



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

R37:1977

Fiberbetong

Arvo Miller

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R37:1977

FIBERBETONG

Materialtekniska förutsättningar med
orienterade fibrer

Arvo Miller

Denna rapport hänförs till forskningsanslag 740391-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutet
för Innovationsteknik, Stockholm.

Nyckelord:

Fiberbetong
Fiberorientering
Parallella fibrer
Stålfibrer
Korrosionsskydd
Produkter

UDK 693.554-486
620.197

R37:1977

ISBN 91-540-2700-4
Statens råd för byggnadsforskning

LiberTryck Stockholm 1977

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	4
2	Materialegenskaper	6
3	Säkerhetsfrågor	13
4	Beständighet	14
5	Ytbehandling och korrosionsskydd	16
6	Användningsområden	18
6.1	Icke bärande skivor monterade på reglar	18
6.2	Skiljeväggar	22
6.3	Plank, bräder	23
6.4	Bärande skivmaterial	24
6.5	Balkar, reglar	26
6.6	Stolpar, räcken	26
6.7	Rör	28
6.8	Sammansatta konstruktioner	29
7	Monterbarhet	30
	Litteraturreferenser	31

1. Bakgrund

En alltmer avancerad konstruktionsteknik har inom olika materialområden lett till en utveckling som speciellt inriktats på fiberarmerade kompositer. Även för materialet fiberbetong har intresset vuxit markant och 1974 inleddes ett nordiskt forskningsprojekt på området fiberarmerade cementbaserade material. De mest omfattande studierna av fiberbetong har hittills utförts i USA och England.

Fördelen med fiberarmering av spröda material såsom betong är, att man genom en måttlig tillsats av fibrer kan förbättra egenskaper som brotthållfasthet och deformationsförmåga samt begränsa sprickutbredningen. Detta innebär att matrisen med begränsad uppsprickning kan uppta ökad dragspänning och att brottprocessen blir mer energikrävande.

Fiberbetong tillverkas med metoder som i huvudsak är hämtade från konventionell betongteknik och tillverkning av fiberarmerad plast. Fiberbetongens egenskaper sammanhänger med den använda produktionsmetoden, speciellt med avseende på inblandad fibermängd, grad av fiberorientering och matrisens täthet.

Kompositer innehållande parallella fibrer visar mycket goda hållfasthetsdata i fiberriktningen. Vid två- eller tredimensionell fiberorientering sjunker dock armeringseffekten markant. För att kunna utnyttja fibrerna på ett effektivt sätt bör fibrerna orienteras i relation till förväntade spänningar.

Även från ekonomisk synpunkt är det viktigt att fibrerna utnyttjas på ett effektivt sätt. Vid en stål-fiberkostnad av 4 kr/kg kostar fibertillsatsen

468 kr/m³ betong vid en normal stålfiberhalt av 1.5 vol%. Denna betydande kostnadsökning medför även krav på en mindre materialkrävande design. Detta innebär att fibrerna inte enbart bör orienteras utan även koncentreras i enlighet med de beräknade spänningarna. Kravet på ett effektivt utnyttjande av armeringen kan anses stå i relation till armeringskostnaden och skulle t.ex. öka markant vid användning av höghållfasta fibrer såsom kolfibrer.

Fiberorientering åstadkommer en viss anisotropi, som i en del sammanhang kan vara mindre önskvärd. Många byggnadsmaterial är dock anisotropa utan att vi närmare reflekterar över detta eller utan att anisotropin behöver innebära någon direkt nackdel. T.ex. kan styrkan av trä vara upp till 40 gånger större i fiberriktningen än tvärs fiberriktningen. All armerad betong är anisotrop. Gipsplattor är ca 3 gånger starkare i längdriktningen eller fiberriktningen i pappbeklädnaden, asbestcementskivor ca 1.5 ggr. Böjhållfastheten hos 7.5 mm plywood (3 skikt) varierar med en faktor 5 beroende på riktningen av det nedersta skiktet. Vidare anses en fiberorientering i spånskivor kunna medföra en 20 % materialminskning.

Eftersom i många sammanhang endast 1-2 dimensionell fiberorientering erfordras, föreligger det således behov av att utveckla metoder för fiberorientering. Det är lättare att åstadkomma tvådimensionell än en-dimensionell fiberorientering. Vid sprutning av fiberbetong eller fibrer och betong separat erhålls i huvudsak tvådimensionell fiberorientering. Vidare tenderar fibrerna att lägga sig horisontellt vid bordsvibrering speciellt av tunnväggiga betongprodukter, dvs. att ställa sig vinkelrätt mot den vertikala accelerationen.

En tvådimensionell fiberorientering erhålls även vid användning av fibermattor.

Vid Institutet för Innovationsteknik har utvecklats en metod för magnetisk orientering av stålfibrer i betong. Metoden möjliggör en endimensionell fiberorientering. Den magnetiska orienteringen kombineras med konventionell vibrering för att erhålla en relativt snabb orienteringseffekt även vid styvare konsistens.

Som armering i betong har i huvudsak stålfibrer, glasfibrer, med betydligt förbättrad resistens mot alkalier "CEM-fil" och plastfibrer kommit till användning. Fibrerna är vanligen 20-40 mm långa och beroende på utgångsmaterialet av varierande diameter. Stålfibrer användes i form av enkelfibrer medan glas- och plastfibrer vanligen förekommer som knippen.

Föreliggande rapport behandlar stålfiberbetong närmast beroende på att inga metoder föreligger för närvarande för orientering av glas- eller plastfibrer.

2. Materialegenskaper

Nedan redovisas en sammanställning av resultat hämtade ur undersökningar utförda på CBI och IIT.

Sambandet mellan böjdraghållfasthet och fibervolym för orienterade och icke orienterade fibrer återges i fig. 1. Jämförelsen avser oorienterad fiberarmering vilket med använd provkroppsgeometri inneburit i huvudsak tvådimensionell orientering och magnetiskt orienterad fiberarmering avseende i huvudsak endimensionellt riktade fibrer. Mätpunkterna utgör medelvärden av försök utförda med åtta olika fibertyper.

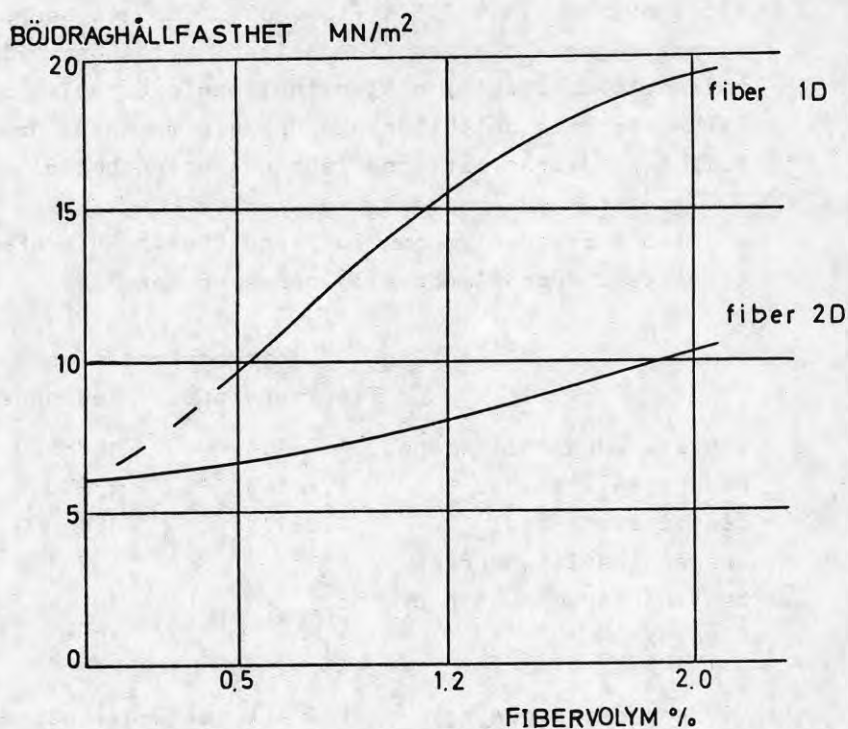


Fig. 1 Sambandet mellan böjdraghållfasthet för orienterade 1D och icke orienterade 2D fibrer samt fibervolym.

Relation between Modulus of Rupture for orientated 1D, not orientated 2D fibres and fibre volume.

Enligt fig. 1 erhålls en påtaglig orienteringseffekt redan vid 0.5 % fibervolym. Orienteringseffekten når sitt maximum vid 1-1.5 % fibervolym för att sedan sjunka något vid högre fiberhalter. Vid högre fiberhalter, över 2 vol%, börjar inblandningsproblem och tendenser till bollbildning göra sig märkbara och det blir även svårare att dra isär och orientera fibrer.

Vid 1.5 % fibervolym har följande förstärkningsfaktorer uppnåtts i förhållande till oarmerat material.

	Fiberorientering	
	Tvådimensionell	Endimensionell
Enaxiell draghållfasthet	1.2-1.4	1.7-2.0
Böjdraghållfasthet	1.2-1.3	2-2.5
Elasticitetsmodul	1.0-1.05	1.1
Proportionalitetsgräns	1.1	1.2-1.3
Brottöjning vid böjning	3	10
Slagseghet	8	10

Vid enstaka provningar vinkelrätt mot endimensionellt orienterad fiberarmering har följande ungefärliga förstärkningsfaktorer, i jämförelse med oarmerad betong, erhållits:

Böjdraghållfasthet	1.1
Slagseghet	4

Någon försvagning av materialet vinkelrätt mot fibrerna har således inte kunnat märkas.

Medelkurvor för spännings-deformations-sambanden visas i fig. 2.

Vid fiberorientering kan man även åstadkomma en markant fiberkoncentration (sedimentation) i vertikalled. Genom att koncentrera fibrerna i dragzonen erhålls en

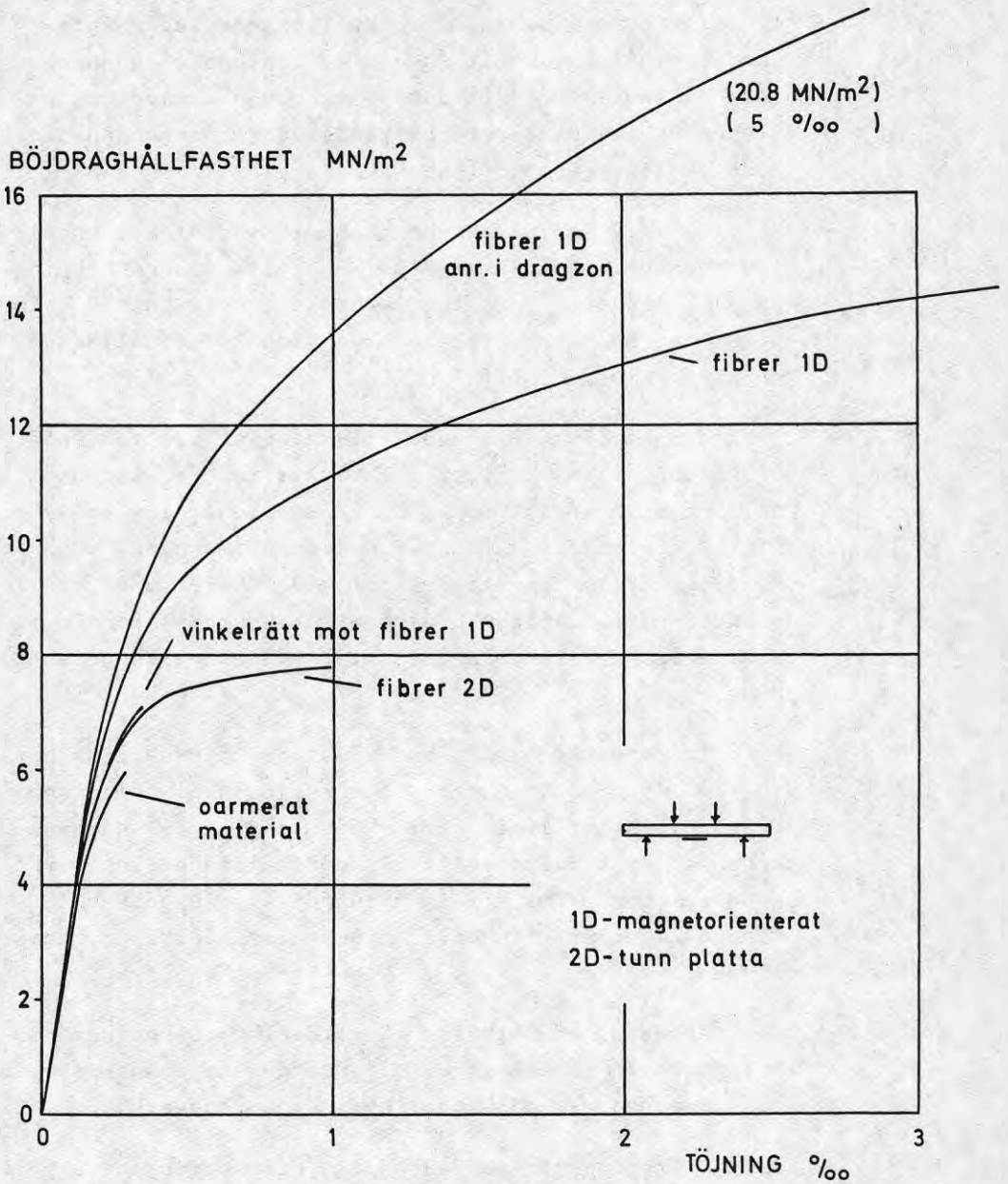


Fig. 2 Medelkurvor för samband mellan böjdraghållfasthet och deformation.

Stress-strain relationship in bending.

betydande ökning av böjdraghållfastheten och deformationsförmågan. De orienterade fibrerna låser inte varandra på samma sätt som de oorienterade och hindrar inte varandra från att sedimentera. Fibersedimentationen är i första hand beroende av konsistensen men även av fibergeometri och vibrering.

Enligt fig.3 kan en betydande anrikningseffekt erhållas med en cementrik matris. En dylik fiberanrikning är av intresse främst i bärande konstruktioner. Metoden medför även att betongovanytan kan erhållas så gott som fiberfri.

I en del tillämpningar som skivmaterial bör man inte eftersträva en 100%-ig fiberorientering för att undvika alltför stor anisotropi. En fiberorientering enligt fig. 4 förefaller lämplig i dylika sammanhang. Man har kunnat märka att de slumpvis förekommande mindre variationerna i fiberkoncentration, som kan förekomma i fiberbetong, tenderar att utjämnas vid fiberorientering.

Av hållfasthetsegenskaperna påverkas tryckhållfastheten föga av fibertillsatsen. Om armeringen är orienterad i spänningsriktningen kan en utknäckning äga rum medförande för tidigt brott. Tvärorienterade fibrer förhindrar däremot materialets tvärutvidgning och bildningen av mikrosprickor i matris materialet i tryckriktningen.

I fiberbetong är matrisen mängdmässigt så dominerande (ca 98 vol%) att många av fiberbetongens egenskaper är helt beroende av matrisen, dvs. av betongen.

Sammanfattningsvis kan sägas att fiberbetongens egenskapsförbättringar jämfört med konventionellt tillverkad betong är huvudsakligen beroende av ökad draghållfasthet, deformationsförmåga, god sprickfördelning och

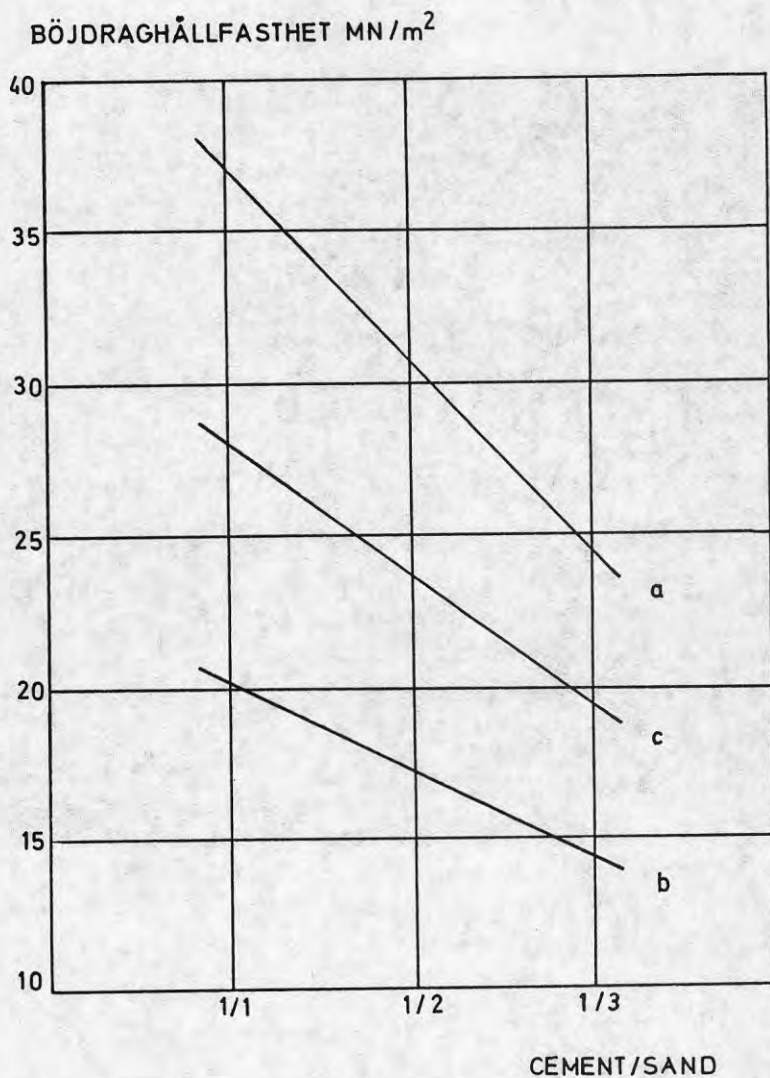


Fig. 3 Effekten av fiberkoncentrering, orienterade fibrer.
 a) Anrikning i dragzon b) Anrikning i tryckzon c) Medelvärde.

The effect of fibre concentration, orientated fibres. a) Concentration in tensile zone
 b) Concentration in compressive zone
 c) Mean value.

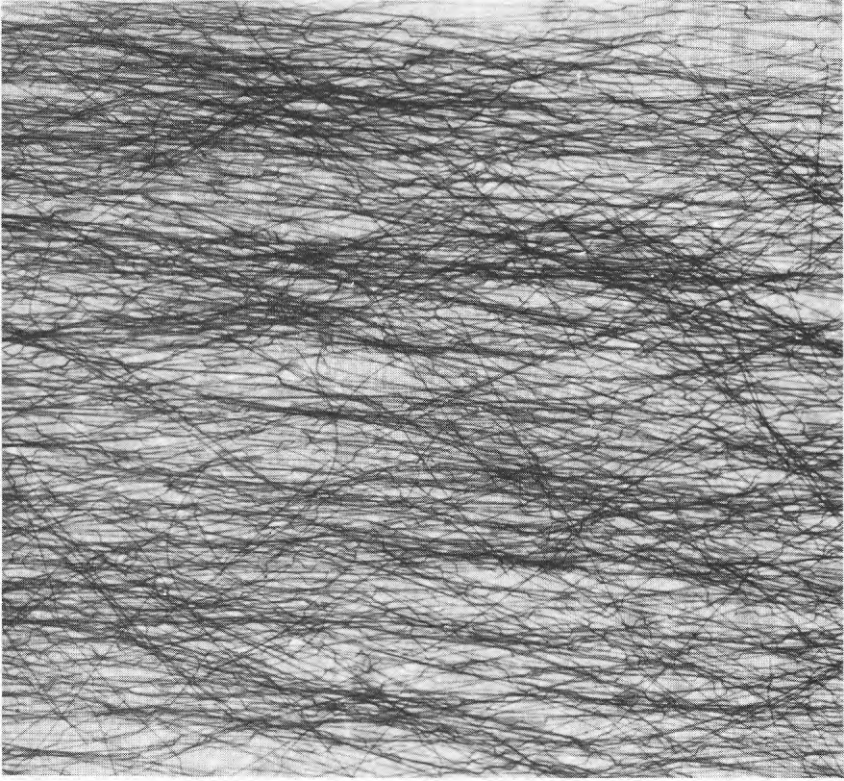


Fig. 4 Orienterade fibrer.
Orientated fibres.

elastoplastiskt beteende. I regel är sprickvidderna i det spruckna stadiet så små att betongen fortfarande är lika vattentät som i osprucket stadium. Normala temperatur-, krympnings- och krypningsrörelser har fiberbetong visat sig kunna motstå, vilket ger ökade möjligheter vid konstruktiv utformning. Kombinationer av ovan relaterade egenskapsförbättringar ger bakgrund till fiberbetongens ökade möjligheter att även kunna motstå dynamiska påkänningar och ge bättre frost- och brandskydd samt minskat slitage. Olika aspekter på fiberbetong behandlas närmare i en rapport som redovisar resultaten av ett nordiskt forskningsprojekt på området fiberarmerade cementbaserade material (1).

3. Säkerhetsfrågor

I byggnadsbestämmelser finns allmänna krav angivna för byggnadsdelar. Svensk Byggnorm (1975) föreskriver att där inte annat anges betraktas den statistiska variationen i konstruktionens egenskaper så att kraven skall uppfyllas av 70 % av konstruktionerna och bedömning härav med stickprov skall ske på 75 % konfidensnivå.

Normalt godtas säkerhetsfaktorn 1.8 vid primärt bärande konstruktioner, varvid bärförmågan definieras som den nedre 5 %-fraktilen bestämd på 75 % konfidensnivå.

Enligt kommande europeiska bestämmelser (CEB) anges karakteristiskt värde på betonghållfasthet likaledes till 5 %-fraktilen, varvid en acceptansnivå på 75 % vanligen väljs.

De allmänna dimensioneringskrav som nämnts ovan är materialoberoende och därför lika tillämpliga på fiberbetong som på vanlig betong.

Spridning i materialegenskaperna har ofta visat sig vara större för fiberbetong än för vanlig betong. Hur

stora spridningar som erhålls i praktiken har ännu inte kunnat kartläggas. De låga inblandningsmängderna, 1-2 vol% fibrer, gör att även små variationer i tillsatt fibermängd kan ha betydande konsekvenser. Det är därför viktigt att både fiberdoseringen och inblandningsprocessen sker på ett tillfredsställande sätt.

Materialkontrollen bör i första hand ske på färdig produkt eller på prov ur färdig produkt. Utvärdering av olika provningsmetoder för fiberbetong sker för närvarande i RILEM:s tekniska kommitté 19 FRC. Kartläggning av fibrernas fördelning och orientering kan t.ex. ske med hjälp av röntgenfotografering och en elektromagnetisk täcksiktmetare.

Det är nödvändigt att i varje enskilt fall utreda brottkonsekvenserna vid användning av fiberbetong i primärt bärande konstruktioner. Trots det bristande erfarenhetsunderlaget kan dock fiberbetong för närvarande anses ge tillräcklig säkerhet i bärande konstruktioner av mindre dimensioner, förutsatt att påkänningarna och deformationerna är så små att säkerhetsfaktorerna kan klaras utan större problem. Fiberbetong bör således, innan säkrare hållfasthetsdata dokumenterats, endast användas där brottkonsekvenserna ej är av allvarlig natur, t.ex. som beläggningar för golv, väggar och tak. Beträffande konstruktionstekniska aspekter se vidare (2).

4. Beständighet

Betongen utsätts idag för betydande kemisk korrosion. Förutsättningen att stålfiberbetong skall kunna användas även för dekorativa ändamål är att betongytan inte missfärgas t.ex. av rost. Även ut hållfasthetssynpunkt är det viktigt att materialet bibehåller sina styrkeegenskaper vid utomhusbetingelser och kan användas i

korrosiv miljö. Detta gäller speciellt för fiberbetong, som i första hand är avsedd för relativt tunnväggiga konstruktioner.

Enligt utomhustester, som har pågått i fem år i England, har inga betydande korrosionsskador påvisats på stål-fiberbetong (6). Ytligt liggande fibrer kommer dock att korrodera och ge upphov till rostutslag. Fibrerna skyddas av cementmatrisens alkalitet, men detta skydd minskar med t.ex. karbonatisering av betongen. Enligt undersökningar (3) är karbonatiseringen inte försumbar. Detta gäller även för betong av god kvalitet.

År	Karbonatiserad skiktjocklek vid utomhusbetingelser, mm.
1	1
2	1.5
5	2
10	3
25	5

En ytterligare acceleration av korrosionen erhålls genom atmosfärsföroreningar, av SO_2 i industriella samhällen och klorider i havsatmosfär. Vidare föreligger korrosiva betingelser inom andra stora användningsområden såsom reningsverk, lantbruksbyggnader och i rör-sammanhang.

Även om inga fibrer ligger i själva betongytan efter en lämplig fiberorientering, kan dock ytliga rostskador uppstå efter ett antal års exponering.

Det är därför viktigt att exponerad stålfiberbetong skyddas mot korrosiva angrepp i dåsana tillämpningar där missfärgningar inte kan accepteras. Samtidigt kan den gråa fiberbetongen betraktas som en halvfärdig produkt. Dagens miljökrav fordrar valfri form, färg och glans, dvs. någon typ av ytbehandling.

5. Ytbehandling och korrosionsskydd

Beroende på den aktuella betongkonstruktionens funktion och med hänsyn till estetiska, hållfasthetsmässiga och ekonomiska krav används en mängd olika system vid ytbehandling av betong. Som exempel på krav i olika sammanhang kan nämnas: slitstyrka vid industrigolv, väderbeständighet vid fasadmålning och tvättbarhet vid inomhusmålning. De vanligaste ytbeläggningsystem för betong är:

vattenbaserade latexfärger, användes in- och utvändigt
 klorkautschukfärg - " -
 alkydfärger, användes i stor utsträckning invändigt
 epoxi och uretaner, på golv och för högklassigt
 ytskikt.

Principiellt gäller att en färg med liten eller ingen inträngning i betong (t.ex. latexfärger och färger baserade på bindemedel med hög molekylvikt) fordrar ett slätt och kompakt ytskikt fritt från löst förankrade partiklar. Vid färgsystem som lättare tränger ned och fyller ut eventuella lufthåligheter i ytskiktet (t.ex. flytande epoxi) blir de svaga ytpartierna inbäddade av färgen förutsatt att ett tillräckligt tjockt lager påförs.

I många tillfällen är orsaken till dålig vidhäftning mellan betong och ytbeläggning beroende av svagheter i betongytans yttersta skikt (0-2 mm). Genom påföring av ett impregneringsmedel, ofta en klarlack, uppnås nedanstående fördelar.

- mekanisk förstärkning av betongytan,
 bindning av cementdamm
- bättre kemikaliebeständighet speciellt mot sura angrepp
- inträngning av smuts, bakterier, olja m.m. i betongen förhindras.

En ytimpregnering utgör vidare en utmärkt grund för efterföljande målningsbehandling eller limning. Genom ytimpregnering erhålls en jämnare materialövergång mellan betong och ett polymert beläggningsskikt. Inträngningen är beroende av faktorer som viskositet, torkningshastighet, molekylstorlek, betongens porositet och dess fuktnivå.

Beträffande korrosionsskydd av fiberbetong bör ytbeläggningsmaterialen vara täta och av permanent natur. Intresset knyts därvid i första hand till hårdplaster som kan ytimpregnera betong, visar god vidhäftning till betong och har god beständighet. Vissa system bibehåller dessutom sitt utseende, glans m.m. under mycket lång tid. Härvid måste dock uppmärksammas att utomhusanvändning av betongprodukter försedda med ett diffusionstätt ytskikt kan innebära risker. Eftersom fukt- och vandringer förekommer i betong kan frostsador uppstå i betongen bakom ytskiktet samt liksom vidhäftningsbrott. Generellt karakteriseras dock fiberbetong av en förbättrad frostbeständighet.

Alternativt kan man använda sig av rostfria fibrer. Fibrer av kromnickelstål (AISI 304 och 316) är kommersiellt tillgängliga men förefaller att vara överkvalificerade och ur kostnadssynpunkt mindre lämpliga för de flesta användningsområden. De är ca fem gånger dyrare än icke rostfria fibrer. Behov föreligger att utveckla fibrer av låglegerade stål med högt korrosionsmotstånd.

Det kan nämnas att en ny metod har utvecklats för fiberframställning direkt ur metallsmälta. Metoden förväntas åstadkomma en betydande sänkning av fiberkostnaden och lämpar sig t.ex. för framställning av kromstålfibrer.

6. Användningsområden

6.1 Icke_bärande_skivor_monterade_på_reglar

Skivor används vanligen som ytkomponenter i byggelement såsom väggar, golv och tak. Materialens egenskaper skall då värderas i relation till någon specifik slutanvändning hos konsumenten, i det här fallet blir värderingen bunden till det vanligaste byggsättet nämligen med skivor på reglar.

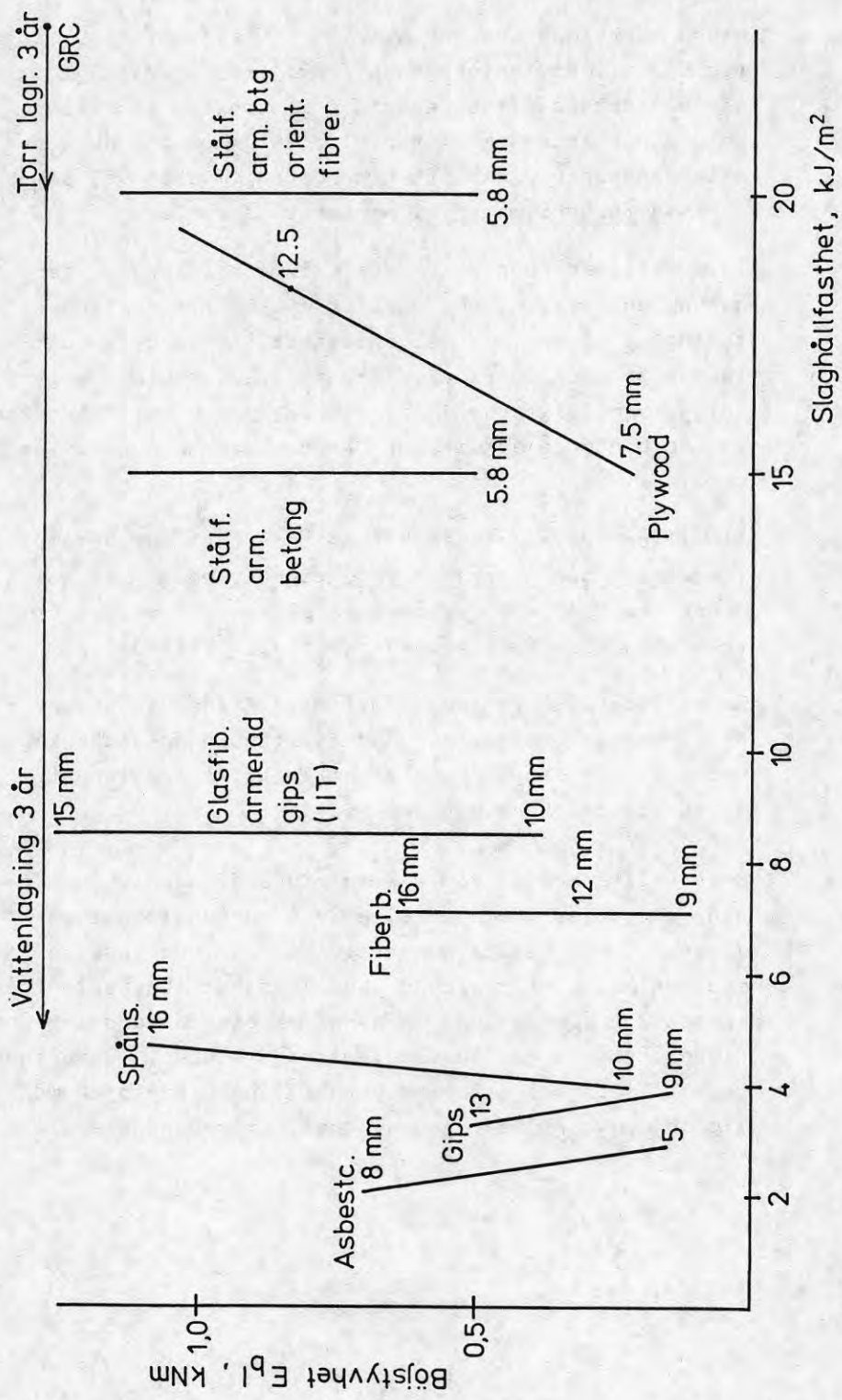
Fiberbetongen har analyserats i relation till träbaserade skivmaterial för vilka det svenska och norska träforskningsinstitutet har uppställt värderingskriterier (7,8,9). Analysen beskrivs närmare i (4) och kan sammanfattas enligt följande.

Böjstyvheten, som uttrycker kravet på formstabilitet och soliditet, anges som en av de viktigaste egenskaperna för skivmaterial. Den bestämmer vidare regelavståndet hos väggen.

Böjstyvheten är en funktion av skivans tjocklek och E-modul. E-modulen för cementbaserade material är hög och en god böjstyvhet uppnås således vid relativt tunna skivor.

Vid hantering, uppsättning och på plats utsätts skivor för tillfälliga dynamiska påkänningar, särskilt slag vinkelrätt mot skivan. Slagtåligheten är speciellt viktig beträffande påkänningar på hörn och kanter. Slagtåligheten nämns vidare i samband med försäkringsbolagens krav att väggarna inte skall vara alltför lätta att forcera för inbrottstjuvar.

Enligt fig. 5, där böjstyvheten återges som funktion av slaghållfasthet uppvisar stålfiberarmerad betong, speciellt med orienterade fibrer, så goda hållfasthetsdata att materialet mycket väl skulle kunna användas



FIGUR 5. Böjstyvhet som funktion av slaghållfasthet.
Stiffness in flexing as a function of impact strength.

för konstruktionsändamål som t.ex. plywood.

Andra egenskaper som är av vikt för skivmaterial såsom nedböjning, dimensionsstabilitet, knäckstyrka, ytvikt och buffertkapacitet redovisas i tabell 1 för fiberbetong och andra skivmaterial. En genomgång av dessa skivegenskaper visar att fiberbetong mycket väl lämpar sig för skivmaterial monterat på reglar.

Till skillnad från de flesta skivmaterial har fiberbetong en relativt hög ytvikt, vilket försvårar hanteringen. I samband med industrialiserad byggnadsteknik är dock denna egenskap inte av speciell betydelse, samtidigt som ljudisoleringen och buffertverkan, som är beroende av vikten, mer och mer har uppmärksamats.

Slutligen krävs det varaktighet och beständighet mot långvariga påkänningar. Varaktighetskraven kan delvis överföras till skivans råmaterial men underlaget beträffande fiberbetong är än så länge bristfälligt.

En av fiberbetongskivors mest utmärkande egenskaper är deras obrännbarhet. Eldresistensen är ett säkerhetskrav som har skärpts genom lagstiftning för att minska bostadskonsumentens risk.

Brotthållfastheten vid exempelvis drag- och böjpåkänning utnyttjas normalt sällan vid rumsskiljande användning. De flesta konventionella skivor uppvisar dock en relativt hög böjdraghållfasthet, bortsett från gipsskivor vars styrka är av samma storleksordning som fiberbetongens med icke orienterade fibrer. De orienterade fibrernas större styrka i fiberriktningen möjliggör dock användningen av t.ex. större regelavstånd.

Tabell 1

Spånskiva	13	0.5	4	0.28	2.63	0.5-0.7	74	0.25-0.38	7.8	2.8	0.62	Måttnoggrannhet mm Tjocklek Längd Bredd Beständighet	
Fiberboard	12	0.3	7	0.47	4.46	0.5-0.6	68	0.63	ca 7	2.5	0.2-0.4		
Plywood	10	0.5	18	0.20	2.70	0.3-0.4	74	0.44	5.9	2.1	ca 1.3		
Gipsplatta	13	0.5	3	0.34	2.63	0.04 ¹⁾	174	1.7-2.5	10	2.5	0.22		
Asbetscement	8	0.7	2	0.38	1.98	0.2	72	0.5	16.7	4.2	5.5		
Kravförlägg	8-13	>0.5	ca 10	<0.3	<2.0	<0.2		<0.5		>4.2			
Fiberbetong	10	2.5	15-20	0.16	0.54	0.05	180		23	5.7	ca 5		
"	8	1.3	"	0.24	1.05	"	144		18.4	4.6	"		

1) 45-90 r.f.

6.2 Skiljeväggar

En icke bärande invändig vägg skall normalt tåla en horisontell brottlast (linjelast) av 2000 N/m (10). Vi antar att en 2 m hög skiljevägg, som inte är fastspänd upp- och nertill skall tåla samma belastning (vertikal linjelast). För skivmaterial av fiberbetong erfordras då följande regelavstånd respektive skivtjocklek. (Böjdraghållfasthet 7.5 resp. 15.0 MN/m² för icke orienterad och orienterad fiberbetong.)

Tjocklek av fiberbetong	Regelavstånd	
	Icke orient. fib.	Orient. fib.
10 mm	0.70 m	1.00 m
12 "	0.85 m	1.20 m
14 "	1.00 m	1.40 m

Styrkemässigt tillåter orienterade fibrer således en större fri längd. Vid en vägg måste man även ta hänsyn till den utböjning, som belastningen åstadkommer. Eftersom utböjningen är oberoende av fiberorienteringen erhålls en större utböjning vid tunnare skivmaterial och större regelavstånd.

En böjstyvhet av 0.5 kNm (per cm enhetsbredd) används vanligtvis vid ett regelavstånd av 0.6 m (13 mm tjocka gips- och spånskivor). Regelavståndet är proportionellt mot tredje roten ur böjstyvheten och vid större regelavstånd ökar kravet på böjstyvheten och skivtjockleken enligt följande:

Regelavstånd	Böjstyvhet	Skivtjocklek fib.btg.
m	kNm	mm
0.6	0.5	5.8
0.8	1.2	7.8
1.0	2.3	9.7
1.2	4.0	11.7
1.4	6.3	13.6

Även resonemanget angående böjstyvhet tyder på att ett betydande regelavstånd kan användas vid fiberbetongskivor av rimlig tjocklek. (Vid beräkningar har använts en E-modul av 30 GN/m^2 avseende korttidshållfasthet.)

6.3 Plank, bräder

I plank och bräder fordras endimensionell fiberorientering och orienteringstekniken kan sägas ha möjliggjort tillverkning av dessa produkter i betong, som ett alternativ till trä. Fibertetongens hållfasthets-, deformations- och slagseghetsegenskaper möjliggör vidare tillverkning av tunnväggiga produkter som t.ex. ca 10 mm tjocka staketplank. Möjligheten att i fiberbetong variera sektionformningen är också mycket fördelaktig och komponenter med tjockare sektioner kan användas för lastbärande och ljudisolerande funktioner.

