



Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

## **MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering:

Konstruksjon & materialer

Vår 2009

Åpen

Forfatter: Samdar Kakay

*Samdar Kakay*

Faglig ansvarlig: Mariero Eilert

Veileder : Kjell Tor Fosså

Tittel på masteroppgaven: Fiber i lettvekt betong  
Engelsk tittel: Fiber in Lightweight Aggregate Concrete

Studiepoeng: 30 SP

Emneord: Leca i betong  
Fiber i betong  
Lett betong

Sidetall: 73 + vedlegg: 46

Stavanger, 01. 06. 2009

## Innholdsfortegnelse

<b>i. Betegninger .....</b>	<b>2</b>
<b>ii. Forord.....</b>	<b>5</b>
<b>ii. Sammendrag .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Generelt om betong: .....</b>	<b>8</b>
1.1 Uarmert betong:.....	9
1.2 Armert betong:.....	9
1.3 Fiberbetong:.....	10
1.3.1 Fibertype:.....	10
1.3.1.1 Stålfiber: .....	10
1.3.1.2 Plastfiber:.....	11
1.3.2 Fibers virkemåte: .....	13
1.3.3 Effekt av fibere i betong:.....	14
1.3.4 Fibers bruksområde: .....	14
<b>2. Materialer og proporsjonering: .....</b>	<b>16</b>
2.1 Tilsetningsstoffer:.....	16
2.2 Lett tilslag:.....	17
2.3 Forberedende laboratoriearbeid:.....	21
2.4 Fersk betong: .....	21
2.5 Selvkomprimerende fiberarmert betong:.....	25
<b>3. Eksperimenter og tester:.....</b>	<b>26</b>
3.1 Split-sylinder testing av betongsylindere: .....	26
3.2 Trykktesting av betongterninger.....	28
3.3 Bjelketest under bøyning med to-punktslast .....	30
<b>4. Beregninger:.....</b>	<b>32</b>
4.1 Dimensjonering av test-bjelker.....	32
4.2 Dimensjonering platestripe (bjelke uten bøyle): .....	34
4.3 Beregningsmodeller:.....	35
4.4 Rissavstand og rissvidde modell for fiberbetong: .....	36
4.5 Rissavstand og rissvidde for normal betong:.....	41
4.5.1 Kriterier for at riss oppstår: .....	42
4.5.2 Stabilisert rissmønster: .....	42
4.6 Beregning av rissvidde og sammenligner med test resultat: .....	45
<b>5. Fibrenes effekt på riss: .....</b>	<b>54</b>
5.1 Fibers oppførsel:.....	54
5.2 Rissutviklingsprosess i fiberbetong:.....	55
5.3 Duktilitet og nedbøyning ( $\delta$ ): .....	57
5.4 Riss og maksimum rissvidde $W_k$ :.....	59
<b>6. Konklusjon .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabeller &amp; Figurer .....</b>	<b>67</b>
<b>Referanser .....</b>	<b>69</b>
<b>Appendiks.....</b>	<b>73</b>

## i. Betegninger

$A$	<i>Tverrsnittsareal</i>
$A_c$	<i>Tverrsnittsareal betong</i>
$A_{ceff}$	<i>Effektivt betong tverrsnittareal</i>
$A_f$	<i>Tverrsnittareal fiber</i>
$A_s$	<i>Tverrsnittareal stål</i>
$D$	<i>Diameter</i>
$E$	<i>E-modul</i>
$E_c$	<i>E-modul for betong</i>
$E_f$	<i>E-modul for fiber</i>
$E_{sk}$	<i>E-modul for stål</i>
$F_s$	<i>Kraft i armering</i>
$L_b$	<i>Forankringslengde</i>
$L_f$	<i>Fiber lengde</i>
$M$	<i>Moment</i>
$M_{cd}$	<i>Momentkapasitet</i>
$M_{cr}$	<i>Riss moment</i>
$N$	<i>Normalkraft</i>
$P$	<i>Punktlast</i>
$V_{co}$	<i>Skjærkapasitet</i>
$V_{sd}$	<i>Strekkbruddkapasitet</i>
$V_f$	<i>Fiberdosering</i>
$V_m$	<i>Matrix volum</i>
$W$	<i>Motstandmoment</i>

## Små bokstaver

$b$	<i>Tverrsnittsbredde</i>
$d_f$	<i>Fiberdiameter</i>
$d$	<i>Avstand mellom senter armering til OK</i>
$f_{bd}$	<i>Heftfasthet</i>
$f_{ck}$	<i>Trykkfasthet</i>
$f_{cd}$	<i>Dimensjonerende betongtrykkfasthet</i>
$f_{cn}$	<i>Konstruksjonsfasthet for trykk</i>
$f_{sk}$	<i>Armeringsstålets karakteristiske fasthet</i>
$f_{tk}$	<i>Strekkfasthet</i>
$f_{tn}$	<i>Konstruksjonsfasthet for strekk</i>
$f_{ct}$	<i>Bøystrekkfasthet</i>
$f_{ef}$	<i>Spaltestrekkfasthet</i>
$f_r$	<i>Skjærmodul</i>
$h$	<i>Tverrsnittshøyde</i>
$k_t$	<i>Faktor som bestemmer sikkerheten mot riss</i>
$k_w$	<i>Koeffisient som er avhengig av tverrsnittshøyden</i>
$n$	<i>Antall stenger i en bunt</i>
$n_0$	<i>Antall stenger</i>
$s_r$	<i>Riss avstand</i>
$s_{r0}$	<i>En konstant lengde uten heftspenninger mellom armering og betong</i>
$w_k$	<i>Rissvidde</i>

$V/c$	<i>Forholdet mellom vann og sement</i>
$V/b$	<i>Forholdet mellom vann og bindemidler</i>
$x$	<i>Avstand mellom NA og OK</i>
$z$	<i>Tverrsnittets indre momentarm</i>

### **Greske bokstaver**

$\alpha$	<i>Forholdstall</i>
$\Delta l$	<i>Lengde forendring</i>
$\varepsilon$	<i>Tøyning</i>
$\varepsilon_c$	<i>Betongtøyning</i>
$\varepsilon_s$	<i>Ståltøyning</i>
$\kappa_h$	<i>Sikkerhetsfaktor</i>
$\kappa_1$	<i>Koeffisient som tar hensyn til hefting ved armering</i>
$\kappa_2$	<i>Koeffisient som tar hensyn til tøyning</i>
$\kappa_3$	<i>Faktor som har verdi på 3,4</i>
$\kappa_4$	<i>Faktor som har verdi på 0,425</i>
$\rho$	<i>Densitet</i>
$\rho_{eff}$	<i>Armeringsforhold</i>
$\sigma$	<i>Spenning</i>
$\sigma_M$	<i>Bøyespenning</i>
$\sigma_{s2}$	<i>Spenning i armering i risset for det aktuelle lastnivået</i>
$\sigma_{sr2}$	<i>Spenning i armering i risset for risslast</i>
$\zeta$	<i>Reduksjonsfaktor / fordelingsfaktor</i>
$\phi$	<i>Armeringsdiameter</i>
$\tau_b$	<i>Hefting mellom armering og betong</i>
$\tau_{bm}$	<i>Middel verdi av hefting</i>
$\delta$	<i>Nedbøyning</i>
$\gamma$	<i>Partialfaktor for betong</i>
$\beta$	<i>Koeffisient, forholdstall</i>
$\beta_s$	<i>Faktor som angir forholdet mellom midlere strekkspenning og strekkfasthet</i>

## Forkortelse

<i>ACI</i>	<i>American Concrete Institute</i>
<i>BV</i>	<i>Betong Volum</i>
<i>EC 2</i>	<i>Eurocode 2</i>
<i>LWAC</i>	<i>LightWeight Aggregate Concrete</i>
<i>LB</i>	<i>lett betong</i>
<i>M6</i>	<i>Fiber med lengde 6 mm</i>
<i>M12</i>	<i>Fiber med lengde 12mm</i>
<i>NA</i>	<i>Nøytral akse</i>
<i>OK</i>	<i>Overkant</i>
<i>PVA</i>	<i>Polyvinylacetat</i>
<i>PP</i>	<i>Polypropylen</i>
<i>PPF</i>	<i>Polypropylen fiber</i>
<i>SF65/35</i>	<i>Stål fibre (65/35BN = aspect ratio / length)</i>
<i>SF50/50</i>	<i>Stålfibre (50/50BN = aspect ratio / length)</i>
<i>RILEM</i>	<i>International Union of Laboratory and experts in Construction Materials system and structures</i>
<i>SF</i>	<i>Stål Fibe</i>
<i>SCFRC</i>	<i>Self-compacting Fiber Reinforced Concrete (Selv komprimerende fiber- armert betong)</i>
<i>SFRC</i>	<i>Steel Fibre-Reinforced Concrete</i>
<i>SCC</i>	<i>Self-Compacting Concrete</i>
<i>SP</i>	<i>Superplastiserende stoff</i>
<i>TTS</i>	<i>Tilsetningsstoffer</i>

## ii. Forord

Master oppgaven ”Fiberarmering i lettvektbetong” har hatt som hovedmål å øke kunnskapen om bruk av fiberbetong, både med hensyn på utførelse og dimensjonering. Det eksperimentelle arbeidet har i hovedsak vært finansiert gjennom universitetet i Stavanger.

Konseptet med å bruke fiber som armering er ikke nytt. Fiber har vært brukt som armering siden gamle dager. Et av de tidligste eksemplene er hestehår som ble brukt i mørtel i gjørme- tegl, og på 1900-tallet ble asbest fiber brukt i betong. På 1960-tallet ble stål-, glass- og polypropylenfiber tatt i bruk i betong, for å gi betongen nye egenskaper som kan brukes til ønskede områder.

Til testingen og plassering av elementer i laboratoriet fikk jeg veldig god hjelp av Einar Holven og jeg vil rette en stor takk til ham. Jeg vil også takke Eilert Mariero og Kjell Tor Fosså for veiledning og introduksjon gjennom oppgaven. Jeg vil også uttrykke min oppriktige takknemlighet til selskapene Maxit og Rescons, som har bidratt til finansieringen av denne oppgaven. Jeg vil også takke John Grønli for hans anbefaling om å velge en oppgave som ligger innenfor mitt fagfelt.

Jeg vil rette en stor takk til Ingar Stava for hans hjelp med korrekturlesing av oppgaven.

*Sandrar Kakay*  
07.04.009

## ii. Sammendrag

Denne oppgaven omhandler lettvektbetong (LWAC) generelt, samt resultater fra laboratorie-tester gjennomført fra jan. 09 til jun. 09 på betong- laboratoriet ved UiS. Hovedformålet med dette studiet var å evaluere virkningen som flere typer fibrer med lett tilslag har på sprekk-karakteristikker av betong. For å evaluere denne virkningen ble det gjennomført tester med SKB, med matriksvolum  $360 \text{ l/m}^3$ , lett tilslag (Leca) med densitet  $1,45 \text{ kg/l}$  og forskjellige typer fiber. (SKB ble valgt istedenfor vibrert betong for å sikre en god fordeling av fibre.)

To typer polypropylen-fiber og to typer stålfiber ble undersøkt med betongvolumprosent som ble variert henholdsvis fra 0,33 til 0,9 % og fra 0,7 til 1,7 %. (Burak Felekoğlu, ref. [45], Fig. 2, anbefaler en maks tillatt stål fibermengde lik 2 % av BV for fiberbetong.) Pga de forskjellige fibrenes egenskaper fikk betongen et varierende utbredningsmål fra (290-610mm). De forskjellige prøveparametrene dekket et stort utvalg av fiberegenskaper som diameter, lengde, tverrsnitt og form. Totalt ble 16 typer resepter benyttet i de ulike testene. Flere eksemplarer av to forskjellige elementtyper ble laget, 7 eksemplarer av bjelke med dimensjonene  $250 \times 300 \times 2200\text{mm}$  og 10 eksemplarer av platestripe med dimensjonene  $350 \times 100 \times 2000\text{mm}$ . I tillegg ble det laget 96 terninger med dimensjonene  $100 \times 100 \times 100\text{mm}$  og 35 sylindere med diameter  $150\text{mm}$  og høyde  $300\text{mm}$ . For hver resept ble densiteten og konsistensen målt. Total masse (ferskbetong) som ble laget i dette prosjektet var ca  $2 \text{ m}^3$ .

For hver resept, etter at betongelementene hadde stått til herding i 28 dager og etter at tørrdensiteten hadde blitt målt, ble trykkfastheten bestemt ved å teste (5-6) terninger. I tillegg ble betongens strekkfasthet bestemt ved å benytte spaltestrekkfasthets-metoden på to sylindere for hver resept.

De eksperimentale resultatene viser at volumprosenten ( $V_f\%$ ) og type av fiberutførelse er de to meste innflytelsesrike parametrene ved sprekking av betong. Testresultatene viser at varierende volumprosent av fiber med konstant fiberlengde og lengde/diameterforhold ikke har noen signifikant innvirkning på rissavstand, mens rissvidden derimot blir kraftig forbedret. Testresultatene viser også at strekkfastheten til betongen ble

kraftig forbedret ved tilsetning av stålfiber, mens tilsetning av polypropylenfiber hadde mindre effekt på strekkfastheten.

Resultatene av testene er presentert og diskutert i forhold til bruk av konvensjonell/normal vekt betong (NWC). Den gjennomsnittlige densiteten til LWAC betongen brukt i testene var  $1850 \text{ kg/m}^3$ , dvs. densitetsklasse D2,0 iht. NS-EN206-1, ref [9].

For fiberarmert betong er det viktig å få til god heft mellom fiber og sementmasse. Fordi Polypropylenfiber har en glatt overflate, virker det å være mer vanskeligere å oppnå heftforankring med sementpastaen sammenlignet med stålfiber. Heftforankring kan forbedres ved å bruke velgradert tilslagsmateriale for å gi betongen minst mulig hulrom, men i arbeidet med dette prosjektet viste det seg å være et problem å skaffe velgradert høyfast leca da dette ikke fantes i det norske markedet. Pga dette fenomenet viser testresultatene fra betong med fiber og lett tilslag en god seighet, men lav trykkfasthet.

To forskjellige lengder (50,0 og 35,0 mm) av stålfiber og to forskjellige lengder av polypropylenfiber (M12, og M6 mm) ble undersøkt i dette studiet. Resultatene viser at polypropylenfiber bare gir mindre forbedringer i betongens egenskaper, mens stålfiber derimot gir store forbedringer i betongens egenskaper.

Resultatene viser en merkbar reduksjon i totalt antall riss og økt rissavstand ved tilsetning av stål- og polypropylenfiber, samt en betydelig reduksjon i maksimal rissvidde sammenlignet med konvensjonell armert betong uten fiber.



## 1. Generelt om betong:

Bruk av betong som byggemateriale kan spores langt tilbake i tid. Betong karakteriseres av god styrke, tetthet og bestandighet. En forutsetning for tetthet og motstand er at betongen komprimeres godt, noe som vanligvis skjer ved hjelp av vibrasjon. Betongens negative egenskaper er lav tøybarhet, lavt strekkfasthetsstyrke (omtrent en tiendedel av trykkfasthet) og volum endringer på grunn av temperatur og luftfuktighet. Betongens hovedbestanddeler er sement og vann (sementlim), tilslagsmateriale (sand og stein) og eventuelt tilsetningsmaterialer. Sementlimet binder sammen tilslagsmaterialet til en solid og hard masse.

Tetthet og fasthet styres av V/C-tallet, som er forholdet mellom vann og sement og som er et avgjørende parameter som i stor grad bestemmer betongens egenskaper. (Jo lavere V/C-tall dess tettere og sterkere betong.) For V/C-tall  $> 0,60$  øker sementpastaens permeabilitet (gjennomtrengelighet) dramatisk. Høy permeabilitet resulterer i betong med lavere tetthet, styrke og holdbarhet[28].

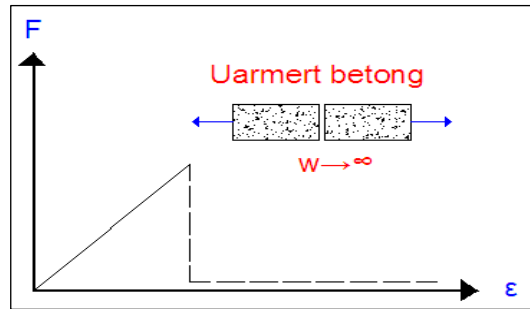
Under hydratiseringsprosessen (herdingen) til betongen skjer en varmeutvikling, som kan bli så stor at det er en risiko for sprekkdannelse under størkningsfasen, maks tillatt temperatur i betong er ca  $60^{\circ}$  [31]. Sementinnhold og sementtype er de viktigste faktorene som påvirker graden av varmeutvikling.

Betong beskrives iblant som "levende materiale" som endrer volum med tiden [32]. Et av fenomenene er krymping som primært er forårsaket av uttørring. Krymping skjer gradvis etter hvert som betongen tørker ut etter herding. Fenomenet er primært et resultat av sementpastaens sammentrekning når vannet går inn i poresystemet. Krympingens omfang er avhengig av betongen sammensetning og miljø (relativ fuktighet). Et annet fenomen er deformasjonskrympning forårsaket av langvarig belastning.

Når betongen utsettes for strekkbelastning er det stor risiko for å få sprekkdannelse. For å få et kraftsystem i likevekt selv etter oppsprekning forsterkes betongkonstruksjoner ofte med armering. Armeringen er ofte forankret direkte i konstruksjonen som den skal forsterke. Kraften mellom armering og betong overføres gjennom heft og kontaktrykk omkring armeringsstengenes tenner [34]. Avstand mellom armering og betongoverflate har stor innvirkning på konstruksjonens levetid.

### 1.1 Uarmert betong:

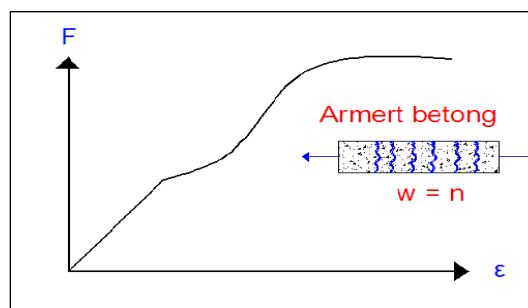
Uarmert betong er karakterisert ved å ha lav strekkfasthet og liten strekkføyningskapasitet, dvs. materialet er sprøtt. Når betongen strekk belastes, økes kraften, uten at det dannes riss, inntil betongen plutselig sprekker helt gjennom. Strekkarbeidsdiagrammet for uarmert betong kan beskrives som en rett linje som går til brudd og som deretter faller rett til null, se *Figur 1*.



*Figur 1 - Strekkarbeidsdiagram for uarmert betong*

### 1.2 Armert betong:

I praksis, ved styrkeberegninger av betongkonstruksjoner, ignoreres som regel strekkstyrken til betongen. For at betongen kan brukes konstruktivt, er det derfor en tradisjonell og veldokumentert praksis at den innlagde armeringen i strekksonen skal oppta strekkspenningen. Et typisk strekkarbeidsdiagram for armert betong er vist i *Figur 2*. Fordi betongens strekkføyning er meget liten, vil den omsluttende betongen sprekke opp når armeringen overtar belastningen. Normal armering fungerer som spenningsoverførende i strekksprekkene i betongen. Rissvidden i betongen og rissavstanden imellom disse vil være avhengig av armeringstetthet og plassering, samt av hvor hardt armering er påvirket av strekk



*Figur 2 - Strekkarbeidsdiagram for normal armert betong*

### 1.3 Fiberbetong:

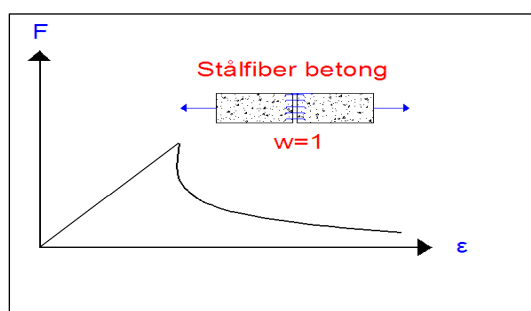
Fiberbetong kan betraktes som et betongmateriale armert med mange små armeringsjern som øker dens konstruksjonsintegritet. Forholdene omkring sprekkdannelse i vanligarmert og fiberbetong er på mange måter like, men også forskjellige.

Det gjelder for eksempel fibrenes tilfeldige orientering i materialet og fibrenes begrensede lengde. De mest vanlige fibertypene som benyttes i fiberbetong er stålfiber, glassfiber, syntetisk fiber og naturlig fiber. Fiberbetong karakteriseres ut fra betongtype, fiber materialer samt fibrenes geometri, fibernes fordeling i betong, og orientering.

#### 1.3.1 Fibertype:

##### 1.3.1.1 Stålfiber:

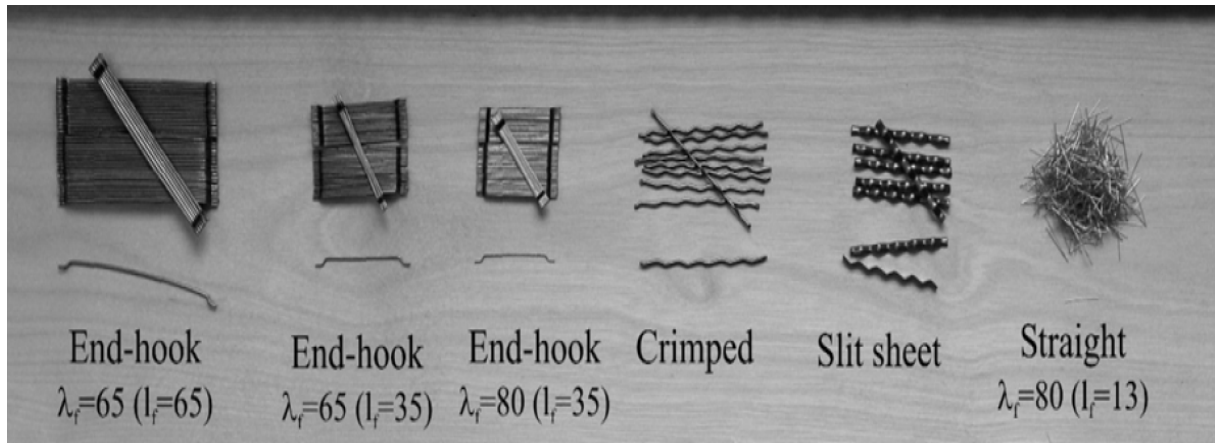
Stålfiber hører til gruppen av meget anvendte fiber. Dette skyldes egenskapene til stålfiber, som fremkommer i *Tabell 1*, samt pris. Stålfiber leveres enten som enkeltfiber eller som plater av 10-20 enkeltfiber holdt sammen av en vannoppløsning lim. I tillegg produseres stålfiber ofte med ombøyde eller fortykkede ender eller med en avrundet geometri. Av økonomiske årsaker produseres i dag kun stålfiber med større diametre. *Figur 4* viser eksempler på geometrisk utforming av stålfiber.



*Figur 3 - Strekarbeidsdiagram for stålfiberarmert betong*

Fiber	$d_f$ : diameter $\mu\text{m}$	$L_f$ : lengde mm	$E_f$ : E-modul GPa	$f_{\text{strektrykk}}$ MPa	$\epsilon_u$ : bruddtøyning %
Stål	5-600	3-50	210	345-2100	0,5-3,5

*Tabell 1 - Stålfiber egenskaper*



*Figur 4 - Stålfiber typer*

Stålfibere har gode mekaniske egenskaper, som høy strekkstyrke og høy E-modul. I tillegg er bindingen mellom sementpastaen og fibrene som regel god. Overflatestrukturen til stålfiber er slik at bindingen mellom fiberen og sementpastaen er bedre enn bindingen som oppnås med de fleste andre fibertyper. Den geometriske utformingen av mange stålfibere sikrer dessuten en ekstra god binding i form av en mekanisk forankring under strekk. Stålfiber leveres som plater av sammenlimte enkeltfiber, er lette å innblande. Når limet oppløses etter kort tid i den ferske betongen, dispergeres (fordeles) de enkelte fibre i betongen. Stor sett er stålfiber også lette å innblande i forhold til andre typer fiber, fordi diameteren til stålfiber typisk er stor i forhold til andre fibertyper. Med hensyn til holdbarhet skal det kort nevnes at stålfibre, som er i kontakt med overflaten av betong, sementpasta eller større riss kan korrodere.

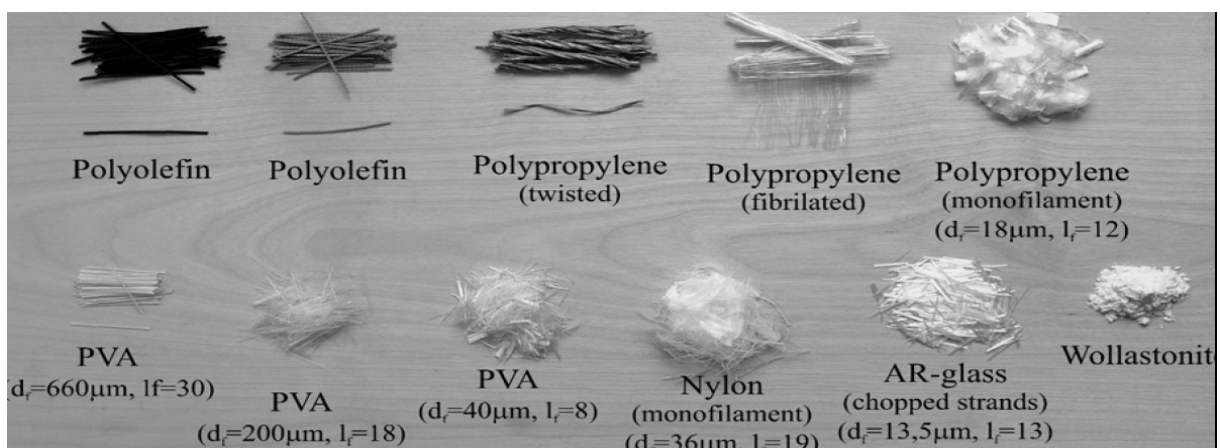
### **1.3.1.2 Plastfiber:**

Plastfiber blir mer og mer attraktiv med hensyn til bruk i betong, pga. lav pris og god kjemisk holdbarhet. Den mest anvendte type plastfiber er polypropylenfiber, men også polyetylen-, akryl- og aramidfibre har funnet anvendelse. Polypropylen-, polyetylen og akrylfiberen er karakterisert ved å ha en lav E-modul [6](lavere enn E-modul for sementpasta og betong). Plastfibre forhandles både som diskontinuerte og kontinuerte enkeltfiber samme som vev. Polypropylenfibre produseres i en mengde forskjellige former og med varierende egenskaper. Tre forskjellige typer av geometrier kan produseres:

- Monofilament (enkeltfiber),
- Bånd
- Strimler

Alminnelige monofilament plastfibre har en dårlig hefting til sementpasta. Den typen som har fått størst suksess er såkalte fibrillerende fiber (se *Figur 5*). Fibrene fremstilles ved oppsplitting av en folie med roterende kniv. Den fibrillerende overflaten sikrer en god vedhefting til sementpastaen. I tillegg kan nevnes et forbedret spesialutviklet polypropylenfiber, nevnes hvor forbedringen av polypropylen fibret består i å innstøpe fine mineralkorn [38], som gir fibrene en ujevn overflate.

Den lave tverrsnittet til plastfibre sikrer generelt en god fibereffekt, fordi avstandene mellom de enkelte fibrene er små for en gitt volumkonsentrasjon, men bearbeidligheten av betongen reduseres av samme årsak. De fibrillerende fibret kan pga. den store spesifikke overflate være ekstra vanskelig å innblende. Den lave E-modulen (se *Tabell 2*) og den mindre gode heften mellom fibrer og sementpasta, er medvirkende til at effekten av tilsetning av plastfibre er mindre enn tilsetning av f.eks. stål fibret. Det skal også nevnes at plastfibre bløtgjøres og dermed mister strekkfasthet ved temperatur på over 120° C (200° C for aramidfibre). Med unntakelse av aramidfibre har plastfiber vist seg å være særdeles alkaliresistente, dvs. de kan tåle sementpastaens høye PH-verdi.[18]. Generelt kan Monofilament fiber benyttes for å redusere plastiske svinnriss, samt beskytte betong som er utsatt for brann og varmpåkjenning [41]. Fordelene med PPF er, økt seighet, bruddfasthetsmotstand, permeabilitetsmotstand, abrasjonsmotstand og utmattingsmotstand [38].



*Figur 5 - Plastfiber typer*

Fiber	$d_f$ : diameter $\mu\text{m}$	$L_f$ : lengde mm	$E_f$ : E-modul GPa	$f_{\text{strek}}$ : trykk MPa	$\varepsilon_u$ : bruddtøyning %
Polypropylen	20-200	3-48	8.5-15	340-500	8.0

*Tabell 2 - Polypropylen egenskaper*

### 1.3.2 Fibers virkemåte:

Fiber forbedrer betongens strekkeegenskaper gjennom en forfining av sprekksystemet, dvs. ved å minske rissviddene og avstand mellom rissene. Dessuten kan fibre overføre spenning i en sprekk. Strekkstyrken blir større ved tilsetning av fiber. *Figur 3* viser et typisk arbeidsdiagram for stålfiber betong. Ved sammenligning mellom arbeidsdiagram for uarmert betong og fiberbetong, kan det ses at en fiberbetong er mer duktil enn uarmert betong. Duktiliteten er definert ut fra arealet under arbeidsdiagrammet [22]. Som nevnt virker fiber i prinsippet på samme måte som strekkarmering i betong, og fiberne kan oppfattes som små armeringsstenger. På samme måte som for vanligarmert vil fiberbetong sprekke ved store strekkpåvirkninger, og fibre vil fortsatt kunne overføre krefter på samme måte som for normal armering. I fiberbetong vil rissvidde og avstand, på samme måte som for armert betong, avhenge av mengden av armering (fiber), armeringens spesifikke overflate og fibrenes gjensidige avstand. Ved f.eks. meget høy fiberarmeringsgrad fås meget små rissvidder, og betong fremstår som et sammenhengende, homogent materiale ved meget store deformasjoner. Oftest tilsettes fiber i form av korte enkeltfibere, og fordelingen av dem blir 3-dimensjonal, i motsetning til en armeringstang[15], som er plassert hvor strekkraftene opptrer. Korte enkeltfiber er på volumenheter derfor ikke så effektive til å motvirke strekkspenninger som normal strekkarmering. Avstanden imellom fibre er derfor mindre enn avstanden mellom normal strekkarmering, og fibre er derfor bedre til å kontrollere rissdannelse. Det betyr at hvor normal strekkarmering benyttes til å øke bæreevnen til en konstruksjon, benyttes fiber primært med hensyn på å kontrollere rissdannelsen i konstruksjonen. Fiber som kan overføre spenninger over et riss, utviser ikke flyteegenskaper i motsetning til strekkarmering. Men flytning av armeringsjern i trykksonen i betong kan sammenlignes med en form for ”flytning” i fiberbetongen, forårsaket av dannelse av mange fine sprekker, når denne er tilsatt en tilstrekkelig høy volumkonsentrasjon av fiber [32].

