

Laboratorieforsøk av basaltfiber-armerte bjelker

Jan-Erik Haraldsen Lu, Jul Kristian Notø Karlsen, Jonas Krogh Fevang

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for havoperasjoner og byggteteknikk, Ålesund, vår 2022

Sammendrag

Laboratorieforsøket målte og beregnet restbøystrekkfastheten til seks 10kg/m³ basaltfiber-armerte bjelker, samt trykkfastheten til tre basaltfiber-armerte kuber og tre uten fiberarmering. De basaltfiber-armerte bjelkene ble klassifisert som B45 M40 R3,0c, selv om betongresepten var for trykkfasthet B35 M40. Restfasthetsklasse og duktilitetsklasse R3,0c er et godt resultat, som viser at basaltfiberarmeringen tar opp strekkrefter og fordeler strekkspenningen på samme vis som annen fiberarmering. Resultatet tilsier at type og mengde basaltfiber brukt i dette forsøket kan brukes ved bærende konstruksjoner for fasthetsklasser B12-B90. Forsøket inneholder to nevneverdige feilkilder som kan ha påvirket resultatet med ukjent effekt.

Innledning

Laboratorieforsøkets hensikt er å måle restbøystrekkfastheten til basaltfiber-armerte bjelker, i sammenheng med bacheloroppgave skrevet våren 2022. Basaltfiber korroderer ikke og kan derfor være gunstig for betong eksponert for klorider. Dette forsøket er gjennomført i henhold til NS-EN 14651:2005+A1:2007 - prøvingsmetode for betong med metalliske fibre, måling av bøystrekkfasthet. Vi har valgt å teste restbøystrekkfastheten til B35 M40 støpte bjelker med 10kg/m³ 55mm «minibars 32mm helix» basaltfiber. Basaltfibrene er produsert av ReforceTech og har vært tilgjengelige for oss til å utføre dette forsøket. I henhold til NS-EN 14651 vil det støpes seks like bjelker, med samme mengde basaltfiber. Det blir også støpt tre kuber på 100mm x 100mm x 100mm med basaltfiber og tre uten for å klassifisere betongbjelkene, samt måle ulikheten i fastheten til betongen, i henhold til NS-EN 12390-3:2019.

Blanding og støping av bjelker ble foretatt 7. Februar 2022 ved NTNU Gjøvik sitt betonglaboratorium. Forsøket ble veiledet av Laboratorieansvarlig Tor Kristoffer Klethagen, som tidligere har utført samme forsøk i henhold til NS-EN 14651. Testing og måling av bjelkene ble foretatt 7. Mars ved NTNU Gjøvik, også veiledet av Tor Kristoffer Klethagen.

Teori

CMOD = Crack mouth opening displacement, slisse-munnåpnings forskyvning.

$CMOD_j$ = CMOD i punkt j, (j = 1,2,3,4).

Restbøystrekkfastheten er gitt ved

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2}$$

der $f_{R,j}$ er restbøystrekkfastheten som samsvarer med $CMOD_j$ (j = 1,2,3,4), i Newton per kvadratmillimeter. F_j er lasten som samsvarer med $CMOD_j$ (j = 1,2,3,4), i Newton. l er lengden til bjelken, i millimeter. b er bredden til bjelken, i millimeter. h_{sp} er avstanden fra slissen til topp av bjelke.

Karakteristisk restbøystrekkfasthet er gitt ved:

$$f_{R,jk} = f_{R,j} - k \cdot s$$

Der s er standardavviket og $k = 1,7$ i henhold til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 38 – fiberarmert betong i bærende konstruksjoner.

NB38 4.1 tillater kun å bruke opptil 60 % av midlere restbøystrekkfasthet, $f_{R,1m}$ og $f_{R,3m}$, for å ikke oppnå for gunstige resultater fra spredning i fasthet fra bjelkeforsøk. Verdien på midlere restbøystrekkfasthet forutsettes kjent, og de beregningsmessige restbøystrekkfasthetene blir dermed:

$$f_{R,1,kb} = \min(f_{R,1k}, 0,6 \cdot f_{R,1m})$$

$$f_{R,3,kbe} = \min(f_{R,3k}, 0,6 \cdot f_{R,3m})$$

Midlere restbøystrekkfasthet er gjennomsnitt av restbøystrekkfasthet for gjennomførte tester.

Når restbøystrekkfasthet bestemmes, er bøyemomentet beregnet, basert på lineær spenningsfordeling. Dette gjenspeiler ikke reel oppførsel i det tverrsnittet opprisses, og beregnet restbøystrekkfasthet kan dermed ikke benyttes direkte i beregning.

Karakteristisk enaksiell reststrekkfasthet bestemmes iht. NB 38 som:

$$f_{ftsk,res}=0,45 \cdot f_{RK,1} - \text{Bruksgrensetilstanden}$$

$$f_{ftuk,res}=0,37 \cdot f_{RK,3} - \text{Bruddgrensetilstanden}$$

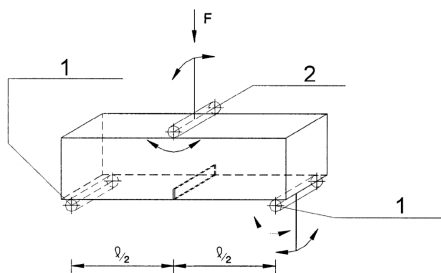
Videre benyttes det en effektiv restbøystrekkfasthet som tar hensyn til fiberorientering ved å beregne med en fiberorienteringsfaktor κ_0 som settes til 1,0 eller 0,5 avhengig av konstruksjonen. For vegger settes normalt κ_0 til 0,5.

$$f_{Fts,ef} = \kappa_0 \cdot f_{ftsk,res}$$

$$f_{Ftu,ef} = \kappa_0 \cdot f_{ftuk,res}$$

Reststrekkfastheten brukes sammen med NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2021 til å klassifisere fiberarmert betong.

