

# Fiberarmerte materialer

Kan få egenskaper langt over det vi kjenner i dag

sg 691-494  
B  
34

A: 691.87

Det er grunn til å vente en interessant utvikling av fiberarmerte produkter som på forskjellige punkter kan få egenskaper langt over det vi kjenner i dag, selv om vi vel ikke får noen revolusjon som puffer ut av markedet nå kjente materialer og materialkombinasjoner. Denne nye utviklingen kan løse mange problemer som vanskelig lar seg løse idag. Av bl.a. litteraturen ser det ut til at særlig glassfiberarmert gips og glassfiberarmerte og stålfiberarmerte cementprodukter blir det som får betydning. Det er imidlertid uhyre meget å gjøre i retning av å utvikle produksjonsmetodene og å øke kjennskapet til egenskapene hos de ferdige produkter.

Et stort nordisk prosjekt for nærmere å utforske fiberarmert betongs egenskaper er organisert. Prosjektet ledes fra Cement- og Betonginstituttet i Stockholm, og arbeidet utføres ved en rekke forskningsinstitutter og private firmaer i Sverige, Finland og Danmark. Professor Markestad ved NTH undersøker metodikken for å bestemme heftfasthet mellom grunnmasse og fiber.

I den senere tid kan vi se en utvikling av endel fiberarmerte materialer i engelsktalende land, kalt "composites", dvs. en kombinasjon av to materialer, en grunnmasse armert med en eller annen fiber. ("Composites" brukes også om forskjellige sandwicher.) Innen bestemte grenser kan man ved hensiktsmessig valg av grunnmasse, fibermateriale og fibermengde variere "compositens" egenskaper. (1) (2) (3) (4)

Slike materialer har vært kjent lenge (soltørket jordblokker armert med strå, hestehår i puss, asbestcement). Allerede i begynnelsen av århundredet begynte man å eksperimentere med stålfiber i betong. Idag har nye materialer aktualisert bruken av fiberarmerte materialer. De mest aktuelle grunnmaterialer idag er mørtel (eller betong), polyester eller annen plast, eller gips. De mest aktuelle fibermaterialene er stålfiber, kullfiber,

asbestfiber, polypropylen, nylon etc. og glass. Det lages nå alkaliresistent glassfiber som kan brukes i betong. De fire som nå er i praktisk bruk, er stålfiber, asbestfiber, polypropylen og glassfiber. Naturfiber som sisal har også vært brukt (Australia). På en måte kan man betrakte den vanlige armerte betongen som et spesialtilfelle av den generelle fiberarmerte masse, man bruker meget grove fiber.

Det er to grunner til å plassere fiber i et grunnmateriale.

- Å øke grunnmaterialets elastisitetsmodul. Denne virkning har man hvis begge materialer virker sammen før det oppstår riss i grunnmaterialet. Dette er særlig nyttig i slike produkter som glassfiberarmert polyester, mens denne virkningen er liten i cement-glassfibersystemer.

- Å holde grunnmaterialet sammen etter at det er sprukket. Man får på denne måten en langt høyere styrke og en betydelig økt sikkerhet å gå på før materialet bryter sammen eller får for store deformasjoner. Samtidig er det samlede system ikke lenger sprøtt som grunnmaterialet ofte kan være. Deformasjoner og brudd binder betydelige energimengder. Dette er typisk virkning hos cementfibersystemer.

Armert betong er et spesialtilfelle med bruk av grove fibre.

## Hvorledes materialet virker

Dette kan lettest diskuteres hvis man klassifiserer materialet i tre grupper:

- 1D Alle fibre ligger i samme retning
- 2D Fibre i to retninger
- 3D Fibre i alle retninger

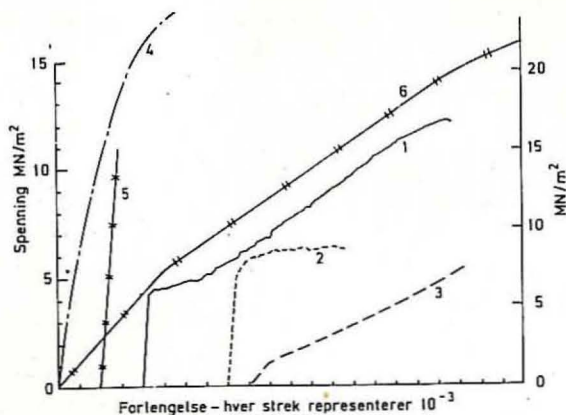
I alternativene 2D og 3D kan fibre ligge tilfeldig eller de kan være orientert på en bestemt måte, f.eks. armering med glassvev. Armeringen kan videre bestå av kontinuerlige strenger eller kortere stumper. Alle disse arrangementer kan bli betraktet som likeverdige hvis man ser bort fra de fibre som ikke ligger i hovedspenningsretning og således ikke, eller bare i mindre grad, er effektive.



