

# Konstruktiv bruk av fiberarmering i betong



**Simen Sveinung Rindebakken**

## **Veileder**

Rein Terje Thorstensen

*Masteroppgaven er gjennomført som ledd i utdanningen ved Universitetet i Agder og er godkjent som del av denne utdanningen. Denne godkjenningen innebærer ikke at universitetet inntår for de metoder som er anvendt og de konklusjoner som er trukket.*

Universitetet i Agder, 2016

Fakultet for teknologi og realfag

Institutt for ingeniørvitenskap



# Forord

*Denne rapporten er utarbeidet som en besvarelse av masteroppgaven i emnet BYG500. Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven av det toårige masterstudiet for sivilingeniør bygg ved Universitetet i Agder. Oppgaven er skrevet i fjerde og avsluttende semester og omhandler bruken av fiber som konstruktivt armeringsmateriale i betong.*

*Det stilles krav til grunnleggende kunnskap om betongteknologi.*

***Jeg vil gjerne rette en stor takk til:***

*Rein Terje Thorstensen, Ingrid Lande Larsen, Anette Heimdal, Paul Svennevig, Cecilie Ødegård og Rita Ditlefsen ved Universitetet i Agder for all hjelp og tålmodighet i forbindelse med denne oppgaven. Det kunne ikke vært gjennomført uten dere.*

*Rambøll Norge AS avd. Skien ved Jon Rødsætre, Trond Engen, Magnus Koth og Tore Mathisen for samarbeidet og tilretteleggingen for denne oppgaven.*

*ReforceTech AS ved Len Miller og Per Cato Standal for samarbeidet med spennende oppgave, fiberprodukter og innblikk i deres virksomhet.*

*Sist men ikke minst må det rettes en stor takk til min samboer, mine studiekamerater, venner og familie for støtte under arbeidet med oppgaven.*

---

Dato og sted

---

Simen Sveinung Rindebakken





## *Abstract*

This report is written as a final thesis for a master's degree in civil engineering at the University of Agder. The scope is to see how alkali-resistant glass fiber MiniBar from ReforceTech can be used as constructive reinforcement of concrete in Norway.

To date, there are no unifying Norwegian design rules for constructive use of fibre reinforcement. However, Concrete Innovation Centre (COIN) has published guidelines for the production, casting and design of fibre reinforced concrete. A final set of design rules are expected in August 2016.

The scope of this thesis is to see how this fiber type influence the properties of fresh and hardened concrete, as well as verifying that the design rules of moment- and shear capacity are applicable for this sort of fiber.

When adding fiber equivalent to 1,0 volume fraction, the fresh properties was drastically changed and resulted in fiber balling. This is a sign that the optimal fiber amount compared to the concretes biggest aggregates and amount of fines were reached. As a result of the balling the air content of the fresh and hardened concrete increased.

This was reflected by a reduction in compression strength of about 30 percent. Furthermore the results from the hardened concrete tests shows an increased ductility, an increased tensile strength and a high average residual flexural tensile strength as well as improved capacity regarding moment- and shear loading. It is safe to say that this fiber type can be used in guidance with the expected design rules.

## INNHALDSFORTEGNELSE

Innholdsfortegnelse .....	6
<b>1 Innledning.....</b>	<b>14</b>
<b>2 Samfunnsperspektiv.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Problemstilling.....</b>	<b>16</b>
3.1 Forskningsspørsmål .....	16
3.2 Avgrensning.....	16
<b>4 Teori.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Tunnelveggelementer .....</b>	<b>17</b>
4.1.1 Driving av tunneler.....	17
4.1.2 Krav til konstruksjonen .....	18
<b>4.2 Fiberarmering .....</b>	<b>20</b>
4.2.1 Regelverk .....	20
4.2.2 Fibertyper.....	21
4.2.3 Praktisk bruk av fiberarmering .....	23
4.2.4 Produksjon av fiberbetong .....	25
4.2.5 Utførelse av fiberarmerte konstruksjoner.....	27
4.2.6 Innvirkning på egenskaper.....	28
<b>4.3 UHPFRC .....</b>	<b>29</b>
4.3.1 Karakteristikk .....	29
4.3.2 Delmaterialer .....	30
4.3.3 Regelverk .....	31
<b>5 Metode.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 Proporsjonering og reseptutvikling.....</b>	<b>32</b>
5.1.1 Betong og fibertyper .....	32
5.1.2 Omfang av SV40-støp .....	32
5.1.3 Tilpasning av SV40-resept for stålfiber .....	33
5.1.4 Reseptutvikling av Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete .....	34
<b>5.2 Produksjon og utførelse.....</b>	<b>36</b>
5.2.1 SV40 AR-glass MiniBars.....	36
5.2.2 SV40 Stålfiber.....	39
5.2.3 UHPFRC .....	40
<b>5.3 Prøving av fersk betong .....</b>	<b>41</b>
5.3.1 Luftinnhold.....	41
5.3.2 Synkmål.....	41
5.3.3 Utbredingsmål .....	42
5.3.4 Densitet.....	43

5.3.5	Fiberinnhold .....	44
<b>5.4</b>	<b>Prøving av herdnet betong .....</b>	<b>45</b>
5.4.1	Densitet.....	45
5.4.2	Trykkfasthet .....	46
5.4.3	Bøyestrekfasthet.....	47
5.4.4	Elastisitetsmodul.....	48
5.4.5	Direkte strekkfasthet .....	49
5.4.6	Bestemmelse av rest strekkfasthet og prøvingsmetode for måling av momentkapasitet for bjelketverrsnitt .....	50
5.4.7	Prøvingsmetode for måling av skjærkapasitet for bjelketverrsnitt .....	53
<b>5.5</b>	<b>Beregning av bjelker for skjær- og momentbelastning.....</b>	<b>54</b>
5.5.1	Momentkapasitet av armert betong .....	54
5.5.2	Momentkapasitet av fiberarmert betong.....	57
5.5.3	Momentkapasitet av armert fiberbetong.....	58
5.5.4	Skjærkapasitet av armert betong .....	59
5.5.5	Skjærkapasitet av armert fiberbetong.....	60
<b>6</b>	<b>Resultat og analyse .....</b>	<b>61</b>
<b>6.1</b>	<b>SV40 – AR-glass MiniBars.....</b>	<b>61</b>
6.1.1	Fersk betongegenskaper.....	61
6.1.2	Herdnet betongegenskaper .....	63
6.1.3	Verifisering av dimensjoneringsregler for beregning av momentkapasitet for fiberarmert og armert fiberbetong for 55mm AR-Glass MiniBars .....	87
6.1.4	Verifisering av dimensjoneringsregler for beregning av skjærkapasitet for fiberarmert og armert fiberbetong for 55mm AR-Glass MiniBars.....	88
6.1.5	Oppsummering av resultater SV40.....	89
<b>6.2</b>	<b>SV40 – Stålfiber .....</b>	<b>90</b>
6.2.1	Fersk betongegenskaper.....	90
6.2.2	Herdnet betongegenskaper .....	92
6.2.3	Oppsummering av resultater SV40 - stålfiber .....	97
<b>6.3</b>	<b>UHPFRC .....</b>	<b>98</b>
6.3.1	R35 .....	98
6.3.2	R35.2 2,2 V% stålfiber .....	101
6.3.3	R35.2 2,0 V% MiniBars .....	104
6.3.4	Oppsummering av resultater UHPFRC.....	107
<b>7</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>108</b>
<b>8</b>	<b>Anbefalinger .....</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>110</b>

**10 Vedleggsliste..... 113**

## Figurliste

Figur 4-1 Prinsipp for TBM [4].....	17
Figur 4-2 Stabling av tunnelelementer [9].....	18
Figur 4-3 Illustrasjon av gjennomlokking [11].....	19
Figur 4-4 Ulike former av stålfiber .....	21
Figur 4-5 Utforming av MiniBars.....	21
Figur 4-6 Spenninger ved dannelse av riss i fiberarmert betong.....	23
Figur 4-7 Spenninger ved dannelse av riss i uarmert betong .....	23
Figur 4-8 Illustrasjon av forskjellen i duktilitet for uarmert og fiberarmert betong [14] .....	24
Figur 4-9 Innvirkning av tilslagetets størrelse på fiberfordeling (Johnston 1996) .....	25
Figur 4-10 Transportbånd for innblanding av fiber .....	26
Figur 4-11 Innblåsningsutstyr for innblanding av fiber.....	26
Figur 4-12 Illustrasjon av ugunstig svakhetszone for fiberarmert tverrsnitt.....	27
Figur 4-13 Partikkeldistribusjon etter Andreassen modellen .....	29
Figur 5-1 Siktekurve for opprinnelig resept SV40.....	33
Figur 5-2 Siktekurver for tilpasning av resept SV40.....	33
Figur 5-3 Justering av mengder for optimalisering.....	34
Figur 5-4 Tilpasning til idealkurve.....	34
Figur 5-5 Former til strekklegemer .....	36
Figur 5-6 Tillaging av former til bjelker .....	36
Figur 5-7 Former til bjelker .....	36
Figur 5-8 Tillaging av former til strekklegemer .....	36
Figur 5-9 Former klar for utstøpning .....	36
Figur 5-10 Utstøpning av første støperunde .....	37
Figur 5-11 Utstøpning av andre støperunde .....	37
Figur 5-12 Utstøpning av tredje støperunde .....	37
Figur 5-13 Prøvelegemer tildekt av plast.....	38
Figur 5-14 Tildekking av bjelker til herding.....	38
Figur 5-15 Prøvelegemer til herding i vannbad .....	38
Figur 5-16 Alt tilslag tilsatt blandemaskin.....	39
Figur 5-17 Tildekking av bjelker til herding (Stålfiber).....	39
Figur 5-18 Zyklus blandemaskin.....	40
Figur 5-19 Apparat for måling av luftinnhold .....	41
Figur 5-20 Illustrasjon for måling av synk .....	41
Figur 5-21 Illustrasjon for måling av utbredning .....	42
Figur 5-22 Magnet for telling av stålfiber .....	44
Figur 5-23 Siktesats for telling av MiniBars .....	44

Figur 5-24 Tørking ved trykkluft.....	45
Figur 5-25 Vekt i luft .....	45
Figur 5-26 Vekt i vann .....	45
Figur 5-27 Tilfredsstillende bruddform.....	46
Figur 5-28 Eksempler på utilfredsstillende bruddform for terningformede prøvelegemer .....	46
Figur 5-29 Midtpunktsbelastning.....	47
Figur 5-30 Prøvelegemer .....	47
Figur 5-31 Prøvelegeme før og etter sliping .....	48
Figur 5-32 Maskin for sliping av prøvelegemer .....	48
Figur 5-33 Montert strekklegeme for testing av direkte strekkfasthet.....	49
Figur 5-34 Prinsipp for testing av bøyestrekfasthet.....	50
Figur 5-35 Bjelke for testing av momentkapasitet og bøyestrekfasthet .....	50
Figur 5-36 Bjelke for testing av skjærkapasitet .....	53
Figur 5-37 Beregningsmodell, momentkapasitet .....	54
Figur 5-38 Typiske tøyningstilstander ved bøyebrydd .....	55
Figur 5-39 Spennings og tøyningfordeling for rektangulært tverrsnitt av fiberarmert betong utsatt for ren bøyning.....	57
Figur 6-1 Illustrasjon av redusert trykkfasthet som følge av luftinnhold .....	66
Figur 6-2 Prismer utsatt for bøyning.....	68
Figur 6-3 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 0,0 V% fibertilsetning ....	72
Figur 6-4 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 0,67 V% fibertilsetning .	72
Figur 6-5 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 1,2 V% fibertilsetning ...	73
Figur 6-6 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 2ø8 + 0,0 V% fibertilsetning.....	76
Figur 6-7 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 2ø8 + 0,67 V% fibertilsetning.....	76
Figur 6-8 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 2ø8 + 1,2 V% fibertilsetning.....	77
Figur 6-9 Tydelig forskjell i skjærriss for armert betong og armert fiberbetong.....	82
Figur 6-10 Måling av synk .....	90
Figur 6-11 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 1,0 V% fibertilsetning .	94

## Tabelliste

Tabell 4-1 Reststrekkfasthetsklasser for fiberarmert betong.....	24
Tabell 6-1 Resultater fra måling av luftinnhold .....	61
Tabell 6-2 Resultater fra måling av fiberinnhold for 1,0 V% fibertilsetning .....	62
Tabell 6-3 Resultater fra måling av fiberinnhold for 1,5 V% fibertilsetning .....	62
Tabell 6-4 Densitet av herdet betong med 0,0 V% fibertilsetning .....	63
Tabell 6-5 Densitet av herdet betong med 0,67 V% fibertilsetning .....	63
Tabell 6-6 Densitet av herdet betong med 1,2 V% fibertilsetning .....	64
Tabell 6-7 Resultater av trykkfasthet ved 0,0 V% fibertilsetning .....	65
Tabell 6-8 Resultater av trykkfasthet ved 0,67 V% fibertilsetning .....	65
Tabell 6-9 Resultater av trykkfasthet ved 1,2 V% fibertilsetning .....	66
Tabell 6-10 Fasthetsklasser for testet betong .....	66
Tabell 6-11 Resultater av bøyestrekfasthet ved 0,0 V% fibertilsetning.....	67
Tabell 6-12 Resultater av bøyestrekfasthet ved 0,67 V% fibertilsetning.....	67
Tabell 6-13 Resultater av bøyestrekfasthet ved 1,2 V% fibertilsetning.....	68
Tabell 6-14 Resultater av E-modul ved 0,0 V% fibertilsetning .....	69
Tabell 6-15 Resultater av E-modul ved 0,67 V% fibertilsetning .....	69
Tabell 6-16 Resultater av E-modul ved 1,2 V% fibertilsetning .....	69
Tabell 6-17 Direkte strekkfasthet ved 0,0 V% fibertilsetning .....	70
Tabell 6-18 Direkte strekkfasthet ved 0,67 V% fibertilsetning .....	70
Tabell 6-19 Direkte strekkfasthet av 1,2 V% fibertilsetning .....	70
Tabell 6-20 Bruddlast og momentkapasitet for 0,0 V% fibertilsetning .....	74
Tabell 6-21 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 0,67 V% fibertilsetning.....	74
Tabell 6-22 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 1,2 V% fibertilsetning.....	74
Tabell 6-23 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 2ø8 + 0,0 V% fibertilsetning .....	78
Tabell 6-24 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 2ø8 + 0,67 V% fibertilsetning .....	78
Tabell 6-25 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 2ø8 + 1,2 V% fibertilsetning .....	78
Tabell 6-26 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 0,0 V% fibertilsetning .....	80
Tabell 6-27 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 0,67 V% fibertilsetning .....	80
Tabell 6-28 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 1,2 V% fibertilsetning .....	80
Tabell 6-29 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 2ø8 og 0,0 V% fibertilsetning .....	81
Tabell 6-30 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 2ø8 og 0,67 V% fibertilsetning .....	81
Tabell 6-31 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 2ø8 og 1,2 V% fibertilsetning .....	81
Tabell 6-32 Last ved ulike rissvidder (CMOD) for bjelker med 0,67 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter.....	83
Tabell 6-33 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 0,67 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter.....	83

Tabell 6-34 Last ved CMOD = 2,5 mm for bjelker med 0,67 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter.....	84
Tabell 6-35 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 0,67 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter.....	84
Tabell 6-36 Last ved ulike rissvidder (CMOD) for bjelker med 1,2 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter.....	85
Tabell 6-37 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,2 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter.....	85
Tabell 6-38 Last ved CMOD = 2,5 mm for bjelker med 1,2 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter .....	86
Tabell 6-39 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,2 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter.....	86
Tabell 6-40 Sammenligning av dimensjonerende, teoretisk og faktisk momentkapasitet av bjelketverrsnitt armert med fiber alene.....	87
Tabell 6-41 Sammenligning av dimensjonerende, teoretisk og faktisk momentkapasitet av bjelketverrsnitt med konvensjonell armering og fiberarmering .....	87
Tabell 6-42 Sammenligning av dimensjonerende, teoretisk og faktisk skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med konvensjonell armering og fiberarmering .....	88
Tabell 6-43 Resultater fra måling av fiberinnhold for 1,0 V% fibertilsetning .....	90
Tabell 6-44 Resultater fra måling av luftinnhold .....	91
Tabell 6-45 Densitet av herdet betong med 1,0 V% fibertilsetning .....	92
Tabell 6-46 Resultater av trykkfasthet ved 1,0 V% fibertilsetning .....	93
Tabell 6-47 Måling av E-modul ved 1,0 V% fibertilsetning .....	93
Tabell 6-48 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 1,0 V% fibertilsetning .....	94
Tabell 6-49 Last ved ulike rissvidder (CMOD) for bjelker med 1,0 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter.....	95
Tabell 6-50 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,0 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter.....	95
Tabell 6-51 Last ved CMOD = 2,5 mm for bjelker med 1,0 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter .....	96
Tabell 6-52 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,0 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter.....	96
Tabell 6-53 Resultater fra måling av luftinnhold .....	98
Tabell 6-54 Utbredingsmål for 1,8 V% fibertilsetning .....	98
Tabell 6-55 Densitet av herdet betong med 1,8 V% fibertilsetning .....	99
Tabell 6-56 Resultater av trykkfasthet ved 1,8 V% fibertilsetning .....	99
Tabell 6-57 Resultater av bøyestrekfasthet ved 1,8 V% fibertilsetning.....	100
Tabell 6-58 Resultater fra måling av luftinnhold .....	101
Tabell 6-59 Utbredingsmål for 1,8 V% fibertilsetning .....	101
Tabell 6-60 Densitet av herdet betong med 2,2 V% fibertilsetning .....	102



Tabell 6-61 Resultater av trykkfasthet ved 2,2 V% fibertilsetning .....	102
Tabell 6-62 Resultater av bøyestrekfasthet ved 2,2 V% fibertilsetning.....	103
Tabell 6-63 Resultater fra måling av luftinnhold .....	104
Tabell 6-64 Utbredingsmål for 2,0 V% fibertilsetning .....	104
Tabell 6-65 Densitet av herdet betong med 2,0 V% fibertilsetning .....	105
Tabell 6-66 Resultater av trykkfasthet ved 2,0 V% fibertilsetning .....	105
Tabell 6-67 Resultater av bøyestrekfasthet ved 2,0 V% fibertilsetning.....	106

## 1 INNLEDNING

Denne rapporten er skrevet i forbindelse med avsluttende masteroppgave ved Universitetet i Agder. Oppgaven er i samarbeid med samfunnsrådgiver Rambøll Norge AS avd. Skien, fiberprodusent ReforceTech AS og Universitetet.

Under et forprosjekt høsten 2015 ble det undersøkt hvordan fiberarmerte tunnelveggelementer produsert for ny metrolinje i Doha, Qatar, kunne tilpasses til norske forhold. Fiberen i disse elementene er alkaliresistent glassfiber (AR-glass MiniBars) fra produsenten ReforceTech.

Per dags dato finnes det ikke et omforent norsk regelverk for konstruktiv bruk av fiberarmering i konstruksjoner. Det er derimot utarbeidet et forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner i regi av «Concrete Innovation Centre» (COIN). Arbeidet er videreført i Norsk betongforening publikasjon Nr. 38 – Fiberarmerte betongkonstruksjoner. Denne publikasjonen forventes ferdig sommeren 2016 og vil åpne for at fiber i betong kan virke konstruktivt som armeringsmateriale.

I disse publikasjonene spesifiseres det at fiberarmerte konstruksjonsdeler i alle pålitelighetsklasser hvor det er fare for liv ved nedstyrting skal ha konvensjonell stangarmering som kan overføre strekkraftene fra moment og aksialkrefter. Samtidig er det, i mangel på forskning, kun deler av dimensjoneringsreglene som er gjeldende for andre fibertyper enn stål.

Ettersom betongens sammensetning har variasjoner avhengig av hvor den blir produsert vil det være nødvendig å undersøke hvordan denne typen fiber vil innvirke på betongens egenskaper i fersk og herdet tilstand.

Med dette som grunnlag vil det være et behov for å undersøke og dokumentere denne fiberens innvirkning på betongen i fersk og herdet tilstand. Samtidig må materialparametere og dimensjoneringsgrunnlag legges til grunn før elementene kan prosjekteres for de aktuelle lastvirkningene.

I denne rapporten vil det derfor bli utført omfattende tester og analyser av armert betong, fiberarmert betong, armert fiberbetong og ultrahøyfast fiberarmert betong. Det er tatt utgangspunkt i to ulike typer fiber laget av henholdsvis stål og alkaliresistent glass.

## 2 SAMFUNNSPERSPEKTIV

De siste ti årene er et stort antall rapporter vedrørende sikkerhet og tilstand for norske tunneler utarbeidet og det konkluderes med at det er et stort behov for rehabilitering. I perioden 2015 til 2019 skal Statens Vegvesen utbedre over 200 norske tunneler til en prislapp på over 2,5 milliarder kroner.

I August 2008 ble det bestemt at det skal utarbeides en helhetlig strategi for vegtunneler. Denne strategien er presentert i etatsprogrammet «Moderne Vegtunneler». Her fremlegges det at de overordnede målsettingene er lang levetid, høy sikkerhet for trafikkkanter, høy kvalitet og reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader.

Samtidig er et regelverk under utarbeidelse som åpner for konstruktiv bruk av fiberarmert betong. Det er fortsatt knyttet store usikkerheter til produksjon, utførelse og dimensjoneringsreglene ved bruken av fiberarmering og det er uttrykt et ønske om ytterligere forskning på området. Ved å ta i bruk denne armeringsformen kan dette redusere armeringsmengden av stål. Samtidig kan det føre til redusert byggetid, sikker utførelse og økonomiske gevinster. Det blir mindre risiko for riss som kan føre til økt levetid for konstruksjonen.

## **3 PROBLEMSTILLING**

### **3.1 Forskningsspørsmål**

Hoved-forskningsspørsmål i denne oppgaven er som følger:

- Hvordan er fiberarmering fra ReforceTech egnet som konstruktivt armeringsmateriale i tunnelveggelementer?

Med følgende underspørsmål:

- Hvilken innvirkning har denne fibertypen på egenskaper av fersk betong?
- Hvilken innvirkning har denne fibertypen på egenskaper av herdnet betong?
- Hvordan samstemmer bruken av denne fibertypen med dimensjoneringsreglene i kommende regelverk for moment- og skjærkapasitet?

### **3.2 Avgrensning**

Det er en lang vei fra planlegging av en ny type konstruksjon til denne kan gjennomføres i praksis. Denne oppgaven vil anses som et steg på veien og er avgrenset til å inneholde dokumentasjon av dimensjoneringsgrunnlag og verifisering opp mot kommende dimensjoneringsreglement for moment- og skjærkapasitet. Dette vil eksempelvis si at egenskaper knyttet til motstandsdyktighet mot nedbrytingsmekanismer som kloridintrengning, brannpåkjening og langtidslaster er av tidsmessige årsaker ikke inkludert.

## 4 TEORI

### 4.1 Tunnelveggelementer

Norge er et land med en lang og stolt tunnelhistorie. Landets geografi og topografi er utfordrende, det er langstrakt med høye fjellområder og dype fjorder.

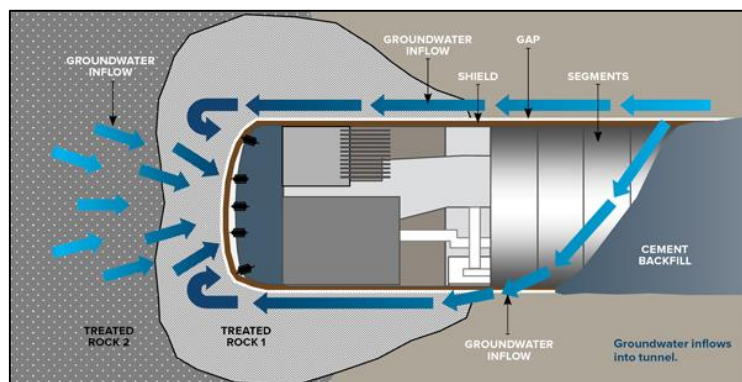
#### 4.1.1 Driving av tunneler

I mange år har konvensjonell boring og sprengning vært den foretrukne metoden for tunneldrift i Norge. I områder med hardt fjell og større tverrsnitt gir dette stor fleksibilitet ved håndtering av vanntilsig med forinjeksjoner. Denne fleksibiliteten bidrar til at entreprenører og eiere har en større mulighet til å gjøre endringer på stedet når det gjelder armeringsmetoder og strategier i henhold til kontrakt og dokumentasjonssystem. [1]

Prinsippet bak boring og sprengning baserer seg på at en tunnelborerigg borer injeksjonshull ca. 25 meter foran fjellfronten i hele tunnelprofilen. En injeksjonsrigg vil deretter pumpe en sementblanding inn i hullene under trykk. Slik blir alle vannførende sprekker tettet. Deretter blir det på nytt boret 2-5 meter lange hull som blir ladet med sprengstoff. For å minske rystelsene blir hver sprengning ofte delt opp i mange små salver som blir avfyrt i rask rekkefølge. De sprengte massene blir lastet på biler og fraktet fra stedet. Løst fjell blir pigget ned og rensket. Hvis fjellkvaliteten er dårlig sikres dette med bolter, sprøytebetong og/eller armerte sprøytebetongbuer. Som permanent sikring blir det montert mellom 5 og 7 bolter per meter tunnel og påført sprøytebetong. Sprøytebetongen som blir benyttet er for øvrig ofte armert med stålfiber. Dette blir gjentatt og hver syklus driver ca. 5 meter av tunnelen, avhengig av fjellforholdene. [2]

Til tross for at konvensjonell boring og sprengning har vært den foretrukne metoden i Norge i nyere tid, står Norge nå for en liten tunnelboremaskin(TBM)-renessanse. I 2010 startet planleggingen av to jernbanelinjer og en vannkraftutbygging ved bruk av tunnelboremaskiner til drivingen. Det skiller mellom ulike typer tunnelboremaskiner med ulike drivemetoder, avhengig av geologien i området.

TBM-er bryter berg gjennom å trykke diskuttere mot bergfronten hvor det oppstår en knusningszone under diskutterne. Den knuste og utdrevne massen løftes opp i skovler i kutterhodet og transporterer massen ut ved hjelp av et transportbelte. En dobbeltskjold-TBM har et teleskopledd som gjør det mulig å montere betongelementer samtidig med boring. Maskinen har grippere og jekker som sørger for framdrift ved å presse mot berget eller de monterte tunnelveggelementene. [3]



Figur 4-1 Prinsipp for TBM [4]

#### 4.1.2 Krav til konstruksjonen

Vegtunneler skal sikres spesielt mot vann og is. Sikringen utføres som oftes ved avskjerming av vannet som blir ført ned til en grøft eller et drenslag. Denne avskjermingen fungerer som vann-, frost og brannvern og utføres som en isolert konstruksjon hvis frostmengden overstiger angitte grenseverdier. Alle nye konstruksjoner skal godkjennes av Vegdirektoratet for en forventet levetid. Dette vil også gjelde modifikasjoner på allerede godkjente konstruksjoner. Prosedyren for godkjenning vil inneholde flere momenter og eksempler på hva som skal være dokumentert er:

- Materialeegenskaper, miljøkrav og levetid for benyttede materialer
- Vanntetthet mot innlekasje
- HMS-vurdering i forhold til produksjon og montering
- Egenskaper i forhold til drift og vedlikehold
- Brann tekniske egenskaper
- Bestandighet i forhold til miljølaster
- Beregninger i henhold til gitte krav, laster og dimensjoneringsregler

Betongen skal i tillegg tilfredsstillende fasthetsklasse B45 og bestandighetsklasse MF40 iht. «NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar». Dette er frostbestandig betong med luftinnhold større 4,0 %. Grenseverdier for beregningsmessig karakteristisk rissvidde,  $W_d$ , iht. NS 3473 skal være tilfredsstillende. [5], [6], [7]

#### Laster som alltid skal vurderes vil være:

Permanente laster: egenlast, innhengt las og jordtrykk.

Variable laster: trykk- og suglaster fra trafikk, temperaturendringer og laster ved stabling, frakt og montering.

Deformasjonslaster: svinn, kryp og setninger.

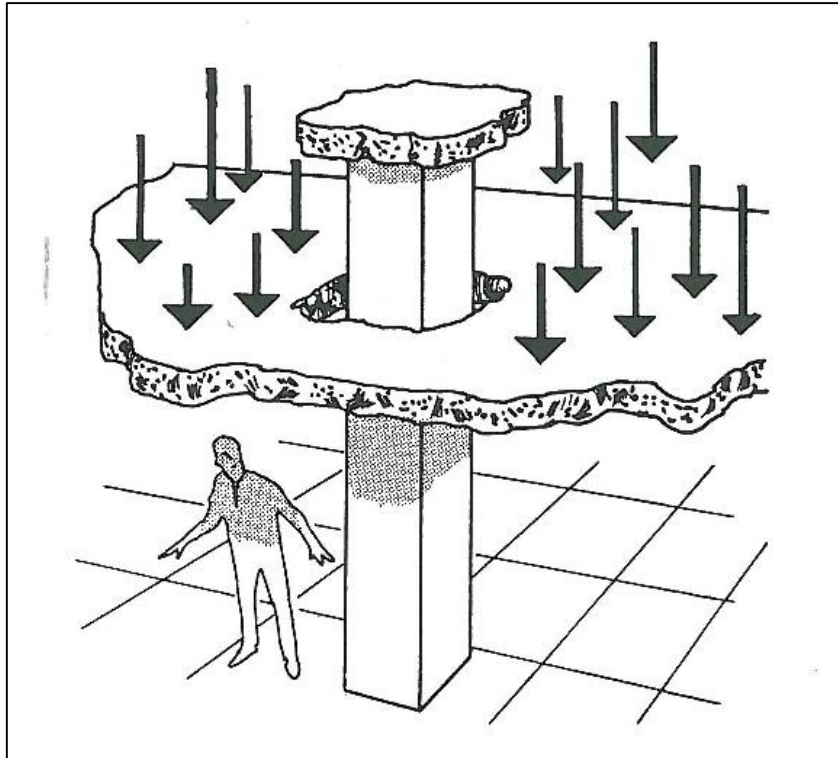
Ulykkeslaster: fall-last og påkjøringslast.

Miljølaster: Frost, salt/kloridangrep, tunnelluft og avgasser, asfaltprodukter, oljesøl og lekkasjevann. [8]



Figur 4-2 Stabling av tunnelelementer [9]

Tunnelveggelementer er unike konstruksjoner ettersom de utsettes for svært varierende lastsituasjoner. Elementene blir utsatt for bøyning bare timer etter at de avformes og plasseres stablet i herdekammer. Mindre enn 24 timer etter herding blir de videre stablet på hverandre for lagring. Deretter blir de fraktet til byggplassen hvor de blir plassert av en tunnelboremasking som sørger for fremdrift ved å skyve fra på de allerede plasserte elementene noe som fører til høye lokale spenninger. Det siste steget er å støpe igjen tomrommet mellom elementene og den omliggende bergmassen. Avhengig av boltavstanden vil elementene utsettes for store momentkrefter eller store skjærspenninger mellom boltene, og boltene i seg selv utgjør stor gjennomlukkingskraft. Gjennomlukkning er en form for skjærkraft og kan medføre fare for nedstyrting. [10]



Figur 4-3 Illustrasjon av gjennomlukkning [11]

## 4.2 Fiberarmering

Fiberarmert betong er betong forsterket med korte, tilfeldig orienterte fiber. Tradisjonelt har fiberarmering vært brukt i gulv på grunn, for bergsikring i tunneler og i arkitektonisk utfordrende elementer. Primært er det brukt som erstatning av minimumsarmering for risskontroll og i mindre grad som erstatning av skjær- og strekkarmering. Anvendelsen av fiber som forsterkning i bygningskonstruksjoner har med andre ord vært begrenset. Dette først og fremst på grunn av manglende forskning på atferden til strukturelle elementer og derav mangel på dimensjoneringsregler. [12]

De siste tiårene har derimot forskning og utvikling av fiber gitt ny kunnskap om muligheter, men også problemer knyttet til bruken av fiber som armeringsmateriale. Dette har resultert i at en rekke materialtyper er blitt tatt i bruk, det er gjennomført mange laboratorie- og feltforsøk og det er gjort grundige teoretiske analyser. Mye tyder nå på at teknologien er kommet opp på det nivået at fiber kan brukes utover de tradisjonelle områdene som sprøytebetong og i gulv på grunn. [13]

### 4.2.1 Regelverk

Det er nå flere tilgjengelige internasjonale regelverk som omhandler konstruktiv bruk av fiber. Det er imidlertid behov for et omforent norsk dokument som henviser til gjeldende regelverk. I 2010 publiserte COIN et forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner. Denne veiledningen supplerer gjeldende regelverk ved å definere prinsipper, dokumentasjonskrav, sikkerhetskrav og andre tilleggskrav for anvendelsen av fiberarmering. Hensikten er å åpne for bruk av materialet i lastbærende konstruksjoner for å gjøre erfaringer som kan gi grunnlag for videre utvikling. Teknologien nærmer seg et nivå hvor fiberarmering kan brukes i lastbærende konstruksjoner og et regelverk i form av en publikasjon fra Norsk betongforening er planlagt ferdig sommeren 2016.

Av konkrete regelverk som nå er tilgjengelig bør FIB's nye Model Code for betongkonstruksjoner (2010) nevnes. Denne er publisert og inkluderer bruken av fiberbetong. Model Code dekker derimot i utgangspunktet bare dimensjoneringsgrunnlag og dimensjoneringsregler. Et tysk regelverk er også utarbeidet, men gjelder bare tradisjonelt utstøpt stålfiberarmert betong innen et svært begrenset fasthetsområde. I 2008 ble fiber inkludert som konstruksjonsmateriale i amerikansk regelverk (ACI Code) og det amerikanske vegvesenet har forsket mye på fiber i høyfast betong. I Sverige pågår det et parallelt arbeid som i Norge, mens det i Danmark visstnok skal være planer om noe lignende. Videre er det et ganske komplett regelverk i Italia og Belgia, uten at det vil være hensiktsmessig å bruke disse direkte som regelverk for utførelse og kontroll i Norge. [13]

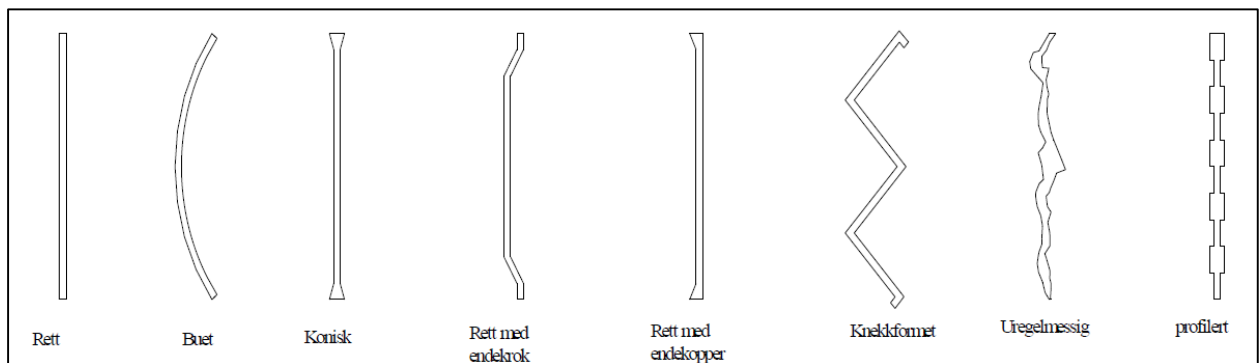


## 4.2.2 Fibertyper

Hovedtypene av fiber som brukes i dag er av stål-, glass, syntetisk og naturlige fibermaterialer. Generelt varierer lengden fra noen få mm (mikro-) til omkring 80 mm (makrofiber) og diameteren fra noen få tidels micron til 2 mm. Fiberlengden bestemmes avhengig av bruksområde, men det er som krav at den skal være minst to ganger maksimal tilslagsstørrelse ( $D_{max}$ ) for å føre strekkspenningen forbi tilslagskornene. [13]

### Stålfiber

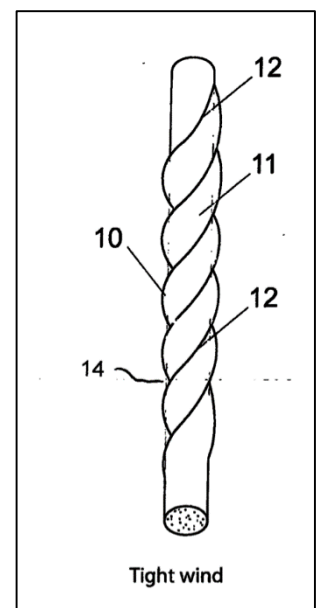
I Norge er stålfiber mest brukt i sprøytebetong til fjellsikring, brannsikring og reparasjoner. Det blir stadig vanligere å benytte fiberen som armering i gulv på grunn og i forbindelse med prefabrikasjon. Det er gjort mange forskningsprosjekter med stålfiber og derav omhandler flere av de internasjonale regelverkene kun denne fibertypen. Stålfiber produseres av kaldtrukket ståltråd som blir kappet i lengder som ofte varierer fra 6 til 60 mm med diameter fra 0,4 til 1,0 mm. For å gi fiberen heft med betongen er den ofte formet som vist i Figur 4-4. Strekkstyrken for stålfiber vil normalt være 1100 N/mm<sup>2</sup>. [14]



Figur 4-4 Ulike former av stålfiber

### Alkaliresistent glassfiber

Et eksempel på dette er AR-glass MiniBar fra ReforceTech. Dette er sammen med deres basaltbaserte (mineralsk) MiniBar makrofiber som brukes for å gi betongen lastbærende kapasitet med høy bøyestrekfasthet og høy restfasthet. Fiberne formes som en heliks ved å tvinne bunter av filamenter over hverandre og blir resinbelagt. Dette gir den en røff overflate som danner svært god heft med betongen. Disse fiberne leveres i typiske lengder på 20, 30, 43 og 55 mm lengde og diameteren er fast 0,65 mm. Tettheten er 2100 kg/m<sup>3</sup>, som er nært betongens densitet, som gjør at den har potensiale for å fordele seg godt i hele betongmassen. Strekkstyrken til fiberen er lik som ståls på ca. 1100 N/mm<sup>2</sup>. Men på grunn av fiberens lave densitet i forhold til stål, har den et volum per kg på 28.000 mot stål på 2800-5200. På grunn av heliksen får den også et langt større overflateareal, noe som gjør at den trenger mer matriks enn eksempelvis stålfiber. Disse fibertypene har vært mye brukt i fasadepaneller, gulv på grunn, tunnelelementer og i situasjoner hvor konduktivitet og magnetisme må vurderes spesielt.



Figur 4-5 Utforming av MiniBars

### **Syntetiske fiber**

Typiske syntetiske fiber er polypropylenfiber. Disse er ofte formet med riller eller knotter for å sikre heft og er typisk 30 mm til 50 mm lange. Polypropylene mikrofiber (PP-fiber) blir mye brukt i tunnelkonstruksjoner for å forhindre eksplosiv avskaling ved brann. I fersk tilstand motvirker denne fibertypen tidlige svinnriss, men i herdet tilstand har den ingen armeringseffekt. Fibrene kjennetegnes ved lavt smeltepunkt og smelter ved rundt 160 grader. Dette skaper et finmasket nett av kanaler slik at damtrykket som oppstår i betong ved oppvarming slipper ut og hindrer avskaling. Det er innført som krav at norske betongelementer til bruk i tunnel skal inneholde denne fibertypen. [14]

### **Naturlige fiber**

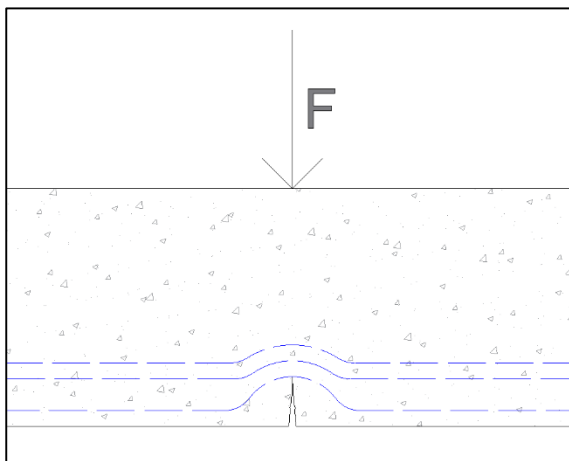
Naturlige fibre er lite brukt som konstruktivt armeringsmateriale. De vanligste fibrene i denne kategorien er sisal, henequen og abaca hvor sistnevnte har vært brukt i mange år for å forsterke gipsprodukter.

Asbest er også en naturlig mineralsk fiber. Asbest ble brukt i betong i mange år, før det ble brått slutt da mange helseplager knyttet til materialet ble avslørt. [15]

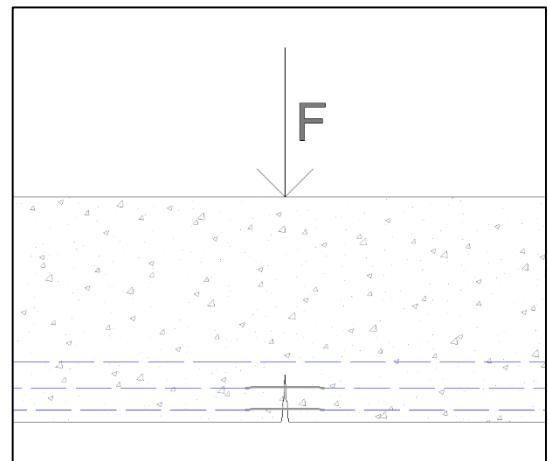
### 4.2.3 Praktisk bruk av fiberarmering

Armeringsbehovet i betongkonstruksjoner skyldes betongens duktilitet og lave strekkfasthet og i lastbærende konstruksjoner tar armeringen over strekkreftene når betongen begynner å risse. I midlertid er betongens strekkøying ved riss en størrelsesorden lavere enn armeringens flytetøying, noe som medfører at tydelige riss oppstår før tilstrekkelig av krefter blir tatt opp av armeringen. Rissene som oppstår kan føre til redusert levetid og de kan være uønsket med hensyn på vanntetthet og av estetiske årsaker.

Uarmert betong, vil på grunn av sin duktilitet, gå til brudd ved økende rissvidde og belastning. Dette fordi spenningene må gå rundt sprekken, noe som med økende belastning vil gi en høy spenningskonsentrasjon ved sprekkenes front. I fiberarmert betong derimot sørger fordelingen av fiber for armering i hele tverrsnittet og en fiber som ligger over et oppsprekket tverrsnittet vil fungere som en bro for spenningene og sprekkdannelsen vil stoppe opp inntil eventuelt fiberen ryker eller heften mellom fiber og betongen svikter.



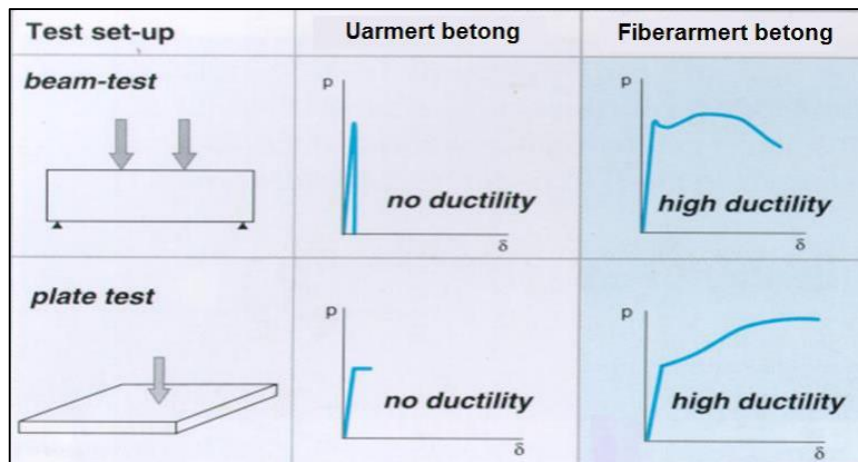
*Figur 4-7 Spenninger ved dannelse av riss i uarmert betong*



*Figur 4-6 Spenninger ved dannelse av riss i fiberarmert betong*

Dette avhenger av fiberens strekkstyrke og slankhetstall, som er forholdet mellom fiberens lengde og diameter. En fiber, som ikke har noen overdekning, kan ligge helt i ytterkant av betongen og derfor virke fra relativt lave spenningsnivåer. Dette reduserer sprekkdannelse og videre risikoen for å skade den innenforliggende armeringen. Den viktigste funksjonen til konstruktiv fiberarmering er å beholde bøyestrekfasthet selv etter at betongen har risset. Dette betegnes som rest bøyestrekfasthet, fasthet etter rissdannelse. [13]

Som vi kan se av Figur 4-8 er et tverrsnitt med fiber langt mer duktilt enn et uten, og når en sprekk stopper på grunn av fiberen, vil ikke dette lenger være det svakeste punktet i tverrsnittet ettersom spenningene optas av fiberen.



Figur 4-8 Illustrasjon av forskjellen i duktilitet for uarmert og fiberarmert betong [14]

Dette anses som en forutsetning iht. veiledningen fra COIN, at lasten kan økes etter opprissing. Dette blir imidlertid oppfylt når kravene til minimumsarmering for de enkelte konstruksjonsdelene overholdes.

Fiberarmert betong kan klassifiseres ved karakteristisk trykkfasthet på samme måte som for uarmert betong. Det er da med en forenklet antagelse av at forholdet mellom trykkfasthet og strekkfasthet er det samme. Tabell 4-1 viser eksempler på rest strekkfasthetsklasser. Eksempelvis betyr B45-R10 fiberarmert betong med karakteristisk sylinder trykkfasthet  $45 \text{ N/mm}^2$  og  $1,0 \text{ N/mm}^2$  karakteristisk rest strekkfasthet ved 2,5 mm rissvidde.

