

# Mineaffald som cementerstatning i beton

Optimering af mørtel trykstyrke



**Niklas Carl Ørum-Nielsen**  
s143857

**CivilByg DTU - Bachelor Projekt**

Department of Civil Engineering  
2017

DTU Civil Engineering  
June 2017

## 1 Forord

Projektet er skrevet i anledning af et bachelor projekt på Danmarks Tekniske Universitet i afdelingen Byggeri og Anlæg. Det er skrevet i foråret 2017 som en del af Zero Waste Byg, hvor projektet er vurderet til 15 ECTS-point. I projektet fokuseres der på, anvendelsen af tailings i beton, hvor tailingen erstatter hhv. 5- og 10 % af cementen. Derfra ses det, hvordan tailingen påvirker betonens trykstyrke og bearbejdelighed. Samtidig er tailingens mineralske opbygning samt tungmetal indhold undersøgt.

Nogle af forsøgsresultaterne er delt med andre grupper indenfor projektfamilien. Det inkluderer porøsitet og densitet for referencerne og Zinkgruvans 5- og 10 % mørtelprøver, der er delt med Lasse Thunbo og Markus Pai Sørensen. Derudover er Vicatforsøgene for 5- og 10 % Zinkgruvans mørtelprøver og referencen delt imellem os. Reference mørtelprøverne som er brugt til at bestemme trykstyrken, der ses i tabel 7.10 er delt mellem Lasse Thunbo, Markus Pai Sørensen, Mai Nørgaard Fugl og Natasja Emilie Buchholdt. De blev udarbejdet, da de første mørtelprøvers trykstyrke ikke passede som kan ses i bilag A10. Det skal dog bemærkes, at alle forsøg er lavet i samarbejde med Lasse Thunbo og Markus Pai Sørensen, som betyder, at alle forsøg er udført identisk i denne rapport sammen med de to andres rapporter. Det betyder, at den menneskelige faktor i forhold til evnen til at støbe, ikke påvirker resultaterne i denne rapport eller de to andres.

Der sendes en speciel tak til lektor Pernille Erland Jensen, ph.D-studerende Nina Marie Sigvardsen og professor Lisbeth M. Ottosen, som har fungeret som vejledere i projektet. Derudover takkes laborant Malene Grønvold samt Ebba Cederberg Schnell, som styrer laboratorierne, for vejledningen af de udførte forsøg.

## 2 Sammenfatning

I projektet er der arbejdet med at delvis erstatte cement i beton med tailing, da cementproduktionen udgør 5 % af verdens  $CO_2$  udslip. Cementen er det dyreste komponent i betonen, hvilket betyder, at cementerstatningen også vil være en økonomisk gevinst for betonproduktionen.

Materialet, som undersøges til brugen som cementerstatning, er tailing, der er et affaldsprodukt fra mineindustrien. Produktionen af tailing har udviklet sig til et stort problem indenfor mineindustrien. Det skyldes tungmetalforurening og den økonomiske udbetaling, som mineindustrien skal betale for at oplagre tailingen. De to tailings, som bliver undersøgt, er henholdsvis Codelco og Zinkgruvan. Codelco er en kobbermine i Chile og Zinkgruvan er en zink-, bly- og kobbermine i Sverige. Karakteristikken for de to tailings er blevet undersøgt, som inkluderer vandindhold,

korn densitet, pH-værdi, indhold af tungmetaller, karbonat indhold, glødetab, kornstørrelses fordeling, vandabsorbtiøevnen samt deres indhold af mineraler. Det viser sig, at de to tailings pH-værdi har en neutral pH-værdi, hvilket kan give betonen et dårligere korrosionsmiljø. Derudover har resultaterne vist, at ingen af de to tailings overholder kravene i forhold til indholdet af tungmetaller fra miljøministeriet angående restprodukter i bygningsmaterialer. XRD-analysen viser samtidig, at der er en indikation på et højere indhold af puzzolaner i Codelco, mens analysen viser, at der med stor sandsynlighed ikke er puzzolaner i Zinkgruvan. Kornstørrelses fordelingen for Codelco viser, at den er lidt grovere end cement men finere end søsandet, hvor Zinkgruvan ligner søsandets kornkurve. Ingen af de to tailings overholder fillergrænsen  $250\mu m$ . Derudover er glødetabet lavt for begge tailings. De to tailings er også undersøgt for, hvordan de påvirker

en mørtel, hvor der erstattes hhv. 5- og 10 % cement med tailing. Her er trykstyrken, afbindingstiden, flydesæt målet og porøsitet og densitet blevet undersøgt. Det viser sig, at flydesæt målet for mørtelprøverne indeholdende Zinkgruvan er mindre, hvilket hænger sammen med tailingens vandabsorbtiøevne og kornstruktur. Flydesæt målet for mørtelprøverne indeholdende Codelco bliver større, som kan skyldes kornenes finhed. Vandabsorbtiøevnen for Codelco er målt til at være højere end Zinkgruvans, hvilket ikke hænger sammen med mørtelprøvernes flydesæt mål og afbindingstider, da prøven er længere tid om at binde sig. Samtidig er Codelcos mørtelprøverne observeret mere flydende end både referencen og Zinkgruvans mørtelprøver.