Norges byggforsknings institutt  
1976

særtrykk 245

Fig. 5. Eksperimentelt bestemte spenningsdeformasjonskurver for 6 forskjellige materialer (1).



komplisert spenningsbilde og store spenningskonsentrasjoner. Fiberarmingen fordeler påkjenningen over et større område.

Det største området for 2D systemer ligger i form av tynne plater og profiler, kledningsmaterialer med stor styrke, korrugerte plater, profiler av lignende art som stål, skillevegger, etc.

Mange kombinasjoner av grunnmaterialer og fibre er mulige, og vil ha kommersielle muligheter. De viktigste kombinasjonene ser ut til å være:

- Glassfiberarmert plast
- Glassfiberarmert mørtel (cement)
- Polypropylenarmert betong eller mørtel
- Stålfiberarmert betong eller mørtel
- Glassfiberarmert gips

#### Glassfiberarmert plast

Glassfiberarmert polyester slik som vi kjenner det fra båter og gjennomslittige bølgeplater etc., er vel den hittil mest kjente "Composite" og den mest brukte. En rekke produkter er mulige og i praktisk bruk i dag.

Den vanligste utførelsesmåte er oppbygging av produktet på en form slik som vi kjenner det fra båtbygging. Metodene for å anbringe glassfiberarmingen kan variere (vevet duk, korte fibre blandet inn i polyestere).

#### Glassfiberarmert cement (mørtel)

Etter at alkaliresistente glassfiber ble tilgjengelige har det vært arbeidet adskillig med å finne tilfredsstillende metoder for fremstilling av glassfiberarmert cementmørtel.

Det er utviklet en metode hvorved cementgrøt og fibre (10-50 mm lange) sprøytes ut og blandes idet de treffer en form. Det overflødig vann suges ut, og man har en plate som kan bøyes f.eks. til et profil. Dette får en ganske betydelig bæreevne. Det kan brukes som en del av en bærende konstruksjon. Cement-glassfiberprodukter har bl.a. vist gode egenskaper som blivende forskaling. Det beskytter meget godt mot brann.

En lignende teknikk har vært anvendt for rørfremstilling (sprøyting mot roterende form). Slik sprøyteteknikk kan også utføres på byggeplass, og er blitt brukt til å fremstille en meget sterk overflatebehandling på andre materialer, f.eks. lettbetong.

Blanding av mørtel og fiber i en konvensjonell blandemaskin har også vært brukt. På denne måten har det vært mulig å blande inn 3-4 vektprosent glassfiber. Det har vært drevet forsøk med spesialblandere og bruk av tilsetningsmidler som blandes med fiberen før den fylles i blandemaskinen.

Vanskeligheten ved litt større mengder av fiber er at fibre har en tendens til å rote seg sammen i fiberballer. Det er litt vanskelig å komprimere betong med fiber ved vanlige metoder. Man har

oppnådd bra resultater ved en slags injisering i en lukket form. Uten spesiell komprimering kan romvekten bli så lav som 1,75.

Betong fremstillet ved slike metoder har meget god motstandsevne mot slag og mot termosjokk. (Stor energiabsorpsjon.) De som har arbeidet med dette utviklingsarbeidet ute i verden, synes å ha stor tillit til at man etterhvert vil få frem mange interessante produkter.

Anvendelse av korte fibre med vilkårlig orientering utnytter selvsagt ikke glassfiberens styrke. Vil man oppnå dette, må man finne metoder for å anbringe fiberen (og kontinuerlige fibre) i hovedspenningsretning.

Varigheten av glassfiber-cementsystemer vet man selvsagt ennå ikke mye om. For glassfiberarmert mørtel vet man at varigheten er avhengig av lagringsforholdene, og er kortere ved lagring under vann enn i luft. Man synes imidlertid allerede nå å kunne forutsi temmelig lang varighet ved innendørs bruk. Hovedinntrykket som man sitter igjen med, er at de ute i verden som har arbeidet med dette utviklingsarbeid, mener at glassfiberarmert betong vil ha en stor fremtid foran seg, særlig i betongelementindustrien, og her åpnes muligheter for helt nye produkter, plater, profiler av forskjellige slag. Til dette kommer forsterkning av bestemte partier i vanlig betong med komplisert spenningsbilde.