Testing av restbøystrekkfasthet gjennomføres ved å bruke en en-aksiell strekk- og trykkprøvemaskin der midtpunktet av bjelken påføres trykkrefter ovenfra. Bjelken vil forskyves nedover med en konstant fart på 0,05mm/minutt frem til 0,1mm er forskyvnet. Deretter økes farten til 0,2mm/minutt, og varer frem til 4mm er forskyvnet. Trykkreftene som trengs for å forskyve bjelken vil variere underveis og måles kontinuerlig med fem datapunkter i sekundet.



Figur 1 - Trykkpresse for testing av restbøystrekkfasthet.

Fire ulike forskyvningspunkter er her brukt for å sammenligne bjelkenes last-verdier.

CMOD,1	=	0,5mm	forskyvning
CMOD,2	=	1,5mm	forskyvning
CMOD,3	=	2,5mm	forskyvning
CMOD,4	=	3,5mm	forskyvning

Endelig klassifisering av betong vil ta utgangspunkt resultat i CMOD,1 og CMOD,3. Restfasthetsklassifisering settes etter resultat fra 0,5mm forskyvning, og duktilitetsklasse gis ved $\frac{f_{R,k3}}{f_{R,k1}}$ i henhold til tabell 2.2 i Norsk

Betongforenings publikasjon nr. 38. Etter blanding og støping skal basaltfiberen være isotropt fordelt for best mulig resultat. Dette sikres ved å løse opp fiberoppsamlinger før støping.

Metode og verktøy

Blanding og støping av betong, 7. Februar.

Utstyr: Materialer og tilsetningsstoffer fra betongresepten, frittfalls-betongblander, tidtaker, vernebriller, hørselsvern, hansker, murskje, beholdere for tilslag, tralle til beholdere, 6stk 150mm x 150mm x 600mm støpeformer, 6stk 100mm x 100mm kubiske støpeformer, forskalingsolje, avrettingsbrett og dekkplast.

Betongresept for 93 liter ferdigblandet B35 M40, samt nødvendig materialer ble gitt til oss av Tor Kristoffer Klethagen ved NTNU Gjøvik.

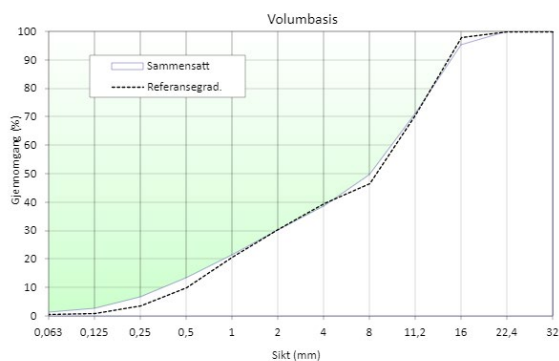
Tabell 1 - Betongresept

Materialer	kg/m3
Norcem standard FA (sement)	30,676
Eikem Microsilica	1,615
Fritt vann	17,404
Absorbert vann	1,223
Årdal 0/8mm nat.vask (sand)	77,645
Årdal 8/16mm (tilslag)	90,565
Mapei Dynamon SX-N (superplastiserende)	0,258
MiniBars 55mm (basaltfiber)	0,977

Siktekurve for tilslag ble gitt av produsent.

Tabell 2 - Sammensetting av tilslag

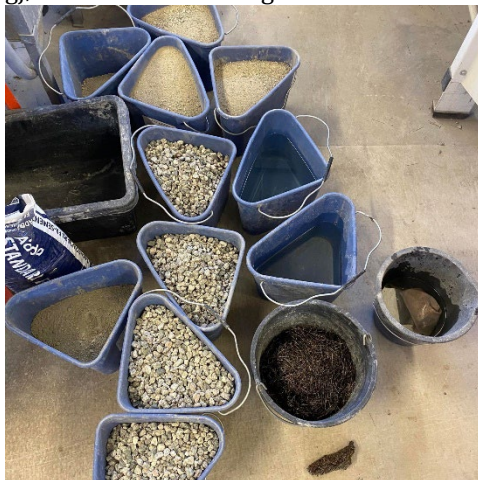
Åpning	Gjennomgang		Ref.gad.	Vekt ved tilpasning
	vol.[%]	vekt [%]	vol.[%]	
32	100,0	100,0	100,0	1
22,4	100,0	100,0	100,0	1
16	95,2	95,1	97,9	1
11,2	71,3	71,1	70,8	1
8	49,8	49,5	46,6	1
4	38,7	38,4	39,5	1
2	30,3	30,1	30,7	1
1	21,5	21,4	20,7	2
0,5	13,3	13,2	10,2	2
0,25	6,9	6,8	3,8	2
0,125	2,6	2,6	1,2	2
0,063	1,4	1,4	0,6	2



Figur 2 - Siktekurve

Sementblanderen skal gå i 5 minutter, deretter varierende tid ved tilsetning av basaltfiber.