### 1.3.3 Effekt av fibre i betong:

Fibere er vanligvis brukt i betong for å kontrollere plastisk svinn som kan medføre riss. De reduserer også permeabiliteten til betongen slik at bløding av vann reduseres. Generelt vil både PPF og SF øke både bøyefasthet og bøyestivhet dersom det tilsettes i tillegg til vanlig armering, men det kan ikke erstatte stål armeringens funksjon for å ta opp moment i konstruksjonen. (Noen fibre reduserer fastheten til betongen.)

Mengden av fiber som tilsettes i en betongblanding måles som prosent av det totale volumet av sammensetning (betong og fiber) og benevnes volum fraksjon ( $V_f$ ).

Aspekt ratio ( $l/d$ ) er forholdet mellom fiberlengde( $l$ ) og fiberdiameter( $d$ ). For fiber uten sirkulære tverrsnitt brukes ekvivalent diameter for å bestemme aspekt ratio.

Dersom E-modulen for fiber er høyere enn for matrix (betong og mørtel binding), hjelper de til å bære lasten ved å øke strekkfastheten til materialet. Noen nylige forsøk indikerer at å bruke fiber i betong har begrenset effekt på bestandighet til betong. Denne oppdagelsen er veldig viktig siden tradisjonelle folk synes at duktilitet (smidighet) øker når fiber tilsettes i betong [32].

### 1.3.4 Fibers bruksområde:

De nevnte fibertyper har alle forskjellige anvendelsesområder,

Stålfiber: Stålfiber anvendes primært som erstatning for armering i industrigulv, belegninger og vei, samt til sikring av utgravninger og tunnelboring.

Fiberblanding kan utføres ved at betongen ferdigblandes på fabrikk eller ved tilsetting på brukssted. Stålfiberbetong utstøpes in-situ enten ved våtstøping, maskinutlegning eller ved sprøytstøping. Den våtstøpte fiberbetongen utføres som tradisjonell in-situ betong, som komprimeres og avrettes som vanlig betong. Konstruksjonsutlegging av stålfiberbetong kan utføres med en alminnelig betongutlegger. Ved sprøytstøping anvendes betongpumpe. Sprøytstøping utføres ofte av spesialentreprenører. Bruk av sprøytebetong er den metoden som gir mulighet for størst fiberinnhold og den mest fleksible utformingen.

Plastfiber: Plastfiber anvendes primært som erstatning av svinnarmering i belegninger og membraner. Dessuten blandes plastfiber i betonggulv og

reparasjonsmørtel. Fiberblandingen produseres på betongfabrikk ved at fiberne tilsettes det øvrige tilslaget.

Plastfiberbetong utføres in-situ enten ved våtstøping eller ved påføring som sprøytebetong. Ved påføring som sprøytebetong viser erfaringer at det kan påføres fiberblandet betong med opptil 2,0 vol. % plastfiber.

Denne metoden gir mulighet for størst fiberinnhold og den mest fleksible utformingen. Den våtstøpte fiberbetongen utlegges som tradisjonell in-situ betong, som komprimeres og avrettes som vanlig betong.



## 2. Materialer og proporsjonering:

Proporsjonering av en betong med tanke på fasthet har som mål å sikre en viss minimum fasthet. Fastheten vil imidlertid variere, spesielt mellom satsene, men også innenfor den enkelte satsen. På grunn av den variasjonen må vi ved proporsjonering ta sikte på et høyere gjennomsnittlig fasthetsnivå enn den forlangte minimumsfasthet.

Ut fra fasthetskrav starter man med å velge tilnærmet riktig masseforhold. Når det ikke brukes silikastøv, er masseforholdet lik  $v/c$  forholdet. Når det brukes silikastøv, er masseforholdet lik  $v/(c+k*si)$ , og  $k$  settes lik 2 ved spesifisert  $v/b$  tall  $\leq 0,45$  [9]. Ved bruk av silikastøv må det i tillegg alltid brukes et vannreducerende stoff samtidig. Fordi silikastøv alene normalt vil øke vannbehovet, viser erfaringer at mengde silikastøv kan brukes i betong ikke bør overskride 5% av sementvekt [28].

### 2.1 Tilsetningsstoffer:

SP-stoff er nødvendig for å få den flyten som kreves for at en SKB skal kunne fylle forskaling og omslutte armering uten annen påvirkning enn tyngdekraften. SP-stoff kan tilsettes i mengde av 0,2-2 % av sementvekt[13], og mengden må eventuelt justeres avhengig av tørrstoffinnhold. En slik dosering med SP-stoff fører vanligvis til at vannbehovet ikke øker i betong med silikastøv. Effekten av SP-stoff, med hensyn på reduksjon av vannbehov, kan regnes å være ca 50% større enn for P-stoff. I denne oppgaven ble SKB valgt for å unngå vibrering og medfølgende ujevn fordeling av stål fiber i den ferske betongen. SP-stoffet Dynamon SX-N ble tilsatt for å oppnå de ønskede plastiske egenskapene. SP-stoffet Dynamon SX-N er et svært effektivt plastiserende stoff basert på modifiserte akrylpolymerer, som spesielt blir benyttet i forbindelse med produksjon av selvkomprimerende betong[28]. (For mer om Dynamon SX-N, se Appendiks 2.

Ved bruk av luftinnførende tilsetningsstoff (L-stoff) reduseres vannbehovet og støpeligheten forbedres, ref. [28]. L-stoff kan tilsettes fra 0,2-0,8% av sementvekt, ref. [28] og [31]. Hver prosent luft forårsaket av luftinnførende stoff tilsvarer ca 5% fasthetsreduksjon, ref. [28] og [31]. Hensikten med å tilsette L-stoff i de blandingene som er benyttet i oppgaven, var å oppnå samme luftprosent for normal betong og lettbetong. Lettbetongen benyttet i oppgaven hadde mer hulrom i betongen enn normalbetongen, fordi tilslagsmaterialet (Lecaen) ikke var

like velgradert som tilslagsmaterialet benyttet i normalbetongen. For å utligne denne forskjellen, ble større mengder L-stoff tilsatt normal betongen.

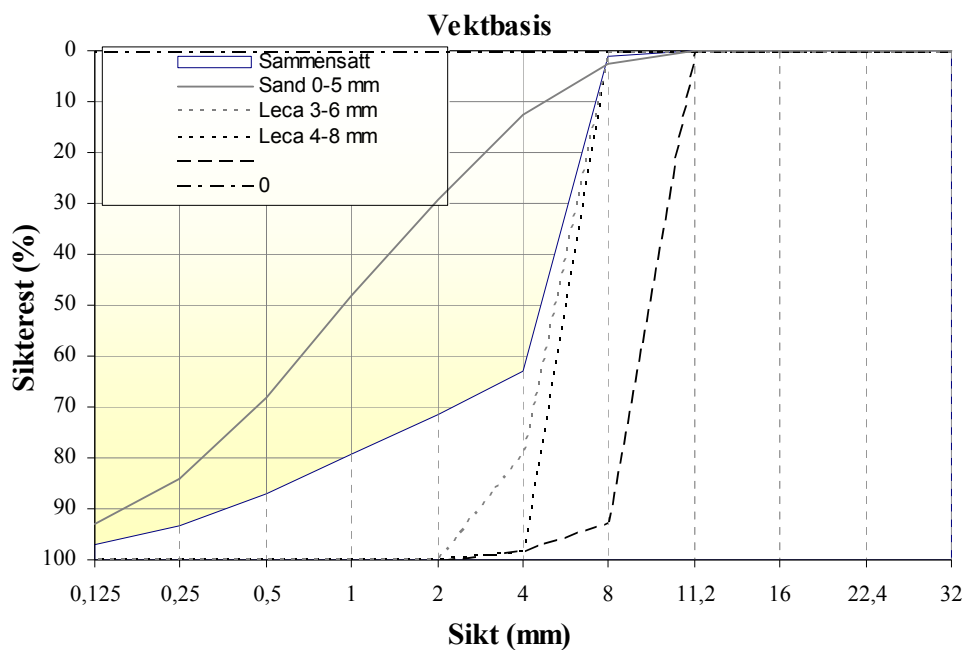
## 2.2 Lett tilslag:

For vanlig armert betong er  $D_{90}$  i størrelsesorden 20-25 mm en hensiktmessig størrelse. Ved proporsjonering av høyfast betong har det ofte vist seg at en oppnår de beste resultatene ved å redusere  $D_{90}$  til under 20 mm[28]. I lettbetongen som ble benyttet i denne oppgaven, ble støpesand med kornstørrelse fra 0-5mm brukt for å redusere hulrom og gi betongen god hefting mellom fiber og Leca. *Tabell 3* og *Figur 6* viser prosent fordelingen av massen.

Det finnes i hovedsak to typer lettvekttilslag; naturlige og fabrikkerte. De naturlige lettvekttilslagene er hovedsaklig diatomitt, pimpstein, vulkansk aske, vulkansk slagg og tuffstein. Pimpstein ligner på vulkansk glass med bulk densitet mellom  $500-900 \text{ kg/m}^3$ , og har god isolasjonsevne men høy absorpsjon og høy krymping (plastisk svinn). Fabrikkerte tilslag er kjent under forskjellige handelsnavn, som kan klassifiseres på grunnlag av råmaterialer og metode benyttet ved produksjon. Ekspandert leire (Leca = Light Expanded Clay Aggregate) er den typen som er mest brukt og produsert. Denne typen lettvekttilslag (Leca) har blitt brukt i LWAC- testene i denne oppgaven, med korndensitet på 1,45 kg/l, bulkdensitet på 0,825 kg/l og vannabsorpsjon på 10 %. Det kan ses at ut fra masse prosent i *Tabell 3* og grafen i *Figur 6* at tilslaget i betongen hadde litt grov gradering. Grunnen til dette var at i arbeidet med dette prosjektet viste det seg å være et problem å skaffe velgradert høyfast leca da dette ikke fantes i det norske markedet. I tillegg ble det ikke benyttet tilslag som innholdt kornstørrelser;  $8 \leq \text{kornstørrelse (mm)} \leq 20$ . Pga dette fenomenet viser testresultatene fra betong med tilsatt fiber og lett tilslag en god seighet, men lav trykkfasthet. (Datablad på Lecaen benyttet i testene er presentert i Appendiks 3.)

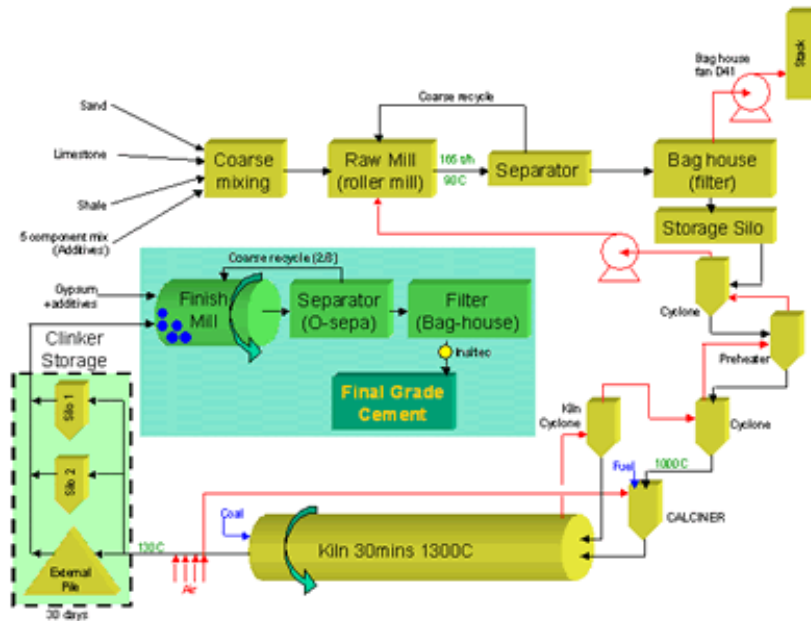
Type:	Sand 0-5			Type:	Leca3-6 mm			Type:	Leca4-8 mm		
Dato:	01.02.09			Dato:	01.02.09			Dato:	01.02.09		
FM=	2,92			FM=	5,27			FM=	5,47		
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)	Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2			1	2			1	2	0,0
32	0	0	0,0	32	0	0	0,0	32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0	22,4	0	0	0,0	22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0	16	0	0	0,0	16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0	11,2	0	0	0,0	11,2	0	0	0,0
8	26,00		2,6	8	0		0,0	8	0		0,0
4	126,0		12,6	4	791		79,0	4	985		98,1
2	294,0		29,4	2	996		99,5	2	1000		99,6
1	482,0		48,2	1	997		99,6	1	1001		99,7
0,5	680,0		68,0	0,5	997		99,6	0,5	1001		99,7
0,25	842,0		84,2	0,25	997		99,6	0,25	1001		99,7
0,125	931,0		93,1	0,125	997		99,6	0,125	1001		99,7
Bunn	1000			Bunn	1000			Bunn	1004		

Tabell 3 - Størrelsesfordeling for tilslag benyttet i LWAC- testene



Figur 6 - Fordelingskurve for tilslag benyttet i LWAC - testene

**Sement** er hovedbestanddelen i betongens bindemiddel, sement er et finkornet pulver som omdannes til et slags lim når vi tilsetter vann. *Figur 7* viser en oversikt av produksjonsprosessen ved industriell fremstilling av sement.



*Figur 7 – Skjematisk produksjonsprosess for sement*[42 ]

Virkingen av to typer fibere ble testet i forbindelse med denne oppgaven, stålfiber og polypropylenfiber. To typer stålfiber med benevnelsene 50/50 BN og 65/35 BN ble testet. (Det første tallet i benevnelsene er forholdet mellom lengde og diameter, det andre tallet er fibrenes lengde i mm. Ifølge Rescons brosjyre kan disse stålfibrene også betegnes som henholdsvis 45/50BN og 45/35BN, der 45 betegner kvalitetsklasse. Tre blandinger ble laget for hver type fiber. Fiberinnholdsmengden for hver av de tre stålfiberblandingene var henholdsvis 0,7 %, 1,13 % og 1,7 % av betongvolumet. Fibermengden påvirker støpligheten, for stålfiber brukes formelen:

$$P \cdot \frac{L}{D}$$

Der:

P er fiberdoseringen i volumprosent

L er fiberlengden i mm

D er fiberdiameteren i mm.

Fiberleverandøren oppgir anbefalte maksimaldosering av fiber ut fra denne formelen [44].

To typer polypropylenfiber ble brukt, M6 og M12. (M står for multifillamnet og de etterfølgende tallene hhv. 6 og 12 står for fiberlengde. Fibrenes diametre var hhv.  $16 \pm 3 \mu\text{m}$  og  $22 \pm 3 \mu\text{m}$ .) Fibermengden for hver av de tre polypropylenblandingene var henholdsvis 0,33%, 0,50%, og 0,9 %.

Ifølge [1] kan den gjennomsnittlige fiberspredningen (avstand mellom to fibre) defineres som:

$$S = 13.8.d \left( \frac{1}{V_f} \right)^{1/2}$$

Der,

$S$  = Gjennomsnittlig fiber spredning

$d$  = Fiberdiameter

$V_f$  = Volumfraksjon

(S vil øke med økende diameter  $d$  og synke med økende volum fraksjon  $V_f$ .)

### 2.3 Forberedende laboratoriearbeid:

Første delen av laboratoriearbeidet gikk med til forskaling og armering av to serier med testelementer, se *Figur 8*. Den ene serien bestod av 7 identiske bjelker som ble armert med 3Ø16 i bunn og med 2Ø12 som montasjearmering for bøyer (Ø8 s 130 mm). Den andre serien bestod av 10 identiske platestriper, som ble armert med 3Ø16 i bunn og med 2Ø12 som montasjearmering, men uten bøyer.



*Figur 8 - Ferdig armerte bjelker og forskaling*

### 2.4 Fersk betong:

For alle betongblandingene ble v/c-tallet holdt konstant og med et bestemt masseforhold på 0,4. (Masseforhold er forholdet mellom vann og den samlede mengden av sement, bindemidler og finstoff mindre enn 0,25mm). De variable parameterne var SF og PPF. For hver blanding ble betongens konsistens bestemt ved hjelp av kjegleform/synkmål metoden og utbredningsmål metoden iht. NS-EN 12350-2. Utbredningsmål er en internasjonal grunnleggende prøvingsmetode for å bestemme flyteegenskapene til SKB. *Tabell 6* viser målinger av gjennomsnittlig konsistens. Pga vannabsorpsjonen fra både Leca og PPF var konsistensen lavere enn forventet. Dette medførte at ekstra sement og vann måtte tilsettes for å beholde betongens selvkomprimerende egenskaper.

Densitet og luftinnhold ble målt iht. NS-EN 12350-6-7[8]. Densiteten ble for alle blandingene målt til å være innenfor rammene for lettbetong dvs. densitetsklasse D2,0 iht. NS-EN206-1 (1800-2000) kg/m<sup>3</sup> [9]. Luftprosenten ble målt til å være ca. 8%. Denne prosenten avviker fra NS-EN 12350-7 [8], som angir tillat maks verdi for luft i normal betong lik 4% [9]. Den høye

prosenten antas å være forårsaket av Leca-tilslaget som absorberer mesteparten av vannet og skaper hulrom i betongen.

Under støpingen ble det benyttet oljeform forskaling, se *Figur 9* og følgende 6 punkter ble fokusert på:

- Fylle formene helt ut
- Hindre at betongmassen separerte seg
- Å få selvkompriert betongen effektivt
- Å få pene overflater
- Å plassere armeringen nøyaktig
- Påse at fibrene hadde en jevn fordeling



*Figur 9 - Plate stripe under støping*

Tabell 4 viser et eksempel på en av reseptene benyttet i testene. De resterende reseptene er vedlagt i Appendiks 1.

Prosjekt		Prosjektnavn: Masteroppgave - Fiber i lettvektbetong Navn på serie S1a.0,0%F av BV				
Blandevolum	90 liter					
Materialer	Resept	Sats	Fukt*	Korr.	Oppveid	
	kg/m <sup>3</sup>	kg	%	kg	kg	
Industri sement	365,8	32,926			31,692	
Silikastøv	11,0	0,988	0	0,000	1,585	
	155,1	13,961		-1,735	12,210	
Absorbert vann	11,7	1,050			1,082	
Sand 0-5 mm	808,0	72,718	1,5	1,123	76,012	
Grus 5-8	89,8	8,080	0,0	0,000	8,321	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Stein 8-11	538,7	48,479	0,0	0,000	49,926	
Stein 11-16	359,1	32,319	0,0	0,000	33,284	
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	7,3	0,659	81,5	0,537	0,634	
Mapeair L	1,5	0,132	75	0,099	0,132	
0	0,0	0,000	60	0,000	0,000	
0	0,0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber	0,0	0,000			0,000	
Stålfiber (50/50)	0,0	0,000			0,000	
<b>Fersk betong</b>						
Tid etter vanntilsetning						
Synkmål	210					
Utbredelsesmål						
Luft	6 %					
Densitet	2,4 kg/l					
<b>Prøvestykker (antall)</b>						
Utstøpningstidspunkt						
Terninger	6					
150x300 sylindre	4					
100x200 sylindre						
Bjelke	1					
platestripe	1					

Tabell 4 - Eksempel på proporsjonering



For å lage en ferskebetong som er tilfredsstillende og gir en god støpelighet ble det fokusert på stabilitet, mobilitet og komprimerbarhet.

Engelskmannen K. Newman definerte støpelighet som det arbeid som må tilføres massen for å oppnå full komprimering [Sverre Smeplass]. Ifølge K. Newman avhenger støpeligheten av betongens følgende tre egenskaper:

- **Stabilitet**: er betongenes evne til å beholde sin homogenitet gjennom den ferske fasen, både i upåvirket tilstand og under påkjenninger som transport, plassering i form og komprimering. Manglende stabilitet kan føre til separasjon.
- **Mobilitet**: er betongmassens evne til bevegelse ved ytre påkjenning. Motstanden mot bevegelse er avhengig av:
  1. friksjon mellom partikler
  2. intern kohesjon
  3. motstand mot intern strømming av væskefasen
- **Komprimerbarhet**: er betongmassens evne til å fylle forskallingen og la innestengte luftlommer unnsnippe ved bearbeiding. Den mengden energi som må tilføres for å komprimere betongen tilstrekkelig er avhengig av betongens mobilitet.

## 2.5 Selvkomprimerende fiberarmert betong:

SKB er en type betong som flyter ut ved hjelp av sin egen vekt. SKB ble utviklet i Japan på slutten av 1980-tallet. Formålet var å skape en betong med slik egenskap er til å renne ut og fylle formen samt omslutte armeringen uten vibrering. Betongen var først og fremst beregnet for tettarmerte, som hadde dårlig tilgjengelighet for vibrasjon. SKB er også en løsning som forbedrer fiberfordelingen i blandinger med lett tilslag, som gir en god tetthet og som forbedrer bestandigheten til konstruksjoner. I Norge startet utviklingen av SKB på begynnelsen av 1990-tallet. Formålet var primært å forbedre arbeidsmiljøet ved å redusere tunge arbeidsoperasjoner, dvs. vibrasjon. Nylig har man begynt å bruke SKB også for andre formål, blant annet i forbindelse med fiberbetong. SKB består hovedsakelig av de samme materialer som ordinær betong, men har høyere matrix - volum enn normal betong. I tillegg til kravene i fersk betong må SKB også tilfredsstillte betingelsene som "normalt" for en betong, som for eksempel krav til fasthetsstyrke, tetthet og frostmotstand. Flere studier har vist at SKB har en tettere struktur enn vanlig betong med samme v/c-tall.

Fiber blir et viktig supplement til stangarmering i fremtidens betong. I noen bærende konstruksjoner kreves relativt store mengder fiber og god fordeling av disse for å oppnå tilstrekkelig bæreevne og sikkerhet. Store fibermengder bidrar imidlertid til vesentlig redusert støpelighet (redusert flyteevne). Ulike typer fiber påvirker pakningen til lett-tilslagspartikler, behovet for pasta og matrix samt de tilhørende reologiske egenskaper. SKB har vist seg å være spesielt gunstig for fiber innblanding. Samtidig oppnås konstruksjonstekniske fordeler. Ved støping av horisontale element som plater og bjelker får fiberne en mer optimal (to dimensjonal)fordeling. Dessuten bidrar den økte fin materialandelen i SKB til en forbedret heftning mellom fiber og betong matriks, [21].

### 3. Eksperimenter og tester:

#### 3.1 Split-sylinder testing av betongsylindere:

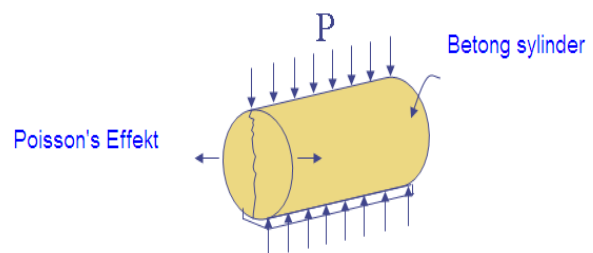
Split-sylinder tester ble utført for å bestemme strekkfastheten til betongsylindrene. *Figur 11* viser plassering av sylinderen under en av testene. Testene ble utført iht. [10] med standard sylindermål, diameter lik 150 mm og lengde lik 300mm. En trykk-linjelast ble påført jevnt langs lengderetningen til sylinderen, se *Figur 10*. En tynn treplate ble benyttet som støtte langs hver side av sylinderen.

Ved påføring av vertikal trykklast under Split-sylinder testene forårsaker Poisson effekten horisontale strekkspenninger i sylinderen. Den toaksiale spenningstilstanden påvirker sprekkoppførselen ved at: De vertikale trykkspenningene som er parallelle med eventuelle sprekker, forårsaker at fibre som lager broer i disse sprekke kan bære større laster før de trekkes ut av betongmatrisen. På grunn av dette så er resultatene som fremkommer ved bruk av spaltestrekkfasthetsformelen nedenfor ingen nøyaktig representasjon av strekkfastheten.

Trykklasten, som blir påført under slike tester, skaper en tversgående strekkspenning og sylinderen splittes i to når strekkfastheten overskrides. Spaltestrekkfastheten kan beregnes ved følgende uttrykk avledet fra teorien om elastisitet.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

$f_{ct}$  er spaltestrekkfasthet i megapascal (MPa)  
 $F$  er største last i newton (N)  
 $L$  er lengden på legemet i mm  
 $d$  er tverrsnittmålet i mm

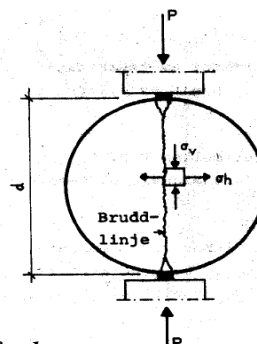


*Figur 10 - Kraftfordeling på sylinder*

Split-sylinder tester ble gjennomført med og uten fiber i betongen. Resultatene fra testene er vist i *Tabell 5*. Strekkfastheten for lettbetong (uten fiber) (testserie S1b) ble redusert med 29,1 % i forhold til normal betong (uten fiber). Med 1,7 % tilsatt stålfiber av typen 50/50 (testserie S2c), viser resultatene at strekkfastheten økte med 193 % i forhold til S1b. Med 1,7 % tilsatt stålfiber av typen 65/35 (testserie S3c) økte strekkfastheten med ca. 275 % i forhold til S1b

Med andre ord så kan det konkluderes med at strekkfastheten til betongen øker kraftig ved tilsetning av stålfiber.

Tilsetning av polypropylenfiber har derimot liten innvirkning på strekkfastheten i forhold til stålfiber. Med 0,5 % tilsatt PPF av typene M6 og M12 økte strekkfastheten med hhv ca 52 %, og 91 % i forhold til test S1b. Med 0,9 % tilsatt PPF av typene M6 og M12 økte strekkfastheten kun med hhv 42 % og 31 % i forhold til test S1b, dvs en reduksjon på hhv ca 6 % og 32 % i forhold til tester med 0,5 % M6 og M12 PPF. Årsaken til denne reduksjonen antas å skyldes den lave E-modulen til polypropylenfibrene, som medfører at betongen blir mer sprø og uelastisk. *Se appendiks 6*



**Figur 11 - Test av Spaltstrekkfasthet**

serie	Element type	Fiber i % av BV				$F_{max}$ i N	$f_{ct}$ i MPa
	Sylinder	PPF		SF			
		M12	M6	50/50	65/35		
D x L							
<b>S1a</b>	<b>150x300</b>	-	-	-	-	<b>189,41x 10<sup>3</sup></b>	<b>2,68<sub>ref. NB</sub></b>
<b>S1b</b>	<b>150x300</b>	-	-	-	-	<b>131,86x 10<sup>3</sup></b>	<b>1,90<sub>ref. LB</sub></b>
S2a	150x300	-	-	0,70	-	241,43x 10 <sup>3</sup>	3,41
S2b	150x300	-	-	1,13	-	324,59x 10 <sup>3</sup>	4,59
S2c	150x300	-	-	1,70	-	394,02x 10 <sup>3</sup>	5,57
S3a	150x300	-	-	-	0,70	273,40x 10 <sup>3</sup>	3,87
S3b	150x300	-	-	-	1,13	336,46x 10 <sup>3</sup>	4,75
S3c	150x300	-	-	-	1,70	481,25x 10 <sup>3</sup>	6,80
S4a	150x300	-	0,33	-	-	173,22x 10 <sup>3</sup>	2,44
S4b	150x300	-	0,50	-	-	203,63x 10 <sup>3</sup>	2,88
S4c	150x300	-	0,90	-	-	190,67x 10 <sup>3</sup>	2,70
S5a	150x300	0,33	-	-	-	164,31x 10 <sup>3</sup>	2,32
S5b	150x300	0,50	-	-	-	257,05x 10 <sup>3</sup>	3,63
S5c	150x300	0,90	-	-	-	175,20x 10 <sup>3</sup>	2,48

**Tabell 5 - Spaltetrekkfasthetsresultater**

### 3.2 Trykktesting av betongterninger

For hver betongblanding benyttet i de øvrige testene ble seks terninger formstøpt med dimensjoner 100x100x100mm. Iht. NS [10] ble terningene vannlagret ved 20° og trykktestet etter 28 dager (høyeste fasthet oppnås etter 28 dager), for å bestemme trykkfastheten til de forskjellige betongblandningene. (Se *Figur 12*)

Densiteten for hver blanding ble bestemt iht. NS-EN 12390-7. Terningene ble veid og terningvolumet ble bestemt ved hjelp av bøyloppheng i vann, se *Figur 123*. Terningene ble deretter trykktestet og inspisert i henhold til NS-EN 12390-3, for å undersøke om bruddformen var tilfredsstillende. Trykklasttilveksten ble innstilt på 0,5 MPa/s iht. NS-EN 12390-3.

Trykkfastheten for fiberbetongen som ble benyttet i testene ble bestemt, men det har ikke latt seg gjøre å finne referanserresultater for sammenligning av kompresjonsegenskapene til SCFRC (Selvkomprimerende fiber-armert betong)

Flere forskere har funnet at tilsetning av stålfibrer knapt har noen effekt på trykkfastheten til betong. *Tabell 6* viser resultatene fra trykktestene, hvor responsen til fiberarmerte betongterninger blir sammenlignet med responsen til normalbetong uten fiber (S1a) og lettbetong uten fiber (S1b). Resultatene viser at fastheten til LB uten fiber reduseres ca 32,7 % i forhold til NB. Ved tilsetning av 1,7 % SF av typen 50/50 i LB øker trykkfastheten med ca. 13,5 % i forhold til LB uten fiber. Den høyeste trykkfastheten ble oppnådd ved tilsetning av 1.13 % SF av typen 65/35, en økning på 32 % i forhold til LB uten fiber. Resultatene viser også at tilsetning av SF gir vesentlig større økning av trykkfasthet enn ved tilsetning av PPF. Ut fra resultatene kan man også konkludere med at SF 65/35 har bedre effekt på trykkfasthet enn SF 50/50. Dette skyldes antakelig at kortere fiberlengde gav mindre hulrom i betongen og derfor bedre heft mellom fiber og betong.

