Beträffande inverkan av väggeffekter och geometri kan hänvisas till (6) och utvärdering av teorier till (7).

2.3 Fiberfördelning

Matrisens egenskaper varierar enligt mekanismer som är kända från traditionell betongteknologi. Kravet på goda färskbetongegenskaper leder vanligtvis till att cementmängden och mängden finmaterial i ballasten är större och ballastens maximala kornstorlek mindre i fiberbetong än i vanlig betong.

På grund av stålfibrernas höga densitet, 7,8 och eftersom grovkorning ballast ofta saknas kan vid vibrering stålfibrerna ansamlas nertill i formen. Denna fibersedimentering gynnas av lättflytande konsistens och lång vibreringstid och innebär både för- och nackdelar.

Bland fördelarna kan nämnas

- mindre mängd fibrer i ovanytan, vilket underlättar en avjämning av ovanytan och minskar risken för utstickande fibrer
- fiberanrikning nertill, om produkten ifråga utnyttjas som ett bärande element med formsidan som dragzon, kan man uppnå ca 50% styrkeökning vid samma fiberhalt.

Den huvudsakliga nackdelen är att materialet kan krympa olika och deformeras.

I detta sammanhang bör nämnas att även om ingen fiberanrikning har ägt rum kan det vara svårt att åstadkomma en enhetlig uttorkning av 10 - 20 mm tjocka skivor. Av naturliga skäl erhålls en tät formsida medan ovan-

sidan är porösare och möjligen något vattenrikare. Ut-torkningen sker därvid lättare genom ovansidan, vilket kan föranleda att kanterna reser sig och åstadkommer en viss kupning.

Det kan vara mycket svårt att avgöra enbart genom besiktning av brottytor om en fiberanrikning har ägt rum eller inte. Detta gäller kanske främst vid tunnväggiga produkter och kan delvis förklara den relativt stora spridning som kan förekomma vid bestämning av hållfasthetsdata. För att eliminera denna osäkerhet bör t ex böjdraghållfasthet bestämmas dels med formsida som dragzon dels med ovansida som dragzon.

I tabell 1 redovisas standardförsök med olika fibrer, som visar bl a vilka fiberanrikningar som kan förekomma. Det är främst de kortare och tjockare fibrer som tenderar att sedimentera. I samtliga fall har gjutits 12 mm tjocka, 20 cm breda och 180 cm långa plank. Fibrerna har orienterats magnetiskt. Med Bekaert-fibrer 40/0,4 mm visas att man med hjälp av konsistens och vibreringstid helt kan undvika fiberanrikning vid laboratorieförsök.

3. INSTALLATIONSGOLV

Installationsgolv, som är förhöjt, är avsett för lokaler där ventilationsrör, vatten- och avloppsrör, el- och telekablar skall döljas under golvet, men samtidigt vara lätt åtkomliga för service eller lätt omflyttbara.

Golvet skapar god flexibilitet och lämpar sig för sådana lokaler som datacentraler, ställverk, manöverrum, laboratorier, storkontor, butiker m fl.

Golvet är vanligen uppbyggt av 600 x 600 x 38 mm spånplattor. Varje hörn vilar på en bärplatta som är justerbar i höjddled och är fastsatt på ett stödben. Stödbenen kan vara av varierande höjd, vanligen 40-100 cm.

3.1 Golvplattor för datacentraler

Ett behov förelåg av obrännbara golvplattor och stödben för installationsgolv i första hand avsedda för datacentraler. Det fanns inget brandklassat B60 golv trots att brandmyndigheten krävde detta.

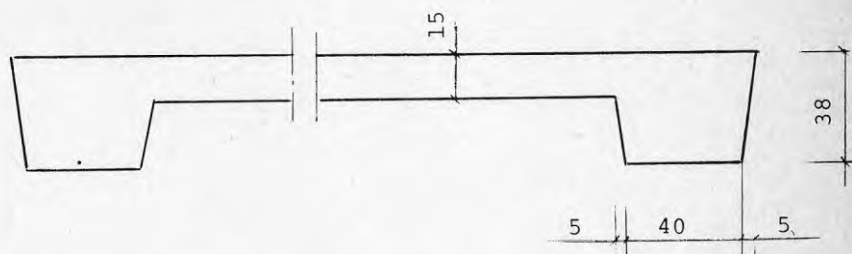
På plattorna ställdes följande krav.

| | |
|------------|--------------------|
| Punktlast | 3,5 kN |
| Nedböjning | 2 mm vid 3 kN |
| Vikt | < 15 kg |
| Planmått | 600 x 600 ± 0,4 mm |

TABELL 1

| Typ av fibrer 1,5 volym % | Längd/diameter (Aspect ratio) | Böjdraghållfstheth MN/m ² | Formsida som dragzon | Ovansida som drag- zon | Medel- värde | Orienterade fibrer Medel- värde mot fiber- orientering | Slaghåll- fasthet (Sharp) kJ/m ² | Vatten- cementtal |
|--|----------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------|-----------------|---|--|----------------------|
| National Standard Duiform | 100 | 28,6 | 22,7 | 25,6 | 10,3 | 14,6 | 0,37 | |
| 25/0,25 | | 26,5 | 23,2 | 24,9 | 10,2 | 14,6 | 0,39 | |
| Bekaert ändförank- rade 40/0,40 | 100 | 27,9 | 18,4 | 23,2 | - | 19,6 | 0,40 | |
| | | 26,2 | 19,8 | 23,2 | - | 26,2 | 0,40 | |
| | | 25,2 | 14,7 | 20,0 | 9,0 | 18,4 | 0,37 | |
| | | 23,3 | 14,7 | 19,0 | 9,9 | 22,3 | 0,40 | |
| | | 21,9 | 20,6 | 21,2 | 9,9 | 26,9 | 0,40 | |
| | | 20,4 | 24,7 | 22,5 | 9,6 | 24,8 | 0,38 | |
| | | 19,5 | 20,8 | 20,1 | 10,3 | 22,5 | 0,37 | |
| Bekaert weak wave 30/0,35 | 86 | 19,7 | 16,2 | 18,0 | - | | 0,36 | |
| Trefil Arbed straight 25/0,30 | 83 83 | 18,9 18,9 | 16,4 16,4 | 17,6 17,6 | - - | 31,1 31,1 | 0,40 0,40 | |
| Johnson & Nephew Melt extract 25/0,40 | 63 | 21,1 | 10,5 | 15,8 | 6,2 | 7,7 | 0,36 | |
| Fibresteel Enlarged End 23,5 x 0,4 x 0,3 18 x 0,6 x 0,3 14,5 x 0,4 x 0,3 14,5 x 0,4 x 0,3 | 67 40 41 41 | 18,2 22,5 19,5 15,0 | 14,0 9,1 10,9 14,0 | 16,1 15,8 15,2 14,5 | | 14,1 | 0,36 0,37 0,37 0,35 | |

Det har varit svårt att inom den begränsade vikten utforma en tillräckligt stark platta. Utvecklingen koncentrerades på fiberbetong och efter omfattande belastningsprov fastställdes följande utformning



Last-nedböjningssambandet återges i fig 3.

För att utnyttja fiberarmeringen maximalt orienterades fibrerna i kantbalkarna och koncentrerades nertill i dragzonen.

3.2 Produktionsteknik

Det visade sig svårt att åstadkomma en automatisk utläggning av fiberbetong. Det misslyckades med 40 mm långa ändförankrade fibrer, sammanhållningen i fiberbetongmassan var för stor. Dessa fibrer hade i detta sammanhang givit de bästa hållfasthetsdata. Med kortare fibrer gick fiberbetongutläggningen bättre.

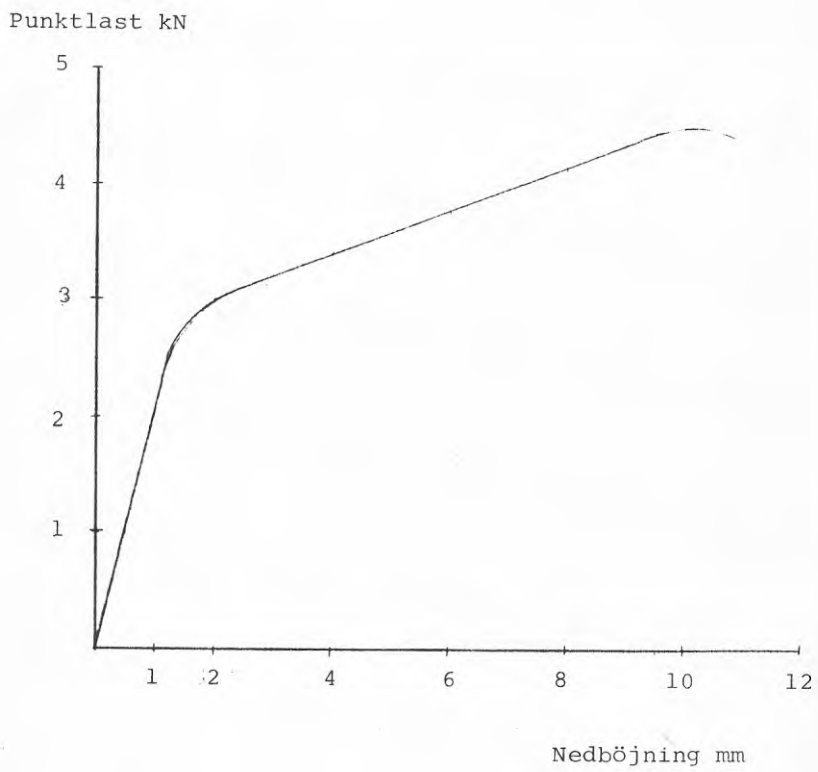
Fiberbetongen utlades först i kantbalkarna och fibrerna orienterades magnetiskt under vibrering. Denna del av tillverkningen kunde utföras helautomatiskt och fungerade bra.

Därefter tyllides formen med fiberbetong och vibrerades. Stora svårigheter uppstod vid avjämningen av ovanytan. Formarna måste fyllas exakt och utjämnas till en slät ovanyta. Denna del av produktionstekniken kunde inte lösas på ett tillfredsställande sätt. Olika glättningsförfaranden hade en tendens att suga med sig betong från den tunna plattdelen.

Försök att tillverka plattan med 1 mm övermått för att sedan slipa ner till rätta mått visade sig inte heller vara framgångsrikt. Vid slipning eller kantsågning av relativt färsk betong kommer stålfibrerna fram i ytan, kanterna blir otrevliga att ta i och finishen blir inte godtagbar. Av denna anledning måste man arbeta med precisionsformar utan efterbehandling.

Installationsgolv

Fig 3



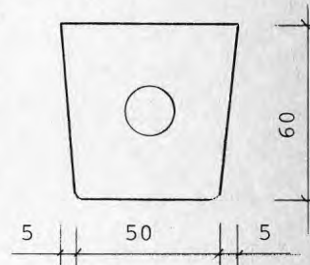
Gjutning i batteriformar, som roterades i ett magnetfält för att erhålla en fördelaktig fiberorientering, fungerade tillfredsställande. Genom denna gjutteknik kunde erhållas en slit ovanyta och en måttexakt tjocklek. Enbart den kant, genom vilken betongifyllningen ägde rum, skulle eventuellt behöva en efterbehandling.

