

Fiberarmert betong

Fiber reinforced concrete

Trondheim Mai 2020

Navn studenter:

Rune Evjen

Eivind Hammerø kroknes

Intern veileder:

Roger Bergh

Ekstern veileder:

Christie & Opsahl AS

Prosjektnr:

25 - 2020

Rapporten er ÅPEN



NTNU

Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

I denne bacheloroppgaven ønsker vi å se nærmere på bruken av fiberarmert betong. Fiberarmering er små korte fiber av stål, plast og lignende. Det finnes mange ulike typer fiberarmering som har forskjellig form og er laget av forskjellige materialer. Formålet med å bruke fiberarmering er i all hovedsak å kunne erstatte tradisjonell slakkarmering, men det finnes også flere grunner til å bruke det.

Gjennom vår oppgave ønsker vi å samle inn informasjon som omhandler bruken av Fiberarmering, og sammenligne dette med bruken av tradisjonell slakkarmering. Kan fiberarmering være et bedre alternativ, når det kommer til tid, kostnad, kvalitet, miljøet eller HMS, og finnes det andre faktorer som gjør at fiberarmering kan være et bedre alternativ.

Vi ønsker også å kjøre konstruksjonsanalyser av enkle konstruksjoner, som bjelker, søyler, vegger eller dekker, hvor fiberarmering kan være aktuelt. Gjennom konstruksjonsanalysene ønsker vi å danne oss en mer konkret sammenlikning mellom slakkarmering og fiberarmering for å se om det i enkelte tilfeller kan være mer hensiktsmessig å bruke fiberarmering.

Stikkord fra prosjektet:

Fiberarmert betong

Dimensjoneringsregler

Egenskaper

Dokumentasjon

Miljø

Byggetid

Kostnader

Kvalitet

Keywords from the project:

Fiber reinforced concrete

Rules of dimensioning

Properties

Documentation

Environment

Construction time

Costs

Quality

Forord

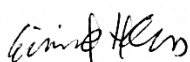
Denne bacheloroppgaven er skrevet ut ifra et forslag fra Christie & Opsahl AS om å se på mulighetene ved bruk av fiberarmert betong i konstruksjoner. Det var også et ønske om at fiberarmeringen skulle sammenliknes med den tradisjonelle slakkarmeringen som brukes mest i dag. For oss hørtes dette ut som en veldig spennende oppgave, og når veileder Roger Bergh var positiv til oppgaven var valget enkelt. Sammen med Christie bestemte vi oss for at kostnad, kvalitet, tid, HMS og miljø var viktige temaer å ta stilling til, og dermed ble dette utgangspunktet for rapporten. Vi mente også at det var viktig å presentere fiberarmeringen som materiale, både for vår egen læring og for eventuelle lesere. Målet var å skrive en rapport som kan komme til nytte for oss, og andre interesserte, i framtiden. Derfor består store deler av rapporten av innsamlet informasjon, som ble oppfattet som viktig for å forstå armeringen, og for å ha et grunnlag for resultatene i hoveddelen.

Det var to publikasjoner som ble veldig sentrale for innhenting av informasjon, COIN-rapporten fra 2011 og NB38 som nylig ble publisert (2020). Disse beskriver retningslinjer og dimensjoneringsregler for bruk av fiberarmering i Norge. Det var også noen masteroppgaver som tok for seg dette temaet. Vi har begge fagbrev innenfor byggebransjen, så erfaringer fra tiden i arbeidslivet har vært nyttig for forståelsen og beskrivelse av forhold på byggeplassen.

Selve skrivingen av rapporten gikk veldig greit. Det som har vært krevende var å finne tilstrekkelig med informasjon om alle punktene. Delen om miljøpåvirkninger er for eksempel preget av mangel på utførte tester og dokumentasjon på området. Det har vært veldig spennende og lærerikt å jobbe med denne oppgaven. Vi føler vi har hatt stort utbytte ikke bare av selve prosessen, men også informasjonen som har kommet frem.

Når det kommer til hvordan det var å jobbe som gruppe, ble det preget av Korona-situasjonen. Mesteparten av kommunikasjonen oss imellom skjedde gjennom meldinger, og i noen tilfeller på Skype. Uansett gikk utførelsen av oppgaven bra, og fremgangen var god gjennom hele semesteret.

Trondheim, 20.05.2020



Eivind Hammerø Kroknes



Rune Evjen

Sammendrag

Denne oppgaven er en litteraturstudie om fiberarmert betong. Dette innebærer historie, typer, bruksområder, egenskaper, prøvingsmetoder og regelverk. Det blir også diskutert hvilke bruksområder som kan være aktuell i fremtiden.

Forskning på fiberarmering, og hvilke egenskaper den gir betongen, viser at denne type armering er veldig aktuell i byggenæringen i dag. I denne oppgaven presenteres de positive egenskapene fiberen gir til betongen i forskjellige konstruksjoner, og videre sammenlignet med den tradisjonelle slakkarmeringen. Problemstillingen setter spørsmål om hvorvidt fiberarmering kan måle seg opp mot slakkarmering med tanke på tid, kostnad, HMS, miljø og kvalitet.

Det viser seg at fiberarmering presterer veldig godt sammenlignet med tradisjonell armering. Tiden som går med til armering vil kunne reduseres betraktelig. Siden montering av armeringsjern er veldig tidkrevende, og fiberarmering tilsettes betongen under blandingsprosessen, avhenger dette kun av hvor mye vanlig slakkarmering som kan erstattes med fiber. Det viser seg også at HMS på byggeplassen kan forbedres og bli lettere å opprettholde, med fiber som armering. Selv om innkjøpskostnadene til fiberarmering per dags dato er høyere enn slakkarmering, er det potensiale for kostnadsbesparelse. Dette skyldes tidsbesparelsene og reduksjonen av arbeidsmengde som kan komme med bruken av fiber.

Egenskapene fiberarmering tilfører betongen har mange positive effekter på kvaliteten. Bruk av fiberarmering har blant annet gjennom lengre tid vist at den er effektiv på å minske rissvidder i betongoverflaten, og å hjelpe betongen å bli mer duktil. Reduksjonen av rissviddene gjør betongen mer motstandsdyktig mot vannlekkasjer og inntrengning av andre stoffer. Dette gjør betongen mindre utsatt for korrosjon. Fiberens evne til å ta opp strekkspenninger i konstruksjonen (reststrekkfastheten), samt gode egenskaper til å ta opp skjærkrefter, er grunnen til at fiberarmering nå blir mer og mer vanlig.

Når det kommer til forurensing av miljøet, vil selve produksjonen av fiberarmering føre til høyere utslipp enn slakkarmeringen. Grunnen til det er den store mengden fiber som trengs for å oppnå tilstrekkelig bæreevne. Når det gjelder andre faktorer som påvirker miljøet, som for eksempel levetiden på konstruksjonen, er det enda lite dokumentasjon. Muligens kan fiberarmeringens forbedring av betongkvaliteten føre til at konstruksjoner har lengre levetid, og derfor utgjøre en miljøfordel.

I Norge er begrenset tilgang på regelverk og dimensjoneringsveiledning grunnen til at fiberarmering er lite brukt. Med den nye publikasjonen fra Norsk betongforening, NB38 fiberarmert betong i

bærende konstruksjoner, kan dette endre seg. Publikasjonen tar for seg dimensjoneringsprinsipper og egenskaper til fiberarmering i bærende konstruksjoner. I tillegg skal den nye versjonen av Eurokode 2, som er antatt å komme i 2023, inneholde regler og retningslinjer for bruken av fiberarmering i betong. Dette er en positiv utvikling for fiberarmeringens fremtid.

Abstract

This thesis is a literature study on fiber reinforced concrete. The study includes history, fiber types, usages, material properties, test methods and regulations. The thesis also discusses which applications that may be relevant in the future.

Research on the usage of fiber reinforcement and what properties it gives the concrete, has shown that fiber as a type of reinforcement is highly applicable in today's construction industry. This thesis presents the different qualities of both traditional reinforcement and fiber reinforcement, and how they affect concrete builds and structures. The principal aim of this study is to determine if one can benefit from using the fiber reinforcement, in comparison to traditional reinforcement. The factors we have taken encounter in this comparison is construction time, cost, HSE, environment impact and quality.

It turns out that fiber reinforcement performs well compared to traditional reinforcement. The assembly of the traditional reinforcement is time consuming compared to fiber reinforcement. Because of its lesser size, fiber reinforcement can be mixed in during the concrete mixing and therefore reducing time spent in this process. Although, one will still be dependent on how much traditional reinforcement can be replaced by fibers to see timesaving effect. It also turns out that HSE on the construction site can be improved and easier to maintain with fiber as reinforcement. Although the purchase cost of fiber reinforcement is higher than that of traditional reinforcement, the overall benefits of using fibers can potentially result in cost savings. The saving in construction time and the reduction in workload can make fiber reinforcement a cheaper alternative.

The qualities that fiber reinforcement add to the concrete has many positive effects on the quality of the constructions. The use of fiber reinforcement has, among other things, for a long time shown that it is effective in reducing crack widths in the concrete surface, and in helping the concrete become more ductile. The reduction of crack widths helps make the concrete more resistant against water and other potentially harmful substances getting into the traditional reinforcement causing corrosion. The fibers ability to absorb tensile stresses in the concrete structure (residual tensile strength), as well as the ability to absorb shear forces, is why fiber reinforcement is becoming more and more common.

When it comes environment emissions, the actual production of fiber reinforcement will lead to higher emissions than the traditional reinforcement. The reason behind this is the large amounts of fiber needed to achieve sufficient load capacity. Regarding other factors affecting the environment, such as the life of the construction, there is still little documentation. Possibly, the use of fiber reinforcement can lead to longer lifespan of constructions and therefore constitute as an environmental advantage.

In Norway, limited access to regulations and design guidance is why fiber reinforcement usage is limited. With the new publication from the Norwegian Concrete Association, NB38: fiber reinforced concrete in load-bearing structures, this might eventually change. The publication deals with the design principles and properties of the fiber reinforcement. In addition, the new version of Eurocode 2 will contain rules and guidelines for the use of fiber reinforcement in concrete. This is a positive development for the future of fiber reinforcement.

Figurliste

Figur 1. Museum of Civilizations of Europe and the Mediterranean.	3
Figur 2. Inngangspartiet til L´Oceanografic ferdig bygget og under konstruksjon.	4
Figur 3. a; Nasjonalmuseet i Qatar. b: Ørkenrose.	4
Figur 4. CMG hovedkvarter.	5
Figur 5. Vanlige fiberformer (8)	6
Figur 6. Polymerfiber med riller.	7
Figur 7. Møbler av fiberarmert betong.	9
Figur 8. Kamstål (19)	12
Figur 9. Betongdisser (20)	13
Figur 10. Helikopter (20)	13
Figur 11. Hvordan størrelsesforholdet mellom tilslag og fiber påvirker fiberfordelingen	14
Figur 12. Eksempel på fiberballing.	15
Figur 13. Fiberrulle (21)	16
Figur 14. Egenskaper for betong i enaksialt trykktilfelle	17
Figur 15. Rissdannelse i betong (23); a) dannelse av mikroriss; b) dannelse av makroriss.	18
Figur 16. Standard last/CMOD kurve for fiberbetong og vanlig betong (25)	19
Figur 17. Sammenligning mellom karakteristisk reststrekkfasthet og karakteristisk restbøystrekkfasthet fra NB38.	20
Figur 18. illustrasjon av duktilitetsklassene	22
Figur 19. Spenningsoppbyggingen i en fiber etter "shear lag theory"	23
Figur 20. Eksempler på brudd i stålfiberarmert betong: (a) Bjelkeprøve; (b) nærbilde av deformert fiber med endekrok; (c) enaksial strekkprøve. (26)	24
Figur 21. Typisk uttrekksforløp for fiber med endekroker (25)	25
Figur 22. Fordeling av ruller på prøveeksempelet. (1) Støtteruller. (2) Lastrulle.	31
Figur 23. Oppsett av testforsøk	32
Figur 24. Illustrasjon av relasjonen mellom karakteristisk reststrekkfasthet og karakteristisk restbøystrekkfasthet.	35
Figur 25. Spennings- og tøyingsfordeling for rektangulært tverrsnitt av armert fiberbetong utsatt for ren bøyning.	37
Figur 26. Spennings- og tøyingsfordeling for rektangulært tverrsnitt av fiberarmert betong utsatt for ren bøyning (4)	38
Figur 27. Virkning av fiber på M-N diagram. (4)	38
Figur 28. Plassering av kritisk kontrollsnitt	42

Figur 29. Plassering av kritisk kontrollsnitt for vanlige tilfeller.....	43
Figur 30. Definisjon av medvirkende platebredde b_s for bestemmelse av effektivt armeringsforhold for a) indre søyler, b) endesøyler og c) hjørnesøyler	44
Figur 31. Viser vernehylser på oppstikkende armeringsstenger	61
Figur 32. Skade på betong som følge av korroderende armering.	67
Figur 33. Beregningseksempel av kontorbygg fra NB 38.....	75

Tabelliste

Tabell 1. Oversikt over typer stålfiber (3).....	7
Tabell 2. Typer polymerfibre (3).....	8
Tabell 3. Doseringsprosedyrer av fiber (3).....	15
Tabell 4. En samling mekaniske egenskaper for enkelte fibermaterialer brukt i betong (22)	17
Tabell 5. Fasthetsklasser for betong.....	21
Tabell 6. Restfasthetsklasser fra NB38	21
Tabell 7. v/c forhold og sementinnhold	27
Tabell 8. Systemer for samsvarsattestering (Tabell ZA.2 i EN 14889)	53
Tabell 9. Oversikt over forskjellige typer stålfibre.....	55
Tabell 10. Toleranser, lengder og diameter av stålfiber.....	55
Tabell 11. Oversikt over ulike materialer i polymerfiber.....	57
Tabell 12. Toleranser lengden og diameteren av polymerfiber	57
Tabell 13. Armeringsmengder i kjellervegg.....	64
Tabell 14. Utrechnet CO ₂ -utslipp per meter vegg for de forskjellige armeringsmetodene	65

Innholdsfortegnelse

Forord.....	i
Sammendrag.....	ii
Abstract.....	iv
Figurliste.....	vi
Tabelliste.....	viii
Innledning	1
1. Historie.....	2
1.1. Eksempler på fiberarmerte konstruksjoner.....	3
1.1.1. MuCEM Museum	3
1.1.2. L’Oceanogràfic	4
1.1.3. Nasjonalmuseet i Qatar	4
1.1.4. CMG hovedkvarter	5
2. Ulike typer fiberarmering.....	6
2.1. Stålfiber	7
2.2. Polymerfiber	7
2.3. Basaltfiber	8
2.4. Glassfiber	8
3. Bruksområder	9
3.1. Aktuelle bruksområder	10
3.2. Eksempler.....	10
3.2.1. Tunneler	10
3.2.2. Dekker	11
4. Slakkarmering	12
5. Produksjon og utførelse.....	14
5.1. Produksjon	14
5.1.1. Proporsjonering	14
5.1.2. Innblanding og fordeling av fiber.....	15
5.2. Utførelse	16

5.2.1.	Pussing og overflatebehandling	16
6.	Mekaniske egenskaper	17
6.1.	Fiberens effekt på betong i trykk	17
6.2.	Fiberens effekt på betong i strekk	19
6.2.1	Restbøystrekkfasthet	19
6.2.2	Reststrekkfasthet	19
6.3.	Fasthetsklasser	21
6.4.	Restfasthetsklasser	21
6.5.	Fiberens effekt på rissdannelse i betong	22
6.6.	Fiberens effekt på skjærkreftene i betongen.....	24
6.7.	Utdragningskapasiteten til fiber	25
6.8.	Fiberens virkning på kryp og svinn i betongkonstruksjoner	25
6.9.	Permeabilitet	26
6.10.	Konsistens	26
7.	Prøvmingsmetoder.....	27
7.1.	Referansebetong.....	27
7.1.1.	Utstyr.....	27
7.1.2.	Materialer	27
7.1.3.	Gjennomføring	28
7.2.	Effekt på styrke NS-EN 14845-2	28
7.3.	Måling av fiberinnhold av metalliske fibere i fersk og herdet betong.....	29
7.3.1.	Metode 1. Herdet betong	29
7.3.2.	Metode 2. Fersk betong.....	30
7.4.	Måling av bøyestrekfasthet (Proporsjonalitetsgrense og restfastheter).....	31
8.	Regelverk.....	33
8.1.	Dimensjoneringsprinsipper	34
8.2.	Bestandighet	36
8.3.	Bruddgrensetilstand.....	36
8.3.1.	Materialfaktorer.....	36

8.3.2.	Aksalkrefter og bøyemoment	36
8.3.3.	Momentkapasitet.....	37
8.3.4.	Samtidig virkende aksialkraft og moment	38
8.3.5.	Dimensjonering for skjærkraft med stangarmering på strekksiden	39
8.3.6.	Torsjonsmoment i bjelker.....	45
8.3.7.	Stavmodeller	46
8.4.	Brukgrensetilstanden	46
8.4.1.	Spenningsberegning.....	46
8.4.2.	Prinsipp for rissviddeberegning	46
8.5.	Forslag til konstruksjonsregler for ulike typer konstruksjoner	49
8.5.1.	Generelt	49
8.5.2.	Plater på mark.....	49
8.5.3.	Bjelker	50
8.5.4.	Plater	50
8.5.5.	Flatdekker	50
8.5.6.	Søyler	51
8.5.7.	Vegger, skiver og skall.....	51
8.5.8.	Fundamenter.....	51
8.5.9.	Forankring av armering.....	52
8.5.10.	Støpeskjøter	52
8.6.	Bruk av kapittel 12 i Eurokode 2.	52
9.	Materialdokumentasjon	53
9.1.	CE-merking av fiber	53
9.2.	Bestemmelse av dimensjoner på fiber	54
9.3.	Stålfiber	55
9.4.	Polymerfiber	57
9.5.	Bestemmelse av fiberens effekt på betongen	58
10.	Hoveddel: Fordeler og ulemper med fiberarmert betong.....	59
10.1.	Tid.....	59
10.2.	Kostnad	60
10.3.	HMS.....	61

10.4.	Miljø	63
10.5.	Kvalitet	67
11.	Konstruksjonsanalyser	69
11.1.	Fritt opplagt bjelke	69
11.1.1.	Minimumsarmering:	70
11.1.2.	Bruddgrensetilstand.....	71
11.2.	Dekker i kontorbygg fra NB 38.....	75
12.	Drøfting og konklusjon.....	77
13.	Kildehenvisning	79
	Vedlegg	83

Innledning

Bygg og anleggsbransjen er en viktig og stadig voksende bransje. Prosjektene er mange, men konkurransen er stor og lønnsomheten synker. Betong er et velkjent og utbredt materiale innenfor bransjen. Det er et materiale som passer spesielt godt til bygg på grunn av sin høye trykkkapasitet. Men konstruksjoner utsettes også for andre krefter, og det er her armeringen kommer inn i bilde; for å styrke betongen der den ikke strekker til. Betongen er allerede god, men den har rom for forbedring. Det forskes stadig på nye løsninger for å forbedre betongen, hva kan gjøres for at betongen blir bedre? Aktuelle temaer er ofte miljø, pris, kvalitet og motstandsdyktighet mot et klima som blir mer og mer utfordrende. Betongproduksjon er blant annet en stor bidragsyter til verdens CO2 utslipp. Det er også dyrt, og arbeidet kan ofte føre til uheldige situasjoner. Bygg og anleggsbransjen har lenge vært blant de yrkene med mest arbeidsulykker. (1)

I denne bacheloroppgaven er fokuset på fiberarmering i betong, og hvilke fordeler bruk av denne type armering kan bringe med seg. Med problemstillingen «hvordan presterer fiberarmering i betong med tanke på tid, kostnad, kvalitet, HMS og miljø i sammenlikning med tradisjonell slakkarmering?» vil denne bacheloroppgaven innlede med en innføring i fiberarmering som materiale, og videre til sammenlikning av de to typene armering. Dette inkluderer en konstruksjonsanalyse av både dekke og bjelke som viser forskjellene mellom fiberarmering og slakkarmering med tanke på armeringsmengde og kapasitet. Fordelene og ulempene med fiberarmering blir presentert for å prøve å gi et helhetsinntrykk av bruken av denne type armering. Grunnen til interessen for dette er at fiberarmering allerede er et godt alternativ til bruk i stedet for, eller i en kombinasjon med slakkarmering, og at det har høyt potensiale til å bli bedre og kanskje erstatte den tradisjonelle armeringen på flere områder i framtiden. I denne oppgaven skal det imidlertid tas stilling til hvordan armeringen er i dag, og hvilke bruksområder den kan ha som den er.

1. Historie

Det første som ble brukt som kan minne om fiberarmering var strå og hestehår som i oldtiden, for over 4500 år siden, ble brukt til å forsterke mur i konstruksjoner. Det var også første typen armering som ble brukt. Det var ikke før på 1800-tallet ideen om å bruke kontinuerlige stålfibre, og senere stålstenger kom. Fra 1898 ble det brukt asbestfiber i for eksempel sementpasta, men i likhet med andre asbestprodukter ble det tatt ut av bruk på grunn av helseskadene asbesten kan føre med seg. Etter det, på 1960-tallet da utviklingen av fiberarmering begynte å ta seg opp, ble det introdusert nye typer fiberarmering. Den mest populære fibertypen, stålfiber, har vært brukt i betong i noen tilfeller i godt over 100 år. Den første registrert patentsøknaden er fra 1874. Selv om det ikke var før under 2. verdenskrig at stålfiber ble brukt i større konstruksjoner, da det ble brukt i veier og på flyplasser. (2)

Etter hvert som man har begynt å se hvor nyttig fiberarmering kan være, har en rekke organisasjoner og bedrifter begynt å forske på og teste fiberarmering. Rundt 1970-1980-tallet da moderne instrumenter for testing og analysing av betongens egenskaper begynte å utvikles, ble det oppdaget hvor store fordeler man faktisk får av å bruke fiber i betongen. (2)

I 2011 utga COIN et «Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner» som var lenge etterlengtede retningslinjer for fiberarmering i Norge. I 2020 kom Norsk betongforening med publikasjon nr. 38 som heter «fiberarmert betong i bærende konstruksjoner», som tar for seg fiber som armering og beregninger av fiber i bærende konstruksjoner. Den tar blant annet utgangspunkt i COIN sin publikasjon fra 2011. (3,4)

Selv om fiberarmering brukes en del i andre land har det frem til nå vært lite brukt i Norge, og det har som regel kun vært brukt i ikke-bærende konstruksjoner. Nå som det blir publisert flere og flere retningslinjer og veiledere for bruk av fiberarmering i forskjellige typer konstruksjoner, også bærende, vil man trolig se en økning i bruk av fiberarmering i betongkonstruksjoner fremover. Det er også forventet at det skal komme en revidert Eurocode 2 i 2023, som inkluderer flere retningslinjer for bruk av fiberarmering. (4)

1.1. Eksempler på fiberarmerte konstruksjoner.

Fiberarmering har mange gode kvaliteter som har ført til at det er blitt brukt i flere ulike betongkonstruksjoner. Utviklingen av fiberarmert betong har gitt nye muligheter med tanke på bæreevnen til konstruksjoner, og spennende løsninger på bygningers arkitektur som man kan se på eksemplene nedenfor.

1.1.1. MuCEM Museum

MuCEM Museum i Marseille, Frankrike er et eksempel på hvordan egenskapene til fiberarmering kan utnyttes for å skape fantastisk arkitektur. Museet som ble bygget i 2014 er designet av arkitekten Rudy Ricciotti, og skal representere byens dynamikk og kultur. Betongen som ble brukt i denne konstruksjonen var Ultra-High Performance Fibre-Reinforced concrete (UHPFRC). (5)



Figur 1. Museum of Civilizations of Europe and the Mediterranean.

1.1.2. L'Oceanogràfic

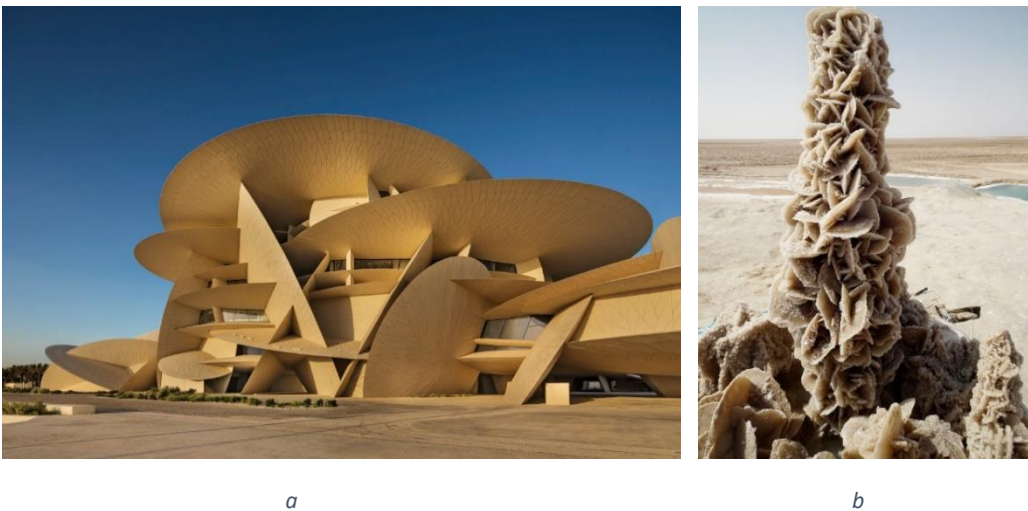
L'Oceanogràfic som er et Oceanarium i Valencia, er også et godt eksempel på hvordan fiberarmering kan brukes i skallkonstruksjoner. Bygget er designet av Félix Candela før hans død i 1997, men ble bygget i 2001. Taket på bygningen er en skallkonstruksjon med en tykkelse som varierer fra 60 mm til 225 mm. Fibermengden som er brukt er 40 kg/m^3 . (6)



Figur 2. Inngangspartiet til L'Oceanogràfic ferdig bygget og under konstruksjon.

