



PRAKTISK ANVENDELSE AF FIBERBETON

© 1995 Dansk Betonforening

Dansk Betonforening
c/o Ingeniørforeningen i Danmark
Vester Farimagsgade 29
DK-1780 København V

Tlf 33 15 65 65
Fax 33 15 37 07

Tryk: Paritas Grafik A/S

Indholdsfortegnelse

1. Forord	5
2. Sammenfatning	6
3. Summary	7
4. Indledning	8
4.1 Fibrenes virkemåde	10
4.2 Betydende parametre	14
5. Fibertyper	15
5.1 Stålfibre	16
5.2 Glasfibre	18
5.3 Plastfibre	18
5.4 Cellulosefibre	19
5.5 Kul fibre	19
6. Udførelsesmetoder	21
6.1 Stålfibre	21
6.2 Glasfibre	21
6.3 Plastfibre	22
6.4 Cellulosefibre	22
7. Beregningsmetoder	24
7.1 Materialekarakteristik	24
7.2 Low-end Kompositter	26
7.3 High-end Kompositter	27
8. Projekter	28
8.1 Opbygning af database	28
8.2 Gulve	30
8.3 Tanke	30
8.4 Reparationer	31
8.5 Membraner	31
8.6 Belægninger	31
8.7 Puds	32
8.8 Facadeelementer	32
8.9 Blivende forskalling	33
8.10 Andre elementer	33
9. Litteratur	34
Bilag A: Eksempel på referenceblad	
Bilag B: Udskrift af database	
Bilag C: Svarkort vedrørende opdateringer	

1. Forord

Deltagere	Dansk Betonforening nedsatte i 1993 en arbejdsgruppe vedrørende fiberbeton. Arbejdsgruppen fik følgende sammensætning: Ole Brandt (formand) Mette Glavind (sekretær) Karen Fhær Jensen Claus Bering Jan Frandsen Erik Stoklund Larsen Henrik Stang Hans Grøn Torben Andersen.
Kommissorium	Arbejdsgruppen fik som kommissorium at opsamle erfaringer med praktisk anvendelse af fiberbeton. Erfaringsopsamlingen er foretaget ved indsamling af oplysninger om eksisterende fiberbetonkonstruktioner. Der er søgt oplysninger om fiberbetonkonstruktioner, formålet med fibertilslætning, receptoplysninger (fibertype, fibermængde m.m.), udførelsesmetoder, beregningsmetode og om eventuelle langtidserfaringer.
Database	Ud fra det indsamlede materiale, er der i Lotus Approach version 3.0 udarbejdet en database. Databasen er opbygget, så det er muligt at søge oplysninger ud fra følgende indgange: Konstruktionstype, leverandør, entreprenør og/eller rådgiver. For en del referencer er desuden givet en tilstandsvurdering på baggrund af arbejdsgruppens subjektive vurderinger. En evt. negativ omtale betyder ikke, at gruppen fraråder de pågældende løsninger, men kun at det pågældende arbejde ikke er lykkedes så godt som forventet. Informationerne i rapporten er vejledende og bør ikke erstatte rådgivning i den konkrete situation. Enhver anvendelse af data-basen og informationerne heri sker på brugerens eget ansvar. Databasen er ikke komplet for eksisterende fiberkonstruktioner, ligesom der til stadighed vil komme flere til. Derfor opfordres brugerne til at indsende oplysninger i skemaform som vist i bilag A til Dansk Betonforening. Det gælder både nye projekter og tilstandsvurderinger af allerede beskrevne emner. Hermed er der mulighed for med jævne mellemrum at opdatere databasen. Det forventes, at databasen vil blive opdateret 1 gang årligt. Svarkortet i bilag C kan kopieres og sendes til Dansk Betonforening, hvorefter opdateringer automatisk vil blive tilsendt.
Rapport	Udover databasen er der udarbejdet en praktisk orienteret rapport, som arbejdsgruppen håber er læsbar for alle bygningsingeniører. For mere videnskabelige erfaringer henvises til rammeprogrammet "Cement-baserede Kompositmaterialer", [Glavind, 1993]. Det er arbejdsgruppens og Dansk Betonforenings håb, at denne anvisning kan medvirke til en målrettet udnyttelse af fiberbeton.

September 1995
Dansk Betonforening

2. Sammenfatning

Dansk Betonforenings arbejdsgruppe vedrørende fiberbeton har indsamlet oplysninger om i alt 118 danske konstruktioner, der er udført med fiberbeton i perioden 1985-94.

Langt den største mængde fiberbeton anvendes til præfabrikerede facade- og tagelementer, hvor facadeelementerne typisk er fremstillet med glasfibre i mængder på ca. 4 vol. % (ca. 500.000 m²), og hvor tagelementerne er fremstillet med cellulose- og polypropylenfibre i ikke oplyste mængder. Sidstnævnte indgår ikke i databasen.

Udover facade- og tagelementer anvendes de største mængder fiberbeton til gulve (ca. 65.000 m²) og tanke (ca. 19.000 m²). Gulvene udføres af fiberbeton med enten 0,4-1 vol. % stålfibre eller ca. 0,1 vol. % polypropylenfibre, og tankene udføres af sprøjtetøbt fiberbeton med ca. 2 vol. % polypropylenfibre.

Fiberbeton anvendes desuden i ukendte mængder til reparationer. Der benyttes polypropylenfibre og stålfibre, enten hver for sig eller sammen i mængder på 0,2-2,5 vol. %.

Af andre anvendelsesmuligheder kan nævnes membraner (ca. 7.000 m²), belægninger (ca. 13.000 m²), blivende forskalling og andre elementer som kantelementer, stålbænke og plantekasser.

Manglen på beregningsmetoder og standarder er karakteristisk for området og vurderes at hæmme brugen af fiberbetonkonstruktioner. Facadeelementer i glasfiberarmeret beton, der hører til den mest anvendte type fiberbeton, er det område, hvor man finder de mest præcise beregningsmetoder.

Interessen omkring brug af fiberbeton vurderes af arbejdsgruppen at være stigende. Det er dog nødvendigt, at der udvikles praktisk anvendelige beregningsmetoder, hvis fiberbeton skal finde bred anvendelse i bygge- og anlægssektoren.

Derudover er det nødvendigt, at der skabes et erfaringsgrundlag fra praksis for, at fiberbeton kan blive indført i normer og standarder. Der skal derfor lyde en opfordring fra arbejdsgruppen til en øget praktisk anvendelse af fiberbeton.

3. Summary

Danish Concrete Association's working group on fibre reinforced concrete has carried out a retrieval of data about 118 Danish structures built with fibre reinforced concrete during the period 1985-94.

By far the biggest quantity of fibre reinforced concrete is used for pre-cast facade units and roofing units. Typically, the facade units are manufactured with an addition of approximately 4 vol. % of glass fibres (approximately 500.000 m²) and the roofing units are manufactured with addition of cellulose and polypropylene fibres (quantities not informed). The latter is not included in the data base.

Apart from facade and roofing units the biggest quantities of fibre reinforced concrete are used for flooring (approximately 65.000 m²) and containers (approximately 19.000 m²). The floors are made of fibre reinforced concrete with addition of either 0,4 - 1 vol. % of steel fibres or approximately 0,1 vol. % of polypropylene fibres, and the containers are made of sprayed fibre reinforced concrete with addition of approximately 2 vol. % polypropylene fibres.

Fibre reinforced concrete is also used for repair purposes, but the quantities are not known. The fibres are polypropylene and steel fibres used together or separately in quantities of 0.2 - 2.5 vol. %.

Other possible applications are for instance membranes (approximately 7.000 m²), pavements (approximately 13.000 m²), permanent formwork and other units such as edge elements, steel benches and flower boxes.

The absence of calculation methods and standards within this field is characteristic and is estimated to impede the use of structures of fibre reinforced concrete. The facade units made of glass fibre reinforced concrete are among the most commonly used type of fibre reinforced concrete and here the most accurate calculation methods are also found.

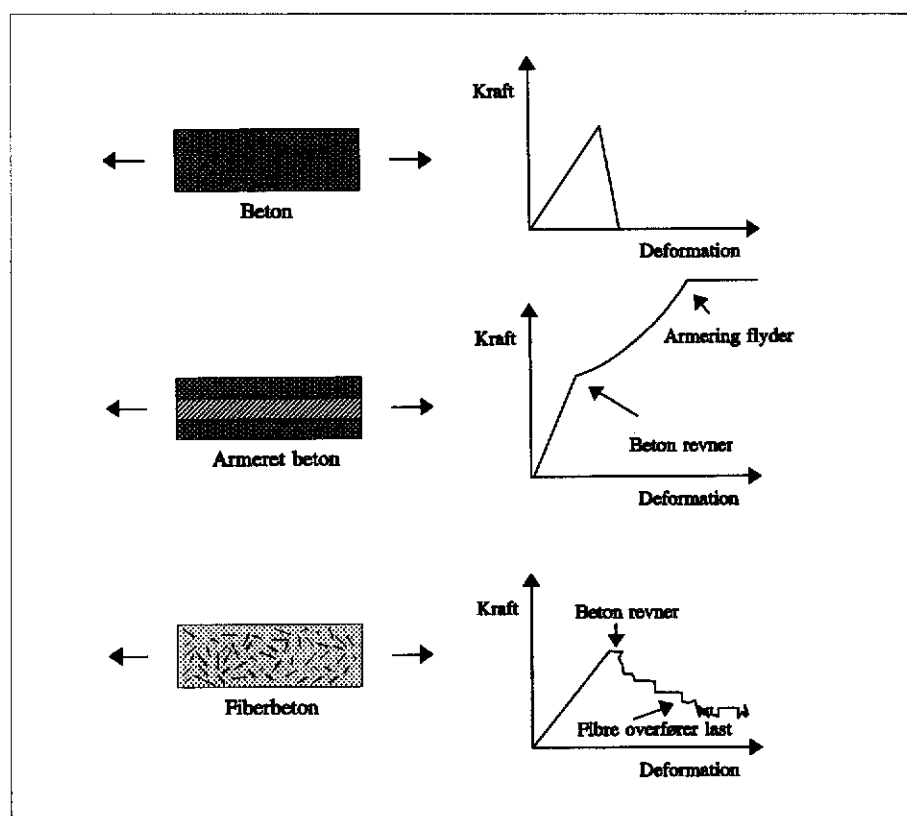
The working group estimates that the interest for the use of fibre reinforced concrete is increasing. It is however necessary to develop practical and usable calculation methods if fibre reinforced concrete is to be used extensively in the building industry.

It will also be necessary to procure a foundation from the practical application in order that fibre reinforced concrete be comprehended by norms and codes of practice. The working work therefore encourages an increased practical application of fibre reinforced concrete.

4. Indledning

Uarmeret beton

Uarmeret beton er karakteriseret ved at have en lav trækstyrke og en lille træktøjningskapacitet, dvs. materialet er skørt. Når betonen trækbelastes, vokser kraften, uden at der dannes revner, indtil betonen pludselig revner helt igennem. Trækarbejdslinien for uarmeret beton er så godt som retlinet til brud og falder herefter brat til nul, se figur 4-1 øverst.



Figur 4-1. Materialeopførsel under træk for uarmeret beton, jernbeton og fiberbeton.

Jernbeton

Det betyder i praksis, at der som regel i styrkeberegninger af betonkonstruktioner ses helt bort fra trækstyrken. For at betonen kan bruges konstruktivt, er det derfor en traditionel og veldokumenteret praksis at indlægge armering i trækzonerne til at optage trækspændingerne. En typisk trækarbejdslinie for en jernbeton er vist på figur 4-1 i midten.

Da betons træktøjning er meget lille, vil den omkringliggende beton revne, når armeringen overtager belastningen. Konventionel armering fungerer således som spændingsoverførende i trækrevnerne i betonen.

Vidden af revnerne i betonen og afstanden imellem disse vil afhænge af armeringens tæthed og placering, samt af hvor hårdt armeringen er påvirket til træk.

Fiberbeton

Fiberbeton kan umiddelbart betragtes som et betonmateriale armeret med mange små armeringsjern. Det betyder, at forholdene omkring revnedannelse i jernbeton og fiberbeton på mange måder er ens, men der er også forskelle. Det gælder f.eks. fibrenes tilfældige orientering i materialet og fibrenes begrænsede længde.

Brug af fibre til at forbedre et materiales trækeegenskaber har været kendt og udnyttet i mange tusinde år. I oldtiden indblandede man dyrehår i mørtel for at forbedre mørtlens egenskaber. Kombinationen af ler og strå til bygning af primitive hytter er et andet eksempel på brug af fiberarmede materialer før vor tid. I øvrigt benyttes denne kombination stadig i mange udviklingslande.

Fra omkring 1920 er fibre brugt i store mængder i asbestcementplader, som f.eks. "Eternit" fra Dansk Eternit Fabrik. Nu er der en bred vifte af fibertyper til rådighed, som er udviklet specielt til brug i beton. Alligevel er det først i løbet af de senere år, at kombinationen af fibre og beton begynder at få praktisk anvendelse.

Fibres virkemåde

Fibre forbedrer betons trækeegenskaber gennem en forfining af revnesystemet, dvs. ved at mindske revnevidderne og afstanden mellem revnerne. Derudover kan fibrene overføre spænding i en revne.

Trækstyrken bliver ikke nødvendigvis større ved tilsætning af fibre, men der er lastbærende kapacitet til rådighed, selv efter at trækstyrken er overskredet. Figur 4-1 nederst viser en typisk trækarbejdslinie for en fiberbeton.

Ved sammenligning mellem arbejdslinien for uarmeret beton og fiberbeton kan det ses, at en fiberbeton er mere sej end en beton uden fibre, hvor sejhed er defineret ud fra arealet under arbejdslinien.

