

SINTEF Building and Infrastructure Terje Kanstad (NTNU) et al.

Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner

COIN Project report 29 – 2011



SINTEF Building and Infrastructure

Terje Kanstad (NTNU) et al.

Terje Kanstad (NTNU), Dan Arve Juvik (Rescon Mapei), Arne Vatnør (Unicon), Alf Egil Mathisen (Veidekke),
Sindre Sandbakk (SINTEF), Hedda Viken (SINTEF), Eirik Nikolaisen (UMB), Åse Døssland (Multiconsult),
Nils Leirud (Bekaert), Geir Ove Overrein (Spenncon)

Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner

FA 2 Competitive constructions

SP 2.2 High tensile strength all round concrete

COIN Project report 29 – 2011

COIN Project report no 29

Terje Kanstad (NTNU) et al.

Terje Kanstad (NTNU), Dan Arve Juvik (Rescon Mapei), Arne Vatnør (Unicon), Alf Egil Mathisen (Veidekke), Sindre Sandbakk (SINTEF), Hedda Viken (SINTEF), Eirik Nikolaisen (UMB), Åse Døssland (Multiconsult), Nils Leirud (Bekaert), Geir Ove Overrein (Spenncon)

Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner

FA 2 Competitive constructions

SP 2.2 High tensile strength all round concrete

Keywords:

Fiber, armering, prosjektering, konstruksjonselementer

(Fiber, reinforcement, design, concrete structures)

Project no.: 3D005920

ISSN 1891-1978 (online)

ISBN 978-82-536-1223-2 (pdf)

ISBN 978-82-536-1243-0 (printed)

29 copies printed by AIT AS e-dit

Content: 100 g Scandia

Cover: 240 g Trucard

© Copyright SINTEF Building and Infrastructure 2011

The material in this publication is covered by the provisions of the Norwegian Copyright Act.

Without any special agreement with SINTEF Building and Infrastructure, any copying and making available of the material is only allowed to the extent that this is permitted by law or allowed through an agreement with Kopinor, the Reproduction Rights Organisation for Norway.

Any use contrary to legislation or an agreement may lead to a liability for damages and confiscation, and may be punished by fines or imprisonment.

Address: Forskningsveien 3 B
POBox 124 Blindern
N-0314 OSLO

Tel: +47 22 96 55 55

Fax: +47 22 69 94 38 and 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

www.coinweb.no

Cooperation partners / Consortium Concrete Innovation Centre (COIN)

Aker Solutions

Contact: Jan-Diederik Advocaat

Email: jan-diederik.advocaat@akersolutions.com

Tel: +47 67595050

Saint Gobain Weber

Contact: Geir Norden

Email: geir.norden@saint-gobain.com

Tel: +47 22887700

Norcem AS

Contact: Terje Rønning

Email: terje.ronning@norcem.no

Tel: +47 35572000

NTNU

Contact: Terje Kanstad

Email: terje.kanstad@ntnu.no

Tel: +47 73594700

Rescon Mapei AS

Contact: Trond Hagerud

Email: trond.hagerud@resconmapei.no

Tel: +47 69972000

SINTEF Building and Infrastructure

Contact: Tor Arne Hammer

Email: tor.hammer@sintef.no

Tel: +47 73596856

Skanska Norge AS

Contact: Sverre Smeplass

Email: sverre.smeplass@skanska.no

Tel: +47 40013660

Spenncon AS

Contact: Ingrid Dahl Hovland

Email: ingrid.dahl.hovland@spenncon.no

Tel: +47 67573900

Norwegian Public Roads Administration

Contact: Kjersti K. Dunham

Email: kjersti.kvalheim.dunham@vegvesen.no

Tel: +47 22073940

Unicon AS

Contact: Stein Tosterud

Email: stto@unicon.no

Tel: +47 22309035

Veidekke Entreprenør ASA

Contact: Christine Hauck

Email: christine.hauck@veidekke.no

Tel: +47 21055000

Preface

This study has been carried out within COIN - Concrete Innovation Centre - one of presently 14 Centres for Research based Innovation (CRI), which is an initiative by the Research Council of Norway. The main objective for the CRIs is to enhance the capability of the business sector to innovate by focusing on long-term research based on forging close alliances between research-intensive enterprises and prominent research groups.

The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and structures. Attractiveness implies aesthetics, functionality, sustainability, energy efficiency, indoor climate, industrialized construction, improved work environment, and cost efficiency during the whole service life. The primary goal is to fulfil this vision by bringing the development a major leap forward by more fundamental understanding of the mechanisms in order to develop advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

The corporate partners are leading multinational companies in the cement and building industry and the aim of COIN is to increase their value creation and strengthen their research activities in Norway. Our over-all ambition is to establish COIN as the display window for concrete innovation in Europe.

About 25 researchers from SINTEF (host), the Norwegian University of Science and Technology - NTNU (research partner) and industry partners, 15 - 20 PhD-students, 5 - 10 MSc-students every year and a number of international guest researchers, work on presently eight projects in three focus areas:

- Environmentally friendly concrete
- Economically competitive construction
- Aesthetic and technical performance

COIN has presently a budget of NOK 200 mill over 8 years (from 2007), and is financed by the Research Council of Norway (approx. 40 %), industrial partners (approx 45 %) and by SINTEF Building and Infrastructure and NTNU (in all approx 15 %).

For more information, see www.coinweb.no

Innholdsfortegnelse

Preface	1
1 Bakgrunn	5
1.1 Formål	6
1.2 Bruksområde	6
1.3 Definisjoner	8
2 State-of-the-art for regelverk og praktisk bruk av fiberarmering i bærende konstruksjoner	9
2.1 Regelverk	9
2.2 Praktisk bruk av fiberarmering i bærende konstruksjoner	9
3 Materialdokumentasjon – fiber for innblanding i betong	12
3.1 Deklarering og CE-merking av fiber	12
3.1.1 Deklarering av lengde	12
3.1.2 Deklarering av ekvivalent diameter	12
3.1.2.1 Fibere med rektangulært tverrsnitt	13
3.1.2.2 Fiber med irregulært tverrsnitt	13
3.1.3 Slankhetstall (aspect ratio)	13
3.1.4 Overflatebehandling (Coating)	13
3.1.5 Bunting	13
3.2 Deklarering av fiberens effekt på betongens konsistens	13
3.3 Deklarering av fiberens effekt på betongens styrke	14
3.4 Deklarering av stålfiber	14
3.4.1 Generelt	14
3.4.2 Klassifisering	14
3.4.3 Form	15
3.4.4 Dimensjoner og toleranser	15
3.4.5 Strekkstyrke for fiber	16
3.4.6 Elastisitetsmodul	17
3.5 Deklarering av polymerfibre	17
3.5.1 Definisjon	17
3.5.2 Polymer type	17
3.5.3 Fiberform	18
3.5.4 Dimensjoner og toleranser	18
3.5.5 Lineær densitet	19
3.5.6 Strekkstyrke	19
3.5.6.1 Strekkstyrke for Klasse I fibre	19
3.5.6.2 Strekkstyrke for Klasse II fibre	19
3.5.7 Elastisitetsmodul	19
3.5.8 Smeltepunkt og fordampningspunkt	19
4 Mekaniske egenskaper, fasthetsklasser og prøvingsmetoder for fiberarmert betong	20
4.1 Generelt	20
4.1.1 Rest bøyestrekfasthet	20
4.1.2 Rest strekkfasthet	20
4.2 Fasthetsklasser	21
4.3 Bestemmelse ved prøving	22
4.3.1 Prøvemethoder	22

4.3.2	Bestemmelse av rest bøyestrekfasthet og rest strekkfasthet fra prøveresultat.....	24
4.3.3	Korreksjon av rest strekkfasthet basert på eksperimentelt bestemt fiberorienteringsfaktor	25
4.4	Teoretisk rest strekkfasthet.....	26
5	Produksjon og utførelse.....	27
5.1	Produksjon.....	27
5.1.1	Generelt.....	27
5.1.2	Proporsjonering.....	27
5.1.2.1	Effekt på betongens konsistens	27
5.1.2.1.1	Proporsjonering	27
5.1.2.1.2	Målemetoder for bestemmelse av fiberens effekt på betongens konsistens	28
5.1.3	Innblanding og fordeling av fiber	29
5.2	Utførelse	30
5.2.1	Generelt.....	30
5.2.2	Mottak.....	30
5.2.3	Transport på byggeplass, utlegging, pumping og komprimering	31
5.3	Kontroll og dokumentasjon av produksjon	31
5.4	Kontroll og dokumentasjon av utførelse	33
5.4.1	Generelt.....	33
5.4.2	Kontroll av fersk betong ved mottak	34
5.4.3	Kontroll av herdet betong støpt på byggeplass og i betongelementfabrikk	34
6	Dimensjonerings-, konstruksjons- og armeringsregler	36
6.1	Dimensjoneringsprinsipper.....	36
6.2	Bruddgrensetilstand	36
6.2.1	Materialfaktorer	36
6.2.2	Bøyemoment og aksialkrefter	36
6.2.3	Momentkapasitet for fiberarmert betong	37
6.2.4	Momentkapasitet for armert fiberbetong	37
6.2.5	Samtidig virkende aksialkraft og moment	38
6.2.6	Dimensjonering for skjærkraft	39
6.2.6.1	Grunnlag.....	39
6.2.6.2	Skjærkapasitet	39
6.2.6.3	Torsjonsmoment i bjelker.....	40
6.3	Brukgrensetilstand	41
6.3.1	Prinsipp for minimumsarmering	41
6.3.2	Beregning av av rissavstand og rissvidder.....	41
6.3.2.1	Beregning av risstilstand for stabilisert rissmønster	41
6.3.2.2	Rissvidder i armert fiberbetong på grunn av ytre laster	42
6.3.2.3	Rissvidder i armert fiberbetong på grunn av svinn	42
6.4	Forslag til konstruksjonsregler for ulike typer konstruksjoner.....	43
6.4.1	Generelt.....	43
6.4.2	Konstruksjonsdeler med krefter i planet.....	44
6.4.2.1	Gulv på grunnen	44
6.4.2.2	Bjelker	44
6.4.2.3	Plater.....	44
6.4.2.4	Flatdekker.....	45
6.4.3	Søyler	45
6.4.4	Vegger, skiver og skall	45
6.4.5	Fundamenter	46

6.4.6	Forankring av armering.....	46
6.4.7	Støpeskjøter.....	46
7	Referanser.....	47

1 Bakgrunn

Bakgrunnen for denne rapporten, som er et forslag til veiledning, er et økende behov for retningslinjer for prosjektering, utførelse og kontroll av konstruksjoner utført i betong armert med fiber. Flere internasjonale regelverk er nå tilgjengelige, men ingen dekker behovet helt og det er mest hensiktsmessig å ha et omforent nasjonalt dokument som henviser til gjeldende regelverk.

Retningslinjene referer hovedsakelig til NS-EN 1992-1-1 for prosjekteringsregler, NS-EN 206-1 for produksjon, og NS-EN 13670 for utførelse, alle standarder med nasjonalt tillegg. For prøving og bestemmelse av fasthets parametre er EN 14651: Prøvingsmetoder for betong med metalliske fibere, det viktigste grunnlaget.

Rapporten har tatt utgangspunkt i en tilsvarende rapport fra 2006: *Stålfiberarmering i betong. Veiledning for prosjektering, utførelse og kontroll, høringsutkast*. Den rapporten ble ikke videreført av Norsk Betongforening som egen publikasjon, hovedsakelig på grunn av usikkerhet og mangler knyttet til temaene utførelse og kontroll. Disse temaene er derfor betydelig mer omfattende behandlet i dette forslaget til veiledning.

Videre er rapporten basert på, eller i samsvar med, deler følgende retningslinjer og rapporter:

- DAfStb Recommendations for Steel Fibre Concrete. Amendment to DIN 1045, parts 1-4 (08/2008)
- The Concrete Society: Guidance for the design of steel-fibre-reinforced concrete, Technical Report No 63, Surrey, Great Britain, March 2007.
- The Concrete Society: Guidance on the use of macro-synthetic-fibre-reinforced concrete, Technical Report No 65, Surrey, Great Britain, April 2007.
- ACI Committee 544: Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 2001.
- New FIB Model Code, Task group 8.6: Fibre Reinforced Concrete, Working document (2010). Eller first complete draft av Model Code publisert i 2010.

Arbeidet med denne rapporten har ikke vært koordinnert med utarbeidelsen av ny Sprøytebetongpublikasjon i regi av Nors betongforening. Allikevel har det vært en del kommunikasjon vedrørende prøvingsmetoder, noe som blant annet har ført til deltakelse i to felles Round Robin prøveserier og etablering av relasjoner mellom rest strekkfasthet fra plate- og bjelkeforsøk.

Omfattende forskning og utvikling de siste åra har gitt ny innsikt i problemer og muligheter knyttet til bruk av fiber som armering i betongkonstruksjoner. Det er utviklet egnete materialtyper, det er utført laboratorie- og feltforsøk, og det er gjort teoretiske analyser og det er gjort praktiske erfaringer med utradisjonelle fiberarmerte konstruksjonselementer. For eksempel har fiberarmering i kombinasjon med selvkomprimerende betong i praksis vist seg å gi en bæreevne langt høyere enn tilsvarende konstruksjonselementer i vanlig vibrert betong.

Mye tyder nå på at teknologien har kommet opp på et nivå der fiberarmert betong kan brukes ut over de mer tradisjonelle områdene sprøytebetong og golv på grunnen. Praksis, forsøk og teori tyder på at fiberarmerte konstruksjoner med, og i enkelte tilfelle også uten, vanlig

stangarmering kan gi akseptabel sikkerhet av lastbærende konstruksjoner dersom fiberen er fordelt og orientert som forutsatt. Slik fordeling kan en bare oppnå med nøyaktig utførelse og kontroll. Blanding, transport og utlegging av betongen krever derfor utvidet kontroll etter NS-EN 13670, supplert med krav gitt i denne veiledningen. Spredningen i restfasthet bør være i samme størrelsesorden som for mekaniske egenskaper i vanlig armert betong. Videre må det sikres mot grove feil som f.eks. redusert fibermengde over støpesjikt-grensene, og slik at eventuelle hindringer under utstøping ikke skaper svakhetssoner med liten andel virksom fiber.

Et viktig forhold vedrørende fiberarmert betong er at moment- og/eller aksialkraftpåkjennte tverrsnitt armert med fiber alene har betydelig dårligere duktilitet enn tradisjonelt armerte tverrsnitt. Veiledningen forutsetter derfor at alle konstruksjonsdeler i pålitelighetsklasse 2 og høyere har stangarmering som kan overføre strekkreftene fra moment og aksialkrefter. For ytterligere detaljer se pkt 6.2.4. Også for konstruksjonsdeler i pålitelighetsklasse 1 må den prosjekterende vurdere faren for nedstyrting nøye før en løsning med redusert stangarmering velges.

1.1 Formål

Formålet med denne rapporten er å utvikle retningslinjer som kan sikre en faglig forsvarlig prosjektering, utførelse og kontroll av lastbærende konstruksjoner utført i betong armert med fiber. Slike betongkonstruksjoner er forutsatt utført i samsvar med gjeldende regler og forskrifter, og tilsatt godkjent fiber.

Teknologien er ennå ikke kommet til et nivå hvor fiberarmerte lastbærende betongkonstruksjoner er helt modne for standardisering. Men veiledningen supplerer gjeldende regelverk ved å definere prinsipper, dokumentasjonskrav, sikkerhetskrav og andre tilleggskrav for konstruksjoner som drar nytte av innstøpte fibre for å oppnå nødvendig styrke og funksjonelle egenskaper. En ønsker på denne måten å åpne for bruk av materialet i lastbærende konstruksjoner for å gjøre erfaringer som kan gi grunnlag for videre utvikling.

1.2 Bruksområde

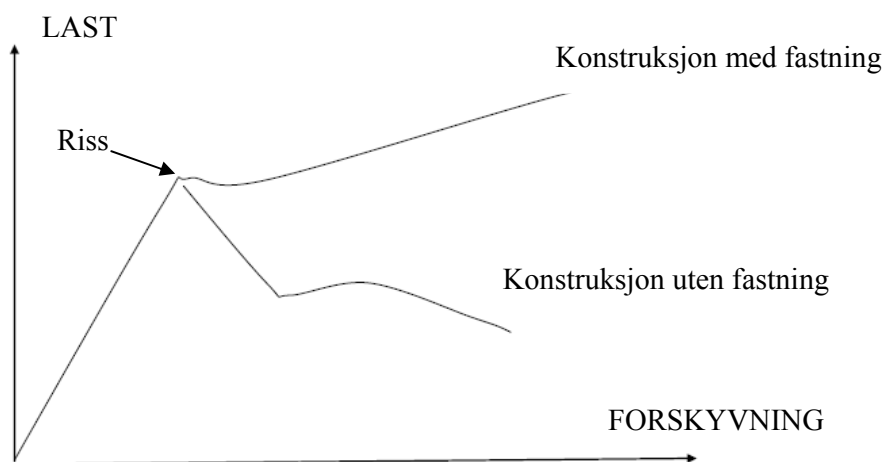
Typiske bruksområder for veiledningen er:

- fundamenter;
- vegger, skiver og skall;
- flatdekker, frittstående og på grunnen.
- effekt av konsentrerte laster på plater på mark
- rør og kulverter;
- bjelker og dekker

Veiledningen kan også brukes for golv på grunnen og sprøytebetong når disse konstruksjonene dimensjoneres for lastvirkninger. For slike konstruksjonstyper er det imidlertid gitt ut egne veiledninger for prosjektering og utførelse som bør følges i tillegg.

Veiledningen er en samlet helhet. De enkelte bestemmelsene gjelder ikke uten videre isolert.

Veiledningen gjelder videre for konstruksjoner med fastning på last-forskyvningsdiagrammet som vist på figur 1.1, dvs at lasten kan økes etter opprissing. Dette er automatisk oppfylt når kravene til minimumsarmering for de enkelte konstruksjonsdelene overholdes. Alternativt kan fastning oppnås for eksempel ved understøttelse som i plater på mark eller fundament, eller ved hjelp av innspenningsmoment i statisk ubestemte konstruksjoner.



Figur 1.1 Last-forskyvningsforløp for konstruksjoner

1.3 Definisjoner

Denne veiledningen gjelder for fiberarmerte betongkonstruksjonsdeler hvor fibrenes tilfredsstillende kravene gitt i kapittel 3.

I denne veiledningen gjelder følgende definisjoner:

- armert betong: betong armert med bare konvensjonell stangarmering;
- uarmert betong: betong uten konvensjonell armering;
- fiberarmert betong: betong armert med bare fiber;
- armert fiberbetong: betong armert med både konvensjonell stangarmering og fiber;
- strekkfasthet; enaksiell strekkfasthet ved rissdannelse;
- bøyestrekfasthet: strekkspenning ved 1.riss i bøyeprobe-lineær spenningsfordeling;
- rest strekkfasthet: strekkfasthet i fiberarmert betong etter opprissing;
- rest bøyestrekfasthet: bøyestrekfasthet i fiberarmert betong etter opprissing;
- selvkomprimerende betong: betong som kan flyte og konsolidere under sin egen vekt så utstøpinga blir kompakt og homogen uten videre komprimering. (NB29: Selvkomprimerende betong (SKB) skal fylle forskalingen og omslutte armeringen uten behov for vibrering eller annet komprimeringsarbeid, og uten at det oppstår separasjon i et omfang som har betydning for konstruksjonens funksjon eller levetid.)
- CMOD; Crack mouth opening displacement, dvs rissvidde ved overflaten

2 State-of-the-art for regelverk og praktisk bruk av fiberarmering i bærende konstruksjoner

2.1 Regelverk

Som nevnt foran er innholdet i denne rapporten i samsvar med deler av flere internasjonale regelverk, og sammenlignet med situasjonen i 2006 når det forrige forslaget til norsk regelverk ble gitt ut synest situasjonen for utførelse og dimensjonering av betongkonstruksjoner med fiberarmering å ha modnet betydelig. For eksempel er nå første complete draft av FIB's nye Model Code for Betongkonstruksjoner (2010) publisert (inkluderer fiberbetong), og et tysk regelverk for stålfiberbetong ble utgitt i 2008. Det er allikevel ikke hensiktsmessig å benytte disse direkte som regelverk for utførelse og kontroll i Norge. Model Code dekker i utgangspunktet bare dimensjoneringsgrunnlag og dimensjoneringsregler, dvs bare kapittel 4 og 6 i denne rapporten, mens det tyske regelverket bare gjelder tradisjonelt utstøpt stålfiberarmert betong innen et svært begrenset fasthetsområde. I Model Code behandles fiber generelt tilsvarende som i denne rapporten, og inneholder derfor enkelte presiseringer når det gjelder bruk av syntetiske fiber i betongkonstruksjoner.

I vårt naboland Sverige pågår det et arbeid parallelt vårt, mens det i Danmark visstnok er planer om et tilsvarende arbeid. Av andre land er det et relativt komplett regelverk i Italia og Belgia, uten at det av den grunn er særlig omfattende bruk av fiber i lastbærende konstruksjoner. For en mer omfattende diskusjon av regelverk for fiberbetong se for eksempel (Jansson et al 2008). En omfattende evaluering av aktuelle prøvingsmetoder vil i løpet av 2011 bli publisert i regi av NTNU og COIN, (Sandbakk 2011). For en kortversjon se for eksempel (Sandbakk og Kanstad 2011).

2.2 Praktisk bruk av fiberarmering i bærende konstruksjoner

Fortsatt er det slik at det aller meste av fiber i betong benyttes i golv, plater på mark og sprøytebetong til fjellsikring. Av det som kan klassifiseres som lastbærende konstruksjoner benyttes det i mange prosjekter stålfiberarmering i plater på mark støpt på pælegrupper. Videre er det i de baltiske landene Latvia og Litauen benyttet stålfiberarmering i etasjebygg (Privat kommunikasjon med Xavier Destree, Arcelor Mittal). Under gis litt bakgrunn før ulike anvendelser presenteres litt fyldigere.

Armeringsbehovet i betongkonstruksjoner skyldes betongens lave strekkfasthet, og i lastbærende konstruksjoner må armeringen overta strekkreftene når betongen risser. Imidlertid er betongens strekktøyning ved riss en størrelsesorden lavere enn armeringens flytetøyning (0,1 vs 2,5 %), noe som betyr at betydelig rissutvikling vanligvis finner sted før tilstrekkelig med krefter er overtatt av armeringa. Rissene som da oppstår kan føre til redusert levetid, og de kan også være uønsket med omsyn til vanntetthet og estetikk. Legg for eksempel merke til alle rissene i kantdragerne på overgangsbruene når du kjører bil på regnværsdager. I tillegg til styrkekrav må derfor betongkonstruksjoner også oppfylle krav til begrensnings av rissvidder, og generelt kan begrensnings av opprissing oppnås på tre måter: (1) Økt mengde tradisjonell armering, (2) Bruk av spennarmering, og (3) ved hjelp av fiberarmering. Her vil spesielt stålfiberarmering være svært effektivt, ettersom denne fibertypen begynner å ta over betongens strekkspenninger ved svært små rissvidder (før synlige riss opptrer).

Selv om fiber har vært brukt for rissbegrensning og til å øke bæreevnen i sprøe materialer som murverk og betong i lang tid, og omfattende forskning og materialutvikling har vært gjennomført, er det allikevel slik at regelverk og felles forståelse av hvordan fiber virker etter opprissing er en begrensning for praktisk bruk av materialet.

Hovedtypene av fiber som brukes i dag er stål-, glass, syntetisk og naturlige fibermaterialer, og de tilhørende fiberarmerte betongtypene kan benevnes:

- Stålfiberarmert betong(SFRC)
- Glassfiber armert betong (GFRC)
- Syntetisk fiberarmert betong (SNFRC)
- Naturlig fiberarmert betong (NFRC)

Generelt varierer lengden av fiber fra noen få mm til 80 mm, og fra noen få tidels microns til 2 mm i diameter (fra micro- to macrofibers).

Fiber har vært benyttet til å armere sprø materialer siden oldtiden (for eksempel strå eller hestehår i murverk), mens asbestfiber ble benyttet i bla sementpasta i nyere tid (fra 1898). Pga helseskader med asbest ble alternative fibertyper introdusert 1960- og 1970-årene. Stålfiber har nå blitt benyttet i over 100 år (den første patentsøknaden ble levert i 1874), selv om de største anvendelsene i veg og flyplasser ikke kom før i løpet av 2.verdenskrig.

I vår tid benytter en stor mengde materialer fiber til å forbedre materialegenskapene. Og de forbedrede materialegenskapene omfatter for eksempel strekkstyrke, rissforsterkning, risskontroll, bestandighet, utmattingsstyrke, bestandighet, støtmotstand, slitasjemotstand, robusthet mot svinn- og temperaturreiss, og til slutt brannmotstand. Betydelig forskning og utvikling har vært gjennomført de siste tiårene, og fiberarmerte materialer er behandlet i mange forskningsrapporter og lærebøker

Referert tilbake til de ulike typene fiberbetong presentert over er anvendelsene innen byggområdet hovedsakelig stålfiberarmert og syntetisk fiberarmert betong:

Stålfibearmert betong (SFRC)

Bruk av stålfiber i industrigolv (slabs on grade) har vært en stor suksess de siste tiårene. De første anvendelsene i England var tidlig i 1980 årene, og flere omfattende prosjekter er beskrevet i (Concrete Society 2007). Tilsvarende utvikling i Norge og Sverige kom ikke lenge etter. De største fordelene sammenlignet med tradisjonell armering er knyttet til spart arbeidstid, transport utover golvet, større fugefrie areal, mindre opprissing fordi tradisjonell armering virker som rissanviser dersom overdekningen blir for liten. Blant annet Norsk og svenske dimensjoneringsregler er tilgjengelige, og bruk av fiber i plater på mark er selvfølgelig uproblematisk av sikkerhetshensyn. Allikevel er det behov for forskning og utvikling for effekten av fastholdt svinn og temperaturbevegelser (crack assessment and crack control design).

Mange eksempler på bruk av SFRC i veger, flyplasser og utvendige plasser er også beskrevet i litteraturen. Sammenlignet med uarmert betong kan betydelige reduksjoner i tykkelsen oppnås for SFRC. SFRC-påstøp (bonded) on brudekker, veger og kaier har vist seg å fungere godt, og her er f eks effekten av fiber på rissfordeling beskrevet av (Carlsward 2006).

Plater på mark opplagt på pælegrupper uten tradisjonell armering har blitt utført i UK siden midten av 1990-årene. I følge Destree, Arcelor Mittal (Privat kommunikasjon) hadde i 2001 ca. 5.000.000 m² av denne konstruksjonstypen blitt bygget på verdensbasis. Flere eksempler er beskrevet i Concrete Society 2007. I følge Hedebratt og Silfwerbrand ble mer enn 300.000 m² med kombinert armering (tradisjonell + SF) bygd i Sverige mellom 2001 og 2005.

Av andre kjente anvendelser med stålfiber kan disse nevnes:

Frittstående dekker
Plasstøpte betongvegger
Samvirkedekker (Stålplater med betong-påstøp)
Prefabrikerte tunell elementer
Lagertanker og rør
Beskyttelsesanlegg
Prefabrikerte bjelker og veggelementer
Reparasjon av dammer og marine konstruksjoner
Forsvarsanlegg

Aktuelle anvendelser av syntetisk fiberarmert betong (SNFRC)

Industriegolv. De første anvendelse i Norge fra 2004?
Veger og utendørsarealer
Påstøp
Plasstøpte vegger
Samvirkedekker
Kystanlegg (Havner, kaier med mer)
Prefabrikerte bjelker, veggelementer, kantbjelker
Reparasjon
Forsvarsanlegg

3 Materialdokumentasjon – fiber for innblanding i betong

3.1 Deklarering og CE-merking av fiber

All fiber som blandes inn i betong, skal være testet og deklarerert i forhold til de egenskaper som påvirker fiberens egnethet som armeringsmateriale. Alle fiberprodukter skal være CE merket med angivelse av hvilke konstruksjonstyper fiberen kan benyttes i. Det skilles mellom konstruktiv (lastbærende) bruk av fiber, og fiber benyttet til andre formål. Eksempel på CE-merking er gitt i Figur 3.1.

Table ZA.2 - Systems of attestation of conformity

Product(s)	Intended use(s)	Level(s) or class(es)	Attestation of conformity system(s)
Steel fibres	for structural uses in concrete mortar or grout	See Table ZA.1	1
Steel fibres	for other uses in concrete mortar or grout	See Table ZA.1	3
System 1: See Directive 89/106/EEC (CPD) Annex III.2.(i), without audit testing of samples. System 3: See Directive 89/106/EEC (CPD) Annex III.2.(ii), Second possibility.			

Figur 3.1: Eksempel på CE-merking

Krav til materialdokumentasjon og deklarerering fra fiberprodusenten er gitt i følgende standarder:

- Stålfiber - EN 14889-1: Fibere for betong – Del 1: Stålfibere - Definisjoner, krav og samsvar
- Polymerfiber - EN 14889-2: Fibere for betong – Del 2: Polymerfibere - Definisjoner krav og samsvar

Fibre av andre materialer må deklarereres etter samme prinsipper som er gitt for stålfibre og polymerfibre.

3.1.1 Deklarering av lengde

Lengden måles og deklarereres som avstanden mellom fiberens endepunkter. Lengden bestemmes med utstyr med nøyaktighet på 0,1 mm. Om fiberen er bøyd skal fiberens totale lengde (l_d) også måles for å beregne ekvivalent diameter. Denne er gitt som lengden av fiberen etter at den er rettet ut, uten at tverrsnittet er endret.

3.1.2 Deklarering av ekvivalent diameter

Diameteren til fiberen måles med et mikrometer i to retninger, omtrent normalt på hverandre, med en nøyaktighet på 0,01 mm. Fiberens diameter er gjennomsnittet av disse målingene.

3.1.2.1 Fibere med rektangulært tverrsnitt

Bredden (w) og tykkelsen (t) måles med et mikrometer med en nøyaktighet på 0,01 mm.

Ekvivalent diameter (d) beregnes som

$$d = \sqrt{\frac{4wt}{\pi}}$$

3.1.2.2 Fiber med irregulært tverrsnitt

Massen (m) og utviklet lengde (l_d) bestemmes. Massen bestemmes med en nøyaktighet på 0,001 g. Ekvivalent diameter beregnes fra masse og utviklet lengde med følgende formel:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot 10^6}{\pi \cdot l_d \cdot \rho}}$$

Normal densitet ρ for bløtt stål kan beregnes som 7850 kg/m³

Normal densitet ρ for syrefast stål kan beregnes som 7950 kg/m³

3.1.3 Slankhetstall (aspect ratio)

Slankhetstallet bestemmes og deklarerer som fiberens lengde (l) dividert med ekvivalent diameter (d)

$$\lambda = l/d$$

3.1.4 Overflatebehandling (Coating)

All overflatebehandling (type og kvantitet), og all kjemisk eller fysisk behandling av fibre skal deklarerer og kontrolleres fra produsentens side. Fibrene kan for eksempel belegges med sink eller halvgalvaniseres. Karakteristisk mengde i g/m² angis av produsent.

3.1.5 Bunting

Dersom fibre er buntet, orientert under pakking eller limt skal dette spesifiseres. Det skal klart fremkomme om eventuell emballasje skal fjernes eller om den er selvoppløsende og skal følge med inn betongen.

3.2 Deklarering av fiberens effekt på betongens konsistens

Fiberprodusenten skal deklarerer fiberens innvirkning på betongens konsistens. Fiberens effekt på konsistensen til en referansebetong skal bestemmes i henhold til EN 14845-1. Mengden fiber som tilsettes skal deklarerer av produsenten og skal tilsvare mengde som trengs for å oppnå spesifisert bøyestekfasthet. Konsistensmåling i henhold til EN 12350-3 (VeBe-test)

skal utføres på referansebetongen uten fiber og en identisk betong med fiber. Fiberleverandøren kan også deklare referansebetongens konsistens ved en rekke ulike fiberdoseringer.

For stålfiber vil fiberens innvirkning på konsistens normalt ikke ha så stor betydning. Tilsetning av fiber vil redusere flyten i betongen noe, og dette må i noen tilfeller kompenseres med en noe endret proporsjonering av betongen. For betong med høyere doseringer av stålfiber (over 40 kg.) vil fiberens innvirkning på konsistens ha vesentlig betydning, og det vil være riktig å velge fibertype også utfra dette.

3.3 Deklarering av fiberens effekt på betongens styrke

Effekt på styrke skal bestemmes i henhold til NS-EN 14845-2 utført på en referansebetong i henhold til EN 14845-1. Det skal deklarerer hvilken mengde fiber i kg/m^3 som oppnår en restbøyestrekfasthet på 1,5 MPa ved 0,5 mm CMOD (ekvivalent til 0,47 mm sentral forskyvning) og en rest bøyestrekfasthet på 1 MPa ved 3,5 mm CMOD (ekvivalent til 3,02 mm sentral forskyvning).

3.4 Deklarering av stålfiber

3.4.1 Generelt

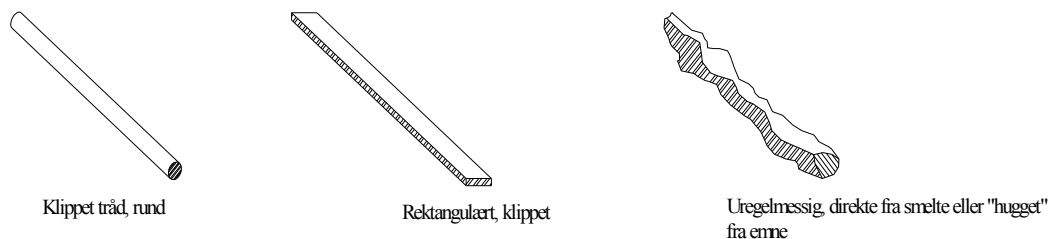
Stålfiber for fiberarmering av betongkonstruksjoner er rette eller formede strenger av stål som egner seg for homogen innblanding i betong. Spesifikasjoner, definisjoner og krav til stålfiber for betong er gitt i NS-EN 14889-1.

3.4.2 Klassifisering

Stålfibrene er klassifisert i følgende grupper:

I:	cold-drawn wire	kaldtrukket ståltråd
II:	cut sheet	Stanset fra stålplate
III:	melt ekstraktered	smelteslagg
IV:	shaved cold drawn wire	splittet kaldtrukket ståltråd
V:	milled from blocks	frest fra stålblockk

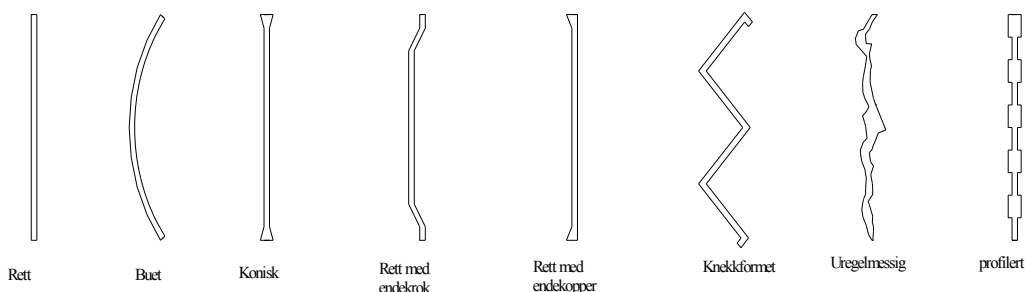
Den mest vanlige fiberen benyttet i betongkonstruksjoner er kaldtrukket ståltråd.



Figur 3.2: Produksjonsmetoden (fiberklassen) bestemmer fiberens form

3.4.3 Form

Stålfiberen kan være rett eller formet. Leverandøren skal deklare formen til fiberen. Toleransene for fiberformen skal være spesifisert.



Figur 3.3: Noen vanlige fiberformer

3.4.4 Dimensjoner og toleranser

For fibre i gruppe I og II (kaldtrukket ståltråd og kuttet fra plate) skal lengde (l), ekvivalent diameter (d) og slankhetstall ($\lambda=l/d$) være deklart fra produsenten. Toleransene skal være i henhold til Tabell 3.1 og 95% av fibre skal være innenfor de spesifiserte grenser. For fibre i gruppe III, IV og V skal 90% av målingene være innenfor grenser spesifisert i tabell Tabell 3.1.

Table 1 — Tolerances on fibre length and diameter

Property	Symbol	Deviation of the individual value relative to the declared value	Deviation of the average value relative to the declared value
Length and developed length	l, l_d (if applicable)	$\pm 10 \%$	
>30 mm			$\pm 5 \%$
≤ 30 mm			$\pm 1,5$ mm
(Equivalent) diameter	d	$\pm 10 \%$	
>0,30 mm			$\pm 5 \%$
$\leq 0,30$ mm			$\pm 0,015$ mm
Length/diameter ratio	λ	$\pm 15 \%$	$\pm 7,5 \%$

Tabell 3.1: Toleranser for fiber lengde og diameter

3.4.5 Strekkstyrke for fiber

Strekkstyrke (R_m) skal deklarerer av produsenten og bestemmes i henhold til EN 10002-1.

For gruppe I (kaldstruktet ståltråd) skal strekkstyrken bestemmes fra ståltråden før deformering. Den aksepterte toleransen fra den deklarererte R_m -verdien skal være 15% for enkeltmålinger og 7,5% for gjennomsnittet. Minimum 95% av målingene skal være innenfor spesifiserte toleranser.

For gruppe II (kuttet plate) skal strekkstyrken bestemmes fra platen før deformering. Den aksepterte toleransen fra den deklarererte R_m -verdien skal være 15% for enkeltmålinger og 7,5% for gjennomsnittet. Minimum 95% av målingene skal være innenfor spesifiserte toleranser.

For gruppe III (melt ekstrakt fibres), gruppe IV (shaved colddrawn wire) og gruppe V (milled from steel blocks) skal strekkfastheten bestemmes på fibre med minimum lengde på 20 mm. Disse fibrene har ett irregulært tverrsnitt og vil derfor ryke der dette er minst. Nominell strekkfasthet beregnes ved å dividere maksimum last i testen med tverrsnittet kalkulert fra

ekvivalent diameter. Produsenten kan også bestemme tverrsnittet ved bruddpunktet ved en optisk metode. I det tilfellet kan strekkfastheten deklarerer som maksimal last dividert med tverrsnitt i bruddpunktet. Presisjonen for tverrsnittmålingen skal også da oppgis.

3.4.6 Elastisitetsmodul

Produsenten skal deklarerer elastisitetsmodul for fiberen. For fibre fra gruppe I og II kan elastisitetsmodulen bestemmes ved strekkfasthetstest i henhold til EN 10002-1. Testen skal utføres på basismaterialet før deformering av fiberen og elastisitetsmodulen skal kalkuleres ved å bruke belastning og deformasjon ved 10% og 30% av R_m .

Den typiske elastisitetsmodulen for stålfiber er ca. 200 000 MPa. For syrefast stålfiber er den avhengig av materialsammensetningen men typisk verdi er ca 170 000 MPa.

3.5 Deklarering av polymerfibre

3.5.1 Definisjon

Polymerfibre er rette eller formede stykker polymermateriale som er egnet for homogen innblanding i betong. Definisjoner, spesifikasjoner og krav til polymerfibre for betong er gitt i NS-EN 14889-2. Polymerfibre klassifiseres etter fiberens lengde:

Klasse 1 ≤ 30 mm

Klasse 2 > 30 mm

Merk spesielt at Klasse 1 fibre ikke er dokumentert for konstruktiv bruk (lastbærende). For Klasse 2 fibre gjelder begrensningen at de bare må benyttes til bruk de er dokumentert for. Det er for eksempel stor usikkerhet knyttet til polymer fibrenes egenskaper under langtidslast. Dersom fibrene bæreevne forutsettes utnyttet over lengre tidsrom må disse egenskapene derfor dokumenteres spesielt. Videre må det ved konstruktiv utnyttelse av polymer fibre også tas hensyn til disse materialenes lave smeltetemperatur, se kapittel 3.5.8.

3.5.2 Polymer type

Polymerfibre skal deklarerer ut fra polymerens sammensetning. Polymermaterialet kan være:

Polyolefin	pva
Polypropylen	polyakrylsk
Polyetylen	aramider
Polyester	nylon
Blandinger av materialer gitt over	

3.5.3 Fiberform

Polymerfibre kan være rette eller formet. Produsentene står fritt til å velge fiberens form. Geometrien for fiberen skal deklarerer. Beskrivelsen skal også omfatte eventuell tekstur på overflate og formen på tverrsnittet. Kontroll kan utføres med optiske instrumenter.

3.5.4 Dimensjoner og toleranser

Lengde (l), ekvivalent diameter (d) og slankhetstall ($\lambda=l/d$) skal deklarerer for alle polymerfibertyper. Toleransene skal være i henhold til Tabell 3.2. For Klasse 1 fiber (lengde ≤ 30 mm) skal lineær densitet skal bestemmes i henhold til punkt 3.5.5.

Table 1 — Tolerance limits for the dimensions of the fibres

Property	Symbol	Deviation of the individual value relative to the declared value	Deviation of the average value relative to the declared value
Length and developed length (all fibres)	l, l_d		
>30 mm	(if applicable)	$\pm 10 \%$	$\pm 5 \%$
≤ 30 mm			$\pm 1,5$ mm
Class II fibres > 0,30 mm			
(equivalent) diameter	d_e	$\pm 50 \%$	$\pm 5 \%$
length/diameter ratio	λ	$\pm 50 \%$	$\pm 10 \%$
Class I fibres $\leq 0,30$ mm			
linear density	ρ_L	$\pm 10 \%$	$\pm 10 \%$

Tabell 3.2: Toleranser for fiberlengde og diameter

3.5.5 Lineær densitet

Er gitt som masse pr lengdeenhet beskrevet i tex

$$1 \text{ tex} = 1\text{g}/1000\text{m}$$

For klasse I fibre skal lineær densitet bestemmes i henhold til EN 13392, og deklarerer fra produsenten.

3.5.6 Strekkstyrke

3.5.6.1 Strekkstyrke for Klasse I fibre

Strekkstyrke (Tenacity) for klasse I fiber bestemmes ved gjennomsnittlig bruddstyrke for fibermaterialet.

Prøvene utføres i henhold til metode A eller metode B i EN ISO 2062.

3.5.6.2 Strekkstyrke for Klasse II fibre

Strekkstyrken, R_m , skal deklarerer. Den bestemmes i henhold til EN 10002-1 ved å dividere maksimal kraft fiberen kan motstå med gjennomsnittlig fibertverrsnitt. Merk at deformasjonshastigheten ikke skal overstige 10 mm/min, og skal deklarerer.

Test av strekkstyrke skal utføre på individuelle fibre som har en minimum lengde på 20 mm. 30 individuelle fibre skal testes og alle resultater for bruddstyrke skal inkluderes i kalkuleringen av gjennomsnitt og standardavvik. Den aksepterte toleransen fra den deklarererte verdien R_m skal være 15% for enkeltmålinger og 7,5% for gjennomsnittet.

3.5.7 Elastisitetsmodul

Elastisitetsmodul skal deklarerer og bestemmes i henhold til strekkfasthetstesten beskrevet i EN 10002-1. Elastisitetsmodulen skal beregnes ved å bruke belastning og deformasjon ved 10% og 30% av R_m .

Testen skal utføres på 30 individuelle fibre og alle resultatene skal inngå i kalkuleringen av gjennomsnitt og standardavvik. Akseptabel toleranse for deklarerert elastisitetsmodul er 15% for individuelle målinger og 10 % for gjennomsnitt.

3.5.8 Smeltepunkt og fordampningspunkt

Smeltepunkt, den temperatur da fibermaterialet blir flytende, og fordampningspunkt skal bestemmes i henhold til ISO 11357-3. Disse skal deklarerer. Begge er viktig i forhold til bruksområde for konstruksjoner. Smeltepunktet er en viktig angivelse da dette er sentralt for å endre betongens egenskaper under brann.

4 Mekaniske egenskaper, fasthetsklasser og prøvingsmetoder for fiberarmert betong

4.1 Generelt

Betongen, de enkelte delmaterialer og utførelsen av betongarbeidene skal være slik at kravene gitt i kap. 5 i denne veiledningen er oppfylt. Videre skal valg av fasthetsklasser og bestandighetsklasser være i overensstemmelse med Eurocode 2, og fiber kan prinsipielt kombineres med betong i alle fasthetsklasser.

Innenfor de praktiske grenser for fibermengder gitt av krav til betongens støpelighet og homogenitet ved vanlige støpemetoder kan det antas at betongens trykkfasthet, E-modul, tverrkontraksjonstall og varmeutvidelseskoeffisient er lite påvirket av stålfibertilsetningen. Ved høyere volum enn 1% stålfiber og 0,5% syntetisk fiber bør imidlertid trykkfasthet og E-modul bestemmes eksperimentelt for den fiberarmerte betongen.

Det er ventet at fibertilsetning vil gi en moderat økning av betongens strekkfasthet (fasthet ved rissdannelse). Økningen er noe mer markert for bøyestrekfasthet og spaltestrekfasthet enn for fasthet ved rent strekk.

Etter rissdannelse har fiberarmert betong en relativt stabil rest strekkfasthet ved økende rissvidde. Denne rest strekkfastheten kan være større eller mindre enn betongens strekkfasthet avhengig av fibermengde og fibrenes forankringskapasitet og strekkstyrke.

Mht bestemmelse av rest bøyestrekfasthet er kravene til dokumentasjon av fiberen gitt i pkt 3.3, mens kravene til dokumentasjon av fiberens egen strekkstyrke er gitt i pkt 3.4.5 for stålfiber og 3.5.6 for polymer fibre.

Fiberleverandørene kan valgfritt deklare tabeller over rest bøyestrekfasthet ut fra ulike doseringer og betongkvaliteter, men selv om de aller fleste leverandører vil ha denne type dokumentasjon tilgjengelig, er ikke dette tilstrekkelig for konstruktiv bruk iht denne veiledningen. Fiberleverandørenes anbefalinger kan imidlertid allikevel være et nyttig hjelpemiddel ved proporsjoneringen.

4.1.1 Rest bøyestrekfasthet

Den fiberarmerte betongens rest bøyestrekfasthet bestemmes fra bøyemomentet i standardiserte prøvebjelker ved aktuell rissvidde under antakelse av lineær spenningsfordeling over tverrsnittshøyden (motstandsmoment for tverrsnitt av lineært elastisk materiale). Dette samsvarer ikke med virkelig spenningsfordeling etter opprissing og derfor benyttes denne material parameteren ikke direkte i disse dimensjoneringsreglene.

4.1.2 Rest strekkfasthet

Den fiberarmerte betongens karakteristiske rest strekkfasthet $f_{fk, res 2,5}$ defineres som resulterende strekkraftresultant per arealenhet av et gjennomgående riss i betongen. I forbindelse med klassifisering av betong i rest strekkfasthetsklasser refererer rest strekkfastheten til en rissvidde på 2,5mm ($f_{fk, res 2,5}$). Denne rest strekkfastheten defineres som 0,37 ganger karakteristisk rest bøyestrekfasthet bestemt ved bøyeprøving av standard bjelker ved samme rissvidde ($f_{Rk,3}$).

$$f_{fk, res 2,5} = 0,37 f_{Rk,3}$$

4.2 Fasthetsklasser

Fiberbetong klassifiseres ved karakteristisk trykkfasthet på samme måten som for betong uten fiber med forenklet antagelse av samme forhold mellom trykkfasthet og strekkfasthet. Karakteristiske fastheter for vanlige fasthetsklasser for fiberarmert betong i overensstemmelse med Eurocode 2 er gitt i tabell 4.1. Fiberbetong klassifiseres i tillegg i henhold til betongens karakteristiske rest strekkfasthet for 2,5mm rissvidde som gitt ved eksempler i Tabell 4.2.

Tabell 4.1: Fasthetsklasser og karakteristiske fastheter for normalbetong og fiberarmert betong

	Fasthetsklasser							
	B20	B25	B30	B35	B40	B50	B60	B70
Sylinder trykkfasthet	20	25	30	35	45	50	60	70
Terning trykkfasthet	25	30	37	45	55	67	68	78
Strekkfasthet (aksial strekk) $f_{ctk,0,05}$	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,9	3,1	3,2

Tabell 4.2: Eksempler på rest strekkfasthetsklasser med karakteristiske rest strekkfastheter og rest bøyestrekfastheter for fiberarmert betong

Restfasthets Klasse	R0,5	R0,75	R1,0	R1,5	R2,0	R2,5	R3,0	R3,5
$f_{ftk,res 2,5}$	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
$f_{R,3 (2,5 mm)}$	1,3	2,0	2,7	4,0	5,4	6,7	8,1	10,8

Forklaring: **B30-R1,5** betyr: Fiberarmert betong med karakteristisk sylinder trykkfasthet 30 N/mm^2 og $1,5 \text{ N/mm}^2$ karakteristisk rest strekkfasthet ved 2,5mm rissvidde. Rest bøyestrekfastheten ved samme rissvidde er $4,0 \text{ N/mm}^2$. Betegnelse refererer til prøvingsmetodene beskrevet i kapittel 4.3. Det gjøres oppmerksom på at tallverdiene i tabellen over skal bestemmes ved prøving etter rutiner som beskrevet senere i dette kapitlet og i kapittel 5.

4.3 Bestemmelse ved prøving

4.3.1 Prøvemethoder

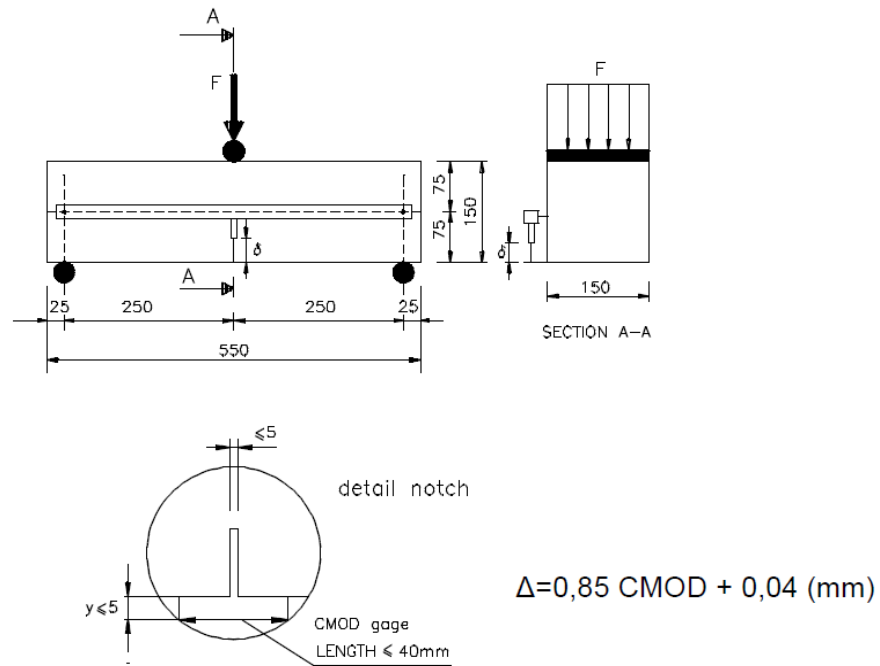
Bestemmelsen av rest strekkfasthetsklasse i kap 4.2 er referert til NS-EN 14651: Prøvmethoder for betong med metalliske fibre – Måling av bøyestrekfasthet (proporsjonalitetsgrense og restfastheter), se Figur 4.1. I denne veiledningen forutsettes det at den aktuelle prøvmethoden også benyttes for syntetiske fibre.

Dersom andre metoder benyttes må det etableres en relasjon mellom den aktuelle metoden og NS-EN 14651 dersom den ikke allerede finnes. Se (Sandbakk 2011) Følgende alternative prøvmethoder er de mest aktuelle:

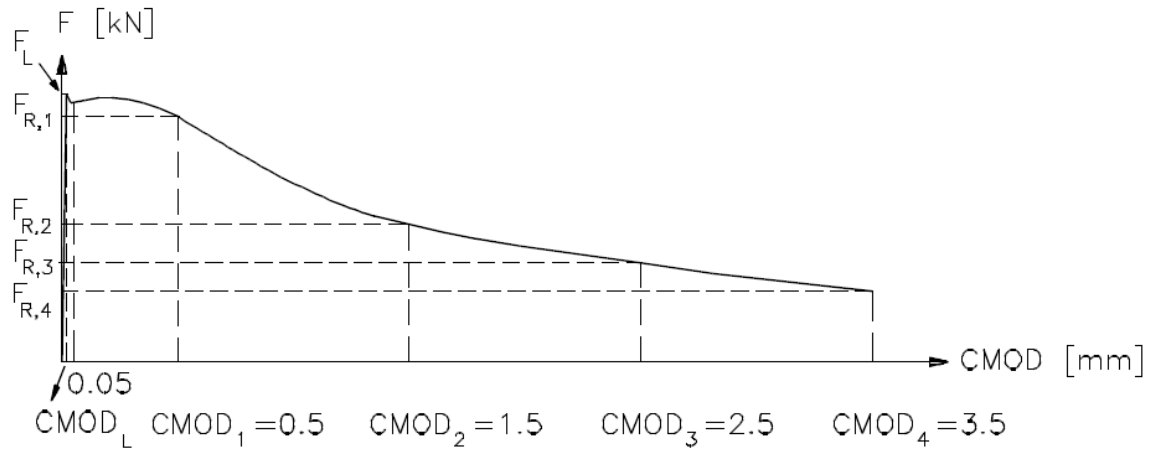
- Metode basert på sagete bjelker beskrevet i *Stålfiberarmering i betong. Veiledning for prosjektering, utførelse og kontroll, høringsutkast* (Norsk stålfiberveiledning fra 2006). Se figur 4.2.
- Tysk bjelketest (EN 14845 Prøvmethoder for fibre i betong).
- NS-EN 14845- del 1 og 2 for deklarerer av fiberens effekt på betongens rest strekkfasthet. Se evt kapittel 3.3.
- Bjelketest i sprøytebetongstandard (NS-EN 14488-3)
- Platetest i NB publikasjon nr 7 (2010)
- Platetest utviklet av Bekaert (b/h/L=600/150/600)

I tillegg er det i etterfølgende kapittel 4.4.3 beskrevet en metode hvor rest strekkfastheten kan korrigeres basert på eksperimentelt bestemt fiberorienteringsfaktor. Dette er en metode under utvikling som vil bli mer detaljert beskrevet ved en senere anledning.

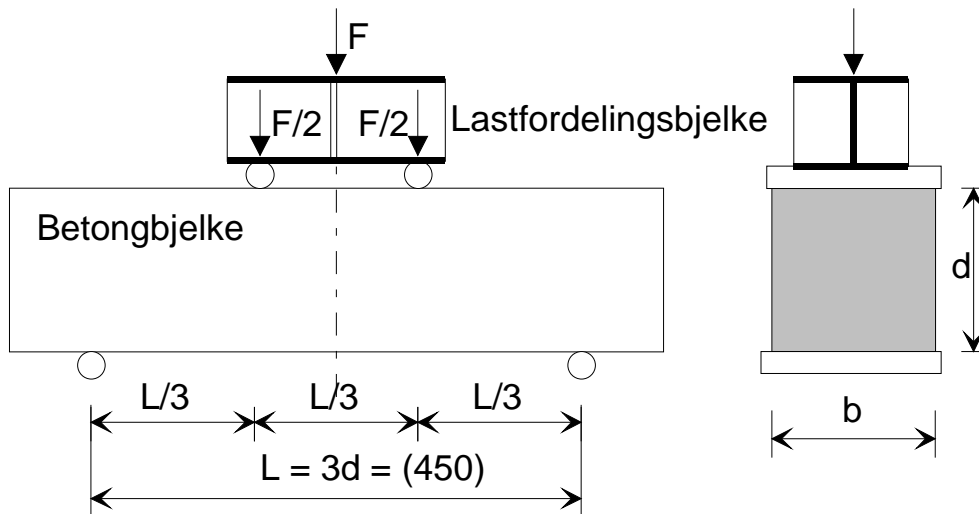
a)



b)



Figur 4.1. Bjelketest i henhold til NS-EN 14651, (a) Forsøksoppsett. (b) Prinsipp for bestemmelse av proporsjonalitetsgrensen (1. riss) og last ved spesifiserte rissvidder (CMOD₁-CMOD₄ = crack opening displacements).



Figur 4.2: Metode basert på sagete bjelker beskrevet i Norsk stålfiberveiledning fra 2006.

4.3.2 Bestemmelse av rest bøyestrekfasthet og rest strekkfasthet fra prøveresultat

Utgangspunktet er at last ved proporsjonalitetsgrensen og de 4 forhåndsdefinerte rissviddene ($F_{R,1}$ - $F_{R,4}$ vs $CMOD_1$ - $CMOD_4$) illustrert i figur 4.1b er bestemt. Rest bøyestrekfastheten ($f_{R,i}$) kan da bestemmes fra målt last eller moment ved foreskrevet nedbøyning for standard bjelkeprøver som:

$$f_{R,i} = 6M_{Ri}/bh^2, \text{ hvor } M_{Ri} = F_{Ri} \cdot L/4$$

Hvor det er benyttet lineær spenningsfordeling over tverrsnittshøyden, eller motstandsmoment for uopprisset tverrsnitt. Karakteristiske verdier (0,05-kvantilen) bestemmes deretter som:

$$f_{Rk,i} = f_{R,i} - k s$$

Hvor s er standardavviket fra prøveserien, og $k=1,7$ når prøveopplegget beskrevet i avsnitt 5.3 følges.

Videre kan den karakteristiske rest strekkfastheten bestemmes som:

$$f_{fk,res,2,5} = 0,37 f_{Rk,3}$$

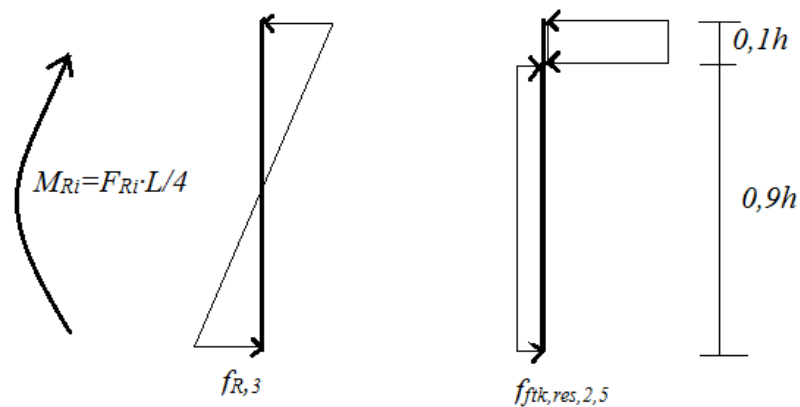
Denne relasjonen er basert på at samme last antas opptatt av to ulike spenningsfordelinger som vist i figur 4.3, lineær elastisk for bestemmelse av $f_{Rk,3}$ og ideelt plastisk for bestemmelse av $f_{fk,res,2,5}$.

Følgende fasthetsparametre vil være kjent fra prøvingen:

$$f_{ctk,L} = \text{Karakteristisk bøyestrekfasthet: strekkspenning ved 1.riss (proporsjonalitetsgrensen) eller ved rissvidde= 0,05 mm ved "strain hardening" oppførsel}$$

- $f_{Rk,1}$ = Karakteristisk rest bøyestrekfasthet ved 0,5 mm rissvidde
- $f_{Rk,2}$ = Karakteristisk rest bøyestrekfasthet ved 1,5 mm rissvidde
- $f_{Rk,3}$ = Karakteristisk rest bøyestrekfasthet ved 2,5 mm rissvidde
- $f_{Rk,4}$ = Karakteristisk rest bøyestrekfasthet ved 3,5 mm rissvidde

$f_{ftk,res,2,5}$ = Rest strekkfasthet ved 2,5 mm rissvidde



Figur 4.3. Illustrasjon av relasjonen mellom karakteristisk rest bøyestrekfasthet og karakteristisk rest strekkfasthet, $f_{ftk,res,2,5} = 0,37 f_{Rk,3}$

4.3.3 Korreksjon av rest strekkfasthet basert på eksperimentelt bestemt fiberorienteringsfaktor

Dersom fiberorienteringsfaktoren og den lokale fibermengden i bjelkeprøven ikke kan regnes å være representativ for de aktuelle utstøpningsforhold i konstruksjonen, bør rest strekkfastheten normaliseres til en generelt gyldig verdi som følger:

$$f_{ftk,res,2,5,norm} = f_{ftk,res,2,5} v_{f,nom} / (v_f(4\alpha - 1))$$

hvor:

v_f = målt volumforhold fiber

$v_{f,nom}$ = nominelt fiberinnhold i henhold til blanderesept

α = fiberorienteringsfaktor beregnet med målt fiberantall og volumforhold, $\alpha=0,5$ tilsvarer isotrop fiberfordeling.

$f_{ftk,res,2,5}$ = Karakterisk rest strekkfasthet bestemt ved prøving

$f_{fik, res, 2, 5, norm}$ = Normalisert karakterisk rest strekkfasthet

Tilsvarende kan rest strekkfastheten som skal benyttes for konstruksjonen korrigeres ut fra den normaliserte verdien dersom annen orienteringsfaktor enn den som tilsvarer isotrop fiberfordeling er dokumentert:

$$f_{fik, res, 2, 5, struct} = f_{fik, res, 2, 5, norm} (4\alpha_{struct} - 1) v_{f, struct} / v_{f, norm}$$

hvor:

$v_{f, struct}$ = volumforhold fiber i aktuell konstruksjonsdel
 α_{struct} = fiberorienteringsfaktor dokumentert for konstruksjonen
 $f_{fik, res, 2, 5, struct}$ = Karakterisk rest strekkfasthet for konstruksjonen

4.4 Teoretisk rest strekkfasthet

Rest strekkfastheten for betong med gitt volumforhold fiber kan bestemmes teoretisk kombinert med prøving i aktuell betong og bestemmelse av orienteringsfaktor for aktuelle utstøpingsforhold som nærmere omtalt senere i kapittel 5:

$$f_{fik, res, 2, 5} = \eta_0 v_f \sigma_{fk, mid}$$

hvor v_f Volumandel fiber
 $\sigma_{fk, mid}$ Middelspenningen i alle fibrer som krysser risset med tilfeldig fordelte forankringslengder og retninger. Denne parameteren er sterkt avhengig av både fibertype og betongkvalitet, og må være bestemt fra relevante forsøk.
 η_0 Kapasitetsfaktoren, dvs forholdet mellom normalkraftresultanten av fibrer med aktuell retningsfordeling, og resultantkraften i ensrettede fibrer med samme spenning.

Kapasitetsfaktoren η_0 kan antas lik 1/3 for fibrer med tilfeldig romlig retningsfordeling. Dersom fiberorienteringen er dokumentert ved forsøk kan følgende relasjoner mellom kapasitetsfaktoren og fiberorienteringsfaktoren benyttes:

$$\begin{aligned} \eta_0 &= 4/3 \alpha - 1/3 && \text{for } 0,5 < \alpha < 0,8 \\ \eta_0 &= 2/3 \alpha && \text{for } 0,3 < \alpha < 0,5 \end{aligned}$$

Hvor fiberorienteringsfaktoren beregnes fra fiberarealforholdet som følger:

$$\alpha = \rho / v_f \text{ hvor } \rho = n A_f / A_c$$

Og hvor n er antall fibrer, A_f er tverrsnittsarealet av en fiber og A_c er arealet av aktuell tverrsnittsdell.

5 Produksjon og utførelse

5.1 Produksjon

5.1.1 Generelt

Betongproduksjonen skal tilfredsstillere kravene i NS-EN 206-1 – ”Betong. Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar” med nasjonalt tillegg og tilleggskrav gitt i denne veiledning.

Ved produksjon av fiberbetong som dekkes av denne veiledning, og som brukes i lastbærende konstruksjonsdeler skal kravene til kontrollklasse Utvidet kontroll iht NS-EN 1990/NA tilfredsstilles.

5.1.2 Proporsjonering

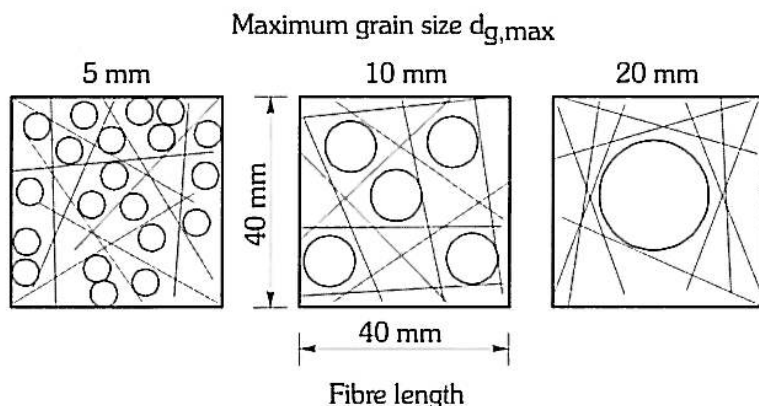
5.1.2.1 Effekt på betongens konsistens

5.1.2.1.1 Proporsjonering

Proporsjonering av fiberbetong skal følge dokumenterte prosedyrer for å tilfredsstillere gjeldende regelverk. Endring av dokumenterte prosedyrer medfører at ny dokumentasjon i henhold til NS-EN 206-1 må utføres. Betongens støpelighet og homogenitet påvises ved prøveblanding og betongen tilpasses mengde fiber.

Betong som inneholder fiber krever normalt større innhold av finstoff og mindre steinstørrelse enn betong uten fiber. Årsaker til dette er at makrofibrene lange, slanke form og/eller høye overflateareal reduserer betongens beatbeidbarhet. Stive fibre øker porøsiteten til betongens ”skjelett” som består av sand og tilslag. Porositetsøkningen avhenger av det relative størrelsesforholdet mellom tilslag og fiberlengde som vist i Figur 5.1. Med økende mengde fiber, øker behovet for finstoff og reduksjon av steinstørrelse, noe som igjen medfører økt vannbehov. Generelt avtar støpbarheten til fiberbetong med økende lengde på fiberen (slankhetstall).

For tradisjonelle støpemetoder og selvkomprimerende betong vil det eksistere en øvre ”kritisk fibermengde”. Denne kjennetegnes ved en brå reduksjon av bearbeidbarheten. Overskridelse av optimalt fiberinnhold er ofte synlig i form av fiberballing. Rettledning for maksimale kritiske fibermengder W_f [kg/m³] med hensyn til betongens støpelighet er behandlet flere steder i litteraturen, se f.eks (Vikan 2008). Det henvises i denne sammenheng også til Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 for sprøytebetong.



Figur 5.1: Innflytelse av tilslagets størrelse på fiberfordelingen (Johnston 1996).

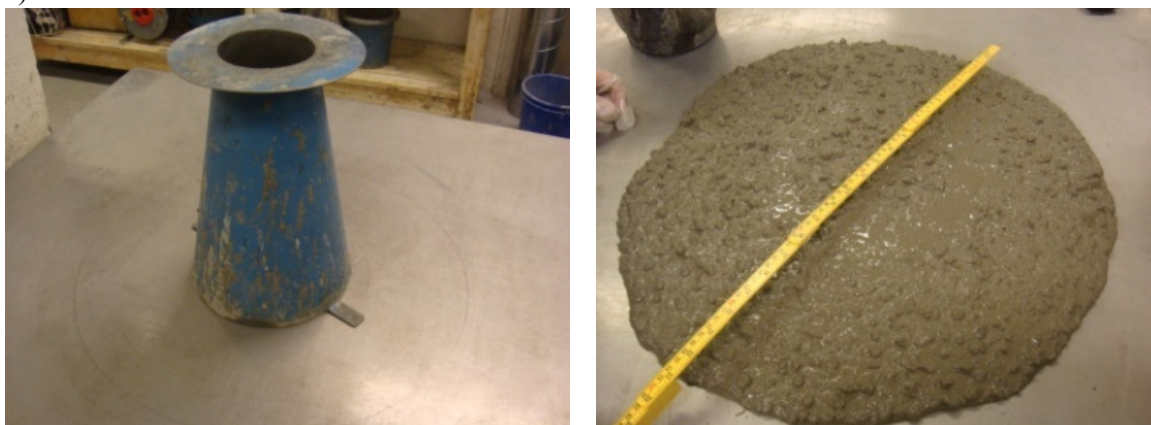
Selvkomprimerende fiberbetong stiller spesielle krav til proporsjoneringen. Synk-utbredelsen (SU) blir redusert når fibervolum og fiberlengdene øker. For å oppnå en stabil fiberarmert SKB er det viktig å tilstrebe en jevn tilslagsgradering, uten partikkelsprang. Det må også benyttes tilsetningsstoffer som reduserer vannbehovet/øker flyten i den fiberrike betongen uten å ødelegge stabiliteten. Proporsjonering av SKB vil avhenge av oppgitt mengde fiber og fibertype. Mer informasjon om SKB gis i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 29 (Selvkomprimerende betong) og i ”The European Guidelines for Self-Compacting Concrete”. Det henvises også til Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 for sprøytebetong).

5.1.2.1.2 Målemetoder for bestemmelse av fiberens effekt på betongens konsistens

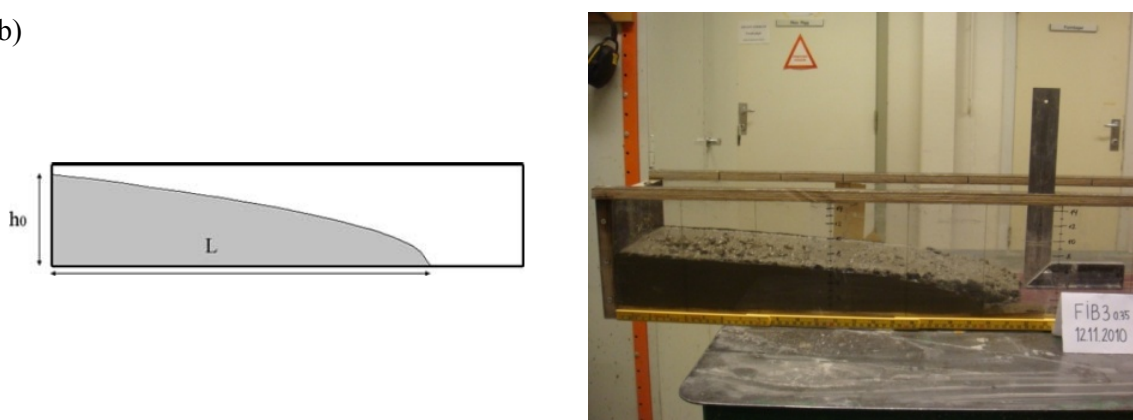
Innblanding av fiber kan gi inntrykk av at betongen vil være vanskelig å støpe når den er i ro, men betongen kan allikevel være velegnet. Ved bevegelse forsvinner den avstivende effekten til fibre, slik at godt proporsjonert fiberbetong kan støpes etter vanlige, standardiserte metoder. Målemetoder for bearbeidbarhet basert på statiske metoder (f.eks. slump) gir ofte ikke tilstrekkelig svar på støpbarhet. Dynamiske målemetoder for vurdering av bearbeidbarhet bør derfor utvikles. Foreløpig er følgende to enkle metoder tilgjengelige, og de mest aktuelle for vurdering av fiberbetongs konsistens:

- Slump, figur 5.2a. Denne metoden som er beskrevet av NS-EN 12350-2 er den vanligste for vurdering av konsistens. Den er en statisk metode og dermed ingen god indikator for bearbeidbarhet av fiberbetong, spesielt ved lav viskositet eller høyt fiberinnhold. Metoden kan evt brukes før fibertilsetning for evaluering av konsistens og stabilitet.
- LCPC-boks, figur 5.2b. I denne metoden helles 8 liter betong fra den ene enden i løpet av ca 30 s, og utbredelseslengden og geometrisk form benyttes til å bestemme betongens flyteskjærspenning. Visuelt beskriver også metoden betongens evne til å transportere fibre med seg. Metoden benyttes for tiden i COIN, og et notat som beskriver metoden og erfaringer vil bli publisert.

a)



b)



Figur 5.2 Målemetoder for betongens konsistens. (a) Slump (utbredelsesmål), (b) LCPC-boks

5.1.3 Innblanding og fordeling av fiber

Fibertilsetning utføres generelt i henhold til anvisninger fra leverandør av doseringsutstyr og/eller fiber. Alternativt kan det utvikles egne prosedyrer i samarbeid med leverandørene.

For all fiberarmert betong som dekkes av denne veiledning gjelder følgende forutsetninger:

1. Beskrevet type og minimum mengde fiber skal alltid være tilsatt lasset.
2. Det skal være homogent innhold av fiber gjennom hele lasset.

All fiber tilsettes i blandemaskin for å sikre homogent innhold av fiber i lasset i størst mulig grad.

Tabell 5.1 angir anbefalte prosedyrer for å sikre første forutsetning best mulig, avhengig av automatisk eller manuell dosering.

Tabell 5.1 Doseringsprosedyre fiber

Automatisk dosering	Prosedyre
I blandemaskin	1. Fiber behandles som grovt tilslag ihht NS EN 206-1. 2. Datert utskrift av tilsiktet og oppveid mengde fiber skal medfølge følgeseddel.
Manuell dosering	
I blandemaskin	1. Blandeoperatør signerer på følgeseddel at riktig fibertype og minimum mengde fiber er tilsatt lasset. 2. Produksjonsleder eller tilsvarende skal kontrollere og signere på samme følgeseddel at blandeoperatør har utført sine oppgaver. 3. Transportør tillates ikke å forlate blandeverk før ferdig signert følgeseddel ihht punktene over er mottatt.

Annet dokumentert tilfredsstillende system tillates.

Det skilles på nødvendig prøvehyppighet på blandeverk, avhengig av automatisk eller manuell innblanding, se pkt 5.3 Kontroll og dokumentasjon av produksjon.

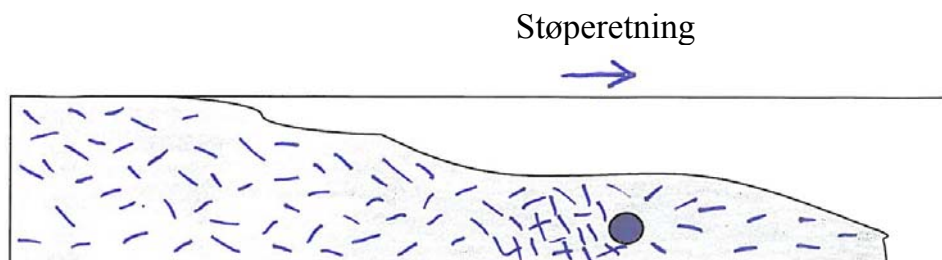
5.2 Utførelse

5.2.1 Generelt

Utførelsen skal tilfredsstillende kravene i NS-EN 13670 – ”Utførelse av betongkonstruksjoner – Allmenne regler” og tilleggskrav gitt i denne veiledning.

Ved utførelse av fiberarmert betong og armert fiberbetong skal reglene for kontrollklasse Utvidet kontroll iht NS-EN 1990/NA følges.

Støpearbeidet skal planlegges og gjennomføres slik at eventuelle hindringer ikke skaper svakhetssoner med liten andel virksam fiber. Eksempel på hindringer er stangarmering, elektrikkerrør, føringer med mer, se figur 5.3. I bærende konstruksjoner er dette svært viktig.



Figur 5.3. Illustrasjon av hvordan hindringer kan forårsake ujevn fiberfordeling i konstruksjoner.

5.2.2 Mottak

All prøving og dokumentasjon ved mottak på byggeplass forutsetter at prøving er gjennomført på blandeverk i henhold til gjeldende standarder og anbefalinger i denne veiledningen. Prøving ved mottak har som siktemål å dokumentere at betongen er i samsvar med det som er

bestilt. Dokumentasjon av materialegenskaper er ivaretatt ved den prøving som skal utføres ved blandeverk.

All betong skal ved mottak inspiseres visuelt for betongens støpelighetsegenskaper og fiberinnhold. Denne kontrollen omfatter først og fremst en subjektiv vurdering av betongens støpelighetsegenskaper og om fibrene er der og ser ut til å være homogent fordelt.

I enkelte tilfeller kan støpeteknikk etc. påvirke fiberfordeling og -orientering i betydelig grad. I slike tilfeller må produksjonsunderlaget beskrive hvilke egenskaper som skal dokumenteres på prøvestykker produsert på byggeplass, prøveomfang og samsvarskriterier når det er aktuelt.

5.2.3 Transport på byggeplass, utlegging, pumping og komprimering

Utlagte betonglag skal vibreres godt sammen med omliggende betong slik at svakhetssoner mellom støpesjikt unngås. Dersom dette ikke gjøres, er det stor risiko for at sonen mellom hvert støpelag er ”uarmert” og dermed danner ei svakhetszone i betongen.

Ved bruk av selvkomprimerende betong skal det innarbeides prosedyrer for utførelsen som sikrer fiberfordelingen. Fiberkontinuitet mellom ulike støpesjikt må sikres på andre måter enn ved vibrering. Prøvestøp kan være aktuelt og støpeprosedyre bør utarbeides.

Transport og pumping utføres på samme måte som for normal betong. Se også Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7 for sprøytebetong.

Generelt må tilfredsstillende dispergering av fiberen oppnås for og unngå risiko for fiberklumper og separasjon. Pumpe slangens diameter og lengde må tilpasses fiberlengden og fibermengden. Pumpe slangens diameter bør minst være 1,5 ganger fiberlengden.

For å redusere risikoen for fiberklumper, bør karet på betongpumpen ikke fylles opp. Dette for å unngå oppsamling av fibrer langs kanten på karet. Når betongen ikke pumpes, bør bilen stoppes for å unngå fiberseparasjon i karet. Ved oppstart av pumping, bør man starte forsiktig og øke trykket etter hvert.

Betong med fiber kan pumpes forutsatt at betongen er proporsjonert med tanke på pumping. Betongen bør slippes gjennom ei sikt før den går inn i pumpe for å unngå at eventuelle fiberballer kommer med. Før arbeidet settes i gang, bør det utføres en prøvestøp for å dokumentere at betongen egner seg for aktuelt utstyr og bruksområde.

Sprøyting av fiberarmert betong kan utføres ved hjelp av våtmetoden eller tørrmetoden.

På horisontale flater bør det brukes en form for overflatevibrering som for eksempel dissing med flytavretter, vibrobrygge eller -bjelke for å hindre at fibrer stikker opp fra overflaten.

5.3 Kontroll og dokumentasjon av produksjon

Kontroll og dokumentasjon av betongproduksjonen skal tilfredsstillende kravene i NS-EN 206-1 – ”Betong. Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar” med nasjonalt tillegg og de tilleggskrav som er gitt i denne veiledningen.

Merknad 1: Norsk Betongforenings publikasjon nr. 7 (sprøytebetong) gir gode råd.

Merknad 2: Ved selvkomprimerende fiberbetong, gir Norsk Betongforenings publikasjon nr. 29 gode råd.

Supplerende rutiner og prosedyrer må utarbeides der punkt over ikke er dekkende.

Veiledningen tillater både automatisk og manuell dosering av fiber i blandemaskin. Det skilles på nødvendig prøvehyppighet for de to metodene, og tabell 5.2 angir minimumskrav for hyppighet.

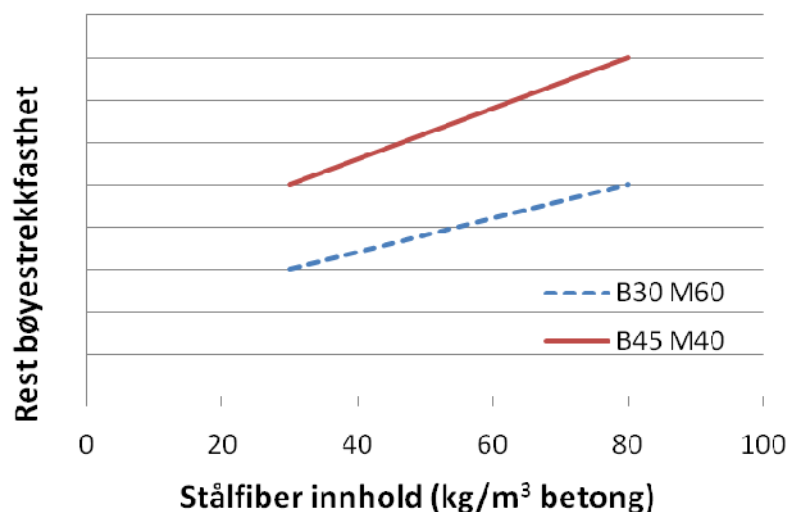
Tabell 5.2 Prøvehyppighet blandeverk

Automatisk dosering	Prøvehyppighet
I blandemaskin	Kontinuerlig produksjon iht EN 206-1, pkt 8.2.1 Samsvarskontroll av trykkfasthet.
Manuell dosering	
I blandemaskin	Innledende produksjon iht EN 206-1, pkt 8.2.1 Samsvarskontroll av trykkfasthet

Utover betongprøving ihht EN 206-1 må betongprodusent dokumentere gjennom utprøving fiberbetongens restbøyestrekfasthet. Prøveomfang og -prosedyrer som betongprodusent kan benytte er gitt i tabell 5.3.

Tabell 5.3 Bestemmelse av restbøyestrekfasthet

Nr	Beskrivelse
1	Bestemmelse av restbøyestrekfasthet utføres ihht EN 14651. Punkt 2 og 3 nedenfor avviker fra nevnte standard.
2	Prøvestykkenes dimensjoner og utstøpingsprosedyre utføres i henhold til NS-EN 14651 som beskrevet i kapittel 4. Dersiom alternativ metode benyttes skal målte fasthetsverdier korrigeres iht en dokumentert relasjon mellom prøvemethodene.
3	Restbøyestrekfastheten for hver fiberbetong kvalitet bestemmes som snittet av minst 6 prøvestykker.
4	Restbøyestrekfasthet bestemmes for to hoved betongkvaliteter, i praksis anbefales gjerne B30 M60 og B45 M40.
5	For de fibertyper som skal brukes bestemmes restbøyestrekfasthet for to doseringsnivå. a. Anbefalte doseringer for stålfiber er 30 kg/m ³ og 60 kg/m ³ . b. Anbefalte doseringer for makro syntetiske fiber er 3 kg/m ³ og 7-8 kg/m ³ .
6	Restbøyestrekfasthet for mellomliggende fiberdoseringer og/eller fasthetsklasser bestemmes ved hjelp av interpolasjon som illustrert i Figur 5.4.
7	Hvis ikke annet er angitt, dokumenteres restbøyestrekfastheten c. En gang pr år. d. Ved tvil eller vesentlige endringer i sammensetning.
8	Dokumentasjonen av restbøyestrekfasthet skal være gjennomført og godkjent før start levering til konstruksjoner omfattet av denne veiledning.



Figur 5.4 Eksempel på bestemmelse av rest bøyestrekfasthet

5.4 Kontroll og dokumentasjon av utførelse

5.4.1 Generelt

Kontroll og dokumentasjon av utførelsen skal tilfredsstillere kravene i NS-EN 13670 – ”Utførelse av betongkonstruksjoner – Allmenne regler”, samt kravene i Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7 (sprøytebetong) og nr. 29 (selv komprimerende betong), der disse er relevante, og de tilleggskrav som er gitt i denne veiledningen. Dette skal inngå som en del av entreprenørens kvalitetssystem.

Supplerende rutiner og prosedyrer må utarbeides der punkt over ikke er dekkende. Alle nødvendige prosedyrer for kontroll og dokumentasjon skal foreligge.

Ved uheldig kombinasjon av fibertype, fibermengde og betongsammensetning, kan fibre balle seg sammen. Ved utstøping må det derfor påses at fiberballer ikke forekommer. Ved pumping vil dette bli oppdaget på rist før pumping. Ved utstøping ellers kontrolleres visuelt under utstøpinga. I fall fiberballing forekommer, skal denne betongen avvises, og produksjonen modifiseres.

Når en konstruksjon utføres i kontrollklasse ”Utvidet kontroll” er det av sikkerhetsmessige grunner viktig at fiberkontinuitet sikres mellom ulike støpesjikt. Dokumentasjon av dette kan gjøres på prøver utstøpt på samme måte som i konstruksjonen eller på utborede prøver. Arbeidet planlegges og utføres slik at ”herdende” støpeskjøter ikke forekommer.

5.4.2 Kontroll av fersk betong ved mottak

Prøving ved mottak har som siktemål å dokumentere at betongen er i samsvar med det som er bestilt, og aktuelle prøvemetoder er beskrevet i EN14721 og i tillegg B. I dette kapitlet beskrives gjennomføring av prøvingen.

NS-EN 13670 omhandler generell prøving som skal utføres på byggeplass. I tillegg skal all betong ved mottak inspiseres visuelt for betongens støpelighetsegenskaper og fiberinnhold.

Generelt skal fiberinnholdet i den ferske betongen dokumenteres ved prøving, og det anbefales følgende opplegg for måling av fiberinnhold i fersk betong ved mottak på byggeplass under normale driftsforhold:

- en prøve for hver påbegynt 200 m³ betong eller påbegynt støpeskift for klasse ”Utvidet kontroll”, minimum tre prøver;

Prøvene gjennomføres etter NS – EN 14721:

- (1) All betong skal ved mottak inspiseres visuelt for betongens støpelighetsegenskaper og fiberinnhold.
- (2) Det tas så tre prøver av den ferske betongmassen fra betongbilen. En i starten, midten og slutten av lasset. Prøvestørrelsen skal være 3 liter eller mer, men større mengder (8-10L) anbefales.
- (3) Volumet av hver prøve bestemmes på følgende måte:
1: Prøvene fylles i en bøtte med kjent volum, det kompakteres og toppen sages av.
Volumet av betongen er da lik volumet av bøtta.
- (4) Fibrene i hver prøve skilles fra den ferske betongmassen enten ved utvasking eller ved hjelp av andre innretninger beregnet til formålet.
- (5) De samlede fibrene, tørkes og veies til nærmeste 1 gram

For ytterligere detaljer, se tillegg A1.

Samsvar er oppnådd når middel av tre etterfølgende prøver er større enn angitt fibermengde i resepten minus 10%. Ingen testresultat skal være mindre enn eller lik 0,85*nominelt fiberinnhold.

5.4.3 Kontroll av herdet betong støpt på byggeplass og i betongelementfabrikk

Støpeteknikk og geometri av konstruksjonen påvirker fiberfordeling og -orientering. Det kan i enkelte tilfeller være aktuelt å lage prøvestykker for dokumentasjon av:

- fiberinnhold og fiberorientering i herdet betong;
- mekaniske egenskaper i herdet betong, dvs primært rest bøyestrekfasthet.

Pkt 4.4.2 foran angir hvordan dette kan tas hensyn til ved dimensjoneringen.

Egenskap, prøveomfang, prøvemethode og samsvarskriterier skal angis i produksjonsunderlaget.

Det arbeides med metoder basert på saging av tverrsnitt og automatisert fibertelling for bestemmelse av fiberorientering og -mengde i COIN. Merk foreløpig at det knyttes stor usikkerhet til bestemmelse av fibermengde i herdet betong ved uttrekk av fiber (knusing av betongen). Usikkerheten er spesielt stor for polymerfibre siden disse har mye lavere egenvekt enn herdet betong.. Det er vanskelig å fjerne all sement fra fiberene. NS-EN 14488-7- "Fiberinnhold i fiberarmert betong" spesifiserer at telling av polymerfiber bør gjøres i fersk betong og at uttrekk fra herdet betong er uegnet.

6 Dimensjonerings-, konstruksjons- og armeringsregler

6.1 Dimensjoneringsprinsipper

Konstruksjonene utført og dimensjonert etter denne rapporten, som er et forslag til norsk dimensjoneringsveiledning, skal tilfredsstille funksjonskravene angitt i Eurocode 2 for dimensjonerende grensetilstander, styrke, brukskrav og levetid. Enkelte spesifikasjonskrav er i denne rapporten tilpasset bruk av fiber. Videre baseres beregningsmetodene for armert fiberbetong og fiberarmert betong på tilsvarende prinsipper som beregninger for vanlig betong.

Armert fiberbetong, (dvs betong armert med tradisjonell armering og fiber) dimensjonert etter denne rapporten, kan brukes i konstruksjonsdeler i alle pålitelighetsklasser som definert i NS-EN-1990: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. Fiberarmert betong, (dvs betong armert med bare fiber) kan brukes i pålitelighetsklasse 1. Konstruksjoner i alle pålitelighetsklasser der det er nedstyrtingsfare skal utføres med utvidet kontroll som nærmere definert i kap. 5.4 kontroll og dokumentasjon av utførelse.

Bæreevnen til konstruksjoner utført i armert fiberbetong og fiberarmert betong er avhengig av miljøaggressivitet i tillegg til fasthetsegenskaper. For konstruksjonsdeler med stålfiberarmering utsatt for eksponeringsklasse XD1-3, XS1 og XS3 iht Eurocode 2, skal restfastheten i tverrsnittet i de ytterste 10mm mot eksponert flate ikke medtas ved kontroll av bruddgrensetilstanden. I eksponeringsklassene XA2-3 må all bruk av fiber vurderes spesielt.

6.2 Bruddgrensetilstand

6.2.1 Materialfaktorer

Materialfaktoren for rest strekkfastheten $f_{fk,res2,5}$, som bestemt i kapittel 4.3.2 kan settes til:

$$\gamma_{cf}=1,5$$

Og dimensjonerende rest strekkfasthet kan bestemmes som:

$$f_{fd,res2,5} = f_{fk,res2,5} / \gamma_{cf}$$

Dersom det ved dimensjoneringen tas hensyn til avvik i tverrsnittsdimensjoner i henhold til punkt A2.2 i Eurocode 2, og det påvises at variasjonskoeffisienten for rest strekkfastheten ikke overskrider 10%, kan materialfaktoren settes lik:

$$\gamma_{cf}=1,35$$

For øvrig benyttes materialfaktorene angitt i Eurocode 2 for tradisjonell stangarmering og betong i trykk.

6.2.2 Bøyemoment og aksialkrefter

Ved å benytte fiber i betongen kan deler av betongtverrsnittet ta strekkrefter etter opprissing. Strekksonen kan forenklet karakteriseres ved en uniform spenningsfordeling med spenning tilsvarende dimensjonerende rest strekkfasthet, $f_{fd,res 2,5}$.

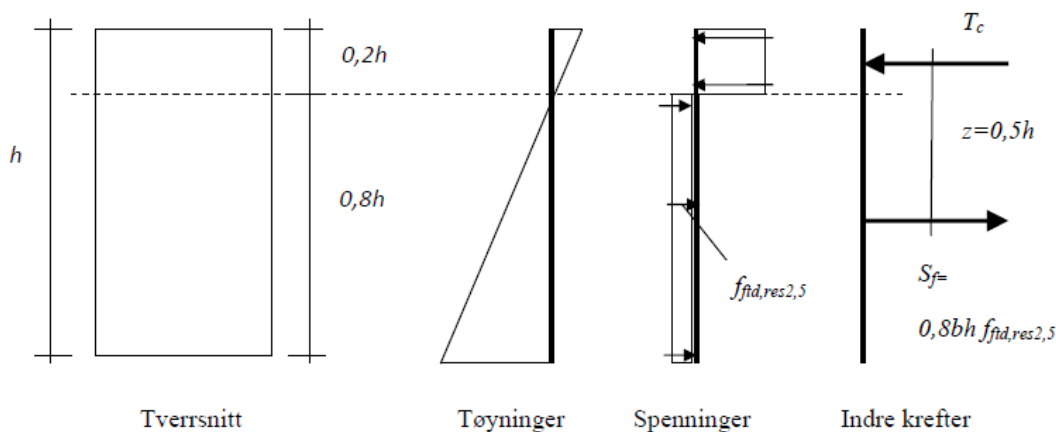
Kapasitet for bøyemoment og aksialkraft kan bestemmes ved å anta at plane tverrsnitt forblir plane etter tøyning, og at fiberbetongens trykksone og den konvensjonelle armeringens spennings- og tøyningsegenskaper er som gitt i Eurocode 2 pkt 3.1.7 og 3.2.7.

For tverrsnitt utsatt for rent strekk skal tøyningene i fiberbetongen være mindre enn $3/h$ ‰ (tverrsnittshøyde h [m]). Tilsvarende skal strekktøyningene begrenses til $3/h$ ‰ i strekkranden for tverrsnitt utsatt for bøyning.

6.2.3 Momentkapasitet for fiberarmert betong

For fiberarmert betong kan kapasiteten forenklet beregnes ved å anta at rest strekkfastheten, $f_{fd,res2,5}$, virker over $0,8h$ og at den indre momentarmen er $0,5h$, se Figur 6.1. Momentkapasiteten for et rektangulært tverrsnitt er da gitt ved:

$$M_{Rd} = 0,4 f_{fd,res2,5} b h^2$$



Figur 6.1: Spennings- og tøyningfordeling for rektangulært tverrsnitt av fiberarmert betong utsatt for ren bøyning

For fiberbetong med karakteristisk rest strekkfasthet, $f_{fk,res2,5}$, høyere enn 2.5N/mm^2 må trykksonehøyden i tverrsnittet bestemmes. En kan finne trykksonehøyden ved å kreve aksiell likevekt mellom strekkresultanten og ei spenningsblokk med høyde lik 80% av trykksonen og spenning f_{cd} som vist i neste avsnitt.

6.2.4 Momentkapasitet for armert fiberbetong

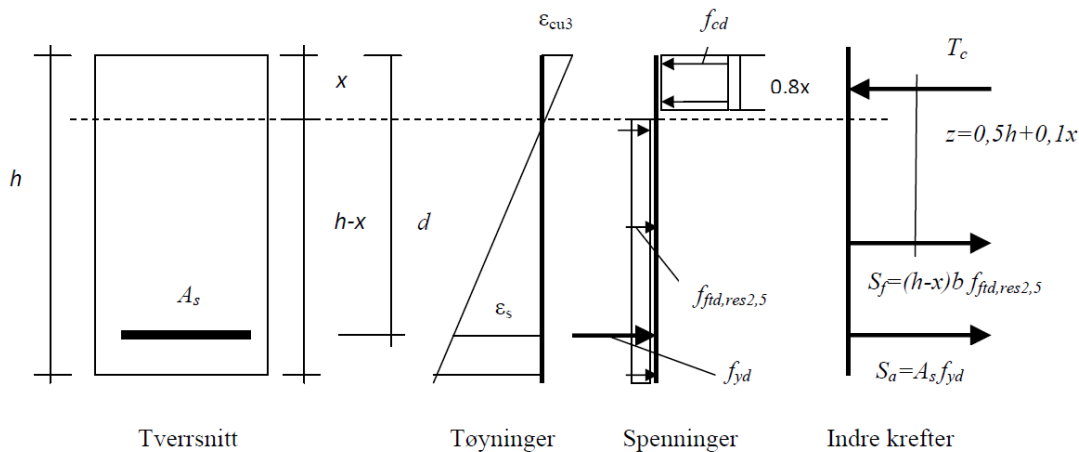
Momentkapasiteten skal bestemmes basert på følgende prinsipper:

- Det skal påvises at konstruksjonsdelen bærer den dimensjonerende lasten med samvirke mellom stangarmering og stålfiber.
- Den konvensjonelle armeringens arbeidsdiagram er forutsatt å følge retningslinjene i Eurocode 2 punkt 3.2.7.

- Betongens trykksone skal karakteriseres ved bestemmelsene gitt i Eurocode 2 pkt 3.1.7.
- Strekkapasiteten i fiberbetongen kan medtas som vist i Figur 6.2, med konstant spenning over strekksonehøyden.
- Ved beregning av kapasiteten skal trykksone høyden bestemmes ved hjelp av aksial likevekt: $T_c = S_f + S_a$ iht Figur 6.2.
- Momentkapasiteten kan deretter bestemmes ved å ta likevekt om trykkresultantens angrepspunkt som: $M_{Rd} = S_f(0,5h + 0,1x) + S_a(d - 0,4x)$

Dersom aksial likevekt gir at den maksimale strekk�øyningen overskrider 3/h‰ som angitt i avsnitt 6.2.2, er det tilstrekkelig å sette trykk�øyningen lik ϵ_{cu3} og den maksimale strekk�øyningen lik 3/h‰. Alternativt kan for eksempel lammemetoder basert på prinsippene gitt ovenfor benyttes.

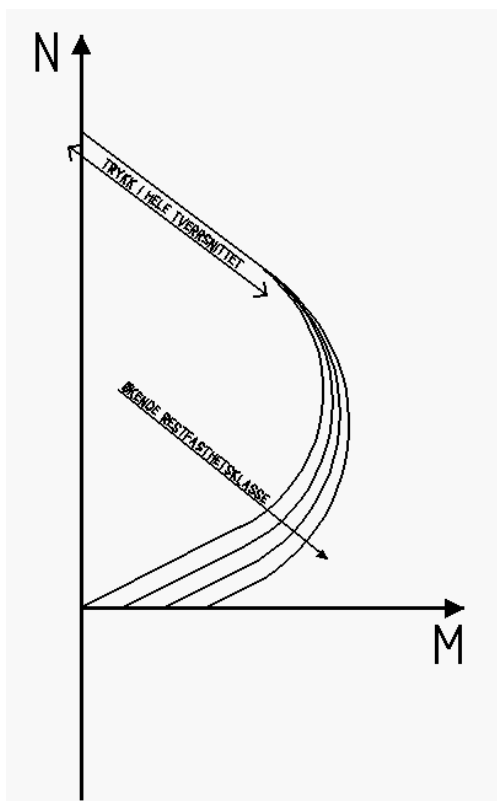
For konstruksjonsdeler i pålitelighetsklasse 2, 3 og 4 skal det i tillegg påvises at dimensjonerende bøyemomenter og aksialtrekkrefter kan bæres av stangarmering uten bidrag fra fiberarmeringen. I denne kontrollen kan en sette alle materialfaktorer $\gamma_m = 1,0$.



Figur 6.2: Spennings- og tøyningfordeling for rektangulært tverrsnitt av armert fiberbetong utsatt for ren bøyning. Betongens bruddtøyning for trykk, ϵ_{cu3} , er gitt i tabell 3.1 i Eurocode 2.

6.2.5 Samtidig virkende aksialkraft og moment

Konstruksjonsdeler utført i armert fiberbetong, utsatt for samtidig virkende aksialkraft og moment, kan dimensjoneres ved bruk av M-N diagram. Bruddkriteriene som danner grunnlaget for M-N diagrammet endres litt på strekksiden, men ikke på trykksiden ved bruk av fiber i betongen.



Figur 6.3: Prinsipiell virkning av fiber på M-N diagram.

6.2.6 Dimensjonering for skjærkraft

6.2.6.1 Grunnlag

Det er godt dokumentert ved eksperimentelle forsøk at stålfiber gir økt kapasitet mot skjærbrudd, mens det ikke er dokumentert at syntetiske fibre har tilsvarende effekt. Reglene i dette kapitlet foreslås derfor bare å gjelde for stålfiber.

Videre gjelder reglene i dette punktet for bjelker, staver, plater og skall hvor forholdet mellom spennvidde og tverrsnittshøyde er minst 3 ved tosidig opplegg og 1,5 ved utkraget konstruksjonsdel, utført i fiberbetong. Konstruksjonsdeler som ikke oppfyller dette kriteriet kan generelt beregnes og dimensjoneres ved hjelp av stavmodeller iht pkt 6.5 i Eurocode 2. Arbeid med tilpasning av denne metoden til armert fiberbetong og fiberarmert betong er igangsatt i COIN.

6.2.6.2 Skjærkapasitet

Det finnes en rekke metoder og modeller for å beregne skjærkapasiteten til fiberarmert betong. De fleste er baserte på resultater fra ulike bjelkeprøvingsserier med konvensjonell bøyestrekkarmering i underkant bjelke (langsgående hovedarmering), og gyldigheten av dette kapitlet er derfor begrenset til tverrsnitt med konvensjonell lengdearmering.

Iht denne veiledning bør metoden beskrevet nedenfor benyttes ettersom denne er kalibrert for veiledningens metode for bestemmelse av rest strekkfasthet (NS-EN 14651). Dersom

alternative metoder benyttes, bør relasjonen mellom de ulike rest fasthetsverdiene som metodene er basert på være kjent og benyttes.

I denne rapporten benyttes skjærkapasiteten for betong uten tradisjonell bøylearming fra pkt 6.2.2 i Eurocode 2 som utgangspunkt med bidraget fra fiberarmeringen som et tillegg:

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,ct} + V_{Rd,cf}$$

$$V_{Rd,ct} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \geq (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

$$V_{Rd,cf} = 0,6 \cdot f_{fd,res2,5} \cdot b_w \cdot h$$

- $C_{Rd,c} = 0,15/\gamma_c$ eller $0,18/\gamma_c$ og $k_1 = 0,15$
- $\rho_1 = A_s/b_w d \leq 0,02$ der A_s er arealet av strekkarming, b_w = bredde av tverrsnittssteg og d = effektiv høyde
- $\sigma_p = N_{ed}/A_c < 0,2f_{cd}$ der N_{ed} = aksialkraft pga ytre last eller forspenning ($N_{ed} > 0$ for trykk).
- $k = 1 + \sqrt{(200/d)} \leq 2$ med d angitt i mm
- $f_{fd,res2,5} = f_{ftk,res2,5}/\gamma_{cf}$, der $\gamma_{cf} = 1,5$ er betongens materialfaktor (alternativt 1,35 som angitt i kapittel 6.2.1).

Formlene er tilsvarende det tyske regelverket bortsett fra bestemmelsen av den dimensjonerende rest strekkfastheten. I tysk regelverk inneholder denne både en geometrisk dimensjonsfaktor og en fiberorienteringsfaktor i tillegg til at prøvemethoden rest fastheten er bestemt med er forskjellig.

6.2.6.3 Torsjonsmoment i bjelker

Kapasiteten for torsjonsmomentet skal påvises for strekkbrudd ($T_{Ed} \leq T_{sd} + T_{fd}$) og trykkbrudd ($T_{Ed} \leq T_{Rdmax}$), hvor T_{Rdmax} (Eurocode 2, Sørensen) er kapasitet i tverrsnittet mot trykkbrudd, T_{sd} (Eurocode 2, Sørensen) er den konvensjonelle armeringens torsjonsmotstand og T_{fd} er fiberarmeringens bidrag til torsjonsmotstand gitt nedenfor.

Indre krefter bestemmes etter anerkjente metoder på grunnlag av likevektsbetingelser, under forutsetning av at fiberbetongen har en strekkstyrke lik $f_{fd,res2,5}$ i strekksonen av tverrsnittet. Bidraget til torsjonskapasiteten fra stangarminga og fiberarminga bestemmes på grunnlag av en romlig fagverksmodell i de antatte veggens middelflate. Modellen er tilsvarende metoden for fiberarmeringas bidrag til skjærkapasiteten.

T_{fd} kan da settes lik

$$T_{fd} = 1,2 f_{fd,res2,5} A_K t_{ef}$$

Hvor A_K er arealet innenfor midtlinjene til det effektive tverrsnittet mens t_{ef} er tykkelsen av det effektive tverrsnittet. For bestemmelse av det effektive tverrsnittet se Eurocode 2 punkt 6.3.2.

6.3 Bruksgrensetilstand

6.3.1 Prinsipp for minimumsarmering

Beregning av minimum stangarmering følger de generelle prinsippene for dette i Eurocode 2 (kapittel 7.3.2), og baserer seg på at strekksonen i et tverrsnitt skal ha samme kapasitet etter rissdannelse som umiddelbart før. For et fiberarmert tverrsnitt kan dette prinsipielt uttrykkes som:

$$A_s \sigma_s + A_{ct2} f_{fk, res2,5} \geq A_{ct} f_{cteff} \text{ eller: } A_s \geq (A_{ct} f_{cteff} - A_{ct2} f_{fk, res2,5}) / \sigma_s$$

Hvor A_s er arealet av stangarmeringen, σ_s er tillatt spenning i armeringen (settes vanligvis lik flytegrensen f_{yk}), A_{ct} er arealet av tverrsnittets strekksone før opprissing, A_{ct2} er arealet av tverrsnittets strekksone etter opprissing, f_{cteff} er midlere strekkfasthet når det forventes at riss oppstår, mens $f_{fk, res2,5}$ er karakteristisk rest strekkfasthet relatert til 2,5 mm rissvidde bestemt som angitt i kapittel 4.

Den tyske dimensjoneringsveiledningen bruker det samme prinsippet for bestemmelse av minimumsarmering. Avsnitt 6.4 i neste kapittel angir minimumskrav for spesifikke konstruksjonsdeler. Når formlene i disse punktene gir minimumsarmering lik eller mindre enn null, faller kravet om minimum stangarmering bort.

6.3.2 Beregning av av rissavstand og rissvidder

Fiber virker svært gunstig på både rissavstand og rissvidder i armert fiberbetong, og selv moderate fibermengder kan begrense omfanget av opprissing i relativt stor grad slik at betongen vil være tilnærmet fri for synlige riss ved bruksgrenselast. Beregningsmetoden som presenteres her er basert på et forslag av Løfgren 2008.

Riss i betong kan sies å forårsakes av tre ulike mekanismer: last, volumendring (svinn og temperaturendringer) eller kjemiske angrep. Beregning av rissvidder som følge av last og volumendringer beskrives her.

6.3.2.1 Beregning av risstilstand for stabilisert rissmønster

For armert fiberbetong kan Eurocode 2 pkt 7.3.4 legges til grunn for bestemmelse av rissavstand og rissvidde. Fibrene bidrar til å redusere rissviddene og rissavstanden ettersom de overfører spenninger over risset.

Fibrene taes hensyn til beregningsmessig ved å beregne spenningen i armeringen med utgangspunkt i spennings- tøyingsforløpet med uniform reststrekkspenning lik $f_{fk, res2,5}$ i strekksonen. Fibrene bidrar til å øke trykksonehøyden i tverrsnittet, og redusere spenningen i armeringen ved en gitt belastning. Beregningsmetoden må baseres på stadium II stivhet for betong i trykk og vanlig armering, mens rest strekkfastheten er konstant uavhengig av belastningens størrelse. Slike beregninger gjennomføres enklest ved hjelp av regneprogram basert på lamellmetoden, se for eksempel Døssland 2008.

6.3.2.2 Rissvidder i armert fiberbetong på grunn av ytre laster

Rissvidden w_k kan generelt beregnes fra følgende uttrykk:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

der de midlere tøyingene ε_{sm} og ε_{cm} i armering og betong for den aktuelle lastkombinasjonen beregnes som gitt i Eurocode 2 punkt 7.3.4. Fiberbetongens rest strekkfasthet, $f_{ftk,res2,5}$, tas hensyn til ved beregning av armeringsspenningen σ_s .

Uttrykket for maksimal rissavstand $s_{r,max}$ modifiseres med en faktor k_5 for å ta hensyn til fibertilsetningen:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \frac{\phi}{\rho_{s,eff}} \quad [\text{mm}] \quad [\text{A}]$$

der

$k_1 = 0,8$ for stenger med meget god heft og 1.6 for stenger med tilnærmet glatt overflate

$k_2 = 0,5$ for bøyning og $1,0$ for rent strekk

$k_3 = 3,4$

$k_4 = 0,425$

$k_5 = (1 - f_{ftk,res2,5}/f_{ctm})$

ϕ = armeringsdiameter

$\rho_{s,eff} = (A_s + \xi_l^2 A_p')/A_{c,eff}$ og A_p , $A_{c,eff}$ og ξ_l er definert i Eurocode 2 punkt 7.3.2(3)

Gjennomsnittlig rissavstand settes lik: $s_r = s_{r,max}/1,7$

6.3.2.3 Rissvidder i armert fiberbetong på grunn av svinn

Beregning av rissvidder som følge av volumendring i betongen er mer omfattende enn beregning av rissvidder på grunn av ytre laster, og er tyngre tilgjengelig ettersom slike metoder benyttes relativt sjelden. Problemstillingen er imidlertid aktuell, og kan for eksempel benyttes i de tilfeller hvor man ønsker å oppnå en vanntett konstruksjon. Metoden som foreslås nedenfor er basert på en beskrivelse hvor rissene er modellert ved hjelp av fjærer, og antall riss kan beregnes fra følgende uttrykk [Löfgren 2008 og Engström 2006]:

$$\frac{N(\sigma_s, f_{ftk,res2,5}) \cdot L}{E_c \cdot A_l} \cdot (1 + \phi_{ef}) + n \cdot w(\sigma_s) = R \cdot \varepsilon_{cs} \cdot L \quad [\text{B}]$$

der $N(\sigma_s, f_{ftk,res2,5})$ er last som opptrer i urisset tverrsnitt, L er elementets lengde, $A_l = A_c + A_s (E_s/E_c - 1)$,

φ_{ef} er kryptallet,

n er antall riss

$$w(=\sigma_s) = 0,42 \left[\varphi \sigma_s^2 / (0,22 f_{cm} E_s (1 + (E_s A_s) / (E_c A_{cp}))) \right]^{0,826} + \sigma_s / E_s 4 \varphi$$

R er fastholdningsgrad ($R=0$ uten fastholdning, og $R=1$ ved full fastholdning).

Aksialkraften $N(\sigma_s, f_{ft,res,2,5})$ kan beregnes som følger:

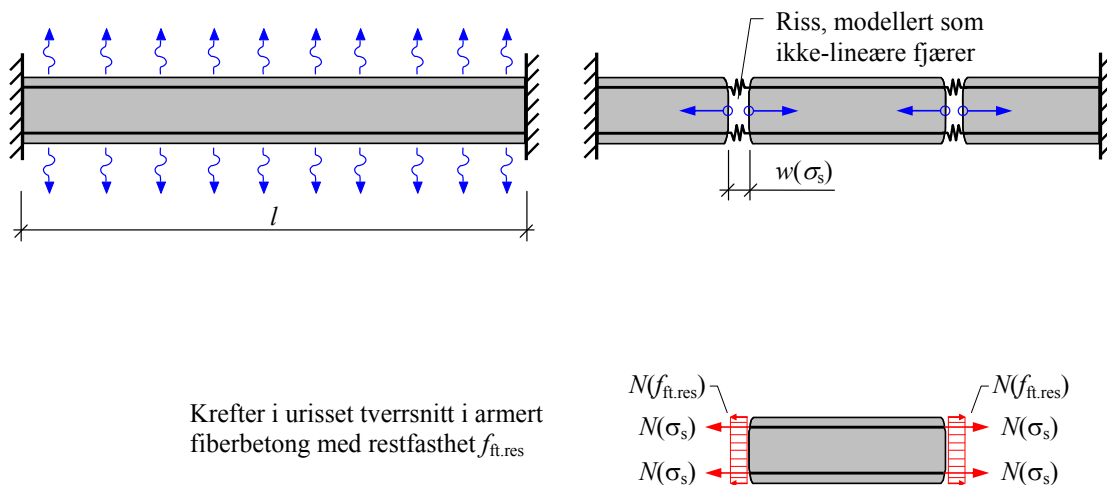
$$N(\sigma_s, f_{ft,res}) = \sigma_s A_s + f_{ft,res} (A_c - A_s)$$

Dersom $N(\sigma_s, f_{ft,res}) > N_I$ vil et nytt riss opptre, der N_I er kraften som initierer et nytt riss:

$$N_I = f_{ctm} (A_{ef} + (E_s / E_c - 1) \cdot A_s)$$

Når $N(\sigma_s, f_{ft,res}) < N_I$ stopper utviklingen av riss, og det faktiske antallet riss kan bestemmes etter ligning [B]. Beregningsprosedyren krever altså iterasjon, der antall riss øker gradvis til løsning er oppnådd, og dette løses enklest vha beregningsprogram. Løsningsmetoden kan for eksempel implementeres i et Excel-ark og løses vha ”solver” funksjon.

Metoden vil gi rissvidder som minker betraktelig med økende resttrekkfasthet og med økende armeringsmengde. I tillegg får man en gunstig effekt av redusert stangdiameter.



Figur 6.4: Modell for å analysere riss pga svinn ved ytre fastholdning [Löfgren 2008].

6.4 Forslag til konstruksjonsregler for ulike typer konstruksjoner

6.4.1 Generelt

Dette kapitlet er relatert til kapittel 9: Konstruksjonsregler i Eurocode 2 og gir utfyllende informasjon og forslag til regler for fiberarmert betong og armert fiberbetong.

6.4.2 Konstruksjonsdeler med krefter i planet

Betongen regnes å overføre trykk gjennom trykkfelt, mens armeringen i en, to eller flere retninger overfører strekk. Det kan regnes med en begrenset overføring av skjærkrefter langs rissene og strekk i betongen mellom rissene. I strekkområder gir også betongens rest strekkfasthet $f_{ftk,res2,5}$ bidrag til kraftlikevekten. Anvendelse av slike metoder på fiberarmerte konstruksjoners D-områder er et aktuelt tema i COIN.

6.4.2.1 Gulv på grunnen

Gulv på grunn er omhandlet i prosjektet *Konkurransedyktige betongløsninger i nærings/industribygg og boliger (1998-2001) -DP3 – Gulv på grunn /5/*, hvor delrapporten *"Fiberarmering - Dimensjoneringskriterier, Gulv på grunn"* gir mer utførlige retningslinjer. Videre er Norsk Betongforenings publikasjon innen samme tema for tiden under revisjon.

6.4.2.2 Bjelker

Det er gjennomført mange omfattende forsøksserier med fiberarmering i bjelker, og virkningen av fiberarmering er derfor godt dokumentert. Basert på prinsippet angitt i kapittel 6.3.1 foran kan det utledes at rektangulære bjelker på strekksiden minst bør ha armering som svarer til:

$$A_{s,min} = 0,26 b_t d (f_{ctm} - 2,1 f_{ftk,res2,5}) / f_{yk}$$

$$A_{s,min} \geq 0,0013 b_t d (1 - 2,1 f_{ftk,res2,5} / f_{ctm})$$

Hvor f_{ctm} er midlere strekkfasthet for den aktuelle betongen (tabell 3.1 i Eurocode 2), mens $f_{ftk,res2,5}$ er karakteristisk rest strekkfasthet relatert til 2,5 mm rissvidde som angitt tidligere. Tverrsnittsarealet er representert med b_t som er midlere bredde av strekksiden og den effective tverrsnittshøyden d .

For armerte betongbjelker kan kravet til minimum skjærarmering uttrykt ved skjærarmeringsforholdet (ρ_w) i pkt 9.2.2 i Eurocode 2 erstattes av:

$$\rho_{w,min} = (0,1 \sqrt{f_{ck}} - 0,3 f_{ftk,res2,5}) / f_{yk}$$

6.4.2.3 Plater

Minimumsarmeringskravene til plater er i prinsippet de samme som for bjelker, men gjelder begge retningene. Hovedarmeringen og en gjennomgående minimumsarmering på tvers av denne skal derfor begge ha et tverrsnittsareal som svarer til:

$$A_s \geq 0,26 A_c (f_{ctm} - 2,1 f_{ftk,res2,5}) / f_{yk}$$

$$A_s \geq 0,0013 A_c (1 - 2,1 f_{ftk,res2,5} / f_{ctm})$$

Hvor A_c er tverrsnittsareal, f_{ctm} er midlere strekkfasthet for den aktuelle betongen (tabell 3.1 i Eurocode 2), mens $f_{fkr, res, 2,5}$ er karakteristisk rest strekkfasthet relatert til 2,5 mm rissvidde som angitt tidligere.

Det er generelt ikke krav til bøylearmering eller annen skjærarmering i plater. For å medregne skjærarmering i skjærkraftkapasiteten skal imidlertid denne ha et tverrsnittsareal referert til platens plan som minst svarer til ($i \text{ mm}^2/\text{mm}^2$):

$$\rho_{w, \min} = (0,1\sqrt{f_{ck}} - 0,32f_{fkr, res, 2,5}) / f_{yk}$$

Avstanden mellom armeringsstengene skal ikke være større enn 8 ganger tverrsnittstykkelsen og heller ikke over 1,2m.

6.4.2.4 Flatdekker

For denne konstruksjonstypen er det gjennomført et omfattende feltforsøk, og evaluering av dette pågår for tiden i regi av Rambøll og COIN.

6.4.3 Søylar

Søylar kan utføres uten vanlig stangarmering dersom det kan påvises beregningsmessig at den valgte mengden fiberarmering er tilstrekkelig til å oppta de krefter som oppstår fra laster, svinn- og temperaturendringer.

I skjot mellom søylar med og uten stangarmering skal det føres skjotestenger fra stangarmert søyle opp i søylen uten stangarmering med et samlet tverrsnittsareal minst lik det nødvendige tverrsnittsarealet som bestemt etter Eurocode 2 for søylar med tradisjonell stangarmering.

6.4.4 Vegger, skiver og skall

Stangarmerte vegger, skiver og skall som også inneholder fiberarmering skal ha en armering i hovedretningene med et tverrsnittsareal som minst svarer til:

$A_s = 0,6 A_c (f_{ctm} - f_{fkr, res, 2,5}) / f_{yk}$	horisontalt i yttervegger
$A_s = 0,3 A_c (f_{ctm} - 1,5 f_{fkr, res, 2,5}) / f_{yk}$	for øvrig i vegger, horisontalt og vertikalt
$A_s = 0,6 A_c (f_{ctm} - f_{fkr, res, 2,5}) / f_{yk}$	i skiver og skall, begge retninger

Vegger, skiver og skall kan utføres uten vanlig stangarmering dersom det kan påvises beregningsmessig at den valgte mengden fiberarmering er tilstrekkelig til å oppta de krefter som oppstår fra laster, svinn- og temperaturendringer.

I vegger som hovedsakelig er påkjent av bøyning fra sidetrykk, skal også bestemmelsene om minimumsarmering i plater etter punkt gitt foran være oppfylt.

6.4.5 Fundamenter

Fundamenter kan utføres uten vanlig stangarmering. For øvrig gjelder krav til påvisning av kapasitet for moment og skjærkrefter gitt i denne rapporten. For fiberarmerte fundamenter foreslås følgende tilpasninger til Eurocode 2:

Fundamenter uten stangarmering skal ikke ha mindre tykkelse 200 mm. Unntatt fra dette kravet er lastbærende plater direkte på grunnen ved husbygging.

For vegg- og søylefundamenter, kan kravet til minimum stangarmering regnes som for plater, se punkt foran.

6.4.6 Forankring av armering

Bruk av fiber i kombinasjon med vanlig armering anses ikke å innvirke på beregningsreglene i Eurocode 2 vedrørende krav til forankring og skjøting av armering.

6.4.7 Støpeskjøter

På tvers av alle støpeskjøter skal det i alminnelighet foreskrives en minimumsarmering som ikke er mindre enn den som er forlangt i Eurocode 2 for de delene som støpes sammen uten bidrag fra stålfiberne.

7 Referanser

-ACI Committee 544: Report on Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, 2001.

-ACI Committee 506: Guide to Fiber Reinforced Shotcrete, American Concrete Institute, November 2008.

-ACI Committee 544: Report on the Physical Properties and Durability of Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, March 2010.

-ACI Committee 544: Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, November 2008.

Carlswärd, J. (2006): *Shrinkage cracking of steel fibre reinforced self compacting concrete overlays: test methods and theoretical modeling*. Doctoral thesis, Luleå university of technology; Sweden.

-Concrete Society: Guidance for the design of steel-fibre-reinforced concrete, Technical Report No 63, Surrey, Great Britain, March 2007.

-Concrete Society: Guidance on the use of macro-synthetic-fibre-reinforced concrete, Technical Report No 65, Surrey, Great Britain, April 2007.

Døssland, ÅL, (2008) Fibre reinforcement in load carrying concrete structures, PhD thesis, Department of Structural Engineering, NTNU, Trondheim.

-DAfStb Recommendations for Steel Fibre Concrete. Amendment to DIN 1045, parts 1-4 (08/2008)

Engstrøm, B. (2006) Restraint cracking of reinforced concrete structures. Undervisningsmateriell, Chalmers University of Technology.

FIB Model Code, First Complete Draft (March 2010). Including communications within Task group 8.6: Fibre Reinforced Concrete.

Jansson, A., Løfgren, I. Gylltoft, K. (2008) Design methods for Fibre Reinforced Concrete: A state of the art review. Nordic Concrete Research, publication no 38.

Jansson, A. (2011) Effects of Steel Fibres on Cracking in Reinforced Concrete. Doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg.

Johnston, D.(1996) Proportioning, mixing and placement of fibre-reinforced cements and concretes, Production methods and workability of concrete, edited by Bartos, Marrs and Cleland, E&FN Spon, London.

Kanstad, T.(ed) (2003) International workshop. Design rules for Steel Fibre Reinforced Concrete Structures, Veidekke ASA, Oslo.

Kanstad, T.(ed) (2008) International workshop. Fibre reinforced concrete, NTNU, Trondheim.

Løfgren, I. (2008) Calculation of crackwidth and crack spacing In Proceedings of the International workshop and miniseminar: Fibre Reinforced Concrete, NTNU, Trondheim.

Norsk Betongforenings Publikasjon nr. 7. Sprøytebetong

Norsk Betongforenings Publikasjon n nr. 29. Selvkomprimerende betong

NS-EN 206-1 Betong Del 1: Spesifikasjoner, egenskaper, framstilling og samsvar.

NS-EN 1992-1-1 (2008) Prosjektering av betongkonstruksjoner. Almenne regler og regler for bygninger (Eurocode 2)

NS-EN 13670 (2010) Utførelse av betongkonstruksjoner

NS-EN 14487-1: Sprøytebetong Del 1: Definisjoner, spesifikasjoner og samsvar

NS-EN 14487-2: Sprøytebetong Del 2: Utførelse

NS-EN 14488-3: Prøving av sprøytebetong Del 3: Bøyestrekfasthet (rissfasthet, bruddfasthet og restfasthet) av fiberarmerte prøvebjelker

NS-EN 14488-7: Prøving av sprøytebetong Del 7: Fiberinnhold I fiberarmert betong

NS-EN 14651 Prøvingsmetoder for betong med metalliske fibre – Måling av bøyestrekfasthet.

NS-EN 14721 Prøvingsmetode for betong med metalliske fibrere. Måling av fiberinnhold i fersk og herdnet betong.

NS-EN 14845 Prøvingsmetoder for fibre i betong (DIN metode (Tyskland)

NS-EN 14889-1: Fibere for betong – Del 1: Stålfibre - Definisjoner, krav og samsvar

NS - EN14889-2: Fibere for betong – Del 2: Polymerfibre - Definisjoner krav og samsvar

Sandbakk, S., Kanstad, T. (2011) Panel- and Beam testing of Fibre Reinforced Concrete. In the proceedings of the XXI Nordic Concrete research meeting, Finland, May 2011.

Sandbakk, S (2011) Fiberarmert betong: Eksperimentelle undersøkelser og materialutvikling. PhD-avhandling som utgis høsten 2011.

”The European Guidelines for Self-Compacting Concrete”

Vikan, H. (2008) Fresh fibre reinforced Concrete – A state of the Art report. In Proceedings of the International workshop and miniseminar: Fibre Reinforced Concrete, NTNU, Trondheim.

Vikan, H. (2008) Fresh fibre reinforced Concrete – A state of the Art report. COIN report, SINTEF, Trondheim

Vikan, Sandbakk, Kanstad (2011) Material properties influencing concrete residual bending strength – Experimental study. COIN Project report 28.

Tillegg A1: Metode for registrering av stålfiberinnhold og -fordeling i fersk fiberarmert betong.

Utstyr:

Thaulowbøtta = 10 liter eller luftmålerbøtta = 8 liter.

Stukepinne.

Bøtter til å ta ut prøver, 3 stk.

Bøtter til å ha under fiberteller, 2 stk.

Fiberteller for stål.

Strømtilgang/skjøteledning.

Vann til å spyle.

Poser/esker med merkelapper til prøvene.

Olje/formfett.

Vekt for å veie fibre.

Vekt for å veie thaulowbøtte med betong.

Hansker

Forarbeid:

Kontroller at utstyret er rent og i orden.

Rigg opp fibertelleren, plasser tom bøtte under, koble til strøm og ha vannslangen tilgjengelig.

Ha formfett på innsiden av fibertelleren.

Vei den tomme Thaulowbøtta for siden å kunne finne densiteten til betongen.

Utførelse:

Ta ut tre prøver fra betongbilen, hver på minst 10 liter. En fra starten, midten og slutten. Merk prøvene. Hell så den første prøven over i Thaulowbøtta/luftbøtta (i tre omganger. Fyll 1/3, stuk så 25 ganger gjennom laget. Fyll på 1/3 til, stuk gjennom dette laget også 25 ganger. Fyll til slutt den siste 1/3 av bøtta og stuk gjennom dette øverste laget 25 ganger.) Sag av toppen med stukepinnen. Vei den fulle bøtta med betong for å finne densiteten.

Skru på bryteren på stålfibertelleren slik at det vibrerende bordet starter. Hell så Thaulowbøtta/luftbøtta med betong forsiktig gjennom stålfibertelleren. Skru av det vibrerende bordet. Skyll av telleren. Åpne døra og skyll spesielt av magneten. Dra fibre av magneten og hell over i posen merket ”prøve start”. Lukk døren, skru på det vibrerende bordet og hell forsiktig prøven gjennom en gang til. Skru av det vibrerende bordet, skyll av, dra så de siste fibre av og hell over i posen merket ”prøve start”. Gjenta så dette for ”prøve midt” og ”prøve slutt”. Vei så de rene fibre fra hver prøve på en vekt som måler ± 1 gram.

Testrapport:

En testrapport skal utarbeides og skal inneholde:

Dato og tid for testen.

Fiberinnholdet i hver av de 3 prøvene til det nærmeste gram.

Den kalkulererte fibermengden for hver prøve til nærmeste kg/m^3 .

Gjennomsnittlig fiberinnhold til nærmeste kg/m^3 .
Datablad for den type fiber som er brukt.
Betongseddelen fra blandeverket.
Densitet for betongen.
Dato, tid og underskrift av kontrolløren.

Feilmargin/presisjon:

Samsvar er oppnådd når middel av tre etterfølgende prøver er større enn angitt fibermengde i resepten minus 10%. Ingen testresultat skal være mindre enn eller lik $0,85 \cdot \text{nominelt fiberinnhold}$.

SINTEF Building and Infrastructure is the third largest building research institute in Europe. Our objective is to promote environmentally friendly, cost-effective products and solutions within the built environment. SINTEF Building and Infrastructure is Norway's leading provider of research-based knowledge to the construction sector. Through our activity in research and development, we have established a unique platform for disseminating knowledge throughout a large part of the construction industry.

COIN – Concrete Innovation Center is a Center for Research based Innovation (CRI) initiated by the Research Council of Norway. The vision of COIN is creation of more attractive concrete buildings and constructions. The primary goal is to fulfill this vision by bringing the development a major leap forward by long-term research in close alliances with the industry regarding advanced materials, efficient construction techniques and new design concepts combined with more environmentally friendly material production.