1.1.3. Nasjonalmuseet i Qatar

Nasjonalmuseet i Qatar er enda et eksempel på hvordan fiberarmering har skapt nye muligheter innenfor arkitektur. Bygget ble åpnet i 2019 og består av 539 fiberarmerte paneler med diameter på opptil 87 meter. Den franske arkitekten Jean Nouvel har designet bygget og ble inspirert av ørkenroser som naturlig formes i ørkenen. (7)



a

b

Figur 3. a; Nasjonalmuseet i Qatar. b: Ørkenrose.

1.1.4. CMG hovedkvarter

Hovedkvarteret til China Media Group ble ferdig konstruert i 2012 og ble designet av Rem Koolhaas og Ole Scheeren. Byggets bæresystem består for det meste av stål, men inneholder også søyler av fiberarmert betong på grunn av de enorme kreftene som må tas opp. Høyden på bygget er 234 meter. (8)

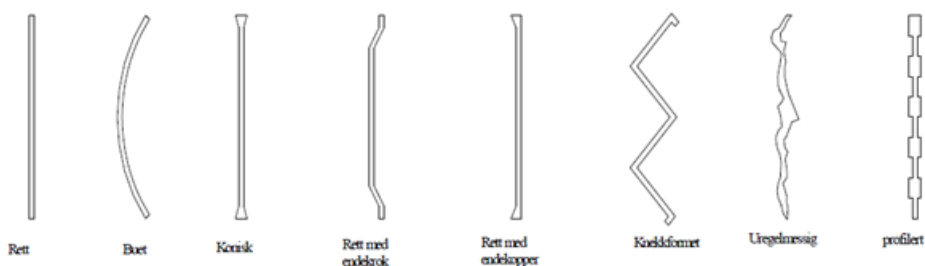


Figur 4. CMG hovedkvarter.

2. Ulike typer fiberarmering

Fiberarmering er små fibre som fordeles jevnt utover betongen. Den tilsettes betongen allerede når den blandes, for å få en vilkårlig retning og utbredt fordeling på fibrene, og dermed best mulig resultat. Siden fiberne har best effekt når den er jevnt fordelt, og har forskjellige retninger, kan det oppstå problemer knyttet til vibrering av betongen. Dersom det brukes stavvibrator for vibrering av betongen, kan fiberkonsentrasjonen rundt vibratoren bli endret. Dette kan skape soner i betongen hvor man får lavere fiberkonsentrasjon. For å forhindre denne effekten, bør man være nøye med å føre stavvibratoren med jevn hastighet i betongen ved utstøping. På grunn av dette er det anbefalt å unngå bruk av stavvibrator, og heller vibrere på andre måter, eller bruke selvkompimerende betong. (4)

Den mest brukte fiberarmeringen i betong er stålfiber, men det finnes en rekke andre typer. De vanligste typene i tillegg til stålfiber er polymerfiber, basaltfiber og glassfiber. Fiberne kommer også i mange forskjellige former og lengder, figuren viser en rekke vanlige fiberformer som brukes i betong. (3)



Figur 5. Vanlige fiberformer (8)

2.1. Stålfiber

Fiberarmering av stål kommer vanligvis i størrelsesomfanget mellom 30-60 mm i lengde og 0,5-1,2 mm i diameter. Retningslinjene for bruk av stålfiber i betong står beskrevet i NS-EN 14889-1. Til nå er det kun stålfiber og polymerfiber som har fått egne spesifikke retningslinjer i Norsk standard. (3)

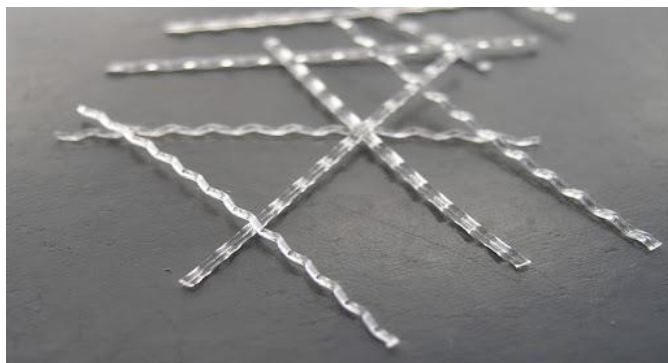
I Norge er det vanligst å bruke kaldtrukket ståltråd til fiberarmering, men i NS-EN 14889-1 er stålfibre beskrevet og kategorisert som vist i tabell 1 nedenfor, og skal være passelig til å blandes homogent inn i betong eller mørtel. (9)

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

Tabell 1. Oversikt over typer stålfiber (3)

2.2. Polymerfiber

Fiberarmering laget av polymermateriale er ikke brukt på samme måte som fiber av stål. Polymerfiber har lav elastisitetsmodul og gir liten eller ingen forbedring i styrken av betongen. Polymerfiber er mest effektiv i den tidlige fasen etter støpning av betongen. De motvirker svinnriss og reduserer vannutskillelse i betongen. Polymerfibre egner seg ikke på konstruksjoner som utsettes for høy varme, siden den smelter, men dette vil hindre avskalling av betongen når den utsettes for brann. Det vanligste materialet som blir brukt til å produsere polymerfibre er polypropylen, og for å sikre heft i betongen blir fibre produsert med riller eller knotter, som vist på figuren under. (10)



Figur 6. Polymerfiber med riller

Som nevnt har polymerfibre også egne retningslinjer beskrevet i Norsk standard, denne med kode NS-EN 14889-2. Her beskrives polymerfibre som «rette eller deformerte deler av ekstrudert, orientert og skåret materiale som er egnet til å blandes homogent i betong eller mørtel». Polymerfiber klassifiseres etter lengde. Klasse 1 er fibre under 30 mm og klasse 2 er fibre over 30 mm. Det er også satt opp en tabell for typene polymerfibre som finnes: (11)

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

Tabell 2. Typer polymerfibre (3)

2.3. Basaltfiber

Fiberarmering laget av basalt er organiske fibre, som gjør de mer miljøvennlig enn for eksempel polymerfibre. Basalt er et enkelt materiale og produksjonskostnadene av basaltfiber er lavere enn de fleste andre typene fiber. Basalt egner seg godt i betong siden det gir god heft, og det korroderer ikke. Andre fordeler med basaltfiber er at den tåler høye temperaturer og har høy slitestyrke. (12)

2.4. Glassfiber

Fiberarmering av smeltet glass er blant annet fordelaktig på grunn av sin lave vekt. De er også smidige fibre, så selv om de er veldig bøyelige vil de ikke få varige deformasjoner. Siden vanlige glassfibre ikke tåler alkaliske miljø, slik det er i betong, blir det produsert alkalieresistente glassfiber spesielt for bruk til betongkonstruksjoner. (13)

3. Bruksområder

I byggebransjen er fiberarmering lite brukt som eneste armering i betongen, men heller som en tilleggsarmering for blant annet å minske størrelsen av riss i betongen når den tørker. Noe fiberarmeringen har vist seg å være svært effektiv for. Grunnen til at fibre er effektiv her er at den omfordeler kreftene i betongen, og tar opp strekkrefter, som er kreftene som i størst grad forårsaker riss. Andre materialegenskaper man kan forbedres med fiberarmering er blant annet forbedret strekkstyrke, bestandighet, utmatningsstyrke, støtmotstand, motstand mot slitasje, brannmotstand og minke vannlekkasjer som en effekt av mindre riss. Det er også veldig effektivt å støpe med fiberarmering. Det er mye tid å spare i forhold til tradisjonell slakkarmering. I gulv og plater på mark og ikke-bærende vegger, har fiberarmering derimot blitt brukt som eneste armering, siden det ikke er fare for at det faller ned. (3,4)

I tillegg brukes fiberarmering i sprøytebetong for fjellsikring (Norsk Betongforening Publikasjon nr. 7) og i noen firmaer, for eksempel Byggimpuls AS, i produksjon av blant annet møbler og fasader av betong. Mye av grunnen til at det er så begrensede bruksområder, er at det mangler regelverk og retningslinjer for bruken, samt lite utbredt dokumentasjon på vellykkede tester av bruken. Selv om det i nyere tid har vært brukt på en rekke prosjekter. Noen av disse blir nevnt nedenfor. (14,15)



Figur 7. Møbler av fiberarmert betong

3.1. Aktuelle bruksområder

Siden fiberarmering ikke enda er anbefalt til bruk uten konvensjonell armering, der det er fare for liv ved sammenbrudd, er det ofte en kombinasjon som er mest aktuelt. Det er åpenbart at fiber kan forsterke betongen og noen gode bruksområder kan være til å ta opp bøyemoment og bruke det som skjærarmering. Er konstruksjonen påkjent moment og/eller aksialkraft, gir fiberarmering økt stivhet og fordeler rissene, samtidig som det øker momentkapasiteten. Fiberarmering er godt dokumentert for å være effektiv til å ta opp skjærkrefter. (3)

Fiberarmering kan også brukes alene, men da gjerne i konstruksjonsdeler som ikke blir påført horisontal belastning, eller der brudd ikke medfører nedstyrtningsfare. Banketter, vegger og i noen tilfeller søyler kan være aktuelle bruksområder. Deler av fundamenter og midtfeltet av slakk- og spennarmerte flatdekker kan også utføres med kun fiberarmering. Som nevnt tidligere er gulv og plater på mark og sprøytebetong områder fiberarmering allerede brukes en del. I tillegg kan fiberarmering benyttes som eneste armering i rør og kummer, fordrøyningsmagasin, mindre kulverter for kabelkanal, slisserenner, støttemurer og fundamenter for gjerder, skilt og lysmaster. (4)

3.2. Eksempler

3.2.1. Tunneler

Follotunnelen som går fra Oslo til Ski er omtrent 20 km lang. Det er en to-løps motorveitunnel langs E6. Denne tunnelen har en foring av prefabrikkerte betongelementer som er armert med tradisjonell stangarmering for å ta opp laster, men det er også brukt stålfiber for å oppnå en bedre rissfordeling. (4)

I Holmestadtunnelen i Vestfold er det også brukt fiberarmering. Her for å sikre tunnelveggene og for å få en mer vanntett vegg. Siden fiberarmeringen fordeler rissene, og gjør de mindre, vil det hjelpe mot vannlekkasjer og dermed frost i tunnelen. Det er brukt en «sandwichløsning» der de først har et lag med fiberarmert sprøytebetong, så et lag med vannbasert polymermembran og til slutt et enda et lag med fiberarmert sprøytebetong. Med denne løsningen sparte de mye penger, først og fremst fordi de trengte mindre betong. Denne løsningen er også brukt i Bærumstunnelen vest for Sandvika og i Gevingåsen jernbanetunnel. (16)

3.2.2. Dekker

Dekke på grunn er kanskje det vanligste bruksområdet for fiberarmering på en byggeplass. Men det finnes også tilfeller der fiberarmering har vært brukt i dekker som ikke ligger direkte på grunnen. For eksempel har Betonmast AS et prosjekt på Gulskogen senter i Drammen der dekket skal bæres av peler. Der ble beste løsning for å oppnå nødvendig kapasitet å bruke etterspent dekke i kombinasjon med fiberarmering og selvkompimerende betong. Fiberen erstatter tradisjonell skjær- og lengdearmering. Dekket er på 10 000 kvadratmeter og er en fornying av det tidligere dekket, som måtte byttes ut på grunn av store setningsskader. Prosjektet skal være ferdigstilt i første kvartal av 2020. (17)

Samme konsept er blitt brukt i flere prosjekter, blant annet i en parkeringskjeller på Munkvoll Gård og to kontorbygg i Trondheim (Tronheimsporten og Dora AS). (4)

4. Slakkarmering

Slakkarmering er som tidligere nevnt den tradisjonelle armeringen til bruk i betongkonstruksjoner. Den egner seg godt til alle typer konstruksjoner ved å gi betongen den strekkfastheten den mangler. Slakkarmering leveres i mange forskjellige dimensjoner og lengder, de kappes og bøyes for å passe ned i all slags forskalinger. Diameteren på armeringen strekker seg mellom 5 og 40 mm.

Armeringen tar opp strekkrefter, skjærkrefter (der det er nødvendig) og trykkrefter der betongen ikke er sterk nok. Det ble tidligere brukt glatte armeringsstenger frem til dagens «kamstål» ble tatt i bruk. Kamstål har riller, eller kammer (se bilde). Den legges inn forskalingen og monteres ved å «binde» de sammen med ståltråd før forskalingen fylles med betong. For å sikre at betongen fyller hele forskalingen vibrerer man betongen med en betongvibrator. Da legger den seg også fint rundt armeringen og rillene sørger for heft mellom armering og betong. (18)



Figur 8. Kamstål (19)

Etter støp må betongen som regel overflatebehandles. Denne behandlingen varierer etter hvilken overflate som er ønsket. Som regel er første del av behandlingen med betongdisser som gir en jevnere, men relativt grov overflate. For fundamenter som skal graves ned trengs gjerne ikke mer enn det, men for å få en finere overflate, pusses den. Pussing gjøres når betongen begynner å størkne og det pusses enten med brett eller helikopter. Bildene viser de forskjellige redskapene.



Figur 9. Betongdisser (20)



Figur 10. Helikopter (20)

Grunnen til at det kan være aktuelt å finne en erstatning til slakkarmering er at arbeidet med slik armering er veldig tidkrevende og sliter på kroppen til arbeiderne. I tillegg kan armeringsjern utgjøre en fare med tanke på penetrering ved fall, derfor må det brukes tid på å gjøre motvirkende tiltak. Med fiberarmering slipper man unna disse problemstillingene. De tilsettes i blandingsprosessen av betongen og krever ikke at man har arbeidere som legger ut og binder armering. Det kan potensielt spares tid, arbeidskraft og vil være fordelaktig med tanke på HMS. Spørsmålet er om det kan oppnås samme tekniske egenskaper ved bruk av fiberarmering kontra slakkarmering.

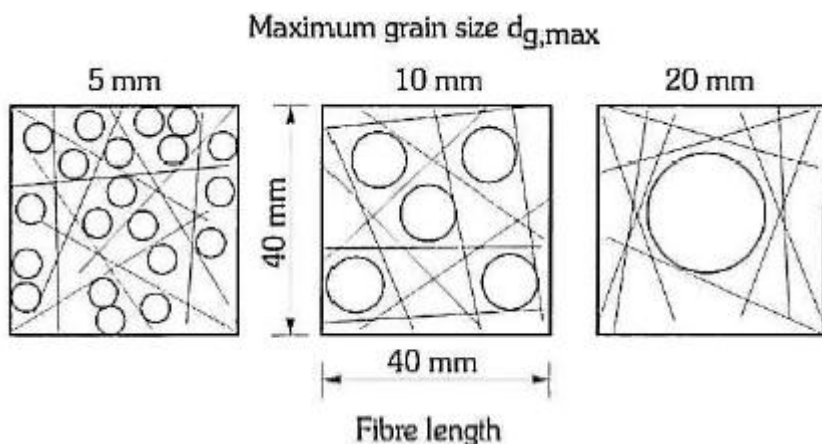
5. Produksjon og utførelse

Produksjon og utførelse ved bruk av fiberarmering må på lik linje som ved bruk av alle andre typer armering tilfredsstille kravene som står beskrevet i henholdsvis NS-EN 206-1 – «Betong. Del 1: Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar» og NS-EN 13670 – «Utførelse av betongkonstruksjoner – Allmenne regler». I tillegg skal kravene til kontrollklasse «Utvidet kontroll» iht NS-EN 1990/NA oppfylles. Den sier at prosjektering skal kontrolleres av en tredjepart utenfor organisasjonen som foretar prosjekteringen. (3)

5.1. Produksjon

5.1.1. Proporsjonering

Siden tilsetning av fiber, på grunn av sin form og konsentrasjon, påvirker bearbeidligheten til betongen, må proporsjoneringen av betongen av og til endres noe. Hvis det relative størrelsesforholdet mellom fiberlengden og tilslaget øker, vil betongens porøsitet øke. En regel er at tilslaget ikke skal overskride halve fiberlengden. For å forbedre bearbeidligheten til betongen bør det anvendes tilslag av mindre dimensjoner og større innhold av finstoff enn man vanligvis hadde brukt. Dermed må man også øke vanninnholdet. Figur 11 viser hvordan størrelsesforholdet vil påvirke porøsiteten og fiberfordelingen i betongen. (3)



Figur 11. Hvordan størrelsesforholdet mellom tilslag og fiber påvirker fiberfordelingen

Vibrering av betongen vil også påvirke fibreene på en negativ måte. Vibrering vil føre til at fibreene endrer retning og at blandingen ikke blir homogen. Dermed er det selvkompimerende betong som egner seg best når fiberarmering skal anvendes. Uansett må man være påpasselig med mengden fiber. For store mengder kan føre til fiberballing og betongen blir mindre støpelig og bearbeidelig. (3)



Figur 12. Eksempel på fiberballing

Det stilles spesielle krav til proporsjonering i selvkomprimerende fiberbetong. Det er viktig å få en jevn gradering av tilslaget. Man må også benytte plastiserende tilsetningsoffer for å øke flyten i betongen uten å ødelegge stabiliteten. Grunnen til dette er at synk-utbredelsen vil reduseres når fibermengden og fiberlengden økes. Derfor er det viktig å bestemme fibermengde og lengde før den selvkomprimerende betongen blir proporsjonert. (3)

5.1.2. Innblanding og fordeling av fiber

Etter NS-EN 206-1 er det leverdøren som henviser til doseringsutstyr og/eller fiber. Med fiberarmering er det viktig å bruke innblandingsmetoder som gir en god spredning av fibre og hindrer fiberballing. Den beste metoden nå er å tilsette fibre i blandemaskinene, for å sikre best mulig spredning i betongen. (3)

Disse to punktene hentet fra COIN-rapporten viser forutsetningene som settes for fibertilsetning ved dimensjonering av konstruksjoner hvor det brukes fiberarmering:

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

Punktene er henlagt ved tabell 3 som angir anbefalte prosedyrer for å oppfylle punkt 1:

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.

Tabell 3. Doseringsprosedyrer av fiber (3)

5.2. Utførelse

Ved støpning av betong med fiberarmering er det en del ting man må tenke på. Blant annet er kartlegging av eventuelle hindringer viktig. Hvis man ikke passer på kan hindringer som stangarmering og rør skape svakheter i betongen ved at det blir en ujevn fiberfordeling. (3)

I NS-EN 206-1 stilles det krav til at blandeverket gjennomfører prøver og dokumentasjon av materialegenskapene til fiberbetongen de leverer. Dette skal være i henhold til gjeldene standarder. Det skal også gjennomføres prøving ved mottak for å sikre at betongen er i samsvar med bestillingen. Prøving skal bestå av blant annet inspisering av betongens støpelighetsegenskaper, fiberinnhold og utprøving av fiberbetongens restbøyestrekfasthet. (3)

Når det kommer til transport og pumping av fiberarmert betong skal det utføres på samme måte som vanlig betong, men pumpe slangens lengde må tilpasses lengden av fiberarmeringen. Anbefalt pumpe slangediameter er satt til minst 1,5 ganger fiberlengden for å unngå fiberklumper og separasjon. (3)

5.2.1. Pussing og overflatebehandling

Når man bruker fiberarmering i betong kan det være fare for at noen av fibre stikker opp av betongens overflate. Dette er kanskje mest uheldig når det brukes i dekker, og ikke så mye i vegger siden fibre ikke kan stikke ut gjennom forskalingen under støpning. For å unngå oppstikking av fiber i for eksempel dekker, bruker man stort sett samme fremgangsmåter som ved vanlig betong, som dissing, helikopter og pussebrett, som er beskrevet i kapittel 4. Eneste forskjellen er at man kan få bruk for en fiberrulle. Fiberrullen dytter fibre som stikker opp ned under betongoverflaten og benyttes gjerne en stund etter støpning, på lik linje med pussebrett og helikopter, altså når betongen har begynt å størkne litt. (21)



Figur 13. Fiberrulle (21)

6. Mekaniske egenskaper

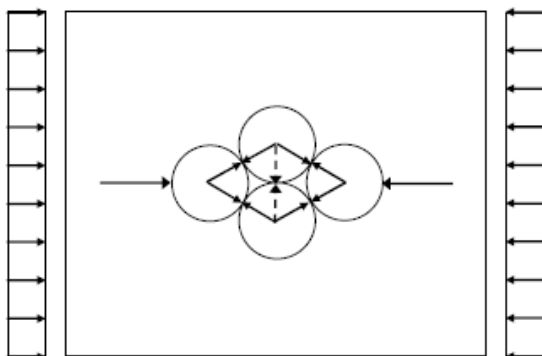
Fiberarmering er gjennom lang tid blitt testet og brukt i forskjellige betongkonstruksjoner. Det er gjennom denne tiden blitt utført mye tester og forsøk, på nettopp fiberarmering og dens mekaniske egenskaper. Den aller viktigste egenskapen til fiber er reststrekkfastheten. Det er denne grunnleggende egenskapen som gjør at fiber forsterker betongkonstruksjonen på flere områder. (3)

Type of fiber	Equivalent diameter, mm	Specific gravity, kg/m ³	Tensile strength, MPa	Young's modulus, GPa	Ultimate elongation, %
Acrylic	0.02 to 0.35	1100	200 to 400	2	1.1
Asbestos	0.0015 to 0.02	3200	600 to 1000	83 to 138	1.0 to 2.0
Cotton	0.2 to 0.6	1500	400 to 700	4.8	3.0 to 10.0
Glass	0.005 to 0.15	2500	1000 to 2600	70 to 80	1.5 to 3.5
Graphite	0.008 to 0.009	1900	1000 to 2600	230 to 415	0.5 to 1.0
Aramid	0.010	1450	3500 to 3600	65 to 133	2.1 to 4.0
Nylon	0.02 to 0.40	1100	760 to 820	4.1	16 to 20
Polyester	0.02 to 0.40	1400	720 to 860	8.3	11 to 13
Polypropylene (PP)	0.02 to 1.00	900 to 950	200 to 760	3.5 to 15	5.0 to 25.0
Polyvinyl alcohol (PVA)	0.027 to 0.66	1300	900 to 1600	23 to 40	7 to 8
Carbon (standard)	—	1400	4000	230 to 240	1.4 to 1.8
Rayon	0.02 to 0.38	1500	400 to 600	6.9	10 to 25
Basalt	0.0106	2593	990	7.6	2.56
Polyethylene	0.025 to 1.0	960	200 to 300	5.0	3.0
Sisal	0.08 to 0.3	760 to 1100	228 to 800	11 to 27	2.1 to 4.2
Coconut	0.11 to 0.53	680 to 1020	108 to 250	2.5 to 4.5	14 to 41
Jute	0.1 to 0.2	1030	250 to 350	26 to 32	1.5 to 1.9
Steel	0.15 to 1.00	7840	345 to 3000	200	4 to 10

Tabell 4. En samling mekaniske egenskaper for enkelte fibermaterialer brukt i betong (22)

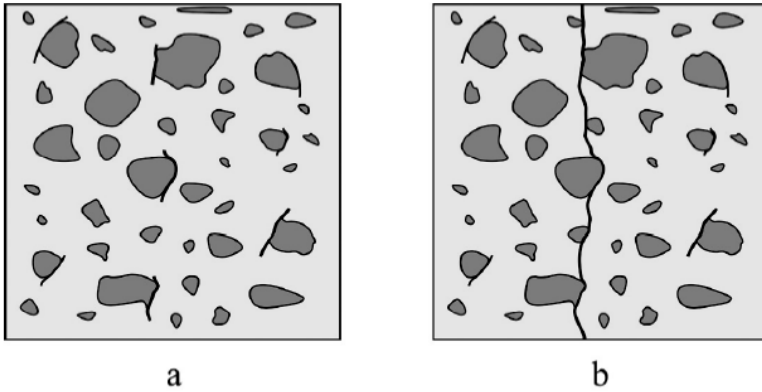
6.1. Fiberens effekt på betong i trykk

Trykkeegenskapene til betong er det som gjør materialet så godt egnet til å bruke i bygg. Når betong går i brudd på grunn av trykkrefter, er bruddet hovedsakelig relatert til spenning i betongen. Ved enaksialt trykk på betong, oppstår det strekkspenninger vinkelrett på trykkraften vist i figur 14. Ved moderate mengder fiber i betongen vil ikke trykkapasiteten til betongen endres betydelig. Det som endrer seg ved tilsetning av fiber, er at man får et mer duktilt brudd på grunn av at fiberne holder rissene sammen.