Som nævnt virker fibre i princippet på samme måde som trækarmningsjern i beton, og fibre kan opfattes som små armeringsstænger. Ligesom jernbeton vil fiberbeton revne ved store trækpåvirkninger, og fibre vil fortsat kunne overføre kræfter ligesom konventionel armering. I fiberbeton vil revnevidder og -afstande som i jernbeton afhænge af mængden af armering (fibre) og af armeringens specifikke overflade og hermed af fibrenes indbyrdes afstand. Ved f.eks. meget høje fiberarmeringsgrader fås meget små revnevidder, og betonen fremsstår som et sammenhængende, homogent materiale selv ved meget store deformationer.

Oftest tilsættes fibre i form af korte enkeltfibre, og fordelingen af dem bliver 3-dimensional, i modsætning til armeringsjern, der er placeret, hvor trækkrafterne optræder. Korte enkeltfibre er på volumenenhed derfor ikke så effektive til at modstå trækspændinger som konventionel trækarmning.

Afstanden imellem fibre er dermed mindre end afstanden imellem konventionel trækarmning, og fibre er derfor bedre til at kontrollere revnedannelse.

Det betyder, at hvor konventionel trækarmning benyttes til at forøge bæreevnen af en konstruktion, benyttes fibre primært med henblik på at kontrollere revnedannelsen i konstruktionen.

Fibre, som kan optage spændinger over en revne, udviser ikke flydeegenskaber i modsætning til trækarmningen, se figur 4-1. Men flydning af armeringsjern i trækzonen i beton kan sammenlignes med en form for "flydning" i fiberbetonen (som før omtalt forårsaget af dannelsen af mange fine revner), når denne er tilsat en tilstrækkelig høj volumenkoncentration fibre.

Jernbeton og fiberarmering

Udover at forbedre en beton i brugsstadiet, dvs. ved at mindske revnevidder, vil bæreevnen af et konstruktionselement i mange tilfælde også blive forøget ved tilsætning af fibre. Som nævnt forbedres egenskaberne af beton i træk, fordi fibre mindsker revnevidden og kan overføre spænding i en revne. Fibre kan på den måde hjælpe konventionel armering med at optage træklasten. Dette kan for en given dimensioneringslast medføre, at der kan spares konventionel armering, og at konstruktionens dimensioner kan mindskes.

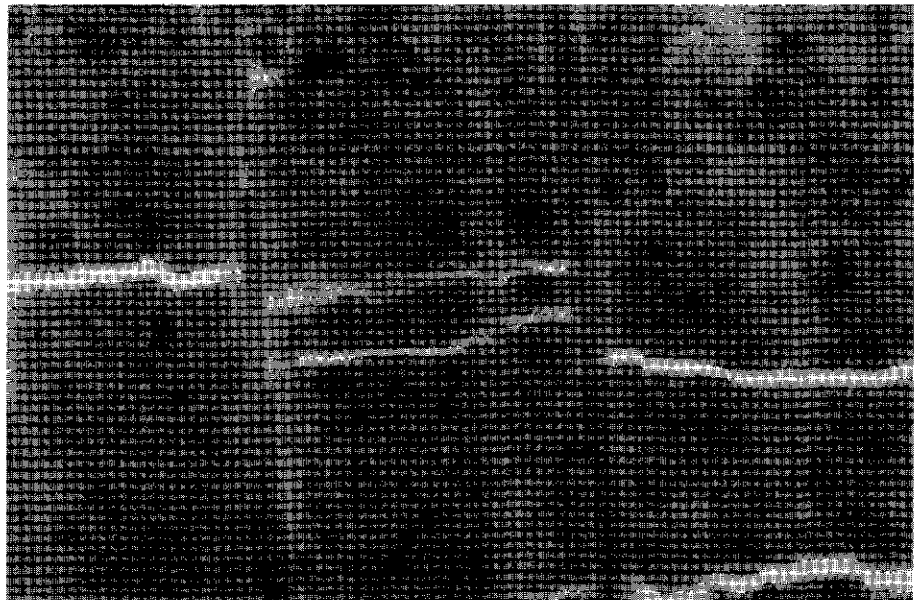
4.1 Fibrenes virkemåde

Revnestandsning, revnefordeling og spændingsoverførsel

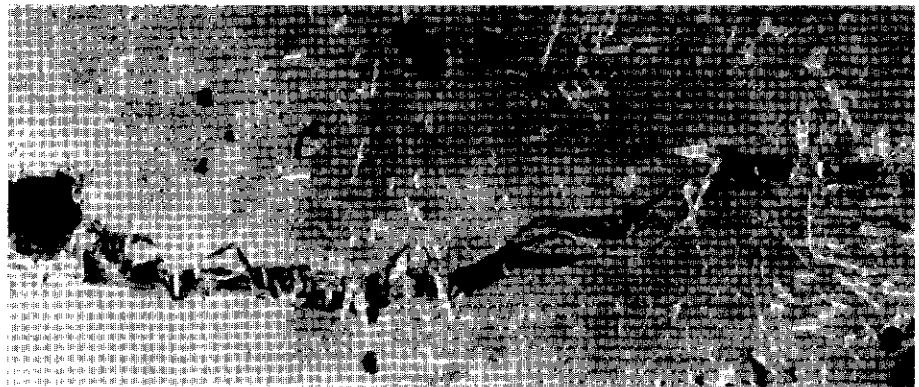
Som beskrevet i Indledningen er arbejdslinien i træk for en beton uden fibre så godt som retlinet til brud, og trækstyrken er oftest upålidelig og brudforlængelsen utilstrækkelig. Tilsætning af fibre ændrer betons trækegenskaber markant. For det første opnås en pålidelig trækstyrke, der kan tages i regning. For det andet opnås en større brudforlængelse og sidst, og vigtigst, spændingen aftager jævnt med øget deformation, efter at den maksimale last er opnået.

Nøgleordene i forbindelse med fibrenes virkemåde er revnefordeling, revnestandsning og spændingsoverførsel. Tilsætning af fibre bevirker, at der dannes et stabilt mikrorevnesystem ved belastning, således at begyndende mikrorevner ikke udvikler sig til få, fatale makrorevner. Dette sker, fordi fibre er i stand til enten at fordele eller standse mikrorevnerne. På figur 4-2 er vist et tyndslib af en trækbelastet fiberbeton, hvor det kan ses, hvordan en revne enten standser helt eller forgrener sig, når den møder en fiber.

Ved tilstrækkeligt høje volumenkoncentrationer, eller når fibre er tilstrækkeligt lange, tynde, stærke og har en tilstrækkelig god vedhæftning til cementpastaen, kan dannelsen af makroskopiske revner helt undgås. Der fås, som omtalt ovenfor, i stedet for et helt system af mikrorevner, der forøger materialets tøjningskapacitet.



Figur 4-2. Revnefordeling og revnestandsning i en fiberbeton. Revnemønstret er observeret ved hjælp af tyndslibsteknik i cementpasta armeret med ensrettede lange polypropylenfibre i en volumenkoncentration på 12%. Billedet repræsenterer et udsnit på 0.5 x 1.0 mm.



Figur 4-3. Fibrene danner bro over en revne. Revnedannelsen er observeret under et enakset trækforsøg med beton med 3 vol.% polypropylenfibre. Afstanden mellem kærvene, der ses i venstre og højre side af billedet, er 40 mm.

Effektivitet af fibre

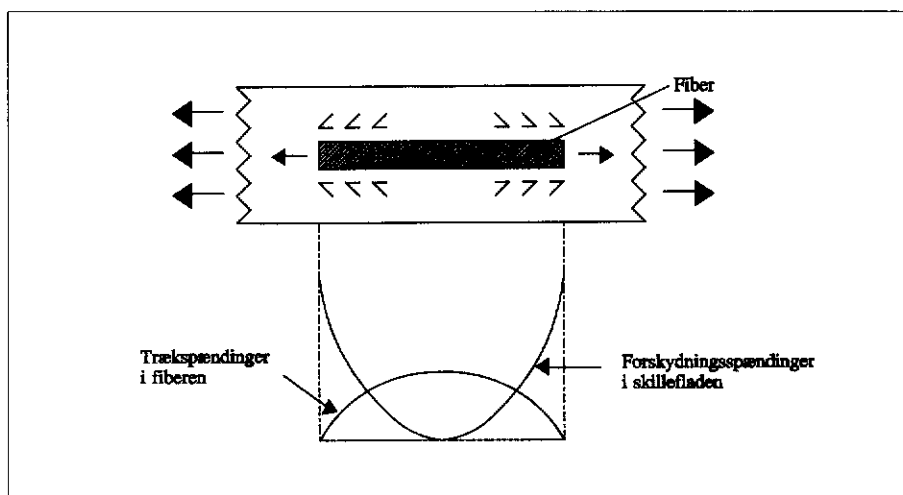
Når tøjningen lokaliserer sig i makrorevner, som det typisk vil forekomme i fiberbetoner med et lavere fiberindhold, virker fibrene ved at overføre spændinger over disse makrorevner. Figur 4-3 viser, hvorledes fibrene danner bro over en makrorevne i en beton.

Når revnen åbnes, trækkes fibrene ud af betonen. Denne udtærkningsproces starter med adskillelsesbrud i grænsefladen mellem fiber og cementpasta. Modstanden mod udtræk styres af friktion i fiber-cementpasta grænsefladen.

Effektiviteten af fibre med henblik på at forbedre en betons trækenskaber er kontrolleret af den proces, der overfører last fra cementpastaen til fibrene.

I de tidlige stadier af belastning, dvs. før der er opstået revner, er spændingsoverførslen elastisk, og spændingen i grænsefladen mellem fiber og den omkringliggende cementpasta optræder som forskydningsspændinger.

Da E-modulet i fiberen og den omkringliggende cementpasta er forskellig, er forskydningsspændingerne nødvendige for at fordele den ydre last mellem fiber og cementpasta, således at tøjningen i de to komponenter ved grænsefladen er ens. Figur 4-4 viser, hvorledes trækspændingen opbygges i en fiber ved hjælp af forskydningsspændinger i grænsefladen mellem fiber og cementpasta. I det på figur 4-4 viste eksempel er det forudsat, at fiberen er stivere end cementpastaen.



Figur 4-4. Opbygning af trækspænding i en fiber under elastisk spændingsoverførsel.

Som det kan ses på figuren, opbygges trækspændingen i fiberen gradvist fra hver ende af fiberen ved hjælp af forskydning i grænsefladen mellem fiber og cementpasta, indtil der er opnået en stationær tilstand med samme tøjning i fiberen og den omkringliggende cementpasta.

Når første revne er dannet, optræder der adskillelsesbrud mellem fiber og cementpasta, og fiberen glider i forhold til cementpastaen. Det er nu friktionsspændinger, der styrer spændingsoverførslen. Friktionsspændingerne antages at være jævnt fordelte som forskydningsspændinger over fiber-cementpasta grænsefladen, se figur 4-5.

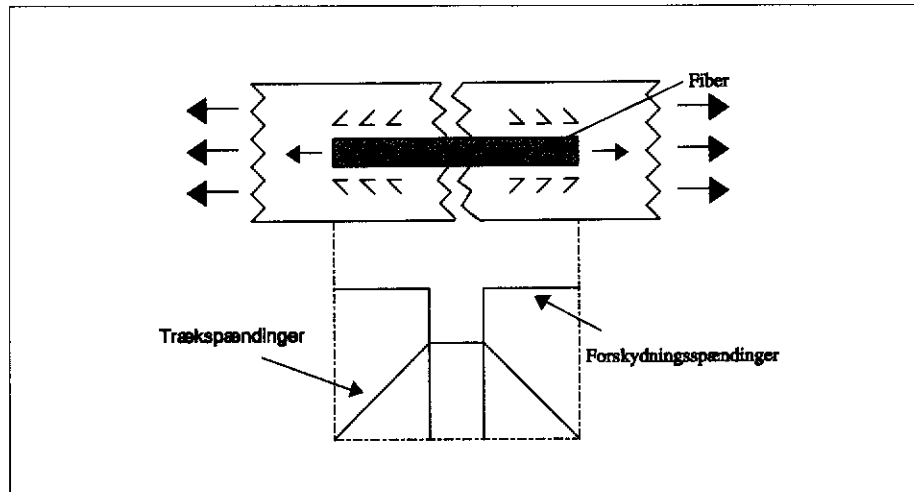
Mekanisk forankring

Fibre forsynet med kroge eller fortykkede ender bliver desuden mekanisk forankrede i cementpastaen, hvilket sikrer en særlig god spændingsoverførende effekt.

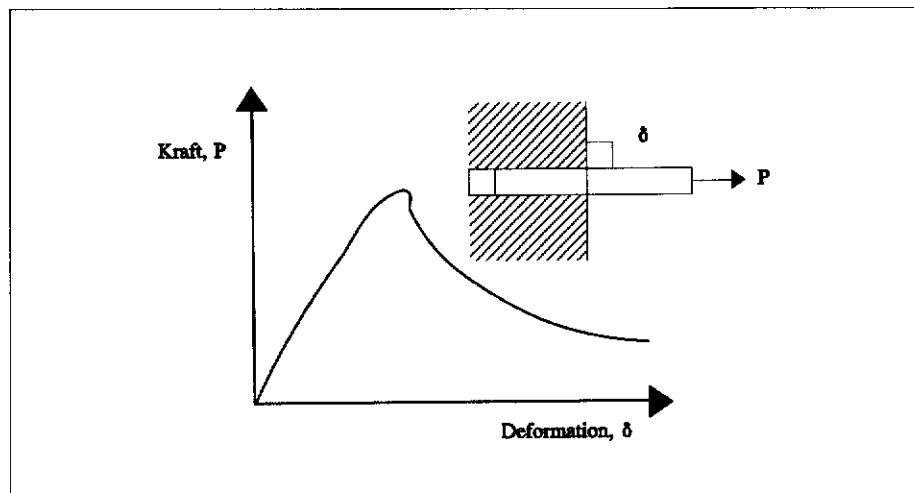
Fiberudtrækskurver

En fibers spændingsoverførende virkning i en revne kan beskrives ved en såkaldt fiberudtrækskurve. Figur 4-6 viser en typisk fiberudtrækskurve, dvs. sammenhængen mellem lasten i fiberen og deformationen.