Det vesentlige utviklingsarbeidet her har foregått som et samarbeid mellom det engelske glassfirmaet Pilkington (dets spesialfirma for alkaliresistent glassfiber, Fibreglass Limited) og Building Research Station i England.

#### Stålfiberarmert mørtel (betong)

Forskjellige stålfibre har vært brukt til slike produkter, 0,15 til 0,75 mm diameter og lengder fra 5-75 mm, samt forskjellige stålkaliteter. Tverrsnittene har vært runde, kvadratiske og rektangulære. Mesteparten av slik betong er blitt utført ved å blande stålfiberen sammen med de øvrige aggregater med en vanlig blandemaskin. Også her har man vanskeligheter med at fibre roter seg sammen i baller hvis det blir for mye fibre. Flate fibre ser ut til å være best. Man kommer vanskelig over 2 volumprosent armering.

Produktet fremstillet på denne måten har stor slagstyrke, og man får et seigt brudd. De er meget sterke mot termosjokk og har gode branntekniske egenskaper.

Det er grunn til å anta at varigheten er god (de kunnskaper vi har om armert betongs varighet). Ved den fremstillingsmåte som er angitt her, vil man få et antall fibre som når helt frem til overflaten. Disse vil selvsagt bli angrepet av rust, men dette synes ikke å ha noen innflytelse på styrken av produktet. De fibre som ligger i den ytre sonen, vil heller ikke ha varig rustbeskyttelse.

Ved å bruke en fremgangsmåte som angitt her, kan man selvsagt ikke få armeringsprosenten særlig høyt opp, og den tilfeldige orientering gir ikke full utnyttelse av stålfibrene. Det gjenstår ennå meget utviklingsarbeid. Her hjemme er vel stålfiberarmert betong mest kjent fra de forsøk som ved NTH har vært drevet med stålfiberarmerte betongbåter. I USA har stålfiberarmert betong en omfattende bruk til veidekker, og det arbeides intenst med utviklingsarbeid (5) (6).

For nærmere orientering om teknologien ved å fremstille slike produkter og deres egenskaper se (4).

Det problemet som man særlig har arbeidet med, er metodene for tilsetning av stålfiberen i blandemaskinen.

Fig. 1. Spenningsdeformasjonsdiagram for fiberarmert grunnmasse armert med fiber i en retning.

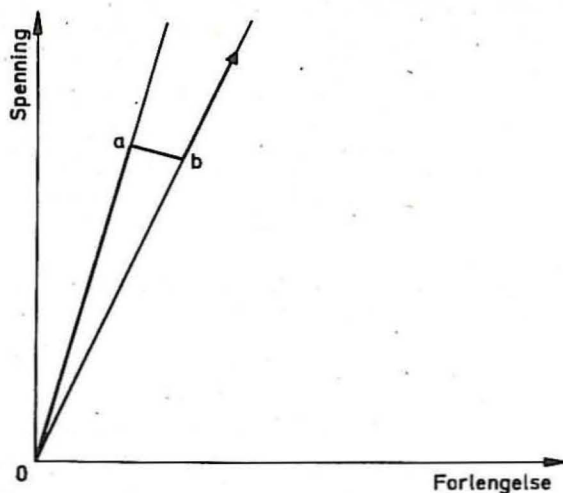


Fig. 2. Idealisert spenningsdeformasjonsdiagram som viser virkningen av dannelsen av riss etter riss. X representerer styrken av den kontinuerlige fiber.

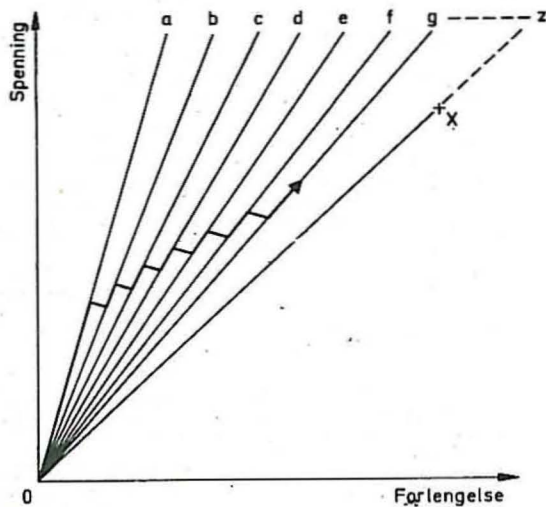


Fig. 3. Antyder hvorledes kurven på fig. 2 vil se ut i virkeligheten.