Genom den vertikala gjutningen gick man dock miste om den betydande styrkeökning, som fiberanrikning i dragzonen åstadkom vid horisontell gjutning.

3.3 Stödben

Även stödben måste vara okänsliga för brand.

Två typer stödben med vidstående profil togs fram. I det ena fallet användes konventionell betong och ett ingjutet stålrör som armering. I det andra fallet användes fiberbetong och ett ingjutet plaströr. Hålet i mitten erfordras för fastsättning av den i höjddel justerbara bärplattan. Stödbenen kan kapas till lämplig höjd.



Forordningarna på stödbenen var enligt givna förutsättningar, att de skulle tåla en centrisk last på 20 kN. I praktiken torde dock fullt centrisk belastning vara omöjlig att åstadkomma. Hur stor excentriciteten blir går inte att säkert bestämma, varför en rimlig uppskattning gjordes. Excentriciteten har vid provningarna satts till fjärdedelen av höjden i tvärsnittet d v s 15 mm. Denna excentricitet borde i praktiken ej behöva överskridas.

Vid provningen framkom att momentet för en del stavar ej var fullt utvecklat, varför excentriciteten för dessa stavar uppskattningsvis torde motsvara 7,5 mm. Provningarna sammanfattas i nedanstående tabell.

| Last i kN | | | |
|------------------|---------------|----------|---------|
| Stödbenslängd cm | 70-76 | 100 | 135-146 |
| Stålrörsarmerade | | | |
| centrisk last | 150 | | 85 |
| 7,5 mm excentr | 76 | | 35 |
| 15 mm excentr | 20,25,30,35 | 20,25 | 10,10 |
| Fiberbetong | | | |
| centrisk last | 120,152,157 | | 128 |
| 7,5 mm excentr | 55,90,100,102 | | 89 |
| 15 mm excentr | | 31,32,51 | |

Stödben med längder 100 -146 cm hade stor utböjning och var för slanka. Ett 75 cm långt stödben har slankhetstalet 12,5. Provingarna visar att den framtagna profilen ej bör användas för längder över 75 cm. För längre stödben bör en större profil väljas.

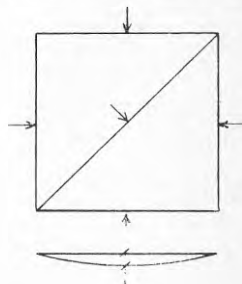
Stödben av fiberbetong kan sägas ha klarat provningen bättre än stödben armerade med stålrör. Vid mycket korta stödbenlängder, 15 cm, bidrog stålröret till en viss spjälkning av stödbenet. Stålröret har även förorsakat spjälkning vid brandbelastning. Båda typerna av stödben har en böjdraghållfasthet av ca 12 MN/m^2 .

3.4 Brandprovning

Ändamålet med provningen var att ge Statens Planverk underlag för ett typgodkännande.

Ett provgolv uppbyggdes av 15 st plattor på 500 mm höga stödben. Fyra laster à 200 kg placerades på golvet. Konstruktionen utsattes för brandpåverkan enligt det tid-temperaturförhållande som anges i Nordtest brandprovningssmetod nr 5A (SIS 02 4820 utgåva 2, ISO 834) d v s en mycket snabb upphettning, 500° uppnåddes exempelvis på ca 5 min.

Efter provet uppmättes deformationen hos plattorna. Kanterna hos de obelastade plattorna hade sjunkit ned i genomsnitt 3 mm. Nedsjunkningen hos de belastade plattorna var betydligt större. Nedsjunkningen av last 200 kg med basyta $300 \times 300 \text{ mm}$ uppmättes under försöket på platta nr 7.



| | | | | | |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Nedsjunkning mm | 10 | 15 | 25 | 50 | 70 |
| Tid min | 5 | 10 | 15 | 17 | 20 |
| Temperatur $^\circ\text{C}$ | 400 | 600 | 650 | 670 | 720 |

Efter brandprovet hade plattan en kvarstående nedböjning av 19 mm i mitten av plattan.

Två belastade plattor provtrycktes efter brandprovet, last-deformationssambandet återges i fig 4. Av intresse är att trots den kraftiga nedböjningen hade plattorna inte förlorat nämnvärt av sin ursprungliga styrka.

Punktlast kN

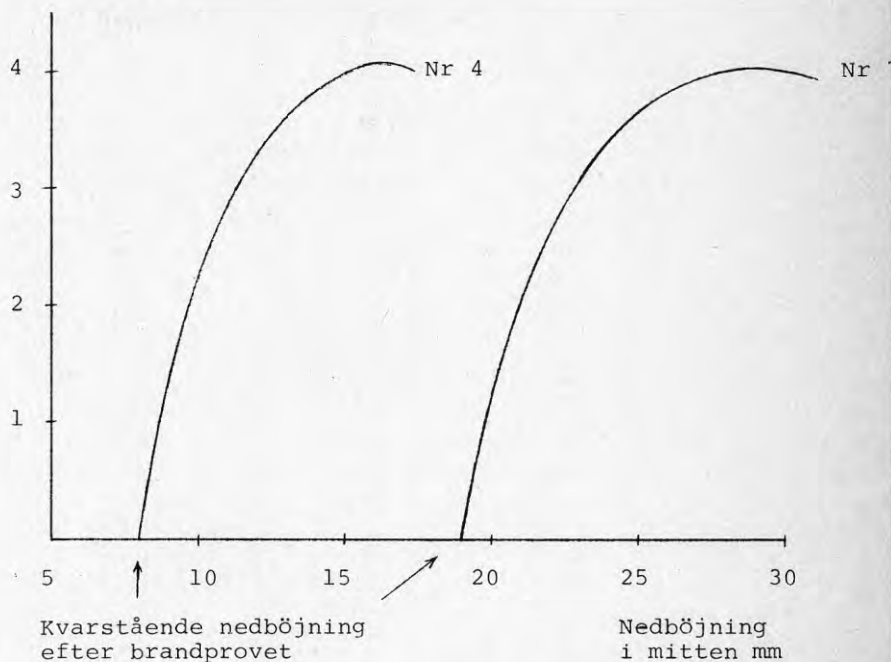


Fig 4. Provtryckning av plattor, som hade varit belastade under brandprovet.

Golvplattorna består av tjockare kantbalk runt om och en tunnare mittdel. Mittdelen på en av provplattorna sprängdes sönder när temperaturen under golvet hade stigit till ca 600°C . Orsakerna till denna sprängning har inte kunnat klarläggas, om plattan t ex hade en onormalt hög fukthalt eller täthet.

Under brandprovning registrerades temperaturen på golvet ovansida dels mitt på plattorna dels mitt emellan plattorna. Max temperaturen uppnåddes mellan plattorna och denna temperatur steg också mycket snabbt till ca 450°C , på 10 min. De heta ugnsgaserna transporterades tydligen direkt till mätstället med hjälp av ugnsovertrycket. Medeltemperaturen på golvplattorna steg långsammare och uppnådde efter 10 min ca 150°C .

Denna typ av golv är således inte tät och är vanligen försedd med kabelgenomföringar och hål för luftgenomgång. Det är inte troligt att ett dylikt golv kan klassas som ett brandsäkert golv, vilket medförde att intresset för brandsäkra golvplattor minskade.

3.5 Golvplattor för butikshallar o dyl

I dessa sammanhang är brandsäkerheten och vikten av sekundär betydelse medan plattornas bärighet för punkttryck är mycket väsentlig, minimum 10 kN punktlast vid 2 - 3 mm nedböjning. Vidare skall man kunna köra med små truckhjul över plattkanterna. Vikt under 30 kg per platta. Dessa golv skall byggas så lågt som möjligt.

För att klara detta styrkekrav blev mantvungen att arbeta med stor mängd konventionell armering. Kombinationen fiberarmering konventionell armering ökade plattornas styvhet men fibrernas inverkan i detta sammanhang är marginell. Därför valdes plattuppbyggnad med traditionell armering och plattan erhöll följande data

| | | |
|-----------|---------------------|-------|
| Tjocklek | 29 mm | |
| Vikt | 29 kg | |
| Bärighet | vid 2 mm nedböjning | 10 kN |
| Brottlast | över 20 kN | |

Ingen av de utvecklade plattorna för installationsgolv har kommit till praktisk användning, fiberbetongplattan närmast av brandklassningsskäl och den starkare plattan sannolikt av kostnadsskäl. Installationsgolv har tydligen inte varit tillräckligt motiverat för butikshallar o dyl.

Projektet har medfört omfattande insatser både beträffande utveckling av produktionstekniken och provning.

4. INREDNINGAR I SVINSTALLAR

Den traditionella rörinredningen i svinstallar utsätts för kraftiga rostangrepp och efter 3 - 5 år uppstår ett mer eller mindre kontinuerligt underhållsbehov. Utfyllnader av trämaterial kan bli förstörda av grisarna genom tuggning. Monteringsarbeten såsom infästningar i golvet och svetsarbeten är också relativt omfattande. Man har således kunnat konstatera behov av ett mer beständigt och underhållsfritt inredningsmaterial.

4.1 Skärm mellanväggar

För detta ändamål har utvecklats skärmväggar av stål-fiberbetong. Jämfört med konventionella betongmellanväggar är dessa tunnväggiga, kan lätt transporteras och monteras.

4.1 Skärmväggar

Skärmväggarna är 1,05 m höga och bildar en 1,8 x 2,7 - 3,0 m stor box enligt fig 5. I slaktsvinstallar tas in i varje box 10 smågrisar, vilka på 4 - 5 månader växer till 90 - 110 kg. Boxarna högtrycktvättas innan nästa kull tas in.

Skärmväggarna utformades med fönster delvis med tanke på stålrörskonstruktioner, som ger ett öppet intryck och tillåter en viss kontakt boxarna emellan. Skivorna sätts ned i ett spår i betonggolvet och limmas fast. Väggen mot gödselgången är även fastlimmad mot mellanväggen, andra kortsidan saknar stöd. Vid den centralt liggande foderkrubban består avskärmningen av stålrör som löper genom elementen. Det nedersta röret används för dricksvatten och några av de övriga kan användas för uppvärmning. Med en stoppskruv fixeras mellanväggarna vid det översta röret.

Belastningen har beräknats till 1000 N sidokraft på 60 cm höjd. Väggarne är dels limmade i golvet dels är minst en av gavlarna låst. Hållfasthetskravet har visat sig vara av underordnad betydelse. Synpunkter på styvhet, stabilitet, hantering och transport har vägt tyngre. Skärmväggarna i slaktsvinstallar gavs en väggjocklek av 25 mm och har visat sig fungera helt tillfredsställande. Transportskador har uppstått på det utstickande hörnet vid foderkrubban men detta sammanhänger inte i första hand med den valda väggjockleken.

I galtboxar har väggjockleken ökats till 35 mm. Galtvikt är ca 400 kg och vägghöjd 1,3 m. Även dessa väggar kan anses ha bestått provet, en galt har på något sätt tagit sig över väggen utan att skada den.