- a. Alt til blandingsresepten veies opp og gjøres klar i egne beholdere.



Figur 3 - Materialer ferdig veid og i egne beholdere før miksing.

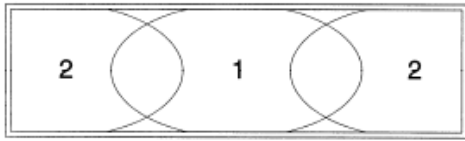
- Fuktig klut ble brukt for å mette betongblanderen, hvis ikke vil denne tiltrekke seg fukt fra sementblandingen.
- 90% av 8-16mm tilslag og sement, 25% av sand og 75% av vannet ble tilsatt.
- Blanderen ble startet i en tiltet posisjon. Vi starter tidtaking. Sand ble tilført videre i porsjoner på 25% hver, hvor blanderen går noen runder mellom hver. All sand er nå tilført.
- Silica ble tilført. Estimerte 2 gram silica ble mistet ved tilføring.
- Superplastiserende tilsetningsstoff ble tilført.
- Stoppet og løste opp ublandede klumper.
- Resten av materialer ble tilsatt.
- Blanderen ble stoppet når det hadde gått 5 minutter, noen klumper ble løst opp, og deretter blandet i 2 minutter.
- Sementmiksen er godt blandet, det støpes tre kuber **uten** basaltfiber. Disse ristes for å frigjøre eventuelle hulrom av luft
- Betongblanderen startes igjen, og basaltfiberen blir «strødd» inn. Det er viktig at disse fordeles rolig i små håndfuller og ristes fra hverandre for å oppnå isotrop fordeling.



Figur 4 - Basaltfiber tilsettes i frittfalls-blanderen.

- Støpeformer strammes og smøres med forskalingsolje.
- Sementmiksen helles over i en stor beholder og trilles på bære til bord der former er forberedt.
- Det støpes tre kuber **med** basaltfiber. Disse ristes for å frigjøre eventuelle hulrom av luft.
- De seks bjelkene med basaltfiber støpes. Disse fylles på følgende måte.

1. Punkt en fylles først med to fulle skuffer.
2. Punkt to fylles med en full skuff.
3. Fortsetter med beskrevet metode til formen er nesten full.



Figur 5 - fordelingsinstruksjon til basaltfiber-armert sementmiks.

- p. Formene ristes 10 ganger med kraftig store bevegelser, deretter toppes siste del av formen med sementmiksen og avrettes med avrettingsbrett.



Figur 6 - Formene er fylt og avrettes med et avrettingsbrett.

- q. Betongen herder i en time, før det legges plast over.
- r. Etter 24 timer fjernes plasten og kubene og bjelkene tas ut av formene, merkes, og legges i et vannbad som holder 22 ± 2 grader celsius.

- c. Bjelken som kappes legges på sagebrettet. Bjelken legges på siden med støpeflate mot sagbladet.
- d. Måler 30cm fra en av kortendene på siden nærmest sagbladet og merk med tusj.
- e. Før sagebrettet mot sagbladet til betongen har kontakt med sagbladet og plasser sagbladet i senter av tusjstreken.
- f. Brettet føres tilbake, start sagen og sett på vann.
- g. Hold fast i bjelken og før sagebrettet sakte mot sagbladet.
- h. Sagebrettet føres frem til det stanser og føres rolig tilbake til start. Sagen stanses og bjelken legges tilbake i vannbad.
- i. Steg a – h gjentas for alle bjelker.

Testing av bjelker og kuber, 7. Mars.

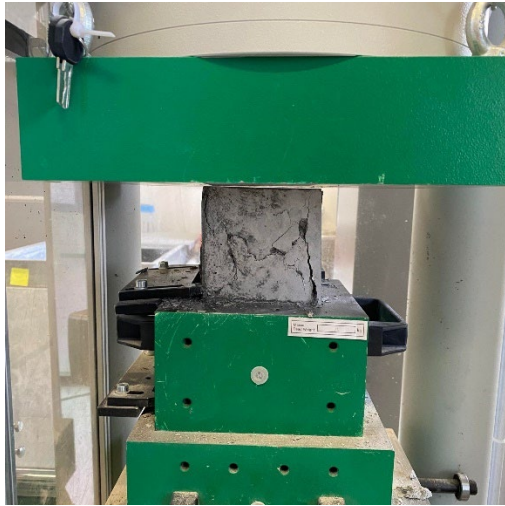
Utstyr: Vernebriller, Blyant, digital skyvelære 300mm, dor, hammer, målebånd, målestokk, vinkel i metall, registreringsskjema, 17mm fastnøkkel, 2stk 10mm nedbøyingssensorer, pc for styring av presse, pc for styring av sensorer, rigg til montering av nedbøyingssensorer, aluminiumsplate, CATMAN DAQ 800E.

- a. Bjelkene tas opp fra vannbad 1 time før de skal testes, med spor på siden så vannet renner ut.
- b. Kubene tas opp samtidig og lufttørker i 30 minutter før testing.
- c. Presseprogram og sensorprogram (CATMAN DAQ 800E) blir klargjort av laboratorieansvarlig Tor Kristoffer Klethagen.
- d. Kuben legges inn i prøveavlukket med støpeflaten på siden.
- e. Døren lukkes, og pressen kjører til brudd.

Kapping av spor utført 4. Mars.