Figur 14. Egenskaper for betong i enaksialt trykktillfelle

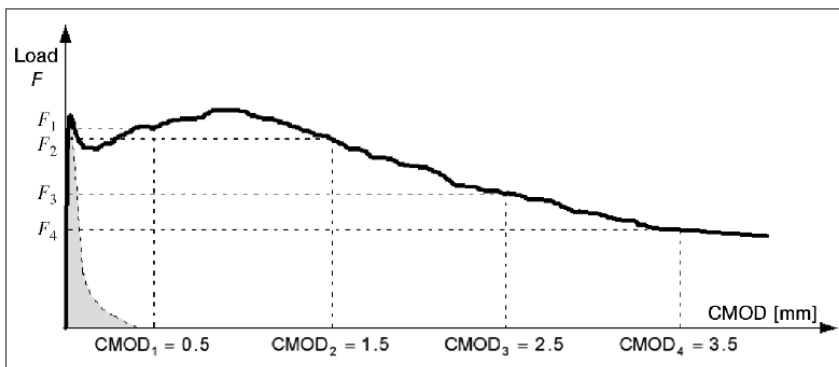
Når betongen blir utsatt for økende spenninger dannes det etter hvert riss i betongen. Man skiller gjerne mellom mikro- og makroriss. Rissdannelse begynner allerede ved uttørking av betongen. Da blir det dannet mikroriss. Ved stadig økende last dannes det makroriss som vist i figur 15. Mikrorissene dannes mellom tilslag og bindemiddel i betongen, mens ved makrorissene dannes det riss mellom mikrorissene i selve bindemiddelet. Når lasten på betongen øker videre, dannes det større og lengere riss, før det etter hvert går i brudd. (23)



Figur 15. Rissdannelse i betong (23); a) dannelse av mikroriss; b) dannelse av makroriss

6.2. Fiberens effekt på betong i strekk

Evnen fiberarmering har til å ta opp strekkrefter i en betongkonstruksjon, er en av de viktigste grunnene til at fiber blir tatt i bruk. Betongen tåler som kjent veldig lite strekkspenninger, og vil gå i brudd relativt fort dersom den blir utsatt for mye strekkrefter. Fiberne i betongen fungerer som vanlig stangarmering i det at de tar opp strekkreftene i konstruksjonen. Det er først når en betongkonstruksjon blir utsatt for bøyning, at effekten av fiberne i strekksone blir utnyttet fullt. Dette fører til at den maksimale momentkapasiteten øker i forhold til vanlig betong. (24)



Figur 16. Standard last/CMOD kurve for fiberbetong og vanlig betong (25)

6.2.1 Restbøystrekkfasthet

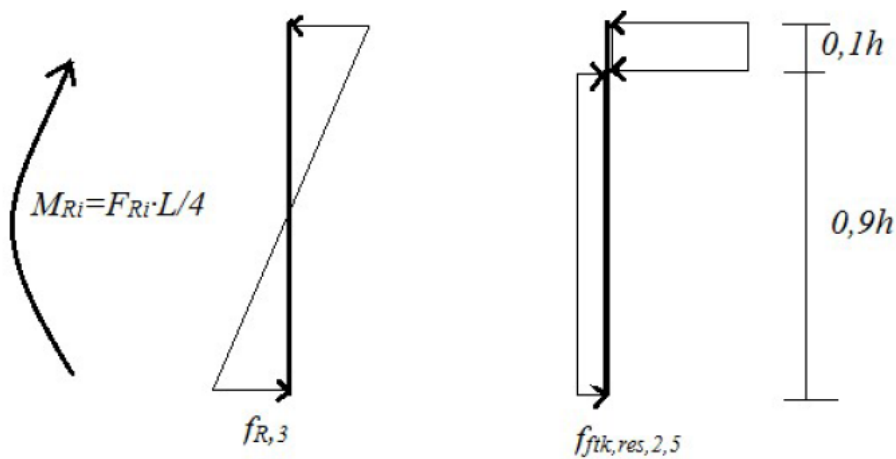
Restbøystrekkfasthet er en parameter betongen får når den blir tilsatt fiberarmering. Bestemmelse av restbøystrekkfasthet hos fiberarmert betong får man av bøyemomentet i standardiserte prøvebjelker med aktuell rissvidde (CMOD, Crack mouth opening displacement) på strekksiden av bjelken. På den standardiserte prøvebjelken antas det at spenningsfordelingen over tverrsnittshøyden fordeler seg lineært. Den egentlige spenningsfordelingen etter opprissing samsvarer ikke med dette, og derfor blir ikke restbøystrekkfasthet benyttet direkte i dimensjoneringsreglene. Bestemmelse av restbøystrekkfasthet skal skje i henhold til NS-EN 14651 hvor en fritt opplagt bjelke blir utsatt for en punktlast. Denne prøvingsmetoden blir beskrevet nærmere i kapittel 7.4. Måling av bøystrekkfasthet. (3,26)

6.2.2 Reststrekkfasthet

Betong er som kjent et veldig sprøtt materiale som tåler strekkrefter i veldig liten grad. Når betongen blir utsatt for strekkrefter dannes det riss, og betongen går i brudd dersom konstruksjonen ikke er armert. Fordelen med fiberarmert betong er at når grensen for strekkfasthet blir overskredet og det blir dannet riss, vil fiberne begynne å ta opp strekkreftene. De danner en slags bro over rissene og forhindrer at betongens

riss vil vokse og utvikle seg til større sprekker. Det er denne egenskapen i fiberarmert betong som kalles reststrekkfasthet. Denne egenskapen gjør at fiberarmert betong vil få betraktelig færre riss og rissenes størrelse vil være mindre. Dette har en veldig positiv effekt på overdekningen på betongen, nettopp fordi fiberne hindrer at vann trenger inn til slakkarmering eller spennarmeringen og forårsaker rustdannelser.

Reststrekkfasthet for fiberarmert betong blir bestemt av resulterende strekkraftresultant per areal av et gjennomgående riss i betongen. Når fiberbetongen skal klassifiseres i reststrekkfasthetsklasser refereres det til en rissvidde på 2,5mm ($f_{ftk,res,2,5}$). Sammenlignet med rest bøyestrekkfastheten er rest strekkfasthet 0,37 ganger karakteristisk rest bøyestrekkfasthet. Dette er bestemt ved bøyep prøving av bjelker med samme rissvidde ($f_{Rk,3}$).



Figur 17. Sammenligning mellom karakteristisk reststrekkfasthet og karakteristisk restbøyestrekkfasthet fra NB38

Figuren viser spenningsfordelingen mellom reststrekkfastheten og restbøyestrekkfastheten. Beregning og bruk av reststrekkfasthetene og restbøyestrekkfasthetene blir gjennomgått grundigere i kapittel 8.1. Dimensjoneringsprinsipper. (3,4,26)

6.3. Fasthetsklasser

I henhold til blant annet veiledning NB38 og COIN rapporten fra 2011 presiseres det at fasthetsklassene for fiberarmert betong skal klassifiseres på samme måte som ved betong uten fiber. Fasthetsklassene er dermed definert i Eurokode 2 NS-EN 1992-1-1+NA og NS-EN 206+NA. Som vist i tabell 5 kan det antas at forholdet mellom trykkfasthet og strekkfasthet er likt for betong med og uten fiber. (3,4)

Fasthet	Fasthetsklasser (N/mm ²)							
	B20	B25	B30	B35	B45	B55	B65	B75
Sylinderfasthet f_{ck}	20	25	30	35	45	55	65	75
Terningfasthet $f_{ck,cube}$	25	30	37	45	55	67	80	90
Strekkfasthet (aksielt strekk) $f_{tk,0.05}$	1,5	1,8	2,0	2,2	2,7	3,0	3,2	3,3

Tabell 5. Fasthetsklasser for betong

6.4. Restfasthetsklasser

Restfasthetsklassen til fiberbetongen blir angitt fra karakteristisk restbøystrekkfasthet ($f_{R,1k}$) for en rissvidde på 0,5 mm, og duktilitetsklassen som er basert på restbøystrekkfastheten for en rissvidde på 2,5 mm ($f_{R,3k}$). Dette kan vi se i tabell 6, hvor duktilitetsklassene er rangert fra klasse a til klasse e, og karakteristisk restbøystrekkfasthet er rangert fra 1,0 N/mm² til 10,0 N/mm²

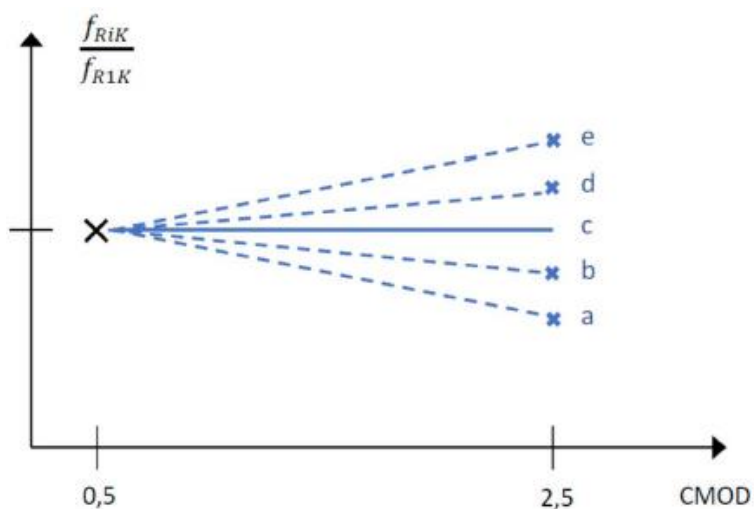
$f_{R,1k}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
Duktilitetsklasse										
a	$f_{R,3k}=0,5f_{R,1k}$									
b	$f_{R,3k}=0,7f_{R,1k}$									
c	$f_{R,3k}=0,9f_{R,1k}$									
d	$f_{R,3k}=1,1f_{R,1k}$									
e	$f_{R,3k}=1,3f_{R,1k}$									

Tabell 6. Restfasthetsklasser fra NB38

Tabell 6 fungerer slikt at hvis vi for eksempel får oppgitt «restfasthetsklasse 8,0d» vil $f_{R,1k} = 8,0 \text{ N/mm}^2$ og $f_{R,3k} = 1,1 \cdot 8,0 \text{ N/mm}^2 = 8,8 \text{ N/mm}^2$. Restbøyestrekfasthetene $f_{R,1k}$ og $f_{R,3k}$ må da være dokumentert og kjent fra forhåndsprøving.

Betongkvaliteten vil bli dokumentert som for eksempel: B35 M60 R5,0c, der B35 er betongens fasthetsklasse, M60 er bestandighetsklasse, R5,0 er restfasthetsklassen og c er duktilitetsklassen til betongen.

Midlere restbøyestrekfastheter ($f_{R,1m}$ og $f_{R,3m}$) skal ut ifra NB38 være kjent fra forhåndsprøving for fasthetsklasser.



Figur 18. illustrasjon av duktilitetsklassene

Som minstekrav skal karakteristisk restbøyestrekfasthet ved 0,5 mm rissvidde være lik minst 50% av fasthetsklassens karakteristiske strekkfasthet ($f_{R,1k}/f_{ctk,0,05} \geq 0,5$). Dette fører til at minste restfasthetsklasse for de ulike betongfasthetsklassene er:

- Klasse R1,0 for B12-B30
- Klasse R1,5 for B35-B55
- Klasse R2,0 for B60-B90

(4)

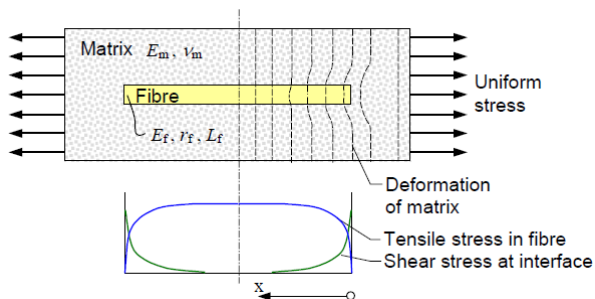
6.5. Fiberens effekt på rissdannelse i betong

Hovedgrunnen til at egenskapene til fiber er godt egnet i betong er nettopp på grunn av deres evne til å overføre strekkspenninger over riss. Dette gjør at sprekkdannelsen i en fiberarmert betong endres betydelig sammenlignet med betong uten fiber. Betong er som kjent et veldig sprøtt materiale og dannelsen av mikroriss

vil inntreffe allerede ved uttørking av betongen og ved belastning av betongen. Uten konvensjonell stangarmering eller fiberarmering vil betongen da gå i brudd dersom rissene blir for store.

Når en fiberarmert betongkonstruksjon blir utsatt for strekkrefter vil betongen overføre noe av kreftene allerede før makrorissene inntreffer. På bakgrunn av det vil man kunne øke styrken i betongen med fiberne som har en høyere modul enn matriksen i betongen. En rekke eksperimenter har derimot fastslått at det, med den mengden og størrelsen på fiberne det er mulig å bruke i betongen, ikke vil gi noen økt effekt med fiberarmert betong for betongens styrke før opprissing.

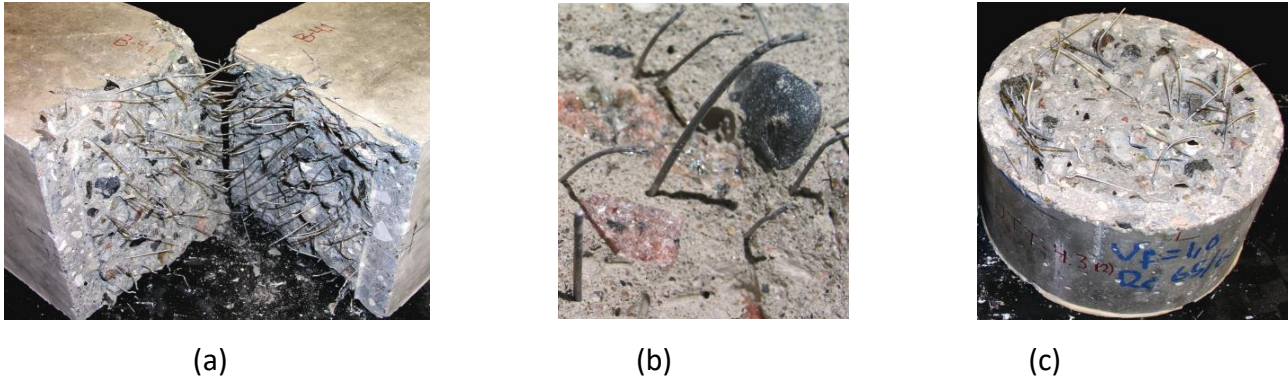
Overføringen av spenning fra betongen til fiberne kan beskrives av «shear-lag theory», introdusert av Cox i 1952 og beskrevet i figur 19.



Figur 19. Spenningsoppbyggingen i en fiber etter "shear lag theory"

Teorien går ut på at dersom fiberne er stivere enn matriksen, vil den aksiale stivheten øke. Teorien tar ikke med i betraktning overføringen av spenninger i endene på fiberne, eller effekten av overgangssonen mellom fiber og matriks med en litt annen egenskap. Likevel er modellen en god metode for å danne forståelse av egenskapene fiber tilfører betongen.

Egenskapene til fiberne kommer i størst grad frem først etter betongen er opprisset. Når betongen risser opp, vil fiberne holde sammen betongen i rissene. Gjennom forsøk på betong med stålfiber, kan man se på figur 20 at det er utdragningskapasiteten til fiberne som gjør at betongen går i brudd. Dermed får fiberarmert betong et mer duktilt brudd enn vanlig betong. (27)



Figur 20. Eksempler på brudd i stålfiberarmert betong: (a) Bjelkeprøve; (b) nærbilde av deformert fiber med endekrok; (c) enaksial strekkprøve. (26)

Styrken på betongen etter den er opprisset avhenger av type fiber, samt lengde, bredde, form, materialet og mengden av fiber i betongen og ikke minst kvaliteten på betongen. For normale mengder med fiberarmering på opptil 120 kg/m^3 med betong på normal styrke opp til 100 N/mm^2 , kan man forvente at styrken etter opprissing er lavere enn den enaksiale strekkfastheten. (23)

6.6. Fiberens effekt på skjærkreftene i betongen

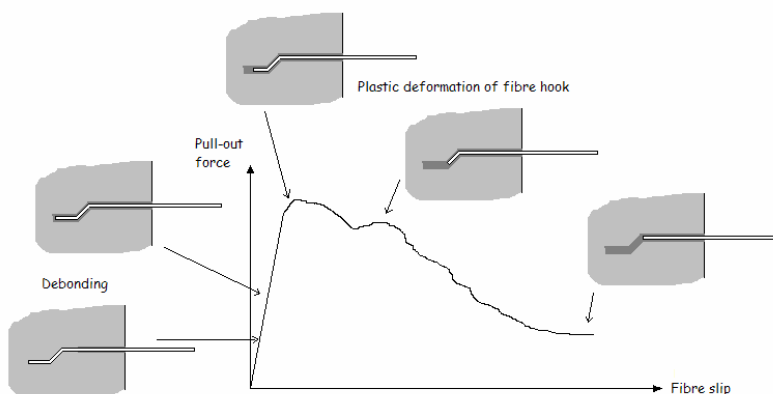
Fiber har blitt påvist å ha en positiv effekt på skjærkapasiteten til betongkonstruksjoner gjennom mange tester. Både stålfiber og syntetiske fibre øker skjærkapasiteten til konstruksjoner betraktelig. I tillegg gjør fiberne at et brudd i betongen oppfører seg mer duktilt. Denne effekten gjør at skjærbøyler kan reduseres eller erstattes fullstendig av fiber i bjelker og lignende konstruksjoner. Kapasiteten fiberne tilfører betongen har i enkelte tester, (Barragán 2002) og (Allos 1989), vist å styrke betongens skjærkapasitet med opptil 100% med en fibermengde på 40 kg/m^3 . I det matriksen i betongen begynner å risse opp, hjelper fiberne til med å styrke betongen ved hjelp av uttrekkskapasiteten til fiberne. (26,27)

Bestemmelsen av skjærkapasiteten til fiberne i betongen kan være utfordrende på grunn av flere faktorer; Forholdet mellom skjærspennet og dybden, type fiber, fibermengde og fiberens orientering, heften mellom fiberne og betongen, og effekten fra lengdearmering i konstruksjonen, er alle faktorer som kan ha en betydelig effekt på skjærkapasiteten til betongkonstruksjonen. Likevel finnes det flere metoder for å bestemme skjærkapasiteten til fiberarmert betong. For eksempel modellene foreslått av Narayanan & Darwish i 1987 og Al-Ta'an & Al-Feel i 1989. En omfattende studie av skjærkapasiteten til fiberarmerte betongbjelker ble gjennomført av Yen Lei Voo og Stephen J. Foster i 2006, hvor de sammenlignet resultatene fra flere ulike modeller uten skjærbøyler. Den kalkulerte styrken fra de ulike modellene ble sammenlignet med resultater fra 220 forspente og ikke-forspente bjelker fra 27 ulike forskere. I disse forsøkene varierte sylindertykkfastheten fra 20 MPa til 170 MPa. Forholdet mellom skjærspennet og dybden varierte mellom

0,46 og 5,2, med total dybde fra 100 mm til 800 mm, og fiberinnholdet varierte fra 0,2% til 3,0% mens lengdearmeringen varierte fra 0,8% til 9,6%. Når disse forsøkene ble sammenlignet ble det observert en stor spredning i de fleste modellene. (26)

6.7. Utdragningskapasiteten til fiber

Når betongen sprekker opp, danner fibre broer over strekkene og holder betongen sammen. Når dette skjer, blir fibre dratt ut av betongen av strekkraftene. Som beskrevet tidligere er det utdragningskapasiteten til fibre som gjør at fiberarmerte betong-konstruksjoner går i brudd. Dette fordi man ønsker et så duktilt brudd i betongen som mulig. Dette avhenger av form, størrelse og styrke på fiberen, samt styrken på matriksen og vinkelen mellom fibre og risset. Disse verdiene må velges for å få en best mulig fiber-betong kombinasjon slik at man unngår fiberbrudd, men samtidig får utnyttet styrken til fibre. Hos fibre med endekroker er det deformasjon av endekrokene som står for mesteparten av utdragskapasiteten. Når fibre med endekroker blir dratt ut skal endene bli rettet ut, uten at det oppstår fiberbrudd eller avskalling av betongen. (26)



Figur 21. Typisk uttrekksforløp for fiber med endekroker (25)

6.8. Fiberens virkning på kryp og svinn i betongkonstruksjoner

Kryp er et fenomen der man får økt belastning eller deformasjon i en konstruksjon under konstant belastning. Kryp kan føre til alvorlige problemer som betydelige deformasjoner, omfordeling av spenninger og til og med føre til brudd. Fibre laget av metall eller glass er bedre egnet for krypeffekten enn polymerfiber som er et viskoelastisk materiale og vil få store deformasjoner over konstant belastning. Under normale forhold under 370 °C vil ikke kryp ha noen effekt på stålfiber, men blir temperaturen for høy vil også stålfiber oppleve kryp. En konstruksjon i trykk vil ikke få noen betydelig endring i kryp effekten til betongen med bruk av fiber.

Grunnen til dette er den lave prosentandelen fiber som er i betongen (0,1 til 1,0 % vol). Der en konstruksjon er utsatt for bøyning vil spesielt stålfiber bidra positivt til krypeffekten i konstruksjonen.

Svinn skjer når betongen tørker ut og det dannes tøyninger i konstruksjonen uavhengig av lastpåvirkning som fører til oppsprekking. Det er vist over lang tid med forskning at fiber har en meget god effekt på svinn grunnet evnen fiber har til å ta opp spenninger over riss. (22)

6.9. Permeabilitet

Betong er utsatt for nedbrytning på grunn av korrosjon, alkalireaksjoner, sulfatangrep, skade grunnet frysing og tining, og andre mekanismer som fører til at vann trenger inn i konstruksjonen. Fiberbetong er lenge blitt brukt for å øke vanntettheten til betong i for eksempel tunneller og vanntanker. Grunnet fiberens evne til å minske rissvidder og rissavstander, kan det også brukes til å redusere permeabiliteten til betongen betydelig. I overflaten til fiberbetong med stål kan det se ut som fiberne ruster. Det man ser da er bare rust i enkeltfibre fordi fibermengden er så lav at fiberne ikke har kontakt med hverandre. I tillegg er ikke fiberne store nok til å skape rustsprengning i betongen. (22)

6.10. Konsistens

Fibere kan endre konsistensen til betongen. For ordinær betong er det vanligst å bruke tilsiktet synk, mens for selvkomprimerende betong er synkutbredelse og viskositet vanlig å bruke for å fastslå konsistensen til betongen. Passeringsevnen (PL-klasse og PJ-klasse) er også aktuell å bruke for selvkomprimerende fiberbetong. Fiberne kan også påvirke luftinnholdet i betongen som igjen kan påvirke fastheten til betongen. Det er derfor viktig at det utføres mottakskontroll på byggeplass for å forsikre seg om at luftinnholdet stemmer. (4)

7. Prøvningsmetoder

Dette kapitlet tar for seg de ulike prøvningsmetodene for fiberarmert betong som er tilgjengelig. Det omhandler referansebetong, effekt på styrke, fiberinnhold og måling av bøyestrekfasthet.

7.1. Referansebetong

Prøvningsmetoden for referansebetong er beskrevet i NS-EN 14845-1. Hensikten med denne standarden er å spesifisere komposisjonen og egenskapene til en referansebetong for å kunne evaluere effekten man får fra fiberne i betongen.

7.1.1. Utstyr

- Betongblander
- Former laget av et stivt materiale som ikke reagerer med sement, og skal ha en størrelse i henhold til NS-EN 14845-2.
- Høyfrekvents vibrerende bord

7.1.2. Materialer

Tilslag, vann, sement, tilsetningsstoffer og fiber i betongen skal være i henhold til det som er spesifisert i NS-EN 14845-1 og de forskjellige standardene som det blir henvist til der. Videre skal v/c tallet i betongen være i henhold til det som er definert i NS-EN 206-1 og slik det er spesifisert i tabell 7.

Flexural tensile strength (MPa)	Water/cement ratio		Maximum cement content (kg/m ³)
	Maximum aggregate size		
	8 mm or 10 mm	16 mm or 20 mm	
4,3 ± 0,3 (25/30) ^c	0,55 ^b	0,55 ^a	350
5,8 ± 0,4 (40/50) ^c	0,45 ^b	0,45 ^b	400

a Mandatory mix.
b Optional mixes.
c Equivalent compressive class according to EN 1992-1-1.