Det ses samtidig, at den åbne porevolumen ikke ændres, når mørtelprøverne tilsættes tailing. Derudover viser de målte trykstyrker, at trykstyrken falder desto mere tailing, der tilsættes. Mørtlen med Zinkgruvan giver den svageste trykstyrke, hvorimod mørtlen med Codelco har en større trykstyrke end referencen efter 28 døgn. Det kan skyldes en aktivitet af puzzolaner, som øger den sene trykstyrke udvikling. Ud fra de indledende resultater er det blevet forsøgt

at optimere trykstyrken af mørtelprøverne ved at knuse tailingen, hvorved fillereffekten vil øge mørtlens tidlige trykstyrke. Trykstyrkens udviklingen viser, at der er en tydelig fillereffekt, da begge tailings tidlige trykstyrke stiger. Dog bliver trykstyrken efter 28 døgn for Codelcos mørtelprøver mindre, hvilket indikerer, at der måske ikke er puzzolaner i alligevel. Indholdet af puzzolaner i Codelco kan undersøges ved at lade mørtelprøverne hærde i længere tid end 28 døgn, da de reagerer langsomt, og derfor vil deres virkning først ses senere. Dette er dog ikke undersøgt i projektet. Der konkluderes, at mørtelprøverne med 5 % cementerstatning i form af Codelco kan indgå i en beton, da trykstyrken er omkring den samme målte trykstyrke for referencen.

### 3 Abstract

The project is about partially replacing cement in concrete as the production of the cement constitutes 5 % of the world's  $CO_2$  emissions. The cement is the most expensive component in the concrete which means that the cement substitute also will be an economic gain for the concrete production.

The material investigated for use as cement replacement is tailing, which is a waste product from the mining industry. The production of tailing has developed into a major problem in the mining industry due to heavy metal contamination and the financial contribution paid by the mining industry to store the tailing. The two tailings that are being investigated are respectively Codelco which is a copper mine in Chile and Zinkgruvan which is a zinc-, lead- and copper mine in Sweden.

The characteristics of the two tailings have been investigated which include water content, grain density, pH-value, heavy metal content, carbonate content, loss of ignition, particle size distribution, water absorption capacity and content of minerals in the two tailings. The results show that the pH-value of the two tailings is neutral which can damage the corrosion environment in the concrete. In addition, the results have shown that both tailings do not abide by the requirements of the Ministry of the Environment regarding residuas in building materials. The XRD-analysis shows an indication of a higher content of puzzolans in Codelco, whereas the analysis shows that there not likely are puzzolans in Zinkgruvan.

Based on the grain size distribution, Codelco is found to be finer than Zinkgruvan which look like sands grain size distribution. None of the tailings abide by the filler limit  $250\mu m$ . In addition the loss of ignition is low for both tailings.

The two tailings are also investigated for how they affect a mortar, replacing respectively 5- and 10% cement. Here, the compressive strength, the bonding time, the flow rate and the porosity and density has been investigated. It appears that the flow rate for the mortar samples containing Zinkgruvan is smaller which is linked with the tailing water absorption. The flow rate for the mortar samples containing Codelco is larger which may be due to the fineness of the grain. The water absorption capacity of Codelco has been measured higher than Zinkgruvan, which is not related to the mortar flow rate and bounding times as the sample is longer to harden. At the same time the sample are observed to be more fluid than both the references mortar and the Zinkgruvan mortar samples.

At the same time it is seen that the open pore volume is not changed when the tailings are added to the mortar samples.

In addition, the measured compressive strengths show that the compressive strength decreases, the more tailing is added. The mortar containing Zinkgruvan gives the weakest compressive strength whereas the mortar containing Codelco has a higher compressive strength than the reference after 28 days. This may be due to an activity of puzzolaner, which increases the late compressive strength development.

Based on the initial results, it has been attempted to optimize the compressive strength of the mortar sample by crushing the tailings whereby the fillereffect will increase their early age compressive strength. Based on the compressive strength development a clear fillereffect is seen as the mortar containing Zinkgruvan and Codelcos compressive strength increases at an early age. However, after 28 days the compressive strength of Codelcos mortar sample is decreasing which indicates that there may be no puzzolans in the Codelco sample anyway. The content of puzzolans in Codelco can be investigated by letting the mortar samples hardened longer than 28 days, because they react slowly and therefore their effect will not be seen before after 28 days. However, it has not been investigated in the project. It is concluded that concrete with 5 % cement replacement with Codelco is working.

## Indhold

<b>1 Forord</b>	<b>2</b>
<b>2 Sammenfatning</b>	<b>3</b>
<b>3 Abstract</b>	<b>5</b>
<b>4 Indledning</b>	<b>10</b>
<b>5 Teori</b>	<b>11</b>
5.1 Generelt om tailing . . . . .	11
5.1.1 Codelco . . . . .	11
5.1.2 Zinkgruvan . . . . .	12
5.2 Trykstyrke . . . . .	12
5.3 Hydratisering . . . . .	14
5.4 Bearbejdelighed . . . . .	16
5.5 Porøsitet . . . . .	16
5.6 Puzzolan . . . . .	17
5.7 Filler . . . . .	17
<b>6 Beskrivelse af forsøg</b>	<b>18</b>
6.1 Laboratorieforsøg . . . . .	18
6.2 Mørtel Forsøg . . . . .	24
<b>7 Resultater</b>	<b>31</b>
7.1 Indledende resultater . . . . .	31
7.1.1 Karakteristik . . . . .	31
7.1.2 Bearbejdelighed og vandabsorbti onsevne . . . . .	35
7.1.3 Afbindingsforløb . . . . .	37
7.1.4 Porøsitet og densitet . . . . .	38
7.1.5 Trykstyrke . . . . .	39
7.2 Optimeret resultater . . . . .	41
7.2.1 SEM-analyse . . . . .	42
7.2.2 Kornstørrelses fordeling . . . . .	43
7.2.3 Trykstyrke . . . . .	44
7.2.4 Farveprøve . . . . .	45