Utstyr: Vernebriller, hørselsvern, vannavkjølt bord betongsag, tynn sprittusj, meterstokk, høydemal 125mm og 2stk avstandsklosser 100mm.

- a. Plasser høydemalen på sagen, før sagbladet ned til malen og lås sagbladet på plass.
- b. Fjern høydemalen og legg på avstandsklossene på sagebrettet.



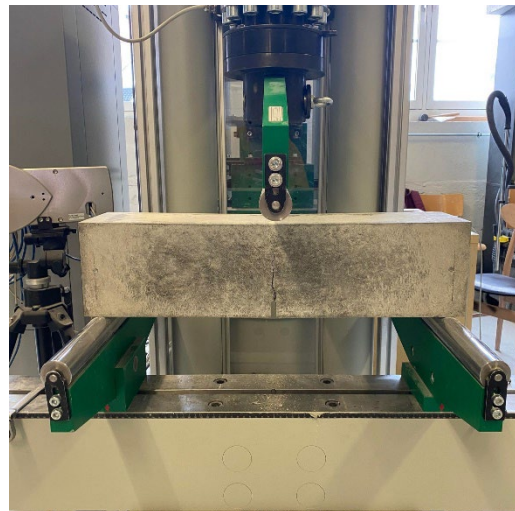
Figur 7 - Bildeeksempel av ferdig utført trykktest av kube.

- f. Resultat blir registrert, kubene tas ut og kontrolleres.
- g. Steg d-f gjentas for alle seks kuber.
- h. Bredde og slissehøyde måles med skyvelære på begge sidene av bjelken og registreres i skjema.
- i. Målebånd brukes for å måle lengden, 27,5cm fra slisse og utover mot begge ender, setter merke.
- j. Vinkelen brukes til å forlenge mot midten av bjelken.
- k. Målestokk brukes til å måle 7,5cm i bredderetning fra siden med sporet og mot midten av bjelken. Vinkel brukes for å forlenge sentermerket i lengderetning.
- l. Plasser dor i strekkrysset og gi det et slag med hammeren. Et lite krater på 3-4mm lages.
- m. Dataprogrammet programmeres i henhold NS-EN 14651, for å utføre test på bjelken.
- n. Bjelken plasseres i nedbøyingsspressen med sporet ned og sentrert på opplagre og under kraftarmen.
- o. Rigg monteres og festes i krafter for stabilitet.
- p. Nedbøyingssensorer festes inn i griperen på riggen og kontrolleres at ligger inntil aluminiumsplatene.



Figur 8 - Bildet av bjelke klar til test. Rigg montert, sensorer justert til kontakt med aluminiumsplate.

- q. Pressen starter og registrer 5 datapunkter per sekund, til 4mm forskyvning er utført, ca. 22 minutter.
- r. Når testen er ferdig demonteres riggen og settes til side.



Figur 9 - Bildet av bjelke etter utført test, merk risssdannelse fra slisse mot topp.

- s. Steg h-r gjentas for alle seks bjelker.

Resultat og drøfting

Kubene uten basaltfiber målte i gjennomsnitt 51,28MPa, kubene med basaltfiber målte i gjennomsnitt 58,46MPa, det er en økning på 14,0%. Den karakteristiske trykkfastheten var henholdsvis 48,0MPa og 56,5MPa. I henhold til NS-EN 1992-1-1+NA kategoriseres betongen uten basaltfiber som B40, og betongen med basaltfiber som B45. Dette er over vår B35

betongresept, og antas å være grunnet fiberarmeringen i betongen.

Tabell 2 - Resultat av trykktest av terninger med og uten basaltfiber.

Terning	Basaltfiber	Fasthet (MPa)	Karakteristisk trykkfasthet (MPa)
1	uten	49,9	51,3
2	uten	53,0	
3	uten	50,9	
4	med	59,3	58,5
5	med	58,7	
6	med	57,4	

Tabell 3 - Vekt og mål av terningene iht. NS 12390

Terning	Vekt luft	Vekt vann	Trykkflate(cm²)
1 (uten)	2386,1	1369,8	100
2 (uten)	2392,3	1376	100
3 (uten)	2400,7	1383,5	100
4 (med)	2387,6	1362,9	100
5 (med)	2359,5	1342,6	100
6 (med)	2360,6	1342,1	100

Bjelkene ble støpt i 150mm x 150mm x 600mm, men noe avvik er forventet. Bredden og slissehøyde brukes til å finne restbøyestrekfastheten, derfor er målene til registrert før testing. Lengden til selve bjelken brukes ikke til å finne restbøyestrekfastheten, men den må være ha lengde fra 550mm til 700mm for å gjennomføre målingene. Slissehøyden avviker fra krav i NS-EN 14651:2005+A1:2007, men beregningsformel tar i bruk målt slissehøyde.

Tabell 4 - Mål av bredde og slissehøyde på begge sider av bjelkene.

Mål av bjelker	Bredde,1	Bredde,2	Høyde,1	Høyde,2
Bjelke 1	149,4	150,4	122,3	123,0
Bjelke 2	150,3	149,8	122,9	122,5
Bjelke 3	150,3	149,1	123,2	122,4
Bjelke 4	150,3	150,2	123,0	122,7
Bjelke 5	151,3	151,3	122,8	123,3
Bjelke 6	150,6	149,5	123,1	123,7

Bjelkene sin last ved ulik CMOD,j, vises i tabell 5.