Tabell 7. v/c forhold og sementinnhold

Fiberinnholdet i referansebetongen skal være slik at spesifikasjonene i NS-EN 14845-2 er oppnådd. Konsistensen på referansebetongen skal være i henhold til enten NS-EN 12350-3 eller NS-EN 12350-4 og slik det er spesifisert i NS-EN 14845-1.

7.1.3. Gjennomføring

Referansebetongen skal produseres på følgende vis; Det skal forberedes en betongblanding på størrelse fra 50% til 90% av størrelsen av betongblanderen. Først skal alt tørt tilslag tilsettes blanderen for så å tilføre halvparten av vannet. Deretter skal det blandes i 2 minutter før sement og resterende vann tilføres. Det er viktig at total blandetid ikke overstiger 5 minutter. Fiberarmeringen skal tilsettes på et tidspunkt hvor man kan være sikre på at de er jevnt fordelt i betongblandingen etter produsentens anbefalinger. Betongen skal så herdes i formene i 24 timer i temperatur på (20 ± 2) °C, enten under plastikkdekke eller i et rom hvor fuktigheten ikke er mindre enn 95% relativ fuktighet. Betongen skal så tas ut av formene, før den skal fortsette å herde i 27 dager under vann med en temperatur på (20 ± 2) °C. Etter denne perioden er betongprøvene klare for testing. (28)

7.2. Effekt på styrke NS-EN 14845-2.

Denne standarden spesifiserer en metode for å kunne teste effekten stålfibre og polymerfibre har på resttrekkfastheten til en referansebetong. Metoden går ut på at 12 sagde bjelker med dimensjon på 550 mm x 150 mm x 150 mm, som er produsert fra en referansebetong, skal bli testet i henhold til EN 14651. En rekke forskjellige betongsammensetninger skal testes med forskjellig fiberinnhold inntil styrken på fiberbetongen er tilstrekkelig. Fiberne i betongen må ha en gjennomsnittlig resttrekkfasthet på minst 1,5 MPa ved 0,5 mm CMOD og 1,0 MPa ved 3,5 mm CMOD. (29)

7.3. Måling av fiberinnhold av metalliske fibere i fersk og herdet betong

Den europeiske standarden NS-EN 14721 går igjennom to ulike metoder for å måle fiberinnholdet i betong der det er brukt metalliske fibere. De første metoden er for herdet betong og den andre metoden er for fersk betong.

Fiberinnholdet skal beregnes ut ifra fibermassen i prøven og volumet av prøven.

$$C_f = \frac{m}{V}$$

Hvor

- C_f er fiberinnholdet, i kg/m^3 ;
- m er masse til fiberne som er hentet fra prøven, i g;
- V er volumet av prøven, i liter.

7.3.1. Metode 1. Herdet betong

Ved måling av fiberinnhold i herdet betong trengs det noe utstyr:

- En kjernebor for å kunne ta ut prøver av den herdete betongen. Boret må være stort nok til at volumet på prøvene blir riktige.
- En vekt for å kunne veie prøvene både i luft og vann med nøyaktighet på 10 g.
- Måleutstyr for å kunne måle dimensjonene på prøvene med en nøyaktighet på 0,5 mm.
- En beholder med vann med nok rom til å kunne senke hele prøven i.
- En vekt til å måle massen av utvunnet fiberarmering med en nøyaktighet på 0,5 g.

Ved denne metoden skal det utvinnes minst 3 prøver, hvor hver prøve skal være større enn 1 liter, med en nøyaktighet på 0,02 liter. Samlet skal prøvene romme mer enn 5 liter. Når prøvene skal utvinnes må kjerneboret stå vinkelrett på overflaten man tar prøvene fra. Boret må også stå stødig under uthenting. De uthentede prøvene skal så knuses slik at alle fiberne skilles fra betongen. Ved bruk av magnet kan man skille fiberne fra betongen. Fiberne som blir hentet ut fra prøvene må vaskes nøye for å få bort alt av betongmasser som kan sitte fast. Fiberarmeringen veies så med en nøyaktighet på 0,5 g.

7.3.2. Metode 2. Fersk betong

Ved måling av fiberinnholdet i fersk betong trengs det litt annet utstyr en ved måling av herdet betong. Utstyret som treng er:

- Beholder som er vanntett, stiv nok til å beholde formen sin, og laget av metall som tåler å bli utsatt for sement. Beholderen skal ha en glatt innside, og kanten og basen skal være parallell. Den minste dimensjonen skal være minst 4 ganger større enn det største tilslaget i betongen, men skal ikke være mindre enn 150 mm. Volumet av beholderen skal ikke være mindre enn 3 liter.
- Øse, eller et lignende redskap for å samle prøvene. Redskapet kan ikke være av et absorberende materiale.
- Vibrator med en frekvens på minst 120 Hz. Diameteren på vibratoren kan ikke være større enn 1/4 av den minste diameteren på beholderen.
- Sparkelspade av stål.
- Vekt for å kunne måle utvinnet fiberarmering med en nøyaktighet på 0,5 g.
- Sil eller filter for å kunne vaske bort sement og andre finstoff fra fersk betong.

Ved metode 2 skal det tas 3 prøver eller flere, hvor volumet på hver prøve skal være minst 3 liter. Når prøvene skal tas er det viktig at alt utstyret er godt rengjort. Prøvene skal tas når betongen helles ut. Man skal ikke ta prøvene fra den aller første betongen som kommer, eller den aller siste betongen som kommer. Når man tar ut prøvene må man passe på at hele blandingen av betong er representert. Derfor skal prøvene inneholde betong fra alle delene av støpen. Straks etter prøvene er tatt skal de vibreres slik at luftlommer blir fylt igjen, helst slik det vil bli brukt på selve konstruksjonen. Volumet av hver prøve skal bestemmes ved en av de følgende metodene:

Hvis beholderen er helt full etter vibrering skal betongen gattes ut slik at volumet av prøven blir lik volumet av beholderen.

Dersom beholderen ikke er helt full, skal beholderen plasseres på en horisontal overflate, for så å måle hvor mye vann som kreves for å fylle beholderen. Volumet på prøven blir dermed volumet av beholderen minus volumet av vannet.

Volumet av prøvene skal være uttrykt til nærmeste 0,02 liter

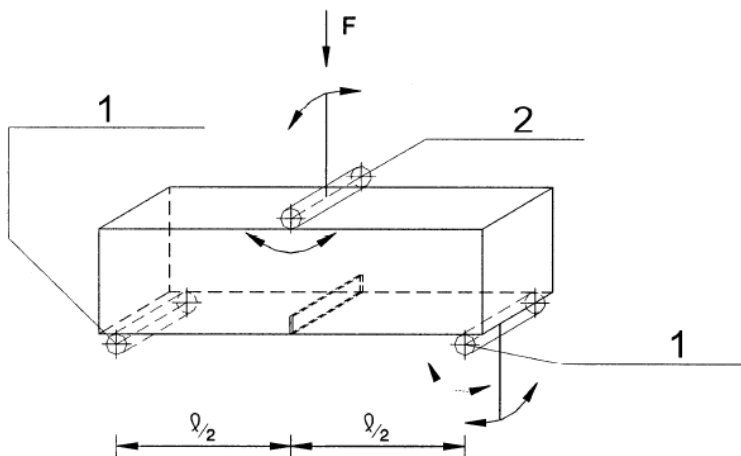
Prøvene skal så gjennom et filter for å vaske bort sement og finstoff. Ved hjelp av en magnet kan da fiberne utvinnes fra prøvene. Så skal fiberne vaskes godt for så å tørkes før de veies. Massen til fiberne skal være uttrykt til nærmeste 0,5g. (30)

7.4. Måling av bøyestrekfasthet (Proporsjonalitetsgrense og restfastheter)

Denne prøvemethoden er beskrevet i NS-EN 14651 og tar for seg måling av bøyestrekfastheten og restfasthetsklassen til fiberarmerte betongelementer der det er brukt metalliske fibre med en lengde på maks 60 mm. Metoden kan også brukes der metalliske fibre er brukt sammen med annen fiber.

Utstyret man trenger for denne målingen er:

- Roterende sag med diamantblad med justerbar kuttdybde.
- Skyvelære med en nøyaktighet på 0,1 mm.
- Målbånd med en nøyaktighet på 1 mm.
- Testmaskin som oppfyller kravene til maskin klasse 1 i EN 12390-4. Den skal kunne opereres på en kontrollert måte og produsere en konstant forskyvning med rett stivhet
- Utstyr for å fordele kreftene fra testmaskinen til prøven, som skal bestå av to støtteruller og en lastrulle som vist i figur 22.



Figur 22. Fordeling av ruller på prøveeksemplet. (1) Støtteruller. (2) Lastrulle.

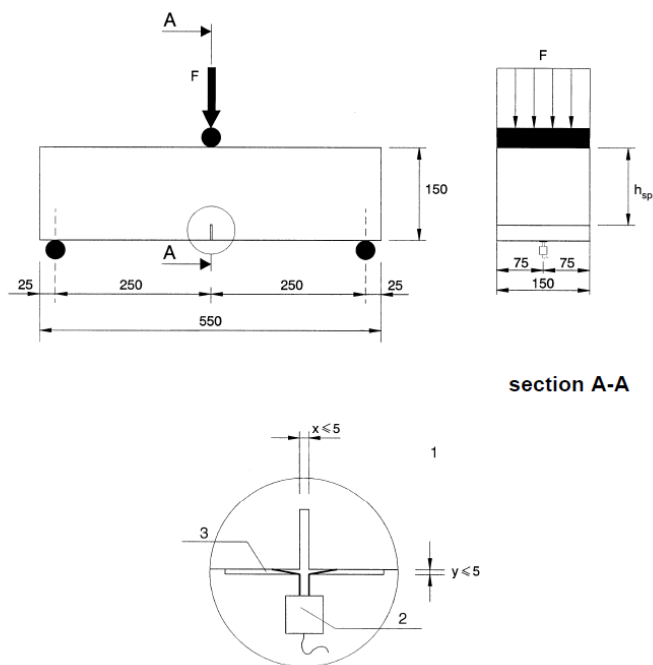
Rullene skal være laget av stål og være sirkulær med en diameter på $30 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. De skal ha en glatt overflate og være minst 10mm lengre enn bredden på prøveeksemplet. Lastrullen og en av støtterullene skal ha mulighet til å rotere rundt sin egen akse. Senteravstanden mellom støtterullene skal være lik 500 mm og alle lengdene skal ha en nøyaktighet på $\pm 2,0 \text{ mm}$.

- Lastmåler med en nøyaktighet på 0,1 KN.
- Lineær forskyvningstransduser som kan måle forskyvning med en nøyaktighet på 0,01 mm.
- En ramme for å montere forskyvningstransduseren som forsikrer at målingene av forskyvningene på prøveeksemplet holder kravene til nøyaktighet
- Dataregistreringssystem som direkte registrerer last CMOD og utbøying.

Betongprøven skal være et prisme med dimensjoner i henhold til EN 12390-1, med en bredde og dybde på 150 mm og lengde mellom 550 mm og 700 mm. Størrelsen på denne testen er tilpasset betong med tilslag som ikke overskrider 32 mm, og med maks fiberlengde på 60 mm.

Når betongen til denne prøven skal støpes ut er det viktig at det skjer i henhold til krav som er satt i EN 12350-1 og EN 12390-2 med mindre noe annet er spesifisert. Betongen skal vibreres av en ekstern vibrator, men i tilfeller der det brukes selvkompimerende betong skal det ikke vibreres.

Det skal skjæres et spor i betongprøven på undersiden av lastrullen som vist på figur 23. bredden på sporet skal ikke være større enn 5 mm og dybden på sporet skal være $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Testing av betongen skal skje etter at den har fått herdet i 28 døgn.



section A-A

Figur 23. Oppsett av testforsøk

En forskyvningstransduser skal monteres over sprekken vist i figur 23 for måling av utvidelse av sprekken i det bjelken blir utsatt for bøyning. Måling av resultat skal skje i henhold til bestemmelser gitt i NS 14651. (31)

8. Regelverk

I flere år har det vært et stort potensial i fiberarmering. Det er blitt brukt i flere områder som viser at ved å bruke nettopp fiberarmering, kan man oppnå positive egenskapene i betongen. Likevel er det ikke så utbredt i byggevirkksomheten som det kanskje burde ha vært. Noe av grunnen til dette er mangelen på retningslinjer i bruken av fiber i betong. Spesielt i Norge har vi hengt etter på nettopp dette. Selv om det er stor mangel på retningslinjer og beregningsmetoder, er det i senere tid kommet flere rapporter og forslag til veiledninger om dette. Allerede i 2006 ble det laget en rapport om forslag til prosjektering, kontroll og utførelse av fiberarmering i betong. Denne rapporten ble ikke videre publisert av Norsk Betongforening på grunn av mye usikkerhet og mangler. (4)

Sintef etablerte COIN (Concrete Innovation Centre) i 2007 hvor formålet var forskning og innovasjon, samt etablering av retningslinjer, i betong. Gjennom COIN er det blitt utarbeidet over 200 publikasjoner og 16 doktorgrader, hvor enkelte tar for seg bruken av fiberarmert betong. Den totale kostnaden for dette prosjektet ble omtrent 250 millioner norske kroner. I 2011 publiserte COIN et forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte konstruksjoner. (32)

Disse rapportene, samt internasjonale retningslinjer og regler, er nå underlagsrapporter til en ny publikasjon fra Norsk Betongforening, NB38, fra en prosjektgruppe bestående av flere eksperter i fagmiljøet. Publikasjonen tar for seg retningslinjer og beregningsmetoder for bruken av fiberarmert betong i bærende konstruksjoner. Denne publikasjonen sammen med flere andre rapporter og internasjonale standarder danner grunnlaget for denne bacheloroppgaven.

Reglene for dimensjonering og prosjektering av betongkonstruksjoner er beskrevet blant annet i Eurokode 2. Alle som bygger betongkonstruksjoner i Norge må forholde seg til denne standarden og følge de reglene som er spesifisert der. Problemet med fiberarmering i betong er at det ikke er representert i Eurokode 2. Det kan gjøre det utfordrende å utnytte alle egenskapene til fiberne, siden man uansett må følge de retningslinjene som er gitt i Eurokode 2. På grunn av store fremskritt innenfor fiberarmert betong de siste årene, både internasjonalt og i Norge, planlegges det nå å gi ut en ny Eurokode 2. Den nye standarden vil ha et annex L: stålfiberarmert betong, og forventes å bli publisert i 2023. Denne nye versjonen av Eurokode 2 vil gi større mulighet for utbredt bruk av fiberarmering i fremtiden.

Selv om Eurokode 2 ennå ikke har med fiberarmering i betong, er det allerede noe regelverk for bruk av fiber. NS-EN 206 Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar, er standarden for betong, og har inkludert bruken av fiber. Også fib model code 2010, som er et internasjonalt regelverk, tar for seg bruken av fiberarmert betong. (25)

I tillegg til regelverk finnes det flere rapporter og forslag til dimensjoneringsregler og konstruksjonsregler. Dette kapittelet baserer seg hovedsakelig om de reglene som er gitt i NB38. (4)

8.1. Dimensjoneringsprinsipper

Konstruksjoner og dimensjoneringer i denne oppgaven er hentet fra NB38 og COIN, og kravene som er spesifisert i Eurokode 2. skal være tilfredsstillt.

Fiberarmert betong som er brukt sammen med vanlig armering etter de spesifikasjoner som er henvist til i denne oppgaven, kan brukes i konstruksjoner i alle pålitelighetsklasser som det er definert i NS-EN 1990.

Fiberarmert betong som ikke er brukt sammen med vanlig armering, kan kun brukes i de pålitelighetsklasser der det ikke er fare for liv ved brudd i konstruksjonen, eller i unntakstilfeller der det er nedstyrtningsfare.

Dersom sammenbrudd av konstruksjonen er av stor økonomisk eller samfunns viktig betydning, eller kan medføre tap av menneskeliv, skal det påvises at bøyemomenter og aksialkrefter i konstruksjonen skal kunne bæres uten medregnet bruk av fiberarmering, enten ved slakkarmering eller spennarmering. I denne kontrollen kan alle last- og materialfaktorer settes lik 1,0.

For reststrekkfastheten i bjelkeforsøk kommer det frem fra den svenske standarden SS 812310:2014 at man kan forvente en variasjonskoeffisient på 20%, men at man også kan forvente alt fra 15% til 30%. Dette er på grunn av at fiberarmeringen fordeler seg ulikt hver gang man støper ut betongen, og man får en varierende effekt på reststrekkfastheten. Når man skal dimensjonere virkelige konstruksjoner med større bruddsoner og mulighet for større kraftomlagring, kan man forvente en betydelig lavere spredning i fiberne. For at man ikke skal få for gode resultater fra prøvebjelker, setter man en øvre grense for karakteristisk restbøyestrekfasthet på 60% av midlere restbøyestrekfasthet.

$$f_{R,1kber} = \min(f_{R,1k}, 0,6 \cdot f_{R,1m}) \quad \text{Formel 1}$$

$$f_{R,3kber} = \min(f_{R,3k}, 0,6 \cdot f_{R,3m}) \quad \text{Formel 2}$$

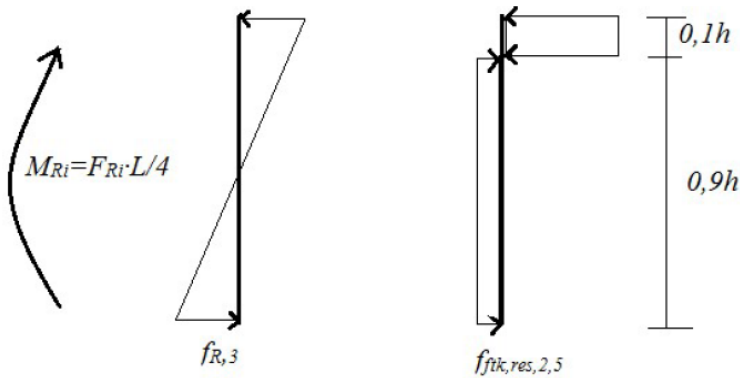
Det forutsettes at restbøyestrekfasthetene $f_{R,1k}$ og $f_{R,3k}$, samt middelveidene $f_{R,1m}$ og $f_{R,3m}$ skal være kjent fra restfasthetsklasse og forhåndsprøvning vist i tabell 6 og prøveresultater fra NS-EN 14651 som vist i kapittel 7.2.

De karakteristiske enaksiale reststrekkfasthetene skal bestemmes som følgende:

$$f_{Ftsk} = 0,45 \cdot f_{R,1kber} - \text{brukes i bruksgrensetilstanden} \quad \text{Formel 3}$$

$$f_{Ftuk} = 0,37 \cdot f_{R,3kber} - \text{brukes i bruddgrensetilstanden} \quad \text{Formel 4}$$

Som vist i figuren under antas det at samme last blir tatt opp av to forskjellige spenningsfordelinger. Den lineære elastiske for $f_{R,3k}$ og ideelt plastiske for f_{Ftuk} . Ved bestemmelse av f_{Ftsk} setter man høyden av strekksonen i til $0,66h$.



Figur 24. Illustrasjon av relasjonen mellom karakteristisk reststrekkfasthet og karakteristisk restbøyestrekfasthet

Effektiv reststrekkfasthet kan bestemmes ved:

$$f_{Fts,ef} = k_0 \cdot f_{Ftsk} \quad \text{Formel 5}$$

$$f_{Ftu,ef} = k_0 \cdot f_{Ftuk} \quad \text{Formel 6}$$

Der:

k_0 = en fiberorienteringsfaktor

Fiberorienteringsfaktoren settes lik 1,0 ved vibrert betong i konsistensklasse S2 til S4. den kan også settes lik 0,5 ved vertikale konstruksjonsdeler som vegger og søyler.

Fiberorienteringsfaktoren kan bestemmes ved prøving med 2,0 som maksgrense ved selvkomprimerende og vibrert betong i klasse S5.

For bruddgrensetilstanden bestemmes dimensjonerende reststrekkfastheten slik:

$$f_{Ftud} = \frac{f_{Ftu,ef}}{\gamma_{SF}} \quad \text{Formel 7}$$

(4)

8.2. Bestandighet

Bæreevnen til fiberarmerte konstruksjoner avhenger i mye større grad av miljøparametere enn vanlig armering. Grunnen til dette er at de fibre som ligger ytterst i konstruksjonen blir utsatt for rust, og mister bæreevnen. Dermed kan man ikke regne med fiberarmeringen i de ytterste lagene. Tykkelsen på det ytterste laget bestemmes av hvilken eksponeringsklasse konstruksjonen er i. For eksponeringsklasse XD1-2, og XS1-2 skal reststrekkfastheten i de ytterste 10 mm, i henhold til Eurokode 2, ikke regnes med ved kontroll av bruks- og bruddgrensetilstanden. Ved klasse XD3 og XS3 er det de ytterste 20 mm som ikke skal regnes med. Rissviddekravene for en konstruksjon med fiberarmert betong er lik som for vanlig armering, men på grunn av at de ytterste fiberne mister bæreevne på grunn av miljøbelastning anbefales det at faktoren k_c settes lik 1,0. (4)

8.3 Bruddgrensetilstand

8.3.1. Materialfaktorer

Ved fiberarmert betong brukes materialfaktorene gitt i Eurokode 2 for vanlig armering og betong i trykk, ved unntak av materialfaktoren for reststrekkfastheten f_{ftud} som skal settes til $\gamma_{sf} = 1,5$. (4)

8.3.2. Aksalkrefter og bøyemoment

Når fiber blir brukt i betong kan også betongtverrsnittet være med på å ta opp strekkrefter. For bestemmelse av strekksonen kan man forenklet bruke spenningsfordeling med spenning tilsvarende dimensjonerende reststrekkfasthet f_{ftud} . Dersom det er behov for mer nøyaktighet, kan man bruke metoder gitt i fib Model Code 2010 eller DIN-EN -1992-1-1.

Ved å anta at plane tverrsnitt forblir plane etter deformasjon, og at betongens trykksone og spennings- og tøyningsegenskaper er som gitt i Eurokode 2 pkt 3.1.7 og 3.2.7, kan man bestemme kapasiteten for aksialkraft og bøyemoment.

Dersom tverrsnitt er utsatt for kun strekk skal tøyningen i fiberbetongen ikke være større enn $3/h$ ‰ (tverrsnittshøyden h [m]). Strekk-tøyningene skal heller ikke være større enn $3/h$ ‰ i strekkkranden for tverrsnitt utsatt for bøyning. Faktoren k_0 kan settes lik 1,0 ved beregning av fiberbetongens dimensjonerende reststrekkfasthet, mens k_0 kan settes lik 0,5 for vegger og søyler. (4)

8.3.3. Momentkapasitet

I henhold til NB38 skal følgende prinsipper brukes ved bestemmelse av momentkapasiteten til fiberarmerte betongkonstruksjoner:

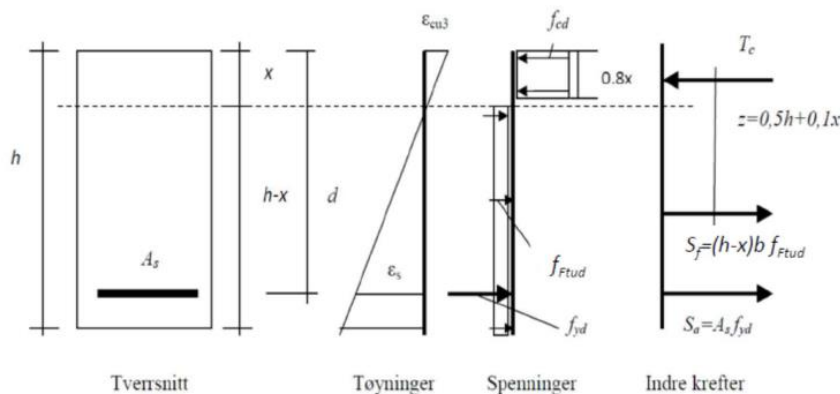
- Det skal påvises at konstruksjonen bærer den dimensjonerende lasten medregnet virkningen fra både stangarmering og stålfiber.
- Den konvensjonelle armeringens arbeidsdiagram er forutsatt å følge retningslinjene i Eurokode 2 punkt 3.2.7.
- Betongens trykksone skal karakteriseres ved bestemmelse gitt i Eurokode 2 pkt 3.1.7
- Strekkapasiteten i fiberbetongen kan medtas som vist i figur 25, med konstant spenning over trykksonehøyden.
- Ved beregning av kapasiteten skal trykksonehøyden bestemmes ved hjelp av aksiell likevekt: $T_c = S_f + S_a$ iht. Figur 25.
- Momentkapasiteten kan deretter bestemmes ved å ta likevekt om trykkresultantens angrepspunkt som: $M_{Rd} = S_f (0,5h+0,1x) + S_a (d-0,4x)$

For statisk ubestemte momentpåkjente plater med slakkarmering eller spennarmering på strekksiden, kan dimensjonerende reststrekkfasthet multipliseres med en faktor for volumeffekter:

$$K_G = 1,0 + 0,5 \cdot A_{ct} \leq K_{G,maks} = 1,5 \quad \text{Formel 8}$$

Hvor A_{ct} (m²) er arealet av strekksonen.