<b>8 Diskussion</b>	<b>46</b>
8.1 Del 1: Diskussion for de indledende forsøgsresultater . . . . .	46
8.1.1 Karakteristik . . . . .	46
8.1.2 Flydesætmål, vandabsorbtionsevne og afbindingsforløb . . . . .	49
8.1.3 Porøsitet og densitet . . . . .	51
8.1.4 Trykstyrke . . . . .	52
8.2 Del 2: Valg af optimerings forsøg . . . . .	53
8.3 Del 3: Diskussion af optimerting . . . . .	53
8.3.1 SEM-analyse . . . . .	53
8.3.2 Kornstørrelse . . . . .	54
8.3.3 Trykstyrke . . . . .	54
<b>9 Konklusion</b>	<b>55</b>
<b>10 Referencer</b>	<b>57</b>
<b>11 Bilag</b>	<b>60</b>
11.1 Bilag A - Forsøgsresultater . . . . .	60
11.1.1 Bilag A1 - Vandindhold . . . . .	60
11.1.2 Bilag A2 - Pyknometer . . . . .	61
11.1.3 Bilag A3 - pH-værdi . . . . .	65
11.1.4 Bilag A4 - ICP-resultater . . . . .	66
11.1.5 Bilag A5 - Carbonat indhold . . . . .	69
11.1.6 Bilag A6 - Glødetab . . . . .	70
11.1.7 Bilag A7 - Kornstørrelses fordeling . . . . .	71
11.1.8 Bilag A8 - Vicat-forsøg . . . . .	101
11.1.9 Bilag A9 - Trykstyrker . . . . .	104
11.1.10 Bilag A10 - Porøsitet og densitet . . . . .	112
11.2 Bilag B - Forsøgsvejledninger . . . . .	114
11.2.1 Bilag B1 - Vandindhold . . . . .	114
11.2.2 Bilag B2 - Pyknometer . . . . .	117
11.2.3 Bilag B3 - Pyknometer brug af vakuumpumpe . . . . .	119
11.2.4 Bilag B4 - pH-værdi . . . . .	121
11.2.5 Bilag B5 - Oplukning . . . . .	124
11.2.6 Bilag B6 - Carbonat indhold . . . . .	128
11.2.7 Bilag B7 - Glødetab . . . . .	132



---

11.2.8 Bilag B8 - Laserdiffraktometer . . . . .	135
11.2.9 Bilag B9 - XRD-analyse . . . . .	138
11.2.10 Bilag B10 - Blanding af mørtel . . . . .	145
11.2.11 Bilag B11 - Bearbejdelighed . . . . .	149
11.2.12 Bilag B12 - Afbindingsforløb . . . . .	151
11.2.13 Bilag B13 - Tryktest . . . . .	155
11.2.14 Bilag B14 - Porøsitet og densitet . . . . .	158
11.2.15 Bilag B15 - Farveprøve . . . . .	161
11.2.16 Bilag B16 - Vandabsorbtiøsevne . . . . .	166
11.3 Bilag C - Poster fra midtvejsfremlæggelse . . . . .	169

## 4 Indledning

I projektet er der arbejdet med, at delvis erstatte cement i beton, da cementproduktionen udgør 5% af verdens  $CO_2$  udslip. Samtidig vil erstatning af cementen også være en økonomisk gevinst, da cementen er det dyreste komponent i betonen. Derfor undersøges det om, at mineaffald i form af tailing kan benyttes som cement erstatning, hvor der er fokuseret på to forskellige miner fra hhv. Chile og Sverige. Minen i Chile hedder Codelco, hvilket er en kobbermine, og minen i Sverige hedder Zinkgruvan, som producerer zink, bly og kobber.

Mineaffald er også miljøskadeligt grundet tungmetallforurening, hvor der f.eks. på Grønland er flere miner, der smider flere tons mineaffald i den arktiske natur. Forureningens biologiske konsekvenser bliver i dag stadig undersøgt, men fordi der er et højt indhold af tungmetaller, kan det skade dyrenes sundhed (1). Det er samtidig dyrt at smide mineaffald ud, da mineselskaberne skal betale for at gendanne de miljø påvirkede områder. Derfor vil tailing i beton være en gevinst, men det kræver, at indholdet af tungmetaller opfylder miljøministeriets krav i forhold til brugen af restprodukter i bygningsmaterialer (22).

Der findes flere eksempler på affaldsprodukter, der kan fungere som cement erstatning såsom flyveaske, der er en kunstig puzzolan. Det kommer som en forbrændingsrest fra kraftværker, og det består hovedsageligt af glas i små partikler. Mikrosilica, hvilket er en anden type kunstig puzzolan, er et biprodukt af legeringsmetallet ferrosilicium, der også har vist sig at påvirke trykstyrken af betonen positivt (2).

I projektet bliver der fokuseret på tailingens indflydelse på betonens trykstyrke. Det undersøges ud fra mørtelprøver, hvor 5- og 10 % af cementen vil blive erstattet af tailing. Der bruges mørtelprøver fremfor beton, fordi man tydeligere kan se tailingens påvirkning på dem. Derudover er mørtlen den svage del af betonen, som betyder, at den definerer betonens styrke. Trykstyrkerne i projektet vil blive målt efter 7, 14 og 28 døgns hærdning under vand.