Tabell 4-1 Reststrekkfasthetsklasser for fiberarmert betong

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

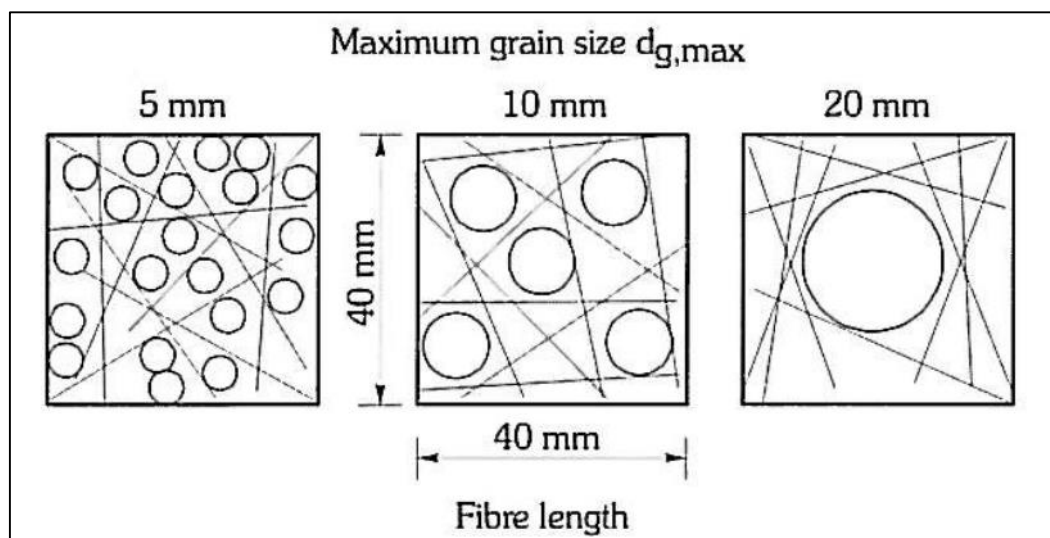
For å kunne dra nytte av dette er en avhengig av at fiberen er jevnt fordelt i hele betongen. Dette oppnås kun ved riktig utførelse og stiller strenge krav til produksjon, innblanding av fiber og utførelse av støpearbeidet. [16]

#### 4.2.4 Produksjon av fiberbetong

Den generelle betongproduksjonen skal tilfredsstillere kravene i «NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar» i tillegg til tilleggskrav gitt i kommende NB-publikasjon Nr. 38. Ved produksjon av fiberbetong som skal brukes i lastbærende konstruksjoner skal også kravene til kontrollklasse Utvidet kontroll iht. «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurocode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner» tilfredsstillende. [16], [17]

Normalt sett vil ikke tilføring av fiber til betong ved lave doseringer påvirke betongens konsistens i særlig høy grad. Flyten kan reduseres noe og dette må i noen tilfeller kompenseres for ved å endre proporsjoneringen av betongen. For betong med høye fiberdoseringer, som vil være nødvendig for konstruktiv bruk, vil fiberens innvirkning på betongen ha vesentlig betydning.

Betong som tilsettes større mengder fiber krever normalt et større innhold av finstoff og mindre steinstørrelse enn betong uten fiber. Dette fordi makrofibrene lange, slanke form og potensielt høye overflateareal kan redusere betongens bearbeidbarhet. Stive fiber kan øke porøsiteten til betongens «skjelett» som bestående av sand og tilslag avhenger av det relative forholdet mellom tilslag- og fiberlengde. Med økende mengde fiber, vil også behovet for finstoff og reduksjon av tilslagsstørrelsen øke, som igjen vil øke vannbehovet. Generelt sett vil støpbarheten avta med økende lengde på fiberen.



Figur 4-9 Innvirkning av tilslagets størrelse på fiberfordeling (Johnston 1996)

Bruken av fiber har som hensikt å gi betongen bruddseighet og ulike fibertyper har forskjellig potensiale for å gi nettopp dette. For en og samme fibertype øker seigheten med økende fiberdosering inntil et optimalt område, hvor bruddseigheten reduseres pga. komprimeringsproblemer. Det vil her eksistere en øvre kritisk fibermengde for tradisjonelle støpemetoder for betong, noe som kjennetegnes ved en brå reduksjon i bearbeidbarheten og resulterer i synlig form av fiberballing. Maksimalt mulig fiberdosering øker tilsvarende med avtagende fiberlengde.

Det finnes flere metoder for å blande inn fiber i betong. En kan tilsette fiber til tilslaget slik at fiberen fordeles ved tørrblanding før vann og tilsetningsstoff tilsettes, den kan tilsettes til ferdigblandet betong i betongblander eller den kan tilsettes til ferdigblandet betong i bil. I alle tilfeller bør fibrene drysses forsiktig oppi for å unngå balling. Hvis fiber tilsettes som en ball, er sannsynligheten stor for at en ball vil komme ut igjen i den ferdige betongen også. Fiberleverandørene jobber med optimal fordeling av sin type fiber og vil ofte være behjelpelige med råd om innblanding av fiber. Eksempelvis kan fiber på bil tilsettes ved transportbånd direkte til traktet, eller ved innblåsningsutstyr som blåser fiberen inn i betongen mens blanderen roteres hurtig. Figur 4-10 og Figur 4-11 viser to ulike måter å blande inn fiberen på. [13], [16]



*Figur 4-10 Transportbånd for innblanding av fiber*



*Figur 4-11 Innblåsningsutstyr for innblanding av fiber*

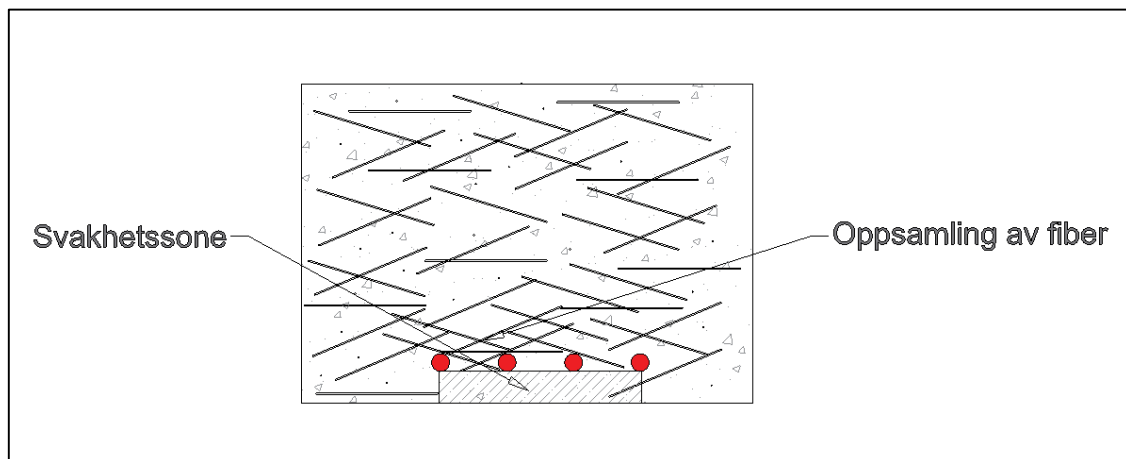
#### 4.2.5 Utførelse av fiberarmerte konstruksjoner

Utførelsen skal tilfredsstillende kravene gitt i «NS-EN 13670:2009+NA2010 Utførelse av betongkonstruksjoner» og tilleggskrav gitt i kommende NB-publikasjon Nr. 38. Kontrollklasse Utvidet kontroll er gjeldene også her iht. NS-EN 1990/NA.

Stabil fersk betong, samt riktig innhold og fordeling av fiber er av de viktigste kravene som stilles til fiberarmert betong.

Ved utstøpning skal det kontrolleres at fiberballer ikke forekommer. Ved pumping av betong vil dette kunne oppdages visuelt, eller ved at baller blir fanget opp av rist før pumping. Hvis fiberballing skulle forekomme, skal betongen avvises og produksjonen modifiseres. Under utstøpning skal det foretas prøver av betongen, en i starten, midten og slutten av lasset for å kontrollere homogent innhold av fiber. Vanlig standard for vegvesenet er at det skal kontrolleres minst 3 lass av de første 50 kubikkmeterne. Hvis 3 kontroller etter hverandre er tilfredsstillende kan deretter ett lass kontrolleres for hver 500 kubikkmeter. Hvert prøveuttak bør være i området 8-10 liter.

Støpearbeidet skal også planlegges slik at eventuelle hindringer ikke skaper svakhetssoner med ujevn fordeling av fiber. Slike svakhetssoner kan oppstå ved hindringer som armeringsjern, elektrikkerrør, foringer osv. Dette er svært viktig i bærende konstruksjoner. Det må også sørges for at avstanden mellom stangarmeringen er tilstrekkelig nok for at fiber kan passere. Hvis dette ikke er mulig bør fiberlengde og eventuelt selvkompimerende betong vurderes for å sikre jevn fiberfordeling.



Figur 4-12 Illustrasjon av ugunstig svakhetssone for fiberarmert tverrsnitt

Innblanding av fiber, støpeteknikk og betongsammensetning kan påvirke fiberfordeling og –orientering, men også betongens egenskaper i fersk og herdet tilstand. I slike tilfeller må produksjonsunderlaget beskrive hvilke egenskaper som skal dokumenteres for den aktuelle betongen. Utover betongprøving iht. NS-EN 206 må betongprodusenten gjennom utprøving dokumentere fiberbetongens rest bøyestrekfasthet. Bestemmelse av rest bøyestrekfasthet utføres og bestemmes som karakteristisk verdi basert på minst 6 prøvestykker i form av bjelker. [13], [20]

#### 4.2.6 Innvirkning på egenskaper

I vår tid benyttes en stor mengde materialer fiber til å forbedre materialegenskapene. Disse forbedrede egenskapene kan omfatte for eksempel strekkstyrke, rissforsterkning, risskontroll, bestandighet, utmatningsstyrke, støtmotstand, slitasjemotstand, robusthet mot svinn og temperaturriss og til slutt brannmotstand.

Innenfor de praktiske grenser for fibermengder gitt av krav til betongens støpelighet og homogenitet ved vanlige støpemetoder kan det antas at betongens trykkfasthet, E-modul, tverrkontraksjonstall og varmeutvidelseskoeffisient er lite påvirket av fibertilsetningen. Ved høyere volum enn 1 V% stålfiber og 0,5 V% syntetiske fiber bør imidlertid trykkfasthet og E-modul bestemmes eksperimentelt for den fiberarmerte betongen. [13]

E-modul er et mål på stivheten til materialet. For betong er dette en nøkkelfaktor for å beregne deformasjon av ulike konstruksjonsdeler. Faktoren gir et bilde av betongs evne til å deformere seg elastisk. I en studie gjennomført av Gul, Bashir, Naqash i 2014 ble det konkludert med at ved bruk av stålfiber ble E-modulen økt, men at størst effekt kom av volumandel fiber over 1,5 %. E-modulen varierte avhengig av forholdet mellom lengde og diameter for fiberen. [21]

Det er lite litteratur som tar for seg innvirkningen av ReforceTech's AR-glass- og basaltfiber MiniBars på egenskapene til herdet betong, foruten bøyestrekfastheten. Nærmest ligger tidligere masteroppgaver hvor denne fibertypen har vært benyttet. Jørn Erik Espedal beskrev i sin avhandling i 2015 at bruken av denne fiberen ikke hadde noen innvirkning på trykkfastheten, men at det ved bruk av stålfiber var en liten økning i fasthet. [21]

Fiber kan påvirke luftinnholdet og –stabiliteten i betongen. Dette er ikke gunstig siden det typisk vil være en 5 % reduksjon i fasthet for hver 1 % ekstra luft som er fanget i betongen. [23]

Det er ventet at fibertilsetning vil gi en moderat økning av betongens strekkfasthet. Økningen er noe mer markant for bøyestrekfasthet og spaltestrekfasthet enn for fasthet ved rent strekk. Etter rissdannelse har fiberarmert betong en relativt stabil rest strekkfasthet ved økende rissvidder. Denne rest strekkfastheten kan være noe større eller mindre enn betongens strekkfasthet avhengig av fibertype, -mengde og fibrenes forankringskapasitet og strekkstyrke. [13]

Bestemmelse av rest bøyestrekfasthet og fremgangsmåte for beregning av moment- og skjærkapasitet for armert fiberbetong og fiberarmert betong er ytterligere detaljert i metodekapittelet.



### 4.3 UHPFRC

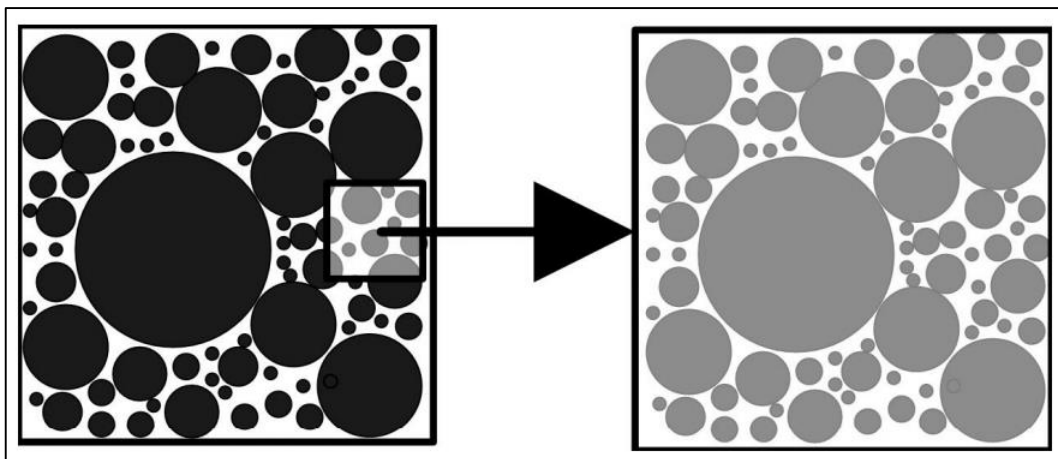
Fremskritt i betongteknologien har ledd til en utvikling av en nyere type sementbasert komposittmaterial kalt «Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete», eller UHPFRC. Dette er fiberarmert ultrahøyfast betong med trykkfasthet i området 150 til 250 MPa og anvendbar strekkfasthet. [24]

#### 4.3.1 Karakteristikk

Typisk for UHPFRC er optimalisert partikkelpakking, lavt vann/bindemiddel-forhold (v/b-forhold) og en høy volumandel fiber. De mekaniske egenskapene inkluderer trykkfasthet over 150 MPa og anvendbar bøyestrekfasthet, ofte i området 10-25 MPa avhengig av delmaterialer og partikkelpakking. Samtidig har denne typen betong overlegne egenskaper knyttet til mostand mot nedbrytingsmekanismer som for eksempel kloridinntrengning og karbonatisering. Dette oppnås ved at dette er en svært kompakt betong med lite porevolum. UHPFRC er svært godt likt av arkitekter ettersom dets enestående egenskaper tillater bruken av betong i krevende elementer.

#### Partikkelpakking

Det finnes flere kjente metoder for å sikre optimal partikkelpakking. En metode som ofte blir brukt er Andreassen modellen. Denne er basert på teorien om at i naturen var partikler kontinuerlig fordelt. Ved hjelp av analyser og geometri, antar han at dette også er gjeldende for partikkelpakking. Dette betyr at matriksen til partikler rundt hver partikkel er lik uansett størrelsen til partikkelen som illustrert i Figur 4-13.



Figur 4-13 Partikkeldistribusjon etter Andreassen modellen

Dette er basert på at hver partikkel er helt spherisk og ingen spenninger mellom partiklene. I virkeligheten vil dette aldri være tilfellet, spesielt i betongtilslag. Hvis alle partikler hadde vært perfekt pakket ville ikke betongen vært mulig å støpe ut. Ved å bruke en kombinasjon av sement, fillere, mikrosilika og flyveaske vil derimot dette ved å optimalisere pakkingen føre til en tett og bestandig betongmiks basert på at mindre partikler fyller mellomrommet mellom større partikler. [26]

### 4.3.2 Delmaterialer

En bachelorgruppe fra Universitetet i Agder lagde i 2013 en resept av UHPFRC med knust stein og lokale råmaterialer. Denne består av sement, flyveaske, microsilica, finfiller, mellomfiller, SP-stoff, fiber og vann som er typisk i de fleste UHPFRC-resepter. Mest vanlig er å benytte natursand i kombinasjon eller istedenfor fillerne.

#### **Sement**

Sement er det viktigste bindemiddelet i betong og dens egenskaper kan justeres ved å endre den kjemiske sammensetningen. De siste årene har det vært en økende tendens til at protlandsement blandes med andre materialer som silikastøv, flyveaske og slagg med bakgrunn i både miljømessige og tekniske aspekter.

#### **Silikastøv**

Silikastøv er et restprodukt fra produksjonene av ferrosilisium- og silisiummetall. Støvet blir filtrert fra røykgassene ved hjelp av spesielle filtre. Derfor er støvet svært finkornig og partiklene er av størrelse fra 0,1 til 0,5 mikrometer. Disse små partiklene legger seg mellom de grovere kornene fra sement og fine partikler fra tilslag. I kombinasjon med plastiserende tilsetningsstoff vil de fordele seg homogent i massen.

#### **Flyveaske**

Silikastøv og flyveaske er pozzolane materialer. Dette er et begrep for materialer som kan reagere kjemisk med alkalier og reaksjonsproduktet kalsiumhydroksid etter reaksjonen mellom sement og vann. Flyveaske er et restprodukt fra kullfyrte varmekraftverk. Partiklene i flyveaske er kuleformede og har omtrentlig samme størrelse som sementpartiklene. I prinsipp har det samme kjemiske effekt som silikastøv.

#### **Fillere**

Det er tatt ut to forskjellige fillere fra Velde knuse- og sorteringsanlegg. Finfiller som er den fineste fillerfraksjonen fra sikteanlegget, brukes normalt til asfaltproduksjon, og delvis til betongproduksjon. Partiklene er i størrelsesordenen fra 0 til 0,063 mm. Mellomfiller brukes ofte i betongproduksjon og har partikkelstørrelse fra 0,063 til om lag 0,3 mm. Begge fillerne produseres fra knust stein.

#### **Superplastiserende stoff (SP-stoff)**

Dette er et vannreducerende stoff og bidrar til at en opprettholder samme konsistens ved mindre bruk av vann. Stoffet fungerer slik at vannets overflatekrefter reduseres og resulterer i at mindre vannmengde blir fysisk bundet til partikkeloverflatene og mer vann blir frigjort til å bidra til økt flyt i betongen. En annen effekt er at samling av fine partikler dispergeres.

#### **Fiber**

Fiber benyttet i UHPFRC er svært annerledes enn hva som brukes ved vanlige fasthetsklasser. Fiberlengden skal normalt være minst det dobbelte av største tilslag. I denne typen betong (mer et komposittmateriale) med største tilslagsstørrelse på 0,3 mm vil det tilsi at svært små fiber kan benyttes. Typisk vil være 13 mm lengde og 0,2 mm i diameter. Siden betongen har så høyt innhold av finstoff vil det åpne for langt større fibervolum enn for vanlig betong og vil typisk være fra 1,0 til 5,0 V%.

#### **Vann**

Istedenfor å se på betongens vann-/sement-forhold er det vanligere å se på vann/bindemiddel-forhold i UHPFRC. Typisk vil dette være i størrelsesordenen 0,15-0,4.[25]

### 4.3.3 Regelverk

Det amerikanske vegvesenet (US – Federal Highway Administration) er kanskje en av de institusjonene i verden som er lengst fremme i å systematisere, utvikle og anvende kunnskap om UHPFRC. Det er nå også et ganske komplett regelverk i Frankrike, Sveits, Australia og Belgia for konstruktiv bruk av UHPFRC. I Tyskland er konstruktivte dimensjoneringsregler under utarbeidelse. I Norge setter Eurocode 2 grenser ved anvendelse av fastheter over 90 MPa. [24]

## 5 METODE

I dette kapitlet blir det innledningsvis informert om hva som skal støpes ut, hvilke tester som skal gjennomføres og hvilke fibertyper som skal brukes. Deretter vil fremgangsmåte for den praktiske gjennomføringen av produksjon, utførelse og testing beskrives. Før det til slutt vil gjennomgåtte beregningsregler for armert betong, fiberarmert betong og armert fiberbetong.

### 5.1 Proporsjonering og reseptutvikling

#### 5.1.1 Betong og fibertyper

For å dokumentere et beregningsgrunnlag som kan brukes ved dimensjonering av tunnelveggelementer ble det brukt betong som spesifisert til dette formålet i Statens Vegvesens Håndbok R761 Prosesskode 1- Standard beskrivelse for vegkontrakter punkt 34.41b: «Betongen skal tilfredsstillende fasthetsklasse B45 og bestandighetsklasse MF40 iht. NS-EN 206+NA» (SV40).

For denne støpen, heretter kalt SV40, vil alkaliresist glassfiber fra ReforceTech brukes. Disse kalles AR-glass MiniBars med en lengde på 55mm. Fibermengde ble bestemt i samarbeid med ReforceTech til å være 1,0 volumprosent (V%), 1,5 V% og 2,0 V%. De ulike volumprosentene er ment for å kunne interpolere mellom de ulike doseringene for å bestemme teoretisk rest bøyestrekfasthet ved ulike innenforliggende fibervolum. Spesielt for denne typen fiber er at den vil knekke hvis den innblandes i en tvangsblender. Derfor var det nødvendig å få produsert denne betongen fra produsent.

Tilsvarende vil det bli utført en referansestøp med stålfiber med 1 V%. Dette for å se hvordan MiniBars' ytelse stiller seg i forhold til stålfiber og for å se innvirkningen av fiber ved ultrahøyfast betong.

For å undersøke «ekstremtilfellet» av tilpasning av resept for fiber og hvilke muligheter fiber åpner for ved svært høye fastheter vil det bli støpt ut UHPFRC med 12 mm stålfiber og 13 mm MiniBars av basaltfiber.

#### 5.1.2 Omfang av SV40-støp

For å produsere all betongen som var nødvendig for å dokumentere beregningsgrunnlaget og erfaringene knyttet til denne typen fiber ble det utarbeidet en støpeplan. Denne har som hensikt å sortere og kategorisere mengder og fiberdoseringer gjennom hele utstøpningen.

Testene som skal gjennomføres i fersk tilstand vil være: luftinnhold, fiberinnhold og synk. Testene som skal gjennomføres i herdet tilstand vil være: densitet, trykkfasthet, bøyestrekfasthet, E-modul, direkte strekkfasthet, momentkapasitet og bestemmelse av rest bøyestrekfasthet og skjærkapasitet.

For alle prøvelegemer vil det støpes ut uarmert, fiberdosering 1, fiberdosering 2 og fiberdosering 3. For bjelker vil det støpes ut uarmerte bjelker, stangarmerte bjelker, fiberarmerte bjelker og stangarmerte bjelker med fiber. Også disse vil ha 4 doseringer (#1-#4). Støpeplanen kan leses i sin helhet i Vedlegg 6.

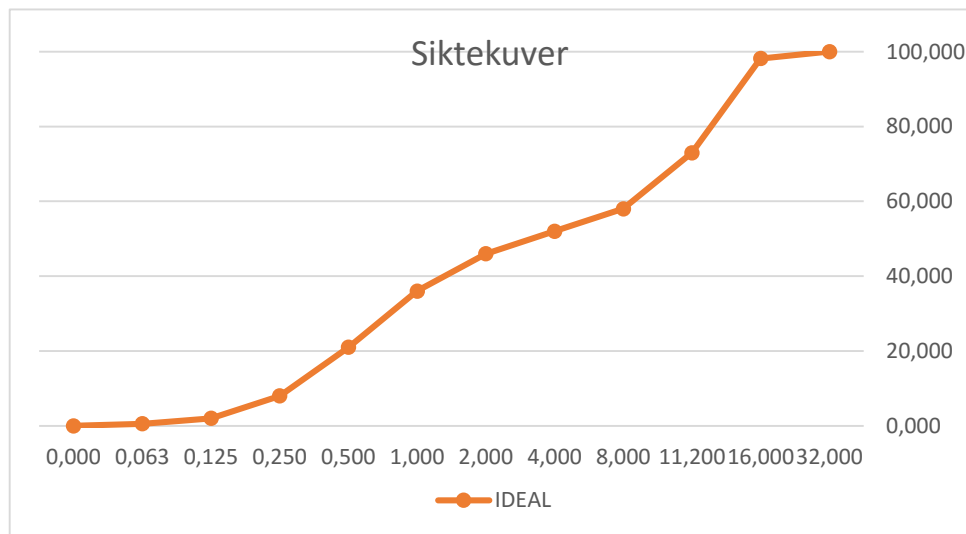
Mål av prøvelegemer:

Bjelker	150x150x738	mm
Terninger	100x100x100	mm
Prismer	40x40x160	mm
Sylindere	100/200	mm

### 5.1.3 Tilpasning av SV40-resept for stålfiber

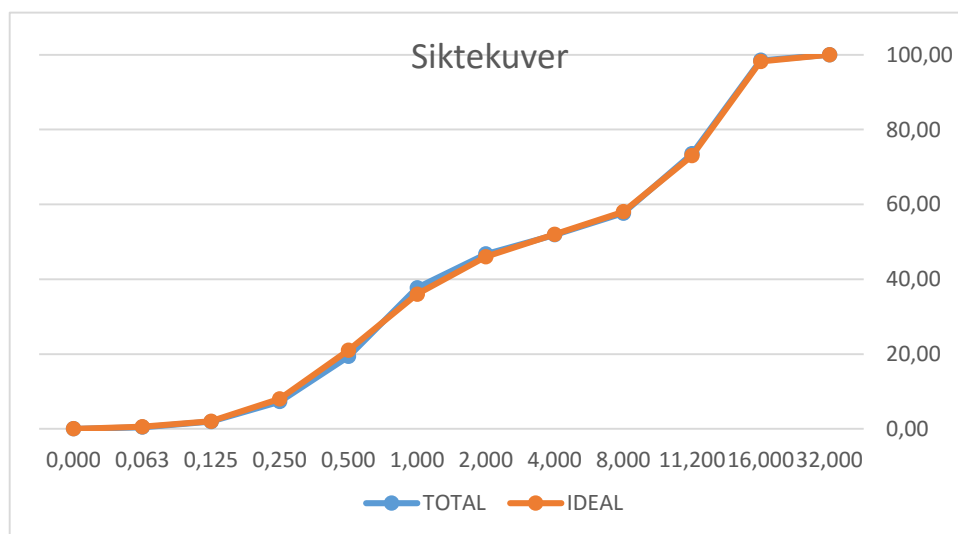
For å kunne sammenligne ytelsene til AR-glass MiniBars med stålfiber og videre verifisere dette opp mot dimensjoneringsregler ble det planlagt en støp med 1 V% stålfiber. Ettersom dette er en referanseblanding er omfanget destod mindre, og siden stålfiberen kunne blandes i blandemaskin på Universitetet, var det ikke behov for å få produsert denne betongen fra produsent. Det ble der et avvik ved at en sandfraksjon ikke var tilgjengelig, og det ble derfor nødvendig med en tilpasning av den opprinnelige resepten.

Siktekurven for betongens tilslag ble lagt inn i et excel-ark og fungerer som en idealkurve for reseptens partikkelpakking.



Figur 5-1 Siktekurve for opprinnelig resept SV40

Sand 0-6mm erstattes med sand 0-2mm ved å justere forholdet mellom de ulike fraksjonene til tilslaget for en tilnærming til idealkurven som er lagt inn fra opprinnelig resept.



Figur 5-2 Siktekurver for tilpasning av resept SV40

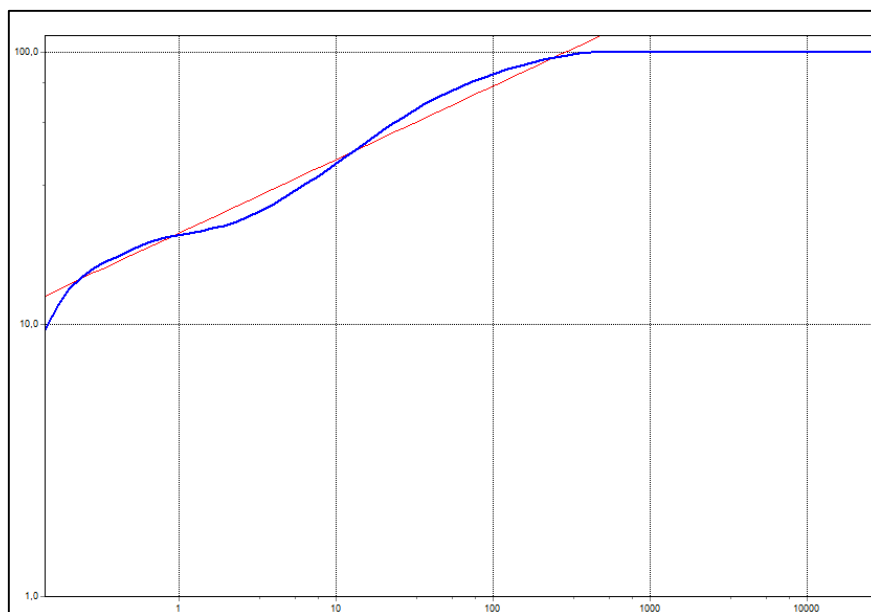
### 5.1.4 Reseptutvikling av Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete

Som nevnt tidligere vil det ved konstruktive fibermengder være behov for å redusere størrelsen på det største tilslaget og øke mengden finstoff. I UHPFRC er fiberinnholdet ofte mellom 1-4 V% og største kornstørrelse for tilslaget 0,3 mm. Resepten, som har blitt brukt på universitetet i flere år, har en relativt lav dosering av fiber med ca. 1,0 V%. Flere forskningsartikler, inkludert fransk regelverk for dimensjonering, påpeker at det minimum bør være 2,0 V%. Dette i kombinasjon med at nye siktekurver for delmaterialene var utarbeidet av en bachelorgruppe la grunnlag for å sette sammen en ny resept. (Siktekurvene er vedlagt i Vedlegg 8 til Vedlegg 12)

Resepten utarbeides i partikkelpakningsprogrammet «Elkem Material Mix Analysis» (EMMA). I EMMA importeres siktekurvene fra de ulike delmaterialene sammen med tilhørende densitet av materialet. Ønsket Q-verdi legges inn sammen med største og minste korndiameter. Dette danner ved hjelp av Andreassens-metode en idealkurve som ved å justere andelen av de ulike materialene skal tilpasses denne kurven.

Material Name	Density	Quantity	Vol %	Price	Version	CO2/kg	KJ/kg
Sement (22.02.201610:18:40)	3,14	1,90	30,86			0,00	0,00
Flyveske (22.02.201610:18:40)	2,20	0,23	5,33			0,00	0,00
Microsilica NY (10.03.201612:3)	2,25	0,83	18,81			0,00	0,00
Finfiller (22.02.201610:18:41)	2,61	0,12	2,34			0,00	0,00
Mellomfiller (22.02.201610:18:4)	2,63	2,20	42,66			0,00	0,00

Figur 5-3 Justering av mengder for optimalisering



Figur 5-4 Tilpasning til idealkurve

Som vi kan se av Figur 5-4 vil det være vanskelig å få kurven til å være like lineær. Partier over idealkurven vil si at det er en for stor volumandel av denne partikkelstørrelsen, mens områder under idealkurven betyr at det er for lite av fraksjonen. Ved å prøve å tilpasse kurven til et tilnærmet likt volum over som under kurven vil partikkelpakkingen bli tilfredsstillende.

Ved å justere andelen av de ulike stoffene ble det utviklet om lag 5 endelige reseptkurver for UHPFRC. Det neste steget vil være å tilpasse med ønsket mengde vann og fiberandel. Det ble tilpasset en optimalisert resept med hensikt om størst mulig trykkfasthet, som vil fungere som et utgangspunkt. (Se Vedlegg 13) Denne har et svært lavt v/b-tall på 0,15 og 1,8 V% fibertilsetning.

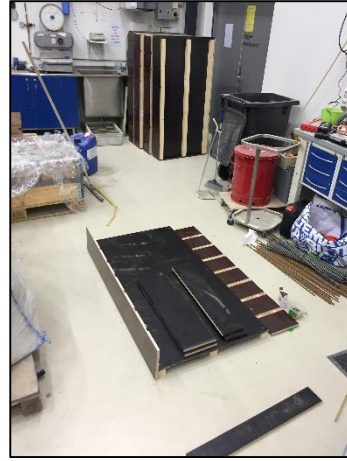
Etter å ha gjennomført en prøvestøp ble det arbeidet videre med resepten for å forbedre betongens støpbarhet. Dette ble løst ved å øke v/b-tallet samtidig med at fiberandelen ble økt til 2,2 V%. Det ble her tilpasset med to ulike typer fiber. Stålfiber og den basaltbaserte MiniBaren fra ReforceTech. På denne måten kan de to fibertypene sammenlignes ved høyere fastheter hvor fiberandelen ikke utgjør noen vesentlig endring i ferskegenskaper. Reseptene kan ses i Vedlegg 14 og Vedlegg 15.

## 5.2 Produksjon og utførelse

### 5.2.1 SV40 AR-glass MiniBars

På grunn av støpearbeidets omfang og for å gjøre produksjonen iht. gjeldende regelverk ble betongen proporsjonert og produsert av Ribe Betong i Lillesand og fraktet til universitetet med betongbil. Dette åpnet for å se hvordan utstøpingen og innblanding av fiber utarter seg i praksis, og er dermed ikke begrenset til mindre produksjon på laboratorium.

Formene for bjelker og strekklegemer ble produsert på universitetes bygglaboratorium. Totalt ble forskalinger til 96 bjelker og 24 strekklegemer produsert.



Figur 5-8 Tillaging av former til strekklegemer

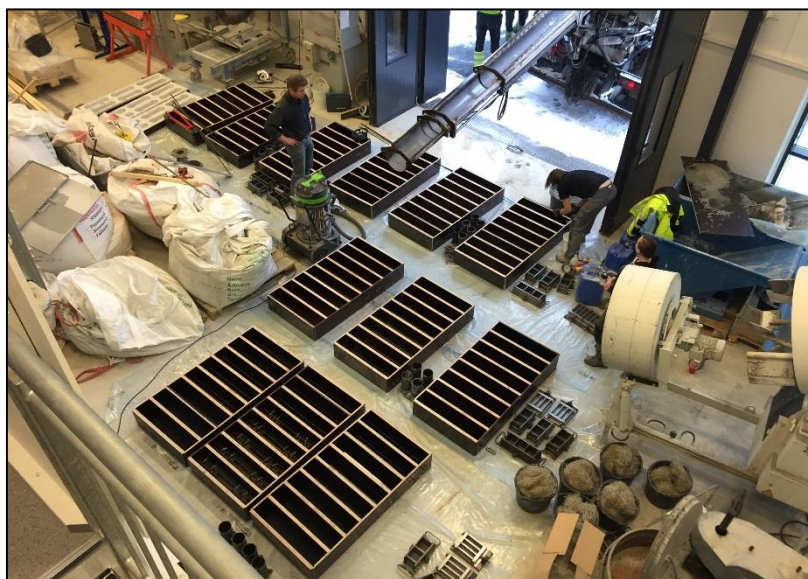
Figur 5-5 Former til strekklegemer

Figur 5-6 Tillaging av former til bjelker

Figur 5-7 Former til bjelker

Formene for strekklegemer er ikke produsert iht. regelverk av praktiske årsaker. Bjelkeformene er produsert ca. 40 mm lenger enn maksimal lengde iht. regelverket for å redusere risikoen for brudd ved opplager. Bjelker ble armert med 2Ø8 stangarmering med 35mm overdekning.

Alt av former ble vatret opp og smørt med formolje klar for utstøping. Fiber til de ulike doseringene ble veid opp og satt klar til innblanding.



Figur 5-9 Former klar for utstøping





Figur 5-10 Utstøpning av første støperunde

**#1:**

I første runde ble den uarmerte (uten fiber) betongen utstøpt. Her ble 24 bjelker, 6 strekklegemer, 9 terninger, 6 prismer og 4 sylindere støpt ut.

Bjelkene og strekklegemene ble vibrert med stav, mens de resterende prøvene ble vibrert med vibratorbord. Dette ble gjort for de etterfølgende støperekkefølgene også.

Etter denne runden ble det tilsatt fiber tilsvarende 1,0 V%. Optimalt bør denne fibertypen innblandes ved innblåsning. I mangelen på dette utstyret ble fiberen distribuert manuelt inn i trakten på betongbilen, mens trommelen gikk på relativt høy hastighet.



Figur 5-11 Utstøpning av andre støperunde

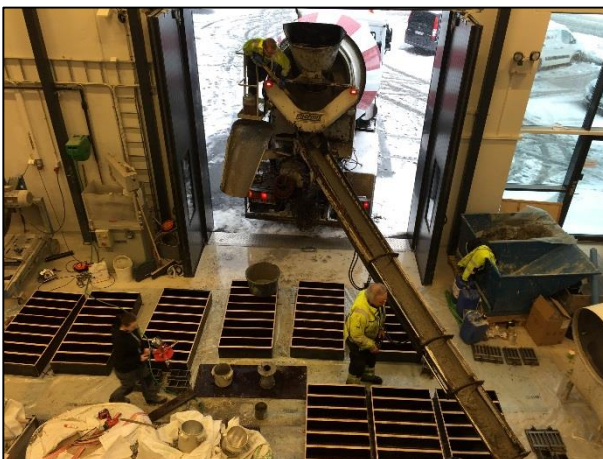
**#2:**

Etter at fiberen var tilsatt ble det oppdaget flere og hyppige fiberballer. Det ble tilsatt 1 liter ekstra SP-stoff og trommelen ble kjørt 5 minutter ekstra for å prøve å løse opp fiberballene.

Etter at de største ballene var fjernet virket det som om fiberfordelingen var god. Dog var en god del fiber gått tapt.

Tilsvarende mengde som #1 ble støpt ut.

Fiber tilsvarende 0,5 V% ble tilsatt slik at det totale teoretiske volumet av fiber i betongen var 1,5 V%.



Figur 5-12 Utstøpning av tredje støperunde

**#3:**

Noen mindre fiberballer ble også her registrert. Det ble på ny tilsatt ca. 1 liter ekstra SP-stoff og trommelen ble kjørt i ca. 7 minutter. Dette så ut til å virke og visuelt var fiberfordelingen god.

På grunn av fiberballingen fra samtlige runder ble det ikke ansett som hensiktsmessig å fortsette å tilsette enda mer fiber. Støperekkefølge 4 (#4) ble derfor avlyst.

Luftinnhold ble målt for de tre rundene og det ble tatt prøver av fiberinnhold for #2 og #3.



Alle prøvelegemer ble pakket i plast og lå til herding i romtemperatur i ca. 3 dager. Etter behov ble prøvelegemene vannet i denne perioden for å opprettholde riktig fuktighetsnivå.

Figur 5-13 Prøvelegemer tildekt av plast



Bjelkene ble dekket med striesekker og pakket i plast. I herdeperioden ble de vannet ved behov for å opprettholde riktig fuktighetsnivå. Totalt ble det støpt ut 72 bjelker.

Figur 5-14 Tildekking av bjelker til herding



Alle resterende prøvelegemer lå til herding i vannbad ved ca. 20 grader. Totalt ble det støpt ut 27 terninger, 18 prizmer, 18 strekklegemer og 14 sylindere.

Figur 5-15 Prøvelegemer til herding i vannbad



### 5.2.2 SV40 Stålfiber

For denne produksjonen ble den tilpassede resepten brukt. For å få et sammenlignbart resultat i dimensjoneringsammenheng ble det planlagt å støpe ut 6 bjelker for bestemmelse av rest bøyestrekfasthet, 6 terninger for trykkfasthet og 1 sylinter for å gi en indikasjon på den stålfiberarmerte betongens E-modul. En tvungen blander med 150 liters kapasitet ble under denne utstøpningen benyttet.

**Følgende fremgangsmåte for blanding av betong ble benyttet:**

1. Alt tilslag og 50 % av vannet ble tilsatt. Dette ble blandet i 2 minutter. Blanderen sto deretter i ro i 2 minutter.
2. Sement, pozzolaner og 25 % av vannet ble deretter tilsatt og blandet i nye 2 minutter.
3. Til slutt ble tilsetningsstoff og de siste 25 % av vannet tilsatt før dette ble blandet i 2 minutter.
4. Når dette hadde blandet i 2 minutter ble fiber forsiktig strødd i betongen gjennom gitteret på blanderen, mens blanderen gikk.
5. Etter at all fiber var tilsatt gikk blanderen i ca. 2 minutter.



Figur 5-16 Alt tilslag tilsatt blandemaskin

Påfølgende ble luftinnhold og synk målt. Betongen ble støpt ut i 6 bjelker, vibrert med vibratorstav, 6 terninger og 1 sylinter som ble komprimert med vibratorbord. Det ble tatt 3 prøver for bestemmelse av fiberinnhold i starten, midten og slutten av støpen.

Prøvestykkene gjennomgikk tilsvarende herderegime som SV40-støpen: Bjelker ble pakket i striesekker og plast og mindre prøvestykker ble lagt i vannbad i ca. 20 grader i 28 dager.



Figur 5-17 Tildekking av bjelker til herding (Stålfiber)

### 5.2.3 UPHFRC

Innledningsvis ble det gjennomført flere prøvestøper med UPHFRC med den hensikt å forbedre ferskegenskapene til en resept produsert av tidligere studenter ved universitetet. Etter flere runder med svært varierende resultater viste det seg, ved å gjennomføre nye sikteanalyser av materialene, at finfiller og mellomfiller var byttet om og at partikkelstørrelsen var forandret fra tidligere analyse. Disse prøvestøpene er derfor ikke inkludert i rapporten, men kan leses i sin helhet som testrapporter i Vedlegg 24.

På grunnlag av dette ble det utviklet en egen resept for å undersøke innvirkningen av fiber i «ekstremtilfellet» av reseptoptimalisering med tanke på fiber. Det ble først gjennomført en prøvestøp med den nye resepten med 1,8 V% stålfiber, før en optimalisering mtp. ferskegenskaper ble foretatt. To nye støper ble gjennomført med den optimaliserte resepten med henholdsvis 2,2 V% stålfiber og 2,0 V% MiniBars av basalt.

**Alle støpene ble gjennomført med følgende framgangsmåte:**

1. Materiale ble veid opp til nærmeste hele gram.
2. Alt tørt materiale ble tilsatt blanderen, temperatur ble målt og blanderen gikk i 10 minutter.
3. Deretter ble temperatur målt, det ble skrapet rundt kantene og alt vann sammen med 75 % av SP-stoffet ble tilsatt rett etter at blanderen startet igjen. Blanderen gikk deretter i nye 10 minutter.
4. Temperatur ble målt og det ble skrapet rundt kantene før blanderen gikk i 5 minutter.
5. Temperaturen ble målt, det ble skrapet rundt kantene og fiber ble tilsatt gjennom gitteret på blanderen mens blanderen gikk i 10 minutter.
6. Temperatur ble målt og framgangsmåte for måling av ferskegenskaper og utstøpning ble gjennomført.



Figur 5-18 Zyklus blandemaskin

Luftinnhold, densitet og utbredingsmål ble målt. Det ble støpt ut i former smurt med formolje og komprimert med vibratorbord.

Prøvene ble dekket med plast og sto til herding i romtemperatur i 48 timer. Deretter ble de avformet og plassert neddykket i vann i varmeskap i 48 timer ved 90 grader.

Etter 4 dagers herding ble prøvene avkjølt, veid i vann og i luft og testet for densitet, trykkfasthet og bøyestrekfasthet.

## 5.3 Prøving av fersk betong

### 5.3.1 Luftinnhold

Måling av luftinnhold ble gjennomført iht. «NS-EN 12350-7 Prøving av fersk betong Del 7: Luftinnhold trykkmetoder». Et kjent luftvolum ved et kjent trykk utliknes i en tett beholder med det ukjente volumet av luft i betongprøven. Uret på trykkmåleren kalibreres i prosent av luft for det resulterende trykket.

Luftmålerbøtten ble fylt halveis opp og komprimert med støtbelastning fra stav. Deretter ble resterende volum fylt og på nytt, komprimert og avrettet. Løkk ble montert og vann ble presset inn i ventil til rent vann uten luftbobler kom ut av motstående ventil. Disse ble lukket og trykket i beholderen ble økt ved innpumping av luft. Aerometeret ble kalibrert og overflødig trykk ble sluppet ut. Betongens luftinnhold ble deretter avlest fra måler. [27]



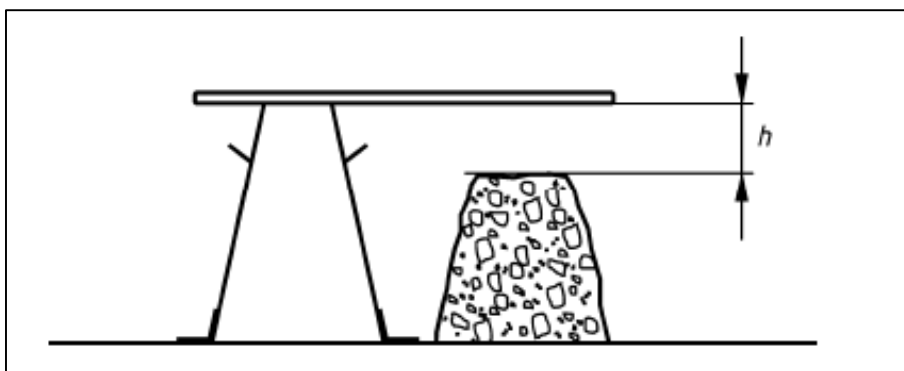
Figur 5-19 Apparat for måling av luftinnhold

### 5.3.2 Synkmål

Måling av synk ble gjennomført iht. «NS-EN 12350-2:2009 Prøving av fersk betong Del 2: Synkmål».

Synkkjeglen og underlaget ble fuktet og synkkjeglen ble plassert horisontalt på underlaget. Synkkjeglen ble fylt med 3 lag, der hvert lag utgjorde ca. en tredel av høyden på kjeglen. Hvert lag ble komprimert med 25 støt fra komprimeringsstaven. Betongen ble avrettet og synkkjeglen ble forsiktig løftet vertikalt i løpet av 2-5 sekunder.

Umiddelbart etter at kjeglen var fjernet ble synkmålet, som er avstanden mellom kjeglens høyde og det høyeste punktet av betongen, registrert. [28]



Figur 5-20 Illustrasjon for måling av synk

### 5.3.3 Utbredingsmål

Måling av utbredingsmål ble gjennomført iht. «NS-EN 12350-5:2009 Prøving av fersk betong Del 5: Utbredingsmål».

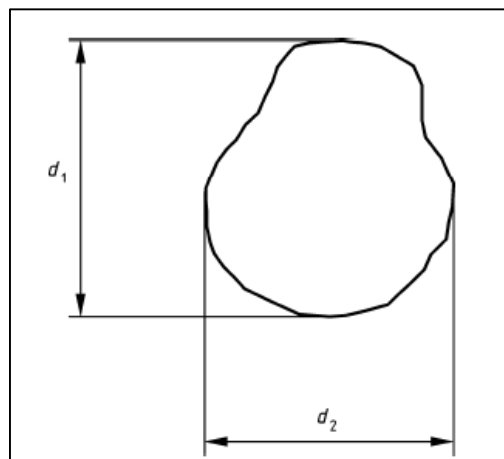
Prøvingen bestemmer konsistensen av fersk betong ved måling av utbredingen av betong på en flat plate som utsettes for risting.