Hvis den maksimale strekktøyningen overskrider 3/h ‰, er det godt nok å sette trykktøyningen lik ϵ_{cu3} og maksimal strekktøyning lik 3/h ‰. Man kan også bruke lamellmetoder som er basert på prinsippene som er gjennomgått ovenfor og i kapittel 5.9 i NB 38.

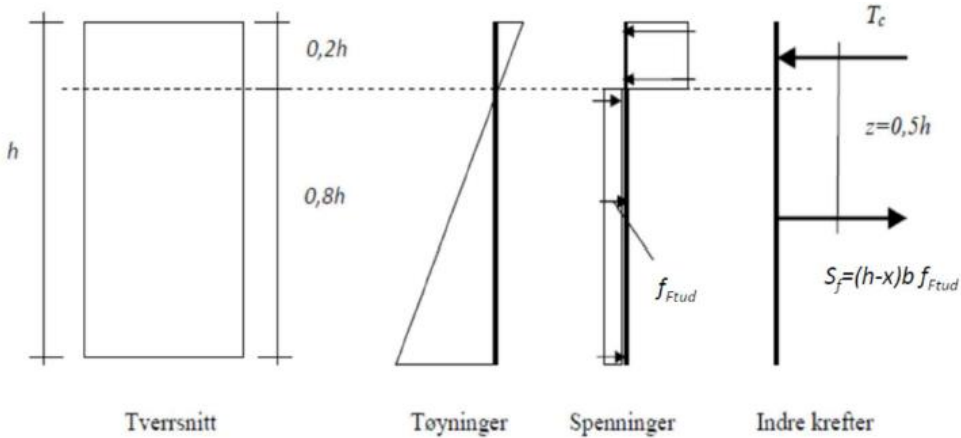


Figur 25. Spennings- og tøyningsfordeling for rektangulært tversnitt av armert fiberbetong utsatt for ren bøyning.

Fiberbetong med karakteristisk reststrekkfasthet f_{Ftud} lavere enn $2,5 \text{ N/mm}^2$ kan forenklet beregnes for å finne kapasiteten. Man kan anta at reststrekkfastheten, f_{Ftud} virker over $0,8h$ og at de indre momentarmen er $0,5h$ slik det er vist i figur 26. For et rektangulært tverrsnitt er da momentkapasiteten gitt ved følgende formel: (4)

$$M_{Rd} = 0,4 \cdot f_{Ftud} \cdot b \cdot h^2$$

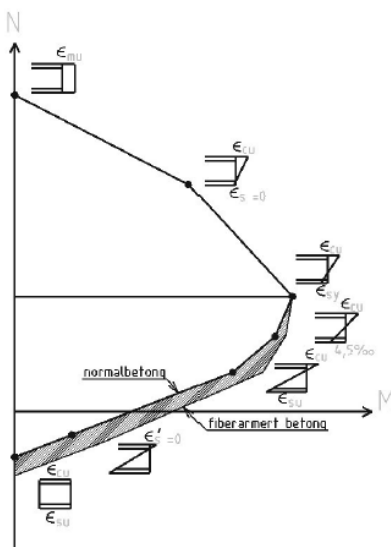
Formel 9



Figur 26. Spennings- og tøyingsfordeling for rektangulært tverrsnitt av fiberarmert betong utsatt for ren bøyning (4)

8.3.4. Samtidig virkende aksialkraft og moment

Ved bruk av M-N diagram kan man dimensjonere fiberarmerte konstruksjoner med vanlig slakkarmering utsatt for både aksialkraft og moment. På strekksiden av konstruksjonene, endres bruddkriteriene noe, mens de forblir lik på trykksiden slik figur 27 viser. (4)



Figur 27. Virkning av fiber på M-N diagram. (4)

8.3.5. Dimensjonering for skjærkraft med stangarmering på strekksiden

Gjennom eksperimentelle forsøk er det godt dokumentert at stålfiber gir en økning av kapasiteten til skjærbrudd i konstruksjoner. For syntetiske fibre er det ikke dokumentert at de har lik effekt som for stålfibre. Reglene i dette punktet gjelder for bjelker, staver, plater og skall som har et forhold på minst 3 mellom spennvidde og tverrsnittshøyden for et tosidig opplegg og 1,5 ved en utkrager. Dersom en konstruksjon ikke oppfyller disse kravene kan den beregnes ved hjelp av stavmodeller som beskrevet i pkt. 6,5 i Eurokode 2. (4)

8.3.5.1 Skjærkapasitet

For beregning av skjærkapasiteten til fiberarmert betong, finnes det flere metoder som baserer seg på resultater fra bjelkeprøver med vanlig armering i underkant av bjelken.

I den nye planlagte Eurokode 2 skal det være bestemt at skjær, gjennomlokking og torsjon kontrolleres på spenningsbasis. Dette vil gjøre at uttrykkene blir enklere og mer gjenkjennelige. Modellene som blir brukt i Eurokode 2 blir hovedsakelig basert på forskning utført av Professor Aurelio Muttoni og hans medarbeidere ved det tekniske universitetet i Lausanne. Dette kapittelet baserer seg på publikasjon NB38, som igjen baserer seg på det gjeldende forslaget til den nye Eurokoden.

Parametere som blir brukt ved den spenningsbaserte skjærkontrollen er:

τ_{Ed} = opptredende skjærspenning [MPa], bestemmes i henhold til vanlig dimensjonering som $V_{Ed}/b_w z$ der V_{Ed} er dimensjonerende skjærkraft, b_w er tverrsnittets minste stegbredde, og z er indre momentarm.

$\tau_{Rdc,F}$ = fiberbetongtverrsnittets skjærkapasitet uten skjærarmering [MPa]

$\tau_{Rds,F}$ = fiberbetongtverrsnittets skjærkapasitet med skjærarmering [MPa]

I de tilfellene hvor $\tau_{Rdc,F} > \tau_{Ed}$ er det ikke behov for skjærarmering og kapasiteten til konstruksjonen skal kontrolleres i henhold til formel 11.

I de tilfellene hvor $\tau_{Rdc,F} < \tau_{Ed} < \tau_{Rds,F}$ er det behov for skjærarmering, og kapasiteten til konstruksjonen skal kontrolleres i henhold til formel 12.

For begge tilfellene over skal bidraget fra det vanlige armerte tverrsnittet og fiberbetongen summeres. Dette er praktisert i tysk og dansk regelverk, og er foreslått i både PhD avhandlingen til Døssland (26) og COIN (3). I Svensk Standard er det til sammenligning benyttet en alternativ formulering som da er basert på fib Model Code 2010. I forsøksresultater er det blitt vist at det å summere sammen bidragene ikke alltid er riktig. Derfor

brukes det en alternativ formulering, som innfører en reduksjonsfaktor på bidraget fra det vanlige armerte tverrsnittet. (4)

8.3.5.2. Tverrsnittsdeler der det ikke er beregningsmessig behov for skjærarmoring; $\tau_{RdCF} > \tau_{Ed}$

Skjærkapasiteten beregnes av to ledd:

τ_{Rdc} :	Betongens skjærkapasitet, inklusive bidrag fra lengdearmoring [MPa]
f_{Ftud} :	Fiberbetongens dimensjonerende reststrekkfasthet [MPa]

Betongens skjærkapasitet settes aldri mindre enn minsteverdien:

$\tau_{Rdc,min}$:	Betongtverrsnittets minste skjærkapasitet uten hensyn til armeringstetthet [MPa],
--------------------	---

hvor:

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{10}{\gamma_c} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}} \quad \text{Formel 10}$$

For å ivareta ujevnheter i skjærbruddsonen er verdien d_{dg} med i formel 10. Denne verdien setter som:

$$\begin{aligned} d_{dg} &= 16 + D_{lower} \leq 40 && \text{for betong med } f_{ck} < 60 \text{ MPa} \\ d_{dg} &= 16 + D_{lower} \cdot \left(\frac{60}{f_{ck}}\right)^2 \leq 40 && \text{for betong med } f_{ck} > 60 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Verdien av d er den effektive tverrsnittshøyden, mens D_{lower} er den minste verdien av D_{max} som er tillat.

Verdien av D_{lower} skal spesifiseres av rådgivende ingeniør.

Den fiberarmerte konstruksjonens skjærkapasitet bestemmes ved:

$$\tau_{Rdc,F} = \eta \tau_{Rd,c} + f_{Ftud} > \eta \tau_{Rd,cmin} + f_{Ftud} \quad \text{Formel 11}$$

Der:

$$\begin{aligned} \tau_{Rd,c} &= \frac{0,6}{\gamma_c} \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d}\right)^{1/3}, \text{ og} \\ \eta &= \max\left(1/(1 + 0,43 \cdot f_{Ftu}^{2,85}); 0,4\right) \end{aligned}$$

(4)

8.3.5.3. Tverrsnittsdeler der det er behov for skjærarmering; $\tau_{Rd,F} < \tau_{Ed}$

Skjærkapasiteten beregnes av to ledd:

$\tau_{Rd,s}$: kapasiteten til den innlagte skjærarmeringen [MPa]

f_{Ftud} : Fiberbetongens dimensjonerende reststrekkfasthet [MPa]

Den totale skjærkapasiteten for skjærarmert fiberbetong beregnes som:

$$\tau_{Rds,F} = 0,75\tau_{Rd,s} + f_{Ftud} \quad \text{Formel 12}$$

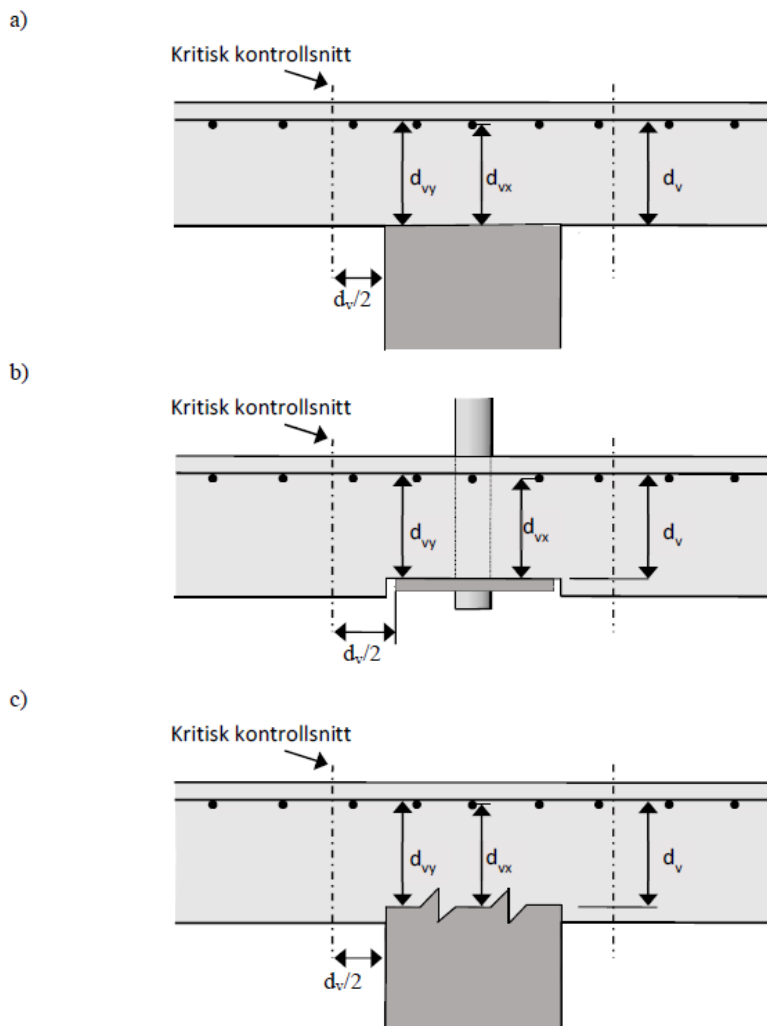
Hvor:

$$\tau_{Rd,s} = \frac{A_{sv}}{s} \frac{z}{bd} f_{yd} \text{ (forutsatt rissvinkel 45\%)}$$

Den reduserende faktoren 0,75 i uttrykket er med for å redusere bidraget fra skjærarmeringen. Grunnen til det er at man oppnår full kapasitet i den fiberarmerte konstruksjonen ved små deformasjoner. Dermed blir det ikke fullt utviklet tøyning i skjærarmeringen. Momentarmen, z , kan settes lik $0,9d$. (4)

8.3.5.4. Kontroll av gjennomlokking der det ikke er beregningsmessig behov for skjærarmering

Det skal kontrolleres for opptredende skjærspenning der gjennomlokking kan være en mulig bruddsituasjon i flatedekker og andre konstruksjoner. Skjærspenningen, τ_{Ed} , skal kontrolleres med en avstand $\frac{1}{2}d$ fra kanten av opplegget som er i samsvar med fib Model 2010 og det nye forslaget til Eurokode 2. Figur 28 og 29 viser hvordan avstandene skal beregnes.



Figur 28. Plassering av kritisk kontrollsnitt

Opptredende skjærspenning, τ_{Ed} , beregnes som:

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_0 d_v}$$

Formel 13

Hvor:

$\beta_e = 1,15$ for indre søyler

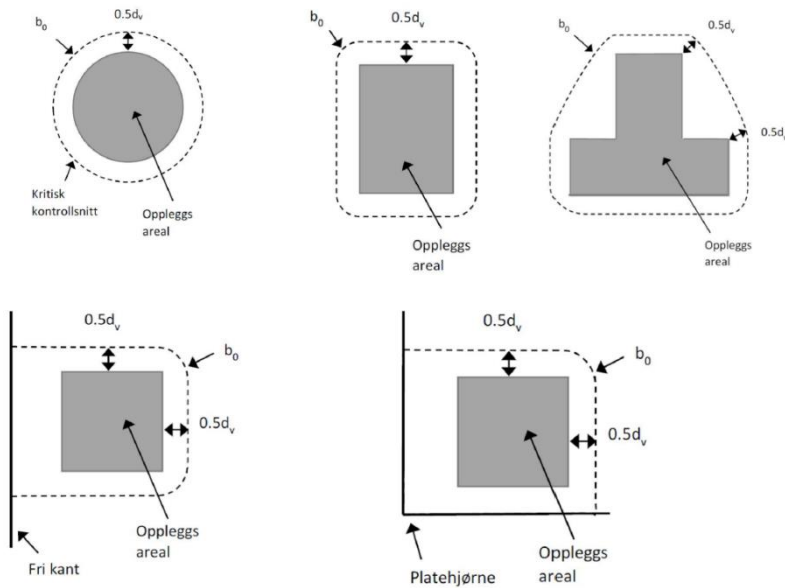
$\beta_e = 1,4$ for randsøyler og -vegger

$\beta_e = 1,5$ for hjørnesøyler

$\beta_e = 1,2$ for veggjørner

d_v = den gjennomsnittlige tverrsnittshøyden for armeringen i to retninger.

b_0 = lengden av kontrollsnittet, og kan bestemmes som anvist i Figur 28



Figur 29. Plassering av kritisk kontrollsnitt for vanlige tilfeller

Skjærkapasiteten bestemmes som:

$$\tau_{Rd,cF} = \eta_c \tau_{Rd,c} + f_{t,d}$$

Formel 14

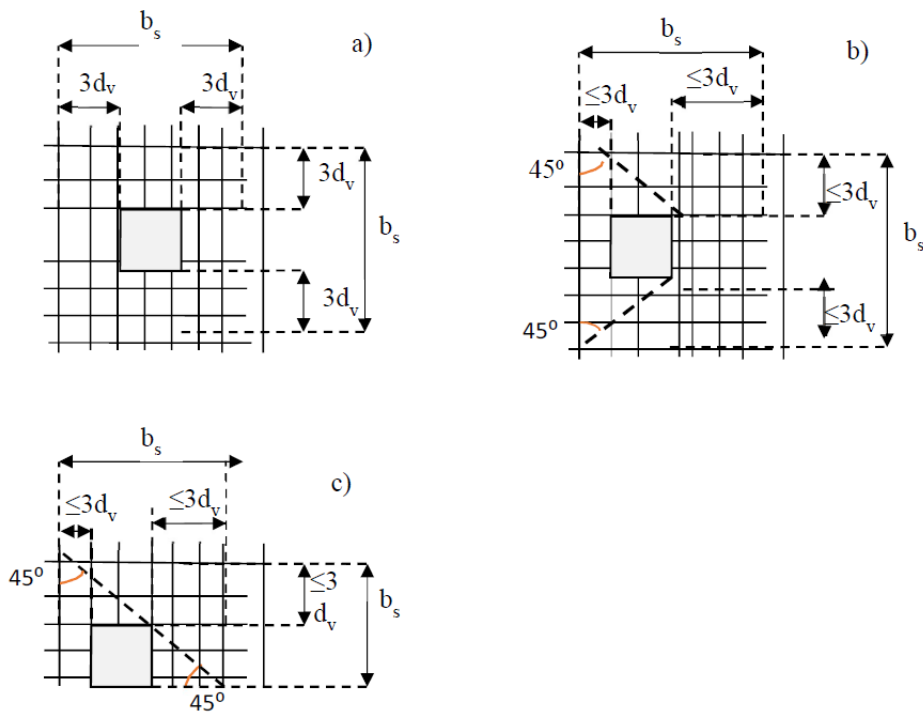
Hvor:

$$\eta_c = \frac{\tau_{Rd,c}}{\tau_{Ed}}, \text{ og}$$

$f_{t,d}$: beregnes som tidligere med $K_0 = 1,0$.

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} k_{pb} \left(100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/3} \leq \frac{0,6}{\gamma_c} \sqrt{f_{ck}}$$

Når det effektive armeringsforholdet skal bregnes brukes brukers middelveiden av den forankrede strekkarmeringen over en platebredde lik søylebredden pluss $3d_v$ til hver side slik det er beskrevet i figur 29.



Figur 30. Definisjon av medvirkende platebredde b_s for bestemmelse av effektivt armeringsforhold for a) indre søyler, b) endesøyler og c) hjørnesøyler

$$k_{bp} = \sqrt{5\mu_p \frac{d_v}{b_0}} \leq 2,5$$

Hvor μ_p er en koeffisient som ivaretar skjærkraftgradienten og bøyemomentet innenfor kontrollsnittet, og settes som:

$\mu_p = 8$ for indre søyler

$\mu_p = 4$ for endesøyler og langs vegg

$\mu_p = 2$ for hjørnesøyler og vegg hjørner

I de snittene hvor $\tau_{Ed} > \tau_{Rd,CF}$, må det enten tilsettes mer fiber eller benyttes skjærarmering. Skjærarmeringen kan enten være oppbøyde stenger, bøyer eller stenger med T-hoder. (4)

8.3.5.5. Dimensjonering for skjærkraft og gjennomlokking i konstruksjonsdeler uten lengdearmring

Den fiberarmerte konstruksjonens skjærkraftkapasitet bestemmes ved:

$$\tau_{Rd,cF} = f_{tvd}$$

Grunnen til dette er en antatt skrårissvinkel på 45°. Den dimensjonerende reststrekkfastheten er som definert ovenfor. Ved gjennomlokking antas et kritisk kontrollsnitt i avstand 0,5d fra belastet flate. (4)

8.3.6. Torsjonsmoment i bjelker.

Sammenlignet med skjærkrefter er det gjort betydelig mindre forsøk på torsjonsmoment i fiberarmerte betongkonstruksjoner. Likevel er det grunnlag for å anta at konstruksjoner kan få gunstige effekter ved bruk av fiber. Forslaget til beregning av torsjonskapasiteter nedenfor er hentet fra NB-38, som igjen henviser til tysk regelverk. Dersom fiberarmeringens kapasitet allerede er utnyttet til å ta opp skjærkrefter eller momentkrefter, skal man ikke utnytte fiberarmeringens bidrag til torsjonskapasiteten.

Slik som ved skjærkapasitet må fiberarmeringens bidrag på torsjonskapasiteten summeres med den reduserte kapasiteten fra den vanlige slakkarmeringen. I tillegg må torsjonskapasiteten beregnes i lengderetning og på tvers.

Torsjonskapasiteten skal beregnes med følgende verdier:

$T_{Rd,sl}$:	Torsjonskapasiteten av lengdearmeringen [Nmm]
$T_{Rd,sw}$:	Torsjonskapasiteten av tverrarmeringen [Nmm]
$T_{Rd,cF}$:	Tillegget for torsjonskapasitet av lengdearmeringen grunnet fiberbetong [Nmm]
$T_{Rd,cwF}$:	Tillegget for torsjonskapasitet av tverrarmeringen grunnet fiberbetong [Nmm]

Den totale torsjonskapasiteten skal beregnes ved:

$$T_{Rd,slF} = 0,75T_{Rd,sl} + T_{Rd,cF} \quad \text{Formel 15}$$

$$T_{Rd,swF} = 0,75T_{Rd,sw} + T_{Rd,cwF} \quad \text{Formel 16}$$

Hvor:

$$T_{Rd,sl} = \frac{2A_k}{\mu_k \cot \theta} \sum A_{sl} f_{yd}$$

$$T_{Rd,sw} = 2A_k \cot \theta \frac{A_{sw}}{s} f_{yd}$$

$$T_{Rd,cF} = f_{tvd} t_{ef,i} 2A_k$$

$$T_{Rd,cwF} = f_{tvd} t_{ef,i} 2A_k$$

Der A_k er arealet på innsiden av midtlinjene til det effektive tverrsnittet mens $t_{ef,i}$ beskriver tykkelsen av det effektive tverrsnittet. Faktoren μ_k beskriver her omkretsen av midtlinjene til det effektive tverrsnittet.

K_0 settes i likhet med tidligere beregninger lik 1,0 ved beregning av dimensjonerende reststrekkfasthet. (4)

8.3.7. Stavmodeller

Ved dimensjonering i bruks- og bruddgrensetilstand kan det benyttes maksimal spenning på $f_{Fts,ef}$ og $f_{Ftu,d}$ og en spennings-tøyningssammenheng i samsvar med figur 24. Det anbefales at K_0 settes lik 0,5 i disse konstruksjonene.

Konstruksjonsdeler som beregnes ved hjelp av stavmodeller kan få erstattet tverrarmeringen helt eller delvis dersom fiberbetongens reststrekkfasthet benyttes. I disse konstruksjonene kan hovedarmeringen reduseres med opptil 30% når man tar hensyn til reststrekkfastheten. I tillegg kan også tverrarmeringen, som kreves for å ta opp strekkspenninger i betongen under konsentrerte laster, erstattes eller reduseres ved bruk av reststrekkfastheten i fiberarmeringen. (4)

8.4. Bruksgrensetilstanden

8.4.1. Spenningsberegning.

For fiberarmerte betongkonstruksjoner er reglene angitt i Eurokode 2 kapittel 7.2 også gjeldene, både med og uten vanlig armering.

$$\sigma_t \leq 0,6 \cdot f_{Fts,ef}$$

der: $f_{Fts,ef} = 0,45 \cdot f_{R,1k} \cdot K_0$

som beskrevet i kapittel 6, om mekaniske egenskaper er $f_{R,1k}$ den karakteristiske restbøyestrekfastheten ved $CMOD_1$ lik 0,5mm. K_0 er her 1,0 for horisontale konstruksjonsdeler utsatt for bøyning, mens for vertikale konstruksjonsdeler slik som vegger og søyler settes K_0 lik 0,5. (4)

8.4.2. Prinsipp for rissviddeberegning

Kravene gitt i Eurokode 2 til rissvidder for de ulike eksponeringsklassene gjelder også for fiberarmert betong. Ved bruk av fiber i betong vil rissavstander og rissvidder i konstruksjonen få en betydelig gunstig endring. Selv små mengder fiberarmering kan forminske opprissingen i så stor grad at konstruksjonen nesten ikke får synlige tiss i bruksgrensetilstanden.

Beregning av rissvidden (w_k) til konstruksjoner med tradisjonell armering kan gjøres etter Eurokode 2 med en korreksjon for fiberne i betongen. Siden informasjonen i dette kapitlet i stor grad er hentet fra NB-38[2], og den rapporten bruker formuleringene fra fib Model Code 2010 [4], brukes også denne metoden her. I tillegg er det forventet at det er formuleringene fra fib Model Code 2010 som kommer til å bli brukt i den nye utgaven av Eurokode 2. Generelt gjelder følgende formel:

$$w_k = s_{r,max,cal}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad \text{Formel 17}$$

Der:

- $s_{r,max,cal}$ er rissavstanden ved stabilisert rissmønster eller alternativt de største kraftinnføringslengden i området ved siden av risset ved generering av første riss.
- ϵ_{sm} er midlere tøyning i armeringen inklusive svinnbidrag.
- ϵ_{cm} er lik σ_{sr}/E_s og er midlere tøyning i betongen mellom rissene i nivå tilsvarende ϵ_{sm} .