Vid horisontell gjutning av fiberbetongskivor kan utstickande fibrer förekomma på ovansidan. För att eliminera detta belades ovansidan i början med ett 2 - 3 mm tjockt skikt av enbart bruk. Efter ett halvårs drift hade dock krympsprickor uppstått i brukskiktet. I fortsättningen, när man hade lärt sig gjuttekniken, slopades detta ytskikt.

Vidare har konstaterats att vid infästningen av övre frontröret i mellanväggar har uppstått smärre sprickor. I fortsättningen dras frontrörets infästning in några centimeter från kanten. Vid gjutning av fiberbetong bör man söka undvika sådana trånga utrymmen som kan bli utarmade på fibrer. Samma förhållande uppstod även vid mellanväggens infästning mot vägg vid gödselgång. Detta föranledde en omarbetning av beslaget för grinden så att påfrestningar minskas.

Betonginredning i djurstallar

Teknisk beskrivning

SKÄRMVÄGG till slaktsvinstall

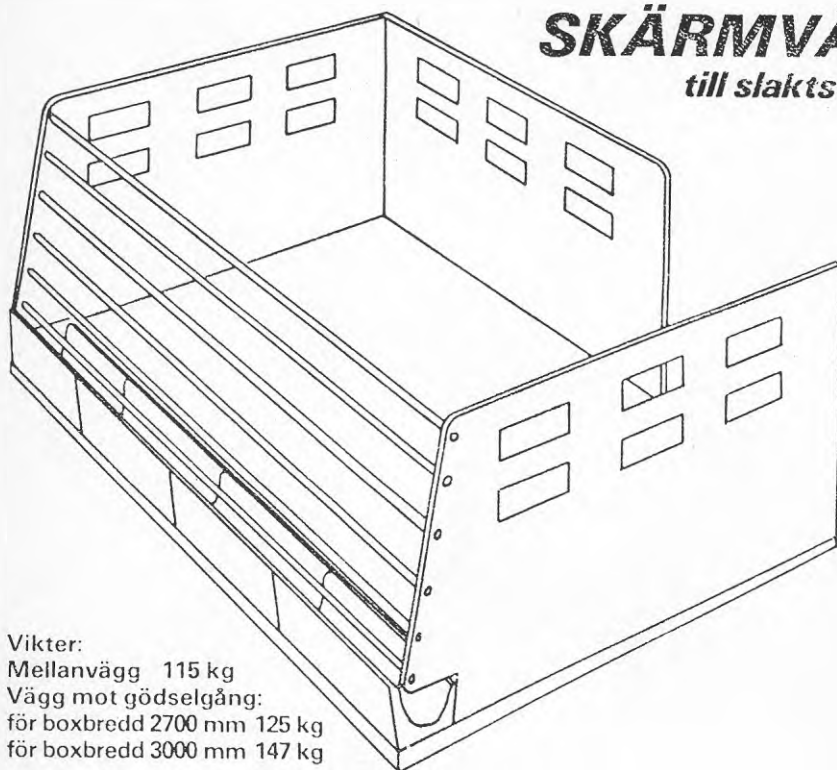


Fig 5

Vikter:

Mellanvägg 115 kg

Vägg mot gödselgång:

för boxbredd 2700 mm 125 kg

för boxbredd 3000 mm 147 kg

Väggarna är utförda helt av stälfiberbetong med tjocklek 25 mm och fri höjd över boxpall 1050 mm. Planmåttan är anpassade efter SIS 95 10 10 dvs. för rammåttan 1800 x 2700 mm men kan också erhållas för måttan 1800 x 3000 mm. Vägg mot gödselgång är 1900 resp. 2200 mm lång vilket ger en fri öppning på 800 mm.

I mellanväggens front finns hål för 6 st. frontrör varav det översta är fixerat i mellanväggen med hjälp av en stoppskruv. Kraftiga gångjärnsfästen för grind monteras i boxhörnet mot gödselgång och grindlås kan borras fast i vägg mot gödselgång som också har drän.hål i botten för rengöring av boxen.

Väggarna limmas fast i spår i boxgolvet som antingen utformas i samband med platsgjutning av golvet eller finns förberedda i vårt förtillverkade boxgolv och gödselränna (se dessa faktablad). Monteringen är mycket enkel och utföres lämpligen av två man. Med PRECON:s skärmväggar erhåller man en box som är lätt att rengöra utan onödiga skrymslen och vrår. Dessutom erhåller man en skärmvägg som är helt underhållsfri och man undviker alla rostskador som idag kostar konsumenten stora pengar.

Monteringsanvisning medföljer leveransen.

Kontakta vår fabrik i Varberg som också åtager sig montering av skärmväggar vid större anläggningar.

Ring eller skriv till Precon ab, Fläktstigen 2, 432 00 Varberg, tel 0340/164 90

Vid den undre fönsterradens undersida fanns oftast bitmärken men detta har inte föranlett någon anmärkning. Rengöring med högtrycksspruta har fungerat mycket bra och limfogar har varit helt intakta.

Besiktningen ett år senare visade att skärmarna var oförändrade mot föregående besiktning med undantag av att i skärmarnas nedre zon små rostfläckar från fibrer började framträda.

Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik (LBT) har följt den första installationen och även själva utfört försök med olika ytbehandlingar.

Ur hygienisk synpunkt har det bedömts som fördelaktigt med täta väggar boxarna emellan. Mellanväggarna tillverkas därför nu utan fönster i standardutförande.

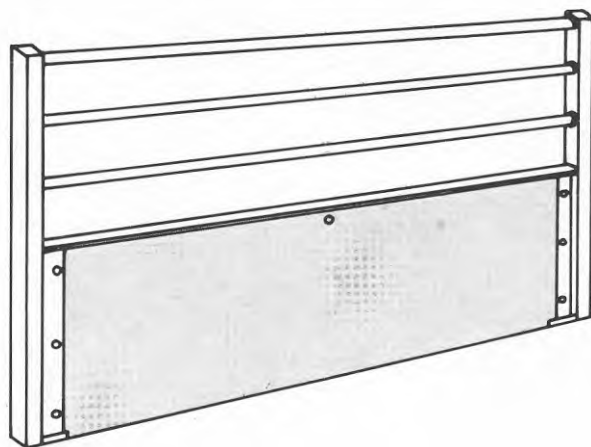
Fastsättningen av mellanväggar i ett spår i golvet har varit arbetskrävande. Önskemålet har varit att limma väggarna direkt på betonggolvet.

En limfog fungerar effektivt vid skjuv- eller dragbelastning, däremot medför fläk- eller klyvpåkänningar stor belastning på en liten del av den totala limytan. Laboratorieundersökningar har dock visat att med en sådan stumfog kan man uppnå en fogstyrka av 12-20 MN/m² med epoxilim. Detta innebär att mellanväggar limmade direkt på golvet tål på en meters höjd en sidolast överstigande 2000 N. Praktiska prov visade också att en mellanvägg inte kunde brytas loss från golvet. Vid slag med slägga slogs slutligen väggen sönder men limfogen höll. Monteringen sker nu enligt följande: elementen ställs upp i rätta lägen och avvägs, därefter pressas lim mellan golvet och den fasade elementkanten. Denna limningsteknik har använts nu i ca två år och har fungerat bra.

4.2 Utfyllnader

Elementet består av stålrörsbygel upptill utfylld med stål rör nertill med en fiberbetongskiva, som har råformmat 20 x 600 x 2000 mm, fig 6. Skivan är fäst i kortändarna och kan röra sig fritt för utböjning. För att bättre kunna uppta sidolaster är fibrerna orienterade i längsled.

Skivan är beräknad för en sidolast (linjelast) av 1100 N, för utbredd last innebär det 2200 N. Vid olika inspektioner har det visat sig att en del av dessa skivor har buktat sig. Efter sprickbilden att döma hade några skivor belastats till brottgrans. Belastningen har tydligen varit större än beräknad när en kull välvuxna gödsvin trycker på. Av intresse är att ingen av skivorna har gått sönder. I brottstadiet förmår fiberbetong med orien-

Betonginredning i djurstallar**BETONGSKIVA FÖR UTFYLLNADER
TILL INREDNING I SVINSTALLAR**

Betongens långa livslängd och höga motståndskraft mot mekaniska påfrestningar är sedan länge välkänt, och då det nu genom den patenterade tekniken med magnetorienterade stålfiber som armering är möjligt att utföra tunna elastiska skivor kan PRECON AB erbjuda en lättvättad och slitstark utfyllnad.

Skivan är utförd av 20–25 mm orienterad stålfiberbetong och väger 47–59 kg/m².

Skivan tillverkas i vissa standardformat enligt nedan som hänför sig till svensk standard med ursparningar för golv- och väggfästen. Råformat 20 × 600 × 2000 mm samt 25 × 600 × 2300 mm för kapning utanför svensk standard.

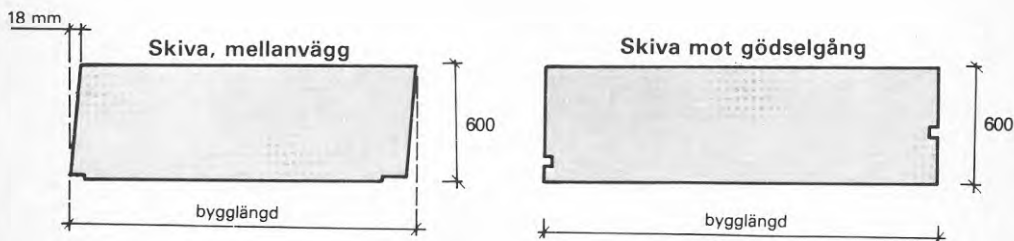
Betongskivan kapas lätt med hjälp av vinkelslipmaskin försedd med stenkapskiva. Hål borras enkelt med hjälp av coromantborr och bormaskin utan slagborrtillsats.

Skivorna levereras på specialpall

för längder upptill 2000 mm och 25 mm tjocklek 20 st/pall

för längder över 2000 mm och 25 mm tjocklek 15 st/pall

Sågning av skivor utanför standardformat kan utföras på fabrik.