Tabell 5 - Last (kN) målt ved CMOD,j (1,2,3 og 4).

Last (kN) ved CMOD,j	CMOD,1	CMOD,2	CMOD,3	CMOD,4
Bjelke 1	11,49	12,26	12,13	10,09
Bjelke 2	10,64	10,9	10,38	8,9
Bjelke 3	11,17	10,7	10,2	9,1
Bjelke 4	9,73	11,88	10,35	8,77
Bjelke 5	10,11	10,95	10,44	9,13
Bjelke 6	11,77	12,1	12,17	10,32

Restbøyestrekfastheten er gitt ved

$$f_{R,j} = \frac{3f_j l}{2bh_{sp}^2}$$

Denne kan vi nå anvende for å finne restbøyestrekfastheten i CMOD,j. Resultatene ved CMOD,1 og CMOD,3 fører til klassifisering som restfasthetsklasse 3,0, og duktilitetsklasse c, i henhold til klassifisering av fiberarmert betong i Norsk Betongforenings publikasjon nr 38. Betongen klassifiseres altså som **R3,0c**.

Tabell 6 - Restbøyestrekfastheten til Bjelke 1-6 ved CMOD,j.

Restbøyestrekfasthet (MPa) ved CMOD,j	CMOD,1	CMOD,2	CMOD,3	CMOD,4
Bjelke 1	3,82	4,08	4,04	3,36
Bjelke 2	3,53	3,62	3,45	2,95
Bjelke 3	3,71	3,56	3,39	3,02
Bjelke 4	3,22	3,93	3,42	2,90
Bjelke 5	3,31	3,58	3,42	2,99
Bjelke 6	3,86	3,97	4,00	3,39
Gjennomsnitt	3,58	3,79	3,62	3,10

Tabell 7 viser restbøyestrekfastheten med tilhørende karakteristisk restbøyestrekfasthet ved CMOD,j. De beste resultatene ble oppnådd ved CMOD,2 med en karakteristisk restbøyestrekfasthet på 2,27MPa.

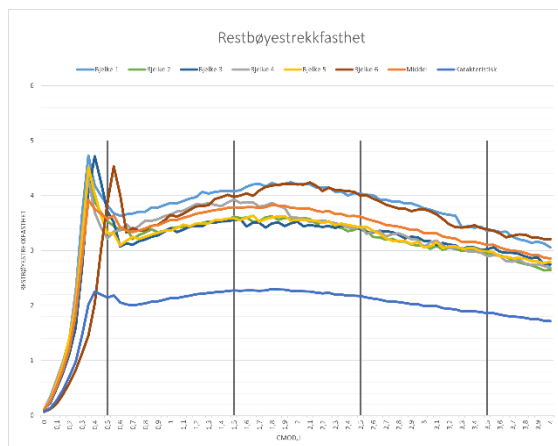
Tabell 7 - Gjennomsnittlig restbøyestrekfasthet, standardavvik, karakteristisk- og beregningsmessig restbøyestrekfasthet ved CMOD,j.

Restbøyestrekfasthet (MPa) ved CMOD,j	CMOD,1	CMOD,2	CMOD,3	CMOD,4
Midlere restbøyestrekfasthet	3,58	3,79	3,62	3,10
Standardavvik	0,25	0,21	0,28	0,20
Karakteristisk restbøyestrekfasthet	3,16	3,43	3,14	2,76
Beregningsmessig restbøyestrekfasthet	2,15	2,27	2,17	1,86

Testingen av basaltfiber-armerte betongkuber og bjelker resulterer i en endelig klassifisering **B45 M40 R3,0c**.

Drøfting

Figur 9 er en grafisk fremstilling av bjelkene sin beregnede restbøystrekkfasthet, samt den karakteristiske restbøystrekkfastheten. Grafen viser et relativt jevnt resultat for de ulike bjelkene, som antyder at miksing og støping var jevnt, og at vi har oppnådd nær isotropisk fordelt basaltfiber-armering i bjelkene.



Figur 10 - Graf for restbøystrekkfastheten og karakteristisk restbøystrekkfasthet fra CMOD 0mm til 4mm.

Et minstekrav for å utnytte fiberbetong i bærende konstruksjoner i henhold til Norsk Betongforenings publikasjon nr. 38 er at karakteristisk restbøystrekkfasthet ved 0,5mm forskyvning tilsvarer minimum 50% av fasthetsklassens karakteristiske strekkfasthet. Dette tilsier at resultatet fra forsøket, med klassifisering R3,0c ved bruk av 10kg/m³ 55mm basaltfiber vil kunne brukes til bærende konstruksjoner i fasthetsklasse B12-B90.

Resultatet tilsier at basaltfiber-armering i betong kan brukes for å øke fasthetsklassen til betongen, samt vil sinke prosessen av større rissdannelser ved fordeling av strekkspenninger.

På bakgrunn av egne erfaringer fra dette forsøket med blanding og støping av basaltfiber-armert betong bør det bemerkes at dette er en krevende prosess som kan være spesielt utfordrende på større skala. Basaltfiber klumper seg raskt sammen, noe som førte til at vi flere ganger måtte løse opp fiberklumper for å sikre isotrop fordeling av fiberen.

Feilkilder

Estimerte 1-2 gram silica ble mistet når det skulle mikses inn i frittfalls-blanderen. Dette utgjør <0,2% og vil påvirke betongresepten og den endelige betongen minimalt. Dette ansees som neglisjerbart i dette tilfelle.