Derudover undersøges tailingernes karakteristik i forhold til vandindhold, pH-værdier, indhold af tungmetaller, kornstørrelses fordeling, glødetab, samt indhold af mineraler. Mørtelprøverne bliver også undersøgt i forhold til afbindingstider, porøsitet og flydesætmål, da det har en afgørende betydning for brugen af beton.

## 5 Teori

I dette afsnit vil de to tailings blive præsenteret. Desuden vil der blive forklaret relevant teori til, hvordan beton reagerer indenfor forskellige forhold.

### 5.1 Generelt om tailing

Tailing er et affaldsprodukt fra miner, som opstår, når de mekaniske og kemiske processer udskiller de ønskede produkter i jorden såsom metaller. Disse processer er ikke 100 % effektive, hvilket efterlader metaller og andre mineraler i tailingen. Mineaffaldet håndteres forskelligt afhængigt af hvilke affaldsprodukter, der er tale om. Tailing kan f.eks. indeholde mange sulfid mineraler, og hvis det bliver udsat for luft og vand, kan der opstå ARD (acid rock drainage) (9). Det skyldes når sulfid mineraler er i kontakt med luft og vand, hvor det igennem kemiske processer vil producere svovlsyre. ARD kan derfor opløse metaller i vandet, hvilket kan skade havmiljøet (8).

Som nævnt tidligere er der arbejdet med to forskellige tailings, som er Codelco og Zinkgruvan. De er begge illustreret på figur 5.1, hvor de er blevet tørret ved  $50^{\text{circ}}\text{C}$ .



Figur 5.1: Prøven til venstre viser Zinkgruvan, og prøven til højre viser Codelco.

Den ovenstående figur viser, at Codelco samler sig i klumper, og samtidig ses det, at Codelco har mindre korn end Zinkgruvan.

#### 5.1.1 Codelco

Codelco er en kobber mine, som er et chiliensk statsejet mineselskab, og deres produktion finder sted i 7 forskellige afdelinger i Chile. Deres mine El Teniente er verdens største undergrunds kobbermine, der er placeret i andesbjergene. Minen producerede 471.157 tons kobber i 2015 (11).

Hvert år bliver cirka 40.000.000 tons tailing deponeret til Caren tailing dæmningen. Tailingen fra denne mine indeholder hovedsageligt mineralerne: kvarts, muscovite ferric clinochlore, calcic albite, anorthite og hydratiseret calciumsulfat med kobber, som findes i chalcocite, brachantite, chalcopyrite, ramsbeckite, wroewolfeite og guildite (10). Det vides ikke, hvilken afdeling prøven fra Codelco stammer fra i dette projekt, hvilket betyder, at der bliver taget udgangspunkt i de ovenstående mineraler, når indholdet af disse undersøges.

Indholdet af kvarts er iøjnefaldende, som efter feldspar er det mest almindelige mineral i jorden. Det har en hårdhed på 7 på Mohrs skala, og da mineralet har en stor hårdhed, bliver det brugt meget i industrien til f.eks. cement (12). Albite og anorthite er typiske feldspar mineraler, hvor albite er et natrium feldspar, og anorthite er et calcium feldspar.

### 5.1.2 Zinkgruvan

Zinkgruvan er en zink, bly og kobber mine i Sydsverige, der cirka sorterer 850.000 tons tailing fra pr. år. Malmen fra minen indeholder: Kvarts, feldspar og calcit, og samtidig betragtes tailingen som ikke-producerende ARD (10). Calcit er et udbredt mineral indenfor byggebranchen i form af kalksten, og det bruges i produktionen af cement. Mineralets hårdhed er 3 på Mohrs skala, som er mindre end kvarts hårdhed (13). Derudover indeholder Zinkgruvan feldspar, hvilket er en gruppe af silicat mineraler, der er det mest almindelige mineral i jorden. Det har en hårdhed på 6-6,5 på Mohrs skala, og bruges meget i byggebranchen, da det bruges til glasfiberisolering, maling mv (14). De tre mineraler er karakteriseret ved et højt indhold af carbonater (10).

## 5.2 Trykstyrke

Beton måles primært på trykstyrken, da det er stærkt i tryk og svagt i træk. Derfor lægges der ofte jernarmering i, så betonen bliver stærkere i træk.

Betonens trykstyrke afhænger af proportioneringen, som definerer v/c-forholdet og inkluderer tilsætninger såsom tailings, flyveaske eller mikrosilica. Derudover afhænger styrken af luftindholdet, der typisk er 1-2% i volumenprocent af betonmassen samt hydratiseringen.

Bruddet i betonen sker hovedsageligt i cementpastaen, som udgøres af cement og vand. Omkring de "større" aggregater findes en zone, som hedder interfacial transition zone (ITZ), og det har en tykkelse på 10 – 50 $\mu$ m. ITZ er svagere end aggregaterne og cementpastaen, hvilket betyder, at bruddet i betonen ofte er omkring aggregaterne. Det skyldes, at v/c-forholdet er større omkring aggregaterne, som giver en mindre styrke (15). I projektet er der arbejdet med mørtelprøver, og det betyder, at aggregaterne ikke indgår, og derfor er ITZ ikke eksisterende. Derudover afhænger trykstyrken også af hærdningsgraden samt cementtypen. Samtidig vil betonens styrke falde ved

et højere  $v/c$ -forhold, da betonens porøsitet vil stige. Det mest optimale  $v/c$ -forhold er ofte omkring 0,40, da betonen vil være stærk, og den vil samtidig være bearbejdelig.