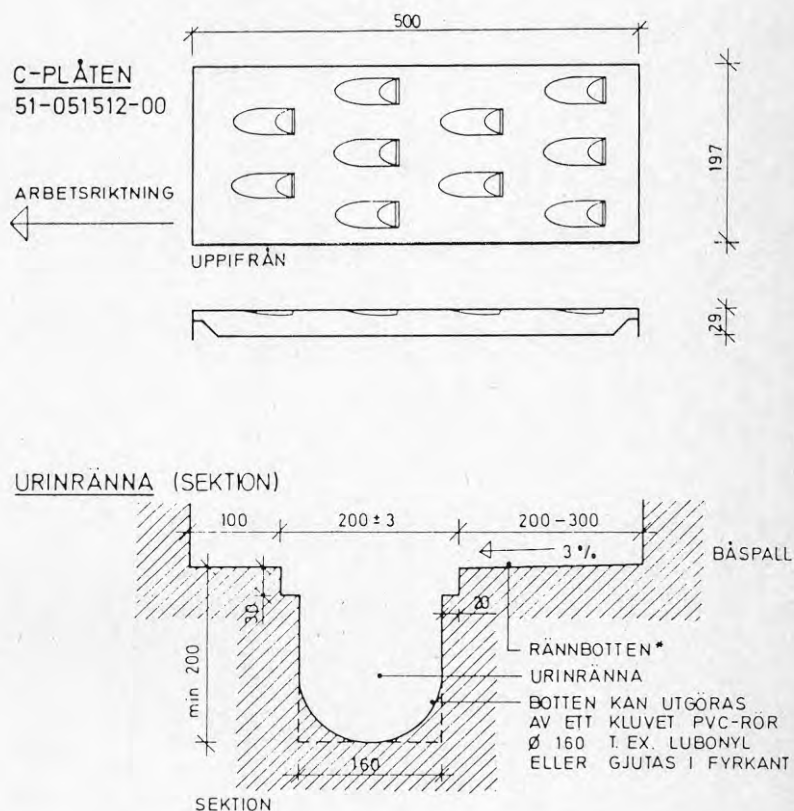
Ring eller skriv till PRECON AB. Fläktstigen 2, 432 00 Varberg, 0340/164 90

terade fibrer uppta i stort sett samma spänning under betydande deformation. Detta medför att man inte behöver arbeta med någon särskild extra säkerhet i dylika sammanhang. Fortsättningsvis har elementet försetts med en överliggare som stöder plattans ovankant vid utböjning.

Sammanfattningsvis kan sägas att skärm mellanväggar och utfyllnader har nu blivit installerade i ett 20-tal stallar och den äldsta installationen har kunnat följas under mer än fyra år. Fiberbetongen har visat sig vara lämplig och har fungerat helt tillfredsställande.

5. LOCK FÖR URINKÄNNA I STALLAR

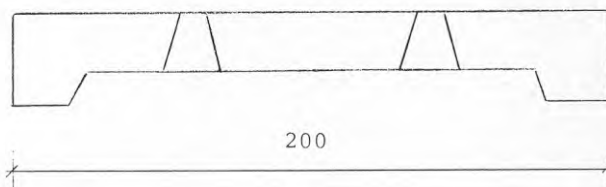
Fig 7



I fig 7 återges sektion av urinränna och exempel på täckplåt. Täckplåt eller lock skall åstadkomma urin-dränering av alla slags gödselrännor i både kostall och svinstall. Effektiv urinavskiljning, vilket är viktigt för ett gott klimat i stallet, minskar stänk från gödselrännan, ger torrare gödsel och renare djur. Täckplåt är utförd i galvaniserad stålplåt och försedd med 10 st mer eller mindre självrensande dräneringshål. Rensningen sker när skrapan passerar över gödselrännan.

Trots galvaniseringen blir täckplåtar utsatta för kraftig korrosion. Det har därför bedömts lämpligt att ersätta täckplåtarna med lock av fiberbetong.

Belastningen på locken har beräknats till 3000 N/dm^2 . Enligt förutsättningarna är locken plant understödda i kanterna i längsled. Nedan visas den första utformningen.



Locken är försedda med 11 st koniska hål för att träck och halm inte skall sätta igen hålen. Hållarean är ca 1% av lockets area. Håldiameter är upptill 10 mm och nertill 20 mm.

Spänningen i plattan vid en linjelast av 3000 N är 360 N/cm^2 . Om vi antar att enbart halva plattan samverkar stiger spänningen till 720 N/cm^2 .

Locken av fiberbetong installerades i några stallar och fungerade tillfredsställande. Ingen ingensättning av hålen har ägt rum.

I ett nybyggt kostall inträffade dock att ett betydande antal lock gick sönder, både tvärs gödselrännan och längs gödselrännan. En utredning visade att det inträffade kunde bero på följande.

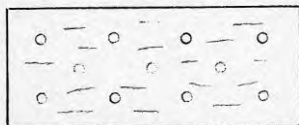
- 1) Korna var ovana med det nya stallet och hamnade ofta med bakbenen i gödselrännan. Locken kunde därvid ut sättas för betydande dynamiska belastningar.
- 2) Locken hade nu börjat gjutas i batteriformar, d v s vertikal gjutning i stället för tidigare horisontell gjutning.

- 3) Om locken i längdriktning inte hade ett plant underlag kunde locken först knäckas i längsled och där-
efter tvärs urinrännan.
- 4) Det var ovisst om locken hade uppnått avsedd styrka.
- 5) Eventueellt mindre lämpligt ballastmaterial

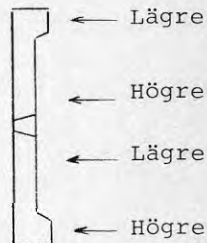
Fiberbetonglock från det ovannämnda stallet och från produktionen testades med linjelast både i längd- och tvärriktning.

| | Böjdraghållfästhet MN/m ² | |
|--------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| | Tvärs urinränna | Längs urinränna |
| Prover från stallet | 5,1 | 10,5 |
| Prover från produktionen | 4,7 | 7,7 |

Locken är betydligt starkare vid provning i längdriktningen än i tvärriktningen. Detta sammanhänger i första hand med en viss fiberorientering som erhålls vid bordsvibrering. Fibrerna tenderar att orientera sig parallellt med vibratorbordet, speciellt om vibreringen pågår en längre tid. Vid batterigjutning tar det längre tid att fylla de relativt smala formarna. Man kunde även konstatera mindre ojämnheter i fiberfördelningen.



Fiberhalt



Som tidigare visats erhålls vid horisontell gjutning i de flesta fall en mindre fiberanrikning nertill i formen och en något lägre fiberhalt i ovanytan. Detta innebär att en horisontellt gjuten platta i allmänhet är starkare om den belastas i gjutriktningen än en motsvarande vertikalt gjuten platta. I det här fallet förefaller även en viss fiberorientering i plattans längdriktning ha inträffat vilket ytterligare minskade plattans bärkraft tvärs urinrännan.

AV intresse är vidare vilka uppläggningslängder locken skulle tåla i längsled om underlaget skulle vara ojämnt. Vi utgår från att materialet har en böjdragnålfasthet av $7,5 \text{ MN/m}^2$ och belastas med 3000 N linjelast. Den aktuella profilen har ett böjmotstånd av $12,2 \text{ cm}^3$, vilket ger en uppläggningslängd av 12,2 cm. Detta innebär att locken inte tål några nämnvärda ojämnheter i underlaget.

Om vi i stället skulle välja en jämntjock profil utan klackar och utför samma beräkning finner vi att uppläggningslängden ökar till 13,3 cm.

D v s den jämntjocka plattan tål mer än plattan försedd med klackar. I den konventionella betongtekniken placeras armeringen i dylika klackar. Om klackar skall göra någon nytta i fiberbetongsammanhang måste fibrerna orienteras i klackarna och anrikas nertill.

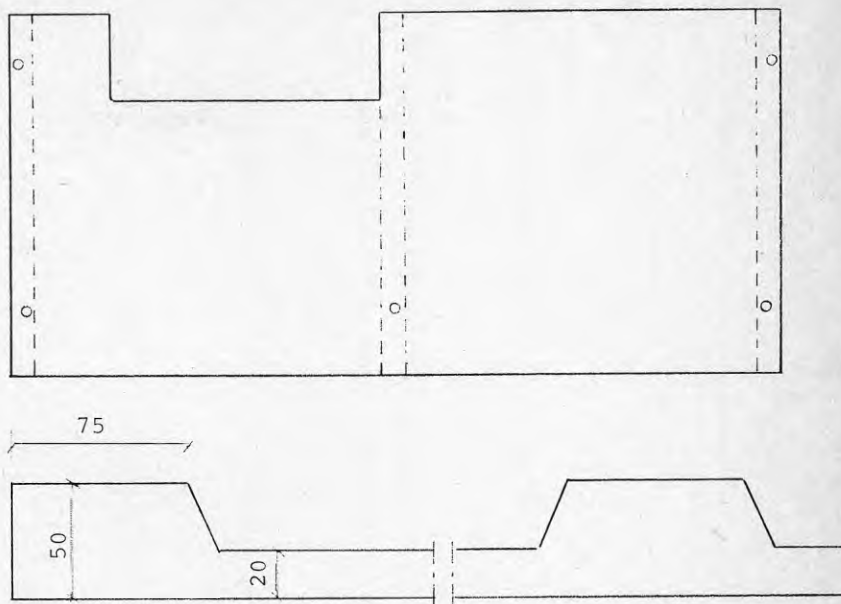
Det har inte framkommit någonting som visar att lockens underlag inte skulle ha varit plant. Vid installation avvägs elementen och vid höjdskillnader i underlaget skulle lockens kanter resa sig. Locken måste bilda en plan yta annars finns det risk att avskraparen fastnar eller skjuter iväg locken tillsammans med gödslet.

Det framkom vidare att det använda flyttillsmedelt åstadkom en betydande retardation av hållfasthetstillväxten. Normal 28 dygns hållfasthet uppnåddes först efter 2 - 3 månader.

För att locken bättre skall kunna motstå dynamiska belastningar och för att höja lockens styrka tvärs urinrännan, som hade försvagats genom den vertikala gjutningen, ökades lockens tjocklek till genomgående 3 cm. Vikten ökade därigenom från tidigare 5,0 kg till 6,8 kg. Viktsökningen behöver dock inte betraktas som någon direkt nackdel. De tyngre locken sitter stabilare på plats och kan inte bökas upp av djuren. Täckplåtar måste kunna förankras mekaniskt. Linjelasten tvärs urinrännan ökade från ca 3500 N till ca 5800 N (28 dygn). För att undvika eventuell igensättning av hålen ökades hålens konicitet nertill i den tjockare plattan.

6. BALKONGFRONTER

Nedan visas ett förslag på utformning av balkongfronter i stålfiberbetong. Fronten fästes dels i golvplattan dels med vinkeljärn till sidostyckena. Fronten och sidostycken samverkar. Ovankanten och insidan upptill täcks med en tryckimpregnerad turuprofil.



Balkongfronten är utformad med förstärkningar eller balkdelar längs infästningsstälten. Samtidigt som man ökar styrkan i infästningen förstärks hela fronten.

Kravet är att skyddsräcke till balkong beräknas för en last vid räcketts överkant av minst $0,4 \text{ kN/m}$ vinkelrätt mot dess längdriktning. Vindlasten är av storleksordningen $1,2 \text{ kPa}$. Belastningarna är således relativt måttliga, vilket skulle tillåta tunnare plattor och profiler. Å andra sidan bör man starta med en kraftigare konstruktion, som dessutom ger intryck av soliditet. Om behov skulle föreligga kan man även utforma horisontella förstärkningar, t ex längs ovankanten.

Tillverkningstekniskt gjuter man balkdelarna som formsida. Därigenom erhålls en siät insida utan några utstickande fibrer. Elementen levereras lämpligen med hål för infästningsbultar. Den tryckimpregnerade furuprofilen längs ovankanten kan eventuellt slöpas längre fram när man har presenterat en lamplig ovkant i fiberbetong.

Fördelen med fiberbetong i detta sammanhang är att inga katastrofala brott kan inträffa. Antag att en front av någon anledning belastas till brott. Fronten kommer fortfarande att hålla ihop och formär att uppta betydande last under fortsatt deformation.

