



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Anvendelse af fint sand og mikrofiller i SCC til fremstilling af betonelementer

SCC-Konsortiet, Delprojekt D23

Udført for:

Innovationskonsortiet for Selvkompakterende Beton



Udført af:

Teknologisk Institut, Betoncentret

Taastrup, juni 2007



Byggeri

Titel: Anvendelse af fint sand og mikrofiller i SCC til fremstilling af betonelementer

Forfattere: Lars Nyholm Thrane, Claus Pade, Teknologisk Institut og Søren Hansen, Betonelement A/S

Reproduktion af dele af rapporten er tilladt, hvis kilde angives.

Indhold

1. Indledning.....	5
1.1 Formål.....	6
2. Forsøg.....	7
2.1 Betonrecepter.....	7
3. Resultater.....	9
3.1 Frisk betonegenskaber.....	9
3.2 Styrkeudvikling.....	11
3.3 Glittetidspunkt.....	12
3.4 Overfladefinish.....	13
4. Konklusioner.....	14
Bilag A: XRD for fint sand.....	15
Bilag B: Kornkurver.....	16

1. Indledning

SCC-konsortiet er et innovationskonsortium støttet af Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Uddannelse over perioden 2003-2007.

Konsortiet ledes af Teknologisk Institut, Betoncentret med deltagere fra den danske betonbranche og både danske og udenlandske forskningsinstitutioner. Mere information om konsortiets sammensætning findes på www.SCC-konsortiet.dk.

Innovationskonsortiet arbejder med en række delopgaver indenfor områderne:

- P1 – Materialemodellering omkring mix design, delmaterialernes indflydelse og materialeegenskaber, herunder specielt flydeegenskaberne.
- P2 – Fremtidens betonfabrik omhandler produktionstekniske aspekter ved SCC.
- P3 – Udførelse omhandler den udførendes teknikker såsom formfyldning, efterbehandling og curing.
- D1 – Produktivitet og arbejdsmiljø indeholder en kvantificering af SCC's betydning for byggeriets effektivitet og arbejdsmiljø.
- D2 – Formidling og implementering indeholder rapportering, SCC portal på internettet, demonstrationsprojekter, etc. for at sikre at resultaterne kommer ud til slutbrugerne.

Delopgaverne P1-P3 omfatter udviklingsprojekter, hvor en given teknisk opgave belyses og løses i det omfang det er muligt. Delopgaverne D1 og D2 er discipliner, som ligger på tværs af udviklingsprojekterne.

1.1 Formål

Betonelement A/S og Teknologisk Institut er hovedaktørerne i nærværende delprojekt SCC-konsortiets D23 – ”Demonstrationsprojekt omkring udstøbning af betonelementer med SCC”. Rapporten udgør afslutningen på dette delprojekt.

Formålet med demonstrationsprojektet var at vise, at man på en økonomisk fordelagtig måde kan anvende ekstra fint sand og mikrofiller i SCC til produktion af betonelementer, idet disse forventes at kunne substituere en vis del af pulveret (cement, flyveaske, mikrosilika, kalkfiller) i en traditionel referencebeton.

Det er afgørende for anvendelsen af disse nye fillermaterialer, at styrkeudviklingen, glittetidspunkt og overfladefinish ikke forringes.

I og omkring Danmark er der store forekomster af sand, som har en kornstørrelsesfordeling, der er markant finere end for sand, der traditionelt anvendes til beton i Danmark. Dette ekstra fine sand kommer fra vaskning af tilslag i grusgrave.

Set ud fra såvel et ressourceudnyttelsesmæssigt synspunkt som ud fra en betonelementproducentens ønske om at holde råmaterialeomkostningerne på et minimum, kunne det være interessant at anvende det ekstra fine sand i SCC-beton på en betonelementfabrik.

Aalborg Portland A/S producerer hvert år en større mængde mikrofiller, der ligesom fint sand kan anvendes som fillermateriale i beton. Mikrofiller er et restprodukt fra cementproduktionen.

NCC Råstoffer A/S og Aalborg Portland A/S leverede henholdsvis fint sand og mikrofiller til projektet.

2. Forsøg

Der er gennemført forsøg hos Betonelement A/S i Viby Sjælland den 10. og 17. august 2006. Med udgangspunkt i en referencerecept som Betonelement normalt anvender i deres produktion, blev der sammensat nye recepter med forskellig dosering af henholdsvis det ekstra fine sand og mikrofiller.

Det ekstra fine sand blev manuelt afvejet og doseret fra big-bags og mikrofilleren blev doseret fra silo over normalt vægtsystem. Efter blanding blev der udtaget prøver til måling af de friske SCC-egenskaber og udstøbt cylindre til måling af styrkeudviklingen. Betonen blev herefter udstøbt i vandrette og lodrette elementer. Til de vandrette elementer er noteret glittetidspunkt, og overfladefinish er sammenlignet med elementer støbt med en referencebeton. Resultaterne af undersøgelserne findes i kapitel 3.

2.1 Betonrecepter

Tabel 1 viser referencerecepten fra Betonelement A/S (BE Ref) og de justerede recepter med ekstra fint sand og mikrofiller. Kornkurver for disse materialer ses i Bilag B. Betonelementer er beregnet til miljøklasse M og styrkeklasse 45.

Tabel 1: Receptoversigt. Kun ved ændringer i forhold til referencerecepten BE Ref er der angivet noget i tabellen. Alle mængder er i kg/m³.

	Den- sitet	BE Ref	BE Fint- sand1	BE Fint- sand2	BE Mikro- filler1	BE Mikro- filler2	BE Mikro- filler3
Basiscement	3110	411	369	369	369	348	328
Vand	1000	147,1	143,9	143,9	158,5	145	143,2
Mikrofiller	2760	0			40	60	80
SikaAer 15b	1000	0,715					
ViscoCrete- 20 HE	1080	2,581					
Fint sand Bårse- vaskesø	2600	0	30	60			
Betonsand 0/4 kl. A	2645	904,8		874,3			
Skærver 5/16 kl. M	2600	835,2					
Ækv. v/c		0,39	0,43	0,43	0,43	0,42	0,49

Ved det første forsøg med fint sand blev der tilsat 30 kg som erstatning for cementen på volumenbasis. Ved det andet forsøg med fint sand blev der tilsat 60 kg, hvoraf de 30 kg erstattede cementen og de resterende 30 kg erstattede betonsandet på volumenbasis.

Ved forsøg med mikrofiller blev der tilsat henholdsvis 40, 60 og 80 kg som erstatning for cementen på volumenbasis. De øvrige mængder blev uændrede set i forhold til BE-Ref.

Såvel fint sand som mikrofiller indgår med reaktivitetsfaktor 0 i beregningen af det ækvivalente vand-cement forhold i Tabel 1.

3. Resultater

3.1 Frisk betonegenskaber

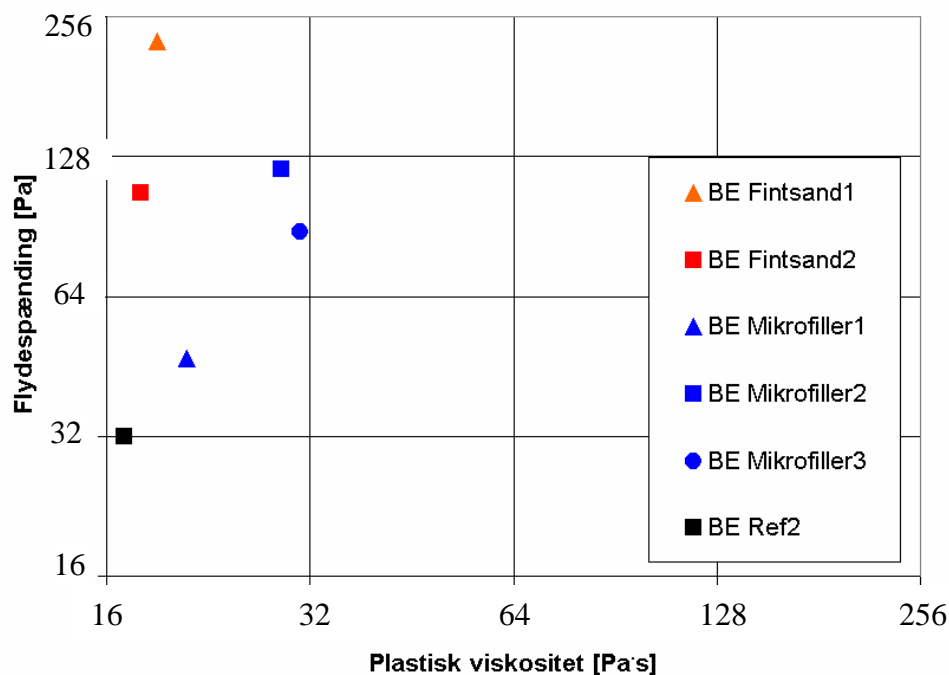
Inden udstøbning af test-elementerne blev følgende målinger foretaget på den friske beton (Tabel 2):

- Reologiske egenskaber målt med 4C-Auto Slump Flow
- Flydesætmål efter Anneks U i DS 2426 udført af Betonelements egen laboratorietechnikere simultant med ovennævnte
- Luftindhold
- Temperatur

Figur 3-1 viser resultaterne for flydespænding og plastisk viskositet i et reologi-diagram. Disse værdier er bestemt som en del af 4C Auto Slump Flow forsøget.

Tabel 2: Resultater for friske betonegenskaber.

Recept	Tid	Dato	Flydespænding [Pa]	Plastisk Viskositet [Pas]	Udbredelse ASF	Flydesætmål [mm]	Luft [%]	Temp. [°C]
BE Ref2	09:03	10/8	32	17	621	Ikke målt	Ikke målt	Ikke målt
BE Mikrofiller1	10:09	10/8	47	21	572	620	4,6	27,2
BE Mikrofiller2	10:39	10/8	120	29	471	500	6,2	26,3
BE Mikrofiller3	11:02	10/8	88	31	502	550	6,3	23,3
BE Ref		17/8	Ikke målt	Ikke målt	Ikke målt	500	3,7	28,5
BE Fintsand1	10:03	17/8	226	19	412	450	4,1	27,3
BE Fintsand2	10:59	17/8	107	18	482	500	4,5	26,5



Figur 3-1: Flydespænding og plastisk viskositet for og de undersøgte betoner udført med 4C-Auto Slump Flow.

Måling af de reologiske egenskaber viser, at der opnås en lav plastisk viskositet (< 40 Pa's) og for BE Fintsand1, BE Fintsand2, BE Mikrofiller2 og BE Mikrofiller3 en relativ høj flydespænding (> 90 Pa som svarer til et flydesætmål på ca. 500 mm). BE Ref2 udviste separationstendens pga. den lave flydespænding (32 Pa svarende til et flydesætmål på 620 mm). Normalt kører Betonelement med flydesætmål fra ca. 500 til 570, hvilket svarer til flydespændinger fra ca. 50 til 90 Pa.

For udstøbning af de vandrette elementer stilles der ikke særlige krav til betonens flydespænding, hvorfor det anses som meget fornuftigt med en flydespænding i intervallet fra 50 til 90 Pa, da det er medvirkende til at undgå separation. I forhold til arbejdsmiljø og kvaliteten af overfladebehandlingen (pudsning og glitning) er den plastiske viskositet i højere grad den afgørende parameter. En lav plastisk viskositet sikrer en lettere arbejdsgang i betonen, og det tyder på, at det også har en positiv effekt på at opnå pæne glatte overflader. En høj plastisk viskositet (> 100 Pa's) medfører at betonen opleves som klistret/tung og det kræver mere energi at udføre en pæn pudsning uden luftblærer. Fænomenet "gummihud" vil typisk også være mere udtalt ved en høj plastisk viskositet.

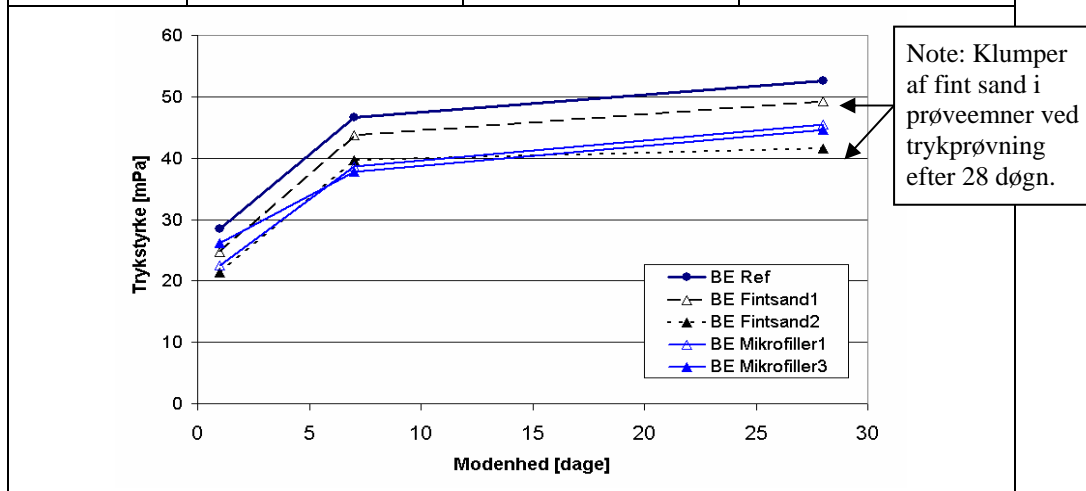
Det er umiddelbart svært på baggrund af disse få forsøg at sige noget entydigt om effekten af fint sand og mikrofiller på de reologiske egenskaber. Dog antyder resultaterne, at den plastiske viskositet stiger ved øget anvendelse af mikrofiller.

3.2 Styrkeudvikling

Tabel 3 viser resultater for trykstyrken målt efter 1, 7 og 28 modenhedsdøgn. Hvert datapunkt er middelværdi over to prøveemner.

Tabel 3: Resultater for trykstyrke efter 1, 7 og 28 modenhedsdøgn.

	1 døgn [MPa]	7 døgn [MPa]	28 døgn [MPa]
BE Ref	28,5	46,7	52,6
BE Fintsand1	24,7	43,7	49,2
BE Fintsand2	21,4	39,6	41,6
BE Mikrofiller1	22,5	38,6	45,5
BE Mikrofiller3	26,1	37,8	44,6



Resultaterne viser, at trykstyrken for betoner med ekstra fint sand og mikrofiller generelt er lavere end for referencebetonen og BE Fintsand2 og BE Mikrofiller3 opfylder ikke kravet på 45 MPa for 28 døgnstyrken.

Hverken betoner med ekstra fint sand eller mikrofiller opfylder Betonelements krav på 28 Pa for 1 døgnstyrken.

For BE Fintsand1 og BE Fintsand2 indikerer prøveemnerne efter trykprøvning ved 28 døgn, at det fine sand ikke er blevet dispergeret ordentlig under blanding. Figur 3-2 viser et billede af prøveemnet med BE Fintsand2 efter 28 døgn, hvor der ses en tydelig udhulning efter en sammenkittet klump fint sand. Det vil medføre en reduceret trykstyrke i forhold til et prøveemne med en homogen fordeling af det ekstra fine sand. Det kan ikke udelukkes, at der også har været tilsvarende klumper i prøveemnerne ved 1 og 7 døgn, men det blev kun observeret på prøveemnerne ved 28 døgn.



Figur 3-2: Billede af prøveemne med fint sand (BE Fintsand2) efter trykstyrkeprøvning ved 28 døgn. I de store huller har det fine sand kittet sig sammen, hvilket indikerer at det ikke er blevet dispergeret under blanding.

For at fint sand skal blive et realistisk alternativ som et billigt fillermateriale, er det vigtigt at udvikle metoder til at dosere og iblande sandet i betonen, så der sikres en tilfredsstillende dispergering.

3.3 Glittetidspunkt

Tabel 4 viser resultater for glittetidspunkt efter blanding. Kun for betonen med mikrofiller på 40 kg (BE Mikrofiller1) blev der registreret et senere glittetidspunkt end normalt. Det er dog sandsynligvis ikke et udtryk for en reel forsinkelse af det mulige glittetidspunkt, men blot et udtryk for at glitningen blev påbegyndt på dette tidspunkt.

Tabel 4: Glittetidspunkt.

Recept	Glittetidspunkt
BE Ref	4 timer – 30 min
BE Fintsand1	Ikke opgivet
BE Fintsand2	4 timer – 30 min
BE Mikrofiller1	4 timer – 50 min
BE Mikrofiller2	Ikke opgivet
BE Mikrofiller3	4 timer – 30 min

Der var således ingen indikation af at glittetidspunktet ændres for de anvendte SCC recepter.

3.4 Overfladefinish

Visuelt bedømt var der ikke nogen forskel på overfladefinishen for SCC elementer med henholdsvis fint sand og mikrofiller i forhold til de normale elementer.

Der var heller ingen indikationer af klumper med fint sand sådan som det blev observeret i trykprøveemnerne.

Figur 3-3 viser det test element, som blev udstøbt med SCC med 60 kg fint sand (BE Fintsand2).



Figur 3-3: Billeder af test element udført med SCC beton med ekstra fint sand (BE Fintsand2).

4. Konklusioner

Der er gennemført forsøg med alternative fillermaterialer (fint sand og mikrofiller) som erstatning for cement i SCC recepter hos Betonelement A/S. Resultater er sammenlignet med en referencebeton, som Betonelement anvender i deres daglige produktion af vægelementer.

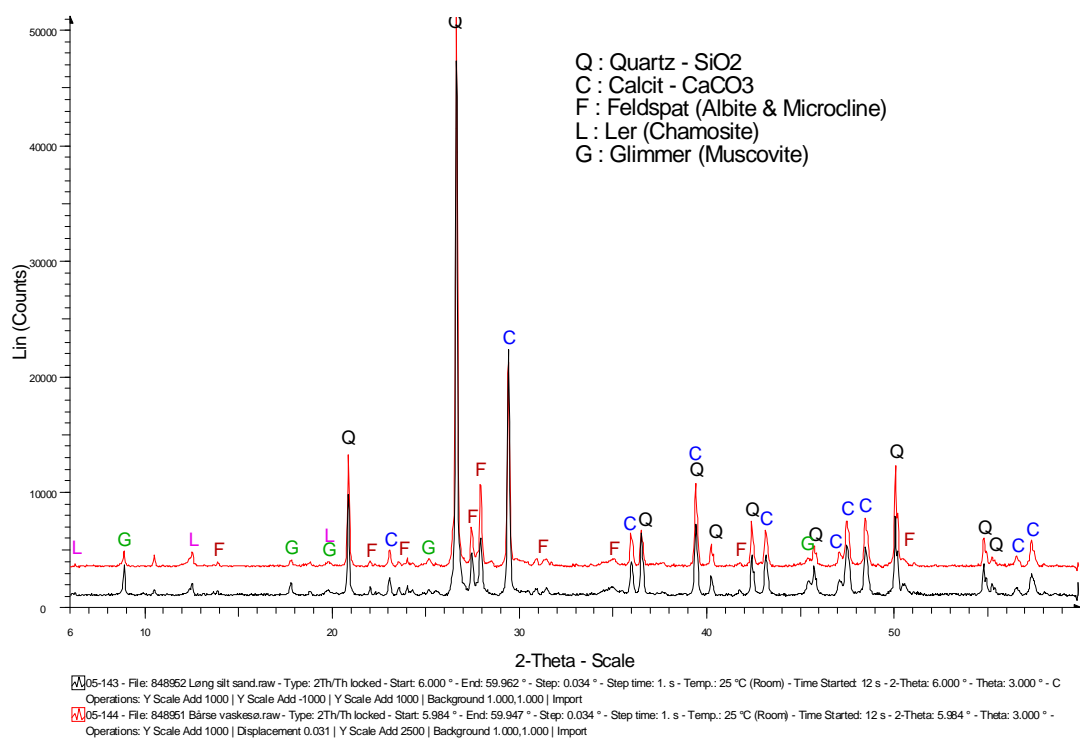
- **Reologi:** Det er muligt at opnå reologiske egenskaber, der ligger i samme område som referencebetonen. Det er vigtigt, for at bevare et godt arbejdsmiljø under udstøbning (betonen er nem at arbejde i) og opnå en pæn overfladefinish.
- **Styrkeudvikling:** Trykstyrken for SCC betoner med henholdsvis fint sand og mikrofiller er generelt lavere end for referencebetonen pga. reduceret cementindhold. For betoner med fint sand indikerer prøvemønstrene ved trykprøvning efter 28 døgn, at det fine sand ikke var blevet dispergeret ordentlig under blanding.
- **Glittetidspunkt:** Der er ikke nogen forskel i glittetidspunkt i forhold til referencebetonen. Der var heller ikke nogen mærkbar forskel i glitningens udførelse.
- **Overfladefinish:** For SCC betoner med henholdsvis fint sand og mikrofiller var der ikke nogen forskel på overfladefinishen i forhold til de normale elementer. Alle de udstøbte vægelementer ville umiddelbart kunne opfylde de normale kvalitetskrav til overflader.

I forhold til reologi, glittetidspunkt og overfladefinish er der ikke noget, der indikerer at fint sand og mikrofiller ikke kan anvendes som alternative fillermaterialer.

Styrkeudviklingen var dog ikke tilfredsstillende, og for at fint sand skal blive et realistisk alternativ, som et billigt fillermateriale, må der foregå en yderligere receptoptimering for at få især 1 døgnsstyrken hævet. Der skal dog fokuseres på doseringen af sådanne fillermaterialer således at en tilfredsstillende dispergering opnås under blanding.

Bilag A: XRD for fint sand

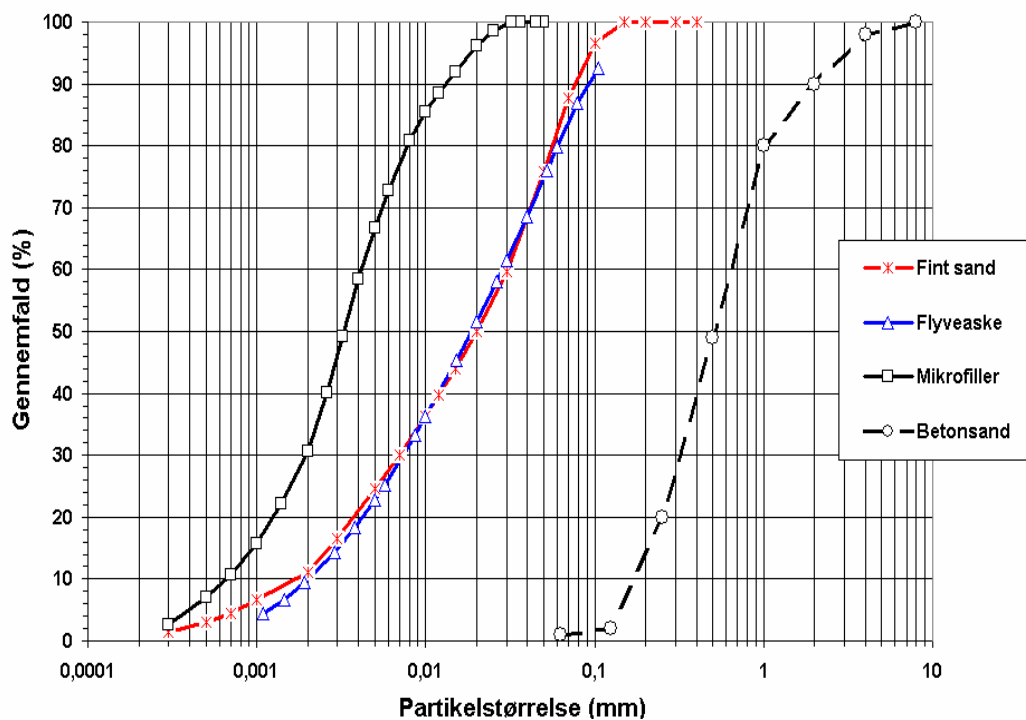
Figur A-1 viser XRD kurver for fint sand, henholdsvis Løng Silt Sand og Bårsø Vaskesø (sidstnævnte anvendt i forsøg). Det ses, at XRD kurverne for de to sand er tilnærmelsesvis ens. Der er kun fundet ét lermineral samt at der er Calcit, feldtspat, kvarts og glimmer. Ved mikroskopering er det observeret, at de små partikler i prøven overvejende udgøres af Calcit, samt at kvartsen udgør de store partikler.



Figur A-1 XRD kurver for fint sand henholdsvis Løng Silt Sand og Bårsø Vaskesø (sidstnævnte er anvendt i forsøgene).

Bilag B: Kornkurver

Figur B-1 viser kornkurven for Bårsø Vaskesø og Aalborg Portland mikrofiller sammenlignet med en normal dansk flyveaske og et almindeligt betonsand. Kornkurverne er bestemt som gennemsnittet af fire kornkurver (dobbelbestemmelse på 2 opslemninger). Det ses, at det fine sand har næsten samme kornkurve som flyveaske.



Figur B-1 Kornkurver for ekstra fint sand (Bårsø Vaskesø), mikrofiller, flyveaske og almindeligt betonsand.