Bolomeys formel er empirisk udviklet, som viser sammenhængen mellem betonstyrken og  $v/c$ -forholdet (16), hvilket kan ses herunder.

$$f_c = K \cdot \left( \frac{1}{v/c} - \alpha \right) \quad (5.1)$$

Hvor

$f_c$  er betonstyrken [MPa]

$K$  [MPa] er en konstant, som afhænger af cementtypen og terminen.

$v/c$  er masseforholdet mellem vand og cement.

$\alpha$  er en konstant som afhænger af cementtypen og terminen.

Bolomeys formel antager, at  $v/c$ -forholdet skal være i intervallet:  $0,45 < v/c < 1,25$  samtidig med at luftindholdet cirka er  $1 - 2\%$ . Derudover er de to ovenstående konstanter givet for basis cement herunder:

	Termin [døgn]	K	$\alpha$
Basis Cement	1	17	0,9
	7	28	0,6
	28	30	0,5

*Tabel 5.1: Tabellen viser konstanternes værdier til Bolomeys formel, som kun er gældende for rent beton (Uden flyveaske, mikrosilica og tailing).*

Tabellen er taget fra (16), og resultaterne i tabellen er kun gældende for rent cement beton, hvilket betyder, at hvis der tilføjes tailing, flyveaske eller mikrosilica, skal værdierne bestemmes empirisk.

Søsandet bliver tørret ved  $105^\circ C$ , hvilket betyder, at det ikke vil indeholde noget vand når det blandes. Dog tørres tailingen ved  $50^\circ C$  for ikke at ødelægge mineralogien, som betyder, at det stadig vil indeholde vand, når det blandes. Derudover absorberer tailingen og søsandet vand, da vandet kan trænge ind i de åbne porer, men ikke i de lukkede, og derfor har de ikke nogen indflydelse. Grundet de nævnte faktorer skal der findes et korrigeret  $v/c$ -forhold, og samtidig vil bearbejdeligheden ændres til det bedre eller dårligere afhængig af tailingens karakteristik (16). Når trykstyrken skal bestemmes for mørtel prøverne fra forsøgene bruges følgende formel:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.2)$$

Hvor

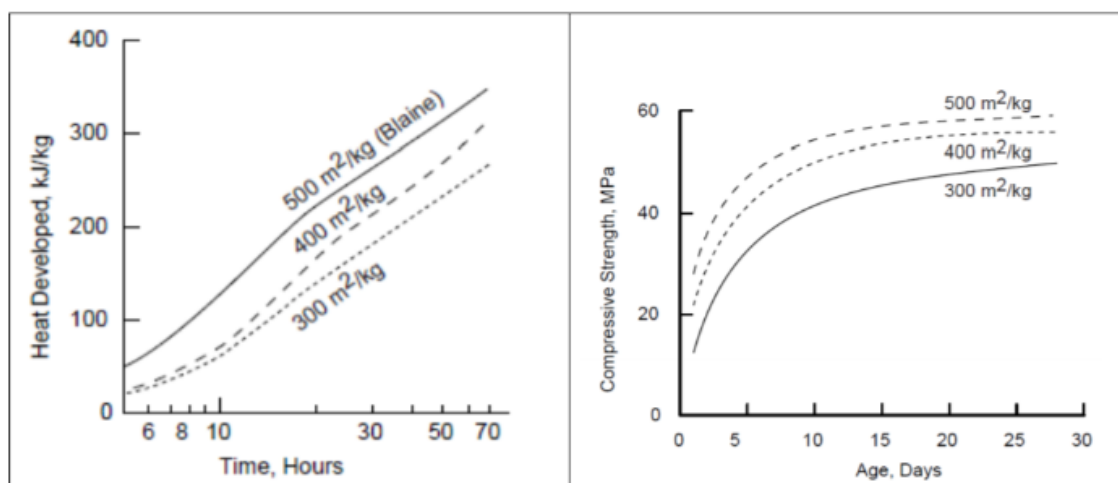
$\sigma$  er trykstyrken [MPa]

P er kraften [N]

A er tværsnitsarealet [ $mm^2$ ]

### 5.3 Hydratisering

Hydratiseringen er en vigtig faktor, da den afgør, hvornår betonen opnår en tilstrækkelig styrke, og det påvirker afbindingstiden og hærdningen. Hydratiseringen opstår, når vand og cement blandes, hvor der sker en exoterm reaktion. Der opstår 4 hydrater bestående af calciumsilicat hydrater (C-S-H), portlandite (CH), ettringit og monosulfat. Klinkesammensætningen i cementen har en stor betydning for hydratiseringshastigheden samt cementens finhed ( $m^2/kg$ ). Cementklinkerne er: C3S ( $3(CaO)SiO_2$ ), C2S ( $2(CaO)SiO_2$ ), C3A ( $3(CaO)Al_2O_3$ ) og C4AF ( $4(CaO)Al_2O_3Fe_2O_3$ ). C3S er den vigtigste i forhold til styrkeudviklingen, da det vil danne calciumhydroxid ( $Ca(OH)_2$ ) og calciumsilikathydrat (C-S-H), der bidrager mest til styrken. C2S bidrager ikke meget til den tidlige styrkeudvikling, men først ved den sene styrkeudvikling. C3A bidrager til den tidlige styrkeudvikling, da det danner ettringit. Derudover hjælper gips til den tidlige styrkeudvikling, som Portland cement ofte indeholder. C4AF's reaktioner minder om C3A's, men de går langsommere, og de bidrager begrænset til styrkeudviklingen (16) (17). Hvis cementen er meget fin, vil hydratiseringen være hurtig, og på figur 5.2 ses det, at en øget finhed vil give en stærkere trykstyrke for betonen (15).