Risken för misstärkningar på grund av små rostfläckar från ytligt liggande fibrer har hindrat användningen av stålfiberbetong i sådana sammanhang som balkongfronter och ytterdörrar. Sannolikt kan dock effekten av små rostfläckar döljas genom mörkare infärgning.

Rostfria fibrer har inte kunnat användas av kostnads-skäl. Johnson & Nephew i England utvecklade för ca tre år sedan en melt extract kromstålfiber, som visade sig vara rostbeständig och var prismässigt acceptabel. Vid årsskiftet 80/81 upphörde dock Johnson & Nephew med fibertillverkningen och rättigheterna gick över till Fibre Technology LTD. Fibre Technology planerar att upp-ta denna fibertillverkning men än så länge har detta inte ägt rum. För närvarande saknas således lämpliga rostfria stålfibrer.

7. STAKET

Trästaket av typ hästhage fordrar oftast ett mer eller mindre kontinuerligt underhåll. Önskemålet har varit att med hjälp av fibertekniken tillverka ett betong-staket som är underhållsfritt, lätt att montera och estetiskt tilltalande.

Staketplank

För att få en upptattning av styrkeegenskaper tillver-kades följande plankprofiler med 1,5 vol% orienterade fibrer.

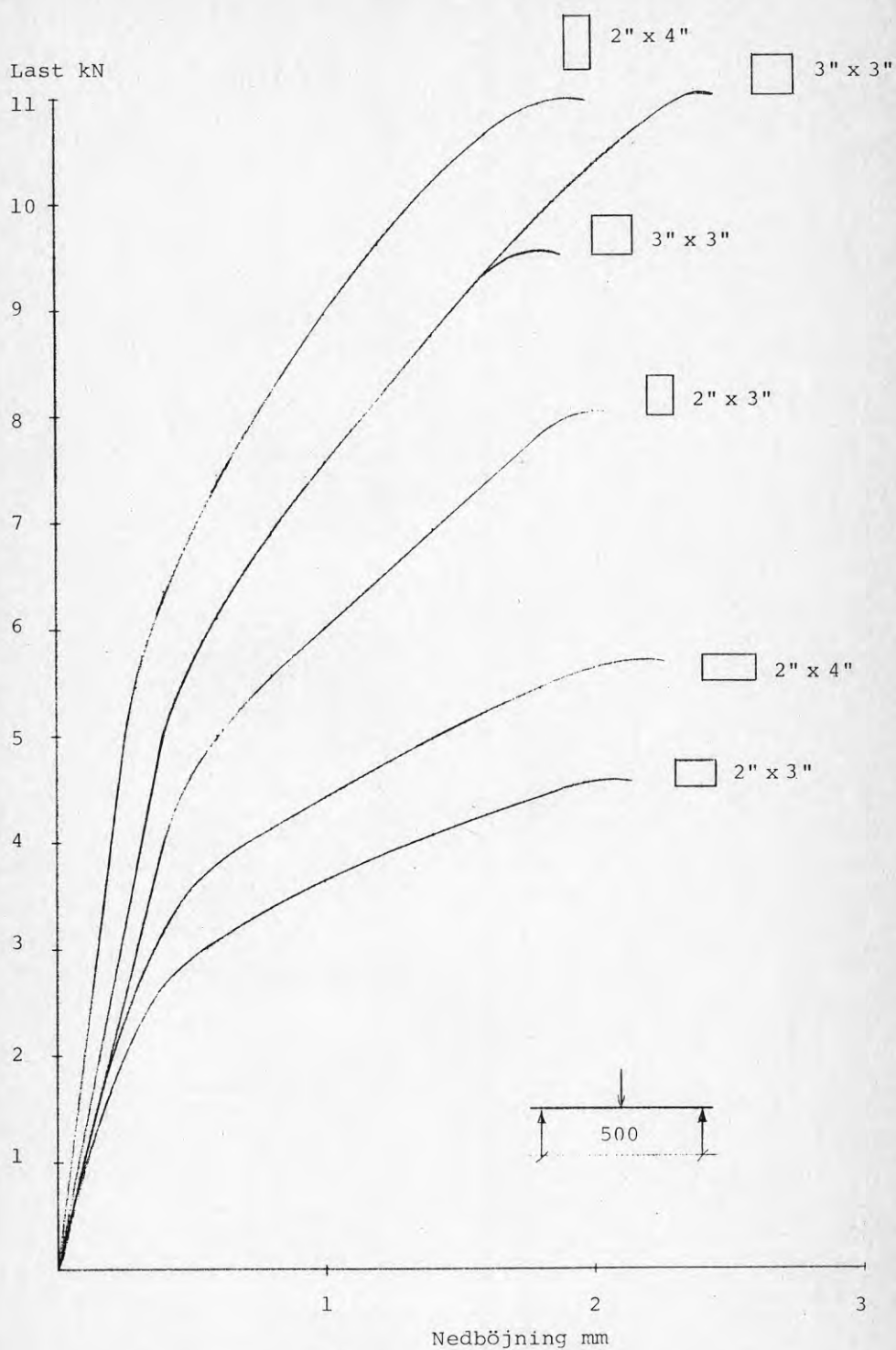
| | Böjdraghållfasthet MN/m ² | |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------|
| | På lågkant | På högkant |
| 50 x 75 mm | 17,0 | 19,9 |
| 75 x 75 mm | 16,4 | 18,5 (i gjutrikt- ningen) |
| 50 x 100 mm | 16,0 | 16,4 |

Vid 3 m stolpavstånd tål dessa plank följande laster applicerade mitt emellan stolparna.

| | Sidolast kN | Vertikal last kN |
|-------------|-------------|------------------|
| 50 x 75 mm | 0,71 | 1,24 |
| 75 x 75 mm | 1,54 | 1,73 |
| 50 x 100 mm | 0,89 | 1,82 |

Last-deformationssambandet återges i fig 8.

Ett staketplank utsätts i första hand för sidokrafter d v s belastning på lågkant. Enligt fig 8 är de plank-liknande profilerna 50 x 75 och 50 x 100 mm svagast vid belastning på lågkant och sprickbildningen inträffar relativt tidigt.



Andra belastningar som kan uppstå är t ex att man står på den nedersta plankan, sparkar på plankan, sitter på den översta plankan, klättrar etc.

För att avgöra de olika plankprofilernas praktiska egenskaper uppfördes ett provstaket med varierande stolpavstånd. Planken utsattes manuellt för olika tänkbara belastningar.

Resultatet blev att ingen av profilerna blev godkänd vid 3 och 4 m stolpavstånd, möjligen vid 2 m stolpavstånd. Något överraskande visade det sig att de dynamiska belastningarna var farligast. Man fick den uppfattningen att den fiberlängd som kunde användas vid konventionell blandning var för kort i detta sammanhang.

Försöken fortsattes med en kombination av konventionell och fiberarmering. Avsikten är att armeringsstängerna skall uppta de mer exceptionella lasterna medan fiberarmeringen håller ihop materialet, fördelar uppsprickningen och ökar styvheten. I fig 9 redovisas prov med två profiler, som hade förstärkts med två kamjärn.

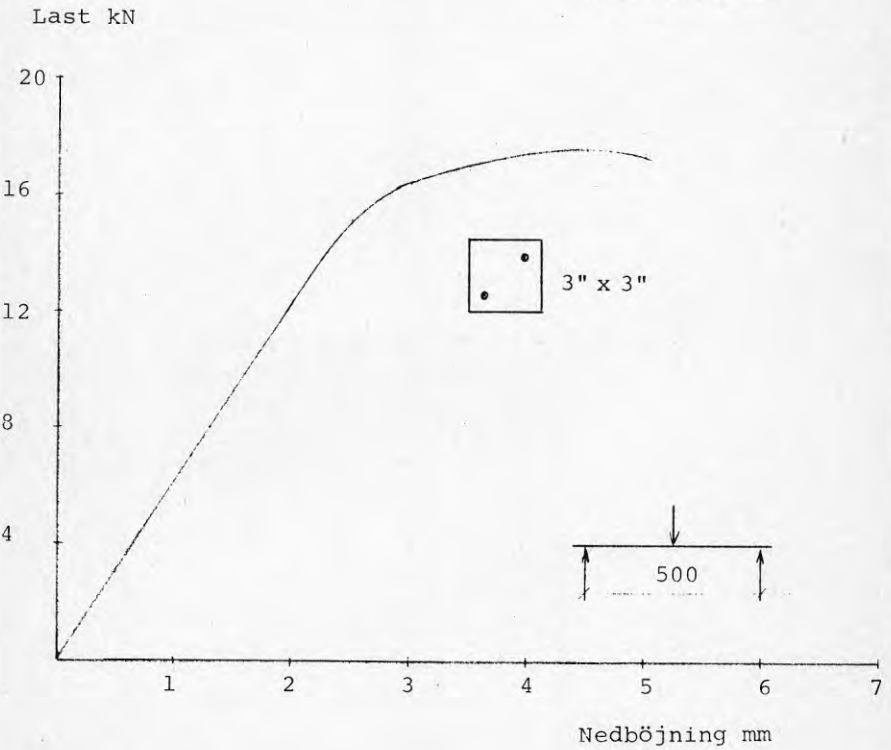
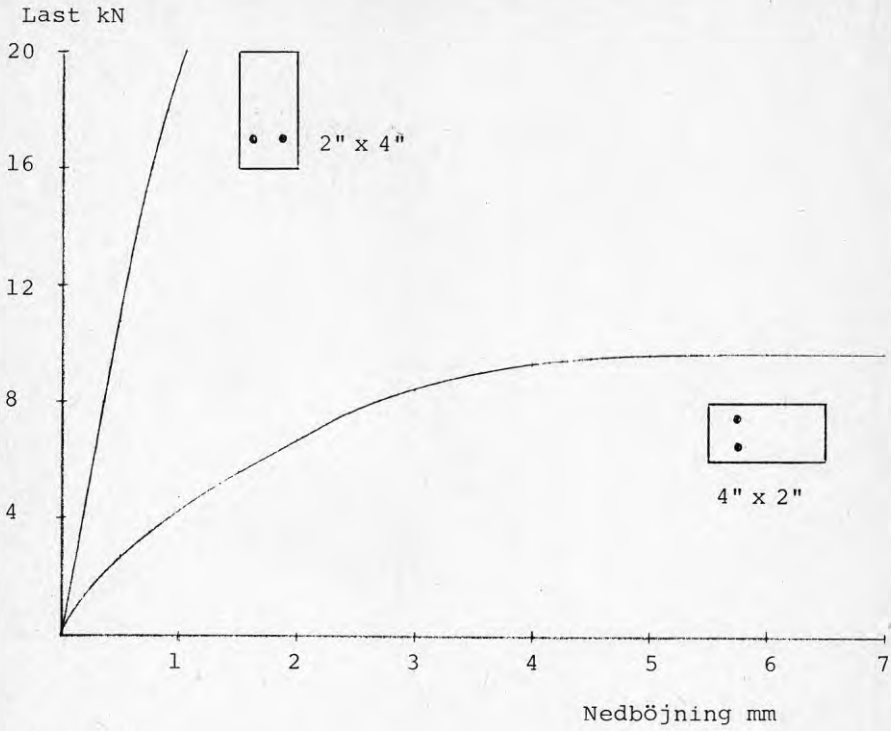
Som väntat tål 50 x 100 profilen utmärkt vertikala laster, däremot är den horisontella lastupptagningen inte helt övertygande. En betydande utböjning startar vid ca 4 kN och maximal styrka uppnås mellan 9 och 10 kN. Även om riskerna för brott kan bedömas som små, uppstår dock vid de större belastningarna en betydande sprickbildning, som kan äventyra armeringsjärnets beständighet.