Fallbordet ble plassert på et plant underlag. Formen ble plassert midt på bordplaten og holdt på plass manuelt. Deretter ble formen fylt med betong i to ulike lag og jevnet ut med ti lette gjennomstikninger med en komprimeringsstøter. Betongen ble avrettet og etter 30 sekunder ble formen løftet vertikalt. Utbredelsen ble målt før ristingen ble utført syklisk med 15 fall ved 3 sekunders intervall. Utbredelsen ble på nytt målt. [29]

Fallverdien  $f$  er gitt ved følgende likning:

**Formel 5-1:**  $f = \frac{d_1 + d_2}{2}$

- Hvor  $f$  er fallverdien
- $d_1$  er største dimensjon på utbredingen av betongen parallelt med den ene sidekanten på fallbordet
- $d_2$  er største dimensjon på utbredingen av betongen parallelt med den andre sidekanten på fallbordet



Figur 5-21 Illustrasjon for måling av utbreding

### 5.3.4 Densitet

Måling av densitet ble gjennomført iht. «NS-EN 12350-6:2009 Prøving av fersk betong Del 6: Densitet». Beholderen for måling av luftinnhold ble benyttet ettersom denne har kjent volum. Bøtta ble veid og fylt med betong i to lag for oppnåelse av god komprimering. Beholderen ble vibrert med vibratorbord. Betongen ble avrettet og veid for å beregne densitet av den ferske betongen. [30]

Densiteten ble beregnet ved bruk av følgende formen:

**Formel 5-2:** 
$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Hvor D er densiteten av den ferske betongen i kg/m<sup>3</sup>  
m<sub>1</sub> er beholderens masse i kg  
m<sub>2</sub> er beholderens masser når den er fullstendig fylt med komprimert betong i kg  
V er beholderens volum i m<sup>3</sup>

### 5.3.5 Fiberinnhold

Fiberinnhold og –fordeling skal kontrolleres både i forbindelse med støping av bjelker for forhåndsbestemmelse av restbøyestrekfasthet, og som en del av generell prøving på byggeplass. Dette for å verifisere og sikre homogent innhold av fiber i lasset i størst mulig grad. Prøvingen gjennomføres etter NS-EN 14721 med modifikasjoner som beskrevet i COIN-rapporten og NB-publikasjonen.

1. Prøvetaking: En prøve består av tre prøveuttak som alle tas fra samme betonglass, en i starten, midten og slutten av lasset. Anbefalt prøvestørrelse er 8-10 L.
2. Målemetode: Volumet av hver prøve kan bestemmes på følgende måte: Prøvene fylles i en bøtte med kjent volum, det kompakteres og sages av. Volumet av betongen er da lik volumet av bøtte. Fibrene i hver prøve skiller fra den ferske betongmassen enten ved utvasking eller ved hjelp av andre innretninger beregnet til formålet. Til slutt tørkes og veies de samlede fibrene til nærmeste 1 gram.

Ved samtidig fibermåling og utstøping for bjelkeprøving gjelder følgende toleranser for fiberinnhold og –fordeling:

- $0,8 < \text{målt verdi} < 1,2$  for hvert prøveuttak,
- Og  $0,85 < \text{målt verdi} < 1,15$  for gjennomsnittsverdien.



Figur 5-23 Siktesats for telling av MiniBars



Figur 5-22 Magnet for telling av stålfiber

Dersom disse kravene ikke oppfylles, gjennomføres ikke prøvingen av disse bjelkene og det skal gjøres tiltak for å forbedre doserings og produksjonsmetode og/eller betongsammensetning, før ny prøving gjennomføres. [13], [16], [31]



## 5.4 Prøving av herdnet betong

Prøvelegemene lå til herding i vannbad i ca. 20 grader i 28 døgn. [32]

### 5.4.1 Densitet

Måling av densitet ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-7 Prøving av herdnet betong – Del 7 Densitet av herdnet betong» for prismer og terninger av størrelse henholdsvis 40x40x160mm og 100x100x100mm.

Volumet av prøvene ble målt med skivelære. Prøvestykkene ble deretter veid nedsunket i vann, tørket ved hjelp av trykkluft (ettersom de var vannmettet), og veid i tørr tilstand. [33]

Vekt ble registrert og densitet av den herdede betongen ble beregnet ved bruk av formelen:

$$\text{Formel 5-3: } D = \frac{m_l}{\frac{m_l - m_v}{V}}$$

Hvor D er densiteten i kg/m<sup>3</sup>

m<sub>l</sub> er masse i luft i kg

m<sub>v</sub> er masse i vann i kg

V er volum i m<sup>3</sup>



Figur 5-26 Vekt i vann



Figur 5-24 Tørking ved trykkluft



Figur 5-25 Vekt i luft

## 5.4.2 Trykkfasthet

Måling av trykkfasthet ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-3 Prøving av herdnet betong – Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet» for terninger av størrelsen 100x100x100mm.

Alle løse partikler og fremmedlegemer ble i henhold til standarden fjernet fra prøvelegemets overflate. Overflatene ble tørket ved bruk av trykkluft siden prøvelegemene lå i vannbad under herdeprosessen.

Prøvelegemet ble belastet til brudd i trykkprøvemaskinen. Pålastningshastighet var 0,6 MPa/s. [34]

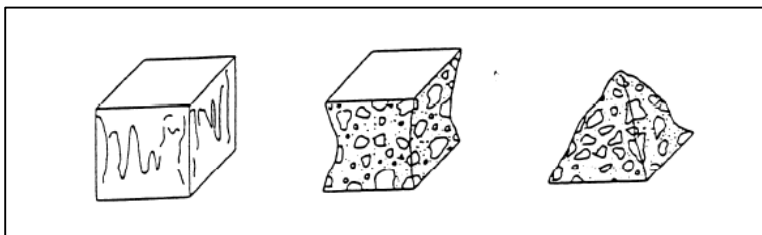
Største tålte last ble registrert, og trykkfastheten for betongen ble beregnet ved bruk av følgende formel:

$$\text{Formel 5-4: } f_c = \frac{F}{A_c}$$

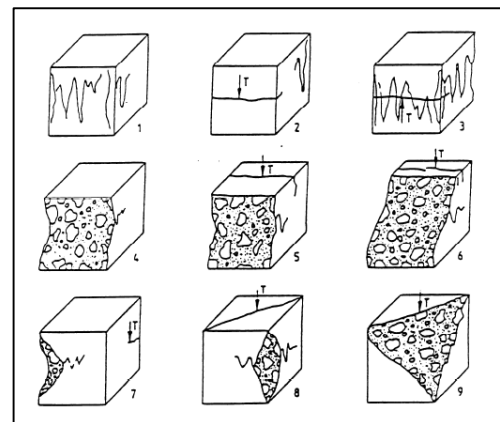
Hvor

- $f_c$  er trykkfastheten i MPa ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
- $F$  er bruddlast i N
- $A_c$  er tverrsnittsarealet på prøvelegemet som trykkraften virker mot, beregnet ut fra prøvelegemets fastsatte størrelse.

Dataprogrammet som styrer trykktestmaskinen oppgav påført trykk og prøvelegemets trykkfasthet i MPa. Maskinen er kalibrert i henhold til «NS-EN 12390-4 Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner». [35]



Figur 5-27 Tilfredsstillende bruddform for terningformede prøvelegemer



Figur 5-28 Eksempler på utilfredsstillende bruddform for terningformede prøvelegemer

Karakteristisk fasthet,  $f_{ck}$ , kan dermed bestemmes ved bruk av den gjennomsnittlige trykkfastheten  $f_{cm}$ .

$$\text{Formel 5-5: } f_{ck} = f_{cm} - w * s$$

- Hvor  $f_{ck}$  er karakteristisk fasthet i MPa
- $f_{cm}$  er gjennomsnittlig fasthet i MPa
- $w$  er faktor lik 1,7 iht. NS 3420
- $s$  er standardavviket

### 5.4.3 Bøyestrekfasthet

Måling av bøyestrekfasthet ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-5:2009 Prøving av herdnet betong Del 5: Prøvelegemers bøyestrekfasthet» for prismer av størrelsen 40x40x160mm.

Alle løse partikler og fremmedlegemer ble i henhold til standarden fjernet fra prøvelegemets overflate der det vil være kontakt med rullene. Metoden midtpunktsbelastning ble valgt og kan derfor gi resultater som er om lag 13 % høyere enn ved topunktsbelastning.

Overflatene ble tørket ved bruk av trykkluft siden prøvelegemene lå i vannbad under herdeprosessen. Prøvestykkene ble plassert i maskinen og startet program for testing ved 0,6 MPa/s i pålastningshastighet. Prøvene ble belastet til brudd i form av riss. [36]

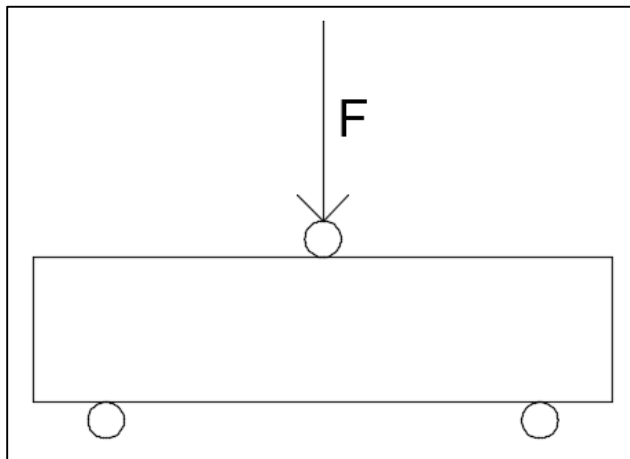
Bøyestrekfastheten beregnes av følgende likning:

**Formel 5-6:**  $f_{cf} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2}$

Hvor

- $f_{cf}$  er bøyestrekfastheten i MPa
- $F$  er største last ved brudd i N
- $l$  er avstanden mellom oppleggsrullene i mm
- $d_1$  er prøvelegemets tverrmål i mm
- $d_2$  er prøvelegemets tverrmål i mm

Dataprogrammet som styrer bøyestrekmaskinen oppgav påført belastning og prøvelegemets bøyestrekfasthet i MPa. Maskinen er kalibrert i henhold til «NS-EN 12390-4 Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner».



Figur 5-29 Midtpunktsbelastning



Figur 5-30 Prøvelegemer

#### 5.4.4 Elastisitetsmodul

Måling av E-modul ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-13:2009 Prøving av herdnet betong Del 13: Bestemmelse av sekantmodul for elastisitet under trykk» for sylindere av størrelsen 100/200mm.

Prøvelegemene var støpt i former og støpeside ble slipt plan før testing i maskin. Prøvene ble merket for montering av utstyr. Metode for registrering av initiell og standardisert E-modul ble brukt for dokumentasjon av dimensjoneringsgrunnlag. Prøvelegemet ble belastet syklisk under aksial belastning hvor spenning og tøyning ble registrert. [37]

Dataprogrammet som styrer maskinen oppgav initiell og standardisert E-modul. Maskinen er kalibrert i henhold til «NS-EN 12390-4 Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner».



*Figur 5-32 Maskin for sliping av prøvelegemer*



*Figur 5-31 Prøvelegeme før og etter sliping*

#### 5.4.5 Direkte strekkfasthet

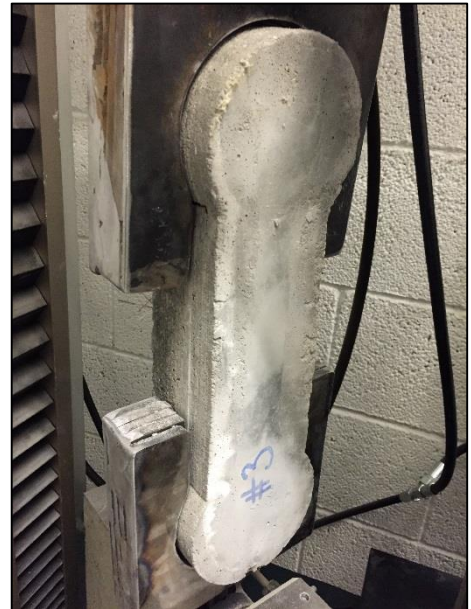
Måling av direkte strekkfasthet ble ikke gjennomført iht. noe standardisert regelverk. Formene til prøvelegemene ble produsert av egen mal, med den hensikt å kunne dokumentere fiberens innvirkning på direkte strekkfasthet. Rigg for strekkprøving er produsert på Universitets mekatronikklaboratorium.

Prøvelegemene ble plassert i rigg, pålastningshastighet ble bestemt til 0,1 MPa og deretter ble en kontinuerlig hastighet lik 0,05 MPa/s brukt. Prøvene ble belastet til gjennomgående riss.

Tverrsnittsareal ved brudd ble målt og strekkfastheten ble beregnet ved følgende formel:

**Formel 5-7:**  $f = \frac{P}{A}$

Hvor f er strekkfasthet i N/mm<sup>2</sup>  
P er bruddlast i N  
A er tverrsnittsareal ved brudd i mm<sup>2</sup>



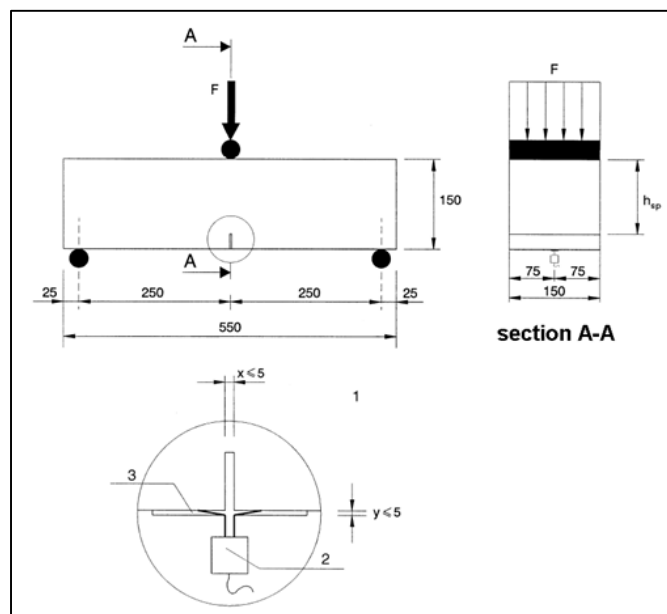
Figur 5-33 Montert strekklegeme for testing av direkte strekkfasthet

#### 5.4.6 Bestemmelse av rest strekkfasthet og prøvingsmetode for måling av momentkapasitet for bjelketverrsnitt

Måling og bestemmelse av bøyestrekfasthet, rest bøyestrekfasthet og rest strekkfasthet ble gjennomført iht. «NS-EN 14651:2005+A1:2007 Prøvingsmetode for betong med metalliske fibre – Måling av bøyestrekfasthet (proporsjonalitetsgrense og restfastheter)». [38]

Etter herdeprosessen ble bjelkene målt og det ble skåret et snitt, mindre enn 5mm, i hver bjelke slik at resterende tverrsnittshøyde var 125mm (+- 1mm). Dette for å kunne plassere måleinstrument for å måle CMOD (Crack Mouth Opening Displacement) og for å fremprovosere momentbrudd ved et svakere tverrsnittet.

Alternativt kan CMOD beregnes fra nedbøyning, noe som ble gjort i dette tilfellet i mangel på ekstensiometer. Oppleggsforhold og lastbilde var som følger:



Figur 5-34 Prinsipp for testing av bøyestrekfasthet

Bjelkene ble plassert på oppleggssruller og maskinen påførte last med med en pålastningshastighet på 5 N og deretter kontinuerlig hastighet lik 270 N/s. Nedbøyning og korresponderende last ble registrert automatisk til bjelken hadde en nedbøyning tilsvarende 80 % av avstanden mellom oppleggene.



Figur 5-35 Bjelke for testing av momentkapasitet og bøyestrekfasthet

Maksimal last ble derav brukt for å beregne momentkapasitet ved følgende formel:

$$\text{Formel 5-8: } M_{Rd} = \frac{P * L}{4}$$

Hvor  $M_{Rd}$  er momentkapasitet i kNm  
 $P$  er bruddlasten i kN  
 $L$  er lengden mellom opplagerne m

Videre kan restbøyestrekfastheten ( $f_{R,i}$ ) bestemmes fra den målte lasten eller moment, ved foreskrevet nedbøyning, for den standardiserte bjelkeprøvingen ved formelen:

$$\text{Formel 5-9: } f_{R,i} = \frac{6 * M_{R,i}}{b * h^2}$$

Hvor  $f_{R,i}$  er rest bøyestrekfasthet i N/mm<sup>2</sup>  
 $M_{R,i}$  er moment ved foreskrevet nedbøyning i Nmm  
 $b$  er tverrsnittets bredde i mm  
 $h$  er tverrsnittets høyde i mm

Og

$$\text{Formel 5-10: } M_{R,i} = \frac{F_{R,i} * L}{4}$$

Hvor  $M_{R,i}$  er moment ved foreskrevet nedbøyning i Nmm  
 $F_{R,i}$  er last ved foreskrevet nedbøyning i N  
 $L$  er lengde mellom opplagerne i mm

Ettersom det er enklere å måle nedbøyning ( $\delta$ ) enn rissåpning (CMOD) angir regelverket følgende sammenheng mellom de to størrelsene:

$$\text{Formel 5-11: } CMOD = \frac{\delta - 0,04}{0,85}$$

Hvor CMOD er "Crack Mouth Opening Displacement" i mm  
 $\delta$  er nedbøyning i mm

Deretter kan karakteristiske verdier bestemmes som:

$$\text{Formel 5-12: } f_{Rk,i} = f_{R,i} - k * s$$

Hvor  $f_{Rk,i}$  er karakteristisk rest bøyestrekfasthet i N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{R,i}$  er restbøyestrekfasthet i N/mm<sup>2</sup>  
 $k$  er 1,7 hvis prøveopplegget er som beskrevet  
 $s$  er standardavviket fra prøveserien

Videre kan den karakteristiske rest strekkfastheten ved 2,5mm CMOD bestemmes ved:

$$\text{Formel 5-13: } f_{ftk,res,2,5} = 0,37 * f_{Rk,3}$$

Hvor  $f_{ftk,res,2,5}$  er karakteristisk rest strekkfasthet ved 2,5 mm CMOD i N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{Rk,3}$  er rest bøyestrekfasthet ved 2,5mm CMOD i N/mm<sup>2</sup>

Dimensjonerende rest strekkfasthet kan bestemmes som:

**Formel 5-14:**  $f_{ftd,res,2,5} = f_{ftk,res,2,5} / \gamma_{cf}$

Hvor  $f_{ftk,res,2,5}$  er karakteristisk rest strekkfasthet ved 2,5mm CMOD i N/mm<sup>2</sup>

$f_{ftd,res,2,5}$  er dimensjonerende rest strekkfasthet ved 2,5mm CMOD i N/mm<sup>2</sup>

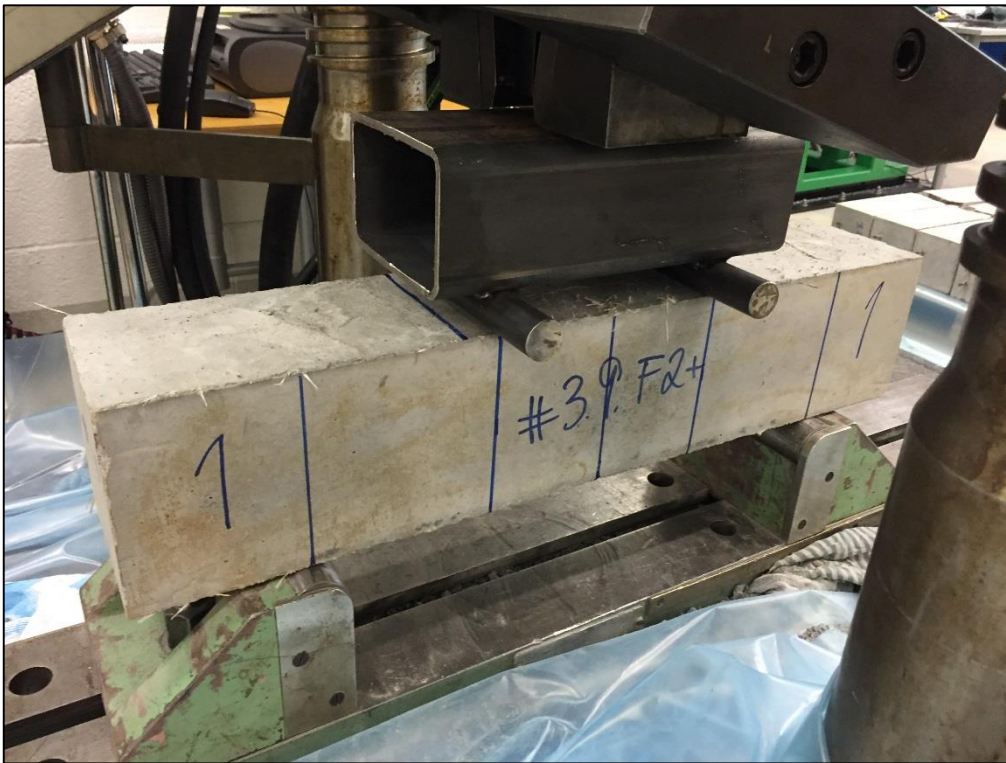
$\gamma_{cf}$  er materialfaktoren for reststrekkfastheten = 1,5



#### 5.4.7 Prøvningsmetode for måling av skjærkapasitet for bjelketverrsnitt

Måling av skjærkapasitet ble gjennomført med samme utstyr som for bestemmelse av momentkapasitet, men med fire- istedenfor tre-punktsbelastning. Disse bjelkene ble derimot ikke snittet på midten.

Bjelkene ble plassert på oppleggssruller og maskinen påførte last med en pålastningshastighet på 5 N og deretter kontinuerlig hastighet lik 1000 N/s. Avstanden mellom rullene for lastpåføring var 200mm.



Figur 5-36 Bjelke for testing av skjærkapasitet

Bjelkene ble belastet til brudd og opptredende skjærkraft ble beregnet ved bruk av formelen:

**Formel 5-15:**  $V_{Rd} = P/2$

Hvor  $V_{Rd}$  er opptredende skjærkraft i kN  
 $P$  er total last i kN

## 5.5 Beregning av bjelker for skjær- og momentbelastning

### 5.5.1 Momentkapasitet av armert betong

Beregningsgrunnlaget for dimensjonering av bjelker utsatt for ren bøyning gir følgende beregningsforutsetninger iht. Eurocode 2 punkt 6.1:

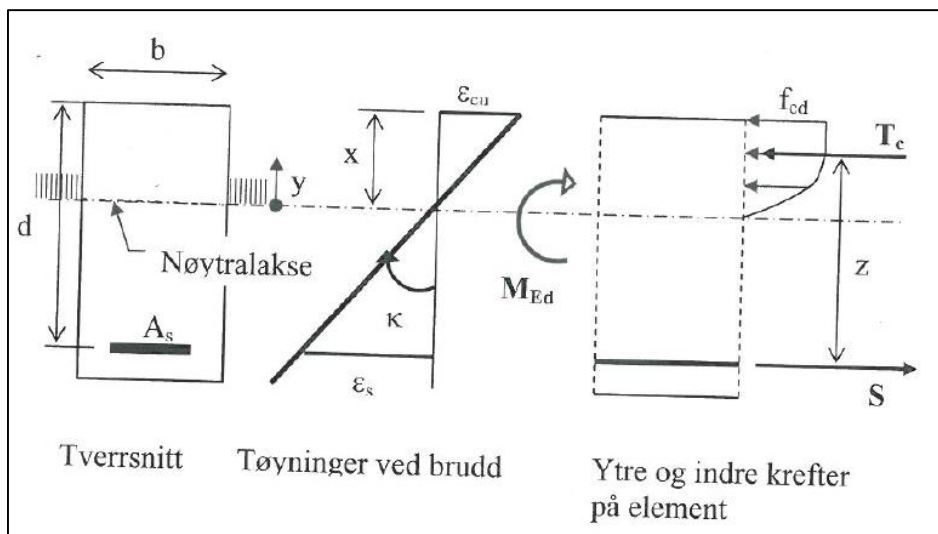
- Full heft mellom betong og armering
- Naviers hypotese er gyldig
- Spennings- og tøyningsegenskaper etter EC2, 3.1.7
- Det ses bort fra betongens strekkfasthet

For å kunne beregne tverrsnittets kapasitet for bøyning må en videre definere når brudd inntreffer, det vil si at et bruddkriterium må velges.

Bruddkriterier:

1. Trykkbrudd i betong når  $\epsilon_c = \epsilon_{cu}$ ;  $\epsilon_{cu2}$  eller  $\epsilon_{cu3}$  avhengig av spenning-tøyningsammenhengen som er evalgt etter EC2, figur 3.3 eller 3.4
2. Brudd i armering når  $\epsilon_s = \epsilon_{ud}$  (i følge EC2, tabell NA.3.5(901) for B500C er  $\epsilon_{ud} = 3 \cdot 10^{-2}$ )

For vanlige armeringsmengder antas det endelige bruddet å inntre ved overskridelser av trykkbruddkriteriet for betong.



Figur 5-37 Beregningsmodell, momentkapasitet

Hvor	d	er tverrsnittets effektive høyde fra trykkrand til tyngdepunkt i strekkarmering i mm
	$A_s$	er strekkarmeringstverrsnittet i mm <sup>2</sup>
	x	er trykksonehøyde i mm
	S	er kraft i strekkarmering i N
	$T_c$	er trykkresultant av betongspenningene i trykksonen
	z	er indre momentarm i mm, avstand mellom S og $T_c$

Momentet av indre krefter uttrykker betongtrykksonens momentkapasitet,  $M_{Rd}$ :

$$\text{Formel 5-16: } M_{Rd} = \lambda * \eta * \alpha (1 - 0,5 * \lambda * \alpha) * f_{cd} * b * d^2$$

Hvor  $\lambda$  er en faktor som definerer den effektive høyden til trykksonen

$\eta$  er en faktor som definerer den effektive trykkfastheten

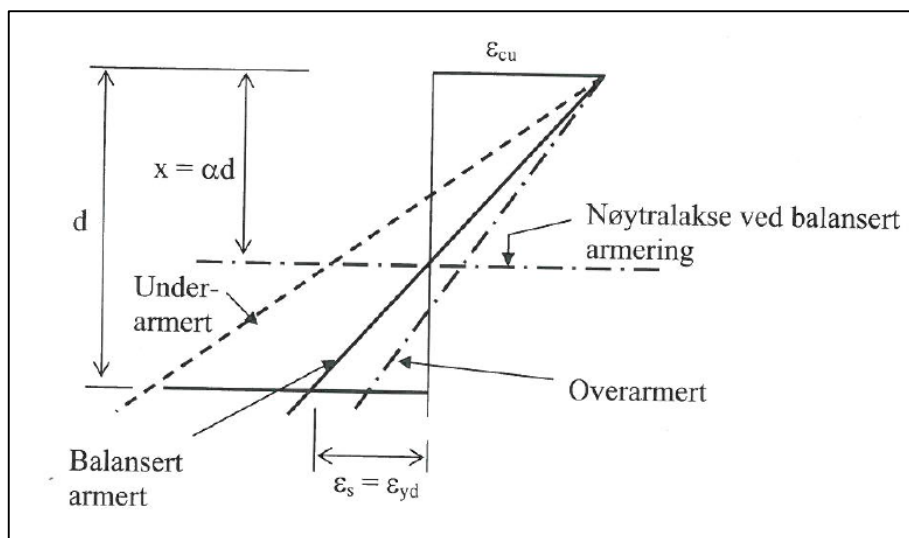
$\alpha$  er...

$f_{cd}$  er dimensjonerende trykkfasthet for betongen i MPa

For de vanligste fasthetsklassene B20-B50 er  $\lambda = 0,8$  og  $\eta = 1,0$  kan trykksonens momentkapasitet uttrykkes som:

$$\text{Formel 5-17: } M_{Rd} = 0,8\alpha(1 - 0,4\alpha) * f_{cd} * b * d^2$$

For å kunne bestemme betongtrykksonens momentkapasitet  $M_{Rd}$  må deretter verdien for  $\alpha$  bestemmes. For gitt betongtverrsnitt og armeringsmengde  $A_s$  må  $\alpha$  bestemmes slik at armeringstøyningen  $\epsilon_s$  tilsvarer likevekt mellom  $T_c$  og  $S$ .



Figur 5-38 Typiske tøyningstilstander ved bøyebrydd

Overarmert tverrsnitt vil si at armeringen ikke flyter før betongen knuses. Armeringsmengden i tverrsnittet er relativt stor.

Balansert armert tverrsnitt tilsier at flytning i armering skjer samtidig med knusing av betongen.

Underarmert tverrsnitt vil si at armeringen flyter før betongen knuses. Armeringsmengden i tverrsnittet er da relativt liten.

Dersom armeringsmengden i tverrsnittet tilsvarer balansert armert eller underarmert, slik at armeringen flyter ved brydd, gir aksiallikevekt med  $T_c$  og  $S$  følgende likning:

$$\text{Formel 5-18: } \lambda * \eta * f_{cd} * b * d * \alpha - f_{yd} * A_s = 0$$

Grensetilfellet mellom overarmert og underarmert er det balansert armerte tilfellet. Ved å bestemme den balanserte armeringsmengden,  $A_{s,b}$ , og sammenligne den aktuelle  $A_s$  med denne, kan det avgjøres om tverrsnittet er over- eller underarmert.

Fra tøyingsforløpet i figur 1 kan vi bestemme  $\alpha_b$  når  $\epsilon_s = \epsilon_{yd}$ :

$$\text{Formel 5-19: } \alpha_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}}$$

Den balanserte armeringsmengden finnes nå som:

**Formel 5-20:**  $A_{s,b} = \lambda * \eta * \frac{f_{cd}}{f_{yd}} * b * d * \alpha_b$

En kan nå gå videre med det gitte tverrsnittet og regne ut aktuell  $\alpha$  fra **Formel 5-18** hvis  $A_s < A_{s,b}$ .

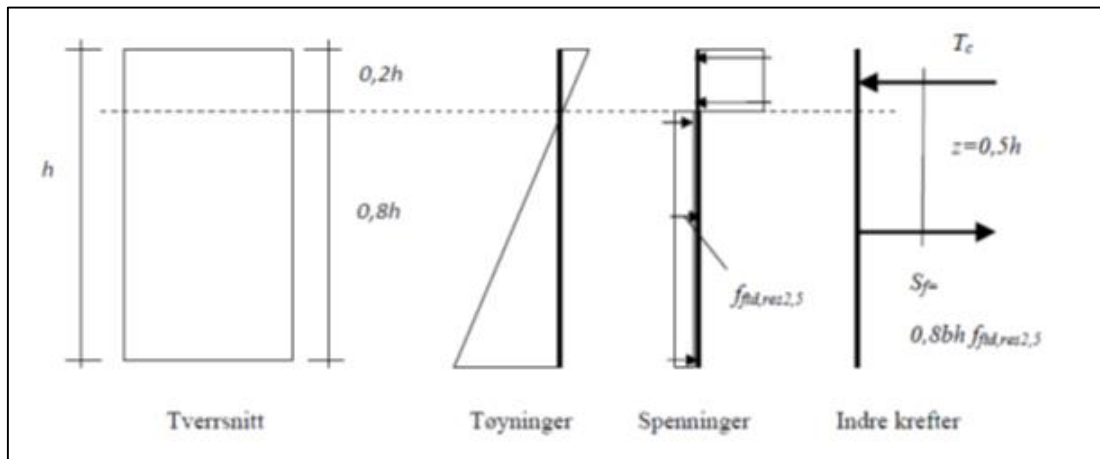
Betongtrykksonens momentkapasitet,  $M_{Rd}$ , finnes videre ved å sette aktuell  $\alpha$  inn i **Formel 5-16**. [39], [40]

### 5.5.2 Momentkapasitet av fiberarmert betong

Momentkapasiteten er beregnet iht. dimensjoneringsregler i kommende publikasjon Nr. 38 fra Norsk Betongforening og er som følger:

For fiberarmert betong kan kapasiteten forenklet beregnes ved å anta at rest strekkfastheten  $f_{ftd,res,2,5}$  virker over  $0,8h$  og at den indre momentarmen er  $0,5h$ . Momentkapasiteten for et rektangulært tverrsnitt blir da:

**Formel 5-21:**  $M_{Rd} = 0,4 * f_{ftd,res,2,5} * b * h^2$



Figur 5-39 Spennings og tøyningfordeling for rektangulært tverrsnitt av fiberarmert betong utsatt for ren bøyning

Hvor	$M_{Rd}$	er momentkapasitet i Nmm
	$f_{ftd,res,2,5}$	er dimensjonerende rest strekkfasthet ved CMOD lik 2,5 mm i $N/mm^2$
	$b$	er tverrsnittets bredde i mm
	$h$	er tverrsnittets høyde i mm

Fiberbetong uten konvensjonell armering kan brukes i pålitelighetsklasse 1 der det ikke er fare for liv ved sammenbrudd. [16]

### 5.5.3 Momentkapasitet av armert fiberbetong

Momentkapasiteten er beregnet iht. kommende dimensjoneringsregler i publikasjon fra Norsk Betongforening og er som følger:

Momentkapasiteten for armert fiberbetong skal bestemmes basert på flere prinsipper:

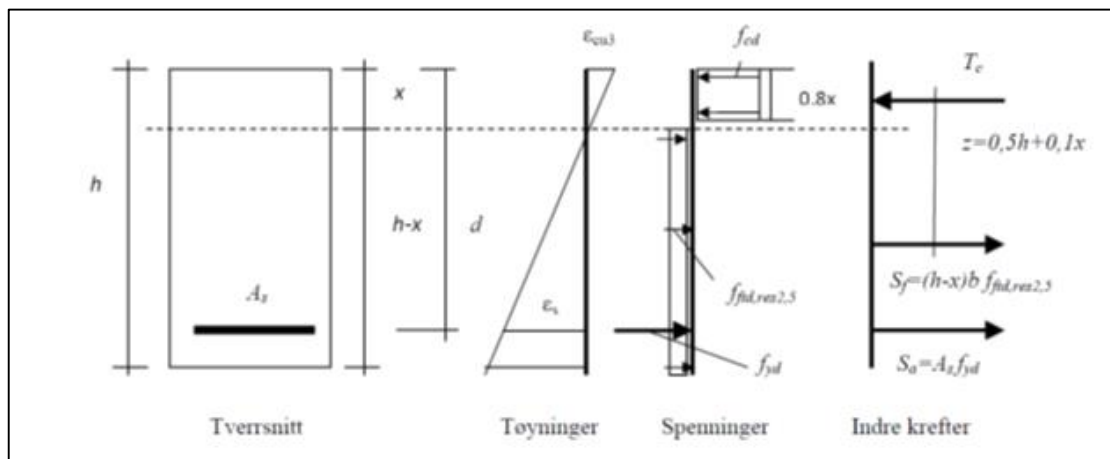
- Det skal påvises at konstruksjonsdelen bærer den dimensjonerende lasten med samvirke mellom stangarmering og fiber.
- Den konvensjonelle armeringens arbeidsdiagram er forutsatt å følge retninglinjene i Eurocode 2 punkt 3.2.7.
- Betongens trykksone skal karakteriseres ved bestemmelsene gitt i Eurocode 2 punkt 3.1.7.
- Strekkapasiteten i fiberbetongen kan medtas med konstant spenning over strekksonehøyden.
- Ved beregning av kapasiteten skal trykksonehøyden bestemmes ved hjelp av aksiell likevekt:

$$T_c = S_f + S_a$$

Momentkapasiteten kan deretter bestemmes ved å ta likevekt om trykkresultantens angrepspunkt som:

**Formel 5-22:**  $M_{Rd} = S_f(0,5h + 0,1x) + S_a(d - 0,4x)$

Hvor	$M_{Rd}$	er momentkapasitet i Nmm
	$S_f$	er fiberens resultantkraft i N
	$S_a$	er armeringens resultantkraft i N
	$h$	er tverrsnittshøyden i mm
	$d$	er avstand fra strekkarmeringens tyngdepunktslinje til trykkanten i mm
	$x$	er trykksonehøyden i mm



Dersom aksiell likevekt gir at den maksimale strekk�øyningen overskrider  $3/h\text{‰}$  er det tilstrekkelig å sette trykk�øyningen lik  $\epsilon_{cu3}$  og den maksimale strekk�øyningen lik  $3/h\text{‰}$ .

For konstruksjonsdeler i pålitelighetsklasse 2, 3 og 4 skal det i tillegg påvises at dimensjonerende bøyemomenter og aksialtrekkrefter kan bæres av stangarmering uten bidrag fra fiberarmeringen. I denne kontrollen kan en sette alle materialfaktorer  $\gamma_m=0$ . [16]

#### 5.5.4 Skjærkapasitet av armert betong

Skjærkapasitet er beregnet iht. «NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger» punkt 6.2.2: Konstruksjonsdeler uten beregningsmessig behov for skjærarmering.

**Formel 5-23:**  $V_{Rd,ct} = \left[ C_{Rd,c} * k(100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d$

Hvor  $C_{Rd,c} = \frac{k_2}{\gamma_c}$

der  $k_2 = 0,15$  dersom ikke betingelsene for å benytte  $k_2$  lik 0,18 er oppfylt

$k_2 = 0,18$  for betong med største tilslag D, etter NS-EN 12620, lik eller større enn 16mm,

og der det grove tilslaget utgjør 50 % eller mer av den samlede tilslagsmenden og det ikke benyttes grovt tilslag av kalkstein eller stein med tilsvarende lav fasthet. og  $\gamma_c =$

1,5 og er materialfaktoren for betong

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

der  $d$  er avstand fra strekkarmeringens tyngdepunktslinje til trykkanten

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0,02$$

der  $A_{sl}$  er tverrsnittsarealet av strekkarmeringen.  $b_w$  er den minste bredden av tverrsnittet i strekksonen. (Armeringsforhold for lengdearmering)

$f_{ck}$  er betongens karakteristiske sylindrefasthet etter 28 døgn

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \text{ (trykkspenning i betongen fra aksialbelastning eller forspenning)}$$

der

$N_{Ed}$  er dimensjonerende Verdi for aksialkraft (strekk eller trykk) i N

$A_c$  er arealet av betongtverrsnittet i mm<sup>2</sup>

$b_w$  er den minste bredden av tverrsnittet i strekksonen i mm

[39]

### 5.5.5 Skjærkapasitet av armert fiberbetong

Det finnes en rekke metoder og modeller for å beregne skjærkapasiteten til fiberarmert betong. De fleste er basert på resultater fra ulike bjelkeprøvingsserier med konvensjonell bøyestrekkarmering i underkant av bjelke og gyldigheten av beregning av skjærkapasitet iht. det kommende regelverket er derfor begrenset til tverrsnitt med konvensjonell lengdearmering.

I publikasjonen benyttes skjærkapasiteten for betong uten tradisjonell bøylearmering iht. punkt 6.2.2 i Eurocode 2 som utgangspunkt, med bidraget fra fiberarmeringen som et tillegg.

**Formel 5-24:**  $V_{Rd,c} = V_{Rd,ct} + V_{Rd,cf}$

Hvor

$$V_{Rd,ct} = \left[ C_{Rd,c} * k(100 * \rho_1 * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d$$

**Formel 5-25:**  $V_{Rd,cf} = 0,6 * f_{ftd,res 2,5} * b_w * h$

Der

$$f_{ftd,res 2,5} = f_{ftk,res 2,5} / \gamma_{cf}$$

$f_{ftd,res,2,5}$  er dimensjonerende rest strekkfasthet ved 2,5mm CMOD i N/mm<sup>2</sup>

$f_{ftk,res,2,5}$  er karakteristisk rest strekkfasthet ved 2,5mm CMOD i N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{cf}$  er materialfaktoren for reststrekkfastheten = 1,5

[16]



## 6 RESULTAT OG ANALYSE

I dette kapitlet presenteres resultater og analyser av testingen som er beskrevet i metodekapitlet. Kapitlet er tredelt siden det er gjennomført testing av betong med ulike type fiber og fastheter.

### 6.1 SV40 – AR-glass MiniBars

Fra denne støpen ble det støpt ut om lag 1,5 m<sup>3</sup> betong i prøvestykker. Fra den ferske betongen er det foretatt prøver for testing av luftinnhold, fiberinnhold og synk. For herdet betong er det foretatt prøver for testing av trykkfasthet, bøyestrekfasthet, E-modul, direkte strekkfasthet, moment- og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt for å dokumentere materialparametere til bruk i dimensjonering.

#### 6.1.1 Fersk betongegenskaper

##### Luftinnhold

Tabell 6-1 Resultater fra måling av luftinnhold

Støperekkefølge	Fiberdosering [V%]	V/C-Forhold	Luftinnhold [%]
1	0,0	0,407	6,5
2	10	0,408	14
3	1,5	0,409	11

Som vi kan se av resultatene har fibertilsetningen økt luftinnholdet drastisk i den ferske betongen. Dette kommer av fibertilsetningen på grunn av innblandingsmetoden og fiberballingen. Etter tilsetning av mer SP-stoff gikk luftinnholdet noe ned. Et økt V/C-forhold sammen med det høye luftinnholdet i fersk betong vil etter all sannsynlighet ha innvirkning på trykk- og skjærfasthet til den herdede betongen.

##### Synk

Måling av synk ble gjennomført, men siden fiberne er lange og trakten smal resulterte dette i en fiberball i midten. Dette anses ikke som noen god måte å fortelle noe om den fiberarmerte betongens konsistens. Måling av fiberens effekt på konsistens bør derfor gjøres ved slump eller LCPC-boks.

**Fiberinnhold**

Måling av fiberinnhold ble gjennomført for å dokumentere homogen fordeling gjennom hele støpen. Under utstøpning ble det oppdaget flere store og hyppige fiberballer. Dette er et tegn på at maksimal fibertilsetning i forhold til resept og matriks er nådd. Derfor var dette forsøket spesielt viktig for å undersøke faktisk fiberinnhold og om den resterende fibermengden fordeler seg som forutsatt.

*Tabell 6-2 Resultater fra måling av fiberinnhold for 1,0 V% fibertilsetning*

Nummer	Tid for prøving	Volum [L]	Fiberinnhold [g]
1	Start	8	98,94
2	Midt	8	99,90
3	Slutt	8	105,60
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>101,5</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>2,70</b>

Resultatene bekrefter mistanken om et redusert fiberinnhold i henhold til resept. Dog er fiberen jevnt fordelt med lavt standardavvik. Tilsatt fiberinnhold var 1,0 volum-%, men resultatene viser at omkring 0,4 volum-% har gått tapt i baller og resterende innhold er dermed ca. 0,6 volum-%. Ettersom basisbetongen har et luftinnhold som overstiger 4,0% kan målt fiberinnhold i prøvene korrigeres for dette iht. «Norsk betongforening publikasjon Nr . 7». Korrigert fiberinnhold vil da bli 0,67 volum-%. [41] Da ballene ble oppdaget ble de fjernet og ved neste dosering ble fiberen tilsatt mer skånsomt sammen med at en økt mengde SP-stoff ble tilsatt.

*Tabell 6-3 Resultater fra måling av fiberinnhold for 1,5 V% fibertilsetning*

Nummer	Tid for prøving	Volum [L]	Fiberinnhold [g]
1	Midt	8	190,78
2	Slutt	8	197,65
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>194,21</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>3,43</b>

Før prøvetaking for andre dosering ble det registrert færre fiberballer. Resultatene tilsvarer en volum-% på ca. 1,1 noe som tyder på at lite av den nye doseringen gikk vekk i baller. Et standardavvik på 3,43 vil si en god og jevn fordeling av fiber gjennom støpen. Korrigert fiberinnhold, med hensyn til luft, vil være 1,2 volum-%. Ettersom det er mer enn 0,5 volum-% i forskjell fra første prøve til andre prøve kan dette tyde på at det var flere fiberballer i blanderen som ble løst opp ved tilsetningen av mer SP-stoff og lenger blandetid.

Grunnet problemene med fiberballing ble det ikke ansett som hensiktsmessig å støpe ut noen tredje dosering på 2,0 volum-%. Men siden fordelingen viser seg å være jevn, og dette er et forskningsprosjekt, ble ikke betongen forkastet slik den ville blitt ved utførelse av konstruksjonen iht. kommende regelverk.

Heretter vil verdier for faktisk fiberinnhold bli brukt.

### 6.1.2 Herdnet betongegenskaper

#### Densitet

Densiteten måles for å undersøke tetthet og kan fortelle noe om luftinnholdet i betongen.

Tabell 6-4 Densitet av herdet betong med 0,0 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m3]
1	1276,2	2269,7	2284,5
2	1275,34	2282,9	2265,8
3	1262,5	2254,6	2272,6
4	1281,4	2277,3	2286,7
5	1259,3	2252,7	2267,7
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2275,4</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>8,6</b>

Ettersom denne målingen er av uarmert betong vil denne fungere som en referanse for de etterfølgende prøvene. I henhold til resepten var proporsjonert betongdensitet 2308,64 kg/m<sup>3</sup>. Den proporsjonerte densiteten har ikke medregnet luft og det kan derfor konkluderes med at det er 1,44 % av volumet i den herdnete betongen som består av luft.

Tabell 6-5 Densitet av herdet betong med 0,67 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m3]
1	1120,9	2127,7	2113,3
2	1119,7	2121,3	2117,9
3	1130,0	2139,4	2119,5
4	1087,6	2078,9	2097,1
5	1134,8	2140,7	2128,1
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2115,2</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>10,2</b>

Av disse resultatene ser en at densiteten er redusert med 7 %. Det er naturlig med noe reduksjon ettersom fiberne har litt lavere densitet enn betongen. Ved å vite at 0,67% av volumet er av fiber med gitt densitet vil endringen i vekt forklares ved å beregne luftinnhold på bakgrunn av dette. Dette resulterer i at det totalt er 7,7 % luftinnhold i denne støperunden. Dette er en økning på 6,3 % i forhold

til referansen. Ved en antagelse om at betongens trykkfasthet reduseres med ca. 5 % for hver 1% økning av luft vil dette bety at trykkfastheten for denne betongen kan være redusert med så mye som 30 % i forhold til den uarmerte.

Tabell 6-6 Densitet av herdet betong med 1,2 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	1171,0	2172,5	2169,2
2	1173,3	2169,3	2178,0
3	1205,1	2200,5	2210,7
4	1167,5	2159,7	2176,7
5	1135,1	2119,5	2153,1
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2177,5</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>18,8</b>

Ettersom luftinnholdet i den ferske betongen ble redusert igjen til denne støperekkefølgen ser vi også at dette gir utslag på densiteten. Resultatet viser en reduksjon i densitet på 4,3 % i forhold til referansen. Beregnet luftinnhold er 4,44 %, noe som vil si en økning i luftvolum på 3 %. Dette vil etter de tidligere antagelsene resultere i en redusert trykkfasthet sammenlignet med den uarmerte på ca. 15 %.

**Trykkfasthet**

Trykkfasthet er målt for å karakterisere betongen og er en faktor som brukes direkte ved dimensjonering av betongkonstruksjoner. Etter å ha analysert resultatene fra målingen av densitet vil det på forhånd være en antagelse om en redusert trykkfasthet på 30 % og 15 % for henholdsvis 0,67 og 1,2 volum-% fibertilsetning.

*Tabell 6-7 Resultater av trykkfasthet ved 0,0 V% fibertilsetning*

Nummer	Trykkfasthet [MPa]
1	63,4
2	59,6
3	59,4
4	61,5
5	59
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>60,58</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>1,65</b>

En trykkfasthet på 60,6 MPa vil som nevnt fungere som en referanse for de etterfølgende resultatene med fiber. Dette stemmer godt i forhold til karakteristisk sylindrefasthet for en betong av kvalitet B45.

*Tabell 6-8 Resultater av trykkfasthet ved 0,67 V% fibertilsetning*

Nummer	Trykkfasthet [MPa]
1	43,4
2	41,4
3	43,5
4	42,5
5	43,5
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>42,86</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,82</b>

Som vi kan se av disse resultatene er trykkfastheten redusert med 29 %. Dette stemmer godt med antagelsen om at 1 % luft reduserer fastheten med ca 5 %. Dette er igjen direkte knyttet til skjærfastheten, og til dels strekkfastheten, til betong.

Tabell 6-9 Resultater av trykkfasthet ved 1,2 V% fibertilsetning

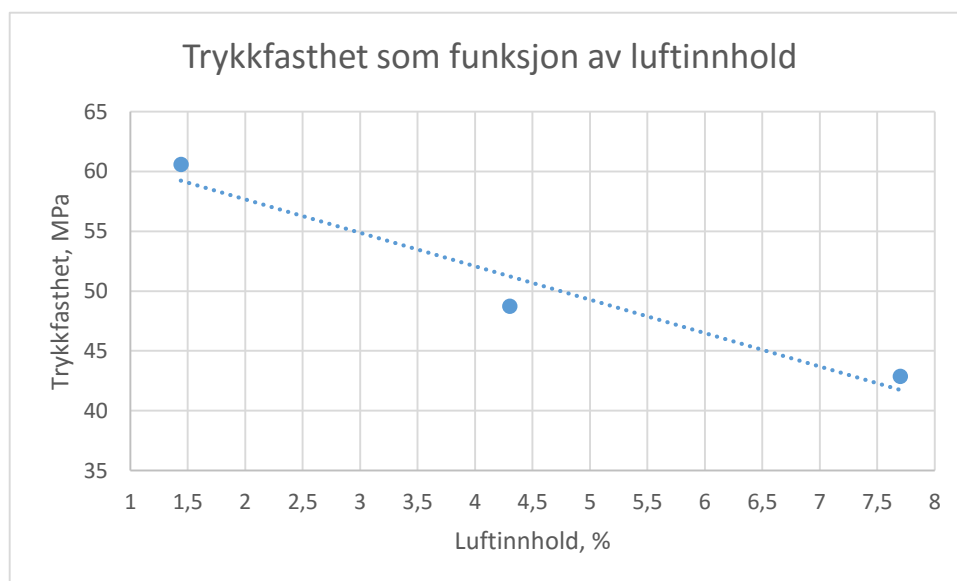
Nummer	Trykkfasthet [MPa]
1	50
2	48,7
3	47,6
4	48,6
5	48,8
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>48,74</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,76</b>

Av disse resultatene kan vi se at trykkfastheten er redusert med ca. 19 %. Ettersom denne blandingen inneholder nær dobbelt så mye fiber gir dette tydelig svar på at det er luftinnholdet og ikke fibertilsetningen som har innvirkning på denne egenskapen. Selv om det er tilsetningen av fiber som kan klandres for den økte luftmengden, vil dette kunne løses ved en forbedret innmatingsprosedyre.

Dette resulterer i følgende karakteristiske fastheter:

Tabell 6-10 Fasthetsklasser for testet betong

Fiberinnhold	Karakteristisk terningfasthet $f_{ck,cube}$ [MPa]	Fasthetsklasse
0,0	58	B45
0,67	41	B30
1,2	47	B35



Figur 6-1 Illustrasjon av redusert trykkfasthet som følge av luftinnhold

**Bøyestrekfasthet**

Tabell 6-11 Resultater av bøyestrekfasthet ved 0,0 V% fibertilsetning

Nummer	Bøyestrekfasthet [MPa]
1	7,1
2	7
3	6
4	6,8
5	8,2
6	7,2
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>7,05</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,65</b>

Resultatene fra bøyestrekfasthet viser en relativt høy fasthet for den uarmerte betongen.

Tabell 6-12 Resultater av bøyestrekfasthet ved 0,67 V% fibertilsetning

Nummer	Bøyestrekfasthet [MPa]
1	6,7
2	6,9
3	6,3
4	6,1
5	6
6	6,1
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>6,35</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,34</b>

Tabell 6-13 Resultater av bøyestrekfasthet ved 1,2 V% fibertilsetning

Nummer	Bøyestrekfasthet [MPa]
1	7,2
2	6,1
3	6,5
4	6,6
5	7,4
6	7,1
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>6,82</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,45</b>

Som vi kan se av tabell Tabell 6-12 og Tabell 6-13 går fastheten noe ned ved tilsetning av 0,67 V% fiber før den går noe opp igjen ved tilføring av ytterligere fibermengder. Ettersom disse prøvestykkene er 40x40x160 mm var det vanskelig å få en god utstøpning med 55 mm lange fibre. I noen av tverrsnittene var det kun et fåtall, se Figur 6-2, fiber som gikk over tverrsnittet og anses derfor ikke som en indikasjon på hvilken påvirkning fiber har på bøyestrekfastheten. Det ser ut til at bøyestrekfastheten til disse prøvene også er påvirket av variasjonen i luftinnhold for den herdne betongen.



Figur 6-2 Prismer utsatt for bøyning



**E-Modul**

Tabell 6-14 Resultater av E-modul ved 0,0 V% fibertilsetning

Nummer	E-Modul iniell[MPa]	E-Modul standardisert [MPa]
1	26,91	30,10
2	28,36	31,43
3	-	-
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>27,63</b>	<b>30,76</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,725</b>	<b>0,67</b>

Tabell 6-15 Resultater av E-modul ved 0,67 V% fibertilsetning

Nummer	E-Modul iniell[MPa]	E-Modul standardisert [MPa]
1	23,90	26,49
2	23,27	25,86
3	24,11	26,64
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>23,76</b>	<b>26,33</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,36</b>	<b>0,34</b>

Tabell 6-16 Resultater av E-modul ved 1,2 V% fibertilsetning

Nummer	E-Modul iniell[MPa]	E-Modul stabilisert [MPa]
1	23,38	25,80
2	24,30	26,74
3	22,77	24,97
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>23,48</b>	<b>25,84</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,77</b>	<b>0,89</b>

Resultatene viser at E-modulen er redusert ved tilføring av fiber. Det vil i første omgang være naturlig at reduksjonen skyldes luft. Men da burde resultatet vært stigende igjen ved økt fibermengde. Det konkluderes derfor med at fiberen har en negativ innvirkning på betongens E-modul.

**Direkte strekkfasthet**

*Tabell 6-17 Direkte strekkfasthet ved 0,0 V% fibertilsetning*

Nummer	Strekfasthet [MPa]
1	1,88
2	2,28
3	2,61
4	2,31
5	1,59
6	2,18
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>2,14</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,33</b>



*Tabell 6-18 Direkte strekkfasthet ved 0,67 V% fibertilsetning*

Nummer	Strekfasthet [MPa]
1	1,40
2	2,55
3	2,43
4	2,50
5	2,70
6	2,55
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>2,35</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,44</b>

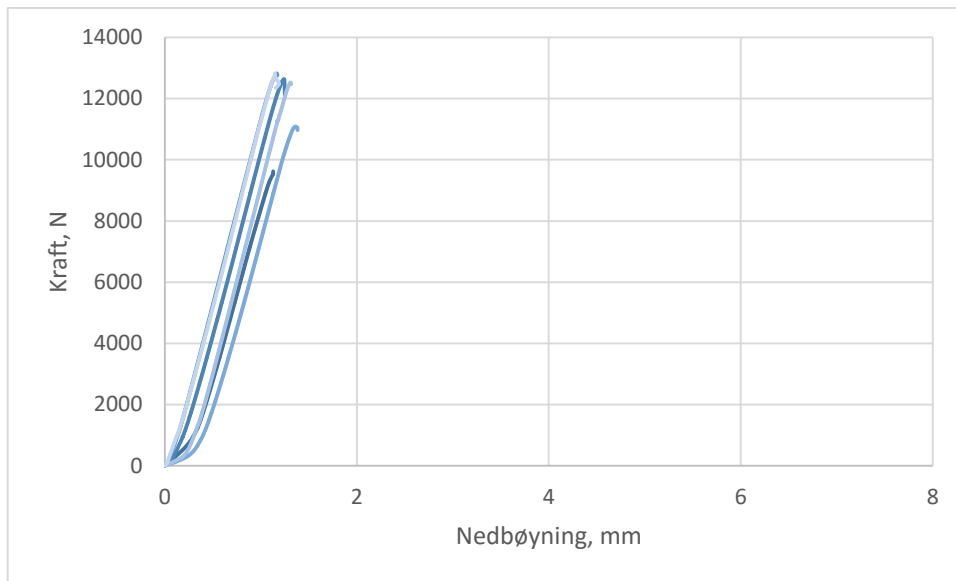


*Tabell 6-19 Direkte strekkfasthet av 1,2 V% fibertilsetning*

Nummer	Strekfasthet [MPa]
1	2,57
2	2,35
3	2,61
4	2,58
5	2,51
6	2,66
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>2,54</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,10</b>



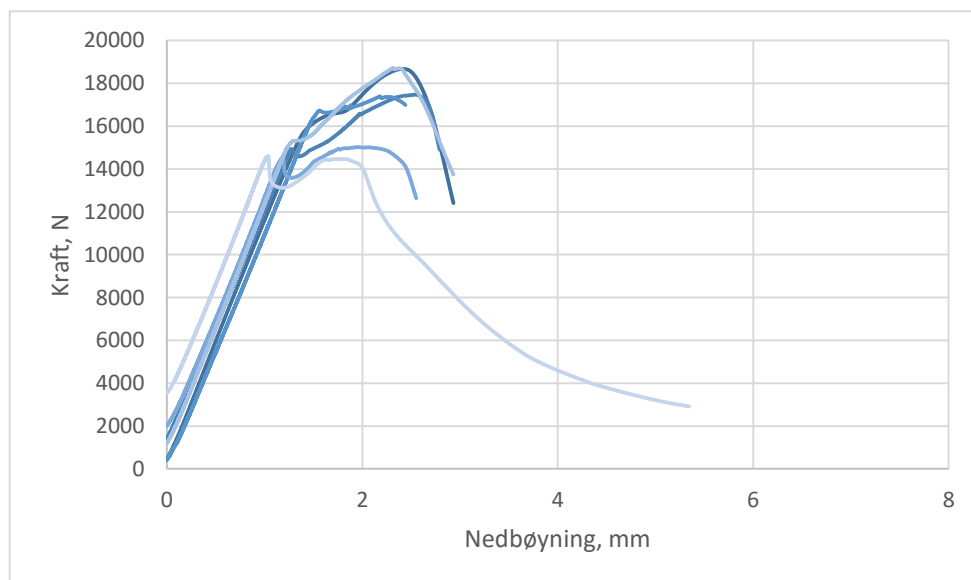
Som nevnt i det teoretiske kapitlet er ikke den direkte strekkfastheten i like stor grad påvirket av fiberen som bøyestrekfastheten. Resultatene viser imidlertid en kapasitetsøkning på 9,9 og 18,8 % ved innhold av henholdsvis 0,67 og 1,2 V% fiber. Samtidig som betongen uten fiber er brutt tvers av, holdes de to delene på plass av fiber over bruddet for de fiberarmerte. Hvis disse hadde blitt belastet videre kunne vi sett en mulig økning i videre styrke ettersom fiberne overtar de strekkspenningene som oppstår.

**Momentkapasitet av uarmert og fiberarmert betong**

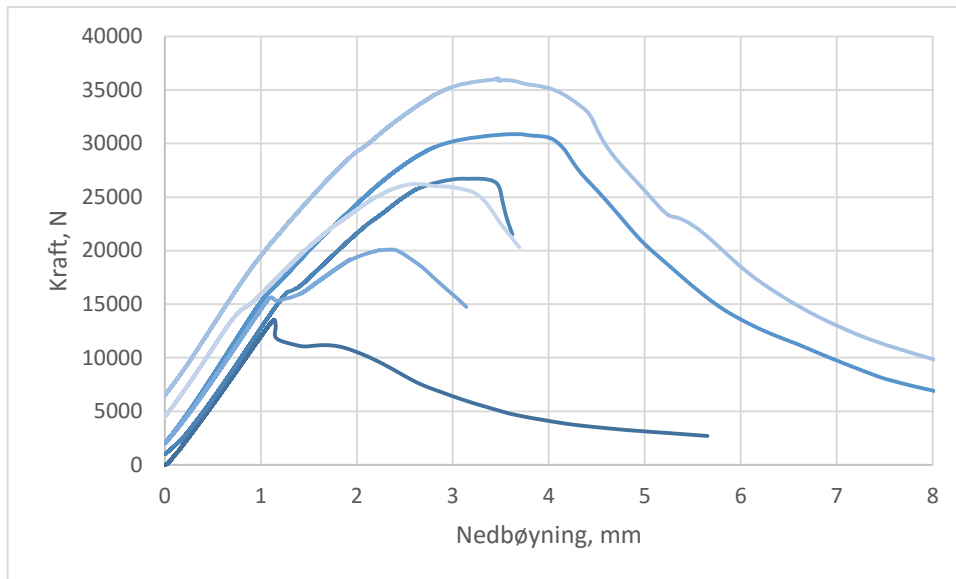
Figur 6-3 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 0,0 V% fibertilsetning

Grafen viser godt duktiliteten til uarmert betong. Bruddforløpet skjer brått og viser ingen kapasitet etter bruddet har oppstått.

Figur 6-4 og Figur 6-5 er justert for ujevnheter og ukorrekte registreringer som følge av skjev plassering og støpekanter.



Figur 6-4 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 0,67 V% fibertilsetning



Figur 6-5 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 1,2 V% fibertilsetning

Ved sammenligning av resultatene fra 0,0 V%, 0,67 V% og 1,2 V% fibertilsetning ser vi tydelig at betongen har fått en mer duktil oppførsel etter brudd av matriksen. Bjelketverrsnittet fortsetter å oppta stadig økende krefter selv etter riss. Dette illustrerer godt forskjellen mellom uarmert og fiberarmert betong og er et tydelig resultat av rest bøyestrekfasthet.

Ved omregning fra nedbøyning til CMOD vil de registrerte verdiene benyttes for bestemmelse av rest strekkfasthet i kapittel 5.4.6 og videre for verifisering av beregningsreglene for momentkapasitet av armert fiberbetong i kapittel 6.1.3.

Tabell 6-20 Bruddlast og momentkapasitet for 0,0 V% fibertilsetning

Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	9,62	1,20
2	Moment	12,60	1,58
3	Moment	12,80	1,60
4	Moment	11,10	1,39
5	Moment	12,50	1,56
6	Moment	12,80	1,60
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>11,90</b>	<b>1,49</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>1,18</b>	<b>0,15</b>

Tabell 6-21 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 0,67 V% fibertilsetning

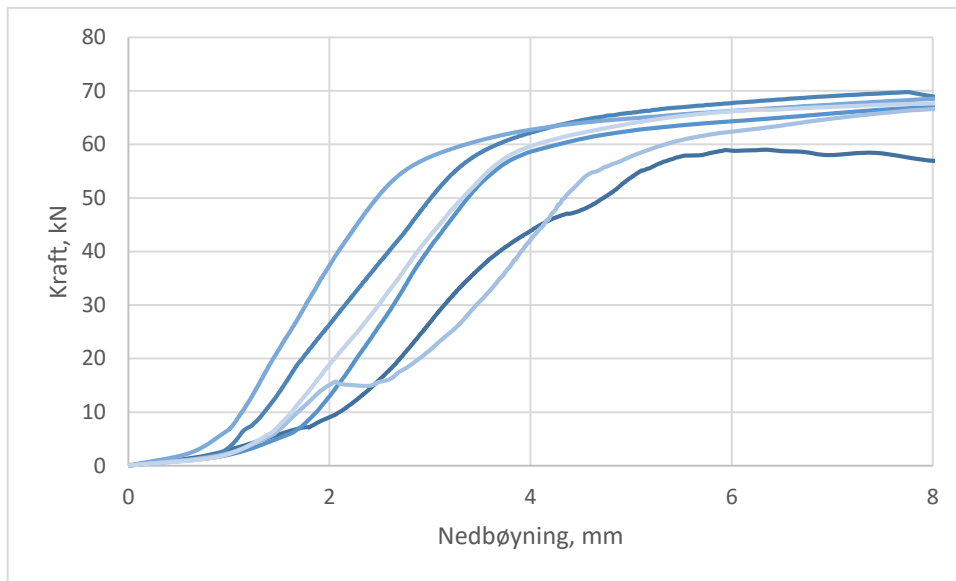
Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	18,7	2,34
2	Moment	17,5	2,19
3	Moment	17,4	2,18
4	Moment	15,0	1,88
5	Moment	18,7	2,34
6	Moment	14,6	1,83
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>16,98</b>	<b>2,13</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>1,63</b>	<b>0,20</b>

Tabell 6-22 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 1,2 V% fibertilsetning

Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	13,6	1,70
2	Moment	26,7	3,34
3	Moment	20,1	2,51
4	Moment	30,9	3,86
5	Moment	36,1	4,51
6	Moment	26,2	3,28
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>25,6</b>	<b>3,2</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>7,24</b>	<b>0,90</b>

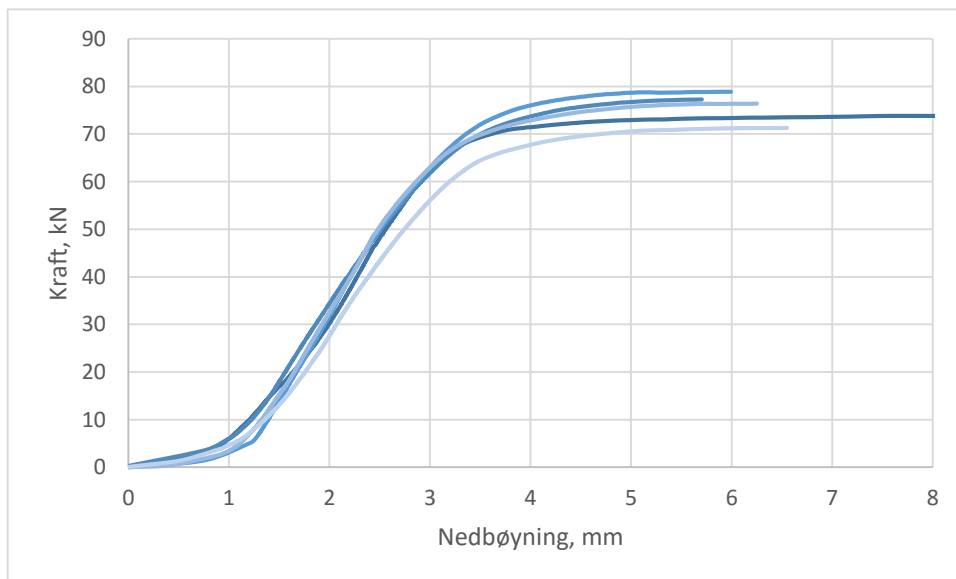
Av Tabell 6-20, Tabell 6-21 og Tabell 6-22 kan vi se at momentkapasiteten i gjennomsnitt har økt drastisk med 42,7 % ved tilsetning av 0,67 V% fiber og 115,1 % ved tilsetning av 1,2 V% fiber. Sammenlignet med stangarmering vil momentkapasiteten for 1,2 V% fibertilsetning, med dimensjonerende verdier for beregning av minimumsarmering, teoretisk tilsvare 517 mm<sup>2</sup> konvensjonell stangarmering.

Det merkes at standardavviket er høyt ved 1,2 V%. Ved nærmere undersøkelse av bruddflatene er det tydelig forskjell i fiberkonsentrasjon.

**Momentkapasitet av armert betong og armert fiberbetong**

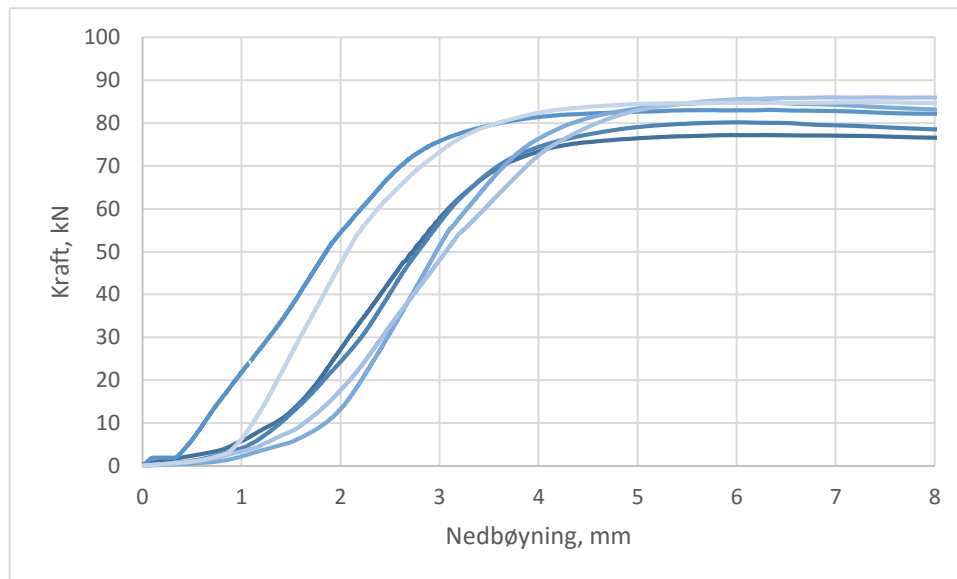
Figur 6-6 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 2Ø8 + 0,0 V% fibertilsetning

Med en gang vi tilsetter stangarmering ser vi at bruddlasten og utviklingen er langt mer seig enn uten armering. Etter at betongen risser opp tar armeringen over kreftene og blir belastet til den flyter og går til brudd.



Figur 6-7 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 2Ø8 + 0,67 V% fibertilsetning





*Figur 6-8 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 2Ø8 + 1,2 V% fibertilsetning*

Ved sammenligning av resultatene fra kombinasjonen mellom stangarmering og 0,0 V%, 0,67 V% og 1,2 V% fibertilsetning ser vi tydelig at bruddforløpet og utviklingen er mye mer jevn med fiber enn uten. Med bidraget fra armeringen er bjelkene i stand til å oppta langt større krefter og standardavviket er halvert.

Tabell 6-23 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 2ø8 + 0,0 V% fibertilsetning

Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	59,0	7,34
2	Moment	69,7	8,71
3	Moment	75,0	9,34
4	Moment	70,5	8,81
5	Moment	74,5	9,31
6	Moment	71,5	8,94
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>70,03</b>	<b>8,74</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>5,30</b>	<b>0,67</b>

Tabell 6-24 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 2ø8 + 0,67 V% fibertilsetning

Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	74,0	9,25
2	Skjær	77,2	9,65
3	Moment	78,7	9,84
4	Moment	76,4	9,55
5	Moment	71,3	8,91
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>75,52</b>	<b>9,44</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>2,60</b>	<b>0,33</b>

Tabell 6-25 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 2ø8 + 1,2 V% fibertilsetning

Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	77,2	9,65
2	Moment	80,2	10,03
3	Moment	83,1	10,39
4	Moment	84,9	10,61
5	Moment	86,0	10,75
6	Moment	84,9	10,61
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>82,72</b>	<b>10,34</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>3,09</b>	<b>0,38</b>

Av Tabell 6-23, Tabell 6-24 og Tabell 6-25 kan vi se at momentkapasiteten i gjennomsnitt har økt drastisk med bidraget fra armeringsjern. Videre er det en utvikling i kapasitet på 8 og 18 % for bjelkene med 0,67 V% og 1,2 V% fibertilsetning i forhold til den armerte betongen. Utviklingen i kapasitet er ikke like stor som for den uten stangarmering. Dette skyldes at armeringen er den dominerende kapasiteten og vil være den som går til brudd sist.

Disse verdiene vil videre brukes for å verifisere dimensjoneringsreglene for beregning av for armert fiberbetong i kapittel 6.1.3.

**Skjærkapasitet***Tabell 6-26 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 0,0 V% fibertilsetning*

Nummer	Bruddlast	Type Brudd
1	13,45	Moment
2	14,25	Moment
3	14,95	Moment
<b>Gjennomsnitt</b>	14,22	Moment
<b>Standardavvik</b>	0,61	-

*Tabell 6-27 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 0,67 V% fibertilsetning*

Nummer	Bruddlast	Type Brudd
1	22,90	Moment
2	21,75	Moment
3	18,85	Moment
<b>Gjennomsnitt</b>	21,17	Moment
<b>Standardavvik</b>	1,70	-

*Tabell 6-28 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 1,2 V% fibertilsetning*

Nummer	Bruddlast	Type Brudd
1	27,30	Moment
2	23,50	Moment
3	22,75	Moment
<b>Gjennomsnitt</b>	24,52	Moment
<b>Standardavvik</b>	1,99	-

Som vi kan se av Tabell 6-26, Tabell 6-27 og Tabell 6-28 har alle bjelkene gått til brudd for momentbelastning. Dette er naturlig ettersom betong utsatt for bøyning har lavere motstand mot moment- enn skjærbelastning.

Tabell 6-29 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 2ø8 og 0,0 V% fibertilsetning

Nummer	Bruddlast	Type Brudd
1	69,65	Moment
2	69,90	Moment
3	67,95	Moment
<b>Gjennomsnitt</b>	69,13	Moment
<b>Standardavvik</b>	0,91	-

Tabell 6-30 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 2ø8 og 0,67 V% fibertilsetning

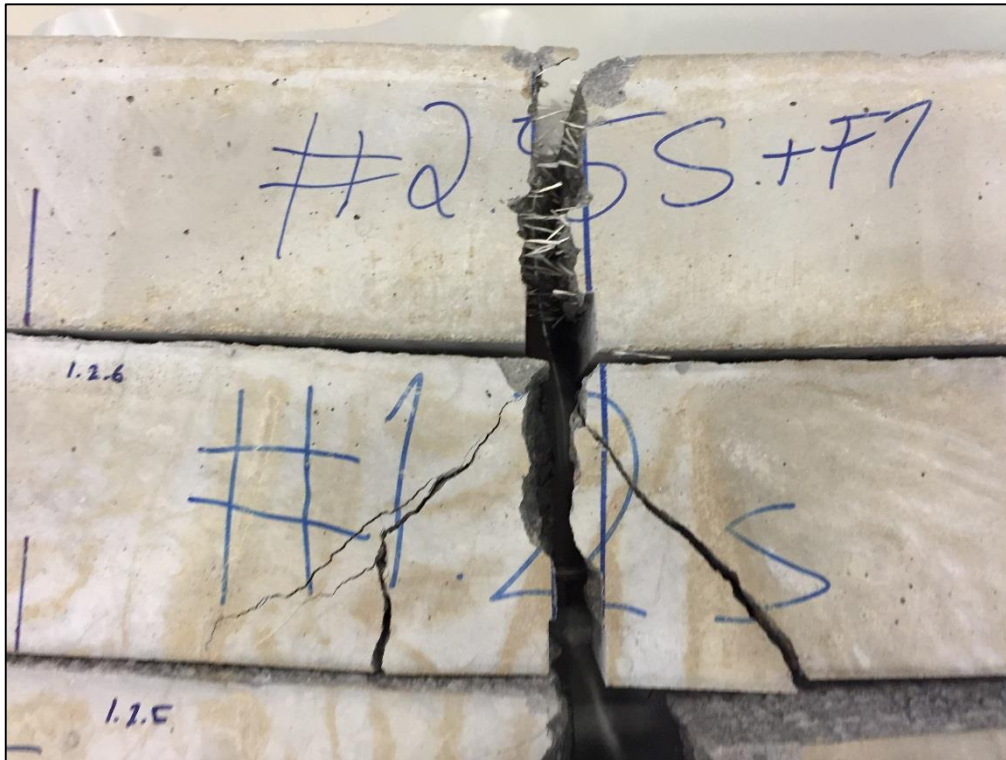
Nummer	Bruddlast	Type Brudd
1	68,50	Moment
2	70,05	Moment
3	70,55	Skjær
<b>Gjennomsnitt</b>	69,70	Moment
<b>Standardavvik</b>	0,87	-

Tabell 6-31 Bruddlast og skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med 2ø8 og 1,2 V% fibertilsetning

Nummer	Bruddlast	Type Brudd
1	73,90	Skjær
2	79,25	Skjær
3	76,00	Moment
<b>Gjennomsnitt</b>	76,38	Skjær
<b>Standardavvik</b>	2,20	-

Som vi kan se av Tabell 6-29, Tabell 6-30 og Tabell 6-31 har ikke skjærkapasiteten økt noe nevneverdig med tilføring av fiber. Ettersom dette er fire-punktsbelastning vil lastbildet være skjærdominert, men det vil også oppstå et høyt moment. Luftinnholdet i den herdnede betongen har direkte innvirkning på trykkfasthet og skjærfastheten, noe som vi kan se av resultatene.

Det registreres imidlertid at det oppstår store synlige skjærriss for betongen kun armert med konvensjonell armering og derimot ingen synlige tegn for tilsvarende bjelke av armert fiberbetong. Figur 6-9 viser øverst hybridarmert bjelke med konvensjonell armering og 0,67 V% fibertilsetning og nederst bjelke med kun konvensjonell armering. Dette bekrefter at tilføring av fiber i betong øker motstanden mot skjærbelastninger.



Figur 6-9 Tydelig forskjell i skjærriss for armert betong og armert fiberbetong

## Bestemmelse av rest strekkfasthet

Tabell 6-32 Last ved ulike rissvidder (CMOD) for bjelker med 0,67 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter

CMOD [mm]	Nedbøyning [mm]	Belastning [N] for bjelke nummer						Gj.snitt	Std.av.
		1	2	3	4	5	6		
0,05	0,0825	474	88	44	107	118	28	143	151
0,5	0,465	4629	753	2999	1004	2185	851	2070	1401
1,5	1,315	14159	9364	12331	8504	11878	5009	10207	2987
2,5	2,165	17853	15175	16988	14270	17077	14530	15982	1378
3,5	3,015	12408	17422	0	14602	16762	14416	12602	5869

Tabell 6-33 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 0,67 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter

Nummer	$F_{R3}$ [kN]	$M_{R3}$ [kNm]	$f_{R,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{Rk,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftk,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftd,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	17,85	2,23	5,71	4,96	1,84	1,22
2	15,18	1,90	4,86	4,11	1,52	1,01
3	16,99	2,12	5,44	4,69	1,73	1,16
4	14,27	1,78	4,57	3,82	1,41	0,94
5	17,08	2,14	5,46	4,71	1,74	1,16
6	15,98	1,82	4,65	3,90	1,44	0,96
Gj.snitt	13,78	2,00	5,11	4,36	1,61	1,08
Std.av.	5,87	1,72	0,44	0,44	0,16	0,11

Dimensjonerende rest strekkfasthet,  $f_{ftd,res,2,5}$ , er dermed 1,08 N/mm<sup>2</sup> for 0,6 volum-% fibertilsetning.

Tabell 6-34 Last ved  $CMOD = 2,5$  mm for bjelker med 0,67 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter

CMOD [mm]	Nedbøyning [mm]	Belastning [N] for bjelke nummer						Gj.snitt	Std.av.
		1	2	3	4	5	6		
2,5	2,165	18166	16968	17361	14958	18270	12183	16318	2148

Tabell 6-35 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 0,67 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter

Nummer	$F_{R3}$ [kN]	$M_{R3}$ [kNm]	$f_{R,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{Rk,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftk,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftd,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	18,17	2,27	5,81	4,65	1,72	1,15
2	16,97	2,12	5,43	4,27	1,58	1,05
3	17,36	2,17	5,55	4,39	1,62	1,08
4	14,96	1,87	4,79	3,63	1,34	0,90
5	18,27	2,28	5,84	4,69	1,74	1,16
6	12,18	1,53	3,92	2,77	1,03	0,68
Gj.snitt	16,32	2,04	5,22	4,07	1,50	1,01
Std.av.	2,15	0,265	0,68	0,68	0,25	0,17

Dimensjonerende rest strekkfasthet,  $f_{ftd,res,2,5}$ , er dermed 1,01 N/mm<sup>2</sup> for 0,67 volum-% fibertilsetning etter at justering for ujevnheter er gjennomført.

Ved å snu om på formelen for momentkapasitet av fiberarmerte betongtverrsnitt kan teoretisk rest strekkfasthet løses ut ved å bruke gjennomsnittlig bruddmoment fra bjelketesting. Gjennomsnittlig rest strekkfasthet ved brudd,  $f_{ft,res,brudd}$ , blir da lik 2,27 N/mm<sup>2</sup>.



Tabell 6-36 Last ved ulike rissvidder (CMOD) for bjelker med 1,2 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter

CMOD [mm]	Nedbøyning [mm]	Belastning [N] for bjelke nummer						Gj.snitt	Std.av.
		1	2	3	4	5	6		
0,05	0,0825	668	211	112	112	87	91	213	207
0,5	0,465	5171	2526	1688	846	340	662	1872	1644
1,5	1,315	14381	13269	12782	9897	625	4852	9301	4985
2,5	2,165	9894	20712	21559	16490	594	14960	14035	7140
3,5	3,015	6356	26114	28187	20098	1847	22099	17450	9878

Tabell 6-37 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,2 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter

Nummer	$F_{R3}$ [kN]	$M_{R3}$ [kNm]	$f_{R,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{Rk,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftk,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftd,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	9,89	1,24	3,17	0,87	0,32	0,22
2	20,71	2,59	6,63	4,33	1,60	1,07
3	21,56	2,69	6,90	4,60	1,70	1,13
4	16,49	2,06	5,28	2,98	1,10	0,74
5	0,59*	-	-	-	-	-
6	14,03	1,87	4,79	2,49	0,92	0,61
Gj.snitt	16,72	2,09	5,35	3,05	1,13	0,75
Std.av.	4,22	0,53	1,35	1,35	0,50	0,33

\* Målingen avviker så mye at denne ikke er medtatt i beregningen.

Dimensjonerende rest strekkfasthet,  $f_{ftd,res,2,5}$ , er dermed 0,75 N/mm<sup>2</sup> for 1,1 volum-% fibertilsetning.

Tabell 6-38 Last ved CMOD = 2,5 mm for bjelker med 1,2 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter

CMOD [mm]	Nedbøyning [mm]	Belastning [N] for bjelke nummer						Gj.snitt	Std.av.
		1	2	3	4	5	6		
2,5	2,165	9894	22812	25695	19881	30330	24829	22240	6356

Tabell 6-39 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,2 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter

Nummer	$F_{R3}$ [kN]	$M_{R3}$ [kNm]	$f_{R,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{Rk,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftk,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftd,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	9,89*	-	-	-	-	-
2	22,81	2,85	7,30	5,43	2,01	1,34
3	25,69	3,21	8,22	6,35	2,35	1,57
4	19,88	2,49	6,37	4,5	1,67	1,11
5	30,33	3,79	9,70	7,83	2,90	1,93
6	24,83	3,10	7,94	6,07	2,25	1,50
<b>Gj.snitt</b>	22,24	2,78	7,91	6,04	<b>2,23</b>	<b>1,49</b>
<b>Std.av.</b>	6,36	0,79	1,10	1,10	0,41	0,27

\*Målingen avviker så mye at denne ikke er medtatt i beregningen videre.

Dimensjonerende rest strekkfasthet,  $f_{ftd,res,2,5}$ , er dermed 1,49 N/mm<sup>2</sup> for 1,1 volum-% fibertilsetning etter at justering for ujevnheter er gjennomført.

Ved å snu om på formelen for momentkapasitet av fiberarmerte betongtverrsnitt kan teoretisk rest strekkfasthet løses ut ved å bruke gjennomsnittlig bruddmoment fra bjelketesting. Gjennomsnittlig rest strekkfasthet ved brudd,  $f_{ft,res,brudd}$ , blir da lik 3,41 N/mm<sup>2</sup>.

### 6.1.3 Verifisering av dimensjoneringsregler for beregning av momentkapasitet for fiberarmert og armert fiberbetong for 55mm AR-Glass MiniBars

Tabell 6-40 Sammenligning av dimensjonerende, teoretisk og faktisk momentkapasitet av bjelketverrsnitt armert med fiber alene

Volumandel fiber [%]	Dimensjonerende momentkapasitet [kNm]	Faktisk momentkapasitet [kNm]	Sikkerhetsmargin [%]
0,0	-	1,49	-
0,67	1,36	2,13	+56,6
1,2	2,01	3,2	+59,2

Som vi kan se av Tabell 6-26 er det lagt inn svært store sikkerhetsmarginer. Ved 0,67 og 1,2 V% er kapasiteten 56,6 og 59,2 % høyere enn dimensjonerende kapasitet for fiberarmert betong. Det kan derfor konkluderes at reglene iht. NB-publikasjon Nr. 38 for momentkapasitet av tverrsnitt armert med fiberarmering trygt kan anvendes for betong armert med 55mm AR-glass MiniBars.

Tabell 6-41 Sammenligning av dimensjonerende, teoretisk og faktisk momentkapasitet av bjelketverrsnitt med konvensjonell armering og fiberarmering

Volumandel fiber [%]	Dimensjonerende momentkapasitet [kN]	Faktisk momentkapasitet [kN]	Sikkerhetsmargin [%]	Teoretisk momentkapasitet [kN]	Differanse [%]
0,0	4,61	8,75	+89,8	8,23	+6,4
0,67	5,76	9,44	+63,8	8,84	+6,7
1,2	6,06	10,34	+70,8	10,15	+1,8

Som vi kan se av Tabell 6-41 er det lagt inn svært store sikkerhetsmarginer. I kombinasjon mellom stangarmering og fiberbetong er kapasiteten 63,8 og 70,8 % høyere enn dimensjonerende kapasitet for 0,67 og 1,2 V% fibertilsetning.

Ved å fjerne alt av sikkerhetsfaktorer og bruke faktiske materialparametere som dokumentert ved testing i dimensjoneringen er det lite avvik, i positivt favør, mellom den faktiske og beregnede kapasiteten. Det kan derfor konkluderes at dimensjoneringsreglene iht. NB-publikasjon Nr. 38 for momentkapasitet av tverrsnitt armert med konvensjonell armering i kombinasjon med fiberarmering trygt kan anvendes for betong armert med 55mm AR-glass Minibars.

#### 6.1.4 Verifisering av dimensjoneringsregler for beregning av skjærkapasitet for fiberarmert og armert fiberbetong for 55mm AR-Glass MiniBars

Tabell 6-42 Sammenligning av dimensjonerende, teoretisk og faktisk skjærkapasitet av bjelketverrsnitt med konvensjonell armering og fiberarmering

Volumandel fiber [%]	Dimensjonerende skjærkapasitet [kN]	Faktisk skjærkapasitet [kN]	Sikkerhetsmargin [%]	Teoretisk skjærkapasitet [kN]	Differanse [%]
<b>0,0</b>	11,74	69,13<	+588	19,42	+350
<b>0,67</b>	23,87	70,55	+295	47,94	+47,2
<b>1,2</b>	30,89	76,38	+247	64,09	+19,2

Fra prøvingen for bestemmelse av skjærkapasitet var det svært få av bjelkene som faktisk hadde skjærbrudd. Dette betyr at skjærkapasiteten er større enn momentkapasiteten, selv ved 4-punkts belastning. Av de bjelkene som fikk skjærbrudd ser vi at faktisk skjærkapasitet er mer enn dobbelt så høy som den dimensjonerende. Det kan derfor konkluderes at dimensjoneringsreglene iht. NB-publikasjon Nr. 38 for skjærkapasitet av tverrsnitt armert med konvensjonell armering i kombinasjon med fiberarmering trygt kan anvendes for betong armert med 55mm AR-glass Minibars.

### 6.1.5 Oppsummering av resultater SV40

Totalt er det støpt ut 72 bjelker, 27 terninger, 18 prismer, 18 strekklegemer og 14 sylindere i prøvelegemer over 3 støperunder. Første utstøpning er av ren betong, i andre runde er det tilsatt 1,0 V% 55 mm AR-glass MiniBar fra ReforceTech og i tredje og siste runde er det tilsatt ytterligere 0,5 V% MiniBars for et totalt innhold av fiber på 1,5 V% for tredje runde.

For å oppsummere resultatene fra denne prøvingen kan det innledningsvis opplyses om at tilsetning av 1,0 V% fiber gjorde store endringer på betongens konsistens. Dette var synlig i form av fiberballer og var et klart tegn på at optimalt fiberinnhold med tanke på mengde finstoff var nådd. Videre som et resultat av dette ble det registrert en nær dobling i luftinnhold i den ferske betongen, etter at fiber var tilsatt. Ved prøveuttak for måling av fiber registreres det at om lag 40 % av tilsatt mengde fiber var gått tapt i baller fra første fibertilsetning. Tiltak ble igangsatt og ved tilsetning av mer SP-stoff og større presisjon ved innblanding gikk lite fiber vekk i fiberballer ved andre tilsetning. Dette resulterte i at der det opprinnelig var tilsatt 1,0 V% fiber er det nå 0,67 V% og der det var tilsatt 1,5 V% er det nå 1,2 V%.

Fra resultatene i herdet tilstand ser vi av densiteten at fibertilsetningen har gitt betongen et høyere luftinnhold. Dette går igjen ved testing av trykkfasthet og videre av skjærkapasiteten. Imidlertid ser vi tydelig effekt av fibertilsetningen ved testing av direkte strekkfasthet, momentkapasitet og også i reduksjon i riss ved skjærbelastning.

Verifisering opp mot kommende regelverk viser gode sikkerhetsmarginer mellom dimensjonerende og faktisk kapasitet for både moment- og skjærkapasitet. Dimensjoneringsreglene stemmer godt overens med faktiske resultater ved å benytte faktiske materialparametere og ved fjerning av sikkerhetsfaktorer.

## 6.2 SV40 – Stålfiber

Fra denne støpen ble det støpt ut om lag 130 liter betong i prøvestykker. Fra den ferske betongen er det foretatt prøver for testing av luftinnhold, synk og fiberinnhold. For herdet betong er det foretatt prøver for testing av trykkfasthet, E-modul og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for å dokumentere materialparametere til bruk i dimensjonering.

### 6.2.1 Fersk betongegenskaper

#### Fiberinnhold

Måling av fiberinnhold ble gjennomført for å dokumentere homogen fordeling gjennom hele støpen. Det ble ikke registrert fiberballer i denne støpen, dette uten å ha gjort nevneverdige endringer på resepten. Dette skyldes stålfiberens lave overflateareal sammenlignet med MiniBars.

Tabell 6-43 Resultater fra måling av fiberinnhold for 1,0 V% fibertilsetning

Nummer	Tid for prøving	Volum [L]	Fiberinnhold [g]
1	Start	1,25	94,46
2	Midt	1,25	106,67
3	Slutt	1,25	101,11
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>100,75</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>5,00</b>

Fra Tabell 6-43 vil denne målingen tilsvare  $80,6 \text{ kg/m}^3$ , hvor tilsatt fibermengde var  $80,0 \text{ kg/m}^3$ . Det konkluderes derfor med svært jevn gjennomsnittlig fordeling av stålfiber i denne støpen. Det ser ut til at det er en tendens til økende mengde fiber utover i støpen og med standardavviket antas det at videre resultater kan variere på grunn av et fiberinnhold +/- 5% av tilført mengde.

#### Synk

Målingen av synk ble registrert til 200mm. Fra en tidligere prøvestøp var resultatet 220 mm. Det vil si at fibertilsetningen har noe virkning på betongens konsistens, uten at dette bød på problemer med utstøpningen.



Figur 6-10 Måling av synk

**Luftinnhold***Tabell 6-44 Resultater fra måling av luftinnhold*

<b>Fiberdosering [V%]</b>	<b>Luftinnhold [%]</b>
1,0	7,5

Måling av luftinnhold i den ferske betongen viser at det er 1 % økning i forhold til referankestøpen. Dette kan medføre en liten økning i volumandel luft i den herdnede betongen, som kan gi utslag i form av redusert trykkfasthet.

## 6.2.2 Herdnet betongegenskaper

### Densitet

Densiteten måles for å undersøke tetthet og derav luftinnhold i betongen.

Tabell 6-45 Densitet av herdet betong med 1,0 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m <sup>3</sup> ]
1	1273,5	2278,8	2267
2	1322,9	2345,1	2294
3	1287,9	2291,2	2284
4	1268,1	2271,6	2264
5	1282,8	2288,4	2276
6	1287,5	2300,8	2271
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2276</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>10,31</b>

Ved å sammenligne densiteten med den proporsjonerte betongdensiteten vil dette tilsi at det er et luftinnhold på 3,76 % i den herdede betongen. Dette er litt over 2 % mer enn referansebetong og kan medføre en redusert fasthet på ca. 10 %.



**Trykkfasthet***Tabell 6-46 Resultater av trykkfasthet ved 1,0 V% fibertilsetning*

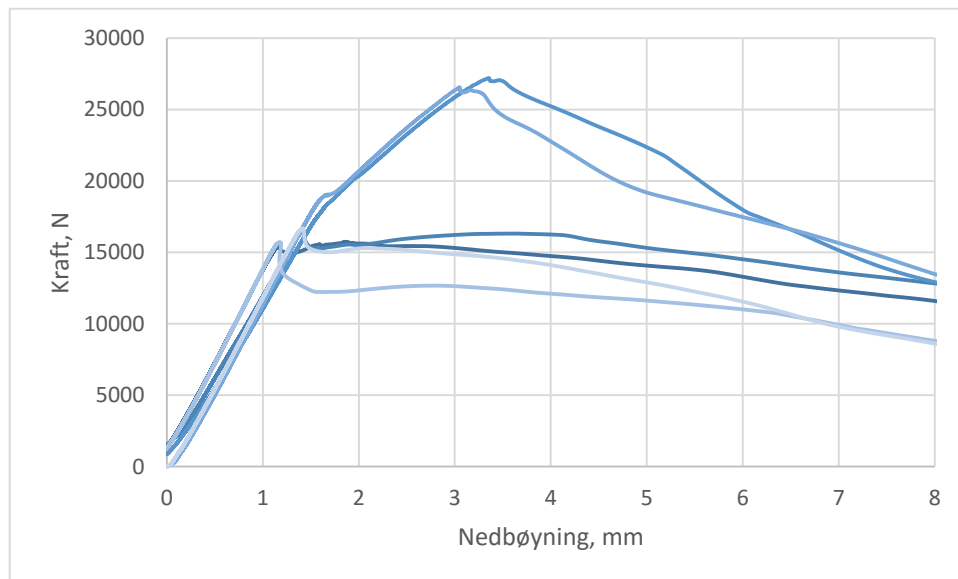
Nummer	Trykkfasthet [MPa]
1	52,2
2	54,9
3	54,1
4	53,8
5	53,2
6	53,8
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>53,7</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>0,83</b>

Som vi kan se av resultatene for trykkfasthet er denne ca. 11 % lavere enn for den uarmerte SV40-betongen som vist tidligere i punkt 6.1.2. Dette verifiserer at det er ca. 2 % mer luft i denne betongen og at innblanding av fiber har resultert i økt luftinnhold.

**E-Modul***Tabell 6-47 Måling av E-modul ved 1,0 V% fibertilsetning*

Nummer	E-Modul initiell [MPa]	E-Modul standardisert [MPa]
1	27,98	30,67

Resultatet fra testing av E-modul viser liten endring i forhold til referansestøp. Denne fiberbetongen har et høyere luftinnhold som kan føre til redusert elastisitetsmodul. Det vil derfor være naturlig å anta at stålfiber har en positivt virkning på betongens E-modul.

**Momentkapasitet**

Figur 6-11 Samlet resultat over forholdet mellom påført last og nedbøyning for 1,0 V% fibertilsetning

Som vi kan se av Figur 6-11 kan vi se at stålfibertilsetningen har ført til økt fasthet etter at betongens matriks er brutt. Betongen oppfører seg nå svært duktilt. To av resultatene skiller seg fra resten ved annet forløp for sammenligningen mellom påført last og nedbøyning. Ved å studere bruddflatene fra disse kan vi se en økt fiberkonsentrasjon i belastet tverrsnitt.

Tabell 6-48 Bruddlast og momentkapasitet av bjelketverrsnitt for 1,0 V% fibertilsetning

Nummer	Type brudd	Bruddlast [kN]	Momentkapasitet [kNm]
1	Moment	16,4	2,05
2	Moment	15,7	1,96
3	Moment	27,2	3,4
4	Moment	26,6	3,33
5	Moment	15,7	1,96
6	Moment	16,7	2,09
<b>Gjennomsnitt</b>		<b>19,72</b>	<b>2,47</b>
<b>Standardavvik</b>		<b>5,09</b>	<b>0,64</b>

Momentkapasiteten til den stålfiberarmerte betongen er noe høyere enn ved 0,67 V% fibertilsetning av AR-glass MiniBars. Den er dermed en del lavere enn 1,2 V% noe som vil tilsi at basert på disse resultatene vil AR-glass MiniBars være vel så sterk som stålfiber.

**Bestemmelse av rest strekkfasthet**CMOD<sub>3</sub> - 1,1 Volum-% Fibertilsetning

Tabell 6-49 Last ved ulike rissvidder (CMOD) for bjelker med 1,0 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter

CMOD [mm]	Nedbøyning [mm]	Belastning [N] for bjelke nummer						Gj.snitt	Std.av.
		1	2	3	4	5	6		
0,05	0,0825	68	95	19	314	83	565	191	192
0,5	0,465	268	132	649	4583	1009	4992	1939	2037
1,5	1,315	859	2195	8938	15470	11365	15797	9104	5862
2,5	2,165	8737	11502	18334	21712	12233	15286	14634	4370
3,5	3,015	15272	15494	23343	26408	12630	14863	18002	5027

Tabell 6-50 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,0 V% fibertilsetning før justering for ujevnheter

Nummer	F <sub>R3</sub> [kN]	M <sub>R3</sub> [kNm]	f <sub>R,3</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>Rk,3</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>ftk,res,2,5</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>ftd,res,2,5</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
1	8,74	1,09	2,80	0,42	0,16	0,10
2	11,50	1,44	3,68	1,30	0,48	0,32
3	18,33	2,29	5,87	3,49	1,29	0,86
4	21,71	2,71	6,95	4,57	1,69	1,13
5	12,23	1,53	3,91	1,54	0,57	0,38
6	15,29	1,91	4,89	2,51	0,93	0,620
Gj.snitt	14634	1,83	4,68	2,31	0,85	0,57
Std.av.	4370	0,54	1,40	1,40	0,52	0,34

Dimensjonerende rest strekkfasthet,  $f_{ftd,res,2,5}$ , er dermed 0,87 N/mm<sup>2</sup> for 1,0 volum-% fibertilsetning.

Tabell 6-51 Last ved CMOD = 2,5 mm for bjelker med 1,0 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter

CMOD [mm]	Nedbøyning [mm]	Belastning [N] for bjelke nummer						Gj.snitt	Std.av.
		1	2	3	4	5	6		
2,5	2,165	15548	15648	21293	21712	12454	15286	16990	3371

Tabell 6-52 Bestemmelse av rest strekkfasthet for betong med 1,0 V% fibertilsetning etter justering for ujevnheter

Nummer	$F_{R3}$ [kN]	$M_{R3}$ [kNm]	$f_{R,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{Rk,3}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftk,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{ftd,res,2,5}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
1	15,548	1,944	4,98	3,14	1,16	1,77
2	15,648	1,956	5,01	3,17	1,17	0,78
3	21,293	2,66	6,81	4,97	1,84	1,23
4	21,712	2,71	6,94	5,10	1,89	1,26
5	12,454	1,557	3,98	2,14	0,79	0,53
6	15,286	1,91	4,89	3,05	1,13	0,75
<b>Gj.snitt</b>	16,990	2,12	5,43	3,59	<b>1,33</b>	<b>0,87</b>
<b>Std.av.</b>	3,371	0,42	1,08	1,08	0,4	0,27

Dimensjonerende rest strekkfasthet,  $f_{ftd,res,2,5}$ , er dermed 0,87 N/mm<sup>2</sup> for 1,0 volum-% fibertilsetning etter at justering for ujevnheter er gjennomført.

### 6.2.3 Oppsummering av resultater SV40 - stålfiber

Totalt er det støpt ut 6 bjelker, 6 terninger og 1 sylinder i denne utstøpningen. Det er benyttet 53mm stålfiber med dosering på 1,0 V%.

For å oppsummere resultatene kan det innledningsvis opplyses om at tilsetting av denne typen fiber reduserte støpbarheten i mindre grad. Det var ingen synlige fiberballer, men det ser ut til at fiberen har tilført betongen omtrent 2% mer luft enn referanseblanding. Ved prøveuttak ble det registrert jevn fordeling av fiber gjennom lasset.

Ved å sammenligne disse resultatene med 55mm AR-glass MiniBars viser det en økning i trykkfasthet og en rest bøyestrekfasthet omtrent midt imellom 0,67 og 1,2 V% fibertilsetning.

## 6.3 UHPFRC

### 6.3.1 R35

Hensikten med denne resepten var å teste en nyutviklet resept med antatt høy trykkfasthet og undersøke hvilken innvirkning fiber har i ultrahøyfast betong. Dette som et steg for videre optimalisering av resepter.

#### Herderegime

UHPFRC oppnår høyest fasthet ved spesielle herderegimer. Prøvene sto til herding i romtemperatur i 39 timer før de ble avformet og plassert neddykket i herdeskap i 48 timer ved 90 grader.

#### Fersk betongegenskaper

For UHPFRC vil luftinnhold og utbredingsmål måles av den ferske betongen.

#### Luftinnhold

Tabell 6-53 Resultater fra måling av luftinnhold

Fiberdosering [V%]	Luftinnhold [%]
1,8	4,9

#### Utbredingsmål

Tabell 6-54 Utbredingsmål for 1,8 V% fibertilsetning

Tid	Utbredelse
Opprinnelig	10,98
Etter 15 dropp	13,62

Resultatene av ferskegenskaper viser et normalt luftinnhold, men lav utbredelse. Blandingen var vanskelig å jobbe med på grunn av det lave v/b-tallet og mengden finstoff og fiber.

## Herdnet betongegenskaper

Av den herdnede betongen er det gjennomført tester for densitet, trykkfasthet og bøyestrekfasthet.

### Densitet

Tabell 6-55 Densitet av herdet betong med 1,8 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m3]
1	1317,1	2309,3	2327
2	1324,1	2316,5	2334
3	1325,8	2319,7	2334
4	1319,7	2314,4	2327
5	1299,3	2282,1	2322
6	1314,6	2305,3	2327
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2328</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>4,3</b>

Ved å sammenligne den proporsjonerte og målte densiteten ser vi at luftinnholdet er 4,65 %. Dette er det samme som ble registrert i fersk betong. Dette sier noe om hvor tett betongen er og at det er lite luft som slipper ut ved komprimering.

### Trykkfasthet

Tabell 6-56 Resultater av trykkfasthet ved 1,8 V% fibertilsetning

NR	Trykkfasthet 100x100x100mm [MPa]	Trykkfasthet 40x40x160mm [MPa]
1	185,3	222,3
2	178,8	232,1
3	184,2	240,6
4	185,1	236,9
5	185,2	224,1
6	184,6	231,1
<b>Gjennomsnitt</b>	183,8	231,2
<b>Standardavvik</b>	2,3	6,5

Hensikten med denne resepten var å bruke den som utgangspunkt for videre optimalisering og derfor sikte mot en høy trykkfasthet. Av trykkfastheten for prismer kan vi se at den høyeste registrerte målingen er 240,6 MPa, noe som er svært høyt for UHPFRC produsert av kun lokalt knust tilslag.

**Bøyestrekfasthet***Tabell 6-57 Resultater av bøyestrekfasthet ved 1,8 V% fibertilsetning*

<b>NR</b>	<b>Bøyestrekfasthet [MPa]</b>
<b>1</b>	18,8
<b>2</b>	21,8
<b>3</b>	17,5
<b>4</b>	23,4
<b>5</b>	18,0
<b>6</b>	17,9
<b>Gjennomsnitt</b>	19,6
<b>Standardavvik</b>	2,23

Bøyestrekfastheten anses som normal for dette materialet. Det merkes at dette er belastning til første sprekkdannelse.



### 6.3.2 R35.2 2,2 V% stålfiber

Hensikten med denne resepten var å undersøke viderutvikle resept R35 ved å forbedre ferskegenskapene. Samtidig var det ønskelig å sammenligne stålfiber med den basaltbaserte MiniBaren.

#### Fersk betongegenskaper

##### Luftinnhold

Tabell 6-58 Resultater fra måling av luftinnhold

Fiberdosering [V%]	Luftinnhold [%]
2,2	4,2

##### Utbredingsmål

Tabell 6-59 Utbredingsmål for 1,8 V% fibertilsetning

Tid	Utbredelse
Opprinnelig	14
Etter 15 dropp	16,5

Resultatene av ferskegenskaper viser et normalt luftinnhold og en bedring i utbredelsen. Blandingen var betydelig bedre å jobbe med enn resept R35.

**Herdnet betongegenskaper****Densitet**

Tabell 6-60 Densitet av herdet betong med 2,2 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m3]
1	1305,1	2285,0	2332
2	1321	2314,6	2329
3	1312,8	2302,9	2326
4	1328,6	2314,9	2347
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2334</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>8,05</b>

Ved å sammenligne den proporsjonerte og målte densiteten ser vi at luftinnholdet er 2,93 %. Dette er noe lavere enn hva som ble registrert i den ferske betongen og anses som et tegn på forbedret konsistens. Dette tilsier at en større andel luft har gått ut av betongen ved komprimering.

**Trykkfasthet**

Tabell 6-61 Resultater av trykkfasthet ved 2,2 V% fibertilsetning

NR	Trykkfasthet 100x100x100mm [MPa]	Trykkfasthet 40x40x160mm [MPa]
1	186,7	202,35
2	180,1	199,8
3	178,8	213,7
4	192,2	-
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>184,45</b>	<b>205,28</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>6,22</b>	<b>7,99</b>

**Bøyestrekfasthet***Tabell 6-62 Resultater av bøyestrekfasthet ved 2,2 V% fibertilsetning*

NR	Bøyestrekfasthet [MPa]
1	19,4
2	18
3	20,4
<b>Gjennomsnitt</b>	19,27
<b>Standardavvik</b>	1,21

Ved å sammenligne resultatene fra denne resepten og referansen kan vi se at trykkfastheten er noe redusert. Dette kommer av det økte v/b-tallet. Trykkfastheten for terninger er derimot tilnærmet lik og tyder på bedre komprimering og færre feil på terningene. Tallene for bøyestrekfasthet er også tilnærmet lik. Dette vil være en kombinasjon av den økte fibermengden og bedre utstøpning av prøvelegemene. Det anses derfor som en vellykket optimalisering av resepten.

### 6.3.3 R35.2 2,0 V% MiniBars

#### Fersk betongegenskaper

##### Luftinnhold

Tabell 6-63 Resultater fra måling av luftinnhold

Fiberdosering [V%]	Luftinnhold [%]
2,0	4,1

##### Utbredingsmål

Tabell 6-64 Utbredingsmål for 2,0 V% fibertilsetning

Tid	Utbredelse
Opprinnelig	12,5
Etter 15 dropp	15,5

Resultatene av ferskegenskaper viser et normalt luftinnhold og en bedring i utbredelsen. Blandingen var betydelig bedre å jobbe med enn resept R35.

## Herdnet betongegenskaper

### Densitet

Tabell 6-65 Densitet av herdet betong med 2,0 V% fibertilsetning

Nummer	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Densitet [Kg/m3]
1	1221,2	2214,5	2229
2	1220,9	2207,4	2238
3	1224,9	2221,6	2229
4	1208,3	2191,4	2229
5	1222,3	2218,1	2227
<b>Gjennomsnitt</b>			<b>2231</b>
<b>Standardavvik</b>			<b>3,62</b>

Ved å sammenligne den proporsjonerte og målte densiteten ser vi at luftinnholdet er 3,67 %. Dette er noe lavere enn hva som ble registrert i den ferske betongen og anses som et tegn på forbedret konsistens. Betongen er imidlertid lettere enn tilsvarende med stålfiber.

### Trykkfasthet

Tabell 6-66 Resultater av trykkfasthet ved 2,0 V% fibertilsetning

NR	Trykkfasthet 100x100x100mm [MPa]
1	161
2	163,8
3	147,6
4	153,1
5	155,9
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>156,28</b>
<b>Standardavvik</b>	<b>6,41</b>

Av disse resultatene fremkommer det at trykkfastheten er redusert med ca. 18 % i forhold til stålfiber. Dette skyldes feil slankhetsforhold for fiberen, som burde hatt en mye mindre diameter. Dog kan dette fortsatt kalles UHPFRC

**Bøyestrekfasthet***Tabell 6-67 Resultater av bøyestrekfasthet ved 2,0 V% fibertilsetning*

<b>NR</b>	<b>Bøyestrekfasthet [MPa]</b>
<b>1</b>	17,9
<b>2</b>	18,3
<b>3</b>	21,2
<b>4</b>	16,9
<b>5</b>	15,8
<b>Gjennomsnitt</b>	18,02
<b>Standardavvik</b>	2,02

Bøyestrekfastheten er imidlertid svært lite redusert.

#### 6.3.4 Oppsummering av resultater UHPFRC

Reseptutviklingen av UHPFRC resulterte i totalt 3 utprøvde resepter. Resept R35 var utviklet for å være så sterk som mulig ved bruk av lokalt, knust tilslag. Resept R35.2 og R35.2 MB er en viderutvikling med hensyn på ferskegenskaper og høy trykk- og bøyestrekfasthet.

Resultatene viser at partikkelpakkingen er svært god i disse reseptene, med trykkfasthet over 240 MPa og bøyestrekfasthet over 23 MPa. Ved å tilføre mer fiber samtidig som v/b-forholdet økes opprettholdes de høye fasthetene, samtidig som støpbarheten blir bedre.

Ved å sammenligne stålfiber og MiniBars i UHPFRC ser vi at bøyestrekfastheten er omtrent den samme, men at trykkfastheten blir betydelig redusert ved bruk av MiniBars av basalt. Ved optimalisering av fiberen for dette forholdet, kunne slankhetstallet vært redusert og fastheten normalisert seg.

«Ekstremtilfellet» av reseptoptimalisering med hensyn til fibertilsetning resulterer i ingen fiberballing, god fordeling i hele prøvestykket og en betong som har god konsistens.

Det ble foretatt noen tester av terninger uten fiber. Det er her viktigheten av fiber kommer inn i bildet.

Ved å belaste den uarmerte betongen under høyt trykk blir betongen eksplosiv når den går til brudd.

Dette kan være direkte farlig og det bør derfor anses som et krav at ultrahøyfast betong, på grunn av sin tette struktur, har fiberarmering. Tilsvarende oppførsel antagelig oppleves ved utsettelse for høy temperatur og kan føre til eksplosiv avskaling, som følge av vann under trykk.

## 7 KONKLUSJON

Gjennom dette arbeidet er det gjort gode erfaringer med produksjon, utførelse og dimensjonering av fiberarmerte konstruksjoner. Det er støpt ut over 2,0 m<sup>3</sup> betong og det er gjennomført over 200 tester av prøvelegemer med ulike fibertyper og doseringer for å besvare problemstillingen. Fiberen som det har vært fokusert på er 55 mm alkaliresistent glassfiber MiniBar fra fiberprodusenten ReforceTech.

Denne fibertypen hadde stor innvirkning på egenskapene til den ferske betongen. Ved tilsetning av 1,0 volumprosent fiber ble det registrert et stort antall fiberballer. Dette er et tegn på at optimal fibermengde i forhold til største tilslagsstørrelse og mengde finstoff er nådd. Fiberballingen medførte en reduksjon i fibermengde på så mye som 40 %. Samtidig medførte dette et økt luftinnhold i betongen med nesten 50 % i forhold til referansen. Ved proporsjonering av fiberarmert betong med MiniBars er det derfor viktig å ta høyde for denne fiberens store overflateareal. Dette kompenseres ved å øke mengden finstoff og redusere størrelsen på det største tilslaget. Videre er riktig prosedyre for innblanding av fiber svært viktig og det anbefales at innblåsningsutstyr benyttes.

Innvirkningene på den ferske betongen setter også spor for de mekaniske egenskapene. Måling av densitet viser en stor økning i luftinnhold også i den herdne betongen. Forskning viser at en økning i luftinnhold på 1 % kan redusere trykkfastheten med så mye som 5 %. Ved gjennomføring av trykktesting ble dette bekreftet og trykkfastheten ble redusert med opptil 30 % ved tilsetning av fiber. Utover dette viser resultatene at denne fibertypen, med faktiske doseringer på 0,67 og 1,2 volumprosent, gir betongen økt duktilitet, økt strekkfasthet og økende kapasitet etter riss for både skjær- og momentbelastning. Rest bøyestrekfasthet ble dokumentert og målt opp mot stålfiber til å være minst like godt egnet som konstruktivt armeringsmateriale.

Ved sammenligning av dimensjonerende, teoretiske og faktiske bruddlaster er det god korrelasjon mellom beregningene og de faktiske resultatene. Dimensjonerende kapasiteter gir gode sikkerhetsmarginer og det konkluderes med at dimensjoneringsreglene for moment- og skjærkapasitet iht. det kommende regelverket trygt kan anvendes for denne fibertypen, gitt riktig utførelse.

På bakgrunn av dette kan det konkluderes med at denne fibertypen er velegnet som konstruktivt armeringsmateriale for anvendelse i tunnelveggelementer.

Ved å sammenligne stålfiber og MiniBars i UHPFRC ser vi at bøyestrekfastheten er omtrent den samme, men at trykkfastheten blir betydelig redusert ved bruk av MiniBars av basalt. «Ekstremtilfellet» av reseptoptimalisering med hensyn til fibertilsetning resulterer i ingen fiberballing, god fordeling i hele prøvestykket og en betong som har god konsistens.



## 8 ANBEFALINGER

I denne oppgaven er den praktiske bruken av fiber fra ReforceTech testet ut og verifisert opp mot kommende dimensjoneringsregler. Grunnleggende parametere for beregning av moment- og skjærkapasitet er dokumentert og det første steget i utviklingen av et slikt fiberarmert tunnelveggelement for norske forhold er fullført.

Forslag til videre arbeid vil være å gjennomføre en tilsvarende utstøpning med riktig utstyr for innblanding for å redusere standardavviket. Det bør vurderes om resepten bør modifieres ytterligere ved å redusere steinstørrelsen og/eller øke mengden finstoff. Deretter bør egenskaper knyttet til motstand mot nedbrytingsmekanismer som kloridangrep, karbonatisering og frost undersøkes og dokumenteres. Det bør også undersøkes hvordan denne fiberarmerte betongen oppfører seg under brann og langtidsbelastning ved bjelketesting av fiberarmert og armert fiberbetong.

Det ble erfart at ultrahøyfast betong uten fiber fikk eksplosiv oppførsel ved belastning til brudd. Det vil derfor være interessant å undersøke hvordan UHPC oppfører seg under høye temperaturer eller ved simulering av brann.

Alternative metoder for telling av denne fibertypen bør etableres ettersom dette er svært tidkrevende arbeid.

## 9 REFERANSER

- [1] Norwegian Tunneling Technology Publication No. 23  
<http://nff.no/wp-content/uploads/2014/05/17220-Publication-23-OMSLAG+MATERIE.pdf>
- [2] Slik blir en tunnel bygget  
<http://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ringvegvest/Fakta/Tunnelbygging>
- [3] Statens Vegvesens Rapporter Nr. 324 - Bruk av TBM til driving av vegtunneler i Norge  
[http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/\\_attachment/692222?ts=148b0efb6c8&download=true&fast\\_title=Bruk+av+TBM+til+driving+av](http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_attachment/692222?ts=148b0efb6c8&download=true&fast_title=Bruk+av+TBM+til+driving+av)
- [4] Mining method factors (Bilde)  
[https://www.google.no/search?q=tunnel+bore+machine+elements&espv=2&biw=2133&bih=1190&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjhgfc37YHNAhUE3iwKHasBD8cQ\\_AUIBigB&dpr=0.9#tbm=isch&q=tunnel+boring+machine&imgsrc=RahSNYRSFmuEpM%3A](https://www.google.no/search?q=tunnel+bore+machine+elements&espv=2&biw=2133&bih=1190&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjhgfc37YHNAhUE3iwKHasBD8cQ_AUIBigB&dpr=0.9#tbm=isch&q=tunnel+boring+machine&imgsrc=RahSNYRSFmuEpM%3A)
- [5] NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar
- [6] Statens Vegvesen Håndbok N500 - Vegtunneler  
[http://www.vegvesen.no/\\_attachment/61913](http://www.vegvesen.no/_attachment/61913)
- [7] Statens Vegvesen Håndbok R761 – Prosesskode 1, Standard beskrivelse for vegkontrakter  
[http://www.vegvesen.no/\\_attachment/61418](http://www.vegvesen.no/_attachment/61418)
- [8] Statens Vegvesen Håndbok R510 – Vann og frostsikring i tunnel  
[http://www.vegvesen.no/\\_attachment/61460](http://www.vegvesen.no/_attachment/61460)
- [9] Fibre letter tunnelvægge (Bilde)  
[https://www.google.no/search?q=tunnelementer&espv=2&biw=2133&bih=1190&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiejNSe7YHNAhWE3iwKHWCAZ0Q\\_AUIBigB&dpr=0.9#imgsrc=5FIdM2HjZve\\_fm%3A](https://www.google.no/search?q=tunnelementer&espv=2&biw=2133&bih=1190&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiejNSe7YHNAhWE3iwKHWCAZ0Q_AUIBigB&dpr=0.9#imgsrc=5FIdM2HjZve_fm%3A)
- [10] Fiber-reinforce concrete in precast concrete applications: Reasearch leads to innovative products.  
Banthia, Bindiganavile, Jones, Novak  
[http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI\\_Journal/2012/DOI\\_Articles/JL-Summer-2012-7.pdf](http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/2012/DOI_Articles/JL-Summer-2012-7.pdf)
- [11] Punching shear (Bilde)  
[http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijkkes/arch-struct-2014/final-exam-2014/Question-tic-tac-toe\\_files/Punching\\_Shear\\_Comic.jpg](http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijkkes/arch-struct-2014/final-exam-2014/Question-tic-tac-toe_files/Punching_Shear_Comic.jpg)
- [12] Reinforced Concrete – Mechanics & Design, Fifth Edition. James K Wigth, James G. MacGregor.  
Pearson 2009, ISBN: 978-0-13-228141-6

- 
- [13] Concrete Innovation Centre (COIN) – Forslag til retningslinjer for dimensjonering, utførelse og kontroll av fiberarmerte betongkonstruksjoner (ISBN: 978-82-536-1223-229)  
<https://www.sintefbok.no/Product.aspx?sectionId=0&productId=1010&categoryId=27>
- [14] Mapei – Hvilke typer fiber finnes, hvilke egenskaper har de og hvilke krav stilles til fiberprodusenter  
[http://www.mapei.com/public/NO/linedocument/2\\_fibertyper\\_og\\_krav\\_nb7-juvik.pdf](http://www.mapei.com/public/NO/linedocument/2_fibertyper_og_krav_nb7-juvik.pdf)
- [15] Modern Concrete Technology Series – Fibre Reinforced Cementitious Composites. Bentur, Mindess.  
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56a4e09a5f7f715a398b456b&assetKey=AS%3A321428686082048%401453645978168>
- [16] Norsk Betongforening Publikasjon Nr. 38 – Fiberarmerte konstruksjoner. Utkast til kapittel 2, 3 og 4.
- [17] NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurocode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- [18] NS-EN 206:2013+NA:2014 Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar
- [19] NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurocode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- [20] NS-EN 13670:2009+NA:2010 Utførelse av betongkonstruksjoner
- [21] Study of Modulus of Elasticity of Steel Fiber Reinforced Concrete, Gul, Bashir, Naqash  
<http://www.ijeat.org/attachments/File/v3i4/D2995043414.pdf>
- [22] Fiberarmert betong – Masteroppgave 2015  
[https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/339841/Espedal\\_Joern\\_Eirik\\_Hovedoppgave.pdf](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/339841/Espedal_Joern_Eirik_Hovedoppgave.pdf)
- [23] Effect of entrained air on concrete strength  
<http://theconstructor.org/concrete/effect-of-entrained-air-on-concrete-strength/8427/>
- [24] FHWA Publication No: FHWA-HRT-14-084 - Design and Construction of Field-Cast UHPC Connections  
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/14084/14084.pdf>
- [25] Betong – Regelverk, teknologi og utførelse, Maage (ISBN: 978-82-802-112-6)
- [26] Ultrafine particles in concrete, Vogt  
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:304967/FULLTEXT01.pdf>
- [27] NS-EN 12350-7:2009 Prøving av fersk betong – Del 7: Luftinnhold – Trykkmetoder
- [28] NS-EN 12350-2:2009 Prøving av fersk betong – Del 2: Synkmål
- [29] NS-EN 12350-5:2009 Prøving av fersk betong – Del 5: Utbredingsmål
- [30] NS-EN 12350-6:2009 Prøving av fersk betong – Del 6: Densitet
- [31] NS-EN 14721:2005+A1:2007 Prøvingsmetode for betong med metalliske fibere – Måling av fiberinnhold i fersk og herdnet betong
- [32] NS-EN 12390-2:2009 Prøving av herdnet betong – Del 2: Støping og herdning av prøvelegemer

- [33] NS-EN 12390-7 Prøving av herdnet betong – Del 7: Densitet av herdnet betong
- [34] NS-EN 12390-3 Prøving av herdnet betong – Del 3: Prøvelegemers trykkfasthet
- [35] NS-EN 12390-4:2000 Prøving av herdnet betong – Del 4: Trykkfasthet – Krav til prøvingsmaskiner
- [36] NS-EN 12390-5 Prøving av herdnet betong – Del 5: Prøvelegemers bøyestrekfasthet
- [37] NS-EN 12390-13 Prøving av herdnet betong – Del 13: Bestemmelse av sekantmodul for elastisitet under trykk
- [38] NS-EN 14651:2005+A1:2007 Prøvingsmetode for betong med metalliske fibere – Måling av bøyestrekfasthet (proporsjonalitetsgrense og restfastheter)
- [39] NS-EN 1992-1-1:2004+NA:2008 Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger
- [40] Betongkonstruksjoner – Beregning og dimensjonering etter Eurocode 2, 2. utgave, Sørensen (ISBN: 978-82-321-0297-6)
- [41] Norsk Betongforening Publikasjon Nr. 7 – Sprøytebetong til bergsikring

## 10 VEDLEGGSLISTE

- Vedlegg 1. Konfidensiell avtale mellom ReforceTech, UiA og student
- Vedlegg 2. Produktblad Bekaert 50mm stålfiber
- Vedlegg 3. Produktblad Dramix 13mm stålfiber
- Vedlegg 4. Produktblad BFRP MiniBars
- Vedlegg 5. Resept SV40
- Vedlegg 6. Støpeplan SV40
- Vedlegg 7. Oversikt over prøvelegemer SV40
- Vedlegg 8. PSD sement
- Vedlegg 9. PSD flyveaske
- Vedlegg 10. PSD microsilica
- Vedlegg 11. PSD Velde finfiller
- Vedlegg 12. PSD Velde mellomfiller
- Vedlegg 13. Resept R35
- Vedlegg 14. Resept R35.2
- Vedlegg 15. Resept R35.2 MB
- Vedlegg 16. Resultater fra bjelketesting 0,0 V% bøyestrek
- Vedlegg 17. Resultater fra bjelketesting 0,67 V% bøyestrek
- Vedlegg 18. Resultater fra bjelketesting 1,2 V% bøyestrek
- Vedlegg 19. Resultater fra bjelketesting 1,0 V% stålfiber bøyestrek
- Vedlegg 20. Resultater fra strekkprøvelegemer 0,0 V% direkte strekkfasthet
- Vedlegg 21. Resultater fra strekkprøvelegemer 0,67 V% direkte strekkfasthet
- Vedlegg 22. Resultater fra strekkprøvelegemer 1,2 V% direkte strekkfasthet
- Vedlegg 23. Testrapporter fra UHPFRC-testing
- Vedlegg 24. Beregninger
- Vedlegg 25. Beregninger

**NON DISCLOSURE AGREEMENT (NDA)**

Følgende avtale om konfidensialitet, rettigheter og utnyttelse av informasjon, spesifikasjoner og resultater fremlagt ifb med studentoppgave, er inngått mellom

1) Simen Rindebakken født 22.02.1991, student ved Universitetet i Agder,

2) Rein Terje Thorstensen, veileder ved Universitetet i Agder (UiA) og

3) ReforceTech, org nr: 957 577 067,

heretter kalt «bedriften»,

ifb med studentens gjennomføring av bachelor-/masterprosjektet med tittel/tema

Basaltfiberarmert betong

1. Dette er en studentoppgave, og verken student eller universitet kan holdes ansvarlig for økonomiske eller andre typer skade/tap som følge av anvendelse av arbeidene til andre formål.
2. Student, faglærer, sensor og andre ansatte ved Universitetet er underlagt taushetsplikt. All informasjon som gis av bedriften og som ikke er tilgjengelig for student/veileder på annen lovlig måte, forblir bedriftens eiendom under og etter gjennomføringen av prosjektet. All slik informasjon skal holdes konfidensiell. Umiddelbart etter fullføring og sensurering av arbeidet skal alt informasjonsmaterieell som er utlevert fra bedriften returneres eller destrueres, dersom bedriften ber om dette. Dette gjelder også alle former for kopier av slikt materieell.
3. Bedriften har rett til å få utlevert et eksemplar av besvarelsen komplett med alle vedlegg, og til å gjøre seg kjent med universitetets bedømmelse av den. (Det er kun studenten som har rett til å gi bedriften opplysninger om karakter.)
4. Bedriften har fortrinnsrett til patentering og kommersiell utnyttelse av resultater som fremkommer som følge av den informasjon bedriften gir i prosjektet. Patentrettighetene må være utnyttet ved at patentbeskyttelse er søkt innen 6 måneder løpende fra studentens offisielle innleveringsdato av prosjektarbeidet.
5. Studenten og universitetet har opphavsrett til besvarelsen. De innleverte eksemplarer av besvarelsen med alle former for vedlegg som inngår i evalueringsgrunnlaget tilhører universitetet. Dette materieell kan vederlagsfritt benyttes av Universitetet til undervisnings- og forskningsformål, dog underlagt båndleggesperioden i § 6.
6. Besvarelsen og dens innhold skal båndlegges (hemmeligholdes) i 3 år fra og med tidspunktet for avtaleinngåelsen. Årsaken til båndleggelsen er hensynet til bedriftens kommersielle interesser.
7. Universitet og/eller student kan ønske å publisere kunnskap fra prosjektet i vitenskapelig sammenheng før utløpet av båndleggesperioden. Slik publisering må på forhånd avklares med bedriften, ved at det materieell som ønskes publisert oversendes bedriften til godkjenning. Dette skal hindre at kommersielle muligheter skades. Bedriften må protestere innen 30 dager dersom publiseringen ønskes stoppet. Slik protest må inneholde forklaring på hva det er ved det fremlagte materieell som ansees å kunne skade de kommersielle interesser.
8. Eventuell uenighet som følge av denne avtale skal søkes løst ved forhandlinger. Hvis dette ikke fører frem, er partene enige om å la tvisten avgjøres i henhold til norsk lov med Kristiansand tingrett som rett verneing.
9. Denne avtale er underskrevet i 3 - tre - eksemplarer hvorav partene skal ha hvert sitt.

Røyken  
.....  
(sted)

17/9 2015  
.....  
(dato)

Simen Rudestøl  
.....  
student

PT  
.....  
veileder ved UiA

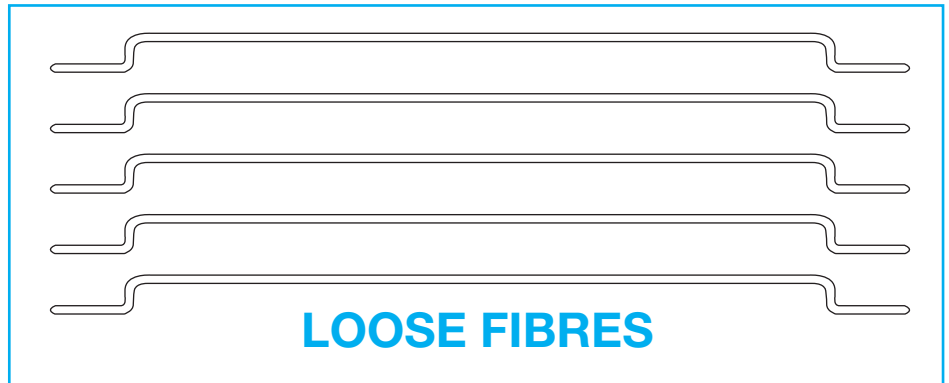
Tor Erik Sandal  
.....  
eksternveileder /  
oppdragsgiver ved bedriften



# Bekaert Steel Fibres: product data sheet **LH 50/1.0**

## DESCRIPTION

Bekaert steel fibres are filaments of wire, deformed and cut to lengths for reinforcement of concrete

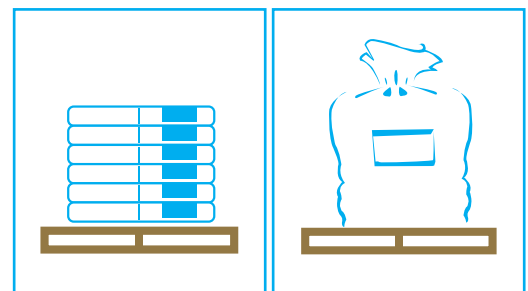


## GEOMETRY

Product	LH 50/1.0	
Loose (L) Glued (G)	L	
Hooked (H) Undulated (U)	H	TOLERANCES ON AVERAGE VALUE
Length L <sub>nom</sub> (mm)	50	
Diameter D <sub>nom</sub> (mm)	1.02	± 5%
Aspect ratio L/D	49	± 7.5%
Nominal wire tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	1100	± 7.5%

Values are indicative only. Modifications reserved. All details describe our products in general form only.

## PACKAGING



PALLET: 1200 kg (60x20kg)

BIGBAG: 900 kg

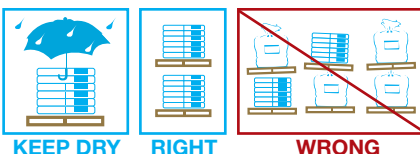
## APPROVALS

**Minimum dosage:**  
25 kg per m<sup>3</sup>  
(according to EN 14889-1)



CE LABEL: Bekaert Steel Fibres are certified for CE mark system 1: steel fibres for structural use. For detailed info: CE info sheet available on request.

## STORAGE



KEEP DRY

RIGHT

WRONG

## DOSING AND MIXING

- A continuous grading is preferred
- A preliminary test is advised
- Mix until all fibres are distributed uniformly

## TRANSPORT OF ALL PRODUCTS

### Truck transport: max. load

- 20 pallets / truck
- 22 big-bags / truck

### Sea transport: containers

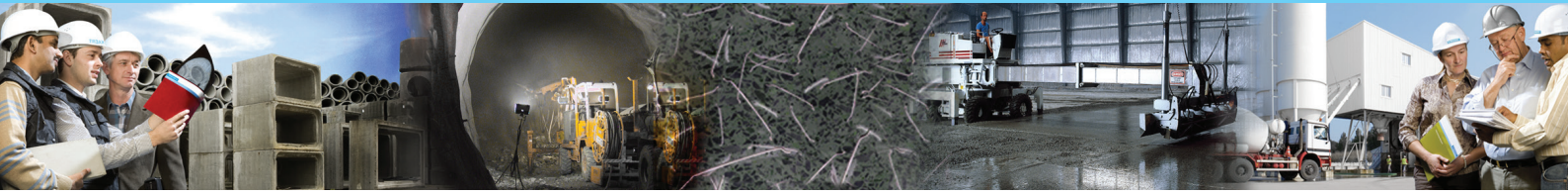
- 20 big-bags / 40 ft container
- 20 pallets / 40 ft container

### CUSTOMER SERVICE

NV Bekaert SA [www.bekaert.com/building](http://www.bekaert.com/building)  
[infobuilding@bekaert.com](mailto:infobuilding@bekaert.com)  
 Bekaertstraat 2  
 BE-8550 Zwevegem Belgium  
 T+32 56 76 61 10  
 F+32 56 76 79 47

All Bekaert company names are trademarks owned by NV Bekaert SA Zwevegem - Belgium. Modifications reserved. All details describe our products in general form only. For ordering and design only use official specifications and documents.





# DATA SHEET

# OL 13/.20



OL 13/.20

## What is Dramix®?

Dramix® steel fibres, from industry specialist Bekaert, have set a new standard for concrete reinforcement with their unique combination of flexibility and cost-efficiency.

The OL range is a cold drawn Ultra High tensile wire. The fibre is formed by cutting straight pieces of this wire.

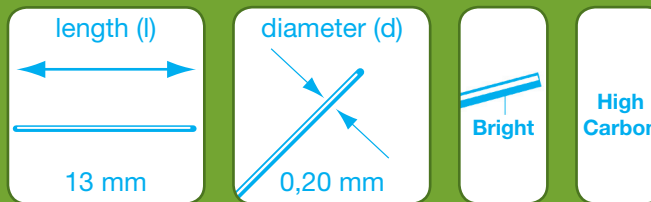
OL fibres are typically used in high dosage for high strength concrete.

## OL 13/.20 offers you:

### ✓ Dramix® Hi Perform

Dramix® Hi Perform fibres provide high performance and crack resistance. These are products of choice to create optimal ductility in high strength but brittle concretes from 100 N/mm<sup>2</sup> onwards.

## GEOMETRY AND PERFORMANCE



3.140.000 Fibres/kg

## MATERIAL PROPERTIES

**Tensile strength:** Rm min: 2.600 N/mm<sup>2</sup>

## PACKAGING



50 bags (15 kg)  
750 kg

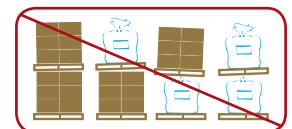


BIG BAG  
400 kg

## STORAGE



KEEP DRY



NO STACKING



**Handle with care:** Verify our handling, mixing and dosing recommendations.

## APPROVALS



ISO 9001



CE

• **CE LABEL:** Dramix® is certified for CE mark system 1: steel fibres for structural use. For detailed info: CE info sheet available on request.

• **ISO 9001 LABEL:** Dramix® OL type is ISO 9001 certified. Production plant:  
• Slovak Republic

Bekaert will advise on the most suitable fibre for your application.

Ask for our recommendations on handling, dosing and mixing at:

[www.bekaert.com/dosingdramix](http://www.bekaert.com/dosingdramix)

[infobuilding@bekaert.com](mailto:infobuilding@bekaert.com)

## PRODUCT DESCRIPTION

ReforceTech Basalt Fiber Reinforced Polymer BFRP MiniBars<sup>™</sup> are an engineered macro fiber reinforcement designed to improve concrete structural strength through uniform distribution throughout the concrete matrix.

Concrete reinforced with RFT MiniBars<sup>™</sup> has demonstrated very good flexural toughness and energy absorption capability after cracking when tested using ASTM C78 and C1399 and EN16451.

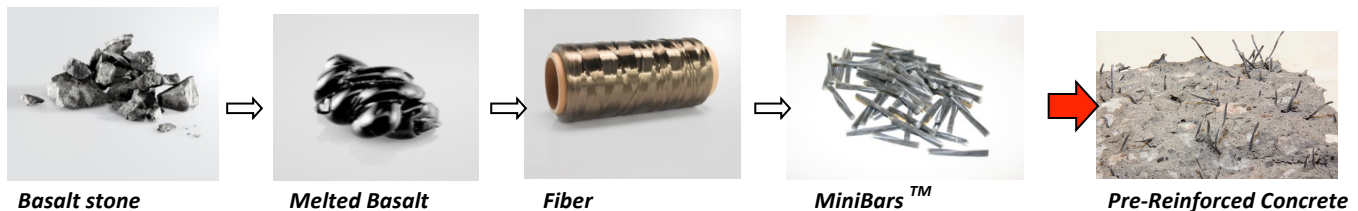
Testing demonstrates that MiniBars<sup>™</sup> satisfy the relevant residual strength requirements based on ASTM C1609 tests (as specified in ACI 318-08 for steel fiber reinforced concrete) using MiniBars<sup>™</sup> as shear reinforcement in reinforced concrete slabs and beams.

ReforceTech BFRP MiniBars<sup>™</sup> are engineered to deliver high flexural toughness and energy absorption in concrete in conjunction with a proven alkali resistance and bond strength.

Det Norske Veritas (DNV) testing has demonstrated that the unique ReforceTech process delivers a strong bond between the concrete and the BFRP bars. Further testing with the University of Akron demonstrated results of Flexural Tensile Strength (ASTM C78-07) enabling the increase from 4.5 MPa (653 psi) for normal concrete up to 17 MPa (2465 psi) depending on volume fraction of MiniBars<sup>™</sup>. Testing Average Residual Strength (ASTM C1399) has developed ARS from zero in normal concrete up to over 15 MPa (2175 psi) depending on the volume fraction of MiniBars<sup>™</sup> and the mix design.

From volcanic basalt stone thin basalt fibers are combined in ReforceTech's patented process to create unique and strong MiniBars<sup>™</sup>. The MiniBars<sup>™</sup> are engineered to create the optimal mechanical bond and cut to the prescribed length 30 to 60 mm (1.18" to 2.36") to achieve the desired concrete products performance.

## FROM BASALT TO STRUCTURAL PRE-REINFORCED CONCRETE



## UNIQUE ENABLING FEATURES TO REDUCE PROJECT COSTS

- Corrosion Free allows thinner structures
- Zero Conductivity, eliminates galvanic corrosion
- Greatly Improved Flexural and Average Residual Strength of Concrete allowing design freedom, elimination or reduction of normal reinforcement
- Compatible Specific Gravity – 1.9 g/cm<sup>3</sup> means uniform distribution, MiniBars<sup>™</sup> do not settle or float and are easily mixed. Due to the large surface area, some large aggregate may need to be reduced or fine aggregates increased.
- No bars protrude from Concrete; no MiniBars<sup>™</sup> are visible on the surface.
- Excellent distribution in mixing, suitable for on site mixing, pre-caster and use in dry concrete
- Longer lifetime, lower life cycle costs
- Improved freeze thaw resistance
- Increased chemical resistance with reduction of shrinkage cracks
- Diameter – 0.5 to 10mm (0.02" to 0.39")
- Length – 20 to 200mm (0.79" to 7.87")
- Savings of labor costs and faster construction
- Improved abrasion resistance
- Improves safety on site by eliminating handling of traditional steel reinforcement
- Uniform distribution
- Eliminates concerns related to proper position of reinforcement and thickness of concrete for flow of concrete

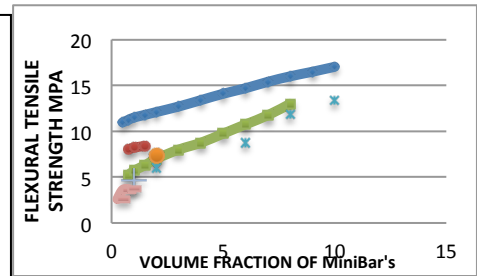
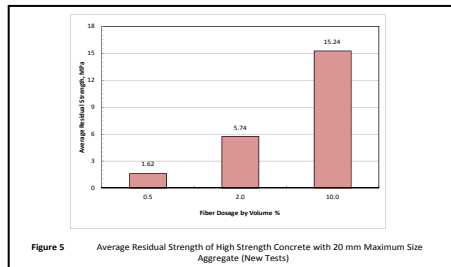
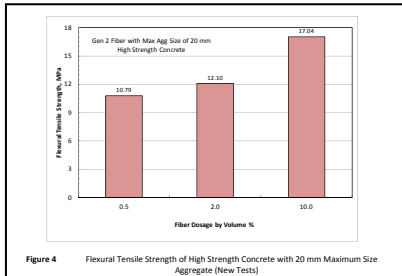


**IMPROVED CONCRETE PROPERTIES**

**Flexural Strength**  
ASTM C78-07

**Average Residual Strength**  
ASTM C1399

**FTS vs VF%**  
ASTM C78



Cost Summary	Min Reinforcement		
	Steel Nets	MiniBars	
Reinforcement	100	10% higher	
Form Work	100	100	Same
Bar or Net Fixing	100	100% saved	Eliminated
Stool or Chair Fixing	100	100% saved	Eliminated plus no visible marks
Concrete	100	20% saved	Thinner walls
Comparative Costs	100	67	
<b>Total</b>		<b>33% Savings</b>	

**APPLICATIONS**

- Greatly increases the toughness and strength of concrete
- Enables thinner sections, lower weight products, easier installation and transportation
- Suitable for aggressive chloride environments
- Acts as minimum reinforcement to lower cost
- Transforms concrete from a brittle material requiring steel reinforcement to a ductile concrete with tensile strength capacity
- Enables innovative applications to take advantage of the Basalt MiniBars to reduce cost

MiniBars Properties	Gen1	Gen2
Diameter	2.1	1.1
Core Thread	4800BF	1200BF
Helix Thread	Poly	200BF
BF %	70	76 to 80
Specific Gravity	1.9	1.9
Water Absorption	None	None
E modulus	45GPa	60GPa
Tensile Strength	1000	1100
Melting Point BF deg C	1000	1000
HDT VE Deg C	115	115
Alkaline Resistance	Excellent	Excellent
VF Range	1.5 to 8 %	0.5 to 10%

- Thinner Precast Facades Elements
- Submersed Concrete
- Low Cost Structural Slab on Grade
- Lower Cost Inner walls
- Highway Slabs & Bridge Decks
- Floating Infrastructure
- Agricultural Products
- Drainage systems
- Grout Systems

**DOSAGE AND MIX DESIGN**

- Specific applications can be developed as a custom engineered solution
- Up to 10 % by volume mixes well in concrete. Engineering reports available.

The information shown here inclusive of all drawings and tables is for informational purposes only. Details are subject to change, every effort has been made to ensure accuracy. The user shall ensure the appropriate guidelines and building codes are followed. ReforceTech has no control over the use of their products and assumes no responsibility for the end products or uses of our materials.

## Ribe Betong - Lillesand

Storemyr  
4790 Lillesand  
Tel.: 372 71 200  
Fax: 372 63 061  
W.: www.ribebetong.no - @.: ordre@ribe-betong.no

Dokumentasjon av betongsammensetning

BRANEL

## Kundeopplysninger

Kunde nr.	: 23245	Plass nr.	: 1
Kunde navn	: Universitetet i Grimstad	Plassnavn	: UIA Grimstad
Adresse	: v/BygglaboratorietJon Lilletunsvei 9	Adresse	: UIA Grimstad
Post nr.	: 4879	Post nr.	:
By	: GRIMSTAD	By	:
Telefon	:	UnderpladsNr	:
Prosjekt nr.	:	Underplass nav:	:
Attensjon	: Paul Wennevig	Underskrift	: Nei
Internt prosjekt nr.	:	Kontakt info.	: Nei

## Bilag

Type	Nr	Navn	Dato	Konsistens
Resept	21850	B45 SV40 D16 MILJØ 3%Silica	04-02-2016	220

## Reseptopplysninger

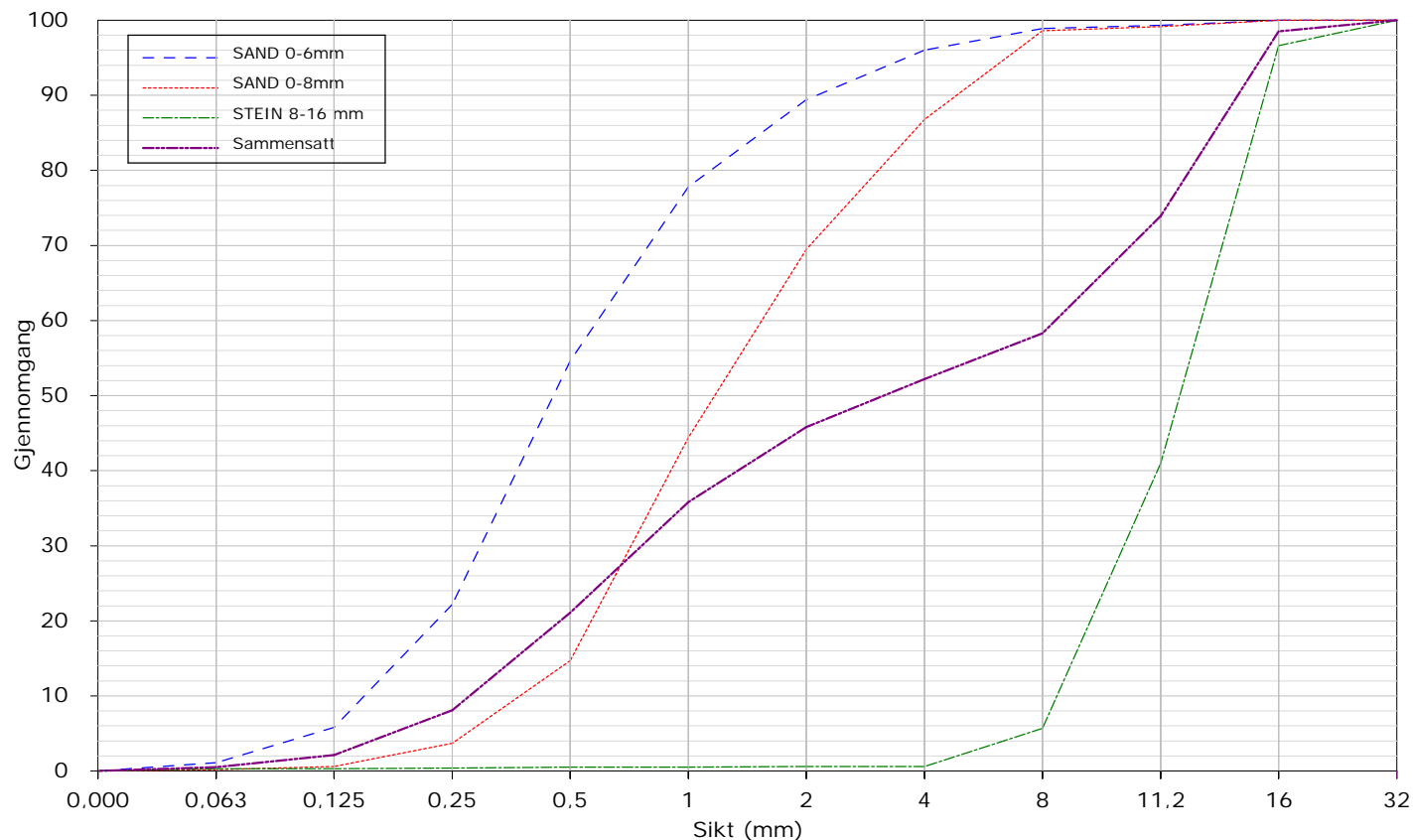
Resept	: 21850 ~ B45 SV40 D16 MILJØ 3%Silica	
Konsistens (mm)	: 220	V/(c+ks)-forhold : 0,39
Luftinnhold (%)	: 5,0	Ekv. sementmengde (kg) : 453
Sementpastavolum (l)	: 321	Fritt vanninnhold (Effektivt) : 175
V/p-forhold	: 0,37	Matriksvolum eks. luft (l) : 334
Alkalier (kg/m <sup>3</sup> )	: 3,5	Kloridinnhold (% av sement) : 0,08
Andel reakt. bergarter (%)	: 0,0	Silika faktor : 2,00
Bestandighetsklasse	: SV40	Referansestandard : NS206
Fasthetsklasse	: B45	Sertifiseringsorgan : Kontrollrådet
Kloridklasse	: Cl 0,10	Sertifikat nr. :
Kornstørrelse D, (mm)	: 16 MM	Spesifikasjon av betong : Designet
Konsistens måletype	: Synkmål	
Exponeringsklasse	: X0, XC1, XC2, XC3, XC4, XF1, XD1, XS1, XA1, XA2, XA4, XF2, XF3, XF4, XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XSA	

## Betongsammensetning ved valgt synkmål

Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
SAND 0-6mm	527,01
SAND 0-8mm	413,39
STEIN 8-16 mm	752,40
CEMEX MILJØSEMENT	426,96
SILICA	13,20
Vann (*)	170,74
MAPEAIR 25 1:19	1,43
DYNAMON SR-N	1,76
DYNAMON SX-N	1,76
Proporsjoneret betongdensitet	2308,64

(\*) Ekskl. evt. vann i tilsetningsstoff og slurry.  
Inkl. evt. tørstoff i resirkulert vann

## Siktekurve



Støpeplan				
#	1	2	3	4
Fiber	Ingen	Dosering 1	Dosering 2	Dosering 3
	Bjelke 1	Bjelke 6	Bjelke 11	Bjelke 16
	Bjelke 2	Bjelke 7	Bjelke 12	Bjelke 17
	Bjelke 3	Bjelke 8	Bjelke 13	Bjelke 18
	Bjelke 4	Bjelke 9	Bjelke 14	Bjelke 19
	Bjelke 5	Bjelke 10	Bjelke 15	Bjelke 20
Antall	24	24	24	24
Størrelse	16,6	16,6	16,6	16,6
Liter	398,4	398,4	398,4	398,4
	Terning 1	Terning 2	Terning 3	Terning 4
	Terning 5	Terning 6	Terning 7	Terning 8
Antall	9	9	9	9
Størrelse	1	1	1	1
Liter	9	9	9	9
	Prisme 1	Prisme 2	Prisme 3	Prisme 4
Antall	6	6	6	6
Størrelse	0,256	0,256	0,256	0,256
Liter	1,536	1,536	1,536	1,536
	Sylinder 1	Sylinder 2	Sylinder 3	Sylinder 4
	Sylinder 5	Sylinder 6	Sylinder 7	Sylinder 8
Antall	4	4	6	4
Størrelse	1,57	1,57	1,57	1,57
Liter	6,28	6,28	9,42	6,28
	Strekkelegeme 1	Strekkelegeme 2	Strekkelegeme 3	Strekkelegeme 4
Antall	6	6	6	6
Størrelse	4,5	4,5	4,5	4,5
Liter	27	27	27	27
	Luftinnhold 1	Luftinnhold 2	Luftinnhold 3	Luftinnhold 4
Antall	1	1	1	1
Størrelse	8	8	8	8
Liter	8	8	8	8
	-	Fiberinnhold 1	Fiberinnhold 2	Fiberinnhold 3
Antall		2	2	2
Størrelse		8	8	8
Liter		16	16	16
	Flyt 1	Flyt 2	Flyt 3	Flyt 4
Antall	1	1	1	1
Størrelse	2	2	2	2
Liter	5	5	5	5
	22,7608	23,5608	23,7178	23,5608
Totalt per steg	455,2	471,2	474,4	471,2
Totalt	1965,6			

Start	Etter #1	Etter #2	Etter #3	Etter #4
2200	1722,02	1227,25	729,17	234,40

Fiberdoseringer	1 %	1,50 %	2,00 %
Tetthet 55mm AR MiniBars	2,1		kg/l

Kg fiber skal tilsettes før støp:

#	1	2	3	4
Kg	0	36,16	12,89	7,66

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
150x150x735	Bjelke	1	Rest bøyestrekfasthet	Uarmert	6	1	96	
	Bjelke	2	Rest bøyestrekfasthet	Stangarmert	6			
	Bjelke	3	Rest bøyestrekfasthet	Stangarmert RFT	6			
	Bjelke	4	Skjærkapasitet	Uarmert	3			
	Bjelke	5	Skjærkapasitet	Stangarmert	3			
	Bjelke	6	Rest bøyestrekfasthet	Fiber 1	6	2		
	Bjelke	7	Rest bøyestrekfasthet	Stang + fiber 1	6			
	Bjelke	8	Rest bøyestrekfasthet	Stang RFT + fiber 1	6			
	Bjelke	9	Skjærkapasitet	Fiber 1	3			
	Bjelke	10	Skjærkapasitet	Stang + fiber 1	3			
	Bjelke	11	Rest bøyestrekfasthet	Fiber 2	6	3		
	Bjelke	12	Rest bøyestrekfasthet	Stang + fiber 2	6			
	Bjelke	13	Rest bøyestrekfasthet	Stang RFT + fiber 2	6			
	Bjelke	14	Skjærkapasitet	Fiber 2	3			
	Bjelke	15	Skjærkapasitet	Stang + fiber 2	3			
	Bjelke	16	Rest bøyestrekfasthet	Fiber 3	6	4		
	Bjelke	17	Rest bøyestrekfasthet	Stang + fiber 3	6			
	Bjelke	18	Rest bøyestrekfasthet	Stang RFT + fiber 3	6			
	Bjelke	19	Skjærkapasitet	Fiber 3	3			
	Bjelke	20	Skjærkapasitet	Stang + fiber 3	3			

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
100x100x100	Terning	1	Trykkfasthet	Uarmert	5	1	36	
	Terning	2	Trykkfasthet	Fiber 1	5	2		
	Terning	3	Trykkfasthet	Fiber 2	5	3		
	Terning	4	Trykkfasthet	Fiber 3	5	4		
	Terning	5	Fryse\time	Uarmert	4	1		
	Terning	6	Fryse\time	Fiber 1	4	2		
	Terning	7	Fryse\time	Fiber 2	4	3		
	Terning	8	Fryse\time	Fiber 3	4	4		

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
40x40x160	Prisme	1	Bøyestrek\trykk	Uarmert	6	1	24	
	Prisme	2	Bøyestrek\trykk	Fiber 1	6	2		
	Prisme	3	Bøyestrek\trykk	Fiber 2	6	3		
	Prisme	4	Bøyestrek\trykk	Fiber 3	6	4		

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
100x200	Sylinder	1	Klorid	Uarmert	3	1	24	
	Sylinder	2	Klorid	Fiber 1	3	2		
	Sylinder	3	Klorid	Fiber 2	3	3		
	Sylinder	4	Klorid	Fiber 3	3	4		
	Sylinder	5	E-modul	Uarmert	3	1		
	Sylinder	6	E-modul	Fiber 1	3	2		
	Sylinder	7	E-modul	Fiber 2	3	3		
	Sylinder	8	E-modul	Fiber 3	3	4		

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
160x320	Strekkelegeme	1	Strekfasthet	Uarmert	6	1	24	
	Strekkelegeme	2	Strekfasthet	Fiber 1	6	2		
	Strekkelegeme	3	Strekfasthet	Fiber 2	6	3		
	Strekkelegeme	4	Strekfasthet	Fiber 3	6	4		

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
200x250	Luftinnhold	1	Luft\densitet	Uarmert	1	1	4	
	Luftinnhold	2	Luft\densitet	Fiber 1	1	2		
	Luftinnhold	3	Luft\densitet	Fiber 2	1	3		
	Luftinnhold	4	Luft\densitet	Fiber 3	1	4		

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
200x250	Fiberinnhold	1	F.innhold	Fiber 1	3	2	9	
	Fiberinnhold	2	F.innhold	Fiber 2	3	3		
	Fiberinnhold	3	F.innhold	Fiber 3	3	4		

Størrelse	Objekt	Type	Testes for	Armering	Antall	Rekkefølge	Totalt	Kommentar
	Flyt	1	Utbredelse	Uarmert	1	1	4	
	Flyt	2	Utbredelse	Fiber 1	1	2		
	Flyt	3	Utbredelse	Fiber 2	1	3		
	Flyt	4	Utbredelse	Fiber 3	1	4		



## Measurement Details

**Operator Name** Mastersizer  
**Sample Name** Sement Aalborg Rapid average 3 analyzes  
**SOP File Name** SOP sement 3.msop

## Measurement Details

**Analysis Date Time** 03.02.2016 13:55:57  
**Measurement Date Time** 03.02.2016 13:55:57  
**Result Source** Averaged

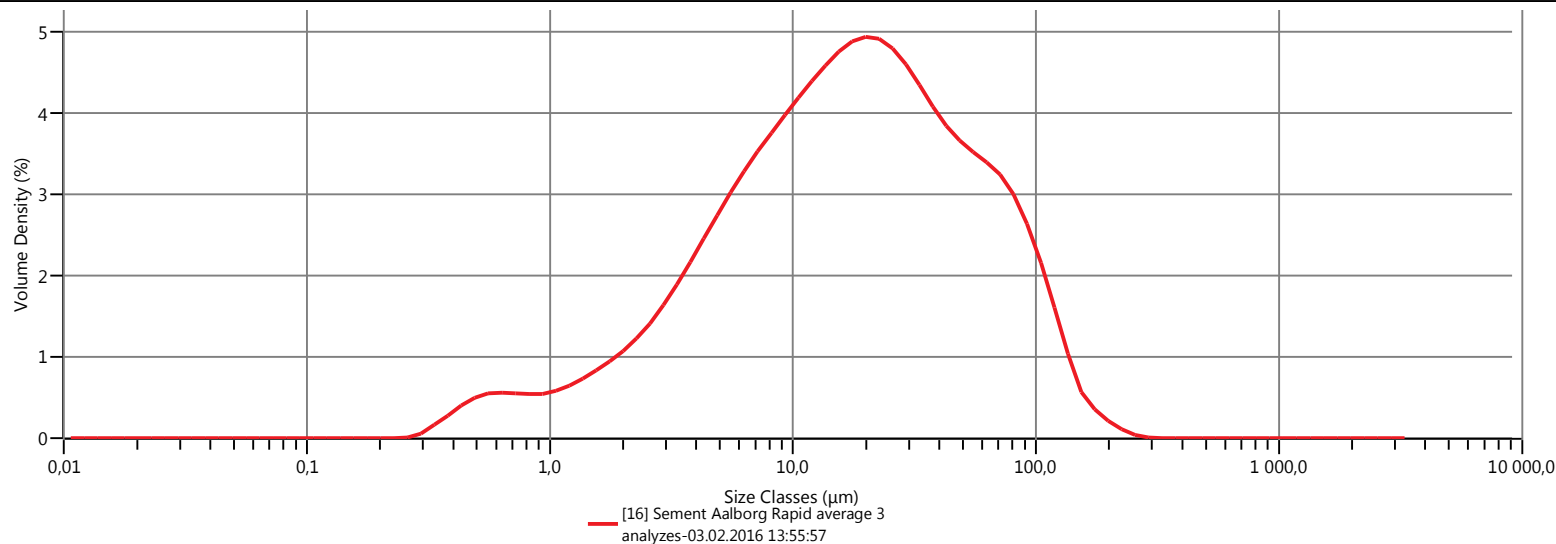
## Analysis

**Particle Name** CaO tri Al. (AI 1.0)  
**Particle Refractive Index** 1,710  
**Particle Absorption Index** 1,000  
**Dispersant Name** Ethanol  
**Dispersant Refractive Index** 1,360  
**Scattering Model** Mie  
**Analysis Model** General Purpose  
**Weighted Residual** 1,03 %  
**Laser Obscuration** 17,94 %

## Result

**Concentration** 0,0148 %  
**Span** 4,177  
**Uniformity** 1,254  
**Specific Surface Area** 322,5 m<sup>2</sup>/kg  
**D [3;2]** 6,00 μm  
**D [4;3]** 29,3 μm  
**Dv (10)** 2,85 μm  
**Dv (50)** 17,3 μm  
**Dv (90)** 75,2 μm

## Average - Frequency (compatible)



## Result

Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In
0,0100	0,00	0,0526	0,00	0,276	0,04	1,45	0,69	7,64	3,13	40,1	3,20	211	0,09	1110	0,00
0,0114	0,00	0,0597	0,00	0,314	0,14	1,65	0,79	8,68	3,32	45,6	3,05	240	0,03	1260	0,00
0,0129	0,00	0,0679	0,00	0,357	0,23	1,88	0,89	9,86	3,49	51,8	2,93	272	0,01	1430	0,00
0,0147	0,00	0,0771	0,00	0,405	0,34	2,13	1,02	11,2	3,66	58,9	2,84	310	0,00	1630	0,00
0,0167	0,00	0,0876	0,00	0,460	0,42	2,42	1,17	12,7	3,83	66,9	2,71	352	0,00	1850	0,00
0,0189	0,00	0,0995	0,00	0,523	0,46	2,75	1,36	14,5	3,97	76,0	2,51	400	0,00	2100	0,00
0,0215	0,00	0,113	0,00	0,594	0,47	3,12	1,57	16,4	4,08	86,4	2,21	454	0,00	2390	0,00
0,0244	0,00	0,128	0,00	0,675	0,46	3,55	1,81	18,7	4,13	98,1	1,80	516	0,00	2710	0,00
0,0278	0,00	0,146	0,00	0,767	0,45	4,03	2,05	21,2	4,11	111	1,34	586	0,00	3080	0,00
0,0315	0,00	0,166	0,00	0,872	0,45	4,58	2,29	24,1	4,01	127	0,86	666	0,00	3500	0,00
0,0358	0,00	0,188	0,00	0,991	0,48	5,21	2,52	27,4	3,84	144	0,45	756	0,00		
0,0407	0,00	0,214	0,00	1,13	0,54	5,92	2,74	31,1	3,63	163	0,29	859	0,00		
0,0463	0,00	0,243	0,00	1,28	0,61	6,72	2,94	35,3	3,40	186	0,18	976	0,00		



## Measurement Details

**Operator Name** Mastersizer  
**Sample Name** Flyveaske average 3 analyzes  
**SOP File Name** SOP, flyveaske test 4.msop

## Measurement Details

**Analysis Date Time** 02.02.2016 15:10:33  
**Measurement Date Time** 02.02.2016 15:10:33  
**Result Source** Averaged

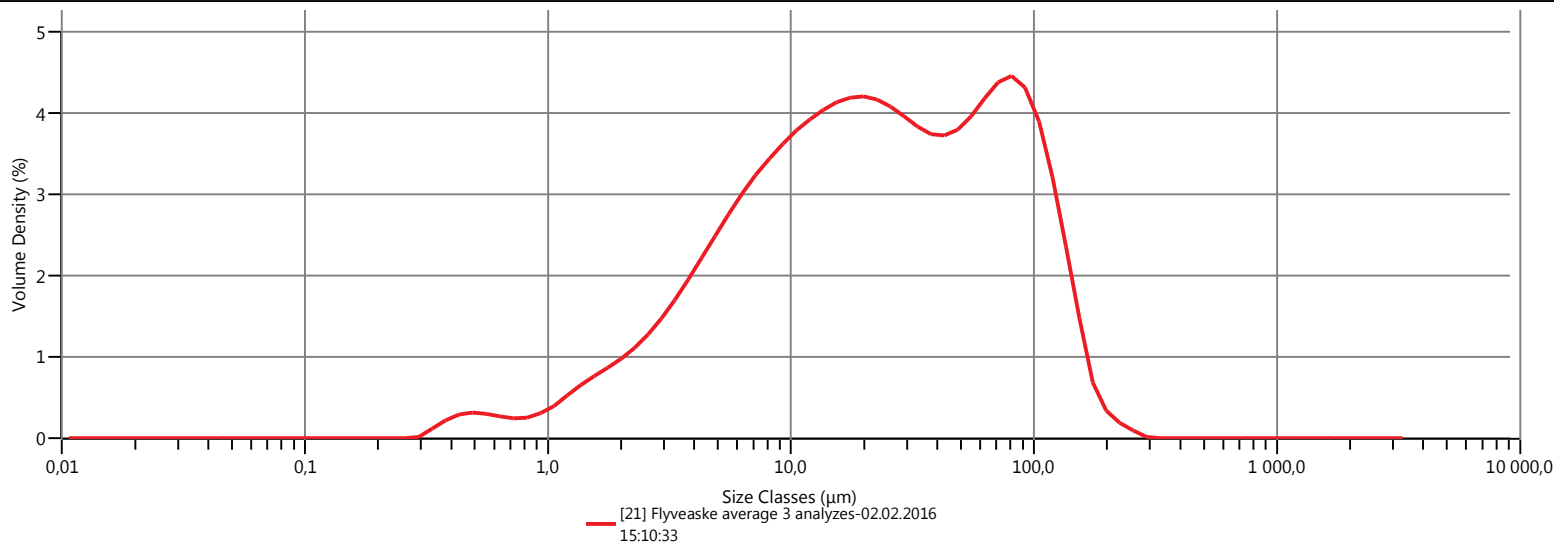
## Analysis

**Particle Name** Glass Beads (typical)  
**Particle Refractive Index** 1,600  
**Particle Absorption Index** 0,001  
**Dispersant Name** Water  
**Dispersant Refractive Index** 1,330  
**Scattering Model** Mie  
**Analysis Model** General Purpose  
**Weighted Residual** 1,61 %  
**Laser Obscuration** 16,64 %

## Result

**Concentration** 0,0177 %  
**Span** 4,372  
**Uniformity** 1,335  
**Specific Surface Area** 340,9 m<sup>2</sup>/kg  
**D [3;2]** 7,65 μm  
**D [4;3]** 38,4 μm  
**Dv (10)** 3,55 μm  
**Dv (50)** 21,8 μm  
**Dv (90)** 98,9 μm

## Average - Frequency (compatible)



## Result

Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In
0,0100	0,00	0,0526	0,00	0,276	0,00	1,45	0,63	7,64	2,87	40,1	3,10	211	0,16
0,0114	0,00	0,0597	0,00	0,314	0,10	1,65	0,72	8,68	3,02	45,6	3,16	240	0,08
0,0129	0,00	0,0679	0,00	0,357	0,19	1,88	0,81	9,86	3,16	51,8	3,30	272	0,01
0,0147	0,00	0,0771	0,00	0,405	0,24	2,13	0,92	11,2	3,28	58,9	3,49	310	0,00
0,0167	0,00	0,0876	0,00	0,460	0,26	2,42	1,06	12,7	3,37	66,9	3,66	352	0,00
0,0189	0,00	0,0995	0,00	0,523	0,25	2,75	1,22	14,5	3,45	76,0	3,73	400	0,00
0,0215	0,00	0,113	0,00	0,594	0,22	3,12	1,42	16,4	3,50	86,4	3,62	454	0,00
0,0244	0,00	0,128	0,00	0,675	0,20	3,55	1,63	18,7	3,51	98,1	3,27	516	0,00
0,0278	0,00	0,146	0,00	0,767	0,21	4,03	1,85	21,2	3,48	111	2,69	586	0,00
0,0315	0,00	0,166	0,00	0,872	0,25	4,58	2,08	24,1	3,40	127	1,97	666	0,00
0,0358	0,00	0,188	0,00	0,991	0,32	5,21	2,30	27,4	3,30	144	1,23	756	0,00
0,0407	0,00	0,214	0,00	1,13	0,44	5,92	2,51	31,1	3,20	163	0,53	859	0,00
0,0463	0,00	0,243	0,00	1,28	0,54	6,72	2,70	35,3	3,12	186	0,27	976	0,00

## Result Analysis Report

**Sample Name:**

20040093.1

**Sample Source & type:**

SV 940U

**Sample bulk lot ref:****SOP Name:**

Wet MS\_Primaryagglum

**Measured:**

3. juni 2004 10:02:34

**Analysed:**

3. juni 2004 10:02:35

**Measured by:**

Jorunn

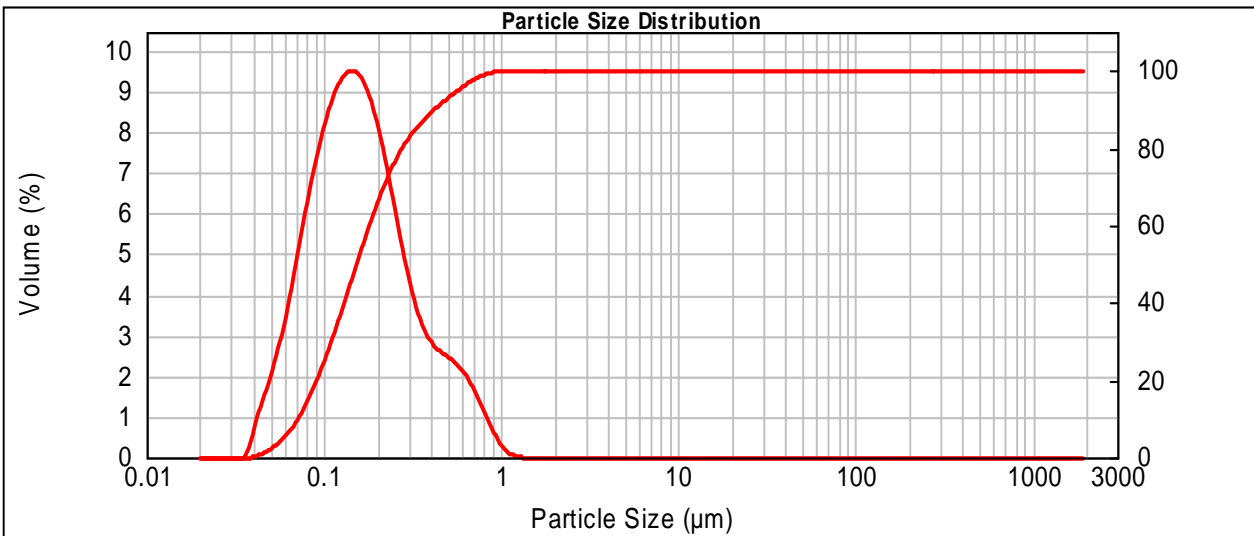
**Result Source:**

Measurement

<b>Particle Name:</b> Microsilica 1.464_0.005	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000G (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Normal
<b>Particle RI:</b> 1.464	<b>Absorption:</b> 0.005	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 µm	<b>Obscuration:</b> 12.05 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 3.433 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0196 %Vol	<b>Span :</b> 2.280	<b>Uniformity:</b> 0.686	<b>Result units:</b> Volume
--------------------------------------	------------------------	-----------------------------	--------------------------------

<b>Specific Surface Area:</b> 21 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 0.130 µm	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 0.205 µm
---	--	---

**d(0.1): 0.072 µm****d(0.5): 0.153 µm****d(0.9): 0.422 µm**

Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %	Size (µm)	Vol Under %
0.020	0.00	0.142	45.00	1.002	99.85	7.096	100.00	50.238	100.00	355.656	100.00
0.022	0.00	0.159	52.14	1.125	99.97	7.962	100.00	56.368	100.00	399.052	100.00
0.025	0.00	0.178	59.09	1.262	100.00	8.934	100.00	63.246	100.00	447.744	100.00
0.028	0.00	0.200	65.59	1.416	100.00	10.024	100.00	70.963	100.00	502.377	100.00
0.032	0.00	0.224	71.43	1.589	100.00	11.247	100.00	79.621	100.00	563.677	100.00
0.036	0.00	0.252	76.46	1.783	100.00	12.619	100.00	89.337	100.00	632.456	100.00
0.040	0.11	0.283	80.62	2.000	100.00	14.159	100.00	100.237	100.00	709.627	100.00
0.045	0.90	0.317	83.98	2.244	100.00	15.887	100.00	112.468	100.00	796.214	100.00
0.050	2.14	0.356	86.70	2.518	100.00	17.825	100.00	126.191	100.00	893.367	100.00
0.056	3.94	0.399	89.00	2.825	100.00	20.000	100.00	141.589	100.00	1002.374	100.00
0.063	6.37	0.448	91.05	3.170	100.00	22.440	100.00	158.866	100.00	1124.683	100.00
0.071	9.64	0.502	92.97	3.557	100.00	25.179	100.00	178.250	100.00	1261.915	100.00
0.080	13.81	0.564	94.76	3.991	100.00	28.251	100.00	200.000	100.00	1415.892	100.00
0.089	18.84	0.632	96.40	4.477	100.00	31.698	100.00	224.404	100.00	1588.656	100.00
0.100	24.63	0.710	97.78	5.024	100.00	35.566	100.00	251.785	100.00	1782.502	100.00
0.112	31.03	0.796	98.82	5.637	100.00	39.905	100.00	282.508	100.00	2000.000	100.00
0.126	37.89	0.893	99.50	6.325	100.00	44.774	100.00	316.979	100.00		

**Operator notes:**

### Measurement Details

**Operator Name** Mastersizer  
**Sample Name** Velde finfiller average 4 analyses  
**SOP File Name** SOP2.msop

### Measurement Details

**Analysis Date Time** 05.02.2016 11:20:08  
**Measurement Date Time** 05.02.2016 11:20:08  
**Result Source** Averaged

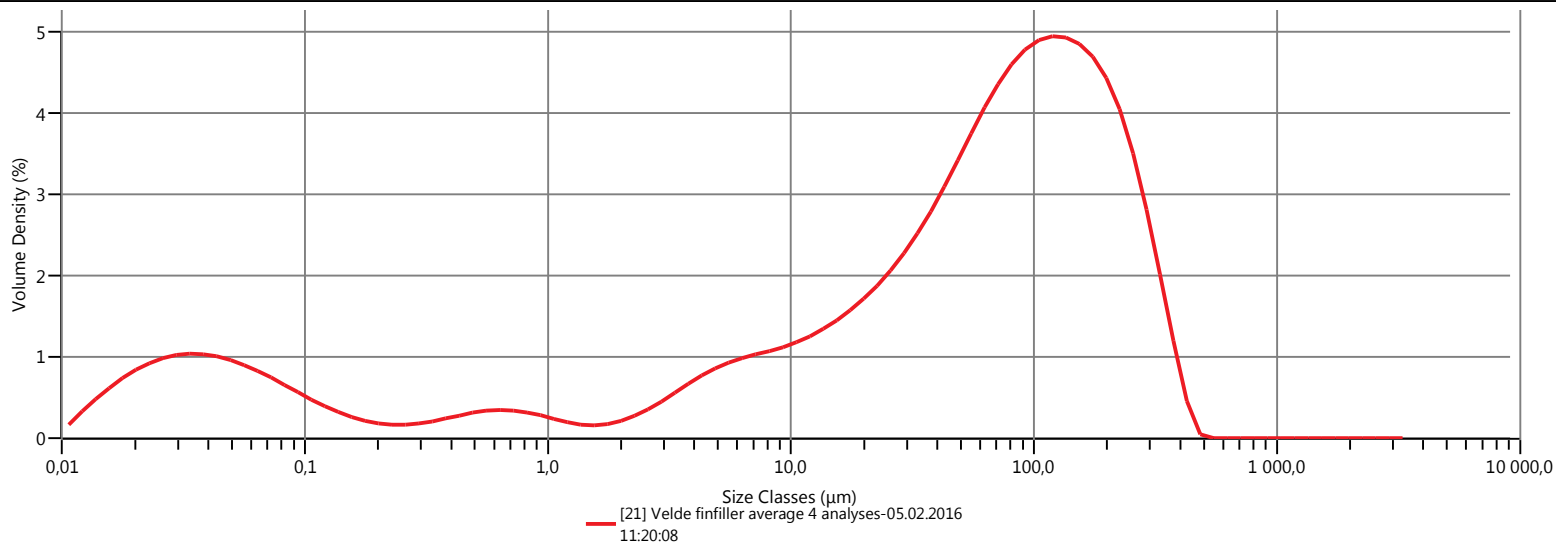
### Analysis

**Particle Name** Sand naturlig  
**Particle Refractive Index** 1,464  
**Particle Absorption Index** 0,005  
**Dispersant Name** Water  
**Dispersant Refractive Index** 1,330  
**Scattering Model** Mie  
**Analysis Model** General Purpose  
**Weighted Residual** 1,08 %  
**Laser Obscuration** 16,20 %

### Result

**Concentration** 0,0461 %  
**Span** 3,738  
**Uniformity** 1,163  
**Specific Surface Area** 9492 m<sup>2</sup>/kg  
**D [3;2]** 0,244 µm  
**D [4;3]** 88,1 µm  
**Dv (10)** 0,0694 µm  
**Dv (50)** 60,2 µm  
**Dv (90)** 225 µm

### Average - Frequency (compatible)



### Result

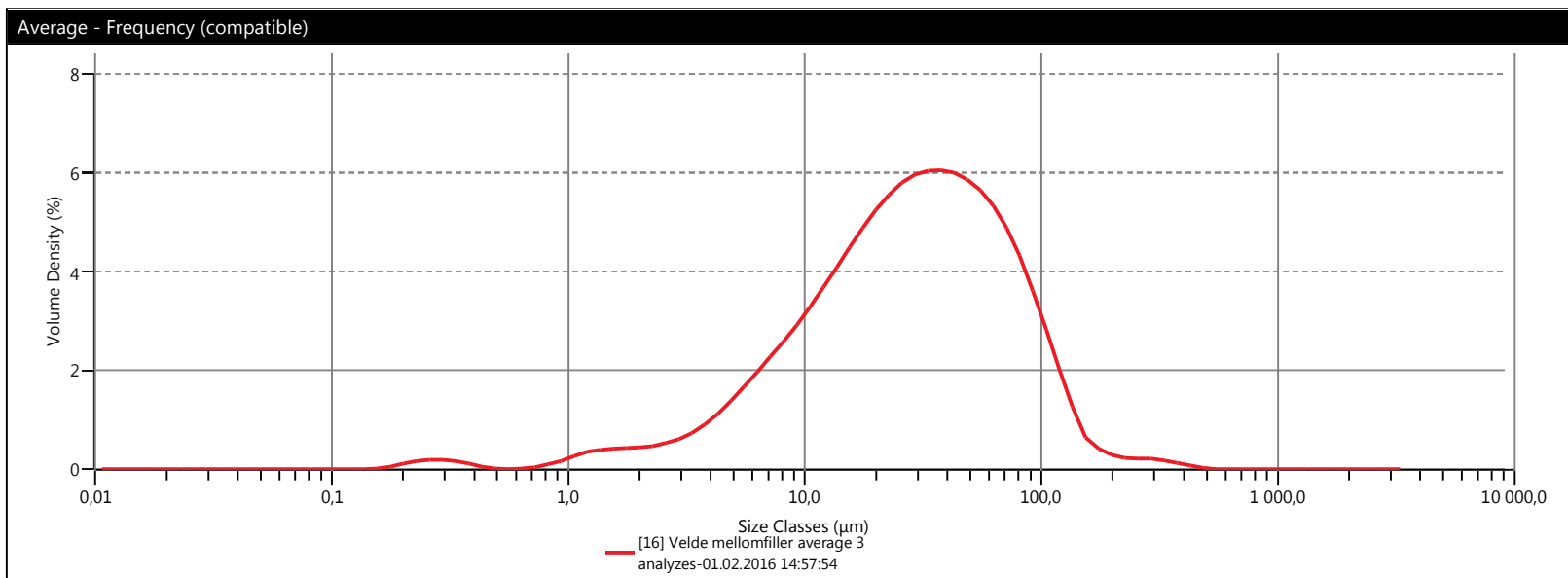
Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In	Size (µm)	% Volume In
0,0100	0,14	0,0526	0,75	0,276	0,15	1,45	0,13	7,64	0,89	40,1	2,58	211	3,38
0,0114	0,27	0,0597	0,69	0,314	0,17	1,65	0,14	8,68	0,93	45,6	2,85	240	2,93
0,0129	0,40	0,0679	0,62	0,357	0,20	1,88	0,17	9,86	0,98	51,8	3,13	272	2,35
0,0147	0,51	0,0771	0,55	0,405	0,23	2,13	0,23	11,2	1,04	58,9	3,39	310	1,68
0,0167	0,62	0,0876	0,47	0,460	0,26	2,42	0,29	12,7	1,12	66,9	3,64	352	1,00
0,0189	0,70	0,0995	0,40	0,523	0,28	2,75	0,37	14,5	1,21	76,0	3,84	400	0,36
0,0215	0,77	0,113	0,33	0,594	0,29	3,12	0,47	16,4	1,31	86,4	3,99	454	0,01
0,0244	0,82	0,128	0,26	0,675	0,28	3,55	0,56	18,7	1,43	98,1	4,09	516	0,00
0,0278	0,85	0,146	0,21	0,767	0,27	4,03	0,64	21,2	1,56	111	4,13	586	0,00
0,0315	0,87	0,166	0,17	0,872	0,23	4,58	0,72	24,1	1,72	127	4,12	666	0,00
0,0358	0,86	0,188	0,15	0,991	0,20	5,21	0,78	27,4	1,89	144	4,05	756	0,00
0,0407	0,84	0,214	0,14	1,13	0,16	5,92	0,82	31,1	2,10	163	3,92	859	0,00
0,0463	0,80	0,243	0,14	1,28	0,13	6,72	0,86	35,3	2,33	186	3,71	976	0,00

Measurement Details	
<b>Operator Name</b>	Mastersizer
<b>Sample Name</b>	Velde mellomfiller average 3 analyzes
<b>SOP File Name</b>	SOP, mellomfiller1 Ida.msop

Measurement Details	
<b>Analysis Date Time</b>	01.02.2016 14:57:54
<b>Measurement Date Time</b>	01.02.2016 14:57:54
<b>Result Source</b>	Averaged

Analysis	
<b>Particle Name</b>	Sand naturlig
<b>Particle Refractive Index</b>	1,453
<b>Particle Absorption Index</b>	0,00001
<b>Dispersant Name</b>	Water
<b>Dispersant Refractive Index</b>	1,330
<b>Scattering Model</b>	Mie
<b>Analysis Model</b>	General Purpose
<b>Weighted Residual</b>	1,12 %
<b>Laser Obscuration</b>	14,99 %

Result	
<b>Concentration</b>	0,0262 %
<b>Span</b>	2,791
<b>Uniformity</b>	0,916
<b>Specific Surface Area</b>	279,6 m <sup>2</sup> /kg
<b>D [3;2]</b>	9,75 μm
<b>D [4;3]</b>	40,4 μm
<b>Dv (10)</b>	6,32 μm
<b>Dv (50)</b>	28,7 μm
<b>Dv (90)</b>	86,5 μm



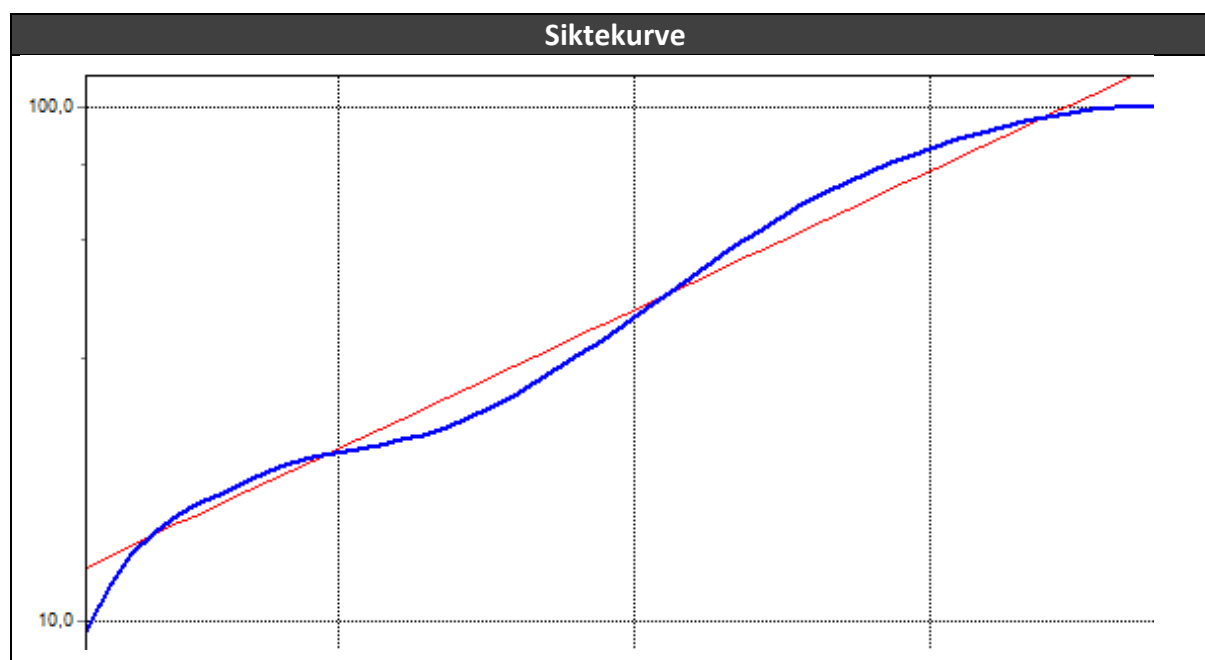
Result													
Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In	Size (μm)	% Volume In
0,0100	0,00	0,0526	0,00	0,276	0,16	1,45	0,35	7,64	2,16	40,1	5,01	211	0,19
0,0114	0,00	0,0597	0,00	0,314	0,14	1,65	0,36	8,68	2,44	45,6	4,89	240	0,18
0,0129	0,00	0,0679	0,00	0,357	0,09	1,88	0,37	9,86	2,74	51,8	4,72	272	0,17
0,0147	0,00	0,0771	0,00	0,405	0,04	2,13	0,38	11,2	3,06	58,9	4,45	310	0,15
0,0167	0,00	0,0876	0,00	0,460	0,00	2,42	0,43	12,7	3,40	66,9	4,09	352	0,11
0,0189	0,00	0,0995	0,00	0,523	0,00	2,75	0,50	14,5	3,74	76,0	3,61	400	0,05
0,0215	0,00	0,113	0,00	0,594	0,00	3,12	0,61	16,4	4,07	86,4	3,02	454	0,02
0,0244	0,00	0,128	0,00	0,675	0,03	3,55	0,75	18,7	4,37	98,1	2,36	516	0,00
0,0278	0,00	0,146	0,00	0,767	0,08	4,03	0,94	21,2	4,63	111	1,67	586	0,00
0,0315	0,00	0,166	0,04	0,872	0,13	4,58	1,15	24,1	4,83	127	1,04	666	0,00
0,0358	0,00	0,188	0,09	0,991	0,22	5,21	1,39	27,4	4,97	144	0,50	756	0,00
0,0407	0,00	0,214	0,13	1,13	0,29	5,92	1,64	31,1	5,04	163	0,34	859	0,00
0,0463	0,00	0,243	0,16	1,28	0,33	6,72	1,90	35,3	5,05	186	0,24	976	0,00

<b>Resept</b>	<b>Produsert av</b>
R35	Simen Rindebakken

Hensikt	V/B-tall	Q-verdi	Mengde SP-stoff [%]	Mengde fiber [%]
Maks trykkfasthet	0,15	0,27	15	1,8

Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
Aalborg rapid sement	767,61
Flyveaske	92,89
Microsilica	335,27
Velde Finfiller	48,38
Velde Mellomfiller	885,4
Fiber	111,96
SP-stoff	115,14
Vann	84,95
<b>Proporsjonert betongdensitet</b>	<b>2441,60</b>

Blandeprosedyre									
Finfiller	10 min	Skraping	Vann	10 min	Skraping	5 min	Fiber	10 min	Ferdig
Microsilica			SP-Stoff						
Flyveaske			(Husk å riste)						
Sement									
Mellomfiller									







## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 5 N  
 Test speed : 270 N/s

## Test results:

No.	Upper yield point N	dI at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1	-	-	9620	1,1	9620	1,1	125	150	18750,00
2	-	-	12600	1,2	12100	1,3	125	150	18750,00
3	-	-	12800	1,2	12800	1,2	125	150	18750,00
4	-	-	11100	1,4	11000	1,4	125	150	18750,00
5	-	-	12500	1,3	12500	1,3	125	150	18750,00
6	-	-	12800	1,1	12400	1,2	125	150	18750,00

No.	Customer	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	End of determination of upper yield point %
1		19.05.2016	19.05.2016 12:59:19	1	10
2		19.05.2016	19.05.2016 13:36:30		
3		19.05.2016	19.05.2016 14:06:00		
4		19.05.2016	19.05.2016 14:17:11		
5		19.05.2016	19.05.2016 14:23:38		
6		19.05.2016	19.05.2016 14:30:11		

No.	Expanded control No	Force at standard deflection N	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N
1	No	-	-	-	-	-	-	-
2		-	-	-	-	-	-	-
3		-	-	-	-	-	-	-
4		-	-	-	-	-	-	-
5		-	-	-	-	-	-	-
6		-	-	-	-	-	-	-

No.	Force save interval N	Force shutdown threshold %Fmax	Force threshold for break investigation %Fnom	Force transition %
1	1	80	0,1	5
2				
3				
4				
5				
6				



No.	Heading	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data
1	Test report				Sequential change	
2						
3						
4						
5						
6						

No.	Material	Max. temporal reduction in force N	Maximum deformation %	Maximum flexure angle °
1		1	10	90
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Maximum test duration min	Negative strain step %	Next/New specimen	Note
1	1	10		
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Number of captures for break detection	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax
1	50	5
2		
3		
4		
5		
6		

No.	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %
1	0,5	0,500	10
2			
3			
4			
5			
6			

No.	Pre-load N	Pre-load hold time mode	Pre-treatment	Radius of the flexure fin mm	Radius of the support rollers mm	$\Psi_{dB}$ %
1	5	No hold time		5	10	-
2						-
3						-
4						-
5						-
6						-

No.	Sensitivity of upper yield point determination %	Sensitivity of upper yield point in % reduction in force %Fmax
1	1	0,000
2		
3		
4		
5		
6		

No.	Set start position after test	Span mm	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
1	Yes	500	No	1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
6				6	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min
1	Flat specimen		5	200
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Speed, yield point mm/min	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed N/s
1	10	-	Simple	No	270
2		-			
3		-			
4		-			
5		-			
6		-			

No.	Test standard	Tester	Time save interval s	Time up to pre-load s	Tool separation at start position mm
1			0,1	60	394,90
2					
3					
4					
5					
6					

No.	Travel after break mm	Travel after upper yield point %	Travel save interval up to break $\mu\text{m}$
1	5	2	10
2			
3			
4			
5			
6			

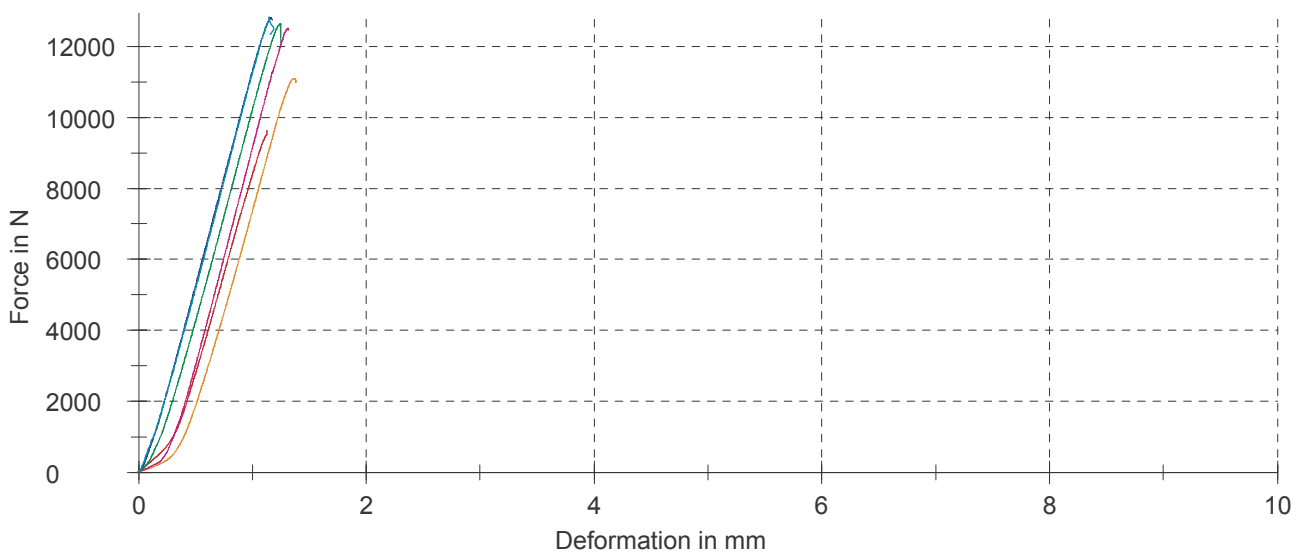
No.	Travel save interval $\mu\text{m}$	Yield point determination	Type and designation	Type of testing	Upper force limit N
1	2			3-Point flexure test	200
2					
3					
4					
5					
6					

No.	W to break Nmm	W to $F_{\text{max}}$ Nmm	Yield point ratio %	Youngs Modulus per hysteresis loop	Zero the force after pre-load
1	-	-	-	No	No
2	-	-	-		
3	-	-	-		
4	-	-	-		
5	-	-	-		
6	-	-	-		

No.	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path	Activate video capture layout
1	One time per series	12:59:19	No	None	Yes
2		13:36:30			
3		14:06:00			
4		14:17:11			
5		14:23:38			
6		14:30:11			

No.	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
1	Yes	No
2		
3		
4		
5		
6		

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	Upper yield point N	dI at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
$\bar{x}$	-	-	11900	1,2	11700	1,2	125	150
s	-	-	1300	0,1	1190	0,1	0,000	0,000
v} [%]	-	-	10,92	7,69	10,19	8,09	0,00	0,00

Series n = 6	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	18750,00
s	0,00
v} [%]	0,00

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 5 N  
 Test speed : 270 N/s

### Test results:

No.	Upper yield point N	dL at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1	-	-	18700	2,5	12400	3,0	125	150	18750,00
2	-	-	17500	3,1	14900	3,4	125	150	18750,00
3	-	-	17400	2,4	14400	2,8	125	150	18750,00
4	-	-	15000	2,6	12600	3,2	125	150	18750,00
5	-	-	18700	2,7	13100	3,4	125	150	18750,00
7	14600	2,2	14600	2,2	2920	6,5	125	150	18750,00

No.	Customer	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	End of determination of upper yield point %
1		29.04.2016	29.04.2016 13:15:10	1	10
2		29.04.2016	29.04.2016 13:31:41		
3		29.04.2016	29.04.2016 13:40:54		
4		29.04.2016	29.04.2016 13:48:49		
5		29.04.2016	29.04.2016 13:55:26		
7		29.04.2016	29.04.2016 14:02:00		

No.	Force at standard deflection N	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N	Force save interval N
1	-	-	-	-	-	-	-	1
2	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	

No.	Force shutdown threshold %Fmax	Force threshold for break investigation %Fnom	Force transition %	Heading
1	80	0,1	5	Test report
2				
3				
4				
5				
7				

No.	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data	Material
1				Sequential change		
2						
3						
4						
5						
7						

No.	Max. temporal reduction in force N	Maximum deformation %	Maximum flexure angle °	Maximum test duration min
1	1	10	90	1
2				
3				
4				
5				
7				

No.	Negative strain step %	Next/New specimen	Note	Number of captures for break detection
1	10			50
2				
3				
4				
5				
7				

No.	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom
1	5	0,5
2		
3		
4		
5		
7		

No.	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %	Pre-load N	Pre-load hold time mode
1	0,500	10	5	No hold time
2				
3				
4				
5				
7				

No.	Pre-treatment	Radius of the flexure fin mm	Radius of the support rollers mm	$\Psi_{dB}$ %
1		5	10	-
2				-
3				-
4				-
5				-
7				-

No.	Sensitivity of upper yield point determination %	Sensitivity of upper yield point in % reduction in force %Fmax
1	1	0,000
2		
3		
4		
5		
7		

No.	Set start position after test	Span mm	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
1	Yes	500	No	1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
7				6	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min
1	Flat specimen		5	200
2				
3				
4				
5				
7				

No.	Speed, yield point mm/min	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed N/s
1	10	-	Simple	No	270
2		-			
3		-			
4		-			
5		-			
7		-			

No.	Test standard	Tester	Time save interval s	Time up to pre-load s	Tool separation at start position mm
1			0,1	60	470,00
2					
3					
4					
5					
7					

No.	Travel after break mm	Travel after upper yield point %	Travel save interval up to break $\mu\text{m}$
1	5	2	10
2			
3			
4			
5			
7			

No.	Travel save interval $\mu\text{m}$	Yield point determination	Type and designation	Type of testing	Upper force limit N
1	2			3-Point flexure test	200
2					
3					
4					
5					
7					

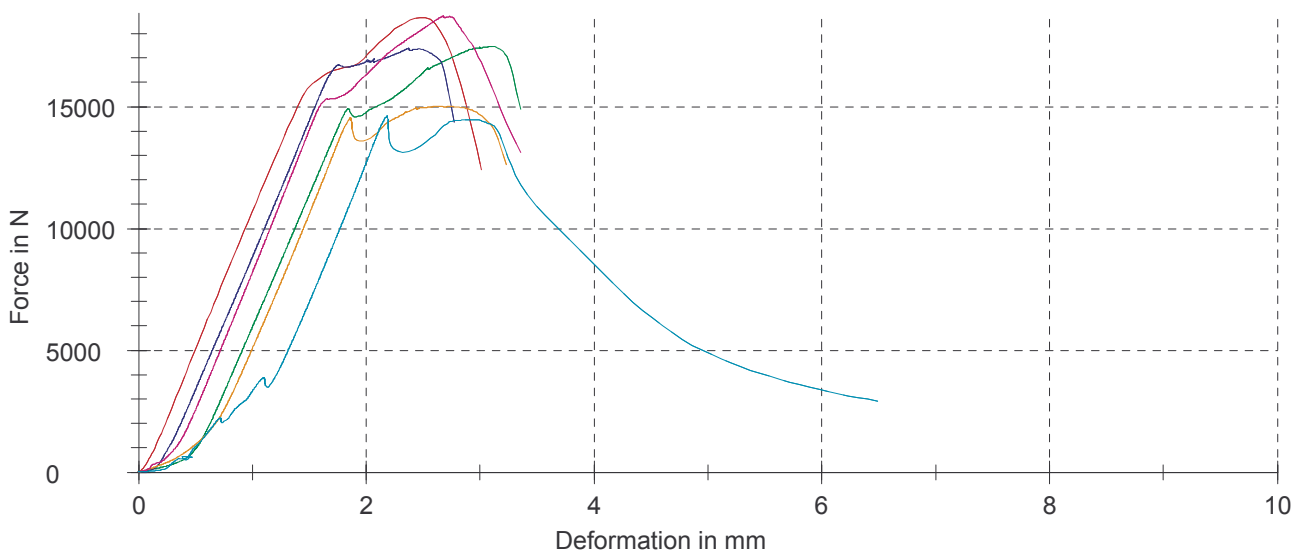
No.	W to break Nmm	W to $F_{\text{max}}$ Nmm	Yield point ratio %	Youngs Modulus per hysteresis loop	Zero the force after pre-load
1	-	-	-	No	No
2	-	-	-		
3	-	-	-		
4	-	-	-		
5	-	-	-		
7	-	-	-		

No.	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path	Activate video capture layout
1	One time per series	13:15:10	No	None	Yes
2		13:31:41			
3		13:40:54			
4		13:48:49			
5		13:55:26			
7		14:02:00			



No.	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
1	Yes	No
2		
3		
4		
5		
7		

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	Upper yield point N	dL at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
$\bar{x}$	14600	2,2	17000	2,6	11700	3,7	125	150
s	-	-	1780	0,3	4430	1,4	0,000	0,000
v} [%]	-	-	10,46	12,46	37,74	37,40	0,00	0,00

Series n = 6	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	18750,00
s	0,00
v} [%]	0,00

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 5 N  
 Test speed : 270 N/s

### Test results:

No.	Upper yield point N	dL at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1	13600	1,1	13600	1,1	2700	5,7	125	150	18750,00
2	-	-	26700	3,4	21500	3,9	125	150	18750,00
3	-	-	20100	3,0	14700	3,8	125	150	18750,00
4	30900	4,2	30900	4,2	6090	9,0	125	150	18750,00
5	36100	7,5	36100	7,5	7210	13,4	125	150	18750,00
6	-	-	26200	3,9	20300	5,0	125	150	18750,00

No.	Customer	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	End of determination of upper yield point %
1		27.04.2016	27.04.2016 18:41:13	1	10
2		27.04.2016	27.04.2016 18:59:49		
3		27.04.2016	27.04.2016 19:18:44		
4		27.04.2016	27.04.2016 19:29:24		
5		27.04.2016	27.04.2016 19:39:27		
6		27.04.2016	27.04.2016 19:49:00		

No.	Force at standard deflection N	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N	Force save interval N
1	-	-	-	-	-	-	-	1
2	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	

No.	Force shutdown threshold %Fmax	Force threshold for break investigation %Fnom	Force transition %	Heading
1	80	0,1	5	Test report
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data	Material
1				Sequential change		
2						
3						
4						
5						
6						

No.	Max. temporal reduction in force N	Maximum deformation %	Maximum flexure angle °	Maximum test duration min
1	1	10	90	1
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Negative strain step %	Next/New specimen	Note	Number of captures for break detection
1	10			50
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom
1	5	0,5
2		
3		
4		
5		
6		

No.	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %	Pre-load N	Pre-load hold time mode
1	0,500	10	5	No hold time
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Pre-treatment	Radius of the flexure fin mm	Radius of the support rollers mm	$\Psi_{dB}$ %
1		5	10	-
2				-
3				-
4				-
5				-
6				-

No.	Sensitivity of upper yield point determination %	Sensitivity of upper yield point in % reduction in force %Fmax
1	1	0,000
2		
3		
4		
5		
6		

No.	Set start position after test	Span mm	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
1	Yes	500	No	1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
6				6	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min
1	Flat specimen		5	200
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Speed, yield point mm/min	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed N/s
1	10	-	Simple	No	270
2		-			
3		-			
4		-			
5		-			
6		-			

No.	Test standard	Tester	Time save interval s	Time up to pre-load s	Tool separation at start position mm
1			0,1	60	470,00
2					
3					
4					
5					
6					

No.	Travel after break mm	Travel after upper yield point %	Travel save interval up to break $\mu\text{m}$
1	5	2	10
2			
3			
4			
5			
6			

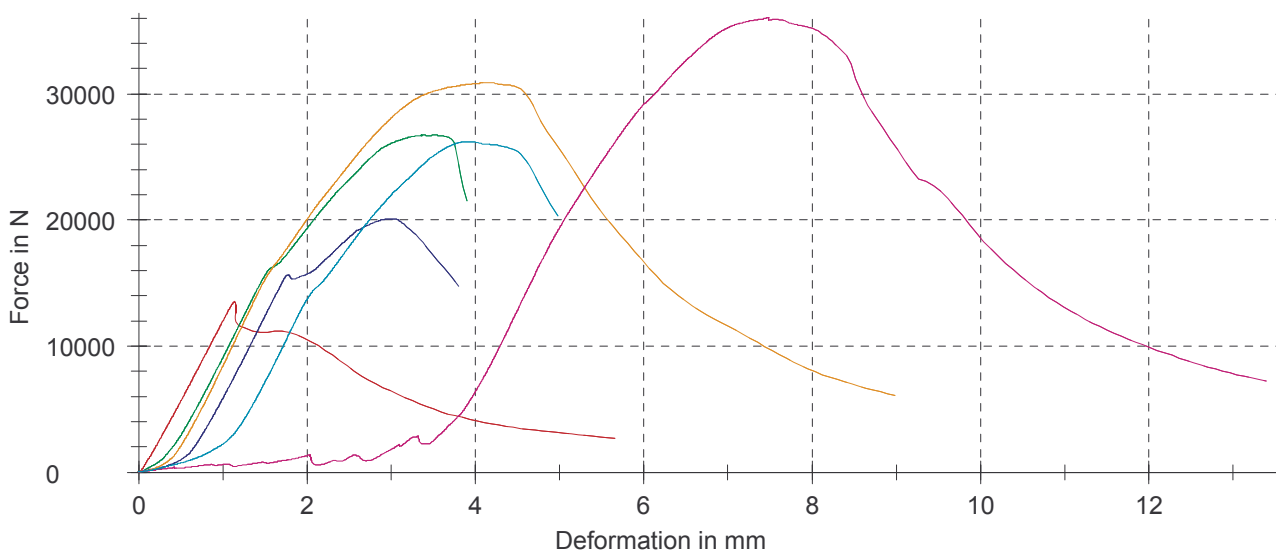
No.	Travel save interval $\mu\text{m}$	Yield point determination	Type and designation	Type of testing	Upper force limit N
1	2			3-Point flexure test	200
2					
3					
4					
5					
6					

No.	W to break Nmm	W to $F_{\text{max}}$ Nmm	Yield point ratio %	Youngs Modulus per hysteresis loop	Zero the force after pre-load
1	-	-	-	No	No
2	-	-	-		
3	-	-	-		
4	-	-	-		
5	-	-	-		
6	-	-	-		

No.	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path	Activate video capture layout
1	One time per series	18:41:13	No	None	Yes
2		18:59:49			
3		19:18:44			
4		19:29:24			
5		19:39:27			
6		19:49:00			

No.	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
1	Yes	No
2		
3		
4		
5		
6		

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	Upper yield point N	dI at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm
$\bar{x}$	26800	4,3	25600	3,8	12100	6,8	125	150
s	11800	3,2	7930	2,1	7890	3,7	0,000	0,000
v} [%]	43,94	74,30	30,99	53,95	65,26	55,24	0,00	0,00

Series n = 6	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	18750,00
s	0,00
v} [%]	0,00

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 5 N  
 Test speed : 270 N/s

### Test results:

No.	Upper yield point N	dI at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
1	16400	2,6	16400	2,6	3270	27,7	125	150	18750,00
2	15700	3,4	15700	3,4	3140	25,3	125	150	18750,00
3	27200	3,9	27200	3,9	5420	19,9	125	150	18750,00
4	26600	3,1	26600	3,1	5310	18,8	125	150	18750,00
5	15700	1,7	15700	1,7	3140	23,1	125	150	18750,00
6	16700	1,4	16700	1,4	3330	19,5	125	150	18750,00

No.	Customer	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	End of determination of upper yield point %
1		04.05.2016	04.05.2016 15:07:26	1	10
2		04.05.2016	04.05.2016 15:57:57		
3		04.05.2016	04.05.2016 16:21:16		
4		04.05.2016	04.05.2016 16:51:43		
5		04.05.2016	04.05.2016 17:01:46		
6		04.05.2016	04.05.2016 17:26:21		

No.	Expanded control No	Force at standard deflection N	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N
1	No	-	-	-	-	-	-	-
2		-	-	-	-	-	-	-
3		-	-	-	-	-	-	-
4		-	-	-	-	-	-	-
5		-	-	-	-	-	-	-
6		-	-	-	-	-	-	-

No.	Force save interval N	Force shutdown threshold %Fmax	Force threshold for break investigation %Fnom	Force transition %
1	1	80	0,1	5
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Heading	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data
1	Test report				Sequential change	
2						
3						
4						
5						
6						

No.	Material	Max. temporal reduction in force N	Maximum deformation %	Maximum flexure angle °
1		1	10	90
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Maximum test duration min	Negative strain step %	Next/New specimen	Note
1	1	10		
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Number of captures for break detection	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax
1	50	5
2		
3		
4		
5		
6		

No.	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %
1	0,5	0,500	10
2			
3			
4			
5			
6			



No.	Pre-load N	Pre-load hold time mode	Pre-treatment	Radius of the flexure fin mm	Radius of the support rollers mm	$\Psi_{dB}$ %
1	5	No hold time		5	10	-
2						-
3						-
4						-
5						-
6						-

No.	Sensitivity of upper yield point determination %	Sensitivity of upper yield point in % reduction in force %Fmax
1	1	0,000
2		
3		
4		
5		
6		

No.	Set start position after test	Span mm	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
1	Yes	500	No	1	
2				2	
3				3	
4				4	
5				5	
6				6	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min
1	Flat specimen		5	200
2				
3				
4				
5				
6				

No.	Speed, yield point mm/min	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed N/s
1	10	-	Simple	No	270
2		-			
3		-			
4		-			
5		-			
6		-			

No.	Test standard	Tester	Time save interval s	Time up to pre-load s	Tool separation at start position mm
1			0,1	60	370,00
2					
3					
4					
5					
6					

No.	Travel after break mm	Travel after upper yield point %	Travel save interval up to break $\mu\text{m}$
1	5	2	10
2			
3			
4			
5			
6			

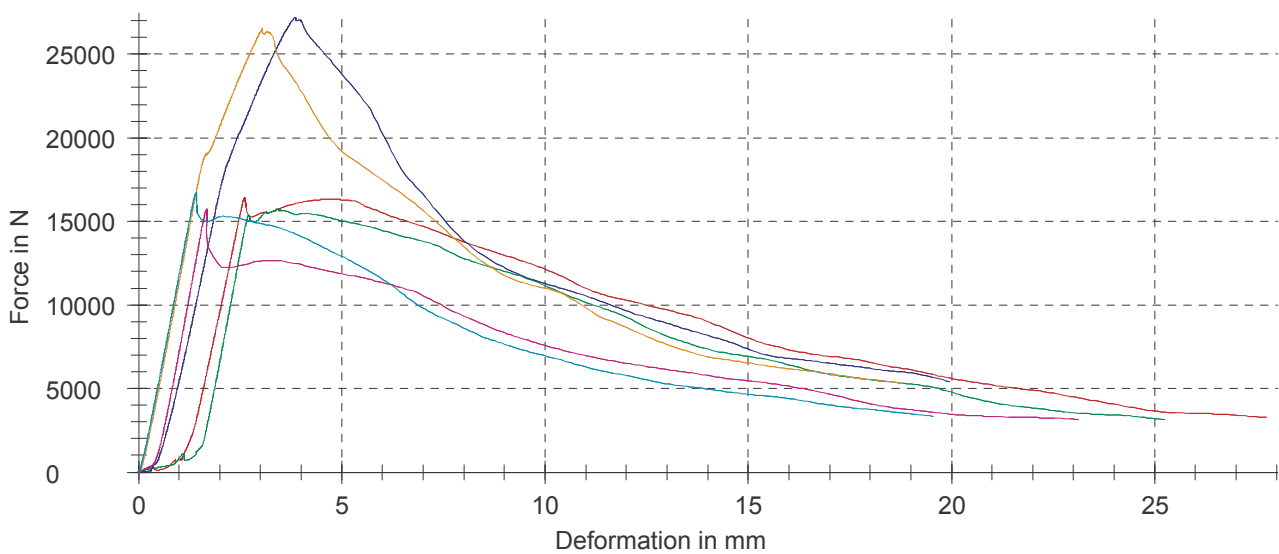
No.	Travel save interval $\mu\text{m}$	Yield point determination	Type and designation	Type of testing	Upper force limit N
1	2			3-Point flexure test	200
2					
3					
4					
5					
6					

No.	W to break Nmm	W to $F_{\text{max}}$ Nmm	Yield point ratio %	Youngs Modulus per hysteresis loop	Zero the force after pre-load
1	-	-	-	No	No
2	-	-	-		
3	-	-	-		
4	-	-	-		
5	-	-	-		
6	-	-	-		

No.	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path	Activate video capture layout
1	One time per series	15:07:26	No	None	Yes
2		15:57:57			
3		16:21:16			
4		16:51:43			
5		17:01:46			
6		17:26:21			

No.	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
1	Yes	No
2		
3		
4		
5		
6		

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	Upper yield point N	dL at upper yield point mm	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	19700	2,7	19700	2,7	3930	22,4	125	150	18750,00
s	5560	1,0	5560	1,0	1110	3,6	0,000	0,000	0,00
v} [%]	28,21	36,18	28,21	36,18	28,19	16,01	0,00	0,00	0,00

24.05.16

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 0,1 MPa  
 Test speed : 0,05 MPa/s

### Test results:

No.	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	Cross-section correction factor	Customer
20	16900	2,8	16900	2,8	90	100	9000,00	1	
21	19400	2,6	19400	2,6	90	100	9000,00		
22	22500	3,2	22200	3,2	90	100	9000,00		
23	19800	2,8	19700	2,8	90	100	9000,00		
24	14000	2,2	14000	2,2	90	100	9000,00		
25	18700	3,1	18700	3,1	90	100	9000,00		

No.	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	Expanded control	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N
20	24.05.2016	24.05.2016 14:35:37	1	No	-	-	-	-
21	24.05.2016	24.05.2016 14:42:38			-	-	-	-
22	24.05.2016	24.05.2016 14:50:15			-	-	-	-
23	24.05.2016	24.05.2016 14:56:32			-	-	-	-
24	24.05.2016	24.05.2016 15:01:08			-	-	-	-
25	24.05.2016	24.05.2016 15:53:10			-	-	-	-

No.	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N	Force save interval N	Force shutdown threshold %F <sub>max</sub>	Force threshold for break investigation %F <sub>nom</sub>
20	-	-	1	80	0,1
21	-	-			
22	-	-			
23	-	-			
24	-	-			
25	-	-			

No.	Force transition %	L <sub>0</sub> mm	Gage length correction	L <sub>c</sub> mm	Grip to grip separation at the start position mm	Heading
20	5	-	No	-	638,00	Test report
21		-		-		
22		-		-		
23		-		-		
24		-		-		
25		-		-		

No.	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data
20				Sequential change	
21					
22					
23					
24					
25					

No.	Strain at break (manual) %	Material	Max. temporal reduction in force N	Maximum extension %
20	-		1	80
21	-			
22	-			
23	-			
24	-			
25	-			

No.	Maximum test duration min	Z %	Negative cross-section correction value mm <sup>2</sup>	Negative strain step %
20	1	-	0,000	10
21		-		
22		-		
23		-		
24		-		
25		-		

No.	Next/New specimen	Nominal strain at break mm	Nominal strain at F <sub>max</sub> mm	Note
20		-	-	
21		-	-	
22		-	-	
23		-	-	
24		-	-	
25		-	-	

No.	Number of captures for break detection	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax
20	50	5
21		
22		
23		
24		
25		

No.	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %
20	0,5	0,500	10
21			
22			
23			
24			
25			

No.	Pre-load MPa	Pre-load hold time mode	Preset for the crosshead's gage length	Pre-treatment
20	0,1	No hold time	Grip to grip separation	
21				
22				
23				
24				
25				

No.	Set start position after test	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
20	No	No	1	
21			2	
22			3	
23			4	
24			5	
25			6	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min	Tear length km
20	Flat specimen		5	200	-
21					-
22					-
23					-
24					-
25					-

No.	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed MPa/s	Test standard	Tester
20	-	Simple	No	0,05		
21	-					
22	-					
23	-					
24	-					
25	-					

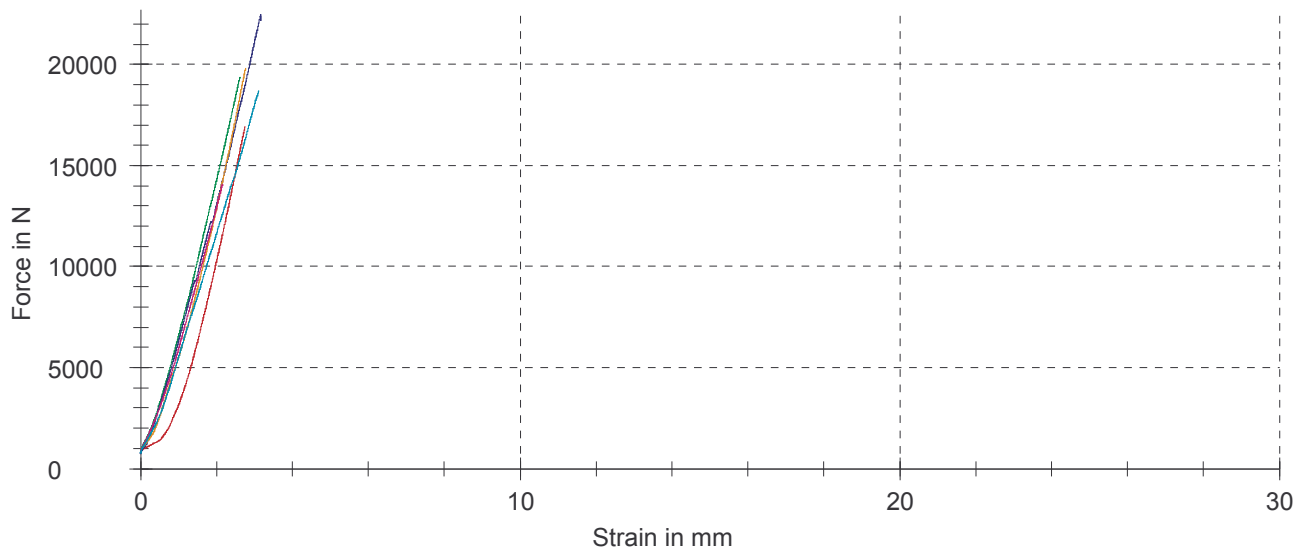
No.	Time save interval s	Time up to pre-load s	Travel after break mm	Travel save interval up to break $\mu$ m
20	0,1	60	5	10
21				
22				
23				
24				
25				

No.	Type and designation	Upper force limit N	W to break Nmm	W to F <sub>max</sub> Nmm	Youngs Modulus per hysteresis loop
20		200	-	-	No
21			-	-	
22			-	-	
23			-	-	
24			-	-	
25			-	-	

No.	Zero the force after pre-load	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path
20	No	One time per series	14:35:37	No	None
21			14:42:38		
22			14:50:15		
23			14:56:32		
24			15:01:08		
25			15:53:10		

No.	Activate video capture layout	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
20	Yes	Yes	No
21			
22			
23			
24			
25			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	18600	2,8	18500	2,8	90	100	9000,00
s	2860	0,4	2760	0,4	0,000	0,000	0,00
v} [%]	15,42	13,30	14,93	13,30	0,00	0,00	0,00



## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 0,1 MPa  
 Test speed : 0,05 MPa/s

## Test results:

No.	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	Cross-section correction factor	Customer
14	12800	2,5	10100	2,9	90	100	9000,00	1	
15	23200	3,7	20100	3,7	90	100	9000,00		
16	21700	2,9	21500	2,9	90	100	9000,00		
17	22100	3,4	21700	3,4	90	100	9000,00		
18	23800	3,8	22800	3,8	90	100	9000,00		
19	22400	4,1	21900	4,1	90	100	9000,00		

No.	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	Expanded control	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N
14	24.05.2016	24.05.2016 12:52:16	1	No	-	-	-	-
15	24.05.2016	24.05.2016 12:59:11			-	-	-	-
16	24.05.2016	24.05.2016 13:04:59			-	-	-	-
17	24.05.2016	24.05.2016 14:06:50			-	-	-	-
18	24.05.2016	24.05.2016 14:13:07			-	-	-	-
19	24.05.2016	24.05.2016 14:26:51			-	-	-	-

No.	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N	Force save interval N	Force shutdown threshold %F <sub>max</sub>	Force threshold for break investigation %F <sub>nom</sub>
14	-	-	1	80	0,1
15	-	-			
16	-	-			
17	-	-			
18	-	-			
19	-	-			

No.	Force transition %	L <sub>0</sub> mm	Gage length correction	L <sub>c</sub> mm	Grip to grip separation at the start position mm	Heading
14	5	-	No	-	637,50	Test report
15		-		-		
16		-		-		
17		-		-		
18		-		-		
19		-		-		

No.	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data
14				Sequential change	
15					
16					
17					
18					
19					

No.	Strain at break (manual) %	Material	Max. temporal reduction in force N	Maximum extension %
14	-		1	80
15	-			
16	-			
17	-			
18	-			
19	-			

No.	Maximum test duration min	Z %	Negative cross-section correction value mm <sup>2</sup>	Negative strain step %
14	1	-	0,000	10
15		-		
16		-		
17		-		
18		-		
19		-		

No.	Next/New specimen	Nominal strain at break mm	Nominal strain at F <sub>max</sub> mm	Note
14		-	-	
15		-	-	
16		-	-	
17		-	-	
18		-	-	
19		-	-	

No.	Number of captures for break detection	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax
14	50	5
15		
16		
17		
18		
19		

No.	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %
14	0,5	0,500	10
15			
16			
17			
18			
19			

No.	Pre-load MPa	Pre-load hold time mode	Preset for the crosshead's gage length	Pre-treatment
14	0,1	No hold time	Grip to grip separation	
15				
16				
17				
18				
19				

No.	Set start position after test	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
14	No	No	1	
15			2	
16			3	
17			4	
18			5	
19			6	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min	Tear length km
14	Flat specimen		5	200	-
15					-
16					-
17					-
18					-
19					-

No.	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed MPa/s	Test standard	Tester
14	-	Simple	No	0,05		
15	-					
16	-					
17	-					
18	-					
19	-					

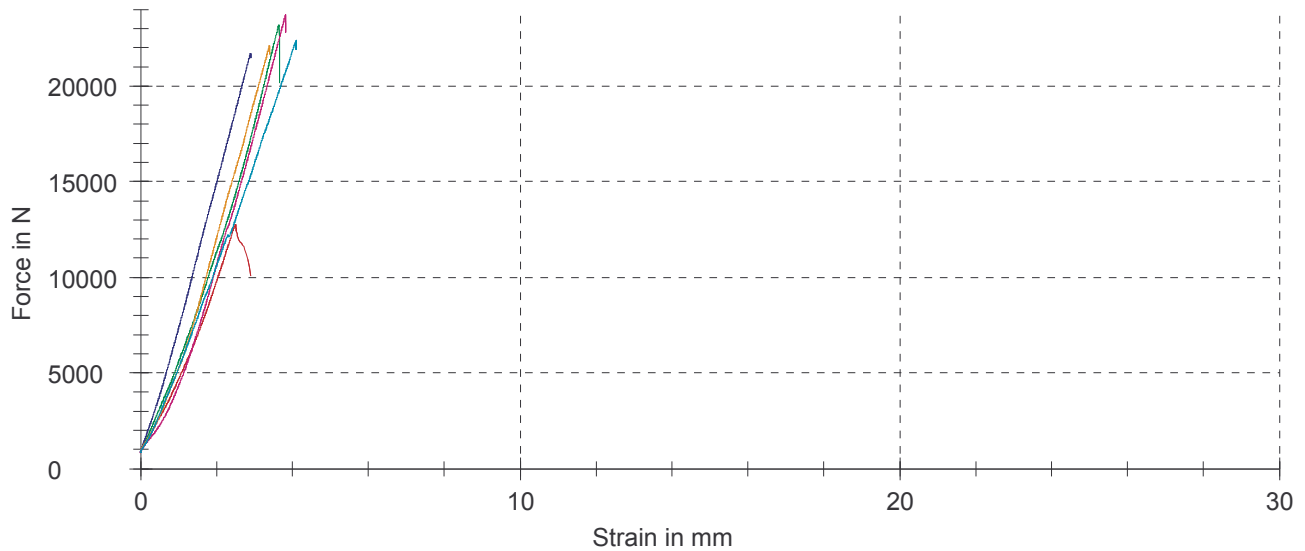
No.	Time save interval s	Time up to pre-load s	Travel after break mm	Travel save interval up to break $\mu$ m
14	0,1	60	5	10
15				
16				
17				
18				
19				

No.	Type and designation	Upper force limit N	W to break Nmm	W to F <sub>max</sub> Nmm	Youngs Modulus per hysteresis loop
14		200	-	-	No
15			-	-	
16			-	-	
17			-	-	
18			-	-	
19			-	-	

No.	Zero the force after pre-load	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path
14	No	One time per series	12:52:16	No	None
15			12:59:11		
16			13:04:59		
17			14:06:50		
18			14:13:07		
19			14:26:51		

No.	Activate video capture layout	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
14	Yes	Yes	No
15			
16			
17			
18			
19			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	21000	3,4	19700	3,5	90	100	9000,00
s	4100	0,6	4790	0,5	0,000	0,000	0,00
v} [%]	19,53	17,67	24,34	14,22	0,00	0,00	0,00

24.05.16

## Test report

Customer : Specimen type :  
 Job no. : Pre-treatment :  
 Test standard : Tester :  
 Type and designation : Note :  
 Material : Machine data :  
 Specimen removal :

Pre-load : 0,1 MPa  
 Test speed : 0,05 MPa/s

## Test results:

No.	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>	Cross-section correction factor	Customer
7	22900	5,3	19600	5,7	45	100	4500,00	1	
8	21300	3,2	19400	3,2	45	100	4500,00		
† 9	-	-	-	-	45	100	4500,00		
10	23200	3,2	20400	3,3	90	100	9000,00		
11	22000	3,3	22000	3,3	90	100	9000,00		
12	22400	3,3	21100	3,7	90	100	9000,00		
13	24000	3,4	21300	3,5	90	100	9000,00		

No.	Date	Date/Clock time	Delay at speed switching	Expanded control	F <sub>x1</sub> N	F <sub>x2</sub> N	F <sub>x3</sub> N	F <sub>x4</sub> N
7	24.05.2016	24.05.2016 12:05:12	1	No	-	-	-	-
8	24.05.2016	24.05.2016 12:12:05			-	-	-	-
† 9	24.05.2016	<del>24.05.2016 12:18:13</del>			-	-	-	-
10	24.05.2016	24.05.2016 12:18:56			-	-	-	-
11	24.05.2016	24.05.2016 12:24:52			-	-	-	-
12	24.05.2016	24.05.2016 12:30:58			-	-	-	-
13	24.05.2016	24.05.2016 12:43:44			-	-	-	-

No.	F <sub>x5</sub> N	F <sub>x6</sub> N	Force save interval N	Force shutdown threshold %Fmax	Force threshold for break investigation %Fnom
7	-	-	1	80	0,1
8	-	-			
† 9	-	-			
10	-	-			
11	-	-			
12	-	-			
13	-	-			

No.	Force transition %	L <sub>0</sub> mm	Gage length correction	L <sub>c</sub> mm	Grip to grip separation at the start position mm	Heading
7	5	-	No	-	636,85	Test report
8		-		-		
† 9		-		-		
10		-		-		
11		-		-		
12		-		-		
13		-		-		

No.	Inputs about the specimen	Inputs after the test	Job no.	Layout for specimen display	Machine data
7				Sequential change	
8					
† 9					
10					
11					
12					
13					

No.	Strain at break (manual) %	Material	Max. temporal reduction in force N	Maximum extension %
7	-		1	80
8	-			
† 9	-			
10	-			
11	-			
12	-			
13	-			

No.	Maximum test duration min	Z %	Negative cross-section correction value mm <sup>2</sup>	Negative strain step %
7	1	-	0,000	10
8		-		
† 9		-		
10		-		
11		-		
12		-		
13		-		

No.	Next/New specimen	Nominal strain at break mm	Nominal strain at F <sub>max</sub> mm	Note
7		-	-	
8		-	-	
† 9		-	-	
10		-	-	
11		-	-	
12		-	-	
13		-	-	

No.	Number of captures for break detection	Percentage reduction in force for speed switching %Fmax
7	50	5
8		
† 9		
10		
11		
12		
13		

No.	Permissible deviation for the force zero-point %Fnom	Permissible deviation from the start position mm	Positive strain step %
7	0,5	0,500	10
8			
† 9			
10			
11			
12			
13			

No.	Pre-load MPa	Pre-load hold time mode	Preset for the crosshead's gage length	Pre-treatment
7	0,1	No hold time	Grip to grip separation	
8				
† 9				
10				
11				
12				
13				

No.	Set start position after test	Specimen load removal	Specimen no.	Specimen removal
7	No	No	1	
8			2	
† 9			3	
10			4	
11			5	
12			6	
13			7	

No.	Specimen shape for cross-section calculation	Specimen type	Speed, pre-load mm/min	Speed, start position mm/min	Tear length km
7	Flat specimen		5	200	-
8					-
† 9					-
10					-
11					-
12					-
13					-



No.	t <sub>Test</sub> s	Test phase Yield point	Test phase Youngs Modulus determination	Test speed MPa/s	Test standard	Tester
7	-	Simple	No	0,05		
8	-					
† 9	-					
10	-					
11	-					
12	-					
13	-					

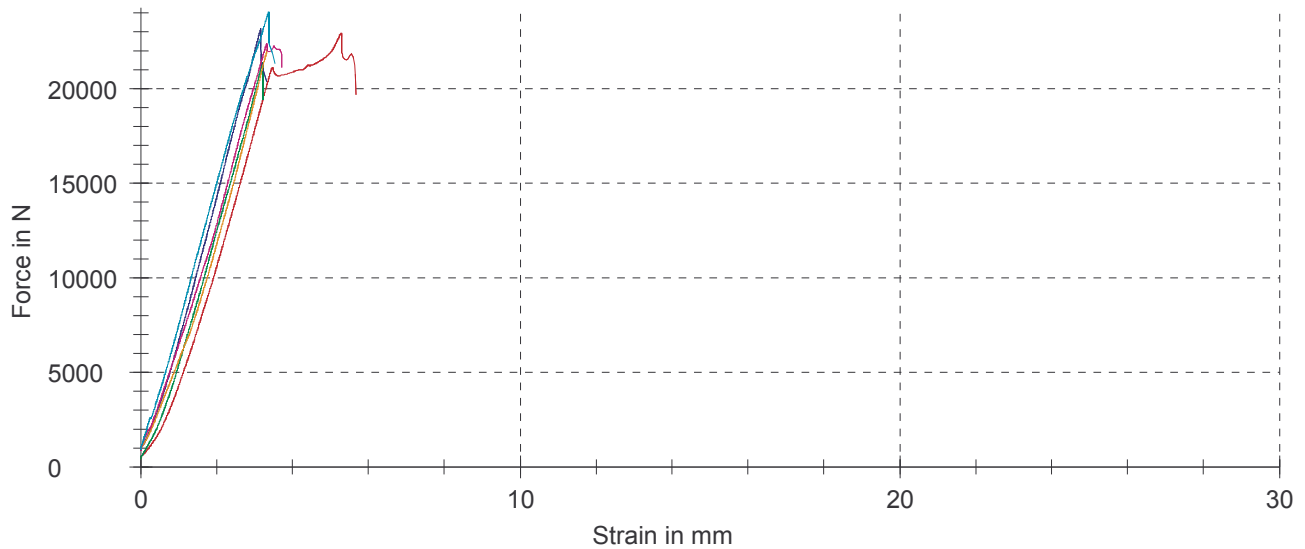
No.	Time save interval s	Time up to pre-load s	Travel after break mm	Travel save interval up to break µm
7	0,1	60	5	10
8				
† 9				
10				
11				
12				
13				

No.	Type and designation	Upper force limit N	W to break Nmm	W to F <sub>max</sub> Nmm	Youngs Modulus per hysteresis loop
7		200	-	-	No
8			-	-	
† 9			-	-	
10			-	-	
11			-	-	
12			-	-	
13			-	-	

No.	Zero the force after pre-load	Consistency test	Clock time	Automatic force zeroing	Approach path
7	No	One time per series	12:05:12	No	None
8			12:12:05		
† 9			12:18:13		
10			12:18:56		
11			12:24:52		
12			12:30:58		
13			12:43:44		

No.	Activate video capture layout	Activate media layout	Accept the current crosshead position as the start position
7	Yes	Yes	No
8			
† 9			
10			
11			
12			
13			

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	F <sub>max</sub> N	dL at F <sub>max</sub> mm	F <sub>Break</sub> N	dL at break mm	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	S <sub>0</sub> mm <sup>2</sup>
$\bar{x}$	22600	3,6	20600	3,8	75	100	7500,00
s	944	0,8	1020	0,9	23,24	0,000	2323,79
v} [%]	4,17	22,71	4,92	24,60	30,98	0,00	30,98

# Testrapport UHPFRC

07.02.2016

“Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete”

**Utført av:** Simen Rindebakken  
**Dato:** 07.02.2016  
**Testtype:** Trykkfasthet, bøyestrekfasthet  
**Resept:** 1  
**Støp Nr.** A

## Hensikt

Hensikten med forsøket var å foreta en prøvestøp av en resept som skal brukes til videre arbeid.

## Utstyr

- Blandemaskin 50L, levert av «Zyklus»
- Utstyr for måling av lufporeinnhold, levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Utstyr for måling av flyt.
- Varmekammer, levert av «Termaks»
- Maskin for testing av trykkfasthet, M1 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Maskin for testing av bøyestrekfasthet, M3 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»

## Fremgangsmåte for utstøping av prøvelegemer

Mengde ferdig blanding ble bestemt til ca. 10 liter. Delmaterialene ble målt opp til nærmeste hele gram. Alt tørt materiale ble tilsatt blanderen i henhold til resept (se vedlegg A). Temperaturen ble målt og blanderen gikk i 10 minutter. Deretter ble det skrapet rundt kantene, temperatur ble på nytt målt og vann og SP-stoff ble tilsatt umiddelbart etter at blanderen ble startet igjen. Blanderen gikk nye 10 minutter før temperatur ble målt, skraping ble gjennomført og gikk i 5 nye minutter. Temperatur ble målt og fiber ble tilsatt mens blanderen gikk for optimal fordeling. Blanderen gikk deretter i 10 minutter. Temperaturen ble målt og blandingen ble støpt ut i 3 terninger med størrelse 100x100x100 og 3 prismer med størrelse 40x40x160. Prøvene ble vibrert for komprimering i form. Luftinnhold og utbredelsesmål ble målt.

**Tilstede under utstøping:** Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal.

## Resultat av ferskegenskaper

Dato: 02.02.2016  
 Starttidspunkt: 12:55  
 Sluttidspunkt: 13:20  
 Total blandetid: 35 minutter

Luftporeinnhold [%]	4,5
Flyt [cm]	13,2
Flyt etter 15 dropp [cm]	17,2

Tid [min]	0	10	20	25	35
Temperatur[°C]	18,7	22,0	23,7	24,9	26,9

## Herderegime

Prøvelegemene sto til herding i romtemperatur (Ca. 20 °C) i 48 timer. De ble avformet og plassert neddykket i vann i varmeskap for 48 timer herding ved 90 °C.

## Fremgangsmåte for testing av trykkfasthet og bøyestrekfasthet

Prøvelegemene ble tatt ut av varmeskap og temperert i vannbad. De ble veid i vann, høytrykkstørket og veid tørre. Deretter ble de børstet for støv slik at dette ikke skulle gi utslag på resultatene. Det ble opprettet et testprogram i «Proteus MT» på datamaskinen og testingen ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-5: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers bøyestrekfasthet» og «NS-EN 12390-3: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers trykkfasthet».

*Tilstede under testing: Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal*

## Resultat av herdnet betongegenskaper

Dato: 06.02.2016

Terninger:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt trykkfasthet [MPa]
1	1296,9	2290,6	149,6
2	1302,5	2298,5	159,0
3	1285,6	2266,3	155,4
<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>			<b>154,67</b>

Prismer:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt bøyestrekfasthet [MPa]	Målt trykkfasthet V. [MPa]	Målt trykkfasthet H. [MPa]
1	335,6	588,5	17,1	201,9	200,4
2	345,4	605,3	18,5	200,2	<b>207,2</b>
3	336,0	588,6	16,2	197,6	198,1
<b>Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet</b>			<b>17,27</b>	<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>	<b>200,9</b>

## Oppsummering

Blanding var vanskelig å støpe ut og jobbe med. Testingen av bøyestrekfasthet gikk som forventet. Testingen av trykkfasthet overgikk forventningene. Til sammenligning var høyest målte trykkfasthet for UHPFRC med kun knust tilslag på Universitetets laboratorium 200,2 MPa. Forsøket anses derfor som vellykket og resepten blir arbeidet videre med for optimalisering.

## Feilkilder

Dårlig utstøping som kan føre til flere porer, som igjen vil gi betongen lavere trykkfasthet. (Som antas å være tilfellet grunnet differansen i fasthet mellom terninger og prizmer)

Vanskeligheter med komprimering og utstøping av betongen kan også gi utslag på testing av luftinnhold.

Det kan ligge små støv- og sandkorn mellom stampelet og prøvelegemene. Dette vil føre til at maskinen stopper tidligere, ettersom den er registrert til å stoppe når noe gir etter og med det oppgi en lavere trykkfasthet.

### **Forslag til videre arbeid**

Siden egenskapene i fersk tilstand ikke var tilfredsstillende er det ønskelig å undersøke om retarderende stoff kan bedre støpeligheten for UHPFRC.

### **Kommentar**

Ved en senere anledning ble det avdekket at fillerne fra Velde var forvekslet. Dette ble avdekket etter at nye siktekurver ble utarbeidet ved bruk av «Mastersizer 3000». Her ble det også oppdaget at fillerne var endret siden resept ble lagd. Derfor ble det satt i gang arbeid med å lage nye resepter tilpasset de nye siktekurvene.

### **Vedlegg: 2**

- A**      Resept 1
- B**      Bilder
- C**      Form-oversikt A, B, C

**Vedlegg A**

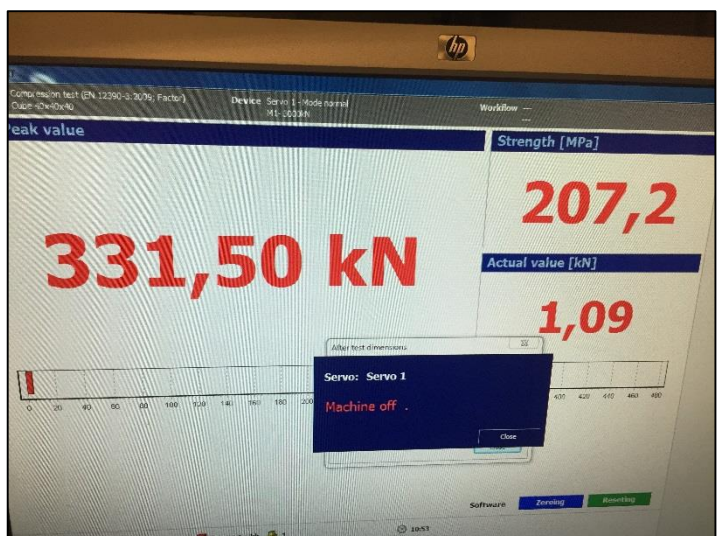
<b>Resept</b>	<b>Produsert av</b>
1	Bachelorgruppe ved UiA

Hensikt	V/B-tall	Q-verdi	Mengde SP-stoff [%]	Mengde fiber [%]
Maks trykkfasthet	0,15	0,25	15	0,8

Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
Aalborg rapid sement	836,4
Flyveaske	103,2
Microsilica	206,5
Velde Finfiller	825,6
Velde Mellomfiller	206,3
Fiber	63,2
SP-stoff	125,5
Vann	69,0
<b>Proporsjonert betongdensitet</b>	<b>2435,7</b>

Blandeprosedyre									
Finfiller	10 min	Skraping	Vann	10 min	Skraping	5 min	Fiber	10 min	Ferdig
Microsilica			SP-Stoff						
Flyveaske			(Husk å riste)						
Sement									
Mellomfiller									

**Vedlegg B**





## Vedlegg C



A: Resept 1, Normal  
(Se innstøpingslengde av fiber under koppen!)

A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub>: Kopper med innstøpte fiber. Skriv A1 ½, A2 ½, A3 ½

A<sub>4</sub>-A<sub>6</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A4 ¼, A5 ¼, A6 ¼

A<sub>7</sub>-A<sub>9</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A7 ¼, A8 ¼, A9 ¼

A<sub>10</sub>-A<sub>12</sub>: Prismer.

A<sub>13</sub>-A<sub>15</sub>: Terninger

B: Resept 1, 1% Retarder

B<sub>1</sub>-B<sub>3</sub>: Kopper med innstøpte fiber. Skriv A1 ½, A2 ½, A3 ½

B<sub>4</sub>-B<sub>6</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A4 ¼, A5 ¼, A6 ¼

B<sub>7</sub>-B<sub>9</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A7 ¼, A8 ¼, A9 ¼

B<sub>10</sub>-B<sub>12</sub>: Prismer.

B<sub>13</sub>-B<sub>15</sub>: Terninger – 0 min

B<sub>16</sub>-B<sub>18</sub>: Terninger – 15-20 min

C: Resept 1, 2% Retarder

C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>: Prismer

C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>: Terninger

C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>: Baller



# Testrapport UHPFRC

10.02.2016

“Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete”

**Utført av:** Simen Rindebakken  
**Dato:** 10.02.2016  
**Testtype:** Trykkfasthet, bøyestrekfasthet, ferskegenskaper  
**Resept:** 1 (modifisert)  
**Støp Nr.** B

## Hensikt

Hensikten med forsøket var å undersøke om retarderende stoff kunne bedre ferskegenskapene til UHPFRC som testet i støp A. Hvilken innvirkning har dette på trykk- og bøyestrekfasthet?

## Utstyr

- Blandemaskin 50L, levert av «Zyklus»
- Utstyr for måling av lufporeinnhold, levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Utstyr for måling av flyt.
- Varmekammer, levert av «Termaks»
- Maskin for testing av trykkfasthet, M1 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Maskin for testing av bøyestrekfasthet, M3 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»

## Fremgangsmåte for utstøping av prøvelegemer

Mengde ferdig blanding ble bestemt til ca. 10 liter. Delmaterialene ble målt opp til nærmeste hele gram. Alt tørt materiale ble tilsatt blanderen i henhold til resept (se vedlegg A). Temperaturen ble målt og blanderen gikk i 10 minutter. Deretter ble det skrapet rundt kantene, temperatur ble på nytt målt og vann, SP-stoff og 1% retarderende stoff ble tilsatt umiddelbart etter at blanderen ble startet igjen. Blanderen gikk nye 10 minutter før temperatur ble målt, skraping ble gjennomført og gikk i 5 nye minutter. Temperatur ble målt og fiber ble tilsatt mens blanderen gikk for optimal fordeling. Blanderen gikk deretter i 10 minutter. Temperaturen ble målt og blandingen ble støpt ut i 7 terninger med størrelse 100x100x100 og 3 prismer med størrelse 40x40x160. Prøvene ble vibrert for komprimering i form. Luftinnhold og utbredelsesmål ble målt.

**Tilstede under utstøping:** Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal.

## Resultat av ferskegenskaper

**Dato:** 02.02.2016  
**Starttidspunkt:** 14:00  
**Sluttidspunkt:** 14:35  
**Total blandetid:** 35 minutter

<b>Luftporeinnhold [%]</b>	4,6
<b>Flyt [cm]</b>	16,2
<b>Flyt etter 15 dropp [cm]</b>	21,45

<b>Tid [min]</b>	0	10	20	25	35
<b>Temperatur[°C]</b>	19,0	21,0	23,3	24,5	25,7

## Herderegime

Prøvelegemene sto til herding i romtemperatur (Ca. 20 °C) i 48 timer. Dette viste seg å ikke være tilstrekkelig..... De ble avformet og plassert neddynket i vann i varmeskap for 48 timer herding ved 90 °C.

## Fremgangsmåte for testing av trykkfasthet og bøyestrekfasthet

Prøvelegemene ble tatt ut av varmeskap og temperert i vannbad. De ble veid i vann, høytrykkstørket og veid tørre. Deretter ble de børstet for støv slik at dette ikke skulle gi utslag på resultatene. Det ble opprettet et testprogram i «Proteus MT» på datamaskinen og testingen ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-5: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers bøyestrekfasthet» og «NS-EN 12390-3: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers trykkfasthet».

*Tilstede under testing: Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal*

## Resultat av herdnet betongegenskaper

Dato: 09.02.2016

Terninger:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt trykkfasthet [MPa]
1	1287,0	2277,7	164,1
2	2178,0	2263,0	161,7
3	1288,0	2280,2	156,4
4	1300,0	2293,2	108,4
5	1301,7	2300,3	129,6
6	1293,0	2284,7	148,8
7	1300,5	2294,8	139,8
<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>			<b>144,11</b>

Prismer:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt bøyestrekfasthet [MPa]	Målt trykkfasthet V. [MPa]	Målt trykkfasthet H. [MPa]
1	330,0	582,6	12,0	134,3	176,3
2	329,2	581,7	17,2	<b>195,1</b>	177,6
3	325,1	591,4	16,7	182,3	169,5
<b>Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet</b>			<b>15,3</b>	<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>	<b>172,52</b>

## Oppsummering

Tilsetningen av 1 % retarder er langt høyere enn anbefalingen fra produsent. Dette ga utslag ved at prøvelegemene måtte ligge lenger i formene enn vanlig. Dog anses ferskegenskapene som gode. Testingen av bøyestrekfasthet gikk som forventet. Testingen av trykkfasthet viser stort sprik i trykkfasthet, noe som gir grunn til mistanke. Samtidig er gjennomsnittlig trykkfasthet for terninger og prizmer henholdsvis 6,8 og 14,1 % lavere enn opprinnelig resept. Spriket mellom gjennomsnittlig trykkfasthet for terninger og prizmer er lavere og det konkluderes derfor med at utstøping er bedre.

### **Feilkilder**

Dårlig utstøping som kan føre til flere porer, som igjen vil gi betongen lavere trykkfasthet. (Som antas å være tilfellet grunnet differansen i fasthet mellom terninger og prismer)

Det kan ligge små støv- og sandkorn mellom stempelet og prøvelegemene. Dette vil føre til at maskinen stopper tidligere, ettersom den er registrert til å stoppe når noe gir etter og med det oppgi en lavere trykkfasthet.

Tilsetningen av retarderende stoff medførte avvik ifra erfart standard herderegime. Dette kan gi store utslag på endelig resultat.

### **Forslag til videre arbeid**

Siden effekten av retarderende stoff gjør at opprinnelig herderegime ikke kan opprettholdes arbeides det ikke videre med denne tilsetningen for denne gang. Det bør derfor undersøkes om hvilken innvirkning ulike typer SP-stoff og doseringer har på UHPFRC i fersk og herdnet tilstand.

### **Kommentar**

Ved en senere anledning ble det avdekket at fillerne fra Velde var forvekslet. Dette ble avdekket etter at nye siktekurver ble utarbeidet ved bruk av «Mastersizer 3000». Her ble det også oppdaget at fillerne var endret siden resept ble lagd. Derfor ble det satt i gang arbeid med å lage nye resepter tilpasset de nye siktekurvene. Dette kan være et utfyllende svar på varierende resultater.

### **Vedlegg: 2**

- A**     Resept 1 (modifisert)
- B**     Form-oversikt A, B, C

**Vedlegg A**

<b>Resept</b>	<b>Produsert av</b>
1 (Modifisert)	Bachelorgruppe ved UiA

**Modifisert av:** Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal.

Hensikt	V/B-tall	Q-verdi	Mengde SP-stoff [%]	Mengde fiber [%]
Maks trykkfasthet	0,15	0,25	15	0,8

Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
Aalborg rapid sement	836,4
Flyveaske	103,2
Microsilica	206,5
Velde Finfiller	825,6
Velde Mellomfiller	206,3
Fiber	63,2
SP-stoff	125,5
Retarderende-stoff	8,4
Vann	69,0
<b>Proporsjonert betongdensitet</b>	<b>2444,1</b>

Blandeprosedyre									
Finfiller	10 min	Skraping	Vann	10 min	Skraping	5 min	Fiber	10 min	Ferdig
Microsilica			SP-Stoff						
Flyveaske			(Husk å riste)						
Sement									
Mellomfiller									

## Vedlegg B



A: Resept 1, Normal  
(Se innstøpingslengde av fiber under koppen!)

A<sub>1</sub>-A<sub>3</sub>: Kopper med innstøpte fiber. Skriv A1 ½, A2 ½, A3 ½

A<sub>4</sub>-A<sub>6</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A4 ¼, A5 ¼, A6 ¼

A<sub>7</sub>-A<sub>9</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A7 ¼, A8 ¼, A9 ¼

A<sub>10</sub>-A<sub>11</sub>: Prismer.

A<sub>12</sub>-A<sub>13</sub>: Terninger

B: Resept 1, 1% Retarder

B<sub>1</sub>-B<sub>3</sub>: Kopper med innstøpte fiber. Skriv A1 ½, A2 ½, A3 ½

B<sub>4</sub>-B<sub>6</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A4 ¼, A5 ¼, A6 ¼

B<sub>7</sub>-B<sub>9</sub>: Kopper med innstøpte fiber. A7 ¼, A8 ¼, A9 ¼

B<sub>10</sub>-B<sub>11</sub>: Prismer.

B<sub>12</sub>-B<sub>13</sub>: Terninger – 0 min

B<sub>14</sub>-B<sub>15</sub>: Terninger – 15-20 min

C: Resept 1, 2% Retarder

C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>: Prismer

C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub>: Terninger

C<sub>5</sub>-C<sub>6</sub>: Baller

# Testrapport UHPFRC

11.02.2016

“Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete”

**Utført av:** Simen Rindebakken  
**Dato:** 11.02.2016  
**Testtype:** Trykkfasthet, bøyestrekfasthet, ferskegenskaper  
**Resept:** 1  
**Støp Nr.** D

## Hensikt

Hensikten med forsøket var å undersøke hvilken innvirkning en reduksjon av SP-mengden har på egenskapene i fersk og herdnet tilstand. (Fra 15 % til 5 % av sementmengden)

## Utstyr

- Blandemaskin 50L, levert av «Zyklus»
- Utstyr for måling av lufporeinnhold, levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Utstyr for måling av flyt.
- Varmekammer, levert av «Termaks»
- Maskin for testing av trykkfasthet, M1 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Maskin for testing av bøyestrekfasthet, M3 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»

## Fremgangsmåte for utstøping av prøvelegemer

Mengde ferdig blanding ble bestemt til ca. 15 liter. Delmaterialene ble målt opp til nærmeste hele gram. Alt tørt materiale ble tilsatt blanderen i henhold til resept (se vedlegg A). Temperaturen ble målt og blanderen gikk i 10 minutter. Deretter ble det skrapet rundt kantene, temperatur ble på nytt målt og vann og SP-stoff ble tilsatt umiddelbart etter at blanderen ble startet igjen. Blanderen gikk nye 10 minutter før temperatur ble målt, skraping ble gjennomført og gikk i 5 nye minutter. Temperatur ble målt og fiber ble tilsatt mens blanderen gikk for optimal fordeling. Blanderen gikk deretter i 11 minutter. Temperaturen ble målt og blandingen ble støpt ut i 12 terninger med størrelse 100x100x100 og 6 prismer med størrelse 40x40x160. Prøvene ble vibrert for komprimering i form. Luftinnhold og utbredelsesmål ble målt.

**Tilstede under utstøping:** Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal.

## Resultat av ferskegenskaper

**Dato:** 06.02.2016  
**Starttidspunkt:** 12:30  
**Sluttidspunkt:** 13:06  
**Total blandetid:** 36 minutter

<b>Luftporeinnhold [%]</b>	4,65
<b>Flyt [cm]</b>	9,7
<b>Flyt etter 15 dropp [cm]</b>	13,5

<b>Tid [min]</b>	0	10	20	25	36
<b>Temperatur[°C]</b>	19,4	24,0	26,1	26,4	28,4

## Herderegime

Prøvelegemene sto til herding i romtemperatur (Ca. 20 °C) i 24 timer. De ble avformet og plassert neddykket i vann i varmeskap for 48 timer herding ved 90 °C.

## Fremgangsmåte for testing av trykkfasthet og bøyestrekfasthet

Prøvelegemene ble tatt ut av varmeskap og temperert i vannbad. De ble veid i vann, høytrykkstørket og veid tørre. Deretter ble de børstet for støv slik at dette ikke skulle gi utslag på resultatene. Det ble opprettet et testprogram i «Proteus MT» på datamaskinen og testingen ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-5: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers bøyestrekfasthet» og «NS-EN 12390-3: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers trykkfasthet».

*Tilstede under testing: Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal*

## Resultat av herdnet betongegenskaper

Dato: 09.02.2016

Terninger:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt trykkfasthet [MPa]
1	1313,5	2315,0	147,6
2	1309,7	2310,4	149,6
3	1296,2	2283,0	151,2
4	1298,8	2295,9	152,5
5	1296,5	2290,7	156,0
6	1300,5	2296,2	139,7
7	1296,3	2287,9	144,1
8	1331,3	2349,5	143,9
9	1314,3	2318,4	139,5
10	1330,2	2346,8	144,0
11	1289,3	2277,4	126,8
12	1301,6	2296,5	135,5
<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>			<b>144,2</b>

Prismer:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt bøyestrekfasthet [MPa]	Målt trykkfasthet V. [MPa]	Målt trykkfasthet H. [MPa]
1	332,1	584,9	19,8	191,0	134,1
2	332,1	585,4	19,6	181,6	<b>183,1</b>
3	333,8	585,4	17,6	168,6	189,4
4	337,1	590,7	18,9	189,2	194,3
5	334,0	586,8	18,7	182,3	161,1
6	339,9	595,7	15,7	182,6	162,9
<b>Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet</b>			<b>18,33</b>	<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>	<b>176,7</b>

### **Oppsummering**

Gjennomsnittlig trykkfasthet for terninger og prismer ble redusert med henholdsvis 7 og 12 % i forhold til referansestøp A. Flyt ble redusert med 26 %. Det kan konkluderes med at en reduksjon fra 15 til 5 % SP har en negativ innvirkning på egenskapene i fersk og herdnet tilstand.

### **Feilkilder**

Dårlig utstøping som kan føre til flere porer, som igjen vil gi betongen lavere trykkfasthet.

Vanskeligheter med komprimering og utstøping av betongen kan også gi utslag på testing av luftinnhold.

Det kan ligge små støv- og sandkorn mellom stampelet og prøvelegemene. Dette vil føre til at maskinen stopper tidligere, ettersom den er registrert til å stoppe når noe gir etter og med det oppgi en lavere trykkfasthet.

### **Forslag til videre arbeid**

Det er ønskelig å undersøke om 10 % istedenfor 15 % gir lik innvirkning. Eventuelt bør det ses på andre merker SP-stoff og en kombinasjon av disse.

### **Kommentar**

Ved en senere anledning ble det avdekket at fillerne fra Velde var forvekslet. Dette ble avdekket etter at nye siktekurver ble utarbeidet ved bruk av «Mastersizer 3000». Her ble det også oppdaget at fillerne var endret siden resept ble lagd. Derfor ble det satt i gang arbeid med å lage nye resepter tilpasset de nye siktekurvene.

### **Vedlegg: 2**

- A**     Resept
- B**     Bilder



**Vedlegg A**

<b>Resept</b>	<b>Produsert av</b>
1 (modifisert)	Bachelorgruppe ved UiA

Modifisert av: *Simen Rindebakken, Anette Heimdal og Ingrid Lande Larsen*

Hensikt	V/B-tall	Q-verdi	Mengde SP-stoff [%]	Mengde fiber [%]
Maks trykkfasthet	0,15	0,25	5	0,8

Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
Aalborg rapid sement	836,4
Flyveaske	103,2
Microsilica	206,5
Velde Finfiller	825,6
Velde Mellomfiller	206,3
Fiber	63,2
SP-stoff	41,83
Vann	137,6
<b>Proporsjonert betongdensitet</b>	<b>2420,63</b>

Blandeprosedyre									
Finfiller	10 min	Skraping	Vann	10 min	Skraping	5 min	Fiber	10 min	Ferdig
Microsilica			SP-Stoff						
Flyveaske			(Husk å riste)						
Sement									
Mellomfiller									

Se kommentar

**Vedlegg B**



# Testrapport UHPFRC

11.02.2016

“Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete”

**Utført av:** Simen Rindebakken  
**Dato:** 11.02.2016  
**Testtype:** Trykkfasthet, bøyestrekfasthet, ferskegenskaper  
**Resept:** 1  
**Støp Nr.** E

## Hensikt

Hensikten med forsøket var å undersøke hvilken innvirkning en reduksjon av SP-mengden og en kombinasjon av to ulike typer har på egenskapene i fersk og herdnet tilstand. (Fra 15 % til 10 % av sementmengden. 5% + 5%). Samtidig skulle det undersøkes om hvilken innvirkning herdetiden i romtemperatur har å si for fasthetsegenskapene.

## Utstyr

- Blandemaskin 50L, levert av «Zyklus»
- Utstyr for måling av lufporeinnhold, levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Utstyr for måling av flyt.
- Varmekammer, levert av «Termaks»
- Maskin for testing av trykkfasthet, M1 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Maskin for testing av bøyestrekfasthet, M3 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»

## Fremgangsmåte for utstøping av prøvelegemer

Mengde ferdig blanding ble bestemt til ca. 15 liter. Delmaterialene ble målt opp til nærmeste hele gram. Alt tørt materiale ble tilsatt blanderen i henhold til resept (se vedlegg A). Temperaturen ble målt og blanderen gikk i 10 minutter. Deretter ble det skrapet rundt kantene, temperatur ble på nytt målt og vann og SP-stoff ble tilsatt umiddelbart etter at blanderen ble startet igjen. Blanderen gikk nye 10 minutter før temperatur ble målt, skraping ble gjennomført og gikk i 5 nye minutter. Temperatur ble målt og fiber ble tilsatt mens blanderen gikk for optimal fordeling. Blanderen gikk deretter i 10 minutter. Temperaturen ble målt og blandingen ble tilsatt 5% mer SP-stoff pga. konsistensen. (Se vedlegg B). Totalt 15 %, som original resept. Blanderen gikk i 10 minutter før den ble støpt ut i 11 terninger med størrelse 100x100x100 og 6 prismer med størrelse 40x40x160. Prøvene ble vibrert for komprimering i form. Luftinnhold og utbredelsesmål ble målt.

**Tilstede under utstøping:** Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal.

## Resultat av ferskegenskaper

Dato: 06.02.2016  
 Starttidspunkt: 13:45  
 Sluttidspunkt: 14:30  
 Total blandetid: 45 minutter

Luftporeinnhold [%]	3,9
Flyt [cm]	20,85
Flyt etter 15 dropp [cm]	25,9

<b>Tid [min]</b>	0	10	20	25	35	45
<b>Temperatur[°C]</b>	19,0	25,0	27,8	28,4	31,0	30,7

### Herderegime

#### I:

4 terninger og 3 prismer sto til herding i romtemperatur (Ca. 20 °C) i 24 timer. De ble avformet og plassert neddykket i vann i varmeskap for 48 timer herding ved 90 °C.

#### II:

7 terninger og 3 prismer sto til herding i romtemperatur (Ca. 20 °C) i 48 timer. De ble avformet og plassert neddykket i vann i varmeskap for 48 timer herding ved 90 °C.

### Fremgangsmåte for testing av trykkfasthet og bøyestrekfasthet

Prøvelegemene ble tatt ut av varmeskap og temperert i vannbad. De ble veid i vann, høytrykkstørket og veid tørre. Deretter ble de børstet for støv slik at dette ikke skulle gi utslag på resultatene. Det ble opprettet et testprogram i «Proteus MT» på datamaskinen og testingen ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-5: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers bøyestrekfasthet» og «NS-EN 12390-3: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers trykkfasthet».

*Tilstede under testing I: Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal*

### Resultat av herdnet betongegenskaper - I

Dato: 09.02.2016

Terninger:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt trykkfasthet [MPa]
1	1307,7	2293,5	144,4
2	1313,3	2296,7	120,8
3	1316,4	2308,6	142,1
4	1307,2	2296,3	131,4
<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>			<b>134,68</b>

Prismer:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt bøyestrekfasthet [MPa]	Målt trykkfasthet V. [MPa]	Målt trykkfasthet H. [MPa]
1	342,6	599,0	14,9	199,4	207,1
2	340,0	594,4	14,8	186,1	189,3
3	341,0	596,3	18,1	135,8	184,3
<b>Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet</b>			<b>15,9</b>	<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>	<b>183,67</b>

**Tilstede under testing II: Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal****Resultat av herdnet betongegenskaper - II**

Dato: 10.02.2016

Terninger:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt trykkfasthet [MPa]
1	1321,0	2313,5	148,1
2	1317,7	2307,5	152,5
3	1338,5	2340,9	143,7
4	1309,2	2394,5	130,5
5	1318,8	2307,5	158,2
6	1332,1	2331,2	141,0
7	1315,4	2307,4	136,0
<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>			<b>144,3</b>

Prismer:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt bøyestrekfasthet [MPa]	Målt trykkfasthet V. [MPa]	Målt trykkfasthet H. [MPa]
1	333,5	583,9	17,6	175,2	176,0
2	333,9	584,5	16,7	196,8	187,3
3	332,5	580,9	17,0	164,6	171,2
<b>Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet</b>			<b>17,1</b>	<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>	<b>178,52</b>

**Oppsummering**

Ferskeegenskaper før tilsetning av mer SP-stoff var horrible og ikke mulig å støpe ut. Etter tilsetning av nye 5 % ser vi en positiv økning i flyt på 58 %. Dette grunnet økt vann/bindemiddel-forhold. Nytt v/b-tall = 0,18. Dette antas også å være en medvirkende årsak til reduksjon i trykkfasthet i forhold til referanseblanding A.

Når det gjelder herderegimet har terningene en høyere trykkfasthet ved herding i 48 timer enn 24 timer i romtemperatur. I motsetning har prismene lavere fasthet ved lenger herding i romtemperatur.

Det antas at terningene ikke har vært helt herdet etter 24 timer og derfor dratt nytte av 24 timer ekstra ved ca. 20 grader. Prismene er antageligvis herdet etter 24 timer og har derfor negativ innvirkning på fasthet ved økt tid i herdet tilstand i romtemperatur.

### **Feilkilder**

Dårlig utstøping som kan føre til flere porer, som igjen vil gi betongen lavere trykkfasthet.

Vanskeligheter med komprimering og utstøping av betongen kan også gi utslag på testing av luftinnhold.

Det kan ligge små støv- og sandkorn mellom stempelet og prøvelegemene. Dette vil føre til at maskinen stopper tidligere, ettersom den er registrert til å stoppe når noe gir etter og med det oppgi en lavere trykkfasthet.

### **Forslag til videre arbeid**

På grunn av store variasjoner internt i hver støp bør resept undersøkes. I tillegg kan det være interessant å undersøke om terninger og prizmer har fordel av å ha ulikt herderegime.

### **Kommentar**

Ved en senere anledning ble det avdekket at fillerne fra Velde var forvekslet. Dette ble avdekket etter at nye siktekurver ble utarbeidet ved bruk av «Mastersizer 3000». Her ble det også oppdaget at fillerne var endret siden resept ble lagd. Derfor ble det satt i gang arbeid med å lage nye resepter tilpasset de nye siktekurvene.

### **Vedlegg: 2**

**A**      Resept

**B**      Bilder

**Vedlegg A**

<b>Resept</b>	<b>Produsert av</b>
1 (modifisert)	Bachelorgruppe ved UiA

Modifisert av: *Simen Rindebakken, Anette Heimdal og Ingrid Lande Larsen*

Hensikt	V/B-tall	Q-verdi	Mengde SP-stoff [%]	Mengde fiber [%]
Maks trykkfasthet	0,15 *(0,18)	0,25	10 *(15)	0,8

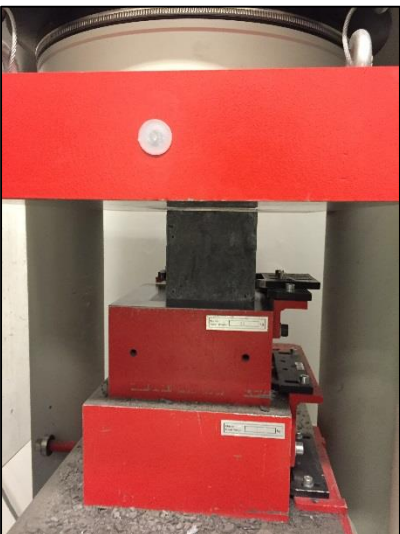
Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
Aalborg rapid sement	836,4
Flyveaske	103,2
Microsilica	206,5
Velde Finfiller	825,6
Velde Mellomfiller	206,3
Fiber	63,2
SX-N SP-stoff	41,82 *(83,64)
SKY SP-stoff	41,82
Vann	104,17
<b>Proporsjonert betongdensitet</b>	<b>2420,63</b>

Blandeprosedyre									
Finfiller	10 min	Skraping	Vann	10 min	Skraping	5 min	Fiber	10 min	Ferdig
Microsilica			SP-Stoff						
Flyveaske			(Husk å riste)						
Sement									
Mellomfiller									

\*Reelt innhold grunnet ekstra tilsetning.



**Vedlegg B**





# Testrapport UHPFRC

20.03.2016

“Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete”

**Utført av:** Simen Rindebakken  
**Dato:** 20.03.2016  
**Testtype:** Trykkfasthet, bøyestrekfasthet  
**Resept:** R35

## Hensikt

Hensikten med forsøket var å teste ut en ny resept med antatt svært høy trykkfasthet. Dette som et steg i optimalisering av resepter til videre bruk for Universitetet i Agder.

## Utstyr

- Blandemaskin 50L, levert av «Zyklus»
- Utstyr for måling av lufporeinnhold, levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Utstyr for måling av flyt.
- Varmekammer, levert av «Termaks»
- Maskin for testing av trykkfasthet, M1 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»
- Maskin for testing av bøyestrekfasthet, M3 levert av «FORM+TEST Prüfsysteme»

## Fremgangsmåte for utstøping av prøvelegemer

Mengde ferdig blanding ble bestemt til ca. 15 liter. Delmaterialene ble målt opp til nærmeste hele gram. Alt tørt materiale ble tilsatt blanderen i henhold til resept (se vedlegg A). Temperaturen ble målt og blanderen gikk i 10 minutter. Deretter ble det skrapet rundt kantene, temperatur ble på nytt målt og vann og SP-stoff ble tilsatt umiddelbart etter at blanderen ble startet igjen. Blanderen gikk nye 10 minutter før temperatur ble målt, skraping ble gjennomført og gikk i 5 nye minutter. Temperatur ble målt og fiber ble tilsatt mens blanderen gikk for optimal fordeling. Tiden fra blanderen startet til all fiber var tilsatt var ca. 3 minutter og 50 sekunder. Blanderen gikk deretter i 10 minutter. Temperaturen ble målt og blandingen ble støpt ut i 7 terninger med størrelse 100x100x100 og 7 prismer med størrelse 40x40x160. Prøvene ble vibrert for komprimering i form. Luftinnhold og utbredelsesmål ble målt.

**Tilstede under utstøping:** Simen Rindebakken, Ingrid Lande Larsen og Anette Heimdal.

## Resultat av ferskegenskaper

Starttidspunkt: 18:32  
Sluttidspunkt: 19:01  
Total blandetid: 39 minutter

Luftporeinnhold [%]	4,9
Flyt [cm]	10,98
Flyt etter 15 dropp [cm]	13,62

Tid [min]	0	10	20	25	39
Temperatur[°C]	21,6	24,6	25,5	25,6	27,0

## Herderegime

Prøvelegemene sto til herding i romtemperatur (Ca. 20 °C) fra onsdag 16.03.16 kl. 19.01 til fredag 18.03.16 kl. 12.00. Da ble de avformet og plassert neddykket i vann i varmeskap kl. 12:30 for 48 timer ved 90 °C.

## Fremgangsmåte for testing av trykkfasthet og bøyestrekfasthet

Prøvelegemene ble tatt ut av varmeskap søndag 20.03.16 kl. 12:30 og temperert i vannbad. De ble veid i vann, høytrykkstørket og veid tørre. Deretter ble de børstet for støv slik at dette ikke skulle gi utslag på resultatene. Det ble opprettet et testprogram i «Proteus MT» på datamaskinen og testingen ble gjennomført iht. «NS-EN 12390-5: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers bøyestrekfasthet» og «NS-EN 12390-3: Prøving av herdnet betong: Prøvelegemers trykkfasthet».

*Tilstede under testing: Simen Rindebakken og Charlotte Stenbro.*

## Resultat av herdnet betongegenskaper

Terninger:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt trykkfasthet [MPa]
1	1317,1	2309,3	185,3
2	1324,1	2316,5	178,8
3	1325,8	2319,7	184,2
4	1319,7	2314,4	185,1
5	1299,3	2282,1	168,0
6	1314,6	2305,3	185,2
7	1298,7	2280,0	184,6
<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>			<b>181,6</b>

Prismer:

Nr.	Vekt i vann [g]	Vekt [g]	Målt bøyestrekfasthet [MPa]	Målt trykkfasthet V. [MPa]	Målt trykkfasthet H. [MPa]
1	341,3	594,8	18,8	222,3	218,1
2	338,8	591,1	21,8	224,6	232,1
3	344,1	599,6	17,5	222,9	240,6
4	341,6	595,7	23,4	223,8	236,9
5	343,2	598,5	18,0	224,1	217,9
6	342,1	595,7	17,9	231,1	228,8
<b>Gjennomsnittlig bøyestrekfasthet</b>			<b>19,6</b>	<b>Gjennomsnittlig trykkfasthet</b>	<b>226,9</b>

## Konklusjon

Blandingen var vanskelig å støpe ut og jobbe med grunnet det lave v/b-tallet og mengden finstoff. Testingen av bøyestrekfasthet gikk som forventet. Testingen av trykkfasthet overgikk forventningene og bekreftet antagelsen om svært høy trykkfasthet. Til sammenligning var høyest målte trykkfasthet for UHPFRC med kun knust tilslag på Universitetets laboratorium 207,2 MPa. Forsøket anses derfor som vellykket og resepten blir arbeidet videre med for optimalisering.

## **Feilkilder**

Dårlig utstøping som kan føre til flere porer, som igjen vil gi betongen lavere trykkfasthet. (Som antas å være tilfellet grunnet differansen i fasthet mellom terninger og prizmer. Terningene har tydelige luftporer).

Vanskeligheter med komprimering og utstøping av betongen kan også gi utslag på testing av luftinnhold.

Det kan ligge små støv- og sandkorn mellom stempelet og prøvelegemene. Dette vil føre til at maskinen stopper tidligere, ettersom den er registrert til å stoppe når noe gir etter og med det oppgi en lavere trykkfasthet.

## **Forslag til videre arbeid**

Denne resepten gir høyere trykkfasthet enn noen gang registrert på Universitetet. Dette tyder på svært god partikkelpakking. I motsetning til gode resultater i herdet tilstand er resultatene i fersk tilstand lite tilfredsstillende. Dette kan løses ved f. eks. å øke v/b-tallet og senke mengden av SP-stoff og slik finne en balanse mellom styrke og støpelighet/bearbeidelighet. Deretter bør muligheten for å redusere mengden sement og silikastøv undersøkes.

## **Vedlegg: 2**

**A**      Resept R35

**B**      Bilder

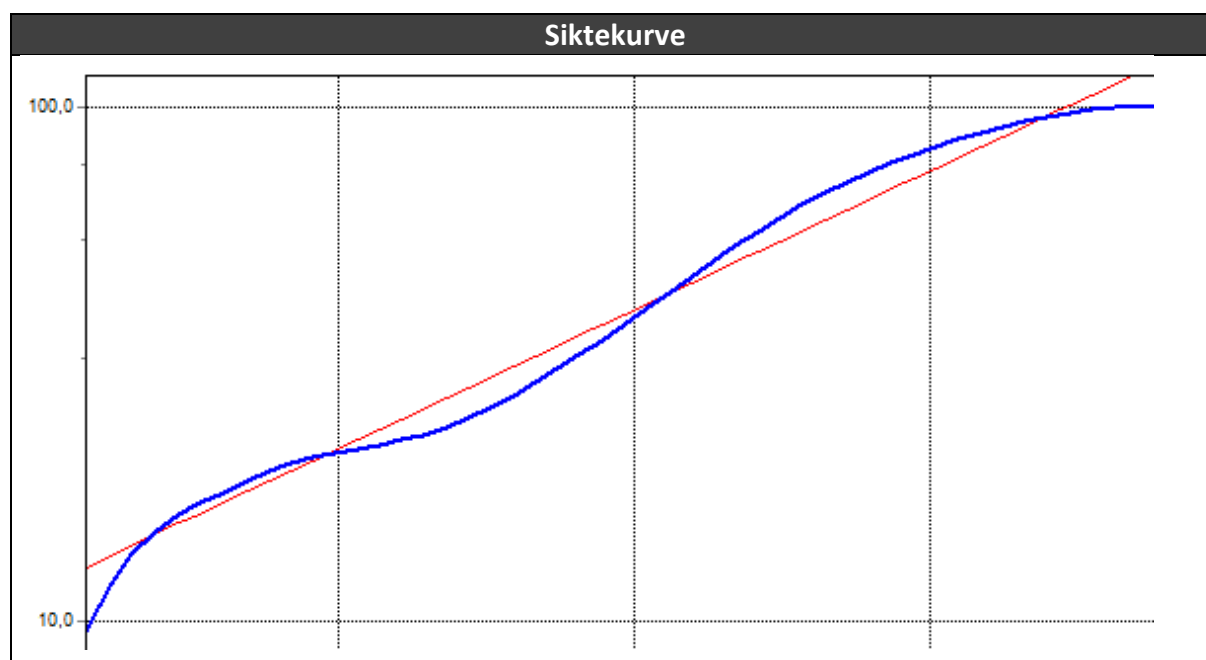
## Vedlegg A

<b>Resept</b>	<b>Produsert av</b>
R35	Simen Rindebakken

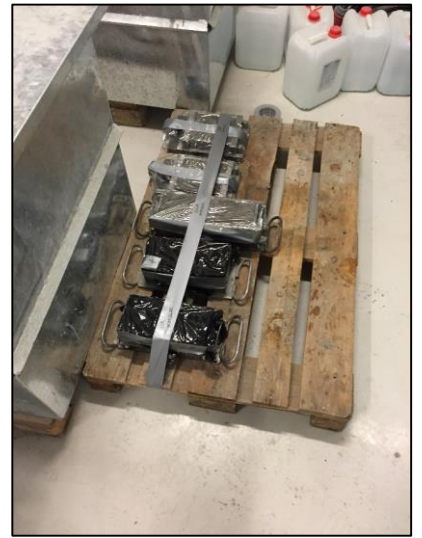
Hensikt	V/B-tall	Q-verdi	Mengde SP-stoff [%]	Mengde fiber [%]
Maks trykkfasthet	0,15	0,27	15	1,8

Materiale	Kg/m <sup>3</sup>
Aalborg rapid sement	767,61
Flyveaske	92,89
Microsilica	335,27
Velde Finfiller	48,38
Velde Mellomfiller	885,4
Fiber	111,96
SP-stoff	115,14
Vann	84,95
<b>Proporsjonert betongdensitet</b>	<b>2441,60</b>

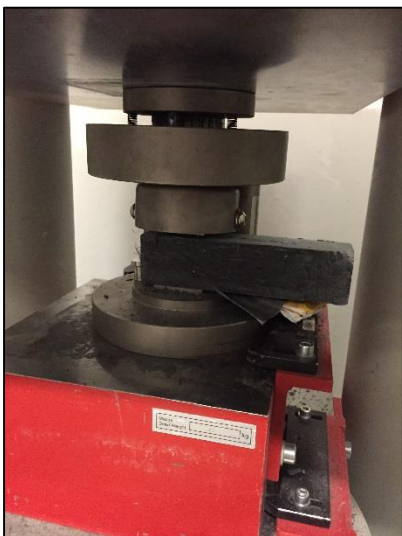
Blandeprosedyre									
Finfiller	10 min	Skraping	Vann	10 min	Skraping	5 min	Fiber	10 min	Ferdig
Microsilica			SP-Stoff						
Flyveaske			(Husk å riste)						
Sement									
Mellomfiller									




## Vedlegg B







	Oppdr.nr.:	Side:
		01
	Oppdrag: BESTEMMELSE AV FASTHETSKLASSE	Utført: SSR
	Kontrollert:	Dato:

0,0 V%: Trykkfasthet: 60,58 MPa. ( $f_{cm}$ )  
Standardavvik: 1,65 (s)  
Faktor w int. 1,7 (w)  
Ns 3420

Karakteristisk fasthet =  $f_{cm} - w \cdot s$  (formel 5- )

$$f_{cm,0} = 60,58 - 1,7 \cdot 1,65 = 58 \text{ MPa}$$

Denne verdien ligger midt imellom B45 og B50 ved karakteristisk sylindrefasthet.

Fasthetsklasse blir da B45.

0,67 V%: Trykkfasthet: 42,86 MPa  
standardavvik: 0,82  
Faktor: 1,7

Karakteristisk fasthet:

$$f_{cm,0,67} = 42,86 - 1,7 \cdot 0,82 = 41 \text{ MPa}$$

Denne verdien ligger omtrent midt imellom B30 og B35 ved karakteristisk sylindrefasthet.

Fasthetsklasse blir da B30.

1,2 V%: Trykkfasthet: 48,74 MPa  
standardavvik: 0,76  
Faktor: 1,7

Karakteristisk fasthet:

$$f_{cm,1,2} = 48,74 - 1,7 \cdot 0,76 = 47 \text{ MPa}$$

Denne verdien ligger omtrent midt imellom B35 og B40 ved karakteristisk sylindrefasthet.

Fasthetsklasse blir da B35.



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

$$f_{fth, res 2,5} = 0,37 \cdot f_{Rk,3}$$

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

$$f_{Rk,i} = f_{Ri,i} - k \cdot s, \text{ hvor } s = \text{standardavviket}$$

$k = 1,7$  når prøvopplegget følges (5.3)

$$f_{fth, res 2,5} = 0,37 \cdot f_{Rk,3}$$

$$f_{ftd, res 2,5} = f_{fth, res 2,5} / \gamma_{cf}, \text{ hvor } \gamma_{cf} = 1,5$$

$$M_{Rd} = 0,4 \cdot f_{ftd, res 2,5} \cdot b \cdot h^2$$

Forholdet mellom CMOD og nedbøyning kan utfyllkes med:

$$\delta = 0,85 \cdot CMOD + 0,04$$

CMOD	$\delta$
CMOD <sub>0</sub> 0,05	0,0825
CMOD <sub>1</sub> 0,5	0,465
CMOD <sub>2</sub> 1,5	1,315
CMOD <sub>3</sub> 2,5	2,165
CMOD <sub>4</sub> 3,5	3,015



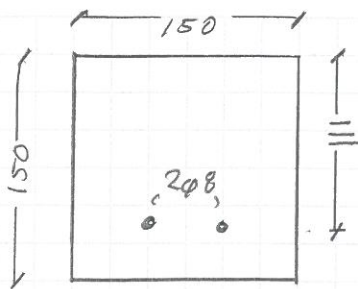
Oppdrag: Dimensjonering momentkapasitet

Utført: SSR

Dato:

Kontrollert:

Dato:



$$A_s = 2 \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 = 100,5 \text{ mm}^2$$

0,10%

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \cdot \frac{45}{1,15} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} M_{rd} &= \lambda \cdot \eta \cdot \alpha (1 - 0,5 \cdot \lambda \cdot \alpha) \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 \\ &= 0,8 \cdot 1 \cdot 0,128 (1 - 0,5 \cdot 1 \cdot 0,128) \cdot 25,5 \cdot 150 \cdot 111 \\ &= \underline{\underline{4,61 \text{ kNm}}} \end{aligned}$$

(Underarmert bjelke:

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d}$$

$$= 0,128)$$

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

0,67%

$$S_f = (h - x) \cdot b \cdot f_{td} = 125 \cdot 150 \cdot 1,01 \quad x = \alpha \cdot d = 14,25$$

$$S_a = A_s \cdot f_{yd}$$

$$= (125 - 14,25) \cdot 150 \cdot 1,01 \cdot (0,5 \cdot 125 + 0,1 \cdot 14,25) + 100,5 \cdot 434 (111 - 0,4 \cdot 14,25)$$

$$= \underline{\underline{5,76 \text{ kNm}}}$$

$$M_{rd} = (125 - 14,25) \cdot 150 \cdot 1,49 \cdot (0,5 \cdot 125 + 0,1 \cdot 14,25) + 100,5 \cdot 434 (111 - 0,4 \cdot 14,25)$$

1,2%

$$= \underline{\underline{6,06 \text{ kNm}}}$$

Oppdrag:

DIMENSJONERENDE SKJÆRKAPASITET

Utført:

SSR

Dato:

AV ARMERT BETONG OG ARMERT FIBERBETONG

Kontrollert:

Dato:

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,ct} &= \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \rho_i \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \\
 &= \left[ \frac{0,15}{1,5} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{100,5}{150 \cdot 111} \cdot 45 \right)^{1/3} \right] \cdot 150 \cdot 111 \\
 &= \underline{\underline{11,74 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,ct} &= \left[ \frac{0,15}{1,5} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{100,5}{150 \cdot 111} \cdot 30 \right)^{1/3} \right] \cdot 150 \cdot 111 \\
 &= \underline{\underline{10,24 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,cf} &= 0,6 \cdot f_{ftd, res, 2,5} \cdot b_w \cdot h \\
 &= 0,6 \cdot 1,01 \cdot 150 \cdot 150 \\
 &= \underline{\underline{13,63 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$V_{Rd,c} = 10,24 \text{ kN} + 13,63 \text{ kN} = \underline{\underline{23,87 \text{ kN}}}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,ct} &= \left[ \frac{0,15}{1,5} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{100,5}{150 \cdot 111} \cdot 35 \right)^{1/3} \right] \cdot 150 \cdot 111 \\
 &= \underline{\underline{10,78 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,cf} &= 0,6 \cdot 1,49 \cdot 150 \cdot 150 \\
 &= \underline{\underline{20,11 \text{ kN}}}
 \end{aligned}$$

$$V_{Rd,c} = 10,78 \text{ kN} + 20,11 \text{ kN} = \underline{\underline{30,89 \text{ kN}}}$$

Oppdrag: TEORETISK SKJÆRKAPASITET AV ARMERT BETONG  
OG ARMERT FIBERBETONG BASERT PÅ EMPIRI

Utført: SSR

Dato:

Kontrollert:

Dato:

◦ BEREGNINGENE ER UTEN SIKKERHETSFAKTORER OG MED FAKTISKE FASTHETER!

$$V_{Rd,c} = \left[ \frac{0,15}{1} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{100,5}{150 \cdot 111} \cdot 10,58 \right)^{1/3} \cdot 150 \cdot 111 \right]$$

$$= \underline{\underline{19,42 \text{ kN}}}$$

0,67  
V%

$$V_{Rd,cf} = \left[ \frac{0,15}{1} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{100,5}{150 \cdot 111} \cdot 42,86 \right)^{1/3} \cdot 150 \cdot 111 \right]$$

$$= \underline{\underline{17,30 \text{ kN}}}$$

$$V_{Rd,cf} = 0,6 \cdot 2,27 \cdot 150 \cdot 150$$

$$= \underline{\underline{30,64 \text{ kN}}}$$

$$V_{Rd,c} = 17,3 + 30,64 = \underline{\underline{47,94 \text{ kN}}}$$

1,2  
V%

$$V_{Rd,cf} = \left[ \frac{0,15}{1} \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{200}{111}} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{100,5}{150 \cdot 111} \cdot 48,74 \right)^{1/3} \cdot 150 \cdot 111 \right]$$

$$= 18,06 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,cf} = 0,6 \cdot 3,41 \cdot 150 \cdot 150$$

$$= 46,03 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 18,06 \text{ kN} + 46,03 \text{ kN} = \underline{\underline{64,09 \text{ kN}}}$$