Deformationen udgøres dels af fiberens elastiske deformation og dels af det stykke, som fiberen er gledet i forhold til cementpastaen.



Figur 4-5. Opbygning af trækspænding i en fiber under friktionsmodstand.



Figur 4-6. Fiberudtrækskurve.

Det kan ses på figur 4-6, at der er tre forskellige stadier i fiberudtræksprocessen. Den første, lineære del repræsenterer elastisk spændingsoverførelse, den næste, ikke lineære del repræsenterer den proces, hvor der opstår adskillelsesbrud i fiber-cementpasta grænsefladen og den sidste del af kurven repræsenterer ren friktionsspændingsoverførelse.

4.2 Betydende parametre

Den totale last, der kan opbygges i en enkelt fiber er, som det kan ses på figur 4-4 og 4-5, proportional med længden af fiberen og med størrelsen af forskydningsspændingerne. Da spændingen i fiberen beregnes som lasten divideret med tværsnitsarealet af fiberen, er spændingen i fiberen omvendt proportional med diameteren af fiberen.

Dvs. jo længere og tyndere fibre er, desto større er effekten af fiber-tilsætning for en given volumenkoncentration.

I de tidlige stadier, hvor den elastiske vedhæftning har betydning, er fiberens E-modul desuden betydende for den spænding, der kan opbygges i fiberen.

Vedhæftning

Derudover er vedhæftningen mellem fiber og cementpasta betydende for den maksimale last, der kan opbygges i en fiber. Normalt ses helt bort fra den elastiske vedhæftning, og vedhæftningen mellem fiber og cementpasta karakteriseres med en gennemsnitsværdi, τ , som - bortset fra de helt tidlige stadier af belastning - er lig med friktionsmodstanden.

Friktionsmodstanden, τ , er afhængig af en mængde parametre. Først og fremmest afhænger τ af overfladestrukturen af fiberen. Ujævne fibre med ru overflader giver således en større modstand mod udtrækning end glatte, runde fibre.

Dernæst afhænger τ af sammensætningen af cementpastaen på den måde, at jo tættere pakket pastaen er, og jo mindre vand-cement forholdet er, desto bedre binding kan opnås mellem fiber og matrix.

Derudover er τ ikke konstant under hele udtræksprocessen. Afhængig af fibertype kan τ øges eller mindskes med udtrækslængden.

I afsnit 5 er angivet nogle typiske værdier for τ for forskellige fibertyper.

Effekten af fiberens længde

Hvis den maksimale spænding, der kan opbygges i en fiber, overstiger fiberens brudspænding, sker der fiberbrud i stedet for jævn fiberudtrækning. Når fibre trækkes over i stedet for at blive trukket ud, udnyttes de ikke optimalt.

Den kritiske fiberlængde er defineret som den mindste længde, der skal bruges til at opbygge en spænding i fiberen, som er lig dens trækstyrke, under forudsætning af at fiberen er indstøbt med et lige langt stykke på hver side af revnen.

Sammenfatning

De vigtigste egenskaber for fibre til brug i beton kan sammenfattes som følger:

- lange fibre
- tynde fibre
- ru eller deformeret overflade
- høj trækstyrke
- stort E-modul

Udover de nævnte vigtige egenskaber af fibre, må cementpastaens sammensætning, en fibertypes indvirkning på bearbejdigheden såvel som dens anvendelighed til en bestemt produktionsmetode også indgå i en dimensioneringsopgave.

5. Fibertyper

Asbestfibre har været brugt i store mængder i mange år til produktion af asbestcementplader, som f.eks. "Eternit". Disse fibre er af forskellige årsager særdeles effektive, men da arbejdet med asbest giver anledning til alvorlige sundhedsmæssige problemer, er anvendelsen af asbestfibre blevet forbudt.

De mest anvendte typer af fibre til brug i beton i øjeblikket er stålfibre, plastfibre, glasfibre samt cellulosefibre. Derudover benyttes også i mindre omfang kul-, akryl-, nylon- og naturfibre. Endelig kan wollastonit, en krystallinsk mineraluldsfiber, samt stenuld og glasuld nævnes. De to sidstnævnte fibertyper må betegnes som værende på forskningsstadiet endnu, da de ikke er resistente i det basiske miljø i cementpastaen.

Det skal bemærkes, at der stadig benyttes betydelige ressourcer på at udvikle nye typer af fibre samt optimere eksisterende fibertyper med henblik på at finde velegnede substitutter for asbestfiberen. Den i dette kapitel beskrevne oversigt af typer af fibre, kan derfor i løbet af nogle få år vise sig at være ufuldstændig eller forældet.

Tabel 5-1 viser diameter, d_f typiske længder, L_f E-modul, E_f trækstyrke, $f_{træk,f}$ og brudtøjning, ϵ_u og tabel 5-2 viser densitet, relativt prisniveau og typiske værdier for fiber-cementpasta vedhæftningen, τ , for de mest anvendte fibertyper.

Tabel 5-1. Diameter, længde, E-modul, trækstyrke og brudtøjning for fibre.

	d_f µm	L_f mm	E_f GPa	$f_{træk,f}$ MPa	ϵ_u %
Stål	5-600	3-50 [◊]	210	345-2100	0,5-3,5
Glas	9-20	3-25 ^{*◊}	60-80	1750-4000	2,0-3,5
Plast					
Polypropylen	20-200	3-48 ^{*◊}	8.5-15	340-500	8,0
Polyethylen	900	-*	0,3	0,7-200	10,0
Aramid	10-15	15-50 [◊]	58-133	2760-3600	2,1-4,0
Akryl	13-104	4-100	14-19	410-1030	2,0
Cellulose	20-120	1-2	10	300-500	-
Kul					
Pitch	7-18	1,5-12 ^{*◊}	30-37	750-2700	2,0-2,4
Pan	7-9	1,5-12 ^{*◊}	230-390	2200-3500	0,5-1,0
Asbest	0,02-0,4	<10	164-196	3100-3500	2,0-3,0
Trækarmoring	6000-35000	12000-15000	210	200-550	3,0-20,0

* Fås også som væv

◊ Fås også som kontinuerte fibre

For de fibertyper, som ikke er ideelt runde, er værdierne for den ækvivalente diameter benyttet. Den ækvivalente diameter er diameteren af en cirkulær, cylindrisk fiber med samme tværsnit som den aktuelle. Prisniveauet er angivet per volumenkoncentration, da mængden af fibre i en beton normalt angives på denne måde.

Til sammenligning er de tilsvarende karakteristika vist for asbestfibre og for konventionel trækarmering.

I det følgende vil de enkelte fibertyper blive gennemgået. En mere detaljeret beskrivelse kan findes i "Fibre Reinforced Cementitious Composites", [Bentur og Mindess, 1990].

Tabel 5-2. Densitet, prisniveau og fiber-cementpasta vedhæftning for fibre.

	Densitet g/cm ³	Prisniveau pr. volumen	τ MPa
Stål	7,84	Mellem	2-5
Glas	2,6-2,68	Mellem	0,2-5,0
Plast			
Polypropylen	0,9-1,03	Lav	0,1-2,0
Polyethylen	0,95	–	–
Aramid	1,45	Høj	2,8
Akryl	1,18	Lav	3
Cellulose	0,5-1,5	Lav	0,35-0,45
Kul			
Pitch	1,6	Mellem	0,8-2,5
Pan	1,75-1,95	Høj	0,8-2,5
Cellulose	0,5-1,5	Lav	0,35-0,45
Asbest	2,6-3,4	–	0,8-2,4
Trækarmering	7,84		

5.1 Stålfibre

Stålfibre hører til gruppen af de meget anvendte fibre, hvilket skyldes et gunstigt forhold mellem egenskaber og pris.

Leveringsform

Stålfibre leveres enten som enkeltfibre eller som plader af 10-20 enkeltfibre holdt sammen af en vandopløselig lim. Derudover produceres stålfibre ofte med ombukkede eller fortykkede ender eller med en bugtet geometri.

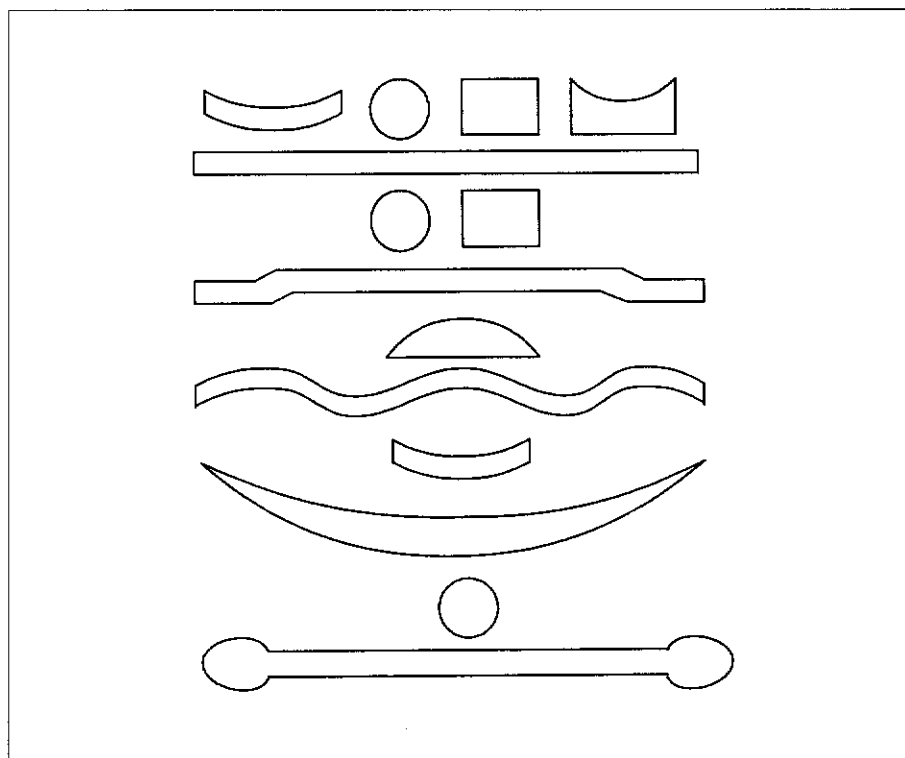
Af økonomiske årsager produceres i dag stålfibre med større og større diameter. Figur 5-1 viser eksempler på geometrisk udformning af stålfibre.

Produktionsmetoder

De tre mest anvendte produktionsmetoder til stålfiberfremstilling er:

- klipning af båndstål, hvorved fibrene får et rektangulært tværsnit, 2)
- koldtrækning af runde stænger, som klippes i passende længder og
- udslyngning fra smeltet stål.

Sidstnævnte metode foregår ved, at kolde takkede metalhjul roterer i overfladen på smeltet stål. Afhængig af tændernes udformning slynges fibre i forskellige størrelser ud.



Figur 5-1. Eksempler på geometrisk udformning af stålfibre.

Egenskaber

Stålfibre har gode mekaniske egenskaber, såsom en høj trækstyrke og et stort E-modul, se tabel 5-1. Derudover er bindingen mellem cementpastaen og fibrene som regel god, se tabel 5-2. Dette skal dels forklares ud fra overfladestrukturen, dels ud fra den geometriske udformning af disse fibre. Overfladestrukturen af stålfibre er sådan, at bindingen mellem disse og cementpastaen er bedre end bindingen af de fleste andre fibertyper. Den geometriske udformning af mange stålfibre sikrer desuden en ekstra god binding i form af en mekanisk forankring.

Stålfibre leveret som sammenlimede plader af enkeltfibre sikrer en effektiv dispergering af fibre. Stålfibre leveret som plader har en lille specifik overflade, og er derfor nemme at indblende. Når limen opløses, efter kort tid i den friske beton, dispergeres de enkelte fibre nemt i betonen.

I øvrigt er stålfibre generelt nemme at indblende i forhold til andre typer af fibre, primært fordi diameteren af fibre typisk er stor i forhold til andre fibertyper.

Holdbarhed

Med hensyn til holdbarhed skal det kort nævnes, at stålfibre, der er i kontakt med overfladen af beton eller cementpasta eller større revner, kan korrodere. Dette giver dog ikke anledning til skader i form af afskalning. Der sker højst en misfarvning af overfladen.

5.2 Glasfibre

Leveringsform	Glasfibre leveres både som diskontinuerte og kontinuerte enkeltfibre samt som væv.
Produktionsmetoder	Glasfibre produceres ved, at smeltet glasmasse trækkes ud i lange, tynde tråde (filamenter) under samtidig afkøling, hvorefter de hugges i passende længder. Glasfibre leveres i bundter, normalt med ca. 200 fibre i et enkelt bundt. Fælles for alle typer er dels et indhold af zirkonium på ca. 20% for at gøre den bestandig overfor betons alkalier dels en overfladebehandling (coating) med vandopløselige polymerer.
Egenskaber	Glasfiberen har en meget stor trækstyrke. Da diameteren af fiberen er meget lille, er risikoen for en kærv eller defekt, der kan initiere revnedannelse og dermed brud, tilsvarende lille. Herved forøges trækstyrken betydeligt. En lille diameter giver ifølge afsnit 4.2 en god fibervirkning. Imidlertid optræder glasfibre sjældent som enkelt filamenter i en beton. De har tendens til at bundte og derved forøge den effektive diameter, og dermed mindske fibervirkningen.
Holdbarhed	Det er kendt og taget i beregning, at materialets egenskaber ændres, således at f.eks. materialets sejhed aftager med tiden. Der eksisterer i dag mørtelsystemer, hvor reduktionen af disse egenskaber ikke er særlig stor.

5.3 Plastfibre

Leveringsform	Denne gruppe af fibre bliver mere og mere attraktiv med hensyn til brug i beton, hvilket nok især skal forklares med et lavt prisniveau og en god kemisk holdbarhed.
Produktionsmetoder	Den mest anvendte type plastfiber er polypropylenfiberen, men også polyethylen-, akryl- og aramidfiberen har fundet anvendelse. Polypropylen-, polyethylen- og akrylfiberen er karakteriseret ved at have et lavt E-modul (mindre end E-modulet for cementpasta og beton), mens aramidfiberen har et middelhøjt E-modul, se tabel 5-1.
Egenskaber	Plastfibre forhandles både som diskontinuerte og kontinuerte enkeltfibre samt som væv. Polypropylenfibre produceres i en mængde forskellige udformninger og med varierende egenskaber. Tre forskellige typer af geometrier kan produceres: Monofilament (enkeltfibre), bånd og ekstruderede strimler. Almindelige monofilament plastfibre har en dårlig vedhæftning til cementpastaen. Den type, der har fået størst succes er de såkaldt fibrillerede fibre. Fibrene fremstilles ved opsplnitning af et folie med roterende knive. Den fibrillerede overflade sikrer en god vedhæftning til cementpastaen. Derudover kan nævnes en specielt udviklet polypropylenfiber. Forbedringen af denne type fiber består i at indstøbe fine mineralkorn, som giver fibrene en ujævn overflade. Det lille tværsnit af plastfibre sikrer generelt en god fibereffekt, fordi afstanden imellem de enkelte fibre er lille for en givet volumenkoncentration, men bearbejdigheden af betonen mindskes markant af samme årsag. De fibrillerede fibre kan pga. den store specifikke overflade være ekstra vanskelige at indblende.

Holdbarhed

Det lave E-modul og den mindre gode fiber-cementpasta vedhæftning, se tabel 5-1 og 5-2, er medvirkende til, at effekten af tilsætning af plastfibre er mindre end tilsætning af f.eks. stålfibre.

Det skal også nævnes, at plastfibre blødgøres og dermed mister trækstyrke ved temperaturer på over 120° C (200° C for aramidfibre). Med undtagelse af aramidfibre har plastfibre vist sig at være særdeles alkaliresistente, dvs. de kan tåle cementpastaens høje pH-værdi.

5.4 Cellulosefibre

Cellulosefiberen er byggestenen i naturligt forekommende fibre, hvoraf kan nævnes træfibre, sisal, kokos og jute. Træfiberen er den mest benyttede type af naturfibre. Der er store holdbarhedsproblemer med naturfibre, og derfor benyttes disse næsten udelukkende som cellulosefibre.

Leveringsform
Produktionsmetode

Cellulosefibre leveres udelukkende som korte diskontinuerte fibre. Cellulosefibre fremstilles typisk af træfibre, som kan behandles på en mængde forskellige måder. Den mest udbredte behandlede cellulosefiber er cellulose-pulpen. Fremstilling af cellulose-pulp går kort fortalt ud på at fjerne den midterste lamel i træfibre ved en kemisk proces. Fibrene brydes derved op i enkeltcelle cellulosefibre.

Egenskaber

Fibrenes mekaniske egenskaber såvel som vedhæftningen til cementpastaen er underlegne i forhold til de fleste andre fibertyper, men fibre er meget billige, se tabel 5-1 og 5-2.

Holdbarhed

Cellulosefibre kan suge og afgive fugt. Denne egenskab gør, at de ikke er dimensionsstabile, hvilket kan skabe indre spændinger og ændre vedhæftningen mellem fibre og cementpastaen og dermed skade betonen.

Desuden kan der for ikke-autoklaverede cellulosefiberarmede produkter ske en forstening af fiberen, ved at fiberhulrummet og cellevæggen "imprægneres" med materiale fra hydratisering eller karbonatisering.

5.5 Kulfibre

Kulfibre har været anvendt i rum- og flyindustrien i mange år. Fra hverdagen kendes talrige anvendelser indenfor sportsudstyr.

En kulfiber består af mange filamenter, som hver har en diameter på 7-15 µm. Et filament består af små krystaller af grafit.

Produktionsmetode

Der findes to forskellige typer af kulfibre til beton på markedet: Pitch-fiberen og pan-fiberen. De adskiller sig ved produktionsmetode og ved materialesammensætning. Pan-fiberen fremstilles ud fra polyacrylonitril og pitch-fiberen fremstilles ud fra olie og kul-tjære beg.

I Japan, hvor pitch-fiberen er udviklet, arbejdes der stadig med at udvikle og forbedre egenskaberne af denne fiber. Egenskaberne af pitch-fiberen er sammenlignelige med egenskaberne af de fleste plastfibertyper.

Leveringsform

Kulfibre leveres både som diskontinuerte og kontinuerte enkeltfibre samt som væv, men de anvendes oftest i meget korte længder.

Egenskaber

Pan-baserede kulfibre har mekaniske egenskaber, der er sammenlig-

Holdbarhed

nelige med egenskaberne af stål- og glasfibre, mens pitch-baserede kulfibre har mekaniske egenskaber, der er sammenlignelige med plastfibre, se tabel 5-1. Pan-fiberen har altså de bedste mekaniske egenskaber, men er til gengæld meget dyrere end pitch-fiberen, se tabel 5-1 og tabel 5-2.

Langtidsegenskaberne for kulfibre er kun meget lidt undersøgt, men i de enkelte forsøg der er udført, har fibrene udvist god kemisk bestandighed. De nyeste forsøg tyder dog på ældningsmekanismer i lighed med ældningsmekanismerne for glasfibre, [Bentur, 1992].

6. Udførelsesmetoder

De i afsnit 5 nævnte fibertyper har alle fundet forskellige anvendelsesområder, hvor de kun i ringe grad substituerer hinanden. I det følgende gennemgås produktionsmetoder for de enkelte fiberbetontyper i sammenhæng med anvendelsesområderne.

Da praktisk anvendelse af fibertilsætning på mange områder er relativt ny, må der forventes stor udvikling i produktionsmetoderne. De nedennævnte metoder og produkter vil derfor relatere sig til danske forhold og til nuværende tidsperiode.

6.1 Stålfibre

Stålfibre anvendes primært som erstatning for armering i industrigulve, belægninger og veje, samt til sikring af udgravninger og tunnelboringer.

Fiberblanding kan udføres ved, at betonen færdigblandes på fabrik eller ved tilsætning på brugsstedet. Referencerne i databasen angiver, at betonen oftest leveres færdigblandet med fiber direkte til udlægning på byggepladsen.

Stålfiberbetonen udstøbes in-situ enten ved vådstøbning, maskinudlægning eller ved sprøjtstøbning.

Den vådstøbte fiberbeton udføres som traditionel in situ beton, der komprimeres og afrettes som traditionel beton.

Udlægning af stålfiberbeton kan udføres med en almindelig betonudlægger. Dog kan det være nødvendigt at modificere maskinen for at opnå en tilstrækkelig fordeling af fiberbetonen, så materialetilførslen kan foregå kontinuerligt.

Ved sprøjtstøbning anvendes betonpumpe med sprøjterobot. Denne sprøjteteknik udføres ofte af entreprenører med specialuddannet mandskab. Sprøjtstøbning er den metode, der giver mulighed for størst fiberindhold og den mest fleksible udformning.

6.2 Glasfibre

Glasfibre anvendes til fabriksfremstilling af tyndvæggede emner: facadeelementer, gesimser, søjler, sålbænke, brystninger, containere og altanbunde osv. Elementdimensioner er typisk godstykkelser på 8-30 mm og op til 15 m² store enheder.

Glasfiberarmerede emner produceres enten ved premix- eller sprøjtstøbemetode. Ved premix iblandes fibrene mørtelen i en traditionel tvangsblender, og det færdigblandede materiale hældes i en støbeform som ved traditionel betonelementudstøbning. Ved sprøjtemetoden anvendes sprøjtepistol, som kontinuert dels afskærer fibrene på ønsket længde (12-36 mm), dels sprøjter en blanding af mørtel og fibre i det rette mængdeforhold ud i formen.

Premix-metoden indebærer generelt anvendelse af kortere fibre og mindre volumenprocent end sprøjtstøbning. Premix anvendes til relativt tykkere emner, hvor fibrene har større effekt på revnemønster

og dermed sejhed end på de egentlige styrker. Ved premix-metoden vil fibre orientere sig vilkårligt i 3 dimensioner. Under premix-udstøbning anvendes traditionel vibration.

Sprøjttestøbningen er den metode, der giver mulighed for størst fiber-tilsætning. Typisk anvendes 4-5 vol.% fibre med fiberlængder på 24-36 mm. Under udstøbningen, som indebærer, at emnet opbygges i lag á 3-6 mm, vil fibre blive orienteret 2-dimensionalt i eet plan. Straks efter udstøbning af eet lag arbejdes fibre og mørtel sammen enten med ruller eller med højfrekvent vibration. Fordelen ved metoden er, at anbringelsen af fibre bliver veldefineret i forhold til de ønskede egenskaber i det færdige produkt.

Uanset den anvendte produktionsmetode er den typiske sammensætning af mørtel til glasfiberarmet beton: 50% cement, 50% sand 0-2 mm, 5% fibre og et v/c-forhold på 0,30 - 0,35. Der tilsættes derudover ofte 5-7% akrylpolymer til mørtelen for at minimere udtørningsproblemer og samtidig opnå langtidsegenskaber som større sejhed.

6.3 Plastfibre

Plastfibre anvendes primært som erstatning for svindarmering i tanke, belægninger og membraner. Endvidere iblandes plastfibre i betongulve og reparationsmørtler. Fiberblanding udføres på betonfabrik ved, at fibre tilsættes sammen med det øvrige tilslag.

Plastfiberbetonen udstøbes in-situ enten ved vådstøbning eller sprøjttestøbning. Ved fiberindhold større end 1 vol.% (10 kg/m³) udstøbes betonen ved sprøjttestøbning, hvortil der kan anvendes betonpumpe med sprøjterobot. Ved vådsprøjtning viser erfaringerne herhjemme, at der kan udstøbes fiberblandet beton med op til 2,0 vol.% plastfibre. Denne metode giver mulighed for størst fiberindhold og den mest fleksible udformning. Den vådstøbte fiberbeton udføres som traditionel in situ beton, der komprimeres og afrettes som traditionel beton. Betonen er vanskeligere at udstøbe end beton uden fibre.

6.4 Cellulosefibre

Cellulosefibren anvendes almindeligvis i "Eternit" og lignende produkter. Produkterne anvendes hovedsageligt til tag- og facadebeklædninger, typisk som bølge og plane plader. Udvalget af produkter er stort og Dansk Eternit-fabrik oplyser at de producerer ca. 120.000 tons (1994-tal) fiberarmerede produkter på årsbasis.

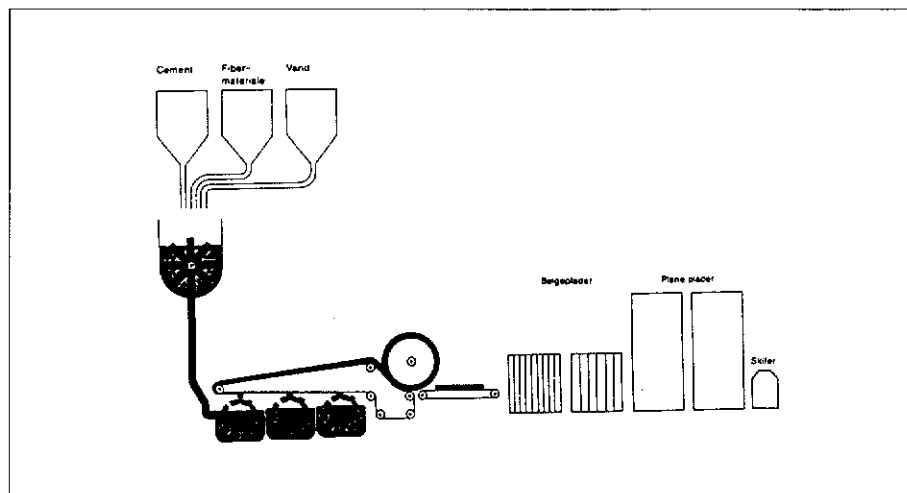
Ved fremstillingen af Eternit på Dansk Eternit-fabrik anvendes normalt en vådproces eller en støbeprocess.

Vådprocessen (Hatschekprocessen, se figur 6-1) er i princippet baseret på en papirfremstillingsproces: en blanding af fibre og cement opslemmes i vand (ca. 3 % tørstof). Opslemningen omrøres, filtreres over en sigtecylinder og overføres til en endeløs filt for påsamling på en valse, hvor den rulles på i lag, til man har opnået den ønskede tykkelse, hvorefter pladerne skæres i passende længder.

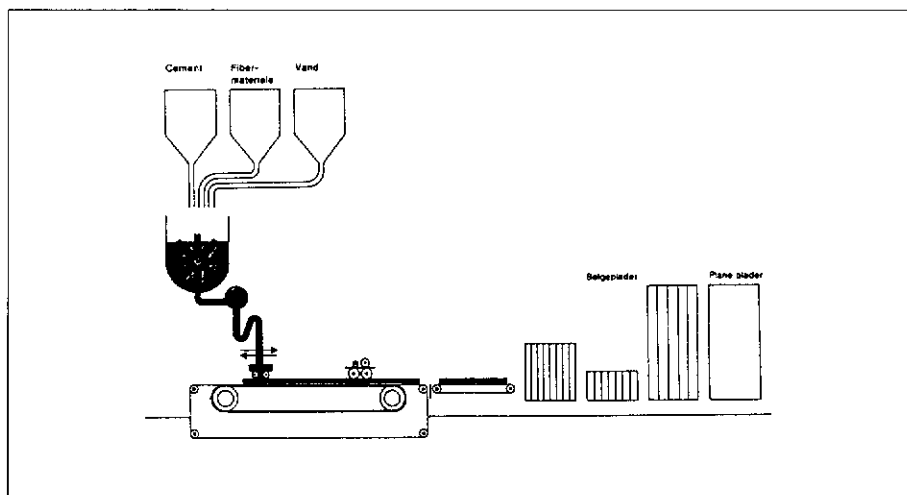
Støbeprocessen er i princippet en kontinuert "betonstøbning" på en endeløs afvandingsfilt, og kan foretages ved en såkaldt Magnani-pro-

ces (se figur 6-2). Ved denne proces blander man vand og tørstof med et v/c-forhold på ca. 2,7 og komprimerer blandingen ved en kombination af tryk og vakuum.