75 x 75

Profilen presenterar egentligen inte någon konventionell staketplanka. Den ger dock intryck av soliditet och är estetiskt acceptabel. Tack vare sin tjocklek förstår den att uppta betydande belastningar oberoende av från vilket håll de kommer. Enligt fig 9 är deformationen i huvudsak rätlinjig utan synliga sprickor till ca 16 kN. Denna profil kan även finna andra användningar som t ex regler.

Traditionellt har man en vitmålad hästnage. Fiberbetongstaketet kan målas vitt men målningen tordrar underhåll. Alternativet är att tillverka staketet med vitcement. Vid användning av vanliga stålfibrer kommer de ytligt liggande fibrerna att ge små runda eller avlånga rostfläckar. Med den erfarenhet vi har från skärmväggar i svinstallar behöver dessa rostfläckar inte vara särskilt iögonfallande. På vit botten kan de dock framträda tydligare.

Fig 9



Staketstolpar

Staketstolpar är avsedda att utföras fyrkantiga, 100 x 100 mm, och spetsiga så att de kan slå i jorden. Utförda i fiberbetong tål de på 1,2 m höjd en sidolast av 2,1 kN. Stolparna kan även utföras med en stålrörsarmering mitt i. I nivå med staketplankorna förses stolparna med en mindre ursparing. Stolptillverkningen har inte inneburit några speciella problem.

Olika alternativ finns för fastsättning av plankan vid stolparna. I de flesta fall fordras dock en mycket exakt placering av stolparna.



Följande alternativ kan bedömas som acceptabla:

- stålbygel som omsluter staketplankorna och spännes på baksidan med bult.
- en bult genom stolpen. På framsidan spännes plankändarna mot stolpen med hjälp av plattjärn eller vinkeljärn.

Omfert har lämnats på en hästhage till en rastgård vid ridstall.

8. KRAFTLEDNINGSSSTOLPAR

Inom landet finns ca 1,6 miljoner lågspänningsstolpar och ca 1,1 miljoner hogspänningsstolpar. Stolpar består nästan uteslutande av trä, som håller omkring 40 år. Genom impregnering förlängs livslängden med ca 15 år. Inom snar framtid måste mycket av stolpmaterialet bytas.

Av intresse är att utnyttja det tillgängliga och billiga råmaterialet betong med dess erkända egenskaper beträffande styrka och varaktighet. Huvudkravet har varit att betongstolpar både tekniskt och ekonomiskt i stort sett skall motsvara trästolpar. Undersökningar har visat att produktionskostnader för befintliga betongstolpar, som är vanliga på kontinenten, inte kan sänkas nämnvärt under den nuvarande nivån. Därför har stort intresse ägnats åt nya materialkombinationer och ny produktionsteknik, vilket har lett fram till den aktuella fiberbetongstolpen.

Fiberbetongstolpar tillverkas enligt en speciell metod, som möjliggör användning av långa fibrer med ett l/d -förhållande av ca 500. Stolparna är utformade som svagt koniska cylindrar. I fig 10 visas böjprovning av 11 m långa stolpar.

| | |
|---------------|------------|
| Toppdiamter | 210 mm |
| Bottendiamter | 375 mm |
| Godstjocklek | 30 - 45 mm |

Vid provningen applicerades horisontella och vertikala laster i stolptoppen varvid man bestämde utböjning, sprickbredd och sprickavstånd. Horisontell brottlast, utböjning och beräknad brottspänning för fiberbetongstolpar och en 11 m trästolpe återges i nedanstående tabell. Exempel på sprickavstånd visas i fig 11. Sprickbredd är 0,1 - 0,2 mm.

| | | Horisontell brottlast N | Utböjning mm | Beräknad spänning |
|-------------------|----|----------------------------|-----------------|----------------------|
| Fiberbetongstolpe | 51 | 9.200 | 1750 | 37,6 |
| " | 52 | 10.000 | 1800 | 36,7 |
| " | 53 | 10.500 | 1700 | 41,6 |
| Trästolpe N | 11 | 6.500 | 1700 | 51,0 |

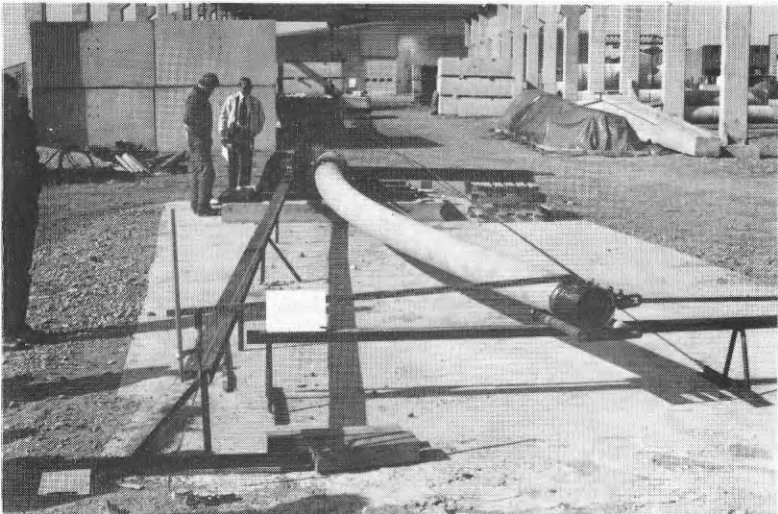
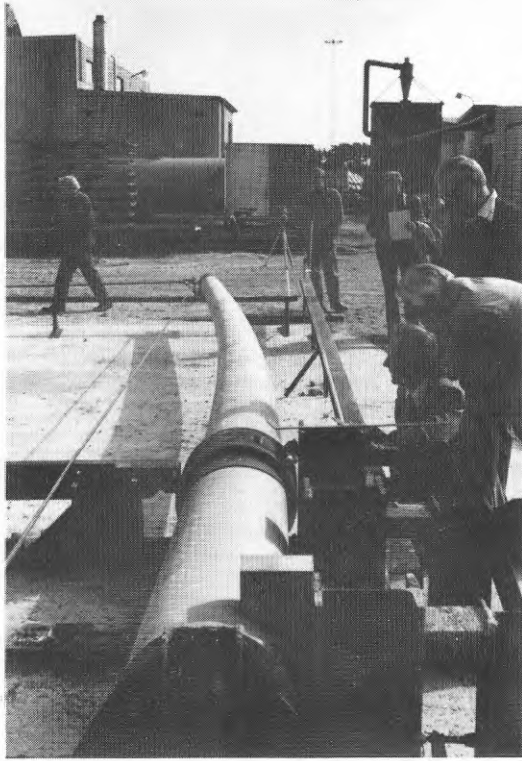
Fiberbetongstolpars mekaniska egenskaper kan beskrivas med spännings- deformationssamband vid böjprovning, fig 12.

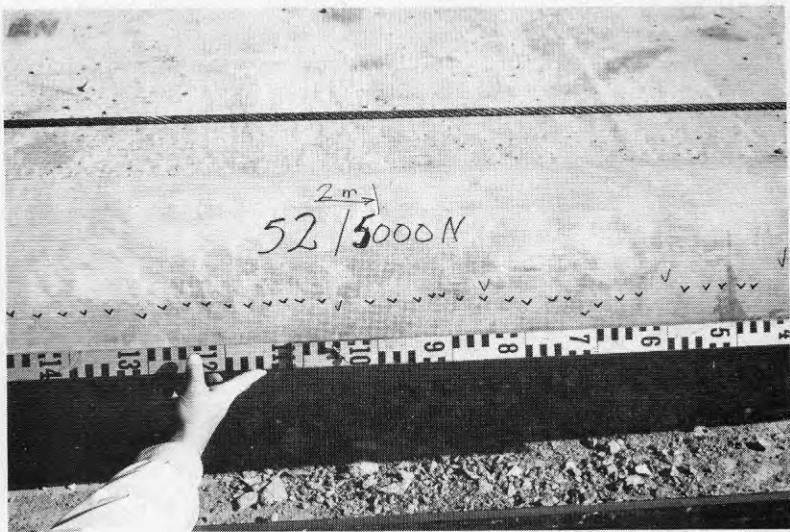
Vid låg belastningsgrad är matrisen i huvudsak osprucken, matris och fibrer har samma deformation. Materialet fungerar därvid i stort sett linjärelastiskt.

Vid viss belastningsnivå initieras sprickor i matrisen, varvid styvheten avtar. Denna belastningsnivå, som för oarmerad matris motsvarar 70 - 90% av brotthållfastheten, benämns proportionalitetsgränsen och den anger övergången från det elastiska stadiet till uppsprickningsstadiet.