Estimerte 0,5kg sement satt fast i bunn av frittfalls-blanderen når støpingen av kubene var utført og bjelkene påbegynt. Klumpen ble løsnet og sementmiksen i bjelkeformene ble tømt tilbake i blanderen. Det ble blandet videre og deretter tømt tilbake i bjelkeformer. Det er ikke forventet avvik i den ferdig støpte betongen av dette. Kubene var allerede fordelt med og uten basaltfiber, og ved å ikke tømme tilbake sementmiksen med basaltfiber vil vi få en gyldig test av forskjell i fasthet mellom basaltfiber-armerte kuber og ikke. Det vil samtidig si at resepten ikke vil gi samme resultat ved senere anledning, siden avviket av sement var >1,5%. Klassifisering av betongbjelkene er også påvirket av denne feilkilden, ettersom trykkfastheten til kubene er grunnlag for klassifiseringen. Det er samtidig ikke forventet lavere trykkfasthet, ettersom v/c tallet øker og trykkfastheten minker ved mindre sement.

I henhold til NS-EN 14651:2005+A1:2007 skal avstanden fra slissen til topp av bjelke være 125mm ± 1mm. Våre bjelker har hatt varierende slisse til topp avstand fra 123,7mm til 122,3mm. Det vil si at ingen av våre bjelker oppfyller kravet. Det er usikkert hva som har hendt under kapping av slissene, men uansett har det hatt en ukjent påvirkning på resultatene våre.

Konklusjon

Det er bevist at basaltfiber tar opp strekkrefter i betongelementer, figur 9 viser visuelt denne egenskapen, med bjelkene i dette forsøket som eksemplarer. Dette kan videre sammenlignes med andre fibertyper. Testene av kuber viste at trykkfastheten økte fra klasse B40 til B45 ved bruk av basaltfiber, og var positivt overraskende. Bjelkene klassifiseres som B45 R3,0c. Restfasthetsklasse og duktilitetsklasse R3,0c er et godt resultat, og det ble kun brukt 10kg/m³ basaltfiber i dette forsøket. Det kan forventes en høyere restfasthetsklasse ved å øke mengde basaltfiber-armering til eksempelvis 20kg/m³.

Resultatet viser at 10kg/m³ 55mm basaltfiber kan brukes i bærende konstruksjoner. Dette er spesielt lovende siden det er videre mulig å øke mengden basaltfiber per kubikkmeter, som antakeligvis vil resultere i en høyere restfasthetsklasse.

Det må påpekes at det er en feilkilde mellom betongen til de støpte kubene og bjelkene, der det er estimert at ca. 0,5kg sement ikke ble mikset inn før støpingen av kubene. Slissen på bjelkene er også ikke i henhold til krav NS-EN 14651, og har også påvirket resultatet oppnådd her, med ukjent effekt.

Referanser

NS-EN 14651:2005+A1:2007

Norsk Betongforenings publikasjon nr. 38

NS-EN 12390-1:2021

NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2021

NS-EN 12390-2:2019

NS-EN 206:2013+A2:2021+NA:2021

NS-EN 12390-3:2019

Vedlegg

A - Utvidet resultatark fra test av bjelker.

CMOD,j	CMOD(mm)	Last(kN) Bjelke 1	Last(kN) Bjelke 2	Last(kN) Bjelke 3	Last(kN) Bjelke 4	Last(kN) Bjelke 5	Last(kN) Bjelke 6	Restbøyestr ekkfasthet Bjelke 1	Restbøyestre kkfasthet Bjelke 2	Restbøyestre kkfasthet Bjelke 3	Restbøyestre kkfasthet Bjelke 4	Restbøyestre kkfasthet Bjelke 5	Restbøyestre kkfasthet Bjelke 6	Gjennoms nitt	Standard avvik		Karakteristisk
															K	1,7	
	0,00	0,32	0,33	0,32	0,34	0,35	0,20	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,07	0,10	0,02	0,07	0,07
	0,05	0,83	0,94	0,69	1,04	0,83	0,35	0,28	0,31	0,23	0,34	0,27	0,11	0,26	0,07	0,13	0,13
	0,10	1,78	1,87	1,49	1,99	1,81	0,65	0,59	0,62	0,50	0,66	0,59	0,21	0,53	0,15	0,27	0,27
	0,15	2,85	2,90	2,33	2,97	2,79	1,16	0,95	0,96	0,77	0,98	0,91	0,38	0,83	0,21	0,47	0,47
	0,20	4,20	4,11	3,37	4,20	4,31	1,79	1,40	1,36	1,12	1,39	1,41	0,59	1,21	0,30	0,71	0,71
	0,25	6,75	6,36	4,81	6,90	6,05	2,51	2,25	2,11	1,60	2,28	1,98	0,82	1,84	0,51	0,98	0,98
	0,30	10,98	9,45	8,09	10,15	9,69	3,44	3,65	3,14	2,69	3,36	3,17	1,13	2,86	0,82	1,46	1,46
	0,35	14,21	13,34	12,26	13,01	13,82	4,43	4,73	4,43	4,07	4,30	4,52	1,45	3,92	1,12	2,01	2,01
	0,40	12,58	11,71	14,19	11,16	12,31	6,20	4,18	3,89	4,72	3,69	4,03	2,04	3,76	0,83	2,34	2,25
	0,45	12,01	11,12	12,74	10,33	11,10	9,21	4,00	3,69	4,23	3,42	3,63	3,02	3,67	0,39	3,00	2,20
CMOD.1	0,50	11,49	10,64	11,17	9,73	10,11	11,77	3,82	3,53	3,71	3,22	3,31	3,86	3,58	0,25	3,16	2,15
	0,55	11,05	10,39	10,57	10,12	10,12	13,80	3,68	3,45	3,51	3,35	3,31	4,53	3,64	0,42	2,93	2,18
	0,60	10,92	10,15	9,24	10,20	9,45	12,24	3,63	3,37	3,07	3,37	3,09	4,02	3,43	0,33	2,87	2,06
	0,65	11,00	10,28	9,42	10,51	9,71	10,13	3,66	3,41	3,13	3,48	3,18	3,33	3,36	0,18	3,06	2,02
	0,70	11,04	9,67	9,34	10,21	9,93	10,38	3,67	3,21	3,10	3,38	3,25	3,41	3,34	0,18	3,03	2,00
	0,75	11,14	9,89	9,54	10,43	9,81	10,25	3,71	3,28	3,17	3,45	3,21	3,37	3,36	0,18	3,06	2,02
	0,80	11,14	10,03	9,63	10,72	9,93	10,27	3,71	3,33	3,20	3,55	3,25	3,37	3,40	0,17	3,10	2,04
	0,85	11,38	10,20	9,78	10,71	10,05	10,50	3,79	3,39	3,25	3,54	3,29	3,45	3,45	0,18	3,15	2,07
	0,90	11,37	10,04	9,86	10,80	10,15	10,56	3,78	3,33	3,28	3,57	3,32	3,47	3,46	0,18	3,16	2,08
	0,95	11,50	10,12	10,06	10,96	10,26	10,80	3,83	3,36	3,34	3,62	3,36	3,55	3,51	0,18	3,21	2,11
	1,00	11,62	10,27	10,25	11,06	10,27	11,11	3,87	3,41	3,41	3,66	3,36	3,65	3,56	0,18	3,25	2,13
	1,05	11,60	10,31	10,04	11,22	10,41	11,02	3,86	3,42	3,34	3,71	3,41	3,62	3,56	0,19	3,24	2,14
	1,10	11,73	10,32	10,17	11,27	10,61	11,18	3,90	3,43	3,38	3,73	3,47	3,67	3,60	0,19	3,28	2,16
	1,15	11,86	10,33	10,33	11,44	10,51	11,38	3,95	3,43	3,43	3,78	3,44	3,74	3,63	0,20	3,28	2,18
	1,20	11,94	10,48	10,36	11,62	10,66	11,58	3,97	3,48	3,44	3,84	3,49	3,80	3,67	0,21	3,32	2,20
	1,25	12,22	10,55	10,35	11,60	10,66	11,60	4,07	3,50	3,44	3,84	3,49	3,81	3,69	0,23	3,30	2,21
	1,30	12,14	10,64	10,57	11,69	10,68	11,65	4,04	3,53	3,51	3,87	3,50	3,82	3,71	0,21	3,36	2,23
	1,35	12,22	10,61	10,55	11,58	10,86	11,99	4,07	3,52	3,51	3,83	3,55	3,94	3,74	0,22	3,36	2,24
	1,40	12,26	10,67	10,62	11,52	10,87	12,09	4,08	3,54	3,53	3,81	3,56	3,97	3,75	0,22	3,38	2,25
	1,45	12,28	10,71	10,63	11,72	10,94	12,23	4,09	3,56	3,53	3,88	3,58	4,02	3,77	0,23	3,39	2,26
CMOD.2	1,50	12,26	10,90	10,70	11,88	10,95	12,10	4,08	3,62	3,56	3,93	3,58	3,97	3,79	0,21	3,43	2,27
	1,55	12,31	10,82	10,73	11,69	10,86	12,19	4,10	3,59	3,57	3,87	3,55	4,00	3,78	0,22	3,41	2,27
	1,60	12,51	10,85	10,34	11,74	11,00	12,31	4,16	3,60	3,44	3,88	3,60	4,04	3,79	0,26	3,35	2,27
	1,65	12,63	10,62	10,55	11,72	11,10	12,16	4,20	3,53	3,51	3,88	3,63	3,99	3,79	0,26	3,35	2,27
	1,70	12,66	10,65	10,53	11,49	10,78	12,47	4,21	3,54	3,50	3,80	3,53	4,09	3,78	0,28	3,29	2,27
	1,75	12,52	10,86	10,29	11,56	10,91	12,66	4,17	3,60	3,42	3,82	3,57	4,16	3,79	0,29	3,30	2,27
	1,80	12,71	10,92	10,51	11,69	11,00	12,74	4,23	3,62	3,49	3,87	3,60	4,18	3,83	0,29	3,35	2,30
	1,85	12,58	10,73	10,56	11,53	11,07	12,78	4,18	3,56	3,51	3,81	3,62	4,20	3,81	0,28	3,34	2,29
	1,90	12,67	10,82	10,36	11,41	11,08	12,84	4,21	3,59	3,44	3,77	3,63	4,22	3,81	0,30	3,30	2,29
	1,95	12,75	10,81	10,51	10,89	10,83	12,81	4,24	3,59	3,49	3,60	3,54	4,21	3,78	0,32	3,24	2,27
	2,00	12,62	10,64	10,60	10,88	10,88	12,81	4,20	3,53	3,52	3,60	3,56	4,21	3,77	0,31	3,25	2,26
	2,05	12,67	10,82	10,35	10,83	10,88	12,79	4,21	3,59	3,44	3,58	3,56	4,20	3,76	0,32	3,23	2,26
	2,10	12,64	10,77	10,42	10,65	10,85	12,91	4,20	3,57	3,46	3,52	3,55	4,24	3,76	0,33	3,20	2,26
	2,15	12,46	10,51	10,36	10,71	10,83	12,73	4,15	3,49	3,44	3,54	3,54	4,18	3,72	0,31	3,19	2,23
	2,20	12,47	10,58	10,32	10,73	10,70	12,44	4,15	3,51	3,43	3,55	3,50	4,08	3,70	0,29	3,20	2,22
	2,25	12,46	10,65	10,36	10,66	10,78	12,62	4,15	3,54	3,44	3,53	3,53	4,14	3,72	0,30	3,21	2,23
	2,30	12,23	10,35	10,27	10,58	10,58	12,49	4,07	3,44	3,41	3,50	3,46	4,10	3,66	0,30	3,15	2,20
	2,35	12,24	10,28	10,37	10,49	10,67	12,47	4,07	3,41	3,45	3,47	3,49	4,09	3,66	0,30	3,16	2,20
	2,40	12,03	10,10	10,35	10,34	10,59	12,44	4,00	3,35	3,44	3,42	3,47	4,08	3,63	0,30	3,12	2,18
	2,45	12,16	10,17	10,30	10,33	10,53	12,39	4,05	3,38	3,42	3,42	3,45	4,07	3,63	0,30	3,11	2,18
CMOD.3	2,50	12,13	10,38	10,20	10,35	10,44	12,17	4,04	3,45	3,39	3,42	3,42	4,00	3,62	0,28	3,14	2,17
	2,55	12,07	10,10	10,03	9,99	10,47	12,19	4,02	3,35	3,33	3,30	3,43	4,00	3,57	0,31	3,04	2,14
	2,60	12,05	9,78	10,03	10,15	10,26	12,01	4,01	3,25	3,33	3,36	3,36	3,94	3,54	0,31	3,01	2,12
	2,65	11,81	9,76	10,11	10,13	10,09	11,86	3,93	3,24	3,36	3,35	3,30	3,89	3,51	0,28	3,03	2,11
	2,70	11,80	9,63	10,08	9,85	9,86	11,68	3,93	3,20	3,35	3,26	3,23	3,83	3,47	0,30	2,96	2,08
	2,75	11,70	9,68	10,04	9,97	9,71	11,57	3,89	3,21	3,34	3,30	3,18	3,80	3,45	0,28	2,97	2,07
	2,80	11,71	9,53	9,89	10,02	9,72	11,47	3,90	3,16	3,29	3,31	3,18	3,77	3,43	0,29	2,95	2,06
	2,85	11,59	9,53	9,70	9,89	9,69	11,46	3,86	3,16	3,22	3,27	3,17	3,76	3,41	0,29	2,92	2,04
	2,90	11,60	9,36	9,78	9,70	9,53	11,32	3,86	3,11	3,25	3,21	3,12	3,72	3,38	0,30	2,87	2,03
	2,95	11,48	9,32	9,75	9,67	9,65	11,40	3,82	3,09	3,24	3,20	3,16	3,74	3,38	0,29	2,88	2,03
	3,00	11,33	9,30	9,55	9,25	9,34	11,43	3,77	3,09	3,17	3,06	3,06	3,75	3,32	0,32	2,78	1,99
	3,05	11,25	9,13	9,54	9,53	9,39	11,31	3,74	3,03	3,17	3,15	3,07	3,71	3,31	0,30	2,81	1,99
	3,10	11,13	9,29	9,32	9,62	9,65	11,14	3,70	3,08	3,10	3,18	3,16	3,66	3,31	0,26	2,87	1,99
	3,15	11,03	9,08	9,44	9,35	9,29	10,89	3,67	3,01	3,14	3,09	3,04	3,58	3,25	0,26	2,81	1,95
	3,20	10,97	9,18	9,35	9,20	9,40	10,59	3,65	3,05	3,11	3,04	3,08	3,48	3,23	0,24	2,83	1,94
	3,25	10,92	9,12	9,31	9,23	9,40	10,43	3,63	3,03	3,09	3,05	3,08	3,42	3,22	0,23	2,83	1,93
	3,30	10,30	9,02	9,09	9,22	9,26	10,41	3,43	2,99	3,02	3,05	3,03	3,42	3,16	0,19	2,84	1,89
	3,35	10,35	9,06	9,23	9,02	9,29	10,44	3,44	3,01	3,07	2,98	3,04	3,43	3,16	0,20	2,83	1,90
	3,40	10,27	9,01	9,19	9,02	9,29	10,54	3,42	2,99	3,05	2,98	3,04	3,46	3,16	0,20	2,82	1,89
	3,45	10,33	9,02	9,06	8,96	9,14	10,38	3,44	2,99	3,01	2,96	2,99	3,41	3,13	0,20	2,79	1,88
CMOD.4	3,50	10,09	8,90	9,10	8,77	9,13	10,32	3,36	2,95	3,02	2,90	2,99	3,39	3,10	0,20	2,77	1,86
	3,55	10,12	8,89	9,20	8,81	9,07	10,23	3,37									