Differansen i tøyning $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ blir beregnet med samme metode som gjøres i ligning (7.9) i Eurokode 2 hvor det korrigerede *tension stiffening*-uttrykket beregnes ved:

$$\sigma_{sr} = k_t \cdot \frac{f_{ctm}}{\rho_{c,ef}} \cdot \left(1 + \frac{E_s}{E_{cm}} \rho_{c,ef}\right)$$

Formel 18

Der:

- k_t er enfaktor som avhenger av lastens varighet. For kortvarig last er $k_t = 0,6$, og for langvarig last er $k_t = 0,4$.
- f_{ctm} er midlere enaksial strekkfasthet (Eurokode 2, Tabell 3.1)
- E_s er E-modulen for stålarmering
- E_{cm} er betongens midlere E-modul Eurokode 2, Tabell 3.1)
- $\rho_{s,ef}$ er effektivt betongareal som er i strekk slik det er definert i Eurokode 2 figur 7.1 ($A_s/A_{c,ef}$).

Tension stiffening-leddet er ikke påvirket av effekten til fiberne i betongen, mens ved beregning av σ_s bør fibernes effekt bli tatt hensyn til.

Den største rissavstanden i en konstruksjon beregnes ved følgende formel:

$$s_{r,max,cal} = \left(2c + 0,35k_b \frac{\phi}{\rho_{p,ef}}\right) \cdot \left(1 - \frac{f_{Fts,ef}}{f_{ctm}}\right) \quad \text{Formel 19}$$

Hvor:

- c er overdekningen til betongen
- k_b er en koeffisient som tar hensyn til stangarmeringens heftegenskaper
k_b = 0,8 for stangarmering med bra heftegenskaper
k_b = 1,6 for stangarmering med dårlige heftegenskaper
- ϕ er diameteren av armeringen
- f_{Fts,ef} er enaksiell reststrekkfasthet for bruksgrensetilstand, bestemt med k₀ = 1,0 for bøyepåkjente konstruksjoner.

Følgende uttrykk for (ε_{sm} - ε_{cm}) kan brukes der konstruksjoner blir påført tvangstøyninger og det opptrer riss, eller blir påvirket av fastholdingsbetingelser ved ender eller opplegg:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = R_{ax} \cdot \epsilon_{free} - \frac{f_{ct,ef}}{E_{cm}} \geq 0 \quad \text{Formel 20}$$

Hvor:

- R_{ax} er fastholdningsgraden. Den settes lik 1,0 minus forholdet mellom tøyningen i konstruksjonen og den påførte tøyningen. Basert på lineær-elastisk beregning kan forholdet bestemmes.
- ε_{free} er den påførte tøyningen på konstruksjonsdelen. Den kan være påført i perioden under og/eller etter bygging når fastholding etableres.

Det finnes ikke tilstrekkelig med dokumenterte retningslinjer for beregning av rissvidde for konstruksjoner der det ikke er brukt tradisjonell stangarmering. Det kan foreløpig antas at konstruksjoner som ikke har beregningsmessig behov for tradisjonell stangarmering i bruddgrensetilstanden etter NB-38, ikke blir opprisset i bruksgrensetilstanden. (4)

8.5. Forslag til konstruksjonsregler for ulike typer konstruksjoner

8.5.1. Generelt

Dette kapittelet består av forslag til konstruksjonsregler for forskjellige typer konstruksjoner med fiberarmering, og er hentet fra Norsk betongforenings nye forslag om retningslinjer og beregningsmetoder i NB-38. Dette kapittelet er også sterkt relatert til kapittel 9 i Eurokode 2 *konstruksjonsregler*.

For tverrsnitt med eller uten aksialkraft stilles det et generelt krav til armeringsmengde. Minste armeringsmengde skal beregnes ut ifra følgende formel:

$$M_{R,min}(N_{ED}) \geq M_{cr}(N_{ED}) \quad \text{Formel 21}$$

Hvor:

$M_{R,min}$ er momentkapasiteten til tverrsnittet basert på $A_{s,min}$ og eventuell aksialkraft. Bidrag fra fiber kan her inkluderes med reststrekkfastheten $f_{Ftu,ef}$ beregnet i henhold til kapittel 8.1.

M_{cr} er rissmomentet for tverrsnittet beregnet med strekkfasthet f_{ctm} og inkludert armering og aksialkraft.

Generell regel for konstruksjoner med nedstyrtningsfare er at minimumsarmeringen i hovedretningen kun kan reduseres med 50% på grunn av bidrages som fiberarmeringen gir.

Minimumsarmeringen til tverrsnitt som er utsatt for rent strekk kan beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$A_{s,min} = \left((f_{ctm} - f_{Ftu,ef}) / f_{yk} \right) \cdot A_c > 0,5 \cdot (f_{ctm}) \cdot \frac{A_c}{f_y} \quad \text{Formel 22}$$

(7)

8.5.2. Plater på mark

For dimensjonering av plater direkte på mark og sprøytebetong, kan dimensjoneringsprinsippene i NB38 brukes for å dimensjonere lastvirkningen. Der det dimensjoneres for tynne plater kan momentkapasiteten økes på grunn av den gunstige fiberorienteringen man får der tverrsnittstykkelsen er liten. Restfastheten kan derfor økes med 20% for tynne plater. Denne økningen av momentkapasitet er bare anbefalt dersom $t/l_f < 3,5$.

Videre anbefalinger for plater med fiberarmering støpt på mark er gitt i Norsk Betongforenings publikasjon nr. 15. (4)

8.5.3. Bjelker

Bjelker med fiberarmering skal ha tradisjonell stangarmering på strekksiden. Minste armeringsmengde skal beregnes ut ifra følgende formel:

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot b_t \cdot d \cdot \frac{(f_{ctm} - 2,15f_{Ftu,ef})}{f_{yk}} > 0,13 \cdot (f_{ctm}) \cdot b_t \cdot \frac{d}{f_{yk}} \quad \text{Formel 23}$$

Der det forutsettes at $\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,005$

Den effektive reststrekkfastheten $f_{Ftu,ef}$ skal beregnes i henhold til kapittel 8.1.

Kravet til minimum skjærarmering i armerte bjelker kan reduseres på grunn av effekten til fiberbetongen.

$$\rho_{Fw,min} = \rho_{w,min} - \frac{f_{Ftu,ef}}{f_{yk}} \geq 0$$

Det forutsettes at $f_{Ftu,ef} \geq 0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}$

(4)

8.5.4. Plater

Minimumskravet for armering i plater er det samme som for bjelker, bortsett fra at for plater gjelder kravet i begge retningene. For tverrsnitt som kun blir utsatt for bøyning skal det beregnes hovedarmering og minimumsarmering på tvers i henhold til følgende formel:

$$A_{s,min} \cdot f_{yk} = 0,26 \cdot (f_{ctm} - 2,15f_{Ftu,ef}) \cdot b_t \cdot d > 0,13 \cdot (f_{ctm}) \cdot b_t \cdot d \quad \text{Formel 24}$$

For tynne plater kan $f_{Ftu,ef}$ økes i henhold til kapittel 8.5.2. Beregning av skjærarmering i plater skal ha et tverrsnittsareal referert til platens plan som minst svarer til [mm²/mm²]:

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

Avstanden mellom stangarmeringen i platen kan ikke være større enn 8 ganger tverrsnittstykkelsen, eller 1,2m. (4)

8.5.5. Flatdekker

For flatdekker gjelder samme krav som for plater. Pkt 9.4.1(3) i Eurokode 2 må alltid være oppfylt. (4)

8.5.6. Søyler

For søyler er det ingen krav om bruk av tradisjonell stangarmering dersom det kan beregningsmessig bevises at fiberarmeringen brukt i søylen har tilstrekkelig effekt til å ta opp de kreftene som oppstår fra laster, svinn- og temperaturendringer. (4)

8.5.7. Vegger, skiver og skall

Faktoren k_0 skal for vegger, skiver og skall settes lik 0,5.

Vegger skiver og skall som inneholder fiberarmering i tillegg til tradisjonell stangarmering skal ha stangarmering i hovedretningene med et tverrsnittsareal på begge sider som angitt nedenfor:

$$\text{Horisontalt i yttervegger:} \quad A_{s,min} = 0,3 \cdot A_C \cdot \frac{f_{ctm} - f_{Ftu,ef}}{f_{yk}} \quad \text{Formel 25}$$

$$\text{Skiver og skall i begge retninger:} \quad A_{s,min} = 0,3 \cdot A_C \cdot \frac{f_{ctm} - f_{Ftu,ef}}{f_{yk}} \quad \text{Formel 26}$$

$$\text{Generelt i vegger:} \quad A_{s,min} = 0,15 \cdot A_C \cdot \frac{f_{ctm} \cdot 1,7 \cdot f_{Ftu,ef}}{f_{yk}} \quad \text{Formel 27}$$

Enkeltarmerte vegger skal ha et tilsvarende samlet armeringsareal

$F_{Ftu,ef}$ kan økes med 20% i dette uttrykket for tynne vegger i henhold til kapittel 8.5.2.

Dersom det kan beregningsmessig bevises at fiberarmeringen i en vegg, skive eller skall kan ta opp de aktuelle kreftene som opptrer, kan konstruksjonen utføres uten tradisjonell stangarmering. For vegger som er utsatt for bøyning fra sidetrykk skal også bestemmelsene i pkt. 8.5.4. Plater være oppfylt. (4)

8.5.8. Fundamenter

Fundamenter kan utføres uten bruk av tradisjonell stangarmering, men kravene i NB-38 som omhandler påvisning av kapasitet for moment og skjærkrefter gjelder.

Tilpasninger som kan gjøres i Eurokode 2 for fiberarmerte fundamenter er følgende:

- Fundamenter der det ikke er benyttet tradisjonell stangarmering skal ikke ha en tykkelse mindre enn 200 mm. Dette kravet gjelder ikke for bærende plater på grunn ved husbygging.
- For vegg- og søylefundamenter kan kravet for plater brukes for minimum stangarmering.

(4)

8.5.9. Forankring av armering

Ved bruk av fiberarmering i konstruksjonsdeler kan man ikke gjøre tilpasninger i kravene som er gitt i Eurokode 2 for forankring eller skjøting av armering. (4)

8.5.10. Støpeskjøter

Ved alle støpeskjøter skal det ligge en minimumsarmering på tvers, som beskrevet i Eurokode 2, for de delene som støpes sammen uten bidrag fra stålfiberne. (4)

8.6. Bruk av kapittel 12 i Eurokode 2.

Kapittel 12 i Eurokode omhandler dimensjoneringsprinsipper for bruken av uarmert betong i forskjellige konstruksjoner. For fiberarmert betong kan det gjøres enkelte tilpasninger på de reglene som er gitt:

12.3.1(1): $\alpha_{cc,pl}$ og $\alpha_{ct,pl}$ er i Eurokode 2 anbefalt å settes lik 0,8, men kan endres til 0,85 for fiberarmert betong.

12.3.2(2): leddet f_{ctd} kan byttes ut med f_{ftud} med tøyningbegrensninger som tidligere vist i kapittel 8.3.3 og med k_0 som beskrevet tidligere.

(4)

9. Materialdokumentasjon

9.1. CE-merking av fiber

Ved bruk av fiberarmering i betong må egenskapene til fiberne være kjent. Fra produsenten av fiberne skal det være med dokumentasjon som viser fibernes egenskaper. Det er i hovedsak to standarder fiberprodusenter må følge ved materialdokumentasjon:

- Stålfiber - EN 14889-1: Fibere for betong – Del 1: Stålfibere - Definisjoner, krav og samsvar. (9)
- Polymerfiber - EN 14889-2: Fibere for betong – Del 2: Polymerfibere - Definisjoner krav og samsvar. (11)

For fibere av andre typer materiale skal også de deklarerer etter de prinsippene som er gitt i standardene over. Tabell 8 under viser et eksempel på CE merking for stålfiber, en lignende tabell gjelder også for polymerfiber.

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.			

Tabell 8. Systemer for samsvarsattestering (Tabell ZA.2 i EN 14889)

Mer utfyllende forklaringer og eksempel på utforming av CE-merking av informasjon kan man finne i standard EN 14889.

9.2. Bestemmelse av dimensjoner på fiber

Lengden av fiberne skal måles og bestemmes som avstanden mellom endepunktene på fiberne. Nøyaktigheten på måleutstyret brukt til bestemmelse av lengden på fiberne skal være på $\pm 0,1$ mm. Dersom fiberen er bøyd eller har endekroker skal også den totale lengden på fiberen (l_d) måles for å beregne tilsvarende diameter.

For bestemmelse av diameteren til fiberarmering skal det brukes et mikrometer i to retninger med en nøyaktighet på $\pm 0,01$ mm. Den endelige diameteren til fiberen er gjennomsnittet av målingene.

For fibre med rektangulært tverrsnitt skal bredden (w) og tykkelsen (t) også måles med et mikrometer med lik nøyaktighet. Diameteren bestemmes da som:

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

Enkelte fibre kan ha irregulære tverrsnitt. For disse fibre skal massen (m) måles med en nøyaktighet på $\pm 0,001$ g. diameteren bestemmes fra massen og lengden (l_d) med følgende formel:

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

Densiteten (ρ) kan settes som 7850 kg/m^3 for bløtt stål, og 7950 kg/m^3 for syrefast stål.

Slankhetstallet for fibre skal bestemmes som lengden av fiberne (l) delt på diameteren (d):

$$\lambda = l/d$$

Dersom fibre er blitt overflatebehandlet, skal all kjemisk eller fysisk behandling av fiberne dokumenteres og kontrolleres av produsenten, og mengden skal oppgis som g/m^2 . Fiber kan eksempelvis belegges med sink eller bli halvgalvanisert.

Fibre kan leveres buntet, i emballasje eller limt, og ved disse tilfellene skal dette spesifiseres fra produsentens side. Det skal også opplyses om emballasje må fjernes for hånd eller om dette er selvoppløselig. I tillegg skal fibrenes form være spesifisert fra produsent. (3)

9.3. Stålfiber

Stålfiber er delt inn i grupper som avhenger av hvordan de blir produsert. Den mest brukte gruppen av stålfibre i betongkonstruksjoner er gruppe I, kaldstrukket ståltråd.

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

Tabell 9. Oversikt over forskjellige typer stålfibre

I gruppe I og II skal lengden, diameteren og slankhetstallet være spesifisert av produsenten. Tabell 9 beskriver grensene som stålfiberne skal være i henhold til. For stålfibre i gruppe I og II kreves det at 95% av alle fiberne skal være innenfor disse grensene. For gruppe III, IV og V skal 90% av fiberne være innenfor disse grensene.

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 10. Toleranser, lengder og diameter av stålfiber

Strekstyrken (R_m) på fiberen skal være bestemt i henhold til standarden EN 10002-1 og skal være spesifisert av fiberprodusenten. Strekkstyrken bestemmes på forskjellig måte for hver av gruppene gitt i tabell 10.

For gruppe I bestemmes strekkstyrken av ståltråden før den er blitt deformert. Toleransen på R_m-verdien gitt av leverandør kan være opp til 15 % for hver enkelt måling, og kan være 7,5% for gjennomsnittet av enkeltmålingene. 95% av målingene må være innenfor disse toleransene.

For gruppe II bestemmes strekkstyrken av platen før den blir kuttet opp. Gruppe II har de samme toleransene som er gitt for gruppe I.

For gruppe III, IV og V bestemmes strekkstyrken på selve fiberne med en lengde på minst 20 mm. Disse gruppene har fibre hvor tverrsnittet er irregulært, og fiberne vil derfor ryke der tverrsnittet er minst. På grunn av dette må den nominelle strekkfastheten beregnes ved å dividere maks last med tverrsnittet regnet ut fra den beregnede diameteren for fibre med irregulært tverrsnitt. Dersom produsenten ønsker det, kan diameteren i bruddpunktet brukes istedenfor. Nøyaktigheten på målingen av tverrsnittet skal da også spesifiseres.

Elastisitetsmodulen til stålfiberne skal også være opplyst om fra produsenten For gruppe I og II kan den bestemmes i henhold til EN 10002-1. Elastisitetsmodulen skal testes med stålet før deformering og skal beregnes ved å bruke belastning og deformasjon ved 10% og 30% av R_m. For stålfiber ligger elastisitetsmodulen ca ved 200 000 MPa, mens for syrefast stålfiber er den litt lavere med en verdi på ca 170 000 MPa. (9)

9.4. Polymerfiber

Kravene til polymerfiber i betong er definert i EN 14889-2. polymerfiber grupperes etter både lengde og sammensetting. Klasse 1 er fibre med lengde større eller lik 30 mm, mens klasse 2 er fibre under 30 mm. Materialene som brukes i fiberne skal spesifiseres fra produsent fra sammensetningene under.

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

Tabell 11. Oversikt over ulike materialer i polymerfiber.

Fiberprodusenten skal opplyse hvilken form og dimensjoner polymerfiberne har. Også overflateteksturen og formen på tverrsnittet skal beskrives. Toleransen på lengden, diameteren og slankhetstall er beskrevet nedenfor i tabell 12.

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)	± 10 %	± 5 %
≤ 30 mm			± 1,5 mm
Class II fibres > 0,30 mm			
(equivalent) diameter	d_e	± 50 %	± 5 %
length/diameter ratio	λ	± 50 %	± 10 %
Class I fibres ≤ 0,30 mm			
linear density	ρ_L	± 10 %	± 10 %

Tabell 12. Toleranser lengden og diameteren av polymerfiber

Lineær densitet for polymerfiber skal være oppgitt fra produsent og bestemmes i henhold til EN 13392 for klasse 1, og skal beskrives i tex. Hvor $1 \text{ tex} = 1\text{g}/1000\text{m}$.

Strekstyrken til polymerfibre skal oppgis av produsenten. Strekkstyrken for polymerfibre i klasse 1 skal bestemmes ved den gjennomsnittlige bruddstyrken for materialet, hvor prøvene skal utføres i henhold til EN ISO 2062.

For Klasse 2 skal strekkstyrken bestemmes etter EN 10002-1 ved at den maksimale kraften fiberen tåler før den ryker, divideres med det gjennomsnittlige tverrsnittet. Denne testen av strekkstyrke skal utføres på 30 fibre med lengde større enn 20 mm, hvor alle resultater er med på å danne gjennomsnitt og standardavvik. Toleransen for strekkstyrke i forhold til den opplyste verdien er 15% for enkeltmålinger og 7,5% for gjennomsnittet.

Elastisitetsmodulen skal være opplyst fra produsent og den skal være bestemt i henhold til EN 10002-1. Beregning av elastisitetsmodulen skal skje ved bruk av belastning og deformasjon ved 10% og 30% av strekkstyrken. I likhet med strekkstyrken skal testen utføres på 30 fibre, hvor alle resultater er med på å danne gjennomsnittet og standardavviket. Toleransen for målt E-modul sammenlignet med opplyst E-modul fra produsent, er 15% for individuelle målinger og 10% for gjennomsnittet av målingene.

For polymerfiber skal også smeltepunktet og fordampningspunktet være opplyst fra produsent. Bestemmelsen av disse verdiene skal skje i henhold til ISO 11357-3. Disse verdiene er veldig viktig for egenskapene til betongen under brann. (11)

9.5. Bestemmelse av fiberens effekt på betongen

Konsistensen på betongen kan endres ved tilsetning av fiberarmering. Denne effekten skal fiberprodusenten opplyse om og skal være i henhold til bestemmelser i NS-EN 14845-1 om referanse betong, som er beskrevet i kapittel 7.3. Produsenten skal opplyse om mengden fiber som er i betongen, og er ansvarlig for at den mengden oppnår oppgitt bøyestrekfasthet. Måling av konsistensen til betongen skal utføres både med og uten fiber og skal måles i henhold til NS-EN 12350-3. Stålfiber endrer ikke konsistensen på betongen i særlig stor betydning, men betongen kan få redusert flyt. Særlig for fiberbetonger med svært stor andel fiber, over $40 \text{ kg}/\text{m}^3$, bør man kompensere med å endre betongens proporsjonering. Valg av fibertype er også viktig å ta hensyn til.

Styrken på betongen endres også ved tilsetning av fiber. Denne effekten skal bestemmes i henhold til NS-EN 14845-2. Produsenten skal opplyse om hvilken fibermengde som oppnår restbøyestrekfasthet på 1,5 MPa ved 0,5 CMOD, og 1,0 MPa ved 3,5 mm CMOD. (3)

10. Hoveddel: Fordeler og ulemper med fiberarmert betong

10.1. Tid

Tid er noe man helt klart kan spare ved å velge fiberarmering i stedet for slakkarmering. Den viktigste besparelsen er at armeringstiden bort imot elimineres. Armering av en betongkonstruksjon med tradisjonell armering er veldig tidkrevende. Arbeidet kan i store prosjekter pågå i flere arbeidsdager. Eliminerer man denne tiden sparer man også penger på timebetaling til arbeiderne. I et eksamensarbeid fra Chalmers tekniske høgskole i Sverige er det gjort et forsøk på en plate på mark for å se på økonomiske forskjeller mellom fiberarmering og tradisjonell armering. Der har de utført støpen med tradisjonell armering, platen hadde et areal på 10,7x6,1 m og var 150mm tykk, og brukt 10 timer på montering av armering. Det er 10 timer som potensielt kan spares ved bruk av fiberarmering. (33)

En ting som ikke var med i beregningen i det nevnte eksamensarbeidet var tiden som blir brukt på HMS tiltak. På en konstruksjon med mye oppstikkende armeringsstenger, kan det gå med mye tid til tildekking av stengene. Dette er for å forsikre at arbeiderne ikke faller og spiddes. Dette er også noe man unngår når det arbeides med fiberarmering.

Prosjekteringstiden kan påvirkes av valget av armering. Planlegging av stangarmering kan være komplisert og tidkrevende, da det kan være utfordrende å finne plass til den nødvendige armeringen. Med fiberarmering må man kun passe på at fordelingen av fibre er jevn. En kombinasjon av fiber og slakkarmering vil gi mindre behov for slakkarmering enn vanlig, noe som også kan gi mindre utfordringer med plassering, og tiden som går til montering reduseres.

Et prosjekt som allerede er utført med fiberarmering er Arena Sør, som også blir nevnt senere i denne rapporten. Her kan det vises til en tidsreduksjon på omtrent 30 % i forhold til prosjektert tid med tradisjonell armering. (4)

10.2. Kostnad

En av de viktigste årsakene til at man ser en økning i bruken av fiber i betongkonstruksjoner er det store potensialet til å spare kostnader i byggeprosessen. Det har også ført til økt forskning og utarbeiding av retningslinjer. Materialkostnadene til fiberarmert betong er høyere sammenlignet med vanlig stangarmering, men potensialet til kostnadsbesparelse ligger hovedsakelig i arbeidstid og arbeidsmengde. For konstruksjoner med vanlig stangarmering trengs det veldig mye arbeidskraft for å binde jern. Der man kan redusere bruken av stangarmering, vil man også redusere behovet for arbeidskraft. For eksempel i vegger og dekker der man kan redusere minimumsarmeringen betraktelig, vil det også gå betydelig fortere å støpe ut betongkonstruksjonen. Denne tidsbesparelsen kan redusere tiden på hele prosjektet, samt redusere tiden man har behov for å leie inn for eksempel kraner. Dette kan redusere kostnadene av betongkonstruksjoner betydelig. (34)

For å dra inn et eksempel der fiberarmering allerede har blitt brukt, kan vi se på Start stadion i Kristiansand (Arena Sør). Dette prosjektet ble så vidt nevnt i kapittel 10.1. Fiberarmering ble brukt i en kombinasjon med armeringsnett i betonggulvet på stadion. Gulvet er 250 mm tykt og er plassert på opptil 20 m lange peler. Peler var nødvendig fordi grunnforholdene var dårlig, siden bygningen er plassert på en gammel søppelfylling. Fiberarmering ble først og fremst valgt i dette prosjektet på grunn av mangel på jernbindere. Det viste seg derimot at bruken av fiberarmering førte til en reduksjon i kostnad på rundt 10 %, som kom av en stor reduksjon i arbeidstimer (anslått ca. 30%). I tillegg var det en besparelse på 50-100 tonn armeringen som opprinnelig var beskrevet. (4)

Det ble gjennom eksamensarbeidet fra Chalmers tekniske høgskole i Sverige nevnt i kapittel 10.1. også gjennomført en kostnadsanalyse av et dekke på grunn med tradisjonell armering og et dekke med fiberarmering. Resultatet de fikk på sine beregninger samsvarer med argumentasjonen ovenfor og ga en betydelig reduksjon i kostnader. Sammenligner man den standardiserte utførelsen av dekket med vanlig armering og med stålfiber, fikk de en besparelse på hele 44%. Selv om materialkostnaden til fiberbetongen er høyere enn ved tradisjonell armering, viser dette at det på grunn av redusert arbeidsmengde, er et stort potensial til å redusere kostnadene på prosjekter ved å bruke fiberarmering i betongen. (33)

10.3. HMS

HMS er og vil alltid være en viktig del av byggenæringen. Det skjer stadig forbedringer når det kommer til arbeidernes helse, og bruk av fiberarmering kan ha en positiv effekt på HMS-forholdet på en arbeidsplass. Ifølge tall fra statistisk sentralbyrå ble det i 2018 rapportert om 5,2 ulykker per 1000 ansatte i bygg og anleggsvirksomheten og totalt 4 ulykker som resulterte i dødelig utfall. Det vil alltid være et mål om å redusere disse tallene, og bruken av fiber som armering kan muligens hjelpe med det. (1)

Under montering av slakkarmering er en arbeider i kontakt med flere potensielt farlige elementer. Armeringsjern må fraktes rundt omkring på arbeidsplassen, ofte med hjelp av kran. Dersom festingen av armeringsjernene ikke er utført på riktig måte, kan det være mulighet for at armeringsjern faller ned på ansatte. Armeringsjernene må også kappes for å kunne tilpasses lengder i konstruksjonene. Kapping av armeringsjern kan gjøres med for eksempel vinkelsliper, og kan med uaktsom håndtering føre til alvorlige skader. I noen tilfeller kan det også være aktuelt å sveise sammen armeringsjern, som også kan føre til plager/skader hvis man er uaktsom. I tillegg kan fallskader på oppstikkende armeringsjern utgjøre en stor fare. Det finnes allerede retningslinjer og krav som skal hindre at skader forbundet med dette inntreffer, som for eksempel vernehylser på oppstikkende armeringsjern vist i figur 31. Likevel kan man ikke garantere at disse alltid blir tatt i bruk. Derfor vil en reduksjon av antall armeringsjern på byggeplassen kunne ha en positiv effekt på HMS. I enkelte konstruksjoner er det vist at fiberarmering har stort potensiale til å redusere eller erstatte armeringsjern fullstendig. Dermed vil det være behov for færre løft på armering av kran, færre kappinger og færre oppstikkende jern. Dette vil uten tvil føre til et bedre HMS-forhold på arbeidsplassen.