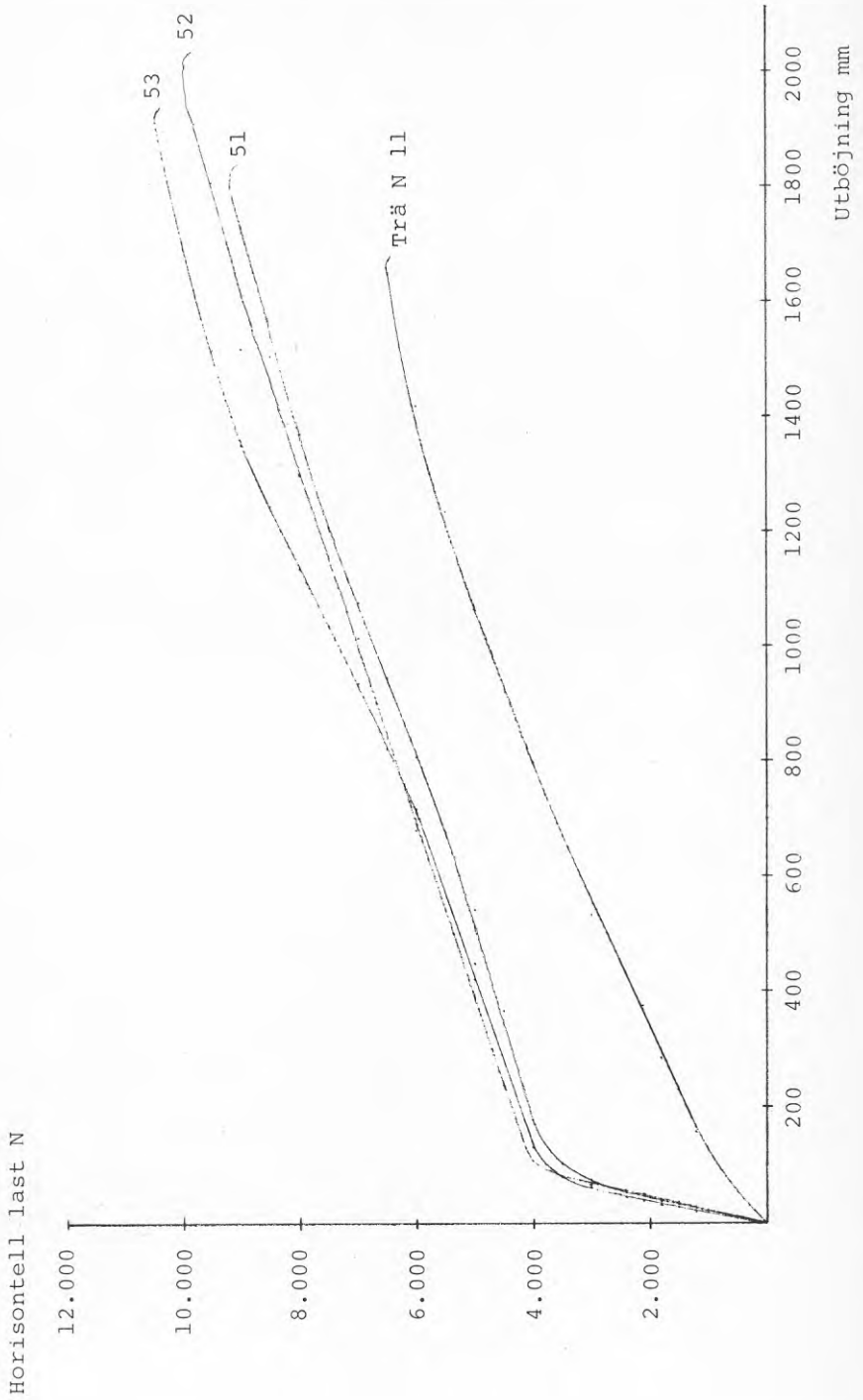
Den sprickbildning, som uppträder vid proportionalitetsgränsen, hindras i sin utbredning genom att en eller flera fibrer överbryggar spricköppningen. Ytterligare energi krävs för sprickpropageringen och så länge energi-behovet växer förblir spricktillväxten stabil. Fiberarmeringens effektivitet avgör energibehovets storlek och därmed också uppsprickningsförloppet.

FIG 10





Provning av stolbar



I fiberbetongstolpar har vi en hög armeringseffektivitet, d v s långa fibrer med i huvudsak 1-dimensionell orientering, vilket bland annat framgår ur den successiva uppsprickningen i ett stort antal sprickor, fig 11, och det stora energibehovet under uppsprickningen, fig 12.

I början av uppsprickningsstadiet uppstår mikrosprickor, som sedan successivt övergår till ett större antal synliga sprickor med en sprickbredd av ca 0,1 mm. Nära brottstadium kommer en eller flera sprickor att vidgas och den lastbärande formågan att avta.

Utvardering enligt SBN godkännande regler 1975:4 "Hållfasthetsdimensionering genom provning"

| | Brottlast N | Säkerhetstaktor |
|-----------------------|--------------|-----------------|
| | 9.200 | 2,2 |
| | 10.000 | 2,4 |
| | 10.500 | 2,5 |
| | <u>8.800</u> | 2,1 |
| Medelvärde | 9,625 | 2,3 |
| Standardavvikelse | 768 | |
| Variationskoefficient | 0,08 | |
| Karakteristisk last | 7.561 | 1,8 |
| Tillåten last | 4.200 | 1,0 |

Enligt spännings-deformationssamband, fig 12, ligger den tillåtna lasten strax ovanför proportionalitetsgränsen eller i början av uppsprickningsstadium.

Som tidigare nämnts uppstår i början av uppsprickningsstadium mikrosprickor d v s ej synliga sprickor. Dessa sprickor är betydligt mindre än de som man i allmänhet avser med sprickor, 0,1 - 0,4 mm. Risker för korrosion inom området för mikrosprickor kan bedömas som mycket små. Fiberbetongstolpar kan rörses med ett ca 8 mm tjockt täckande betongskikt.

Rent allmänt kan sägas om armerad betong att de korrosionsprodukter som bildas i sprickor är täta och att korrosionsprodukterna medför en effektiv tätning av sprickorna. Denna tätning medför att alkali kan diffundera från icke karbonatiserade områden in i sprickzonen. Därvid erhålls en återpassivering av stålet. Finns emellertid klorider närvarande är det inte längre säkert att en återpassivering kan äga rum.

Enligt SS 436 01 14, fabrikstillverkade kraftledningsstolpar av betong (konventionell armering), anges följande värden på sprickbredd för korrosionsbenägen (tunn) armering.

| | | |
|-----------------------------------|---|--------|
| Måttligt armeringsaggressiv miljö | | 0,2 mm |
| Mycket | " | 0,1 mm |

I mycket armeringsaggressiv miljö skulle brukstillståndet kunna läggas vid proportionalitetsgränsen. Säkerhetsfaktorer för stolparna skulle därmed öka med 0,4 - 0,5 enheter till 2,6 - 3,0. Det kan dock vara svårt att dimensionera efter proportionalitetsgränsen så länge erfarenhetsunderlaget är litet. Dessutom är proportionalitetsgränsen inte väl definierad.

Beträffande stolpplacering i för betong aggressiv mark skall man följa SS 436 01 14, vilken föreskriver skyddsbeläggning av asfalt eller likvärdigt material.

Dimensionering av fiberbetongstolpar kan lämpligen ske efter trästolpar. Man utgår ifrån det tillåtna momentet 2 m från rot för trästolpar och räknar ut erforderligt böjmotstånd och erforderlig väggtjocklek för fiberbetongstolpar.

Knäckning torde inte vara kritisk för fiberbetongstolpar, dels har cylinderformen ett större tröghetsmoment dels är E-modulen större. Fiberbetongstolpar tål mycket väl hantering och är 2 - 3 gånger tyngre än trästolpar. De har tillfredsställande ledningsförmåga vid åsknedslag.

9. SKIVMATERIAL

Härmed avses tunnväggigt skivmaterial, tjocklek omkring 10 mm och industriell tillverkning.

Framställning av tjockare skivmaterial, som skärmväggar i svinstallar, har varit baserad på konventionell blandning, halvautomatisk utläggning och manuell avjämning av ovanytan. Denna process kräver således en hel del manuellt arbete. Utläggning och avjämning av en tunnare skiva ter sig ännu svårare att mekanisera. Metoden har därför bedömts som mindre lämplig för en storskalig produktion av tunnväggigt skivmaterial.

Ett alternativ är att först gjuta skivan i enbart betong, därefter fördela fibrerna på ytan och slutligen vibrera fibrerna in i betongen. Stålfibrerna kan även magnetiskt dras in i betongen men då föreligger risk för en alltför endimensionell fiberorientering.

Fiberfördelning på betongytan kombinerad med vibrering provades i stor skala d v s man tillverkade skivor av format 1 x 2 m. För en 10 mm tjock skiva fordras det en utläggning av 2,3 kg fibrer.

För fiberdispergering, - dosering och - fördelning utvecklades en perforerad roterande trumma av samma bredd som skivan. Fiberdoseringen kunde varieras genom trummans perforering och varvtal. Perforeringen är också beroende av den använda fiberdimensionen. Liknande perforerade trummor har kommit till användning vid fiberfördelning och dosering i blandaren eller vid sprutning av fiberbetong och fungerar med god noggrannhet. De genom trumman fallande fibrerna fördelades och doserades vidare med ett vibrerande nät till ett lutande plan med nederändan belägen strax ovan betongformen.

Processtekniskt lägger man först ut ett betongskikt. Formen transporterats sedan med konstant hastighet under fiberutläggaren. När fiberutläggaren startas kommer ett skikt fibrer kontinuerligt att läggas på betongskivan. Därefter vibreras formen tillis alla fibrer har sjunkit ner i betongen. Under fortsatt vibrering kan formen nu passera genom en elektromagnet för att erhålla en viss fiberorientering, som är lämpligare för långsmala skivor.

Vibrering av fibrerna in i betongmassan och över huvud taget vibrering av tunnväggig betong har inneburit problem. Vibreringen utfördes på vibratorbalkar med en frekvens av 50 Hz. Formen och betongen har i det här fallet en mycket låg vikt. Den stora formen kom lätt i egensvängningar och presenterade en ojämn vibreringseffekt. Sannolikt bör vibreringen ske med en betydligt högre frekvens.

Resultatmässigt visade det sig svårt att fördela fibrerna jämnt genom hela tvärsnittet. Vid lösare konsistens har fibrerna en tendens att ansamlas nertill i formen t ex.

Böjdraghållfasthet MN/m²

| Formsida som dragzon | Ovansida som dragzon |
|----------------------|----------------------|
| 25,3 | 8,2 |
| 16,8 | 9,9 |
| 19,7 | 6,8 |
| 9,9 | 7,7 |
| 9,7 | 6,2 |

Huvuddelen av fibrerna kan även stanna mitt i plattan eller närmare ovanytan. Det senare framgår av följande exempel

| Formsida som dragzon | Ovansida som dragzon |
|----------------------|----------------------|
| 10,0 | 14,5 |
| 9,4 | 15,0 |
| 10,5 | 11,8 |
| 7,7 | 9,0 |

Det har visat sig fördelaktigt om man kan arbeta med tunnare betongskikt varvid mindre fibrer behöver tillföras och jämnt fördelas i betongtvärnsnittet. Sker betong- och fibertillförseln skiktvis kan man framställa skivmaterial av valfri tjocklek och samtidigt ha god kontroll över fiberfördelningen.

Vid detta förfaringssätt bör betongen spridas med så jämn fördelning som möjligt över ytan. Utläggning med vals, sprutning eller pumpning kan vara tänkbara metoder. Beträffande sprutning ställer man krav på en noggrann och konstant materialsammansättning. Lämpliga sprutor för detta ändamål finns ej på marknaden. Utvecklingen har ej fortsatt efter dessa riktlinjer.

Samtidigt har utförts gjutningar med konventionellt blandad fiberbetong. Även i det sammanhanget framkom det tydligt att det fordras en väl anpassad konsistens för att erhålla en jämn fiberfördelning i betongtvärnsnittet. Nedan återges exempel på en mycket bra gjutning. Vid tunnväggiga plattor, 7 - 8 mm, kan man uppnå hogre hållfasthetsdata än vid större godstjocklekar.

Fiberhalt 1,5 vol%, 30/0,3 mm, orienterade fibrer

Böjdraghållfasthet MN/m²

| Formsida som dragzon | Ovansida som dragzon |
|----------------------|----------------------|
| 27,6 | 26,8 |
| 32,9 | 36,4 |
| 33,9 | 31,7 |

Betydande fortsatta insatser fordras för utveckling av produktionstekniken för skivmaterial.

10 UTVÄRDERING AV HÅLLFASTHETSDATA

En provplatta tillverkades dagligen vid sidan av produktion av skärmellänväggar under ca en månads tid.