Alle produkter fremstillet ved Hatschek- og Magnani-processen autoklaveres ved 150-170 grader celcius for at øge dimensionsstabilitet og holdbarhed af produkterne.



Figur 6-1.
Produktionsprincippet i et Hatschekanlæg.



Figur 6-2.
Produktionsprincippet i et Magnanianlæg.

7. Beregningsmetoder

Nærværende afsnit er tænkt som kort introduktion til litteraturen vedrørende beregningsmetoder for konstruktioner og konstruktions-elementer udført af fiberarmerede cementkompositmaterialer. Der fokuseres udelukkende på statiske bæreevneberegninger mens mere materialeteknologiske beregninger må søges i litteraturen, se f.eks. [Bentur og Mindess, 1990] samt [Balaguru og Shah, 1992].

For at sikre en hensigtsmæssig anvendelse af fiberarmering i betonkonstruktioner er det nødvendigt at kunne tage stilling til spørgsmål som materialesammensætning og konstruktionsudformning allerede i projekteringsfasen.

For at dette kan blive muligt, er det vigtigt at følgende tre forhold er afklarede:

Materialeegenskaber

For det første er det vigtigt at have et klart billede af, hvorledes det givne materiales egenskaber skal beskrives. For fiberarmerede cementbaserede materials vedkommende har det vist sig at være særdeles vigtigt at skelne mellem den type materialer, hvor fiberarmeringen (typisk i høj fibervolumenkoncentration) sikrer et jævnt fordelt mikroevnemønster og den type materialer, hvor fiberarmeringen sikrer spændingsoverførsel i de makroskopiske revner, som dannes under svind, mekanisk eller hygrotermisk påvirkning.

Forudsigelse af materialeegenskaber

For det andet er det vigtigt enten at have en omfattende database til rådighed, som indeholder information om materialesammensætning og materialeegenskaber, eller at have beregningsmetoder til rådighed, som er i stand til at forudsige de relevante materialeegenskaber, når materialesammensætningen er kendt (typisk mængden og typen af fiberarmering).

Konstruktionsberegning

Endelig er det nødvendigt at råde over konstruktionsberegningmetoder, som tager de relevante materialeparametre i betragtning. Det giver f.eks. ikke mening at benytte beregningsmodeller, som udelukkende tager fiberbetons trykstyrke i betragtning, når det er egenskaberne under trækpåvirkning, som fiberarmeringen har indflydelse på. Selvom det måske ville være det mest rationelle først at udvikle et beregningsgrundlag og dernæst udvikle og projekttere konstruktioner og konstruktionselementer, foregår udviklingen på beregnings- og udførelsesområdet traditionelt sideløbende.

I dag er situationen da også den, at man på de områder, som i praksis har været udbredt længst, dvs. tyndskalskonstruktioner i glasfiberarmeret mørtel og cement, finder de mest afklarede beregningsmetoder og materialekarakteristikmetodikker, mens man på et område som fiberbeton med 0-2 vol. % fibre først fornyligt har kunnet råde over anvisninger og beregningsmetoder inden for begrænsede anvendelsesområder.

7.1 Materialekarakteristik

High-end/Low-end

Som nævnt ovenfor er det nødvendigt at skelne mellem to principielt forskellige fibervirkemåder, nemlig den virkemåde, hvor fiberarmeringen sikrer et jævnt fordelt mikroevnemønster, og den virkemåde,

	<p>hvor fiberarmingen sikrer spændingsoverførsel i de makroskopiske revner. Den fysiske baggrund for den sidstnævnte virkemåde er detaljeret beskrevet i kapitel 4. Materialer, hvor fibervirkemåden sikrer et jævnt fordelt mikrorevnemønster, kaldes i det følgende "high-end" fiberarmede cementbaserede kompositter. Disse materialer er som nævnt i kapitel 2 typisk karakteriseret ved høje fibervolumenkonzentrationer, fibre med god vedhæftning til matrix, samt lange, tynde og stærke fibre. Materialer, hvor fibrene virker gennem kontrol med dannelsen og udviklingen af makroskopiske revner, kaldes i det følgende "low-end" fiberarmede materialer. Denne betegnelse vil i alle praktiske sammenhænge være synonym med betegnelsen "fiberarmet beton" eller "fiberarmet mørtel".</p>
High-end	<p>Materialekarakteristikken er for high-end kompositter baseret på en plastisk eller pseudo-plastisk model og kan typisk bestå af initial-tangent E-modul, proportionalitet eller flydegrænse udtrykt ved spænding og tøjning samt brudspænding og brudtøjning. Disse parametres værdi afhænger af, om de bestemmes i træk eller tryk.</p>
Low-end	<p>Materialekarakteristik for low-end kompositter udgøres i træk af spændings-revnevidderelationen, som er et direkte udtryk for fibrenes evne til at overføre kræfter i en makroskopisk revne. Nogle af de første teoretiske overvejelser vedrørende fibrenes indflydelse på spændings-revnevidderelationen for cementbaserede kompositmaterialer kan findes i [Hillerborg, 1980], mens praktiske aspekter vedrørende eksperimentel bestemmelse af spændings-revnevidderelationen kan findes i bl.a. [Rossi, 1990] og [Stang, 1992].</p>
Spændings-revnevidderelationer	<p>Spændings-revnevidderelationen kan ikke udtrykkes ved en enkelt parameter. I princippet må hele funktionen bestemmes i det relevante interval, typisk 0-0.3 mm til brug ved brugsstadieregninger og 0-3 mm til brug ved brudstadieregninger. Der findes dog i litteraturen eksempler på anvendelse af relativt simple analytiske udtryk til beskrivelse af spændings-revnevidderelationen, [Stang, 1991], [Stang, 1992], [Stang og Aarre, 1992]. Ud over spændings-revnevidderelationen karakteriseres low-end kompositter ved E-modul og trækstyrke, mens karakteristikken i tryk finder sted på samme måde som for traditionelle betoner og mørtler.</p>
Sejhedsindex	<p>Det er værd at bemærke, at en lang række eksperimentelle metoder er blevet foreslået i de senere år med henblik på karakteristik af low-end materialers sejhedsegenskaber i form af forskellige sejhedsparametre eller sejhedsindex. Disse sejhedsparametre kan alle betragtes som funktioner af den mere grundlæggende spændings-revneviddesammenhæng. Der eksisterer desværre ikke en entydig sammenhæng mellem spændings-revnevidderelationen og sejhedsindexene. Imidlertid er sejhedsindexene normalt nemmere at bestemme, idet de normalt bestemmes ved 3- eller 4-punktsbøjning mens spændings-revneviddesammenhængen kun kan bestemmes i særlige forsøgsopstillinger i deformationsstyrede prøvemaskiner.</p> <p>Der er i 1990 [Kasperkiewicz og Skarendahl, 1990] udarbejdet en detaljeret oversigt over forskellige metoder til bestemmelse af sejhedsindex, herunder bl.a. metoder foreslået af [RILEM, 1982], [Japan Concrete Institute, 1984], [ACI Committee 544, 1978, 1988], [B. Barr, 1982] og [ASTM, 1985, 1989]. Fælles for de foreslåede metoder er, at de forsøger at karakterisere bøjearbejdskurvens form ved udregning af et eller flere integraler, som karakteriserer energi-absorberingen</p>

under bøjeforsøget. Endvidere anvendes 3- eller 4-punktsbøjning ofte til bestemmelse af ækvivalente bøjetrækspændinger i beregnings-sammenhænge.

7.2 Low-end Kompositter

Belægninger og gulve

Et af de anvendelsesområder, hvor fiberbeton har fået størst udbredelse, er inden for belægninger og industrigulve. Det er således naturligt, at der i dag eksisterer en lang række vejledninger for dimensionering af fiberarmerede betonbelægninger. Stor dele af disse er udarbejdet af fiberfabrikanter, [Fibresteel, 1981], [Silidur, 1985], [Bekaert, 1990] og refererer således til specifikke fibertyper. Mere generelle design-vejledninger for fiberbetonbelægninger er imidlertid også tilgængelige, se [Skarendahl og Westerberg, 1989] og [CUR, 1990].

Fælles for de beskrevne dimensioneringsmetoder er, at fiberbetonens opførsel i bøjning forudsættes bestemt eksperimentelt. Heraf afledes en ækvivalent bøjetrækspænding svarende til første revne og/eller maksimal last. I [Skarendahl og Westerberg, 1989] beskrives endvidere anvendelsen af ASTM sejhedsindex til bestemmelse af en dimensionerende bøjetrækspænding til anvendelse i plasticitetsteoretiske (brudlinie-) beregninger. Den således bestemte ækvivalente bøjetrækspænding omsættes herefter i dimensioneringen til en momentkapacitet, som sammenlignes med et beregnet største moment i belægningen. Beregningen af det største moment i belægningen foretages normalt efter elasticitetsteorien, men i [Skarendahl og Westerberg, 1989] er det vist, hvorledes sådanne beregninger kan foretages efter brudlinieteorien. Det største moment afhænger af belægningens tykkelse samt underlagets og belægningsmaterialets stivhed.

I beregningsmetoderne for belægninger beskrevet i [Skarendahl og Westerberg, 1989] skelnes mellem brugs- og brudtilstanden, idet der i brudtilstanden enten dimensioneres med en ækvivalent bøjetrækspænding og en plasticitetsteoretisk beregning af belægningen på elastisk underlag eller en bøjetrækspænding svarende til maksimalmomentet og en elasticitetsteoretisk beregning af belægningen. I brugstilstanden dimensioneres elastisk op til momentet svarende til dannelse af 1. revne.

Revnevidder og kombinationsarmering

I [Stang, 1991] og [Stang og Aarre, 1992] behandles en generel beregningsmetode til bestemmelse af revnevidder i konstruktioner i brugsstadiet, hvor fiberarmeringen fungerer som revnekontrollerende armering (sekundær armering) sammen med en konventionel armering, som antages at fungere som primær armering. Disse metoder er opbygget som de velkendte traditionelle beregningsmetoder til vurdering af revnevidder i armerede betonkonstruktioner, blot tages der for fiberbetonens vedkommende direkte hensyn til spændings-revneviddesammenhængen.

Modeller for spændingsrevneviddesammenhæng

I [Li, Stang og Krenchel, 1993] og [Stang, Li og Krenchel, 1994] vises det endvidere, hvorledes spændings-revneviddesammenhængen kan beregnes direkte på grundlag af grundlæggende informationer om matrixegenskaber, fibervolumenkoncentration, fibergeometri, fiberstivhed og -styrke og vedhæftning til matrixmaterialet. Hermed bliver det muligt at beregne revnevidder i brugsstadiet i en given konstruktion direkte på grundlag af sådanne grundlæggende data, idet

Rør og bjælker

beregningsmodellen for revnevidder i brugsstadiet netop benytter spændings-revneviddesammenhængen som en del af den grundlæggende materialekarakteristik. Sådanne modeller muliggør således ikke alene konstruktionsdesign, men også materialedesign og -optimering.

Også i andre sammenhænge har spændings-revneviddesammenhængen vist sig at være en grundlæggende relation, som kan benyttes til generelle konstruktionsberegninger. I [Thygesen, 1994] er det således vist, hvorledes beregninger af fiberarmerede betonrør kan udføres med FEM (Finite Element Method) - beregninger, idet den eksperimentelt bestemte spændings-revneviddesammenhæng benyttes som materialekarakteristik. [Casanova og Rossi, 1994] beskriver endvidere, hvorledes bjælkeberegninger i bøjning og forskydning kan gennemføres med spændings-revneviddesammenhængen som materialekarakteristik i enakset træk.

7.3 High-end Kompositter

Normforslag for glasfibrelementer

Facadeelementer udformet som tynde skaller af glasfiberarmeret beton/cement er blevet produceret og anvendt i Europa i ca. 20 år på nuværende tidspunkt. Der eksisterer således et betydeligt erfaringsmateriale og en hel del praktiske beregningsvejledninger på dette område. En del af disse vil inden for kort tid blive udgivet som et normforslag for glasfiberarmerede betonkonstruktioner af CEN Technical Committee 229. En forløber for denne publikation er udarbejdet af [Curiger, 1993] for Fachvereinigung Faserbeton e.V.

Karakteristik af glasfiberarmeret cement og beton bygger på 4-punktsbøjeforsøg, hvor E-modul, proportionalitetsgrænse og brudspænding samt brudtøjning bestemmes ved anvendelse af elasticitetsteori og klassisk bjælketæori. Et partialkoefficientsystem er udarbejdet til omsætning af karakteristiske værdier til regningsmæssige. I bæreevneberegninger sammenlignes beregnede spændinger i konstruktionen med proportionalgrænsespændinger i brugsstadiet og med brudspændinger i brudstadiet. Endvidere angives forskrifter for beregning af temperatur, fugt og svindpåvirkninger, og der gøres rede for, hvordan tidafhængige fænomener, herunder tidafhængige materialeparametre tages i regning.