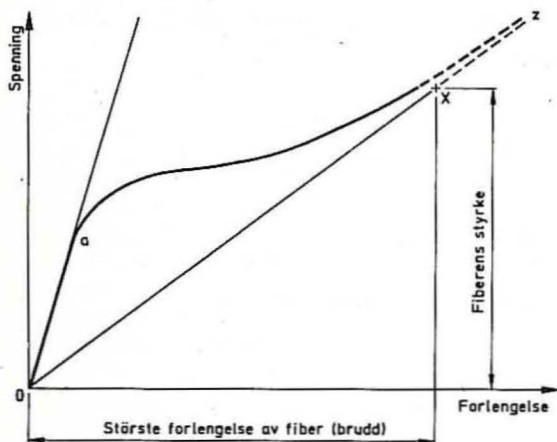
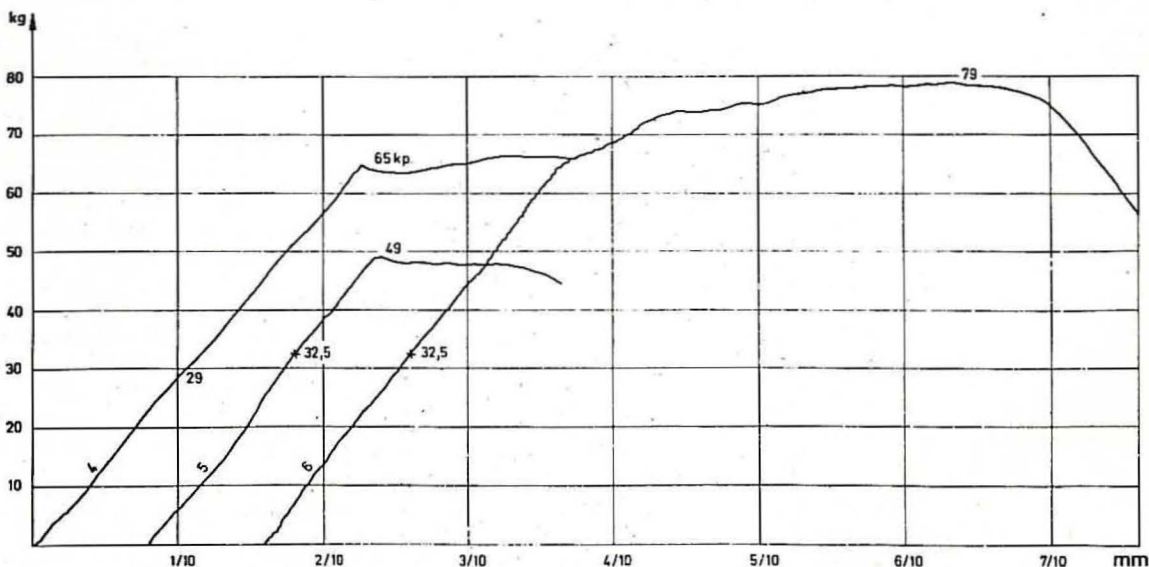


Fig. 4. Belastningsdeformasjonskurver for glassfiberarmert cementmørtel på grunnlag av forsøk utført ved NBI. Av 6,7 kg cement, 2,05 kg vann og 0,35 kg glassfiber (lengde 25 mm, diameter 0,025 mm) ble det støpt 6 prismer som ble bøyeprovet til brudd. Elastisitetmodul 299 000 kg/cm<sup>2</sup>, bøyestrekfasthet 145 kg/cm<sup>2</sup>, trykkfasthet 723 kg/cm<sup>2</sup> spaltstrekfasthet 88 kg/cm<sup>2</sup>. Romvekt 218 kg/l.



For å forstå virkningen av en composite er det enklest å se på 1D-alternativet. Det enkleste av denne typen materialer er det som er armert med en enkel fiber. Strekkdeformasjonsdiagrammet er vist på figur 1. Linjen o-a er strekkdeformasjonsdiagrammet for det usprukkede materialet. Hellingen representerer elastisitetsmodulen. Når spenningen når a, sprekker materialet, og det oppstår en deformasjon representert ved linjen a-b. Her er elastisitetsmodulen representert ved hellingen av linjen o-b. Ved punktet b har fiberen overtatt, og deformasjonskurven fortsetter rettlinjet inntil det oppstår en ny sprekk.

Figur 2 viser resultatet etter at det har oppstått 6 sprekker. Linjen o-z representerer elastisitetsmodulen for fiberen. Punktet x representerer fiberens styrke, hvis fiberen er en kontinuerlig streng. Ved dette punktet oppstår brudd i det kombinerte materialet.

Hvis fiberen ikke er kontinuerlig, kommer bruddet tidligere, som regel på den måten at enden av en fiber trekkes ut av grunnmassen. I virkeligheten får man selvsagt ikke en slik teoretisk kurve som vist på figur 2, men noe som ligner på figur 3.