Figur 5.2: De to figurer viser, at hvis kornene er finere vil hydratiseringen blive hurtigere, og dermed vil trykstyrken stige hurtigere.

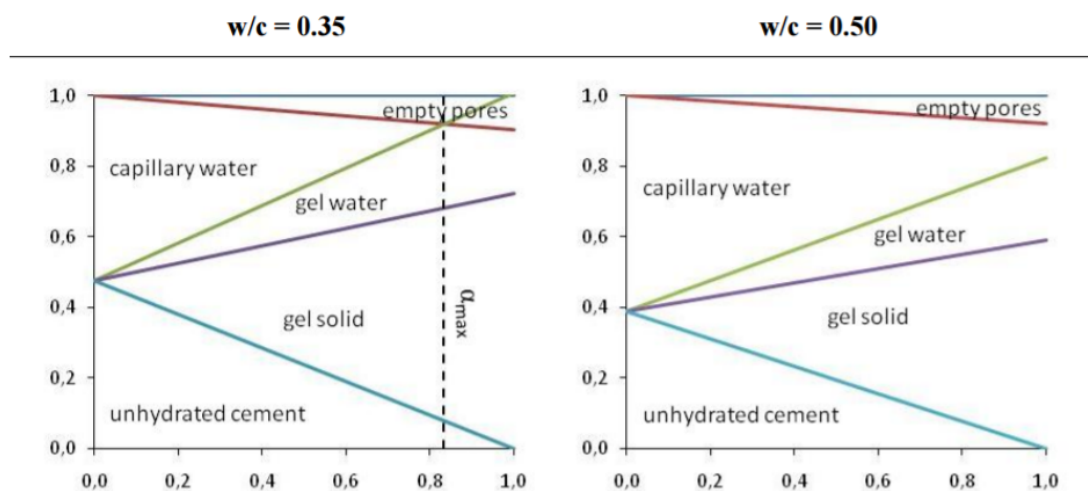
Figur 5.2 stammer fra kilden (15). Den viser, at hvis kornene er finere, vil hydratiseringen foregå hurtigere, hvilket kan ses på den højere varmeudvikling fra den exoterme reaktion. Det medfører,

at trykstyrken stiger hurtigere.

Hydratiseringsgraden,  $\alpha$ , er forholdet mellem mængden af cement, der er hydratiseret og den samlede mængde:

$$\alpha = \frac{\text{Hydratiseret cement}}{\text{Totale cement}} \quad (5.3)$$

Hvis  $v/c > 0,42$  er hydratiseringsgraden 1, som betyder, at der er nok vand til fuld hydration. Når der dannes hydrater, vil der være mindre vand til rådighed til den resterende udvikling af hydrater. Det betyder, at hydratiseringen stopper, hvis der er mangel på vand, eller den uhydratiserede cement er opbrugt svarende til fuld hydratisering. En tredje grund til at hydratiseringen stopper kan være, at der ikke er mere porevolumen, da porerne mindskes, idet der opstår hydrater. Figur 5.3 stammer fra kilde (29), som illustrerer hydratiseringsgraden ved to forskellige  $v/c$ -forhold. Her skal det bemærkes, at der ved  $v/c = 0,35$  ikke fuld hydratisering, hvor der ved  $v/c = 0,50$  er fuld hydratisering (17).



Figur 5.3: Figuren viser udviklingen af hydratiseringsgraden ved forskellige  $v/c$ -forhold.

De følgende definitioner på figur 5.3 er, at gel solid er svarende til det, som er kemisk bundet, mens gel water delvist er kemisk bundet og capillary water er det frit tilgængelige vand (15). Hvis der ikke er nok vand under hydratiseringen, som tilfældet er med  $v/c < 0,42$ , kan betonen lægges i vand og hærde, hvor porerne vil suge vand, som medfører, at hydratiseringsgraden vil stige. Mørtelprøverne i projektet har hærde under vand, og det betyder, at mørtelprøverne har haft gode muligheder for at opnå fuld hydratisering (5).

## 5.4 Bearbejdelighed

Bearbejdeligheden afhænger af  $v/c$ -forholdet og tilsætningsstoffer. Hvis man tilsætter mere vand i betonen, skal der også tilsættes mere cement i betonen for at overholde diverse styrkekrav. Derudover vil bearbejdeligheden blive dårligere med tiden, da cement og vand vil reagere, og derfor binde sig sammen efter nogle timer. Når betonen produceres til et givet projekt, er det derfor vigtigt, at tage hensyn til brugstidspunktet (18).

Betonens bearbejdelighed kan måles enten ved sætmål eller udbredelsesmål (flydesætmål), hvor flydesætmål er benyttet i projektet. Det handler om at måle, hvordan betonen flyder på en plade, hvorefter der måles en middeldiameter. Forsøget kan læses under afsnit 6.2 Mørtel forsøg.

Tilslaget påvirker også bearbejdeligheden, som bl.a. afhænger af kornkuverne. Det skyldes, at overfladearealet af tilslagsmaterialerne påvirker mængden af cemenpasta, som skal dække dem. Hvis partiklerne er store, vil der være et mindre overfladeareal, og derfor vil der være behov for mindre cementpasta, som resulterer med en bedre bearbejdelighed. Derudover har pakningen en betydning, da et tæt pakket tilslag vil minimere hulrummene mellem tilslagene, hvorfor mængden af cementpastaen reduceres. Pakningen kan dog blive for tæt, da bearbejdeligheden bliver dårligere. Samtidig kræver afrundede tilslag mindre cementpasta, end hvis de er kantede (16).

## 5.5 Porøsitet

Porøsiteten af betonen afgøres af hydratiseringsgraden samt  $v/c$ -forholdet. Som nævnt tidligere vil betonens trykstyrke falde ved højere porøsitet, som hænger sammen med et højt  $v/c$ -forhold. Man regner med, at trykstyrken falder 4–5% pr. % tilsat luft, der tilsættes ud over det naturlige. Idéen med at tilføje betonen luft er at øge betonens frostbestandighed, da det giver betonen små luftporestrukturer (28). Til beregning af den nye trykstyrke, hvis betonen har et større luftindhold bruges Bolomeys korrigerede formel (16).

$$f_c = K \cdot \left( \frac{1}{v/c} - \alpha \right) \cdot (1 - (0,04 \cdot (a - a_0))) \quad (5.4)$$

Hvor

- $\alpha$  er en konstant som også er beskrevet tidligere under "Trykstyrk".
- $a$  er luftindholdet i volumenprocent i betonen.
- $a_0$  er det naturlige luftindhold som typisk er 1–2% i volumen procent.

Derudover hænger densiteten og porøsiteten også sammen. Hvis betonen har en høj porøsitet, så vil densiteten blive mindre og omvendt. I forsøget hvor volumen for de åbne pore bestemmes bruges følgende formel (de andre benyttede formler ses i bilag B14):



$$V_{p\grave{a}} = \frac{m_{ssd} - m_{50}}{\rho_w} \quad (5.5)$$

Hvor

- $m_{ssd}$  er massen af prøven over vand efter vakuummætning.
- $m_{50}$  er massen af prøven efter tørringen ved  $50^\circ C$ .
- $\rho_w$  er vanddensiteten.

## 5.6 Puzzolan

Mineralske tilsætninger til cement og beton kan være naturlige eller kunstige puzzolaner. Flyveaske og mikrosilica er begge kunstige puzzolaner, som har vist sig at virke i en proportionering af beton. Flyveaske medfører f.eks. en bedre bearbejdelighed og forbedrer betonens styrkeudvikling, især efter 28 døgn grundet de puzzolanske egenskaber. Mikrosilica forbedrer betonens trykstyrke, vandtæthed og bestandighed mod kemikalier samt alkalireaktioner (2). Puzzolanerne i flyveasken reagerer langsommere end cement, hvilket betyder, at det er vigtigt at have gode hærdeforhold, hvor mikrosilica vil styrke betonen i den tidlige og sene styrkeudvikling. Puzzolan er et materiale, som reagerer med calciumhydroxid, og danner tungtopløselige kalci-umsilikathydrater, hvilket vil fungere som en binder i betonen (19). Cement er en forudsætning for puzzolanske reaktioner, hvilket betyder, at hvis der ikke er cement, vil de ikke reagere, og det betyder, at der er en øvre grænse for indholdet af flyveaske og mikrosilica i forhold til cemen-tindholdet (18). Puzzolaner indeholder meget amorf materiale, som betyder, at en XRD-analyse af de to tailings giver en indikation på dette.

## 5.7 Filler

Det er tidligere beskrevet, at densiteten af betonen har en stor indflydelse på betonens trykstyrke. For at øge densiteten og dermed trykstyrken kan man knuse materialet, som i dette tilfælde er tailingen, hvorved partiklerne vil udfylde hulrummene mellem cement partiklerne. Som tidligere beskrevet hænger det sammen med, at betonen bliver mindre porøs (20). Dette kaldes en fillereffekt, men fillergrænsen er ikke fastlagt, da den svinger mellem  $125\mu m$  og  $250\mu m$ , hvor der i projektet er arbejdet videre med størrelsen  $250\mu m$ . Derudover kan det også bidrage til en hurtigere hydratisering, da tailingen tilføjes som en fremmed overflade, som dermed fremmer heterogen kimdannelse (21) (24). Ved brugen af filler vil betonen udvikle en højere trykstyrke i starten (7 og 14 døgn).

## 6 Beskrivelse af forsøg

I dette afsnit vil metoderne til de udførte forsøg blive gennemgået. Det inkluderer de indledende forsøg og optimerings forsøgene. Afsnittet er delt op i to dele: laboratorieforsøg og mørtel forsøg.

### 6.1 Laboratorieforsøg

Tabel 6.1 viser en oversigt over de udførte forsøg i laboratoriet, og hvilke materialer det er udført for, som er søsand, basis cement, Zinkgruvan og Codelco.

	Søsand	Basis Cement	Zinkgruvan	Codelco
Vandindhold	X	X	X	X
Pyknometer	X	X	X	X
pH-værdi	X	X	X	X
Oplukning	X	X	X	X
Carbonat	X	X	X	X
Glødetab	X	X	X	X
Laserdiffraktometer	X	X	X	X
XRD-analyse	-	-	-	X
Knusning	-	-	X	X
SEM-analyse	-	-	X	X
Vandabsorptionsevne	X	-	X	X

Tabel 6.1: Tabellen viser en oversigt over, hvilke materialer der er indgået i hvert forsøg i laboratoriet.