8. Projekter

8.1 Opbygning af database

Hovedemner	Den benyttede database er Lotus Approach til Windows. Databasen er menustyret jvf. nedenstående figur, der giver en oversigt over indtastningsmuligheder. Der er tre hovedmenuer: Konstruktioner, Fiberbeton og Dimensionering.
Menu Konstruktioner	Under Konstruktioner kan vælges menuen Konstruktionstype , hvor der igen kan vælges mellem et antal kategorier. Endvidere findes oplysninger om størrelse i m ² og m ³ , beliggenhed, bygherre og en opførelsesdato.
Menu Fiberbeton	Under Fiberbeton kan vælges menuen Fiberbetontype , hvor der igen kan vælges mellem kategorier for fibertyper, samt indtastes evt. produktnavn, leverandør/fabrikant, fiberkarakteristik (f.eks. ombukkede ender), længde/diameter forhold, volumenkoncentration i % eller kg/m ³ og evt. øvrig armering.
Menu Dimensionering	Under Dimensionering kan der vælges mellem menuerne Formål , hvor der igen kan vælges mellem, hvad arbejdsgruppen har fundet relevant, Dimensionering , hvor der kan vælges mellem fem typer af metoder, Dokumentation af egenskaber , hvor der kan vælges mellem fem former for dokumentation samt Produktionsmetoder . Under Produktionsmetoder kan vælges mellem Blandeprocess , hvor der igen kan vælges mellem fire typer blandeprocesser, Udstøbning , hvor der kan vælges mellem syv typer af udstøbningsmetoder, Efterbehandling , hvor evt. udtørningsbeskyttelse kan angives samt Tilstandsvurdering , hvor en vurderingsdato kan indtastes og, hvor der kan gives en karakter mellem 0 (bedst) og 5 (værst) og evt. øvrige bemærkninger. For at få optaget en reference er det et krav, at der er tale om en egentlig konstruktion og ikke f.eks. et laboratorieforsøg. Desuden kræves der et minimum af oplysninger: <ul style="list-style-type: none">• Konstruktionstype• Bygherre• Dato• Beliggenhed• Rådgiver eller entreprenør• Fibertype• Volumenkoncentration• Mindst ét formål Databasen er opbygget, så der kan søges oplysninger og laves udskrifter fra følgende indgange: <ul style="list-style-type: none">• Konstruktionstype• Bygherre• Beliggenhed• Fibertype• Fibermængde• Leverandør• Entreprenør• Rådgiver

Beskrivelse af konstruktioner i fiberbeton	Konstruktioner	Konstruktionstyper Størrelse Beliggenhed Bygherre Dato Rådgiver/entreprenør	Guive Tanke Reparation Membran Belægning Puds Facadeelementer Blivende forskalling Andre elementer In-situ - konstruktioner			
	Fiberbeton	Fiberbetontype ¹⁾ Produkt navn Leverandør/Fabrikant Fiberkarakteristik Længde/Diameter Volumenkonzentration Øvrig armering	Stål AR Glas PP Fibre Cellulose Acryl Kevlar Asbest Wollastonit			
	Dimensionering	Formål	Tæthed Revnefordeling Udmattelse Trækstyrke Søjhed Holdbarhed Formfrihed Vægtbesparelse Vedhæftning Økonomi	Andet		
		Dimensioneringsmetode	Reference til litteratur Egne beregninger Egne forsøg (evt.litt.lis.) Sælgers oplysninger Andet			
		Dokumentation af egenskaber	Egne forsøg Leverandøroplysninger Evt. en verbal beskr. Standard reference Ingen			
		Produktionsmetoder	Blandeproces	Fabrik Byggeplads Tørt Vådt		
			Udstøbning	Vådstøbning Tørsprøjtning Vådsprøjtning Udlæggermaskine Håndoplægning Ekstrudering Vibodres		
			Efterbehandling	Udtøringsbeskyttelse Overfladebehandling, maling ect.		
			Tilstandsvurdering	Vurderingsdato Karakter (0 (bedst) - 5 (værst)) Øvrige bemærkninger: - Reparationer - Beskrivelse af reparationer - Beskrivelse af årsag/virkning		

¹⁾ I tilfælde hvor der er anvendt flere typer fibre i samme konstruktion, skal dataene indtastes for hver fiber type.

Bilag A viser et eksempel på et referenceblad for en fiberbetonkonstruktion samt et tomt referenceblad, der kan benyttes til indsendelse af nye oplysninger om fiberbetonkonstruktioner til Dansk Betonforening. Bilag B viser en oversigt over referencerne i 1. udgave af databasen.

8.2 Gulve

Mængde	I alt ca. 62.000 m ² + 350 m ³ svarende til ca. 65.000 m ² gulve er registreret udført i fiberbeton fra 1987-1994. De 65.000 m ² gulve fordeler sig som følger:
Type	<ul style="list-style-type: none">• ca. 25.000 m² industri- og lagergulve• ca. 20.000 m² terrændæk• ca. 10.000 m² overbeton• ca. 2.500 m² kældergulv• ca. 7.500 m² diverse (ukendt, badeværelsesgulv m.m.)
Fiberbeton	Fiberbetonen brugt til gulvene kan opdeles i to typer: <ul style="list-style-type: none">• Fiberbeton med 0.4 - 1.0 vol.% stålfibre typisk med dimensionen 60/1.0. Der findes empiriske beregningsmetoder til denne type fiberbeton. Formålet med fibertilsætning er at opnå en revnefordelende effekt i den hærdnede beton.• Fiberbeton med 0.06 - 0.1 vol.% polypropylenfibre typisk med en længde på 12 mm. Formålet med fibertilsætning er at opnå en revnefordelende effekt i den hærdnede beton.• Vand/cementforholdet er typisk 0.6 - 0.75.
Udførelse	Fiberbeton til gulve vådstøbes på traditionel vis, og der anvendes plastafdækning til at forhindre for hurtig fordampning.
Tilstandsvurdering	Arbejdsgruppen har besøgt et antal fiberbetongulve og fundet, at der generelt er færre revner, når der anvendes fibre, og når større revner forekommer, finder der ikke kantknusning sted.

8.3 Tanke

Mængde	Der er i databasen registreret i alt 18.500 m ² fiberbeton, som er udført i perioden 1987-1994. Under denne konstruktionstype fordeler tankene sig som følger:
Type	<ul style="list-style-type: none">• 3 stk. gylletanke svarende til ca. 3.500 m²• 4 stk. procestanke svarende til ca. 10.500 m²• 5 stk. regnvandsbassiner svarende til ca. 4.500 m²
Fiberbeton	Til samtlige tanke er anvendt en fiberbeton med 2,0 vol.% Polypropylen-fibre med en længde på 12 mm. Formålet med fibertilsætning er at opnå tæthed og sejhed. Vand/cementforholdet i fiberbetonen er typisk under 0.45.
Udførelse	Tankene sprøjtestøbes direkte på grusunderlag.
Tilstandsvurdering	De tanke, arbejdsgruppen har besøgt, hvoraf den ældste var 7 år, levede alle op til forventningerne med ubetydelige eller ingen mangler.

8.4 Reparationer

Reparationstype	<p>Cementbaserede kompositmaterialer anvendes til reparation som supplement til eller i stedet for de traditionelle cementbaserede reparationsmaterialer.</p> <p>De typer af de cementbaserede kompositmaterialer anvendt til reparation er følgende:</p> <ul style="list-style-type: none">• Fiberarmeret tætningsmembran• Fiberarmeret mørtel• Fiberarmeret beton• Fiberarmeret sprøjtebeton
Fiberbeton	<p>I databasen findes eksempler på anlægskonstruktioner, hvor både bærende og ikke bærende konstruktionsdele er blevet repareret. Her tænkes f.eks. på fløje, kantbjælker, buestykker, længdebjælker osv.</p> <p>Generelt er anvendt polypropylenfibre og stålfibre, enten hver for sig eller sammen. Volumenkoncentrationen er i størrelsesordenen 0,25 vol% til 2,6 vol%. Formålet med fiberindblanding har typisk været at opnå en bedre revnefordeling og tæthed med deraf følgende forbedret holdbarhed.</p>
Udførelse	<p>Fiberbeton til reparationer vådstøbes, sprøjtestøbes eller håndudlægges.</p>
Tilstandsvurdering	<p>Arbejdsgruppens vurdering af fiberbetonreparationer er ikke entydig, idet der findes både gode og dårlige resultater.</p>

8.5 Membraner

Mængde	<p>Der er i databasen registreret i alt 7.000 m² fiberbeton, som er udført i perioden 1985-1994. Under denne konstruktionstype fordeler membranerne sig som følger:</p>
Type	<ul style="list-style-type: none">• 1 stk. renselagsmembran svarende til 6.000 m²• 1 stk. tunnel svarende til 25 m²• 1 stk. jernbanebro svarende til 600 m²• 1 stk. syrebassin svarende til 300 m²
Fiberbeton	<p>Til renselagsmembran og jernbanebro er anvendt en fiberbeton med Polypropylen-fibre med en længde på 12 mm. Til fiberbetonmembran i syrebassin er anvendt Polypropylen-fibre som Crackstop. Tunnellen er udført med fiber-væv af typen Krenit. Formålet med fibertilsætning er at opnå tæthed.</p>
Udførelse	<p>Membraner udført med fiberbeton sprøjtestøbes.</p>
Tilstandsvurdering	<p>Arbejdsgruppen har besigtiget renselanlægsmembranen og fundet, at konstruktionen lever op til forventningerne.</p>

8.6 Belægninger

Mængde	<p>Der er i alt registreret omkring 13.000 m² belægninger udført i fiberbeton i perioden 1987 til 1994. Belægningerne fordeler sig som følger:</p>
Type	<ul style="list-style-type: none">• 300 m² Offentlig vej• 11.500m² Privat vej• 1.200 m² Andet

Fiberbeton	Ind under betegnelsen privat vej er medregnet områder, eksempelvis i forbindelse med tankstationer og indkøbscentre (p-pladser). Fiberbetonen, der er anvendt til belægningerne, indeholder mellem 0,1 - 1,5 vol% fibre af henholdsvis stål og polypropylen, ligesom der er anvendt en blanding af de to typer. Fibrene er anvendt i længder på op til 12 mm. Formålet med fibertilsætning er at opnå revnefordeling. Der findes beregningsmetoder til fiberbetonbelægninger.
Udførelse	Fiberbetonbelægninger vådstøbes eller udlægges med udlæggermaskine.
Tilstandsvurdering	Arbejdsgruppen har besigtiget et antal belægninger og fundet, at der generelt er færre revner, når der anvendes fibre, og når større revner forekommer, finder der ikke kantknusning sted.

8.7 Puds

Der er ikke registreret arbejder/referencer, hvor puds indeholder fibre. Der er dog forlydende om, at der i forbindelse med pudsning af isolerede facader er anvendt fibre i mørtelblandingen. Det har dog ikke været muligt at få oplyst, hvilke fibertyper der er anvendt. Fiberindholdet menes at ligge under 0,5 vol%.

Der er kun i et enkelt tilfælde registreret arbejde med puds indeholdende fibre. Det drejer sig om opsprøjtning af et tag, hvor fiberbetonen støbes direkte på isoleringen. I dette tilfælde er der anvendt mørtel med et fiberindhold på ca. 1 vol. %. Der er udført ca. 100 m² tag på denne måde.

Der er dog forlydende om, at der også i forbindelse med pudsning af isolerede facader er anvendt fibre i mørtelblandingerne. Det har dog ikke været muligt at fremskaffe referencer på konkrete eksempler, ligesom det ikke har været muligt at få oplyst, hvilke fibertyper der er anvendt.

8.8 Facadeelementer

Type	Elementer for facade kan inddeles i 2 grupper: <ul style="list-style-type: none"> • Standardprodukter • Specialprodukter Som standardprodukter produceret i Danmark kendes kun produkter fra Dansk Eternit. Disse plane plader og tagprodukter fremstilles med cellulose- og polypropylenfibre i en ikke oplyst blanding.
Mængde	Produktionen er ca. 120.000 tons pr. år, dvs. større end produktionen af andet fiberbeton. Eternit-produktionen er ikke medtaget i databasen. Af specialproduktioner indeholder databasen ca. 22 eksempler. Der er i 1994 6 producenter i Danmark, som fremstiller denne type elementer med glasfiberarmeret beton. I alt er der indtil dato produceret ca. 500.000 m ² med typiske godstykkelser 10-15 mm. Elements-tørrelser 0-15 m ² afhængig af ophæng- og montagesystem. Der findes tilgængelig litteratur vedrørende beregning og dimensionering hos producenterne.
Fiberbeton	Fiberbetonen udføres med ca. 5 vol. % glasfibre.

Udførelse	Glasfiberarmerede elementer sprøjtestøbes eller produceres efter traditionelle metoder.
Tilstandsvurdering	Arbejdsgruppen har besigtiget et antal ældre konstruktioner og fundet tilstanden god.

8.9 Blivende forskalling

2 eksempler	<p>Databasen indeholder kun 2 eksempler på dette anvendelsesområde. Når det alligevel er med som selvstændigt område, er det i forventning om en langt større kommende udbredelse.</p> <p>I de 2 nævnte eksempler, henholdsvis kupoldæk og søjleudstøbning er anvendt tyndskaller fremstillet med glas-fibre.</p> <p>Fra udlandet kendes eksempler med brodæk, - specielt Norge og England.</p> <p>Blivende forskallingsemner sikrer den ønskede overflade og i mange tilfælde den korrekte anbringelse af armeringsjern.</p>
Udførelse og beregning	<p>Speciallitteratur vedr. udførelse og beregning er udarbejdet af organisationen GRCA (Glasfibre Reinforced Cement Association), og kan fremskaffes via producenterne.</p>

8.10 Andre elementer

Type	I kategorien Andre elementer findes forskellige emner af fiberbeton. Emnerne spænder fra kantelementer, tagelementer til sålbænke og plantekasser.
Udførelse	<p>Elementerne er produceret med alle tidligere nævnte produktionsmetoder.</p> <p>Ved denne type elementer sammensættes mørtel og fibersystem efter emnets anvendelse og efter hvilke egenskaber, betonelementet skal have.</p>
Fiberbeton	<p>Fiberarmerede betoner er eksempelvis anvendt til kantbjælker og kantbjælkeelementer på anlægskonstruktioner. Miljøbelastningen er her særlig aggressiv, og der forventes en god holdbarhed af betonen. Som fiberarmering er typisk anvendt op til 1,75 vol.% polypropylen-fibre.</p> <p>Tagelementer er ligeledes udsat for en hård miljøpåvirkning. Her er givet eksempler på tagelementer armeret med 5 vol.% glasfibre for at forbedre holdbarheden og formfriheden.</p> <p>Netop formfriheden er den opsprøjtede glasfiberarmerede mørtels store fordel. Dette produkt anvendes f.eks. til sålbænke (med isolering), plantekasser og karnap-bundelementer afstøbt af den gamle konstruktion.</p>

9. Litteratur

ACI Committee 544 (1978) "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete." ACI Journal, July 1978, 283-289

ACI Committee 544 (1988) "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete." ACI Materials Journal, Nov.-Dec. 1988, 583-593.

ASTM (1985) "ASTM Standard C 1018-85 - Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)." I: Annual Books of ASTM Standards, vol. 04.02.

ASTM (1989) "ASTM Standard C 1018-89 - Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)." I: Annual Books of ASTM Standards, vol. 04.02.

Balaguru, P.N. og Shah, S.P. (1992) "Fiber Reinforced Cement Composites." McGraw-Hill Inc. 530p.

Barr, B.I.G., Liu, K. og Dowers, R.C. (1982) "A Toughness Index to Measure the Energy Adsorption of Fibre Reinforced Concrete." Int. J. of Cement Comp. and Lightw. Concr. 4, (4), 221-227.

Bekaert (1990) "Industrial Floors with Dramix Steel Fibre Reinforced Concrete." Bekaert, Zwevegem, Belgien.

Bentur, A. Mindess, S (1990). "Fibre Reinforced Cementitious Composites." Elsevier Applied Science, 449p.

Bentur, A., (1992) personlig kommunikation.

Casanova, P. og Rossi, P. (1994) "Design of SFRC Structures." Fremsendt til publikation.

CUR (1990) "CUR Recommendation No. 10. The Design, Calculation and Construction of Steel Fibre Reinforced Concrete Industrial Floors." CUR Foundation, Gouda.

Curiger, P. (1993) "Practical Design and Structural Analysis of Glass Fibre Reinforced Concrete Components." Fachvereinigung Faserbeton e.V. April 1993.

Fibresteel (1981) "Technical Manual." Fibresteel, Australian Wire Industries, Australien.

Glavind, M. (ed), "Fiberbeton Statusrapport. Rammeprogrammet Cementbaserede Kompositmaterialer under det Materialeteknologiske Udviklingsprogram 1989-92, Betoncentret, Dansk Teknologisk Institut, november 1993.

Hillerborg, A. (1980) "Analysis of Fracture by means of the Fictitious Crack Model, Particularly for Fibre Reinforced Concrete." *Int. J. Cem. Comp.* 2, (4), 177-184.

Japan Concrete Institute (1984) "Standard SF4: Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete." I: Standards for Test Methods of Fiber Reinforced Concrete. Japan Concrete Institute, 1983, 1984.

Kasperkiewicz, J. and Skarendahl, Å. (1990) "Toughness Estimation in FRC Composites." *CBI Rapport*, 4:90.

Li, V.C., Stang, H. og Krenchel, H. (1993) "Micromechanics of Crack Bridging in Fibre-Reinforced Concrete." *Mat. and Struc.* 26, 486-494.

RILEM TC 49 TFR (1982) "Testing Methods for Fibre Reinforced Cement-Based Composites." RILEM Draft Recommendations. *Mat. Struc.* 17, (102), 441-456.

Rossi, P. og Harrouche, N. (1990) "Mix Design and Mechanical Behaviour of some Steel-Fibre-Reinforced Concretes used in Reinforced Concrete Structures." *Mat. Struc.* 23, (136) 256-266.

Silidur (1985) "Dallage Industriel Silifiber." Eurosteel S.A. Agrément Socotec, Frankrig.

Skarendahl, Å. og Westerberg, B. (1989) "Handledning för Dimensionering av Fiberbetonggolv." *CBI Rapport*, 1:89.

Stang, H. (1991) "Prediction of Crack Width in Conventionally Reinforced FRC." I: *Brittle Matrix Composites 3*. (Red. A. M. Brandt and I. H. Marshall). Elsevier Science Publishers Ltd. 193-203.

Stang, H. (1992) "Evaluation of Properties of Cementitious Fiber Composite Materials." I: *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites*. (Red. H. Reinhardt og A. Naaman). E. & F.N. Spon. 388-406.

Stang, H. og Aarre, T. (1992) "Evaluation of Crack Width in FRC with Conventional Reinforcement." *Cem. Concr. Comp.* 14, No. 2, 143-154.

Stang, H., Li, V.C. og Krenchel, H. (1994) "Design and Structural Applications of Stress-Crack Width Relations in Fiber Reinforced Concrete." Accepteret til publikation i *Mat. and Struc.*

Thygesen, E. (1994) "Design af Fiberbeton og Fiberbetonprodukter." Erhvervsforskerrapport, Unicon Beton, Afdelingen for Bærende Konstruktioner, 1994.

Bilag A

Referenceshit

Konstruktionstype

Membran <i>Konstruktionstype</i>	6.000 m2 <i>Størrelse</i>	02-09-93 <i>Tidspunkt for udførelse</i>	1 <i>Ref. nummer</i>
Renseanlæggene Lynetten <i>Sted / Bygherre</i>	Damhusåens R/A, Parkstien, Valby <i>Beliggenhed</i>		
100 mm fiberbetonmembran udsprøjtet som tæt renselag <i>Beskrivelse</i>			

Rådgiver

<i>Rådgiver</i> Rambøll Hannemann & Højlund
Bredevej 2 2830 Virum <i>Kontaktperson</i> Cyril Holtze 42 85 65 00

Entreprenør

<i>Entreprenør</i> Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)
Datavej 26 3460 Birkerød <i>Kontaktperson</i> Claus Bering 45 82 52 52

Fiberbetontype / formål / egenskaber / m.

<i>Fiberstype</i> PP FIBRE	<i>Volumen %</i> 2	<i>Kg / m3</i> 20	<i>Produkt / betegnelse</i> Krenit	
<i>Betonleverandør</i> Danaklon / 4 K Beton A/S		<i>Fiberkarakteristika</i>		
<i>Vand / cement (V/C)</i> 0,45	<i>Styrke (Mpa)</i> 35	<i>Fiberlængde (mm)</i> 12	<i>Fiberdiameter (mm)</i> 1	<i>Øvrig armering</i> Ingen
<i>Særlige forhold</i> Sprøjtestøbt med special sprøjterobot fra 4K-Beton og Dansk Fiberbeton				

<i>Formål 1</i> TÆTHED	<i>Formål 2</i> HOLDBARHED	<i>Formål 3</i> FORMFRIHED
<i>Dimensioneringsmetoder</i> EGNE BEREGNINGER		<i>Dokumentation af egenskaber</i> EGNE FORSØG
<i>BLANDESTED</i> FABRIK	<i>Blandet tørt/vådt</i> VÅDT	<i>Udstøbning</i> VÅDSPRØJTNING
<i>Efterbehandling</i> Curing		

Tilstandsvurdering

<i>Tilstandsvurdering</i> 0 : Ubetydelige mangler	<i>Tidspunkt for tilstandsvurdering</i> 1. Marts 1994
<i>Bemærkninger, evt. årsag virkning m.v.</i>	

Bilag B

OVERSIGT REFERENCER

DANSK BETONFORENING

Ref. nr.	Type	Omfang	Fibertype	Vol %	Rådgiver / konsulent	Entreprenør	Dato
1	Membran	6.000 m ²	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	02-09-93
2	Gulv	150 m ²	PP FIBRE	0,06	Preben Simonsen	Knud Andersen	01-04-93
3	Gulv	4500 m ²	STÅL		Olaf Kohl	Rasmussen & Schiøtz A/S	01-08-93
4	Gulv	5000 m ²	STÅL		Olaf Kohl	Arntton A/S	01-11-93
5	Gulv	5500m ²	STÅL	0,95	Olaf Kohl	Rasmussen & Schiøtz A/S	09-10-93
6	Gulv	5500 m ²	STÅL	0,3	Olaf Kohl	Rasmussen & Schiøtz A/S	01-10-93
7	Gulv	2000 m ²	STÅL		Olaf Kohl	Rasmussen & Schiøtz A/S	01-01-90
8	Gulv	5000 m ²	STÅL		Jan Møller	Rasmussen & Schiøtz A/S	01-01-90
9	Gulv	5000 m ²	STÅL	0,5	Jan Møller	Rasmussen & Schiøtz Vest A/S	01-01-91
10	Gulv	500 m ²	PP FIBRE	0,1	A. Jespersen & Søn A/S	Frede Hansen - Ringe A/S	01-07-88
11	Gulv	150 m ²	PP FIBRE	0,1		Kristian Sørensen ApS	16-02-88
12	Gulv	600 m ²	PP FIBRE	0,1	Bigum & Steenfoss	Albeton	01-06-88
13	Gulv	450 m ²	PP FIBRE	0,1		LL - Byg	04-08-87
14	Gulv	150 m ²	PP FIBRE	0,1	Dines Jørgensen & Co A/S	Oskar Pedersen ApS	11-11-88
15	Gulv	432 m ²	PP FIBRE	0,1		Verner Nielsen	01-03-88
16	Gulv	640 m ²	PP FIBRE	0,1		Verner Nielsen	01-03-88
17	Gulv	2500 m ²	PP FIBRE	0,1	Dansk Stålkonstruktion A/S	John Thomsen	01-11-88
18	Gulv	1545 m ²	PP FIBRE	0,1		Tjæreborg Industri A/S	01-06-88
19	Gulv	160 m ²	PP FIBRE	0,1		Malboom	01-05-88
20	Gulv	350 m ³	PP FIBRE	0,1	Berge Husted Rech	Arb. mændenes koop. Entreprenørforr.	01-07-88
21	Gulv	4000 m ²	PP FIBRE	0,1		M&T	01-10-93
22	Tanke	850 m ²	STÅL	1	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-01-87
23	Membran	25 m ²	PP FIBRE		Rambøll Hannemann & Højlund	O. Christensen & K. Sørensen A/S	01-10-85
24	Belægning	8.000 m ²	PP FIBRE		CowIConsult A/S	Pihl & Søn	01-01-88
25	Belægning	2.000 m ²	PP FIBRE	1	4K Beton A/S	Nielsen & Storm	01-01-89
26	Belægning	770 m ²	STÅL OG	1,5	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-10-92
27	Facadeelementer	1000 m ²	AR GLAS	4	Bundgaard & Kassow	H.P. Huse & Total Byg	01-01-92
28	Facadeelementer	1000 m ²	AR GLAS	4	Klaus Nielsen	GZ Høse	01-01-85
29	Facadeelementer	2500 m ²	AR GLAS	4	Ing: Crone & Koch / Ark: Poul Clausen	G. Waagstein	01-01-92
30	Facadeelementer	2500 m ²	AR GLAS	4	Ing: Lemming & Eriksson / Ark: Børge K.	Larsen & Nielsen Entreprise	01-01-87
31	Facadeelementer	500 m ²	AR GLAS	4	Ing: N&R Consult / Ark: Domus	M&T	01-01-93

21. Maj 1995

Side 1

Bilag B

OVERSIGT REFERENCER

DANSK BETONFORENING

Ref. nr.	Type	Omfang	Fibertype	Vol %	Rådgiver / konsulent	Entreprenør	Dato
32	Facadeelementer	2500 m2	AR GLAS	4	Ing: Birch & Krogboe. Ark: Vinumgård	KKS Entreprise	01-01-92
33	Facadeelementer	2500 m2	AR GLAS	4	Ing: Wissenberg. Ark: Greisen & Zwinge	Rasmussen & Schiøtz Øst A/S	01-01-93
34	Facadeelementer	2500 m2	AR GLAS	4	Ing: Bigom & Stenfoss. Ark: Helge Langtoft	Tømrersvendenes A/S	01-01-90
35	Facadeelementer	23000m2	AR GLAS	4	Ing: Birch & Krogboe. Ark: Jorsal bech & M & T	M & T	01-01-92
36	Facadeelementer	8.000 m2	AR GLAS	4	Maf. Ing. Firam Kalundborg. Ark: Møller	Rasmussen & Schiøtz Øst A/S	01-01-92
37	Facadeelementer	12000	AR GLAS	4	Ing: Fa. Klaus Nielsen.	Murersvendenes A/S	01-01-89
38	Facadeelementer	500 m2	AR GLAS	4	Ing: Bent Stuhr. Ark: Tegnestuen Dornus	Victoria System	01-01-93
39	Facadeelementer	80 m2	AR GLAS	4	Ark: Hans Bølling	Ecoterm A/S	01-01-90
40	Facadeelementer	1.000 m2	AR GLAS	4	Ing: B. B. Bentzen. Ark: Ralf Smidt	Enemærke & Petersen A/S	01-01-88
41	Facadeelementer	200 m2	AR GLAS	4	Ark: K.K.E. Gert Edstrand	Rømer Vinlues & Facader	01-01-93
42	Facadeelementer	1000 m2	AR GLAS	4	Ing: I.88. Ark: Tegnestuen Møllen	M&T	01-01-91
43	Facadeelementer	500 m2	AR GLAS	4	Ing: Henning Nelisen. Ark: Bent Westergaard	Hans Jørgensen & Søn	01-01-92
44	Facadeelementer	200 m2	AR GLAS	4	Ark: Hvidt & Mølgaard	Larsen & Nilsen	01-01-90
45	Facadeelementer	300 m2	AR GLAS	4	Ing: Erik K. Jørgensen. Ark: A5 Tegnestue	Murersvendene A/S	01-01-90
46	Facadeelementer	500 m2	AR GLAS	4	Ark: Arkitekterne	Tømrersvendenes A/S	01-01-92
47	Facadeelementer	500 m2	AR GLAS	4	Ark: Trærup Madsen	GZ Huse	01-01-92
48	Facadeelementer	1.000 m2	AR GLAS	4	Ing: Bent Stuhr. Ark: Helge Langtoft	Julius Nielsen & Søn	01-01-90
49	Blivende forskallin	4000 m2	AR GLAS	4	CowiConsult	Rasmussen & Schiøtz Øst A/S	01-01-91
50	Tanke	500 m2	PP FIBRE	2		Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-06-90
51	Belægning	60 m2	PP FIBRE	1		Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-07-90
52	Reparation	300 m2	PP FIBRE	2		Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-05-90
53	Belægning	200 m2	PP FIBRE	1	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-12-90
54	Tanke	2.000 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	02-05-93
55	Tanke	3.000 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	02-05-93
56	Tanke	5.500 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-11-92
57	Tanke	1.000 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-05-90
58	Tanke	1.400 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-05-92
59	Belægning	2400 m3	PP FIBRE		CowiConsult	H&S A/S	01-03-91
60	Gulv	5000 m2	STÅL	0,5	Olaf Kohl	Armlton A/S	01-11-93
61	Gulv	130 m2	PP FIBRE	0,1	Abrahamsen & Nielsen	H. Hoffmann & Sønnen A/S	15-05-89
62	Gulv		PP FIBRE	0,1	CowiConsult	H&S Vest	01-10-92