Figur 31. Viser vernehylser på oppstikkende armeringsstenger

I tillegg til færre skader forbundet med ulykker, kan fiberarmering ha flere gunstige effekter på HMS på arbeidsplassen. Ved bruk av fiberarmering kan man få fordeler med slitasjeskader hos arbeidere med tanke på ergonomi. Arbeiderne slipper unna de tunge løftene som kommer av slakkarmeringen, og de ugunstige

arbeidsstillingene som kan bli nødvendig ved binding av armeringsjern. Ofte vil det være gunstig å bruke selvkomprimerende betong når man bruker fiberarmering, siden man unngår vibrering som kan påvirke fiberorienteringen. Selvkomprimerende betong har også noen fordeler med tanke på HMS. Vibrering av betong kan for eksempel føre til helseplager og -skader, spesielt når det vibreres over lenger tid. (35) I tillegg blir det vanligvis glattere overflate med selvkomprimerende betong enn med annen betong, som gir mindre behov for pussing. Dette sparer også arbeiderne for arbeidsstillinger som sliter på kroppen samt inhalering av betongstøv.

Som nevnt kan bruk av fiberarmering føre til at man trenger færre folk i arbeid. Færre folk betyr at det er færre som ferdes rundt på arbeidsplassen og dermed mindre sannsynlighet for skader.

10.4. Miljø

En av de mest utfordrende situasjonene menneskeheten nå står ovenfor er global oppvarming. Byggindustrien har lenge vært en av den største kilden til forurensning. Den står for omtrent 40 % av klimagassutslippene i verden. (36) Dermed ble det ansett som viktig å få med hvilke innvirkninger bruk av fiberarmering i betong vil kunne ha på utslippene.

Det er mange aspekter som forårsaker forurensning i utførelsen av et støpningsarbeid. Blant annet produksjon av materiale, frakt av materiale, arbeidere som kjører til arbeidsplassen. I tillegg er også levetiden en viktig faktor, når må det byttes ut/vedlikeholdes? Med bruk av fiberarmering trengs ikke egen transport for armeringen til byggeplassen, siden den gjerne tilsettes betongen på blandeverket. Besparelsen av arbeidere som er nevnt tidligere fører til at færre biler ankommer arbeidsplassen daglig, som er en fordel med tanke på miljøet. Dette kommer selvsagt an på hvor arbeidsplassen ligger, og om arbeiderene bor i nærheten eller ikke. Levetiden kommer an på kvaliteten av betongen.

Selve produksjonen er det eneste som har faste tall, og mengde utslipp CO₂/kg armering er oppgitt i armeringenes EPD-rapporter som er tilgjengelig på EPD Norge sine hjemmesider.

I denne rapporten er det derfor valgt å sammenlikne utslipp under produksjon av armeringstypene. For å gi et best mulig innblikk i forskjellene, sammenliknes tradisjonell armering og fiberarmering hver for seg, i tillegg til en kombinasjon av disse to. Stålfiber er mest relevant for øyeblikket siden den er mest brukt i dag, og har mest utarbeidet materialdokumentasjon. Derfor er stålfiberarmering valgt, men med andre typer fiberarmering kan resultatene være annerledes. For eksempel basaltfiber er en type som trolig har mindre utslipp under produksjon, og kan prestere like bra som stålfiberen i konstruksjoner.

EPD Norge har rapporter for stålfiber levert av Mapei, dette er også den eneste EPD-rapporten på stålfiberarmering som er tilgjengelig for øyeblikket. Her er det oppgitt et globalt oppvarmingspotensial (GWP) på omtrent 0,77 kg CO₂/kg armering, i produktfase. Tilsvarende for slakkarmering gir omtrent 0,36 kg CO₂/kg armering, her er EPD for «Steel reinforcement product for concrete» fra Celsa Steel Service AS brukt. (37,38) For å sammenligne stålfiber og slakkarmering er det først tatt utgangspunkt i beregningene fra kapittel 11 i denne rapporten. I tillegg er beregninger fra COIN sin prosjektrapport 17 fra 2009 brukt, hvor det sammenlignes mengde armering med og uten fiberarmering samt kombinert fiber- og slakkarmering. (39)

Beregningen i denne rapporten bruker et fiberinnhold på omtrent 70 kg/m³. Dette gir en reduksjon fra 4 stk. ø14 til 3 stk. ø12. I følge Celsa Steel Service AS sine egne armeringstabeller, gir det en besparelse på 13 kg armering i denne bjelken, det vil si en besparelse på 4,68 kg CO₂. Bjelken er på 0,6 m³ som gir et fiberinnhold på 42 kg. Dette tilsvarer et utslipp på 32,34 kg CO₂. Dermed er det ikke fordelaktig for miljøet, når man ser kun på produksjon av armeringen, å bruke fiberarmering i denne bjelken.

COIN prosjektrapport 17 (39) har beregninger som viser armeringsmengde i fundament, vegg, søyle og dekke, som alle er knyttet til en kjeller i en bolig. Rapporten beregner armeringsmengde i de forskjellige konstruksjonsdelene på tre forskjellige måter; kun stangarmering, stangarmering pluss 1 vol.-% fiberarmering og kun fiberarmering. Disse beregningene i tillegg til tallene fra EPD Norge som er nevnt ovenfor og armeringstabell fra Celsa Steel Service AS gir grunnlag for oversiktene nedenfor. 1 vol.-% fiberarmering tilsvarer omtrent 79 kg fiber per m²:

Kjellerveggen:

For vegg er det oppgitt stangarmeringsmengde per meter og mengdene var som følgende:

	Tradisjonell armering	1 vol.-% stållfiber og stangarmering	Kun stållfiber
Vertikal stangarmering (mm ² /m)	650 Ø10c240=654	150 2Ø10=157	-
Horisontal stangarmering (mm ²)	389 Ø8c300=402	-	-
Volumforhold fiber (vol.-%)	-	1	1,3

Tabell 13. Armeringsmengder i kjellervegg

Veggen er 180mm tykk og antas å ha en høyde på 2400mm. Dette gir $0,18m * 2,4m * 1m = 0,432m^3$ per meter vegg.

For tradisjonell armering:

Total lengde vertikal armering:

654mm²/m tilsvarer 8,33 stenger per meter: $8,33 * 2,4m = 20 m$, gir $20m * 0,617kg/m = 12,34 kg$

Total lengde horisontal armering:

402mm² tilsvarer 8 jern: 8 m, gir $8m * 0,395kg/m = 3,16kg$

Total mengde stangarmering: 15,5 kg

For kombinert løsning:

Total lengde vertikal armering: $2 \cdot 2,4\text{m} = 4,8\text{m}$, gir $4,8\text{m} \cdot 0,617\text{kg/m} = 2,96\text{ kg}$

Mengde stålfiber: $79\text{kg/m}^3 \cdot 0,432\text{m}^3 = 34,12\text{ kg}$

For kun fiber:

$1,3\text{vol.-%} \cdot 79\text{kg/m}^3 \cdot \text{vol.-%} = 102,7\text{kg/m}^3 \cdot 0,432\text{m}^3 = 44,36\text{ kg}$

	Tradisjonell armering	1 vol.-% stålfiber og stangarmering	Kun stålfiber
Mengde stangarmering (kg)	15,5	2,96	-
Mengde fiberarmering (kg)	-	34,12	44,36
Klimagassutslipp (kg CO ₂)	5,58	27,34	34,16

Tabell 14. Utrechnet CO₂-utslipp per meter vegg for de forskjellige armeringsmetodene

Tabellen ovenfor viser en betydelig økning i kg CO₂ for løsningene med fiberarmering. Dette skyldes mengdene fiberarmering som trengs i denne konstruksjonen. Kjellerveggen i COIN-rapporten er beskrevet som den som trenger minst fiberarmering, noe som betyr større økninger i CO₂-utslipp i de resterende konstruksjonsdelene. (37,38)

NB38 nevner Start Stadion i Kristiansand, denne er også nevnt i tidligere i denne oppgaven, der vises det til en besparelse på mellom 50-100 tonn armering. Det er et storskalaprojekt som allerede er gjennomført, hvor det ble brukt 120 tonn fiberarmering pluss 70 tonn armeringsnett. Denne mengden armering, beregnet med tallene fra EPD Norge, gikk utslippet under produksjon av armeringen fra potensielt 90-108 tonn CO₂ (250-300 tonn tradisjonell slakkarmering), til 117,6 tonn CO₂. Dette er fortsatt en økning, men mye mindre sammenlignet med kjellerveggen. Disse tallene er ikke medregnet transport til byggeplass, og heller ikke faktorer som gir CO₂-utslipp under selve produksjon av konstruksjonen. (4)

En studie fra Swiss Federal Institute of Technology i 2012 undersøkte om bruken av fiberarmert betong ved rehabilitering av en bro kunne senke effekten på global oppvarming. De brukte forskjellige typer fiber og sammenlignet dem i forhold til standardiserte løsninger uten fiber. De konkluderte med at en fibertype (Ultra High Performance fiber reinforced concrete, UHPFRC) hadde lik effekt på global oppvarming som ved standardiserte løsninger, selv uten å betrakte minskningen av rehabilitering i fremtiden. Dersom broen sto i mer enn 30 år, hadde en type fiber kun 60% utslipp sammenlignet med den standardiserte løsningen. Dette viser at det definitivt er situasjoner der fiberarmering kan være den mest miljøvennlige metoden og at det ligger et potensiale i utviklingen av mer miljøvennlige fibre. (40)

Likevel er det ikke gjort tilstrekkelig med forskning på området for å kunne konkludere hvilken effekt fiberarmering har på global oppvarming. Studien viser likevel et potensial til å kunne utvikle fiberarmering på mer miljøvennlige måter og kanskje bruke andre materialer for å kunne utnytte de gode mekaniske egenskapene og samtidig være et miljøvennlig alternativ. Fiberarmering har en meget god effekt på levetiden til betongkonstruksjoner, samt nødvendigheten av rehabilitering. Det kan derfor være nødvendig å forske på hvilken betydning det har for det totale miljøregnskapet på forskjellige konstruksjoner.

10.5. Kvalitet

Fiber har gjennom mange år blitt brukt i betong på ulike måter for å forbedre kvalitetene til betongen. Betong er et veldig godt egnet materiale, men har en ganske stor ulempe. Betongens evne til å ta opp strekkrefter er veldig lave, og betongen trenger hjelp av armering for å tåle strekkreftene. Dette klarer vanlig slakkarmering eller spennarmering veldig godt. Fordelene med å bruke fiberarmering i betongen istedenfor eller i samspill med vanlig armering er mange. Spesielt med tanke på effekten fiberne har til å forhindre korrosjon. Figur 32 viser et typisk eksempel på en betongskade der armeringen har korrodert og betongen har skallet av. Slike skader kan ofte være alvorlig for konstruksjonens bæreevne, og det kan være både kostbart og utfordrende å rehabilitere.



Figur 32. Skade på betong som følge av korroderende armering.

Korrosjon på armeringsjern er et av de største problemene med tanke på varigheten til betongkonstruksjoner. Armering korroderer ved vann og andre korroderende stoffer trenger inn i betongen gjennom sprekke-dannelser i betongen. På grunn av fiberarmeringens evne til å forminske rissvidder og mengden riss minsker sannsynligheten til at korroderende stoffer trenger seg inn til stangarmeringen. Fiberarmering er også spesielt nyttig, der man har mulighet til å erstatte vanlig slakkarmering. I disse tilfellene vil det ikke være noe armering som har mulighet til å ruste og man vil ikke få slike problemer. (41)

Grunnen til at fiberarmering er så godt egnet til å forhindre disse typer skader er grunnet deres evne til å forminske rissdannelser i overflaten til betongen. I betong der det kun er brukt vanlig slakkarmering vil betongen sprekke opp relativt mye før armeringen har mulighet til å ta opp strekkspenning. Fiberarmering er derfor svært gunstig fordi den begynner å ta opp strekkspenninger i betongen ved mye mindre rissvidder. (4)

I tillegg til å ha svært god effekt mot korrosjonskader på armering, har det i de siste årene blitt vist gjennom en rekke prosjekter at fiberarmering har tilfører betongkonstruksjoner en større bæreevne. Fiberens effekt på strekkspenninger i betong, som beskrevet i kapittel 6.2, gjør at man kan utnytte fiberens bæreevne i

konstruksjoner. Ved bruk av fiberarmering kan man i enkelte konstruksjoner redusere tradisjonell armering betraktelig. Avhengig av fibermengde og fibertype kan fiberbetongens reststrekkfasthet gjøre at man kan dimensjonere bjelker og dekker med større kapasiteter, eller som vist i eksemplene i kapittel 11 kan man redusere både lengdearmering og skjærarmering betraktelig i både dekker og bjelker. (4)

På tross av denne økte bæreevnen fiber kan tilføre, er det lite brukt i bærende konstruksjoner. Mangel på regelverk og dimensjoneringsveiledninger for fiberarmering gjør at det blir mindre brukt. Forhåpentligvis vil man se en økning i bruk av fiberarmering i bærende konstruksjoner nå som Norsk Betongforenings publikasjon nr.38 er blitt publisert, og den nye utgaven av Eurokode 2 kommer.

11. Konstruksjonsanalyser

Konstruksjonsanalysene i dette kapitlet er hentet fra NB 38 og tar i bruk dimensjoneringsprinsippene gitt i kapittel 8. eksemplene viser hvordan fiberarmering kan brukes for å øke kapasiteter og erstatte vanlig stangarmering. (4)

11.1. Fritt opplagt bjelke

I dette eksempelet brukes de dimensjoneringsprinsippene som blir brukt i et lignende eksempel i NB38, med litt andre dimensjoner.

Tverrsnitt: $b \times h = 250 \times 400 \text{ mm}$
Lengde: 6 m
Betong: B35 M60 R4, 0c.

Laster:

$$q_{\text{egen}} = 2,5 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{nytte}} = 10 \text{ kN/m}$$

$$q = 12,5 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{egen}} = (2,5 \cdot 6^2)/8 = 11,25 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{nytte}} = (10 \cdot 6^2)/8 = 45 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{egen}} = (2,5 \cdot 6)/2 = 7,5$$

$$V_{\text{nytte}} = (10 \cdot 6)/2 = 30$$

Dimensjonerende laster:

Bruksgrense:

$$M_{\text{bruk}} = 11,25 \cdot 1,0 + 45 \cdot 1,0 = \underline{56,25 \text{ kNm}}$$

$$V_{\text{bruk}} = 7,5 \cdot 1,0 + 30 \cdot 1,0 = \underline{37,5 \text{ kNm}}$$

Bruddgrense:

$$M_{\text{brudd}} = 11,25 \cdot 1,2 + 45 \cdot 1,5 = \underline{81 \text{ kNm}}$$

$$V_{\text{brudd}} = 7,5 \cdot 1,2 + 30 \cdot 1,5 = \underline{54 \text{ kN}}$$

Materialer:

Karakteristisk reststrekkfasthet $f_{R,1k} = 4 \text{ N/mm}^2$

$$f_{R,3k} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

Materialfaktorer:

Betong $\gamma_c = 1,5$

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

Armering: $\gamma_s = 1,15$

Dimensjonerende Fastheter:

Betong:

Trykkfasthet $f_{cd} = 0,85 \cdot 35/1,5 = 19,83 \text{ N/mm}^2$

Strekfasthet $f_{ctd} = 0,85 \cdot 2,2/1,5 = 1,25 \text{ N/mm}^2$

Midlere strekkfasthet $f_{ctm} = 3,2 \text{ N/mm}^2$

Stålfiber:

Brukgrensetilstand $f_{Ftsk} = 0,45 \cdot f_{R,1k} = 0,45 \cdot 4,0 = 1,8 \text{ N/mm}^2$

Bruddgrensetilstand $f_{Ftuk} = 0,37 \cdot f_{R,3k} = 0,37 \cdot 3,6 = 1,33 \text{ N/mm}^2$

$$f_{tud} = f_{Ftuk} / \gamma_{cf} = 1,33/1,5 = 0,888 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristisk reststrekfasthet $f_{R,1k} = 4 \text{ N/mm}^2$

$$f_{R,3k} = 3,6 \text{ N/mm}^2$$

Armering:

Fasthet $f_{yd} = 500/1,15 = 434,78 \text{ N/mm}^2$

Forutsetter eksponeringsklasse XC3, på grunn av at bæreevnen til fiberne i ytterste laget av betongen ikke kan regnes med ved strengere klasser.

Betongoverdekning iht. tabell NA.4.4N i NA til EC2: $c_{min,dur} = 25 \text{ mm}$

Nominell overdekning iht. figur 4 i NS-EN 13670+NA: $c_{nom} = 25 + 10 = 35 \text{ mm}$

Antar armeringsdiameter på $\phi 14$ og bøyler på $\phi 10$:

$$d = 400 - 10 - 35 - 14/2 = 348 \text{ mm}$$

11.1.1. Minimumsarmering:

Kravet til minimumsarmering som er beregnet nedenfor gjelder på grunn av brukskrav om kapasitet i tverrsnitt før og etter opprissing.

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot b_t \cdot d \cdot (f_{ctm} - 2,15 \cdot f_{Ftu,ef})/f_{yk} > 0,13 \cdot (f_{ctm}) \cdot b_t \cdot d/f_{yk}$$

Forutsatt at $f_{ctm}/f_{yk} \geq 0,005$

Og der:

$$F_{Ftu,ef} = k_0 \cdot f_{Ftuk}$$

$$f_{Ft,uk} = \alpha_{t3} \cdot f_{R,3k}$$

$$\alpha_{t3} = 0,37$$

$$k_0 = 0,5$$

$$F_{Ft,ef} = 0,5 \cdot 0,37 \cdot 3,6 = 0,67$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 250 \cdot 347 \cdot (3,2 - 2,15 \cdot 0,67) / 500 = 79,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 0,13 \cdot 3,2 \cdot 250 \cdot 348 / 500 = 72,4 \text{ mm}^2$$

Her ser vi at det beregnede behovet for minimumsarmering er svært lavt. Likevel må det legges inn nok armering for å ivareta den lastbærende evnen, siden vi beregner med at bjelken er i nedstyringsfare. Da kan vi i henhold til det som er beskrevet i kapittel 8.1, beregne lastbærende evne med materialfaktorer og lastfaktorer lik 1,0.

11.1.2. Bruddgrensetilstand

Momentkapasiteten til bjelken kan bestemmes med prinsippene gitt i kapittel 8.2. Man begynner først med beregning av nødvendig mengde stangarmering med utgangspunkt i lastnivå med materialfaktor og lastfaktor lik 1,0.

Karakteristisk trykkbruddkapasitet:

$$M_{Rd} = 0,28 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 0,28 \cdot 0,85 \cdot 35 / 1,0 \cdot 250 \cdot 348^2 = 252 \text{ kNm}$$

Nødvendig lengdearmering:

$$A_s \approx M_{Ed} / (z \cdot f_{ck})$$

der:

$$z = (1 - 0,17 \cdot M_{Ed} / M_{Rd}) \cdot d = (1 - 0,17 \cdot 56,25 / 252) \cdot 348 = 335 \text{ mm}$$

$$A_s = 56,25 \cdot 10^6 / (335 \cdot 500) = \underline{336 \text{ mm}^2}$$

Bruddgrensetilstand uten fiberarmering:

$$M_{Rd} = 0,28 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 0,28 \cdot 0,85 \cdot 35 / 1,5 \cdot 250 \cdot 348^2 = 168 \text{ kNm}$$

$$z = (1 - 0,17 M_{Ed} / M_{Rd}) \cdot d = (1 - 0,17 \cdot 81 / 168) \cdot 348 = 319,5 \text{ mm}$$

$$A_s \approx M_{Ed} / (z \cdot f_{yd}) = 81 \cdot 10^6 / (319,5 \cdot 434) = \underline{586,2 \text{ mm}^2}$$

Her kan man ut ifra beregningene se at det er muligheter for besparelse på slakkarmering på ca 250 mm².
For beregning der fiberarmeringens bæreevne ikke er inkludert må det velges armering tilsvarende:

$$4\phi 14, A_s = 615 \text{ mm}^2.$$

For beregning der fiberarmeringens bæreevne er inkludert må det velges en armering tilsvarende:

$$3\phi 12, A_s = 339 \text{ mm}^2$$

Kapasitetsbidraget til fiberarmeringen blir forenklet beregnet i henhold til formel 9 i kapittel 8.3.3.

$$M_{Rd} = 0,4 \cdot f_{Ftud} \cdot b \cdot h^2 = 0,4 \times 0,888 \cdot 250 \cdot 400^2 = 14,2 \text{ kNm}$$

Der tverrsnittet inneholder vanlig stangarmering kreves det aksial likevekt:

$$T_c = S_f + S_a$$

$$0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = (h-x) \cdot b \cdot f_{Ftud} + A_s \cdot f_{sd}$$

$$0,8 \cdot x \cdot 250 \cdot 19,83 = (400-x) 250 \cdot 0,888 + 339 \cdot 434$$

$$3966x = 88800 - 222x + 147126$$

$$4188x = 235926$$

$$x = 56,3 \text{ mm}$$

Trykksonehøyden $x (= \alpha \cdot d)$ blir dermed beregnet til: $x = 56,3 \text{ mm}$

Momentkapasiteten ved likevekten om trykkresultantens beliggenhet som:

$$M_{Rd} = S_f (0,5h + 0,1x) + S_a (d - 0,4x)$$

$$= ((400 - 56,3) \cdot 250 \cdot 0,888) \cdot (0,5 \cdot 400 + 0,1 \cdot 56,3) + 339 \cdot 434 \cdot (347 - 0,4 \cdot 56,3)$$

$$= 15,7 + 47,7 = 63,4 \text{ kNm} < M_{Ed} = 81 \text{ kNm}$$

Den beregnede kapasiteten er mindre enn det dimensjonerende momentet. Dermed må armeringsmengden økes. Med samme beregning som ovenfor vil en armeringsmengde lik 2φ12 + 2φ14, $A_s = 534 \text{ mm}^2$ være godkjent.

$$T_c = S_f + S_a$$

$$0,8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = (h-x) \cdot b \cdot f_{ftud} + A_s \cdot f_{sd}$$

$$0,8 \cdot x \cdot 250 \cdot 19,83 = (400-x) 250 \cdot 0,888 + 534 \cdot 434$$

$$3966x = 88800 - 222x + 231756$$

$$4188x = 320556$$

$$x = 76,5 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = S_f (0,5h + 0,1x) + S_a (d - 0,4x)$$

$$= ((400 - 76,5) \cdot 250 \cdot 0,888) \cdot (0,5 \cdot 400 + 0,1 \cdot 76,5) + 534 \cdot 434 \cdot (347 - 0,4 \cdot 76,5)$$

$$= 14,9 + 73,3 = 88,2 \text{ kNm} > M_{Ed} = 81 \text{ kNm}$$

Dermed er den valgte lengdearmeringen på 2ø12 + 2ø14 tilstrekkelig.