Plank av fiberbetong skulle kunna komma till användning t.ex. i lantbruksbyggnader, silos, staket och ljudbarriärer samt som formmaterial vid betonggjutning. Som kvarsittande form bör materialet kunna förenkla formsättning, minska kravet på tjockleken hos det täckande betongskiktet och ge ett tilltalande utseende. Vidare har konstaterats väsentligt ökad bärförmåga kombinerat med minskad deformation vid användning av kvarsittande tunn fiberarmerad betongform på undersidan av betongbalkar. Som brandskydd för stål torde fiberbetongplank vara användbara. Det är tänkbart att plank av fiberbetong även mindre inbjuder till vandalism.

Som prov har tillverkats 175 cm långa, 20 cm breda och 1.2 cm tjocka plank av fiberbetong med orienterade fibrer. Planken väger ca 9 kg.

Fibrer 1.5 vol%	25/0.30 mm	40/0.40 mm
	släta	ändförankrade
Böjdraghållfasthet MN/m ²		
i gjutriktning	18.9±12.9 %	26.2±7.1 %
mot - " -	16.4±9.8 %	19.8±25.0 %
medelvärde	17.7	23.0
Slaghållfasthet kJ/m ²	31±21 %	26±16 %

Tabellen ger exempel på vilka hållfasthetsvärden som kan uppnås med orienterade fibrer och vilka spridningar som kan förekomma. Med hänsyn till detta har man i bärande konstruktioner räknat med en böjdraghållfasthet av 15 MN/m².

6.4 Bärande skivmaterial

Nordiska riktlinjer har utarbetats för bärande golv- och yttertakspaneler beträffande styrka, styvhet och dynamisk stötlast (11). NKB-riktlinjerna avser visserligen träkonstruktioner men kan tjäna som grund för bedömning av fiberbetongens användning för nämnda ändamål.

Hållfasthetskraven avser bruksgränstillstånd (tydlig brytning av arbetskurvan p.g.a. sprickbildning) och brottgränstillstånd (högsta punkt på arbetskurvan). Motsvarande hållfasthetsnivåer för fiberbetong med 1.5 vol% fibrer kan karakteriseras enligt följande:

	Böjdraghållfasthet MN/m ²			
	Bruks- gränst.	Brott- gränst.	Säkerh. faktor	Räkne- värde
2-dim. fiberorient.	6.0	7.5	2	3.75
1-dim. fiberorient.	7.5	15.0	2	7.5

Vid bordsvibrering av ett relativt tunt skikt fiberbetong erhålls i huvudsak 2-dim. fiberorientering.

Vid bruksgränstillståndet har 2-dim. orienterad fiberbetong en otillräcklig säkerhetsfaktor. Vid 1-dim. orientering är säkerhetsfaktor 2 och bruksgränstillståndet således mera lämpad för praktisk tillämpning.

Fiberbetongens användning för bärande golv- och yttertakspaneler diskuteras närmare i (5) och kan sammanfattas enligt följande. Dimensionerande för fiberbetong är statisk punktlast eller linjelast. Av intresse är att denna hållfasthet kan förbättras genom fiberorientering. Deformationen är i allmänhet inte dimensionerande p.g.a. fiberbetongens relativt höga E-modul jämfört med andra skivmaterial. Nedan ges exempel på erforderlig tjocklek för bärande golvpaneler av stål-fiberbetong, cc 0.6 m, bredd 1.2 m.

	Krav enl. NKB	Paneltjocklek	
		1-dim. orient.	2-dim. orient.
Jämnt fördelad last	2000 N/m ²	<10 mm	<10
Punktlast vid bruksgränst.	2250 N	15 mm ^{x)}	21 mm ^{x)}
Styvhet vid punktlast	<2.5 mm/1000 N	<10 mm	<10 mm
Dynamisk belastning jämfört med pendelprov	ca 8 kJ/m ²	>20 kJ/m ²	ca 20 kJ/m ²

^{x)} Säkerhetsfaktor 2.

Vid större regelavstånd ökar den erforderliga paneltjockleken. Vill man undvika en tjockare panel och en större vikt kan man tillgripa en sammansatt konstruktion beskriven under punkt 6.8. I andra sammanhang kan det erfordras tjockare skivor för att klara ljudisoleringskrav. Skivformad fiberbetong kan finna användning t.ex. i småhus i kombination med trästomme. 4 cm

tjocka fiberbetongpaneler lagda på golvkonstruktion av trä kan ge möjligheter till att klara ljudisoleringskrav för bjälklag mellan två olika lägenheter (2). Småhusens stabilitet skulle kunna klaras på ett enklare och säkrare sätt, brandskydd, ljudisolering, upphängning av VVS-installationer m.m.

6.5 Balkar, regler

Stålfiberbetong med orienterade fibrer kan ta upp betydande dragspänningar och i detta sammanhang är endast längsarmering nödvändig. Genom att utforma balkar med stor konstruktionshöjd och I-tvårsnitt kan man nå god bärförmåga. Genom utformning av tunna liv och flänsar kan man samtidigt hålla materialåtgången och vikten inom rimliga gränser. Användningen skulle i första hand vara prefabricerade balkar och regler för konstruktioner där lasterna normalt är relativt små.

Olika undersökningar visar att fiberbetong ger en rad gynnsamma effekter även i kombination med konventionell armering. Uppsprickningen sker vid högre last och deformationerna är lägre i både osprucket och sprucket stadium. Av intresse är även de orienterade fibrernas förmåga att brygga över sprickor och åstadkomma väsentligt ökad sprickfördelning.

I balkar är det speciellt lämpligt att koncentrera de orienterade fibrerna i dragzonen. Enligt fig. 2 och 3 uppnås därigenom både en betydande ökning av styrkan och deformationsförmågan.

6.6 Stolpar, räcken

Den belastning som en rörformig stolpe normalt utsätts för kan förorsaka kollaps genom lokal krossning eller genom buckling. Kriterierna härvid är betingade av

materialet, rörväggens struktur och rörets proportioner. I långsmala stolpar är fördelen av en exiell fiberorientering uppenbar.

Stolpar kan användas till många ändamål, t.ex. staketstolpar, belysningsstolpar, telefonstolpar, kraftledningsstolpar, och järnvägsstolpar. Hållfasthetskriterierna varierar med användningen, för järnvägsstolpar exv. är styvheten ett problem snarare än styrkan.

En kraftledningsstolpe belastas i tryck av liten excentricitet härrörande från egenvikt, islast och stagkrafter samt horisontella krafter härrörande från vinden, eventuell brytning, ensidig dragning från ledning och stagkrafter. Dessa belastningar är relativt väl definierade. En annan typ av belastning utgörs av åverkan under transport och hantering som är betydligt svårare att specificera.