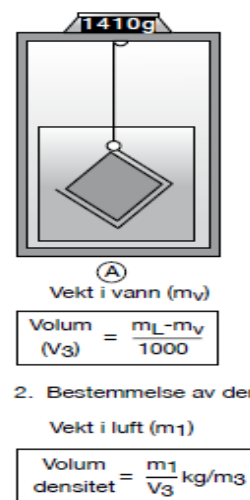
For polypropylenfiber kan en se at resultatet for trykkfastheten varierer både for M6 og M12. Ved tilsetning av 0,5 % PPF av typen M6 i LB er trykkfastheten den samme som for LB uten fiber. Ved tilsetning av samme prosent (0,5 %) PPF av typen M12 i LB reduseres trykkfastheten med 24 %. Her kan man konkludere med at PPF har liten effekt på trykkfasthet

til betong med tilsatt Leca. Ved hjelp av formelen  $f_c = \frac{F}{Ac}$  ble gjennomsnittelig trykkfasthet  $f_{cm}$  bestemt i Mpa. For å bestemme karakteristisk terningfasthet ble følgende formel brukt  $f_{ck} = f_{cm} - 5 \text{ Mpa (N/mm}^2)$  Se *NS-EN-206-1-2001-tabell 14* [9].

En del av terningene ble ikke tatt med i beregningene pga av at bruddformen ikke var tilfredsstillende iht. NS-EN 12390-3 pkt.8.



Figur 12 - Trykktest av betongterning



Figur 13 - Oppsett for bestemmelse av volum til terninger

serie	Element type	Densitet( $\rho$ ) kg/l	Fiber i % av BV				$f_{cm}$ i MPa (MPa)	$f_{ck}$ i MPa (MPa)	Synkmål i mm Utbredningsmål i mm
	terning		PPF		SF				
		M12	M6	50/50	65/35				
<b>S1a</b>	<b>100x100x100</b>	<b>2,43<sub>ref-NB</sub></b>	-	-	-	-	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>230</b>
<b>S1b</b>	<b>100x100x100</b>	<b>1,80<sub>ref.LB</sub></b>	-	-	-	-	<b>42</b>	<b>37</b>	<b>300</b>
S2a	100x100x100	1,82	-	-	0,70	-	37	32	590
S2b	100x100x100	1,84	-	-	1,13	-	42	37	
S2c	100x100x100	1,87	-	-	1,7	-	47	42	
S3a	100x100x100	1,87	-	-	-	0,70	50	45	610
S3b	100x100x100	1,87	-	-	-	1,13	54	49	
S3c	100x100x100	1,87	-	-	-	1,70	44	39	
S4a	100x100x100	1,77	-	0,33	-	-	36	31	200
S4b	100x100x100	1,81	-	0,50	-	-	42	37	
S4c	100x100x100	1,82	-	0,90	-	-	40	35	
S5a	100x100x100	1,70	0,33	-	-	-	22	17	190
S5b	100x100x100	1,76	0,50	-	-	-	32	28	
S5c	100x100x100	1,84	0,90	-	-	-	37	32	

Tabell 6 - Trykkfasthet resultat

### 3.3 Bjelketest under bøyning med to-punktslast

#### Bjelke og platestripe test:

Bjelkeprøven ble satt til herding (utendørs) i 28 dager etter støping og ble malt før testing med hvit vannbasert maling for å oppdage riss så tidlig som mulig. Testoppsettene er vist i *Figur 14* og *Figur 15*. Bjelken ble symmetrisk belastet med to punktlaster, 700 mm fra hver ende (for plate stripen 600 mm fra hver ende) og med 600 mm innbyrdes avstand. For å eliminere effekten av eventuelle ujevnheter ble en tykk gummiplate plassert mellom hvert opplagspunkt og bjelken. For å oppnå en jevn lastfordeling ble treplater benyttet som mellomlag under lastangrepspunkt og bjelke. Deformasjonshastighet var konstant (100 N/s). For registrering av laster og nedbøyning ble dataprogrammet "Test Expert" benyttet samt en presse av merket "Toni Teknik". Dataprogrammet og presse utgjør et verifisert system som er spesiallaget for å registrere laster og nedbøyning i denne typen tester. Maksimallasten (bruddlast) var også vesentlig høyere enn risslasten, se *Appendiks 4* Rissavstander og antall riss ble målt manuelt ved hjelp av rissmåler med. Testen varte 45-60 Minutter.

*Tabell 7* viser registrerte nedbøyninger ved minimum-maks rissvidde (0,05-0,4) mm, mer detaljert forklaring om nedbøyning finnes under pkt 5.3.

For å analysere egenskaper til fiberarmert betong etter riss, ble rissvidde målt manuelt i intervall under bøyeforsøk på disse bjelkene, pkt. 4.6 og *Tabell 10* gir oversikt over dette. Antall riss pr. elementside og rissavstand ble også målt manuelt. Det sees fra *Figur 26* og *Figur 27* at både antall riss og rissavstand varierte, først og fremst avhengig av fiber type. Normal sett vil det for bøylearnert bjelke med konvensjonell betong (referanse elementet S1a) oppstå riss hvor bøyer er montert. Referanse elementet fikk rissavstand ( $S_r$ ) 120-150mm og 13 riss (for hver bjelke ble det montert 16 bøyer med senteravstand 130mm). For bøylearnert bjelke med SF50/50 fiberbetong (med tilsatte fibermengder 0,7, 1,13 og 1,7 %) ble antall riss redusert (8-10) og rissavstanden økte til 200-400mm. For bøylearnert bjelke med SF65/35 fiberbetong (kortere fibertype med tilsatte fibermengder 0,7, 1,13 og 1,7 %) ble antall riss og rissavstand omtrent det samme som for konvensjonell betong, dvs. 13-14 riss og rissavstand 120-150 mm. Her kan man konkludere med at fiberlengden har innvirkningen på antall riss og rissavstand.

For armert platestripe med SF50/50 (med tilsatte mengder 0,7, 1,13 og 1,7 %) og PPF fiber av typen M6 og M12 (med tilsatte fibermengder 0,33, 0,5 og 0,9 %) ble også antall riss og

rissavstand omtrent det samme som for konvensjonell betong (referanse elementet S1b). Pga PPF sin lave E-modul fikk elementet tidlig flere synlige riss.

serie	Element type	Fiber i % av BV				F <sub>min</sub> KN	W <sub>k</sub> min mm	δ <sub>min</sub> mm	F <sub>max.</sub>	W <sub>k</sub> max.	δ <sub>max</sub> mm
		PPF		SF							
		M12	M6	50/50	65/35						
<b>S1a<sub>ref.NB</sub></b>	Bjelke					<b>84</b>	<b>Riss = 0,05 mm</b>	<b>8,3</b>	<b>180</b>	<b>Riss = 0,40 mm</b>	<b>11,5</b>
S2a				0,70		90		13,0	206		18
S2b				1,13		102		12,0	239		31
S2c				1,70		140		14,0	270		31
S3a					0,70	89		13,0	240		22
S3b					1,13	96		9,6	240		20
S3c					1,70	110		9,0	250		20
<b>S1b<sub>ref.NB</sub></b>		Platstripe/ bjelke uten bøyle						<b>10</b>	<b>Riss= 0,05 mm</b>		<b>5,0</b>
S4a				0,70		20	8,0	63		34	
S4b				1,13		26	15,0	63		34	
S4c				1,70		27	13,0	70		40	
S5a			0,33			23	14,0	41		26	
S5b			0,50			18	14,0	50		32	
S5c			0,90			16	9,0	50		28	
S6a			0,33			29	15,0	49		39	
S6b			0,50			16	18,0	50		35	
S6c			0,90			30	9,0	40		28	

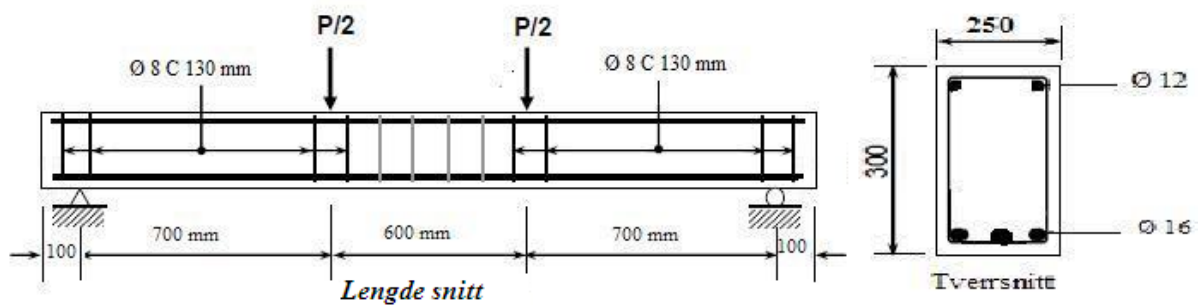
Tabell 7 - Nedbøyning ved  $w_{k\max}$



## 4. Beregninger:

### 4.1 Dimensjonering av test-bjelker

I henhold til NS 3473 [4] og E. Mariero [20] ble bjelker dimensjonert for en antatt total last  $P=90\text{kN}$ , overdekning 25 mm, bøyler  $\Phi 8\text{mm}$  og hovedarmering er  $\Phi 16\text{mm}$ . Ut fra disse forutsetningene ble senteravstand til bøyler og forankringsarmering,  $A_s$ , beregnet som vist på neste side.



Figur 14 - Detalj-tegning av armert bjelke

Egenlast er neglisjert

$$P_f = 90 \text{ kN}$$

$$M_f = 90 \times 0,7 = 63 \text{ kN.m}$$

$$V_f = 90 \text{ kN}$$

$$C_{\text{nom.}} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Bøylearmering} = 8\phi$$

$$\text{Min. armering} = 12\phi$$

$$\text{Hovedarmering} = 16\phi$$

$$d = 300 - 25 - 8 - \frac{16}{2} = 259 \text{ mm}$$

$$M_{cd} = 0,28 \times f_{cn} \times b \times d^2$$

$$M_{cd} = 0,28 \times 25 \times 250 \times 259^2 \times 10^{-6} = 117 \text{ kNm}$$

$$Z \approx 0,83d = 0,83 \times 259 \approx 215 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{63 \times 10^6}{215 \times 500} = 586 \text{ mm}^2$$

$$3 \phi 16 \text{ gir } 603 \text{ mm}^2$$

$$b_{nod} = 2(25 + 8) + 3 \times 1,25 \times 16 + (2 \times 40) = 206 < 250 \text{ mm} \dots \text{ok}$$

$$\text{Skjærkap} \therefore f_{td} = \frac{1,6}{1,4} = 1,14 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$V_{co} \text{ Bøyle} := \left[ \begin{array}{l} 0,3 \left( 1,14 \times 250 \times 259 + \frac{100 \times 603}{1,4} \right) \times 10^{-3} = 43 \\ 0,6 \times 1,14 \times 250 \times 259 \times 10^{-3} = 44 \text{ kN} \end{array} \right]$$

$$\text{Bøyle} : 0,6 \times h' \leq (259 - 25 - 8 - \frac{16}{2}) = 130 \text{ mm}$$

$$\text{Forankring} : F_{sv} = V_f - 0,5V_{sd}$$

$$V_{sd} = 400 \times 2 \times 50 \times \frac{0,9 \times 259}{130} \times 10^{-3} = 66,6 \text{ kN}$$

$$F_{sv} = 90 - 0,5 \times 66,6 = 56,7 \text{ kN}$$

$$f_{bd} \left[ \begin{array}{l} 1,4 \times 1,14 \left( \frac{1}{3} + \frac{2}{3} \times \frac{35}{16} \right) \times 1,0 = 2,74 \frac{N}{\text{mm}^2} \\ 2 \times 1,4 \times 1,14 = 3,19 \frac{N}{\text{mm}^2} \end{array} \right]$$

$$L'_{b(\text{nødvendig})} = 0,25 \phi \frac{\sigma_s}{f_{bd}}$$

$$\sigma_s = 55 \frac{2,74}{0,25 \times 16} = 38 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$L_{b(\text{disponibel})} = 100 - 35 - 10 = 55 \mapsto (E. Mariero - Vår 2005)$$

$$L_b = L'_b + t$$

$$t = \text{toleranse}$$

$$L_b = \frac{0,25 \times \phi \times 400}{2,74} + 3\phi = 40\phi$$

$$\text{Pkt. 12.8.11 - NS 3473}$$

$$L_b = 50\phi = 50 \times 8 = 400 \text{ mm}$$

$$F_{sd} = \sigma_s \times A_s \times 10^{-3} = 38 \times 603 \times 10^{-3} = 22,9 \text{ kN}$$

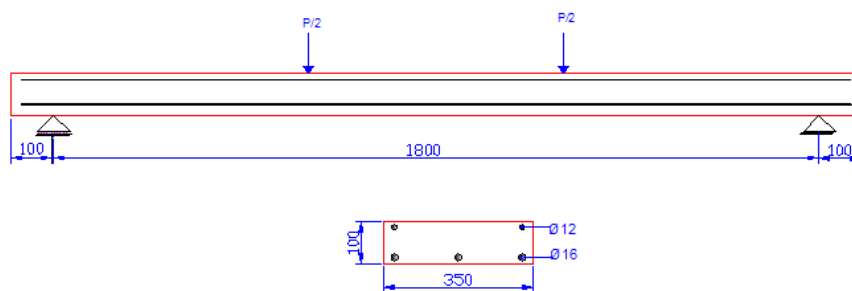
$$F_{bøyle} = F_{sv} - F_{sd} = 56,7 - 22,9 = 34,0 \text{ kN}$$

$$A_{bøyle} = \frac{34,0 \times 10^3}{400 \times 2} = 43 \text{ mm}^2$$

$$\text{Bøyle } \phi 8$$

#### 4.2 Dimensjonering platestripe (bjelke uten bøyle):

Ifølge [4] må bredden til et element være  $4xh$ , for at elementet kan defineres som en plate. Målene til platestripen var (350x100x2000) mm, dvs.  $3,5xh$ . Platestripen ble dimensjonert for en antatt total last  $P=40$  kN og overdekking 25mm. Bøylearming ble ikke brukt ved dimensjonering av platestripen. Hensikten med dette var et ønske om å unngå rissdannelser forårsaket av bøylenes plassering.



Figur 15 - Detalj-tegning av armert platestripe

$$P_f = 40 \text{ kN}$$

$$M_f = 40 \times 0,6 = 24 \text{ kN.m}$$

$$V_f = 40 \text{ kN}$$

$$C_{\text{nom.}} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Min. armering} = 12 \phi$$

$$\text{Hovedarmering} = 16 \phi$$

$$d = 100 - 25 - \frac{16}{2} = 67 \text{ mm}$$

$$Z \approx 0,83d = 0,83 \times 67 \approx 57 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{24 \times 10^6}{57 \times 500} = 842 \text{ mm}^2$$

$$3 \phi 16 \text{ gir } 603 \text{ mm}^2 \text{ og } 2 \phi 12 \text{ gir } 226 \text{ mm}^2$$

### 4.3 Beregningsmodeller:

Det finnes ingen generell metode for å beskrive fiberbetongens virkemåte. De foreslåtte modeller som finnes kan deles inn i to kategorier[30]. Den ene kategorien er basert på spennings-tøyningforholdet ( $\sigma$ - $\epsilon$ ), mens den andre baseres på spennings-sprekkåpningforholdet ( $\sigma$ - $w$ ). Disse modellene beskrives i det følgende:

#### $\sigma$ - $\epsilon$ -modellen:

(Spennings-tøyning-modellen er beskrevet iht RILEM TC 162-TDF [34], International union of laboratory and experts in construction materials, systems and structures.)

$\sigma$ - $\epsilon$ -modellen for fiberbetong oppfører seg på samme grunnleggende måte som konvesjonell armert betong. Den store forskjellen er at fibrene gir betongen andre egenskaper etter at en sprekk har oppstått. Fibrene danner broer over sprekken som medfører at spenning fortsetter å bli overført over sprekken. RILEM TC 162-TDF har anbefalt følgende metode for å ta hensyn til dette fenomenet.

Iht. RILEM-TC 162-TDF skal trykkfasthet bestemmes gjennom standardtest. Disse kan gjennomføres vha aksialforsøk på enten sylinderprøve med diameter 150 mm og høyde 300 mm eller på kubiske form/terninger med kantlengde 100 mm eller 150 mm. Med trykkfasthet  $f_{ck}$  kjent foreslås følgende fomler anvendt for å beregne strekkfastheten[34].

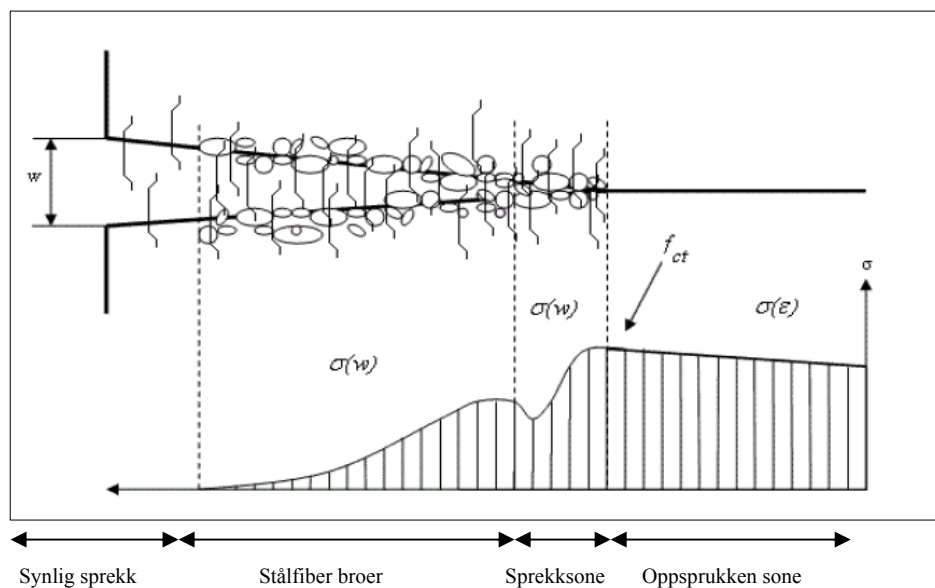
$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} \quad (MPa)$$
$$f_{ctk} = 0,7 \cdot (f_{ctm}) \quad (MPa)$$

$f_{ck}$	Betongens karakteriske terningfasthet
$f_{ctm}$	Strekkfasthetens middelvei
$f_{ctk}$	Betongens karakteristiske strekkfasthet

#### $(\sigma$ - $w$ )-modellen:

$\sigma$ - $w$ -modellen for fiberbetong har sine røtter fra bruddmekanikken [36]. Å anvende bruddmekanikk innen betong er en relativ vitenskap. De første publikasjonene kom på midten av 70-talet, [34]da Hillerborg presenterte den fiktive sprekkmodellen. Metodens viktigste parameter er forholdene mellom spenning og sprekkåpning.

Ved belastning av betong skjer en jevnt fordelt forlengelse av materialet inntil spenningen overskrider strekkfastheten. Når strekkfastheten er oppnådd dannes en sprekksoner enkelte steder langs elementet. Om elementet fortsetter å deformeres, vil spenningen reduseres i sprekksonen pga. oppvoksing av mikrosprekker. Se *Figur 16, ref. [34]*.



#### 4.4 Rissavstand og rissvidde modell for fiberbetong:

Pga. betongens lave strekkfasthet og begrensede tøyning er det vanlig at betongkonstruksjoner sprekker. Sprekker påvirker konstruksjonens bærekraft, stivhet og estetikk. Dette medfører at det er viktig for konstruktører å ta hensyn til rissvidde og rissavstand ved dimensjonering av betongkonstruksjoner. For konvensjonell armert betong finnes etablerte modeller for rissberegning. Dette er dog ikke tilfelle for fiberarmert betong, som ikke har noen generell akseptert rissberegningsmodell.

#### Rissdanning:

Riss dannes når strekkspenning i betongen overskrider betongens strekkfasthet. Ved en sprekk tas strekkraften av armeringen, da betongspenningen ved en sprekk er lik null. Strekkspenningen i betongen øker med økende avstand fra sprekk pga. vedhefting mellom

armering og betong. Ved en viss avstand fra sprekken gjenopprettes tøyingskompatibiliteten mellom armering og betong. Denne avstanden styres av vedhefting. Økt vedheft gir kortere avstand innen kompatibiliteten oppnås. Med en liten lastøkning oppstår sprekker med varierende rissavstand,  $S_r$ . Etter at sprekkdanning har inntruffet kan i prinsippet ingen nye sprekker oppstå selv om lasten økes. Ved lastøkning øker istedenfor sprekkbreddene til eksisterende sprekker [22].

### Rissavstand for fiberarmerte konstruksjoner:

Formlene for middelrissavstand for normalarmerte betongkonstruksjoner kan ikke benyttes direkte for fiberbetong siden de ikke på noe måte tar hensyn til innvirkning av fiber.

RILEM TC 162-TDF [34] har foreslått følgende formel for å beregne rissavstand for fiberarmert betong. [34].

$$S_{rm} = \left( 50 + 0,25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} \right) \left( \frac{50}{L_f / \phi_f} \right)$$

Der

$$\left( \frac{50}{L_f / \phi_f} \right) \leq 1,0$$

$S_{rmax}$  er maks rissavstand

$K_1$  er en koeffisient som tar hensyn til hefteegenskapene til armering:

=0,8 for stenger med god heft

=0,6 for stenger med en tilnærmet glatt overflate

$K_2$  er en koeffisient som tar hensyn til tøyingsfordeling

= 0,5 for bøyning

= 1,0 for rent strekk

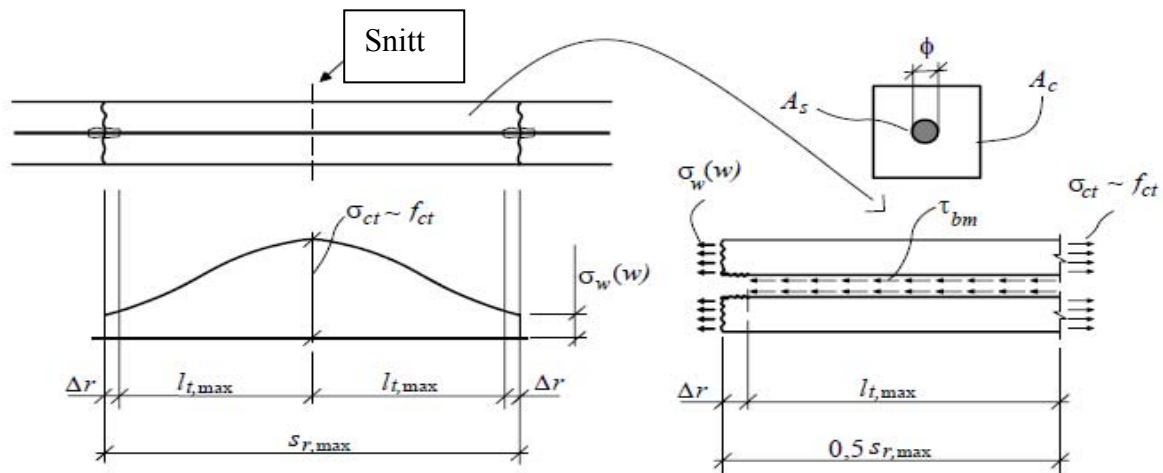
$L_f$  er fiberlengde

$\phi_f$  er fiberdiameter

$$\rho_{,eff} = \frac{(A_s + \xi^2 A_p)}{A_{c,eff}}$$

Denne formelen tar hensyn til innvirkning av fiber gjennom en ekstra variabel for fibrenes slankhetstall ( $L_f / \phi_f$ ). Derimot tas ingen hensyn til fibermengden, noe som anses ikke å være rimelig da fibrenes overbyggende effekt (antall broer) påvirkes av fiberdosering.

Løfgren (2006) [34] har utarbeidet ett annet forslag som bygger på at spenning-sprekkåpningsforholdet er kjent samtidig som spenning overføres over risset gjennom fiberne, se *Figur 17*.



Figur 17 - Modell for å betrakte rissavstand for fiberarmerte tverrsnitt

Betongpåkjenningen ved sprekksnitt  $\sigma_w(w)$  mitt imellom sprekksnitt har betong påkjenningen  $\sigma_c \approx f_{ct}$  ( $f_{tk}$ ). Økningen avhenger av hefting mellom armeringen og betongen. Vedhefting  $\tau_b$  varierer utover overføringslengden, gjennomsnittsverdien beregnes gjennom integrasjon iht. følgende formel [22]:

$$\tau_{bm} = \frac{\int_0^{l_{t,max}} \tau_b(x) dx}{l_{t,max}}$$

Ved å snitte mitt imellom sprekksnitt og utetter grensesiktet til armering kan likevekt vilkår skrives slik [22]:

$$\tau_{bm} \cdot \pi \cdot \phi (0,5 \cdot s_{r,max} - \Delta r) + \sigma_{(w)}(w) \cdot A_c = f_{tk} \cdot A_c$$

Også for fiberbetong blir betongtverrsnittets effektive areal benyttet istedenfor betongtverrsnitts bruttoareal, fordi strekkspenninger ikke overføres til hele betongens areal [22]. For å forenkle beregningene antas en konstant verdi iht. NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008:

$$A_{c,eff} = \min \left[ \begin{array}{c} 2,5 \cdot (h - d_1) \\ \frac{h}{2} \\ \frac{(h - x)}{3} \end{array} \right] \cdot b$$

$$\tau_{bm} \cdot \pi \cdot \phi (0,5 \cdot S_{r,max} - \Delta r) = \frac{\pi \phi^2}{4 \rho_{eff}} (f_{tk} - \sigma_w(w))$$

$$S_{r,max} = 2\Delta r + \frac{1}{2} \cdot \frac{(f_{tk} - \sigma_w(w))}{\tau_{bm}} \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}}$$

Middel rissavstand:

$$S_{rm} = 1,5\Delta r + \frac{3}{8} \cdot \frac{(f_{tk} - \sigma_w(w))}{\tau_{bm}} \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}}$$

$$\tau_{bm} = \frac{3}{2 \cdot K_1} \cdot f_{tk}$$

Der faktoren  $k_1$  tar hensyn til heftegenskapene til armeringsstenger

=0,8 for steng med god heft

=1,6 for steng med tilnærmet glatt overflate. ( spennkabler)

$$S_{rm} = C_{nom} + 3\phi + 0,25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{\phi}{\rho_{eff}} \quad [mm]$$

Der  $K_3$

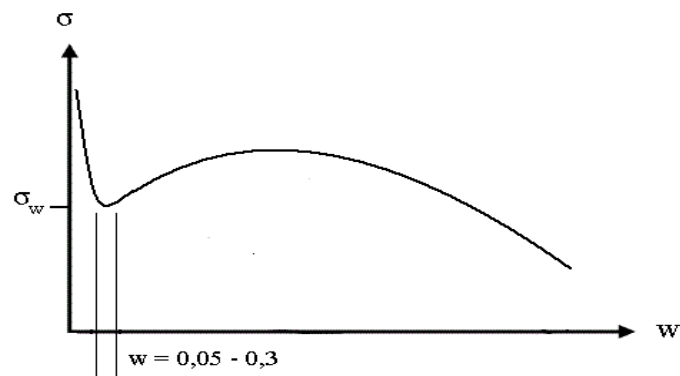
$$k_3 = \left( 1 - \frac{\sigma_w(w)}{f_{tk}} \right)$$

$\sigma_w(w)$  kan bestemmes fra spenning rissvidde forholdet *Figur 18* [ 22]

Forenklet kan parameteren antas som den minste verdien innenfor rissviddes intervall ( $0,05 \leq w \leq 0,3$  eller  $0,4$  mm), denne verdien avhengig betongens av eksponeringsklasse se *Tabell 8 ref.* [4]. En annen variant av Løfgren forslag tar hensyn til dekkende betongsjikt.

Følgende formel kan iht. Løfgren anvendes ved beregninger av sprekkavstand:





*Figur 18 - Spenning rissvidde forhold*

$$W_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

Der

$W_k$  rissvidde

$S_{r,max}$  rissavstand

$\epsilon_{sm}$  midlere tøyning i armering

$\epsilon_{cm}$  midlere tøyning i betong mellom riss

ifølge den nye norske standarden[4] skal ikke tas hensyn til svinntøyning

#### 4.5 Rissavstand og rissvidde for normal betong:

I alle betongkonstruksjoner er rissdannelser en betingelse for at strekkarmeringen skal virke som forutsatt. Man ønsker ikke å unngå riss, men å begrense størrelsen. NS 3473 krever beregning av størrelsen på rissviddene og stiller krav til begrensning av karakteristiske rissvidde  $w_k$ .

Riss kommer ikke bare av ytre laster, men også av svinn, setninger i betongmassen, varmeutvikling under herding, påførte tøyninger, temperaturendringer og armeringskorrosjon. For å beskytte armeringen mot korrosjon og for sikre konstruksjonens funksjonsdyktighet, skal beregningsmessige rissvidder ikke overskride grenseverdier som er gitt i NS 3473 pkt.15.2.3 [4].

Andre grunner for at man ønsker å begrense rissvidden er:

- nedbrytning av betongen rundt rissene
- vanntetthet
- utseende

De fleste av disse forholdene angår bestandigheten av betongen. Kravene er derfor knyttet til valget av miljøklasse.

Tabellen 8 gir krav avhengig av eksponeringsklasse og type armering, korrosjonsømfintlig eller lite korrosjonsømfintlig. Vanlige armering(kamstål) regnes som lite korrosjonsømfintlig, mens spennarmering i spennbetongkonstruksjoner regnes som korrosjonsømfintlig.

Eksponeringsklasse	Eksponeringsklasse XF og XA (Informativt)	Korrosjonsømfintlig armering $w_d$	Lite korrosjonsømfintlig armering $w_d$
X0		0,4mm	
XC1-XC4, XS2	XF1,XA1,XA2	0,2mm	0,4mm
XD1-XD3,XS1,XS3	XF2-XF4,XA3,XA4	0,2mm	0,3mm
XSA		Vurderes særskilt <sup>1)</sup>	Vurderes særskilt <sup>1)</sup>

1) En totalvurdering er nødvendig i disse tilfeller for å komme fram til en hensiktsmessig kombinasjon av konstruktiv utforming, materialsammensetning, overdekning, rissviddebegrensning, og andre beskyttende tiltak.

Tabell 8 - Grenseverdier for beregningsmessig  $w_k$

#### 4.5.1 Kriterier for at riss oppstår:

Betongen kan antas å være urisset dersom

$$\sigma_M < k_w \cdot \frac{f_{tn}}{k_t}$$

der

$\sigma_M$  = bøyespenning, positiv som strekk

$k_t$  = faktor som er mellom 1,0 og 2,0. Leses fra tabell 13, /NS 3473 pkt.15.6.1

$k_w$  = en koeffisient som avhenger av høyden  $h$  på tverrsnittet

$$k_w = 1,5 - \frac{h}{h_1} > 1,0$$

$h_1 = 1,0\text{m}$  ( $h$  settes inn i meter,  $k_w$  blir da et ubenevnt tall)

NS 3473 pkt.A.15.6 [4] gir grunnlag for beregning av rissvidder NS 3473 gir anvisning for beregning av rissvidder for to ulike risstilstander:

- Stabilisert rissmønster, som betegner at rissmønsteret er utviklet slik at en økning i lasten ikke vil gi vesentlige endringer i antall riss
- Enkeltriss, som er en tilstand for et lavere lastnivå enn det som tilsvarer et stabilisert rissmønster.

Normalt legges stabilisert rissmønster til grunn for påvisning av risstilstanden.

#### 4.5.2 Stabilisert rissmønster:

Influenslengde  $l_{sk}$ : Ved stabilisert rissmønster settes influenslengden  $l_{sk}$  lik den karakteristiske rissavstanden  $S_{rk}$ .

For bjelke beregnes rissavstand på grunnlag av

$$S_{rk} = 1,7 \cdot \left[ S_{ro} + \frac{k_c \cdot A_{cef} \cdot f_{tk}}{\sum \left( \frac{\pi \cdot \Phi \cdot \tau_{bk}}{k_b} \right)} \right]$$

I plater med enkeltstenger eller bunter med like stenger og konstant senteravstand kan karakteristisk rissavstand beregnes på grunnlag av

$$S_{rk} = 1,7 \left[ S_{ro} + \left( \frac{f_{tk}}{\tau_{bk}} \right) \cdot k_b \cdot k_c \cdot h_{cef} \cdot \frac{s_b}{(\pi \cdot n \cdot \varphi)} \right]$$

der

$S_{ro}$  = konstant lengde uten heftspenninger mellom armering og betong, settes lik betongoverdekning  $c$ .

$\frac{f_{tk}}{\tau_{bk}}$  = den effektive forholdet mellom strekk- og heftfasthet og settes lik:

- 0,75 for kamstang
- 1,15 for preget stang og spenntau
- 1,50 for glatt stang.

$k_b$  = en koeffisient som tar hensyn til redusert heft for buntet armering.

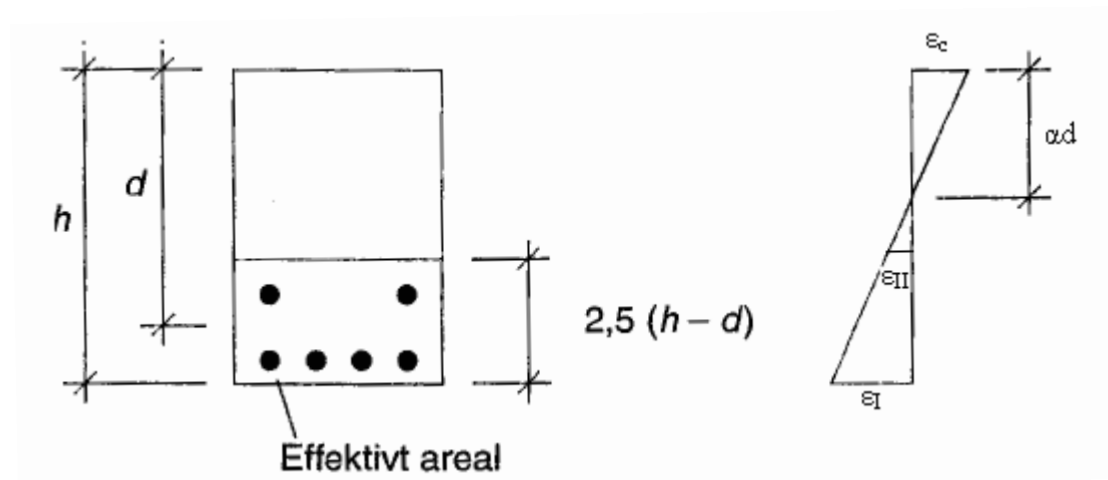
$$k_b = (0,15n + 0,85)$$

$k_c$  = koeffisient som tar hensyn til tøyingsfordeling over tverrsnittet.

$$k_c = (1 + \varepsilon_{II} / \varepsilon_I) / 2$$

$\varepsilon_{II} / \varepsilon_I$  er forholdet mellom minste og største tøyning i det effektive betongarealet beregnet for risset tverrsnitt. For tverrsnitt med strekk i hele tverrsnittet settes  $k_c = 1,0$

$$\varepsilon_{II} = \varepsilon_I \cdot \frac{h - \alpha d - h_{cef}}{h - \alpha d}$$



Figur 19 - Effektivt betong areal[3]

$h_{cef}$  = høyden av det effektive betongarealet =  $2,5(h-d)$  der  $(h-d)$  er avstanden fra overflaten til armeringens tyngdepunktakse. For strekksone med armering av enkeltstenger i et lag blir:

$$h_{cef} = 2,5(c+\phi/2).$$

$h_{cef}$  skal ikke antas større enn høyden av strekksonen  $(h-x)$ . For dobbeltarmert tverrsnitt med strekk i hele tverrsnittet beregnes  $h_{cef}$  tilsvarende for hver side, men ikke større enn  $h/2$ .

$S_b$  = armeringsstengenes eller buntenes innbyrdes senteravstand innsatt med høyst  $15\phi$ .

$n$  = er antall stenger i en bunt.

$\phi$  = diameteren av armeringsstangen.

Karakteristisk rissavstand  $S_{rk}$  regnes ikke større enn  $2,5(h-x)$  og ikke mindre enn  $2,5c$  når  $c < (h-x)$ , dvs. :  $S_{rk} \in < 2,5c, 2,0(h-x) >$

Rissviddene kan forenklet beregnes ved å sette:

$$w_k = S_{rk} \left[ (1-\beta_s \cdot \frac{\sigma_{sr2}}{\sigma_{s2}}) \cdot \frac{\sigma_{s2}}{E_{sk}} - \epsilon_{cs} \right]$$

der

$\beta_s = 0,6$  for kortvarig egenlast

0,4 for langvarig eller repetert last

$\sigma_{sr2}$  = spenningen i armeringen i risset for de snittkreftene som gir maksimal strekkspenning i urisset konstruksjon lik betongens karakteristiske strekkfasthet.

$\sigma_{s2}$  = spenningen i armering i risset for de aktuelle snittkreftene.

$\sigma_{sr2}$  beregnes med det samme forholdet mellom snittkreftene (samme strekksonehøyde) som ved beregning av  $\sigma_{s2}$  og skal ikke regnes større enn  $\sigma_{s2}$ .

$\epsilon_{cs}$  = svinntøyning, i motsetning til kryptøyning er svinntøyning uavhengig av lastnivå.

Størrelsen av svinntøyning er avhengig av graden av uttørking, dvs. av fuktighet og den tiden uttørkingen har foregått. NS 3473 tabell A.3 [4] gir verdier for svinntøyning, men ifølge den nye versjonen tar ikke hensyn til svinntøyning når man regner rissvide  $w_k$ , derfor ble her ikke tatt med i beregningene.

#### 4.6 Beregning av rissvidde og sammenligner med test resultat:

Ved hjelp av dataprogrammet ”Mathcad” ble den teoretiske karakteristiske rissvidden beregnet for hver last,  $F_{max}$ , som er oppgitt i *Tabell 9*. De teoretiske beregningene er iht. NS 3473 [4] og fasthetsklasse er basert på trykkterningstestene presentert i *Tabell 6*. *Tabell 9* viser den eksperimentelle registrerte lasten ved manuelt målt maks rissvidde lik ca. 0,4mm. Både lasten og rissvidden ble målt og registrert i intervaller (underveis), fra elementet hadde begynt å få rissvidde lik ca 0,05mm inntil det gikk til brudd.

*Tabell 9* viser en oversikt over både manuelle data og beregnete data for riss, f.eks. tålte  $S_{2,a,b,c}$  bjelkene med SF50/50 hhv. lastene 206 KN, 239 KN og 270 KN når rissvidde var ca. 0,4 mm. Ved å benytte disse lastene i beregninger i samme serie, får man teoretiske karakteriske rissvidder på hhv. 0,43 mm, 0,51mm og 0,58 mm. Dersom man sammenligner disse teoretiske verdiene med de eksperimentelle verdiene, viser de eksperimentelle verdiene (med stålfiber) at rissvidden er redusert med hhv 7,5%, 27,5 % og 45%. Legg merke til at de teoretiske rissberegningene inneholder sikkerhetsfaktorer som tar høyde for en viss spredning i reelle resultater. En viss reduksjon i rissvidden var derfor som ventet, men det vises tydelig at fibrene gir bedre rissvidderesultater ved økende tilsatt mengde.

$S_{2,a,b,c}$  bjelkene med SF 65/35 tålte hhv. lastene 240KN, 240KN og 250KN ved en målt rissvidde lik 0,4 mm. Teoretisk beregnete karakteristiske rissvidder for disse lastene er hhv 0,51 mm, 0,51mm 0,53mm. (Den prosentvise forbedringen for  $S_{2,a,b,c}$  bjelkene i forhold til referanse testserien  $S_{1a}$  NB var hhv. 27,5 %, 27,5 % og 32,5 %.)

For Serie  $S_{4,a,b,c}$  (platestripe med SF 50/50) var den registrerte lasten hhv 63KN, 63KN, 70KN ved rissvidde lik 0,4 mm. Beregnete rissvidder for disse lastene er hhv. 0,39 mm, 0,39 mm og 0,43 mm. Her ser man at den beregnete rissvidden for de to første testseriene ( $S_{4,a,b}$ ) er lavere enn målte verdier. Grunnen til dette antas å være at rissvidden ble beregnet som bjelke og ikke som plate.

Testene med PPF (både M6 og M12 med de tre forskjellige tilsattmengdene) gav rissvidde resultater som var langt fra like tilfredsstillende som resultatene fra testene med SF.

Eksempelet nedenfor viser beregningsmetode for rissavstand og rissvide for  $S_{1a}$  med last 180 kN og B55, alle elementene ble beregnet på tilsvarende måte. Målte verdiene ved 0,4 mm er ikke 100 % nøyaktige, som skyldes manuell avlesning ved hjelp av riss måler (kikkert), se *Figur 20*. Verdien kan antas ligge mellom (0,3-0,4) mm.



*Figur 20 - Rissmåler*

## Beregning av Rissavstand ( $S_r$ ) og Rissvidde ( $W_k$ )

Betong: B55

Armering: B500c

$$b := 250 \text{ mm}$$

$$h := 300 \text{ mm}$$

$$\gamma_c := 1.4$$

$$f_{cn} := 39.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{cn}}{\gamma_c} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cd} = 28.429 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{sk} := 500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{sd} := \frac{f_{sk}}{1.25} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

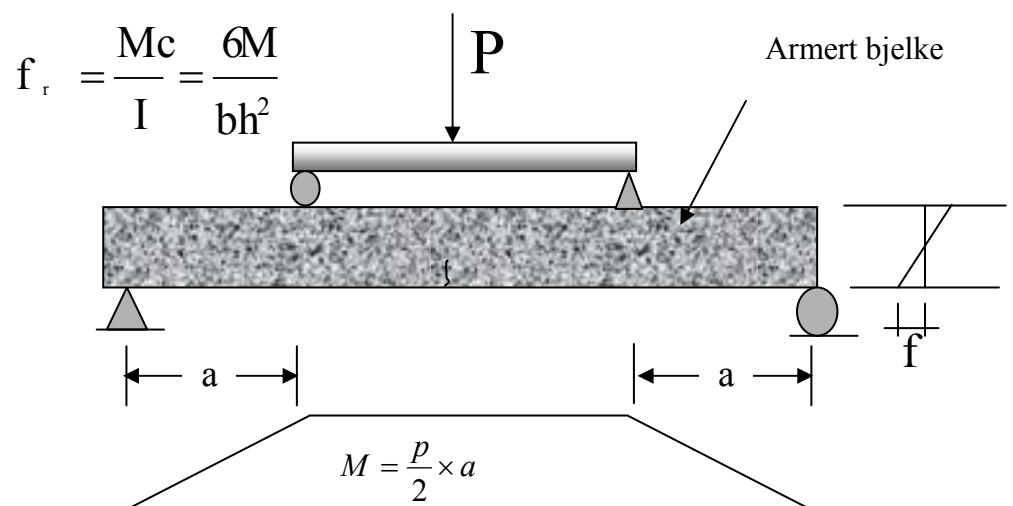
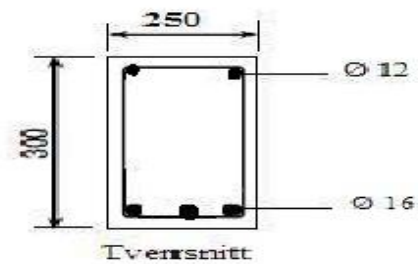
$$f_{sd} = 400 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{tm} := 2.55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{td} := \frac{f_{tm}}{\gamma_c} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{td} = 1.821 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{cck} := 55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Figur 21 - Bjelke posisjon ved test



$$E_{sk} := 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$A_s := 603 \text{ mm}^2$$

### Fullstendig rissviddekontroll :

Moment korttidslaster:  $M_K := 36.0 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

$$N_K := 180 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Moment langtidslast:  $M_L := 0 \text{ Nmm}$

$$N_L := 0$$

$$M_{\text{total}} := M_L + M_K$$

$$M_{\text{total}} = 3.6 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

Korttids E-modul:  $E_{ck} := 9500 \cdot f_{ck}^{0.3}$

$$E_{ck} = 3.161 \times 10^4 \text{ MPa}$$

NS 3473 pkt.A.9.3.2 gir tallverdier for kryptall:

$$\beta_1 := \frac{8.3}{3 + \sqrt{f_{ck}}}$$

$$\beta_1 = 0.797$$

Tabell A.2 NS3473 gir:

Ved hjelp av interpolasjon kan riktig verdi for " $\phi$ " beregnes:

$$P(x) := f_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \cdot (f_2 - f_1)$$

$$\phi := 1.89$$

$$\text{Kryptall} := \beta_1 \cdot \phi$$

$$\phi := 1.434$$

Langtids E-modul:  $E_{cl} := \frac{E_{ck}}{1 + \phi}$

$$E_{cl} = 1.299 \times 10^4 \text{ MPa}$$

Midlere E-modul:

$$E_{cm} := \frac{M_{total}}{\frac{M_K}{E_{ck}} + \frac{M_L}{E_{cl}}}$$
$$E_{cm} = 3.161 \times 10^4 \text{ MPa}$$

Kriteriet for å anta urisset betong:

$$\sigma_M < k_w \cdot \frac{f_{tn}}{k_t}$$

$$M := M_L + M_K$$

$$M = 3.6 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$w := \left(\frac{1}{6}\right) \cdot b \cdot h^2$$

$$w = 3.75 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_M := \frac{M}{w} \quad \rightarrow \quad \sigma_M = 9.6 \text{ MPa}$$

$$k_w := 1.2$$

$$k_t := 1.0$$

$$\rightarrow k_w \cdot \frac{f_{tn}}{k_t} = 3.06 \quad \rightarrow \quad \sigma_M > k_w \cdot \frac{f_{tn}}{k_t} \text{ dvs. Tversnittet risser opp}$$

Bergner rissvidder for stabilisert rissmønster NS 3473 pkt.A.15.6.2.1:

$$S_{ro} := 25 \text{ mm}$$

$$f_{tk} := 3.35$$

$$\tau_{bk} := 4.467$$

$$\left( \frac{f_{tk}}{\tau_{bk}} \right) = 0.75 \quad (\text{Svein I. Sørensen, ref. [3]})$$

$$n := 1$$

$$k_b := 0.15 \cdot n + 0.85 \quad \rightarrow$$

$$k_b = 1$$

$$k_c := \frac{1 + \frac{\epsilon_{II}}{\epsilon_I}}{2}$$

$$\epsilon_{II} := \epsilon_I \cdot \frac{h - \alpha d - h_{cef}}{h - \alpha d}$$

$$d := 300 - 8 - 25 - \left( \frac{16}{2} \right)$$

$$d = 259 \quad \text{mm}$$

$\alpha$  må beregnes i stadium II :

$$\eta := \frac{E_{sk}}{E_{cm}}$$

$$\zeta := \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\alpha := \sqrt{(\eta \cdot \zeta)^2 + 2\eta \cdot \zeta} - \zeta \cdot \eta$$

$$\alpha = 0.289$$

$$\underline{h} := 300 \quad \underline{d} := 259$$

$$h_{cef} := 2.5(h - d)$$

$$h_{cef} = 102.5 \quad \text{mm}$$

$$A_{cef} := h_{cef} \cdot b$$

$$A_{cef} = 2.563 \times 10^4 \quad \text{mm}^2$$

$$\frac{h - \alpha \cdot d - h_{cef}}{h - \alpha \cdot d} = 0.545 \rightarrow \epsilon_{II} := 0.623 \cdot \epsilon_I$$

$$k_c := \frac{1 + \frac{0.623 \cdot \epsilon_I}{\epsilon_I}}{2} \rightarrow k_c := \frac{1 + 0.623}{2}$$

$$k_c = 0.812$$

Diameter armeringsstang:  $\Phi := 16 \text{ mm}$

15  $\Phi = 240 \text{ mm} \rightarrow$

$n_0 := 3$

Karakteristiske rissavstanden  $S_{rk}$ :

$$S_{rk} := 1.7 \cdot \left( S_{ro} + \frac{f_{tk}}{\tau_{bk}} \cdot k_c \cdot \frac{A_{cef}}{\pi \cdot n_0 \cdot \Phi} \right) \rightarrow$$

$$S_{rk} = 218.308 \text{ mm}$$

Krav til rissavstanden:

$$S_{rk} > 2.5c \text{ og } S_{rk} < 2.0(h - \alpha d) \quad c := 25$$

$$2.5 \cdot 25 = 62.5$$

$$2.0 \cdot (h - \alpha \cdot d) = 450.1$$

$$\rightarrow \text{Krav} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } S_{rk} > 2.5 \cdot c \wedge S_{rk} < 2.0 \cdot (h - \alpha \cdot d) \\ \text{"IKKE OK"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Krav = "OK"

Forenklet beregning av Rissviddene :

NS 3473 pkt.15.6.1 gir  $M_{riss}$ :

$$M_{riss} := \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \cdot k_w \cdot \frac{f_{tn}}{k_t}$$

$$M_{\text{riss}} = 1.147 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$\beta_s := 0.6$$

$$\sigma_{s2} := \frac{M_{\text{total}}}{A_s \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot d} \quad \rightarrow$$

$$\sigma_{s2} = 255.116 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sr2} := \frac{M_{\text{riss}}}{A_s \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{3}\right) \cdot d} \quad \rightarrow$$

$$\sigma_{sr2} = 81.318 \text{ MPa}$$

Ifølge ny NS-EN 1992-1-1:2004 + NA:2008 skal det ikke tas hensyn til svinntøyning

Karakteristisk rissvidde:

$$w_k := S_{rk} \cdot \left[ \left( 1 - \beta_s \cdot \frac{\sigma_{sr2}}{\sigma_{s2}} \right) \cdot \frac{\sigma_{s2}}{E_{sk}} \right] \quad \rightarrow$$

$$w_k = 0.225 \text{ mm} \quad w_d := 0.4 \text{ mm}$$

$$w_k < w_d \quad \text{ok}$$

serie	Element type	Fiber i % av BV				$F_{max}$ .	Wk. mm		Fasthetsklasse
		M12	M6	50/50	65/35		Målt ved $F_{max}$	Beregnet	
<b>S1a<sub>ref.NB</sub></b>	<b>Bjelke</b>	-	-	-	-	<b>180</b>	<b>Riss = 0,40 mm</b>	<b>0,22</b>	<b>B55</b>
S2a		-	-	0,70	-	206		0,43	B35
S2b		-	-	1,13	-	239		0,51	B35
S2c		-	-	1,70	-	270		0,58	B45
S3a		-	-	-	0,70	240		0,51	B45
S3b		-	-	-	1,13	240		0,51	B45
S3c		-	-	-	1,70	250		0,53	B35
<b>S1b<sub>ref.NB</sub></b>		<b>Platstripe /bjelke uten bøyle</b>	-	-	-	-		<b>27</b>	<b>Riss = 0,40 mm</b>
S4a	-		-	0,70	-	63	0,39	B35	
S4b	-		-	1,13	-	63	0,39	B35	
S4c	-		-	1,70	-	70	0,43	B45	
S5a	-		0,33	-	-	41	0,25	B25	
S5b	-		0,50	-	-	50	0,30	B35	
S5b	-		0,90	-	-	50	0,31	B30	
S6a	0,33		-	-	-	49	0,30	B35	
S6b	0,50		-	-	-	50	0,42	B45	
S6c	0,90		-	-	-	40	0,30	B35	

Tabell 9 - Beregnete og målte  $w_k$  ved  $F_{max}$

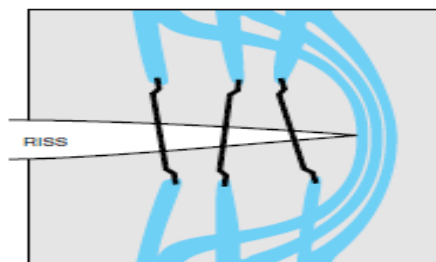
## 5. Fibrenes effekt på riss:

Tilsetning av fiber som et middel for å forbedre betongens rissegenskaper, dvs. for å oppnå redusert rissvidde, vil i mange tilfeller også øke bæreevnen til et konstruksjonselement. Som tidligere nevnt, ved tilsetning av stålfiber forbedres egenskapene til betong i strekk, fordi stålfibrene minsker rissvidden og overfører spenninger over risset. Stålfiber kan på den måten hjelpe konvensjonell armering med å oppta strekkklaster. Dette kan for en gitt dimensjoneringslast medføre, at det kan spares konvensjonell armering, og at konstruksjonens dimensjoner kan reduseres.

Polypropylenfibrene M12 og M6 kan tilsettes i fersk betong enten ved å blandes med tørrmaterialene eller etter tilsatt vann, men bør tilsettes etter vannet fordi får å unngå fnokking og de lette plastfiberne vil ellers sveve opp i tørrmassen og ikke blande seg [13]. Hensikten med PPF er å forbedre kohesjonen i den ferske blandingen, samt motvirke synlige rissdannelse forårsaket av plastisk svinn i betong.

### 5.1 Fibers oppførsel:

Som vist i *Figur 2* kan arbeidsdiagrammet i strekk for en betong uten stålfiber beskrives med en rettlinje frem til bruddtilstand. Tilsetning av stål fiber endrer betongens strekkegenskaper. For det første oppnås en pålitelig strekkstyrke, som kan tas med i dimensjoneringsberegninger. For det andre oppnås enn større bruddforlengelse, se eksperimentelle tester *Tabell 5 og Appendiks.4*. Den tredje og viktigste endringen er at spenningen avtar jevnt med økt deformasjon etter at den maksimale last er oppnådd [35], dette ble også observert under testene i denne oppgaven. Nøkkelord i forbindelse med fibrenes virkemåte er rissfordeling, spenningsoverføring og sprekkstansning, SE *Figur 22*. Tilsetning av PPF medfører at det dannes et stabilt mikroriss-system ved belastning, på en slik måte at begynnende mikroriss ikke utvikler seg til få fatale makroriss[37]. Dette skjer fordi fibrene er i stand til enten å fordele eller stanse mikroriss.



*Figur 22 - Stålfibre hindrer et riss i å vokse ved å overføre spenningene over risset*

Når tøyningen lokaliserer seg i makroriss, som typisk vil forekomme i fiberbetong med et lavere fiberinnhold, virker fibrene ved å overføre spenninger over disse makrorissene. (Se *Figur 16 og Figur 22.*)

Når rissene i en betong åpnes trekkes fiberne ut av betongen og danner bro. Utrekningsprosessen starter med utskillelsesbrudd i grenseflaten mellom fiber og sementpasta. Prosessen går raskere når man har Lett tilslag/ Leca, fordi hulrom i betongen medfører svak hefting mellom fibrene og tilslaget. Motstanden mot uttrekking styres av friksjon mellom fiber og sementpastaen. Effektiviteten av fiber med hensyn på å forbedre en betongs strekkeegenskaper er kontrollert av prosessen, som overfører last fra sementpastaen til fibrene. I de tidlige belastningsfasene, dvs. før det har oppstått riss, er spenningsoverføringen elastisk, og spenningen i grenseflaten mellom fibrene og den omsluttende sementpastaen opptrer som skjærspenninger [23]. Da E-modulene til fibrene og den omsluttende sementpastaen er forskjellige, er skjærspenninger nødvendige for å fordele den ytre last mellom fiber og sementpasta, slik at tøyningen i de to komponenter ved grenseflaten er like. Når første riss er dannet, oppstår et utskillelsesbrudd mellom fiber og sementpasta, og fibrene sklir i forhold til sementpastaen. Friksjonsspenninger antas i denne fasen å være jevnt fordelt som skjærspenninger grenseflaten mellom fiber og sementpasta.

## **5.2 Rissutviklingsprosess i fiberbetong:**

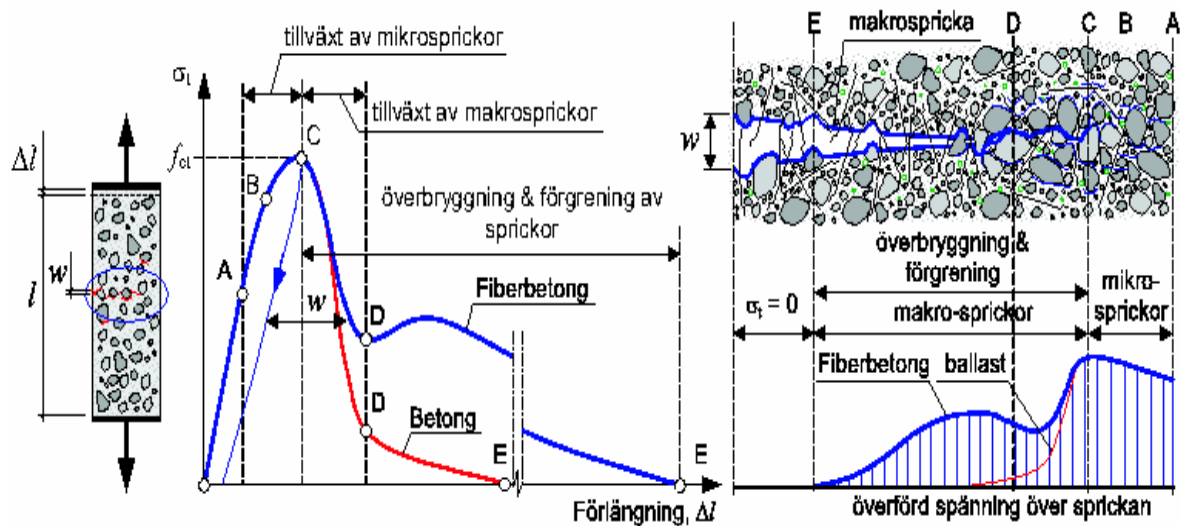
Innblanding av stålfibrer øker betongens seighet både i vanlig betong og i høyfast betong. Seigheten øker i takt med fiberdoseringen. Fibrene har ingen større innvirkning på den oppsprukne betongens egenskaper foruten at de begynner å virke etter oppsprekningen [21]. Fiberne tar last først når sprekvidden er ca 0,05 mm, Løfgren (2005) [22], og hjelper da til å overføre spenninger over sprekker opp til relativt store sprekåpninger. Innblanding av fibrer har også en sprekfordelende effekt, dvs. betongen får flere mindre sprekker istedenfor få og store, ref. [22]. Dette ble registrert i testene med stålfiber i denne oppgaven, mens for polypropylen fiber varierte resultatene for både rissavstand og rissvidde.

*Figur 23, ref. [22]*, viser forskjellen i respons for to typer betong, den ene med og den andre uten fibrer, som blir utsatt for strekkbelastning. I begge tilfellene innledes deformasjonen med en lineær del fra origo opp til punkt A. Allerede innenfor denne sonen finnes mikrosprekker i betongmatrisen, som oppstod under herdingen der hvor betongen hadde svekkelser, som regel



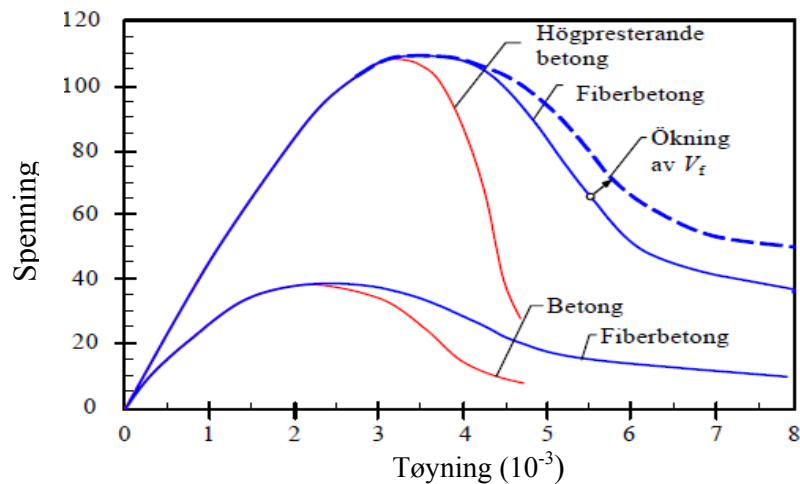
i overgangssonen mellom tilslagsmateriale og sementpasta. I denne første lineære delen skjer det ingen tilvekst av mikrosprekker.

Ved økt belastning opp til materialets maksimale strekkfasthet,  $f_{ct}$ , følger en ulineær del (A-B-C) med tilvekst av mikrosprekker. I denne del hjelper tilslagsmaterialet til med å overføre spenninger over sprekkene. I del området (C-D) vokser mikrosprekkene sammen og danner makrosprekker. Tilslagsmaterialet evne til å overføre spenning mellom sprekkene reduseres gradvis, samtidig som fibre i betongen begynner å hjelpe til ved å danne broer over mikrosprekkene. Fibrene motvirker dermed tilvekst av mikrosprekker, dvs. de øker materialets seighet/ duktilitet



Figur 23 - Respons ved strekk for fiberbetong og betong, spenningslengdeendring [22]

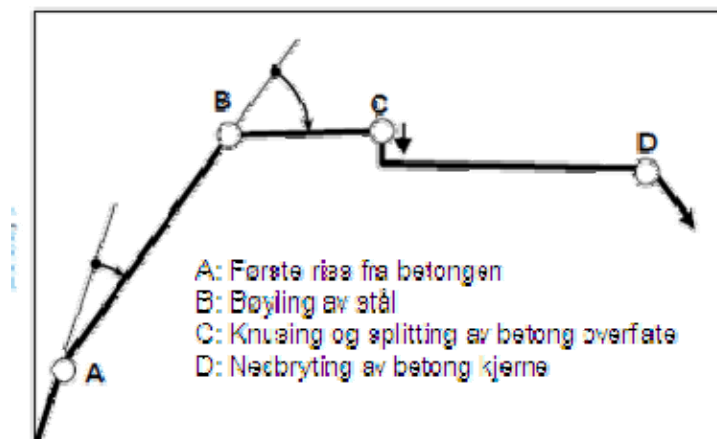
Figur 24 viser et skjematisk bilde av forskjellen i respons for to typer betong som blir utsatt for trykkbelastning[34], den ene med og den andre uten fibrer. Med fibrer oppnås økt seighet i materialet. Effekten er spesielt stor for ”høypresterande”(høyfast) betong og synes å øke med økende fibermengde.



Figur 24 - Spennings-tøyning diagram for vanlig og høypresterende betong med og uten fiber

### 5.3 Duktilitet og nedbøyning ( $\delta$ ):

En typisk last- deformasjon kurve for normal betong er vist i Figur 25. Kurven er karakterisert av fire tydelig forskjellige segmenter separert av fire signifikante hendelser som inntreffer under lastpåføringen. Disse hendelsene, hvor betongelementet endrer sine egenskaper, er merket som A, B, C og D i Figur 25, og utpeker hhv første riss av betong, tøyning i stålarmering, knusing og splitting av betong overflate og endelig nedbryting av betong



Figur 25 - Brudd faser for bjelker

Alle bjelkene ble testet på en måte som ligner på de ovennevnte beskrivelse. Men som kan ses fra resultatene i *Appendiks 7*, varierer lengdene av de forskjellige segmentene i deformasjonskurvene, fordi disse avhenger av den relative størrelse av de undersøkte parametrene. Figur 28 til Figur 32 viser forholdet mellom last og rissvidde for de forskjellige bjelkene og platestripene som ble testet i denne oppgaven. I hver figur blir forholdet mellom last og rissvidde for fiberarmert lett betong sammenlignet med forholdet mellom last og rissvidde for referanseelementet (konvensjonell armert betong).

I følge NS [4] er rissvidde et dimensjonerende parameter. I testene ble derfor maks last definert som den lasten som forårsaket en rissvidde på 0,4 mm (0,3- 0,4 målt manuelt i intervall). Maks last og tilhørende nedbøyning (målt maskinelt i intervall) som er vist i *Tabell 11* til *Tabell 15* er sammenlignet med teoretiske beregninger i *Tabell 9*.

Venstre kolonne i *Figur 28* til *Figur 32* viser tydelig effekten som ulike parametere har på duktiliteten til betong. Figurene viser at mengden og type fibere har stor innvirkning på duktiliteten. *Tabell 11* viser for bjelker med SF50/50, S<sub>2a,b,c</sub> med hhv. tilsatte mengder 0,7%, 1,13% og 1,7%, en kraftig økning i nedbøyning (ved 0.4mm rissvidde) hhv lik 56%, 170% og 170% i forhold til referanse elementet S1<sub>ref.NB</sub>. *Tabell 12* viser for bjelker med SF65/35, S<sub>3a,b,c</sub>, med hhv. tilsatte mengder 0,7%, 1,13% og 1,7%, en økning i nedbøyning (ved 0.4mm rissvidde) hhv. lik 96%, 74%, og 74%. *Tabell 13* viser for platestripe med SF50/50, S<sub>2a,b,c</sub> med hhv. tilsatte mengder 0,7%, 1,13% og 1,7%, en økning i nedbøyning (ved 0.4mm rissvidde) hhv lik 21,4%, 21,4% og 42,9%. *Tabell 14* viser for platestripe med PPF M6, S<sub>5a,b,c</sub> med hhv tilsatte mengder 0,33%, 0,5% og 0,9%, en endring i nedbøyning (ved 0.4mm rissvidde) hhv lik -5,4 %, 3,6% og 28,6%. *Tabell 15* viser for platestripe med PPF M12 S<sub>6a,b,c</sub> med hhv tilsatte mengder 0,33%, 0,5% og 0,9%, en endring i nedbøyning (ved 0.4mm rissvidde) hhv lik -1,8%, 25,0% og 0,0%. Ut fra disse resultatene kan man konkludere med at stålfiber i betongen øker duktiliteten. Ut fra resultatene kan man ikke trekke samme konklusjon for PPF-betong, da denne viser varierende resultater med hensyn på nedbøyning og duktilitet. Grunnen til dette antas å skyldes den lave E modulen til PPF, og at PPF dekket et større volum i betongen som medførte at betongen ble sprøere.

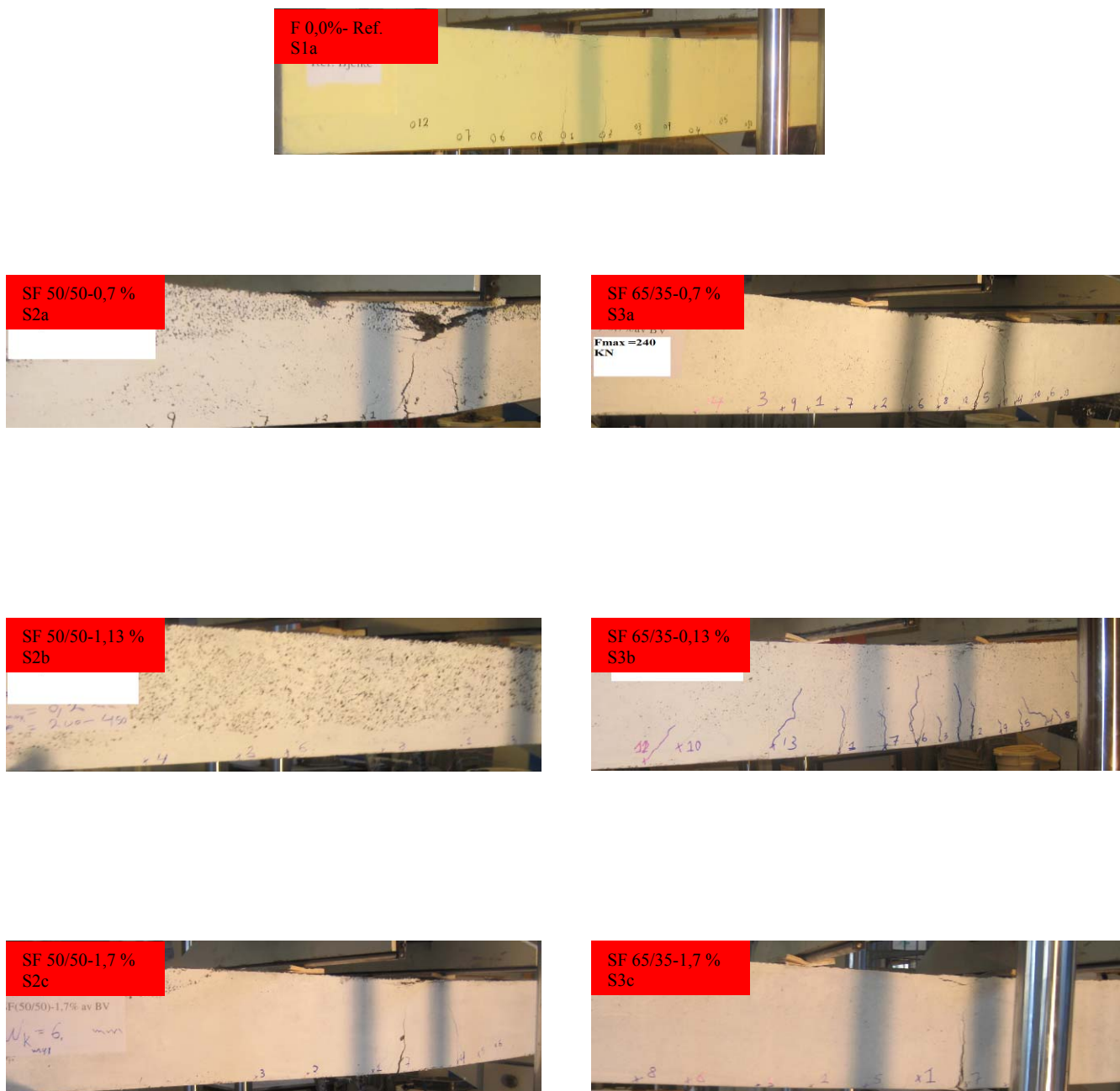
serie	Element type	Fiber i % av BV				Kraft i kN		Nedbøyning i mm	
		PPF		SF		Ved riss 0,4mm	Ved brudd i kN	Ved riss 0,4mm	Ved brudd i kN
		M12	M6	50/50	65/35				
<b>S1a<sub>ref. NB</sub></b>	<b>Bjelke</b>	-	-	-	-	<b>180</b>	<b>237,8</b>	<b>11,5</b>	<b>22</b>
S2a		-	-	0,70	-	206	209,7	18	32,70
S2b		-	-	1,13	-	239	239,0	31	28,80
S2c		-	-	1,70	-	270	283,0	31	33,88
S3a		-	-	-	0,70	240	266,9	22	41,00
S3b		-	-	-	1,13	240	284,5	20	37,00
S3c		-	-	-	1,70	250	272,0	20	42,00
<b>S1b<sub>ref. NB</sub></b>	<b>Platetriple/ bjelke uten bøyle</b>	-	-	-	-	<b>27</b>	<b>55,80</b>	<b>28</b>	<b>50,00</b>
S4a		-	-	0,70	-	63	63,63	34	39,00
S4b		-	-	1,13	-	63	64,30	34	36,00
S4c		-	-	1,70	-	70	72,90	40	39,90
S5a		-	0,33	-	-	41	46,70	26	32,00
S5b		-	0,50	-	-	50	62,70	32	41,90
S5c		-	0,90	-	-	50	54,77	28	40,90
S6a		0,33	-	-	-	49	54,22	39	35,51
S6b		0,50	-	-	-	50	52,10	35	36,00
S6c		0,90	-	-	-	40	42,36	28	29,36

Tabell 10 - Nedbøynings verdier  $\delta_{max}$  ved  $F_{max}$

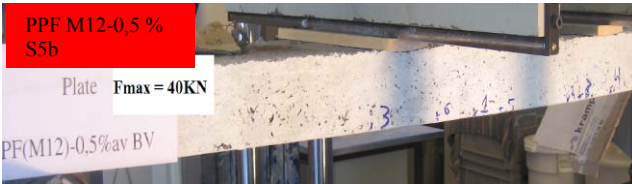
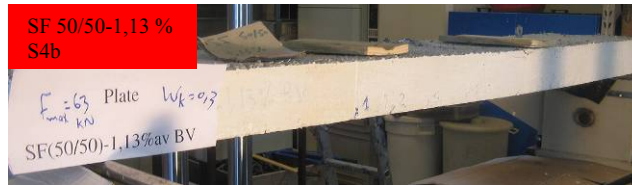
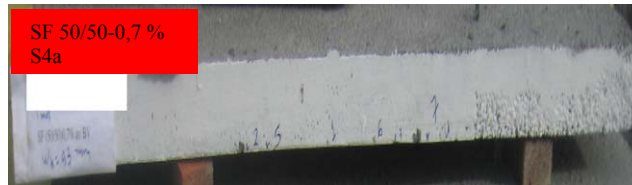
#### 5.4 Riss og maksimum rissvidde $W_k$ :

Bøyesprekking innen Sentral- sonen, den som ligger mellom to lastpunkter på bjelken representerer den første signifikant hendelse som resulterer i en endring i retning av lastbøyningen kurven, se *Figur 25*. Sammendrag av belastningene ved første riss ( $w_{k \min} = 0,05\text{mm}$ ) og maks riss ( $w_{k \max} = 0,40\text{mm}$ ) av testelementene er vist i *Tabell 7*, og detaljerte intervallavlesninger er presentert i *Tabell 11* til *Tabell 15*. En nøye vurdering av disse verdiene avdekker at dannelse av bøyesprekking er hovedsakelig påvirket av betongens fasthet samt tøyning i PPF, SF og stålstang armering.

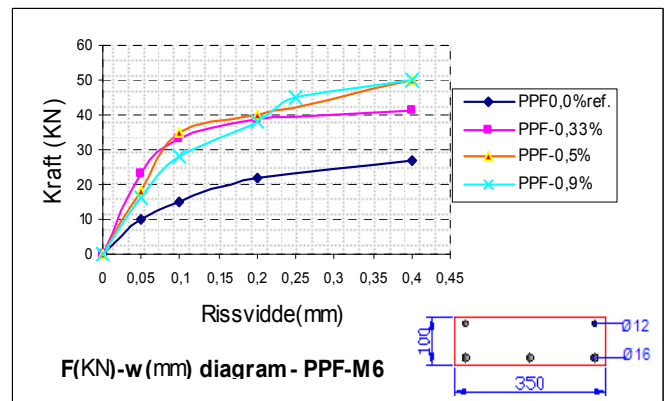
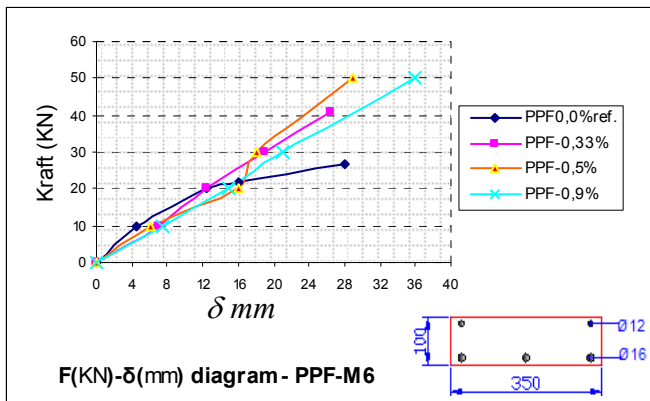
*Figur 26* og *Figur 27* viser sprekkemønstre langs elementene som ble testet. Det kan sees at rissavstand er økt med tilsatt stålfiber, mens antall overflateriss varierer fra element til element. Ifølge både teoretiske beregninger og målte verdier reduseres rissvidden betydelig når stålfiber mengden økes. Det kommer tydelig frem ved høy prosentmengde av SF.



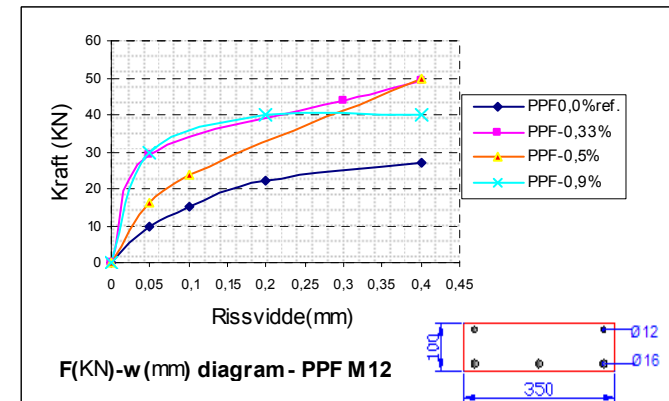
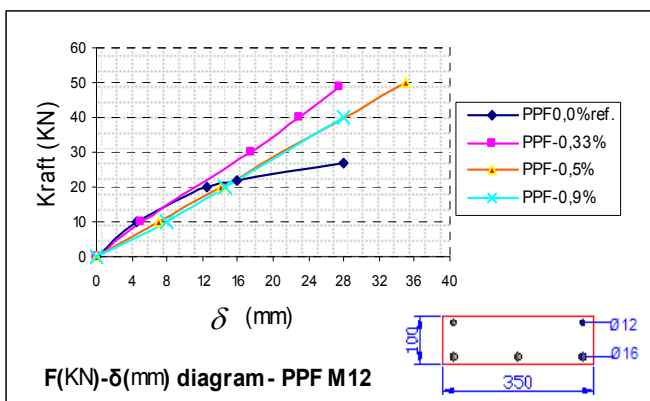
*Figur 26 - Deformasjon av bjelker og rissmønster*



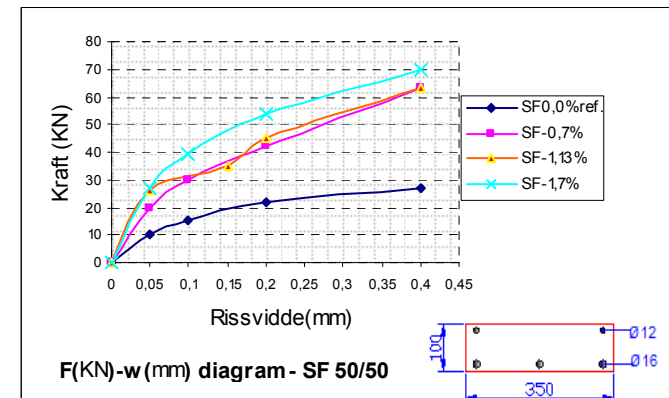
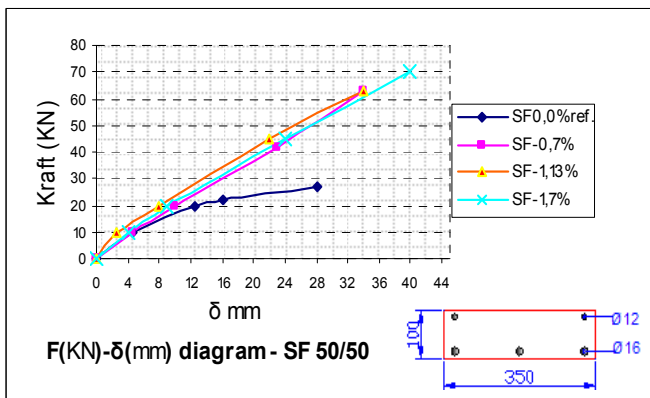
Figur 27 - Deformasjon av Platestripe og rissmønster



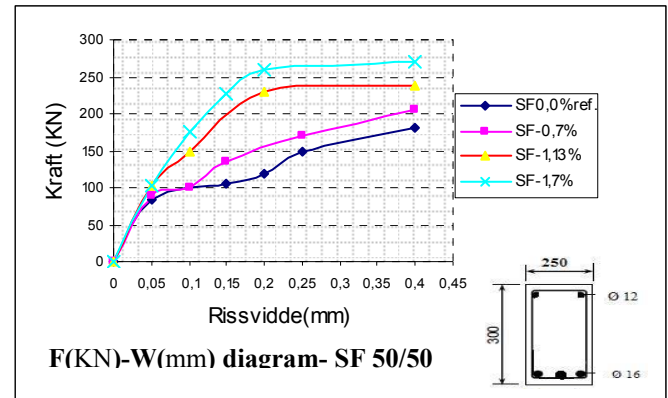
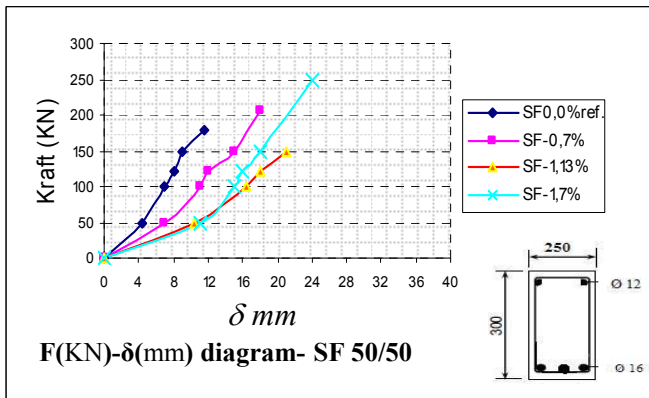
Figur 28 - S1b,S5a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall



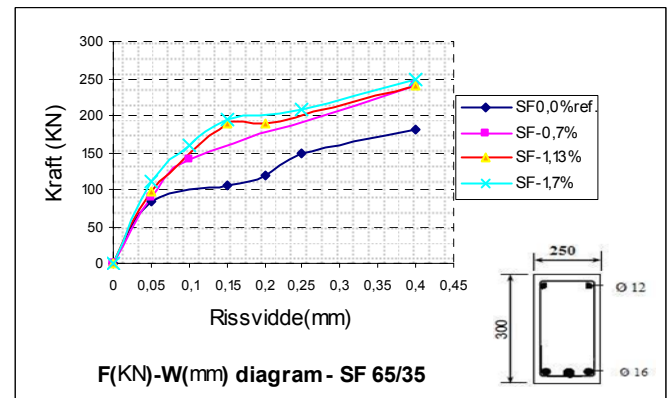
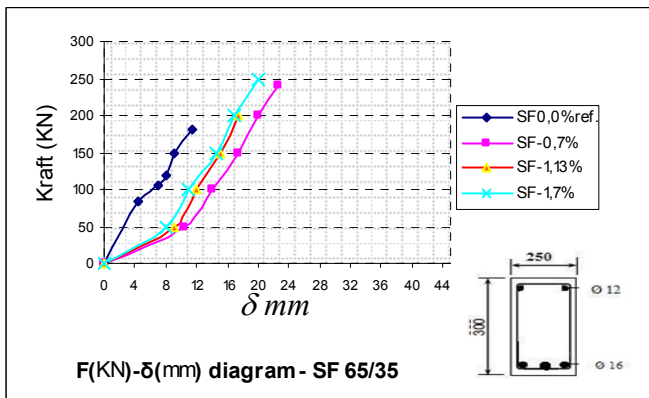
Figur 29 - S1b,S6a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall



Figur 30 - S1b,S4a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall



Figur 31 - S1a,S2a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall



Figur 32 - S1a,S3a,b,c - nedbøyning og rissvidde i intervall



SF50/50- Bjelke- nedbøyning							
SF0,0% ref.NB		SF-0,7%		SF-1,13%		SF-1,7%	
F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
50	4,5	50	7	50	10,5	50	11
100	7	100	11	100	16,5	100	15
120	8	120	12	120	18	120	16
150	9	150	15	150	21	150	18
180	11,5	206	18	239	31	250	24
						270	31

SF-50/50- Bjelke- rissvidde							
SF0,0% ref.NB		SF-0,7%		SF-1,13%		SF-1,7%	
F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
84	0,05	90	0,05	102	0,05	104	0,05
105	0,15	101	0,1	150	0,1	175	0,1
120	0,2	135	0,15	230	0,2	226	0,15
150	0,25	170	0,25	239	0,4	260	0,2
180	0,4	206	0,4			270	0,4
200	1,35						

Tabell 11 - S1a, S2a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall

SF-65/35- Bjelke- nedbøyning							
SF0,0% ref.NB		SF-0,7%		SF-1,13%		SF-1,7%	
F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
84	4,5	50	10,5	50	9	50	8
105	7	100	14	100	12	100	11
120	8	150	17,5	150	15	150	14,5
150	9	200	20	200	17,5	200	17
180	11,5	240	22,5	240	20	250	20

SF-65/35- Bjelke- rissvidde							
PPF0,0% ref.NB		SF-0,7%		SF-1,13%		SF-1,7%	
F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	w <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
84	0,05	89	0,05	96	0,05	110	0,05
105	0,15	140	0,1	189	0,15	160	0,1
120	0,2	240	0,4	190	0,2	195	0,15
150	0,25			240	0,4	209	0,25
180	0,4					250	0,4

Tabell 12 - S1a, S3a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall

SF-50/50- Platestripe- nedbøyning							
SF0,0% ref.NB		SF-0,7%		SF-1,13%		SF-1,7%	
F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	4,5	10	4,5	10	2,5	10	4
20	12,5	20	10	20	7,8	20	9
22	16	42	23	45	22,1	45	24
27	28	63	34	63	34	70	40

SF-50/50- Platestripe- rissvidde							
SF0,0% ref.NB		SF-0,7%		SF-1,13%		SF-1,7%	
F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,05	20	0,05	26	0,05	27	0,05
15	0,1	30	0,1	35	0,15	39	0,1
22	0,2	42	0,2	45	0,2	54	0,2
27	0,4	63	0,4	63	0,4	70	0,4

Tabell 13 - S1b, S4a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall

PPF-M6- Platestripe- nedbøyning							
PPF0,0% ref.NB		PPF-0,33%		PPF-0,5%		PPF-0,9%	
F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	4,5	10	7	10	6	10	7,5
20	12,5	20	12,5	20	16	20	15
22	16	30	19	30	18	30	21
27	28	41	26,5	50	29	50	36

PPF-M6- Platestripe- rissvidde							
PPF0,0% ref.NB		PPF-0,33%		PPF-0,5%		PPF-0,9%	
F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,05	23	0,05	18	0,05	16	0,05
15	0,1	33	0,1	35	0,1	28	0,1
22	0,2	39	0,2	40	0,2	38	0,2
27	0,4	41	0,4	50	0,4	45	0,25
						50	0,4

Tabell 14 - S1b, S5a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall

PPF-M12- Platestripe- nedbøyning							
PPF0,0% ref.NB		PPF-0,33%		PPF-0,5%		PPF-0,9%	
F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	δ <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	4,5	10	5	10	7	10	8
20	12,5	30	17,5	20	14	20	14,5
22	16	40	23	50	35	40	28
27	28	49	27,5				

PPF-M12- Platestripe- rissvidde							
PPF0,0% ref.NB		PPF-0,33%		PPF-0,5%		PPF-0,9%	
F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm	F <sub>max</sub> KN	W <sub>max</sub> mm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,05	29	0,05	16	0,05	30	0,05
15	0,1	44	0,3	24	0,1	40	0,2
22	0,2	49	0,4	50	0,4	40	0,4
27	0,4						

Tabell 15 - S1b, S6a,b,c-nedbøyning og rissvidde i intervall

## 6. Konklusjon

Denne oppgaven/studien beskriver virkningene som fiber har på sprekking av betong, og inkludere resultater fra tester der ulike parametere har blitt variert. Parametrene inkluderer bruk av fiber laget av to ulike materialer (polypropylen og stål), fiber av ulike lengder og diametre samt ulike volumfraksjoner av fiber fra 0,33 til 1,7% av BV. Basert på testresultatene kan følgende konklusjoner trekkes:

- (1) Trykkfastheten til lettvekt betong, som ble funnet ved hjelp av trykktesting av betongterninger, ble bare litt forbedret ved tilsetning av stålfiber, mens den ble redusert ved tilsetning av PPF.
- (2) Spaltstrekkfastheten til lettvekt betong ble forbedret både ved tilsetning av stålfiber og ved tilsetning av PPF.
- (3) Nedbøyning og duktilitet til lettvektbetong ble hovedsakelig forbedret ved tilsetning av stålfiber. Ut fra resultatene kan man ikke trekke samme konklusjon for PPF-betong, da denne viser varierende resultater med hensyn på nedbøyning og duktilitet. Grunnen til dette antas å skyldes den lave E modulen til PPF, og at PPF dekket et større volum i betongen som medførte at betongen ble sprøere.
- (4) De eksperimentale resultatene viser at volumprosenten ( $V_f\%$ ) og type av fiberutførelse er de to meste innflytelsesrike parametrene ved sprekking av betong. Testresultatene viser at varierende volumprosent av fiber med konstant fiberlengde og lengde/diameterforhold ikke har noen signifikant innvirkning på rissavstand, mens rissvidden derimot blir kraftig forbedret. Testresultatene viser også at strekkfastheten til betongen ble kraftig forbedret ved tilsetning av stålfiber, mens tilsetning av polypropylenfiber hadde mindre effekt på strekkfastheten.
- (5) I testene med stålfiber hadde innblanding av fibrer en sprekkefordelende effekt, dvs. betongen fikk flere mindre sprekker istedenfor få og store, mens for testene med polypropylen fiber varierte resultatene for både rissavstand og rissvidde.

## Tabeller & Figurer

<i>Figur 1 - Strekkarbeidsdiagram for uarmert betong</i> .....	9
<i>Figur 2 - Strekkarbeidsdiagram for normal armert betong</i> .....	9
<i>Figur 3 - Strekkarbeidsdiagram for stålfiberarmert betong</i> .....	10
<i>Figur 4 - Stålfiber typer</i> .....	11
<i>Figur 5 - Plastfiber typer</i> .....	12
<i>Figur 6 - Fordelingskurve for tilslag benyttet i LWAC - testene</i> .....	18
<i>Figur 7 – Skjematisk produksjonsprosess for sement[42 ]</i> .....	19
<i>Figur 8 - Ferdig armerte bjelker og forskaling</i> .....	21
<i>Figur 9 - Plate stripe under støping</i> .....	22
<i>Figur 10 - Kraftfordeling på sylinder</i> .....	26
<i>Figur 11 - Test av Spaltestrekkfasthet</i> .....	27
<i>Figur 12 - Trykktest av betongterning</i> <i>Figur 13 - Oppsett for bestemmelse av</i> .....	29
<i>Figur 14 - Detalj-tegning av armert bjelke</i> .....	32
<i>Figur 15 - Detalj-tegning av armert platestripe</i> .....	34
<i>Figur 16 - Rissfase diagram</i> .....	36
<i>Figur 17 - Modell for å betrakte rissavstand for fiberarmerte tverrsnitt</i> .....	38
<i>Figur 18 - Spenning rissviddeg forhold</i> .....	40
<i>Figur 19 - Effektivt betong areal[3]</i> .....	43
<i>Figur 20 - Rissmåler</i> .....	46
<i>Figur 21 - Bjelke posisjon ved test</i> .....	47
<i>Figur 22 - Stålfibre hindrer et riss i å vokse ved å overføre</i> .....	54
<i>Figur 23 - Respons ved strekk for fiberbetong og beton, spenningslengdeendring [22]</i> .....	56
<i>Figur 24 - Spenningstøynings diagram for vanlig og høyfast betong med og uten fiber</i> .....	57
<i>Figur 25 - Brudd faser for bjelker</i> .....	57
<i>Figur 26 - Deformasjon av bjelker og rissmønster</i> .....	60
<i>Figur 27 - Deformasjon av Platestripe og rissmønster</i> .....	61
<i>Figur 28 - S1b,S5a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall</i> .....	62
<i>Figur 29 - S1b,S6a,b,c - nedbøyning og rissvidde i intervall</i> .....	62
<i>Figur 30 - S1b,S4a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall</i> .....	62
<i>Figur 31 - S1a,S2a,b,c-nedbøyning og rissvidde i intervall</i> .....	63
<i>Figur 32 - S1a,S3a,b,c –nedbøyning og rissvidde i intervall</i> .....	63

<i>Tabell 1 - Stålfiber egenskaper .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabell 2 - Polypropylen egenskaper.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabell 3 - Størrelsesfordeling for tilslag benyttet i LWAC- testene .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabell 4 - Eksempel på proporsjonering.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabell 5 - Spaltetrekkfasthetsresultater.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabell 6 - Trykkfasthet resultat .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabell 7 - Nedbøyning ved <math>w_{k\max}</math> .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabell 8 - Grenseverdier for beregningsmessig <math>w_k</math>.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabell 9 - Beregnete og målte <math>w_k</math> ved <math>F_{\max}</math> .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabell 10 - Nedbøynings verdier <math>\delta_{\max}</math> ved <math>F_{\max}</math>.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabell 11 - S1a, S2a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabell 12 - S1a, S3a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabell 13 - S1b, S4a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabell 14 - S1b, S5a,b,c- nedbøyning og rissvidde i intervall .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabell 15 - S1b, S6a,b,c-nedbøyning og rissvidde i intervall .....</i>	<i>65</i>

## Referanser

[1-45]

- [1] M. t. a. K. W. Y. Ma, *Effect of different geometric polypropylene fibres on plastic shrinkage cracking of cement mortars*, 200092, vol. 35, Shanghai, 2001.
- [2] Wikipedia. "[http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_reinforced\\_concrete.](http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_reinforced_concrete)"
- [3] S. I. Sørensen, *Betongkonstruksjoner: armert betong og spennbetong*, Trondheim: Tapir akademisk for l., 2005.
- [4] N. Standard, *Konstruksjonsstandardene NS 3472:2001, NS 3473:2003, NS 3491-4:2002, NS-EN 1990:2002+NA:2008, NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 og NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008*, Oslo: pronorm.
- [5] N. Standard, *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner, Del 1-1, Allmenne regler og regler for bygninger*, Lysaker: Standard Norge, 2008.
- [6] N. Standard, *Plast: støpe- og ekstruderingsmaterialer av polypropylen (PP), Del 2, Tillaging av prøvelegemer og bestemmelse av egenskaper (ISO 1873-2:2007)*, Oslo: Pronorm, 2008.
- [7] Standard, *Sementprøving - Prøving av pozzolanitet i pozzolan sement, NS-EN 196-5*, Oslo, 1995.
- [8] Standard, *Prøving av fersk betong, NS-EN 12350-del1-7*, Oslo: Pronorm, 2000.
- [9] Standard, *Spesifikasjon, egenskaper, fremstilling og samsvar, NS-EN 206-1*, Oslo, 2001.
- [10] Standard, *Prøving av herdnet betong, NS-EN 12390 del 1-7*, Oslo: Pronorm, 2001.
- [11] Standard, *Lett tilslag for betong, mørtel og injiseringsmasse, NS-EN 13055-1*, Oslo: Pronorm, 2002.
- [12] Standard, *Uarmert, stålfiberarmert og armert betong, NS 3121*, Oslo, 2003.
- [13] Sika, *Produkt håndbok*, p.^pp. 19, Oslo: Sika Norge AS, 2006.
- [14] S. Sandbakk, *Influence of fibbers' on cracking due to plastic and drying shrinkage*, Trondheim: SINTEF Building and Infrastructure, 2007.
- [15] N. B.-Y. a. K. Sakai, "Fibres reinforced concrete: Toughness Under Special Conditions ", Elsevier Science Ltd, 1998, pp. 393-404
- [16] B. Persson, *Plastisk krympning hos selv komprimerende betong uten byggfukt*, Lunds Teknisk Høyskole, LUND, 2003.

- [17] P. S. Songa, J.C. Wub, S. Hwangc and B.C. Sheuc, "Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete - <http://www.sciencedirect.com>," Department of Civil Engineering, Dahan Institute of Technology, 2005, pp. 393-399
- [18] A. E. Naaman, Wongtanakitcharoen, Thanasak, Hauser, Gabriel "Influence of Different Fibers on Plastic Shrinkage Cracking of Concrete, [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_qa5360/is\\_200501/ai\\_n21367901/pg\\_2?tag=content:coll1](http://findarticles.com/p/articles/mi_qa5360/is_200501/ai_n21367901/pg_2?tag=content:coll1)," 2005.
- [19] A. M. Neville, and J. J. Brooks, *Concrete technology*, Harlow: Longman Scientific & Technical, 1987.
- [20] E. Mariero, *Betongkonstruksjoner*, 2005.
- [21] F. Majdzadeh, "Shear strength of reinforced concrete beams with a fiber concrete matrix," Canadian access to full text made available through the Depository Services Program, 2006 pp. 726–734.
- [22] I. Løfgren, *Fiberarmerad betong for ett industrialiserat platsgjutet byggande*, 2005.
- [23] B. S. A. A. a. D. A. Lange, *A New Look at Tensile Creep of Fiber Reinforced Concrete*, 2003.
- [24] S. E. International, *Verification of Serviceability for Steel fiber Reinforced Concrete in Tunnelling*, 1992.
- [25] E. U. B. E. III, *Pumping of lightweight aggregate concrete based on expanded clay in Europe*, 2000.
- [26] I. Holand, *High strength concrete in Norway: utilization and research*, [Oslo]: [Norwegian Concrete Association], 1993.
- [27] T. H. W. H S Lim<sup>1</sup>, M A Mansur<sup>2</sup> and K H Kong<sup>1</sup>, *Flexural behaviour of reinforced Light weight aggregate concrete beams*, 2006.
- [28] P. Gjerp, M. Opsahl, and S. Smeplass, *Grunnleggende betongteknologi*, Lillestrøm: Byggenæringens forl., 2004.
- [29] P. C. Fibers. "Monofilament Fibers."

- [30] Å. L. Døssland, "Fibre reinforcement in load carrying concrete structures: laboratory and field investigations compared with theory and finite element analysis," Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Structural Engineering, Trondheim, 2008.
- [31] N. Betongforening, *Praktisk betongteknologi for Produksjon- og kontrollleder, Formann/BAS(U1)*, 2007.
- [32] D. betongforening, *Praktiske anvendelse av fiberbetong*, Ingeniørforeningen i Danmark, København, 1995.
- [33] L. Berntsson, *egenskaps redovisning før xl-betong*, Göteborg, 1991.
- [34] J. BENGTTSSON, and D. SIGSTRØM, *Stålfiberarmert betong - En økonomisk jamførelse*, Chalmers Tekniske høyskole, Øteborg, 2007.
- [35] Z. Z. a. F. Ansari, "Crack tip opening displacement in micro-cracked concrete by an embedded optical fiber sensor ", Department of Civil and Materials Engineering, University of Illinois at Chicago, 2005, pp. 2505-2518.
- [36] T. L. Anderson, *Fracture mechanics: fundamentals and applications*, Boca Raton, Fla.: Taylor & Francis, 2005.
- [37] P. S. F. M. A.M. Alhozmairy, "Mechanical Prosperities of Polypropylene fibre reinforced concrete and the effect of pozzolanic materials," *Elsvier*, pp. 85-92, 20.October 1995, 1995.
- [38] *Influence of Polyolefin Fibers on the Engineering characteristics of Concrete-*  
<http://reference.ksu.edu.sa/pdf/2022-SEO%20in%20arabic%20sites/2224-plants%20in%20saudi%20arabia/2141biomedical%20research.pdf>
- [39] *Materials and general properties of concrete*, 1991.
- [40] "Polyolefin based fiber material."  
<http://reference.ksu.edu.sa/pdf/2022-SEO%20in%20arabic%20sites/2224-plants%20in%20saudi%20arabia/2141biomedical%20research.pdf>.
- [41] "8th International Symposium on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures- [www.concrete.org.uk](http://www.concrete.org.uk)," *fib-news-CEB-FIB*, September 2007, 2007.Polymer Reinforcement for Concrete Structures," *fib-news-CEB-FIB*, September 2007, 2007.
- [42] Malvern. "Cement Industry."



<http://www.malvern.com/malvern/malvernreg.nsf/contactus?readform>.

- [43] S. Grunewald, "Performance-based design of self-compacting fiber reinforced concrete," technisch Universiteit darmstadt, Duitsland, 2004.
- [44] Norcem, *Betong Boka*, p.^pp. 130-131, Oslo: Norcem, 2004.
- [45] S. u. T. r. Burak Felekog˘lu \*, Yig˘it Altuntas [www.elsevier.com/locate/cemconcomp](http://www.elsevier.com/locate/cemconcomp).  
"Effects of steel fiber reinforcement on surface wear resistance of self-compacting repair mortars"

## **Appendiks**

- 1. Resepter for alle blandinger 1a-1p**
- 2. Tilsetningsstoff (Dynamon SX-N)**
- 3. Lett tilslag (Leca) 3a og 3b**
- 4. Stål (4a og 4b)- Polypropylen (4c og 4d) fiber**
- 5. Trykktest resultat**
- 6. Spaltestrekktest resultat**
- 7. Bjelke- platestripe test resultat**

<b>Prosj./id.:</b>	<b>HWAC</b> <b>Navn på serie S1a,b.0,0%F av BV</b>
--------------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	30.01.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Industri sement	352,1	31,692			31,692	
Slikastøv	17,6	1,585	0	0,000	1,585	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	154,9	13,945		-1,735	12,210	13,291
Absorbert vann	12,0	1,082			1,082	
Sand 0-5 mm	832,1	74,888	1,5	1,123	76,012	
Grus 5-8	92,5	8,321	0,0	0,000	8,321	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Stein 8-11	554,7	49,926	0,0	0,000	49,926	
Stein 11-16	369,8	33,284	0,0	0,000	33,284	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	7,0	0,634	81,5	0,517	0,634	
Mapeair L	1,4	0,127	75	0,095	0,127	
	0	0,000	60	0,000	0,000	
	0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber	0,0	0,000			0,000	
Stålfiber (50/50)	0,0	0,000			0,000	

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	210				
Utbredelsesmål					
Luft	6 %				
Densitet	2,4 kg/l				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	4				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				
plate stripe	1				

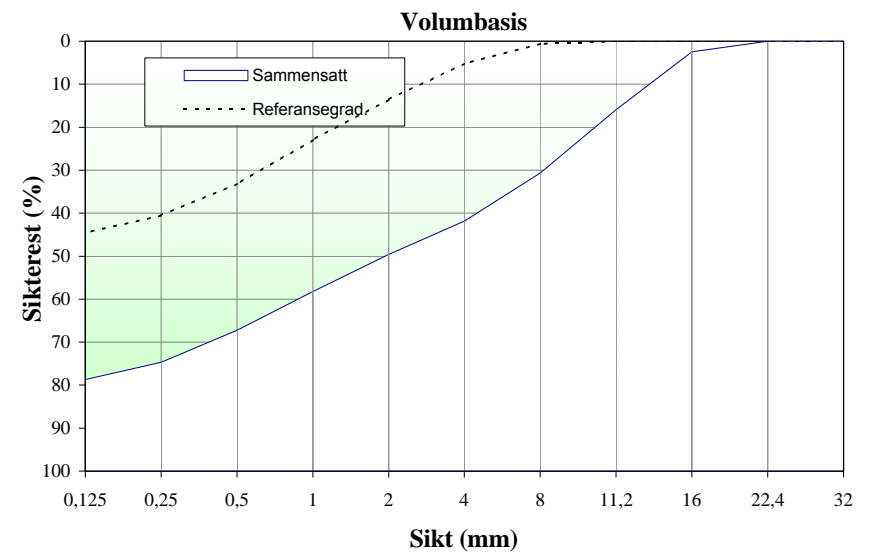
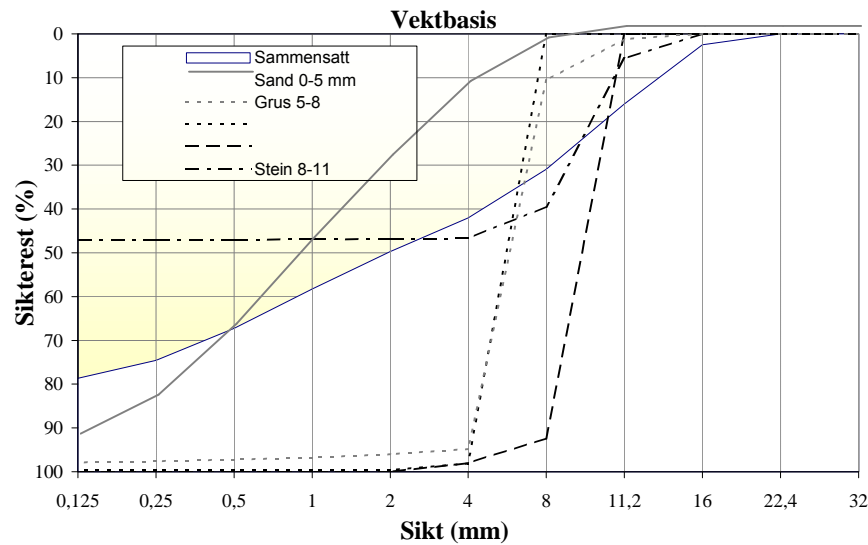


## Sammensatt tilslag

Fraksjon	Navn	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Abs. fukt [%]	Alk. reakt. [%]	Klorider [%]	Andel		Bruk
						volum	vekt	
I	Sand 0-5 mm	2660	0,8	0,0	0,00	0,453	0,450	ok
II	Grus 5-8	2660	0,8	0,0	0,00	0,050	0,050	ok
III		1450	10,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IV		2660	0,5	0,0	0,00	0,000	0,000	
V	Stein 8-11	2700	0,5	0,0	0,00	0,298	0,300	ok
VI	Stein 11-16	2700	0,5	0,0	0,00	0,199	0,200	ok
VII		2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
VIII		2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
IX		2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
X		2650	0,0	0,0	0,00	0,000	0,000	
Sammensatt		2680		0,0	0,00	1,000	1,000	

Finhetsmoduler	
FM <sub>vekt</sub> =	3,65
FM <sub>vol</sub> =	3,64
FM <sub>ref</sub> =	1,38
FM <sub>g</sub> =	4,67

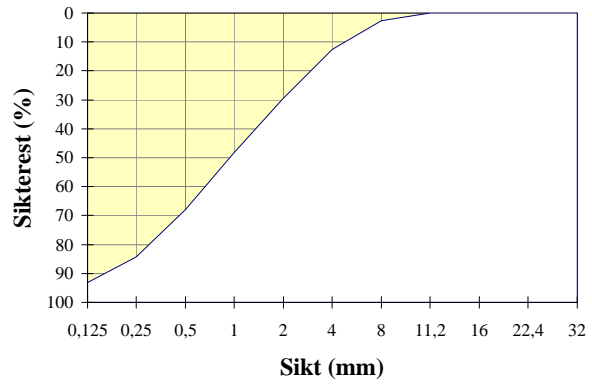
Åpning	Sikterest		Ref. grad. [vol. %]	Vekt ved tilpasning
	vol.[%]	vekt [%]		
32	0,0	0,0	0,0	1
22,4	0,0	0,0	0,0	1
16	2,5	2,5	0,0	1
11,2	15,9	16,0	0,0	1
8	30,7	30,9	0,6	1
4	41,9	42,0	5,2	1
2	49,6	49,7	13,5	1
1	58,2	58,3	22,9	2
0,5	67,3	67,2	33,2	2
0,25	74,6	74,6	40,5	2
0,125	78,7	78,6	44,6	2



## Fraksjon I

Type:	Sand 0-5 mm
Dato:	#####
FM =	2,92

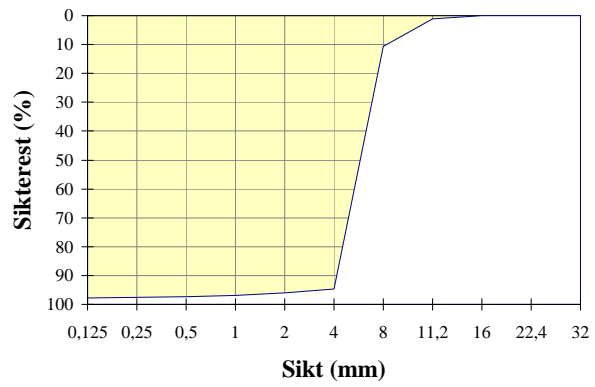
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	0	0	0,0
8	26,00		2,6
4	126,0		12,6
2	294,0		29,4
1	482,0		48,2
0,5	680,0		68,0
0,25	842,0		84,2
0,125	931,0		93,1
Bunn	1000		



## Fraksjon II

Type:	Grus5-8 mm
Dato:	#####
FM =	5,42

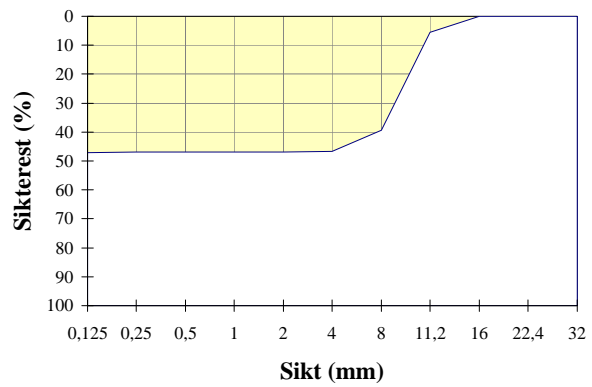
Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	9,5		1,2
8	84,2		10,6
4	755,3		94,8
2	764,8		96,0
1	771,3		96,8
0,5	775		97,3
0,25	777,7		97,6
0,125	780		97,9
Bunn	797		



## Fraksjon V

Type:	stein 8-11
Dato:	#####
FM =	2,97

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	0	0	0,0
11,2	106,8	0	5,6
8	749,8	0	39,5
4	887,1	0	46,7
2	890,6	0	46,9
1	891,9	0	46,9
0,5	892,6	0	47,0
0,25	893,1	0	47,0
0,125	894	0	47,0
Bunn	906	994	

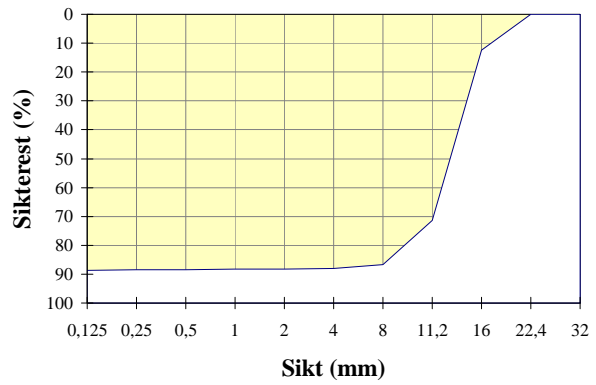




## Fraksjon VI

Type:	stein 11-16
Dato:	#####
FM =	5,85

Åpning	Sikterest (g)		Sikterest (%)
	1	2	
32	0	0	0,0
22,4	0	0	0,0
16	132	0	12,4
11,2	760,5	0	71,4
8	924,2	0	86,8
4	938,2	0	88,1
2	939,3	0	88,2
1	940,2	0	88,3
0,5	941,2	0	88,4
0,25	942,4	0	88,5
0,125	944	0	88,6
Bunn	965	100	



Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S2a-0,7%SF(50/50) av BV
-------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	30.01.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	424,6	38,216			38,216
Slikastøv	21,2	1,911	0	0,000	1,911
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	186,8	16,815		-1,260	15,555
Absorbert vann	67,8	6,105			6,105
Sand 0-5 mm	429,3	38,637	1,5	0,580	39,217
Leca 3-6 mm	53,7	4,830	0,0	0,000	4,830
Leca 4-8 mm	590,3	53,126	0,0	0,000	53,126
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,5	0,764	81,5	0,623	0,764
Mapeair L	0,8	0,076	75	0,057	0,076
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber	0,0	0,000			0,000
Stålfiber (50/50)	54,6	4,914			4,914

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	240				
Utbredelsesmål					
Luft	5				
Densitet	2,1				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S2b-1,13%SF (50/50)av BV
-------------	--

Blandevolum:	90 liter
Dato:	07.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Industri sement	423,8	38,143			38,143	
Slikastøv	21,2	1,907	0	0,000	1,907	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	186,5	16,783		-1,264	15,519	21,682
Absorbert vann	68,5	6,163			6,163	
Sand 0-5 mm	433,4	39,009	1,5	0,585	39,594	
Leca 3-6 mm	54,2	4,876	0,0	0,000	4,876	
Leca 4-8 mm	596,0	53,637	0,0	0,000	53,637	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	8,5	0,763	81,5	0,622	0,763	
Mapeair L	0,8	0,076	75	0,057	0,076	
	0	0,000	60	0,000	0,000	
	0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber	0,0	0,000			0,000	
Stålfiber (50/50)	88,1	7,933			7,933	

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	260				
Utbredelsesmål	590				
Luft					
Densitet	2,21kg/l				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				

Prosj./id.:	oppgave- Fiber i LWAC S2c.B45-1,7%SF(50/50) av BV
-------------	--

Blandevolum:	90 liter
Dato:	08.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	417,1	37,536			37,536
Slikastøv	20,9	1,877	0	0,000	1,877
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	183,5	16,516		-1,545	14,970
Absorbert vann	58,4	5,253			5,253
Sand 0-5 mm	649,9	58,487	1,5	0,877	59,364
Leca 3-6 mm	59,1	5,317	0,0	0,000	5,317
Leca 4-8 mm	472,6	42,536	0,0	0,000	42,536
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,3	0,751	81,5	0,612	0,751
Mapeair L	0,8	0,075	75	0,056	0,075
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber	0,0	0,000			0,000
Stålfiber (50/50)	132,6	11,934			11,934

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	280mm				
Utbredelsesmål	570mm				
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S3a-0,7%SF(65/35)av BV
-------------	--

Blandevolum:	90 liter
Dato:	17.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	417,3	37,559			37,559
Slikastøv	20,9	1,878	0	0,000	1,878
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	183,6	16,526		-1,263	15,263
Absorbert vann	59,4	5,342			5,342
Sand 0-5 mm	660,8	59,473	1,0	0,595	60,068
Leca 3-6 mm	60,1	5,407	0,0	0,000	5,407
Leca 4-8 mm	480,6	43,253	0,0	0,000	43,253
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,3	0,751	81,5	0,612	0,751
Mapeair L	0,8	0,075	75	0,056	0,075
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber	0,0	0,000			0,000
Stålfiber (65/35)	54,6	4,914			4,914

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	280				
Utbredelsesmål	610				
Luft					
Densitet	1,87 kg/l				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S3c-1,13%SF(65/35)av BV
-------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	17.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	417,5	37,574			37,574
Slikastøv	20,9	1,879	0	0,000	1,879
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	183,7	16,533		-1,259	15,273
Absorbert vann	58,9	5,304			5,304
Sand 0-5 mm	656,1	59,049	1,0	0,590	59,639
Leca 3-6 mm	59,6	5,368	0,0	0,000	5,368
Leca 4-8 mm	477,2	42,945	0,0	0,000	42,945
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,3	0,751	81,5	0,612	0,751
Mapeair L	0,8	0,075	75	0,056	0,075
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber	0,0	0,000			0,000
Stålfiber (65/35)	88,1	7,933			7,933

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål	600				
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S3c-1,7%SF(65/35)av BV
-------------	--

Blandevolum:	90 liter
Dato:	20.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	418,5	37,665			37,665
Slikastøv	20,9	1,883	0	0,000	1,883
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	184,1	16,573		-1,222	15,351
Absorbert vann	60,0	5,402			5,402
Sand 0-5 mm	612,4	55,118	1,0	0,551	55,670
Leca 3-6 mm	489,9	44,095	0,0	0,000	44,095
Leca 4-8 mm	61,2	5,512	0,0	0,000	5,512
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,4	0,753	81,5	0,614	0,753
Mapeair L	0,8	0,075	75	0,056	0,075
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber	0,0	0,000			0,000
Stålfiber (65/35)	132,6	11,934			11,934

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	250				
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Bjelke	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S4a-0,7%SF(50/50) av BV
-------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	07.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	423,7	38,133			38,133
Slikastøv	21,2	1,907	0	0,000	1,907
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	186,4	16,778		-1,268	15,510
Absorbert vann	69,0	6,208			6,208
Sand 0-5 mm	436,5	39,289	1,5	0,589	39,878
Leca 3-6 mm	54,6	4,911	0,0	0,000	4,911
Leca 4-8 mm	600,2	54,022	0,0	0,000	54,022
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,5	0,763	81,5	0,622	0,763
Mapeair L	0,8	0,076	75	0,057	0,076
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber	0,0	0,000			0,000
Stålfiber (50/50)	54,6	4,914			4,914

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	265				
Utbredelsesmål	580				
Luft	8 %				
Densitet	2,4kg/l				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt			sand	50	
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Plate	1		SP	0,6	
Forandring tilsatt					



Prosj./id.:	<b>P master oppgave- Fiber i LWAC S4b1,13%SF(50/50) av BV</b>
-------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	10.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Industri sement	422,6	38,033			38,033	
Slikastøv	21,1	1,902	0	0,000	1,902	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	185,9	16,734		-1,315	15,419	21,431
Absorbert vann	66,8	6,012			6,012	
Sand 0-5 mm	472,6	42,538	1,5	0,638	43,176	
Leca 3-6 mm	52,5	4,726	0,0	0,000	4,726	
Leca 4-8 mm	577,7	51,990	0,0	0,000	51,990	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	8,5	0,761	81,5	0,620	0,761	
Mapeair L	0,8	0,076	75	0,057	0,076	
	0	0,000	60	0,000	0,000	
	0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber	0,0	0,000			0,000	
Stålfiber (50/50)	88,1	7,933			7,933	

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	3				
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
Plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S4c-1,7%SF (50/50)av BV
-------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	10.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Industri sement	422,7	38,047			38,047	
Slikastøv	21,1	1,902	0	0,000	1,902	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	186,0	16,741		-1,309	15,432	21,386
Absorbert vann	66,2	5,955			5,955	
Sand 0-5 mm	468,1	42,133	1,5	0,632	42,765	
Leca 3-6 mm	52,0	4,681	0,0	0,000	4,681	
Leca 4-8 mm	572,2	51,495	0,0	0,000	51,495	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	8,5	0,761	81,5	0,620	0,761	
Mapeair L	0,8	0,076	75	0,057	0,076	
	0	0,000	60	0,000	0,000	
	0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber	0,0	0,000			0,000	
Stålfiber (50/50)	132,6	11,934			11,934	

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	3				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
Plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S5a-0,33%PPF (M6)av BV
-------------	--

Blandevolum:	90 liter
Dato:	20.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	431,1	38,796			38,796
Slikastøv	21,6	1,940	0	0,000	1,940
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	189,7	17,070		-1,727	15,343
Absorbert vann	62,2	5,597			5,597
Sand 0-5 mm	575,8	51,820	2,0	1,036	52,856
Leca 3-6 mm	57,6	5,182	0,0	0,000	5,182
Leca 4-8 mm	518,2	46,638	0,0	0,000	46,638
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,6	0,776	81,5	0,632	0,776
Mapeair L	0,9	0,078	75	0,058	0,078
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber M 6	3,0	0,270			0,270
Stålfiber (50/50)	0,0	0,000			0,000

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	210				
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i betong S4b0,5%PPF (M6)av BV
-------------	--

Blandevolum:	80 liter
Dato:	22.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	418,6	33,491			33,491
Slikastøv	20,9	1,675	0	0,000	1,675
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	184,2	14,736		-1,530	13,206
Absorbert vann	63,0	5,041			5,041
Sand 0-5 mm	583,5	46,678	2,0	0,934	47,611
Leca 3-6 mm	583,5	46,678	0,0	0,000	46,678
Leca 4-8 mm	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,4	0,670	81,5	0,546	0,670
Mapeair L	0,8	0,067	75	0,050	0,067
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber M 6	4,6	0,364			0,364
Stålfiber (50/50)	0,0	0,000			0,000

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	180				
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S5c-0,9%PPF (M6)av BV
-------------	---

Blandevolum:	90 liter
Dato:	22.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Industri sement	419,9	37,790			37,790	
Slikastøv	21,0	1,890	0	0,000	1,890	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	184,8	16,628		-1,715	14,912	20,543
Absorbert vann	62,6	5,630			5,630	
Forsand 0-5 mm	579,3	52,134	2,0	1,043	53,176	
Leca 3-6 mm	57,9	5,213	0,0	0,000	5,213	
Leca 4-8 mm	521,3	46,920	0,0	0,000	46,920	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	8,4	0,756	81,5	0,616	0,756	
Mapeair L	0,8	0,076	75	0,057	0,076	
	0	0,000	60	0,000	0,000	
	0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber M6	8,2	0,737			0,737	
Stålfiber	0,0	0,000			0,000	

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S6a-0,33%PPF (M12)av BV
-------------	---

Blandeolum:	90 liter
Dato:	11.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg	
Industri sement	416,5	37,489			37,489	
Slikastøv	20,8	1,874	0	0,000	1,874	
	0,0	0,000	0	0,000	0,000	
Fritt vann	183,3	16,495		-1,266	15,229	20,604
Absorbert vann	59,7	5,375			5,375	
Sand 0-5 mm	664,9	59,838	1,0	0,598	60,436	
Leca 3-6 mm	60,4	5,440	0,0	0,000	5,440	
Leca 4-8 mm	483,5	43,519	0,0	0,000	43,519	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000	
Dynamon SX-N	8,3	0,750	81,5	0,611	0,750	
Mapeair L	0,8	0,075	75	0,056	0,075	
	0	0,000	60	0,000	0,000	
	0	0,000	100	0,000	0,000	
PPFiber M12	3,0	0,270			0,270	
Stålfiber (50/50)	0,0	0,000			0,000	

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	190				
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet	2,3 kg/l				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S6b-0,5%PPF(M12) av BV
-------------	--

Blandevolum:	90 liter
Dato:	11.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	417,2	37,552			37,552
Slikastøv	20,9	1,878	0	0,000	1,878
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	183,6	16,523		-1,862	14,661
Absorbert vann	59,5	5,359			5,359
Sand 0-5 mm	663,0	59,670	2,0	1,193	60,864
Leca 3-6 mm	60,3	5,425	0,0	0,000	5,425
Leca 4-8 mm	482,2	43,397	0,0	0,000	43,397
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,3	0,751	81,5	0,612	0,751
Mapeair L	0,8	0,075	75	0,056	0,075
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber M12	4,6	0,410			0,410
Stålfiber	0,0	0,000			0,000

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål	180				
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet	2,27 kg/l				

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	6				
150x300 sylindre	2				
100x200 sylindre					
plate	1				

Prosj./id.:	master oppgave- Fiber i LWAC S6c-0,9%PPF(M12 )av BV
-------------	--

Blandevolum:	80 liter
Dato:	12.02.09
Tidspunkt for vanntilsetning	
Ansvarlig:	K.T. Fosså-E. Mariero
Utført av:	S. Kakay

Materialer	Resept kg/m <sup>3</sup>	Sats kg	Fukt* %	Korr. kg	Oppveid** kg
Industri sement	417,4	33,392			33,392
Slikastøv	20,9	1,670	0	0,000	1,670
	0,0	0,000	0	0,000	0,000
Fritt vann	183,7	14,693		-1,385	13,308
Absorbert vann	59,2	4,732			4,732
Forsand 0-5 mm	658,6	52,690	1,5	0,790	53,480
Leca 3-6 mm	59,9	4,790	0,0	0,000	4,790
Leca 4-8 mm	479,0	38,320	0,0	0,000	38,320
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
	0,0	0,000	0,0	0,000	0,000
Dynamon SX-N	8,3	0,668	81,5	0,544	0,668
Mapeair L	0,8	0,067	75	0,050	0,067
	0	0,000	60	0,000	0,000
	0	0,000	100	0,000	0,000
PPFiber M12	8,2	0,655			0,655
Stålfiber	0,0	0,000			0,000

\*Se fotnote på delark "Proporsjonering"

\*\* NB! Våte mengder, også for pozzolaner og fillere

Fersk betong					
Tid etter vanntilsetning					
Synkmål					
Utbredelsesmål					
Luft					
Densitet					

Prøvestykker (antall)					
Utstøpningstidspunkt					
Terninger	3				
150x300 sylindre	1				
100x200 sylindre					
plate	1				



## Superplastiserende tilsetningsstoff

### 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.

### BRUKSOMRADE

**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:

- Vanntett 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 TA**.
- 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 akrylbaserete 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 kortere. Det er likevel viktig med utprøvinger tilpasset eget blandedstyr.



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 akrylpolymerer 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 <sup>3</sup> :	1,06 ± 0,02	
pH-verdi:	6,5 ± 1	
Kloridinnhold, %:	< 0,01	
Alkaliinnhold (Na <sub>2</sub> O-ekvivalenter) %:	< 2,0	
BRUKSEGENSKAPER I BETONG		
<i>Som vannreducerende stoff (lik konsistens) T 3.1</i>		
Sementmengde kg/m <sup>3</sup> (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 <sup>2</sup> ):		
1døgn	26	41
7døgn	42	60
28døgn	52	68
<i>Som SP-stoff (slumpforbedrer) T 3.2</i>		
Sementmengde, kg/m <sup>3</sup> (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. m<sup>3</sup> betong i lasset.

## VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på [www.resconmapei.com](http://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



**PRODUCT SPECIFICATION OF FILTRALITE®**  
Filter media

**FILTRALITE® HR 3-6 mm**

Commercial name	FILTRALITE® HR 3-6 mm
Density	Bulk density: 825 kg/m <sup>3</sup> particle density: 1450 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Round particles, smooth surface structure
Manufactured by	maxit Leca Rølingen, Norway

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Effective size	3,5 mm	± 0,3 mm	d <sub>10</sub>
Particle size range	3-6 mm	< 2,5 mm max 3 % + Δ < 0,125 mm > 6,0 mm max. 5 %	
Coefficient of uniformity	< 1,5		d <sub>60</sub> / d <sub>10</sub>
Bulk density, dry	825 kg/m <sup>3</sup>	± 75 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3
Particle density, dry (PDD)	1450 kg/m <sup>3</sup>	± 100 kg/m <sup>3</sup>	Exclay Norm

Other properties	Value	Comments
Floating particles	< 2%	Maximum volume floating particles after 2 days in water.
Particle porosity	46 %	Porosity internal particle: (1-PDD/2700 kg/m <sup>3</sup> )*100
Voids	43 %	EN 1097-3
Acid solubility	< 4 %	EN 12902
Friability loss	< 4 %	EN 12902
Water adsorption 1 day	10 %	Approximately value. Exclay Norm
Water adsorption 28 days	25 %	Approximately value. Exclay Norm
Water adsorption 1 year	30 %	Approximately value. Exclay Norm
Settling velocity	0,2 m/s	Approximately value. Exclay Norm (water saturated)
Mohs' hardness	6	

Chemical composition, average values:

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	C <sub>tot</sub>
62%	18%	7%	4%	3%	3%	2%	0,02%

**maxit as**  
P.O. Box 216 Alnabru  
0614 Oslo, Norway

Further information:  
[www.filtralite.com](http://www.filtralite.com)  
E-mail: [info@filtralite.com](mailto:info@filtralite.com)

Telephone:  
+47 22 88 77 00  
Telefax:  
+47 22 64 54 54




## PRODUCT SPECIFICATION OF FILTRALITE®

Filter media

### FILTRALITE® HR 4-8 mm

Commercial name	FILTRALITE® HR 4-8 mm
Density	Bulk density: 800 kg/m <sup>3</sup> particle density: 1400 kg/m <sup>3</sup>
Type of material	Expanded clay
Appearance	Round particles, smooth surface structure
Manufactured by	maxit Leca Rælingen, Norway

Size and weight	Value	Deviation	Comments
Effective size	4,6 mm	± 0,4 mm	d <sub>10</sub>
Particle size range	4-8 mm	< 4,0 mm max.5 % +Δ<0,125 mm > 8,0 mm max. 5 %	
Coefficient of uniformity	< 1,5		d <sub>60</sub> / d <sub>10</sub>
Bulk density, dry	800 kg/m <sup>3</sup>	± 75 kg/m <sup>3</sup>	EN 1097-3
Particle density, dry (PDD)	1400 kg/m <sup>3</sup>	± 100 kg/m <sup>3</sup>	Exclay Norm

Other properties	Value	Comments
Floating particles	< 2 %	Maximum volume floating particles after 2 days in water.
Particle porosity	48 %	Porosity internal particle: (1-PDD/2700 kg/m <sup>3</sup> )*100
Voids	43 %	EN 1097-3
Acid solubility	< 4 %	EN 12902
Friability loss	< 4 %	EN 12902
Water absorption 24 hours	11 %	Approximately value. Exclay Norm
Water absorption 28 days	22 %	Approximately value. Exclay Norm
Water absorption 1 year	32 %	Approximately value. Exclay Norm
Settling velocity	0.2 m/s	Approximately value. Exclay Norm (water saturated)
Mohs' hardness	6	

Chemical composition, average values:

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	C <sub>tot</sub>
62%	18%	7%	4%	3%	3%	2%	0,02%

**maxit as**  
P.O. Box 216 Alnabru  
0614 Oslo, Norway

Further information:  
[www.filtralite.com](http://www.filtralite.com)  
E-mail: [info@filtralite.com](mailto:info@filtralite.com)

Telephone:  
+47 22 88 77 00  
Telefax:  
+47 22 64 54 54





# Stålfiber 45/50BN

## PRODUKTBESKRIVELSE

**Stålfiber 45/50 BN** er ståltråd, formet og klippet i lengder, til armering av betong, mørtler og andre komposittmaterialer.

**Stålfiber 45/50 BN** er en kaldtrukket ståltrådfiber med endekroker.

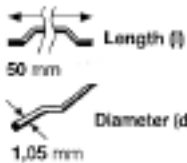
## BRUKSOMRÅDE

Industrigulv.

**Stålfiber 45/50 BN** brukes i betong og mørtel hvor tradisjonell armering er helt eller delvis tatt ut.

## GEOMETRI

Lengde (l): 50mm  
Diameter (d): 1,05 mm  
Kvalitetsklasse 45  
Slankhetstall (=l/d): 48  
Antall: 2800 fibre/kg



## STREKKFASTHET

- Ståltrådens strekkfasthet: 1000 N/mm<sup>2</sup>  
- Oppfyller EN 10016-2 - C9D

## OVERFLATEBEHANDLING

Ingen.

## ANBEFALINGER - BLANDING

### Generelt

- Tilsetting av fibre på betongfabrikk anbefales

- Anbefalt maksimal dosering \*):

Maks. kornstørrelse (mm)	Dosering (kg/m <sup>3</sup> )	
	Støpt	Pumpet
8	160	120
16	100	75
32	80	60

\* se nærmere informasjon på våre nettsider [www.resconmapei.no](http://www.resconmapei.no), ved databladet

- En jevn siktekurve anbefales

### Tilsetting av fibre

Sekkene er ikke vannløselige og kan derfor ikke kastes inn i betongen.

### I betongfabrikkens blander

- Tilsett aldri fibre som første komponent i blanderen
- Fibrene kan tilsettes sammen med tilslaget eller i den nyblandede betongen

### I trommelbil

- Anvend maksimal omdreiningshastighet 12-18 o.p.m.
- Betongens synkmål skal være minst 12 cm
- Tilsett fibrene med en maks. hastighet på 60 kg/min.
- Fibrene tilsettes f.eks. via et transport bånd
- Etter tilsetting av fibrene: fortsett å blande på full hastighet i 4-5 min. (± 70 omdr.)

## LAGRING

Beskytt paller mot regn og fukt. Unngå å stable pallene.

Leveres i 20 kg ikke vannløselige sekker på pall (1200 kg). Big bags (900 kg).

## VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon - se eget HMS-datablad.

HMS-databladene finnes på

[www.resconmapei.com](http://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.

## TEKNISKE SPESIFIKASJONER

Strekkfasthet (N/mm <sup>2</sup> ):	> 1000
Lengde (mm):	50
Diameter (mm):	1,05
Slankhetstall (l/d):	48
Antall fiber pr. kg:	2800
Densitet (kg/m <sup>3</sup> ):	7800
Emballasje:	20 kg sekk, 1200 kg pr. pall

### 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](http://www.resconmapei.com)

Rescon Mapei AS  
et selskap i





# Stålfiber 45/35 BN

## PRODUKTBEKRIVELSE

**Stålfiber 45/35 BN** er ståltråd, formet og klippet i lengder, til armering av betong, mørtler og andre komposittmaterialer.

**Stålfiber 45/35 BN** er en blank kaldtrukket ståltrådfiber (B) i normalstål (N) med endekroker.

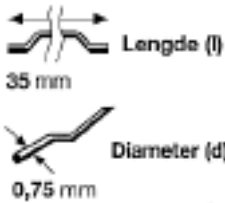
**Stålfiber 45/35 BN** er pakket i vannløselige sekker.

## BRUKSOMRÅDE

Gulvbetong.

## GEOMETRI

Lengde (l) 35 mm.  
Diameter (d) 0,75 mm.  
Kvalitetsklasse 45.  
Slankhetstall (=l/d): 47  
Antall: 7700 fibre/kg



## STREKKFASTHET

- Ståltrådens strekkfasthet: min. 1100 N/mm<sup>2</sup>  
- Oppfyller: - DIN 17 140-D9  
- Oppfyller: - EN 10016-2 - C9D

## ANBEFALINGER

### Generelt

- Tilsetting av fibre på betongfabrikk anbefales

- Anbefalt maksimal dosering:

Maks. kornstørrelse (mm)	Dosering (kg/m <sup>3</sup> )	
	Støpt	Pumpet
8	160	120
16	100	75
32	80	60

- En jevn siktekurve anbefales

### Tilsetting av fibre I betongfabrikken blander

- Tilsett aldri fibre som første komponent i blanderen
- Fibre kan tilsettes sammen med tilslaget eller i den nyblandede betongen, hvoretter blanding foregår til flakene er helt oppløst

### I trommelbil

- Anvend maksimal omdreiningshastighet 12-18 o.p.m.
- Betongens synkmål skal være minst 12 cm.
- Tilsett fibre med en maks. hastighet på 60 kg/min.
- Fibre tilsettes f.eks. via et transport bånd.
- Etter tilsetting av fibre: fortsatt å blande på full hastighet i 4-5 min. (± 70 omdr.)

## LAGRING

Leveres i 20 kg sekker på pall (1200 kg).  
Unngå å stable pallene.  
Beskytt paller mot regn og fukt.

## VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon - se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på [www.resconmapei.com](http://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.

## TEKNISKE SPESIFIKASJONER

Strekkfasthet (N/mm <sup>2</sup> ):	> 1000
Lengde (mm):	50
Diameter(mm):	1,05
Slankhetstall (l/d):	48
Antall fiber pr kg:	2800
Densitet kg/m <sup>3</sup> ):	7800
Emballasje:	20 kg sekk (1200 kg pr. pall)

### 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







# PP-fiber M6

## Polypropylenfiber for økt brannmotstand

### PRODUKTBEKRIVELSE

**PP-fiber M6** er en monofilament-propylenfiber med optimale mekaniske, fysiske og kjemiske egenskaper for bruk i mørtel og betong.

### KVALITETER

- Stor overflate pr mengde fiber (615 m<sup>2</sup> pr kg)
- Høy bindings-/ heftevne
- Ikke synlig på overflaten
- Ingen helseserisiko
- Kjemisk inaktive og bestandig
- Problemfri innblanding
- Lett å pumpe, ingen slitasje på rør og slanger
- 100 % alkali-resistent
- Angripes ikke av syrer eller løsemidler

### Økt brannmotstand

Ved brann vil betongkonstruksjoner bryte sammen som følge av at bundet vann i betongen fordampes, men ikke kan unnvike raskt nok pga betongens tetthet. Damptrykket inne i konstruksjonen vil øke raskt, mens de ytre lagene av betongen utsettes for kraftig trykk fra varmen. Resultatet er at betongen sprennes i stykker og betongens lastbærende kapasitet reduseres eller forsvinner. Ved å tilføre **PP-fiber M6** kan dybden og intensiteten av avskallingen reduseres ved at damptrykket finner rom for ekspansjon i de porer og ganger som etterlates etter at de godt fordelte fiberne smelter.

### Betong med PP-fiber M6

- Danner mikroporer og ikke skadelige mikrosprekker under brann – trykket kan unnvike kontrollert
- Reduserer faren for eksplosjonsartet avskalling
- Reduserer pulverisering av betong ned til en gjennomsnittsdypde på 2 cm
- Ved brann vil konstruksjonsarmeringen være beskyttet også i randsoner
- Reduserer kostnader til vedlikehold og gjenoppbygging etter brann til et minimum

### Tilsetning av PP-fiber M6

- **PP-fiber M6** kan tilsettes i tørre materialer eller i fersk betong i blanderen, eller den kan tilsettes direkte i automikseren
- Betong med **PP-fiber M6** kan pumpes og sprøytes
- Betong med **PP-fiber M6** reduserer betongens synk. Kombineres derfor med bruk av superplastiserende stoffer (Dynamon-produkter)
- Blandingstid:
  - I betongblanderen: normal blandetid er tilstrekkelig
  - I betongbil: blandingstiden økes med 1 minutt pr m<sup>3</sup> med høy hastighet på trommelen.

### Dosering

Normaldosering: 1 pose à 1 kg pr m<sup>3</sup>  
 For ekstra brannsikring: inntil 2 poser  
 Antall poser pr kartong: 20  
 Antall kartonger pr pall: 30

**PP-fiber M6** er pakket i vannløselige poser.

### VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon - se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på [www.resconmapei.com](http://www.resconmapei.com).

### MERK

*De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktet. All ovenstående informasjon må likevel bli betraktet 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

Materialtype:	Polypropylen
Vekt pr pose (kg):	1,0
Lengde (mm):	6 ± 1
Diameter (µm):	16 ± 3
Densitet (g/cm <sup>3</sup> ):	0,91
Antall fibre (mill/kg):	725
E-modul (N/mm <sup>2</sup> ):	3500 - 3900
Strekkestyrke (N/mm <sup>2</sup> ):	300
Kjemisk reaksjon:	Inert
Smeltepunkt:	160-165 °C
Farge:	Hvit/gjennomsiktig
Emballasje:	Poser à 1 kg, 20 pr. kartong. Vannløselige
Lagring:	Lagres tørt

### 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





# PP-fiber M12

## Polypropylenfiber for armering av betong

### PRODUKTBSKRIVELSE

**PP-fiber M12** er en multifillament-propylenfiber med optimale mekaniske, fysiske og kjemiske egenskaper for bruk i mørtel og betong.

### KVALITETER

- 40 ganger flere fibrer enn i fibrillerende fiber
- Stor overflate pr mengde fiber
- Høy bindings-/ heftevne
- Kjemisk inaktive
- Problemfri innblanding
- Lett å pumpe, ingen slitasje på rør og slanger
- 100 % alkali-resistent
- Ingen helsesisiko
- Beständig: angripes ikke av syrer eller løsemidler

### Spesielt effektiv i de første kritiske timene i størkning og herdningsfasen

Under den første tiden i størknings- og herdningsfasen utvikles betongens styrke langsommere enn sammentrekkingskreftene. Dette plastiske svinn kommer primært av avdamping fra overflaten, samt den kjemiske reaksjonen mellom sement og vann. Som en konsekvens av svinn utvikles mikroriss i betongen.

Disse sprekkene/rissene kan senere utvikle seg til makroriss dersom en ikke armerer betongen på en effektiv måte.

Ved å blande **PP-fiber M12** i betongen, blir millioner av fiber fordelt homogent i betongen. Disse fibre opptrer som skyldes plastisk svinn, og reduserer med dette antallet mikroriss betydelig.

Ved å tilføre **PP-fiber M12** i fersk betong, vil betongens mulighet til å ta opp strekk- kreftene som oppstår i de første kritiske timene etter utstøping øke betydelig.

### Betong med PP-fiber

- Minsker forekomsten av mikrosprekker/riss pga av plastisk svinn
- Minsker risikoen for "bleeding"
- Øker betongens tetthet
- Øker holdbarheten ved temperatur- endringer
- Forbedrer betongens motstand mot slag, forhindrer skader på hjørner og kanter
- Minsker skader ved avforming og under transport av elementer
- Raskere og bedre konstruksjon pga økt kohesjon (sammenholdning) i betongen

### Tilsetning av PP-fiber M12

- **PP-fiber M12** kan tilsettes i tørre materialer eller i fersk betong i blanderen, eller den kan tilsettes direkte i automikseren
- Betong med **PP-fiber M12** kan pumpes og sprøytes
- Betong med **PP-fiber M12** reduserer betongens synk. Kombineres derfor med bruk av superplastiserende stoffer (Dynamon-produkter).
- Blandingstid:
  - I betongblanderen: normal blandetid er tilstrekkelig
  - I betongbil: blandingstiden økes med 1 minutt pr m<sup>3</sup> med høy hastighet på trommelen.

### Dosering av PP-fiber M12

Normaldosering 1 pose a 600 g pr m<sup>3</sup>  
 Antall poser pr kartong: 25  
 Antall kartonger pr pall: 30  
**PP-fiber M12** er pakket i vannløselige poser

### VERNETILTAK

For helse-, miljø- og sikkerhetsinformasjon - se eget HMS-datablad. HMS-databladene finnes på [www.resconmapei.com](http://www.resconmapei.com).

### MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktet. All ovenstående informasjon må likevel bli betraktet 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

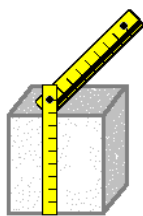
Materialtype:	Polypropylen
Vekt pr pose (kg):	0,6
Lengde (mm):	12 ± 2
Diameter (µm):	22 ± 3
Densitet (kg/dm <sup>3</sup> ):	0,91
Antall fibre (mill/kg):	224
E-modul (N/mm <sup>2</sup> ):	3500 - 3900
Strekstyrke (N/mm <sup>2</sup> ):	400
Kjemisk reaksjon:	Inert
Farge:	Hvit/gjennomsiktig
Emballasje:	Poser à 600 g, 25 pr. kartong. Vannløselige
Lagring:	Lagres tørt

### 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

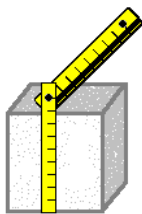
Rescon Mapei AS  
 et selskap i





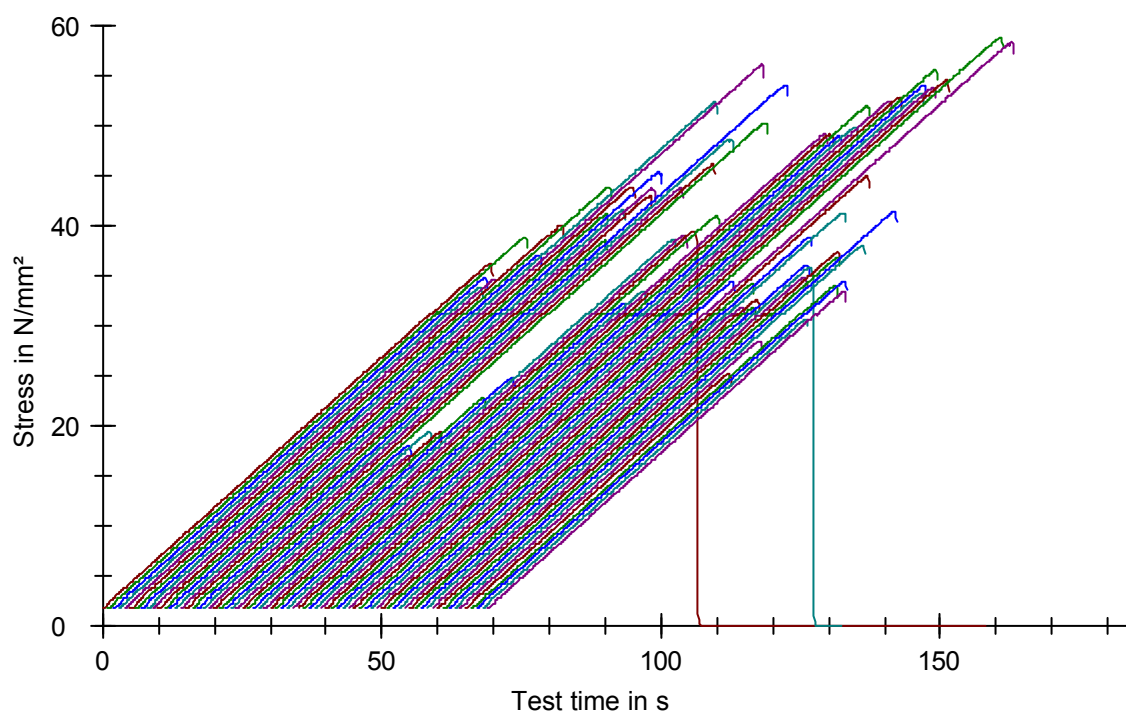
## Resultater:

Legends	Nr	ID	F <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	σ <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	a mm	b mm	h mm	Datum
	1	SF0,7%( 50/50)	36,14	36,14	100,0	100,0	100,0	21.02.2009
	2	SF ,7% (50/50)	38,77	38,77	100,0	100,0	100,0	21.02.2009
	3	SF0,7% (50/50)	34,78	34,78	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	4	SF0,7%(50/50)	33,85	33,85	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	5	SF07%(50/50)	34,62	34,62	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	6	SF07% (50/50)	40,03	40,03	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	7	SF0,7%(50/50)	43,79	43,79	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	8	SF 0,7%( 50/50)	37,03	37,03	100,0	100,0	100,0	21.02.2009
	9	SF1,13% (50/50)	52,28	52,28	100,0	100,0	100,0	23.02.2009
	10	SF1,13%(50/50)	56,08	56,08	100,0	100,0	100,0	23.02.2009
	11	SF1,13%(50/50)	43,84	43,84	100,0	100,0	100,0	23.02.2009
	12	SF1,13%(50/50)	41,16	41,16	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	13	SF1,13%(50/50)	45,38	45,38	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	14	SF1,13%(50/50)	41,52	41,52	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	15	SF1,13%(50/50)	43,64	43,64	100,0	100,0	100,0	27.02.2009
	16	SF1,13%(50/50)	42,95	42,95	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	17	SF1,7%(50/50)	38,50	38,50	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	18	SF1,7%(50/50)	53,99	53,99	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	19	SF1,7%(50/50)	48,60	48,60	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	20	SF1,7%(50/50)	43,69	43,69	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	21	SF1,7%(50/50)	46,16	46,16	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	22	SF1,7%(50/50)	50,21	50,21	100,0	100,0	100,0	05.03.2009
	23	PPF0,33%(M12)	17,94	17,94	100,0	100,0	100,0	10.03.2009
	24	PPF0,33%(M12)	19,33	19,33	100,0	100,0	100,0	10.03.2009
	25	PPF0,33%(M12)	16,93	16,93	100,0	100,0	100,0	10.03.2009
	26	PPF0,5%(M12)	19,34	19,34	100,0	100,0	100,0	10.03.2009
	27	PPF0,5%(M12)	22,73	22,73	100,0	100,0	100,0	10.03.2009
	28	PPF0,5%(M12)	24,79	24,79	100,0	100,0	100,0	10.03.2009
	29	PPF0,9%(M12)	38,61	38,61	100,0	100,0	100,0	13.03.2009
	30	PPF0,9%(M12)	39,05	39,05	100,0	100,0	100,0	13.03.2009
	31	PPF0,9%(M12)	39,43	39,43	100,0	100,0	100,0	13.03.2009
	32	PPF0,9%(M12)	40,98	40,98	100,0	100,0	100,0	13.03.2009
	33	PPF0,9%(M12)	32,20	32,20	100,0	100,0	100,0	13.03.2009
	34	PPF0,9%(M12)	33,36	33,36	100,0	100,0	100,0	13.03.2009
	35	SF0,7%(65/35)	49,20	49,20	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	36	SF0,7%(65/35)	49,12	49,12	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	37	SF0,7%(65/35)	51,91	51,91	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	38	SF0,7%(65/35)	48,93	48,93	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	39	SF0,7%(65/35)	49,83	49,83	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	40	SF0,7%(65/35)	52,42	52,42	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	41	SF1,13%(65/35)	52,76	52,76	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	42	SF1,13%(65/35)	55,56	55,56	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	43	SF1,13%(65/35)	54,04	54,04	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	44	SF1,13%(65/35)	53,22	53,22	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	45	SF1,13%(65/35)	53,82	53,82	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	46	SF1,13%(65/35)	54,52	54,52	100,0	100,0	100,0	17.03.2009
	47	SF1,70%(65/35)	58,76	58,76	100,0	100,0	100,0	20.03.2009
	48	SF1,70%(65/35)	34,36	34,36	100,0	100,0	100,0	20.03.2009







Legends	Nr	ID	$F_m$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	a mm	b mm	h mm	Datum
	49	SF1,70%(65/35)	30,29	30,29	100,0	100,0	100,0	20.03.2009
	50	SF1,70%(65/35)	58,28	58,28	100,0	100,0	100,0	20.03.2009
	51	SF1,70%(65/35)	44,93	44,93	100,0	100,0	100,0	20.03.2009
	52	SF1,70%(65/35)	34,21	34,21	100,0	100,0	100,0	20.03.2009
	53	PPS0,33%(M6)	38,83	38,83	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	54	PPS0,33%(M6)	41,22	41,22	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	55	PPS0,33%(M6)	31,75	31,75	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	56	PPS0,33%(M6)	32,55	32,55	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	57	PPS0,33%(M6)	31,78	31,78	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	58	PPS0,33%(M6)	36,06	36,06	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	59	PPF0,5%(M6)	35,82	35,82	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	60	PPF0,5%(M6)	34,84	34,84	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	61	PPF0,5%(M6)	37,31	37,31	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	62	PPF0,5%(M6)	36,86	36,86	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	63	PPF0,5%(M6)	41,35	41,35	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	64	PPF0,5%(M6)	38,00	38,00	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	65	PPS0,9%(M6)	28,44	28,44	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	66	PPS0,9%(M6)	25,12	25,12	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	67	PPS0,9%(M6)	33,97	33,97	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	68	PPS0,9%(M6)	34,43	34,43	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	69	PPS0,9%(M6)	30,61	30,61	100,0	100,0	100,0	21.03.2009
	70	PPS0,9%(M6)	33,34	33,34	100,0	100,0	100,0	21.03.2009

## Grafisk fremstilling:

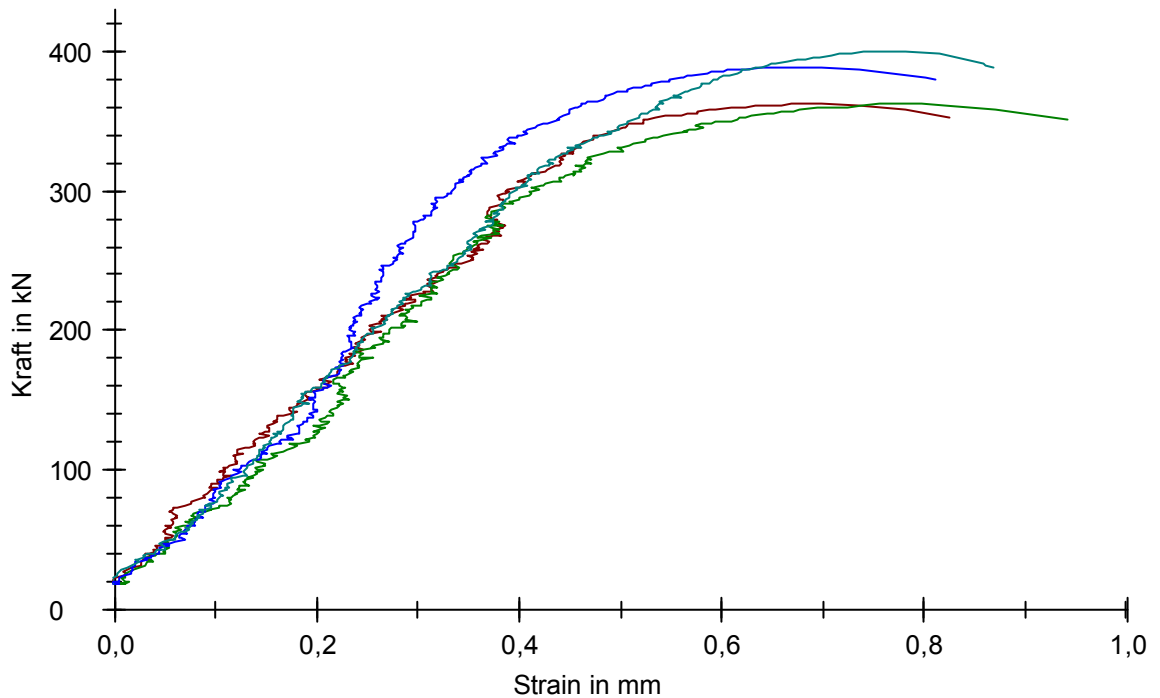


Testen utført av: Samdar Kakay

**Resultater:**






Legends	Nr	ID	$F_m$ kN	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	a mm	b mm	h mm
	1	Leca_0 % F	362,02	36,20	100,0	100,0	100,0
	2	Leca_0% F	361,71	36,17	100,0	100,0	100,0
	3	Leca_0% F	389,03	38,90	100,0	100,0	100,0
	4	Leca_0% F	399,90	39,99	100,0	100,0	100,0
	5	Leca_0%F	-	-	100,0	100,0	100,0

**Grafisk fremstilling:**

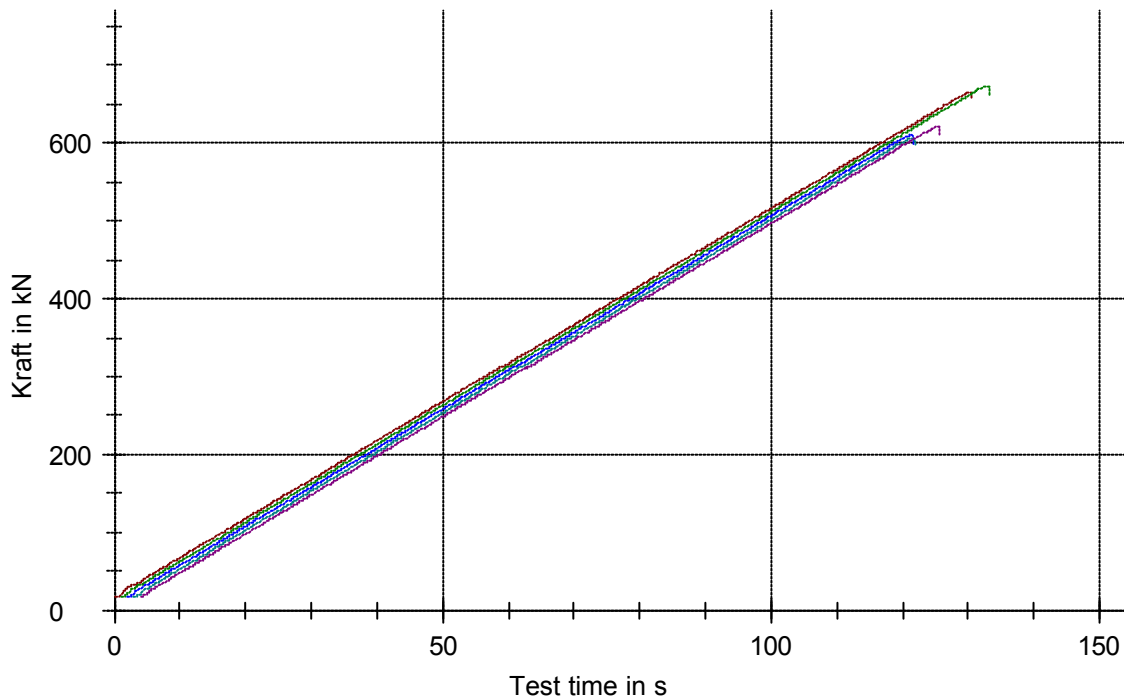


**Testen utført av:**

**Resultater:**

Legends	Nr	ID	$F_m$ kN	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	a mm	b mm	h mm
	1	NB 0% F	664,79	66,48	100,0	100,0	100,0
	2	NB 0% F	673,33	67,33	100,0	100,0	100,0
	3	NB 0% F	610,79	61,08	100,0	100,0	100,0
	4	NB 0% F	606,56	60,66	100,0	100,0	100,0
	5	NB 0% F	620,93	62,09	100,0	100,0	100,0

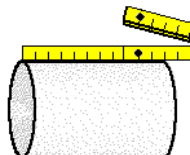
**Grafisk fremstilling:**



**Statistikk:**

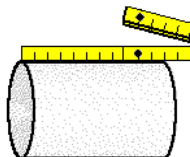
Series n = 5	$F_m$ kN	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	a mm	b mm	h mm
$\bar{x}$	635,28	63,53	100,0	100,0	100,0
s	31,42	3,14	0,0	0,0	0,0
v	4,95	4,95	0,00	0,00	0,00

**Testen utført av:**






## Resultater:

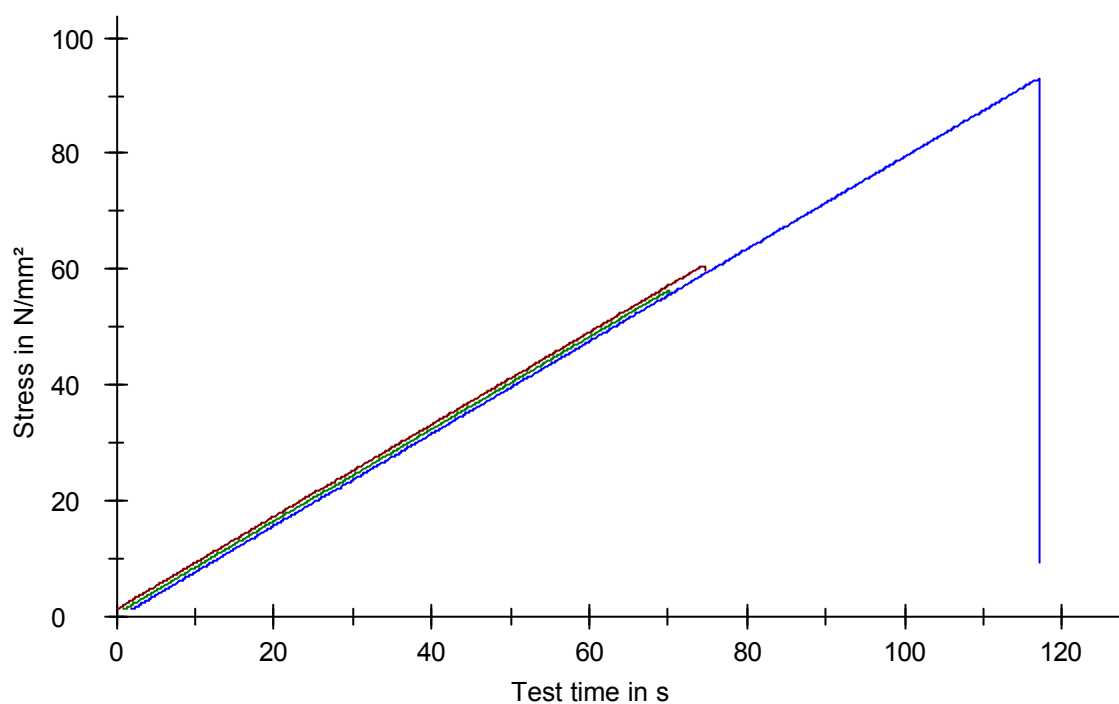
Legends	Nr	ID	F <sub>m</sub> kN	d mm
	1	NB. 0% F	182,24	150,0
	2	NB 0% F	189,82	150,0
	3	NB.0% F	184,50	150,0
	4	NB. 0% F	201,51	150,0
	5	SF0,7%(50/50)	276,53	150,0
	6	SF0,7%(50/50)	222,18	150,0
	7	SF0,7%(50/50)	225,60	150,0
	8	SF1,13%(50/50)	382,25	150,0
	9	SF1,13%(50/50)	366,93	150,0
	10	SF1,7%(50/50)	384,16	150,0
	11	SF1,7%(50/50)	403,87	150,0
	12	PPF0,33%(M12)	183,95	150,0
	13	PPF0,33%(M12)	166,44	150,0
	14	PPF0,5%(M12)	164,31	150,0
	15	PPF0,9%(M12)	188,31	150,0
	16	PPF0,9%(M12)	223,20	150,0
	17	SF0,7%(65/35)	255,91	150,0
	18	SF0,7%(65/35)	290,90	150,0
	19	SF1,13%(65/35)	340,59	150,0
	20	SF1,13%(65/35)	332,32	150,0
	21	SF1,70%(65/35)	470,02	150,0
	22	SF1,70%(65/35)	492,48	150,0
	23	PPF0,33%(M6)	206,51	150,0
	24	PPF0,50%(M6)	170,41	150,0
	25	PPF0,90%(M6)	176,02	150,0
	26	PPF0,50%(M6)	200,75	150,0
	27	PPF0,90%(M6)	190,67	150,0



## Resultater:

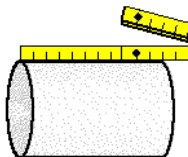
Legends	Nr	ID	F <sub>m</sub> kN	d mm	h mm
	28	Leca_0 %F	114,26	150,0	300,0
	29	Leca_0%F	106,24	150,0	300,0
	30	Leca_0% F	175,07	150,0	300,0

## Grafisk fremstilling:

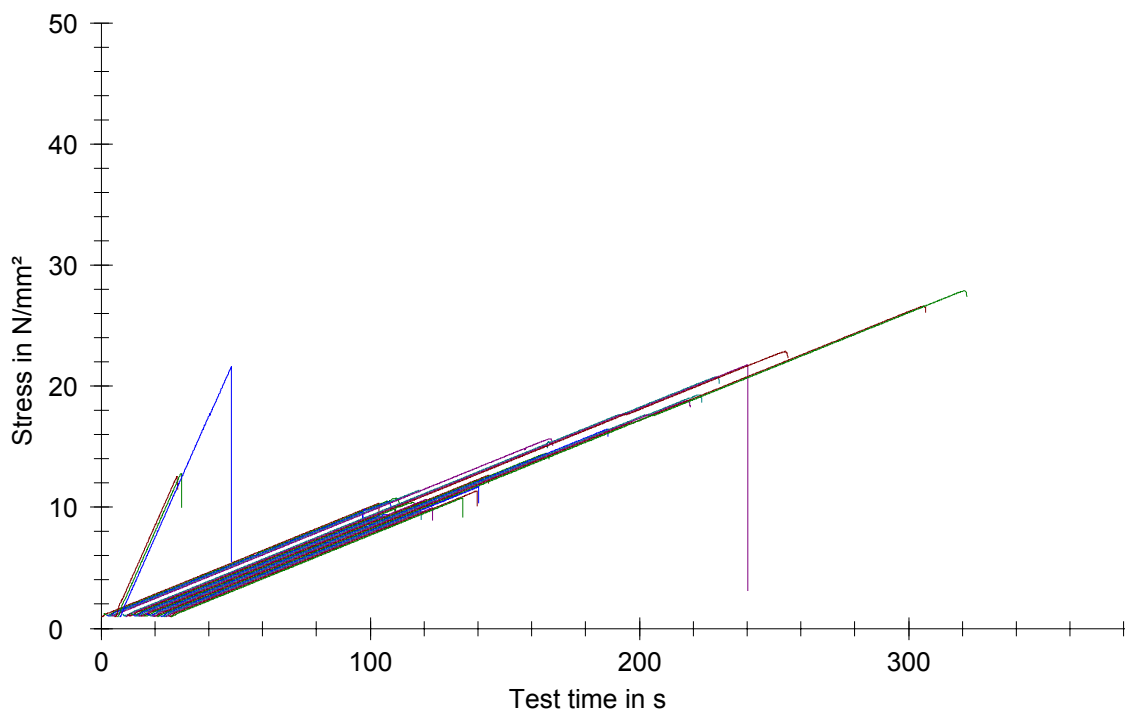


Testen utført av: Samdar Kakay

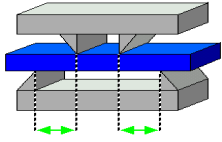




## Grafisk fremstilling:



Testen utført av: Samdar Kakay



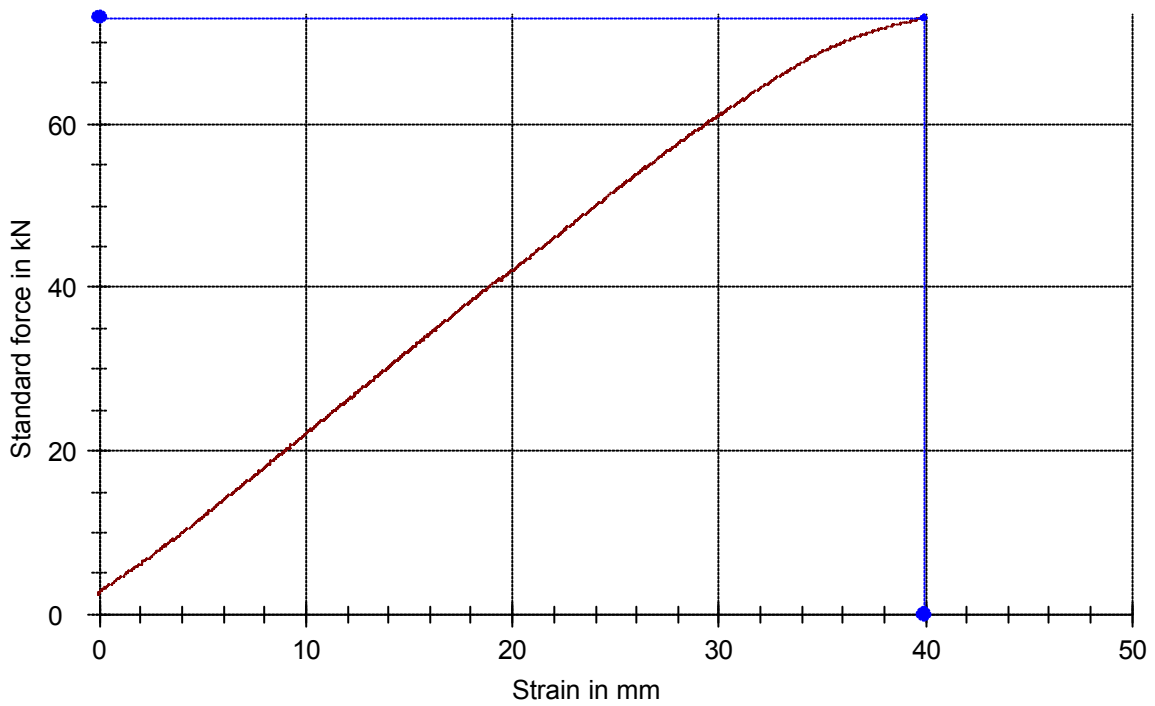
## Plate test

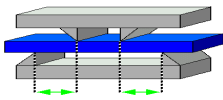
16.04.09

### Results:

Legends	Nr	a mm	b mm	$F_m$ kN	$\epsilon_m$ mm	h mm	ID
	1	350,0	2000,0	72,96	39,95	100,0	SF(50/50)1,7%_plate

### Series graphics:





## Bjelke test

Vedlegg 7

09.04.2009

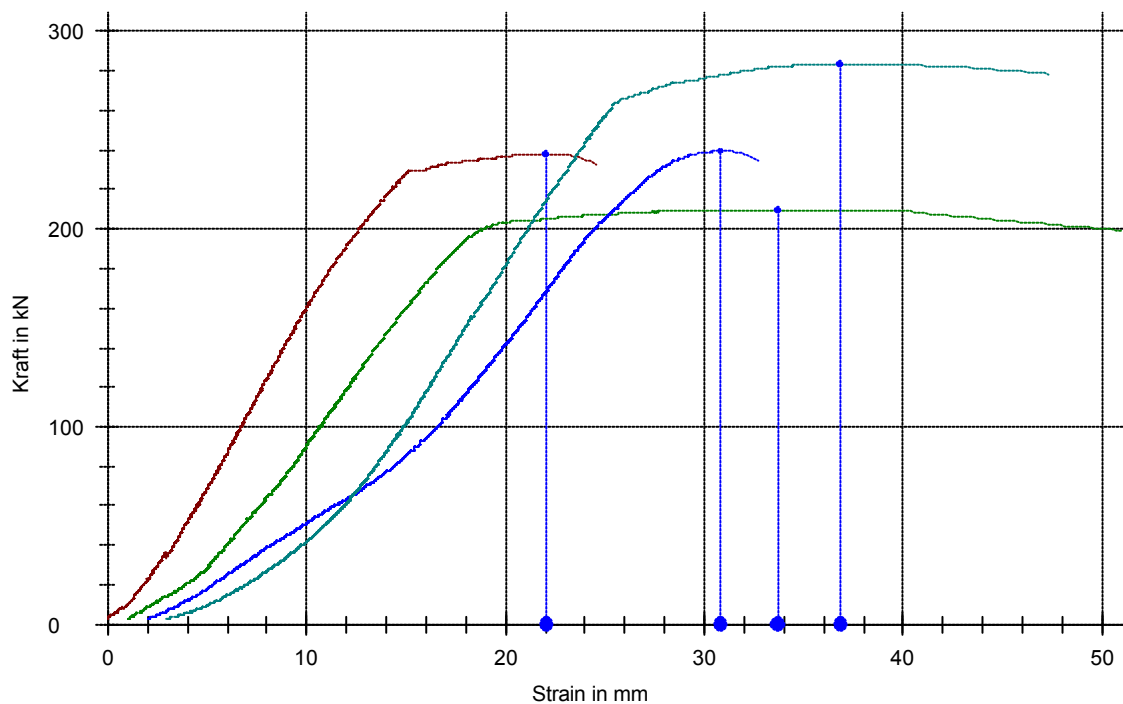
### Parameter table:

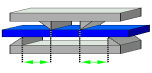
Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	
Test standard :	
Strength grade:	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

### Results:

Legends	Nr	a mm	b mm	$F_m$ kN	$\epsilon_m$ mm	h mm	ID
<span style="color: red;">■</span>	1	250,0	2200,0	237,81	22,07	300,0	Ref_bjelke
<span style="color: green;">■</span>	2	250,0	2200,0	209,67	32,75	300,0	SF0,7%(50/50)_bjelke
<span style="color: blue;">■</span>	3	250,0	2200,0	239,24	28,84	300,0	SF1,13%(50/50)_bjelke
<span style="color: teal;">■</span>	4	250,0	2200,0	283,67	33,88	300,0	SF1,7%(50/50)_bjelke

### Series graphics:





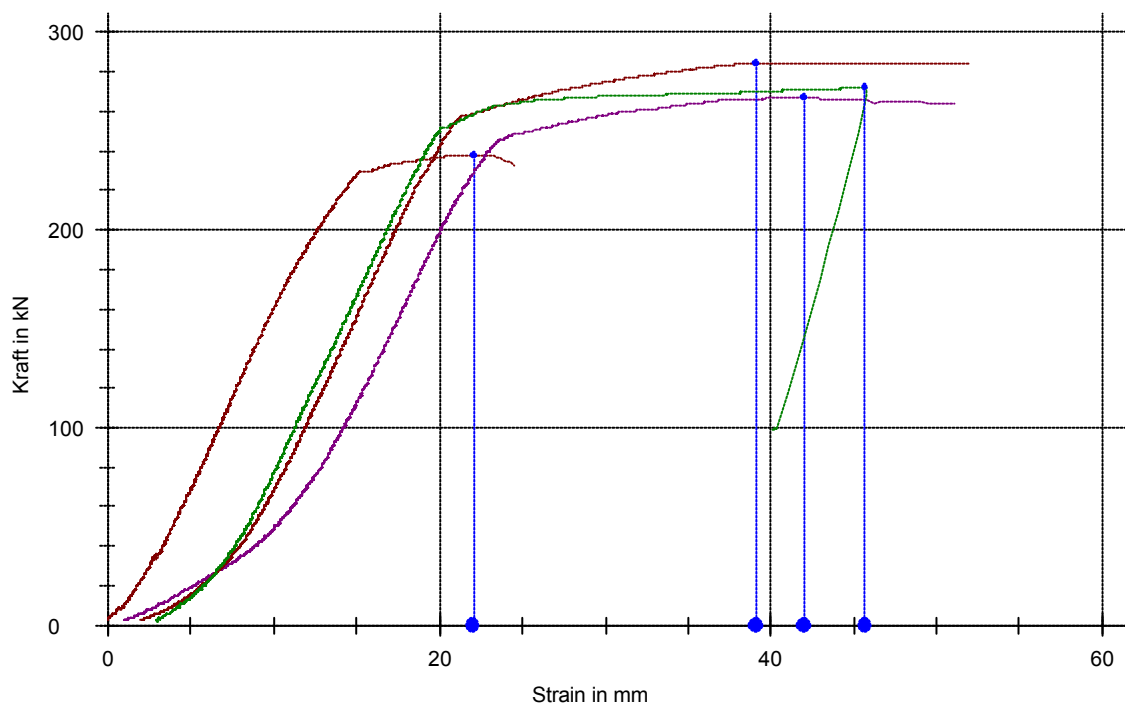
Parameter table:

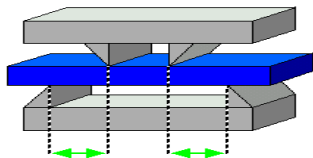
Test protocol :  
Tester :  
Customer :  
Test standard :  
Strength grade:  
Creation date :  
Age : 0 T  
Other :

Results:

Legends	Nr	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN	ε <sub>m</sub> mm	h mm	ID
	1	250,0	2200,0	237,81	22,07	300,0	Ref bjelke
	5	250,0	2200,0	266,88	41,06	300,0	SF0,7%(65/35)_bjelke
	6	250,0	2200,0	284,51	37,18	300,0	SF1,13%(65/35)_bjelke
	7	250,0	2200,0	272,17	42,70	300,0	SF1,7%(65/35)_bjelke

Series graphics:







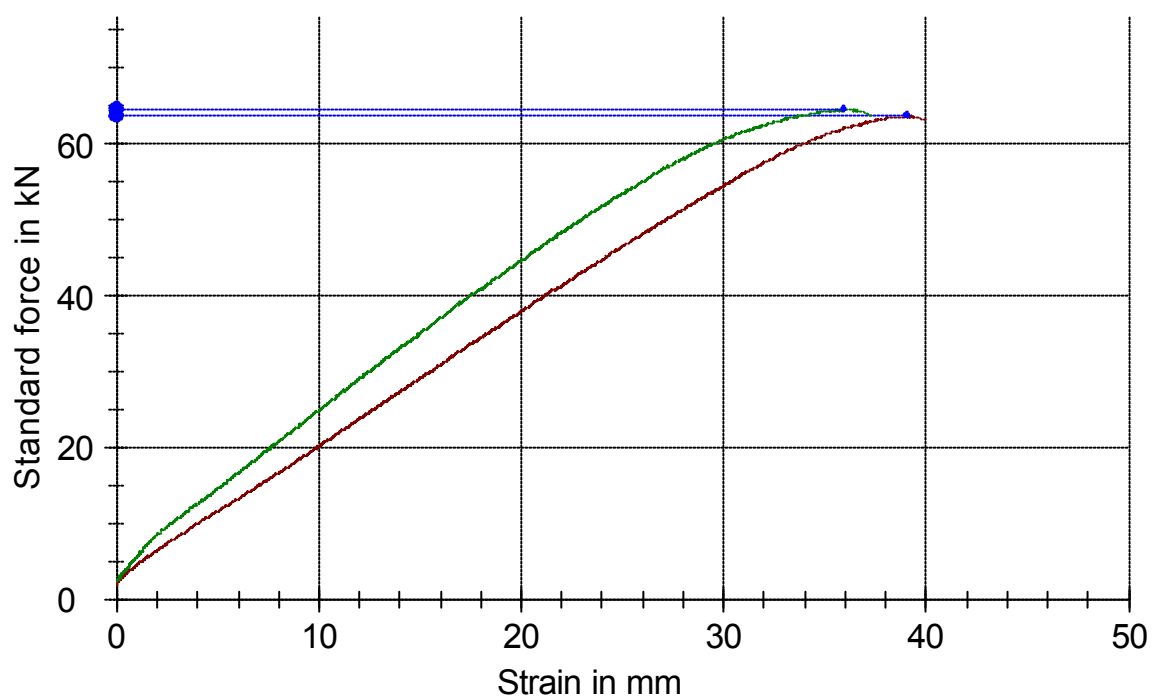
## Plate test

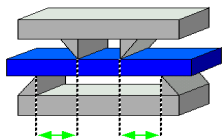
16.04.09

## Results:

Legends	Nr	A mm <sup>2</sup>	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN	h mm	ID
	1	700000,0	350,0	2000,0	63,63	100,0	SF(50/50)0,70%_plate
	2	700000,0	350,0	2000,0	64,51	100,0	SF(50/50)1,13%_plate

## Series graphics:





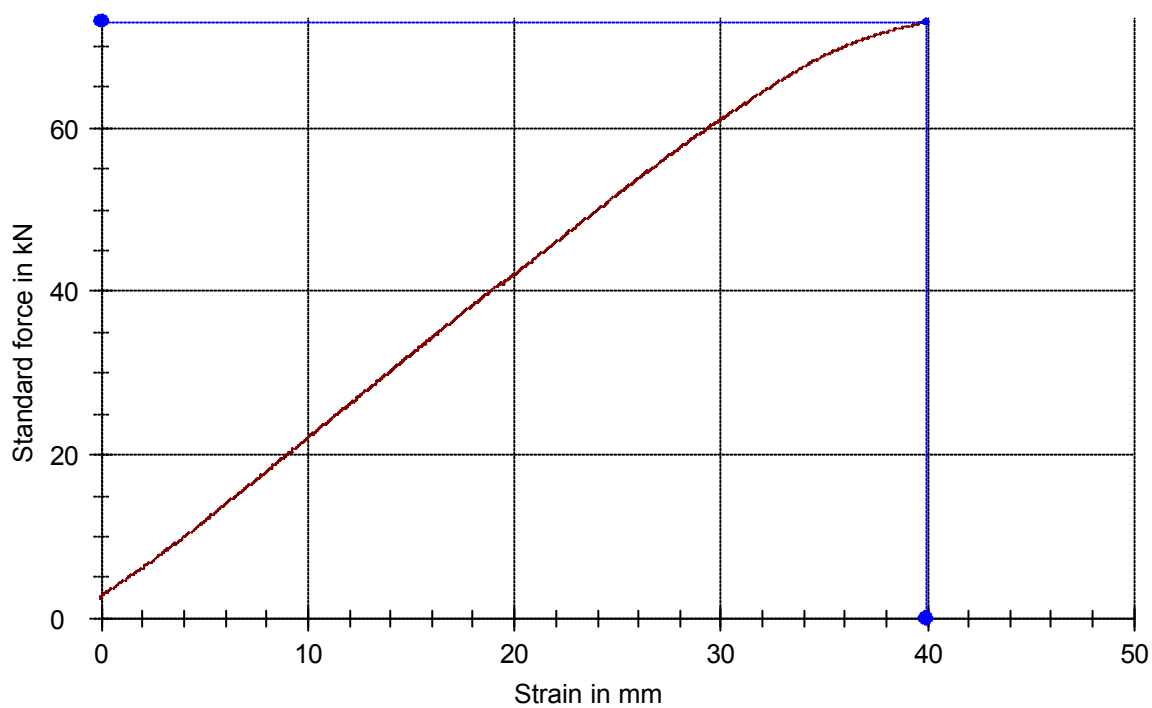
## Plate test

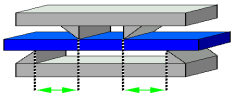
16.04.09

## Results:

Legends	Nr	a mm	b mm	$F_m$ kN	$\varepsilon_m$ mm	h mm	ID
	1	350,0	2000,0	72,96	39,95	100,0	SF(50/50)1,7%_plate

## Series graphics:





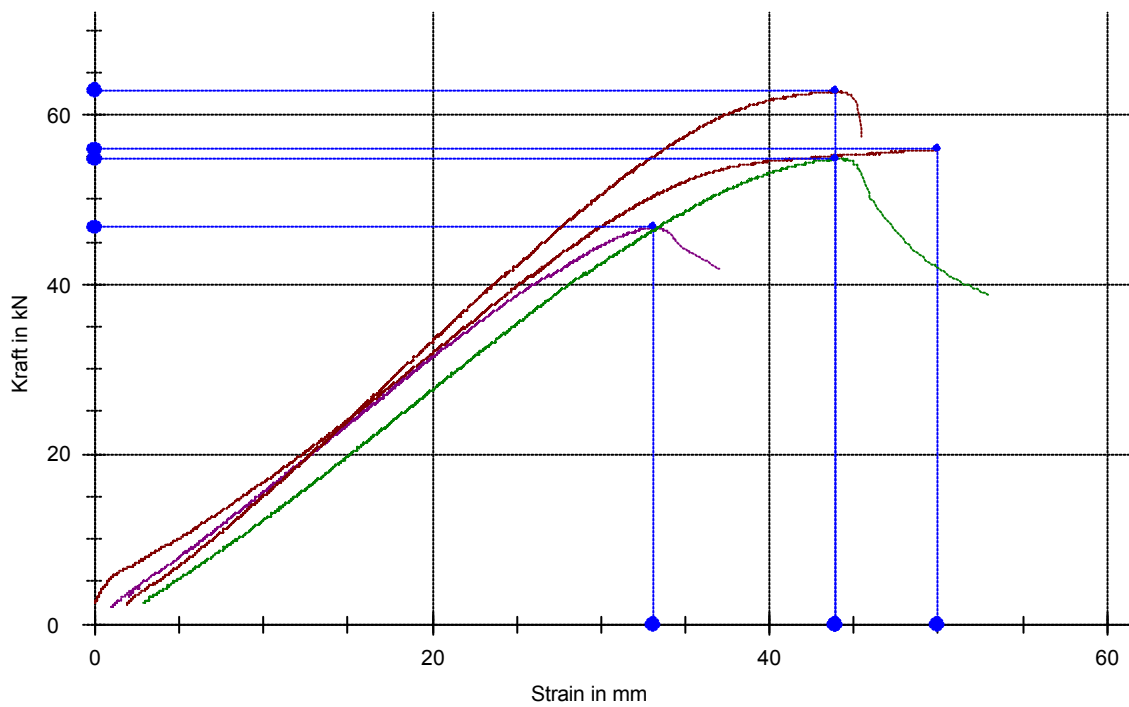
**Parameter table:**

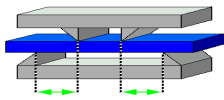
Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	
Test standard :	
Strength grade:	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

**Results:**

Legends	Nr	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN	ε <sub>m</sub> mm	h mm	ID
	1	350,0	2000,0	55,87	49,99	100,0	Ref_Plate
	5	350,0	2000,0	46,67	32,09	100,0	PPF(M6) 0,33%
	6	350,0	2000,0	62,77	41,92	100,0	PPF(M6) 0,5%
	7	350,0	2000,0	54,77	40,91	100,0	PPF(M6) 0,9%

**Series graphics:**









**Parameter table:**

Test protocol :	Type strain extensometer:
Tester :	Machine data :
Customer :	
Test standard :	
Strength grade:	
Creation date :	
Age : 0 T	
Other :	

**Results:**

Legends	Nr	a mm	b mm	F <sub>m</sub> kN	ε <sub>m</sub> mm	h mm	ID
	1	350,0	2000,0	55,87	49,99	100,0	Ref_Plate
	2	350,0	2000,0	54,22	35,51	100,0	PPF(M12) 0,33%
	3	350,0	2000,0	52,10	35,85	100,0	PPF(M12) 0,50%
	4	350,0	2000,0	42,67	29,36	100,0	PPF(M12) 0,90%

**Series graphics:**