NBI har gjort noen få forsøk med cement-glassfiber materiale. Resultatene gjengis på figur 4.

Kurvene på figur 5 representerer kurver for forskjellige materialer, slik som man kan finne dem i litteraturen (1).

Kurve 1 representerer et 2D glassfiber-cement-system med diskontinuerlige fibre.

Kurve 2 representerer et annet materiale av samme type.

Kurve 3 representerer et 1D glassfiber-cement-system med kontinuerlige fibre.

Kurve 4 er asbestcement med korte fibre (diskontinuerlige fibre).

Kurve 6 er et 2D glassfiber-polyestersystem med diskontinuerlige fibre (korte fibre).

#### Hva kan disse nye materialene brukes til

Materialer med 3D orientering av fibre har mangler som erstatning for vanlig armert betong. Dette skyldes både at det koster mer å plassere tynne fibre enn vanlig armering, at selve fiber materialet er kostbart og at den tilfeldige orientering av fibre betyr at bare en del av dem er effektive. Derimot kan en fiberforsterkning bety mye på bestemte partier, f.eks. der hvor man har slagpåkjenninger. En forsterkning av pelehoder med diskontinuerlige 3D fibre er et opplagt eksempel. Det samme er tilfelle i partier med et meget

## Glassfiberarmert gips

Building Research Station karakteriserer tilkomsten av dette materialet som en tilfeldig, lykkelig og uventet oppdagelse. Man skulle arbeide med glassfiberarmert mørtel. På det tidspunkt kunne man bare fremstille alkaliresistent glass i et laboratorium, en og en tråd om gangen. I påvente av tilgang til nok alkaliresistent glass begynte man forsøk med vanlig glassfiber i gips.

Glassfibre i gips gjør gipsen til et seigt materiale og mer enn tidobler slagstyrken. Glassfiberarmert gips har den dobbelte slagstyrke av glassfiberarmert cementmørtel. (Dårligere heftfasthet mellom gips og glassfiber betyr absorpsjon av energi ved at glassfibren trekkes ut.) Glassfiberarming gir gipsen sterk økt motstand mot brann. Selv etter at krystallvannet er drevet ut av gipsen, holder fibren gipsen sammen. Slagstyrken tiltar proporsjonalt med glassinnholdet, den er ikke avhengig av fibrenes orientering, men av deres lengde. Strekkstyrken tiltar i begynnelsen med innholdet av glassfiber, men når et maksimum ved ca 10 %. Dette kommer av at det da blir vanskelig å komprimere massen slik at romvekten synker. Fiberorienteringene er selvsagt av stor betydning. Lengden av fibrene øker strekkstyrken hvis fibrene ligger i ett plan.

Man har arbeidet med de samme to fremstillingsmetodene som for glassfiberarmert cementmørtel (sprøyting og innblanding i en bløndemaskin). Det har særlig vært arbeidet med å utvikle skillevegger for skoler, og her har man oppnådd meget gode resultater. Det er også utviklet golvsystemer, systemer for forskaling som blir sittende og danner overflater. Produksjonen av slike produkter er nå i gang.

## Litteratur

(1) Prospects for fibre reinforced construction materials. Proceedings of an International Building Exhibition Conference Olympia, London, 24th November 1971, London 1972.

(2) R.N. Swamy: The technology of steel fibre reinforced concrete for practical applications. The Institution of Civil Engineers Proceedings Volume 56, May 1974.

(3) AC1 Committee 544: State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete (Title No. 70-65) AC1 Journal November 1973 (meget omfattende litteraturfortegnelse).

(4) First International Symposium on Fibre Reinforced Concrete. (Sponsored by AC1 Committee 544.) Ottawa, 11. October 1973. Den fulle teksten vil bli publisert i 1974. Et sammendrag er gitt i R.N. Swamy: Fiber reinforced concrete is here to stay. Civil Engineering December 1973.

(5) B.H. Gray, G.R. Williamson, G.B. Batson: Fibrous Concrete Construction Material for the Seventies. Conference proceedings M-28, Department of the Army. Construction Engineering Research Laboratory, December 1972.

(6) E. Arimi og P.A. Atach: A survey of composite Materials. Sheet metal Industries, January 1974.

(7) D.F. Cornelius og J.F. Ryder: New fibreour composites as alternatives to timber Conference. The future usage of timber in U.K. 4. juni 1974 at Princes Risborough Laboratory.

(8) American Concrete Institute. Fiber reinforced concrete (An international symposium) Detroit, Mich. 1974. (Publication, SP, 44)