Bilag B

OVERSIGT REFERENCER

DANSK BETONFORENING

Ref. nr.	Type	Omfang	Fibertype	Vol %	Rådgiver / konsulent	Entreprenør	Dato
63	Tanke	150 m2	PP FIBRE	0,2	Convisor	Otto Christensen & Kaj Sørensen	01-06-92
64	Reparation	240 m2	PP FIBRE	0,2	Broconsult	Jens Jensen A/S	01-06-92
65	Membran	600 m2	PP FIBRE	0,2	DSB Broteknik	Otto Christensen & Kaj Sørensen	01-07-94
66	Gulv		STÅL		Frits Nielsen & Jørgen Juul Christensen A/S	Wejse Entreprise A/S	01-08-94
67	Belægning		PP FIBRE			Monberg & Thorsen A/S	01-03-93
68	Belægning		PP FIBRE			Dansk Cobblestone A/S	01-05-94
69	Belægning	50 m2	PP FIBRE			Dansk Cobblestone A/S	26-08-94
70	Belægning	160 m2	PP FIBRE			Dansk Cobblestone A/S	01-11-92
71	Belægning	430 m2	PP FIBRE			Dansk Cobblestone A/S	01-10-93
72	Belægning	100 m2	PP FIBRE			Dansk Cobblestone A/S	01-08-91
73	Belægning	75 m2	PP FIBRE			Dansk Cobblestone A/S	01-05-91
74	Gulv	800 m2	STÅL			Hermann Johansen	01-03-94
75	Membran	300 m2	PP FIBRE		Danfoss	Håndværkerne & Gert Hansen	01-01-92
76	Gulv	160 m2	STÅL		DSB Bygningsregion Nordjylland	Knud Nautrup	01-02-94
77	Gulv	96 m2	PP FIBRE		Gen-tek	L.M. Huse	01-06-94
78	Belægning		PP FIBRE		CowiConsult	Arntton	01-08-87
79	Reparation		PP FIBRE	2,6	CowiConsult	C.G. Jensen	01-01-91
80	Reparation		PP FIBRE		RH&H	O. Christensen & K. Sørensen A/S	01-01-90
81	Reparation		PP FIBRE		RH&H	O. Christensen & K. Sørensen A/S	01-01-90
82	Reparation		STÅL	1,8	RH&H	O. Christensen & K. Sørensen A/S	01-01-90
83	Reparation		STÅL	1,75	RH&H	O. Christensen & K. Sørensen A/S	01-01-90
84	Gulv	3000 m2	STÅL		Leif Hansen	DT Entreprise A/S	01-01-94
85	Gulv	3200 m2	PP FIBRE			Brdr. K. Hansen	01-01-94
86	Gulv		STÅL		O. Abildhaug	Finn M. Hansen	01-01-94
87	Gulv	4600 m2	PP FIBRE		Hostrup-Schultz og Sørensen	Kjæhr og Trillingsgaard	01-01-94
88	Andre elementer	10 m2	AR GLAS	4,5	Rambøll Hannemann & Højlund	Otto Christensen & Kaj Sønner	01-01-89
89	Reparation	10 m3	PP FIBRE		DSB / C+S	Otto Christensen & Kaj Sørensen	13-10-93
90	Reparation	8 m3	PP FIBRE		CowiConsult A/S	Otto Christensen & Kaj Sørensen A/S	06-07-93
91	Reparation		STÅL	1	CowiConsult A/S	A/S Norvin & Larsen	01-01-86
92	Reparation		PP FIBRE	1	CowiConsult A/S	A/S Norvin & Larsen	01-01-86
93	Reparation		PP FIBRE	0,62	CowiConsult A/S	A/S Norvin & Larsen	01-01-86

OVERSIGT REFERENCER

DANSK BETONFORENING

Ref. nr.	Type	Omfang	Fibertype	Vol %	Rådgiver / konsulent	Entrepreneur	Dato
94	Reparation		PP FIBRE	0,25	CowiConsult A/S	Arnton A/S	01-01-88
95	Andre elementer	6 m	PP FIBRE	0,25	CowiConsult A/S	Arnton A/S	01-01-88
96	Reparation		STÅL+PP	2,45	Rambøll Hannemann & Højlund	O. Christensen & K. Sørensen A/S	01-01-90
97	Andre elementer		PP FIBRE	1,25	CowiConsult A/S	KH-betonelementer	01-01-80
98	Andre elementer		PP FIBRE	1,75	CowiConsult A/S	KH-betonelementer	01-01-80
99	Andre elementer	100m	PP FIBRE	0,75	CowiConsult A/S	Arnton	01-06-89
100	Andre elementer	50 stk.	AR GLAS	4		B B Fiberbeton	01-01-90
101	Andre elementer	100 m2	AR GLAS	5	Ark. Knud Christensen		01-01-88
102	Andre elementer	50 m2	AR GLAS	5	Dissing & Weiting	E. Komerup	01-01-93
103	Andre elementer	200 stk.	AR GLAS	5		Murer Paul Jepsen	01-01-90
104	Andre elementer	200m	AR GLAS	5	Ark. Thure Nielsen & Rubow		01-01-91
105	Andre elementer	1000 m	AR GLAS	5	Ark. KPP / Ing. KBI	E. Komerup	01-01-90
106	Andre elementer	100 m	AR GLAS	5		A. V. Andersen	01-01-91
107	Andre elementer	200 m	AR GLAS	5	Ark. Børge Clausen		01-01-91
108	Tanke	1.500 m3	PP FIBRE	2	CowiConsult A/S	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-11-90
109	Gulv	300 m2	PP FIBRE	1		Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-06-90
110	Gulv	400 m2	PP FIBRE	1		Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-04-91
111	Tanke	400 m2	PP FIBRE	2	Convisor	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	15-06-91
112	Tanke	400 m2	PP FIBRE	2	Løw & Hallberg	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-06-92
113	Tanke	600 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-11-93
114	Tanke	1.500 m2	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	15-01-92
115	Tanke	1.300 m3	PP FIBRE	2	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-06-92
116	Reparation	600 m2	PP FIBRE	2	I. Krüger I/S	Dansk Fiberbeton as (R & S Øst)	01-08-92
117	Membran	100 m2	PP FIBRE	1	Rambøll Hannemann & Højlund	Dansk Fiberbeton as (R&S Øst)	01-05-91
118	Puds	100 m2	PP FIBRE		Tegnestuen Vindrosen	Otto Christensen & Kaj Sørensen A/S	01-11-92

Bilag C

Svarkort vedrørende opdateringer

Firma

Adresse

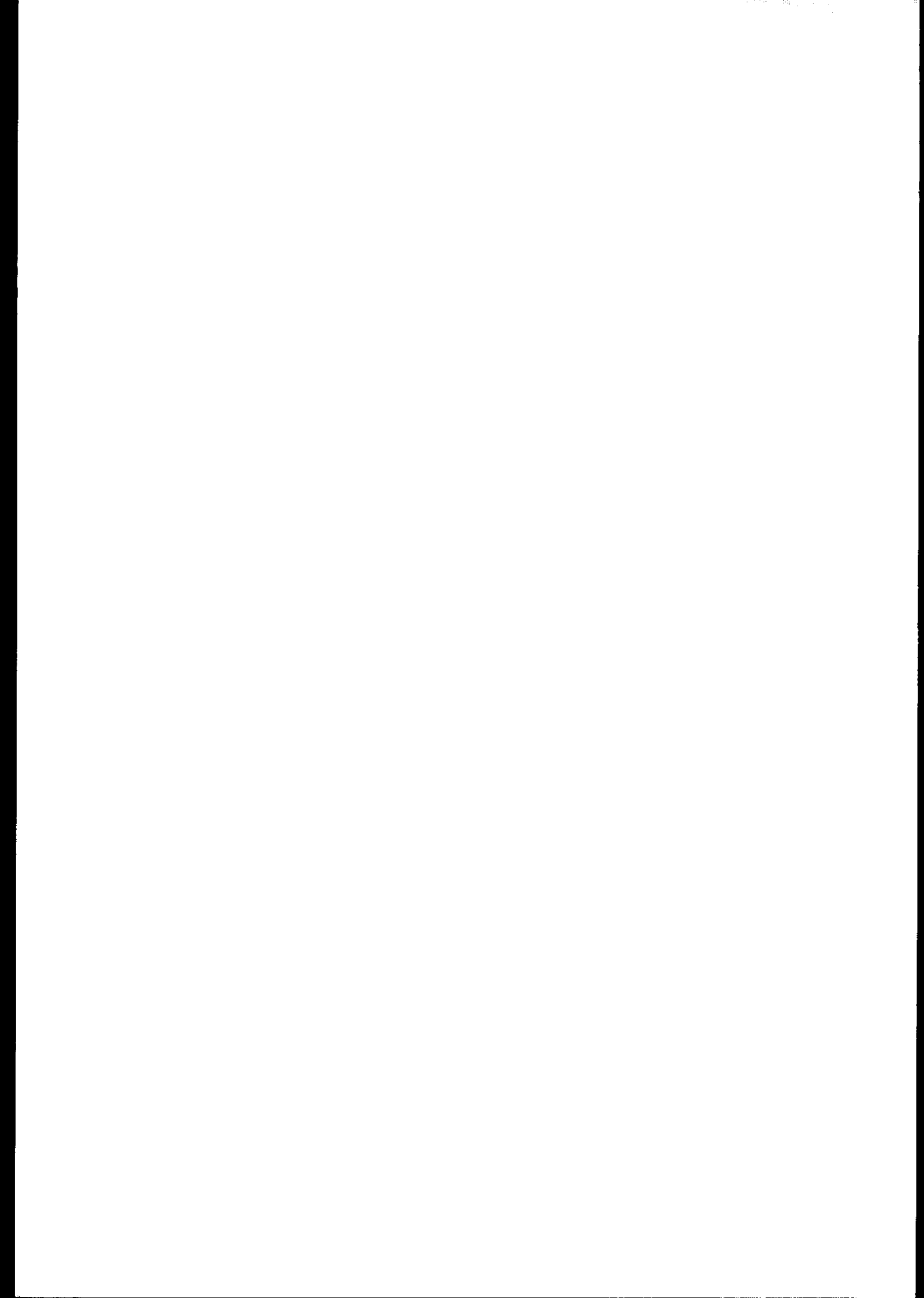
Postnr./by

Att.:

ønsker at modtage opdateringer af databasen om fiberbetonkonstruktioner.

Sendes til:

Dansk Betonforening
Vester Farimagsgade 29
1780 København V



Dansk Betonforening's publikationer:

Publ. nr.	Titel	Løssalgpris
34:89	"Anvisning for genanvendelsesmaterialer i beton til passiv miljøklasse"	Kr. 45
Uden nr.	Tillæg til nr. 34:89 (udg. 1995)	Kr. 45
35:90	"Anvisning for efterbehandling af beton"	Kr. 30
36:90	"Dansk Betondag 1990"	Kr. 55
37:91	"Dansk Betondag 1991"	Kr. 70
38:92	"Anvisning i katodisk beskyttelse"	Kr. 45
39:92	"Dansk Betondag 1992"	Kr. 70
40:93	"Dansk Betondag 1993"	Kr. 60
41:94	"Dansk Betondag 1994"	Kr. 60
42:95	"Dansk Betondag 1995"	Kr. 70
Uden nr.	Kontroljournaler 1988 – Blanketter m/vejl.	Kr. 75
Uden nr.	"Concrete Across Borders 1994"	Kr. 250
Uden nr.	"Nordic Concrete Development 1995"	Kr. 150
Uden nr.	Abonnement "Nordic Concrete Research"	NKr. 100
Uden nr.	Tidl. udgivelser "Nordic Concrete Research" pr. stk.	NKr. 150
Uden nr.	Abonnement på DBF's publikationer	25% rabat

Ovenstående kan rekvireres ved skriftlig henvendelse til:

Ingeniørforeningen i Danmark

Mødereistreringen
Vester Farimagsgade 29
1780 København V

Fax nr. 33 15 37 07

ISSN-0106-0406
ISBN-87-87823-43-8