För jämförelsens skull kan nämnas att ungefär 75 % av alla stolpar i distributionsnätet utgörs av trästolpar, en s.k. K-stolpe. Stolpens längd ovan markytan är maximalt 7.8 m, diametern är 180 mm 2 m från roten och den väger ca 110 kg.

Valet av stolpmaterial beror snarare på ekonomin i tillverkning och hantering än på hållfasthetstekniska överväganden. Beträffande betongstolpar måste dock konstateras att jämförelsevis enkla tillverkningsmetoder för närvarande saknas men att fiberbetong med orienterade fibrer materialtekniskt har skapat nya möjligheter för betongstolpar.

Rimligt är att fiberbetong med orienterade fibrer även kan användas för räcken där fiberbetongens goda motstånd mot slag och stötar skulle kunna komma till användning.

I normerna finns lastförutsättningar angivna och det är givet att dessa måste klaras med definierad säkerhet beroende på olycksrisker, vilka inte föreligger på samma sätt när det gäller staketstolpar.

6.7 Rör_

Täta och funktionsstabila va-ledningar har blivit en miljövårdsfråga. Problemen med att avloppsledningarna blir otäta ligger främst i att det blir en betydande inläckning. Den totala läckvattenmängden beräknas till $100 \text{ Mm}^3/\text{år}$, motsvarande minst 50 Mkr/år (12). Inläckage i avloppsledningar kan vidare sänka grundvattenytan och ha den konsekvensen att avloppsledningarna måste överdimensioneras.

Driftsstörningar på grund av rörbrott och läckage kan bero på otillräcklig brottsäkerhet mot normal last eller på exceptionella påverkningar som med viss sannolikhet kommer att inträffa någonstans längs ledningen någon gång under ledningens livslängd. Sprickbildning som medför genomläckning kan förekomma i en självfallsledning medan motsvarande sprickbildning i en tryckledning ofta innebär driftsavbrott. En förutsättning för att en spricka skall medföra genomläckning är att den är genomgående, vilkat den normalt inte är i armerade betongrör. Vid oarmerade betongrör är sprickor, när de förekommer, genomgående och orsak till läckning.

I detta sammanhang är fiberbetong av speciellt intresse eftersom fiberarmeringen åstadkommer högre sprickspänning, mindre sprickvidder, större deformationsförmåga och ökad brottseghet. Fiberarmeringen anges även förbättra betongens motståndsförmåga mot erosion.

För att erhålla en effektiv fiberarmering bör fibrerna vara orienterade i relation till de förväntade spänningarna, dvs. i fråga om rör som axiell orientering i långsmala rör för att undvika s.k. bankbrott och som tangentiell orientering i grövre rör och i lågtrycksrör.

6.8 Sammansatta konstruktioner

Som tidigare nämnts möjliggör fiberbetong tillverkning av tunnväggiga konstruktioner. I en del fall är den lägre böjstyvheten som den tunna sektionen ger och den ökade deformerbarheten till fördel. Materialet har t.ex. bättre möjligheter att ta upp rörelser i underlaget utan allvarlig sprickbildning. I andra fall kan det vara önskvärt att öka både styrkan och styvheten. Om prefabricerade fasadskivor är utsatta för laster som t.ex. vid balkongfronter kan man utforma dessa genom någon form av förstövning. Profilerade tunna element av fiberbetong är lämpade även för tak- och golvs-kivor, varvid de orienterade fibrernas specifika egenskaper utnyttjas främst i dragsidan hos en böjd sektion.

Nedanstående skiss är ett exempel på en profilerad sektion där fibrerna har orienterats och koncentrerats i dragen zonen i balkdelen medan skivan för övrigt består av icke orienterad fiberbetong.



Tillverkningen sker i praktiken i två steg. Fiberbetongen fylls först i balkdelen varefter fibrerna

orienteras och koncentreras, sedan fylls formen med icke orienterad fiberbetong.

7. Monterbarhet

Plank och skivor monteras i allmänhet genom spikning, limning, genom överlappsfog av not och spåntyp eller med fals. God fogstyrka är ofta väsentlig för ett lätt och snabbt monteringsarbete.

Fiberbetong är inte spikbar och denna egenskap kan vara en nackdel och försvåra infästning invändigt t.ex. av vissa inventarier i väggen. Normalt finns det dock speciella upphängningsanordningar för dylika skivor. Spikningen lämpar sig mindre väl för skivor med färdig yta och utomhus vill man helst slippa synlig spikning och föredrar fogning med täckande läkt eller dylikt.

Limningen däremot lämpar sig väl för fiberbetong och dagens utbud av högvärdiga limtyper både för inomhus- och utomhusbruk är stort. Relativt sett kan orörliga fogar erhållas genom limning, samtidigt som det även finns tillgång till elastiska lim.

Genom fiberbetongens goda dynamiska egenskaper kan materialet borraras och fästas med bult. Denna sammanfogningsteknik ger möjligheter till både monterbarhet och demonterbarhet hos betongkonstruktioner. Knutpunkter skulle t.ex. kunna utformas på motsvarande sätt som i stålbyggnadstekniken.

Litteraturreferenser

- 1) Fiberbetong, Nordforsk FRC-rapport, 1977
(rekvireras från CBI)
- 2) Ibid. Delrapport T, H. Persson
- 3) Ibid. Delrapport B, S. Pihlajavaara
- 4) Ibid. Delrapport U, A. Miller
- 5) Ibid. Delrapport V, A. Miller
- 6) Hannant D.J. Edgington J. Durability of steel fibre concrete. RILEM symposium 1975. Fibre reinforced cement and concrete.
- 7) Hansen H. Funksjonskrav til innvendige kledninger. Norges Byggforskningsinstitutt. Saertrykk 102, Oslo 1965.
- 8) Back E. et al. En jämförelse av byggskivors mekaniska egenskaper, särskilt för icke bärande konstruktioner. Sv. Träforskningsinstitutet. Meddelande Serie B Nr 79, Stockholm 1971.
- 9) Back E. Värderingsgrunder för träbaserade skivor. Sv. Träforskningsinstitutet. Meddelande Serie B Nr 294, Stockholm 1974.
- 10) Moberg L. Ikkebaerende innvendige vegger. Anvisning 12. Norges Byggforskningsinstitutt 1975.
- 11) Nordiska riktlinjer för träkonstruktioner 3. NKB-skrift nr 18. Dec. 1973.
- 12) Janson L-E, Janson J.E. Generella funktionskrav på vatten- och avloppsledningar. Byggforskningen D5:1975.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740391-9 från
Statens råd för byggnadsforskning till Institutet
för Innovationsteknik, Stockholm**

R37: 1977

**ISBN 91-540-2700-4
Statens råd för byggnadsforskning**

**Art.nr: 6600637
Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

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

Cirkapris: 20 kronor + moms