

3.6 Fibre

Betonhåndbogen

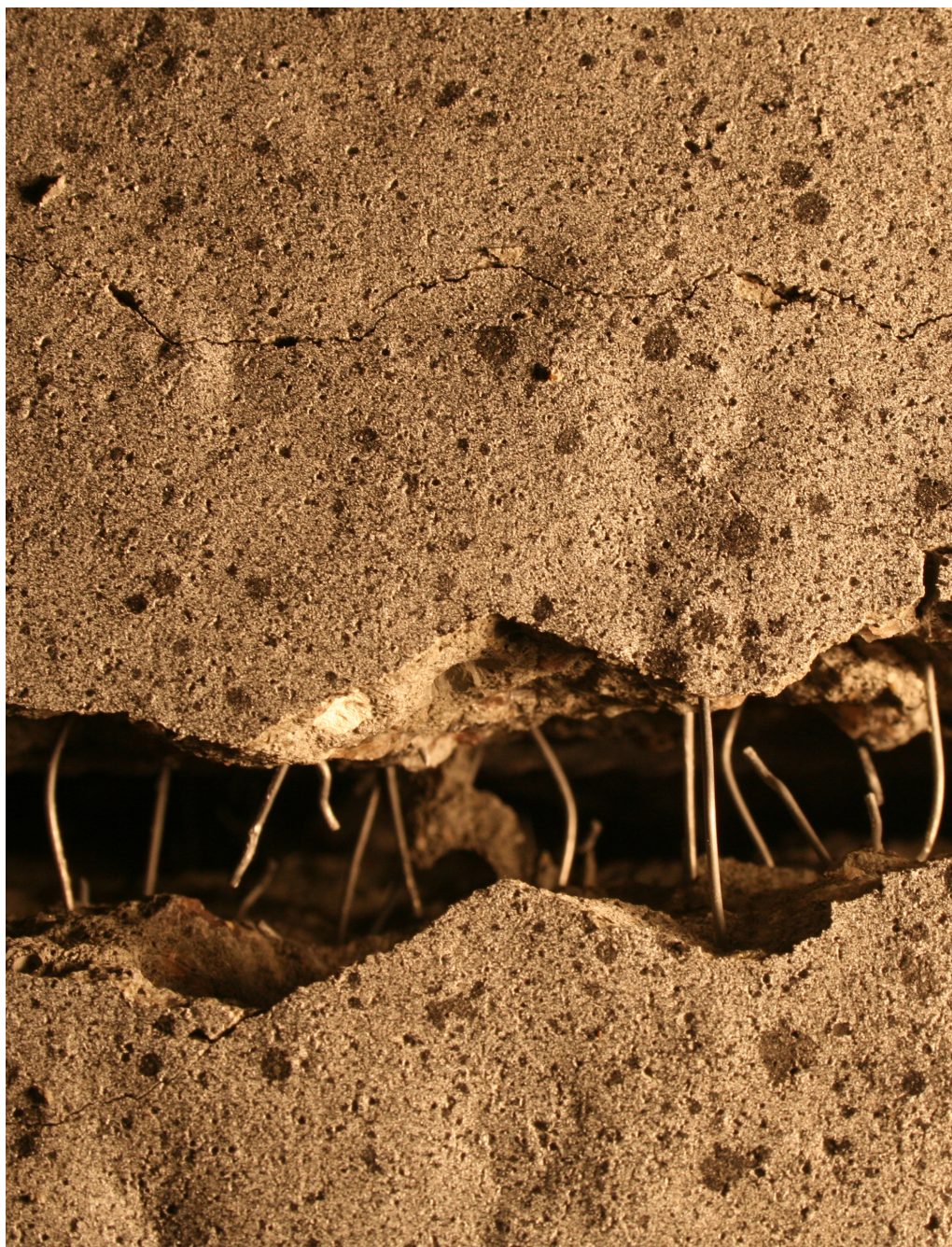
Kapitel 3: Delmaterialer

Udgivet af

Dansk Betonforening
17.02.2026
Version 1.0

Forfattere

Jørgen Schou



Indholdsfortegnelse

3.6.0	Indledning	3
3.6.1	Stålfibre	4
3.6.1.1	Fibrenes virkemåde	5
3.6.1.2	Dosering af stålfibre	6
3.6.2	Makro-plastfibre	8
3.6.2.1	Makro-plastfibre virkemåde	9
3.6.2.2	Dosering af makro-plastfibre	9
3.6.3	Mikro-plastfibre (polypropylenfibre)	10
3.6.3.1	Mikro-plastfibre virkemåde	10
3.6.3.2	Dosering af makro-plastfibre	10
3.6.4	Fibre til beton - normer og standarder	11
3.6.5	Litteratur	13