Provplattorna sågades till 30 cm långa och 10 cm breda balkar och användes för bestämning av böjdraghållfasthet dels med formsida som dragzon dels med ovansida som dragzon. Plattorna hade en tjocklek av ca 25 mm och provningsåldern var 34-48 dygn. Resultaten återges i tabell 3.

TABELL 3

| Böjdraghållfasthet MN/m ² | | | |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|------------|
| | Formsida som dragzon | Ovansida som dragzon | Medelvarde |
| 1 | 7,8 ± 1,6 | 7,0 ± 1,9 | 7,4 |
| 2 | 10,6 ± 1,4 | 8,9 ± 3,0 | 9,8 |
| 3 | 8,3 ± 2,3 | 7,0 ± 0,8 | 7,7 |
| 4 | 5,9 ± 2,5 | 9,7 ± 2,7 | 9,6 |
| 5 | 11,0 ± 3,3 | 11,4 ± 1,8 | 11,2 |
| 6 | 10,4 ± 2,3 | 9,5 ± 1,1 | 10,0 |
| 7 | 6,1 ± 0,9 | 7,6 ± 0,9 | 6,9 |
| 8 | 11,2 ± 1,0 | 8,4 ± 1,7 | 9,8 |
| 9 | 12,1 ± 1,6 | 8,8 ± 0,9 | 10,5 |
| 10 | 8,3 ± 0,7 | 8,3 ± 0,9 | 8,3 |
| 11 | 10,8 ± 3,7 | 8,5 ± 1,9 | 9,7 |
| 12 | 9,1 ± 2,6 | 10,8 ± 1,7 | 10,0 |
| 13 | 9,7 ± 4,0 | 11,2 ± 1,1 | 10,5 |
| 14 | 13,1 ± 2,5 | 9,2 ± 2,0 | 11,2 |
| 15 | 15,1 ± 1,4 | 10,7 ± 2,1 | 12,9 |
| 16 | 9,7 ± 1,0 | 11,0 ± 1,5 | 10,4 |
| Medel- värde | 10,2 ± 2,2 | 9,3 ± 1,5 | 9,7 ± 1,5 |

Hållfasthetsnivån för dessa provplattor ligger relativt högt. Detta kan bero på bra matrissammansättning och en viss ofrivillig fiberorientering, som kan uppstå vid fyllning av formen och utdragning och utjämning av betongmassan till en tunnväggig platta.

Sammansättning

| | |
|----------------------------|--------------------|
| Cement/sand | 1/2,5 |
| Ballastens max kornstorlek | 4 mm |
| Flyttillsats | 3% av cementvikten |
| Fiberhalt | 1,5 vol% |
| Fiberdimensioner | 30/0,3 mm |

Ballasten bör inte vara utarmad på 2 - 4 mm korn. Dessa hjälper till att minska en eventuell fibersedimentering. För övrigt eftersträvar man ett mycket smidigt betongbruk.

Den spridning som redovisas i tabell 3 kan betecknas som normal för fiberbetong, speciellt när man testar relativt smala, i det här fallet 10 cm breda, provkroppar. Spridningen sammanhänger här i första hand med variationer i fiberorientering.

Vid inspektion av brottytor framkom i de flesta fall ingen märkbar fiberanrikning nertill mot formen. Den skillnad i böjdraghållfasthet, som framkom mellan de olika provningsriktningarna beror snarare på att ovanytan till ca 2 mm djup har en något lägre fiberhalt. Man kan räkna med vid normal horisontell gjutning av skivmaterial att formsidan som dragzon får en 10% högre böjdraghållfasthet. Vid lösare konsistens och längre vibrering kan skillnaden bli 30 - 50%.

Hållfasthetsdimensionering genom provning enligt SBN 1975:4

| | Data från tabell 3 | |
|---|--|----------------------|
| | Medelvärde av de olika provningsriktningarna | Formsida som dragzon |
| Medelvärde MN/m ² | 9,7 | 10,2 |
| Spridning MN/m ² | 1,5 | 2,2 |
| Variationskoefficient | 0,15 | 0,22 |
| Karakteristisk hållfasthet MN/m ² | 6,9 | 5,7 |
| Tillåten böjdraghållfasthet MN/m ² | 3,8 | 3,2 |

Formsida som dragzon uppvisar ett högre medelvärde men samtidigt är spridningen större vilket resulterar i en lägre tillåten hållfasthet.

Man kan ifrågasätta beräkningsuttryckets tillämplighet i fråga om relativt små provkroppar av fiberbetong. Dessa visar i allmänhet höga värden på variationskoefficienten, vilket kraftigt sänker den tillåtna hållfastheten.

Det vore därför lämpligare att testa stora skivor eller konstruktioner. I praktiken är dock dylika tester både svåra att utföra och kostsamma. Dessutom kan antalet prov inte bli särskilt stort, vilket enligt beräkningsformeln sänker den tillåtna hållfastheten.

Som jämförelse återges en motsvarande provning avseende orienterade fibrer.

Böjdraghållfasthet MN/m²

| | Formsida som dragzon | Ovansida som dragzon | Medelvärde |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| 1 | 13,1 ± 1,6 | 12,1 ± 1,7 | 12,6 |
| 2 | 18,3 ± 1,8 | 17,3 ± 1,3 | 17,8 |
| 3 | 10,7 ± 0,9 | 10,3 ± 1,7 | 10,5 |
| 4 | 16,7 ± 1,0 | 13,7 ± 2,0 | 15,2 |
| 5 | <u>11,4 ± 1,7</u> | <u>12,0 ± 0,9</u> | <u>11,7</u> |
| Medel- värde | 14,0 ± 3,3 | 13,1 ± 2,7 | 13,6 ± 2,9 |

Beräkning av tillåten hållfasthet för medelvärden av de olika provriktningarna

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Medelvärde | 13,6 MN/m ² |
| Spridning | 2,9 " |
| Variationskoefficient | 0,21 |
| Karakteristisk hållfasthet | 6,5 " |
| Tillåten hållfasthet | 3,6 " |

Jämfört med icke orienterade fibrer har vi en högre hållfasthet men även större spridning vilket sänker den tillåtna hållfastheten. Jämfört med de enskilda värdena erhålls följande säkerhetsfaktorer

| Enskilda värden | Tillåten hållfasthet | Säkerhetsfaktor |
|-----------------|----------------------|-----------------|
| 12,6 | 3,6 | 3,5 |
| 17,8 | " | 4,9 |
| 10,5 | " | 2,9 |
| 15,2 | " | 4,2 |
| 11,7 | " | 3,3 |
| Medel- värde | 13,6 ± 2,9 | 3,8 |

Beräkningsuttrycket ger här säkerhetsfaktorer varierande mellan 2,9 och 4,9, medelvärde 3,8. Även de höga säkerhetsfaktorerna kan sägas ifrågasätta beräkningsuttryckets tillämplighet.

Dessa prover uppvisar en relativt låg hållfasthetsnivå, vilket kan bero på följande.

- Betongmassan har vibrerats för länge före orienteringen. Betongen har hunnit sätta sig och är inte lika rörlig längre.

- Styvare konsistens, vilket fordrar längre orienteringstid.

En ytterligare utvärdering av provning med mer optimal fiberorientering.

| Böjdraghållfasthet MN/m ² | | |
|--------------------------------------|----------------------|----------------------|
| | Formsida som dragzon | Ovansida som dragzon |
| | 30,5 ± 1,3 | 24,7 ± 5,1 |
| | 30,2 ± 2,2 | 23,5 ± 2,8 |
| | 22,6 ± 1,6 | 18,4 ± 2,2 |
| Medelvärde | 27,7 ± 4,1 | 22,2 ± 4,3 |

Man har arbetat med lösare konsistens och således erhållit en större fiberanrikning nertill i formen. Proverna från den första och andra gjutningen är likvärdiga medan proverna från den tredje gjutningen har erhållit en sämre orientering.

Hållfasthetsdimensionering av plattorna med formsida som dragzon.

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Medelvärde | 27,7 MN/m ² |
| Spridning | 4,1 " |
| Variationskoefficient | 0,15 |
| karaktäristisk hållfasthet | 19,1 " |
| Tillåten hållfasthet | 10,6 " |

Hade hållfasthetsdimensioneringen baserats endast på de två första gjutningarna hade spridningen minskat till + 1,9 och den tillåtna hållfastheten ökat till 14,6 MN/m²

Vid dimensionering av inte direkt bärande konstruktioner eller där brottkonsekvenserna är ringa har vi använt följande värden på böjdraghållfasthet.

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| Icke orienterade fibrer | 7,5 MN/m ² |
| Orienterade fibrer | 15,0 " |

Vid direkt bärande konstruktioner bör dimensioneringen helst baseras på provning av färdiga konstruktioner och ej på små provkroppar av fiberbetong.

I nedanstående tabell sammanfattas de utförda dimensioneringarna.

| | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|-----|------|------|------|------|
| Medelvärde | MN/m ² | 9,7 | 10,2 | 13,6 | 27,7 | 30,4 |
| Spridning | " | 1,5 | 2,2 | 2,9 | 4,1 | 1,9 |
| Tillåten hållfasthet | " | 3,8 | 3,2 | 3,6 | 10,6 | 14,6 |
| % av mv | | 39 | 31 | 26 | 38 | 48 |

Den tillåtna hållfastheten kan sjunka så lågt som 26% av medelvärdet.

Bakaert föreslår att den tillåtna böjdraghållfastheten sätts lika med 40,8% av böjdraghållfasthet för förtillverkade produkter där stålfiberbetong används för att ersätta eller minska konventionell armering (8). Beträffande dimensionering kan vidare hänvisas till (9) Moment capacity of steel fibre reinforced small concrete slabs.

LITTERATURREFERENSER

- 1 Batos P. Bond in fibre reinforced cements and concretes. Int. J. Cement Composites 3 (1981):3 s 159-177
- 2 Romnaldi J.P. & Batson G.B. Behaviour of reinforced concrete beams with closely spaced reinforcement. ACI-Journal 60(1963)6 s 775 - 789
- 3 Krenchel H. Fibre spacing and specific fibre surface. RILEM Symposium 1975. Fibre reinforced cement and concrete, London s 69 -79
- 4 Edgington J. & Hannant D.J. The effect on fibre orientation of compaction by vibration. Materials and structures: Research and Testing 5(1972):25 s 41 - 44
- 5 Swamy R.N. & Stavrides H. Some properties of high workability steel fibre concrete. RILEM Symposium 1975 London s 197 - 208
- 6 Rao Kameswara. Effectiveness of random fibres in composites. Cement and Concrete Research 9(1979) s 685 - 693
- 7 Ganeshalingam et al. An evaluation of theories and a design method of fibre cement composites. Int. J. Cement Composites 3(1981):2 s 103 - 114
- 8 Brown D. Deformed steel fibre reinforced concrete. Concrete Industry bulletin. Spring 1979
- 9 Ghalib M.A. Moment capacity of steel fibre reinforced small concrete slabs. ACI Journal July-August 1980 s 247 - 257

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 770102-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutet
för Innovationsteknik, Stockholm.**

R40: 1985

ISBN 91-540-4354-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**Art.nr: 6705040
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms