

TREFIBERARMERING AV BETONG - KONTROLL AV STYRKEEGENSKAPER VED SPALTESTREKKFORSØK

WOOD FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE - CONTROL OF STRENGTH
PROPERTIES BY USING THE SPLIT CYLINDER TEST

FREDRIK MOEN HAALAND

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2010





Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010



Universitetet for miljø- og biovitenskap
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Masteroppgave våren 2010

Fagområde	Dato	Antall Sider
Byggeteknikk	5. mai 2010	38 + vedlegg

Tittel

Trefiberarmering av betong – kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk

Wood fiber reinforcement of concrete – control of strength properties by using the split cylinder test

av

Fredrik Moen Haaland

Veileder: Dr.ing. Christian O. Sørensen ved IMT



Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltstrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010



Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltstrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Forord

Denne oppgaven ble skrevet våren 2010 ved institutt for matematiske realfag og teknologi.

Det har vært svært interessant å jobbe med betong på denne måten. Det er ingen tvil om at det å blande betong selv, og på den måten få en følelse med hvilke faktorer som spiller inn på bearbeidelighet og styrke, har vært svært lærerikt. Å bedre min egen kjennskap til dette viktige byggematerialet har også vært drivkraften bak oppgaven, og jeg føler jeg har lyktes i dette.

Oppgaven kunne ikke ha blitt gjennomført uten støtte fra min veileder dr.ing Christian O. Sørensen.

Ellers vil jeg rette en stor takk til Bjørn Slette på trelaboratoriet, Olav A. Høibø ved institutt for naturforvaltning og Rescon Mapei AS.

Fredrik Moen Haaland

Ås, 5. mai



Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltstrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010



Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Sammendrag

Fiberarmert betong blir stadig mer aktuelt som byggemateriale, noe som har ført til en bred og intensiv forskning på området. I Norge har man i hovedsak konsentrert seg om stålfiber og forskjellige typer polymer-fiber, men internasjonalt har man de siste 40 årene også drevet en del forskning på ulike plantefiber, spesielt beregnet for lettere konstruksjoner i utviklingsland.

I denne oppgaven er det fokusert på å undersøke om trefiber av gran opp mot 50 mm blandet inn i svak konstruksjonsbetong kan øke betongens strekkeegenskaper og duktilitet. Det ble forsøkt blandinger med opp til 2 % trefiber og det ble forsøkt med vannmettede trefiber, tørre trefiber og fiber vætet med natriumsilikatløsning. For testing av prøvene ble det valgt spaltestrekkforsøk, et forsøk som er lite ressurskrevende og som gir resultater tett opp mot virkelig strekkfasthet.

Forsøkene viste at man ved innblanding av trefiber, for alle overnevnte behandlingsmetoder av trevirket, må regne med en svekkelse av betongen. Betong med 1 % trefiber fikk en svekkelse på ca 16,5 %, mens betong med 2 % trefiber fikk en svekkelse på ca 54 %. Under forsøkene ble det observert to forskjellige bruddformer; fullstendig brudd og sammenhengende brudd. Fullstendig brudd ble kun observert for prøvene uten trefiber og for prøvene med 1 % innblandet trefiber. Øvrige prøver holdt fortsatt sammen etter brudd.

Svekkelsen av betongen kan komme av økt porevolum som følge av antatte gassdannelser og som følge av nedbrytning av trevirket. Utformingen av fibrene kan også ha spilt inn på svekkelsen av betongen da det ikke var noe grunnlag for mekanisk samhandling mellom betongen og fibrene.

På bakgrunn av forsøkene utført kan det ikke anbefales å blande inn trefiber i betong med konstruksjonsfasthet.



Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltstrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010



Trefiberarmering av betong -
Kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Abstract

Fiber reinforced concrete is increasingly relevant as a building material, which has led to a broad and intensified research on the area. Research in Norway is mainly concentrated on steel fibers and various types of polymer fibers, but internationally there has in the last 40 years been done research on different natural fibers, especially for use in light structures in developing countries.

This thesis focus on examining if wood fibers of spruce up to 50 mm mixed into weak structural concrete will increase tensile properties and ductility of the concrete. Mixtures with up to 2 % wood fibers were tried, as well as water saturated wood, dry wood and fiber blended with a sodium silicate solution. The split cylinder test were chosen for testing of the samples, a test which is not resource-intensive and yields results close to the true tensile strength.

The experiments indicate that by adding wood fibers, for all the mentioned treatments of wood, one must expect a loss of strength of the concrete. Concrete with 1% wood fiber had a weakening of about 16.5 %, while concrete with 2 % wood fiber had a weakening of about 54 %. During the experiments, two different forms of fracture were observed; complete fracture and cohesive fracture. Complete fracture was observed only for the samples without wood fibers and for the samples with 1 % wood fibers. Other samples were still holding together after fracture.

The reduced strength of the concrete may be a result of increased porosity caused by assumed gas production and as a result of decomposition of wood. The configuration of the fibers may also affect the concrete strength due to limited mechanical interaction between concrete and fibers.

Based on the experimental results obtained, the addition of wood fibers to structural concrete is not recommended.



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Innhold

1. Innledning.....	3
2. Litteraturstudie	4
2.1. Betongens egenskaper.....	4
2.1.1. Forhold mellom trykk og strekk	4
2.1.2. Vann og luftporers påvirkning på betongfastheten.....	5
2.2. Fiberarmert betong.....	6
2.3. Organiske materialer i betong	8
2.3.1. Kalk-Hemp betong (Lime-Hemp concrete/LHC).....	8
2.3.2. Lettbetong med treflis	9
2.3.3. Betong med fibre fra daddelpalmer	9
2.4. Trevirkets oppbygning og egenskaper	10
2.4.1. Trevirkets oppbygning.....	10
2.4.2. Trevirkets fysiske egenskaper.....	11
2.4.3. Trevirkets mekaniske egenskaper	12
2.4.4. Trefibres holdbarhet i betong.....	13
2.4.5. Trevirkets kjemiske påvirkning på betong.....	14
2.5. Spaltestrekkfasthet	15
3. Metode.....	18
3.1. Hensikt	18
3.2. Produksjon av trefiber	18
3.3. Støping	20
3.3.1. Prøvestøp.....	20
3.3.2. Hovedstøp	20
3.3.3. Fremgangsmåte.....	21
3.3.4. Kontroll av fersk betong	22
3.3.5. Utstyr og laboratorier	22
3.3.6. Resepter.....	24
3.4. Testing av prøver.....	25
3.5. Bearbeiding av data.....	26
4. Resultater.....	27



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

4.1.	Kontroll av fersk betong	27
4.2.	Resultater fra spaltestrekkeforsøk.....	27
5.	Diskusjon.....	32
5.1.	Forskjeller mellom betongtypene	32
5.2.	Effekten av behandling av trefiber.....	33
5.3.	Bruddtype.....	34
5.4.	Testmetode.....	36
5.5.	Feilkilder	36
5.6.	Andre forsøk som kan belyse de aktuelle problemene	37
6.	Konklusjon	38
	Vedlegg A: Figurliste.....	39
	Vedlegg B: Tabeller	39
	Vedlegg C: Referanser	40
	Vedlegg D: Dataark og resultater	41



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

1. Innledning

Formålet med denne oppgaven er å undersøke om man kan kombinere fasthetsegenskapene til trevirke og betong, og på den måten få et komposittmateriale som kan konkurrere med eksempelvis stålfiberarmert og plastfiberarmert betong.

Betong er i dag blant de absolutt viktigste byggematerialene, og bruken av betong øker i alle land og regioner. Grunner til dette kan være at bestanddelene er billige og tilgjengelige over alt, produksjonen er enkel og bruken spenner over et vidt område innen bygninger og infrastruktur [1]. Denne utstrakte bruken av betong har ført til en utvikling av forskjellige typer spesialbetong, betongtyper hvor forskjellige egenskaper utvikles for å imøtekomme spesielle behov eller miljø. Herunder kommer forskjellige former for fiberarmert betong.

I likhet med plastfibrene har trefibrene stor fleksibilitet og strekkfastet, og det er derfor tenkelig at trefibrene kan bidra til rissfordeling i blant annet plater på mark. Det er derimot ikke tenkelig at man kan lage bærende elementer med kun trefiber ettersom man per i dag ikke har funnet noen god metode for å øke bestandigheten til cellulose i et basisk miljø, slik som man har i betong.

Noen av fordelene trefiber har foran stål- og plastfiber er tilgjengelighet, kostnad og miljø. Trevirke forekommer lokalt over store deler av verden, og produksjonsmetoden av fiber som er valgt i denne oppgaven kan utføres med enkelt utstyr, f.eks. høvel. Dermed kan man unngå frakt av råmateriale over større avstander og unødvendige mellomledd mellom produsent og bruker. Dette vil spesielt være interessant i fattige områder eller i mindre prosjekter.

I oppgaven er det lagt vekt på å undersøke spaltestrekkefastheten til betongsylindre med forskjellig innhold av trevirke, samt undersøke utfordringer knyttet til bestandighet.

2. Litteraturstudie

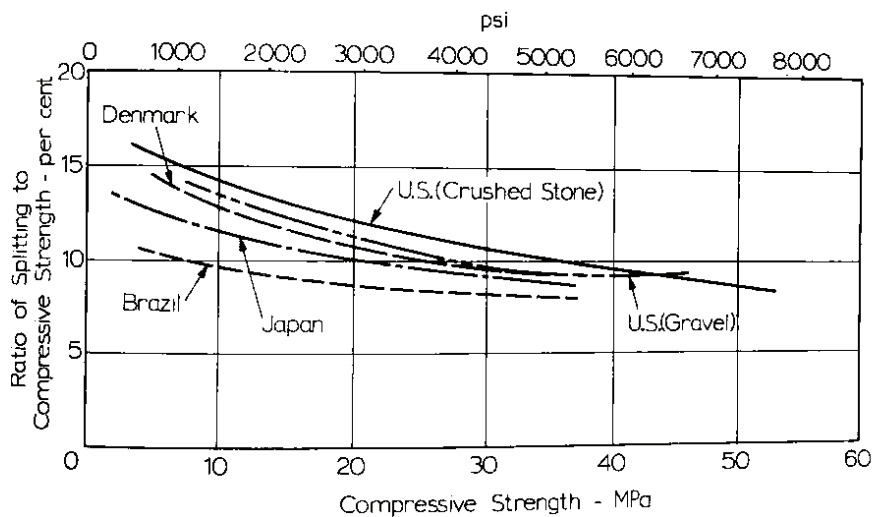
2.1. Betongens egenskaper

2.1.1. Forhold mellom trykk og strekk

Det er naturlig å forvente en sammenheng mellom trykk- og strekkegenskapene til betong, men det finnes ingen direkte proporsjonalitet mellom de to. Forholdet mellom trykk og strekk er avhengig av betongens generelle styrke, noe som fører til at ved økende trykkfasthet øker også strekkfastheten, men i stadig mindre grad [3].

Forholdet mellom trykk- og strekkfasthet avhenger av en rekke faktorer, som tilslagetes størrelse, form og overflate og betongens v/c-forhold og porøsitet. Betongens alder påvirker også forholdet da strekkfastheten øker saktere etter en måned enn hva trykkfastheten gjør [3].

Forsøk viser en sammenheng mellom spaltestrekkfasthet og trykkfasthet, som vist i figur 1. Her kommer det tydelig frem at forholdet mellom trykk og strekk synker med økt trykkfasthet.



Figur 1: Forhold mellom trykkfasthet og spaltestrekkfasthet, etter flere internasjonale forsøk [3]

2.1.2. Vann og luftporers påvirkning på betongfastheten

”I praktisk ingeniørvitenskap er styrken til betong, gitt en viss alder og herdetemperatur, hovedsakelig avhengig av to faktorer; v/c-forholdet og komprimeringsgraden” [3].

For fullkomprimert betong er det gitt at styrken er omvendt proporsjonal av v/c-forholdet, noe

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{v/c}}$$

Abrams Lov, hvor K_1 og K_2 er konstanter.

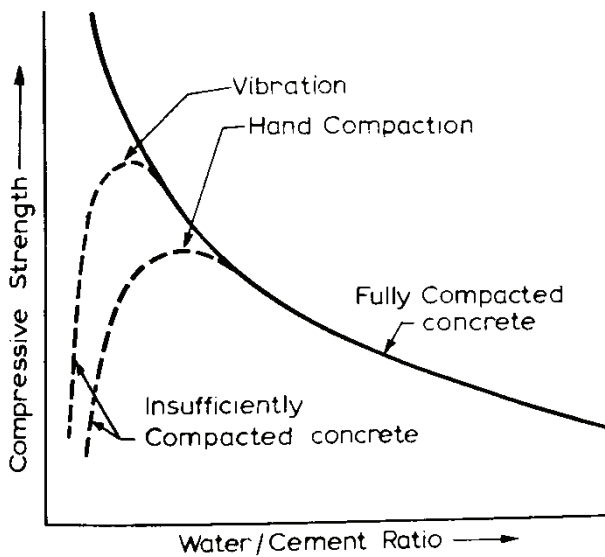
$$f_c = K \left(\frac{c}{c + v + a} \right)^2$$

Ferets regel, hvor c , v og a er volum av sement, vann og luft, og K er en konstant.

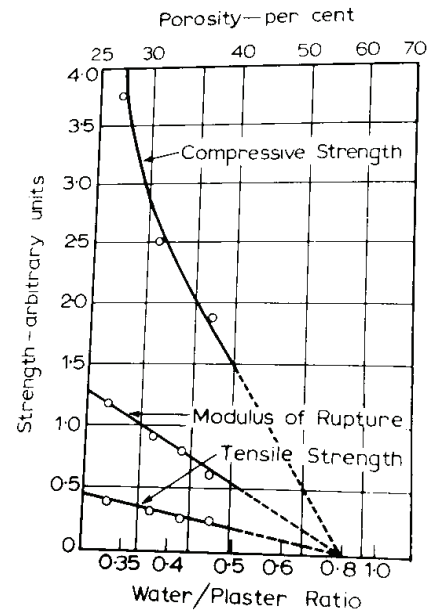
som er beskrevet ved flere regler av blant annet Feret i 1896 og Abrams i 1919. Begge la frem lover eller regler med ukjente empiriske konstanter, enklere vist ved figur 2 som viser sammenhengen mellom betongens styrke, kompakteringsgraden og v/c-forhold [3].

Hulrom og luftporer påvirkes blant annet av v/c-forholdet og komprimeringsgraden, noe som førte til at volum av luft fikk plass i Ferets regel.

Sammenhengen mellom volum av hulrom og styrke er ikke en unik egenskap hos betong, men finnes i alle sprø materialer hvor vann etterlater seg porer [3]. Sammenhengen mellom styrke og porøsitet finner man i figur 3.



Figur 2: [3]



Figur 3: [3]

Betongens svekkelse ved økt porevolum stemmer også bra med Griffiths hypotese [4] som beskriver svekkelsen av et sprøtt materiale ved små brudd i forbindelse med hulrom og små materialfeil. Griffith beskriver at et materiales styrke følger ”svakeste-ledd-prinsippet”, og at en



Trefiberarmering av betong - kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

feil i et element i et prøvestykke utsatt for en spenning vil føre til sprekkutvidelse og til slutt materialbrudd [3].

Beton-Bogen [5] nevner sju viktige kilder til poredannelse i betong

- Sementpastaens gelporøsitet
- Sementpastaens kapillærporsitet
- Tilslagets porøsitet
- Revner og sprekker langs tilslagskorn
- Innblandet luft for frostbeskyttelse (L-stoff)
- Innkapslet luft som følge av utilstrekkelig komprimering.
- Revnedannelser som følge av skadelige omdannelser eller overbelastning.

2.2. Fiberarmert betong

Det store problemet med betong er sprøheten, altså den lave strekkfastheten og den lave motstanden mot riss. Dette er et problem man har kjempet mot siden oldtiden hvor man i mørtel- og leirematerialer tilsatte hestehår, strå og andre organiske materialer som forsterkning [1,2]. Dette kjenner vi også til fra Norge hvor man på 1800-tallet og tidlig 1900-tallet i flere tilfeller forsterket mur og mørtel med blod og slakteavfall. Et av eksempel på dette er mørtelblandingene man har funnet ved restaureringen av Aulestad i Gausdal hvor det antas at det har blitt innblandet katter [6].

Utover 1900-tallet ble det forsøkt innblanding av forskjellige typer fiber for å bedre strekkegenskapene til betong, og man utviklet dermed konseptet ”fiberarmert betong”. Her finner man blant annet innblanding av asbestfiber og glassfiber, to typer fiber man nå har gått bort fra. På begynnelsen av 60-tallet fikk man de første publikasjonene om stålfiberarmert betong ved blant annet Romualdi J.P., Batson G.B., og Mandel J.A., noe som har hatt sterk påvirkning på utviklingen av stålfiberarmert betong [1].

Den videre utviklingen av fiberarmert betong har spredd seg i forskjellige retninger, blant annet innen bruk av stålfiber, plastfiber og plantefiber.

Det er per i dag ikke noen standard eller anerkjente retningslinjer for beregning og bruk av fiberarmert betong i Norge, men det arbeides med dette blant annet i Concrete Innovation Centre (COIN) hos SINTEF [7]

Fibre brukes i betongen for å forbedre de duktile egenskapene etter opprissing og for å fordele rissene som oppstår. ”Den mest utbredte bruken er i sprøytebetong i tunneller, veggkledning,

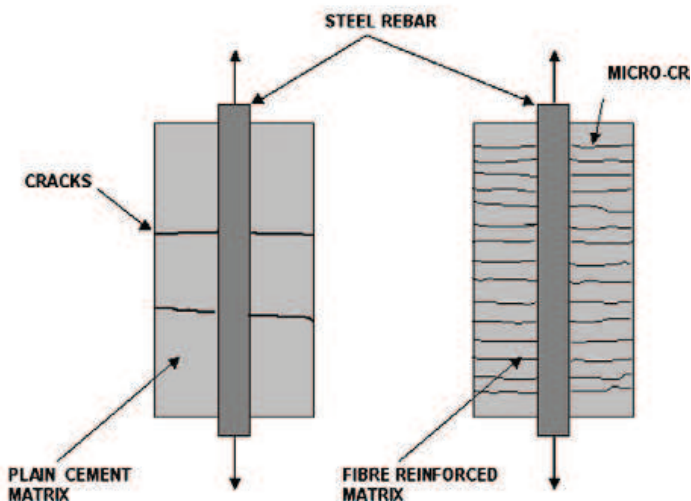
brodekker, dekker på mark osv. Fiberbetong har også vist seg lovende som reparasjonsmateriale for rehabilitering og styrking av eksisterende betongkonstruksjoner” [8].

Når strekkapasiteten til betongen er nådd, vil betongen risse opp og overføre strekkspenninger til fibre som krysser risset. Når fibre nå overtar, er det heft mellom fiber og betong, og ikke fibrenes strekkfasthet, som avgjør tverrsnittets videre styrke. Utforming og overflate avgjør derfor fibrenes effekt [9]. Vikan skriver i ”Concrete workability and fibre content” [2] at det spesielt er tre typer samhandling som er spesielt viktig mellom fiber og bindemiddel;

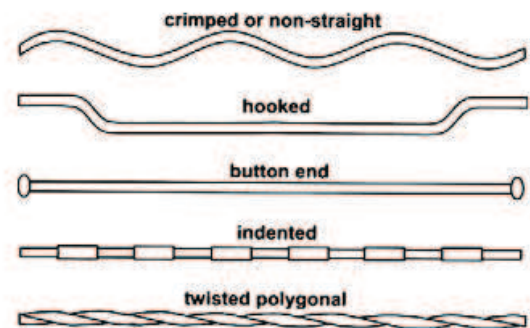
1. Fysisk og kjemisk adhesjon (Molekylære bindinger)
2. Friksjon
3. Mekanisk forankring forårsaket av deformasjoner på fiberoverflaten eller kompleks geometri (bølger, kroker, deformasjoner), som vist i figur 5

Vikan skriver videre at heftforankring som følge av adhesjon og friksjon er relativt svak, men at de bidrar sterkt hos fiber med stort overflateareal, som eksempelvis mikrofiber av karbon, og i avanserte sementblandinger med raffinert mikrostruktur og lav porøsitet.

På figur 4 vises effekten fiber har for rissdannelse rundt armeringsjern, sett i forhold til betong uten fiber. I stedet for få og store sprekker får man en tett fordeling av mikroriss [1].



Figur 4: Rissfordeling rundt armeringsjern med (t.h.) og uten fiberarmert betong [1]



Figur 5: Stålfiber med ulik utforming [1]

Plastfiber brukes både for å regulere svinnriss i tidlige herdestadier og for å sikre konstruksjoner under brann. Ettersom plastfibre smelter ved høye temperaturer kan de sørge for å lette internt trykk i konstruksjonen og utsette ødeleggelsen av betongen [1]



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

2.3. Organiske materialer i betong

Som nevnt i kapittel 2.2 har man i flere tusen år benyttet forskjellige organiske tilsetninger i mørtel og betongblandinger, men forskningen innen organiske fibertilsetninger har de siste 50 årene dreid seg rundt plantefiber som hamp, bast, palmefiber og forskjellige former for trefiber. Fokus har spesielt ligget på løsninger for u-land med de plantefibrene som er lokalt tilgjengelig, og det har i flere tilfeller blitt jobbet med kalkblandinger. Man har også forsøkt å bruke ekstrahert cellulose, dvs. uten lignin. Slike rene cellulosefibre kan komme opp i en strekkfasthet på 500 N/mm^2 [2, 10]

2.3.1. Kalk-Hamp betong (Lime-Hemp concrete/LHC)

De mekaniske egenskapene til LHC ble beskrevet av de Bruijn et. al i 2009 [10]. I studiet har de undersøkt effekten av forskjellige bindemiddel sammen med hamp (*Cannabis sativa*), og i motsetning til andre studier har de forsøkt å bruke både stammekjernen og bastfiber. LHC prøvene ble testet for blant annet trykkfasthet og spaltestrekfasthet.

LHC er en lett og svak betongblanding, med densitet etter herding på $587\text{-}733 \text{ kg/m}^3$, trykkstyrke $0,2\text{-}0,83 \text{ N/mm}^2$ og spaltestrekfasthet på $0,0216\text{-}0,113 \text{ N/mm}^2$ [10]

LHC er ikke sammenlignbart med eksempelvis stålfiberarmert betong da blandingen i hovedsak består av hampfiber bundet sammen av et sementlim. LHC må derfor benyttes sammen med et uavhengig bæresystem.



Figur 6: Fiber fra hamp, (<http://www.colehay.co.uk/images/equisorb.jpg> 11.3.2010)



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

2.3.2. Lettbetong med treflis

Coatanlem et. al [11] studerte de mekaniske egenskapene til lettvekts treflisbetong utsatt for både tørt og fuktig miljø, og det ble i tillegg forsøkt forskjellige behandlinger av trevirket for å øke heft og bestandighet.

Blant behandlingsmetodene var fukting av trevirket med vann og fukting med natriumsilikatløsning (Na_2SiO_3). Prøvene ble deretter herdet i et dampkammer som holdt 20°C og 50 % RF, for deretter å bli utsatt for forskjellige miljøer, se figur 7.

Conditioning and exposure conditions of the samples

Sample ref.	Saturation treatment	Conditioning		Exposure	
		Environment	Duration	Conditions	Duration
WCwh	Water	20 °C, 50% RH	28 days	20 °C, 95% RH	28 days
WCwa	Water	20 °C, 50% RH	28 days	Ambient	28 days
WCsa	Sodium silicate	20 °C, 50% RH	28 days	Ambient	28 days
WCsh	Sodium silicate	20 °C, 50% RH	28 days	20 °C, 95% RH	28 days
WCsh	Sodium silicate	20 °C, 50% RH	7 days	20 °C, 95% RH	16 months
WCsc	Sodium silicate	20 °C, 50% RH	28 days	20 °C, 50% RH	16 months

Figur 7: [11]

Bøyetesting viste at prøvene som inneholdt trevirke fuktet i Na_2SiO_3 -løsning hadde ca 25 % større styrke enn prøvene med trevirke fuktet i vann. Undersøkelser med et skanning elektronmikroskop (SEM) viste at det var dannet store mengder ettringitt rundt trefibrene som var fuktet med Na_2SiO_3 -løsning, noe man antar økte heften mellom trevirket og betongen, og dermed styrken i disse prøvene.

16 måneders fasthet ble også testet på enkelte prøver, hvor trykkfastheten ble målt til ca 30 % av 28-døgns-fastheten. Det var kun prøver med natriumsilikatløsning som ble testet etter 16 måneder, så man kan ikke trekke noen konklusjoner fra dette studiet om hvorvidt natriumsilikatløsningen har noen innvirkning på levetid, sett i forhold til behandling med vann.

2.3.3. Betong med fibre fra daddelpalmer

A. Kriker et. al [12] gjorde en studie på om fibre fra daddelpalmer kunne brukes som betongarmering, og fokuserte her på holdbarhet i varmt og tørt klima. Hovedstudiet gikk ut på å undersøke nedbrytningen av palmefibre i basisk og alkalisk miljø, ved å legge disse i hhv. kalsiumhydroksidløsning ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), natriumhydroksidløsning (NaOH) og en Lawrence-blanding basert på kalsium, kalium og natriumhydroksid. Det ble også laget betongprøver for bøyetesting med 2-3 % palmefiber. Fibrene hadde lengder fra 15-60 mm.

Resultatene viste at kalsiumhydroksidløsningen hadde størst innvirkning på fibreene, hvor strekkstyrken etter 6 måneder kunne synke til 10 % av opprinnelig styrke. Tilsvarende tall for natriumhydroksidløsningen var 16 %. Reduksjonen i strekkstyrke avhenger av fibreens diameter, som i forsøkene er på hhv 0,4 mm, 0,6 mm og 0,8 mm.

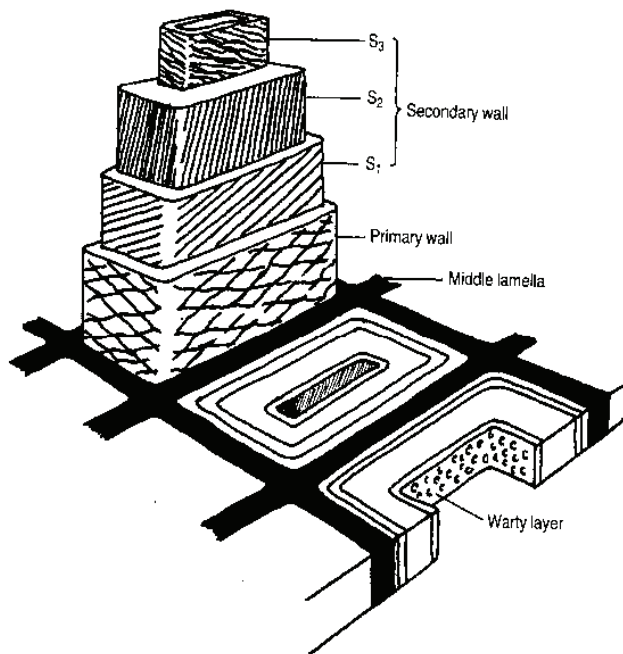
Resultatene fra bøyeforsøkene bekrefter det man så i nedbrytningsforsøkene. Bøyefastheten til første brudd øker med alderen, men styrken etter første brudd, som i stor grad avhenger av palmefibrene, synker med økt alder på prøven.

2.4. Trevirkets oppbygning og egenskaper

2.4.1. Trevirkets oppbygning

Trevirket i nordiske bartrær består hovedsakelig av trakeider, som er langstrakte, hule celler på opptil 6 mm. Disse cellene står for trevirkets mekaniske egenskaper og en stor del av de fysiske egenskapene til trevirket, som eksempelvis sorptive egenskaper [14]

Celleveggen er bygd opp av forskjellige lag med forskjellige egenskaper, som vist i figur 8.



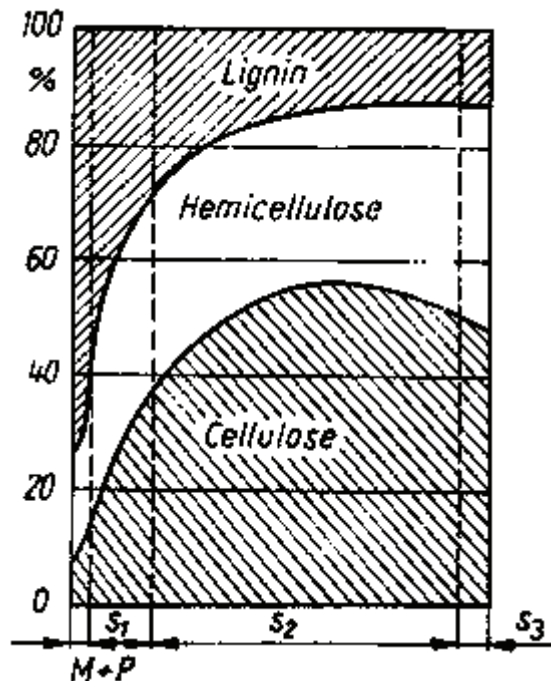
Figur 8: Cellens oppbygning [13]

Midtlamellen er strukturløs og ligninrik. Midtlamellens funksjon er å holde cellene sammen, og den regnes ikke som en del av celleveggen.

Primærveggen er ligninrik og inneholder bare 8-10 % cellulose. Orienteringen av mikrofibrillene er tilfeldig og gir dermed primærveggen styrke i alle retninger.

Sekundærveggene er hovedbestanddelene i trakeidene, og står for 97 % av den totale tykkelsen av celleveggen. Man deler sekundærveggene i tre lag, S_1 , S_2 og S_3 , hvor S_2 er tykkest og med størst celluloseinnhold. I S_2 veggen er mikrofibrillvinkelen $10-30^\circ$ i forhold til cellens hovedretning, noe som gir trevirket stor strekkfasthet i lengderetningen. [13]

Celleveggene består av tre kjemiske hovedbestanddeler, cellulose, hemicellulose og lignin. Alle er polymeriske og med forskjellig oppbygning og forskjellige egenskaper. Cellene i et bartre består av ca 41 % cellulose, 23 % hemicellulose, 30 % lignin og ca 6 % andre ekstraktivstoffer [14].



Figur 9: Statistisk fordeling av hovedbestanddelene i trevirket, fordelt på hver cellevegg [14]

Cellulose er den mest utbredte organiske substansen på jorda, og man finner den i hele planteriket. Cellulose fungerer som cellens skjelett og bidrar til høy strekkfasthet. Cellulose er et polysakkarid, bygd opp av glukosemolekyler i lange rette kjeder, og har i nordiske bartrær en polymeringsgrad på opptil 10.000. Cellulosemolekylene danner micellestrenger som igjen settes sammen til mikrofibriller, som har både krystallinske og amorfe områder. De krystallinske områdene har en ren og rett struktur, er ikke vanngjennomtrengelige og er vanskelige å bryte opp. De amorfe områdene er derimot kaotisk oppbygd og gjennomtrengelige for vann. I motsetning til flere andre polysakkarider, som stivelse, kan ikke cellulose løses opp i vann [14].

Hemicellulose er også et polysakkarid, men med langt lavere polymeriseringsgrad enn cellulose, og sjelden over 200. Noe annet som skiller hemicellulose fra cellulose, er en mengde forgreininger og avvik fra lineær struktur, og et

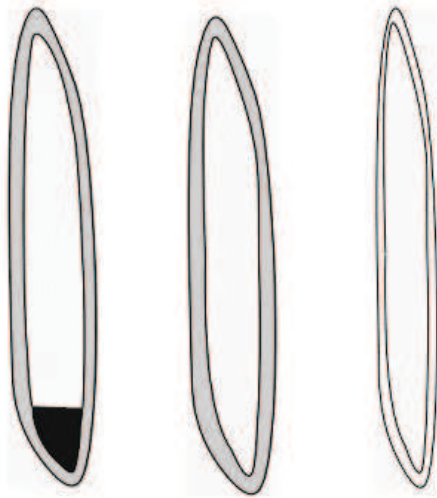
stort spenn i oppbygning som varierer fra treslag til treslag og spesielt mellom løvtrær og bartrær. Funksjonen til hemicellulose er uklar og omdiskutert, men det antas at det fungerer som et midlertidig bindemiddel under lignifiseringen av cellene [14].

Lignin er et tredimensjonalt phenylpropan-polymer som fungerer som bindemiddel i trevirket. Etersom det forandrer kjemisk profil under ekstrahering, er den opprinnelige formen usikker [14].

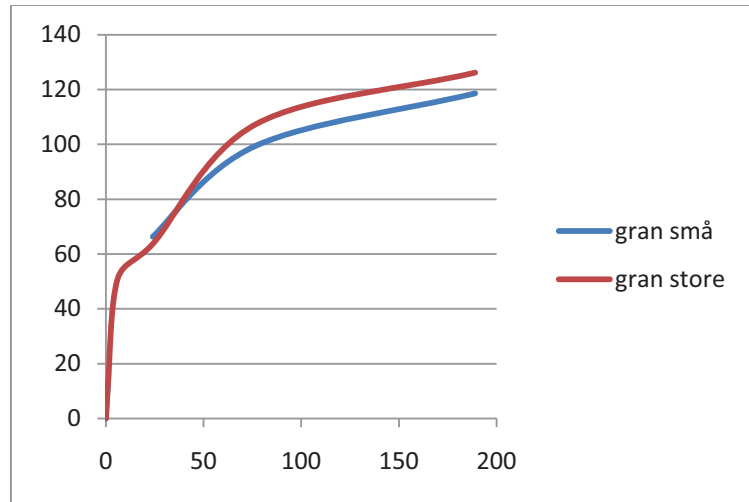
2.4.2. Trevirkets fysiske egenskaper

De viktigste fysiske egenskapene for trevirke i kombinasjon med betong er de sorptive egenskapene og effekten vanninnholdet har på de mekaniske egenskapene til trevirket.

Når man beskriver fuktinnholdet i trevirket skiller man mellom fritt og bundet vann. Det frie vannet ligger i cellelumen, tomrommet i midten av cellen, mens det bundne vannet ligger i celleveggen, som vist på figur 10.



Figur 10: Fra venstre: Full fibermetning og vann i cellelumen, fibermetning, tørr celle. [13]



Figur 11: Fuktopptak i små prøver av gran med store og små årringer. Prosentvis opptak (y) plottet mot tid målt i timer (x). [15]

Fuktopptaket i celleveggen hos gran kan komme opp i ca 30 % av trevirkets tørrvekt, og som følge av dette opptaket får man svelling og volumøkning på ca 11 % av opprinnelig volum. Fuktopptaket i cellelumen har ingen innvirkning på trevirkets volum, men til gjengjeld kan det samlede fuktopptaket i cellelumen og cellevegg komme opp mot 120 % av trevirkets tørrvekt, som vist i figur 11. [15]

2.4.3. Trevirkets mekaniske egenskaper

Trevirke er et ortotrop materiale, det vil si at de mekaniske egenskapene er forskjellige i de tre hovedaksene, lengdeakse, radialakse og tangentialakse. Lengdeaksen er den sterkeste, hvor strekkfastheten til små feilfrie prøvestykker av gran ligger på 150-200 N/mm² [15]. Strekkfastheten radielt og tangentielt ligger på ca 2,5 % av strekkfastheten i lengdeaksen [16].

Strekkfastheten påvirkes i stor grad av fuktinnholdet i trevirket, og ved økning fra ca 10 % fuktinnhold til fibermetningspunktet er forholdet mellom økt fuktinnhold og svekket strekkfasthet tilnærmet lineært. Forsøk har vist at strekkfastheten ved fibermetningspunktet kan synke til 40 % av maksimal strekkfasthet [14].



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltetrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

2.4.4. Trefibres holdbarhet i betong

H. E. Gram skrev i 1983 doktorgradsavhandlingen "Durability of natural fibres in concrete" [17], og det refereres fortsatt til denne avhandlingen når det gjelder trefibres holdbarhet i betong. Studiet hadde sin bakgrunn i problemer man hadde i Tanzania med takplater laget av betong som var forsterket med Sisalfiber.

Det beskrives at nedbrytningen av cellulose i et basisk miljø kan skje på to måter. En er en slags avskalingsprosess i enden av molekylkjeden. Enden av cellulosekjeden reagerer med OH^- og former isosakkarinsyre, CH_2OH , som dermed hektes av cellulosekjeden.

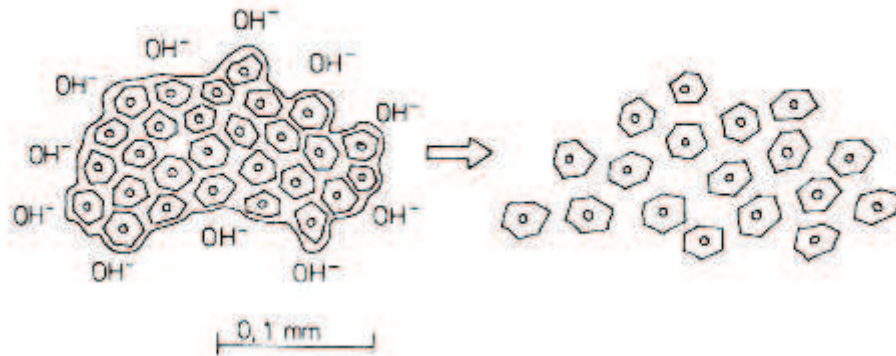
Den andre formen for basisk nedbrytning er ved hydrolyse hvor molekylkjeden deles opp og polymeriseringsgraden senkes. Denne typen nedbrytning skjer kun i liten grad ved romtemperatur, og er størst ved temperaturer over 100°C

Ser man de to nedbrytningsformene i sammenheng, kan man anta et effektivt angrep på cellulosekjeden. Ved hydrolyse får man flere ender av cellulosestrengene, og avskallingen kan foregå på et høyere nivå enn om man ikke hadde hatt hydrolyse.

Nedbrytning av hemicellulose foregår på samme måte som cellulose, men her er polymeriseringsgraden lavere enn hos cellulose, 50-200, samtidig som hemicellulose har flere avgreninger. Det kan derfor antas at avskallingsprosessen er den gjeldende nedbrytningsprosessen hos hemicellulose.

Lignin er lett nedbrytbart i et basisk miljø. Ettersom det er vanskelig å studere formen på ligninmolekylene er det også vanskelig å finne årsakene til nedbrytningen.

Nedbrytning av de tre hovedbestanddelene i trevirket gir en helhetlig forståelse av svekkelsen av trefibre i basisk miljø. Den viktigste årsaken til svekkelse av fibre vil være nedbrytningen av lignin ettersom man da mister midtlamellen og dermed samholdet mellom de enkelte cellulosefibre. [17]



Figur 12: Oppløsning av midtlamellen [17]

Dette ble vist av H.E. Gram ved at Sisalfiber ble lagt i bufferløsninger med forskjellig pH. Løsninger med $\text{pH} \geq 12$ ble farget gult, noe som indikerer at lignin, som har en gulbrun farge, ble brutt ned.

I følge Kollmann [14] er trevirke fra bartrær bedre beskyttet mot nedbrytning på grunn av større innhold av lignin. Det er vanskelig å se dette i sammenheng med resultatene til Gram da man ikke har utført tilsvarende forsøk.

2.4.5. Trevirkets kjemiske påvirkning på betong

Ved nedbrytning av trevirket vil man få kjemiske stoffer som påvirker betongens egenskaper. Fra industrien kjenner man til at lignosulfonater, som er et biprodukt fra papirindustrien etter utkoking med sulfid [18], brukes i SP-stoff, P-Stoff, L-stoff og R-stoff [19, 26].

Som L-stoff brukes både harpikser og lignosulfonater, begge biprodukter fra treforedlingsindustrien. I tillegg til å danne porer kan L-stoff bidra til å redusere betongens fasthet i fete blandinger [19].

P-stoff er som regel basert på lignosulfonater eller karbohydrater eller en kombinasjon av disse. Stoffene legger seg som en film på sementkornets overflate, og kan dermed til en viss grad forsinke hydratiseringen av sementen og dermed retardere størkningen av betongen [19]. Ved bruk av P-stoff basert på lignosulfonater kan man også oppleve økt luftinnhold. Man ser de samme effektene i SP-stoff, men man kan her oppleve større luftlommer og større avstand mellom luftlommene enn i annen lufttilført betong [26].



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

R-stoff er, som P-stoff, ofte basert på lignosulfonater og karbohydrater. Både virkemåte og effekt er i stor grad som for P-stoff, ved at stoffet legger seg som en film rundt sementkornene og dermed utsetter størkningen [19]. Man kan også her observere noe økt luftinnhold [26].

2.5. Spaltestrekkfasthet

Det er normalt vanskelig å gjennomføre rene strekkforsøk på betongprøver, noe som har ført til at man må benytte seg av alternative forsøksmetoder

Et mye brukt forsøk er test av bøyestrekfasthet hvor man støper et prisme, gjerne 100x100x500mm, og gjennomfører et standard firepunkts bøyeforsøk. I denne prøveformen benyttes formelen

$$\sigma_{tb} = \frac{P * l}{b^3} \quad [20]$$

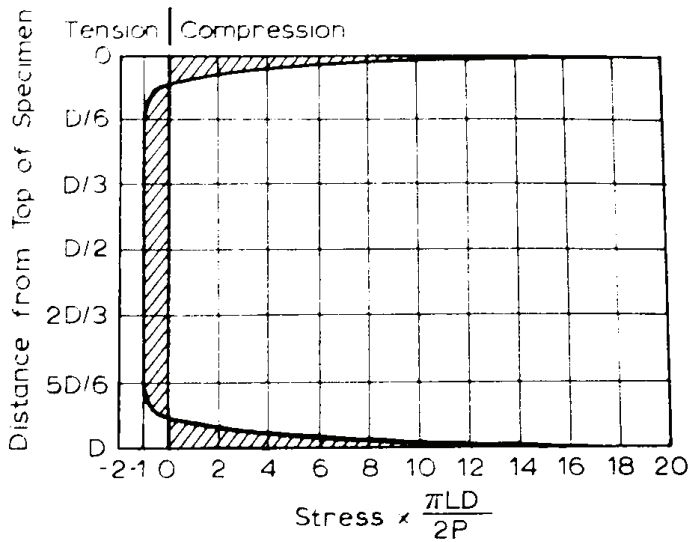
Hvor σ_{tb} er bøyestrekfasthet i N/mm^2
P er bruddlast i N
l er lengden på prismet i mm
b er sidekantene, ved kvadratisk prisme, i mm

I et bøyestrekfasthet forsøk finner man en teoretisk maksimum strekkfasthet i betongprismens underkant, altså bruddspenning. I denne utregningen går man ut fra at spenningsfordelingen er lineær, men man har i forsøk vist at spenningsfordelingen i virkeligheten er nærmere parabelformet. Denne forskjellen fører til at den utregnede strekkfastheten er høyere enn den man ville fått ved et rent strekkforsøk [3].

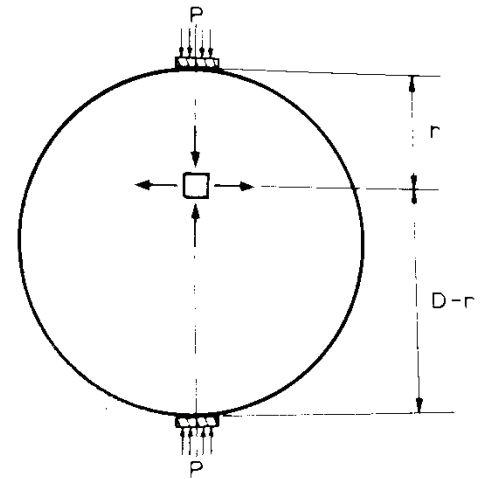
Et alternativ til test av bøyestrekfasthet er test av spaltestrekkfasthet, også kjent som *Brasiliansk test* eller *split cylinder test*. Her støpes sylindere av samme type som man bruker i trykkforsøk, gjerne Ø100 L200 mm. Sylindere legges med hovedaksen horisontalt i en trykkmaskin, og det påføres en last inntil sylindere splittes vertikalt, som følge av tverrestrekk. I denne prøveformen benyttes formelen

$$\sigma_{ts} = \frac{2P}{\pi l D} \quad [20]$$

Hvor σ_{ts} er spaltestrekkfastheten i N/mm^2
P er bruddlast i N
l er lengden på sylindere i mm
D er sylindere diameter i mm

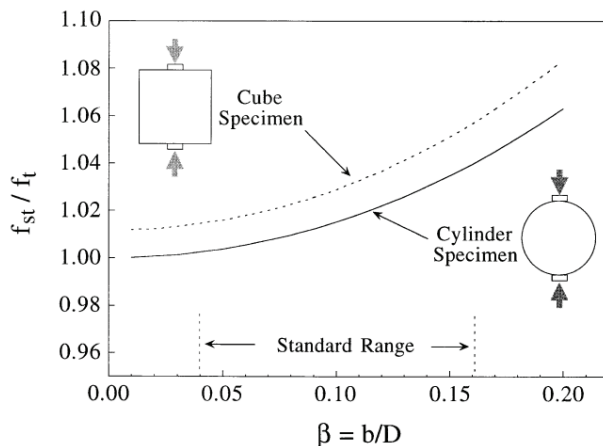


Figur 13: Spenningsdiagram over spaltestrekkfasthet [3]



Figur 14: Spenningskvadrat i sylindere under forsøket. [3]

For å hindre at man får trykkbrudd i trykkflatene, legger man vanligvis mellom en remse med kryssfiner for å fordele kreftene. Uten remsene kan man registrere ca 8 % lavere styrke [3]. Rocco et. al. [22] skrev at forholdet mellom strekkfasthet, f_t , og spaltestrekkfasthet, f_{st} , er avhengig av forholdet mellom remsens bredde, b , og sylindere diameter, D . Dette forholdet er vist i figur 15.



Figur 15: Forhold mellom spaltestrekkfasthet og strekkfasthet, med hensyn på remsens bredde [22]

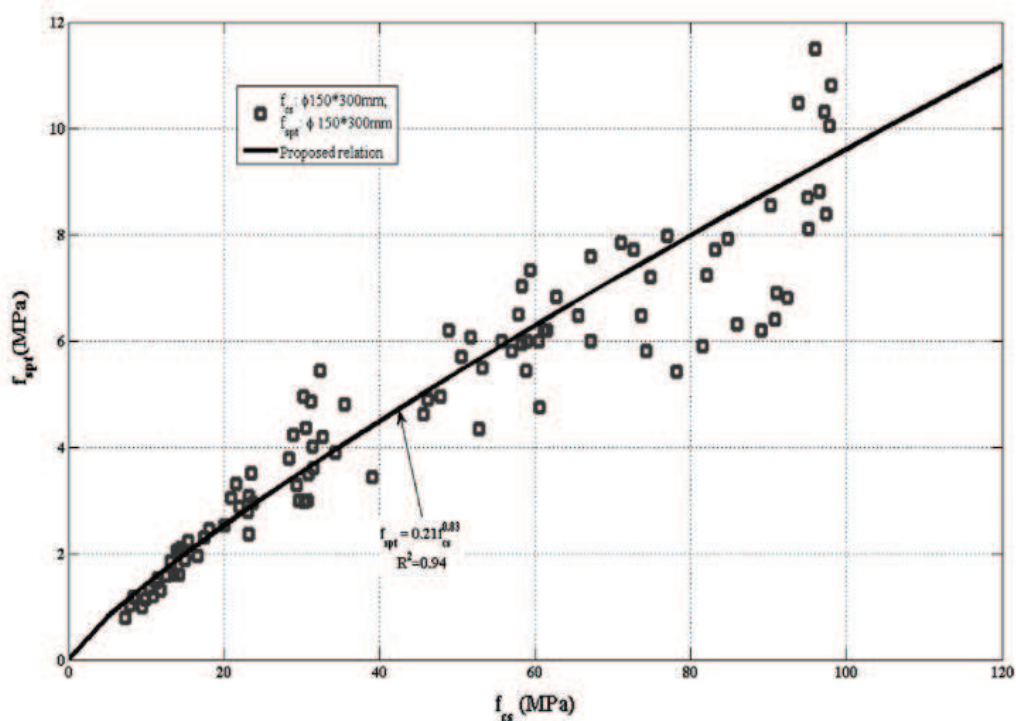
Spaltestrekkfastheten til betongen ligger normalt mellom 7 og 15 % av trykkfastheten, avhengig av betongkvalitet og tilslag/tilsetningsmaterialer [3].

Fastheten man oppnår i spaltestrekkforsøk er nærmere den virkelige strekkfastheten, ca 5-12 % høyere. Til sammenlikning regner man med at fastheten man oppnår med bøyestrekforsøk er hele 150-200 % høyere enn den virkelige strekkfastheten [3]. Slik sett kan man si at spaltestrekkforsøkene er bedre egnet til forsøk hvor man kun er interessert i strekkeegenskapene til betong.

J.F. Olesen et. al [21] skriver at strekkfastheten til et fullstendig sprøtt materiale vil være lik spaltestrekkfastheten. Imidlertid er ikke betong et fullstendig sprøtt materiale, men heller et delvis sprøtt materiale, noe som fører til at spaltestrekkfastheten er noe høyere enn den virkelige strekkfastheten. Olesen et. al. skriver videre at om materialet man tester er tilstrekkelig sprøtt vil bruddet starte med en liten vertikal sprekk midt i sylindere som med økt last vil dele sylindere i to halvdel. Om materialet ikke er tilstrekkelig sprøtt kan man oppleve at spalting av prøven

ikke er fullstendig før knusing eller glidning som følge av trykkspenninger oppstår i topp og bunn av prøven. I slike tilfeller kan man observere en kileformet del av sylindren som står igjen etter at sylindren har delt seg, som følge av plastiske deformasjoner i trykksonen.

Xu og Shi (2009) [23] samlet data fra flere forskjellige forsøk med stålfiberarmert betong og viste at sammenhengen mellom trykkfasthet og spaltestrekkfasthet er lineær i prøver med trykkfasthet fra ca 15 – 100 N/mm², se figur 16. I forsøkene lå fibermengden rundt 0,5 - 1,5 %, og lineariteten kan tale mot Olesen [21] sin konklusjon om at Spaltestrekkforsøk er dårlig egnet for fiberarmert betong.



Figur 16: Lineær sammenheng mellom trykkfasthet og spaltestrekkfasthet, hhv x og y-akse[23]

Figur 16 viser tydelig trompetformet residualfordeling, noe som kan antyde at sammenhengen mellom betongens styrke og forholdet mellom trykkfasthet og spaltestrekkfasthet endres ved økt betongstyrke.



3. Metode

3.1. Hensikt

Målet med forsøkene har vært å bruke en enkel metode for å undersøke effekten av innblanding av trefiber i betong. Muligheten for å støpe prizmer eller bjelker for bøyeforsøk ble vurdert, men forkastet da det ikke var praktisk å gjennomføre den type forsøk med de fasilitetene man har på UMB i dag. Det ble derfor valgt en forsøksmetode som i stor grad isolerer strekkfastheten, men som ikke viser forskjeller i duktilitet og energioptak på linje med bøyeforsøk.

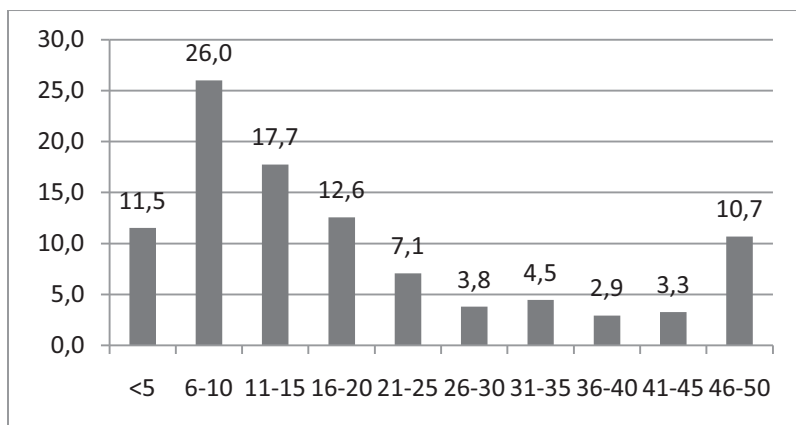
Alle forsøk er gjort på Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT), ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) i perioden januar – april 2010.

3.2. Produksjon av trefiber

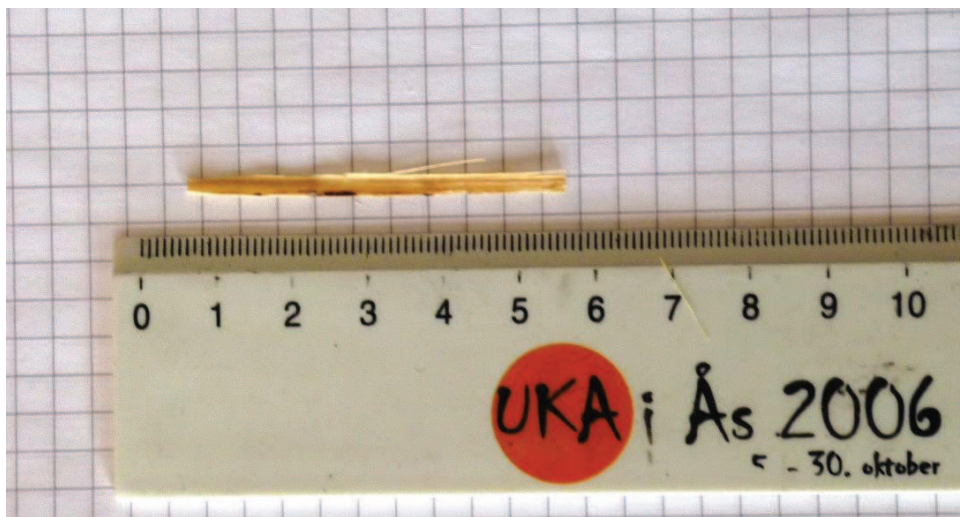
Et poeng med forsøkene har vært å bruke trefiber som kan sammenlignes med plastfiber i fysisk størrelse. Plastfibrene som ble målt var 48 mm lange, og ca 1 mm tykke, og målsetningen ble dermed å lage trefiber i tilsvarende størrelse. Det ble først vurdert å sage riller med 50 mm mellomrom i en 48x98 mm bjelke, for så å høvle over bjelken på langs. Denne metoden ble forkastet da det ga en usikkerhet i om treflisa ville krølle seg, og det ble antatt at man måtte til med manuelt arbeid for å dele om de 48 mm brede flakene. En annen mulighet var å bruke emner til fyrstikker eller tannpirkere, som i størrelse stemmer bra med plastfibrene. Her er det også utviklet produksjonsmetoder, og kostnaden anses som lav. Ettersom den type "fiber" ville være stivere enn ønsket, og dermed kunne knekke under innblanding i betongen, ble også denne metoden forkastet.

Løsningen som ble valgt var å kappe kryssfinerplater i ca 50 mm brede bord hvor man kunne høvle av lag som ga fiber i ønsket lengde og i store mengder. Fibrene delte seg opp i bredder på maksimalt 2 mm. Det ble brukt partier i platene som ga fiber med ønsket fiberretning.

Figur 17 viser størrelsesfordelingen til 518 trefiber, noe som tilsvarer 1,3 g.



Figur 17: Statistisk fordeling av lengden på fibre, oppgitt i prosent.
(Fredrik M. Haaland 2010)



Figur 18: Et trefiber på ca 50 mm (Fredrik Moen Haaland, 2010)



Figur 19: Trefibre (Fredrik Moen Haaland, 2010)



3.3. Støping

3.3.1. Prøvestøp

Det ble utført to prøvestøp, hhv med 8 og 6 prøver. Prøvestøp 1 var for å bli kjent med hvordan betongen reagerte når trefiber ble tilsatt. Prøvestøp 2 ble gjennomført for å bli kjent med det nye utstyret og for å kunne kontrollere 7-døgns fasthet på tre partier med forskjellig fiberinnhold.

I prøvestøp 1 ble det støpt fire prøver uten trefiber og fire prøver med trefiber. Samtlige prøver var av dårlig kvalitet. Det ble ikke tilsatt SP-stoff i disse partiene, noe som ga tungt bearbeidelig betong.

Erfaringene fra prøvestøp 1 var at størkningen av prøvene med tilsatt trefiber tok mer enn et døgn. Avforming måtte derfor utsettes, noe som førte til at det ble valgt å avforme samtlige prøver etter tre døgn.

I prøvestøp 2 ble det støpt tre prøver med trefiber og tre prøver uten trefiber. Det store v/c-forholdet førte til problemer med blødning. Prøvene ble knust i en hydraulisk trykkmaskin etter 7 døgn for å se om det kunne vært nytte i å fortsette forsøkene.

Erfaringene fra prøvestøp 2 var at det måtte tilsettes finstoffer for å unngå blødning. Det ble derfor anskaffet kalksteinsmel til hovedstøpene. Etter testing ble styrken på prøvene med trefiber beregnet til 66 % av styrken til prøvene uten trefiber. Samtidig holdt prøvene med trefiber fortsatt sammen etter brudd. Den svake styrken til prøvene med trefiber kan komme av den retarderte størkningen, og dermed en retardert fasthetsutvikling, eller av at trefibrene gjør betongen svakere. Usikkerheten førte til at det ble valgt å fortsette forsøkene som planlagt.

3.3.2. Hovedstøp

Det ble støpt 18 partier av tre sylindere, til sammen 54 sylindere, med variasjoner av fiberinnhold, innblandingsmetoder og tilsetninger.

Parti 1-4 ble støpt som kontrollparti uten trefiber, slik at man har et sammenligningsgrunnlag.

Parti 5 ble støpt med 1 vol % trefiber, og fibre ble blandet inn til slutt etter grusen. Trefibre ble fuktet i vann for å mykes opp, og overskuddsvann ble avrent. Mengden grus ble ikke regulert og det totale volumet ble dermed større enn ønsket. Av fargen på det avrente vannet antas det at en del lignin og eventuelle andre limstoff i trevirket ble skyldt ut.

Parti 6-8 ble støpt med 1 vol % trefiber, og fibre ble blandet inn i mørtelen like før grus ble tilsatt. Trefiber ble ellers behandlet som i parti 5.



Trefiberarmering av betong - kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Parti 9-12 ble støpt med 2 vol % trefiber. Fibrene ble blandet inn i mørtelen. For å få større kontroll på vanninnholdet ble trefibrene fuktet i vannet som skulle tilsettes betongen. Parti 11 og 12 ble støpt med ny sand som tok opp et større volum enn antatt, andelen trefiber i hver sylinder ble derfor noe mindre enn i parti 9 og 10.

I parti 13-16 ble trefibrene forsøkt blandet med natriumsilikatløsning (Na_2SiO_3). Trefibrene i de fire partiene lå en time i løsningen før de ble behandlet på ulike måter.

I parti 13 ble trefibrene avrent og tilsatt mørtelen før grusen. Blandingen ble tungt bearbeidelig og vanskelig å støpe.

I parti 14 ble trefibrene avskylt med vann og deretter avrent før de ble tilsatt betongen. Lettere bearbeidelig, men man har en usikkerhet i effekten dette har på vannmengden i betongen.

I parti 15 og 16 ble trefibrene avrent og deretter blandet med vannet som skulle tilsettes betongen. Konsistens og bearbeidelighet lå mellom parti 13 og 14.

Parti 17 og 18 ble støpt med 2 % trevirke med ca 8-9 % fuktinnhold. Trevirket ble ikke behandlet før innblanding, dette for å undersøke om fibrene ville knekke under innblandingen. Det så ut til at trefibrene holdt seg bra i blandingen.

3.3.3. Fremgangsmåte

Det ble først vurdert å tørke sand og grus for hvert parti og deretter kjøre sanda gjennom siktesøylen for å få full kontroll på både vanninnhold og finstoffinnhold, men dette viste seg vanskelig da fasilitetene ikke lå til rette for dette. I stedet ble 1 kg sand og 1 kg grus tørket og kjørt gjennom siktesøylen før hver støpedag, og det antas at fuktinnhold og finstoffinnhold ikke varierer i løpet av dagen, da grus og sand ble oppbevart åpent i samme rom som støpingen foregikk. Mengden finstoff ble justert med kalksteinsmel slik at alle prøvene hadde likt finstoffinnhold.

Deretter ble sement, kalksteinsmel og sand oppmålt og helt forsiktig i blandemaskinen. Blandingen av sement og sand ble kjørt til den hadde jevn farge og konsistens før det ble kontrollert at det ikke lå sement opp langs sidene av blandebollen. Deretter ble vann og SP-stoff helt i bollen og blandingen ble igjen kjørt til farge og konsistens var jevn. Til slutt ble grus tilsatt og blandingen ble kjørt rolig i ca 30 sek.

Det ble forsøkt med innblanding av trefiber i mørtel og i den ferdige betongblandinga, som beskrevet i 3.3.2.

Den ferdig blandede betongen ble så lagt i tre sylindrerformer, i tre omganger slik at innholdet i de tre sylindrene ble mest mulig likt. Hver sylinder ble vibrert i vibratoren for siktesøylene i 20 s før de ble avrettet med en 16 mm stålstav. Lokk ble satt på sylindrene og strammet til.



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Etter tre døgn ble sylindrene avformet og lagt i vannbad i et temperaturkontrollert rom, hvor de lå i 25 døgn. På grunn av forsinkelser i trelaboratoriet ble prøvene først testet etter 33 døgn. Ettersom dette ble gjennomført på samtlige prøver skal ikke dette ha noen betydning for resultatene, men det kan gjøre det vanskeligere å måle resultatene mot andre forsøk.

3.3.4. Kontroll av fersk betong

Det ble kontrollert slump og luftinnhold på betong uten trefiber og på betong med 1 % trefiber. Forsøkene ble gjennomført etter prosedyrer beskrevet av avdeling for ingeniørutdanning ved Høgskolen i Oslo (HiO) [24-25], som er basert på Norsk Standard.

Det er usikkert når luftmåleren sist ble kalibrert, men det må antas at den fungerer slik den skal. Usikkerheten her gjorde at jeg leste av med en nøyaktighet på hele prosentverdier. Det ble brukt en vanlig sykkelpumpe for trykkøkning.

3.3.5. Utstyr og laboratorier

På IMT fløy V har det periodevis vært fasiliteter for støping og testing av betong, men det har de siste årene ikke vært muligheter for dette. Det ble derfor satt opp et midlertidig laboratorium i et temperaturkontrollert rom hvor støping og herding ble gjennomført.

Tilslag og tilsetningsstoffer, inkl sement.

- Norcem Standard FA, standardsement med 20 % flyveaske (Vedlegg D)
- 2-5 mm pukk fra Skolt Vestby Pukkverk AS
- Sand, uspesifisert, (Parti 1-10)
- Tørket Sand (0,5-1 mm) fra Svelviksand (Parti 11-18)
- Kalksteinsmel fra Norcem Brevik
- Dynamon SX-N, superplastiserende tilsetningsstoff fra Rescon Mapei (Vedlegg D)
- Mapequick 34, Vannglass fra Rescon Mapei (Vedlegg D)

Utstyr til blanding av betong

- Målebeger, 1 L
- Målesylinder, 1 L
- Pipette, 50 ml
- Mettler PM34-K DeltaRange. Vekt, nøyaktighet 0,1 g
- Kenwood Major Titanium KM023
- Vibrator for siktesøyle
- Siktesøyle (8-4-2-1-0,5-0,25-0,125 mm)
- Stekepanne



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

- Varmeplate
- Liten spade
- Spatel
- Sylindriske støpeformer, Ø100 mm L 200 mm.
- Stålstav, Ø16 mm

Utstyr til kontroll av fersk betong

- Synkkjegle
- Finerplate, 500 x 500 mm
- Luftmåleropp til Thaulows betongmåler.
- Thaulows betongmåler
- Sykkelpumpe
- Stålstav, Ø16 mm



Figur 20: Utstyr for blanding av betong (Fredrik Moen Haaland, 2010)



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

3.3.6. Resepter

Grunnresept brukt i forsøkene (kg/m³)

Sement	Sand	V/C	Vann	Grus	SP-stoff	Kalksteinsmel
280	980	0,75	210	790	1,67	41,7

Tabell 1

Spesialresept for hvert parti

Parti	Type	Sement (g)	Sand (g)	Vann (ml)	Grus (g)	SP- stoff (ml)	Kalksteinsmel (før finstoffkontroll) (g)	Trefiber (g)
1-4	RBT	1361	4763	1021	3839	8	200	
5	1 %	1361	4763	1021	3839	8	200	31,6
6-8	1 %	1361	4763	1021	3717	8	200	31,6
9	2 %	1361	4763	1021	3400	8	200	63,2
10	2 %	1361	4763	1021	3400	8	200	63,2
11	2 %	1361	4600	1021	3300	8	200	63,2
12	2 %	1361	4600	1021	3300	8	200	63,2
13-15	1 % VG	1361	4550	1021	3100	8	200	31,6
16	1 % VG	1361	4550	1021	3000	8	200	40
17-18	2 % T	1361	4550	1021	2900	8	200	63,2

Tabell 2

Betongblanding	Forkortelse
Ren betong	RBT
Betong med 1 % trefiber	1 %
Betong med 2 % trefiber	2 %
Betong med 1 % trefiber fuktet i Na ₂ SiO ₃	1 % VG
Betong med 2 % tørr trefiber	2 % T

Tabell 3

Ved blanding av betong ble det blandet til tre sylindre à 1,6 L, altså 4,8 L pr blanding.

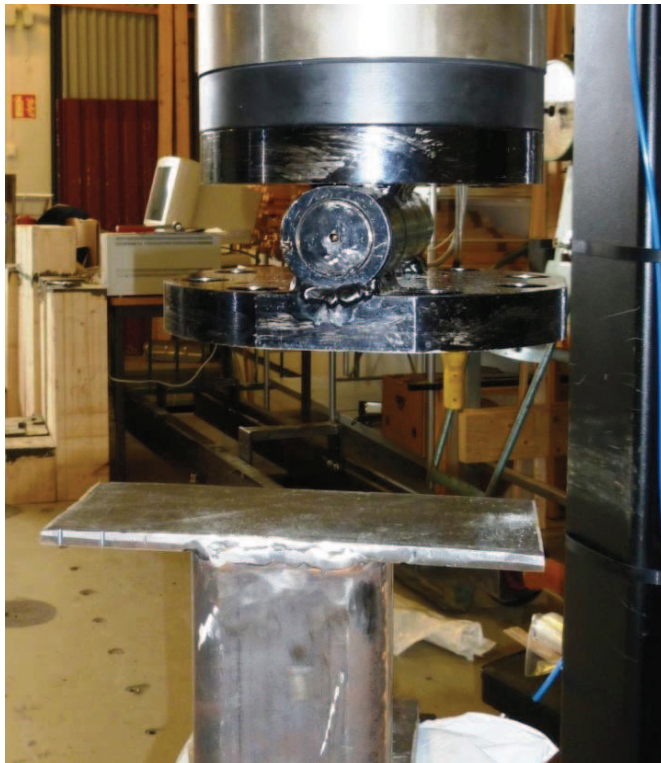
3.4. Testing av prøver

Spalttestrekkeforsøkene ble utført på trelaboratoriet på IMT fløy V i ukene 11 og 12 i 2010.

Utstyr til forsøkene:

- Instron UTM 300 kN med 300 kN lastcelle
- 3x10x200 mm trefiberstrimler (Huntonitt)

Testmaskinen ble modifisert slik at overkant på underlaget kom i riktig høyde. Til dette ble det brukt en stålbukk som vanligvis brukes til opplager ved bøyetesting av trevirke, og en hulprofil med påsveiset stålplate i topp og bunn. I overkant var det en stålplate med ledd som sikret fri rotasjon i sylindrenes lengdeakse, som vist ved figur 21.



Figur 21: Leddet trykkplate festet til 300 kN lastcelle
(Fredrik M. Haaland, 2010)



Figur 22: Testoppsett (Fredrik Moen
Haaland, 2010)

Først ble prøvene målt nøyaktig til nærmeste mm. Prøvene ble så lagt på underlaget med en strimmel trefiberplate over og under. Deretter ble trykkflaten kjørt ned manuelt til den var i kontakt med trefiberplaten i overkant.



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spalttestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Det ble tatt høyde for en tøyning på 1,5 – 3 ‰ før brudd. For en Ø100 mm sylinder vil det tilsvare maksimalt 0,3 mm. Ut fra prøveforsøk ble testmaskinen innstilt til å bevege seg 0,7 mm/min, frem til brudd. Etter brudd ble høyeste last notert og data for last-tøyningsdiagram lagret.

3.5. Bearbeiding av data

Spalttestrekkefastheten ble utregnet med

$$\sigma_{spalt} = \frac{2P}{\pi l D}$$

som beskrevet i kapittel 2.5. Det ble tatt høyde for den enkelte sylinders reelle lengde, l , som varierte mellom 196 og 200 mm.

Det ble vurdert to grunnleggende metoder for bearbeiding av data. En var å ta et gjennomsnitt av tre prøver, altså de tre prøvene i hvert parti, og bruke snittet som ett testresultat. Den andre metoden var å bruke hvert testresultat for seg, uten å vurdere hvilket parti den tilhørte. Det ble valgt å ta et snitt av hvert parti og standardavvik fra partiet, men i enkelte tester også brukt enkeltprøvers styrke.

All dataanalyse for bruddlast ble utført ved hjelp av Minitab 15, et statistisk analyseprogram. Statistiske analyser ble her gjort med 10 % signifikansnivå.

Data fra spalttestrekkefasthetforsøkene ble lagret i .txt-filer, og deretter importert til Excel og til slutt Minitab for bearbeiding og oppsett av last-tøynings-diagram.

4. Resultater

Resultatene bør ikke brukes uten å se dem i sammenheng med diskusjonen kapittel 5.

Parti 13 er utelukket fra alle tester da problemene i støpearbeidet gjorde det usammenlignbart med øvrige prøver.

4.1. Kontroll av fersk betong

Prøvetype	Synkmål (± 5 mm)	Luftinnhold (%)
RBT	75	3
1 %	80	3

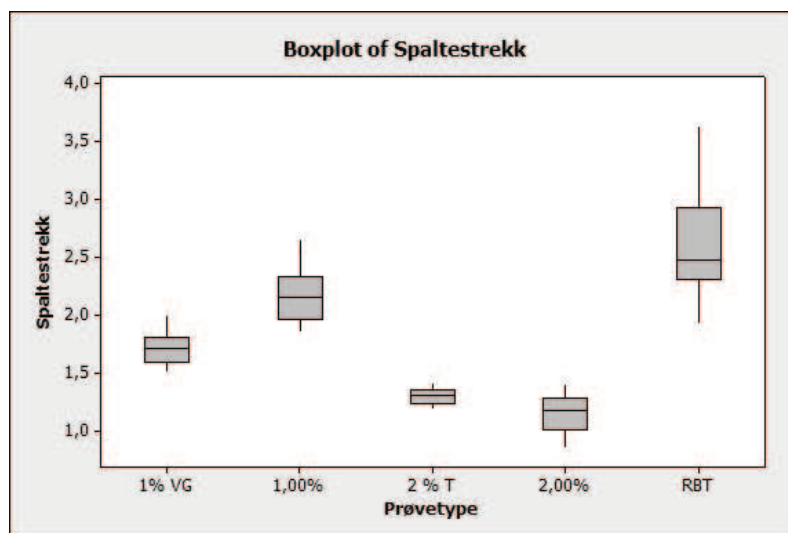
Tabell 4

4.2. Resultater fra spaltestrekkforsøk

Resultater fra hver enkelt prøve ligger som vedlegg F.

Prøvetype (Parti)	Snitt Spaltestrekkfasthet (σ)	Standardavvik
RBT (1-4)	2,61	0,414
1 % (5-8)	2,18	0,204
2 % (9-12)	1,15	0,16
1 % VG (14-16)	1,5	0,44
2 % T (17-18)	1,3	0,06

Tabell 5



Figur 23: Interkvartil boxplot av spaltestrekkfasthet for hver prøvetype.



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spalttestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Statistiske tester og prosentvise forskjeller mellom betongtypene

”RBT” mot ”1 %”

H_0 : ”RBT” og ”1 %” har samme styrke

H_1 : ”RBT” er sterkere enn ”1 %”

Two-Sample T-Test and CI: RBT; 1%

Two-sample T for RBT vs 1%

	N	Mean	StDev	SE Mean
RBT	4	2,612	0,414	0,21
1%	4	2,167	0,204	0,10

Difference = μ (RBT) - μ (1%)

Estimate for difference: 0,445

90% lower bound for difference: 0,091

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 1,93 P-Value = 0,063 DF = 4

Med en P-verdi på 0,063 kan H_0 forkastes på 10 % signifikansnivå.

Reelt har ”RBT” 20,5 % større styrke enn ”1 %”

”1 %” mot ”2 %”

H_0 : ”1 %” og ”2 %” har samme styrke

H_1 : ”1 %” er sterkere enn ”2 %”

Two-Sample T-Test and CI: 1%; 2%

Two-sample T for 1% vs 2%

	N	Mean	StDev	SE Mean
1%	4	2,167	0,204	0,10
2%	4	1,150	0,156	0,078

Difference = μ (1%) - μ (2%)

Estimate for difference: 1,017

90% lower bound for difference: 0,828

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 7,93 P-Value = 0,000 DF = 5

Med en P-verdi på 0,0001 kan H_0 forkastes på alle signifikansnivå.

Reelt har ”1 %” 88,4 % større styrke enn ”2 %”



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

"1 %" mot "1 % VG"

H_0 : "1 %" og "1 % VG" har samme styrke

H_1 : "1 %" er sterkere enn "1 % VG"

Two-Sample T-Test and CI: 1%; 1% VG

Two-sample T for 1% vs 1% VG

	N	Mean	StDev	SE Mean
1%	4	2,167	0,204	0,10
1% VG	3	1,715	0,120	0,069

Difference = μ (1%) - μ (1% VG)

Estimate for difference: 0,452

90% lower bound for difference: 0,263

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 3,67 P-Value = 0,011 DF = 4

Med en P-verdi på 0,011 kan H_0 forkastes på 10 % signifikansnivå.

Reelt har "1 %" 26,4 % større styrke enn "1 % VG"

"2 % T" mot "2 %"

H_0 : "2 % T" og "2 %" har samme styrke

H_1 : "2 % T" er sterkere enn "2 %"

Two-Sample T-Test and CI: 2% T; 2%

Two-sample T for 2% T vs 2%

	N	Mean	StDev	SE Mean
2% T	2	1,2974	0,0618	0,044
2%	4	1,150	0,156	0,078

Difference = μ (2% T) - μ (2%)

Estimate for difference: 0,1477

90% lower bound for difference: 0,0014

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 1,65 P-Value = 0,098 DF = 3

Med en P-verdi på 0,098 kan H_0 forkastes på 10 % signifikansnivå.

Reelt har "2 % T" 12,8 % større styrke enn "2 %"



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Gammel og ny sand, parti 9-12

Som følge av frosne sandlager og mangel på sand ble det kjøpt inn ny sand som ble brukt f.o.m. parti 11. Ettersom partiene 9-12 er av typen med 2 % tilsatt trefiber kan endringene med ny og gammel sand undersøkes.

H_0 : Det er ingen forskjell mellom styrken til betong med ny og gammel sand.

H_1 : Betong med gammel sand er sterkere enn betong med ny sand.

Two-Sample T-Test and CI: Gammel; Ny

Two-sample T for Gammel vs Ny

	N	Mean	StDev	SE Mean
Gammel	6	1,2532	0,0881	0,036
Ny	6	1,046	0,155	0,063

Difference = mu (Gammel) - mu (Ny)

Estimate for difference: 0,2069

90% lower bound for difference: 0,1039

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 2,84 P-Value = 0,012 DF = 7

Med en P-verdi på 0,012 kan H_0 forkastes på 10 % signifikansnivå.

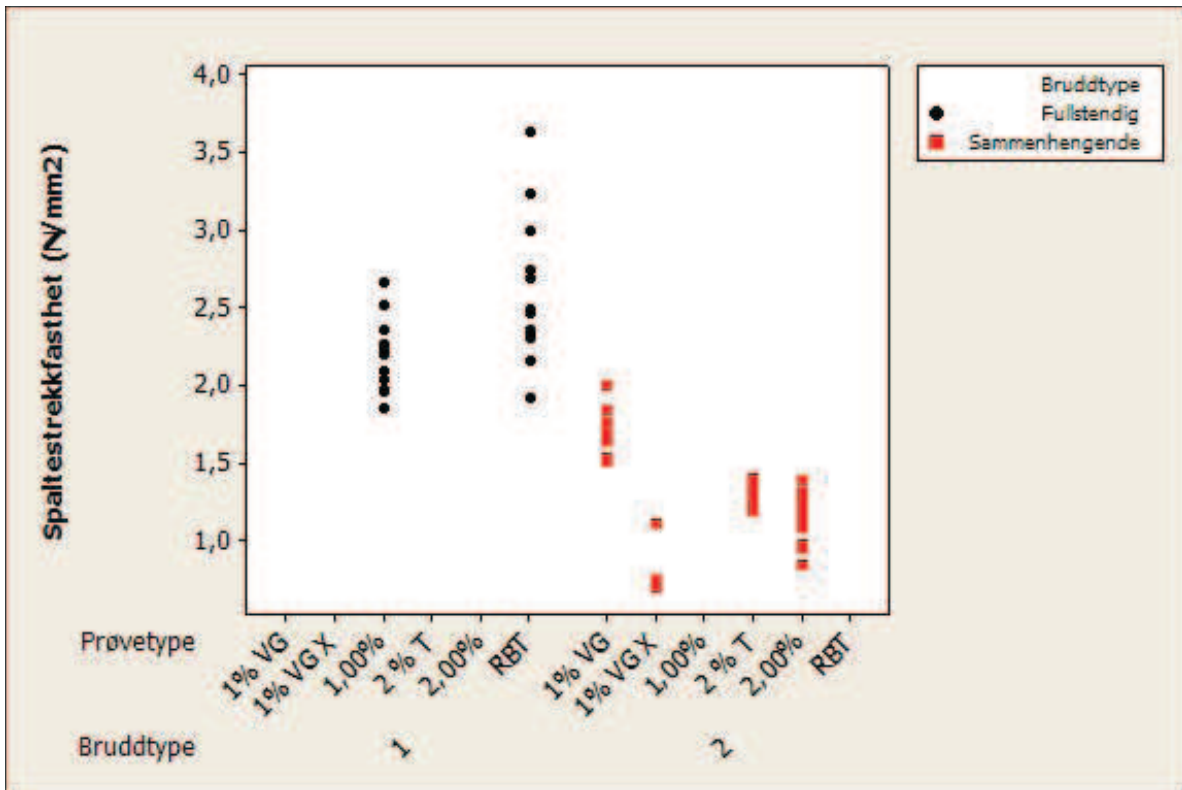
Reelt er betong med gammel sand 19,8 % sterkere enn betong med ny sand.

Sammenheng mellom spaltestrekkfasthet og bruddtype

Under testingen av prøvene ble det observert to hovedgrupper av brudd;

1. Sylindre med fullstendig brudd, altså prøver som ble delt i to like deler ved brudd.
2. Sylindre med som fortsatt holdt sammen etter brudd, sammenhengende brudd.

På bakgrunn av dette ble det laget et plot som viser fordelingen av de to bruddtypene med hensyn på prøvetype og spaltestrekkfasthet.



Figur 24: Spaltestrekkfasthet fordelt på prøvetype og bruddtype.

Statistisk:

H_0 : Det er ingen sammenheng mellom bruddtype og spaltestrekkfasthet

H_1 : Det er sammenheng mellom bruddtype og spaltestrekkfasthet

Two-Sample T-Test and CI: Spaltestrekk; Bruddtype

Two-sample T for Spaltestrekk

Bruddtype	N	Mean	StDev	SE Mean
1	24	2,389	0,441	0,090
2	30	1,319	0,322	0,059

Difference = μ (1) - μ (2)

Estimate for difference: 1,070

90% lower bound for difference: 0,930

T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 9,96 P-Value = 0,000 DF = 40

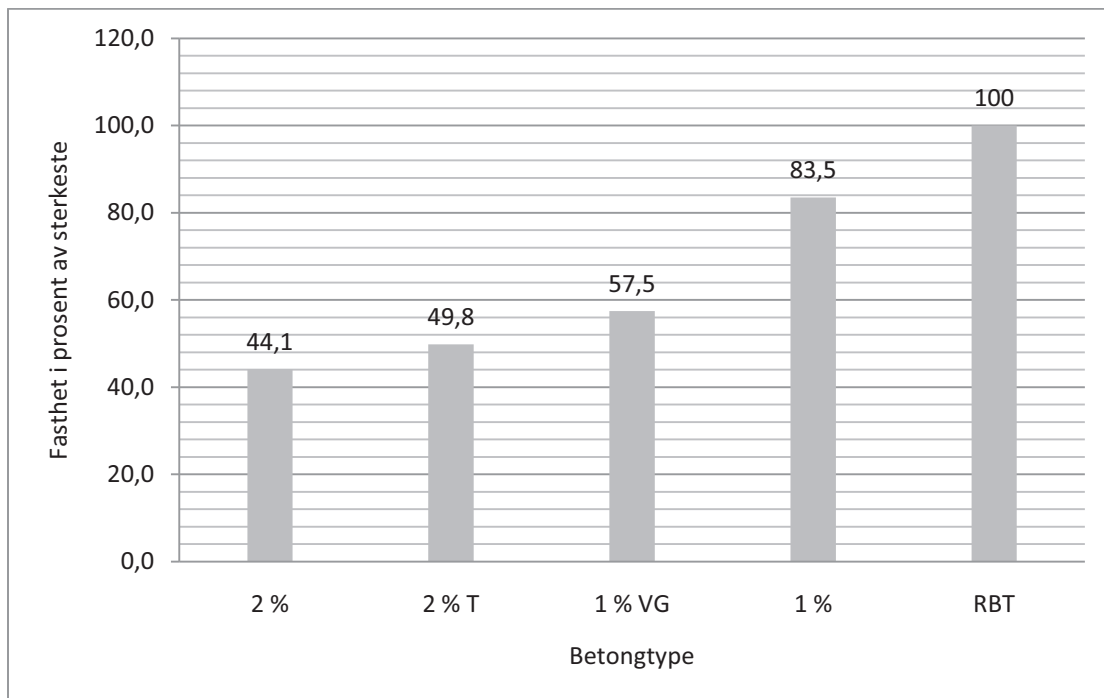
Med en P-verdi på 0,0001 kan H_0 forkastes på alle signifikansnivå.

Reelt er prøvene med fullstendig brudd 81,1 % sterkere enn prøvene som fortsatt holdt sammen etter brudd.

5. Diskusjon

5.1. Forskjeller mellom betongtypene

Resultatene viser at man får en kraftig svekkelse av betongens fasthet ved tilsetning av trefiber. Før forsøkene ble det antatt at man kunne oppleve en fasthetsreduksjon på rundt 10 % for prøvene med 2 % tilsatt trefiber, på bakgrunn av redusert mengde ren betong og muligheten for dårlig heft mellom trefiber og betong. Resultatene viser derimot en svekkelse på over 55 % for prøvene med 2 % tilsatt trefiber. Det betyr at det må være effekter utover redusert volum av ren betong som spiller inn.



Figur 25: Fastheten til de ulike betongtypene, i prosent av den sterkeste.

Det er ingen klare indikasjoner på hva som har ført til de lave resultatene, men fra litteraturen kan man spesielt trekke ut effekten lignin fra trevirket kan ha på betongkvaliteten. Som beskrevet i kapittel 2.4.5 blir harpiksstoffer og lignosulfonater, begge biprodukter fra treforedlingsindustrien, brukt i tilsetningsstoffer for betong. Blant bivirkningene til flere av tilsetningsstoffene er forsinket hydratisering og dermed en forsinket herdeprosess. I ”Design and control of concrete mixtures” utgitt av PCA [26] står også dette nevnt, men det hevdes at virkningen kun er målbar de første 1-3 dagene av herdeprosessen, og at det jevnes ut over tid.



Trefiberarmering av betong - kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Blant de overnevnte tilsetningsstoffene finner man også L-stoff, og det kan tenkes at det i løpet av de første 24 timene etter støping produseres gasser i betongen som ikke ga utslag ved kontroll av luftinnhold i fersk betong. Om det er et større luftinnhold i betongen med trefiber kan derfor kvaliteten ha blitt noe lavere, som beskrevet i kapittel 2.1.

Det kan også antas at nedbrytningen av trevirket, som beskrevet i kapittel 2.4.4, kan ha ført til økt porevolum. Alle bestanddeler av trevirket brytes ned i basisk miljø, og man kan derfor oppleve svekkelser rundt de nedbrutte områdene.

En annen mulighet for den lave fastheten kan være problemer med heft mellom trevirket og betongen. Når man vurderer utformingen til de produserte trefibrene mot Vikans [2] tre punkter for samhandling mellom betong og armering i kapittel 2.2, ser man at det ikke er noen muligheter for god mekanisk samhandling. Av dette kan man anta at om samvirket mellom trefibrene og betongen er tilstrekkelig lavt, vil det kunne føre til at trefibrene virker som lange hulrom i betongen og på den måten skape flere svekkede områder.

5.2. Effekten av behandling av trefiber

Trefibrene ble behandlet på tre ulike måter før de ble tilsatt betongen;

- Fukting i vann
- Fukting i natriumsilikatløsning
- Passiv tørking

Fuktingen med vann ble igjen utprøvd på to ulike måter, med ”eksternt” vann og med vannet som senere skulle tilsettes betongen. På tross av at man ikke kjenner til trevirkets fysiske egenskaper i betong, ble det antatt at prøvene som ble fuktet med ”eksternt” vann, altså vann som kom i tillegg til det oppmålte vannet i resepten, ville påvirke v/c forholdet i negativ retning. Det antas at de fuktige, og til dels mettede, fibrene på et punkt i blandingen ville komme i klem og dermed gi fra seg en del fuktighet og på den måten øke v/c-forholdet. Prøvene som ble fuktet med vann fra resepten, ville ikke kunne øve negativ påvirkning på v/c-forholdet da det ikke ble tilsatt en ekstra mengde vann. Det ble, på tross av antagelsene, ikke funnet noen sammenheng mellom betongens styrke og måten trevirket ble fuktet.

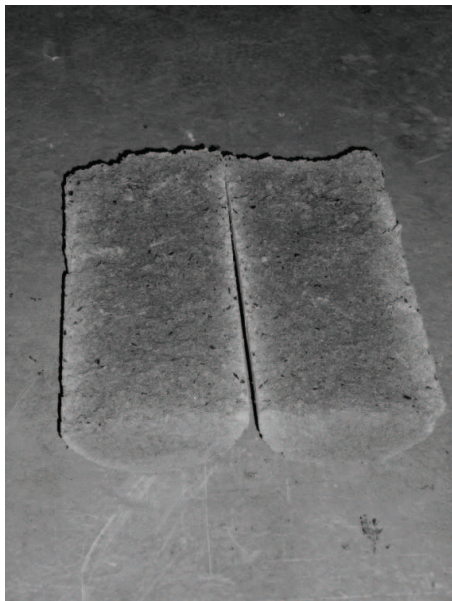
Som et forsøk på å øke heft mellom trevirke og betong, og som et forsøk på øke levetiden til trevirket, ble fiberne i parti 13-16 fuktet i en Na_2SiO_3 -løsning. Som beskrevet i kapittel 2.3.2 kan det dannes ettringitt rundt trefibrene som vil binde tre og betong sammen. Det viste seg vanskelig å blande inn trefibrene på en hensiktsmessig måte, noe som kan komme av at natriumsilikatløsningen var for tyktflytende. Det kan tenkes at løsningen ville vært lettere

bearbeidelig om den hadde blitt løst opp ytterligere i vann. En effekt av innblanding av Na_2SiO_3 -løsninger er blant annet hurtigere størkning, noe man så i parti 13. Resultatene fra partiene 13-16 var dårligere enn tilsvarende partier uten Na_2SiO_3 -løsning (partiene 5-8).

I parti 17 og 18 ble det benyttet trefiber som ble lufttørket i et rom med lav relativ luftfuktighet, noe som ga lavt fuktinnhold på ca 8-9 %. Dette forsøket ble gjennomført for å undersøke om trefibrene ville la seg blande inn i tørrere, og dermed sprøere, tilstand, og om dette hadde noen effekt på styrken. Dette forsøket lot seg sammenligne med partiene 9-12, og som vist i kapittel 4, er styrken noe høyere med tørre trefiber. Grunnen til dette kan være at trefibrene trekker til seg noe av gel-vannet og dermed får bedre heft med betongen. Man får samtidig et sikrere anslag på v/c-forholdet da alt vannet som ble tilsatt ble blandet med sementen og de øvrige finstoffene før trefibrene ble tilsatt. Av dette forsøket ser man at fibrene som ble brukt er tilstrekkelig fleksible til å tåle innblandingen i betong, og at det ikke er behov for ytterligere behandling av fibre av denne typen.

5.3. Bruddtype

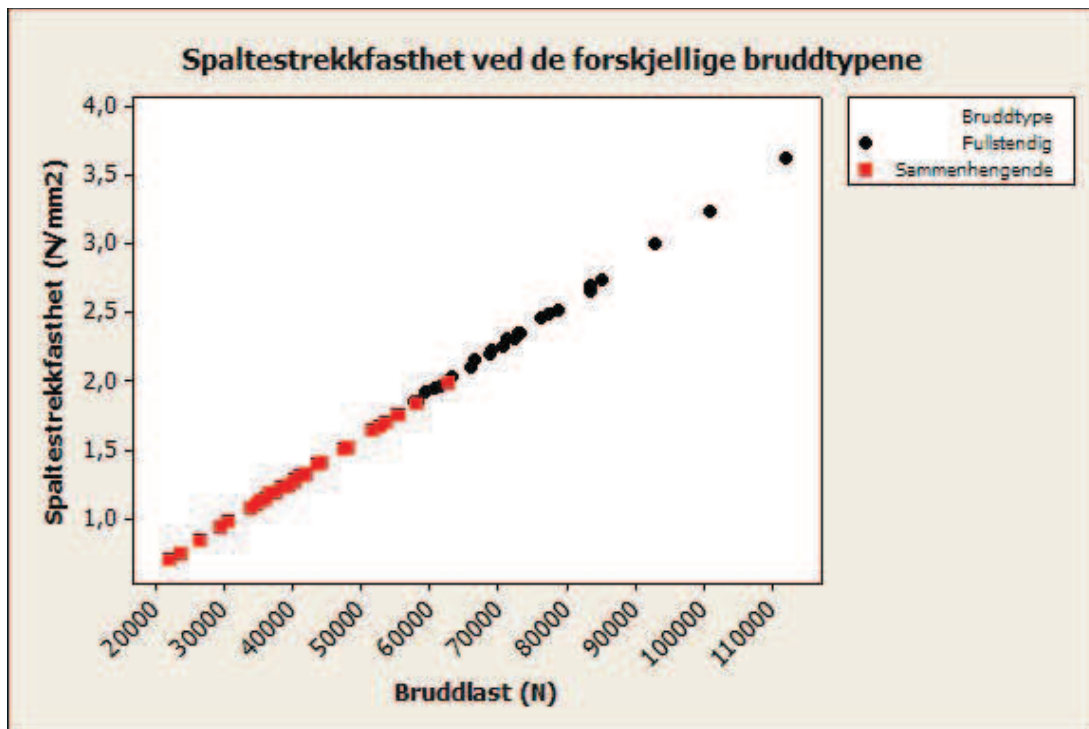
Under spaltestrekkforsøkene ble det observert to forskjellige bruddtyper, fullstendig brudd og sammenhengende brudd.



Figur 26: Fullstendig brudd (Fredrik M. Haaland 2010)



Figur 27: Sammenhengende brudd (Fredrik M. Haaland 2010)



Figur 28: Brudtype vist mot Bruddlast (x-akse) og Spaltestrekkfasthet (y-akse)

Som vist i figur 28 fordelte de to bruddtypene seg over og under ca 60 kN (2 N/mm^2). Samtlige prøver med fullstendig brudd er fra partiene 1-8. Det kan tenkes at man her ser en effekt av innvirkningen fra trefibrene, noe som kan antyde at trefibrene holder prøven sammen frem til en spenning på ca 2 N/mm^2 , men at heften mellom trefiber og betong etter dette er for lav til å holde prøvestykkene sammen. Om dette stemmer, kan det bekrefte nytten av å blande inn trefiber i betong med lavere fasthet, og lettbetong, som beskrevet i kapittel 2.3.

En alternativ forklaring på denne fordelingen kan være at den lave bruddlasten ikke gir nok tverrstrekk til å få den eksplosive effekten man opplever ved fullstendige brudd. Dette forklarer ikke overlappingen i grenseområdene, men er samtidig den mest holdbare forklaringen.

På en stor andel av prøvene med sammenhengende bruddform ble det observert tegn på trykkbrudd i trykkflatene mellom trefiberplatene og betongen. Denne typen brudd oppstod i stor grad før det var tegn til sprekkdannelse gjennom sylindrene. Det kan antas at mengden porer og andre materialfeil har vært så stor at trykkbrudd ikke kunne unngås før kreftene ble så store at man fikk spaltestrekkbrudd.



Figur 29: Tydelig trykkbrudd i overkant av sylinder nr. 26
(Fredrik Moen Haaland, 2010)

5.4. Testmetode

Som beskrevet i kapittel 2.5 er det uenighet om det er hensiktsmessig å benytte spaltestrekkforsøk på fiberarmert betong. Bruddformen er brå og det er vanskelig å påvise effekter av fibrenes innvirkning på strekkfastheten etter eventuelle rissdannelser. Ved bøyetesting vil man kunne undersøke dette nærmere, og man vil samtidig kunne vurdere tøyningspotensialet til materialet i større grad. Fordelen ved spaltestrekkforsøk er muligheten for et stort antall prøver og dermed sikrere statistiske analyser.

5.5. Feilkilder

De siste åtte partiene ble støpt med en annen type sand enn de første ti forsøkene, som beskrevet i kapittel 3.3.2. Ved en statistisk kontroll av parti 9 og 10 mot 11 og 12, utført i kapittel 4, ble det vist at det kan være sammenheng mellom sandtype og betongfasthet. Det er tvilsomt om dette er mer enn en statistisk tilfeldighet.



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Andre feilkilder kan være

- Menneskelig feil
 - Målefeil under støpearbeidet
 - Varierende blandetider
 - Ufullstendig vibrering
- Feil i testtrigg
 - For svakt underlag under testingen som kan føre til små deformasjoner og dermed skjevstilling.
 - Skjev plassering av prøvestykker

5.6. Andre forsøk som kan belyse de aktuelle problemene

Gjennom utførelsen av forsøkene, og i ettertid, har det dukket opp flere spørsmål jeg ikke har hatt tid eller mulighet til å besvare. Flere av disse kunne ha blitt besvart gjennom forsøk om spørsmålene hadde dukket opp tidligere.

Det burde ha blitt støpt kubiske trykkprøver fra hvert parti, slik at man i større grad kunne ha bestemt betongkvaliteten. Dette ville også gitt en større indikasjon på hvordan trevirket har påvirket betongkvaliteten.

Det kunne vært interessant å blande partier med stålfiber og plastfiber for å kunne sammenligne resultatene med prøvene som inneholdt trefiber. Man kunne på den måten fått svar på om det var trefibrene eller andre faktorer som førte til svekkelsen av betongkvaliteten.

Det ville vært interessant å støpe prizmer for bøyetesting, som beskrevet i kapittel 5.4.

Det burde ha blitt gjennomført forsøk med fiberuttrekk av ett fiber innstøpt i betong. Erfaringen fra standardiserte strekkforsøk med trestaver er at kraften som må til for å holde igjen strekkprøven under testen blir så stor at trefibrene blir knust. Et alternativ til å støpe inn ett fiber kunne vært å støpe inn en halvdel av en standardisert strekkprøve. På midten har en slik prøve et tverrsnitt på 5 x 10 mm [27], noe som er større enn fibrene brukt i oppgaven, men resultatene fra forsøket ville vært anvendelige.



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

6. Konklusjon

1. På bakgrunn av forsøk utført og beskrevet i denne oppgaven anbefales det ikke å blande inn trefiber som armering i betong som ligger nært opptil eller over konstruksjonsfasthet.
2. Problemene ligger først og fremst i en generell svekkelse av betongens styrke, samtidig som det er vanskelig å se noen effekt av samhandling mellom betong og trevirke, noe som bekreftes ved Vikans [2] tre kriterier for heft.
3. Det kan antas at det ved bruk av betong og andre sementmaterialer i ikke-bærende konstruksjonsdeler, kan blandes inn tørr trefiber av den typen beskrevet i denne avhandlingen. Det anbefales i så tilfelle at det benyttes en lavkvalitets lettbetong av typer beskrevet av de Bruijn et. al. [10], Coatanlem et. al. [11] og Kriker et. al. [12]
4. Det ble ikke påvist noen effekt av behandlingen med natriumsilikatløsning (Na_2SiO_3), men det bør likevel ikke avskrives som behandlingsmiddel for å øke heft og levetid for trevirke i basisk miljø, etter erfaringen fra Coatanlem et. al. [11]



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Vedlegg A: Figurliste

Figur 1: Forhold mellom trykkfasthet og spaltestrekkfasthet, etter flere internasjonale forsøk [3]	4
Figur 2: [3]	5
Figur 3: [3]	5
Figur 4: Rissfordeling rundt armeringsjern med (t.h) og uten fiberarmert betong [1]	7
Figur 5: Stålfiber med ulik utforming [1]	7
Figur 6: Fiber fra hamp, (http://www.colehay.co.uk/images/equisorb.jpg 11.3.2010)	8
Figur 7: [11]	9
Figur 8: Cellens oppbygning [13]	10
Figur 9: Statistisk fordeling av hovedbestanddelene i trevirket, fordelt på hver cellevegg [14]	11
Figur 10: Fra venstre: Full fibermetning og vann i cellelum, fibermetning, tørr celle. [13]	12
Figur 11: Fuktopptak i små prøver av gran med store og små årringer. Prosentvis opptak plottet mot tid målt i timer. [15]	12
Figur 12: Oppløsning av midtlamellen [17]	14
Figur 13: Spenningsdiagram over spaltestrekkfasthet [3]	16
Figur 14: Spenningskvadrat i sylindere under forsøket. [3]	16
Figur 15: Forhold mellom spaltestrekkfasthet og strekkfasthet, med hensyn på remsens bredde [22]	16
Figur 16: Lineær sammenheng mellom trykkfasthet og spaltestrekkfasthet, hhv x og y-akse [23]	17
Figur 17: Statistisk fordeling av lengden på fibre, oppgitt i prosent. (Fredrik M. Haaland 2010)	19
Figur 18: Et trefiber på ca 50 mm (Fredrik Moen Haaland, 2010)	19
Figur 19: Trefibre (Fredrik Moen Haaland, 2010)	19
Figur 20: Utstyr for blanding av betong (Fredrik Moen Haaland, 2010)	23
Figur 21: Leddet trykkplate festet til 300 kN lastcelle (Fredrik M. Haaland, 2010)	25
Figur 22: Testoppsett (Fredrik Moen Haaland, 2010)	25
Figur 23: Interkvartil boxplot av spaltestrekkfasthet for hver prøvetype.	27
Figur 24: Spaltestrekkfasthet fordelt på prøvetype og bruddtype.	31
Figur 25: Fastheten til de ulike betongtypene, i prosent av den sterkeste.	32
Figur 26: Fullstendig brudd (Fredrik M. Haaland 2010)	34
Figur 27: Sammenhengende brudd (Fredrik M. Haaland 2010)	34
Figur 28: Bruddtype vist mot Bruddlast (x-akse) og Spaltestrekkfasthet (y-akse)	35
Figur 29: Tydelig trykkbrudd i overkant av sylinder nr. 26 (Fredrik Moen Haaland, 2010)	36

Vedlegg B: Tabeller

Tabell 1	24
Tabell 2	24
Tabell 3	24
Tabell 4	27
Tabell 5	27



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkeforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

Vedlegg C: Referanser

1. Brandt A.M., "Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering." *Composite Structures* 86 (2008) s.3-9
2. Vikan H., "Concrete workability and fibre content; State of the art" Sintef report, Improved construction technology; Workability (2007)
3. Neville A.M., "Properties of Concrete", 1983 (Third Edition)
4. Griffith A., A. "The Phenomena of Rupture and Flow in Solids" (1920)
5. "Beton-Bogen" redigert av Herholdt A.D., Justesen C.F.P., Nepper-Christensen P., Nielsen A., for Aalborg Portland 1979.
6. "Maihaugen årbok 2009" red. Jacobsen G., Weihe H.-J. W.
7. <http://www.sintef.no/Presserom/Pressemeldinger/Startskudd-for-nasjonale-forskningssentre-i-Trondheim/COIN--Concrete-Innovation-Centre-SINTEF/> hentet 16. april 2010
8. Balendran R.V., Zhou F.P., Nadeem A., Leung A.Y.T., "Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete" *Building and Environment* 37 (2002): 1361-1367
9. Sandbakk S., Lauvålien K. "Fiberarmerte betongkonstruksjoner med stål- og syntetisk fiber: Materialutvikling og konstruksjonsoppførelse" (2007)
10. de Bruijn P.B., Jeppsson K.H., Sandin K., Nilsson C., "Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres" *Biosystems Engineering* 103 (2009): 474-479
11. Coatanlem C., Jauberthie R., Rendell F., "Lightweight wood chipping concrete durability" *Construction and Building materials* 20 (2006): 776-781
12. Kriker A., Bali A., Debicki G., Bouziane M., Chabannet M., "Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates", *Cement & Concrete Composites* 30 (2008) 639-648
13. Høibø O.A., Forelesninger i Tre200 og Tre300 ved INA, UMB (2009)
14. Kollmann F.F.P., Côte W.A., "Principles of Wood Science and Technology" (1967)
15. Forsøk i Tre200 og Tre300, Rindal E.B., Nordås R., Haaland F.M. (2009)
16. Sørensen C.O., "Trekonstruksjoner, kompendium, 3.utg" (2006)
17. Gram H. E., "Durability of Natural Fibres in Concrete" (1983)
18. <http://no.wikipedia.org/wiki/Lignosulfonat> (hentet 23.3.2010)



Trefiberarmering av betong -
kontroll av styrkeegenskaper ved spaltestrekkforsøk
Fredrik Moen Haaland, UMB 2010

19. Rutle J. "Cementer. Fremstilling – egenskaper. Andre hjelpestoffer for betongarbeider." for Betokem AS 1981
20. Norcem/Universitetsforlaget, "Betongboka", 1995
21. Olesen J.F., Østgaard L., Stang H., "Nonlinear fracture mechanics and plasticity of the split cylinder test." Materials and structures (2006) 39: 421-432
22. Rocco C., Guinea G.V., Planas J., Elices M., "Review of the splitting-test standards from a fracture mechanics point of view" Cement and Concrete Research 31 (2001) 73-82
23. Xu B.W., Shi H.S., "Correlations among mechanical properties of steel fiber reinforced concrete" fra Construction and Building materials 23 (2009) 3468-3474
24. http://www.iu.hio.no/bygglab/Betonglab/utstyr/fersk_bet.htm (Hentet 02.02.2010)
25. http://www.iu.hio.no/bygglab/Betonglab/lab_metoder.htm (Hentet 02.02.2010)
26. Kosmatka S.H., Panarase W.C. "Design and control of concrete mixtures - 13th edition" for Portland Cement Assosiation (1988)
27. Kučera B., "Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre" Skanorm 19, Skogforsk (1992)

Vedlegg D: Dataark og resultater

Rescon Mapei Dynamon SX-N

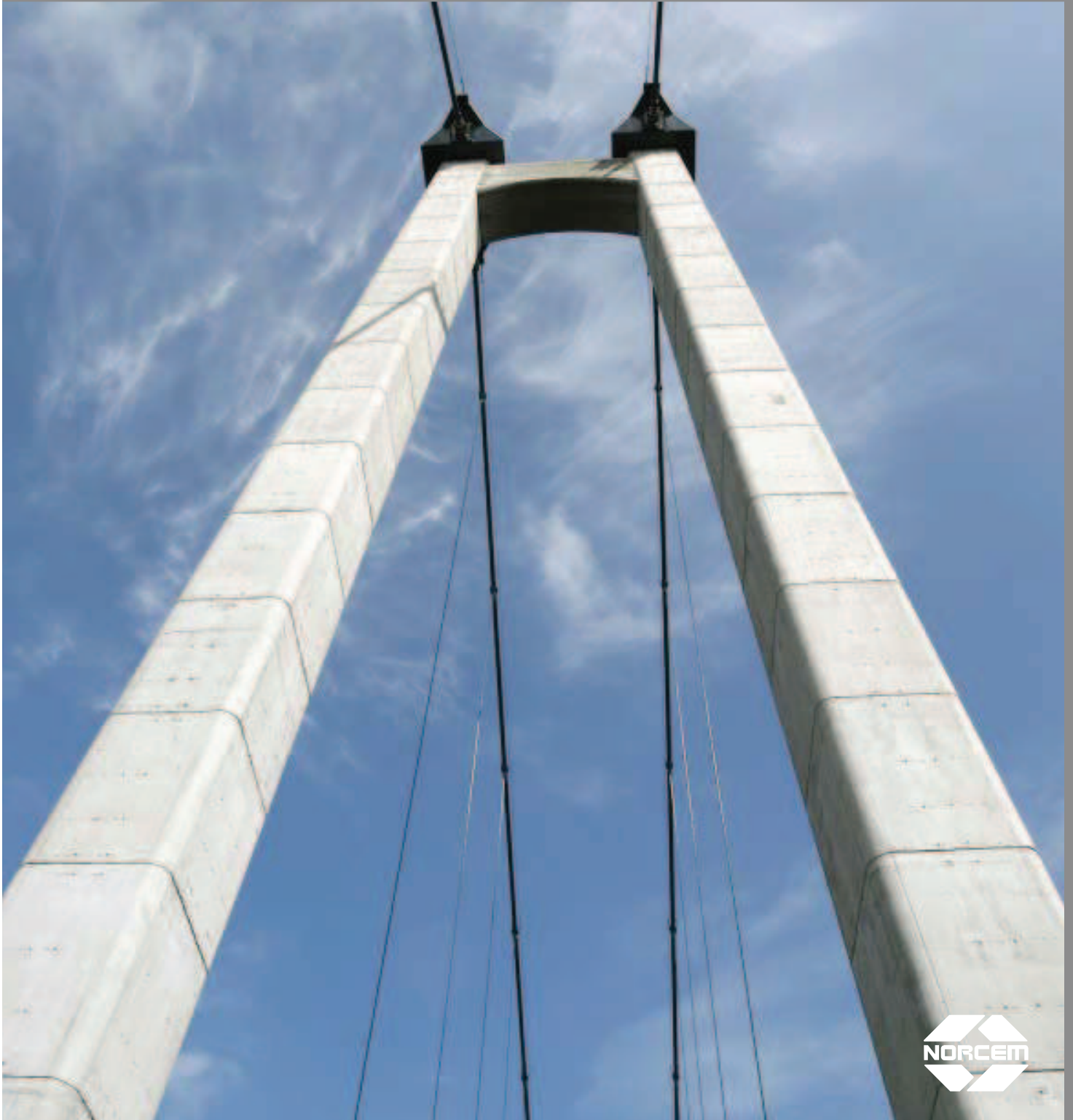
Norcem Standard FA

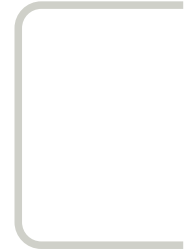
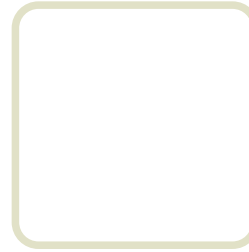
Rescon Mapei Mapequick 34

Resultater fra forsøkene

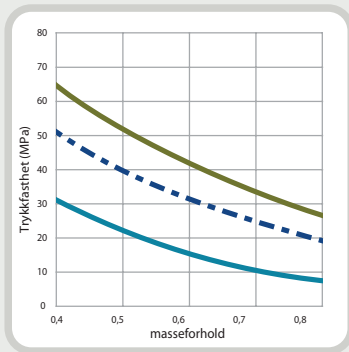
PRODUKTINFORMASJON

Standard sement FA





Fasthetsutvikling

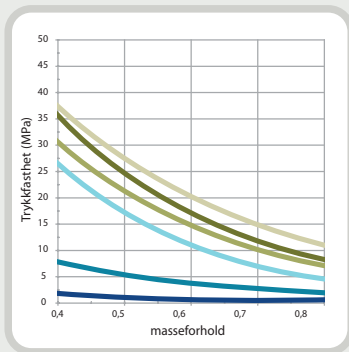


Figur 1

Fasthetsutvikling

Fasthetsutvikling er en sentral egenskap for planlegging, styring og utførelse av alle betongarbeider. Fasthetsutviklingen er avhengig av sementtype, tilslag, masseforhold, herdeforhold (temperatur, tid og fuktighet) og eventuell bruk av tilsetningsmaterialer eller -stoffer. I figur 1 er vist eksempel på trykkfasthetsutviklingen som funksjon av masseforhold og alder ved 20°C vannlagring for betong med Norcem Standardsement FA.

Tidligfasthet



Figur 2

Tidligfasthet

Tidligfastheten i betong er meget avhengig av temperatur og eventuell dosering av tilsetningsstoff med retarderende effekt. I figur 2 er vist trykkfasthet etter 1 døgn med forskjellige masseforhold med og uten 1% plastiserende tilsetningsstoff (P-stoff) med Standardsement FA. Prøvene er lagret ved 95% luftfuktighet ved varierende temperatur.

Motstand mot alkalireaksjoner

Norsk Betongforenings publikasjon nr. 21 fastsetter retningslinjer for produksjon av bestandig betong med alkalireaktivt tilslag. Publikasjonen fastlegger at for betong med Standardsement FA kan det benyttes alkalireaktivt tilslag dersom betongens totale alkali-innhold ikke overstiger visse verdier.

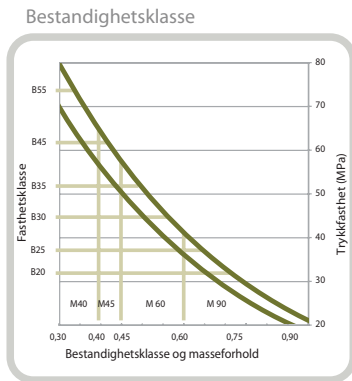
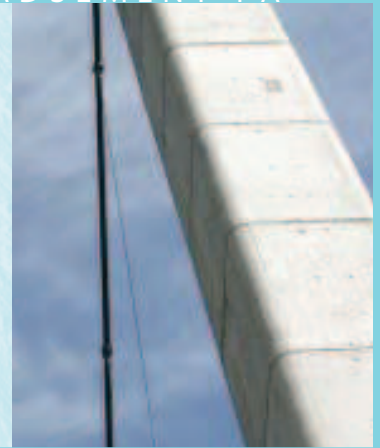
For betong der Standardsement FA blandes med andre sementtyper, gjelder andre grenser. For grenseverdier - se www.betong.net under Publikasjoner, og Vedlegg C til publikasjon 21.

Fasthetsklasse – masseforhold

Med normalt god styring av betongproduksjonen er det behov for en overhøyde på ca 7 MPa ved de ulike fasthetsklassene for å produsere med tilstrekkelig sikkerhet mot undermålere. Standardsement FA gir følgende retningsgivende verdier for minste og største masseforhold i ulike fasthetsklasser for betong uten luftinnføring.

Fasthetsklasse	B20	B25	B30	B35	B45
Minste - Største masseforhold	0.65 - 0.72	0.57 - 0.65	0.51 - 0.57	0.44 - 0.51	0.35 - 0.44

Norcem Standardsement FA er tilpasset norske forhold og kan benyttes til betong i alle eksponerings-, bestandighets- og fasthetsklasser. Standard FA gir bestandig betong også i kombinasjon med alkalireaktivt tilslag. Fasthetsprofilen er tilpasset minimum sementbehov for konstruksjoner utendørs i bestandighetsklasse M60.



Figur 3

Bestandighetsklasse

NS-EN 206-1 klassifiserer betongens miljøpåvirkninger i eksponeringsklasser.

I nasjonalt tillegg til denne standarden er de ulike eksponeringsklassene gruppert i seks bestandighetsklasser med krav til betongens største masseforhold (se tabell 3). Tabell 2 viser anbefalte kombinasjoner av bestandighets- og fasthetsklasser.

Retningsgivende verdier for største masseforhold i de ulike fasthetsklassene er gitt i tabell 1. I figur 3 er vist sammenhengen mellom bestandighetsklasse og fasthetsklasse, i et variasjonsbelte forårsaket av ulike produksjonsforutsetninger.

Figuren gjelder for betong uten luftinnføring med Norcem Standardsement FA.

I bestandighetsklasse M60 anbefaler vi generelt fasthetsklasse B25.

Anbefalte kombinasjoner

Bestandighetsklasse M90	Fasthetsklasse B20 eller høyere
Bestandighetsklasse M60	Fasthetsklasse B25 eller høyere
Bestandighetsklasse M45	Fasthetsklasse B35 eller høyere
Bestandighetsklasse M40	Fasthetsklasse B45 eller høyere

Tabell 2

Valg av bestandighetsklasse (nasjonale krav)

Eksponeringsklasse	M90	M60	M45	MF45*	M40	MF40*
X0	.	.	.	.	.	.
XCI, XC2, XC3, XC4, XF1		.	.	.	.	.
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4			.	.	.	.
XF2, XF3, XF4				.		.
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3					.	.
XSA	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstille kravene til M40.					
Største masseforhold $v/(c + k_{ps})$	0,90	0,60	0,45	0,45	0,40	0,40

*Minst 4% luft

Tabell 3

Tekniske data

Norcem Standardsement FA tilfredsstiller kravene til Portlandflygeaskesement
EN 197-1 -CEM II/A-V 42,5 R

Kjemiske data

Egenskap	Retningsgivende verdier	Krav ifølge NS-EN 197-1
Finhet (Blaine)	450 m ² /kg	
Alkali (ekv Na ₂ O) - Brevik	1,3 %	Deklarert iht NB21
Alkali (ekv Na ₂ O) - Kjøpsvik	1,5%	Deklarert iht NB21
Flygeaskeinnhold	20,0%	6-20%
Glødetap	1,5%	-
Sulfat (SO ₃)	3,1%	≤ 4 %
Klorid	< 0,07%	≤ 0,1%
Vannløselig Cr ⁶⁺	< 2 ppm	≤ 2 ppm
Spesifikk vekt	3,01 kg/dm ³	

Fysikalske data

Egenskap	Retningsgivende verdier	Krav ifølge NS-EN 197-1
Trykkfasthet 1 døgn	22 MPa	
Trykkfasthet 2 døgn	31 MPa	≥ 20 MPa
Trykkfasthet 7 døgn	41 MPa	
Trykkfasthet 28 døgn	52 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa
Begynnende bindetid	130 min	≥ 60 min
Ekspansjon	1 mm	≤ 10 mm

*Karakteristiske verdier



PRODUKTBESKRIVELSE

Dynamon SX-N er et svært effektivt superplastiserende tilsetningsstoff basert på modifiserte akrylpolymere.

Produktet tilhører Dynamonsystemet basert på den Mapeiutviklede DPP-teknologien (DPP = Designed Performance Polymers) der tilsetningsstoffenes egenskaper skreddersys til ulike betongformål.

Dynamonsystemet er utviklet på basis av Mapeis egen sammenstilling og produksjon av monomerer.

BRUKSOMRÅDE

Dynamon SX-N er et tilnærmet allround-produkt som er anvendelig i all betong for å øke støpeligheten og/eller redusere tilsatt vannmengde.

Noen spesielle bruksområder er:

- Vann tett betong med krav til høy eller svært høy fasthet og med strenge krav til bestandighet i aggressive miljøer.
- Betong med særlige krav til høy støpelighet; i konsistensklasser S4 og S5 etter NS-EN 206-1.
- Selvkomprimerende betong med ønske om lengre åpentid. Om nødvendig kan SKB stabiliseres med en viskositetsøker – f.eks. **Viscofluid SCC/10**.
- Til produksjon av frostbestandig betong – da i kombinasjon med luftinnførende tilsetningsstoffer - f.eks. **Mapeair L** eller **Mapeair 25**. Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.
- Til golvstøp for å oppnå en smidig betong med bedret støpelighet. Store doseringer og lave temperaturer kan retardere betongen noe.

Dynamon SX-N skiller seg vesentlig fra superplastiserende tilsetningsstoffer basert på sulfonerte melaminer eller naftalener, og også fra første generasjon akrylbaserte polymerer både gjennom sin effektivitet som vannreducerer og sin forlenging av åpentid/slumptid.

Den doseringsmengde som trengs for å oppnå en bestemt støpelighet vil derfor være lavere for **Dynamon SX-N** enn for tidligere SP-stoffer. Med forlengingen av åpentiden vil det nå ved vanlige leveranser være mulig å gjøre betongen ferdig på betongstasjonen, og "oppfrisking" med SP-stoffer på byggeplass blir mindre aktuelt.

Det er likevel ikke noe problem å etterdosere stoffet direkte i automikser. Doseringstidspunktet for

Dynamon SX-N er mindre viktig, men dersom **Dynamon SX-N** tilsettes etter at minst 80% av blandedvannet er inne, vil blandetiden generelt være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandeutstyr.



CE

1274
03
1274 - CPD - 702
EN-934-2:T 3.1/3.2

Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com

EGENSKAPER

Dynamon SX-N er en vannløsning av aktive akrylpolymere som effektivt dispergerer (løser opp) sementklaser.

Denne effekten kan prinsipielt utnyttes på tre måter:

1. For å redusere mengden tilsatt vann, men samtidig beholde betongens støpelighet.
Lavere v/c-forhold gir høyere fasthet, tetthet og bestandighet i betongen.
2. For å forbedre støpeligheten sammenlignet med betonger med samme v/c-forhold. Fastheten forblir dermed den samme, men muliggjør forenklet utstøping.
3. For å redusere både vann og sementmengde uten å forandre betongens mekaniske styrke. Gjennom denne metoden kan en blant annet redusere kostnadene (mindre sement), redusere betongens svinnpotensial (mindre vann) og redusere faren for temperaturgradienter på grunn av lavere hydrasjonsvarme. Spesielt er denne siste effekten viktig ved betonger med større sementmengder.

VÆR OPPMERKSOM PÅ

Dynamon SX-N lar seg kombinere med andre Rescon Mapei tilsetningsstoffer, som f.eks størkningsakselererende stoffer som **Mapequick SA** og størkningsretarderende stoffer som **Mapetard R**. Produktet lar seg også kombinere med luftinnførende tilsetningsstoffer for produksjon av frostbestandig betong, f.eks. **Mapeair L** eller **Mapeair 25**.

Valg av type luftinnførende stoff gjøres ut fra egenskapene til de andre delmaterialer som er tilgjengelige.

EMBALLASJE

Dynamon SX-N leveres i 25 liters kanner, 200 liters fat, i 1000 liters containere og i bulk. Produktet må oppbevares ved temperaturer mellom +8°C og +35°C og bevarer sine egenskaper i minst ett år i lukket emballasje. Fargenyanser kan oppstå i produksjon av polymerene som inngår i Dynamon EX, men dette påvirker ikke produktets bruksegenskaper. Produktet bør røres forsiktig om før bruk for å sikre et homogent og likevirkende produkt. Produktet bør ikke utsettes for sollys.

TEKNISKE SPESIFIKASJONER		
Form:	Væske	
Farge:	Gulbrun	
Viskositet:	Lettflytende; <30 mPa · S	
Tørrestoffinnhold, %:	18,5 ± 1,0	
Spesifikk vekt, g/cm ³ :	1,06 ± 0,02	
pH-verdi:	6,5 ± 1	
Kloridinnhold, %:	< 0,01	
Alkaliinnhold (Na ₂ O-ekvivalenter) %:	< 2,0	
BRUKSEGENSKAPER I BETONG		
<i>Som vannreducerende stoff (lik konsistens) T 3.1</i>		
Sementmengde kg/m ³ (Norcem standard)	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt)	0	1,0
Masseforhold (v/c-tall)	0,51	0,41
Vannreduksjon (%)	-	20
Trykkfasthet (i N/mm ²):		
1døgn	26	41
7døgn	42	60
28døgn	52	68
<i>Som SP-stoff (slumpforbedrer) T 3.2</i>		
Sementmengde, kg/m ³ (Norcem standard sement):	350	350
Tilsetningsmengde (i % av sementvekt):	0	1,0
Masseforhold (v/c-tall):	0,48	0,48
Luftinnhold:	2,1	1,8
Konsistens, mm:		
- synkmål, 5 min	30	220
- synkmål, 30 min	20	200
- synkutbedrelse, 5 min		420
- synkutbedrelse, 30 min		380

Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com

DOSERING

Dynamon SX-N tilsettes for å oppnå ønsket resultat (styrke, bestandighet, støpelighet, sementreduksjon) ved å variere doseringen mellom 0,3 og 2,0% av sementmengden.

Ved øket dosering økes også betongens åpentid, dvs. tiden betongen lar seg bearbeide.

Større doseringsmengder og lave betongtemperaturer gir en retardert betong. Vi anbefaler alltid prøvestøper med aktuelle parametere.

Til forskjell fra konvensjonelle melamin- eller naftalenbaserte superplastiserende tilsetningsstoffer, utvikler **Dynamon SX-N** maksimal effekt uavhengig av tilsetnings-tidspunkt, men tilsetningstidspunktet kan påvirke nødvendig blandetid.

Dersom **Dynamon SX-N** tilsettes etter at minst 80% av blandevannet er inne vil blandetiden generelt være kortest. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandeutstyr.

Dynamon SX-N kan også tilsettes direkte i automikser på bygg- eller anleggsplass. Betongen bør da blandes med maksimal hastighet på trommelen i minst 5 minutter, pluss ett minutt pr. m³ betong i lasset.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på www.resconmapei.com

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All ovenstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering.

Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Alle leveranser fra Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com





Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com



Mapequick 34

Akselerator for sprøytebetong

BRUKSOMRÅDE

Mapequick 34 er en lettflytende akselerator for sprøytebetong.

Mapequick 34 frembringer hurtig styrkning i mørtel og betong.

Benyttes i sprøytebetong (våtsprøyting) og i forbindelse med tette- og sikringsarbeider.

Mapequick 34 er basert på natrium-silikat.

EGENSKAPER

Avhengig av mengden tilsetning fremkaller **Mapequick 34** rask til momentan avbinding i mørtel og betong. Fastheten etter kort tid økes, men høyere mengder tilsetning reduserer sluttfastheten.

Den raske avbindingen og herdningen forhindrer utvasking av f.eks. mørtel for tetting av lekkasjer. Flick- og reparasjonsarbeid utføres raskere og mer effektivt, spesielt ved lavere temperaturer.

Størst anvendelsesområde er sprøytebetong, hvor påslagstykkelsen og heften mot vått underlag økes.

Mapequick 34 kan med fordel anvendes både for tørr- og våtsprøyting. Den tilsettes i sprøytemunnstykket, gjennom egen dyse, eller den føres inn i vann eller trykkluft, før disse går inn i munnstykket

BRUKSANVISNING

Tørrmetoden

Anvendes vann direkte fra vannledning benyttes luft via trykktank for å føre **Mapequick 34** uforynnnet frem til munnstykket, hvor den føres inn i vannstrålen.

Anvendes trykktank også for vannet kan **Mapequick 34** med fordel blandes ut i vannet.

Alt etter ønsket effekt kan blandingsforhold mellom **Mapequick 34** / vann være 1-3 volumdeler.

Våtmetoden

Mapequick 34 tilsettes uforynnnet i munnstykket enten separat gjennom egen dyse, eller helst oppblandet med trykkluften før denne går inn i betongen.

DOSERING

Normal dosering vil være 4 - 8% av sementvekt, eller 15 - 40 l/m³ betong.

EMBALLASJE

Mapequick 34 leveres i 200 liters plastfat, 1000 liters container og på bulk. Produktet må oppbevares frostfritt, og er holdbart i ett år i lukket emballasje.

VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon - se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på www.resconmapei.com.



Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com

Rescon Mapei AS
et selskap i



MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All ovenstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering.

Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt, eller ved feilaktig utførelse.

Alle leveranser fra Rescon Mapei AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

TEKNISKE SPESIFIKASJONER	
Produktspesifikasjoner:	
Form:	Fargeløs
Farge:	Blank
Viskositet:	Lettflytende; ≤ 50 cP
Tørrestoffinnhold, %:	45 ± 2
Tyngdetetthet, kg/m ³ :	1340 ± 10
pH-verdi:	$11,5 \pm 1$
Kloridinnhold, %:	$\leq 0,1$
Alkaliinnhold (Na ₂ O - ekv.), %:	≤ 9

Produsent:

Rescon Mapei AS
Vallsetvegen 6, 2120 Sagstua, Norway
Tlf: +47 62 97 20 00 Fax: +47 62 97 20 99
post@resconmapei.no
www.resconmapei.com

Rescon Mapei AS
et selskap i