3.6.0 Indledning

Fibre tilsættes beton for at forbedre specifikke egenskaber for betonen eller for betonkonstruktionen. I Danmark er de hyppigst anvendte fibertyper hhv. stålfibre og polymerfibre. Sidstnævnte opdeles i to undergrupper, nemlig makro-syntetiske fibre (herefter benævnt makro-plastfibre) og mikro-syntetiske fibre (herefter benævnt mikro-plastfibre).

Figur 1
Nærbillede af stålfibre i
beton
Foto: NV Bekaert SA.



Stålfibre og makro-plastfibre hører begge under kategorien "konstruktive fibre" og består af stål hhv. polypropylen med en typisk længde på 30-60 mm og en diameter fra 0,5 mm til 1,1 mm. Polypropylenfibre benævnes også i daglig tale plastfibre eller PP-fibre.

Mikro-plastfibre er fine, 6-20 mm lange polypropylenfibre med en diameter på 15-20 µm. Mikro-plastfibre anvendes ikke konstruktivt.

Stålfibre og makro-plastfibre anvendes primært til substitution af traditionel svindarmering i fx beton-gulve, gyllebeholderbunde eller pælefunderede dæk. Kan også anvendes konstruktivt, fx til erstatning eller reduktion af forskydnings-armering i visse beton-konstruktioner. Inden for de sidste 15-20 år har anvendelsen af stålfibre og makro-plastfibre i beton til stribefundamenter vundet stor udbredelse, hvor den revnefordelende armering (eller såkaldte minimumsarmering) erstattes af eller konverteres til fiberbeton. Fibrene anvendes også fx som erstatning af netarmering i beskyttelsesbeton til fugtisolering af betonbroer, [1].

Der er eksempler på 100 % substitution af armeringsnet med stålfibre i dobbelt armerede terrændæk til tung industri, genbrugspladser eller skrotpladser.

Det skal bemærkes, at det – trods fibrenes lastoptagende egenskaber - ikke efter de gældende (2025) normer er tilladt at udnytte fibre i decideret bærende konstruktioner. Der arbejdes nationalt og internationalt på at ændre dette forhold. I den kommende Eurocode 2 (DS/EN 1992-1-1:2023), som forventes at blive en del af Bygningsreglementet i 2027, introduceres Annex L, som udelukkende omhandler design med stålfiberarmeret beton, med eller uden konventionel armering. Indtil denne standard er implementeret i DK, kan det derfor anbefales at få rådgivning af en certificeret statiker, hvis fibrene ønskes udnyttet konstruktivt.

Mikro-plastfibre iblandes betonen for at reducere risikoen for plastisk svind eller i brandeksponerede betonkonstruktioner for at modvirke en eksplosiv afskalning af en tæt betonoverflade.

Fibre af andre materialer har været anvendt – eller forsøgt anvendt – til beton (fx messingfibre), og der findes også glasfibre og basaltfibre til anvendelse i beton, men disse fibertyper vil ikke blive nærmere omtalt i dette kapitel, da deres udbredelse er beskeden.

3.6.1 Stålfibre

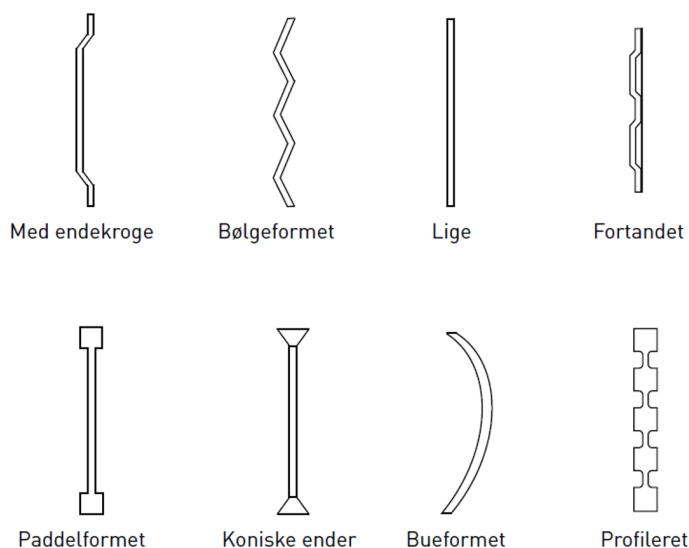
Stålfibre tilsat beton (kaldet stålfiberbeton som materiale) blev patenteret i USA i 1874, men det var først under 2. verdenskrig at stålfiberbeton blev anvendt i større skala, nemlig til forstærkning af betonbelægninger på flyvepladser.

Stålfibre til beton har været anvendt i Danmark siden 1970'erne og er i overvejende grad koldtrukket stål (wire) med et cirkulært tværsnit, med en trækstyrke på 1.000 – 2.300 MPa (højstyrkestål som forspændingsstål) og et E-modul på typisk 210 GPa. Der eksisterer også andre stålfibertyper, hvor basismaterialet ikke er koldtrukket stål, [2]. Stålfibre kan leveres i alm. "sort stål", i rustfrit eller galvaniseret stål. Der findes et utal af geometrier (se Figur 2), som hver især er udviklet med fokus på effektivitet, den praktiske tilsætning af stålfibre og fibrenes fordeling (homogenitet) i betonblandingen. Den mest udbredte stålfibertype i Danmark har et cirkulært tværsnit og er forsynet med en eller flere endekroge.

En given stålfibers effektivitet i beton afhænger af fiberens længde-/diameter-forhold, fibermængde (kg/m^3), fiberens vedhæftning til betonen (geometri) og stålqualiteten. Stålfibermængden (også kaldet fiberdoseringen) alene er ikke tilstrækkeligt til at karakterisere en stålfiberbeton.

Generelt er det sådan, at jo længere og tyndere fiberen er, desto mere effektiv er den pågældende stålfibertype. Denne effektivitet udtrykkes ved et længde-/diameter-forhold (l/d -forhold). Jo højere l/d -forhold jo højere effektivitet.

Figur 2
Et udsnit af kommercielle
stålfiber-typer, [3].



Tynde og lange stålfibre leveres typisk som "limede" stålfibre (se Figur 3) for at imødegå dannelse af klumper af fibre (kaldet "fiberbolde") under blandeprocessen, hvilket der er risiko for ved høj stålfiberdosering. Limede stålfibre fylder mindre end "løse" stålfibre (pga. pakningen) og er derfor nemmere og hurtigere at dosere. Under blandeprocessen opløses limen af blandevandet og fibrene fordeles jævnt i betonen.

Figur 3
Limede stålfibre
Foto: NV Bekaert SA.



Doseringsmængden beskrives typisk i kg/m^3 beton, men volumenprocent anvendes også. Stålfiberleverandørerne beregner, ved hjælp af egne beregningsprogrammer specielt udviklet til leverandørens fibertyper, den nødvendige fibermængde.

Geometrien – ud over l/d-forholdet – har også stor betydning. Der er gennem årene udviklet mange geometrier (se Figur 2), hvor fibrenes overflader og ikke mindst udformning af ”ender” med flere ”kroge” (se Figur 4) har øget vedhæftningen og forankringen af de enkelte stålfibre i betonmatricen. Det har - sammen med stålkvaliteten - betydning for stålfiberens virkemåde.

De mest anvendte geometrier er stålfibre med en eller flere endekroge.

Figur 4
Stålfibre med en eller flere endekroge.
Foto: NV Bekaert SA.



3.6.1.1 Fibrenes virkemåde

Fiberbeton er et kompositmateriale bestående af en matrice af cementpasta og tilslag (dvs. beton) og fibre. Matrixens funktion er at holde sammen på kompositmaterialet, give trykstyrke og stivhed og - for stålfiberbetons vedkommende - beskytte stålfibrene mod korrosion. Fibrenes funktion er – efter revnedannelse – at optage og fordele trækspændinger, virke hæmmende på revneudviklingen og derved sikre revnefordeling i matricen.

Beton er et sprødt materiale. Dette kan ses ved at betragte betons trækarbejdslinie, der stiger jævnt med belastningen, indtil den når sin maksimale værdi og derefter falder brat (et pludseligt brud), kun holdt sammen af ”stenlåsen”, se Figur 5. Dette fald skyldes dannelsen af en gennemgående revne, og at der ikke er noget, der forhindrer revnen i at vokse.

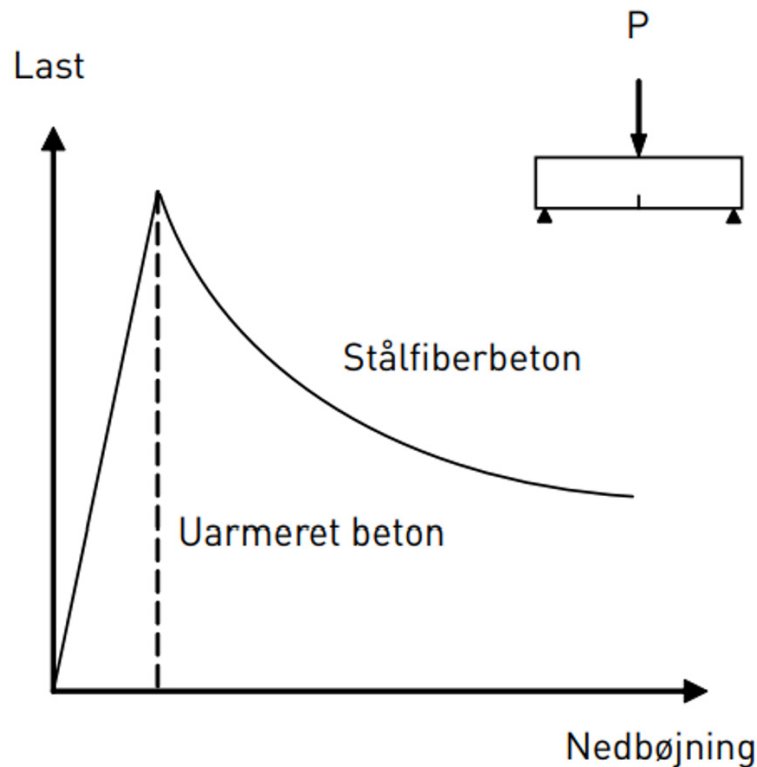
Fiberbeton er mere sejt end almindelig uarmeret beton efter revnedannelse. Dette skyldes, at når fiberbetonen revner under trækpåvirkning, modvirkes revnens åbning af

fibrene, der spænder hen over revnen. Denne reduktion af revneåbningen afhænger dels af fiberens geometri (l/d-forhold) og dels af friktionen/forankringen mellem fiber (fiberens udformning) og den omgivende betonmatrice.

Ofte anvendes begrebet residualstyrke om den resterende styrke i det revnede tværsnit. Residualstyrken giver materialet en sejhed.

Figur 5

Typiske arbejdslinjer for uarmeret beton og stålfiberbeton. Bemærk at figuren har nedbøjningen som variabel, fordi prøvningsmaskinen påfører en deformation, og måler den tilhørende last P. Hvis der bliver påført en død-last P på et fiberbeton-legeme, vil deformationen (nedbøjningen) vokse mod uendelig, som følge af, at legemet efter første revnedannelse kun kan optage en reduceret last, og derfor vil legemet bryde [3].



Ligesom det gælder for konventionel slap armering, virker fibrene først, når den første revne i betonen er dannet. Der er to forskellige virkemåder for fibre i beton:

1. Stålfibre med op til 3 endekroge: Stålfibrene trækkes langsomt ud af betonen, når revnen udvider sig (ingen flydning). Dette gælder for > 90 % af de mest udbredte stålfibertyper på markedet, hvor forankringen (primært via ende-udformning) er begrænset og stålqualiteten (wiren) på et normalt niveau, 1.000 – 1.500 MPa i trækstyrke.
2. Stålfibre med 4 endekroge: Stålfibrene er fuldt forankret i betonen og fibrene flyder ligesom slap armering. Dette gælder for stålfibertyper med høj trækstyrke (typisk > 2.000 MPa), høj duktilitet og optimal forankring (4 endekroge) i betonmatricen.
3. Makro-plastfibre er fuldt forankrede i betonmatricen og materialet bryder ultimativt, når trækspændingerne overstiger materialets trækstyrke. Når bruddet sker, er deformationen (fx revnevidden) betragtelig.

3.6.1.2 Dosering af stålfibre

Normalt doseringsniveau er 10-40 kg stålfibre per m³ beton. Høje doseringer påvirker betonens konsistens, hvorfor betonens vandbehov tilpasses doseringen, fx ved at blande betonen i en højere konsistens. Ved højere dosering (ud over maksimal anbefalet mængde) reduceres konsistensen mærkbart, og der vil være risiko for dannelse af "fiberbolde" under blandeprocessen, især ved opblanding i rotérbilens tromle. Desuden vil det ofte være nødvendigt at tilpasse den aktuelle betonrecept, så der bliver plads til stålfibrene, fx øge indholdet af det fine tilslag (sand) og tilsvarende reducere indholdet af det grove tilslag (sten).

Stålfibre kan doseres direkte i betonblander på betonfabrikken ved hjælp af integrerede doseringsanlæg med vejebånd (se Figur 6). Alternativt tilsættes stålfibre i rotérbilens tromle via transportbånd eller ved hjælp af specielt udviklet fiberblæser-udstyr (se Figur 7), hvorefter tromlen roteres indtil homogen fordeling af stålfibre i betonblandingen er opnået, typisk efter 5-8 minutters blandetid.

Figur 6

Dosering af stålfibre vha. doseringsanlæg.



Figur 7

Dosering af stålfibre i rotérbil vha. fiberblæser.



3.6.2 Makro-plastfibre

Makro-plastfibre til beton har været anvendt i Danmark siden 1990'erne. I begyndelsen blev kun de helt fine plastfibre (mikro-plastfibre) anvendt; først senere fik makro-plastfibrene tag i det danske marked og har lige siden været i en rivende udvikling, ikke mindst inden for landbrug og husbygning.

Makro-plastfibre til beton er 30-50 mm lange med en diameter på 0,7-1,0 mm. Tværsnittet kan være cirkulært eller ovalt og de fleste makro-plastfibre har en ru overflade og nogle ligeledes en bølget struktur for at øge forankringen i beton-matricen.

Sammenlignet med stålfibre, er trækstyrken for makro-plastfibre noget mindre; typisk angives en trækstyrke for makro-plastfibre til 400-600 MPa. For E-modulets vedkommende er forskellen endnu større sammenlignet med stålfibre, her er der tale om en faktor 40; typisk E-modul for makro-plastfibre er 5-6 GPa.

Antallet af fibre per kg makro-plastfibre er derimod højt sammenlignet med stålfibre, dels på grund af materialernes densitet, men også på grund af makro-plastfibreneres geometri/udformning. 1 kg makro-plastfibre indeholder typisk 60.000 – 70.000 fibre, hvorimod 1 kg stålfibre tilsvarende "kun" indeholder 3.000 – 5.000 fibre.

Figur 8

Foto af transparent, løs makro-plastfibre.



Figur 9

Foto af makro-plastfibre, bundtet/omviklet med vandopløselig PVA, der opløses i blandedvandet under blandeprocessen.



L/d-forholdet har – på lige fod med stålfibre – også stor betydning for makro-plastfibreneres egenskaber. Desuden har udviklingen af makro-plastfibre inden for de senere år forbedret fibreneres effektivitet, hvor fokus har været på den geometriske udformning for at øge den specifikke overflade og ikke mindst fibreneres overfladebeskaffenhed (ruhed), se Figur 8 og Figur 9. Begge tiltag giver højere forankring til følge og dermed højere effektivitet – alt andet lige.

Doseringsmængde (kg/m^3 beton) fastlægges typisk af plastfiberleverandørerne ved hjælp af egne beregningsprogrammer specielt udviklet til leverandørens fibertyper.

3.6.2.1 Makro-plastfibreneres virkemåde

Makro-plastfibre har samme funktion som stålfibre, nemlig - efter revnedannelse – at optage og fordele trækspændinger, virke hæmmende på revneudviklingen og derved sikre revnefordeling i matricen.

Makro-plastfibre har ”fuld” forankring i betonmatricen og bryder ved flydning af materialet. Makro-plastfibreneres effekt på residualstyrken kan falde ved højere temperaturer, idet materialet udvider sig. Pga. krybning af fibrene, vil der forekomme krybning ved længere tids spændingspåvirkning.

3.6.2.2 Dosering af makro-plastfibre

Normalt doseringsniveau er 2-6 kg makro-plastfibre per m^3 beton. Betonens vand-behov øges i takt med doseringsniveauet, hvilket der bør tages behørigt hensyn til, fx ved at blande betonen i en højere konsistens. Ved dosering ud over maksimal anbefalet mængde reduceres konsistensen mærkbart, og der vil være risiko for dannelse af ”fiberbolde” under blandeprocessen, især ved opblanding i rotérbilens tromle.

Makro-plastfibre leveres ofte i vandopløselige poser med afvejede mængder (2 eller 3 kg fibre per pose, løse eller bundtet), så det er enkelt at beregne antal poser pr. sats eller pr. læs. Poserne doseres direkte i beton-blander via transportbånd, gerne så sent som muligt i blandeprocessen. Alternativt doseres poserne ved betonblanderens udløbstud og ned i rotérbilens tromle sammen med udtømningen af betonen. I sidstnævnte tilfælde roteres tromlen indtil homogen fordeling af makro-plastfibreneres er opnået, typisk efter 5-8 minutters blandetid.

3.6.3 Mikro-plastfibre (polypropylenfibre)

Mikro-plastfibre består af ekstremt fine multifilament polypropylenfibre med en meget stor specifik overflade. Mikro-plastfibre leveres typisk med en længde på 6-20 mm (nogle med mixede længder) og en diameter på 15-20 μm . Fibrene er typisk coatede med overfladeaktive stoffer for at forbedre dispergeringen og forankringen i betonmatricen. Trækstyrke, E-modul og densitet er på samme niveau som makroplastfibre.

Doseringsmængde (kg/m^3 beton) fastlægges typisk af plastfiberleverandørerne ud fra egne erfaringer/forsøg afhængig af det pågældende anvendelsesområde.

3.6.3.1 Mikro-plastfibre virkemåde

Tilsætning af mikro-plastfibre i beton reducerer risikoen for dannelse af plastiske svindrevner og bleeding i betonens tidlige fase. Typisk anvendelse er i beton til gulve og belægninger, men der er også en del eksempler på brug af mikro-plastfibre i beton til kantbjælker på broer, hvor plastiske revnedannelser i overfladen erfaringsmæssigt hermed er blevet væsentlig mindre – alt andet lige.

Et andet hovedområde er at fungere som brandfibre i brandeksponerede betonkonstruktioner for at modvirke en eksplosiv afskalning af tætte betonkonstruktioner udsat for brand. Som et eksempel på denne anvendelse kan nævnes den københavnske Metro.

3.6.3.2 Dosering af makro-plastfibre

Normalt doseringsniveau er 300 - 900 g mikro-plastfibre/ m^3 beton, hvor ønsket er at reducere risikoen for plastiske svindrevner. Hvor mikro-plastfibre anvendes som brandfibre, er den typiske dosering noget over 1 kg pr. m^3 , men den præcise doseringsmængde skal fastlægges ved (relativt kostbare og omfattende) brandforsøg. Dosering ud over 1 kg per m^3 beton vil påvirke konsistensen mærkbart.

Mikro-plastfibre leveres i vandopløselige poser og doseres på samme måde som makro-plastfibre.

3.6.4 Fibre til beton - normer og standarder

Fibre til beton skal være CE-mærkede og skal opfylde:

- stålfibre i overensstemmelse med DS/EN 14889-1
- polymerfibre i overensstemmelse med DS/EN 14889-2

Fibrene skal leveres med en ydeevnedeklaration (DoP), der som minimum deklarerer følgende væsentlige egenskaber: Materialets trækstyrke og indvirkning på betonstyrke (jf. DS 206, afsnit 5.1.7). For mikro-plastfibrenes vedkommende (klasse 1a og 1b, monofilament hhv. fibrilleret) dog kun trækstyrke.