Skjærkraft:

Opptredende skjærspenning beregnes som:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z_v} = \frac{54 \cdot 10^3}{250 \cdot 318,4} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

Først kontrolleres det om kapasiteten til tverrsnittet uten skjærarmering er god nok. Kapasiteten beregnes med lengdearmeringen og betongens effekt τ_{Rdc} samt bidraget fra fiberarmeringen f_{ftud} .

Betongbidragets minsteverdi $\tau_{Rdc,min}$ settes lik:

$$\tau_{Rdc,min} = \frac{10}{\gamma_c} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}} = \frac{10}{1,5} \sqrt{\frac{35}{434} \cdot \frac{34}{347}} = 0,59 \text{ N/mm}^2$$

Der man antar at tilslagstørrelsen D_{lower} er lik 20 mm. Dermed blir leddet $d_{dg} = 14 + 20 = 34$.

Betongbidraget inklusivt bidrag fra armering $\tau_{Rd,c}$ settes lik:

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_c} \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \cdot \frac{d_{dg}}{d} \right)^{1/3} = \frac{0,6}{1,5} \left(100 \cdot 0,0062 \cdot 35 \cdot \frac{34}{347} \right)^{1/3} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

Der: $\rho_l = \frac{A_s}{d \cdot b_w} = \frac{534}{347 \cdot 250} = 0,0062$

Minsteverdien $\tau_{Rd,c,min}$ er her større enn beregnet betongbidrag $\tau_{Rd,c}$. Derfor settes betongbidraget lik:

$$\tau_{Rd,c} = 0,59 \text{ N/mm}^2.$$

η er en faktor som reduserer betongbidraget og skjærkapasiteten fra fiberarmering til:

$$\eta = \text{maks} (1/(1+0,43 \cdot f_{Ftud}^{2,85}); 1/2,5) = \text{maks} (1 / (1 + 0,43 \cdot 0,888^{2,85}); 0,4) = 0,765$$

Skjærkapasiteten beregnes da til:

$$\tau_{Rd,cF} = \frac{\tau_{Rd,c}}{\eta} + f_{Ftud} > \tau_{Rd,cmin} + f_{Ftud}$$

$$\tau_{Rd,cF} = \frac{0,59}{0,765} + 0,888 = 1,66 \text{ N/mm}^2 (> 0,59 + 0,888 = 1,48 \text{ N/mm}^2)$$

Skjærkapasiteten til betongbjelken inklusivt bidraget fra både fiberarmering og stangarmering settes dermed til:

$$\tau_{Rd,cF} = 1,66 \text{ N/mm}^2$$

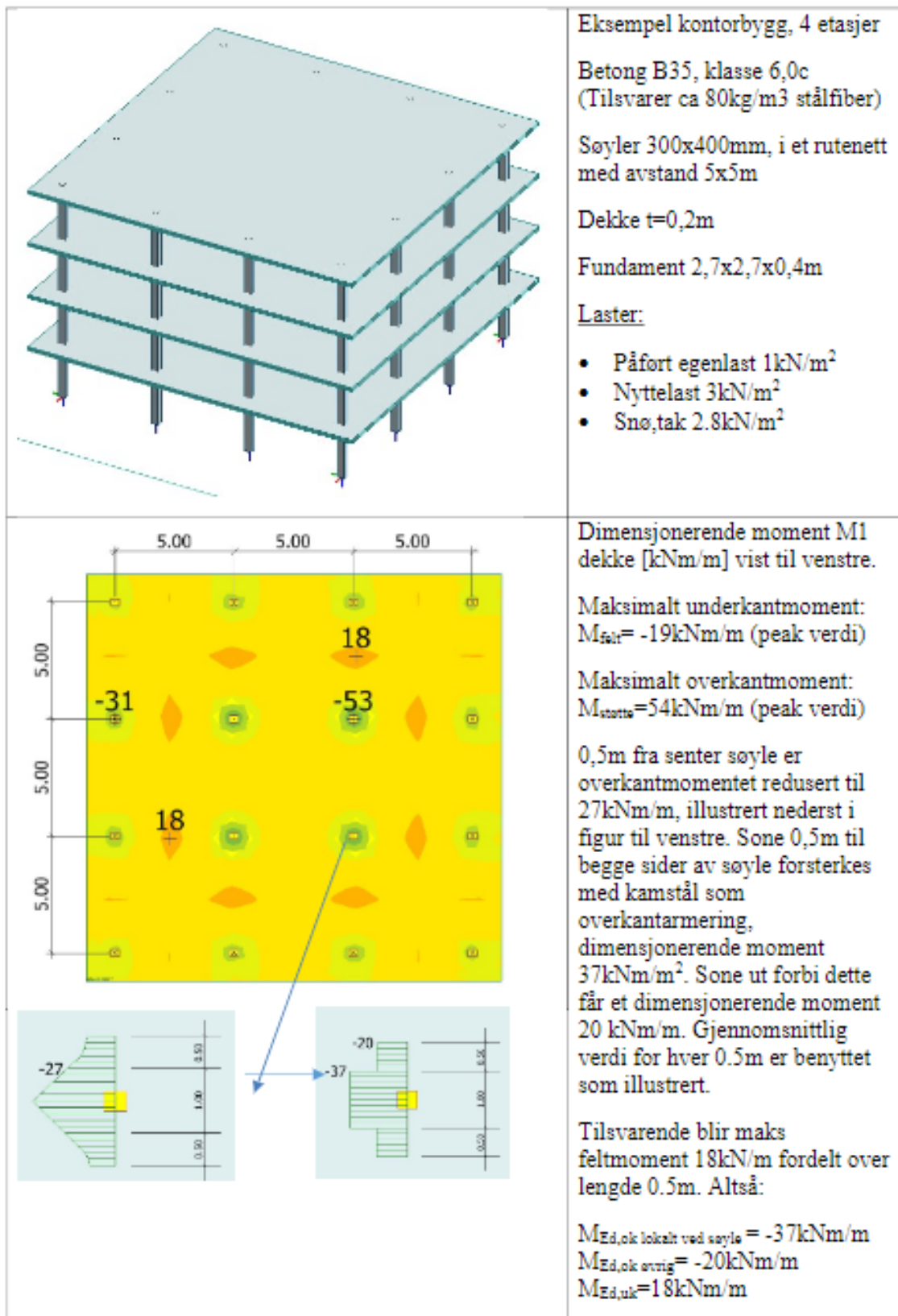
Opptredende skjærspenning er som beregnet over lik:

$$\tau_{Ed} = 0,68 \text{ N/mm}^2$$

På grunn av at $\tau_{Rd,cF} > \tau_{Ed}$ er derfor skjærkapasiteten til bjelken tilstrekkelig uten noen bidrag fra skjærbøyler.

Dette enkle eksempelet av bruksgrensetilstanden til en bjelke viser at det er mulig å bruke bestemmelsene i NB38 for å redusere mengden slakkarmering i en bærende konstruksjon og øke kapasiteten til betongen. Spesielt nyttig er det at man kan erstatte skjærbøylene til fordel for skjærkapasiteten til fiberarmeringen. Det er i henhold til NB38 kun stålfiberarmering som er godkjent å bruke som skjærarmering. (4)

11.2. Dekker i kontorbygg fra NB 38



Figur 33. Beregningseksempel av kontorbygg fra NB 38.

I publikasjon nr. 38 fra Norsk Betongforening er det også tatt med et eksempel det fiberarmert betong er brukt i kontorbygg der bygget består av søyler og dekker. Utrekningene for momentkapasiteten i dekkene, i henhold til de dimensjoneringsprinsippene som er gitt i NB 38 og kapittel 8 i denne oppgaven, viser at det ikke er bygningsmessig behov for armering i feltet. Over støttene er det beregnet at 4Ø12 i begge retninger er tilstrekkelig. En viktig notering i dette eksempelet er at dersom det er fare for liv ved sammenbrudd, eller det er nedstyrtningsfare skal det være vist at konstruksjonen er dimensjonert uten bidrag fra fiberarmeringen. Det vil i dette eksempelet definitivt være fare for liv ved sammenbrudd, noe som ikke er tatt hensyn til, så her må det nok suppleres med vanlig slakkarmering eller spennarmering i dekket. For sammenligning ville man uten fiberarmering trengt Ø12s200 armering i underkant av felt og Ø12s110 over støttene for å få tilstrekkelig med kapasitet.

Utrekningene i NB38 viser også at skjærkapasiteten til fiberarmeringen sammen med 4Ø12 armeringsjern i hver retning over søylene gir mer enn god nok skjærkapasitet. Kontroll for gjennomlokking viser også at det er god margin for kapasiteten. Dette eksempelet viser klart og tydelig potensialet som ligger i fiberarmering når det kommer til besparelse av vanlig slakkarmering. (4)

12. Drøfting og konklusjon

Gjennom denne oppgaven har de dokumenterte egenskapene til fiberarmering i betong blitt presentert. Det er også gjennomgått hvilke fordeler det ansees at denne type armering har i forhold til den tradisjonelle slakkarmeringen. Fiber er tilsynelatende et godt alternativ, og det kan vise seg at det er mye å tjene med å ta i bruk en slik armering i de fleste betongkonstruksjoner. Enten som eneste armering, eller i en kombinasjon med andre typer armering. Fiberarmering har også forbedringspotensialer, så alt tyder på at man i fremtiden vil se et langt større forbruk av den. Stålfiber er den typen fiber som har mest tilgjengelig dokumentasjon og veiledning her i landet, men andre fibertyper kan vise seg å prestere bedre på flere av punktene som er presentert i hoveddelen. Hvis dette er tilfelle, er det ikke i skrivende stund nok grunnlag for å presisere med sikkerhet hvilke fibertyper dette gjelder.

Tidsbruk med fiberarmering er det punktet som skiller seg mest fra slakkarmeringen. Reduksjonen av armeringstiden er så stor at i tillegg til at prosjekter vil gå fortere, kan det spares mye penger på timelønnte arbeidere. Det er vanskelig å redusere tiden ytterligere, spesielt hvis fiber er den eneste armeringen i konstruksjonen. Med sterkere fiber, og bedre dokumenterte egenskaper, som fører til mindre behov for slakkarmering der kombinerte armeringsløsninger er nødvendig, kan man derimot oppleve en større reduksjon i tidsforbruk.

Per dags dato er innkjøpsprisen til stålfiberarmering, som nevnt, høyere enn for slakkarmering. Dette kommer av mengden fiber som går med i en konstruksjon. Det er også nevnt at basaltfiber har lavere produksjonskostnader enn annen fiber. Basaltfiber har også gode effekter på betongen sammenliknet med stålfiber. Det kan bety at basaltfiber i fremtiden, når norske retningslinjer inkluderer denne type fiber, kan være et rimeligere alternativ til stålfiber. Selv om stålfiber allerede har vist seg å kunne gjøre totalkostnadene til et prosjekt lavere, kan basaltfiber altså kunne hjelpe til å redusere kostnadene ytterligere.

Sammenliknet med produksjonen av slakkarmering viser kapittelet om miljø en betydelig økning i CO₂ - utslippet fra produksjonen av selve fiberarmeringen. Beregningen baserer seg på bruk av stålfiber, som har høyere utslipp per kg armering enn slakkarmeringen. Igjen er basaltfiber, som er av organiske materialer, et alternativ som i teorien er mer miljøvennlig. Uten noen konkrete tall på utslippet under produksjonen av basaltfiber, kan ikke dette bekreftes for øyeblikket. Utvikling av mer miljøvennlige produksjonsmetoder av stålfiber hadde også vært positivt for miljøet.

Når det kommer til utnyttelse av fiberarmeringens mekaniske egenskaper, ser fremtidens bruk av fiber lys ut. Fiberarmeringens reststrekkfasthet sørger for økt momentkapasitet. Den øker også stivheten og reduserer rissavstander og rissvidder, noe som fører til bedre vanntetthet. Denne gunstige effekten kan oppnås selv med stålfibermengder på 20-40 kg/m³. Også som skjærarmering, viser det seg at stålfiber har

meget god effekt. Fiberens spredning i betongen gjør at de krysser skjærrissene langs hele rissflaten og kan dermed erstatte tradisjonelle skjærbøyer.

Norsk betongforening er nå kommet med en ny publikasjon som tar for seg bruken av fiberarmering i bærende konstruksjoner. Denne publikasjonen baserer seg på metoder gitt i fib Model code 2010 samt den nye versjonen av Eurokode 2 som er antatt å komme i 2023. Denne utviklingen av beregningsregler vil gjøre det mye lettere å ta i bruk stålfiberarmering og det kommer forhåpentligvis til å bli brukt mer i fremtiden.

13. Kildehenvisning

- (1). Statistisk sentralbyrå. Arbeidsulykker [Internett]. Norge: Statistisk sentralbyrå; 26. september 2019 [Hentet 08. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/helse/statistikker/arbulykker>
- (2). Historic development of Fibre Reinforced Concrete [Internett]. Concrete Technology Weblog; 24. Januar 2008. [Hentet 08. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://caementitium.wordpress.com/2008/01/24/historic-development-of-fibre-reinforced-concrete/>
- (3). Kanstad T. Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner. Sintef Building and Infrastructure (COIN); 2011
- (4). Kanstad T. Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner. Norsk Betongforening; 2020. Publikasjon nr. 38.
- (5). Consolis. MUCEM MUSEUM [Internett]. Paris: Consolis; [Hentet 05. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.consolis.com/references/mucem/>
- (6). Antonio T, Marti P. Optimality of Candela's concrete shells: A study of his posthumous design. Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures: J. IASS. Mars 2010; 51(1):69
- (7). Desert rose made of concrete - National Museum of Qatar [Internett]. BFT internasjonal; januar 2020. [Hentet 05. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.bft-international.com/en/artikel/bft_Desert_rose_made_of_concrete_-_National_Museum_of_Qatar_3478877.html
- (8). Rodriguez M. CMG Headquarters - Steel Fiber Reinforced Concrete Structure [Internett]. Structures Insider; [Hentet 05. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.structuresinsider.com/post/cm-g-headquarters-structure>
- (9). Standard Norge. EN 14889-1. Fibere for betong - Del 1: Stålfibere - Definisjoner, krav og samsvar [Internett]. Norge: Standard Norge; 2006 [Hentet 8. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=EN+14889-1&subscr=1>
- (10). Polymer fibre for concrete [Internett]. Polen; [Hentet 16.03.20] Tilgjengelig fra <http://www.bautech.eu/en/products/reinforcing-fibres-for-making-floor/polymer-fiber.html>
- (11). Standard Norge. EN 14889-2. Fibere for betong - Del 2: Polymerfibere - Definisjoner, krav og samsvar [Internett]. Norge: Standard Norge; 2006 [Hentet 8. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=EN+14889-2>
- (12). Quang D. Effekt av Basaltfiber for betongkvalitet [Masteroppgave]. Tromsø: Norges arktiske universitet; 2019

- (13). The International Glassfibre Reinforced Concrete Association. Dagens GFB for arkitekter og ingeniører. Mjøndalen; GBS Produkter AS; august 2018 [hentet 20.03.20] Tilgjengelig fra: http://www.gbsprodukter.no/gbsprodukter/vedlegg/GFB-i-aksjon_lowres.pdf
- (14). Grimstad E, Yri T. Sprøytebetong til bergsikring. Norsk Betongforening; august 2011. Rapport nr. 7
- (15). Design betong [Internett]. Byggimpuls AS; [Hentet 16.03.20]. Tilgjengelig fra: <https://byggimpuls.com/fiberbetong/design-betong/>
- (16). Utfordrende jernbanetunnel i Trøndelag [Internett]. Oslo: Tungt.no; 16. desember 2010. [Oppdatert 6. april 2017; Hentet 17. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.tungt.no/anleggsmagasinet/utfordrende-jernbanetunnel-i-trondelag-2033488>
- (17). CCL Norway AS og Thilt Engineering AS med nytt prosjekt for Betongmast AS. [Internett]. CCL Norway AS; 29 november 2019 [Hentet 16. April 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.mynewsdesk.com/no/thilt/news/ccl-norway-as-og-thilt-engineering-as-med-nytt-prosjekt-for-betonmast-as-384557>
- (18). Brørs, K. Armering [Internett]. NDLA; 8. januar.2019 [Hentet 18. April 2020] Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158640/resource:1:141146>
- (19). Kamstål Ø10 mm 3m rett LGD B500NC [Internett]. Norge: Bygger'n; [Hentet 25.03.20]. Tilgjengelig fra: <https://nettbutikk.byggern.no/staal-og-metaller/armeringsprodukter/kamstaal/kamstaal-oe10-mm-3m-rett-lgd>
- (20). Støpeveiledning [Internett]. Digernes Betong AS. [Hentet 25.03.20] Tilgjengelig fra: <http://digernesbetong.no/veiledning.htm>
- (21). Birkeland E. Fordeling av fibre i fersk fiberarmert betong [Masteroppgave]. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet; 12. mai 2010
- (22). Banthia N. Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete. USA: American Concrete Institute; Mars 2010. ACI 544.5R-10
- (23). Schumacher P. Rotation Capacity of Self-Compacting Steel Fiber Reinforced Concrete. Tyskland: Technical University of Darmstadt. 2006
- (24). Kooiman A.G. Modelling the post-cracking behaviour of steel fibre reinforced concrete for structural design purposes. Nederland: Det tekniske universitetet i Delft; 2000

- (25). Walraven. fib Model Code for Concrete Structures 2010. Sveits: International Federation for Structural Concrete fib. 2010.
- (26). Døssland Å.L. Fibre Reinforcement in Load Carrying Concrete Structures [doktor avhandling]. Norge: Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet; 2008
- (27). Löfgren I. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction. Sverige: Chalmers University of Technology; 2005
- (28). Standard Norge. NS-EN 14845-1. Prøvningsmetoder for fibre i betong – Del 1: Referansebetong. [Internett]. Norge: Standard Norge; 2007 [Hentet 2. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+14845-1&subscr=1>
- (29). Standard Norge. NS-EN 14845-2. Prøvningsmetoder for fibre i betong – Del 2: Effekt på styrke. [Internett]. Norge: Standard Norge; 2007 [Hentet 2. april 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+14845-2>
- (30). Standard Norge. NS-EN 14721. Prøvningsmetode for betong med metalliske fibere - Måling av fiberinnhold i fersk og herdnet betong [Internett]. Norge: Standard Norge; 2008 [Hentet 4. april 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+14721>
- (31). Standard Norge. NS-EN 14651. Prøvningsmetode for betong med metalliske fibere - Måling av bøyestrekfasthet (proporsjonalitetsgrense og restfastheter) [Internett]. Norge: Standard Norge; 2008 [Hentet 5.april 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+14651>
- (32). Concrete Innovation Centre – COIN [Internett]. Norge: Sintef; [Hentet 15.05.2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/en/projects/coin/coinp/>
- (33). Bengtsson J, Daniel S. Stålfiberarmerad betong – En økonomisk jämförelse [Eksamensarbeid]. Sverige: Chalmers tekniska högskola; 2007
- (34). Arora A, Almujaiddi A, Kianmofrad F, Mobasher B, Neithalath. Material design of economical ultra-high performance concrete (UHPC) and evaluation of their properties. Arizona: Arizona state university, 2018
- (35). Vibrasjoner [Internett]. Norge: Arbeidstilsynet; [Hentet 28. April 2020]. Tilgjengelig fra <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/ergonomi/vibrasjoner/>
- (36). Bygg og anlegg [Internett]. Norge: Zero; [Hentet 27. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://zero.no/fagomrade/bygg-og-anlegg/>

- (37). Mapei. Steelfibre (DE 35/0,55 DE 50/0,75 og DE 50/1,0) [Internett]. epd-norge.no; 2017. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/138370-1515495478/EPDer/Byggevarer/Fiberarmering/NEPD-1383-447_Steelfibre--DE-35-0-55-DE-50-0-55-og-DE-50-1-0-_1.pdf
- (38). Celsa Steel Service AS. Steel reinforcement products for concrete [Internett]. Epd-norge.no; 2016. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/138647-1575451138/EPDer/Byggevarer/St%C3%A5lkonstruksjoner/NEPD-434-305-EN_Steel-reinforcement-products-for-concrete_1.pdf
- (39). Klausen A. Steel fibres in load – carrying concrete structures. Guideline survey and practical examples. Norge: Sintef Building and Infrastructure; 2009. Rapport nr. 17
- (40). Habert G, Denarié E, Šanja A, Rossi P. Lowering the global warming impact of bridge rehabilitations by using Ultra High Performance Fibre Reinforced Concretes. [Artikkel]. Sveits: Swiss Federeal Institute of Technology Zurich. 2012
- (41). Berrocal C.G, Löfgren I, Lundgren K, Tang L. Corrosion initiation in cracked fibre reinforced concrete: Sverige; Chalmers University of Technology. 2015

Vedlegg

Vedlegg 1: Artikkel

Vedlegg 2: Plakat

Fremtidens armering?



Foto: Dramix®

Kan vi allerede i dag forbedre den velkjente og tradisjonsrike måten å utføre en betongkonstruksjon på?

Betong er en av de mest brukte byggematerialene i verden. Som fører til at byggebransjen faktisk står for om lag 40% av de menneskeskapte klimagassutslippene. Den utbredte bruken kommer av dens evne til å motstå trykkreftene konstruksjonene blir utsatt for. Den er derimot meget utsatt når det kommer til strekkrefter. Derfor er armering en viktig del av betongen, som holder den sammen når den strekker seg. I dag er det mest vanlig å bruke armering i form av stenger, og har vært det i over 200 år nå. Kanskje det er på tide med noe nytt?

Armeringen som blir presentert i bacheloroppgaven fra 2020 «Fiberarmert betong», tar for seg en armeringstype som kanskje ikke er så kjent enda. Det er en litteraturinnsamlings oppgave, som gjennom et halvt år med lesing og skriving har blitt et innholdsrikt kjærlighetsbrev til fiberarmering. Det viser seg nemlig at denne typen armering ikke bare er mye enklere å håndtere, men den er også rimeligere, tryggere for arbeidere å jobbe med og den gjør betongarbeidet betydelig mye raskere. Når man ser på kvaliteten til fiberarmert betong, har flerfoldige lab undersøkelser og storskala

forsøk vist en forbedring på en rekke egenskaper i betongen. Det viktigste er kanskje at fibrene fordeler seg i hele betongen, og vil dermed holde sammen betongen slik at det ikke oppstår like store sprekker(riss).

Fiberarmeringen har et stort forbedringspotensial, men kan allerede i dag erstatte den tradisjonelle stangarmeringen i mange konstruksjonsdeler. Der fiberen ikke strekker til, kan den likevel brukes i kombinasjon med stangarmering. Dette vil føre til at man ikke trenger like store mengder stenger, og man vil få en sterkere betong.

Hvis man er miljøaktivister, og lurere på om fiberarmeringen kan hjelpe mot det store utslippet av klimagasser, kan ikke denne bacheloroppgaven gi noen sikre svar på det. Grunnen til det er at det enda ikke er gjort nok undersøkelser på dette området. Det som er sikkert, er at den fiberen som er tilgjengelig i dag vil føre til større utslipp under selve produksjonen av fiberen. Det som ikke er sikkert, er om totalsummen av utslippet fra et byggeprosjekt kan reduseres med å bruke fiber.

Grunnen til at bruken av denne typen armering ikke er så utbredt i Norge enda, er mangelen på retningslinjer og dimensjoneringsregler. Det ser derimot ut til

at det vil ordne seg. Med en ny publikasjon fra Norges betongforening om temaet, og inkludering i den kommende revisjonen av Eurokode 2, vil det bli lettere å ta i bruk fiberarmeringen.

Svaret på det innledende spørsmålet er ja. For fiberarmeringen kan forbedre betongen og

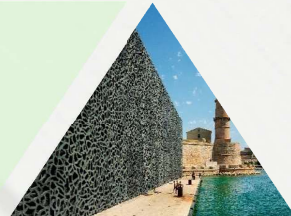
NB norsk
betongforening

byggeprosessen på mange måter. Det som gjenstår å se er hvordan det utvikler seg i fremtiden.



Fiberarmert betong

Fiber reinforced



Prosjektnr: 2020-25
Intern veileder: Roger Bergh
Ekstern kontakt: Christie og Opsahl AS
Av: Eivind Hammerø Kroknes og Rune Evjen



Denne bacheloroppgaven er et litteraturstudium om fiberarmert betong. Gjennom oppgaven blir fiberarmering presentert og beskrevet, og egenskapene til armeringen blir sammenlignet med den tradisjonelle slakkarmeringen.

Oppgaven viser til forbedringer i betongkvaliteten og byggeprosessen ved bruk av fiber. Enten som eneste armering, eller kombinert med annen armering, i en konstruksjon.

Nye publikasjoner som inkluderer fiberarmering:

- NB38 - ny publikasjon som beskriver retningslinjer og dimensjoneringsregler for fiberarmering
- Revidert versjon av Eurokode 2



Dette betyr at flere vil kunne dra nytte av de mange egenskapene til fiberarmeringen i fremtiden!

Fordeler med fiberarmering:

- Betydelig redusert tidsforbruk
- Tryggere arbeidsplass
- Reduserte kostnader
- Sterkere betong



 NTNU

 CHRISTIE