Fibrenes indvirkning på restbæreevnen for et revnet tværsnit - også benævnt residualstyrken - undersøges ved bøjningsforsøg til fastlæggelse af den nødvendige doseringsmængde, der dokumenterer, at kravene til de i standarderne nævnte bøjningstrækstyrker overholdes.

Bøjningsforsøgene udføres i henhold til DS/EN 14651 på fiberarmerede betonbjælker, se forsøgsopstilling (3-punkts opstilling) Figur 10.

Figur 10

Måling af bøjningstrækstyrke og restbæreevne efter brud iht. DS/EN 14651. Bjælketværsnit 150 x 150 mm (længde 550 mm), indbyrdes afstand mellem understøtninger 500 mm. Bemærk at der på underside betonbjælke er skåret en rille (bredde 5 mm, "højde" 25 mm) til at styre revneudvikling og måle revnevidde som funktion af belastning.
Foto: NV Bekaert SA.

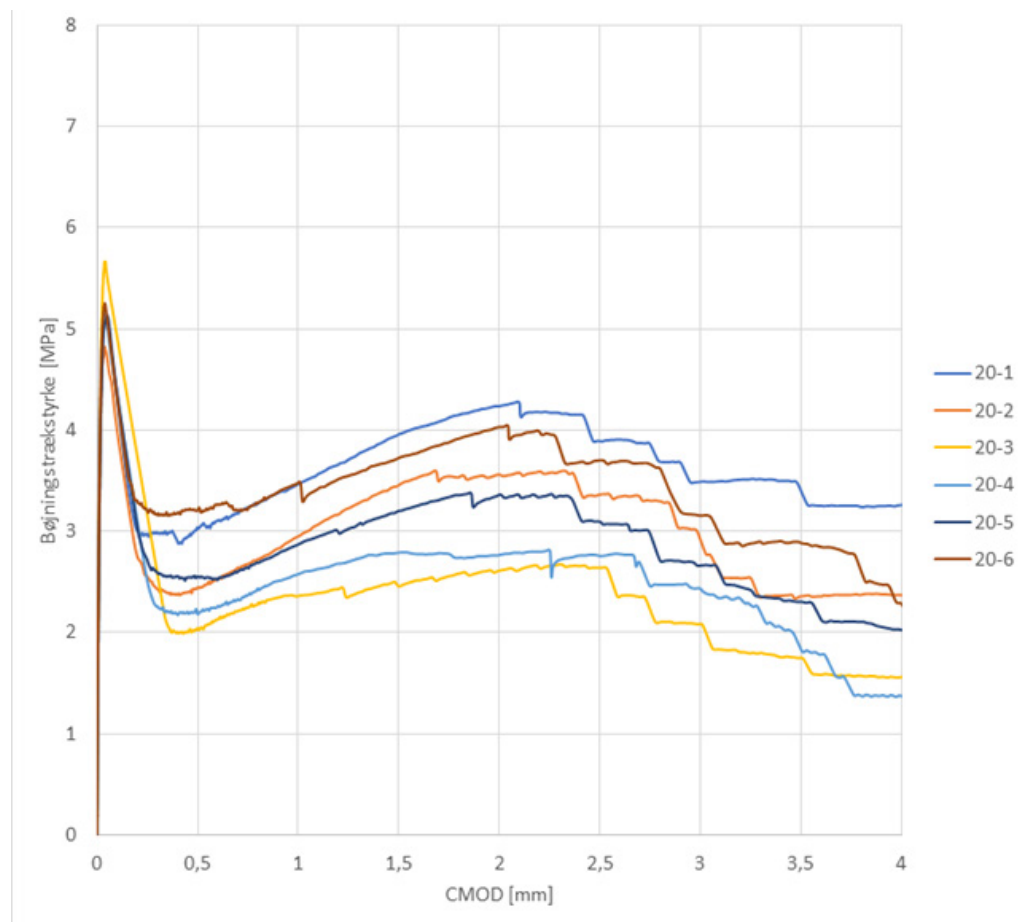


Bjælkerne belastes til brud, FL (første revne initieres ved den skårne rille på undersiden af bjælken), hvorefter belastningen "falder" (da opstillingen er deformationsstyret) og revnevidden (CMOD) øges, se Figur 10. Jo mindre fald jo mere sejhed – alt andet lige. CMOD er en forkortelse for Crack Mouth Opening Displacement", dvs. revneviddeåbning. Der skal opnås en CMOD på minimum 4 mm.

Typisk udføres minimum 6 bjælkeforsøg, hvor det gennemsnitlige resultat er dokumentationsgrundlaget. Et eksempel på måleresultater fra en forsøgsrække med 6 fiberarmerede betonbjælker fremgår af Figur 11.

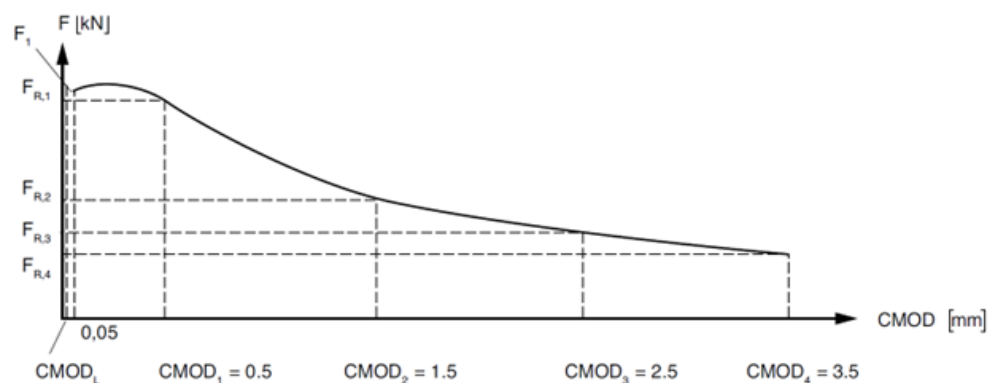
Figur 11

Eksempel på målte belastningskurver for 3-punkts bøjningsforsøg udført med 6 stk. fiberarmerede betonbjælker med en stålfiberdosering på 20 kg/m^3 beton. Revneviddeåbning (CMOD i mm) som funktion af belastningen omregnet til bøjningstrækstyrke (MPa). Data fra en forsøgsserie gennemført hos RQC, Aalborg Portland, Cementir Holding v/Lasse Frølich.



Figur 12

”Teoretisk” kurveforløb for et 3-punkts bøjningsforsøg af en fiberarmeret betonbjælke, der viser revneviddeåbning (CMOD) som funktion af belastning (F) udført iht. DS/EN 14651. Figur: NV Bekaert SA..



For en given fibertype fastlægger leverandøren, med udgangspunkt i bøjningsforsøg, den minimumsdoseringsmængde (kg fibre/m^3 beton), der skal til for at opfylde kravet til en min. bøjningstrækstyrke på $1,5 \text{ N/mm}^2$ ved $\text{CMOD} = 0,5 \text{ mm}$ og en min. bøjningstrækstyrke på $1,0 \text{ N/mm}^2$ ved $\text{CMOD} = 3,5 \text{ mm}$. Denne doseringsmængde angiver leverandøren som DoP-dokumentation for den pågældende fibers ”indvirkning på betonstyrke”. Den angivne dosering opfattes ofte som den minimale fiberdosering i en given beton.

3.6.5 Litteratur

1. Vejdirektoratets vejregler. ARBEJDSBESKRIVELSE FOR BETONBRO – BETON - AAB/SAB-P. Maj 2025.
2. DS/EN 14889-1. Fibre til beton – Del 1: Stålfibre – Definitioner, specifikationer og overensstemmelse.
3. Jacob Thrysøe, Henrik Slot og Freddie Larsen. GULVKONSTRUKTIONER AF STÅLFIBERARMERET BETON - tillæg til Beton-Teknik 6/17/1994:2006
4. DS/EN 14889-2. Fibre til beton – Del 2: Polymerfibre – Definitioner, specifikationer og overensstemmelse.
5. DS/EN 14651. Præfabrikerede betonelementer – Prøvningsmetode