### Bestemmelse af vandindhold

Vandindholdet af materialerne bestemmes ved følgende fremgangsmetode:

- Der skal bruges 6 plast-vials for hver prøve, hvor der skal være 2 gram i hvert glas.
- Tre af prøverne tørres ved  $50^{\circ}\text{C}$ , hvor de resterende prøver tørres ved  $105^{\circ}\text{C}$ , som skal stå natten over.
- De tørrede prøver vejes efter afkøling, hvorefter følgende formel bruges til at bestemme vandindholdet i %.

$$\text{Vandindhold} = \frac{m_{\text{vådprøve}} - m_{\text{tørprøve}}}{m_{\text{vådprøve}}} \cdot 100 \quad (6.1)$$

Det fuldstændige vandindhold måles ved  $105^{\circ}\text{C}$ , hvor vandindholdet ved  $50^{\circ}\text{C}$  måles, da tailingen og cementen tørres til  $50^{\circ}\text{C}$ , inden det skal bruges til støbningen. Det skyldes, at mineralogien ikke ødelægges ved denne temperatur. Sandet tørres kun ved  $105^{\circ}\text{C}$ , da det tørres ved samme temperatur inden støbningen. Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B1.

### Pyknometer

Forsøget handler om at bestemme korndensiteten, som følger DS/EN ISO 17892-3:2015 (3), hvor følgende fremgangsmåde er brugt:

- Der vejes 3 x 4 gram af prøverne i vejlbåde, som skal være tørre. De lægges i tre pyknometer glas.
- Pyknometer glassene vejes med prop og prøve.
- Der tilsættes destilleret vand, så glassene er halvfylt, hvorefter de stilles i en eksikator i vakuum sug natten over. Der skal også stå et bæreglas med destilleret vand i eksikatoren. Vejledningen til brugen af vakuumpumpen kan ses i bilag B3.
- Dagen efter måles vandets temperatur i bæreglasset, hvorfra vandets densitet aflæses i excelarket. Pyknometer glassene fyldes forsigtigt op med destilleret vand, hvorefter de lukkes med prop. Derefter fjernes det overskydende vand på proppen, så pyknometer glassene kan vejes.
- For at bestemme tørdensiteten bruges et excel ark, som ses i bilag A2, der kan regne korndensiteten.

Forsøgsvejledningen for forsøget kan ses i bilag B2.

### pH-værdi

For at bestemme pH-værdien skal følgende fremgangsmåde følges:

- Der vejes præcist 5,00 gram af den tørrede prøve i 5 plast-vialser.
- Derefter tilsættes der 12,6 ml KCl med pipette, hvorefter prøverne stilles på et rystebord i en time.
- Prøverne tages af og sedimenterer i cirka 10 min, hvorefter pH-værdien kan måles ved brug af maskinen "sensION MM374", som ses på figur 6.1. pH-værdien aflæses direkte på apparatet efter, at displayet viser "STAB".



Figur 6.1: Figuren viser sensION MM374, som bruges til at bestemme pH-værdien.

Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B4

### Oplukning

Forsøget handler om, at bestemme metalkoncentrationen, hvor fremgangsmåden er baseret ud fra DS 259 (4), og som udføres således:

- Der skal vejes 1,00 gram af prøven i 5 plast-vialser, hvor der tilsættes 20 mL halvkoncentreret  $HNO_3$ .
- Låget skrues på, så  $HNO_3$  ikke fordamper, hvorefter plast-vialserne stilles i autoklaven.
- Der hældes 1,5L destilleret vand i autoklaven. Den skal varme op i 10-15 min, og når der ryger damp ud af ventilen, skal der gå 3 min, før den lukkes. Når trykket er i det blå felt på monometeret, skal autoklaven stå i 30 min, hvorefter den slukkes.
- Flaskerne afkøles til stuetemperatur, hvor prøverne filtreres med sug gennem et 0,45 m filter. Filtratet hældes op i en 100mL målekolbe, hvorefter der tilsættes destilleret vand til mærket. Derefter blandes det ved at ryste målekolben.
- Væsken hældes i en 20 mL plast-vials, der gives videre til laboranten, som gennemfører ICP-analysen med apparatet: ICP Optical Emission Spectrometer Varian 720-ES.
- ICP-resultaterne behandles med følgende formel:

$$\frac{mg}{kg} = \frac{A \cdot 0,100 \cdot C}{B \cdot 10^{-3}} \quad (6.2)$$

Hvor

A = ekstraktens metal koncentratil mg/L = ppm

B = gram jord afvejet

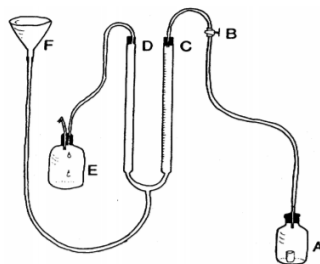
C = Fortyndingsfaktor = 1

Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B5.

## Carbonat

Forsøget bestemmer carbonat indholdet i prøverne, og det gøres ved følgende metode:

- Vægten af prøverne varierer afhængigt af, hvilken prøve der er tale om, da forsøget kan tage lang tid, hvis der er meget carbonat i. Cement og Coldelco vejes til 1,00 gram, Zinkgruvan vejes til 2,50 gram og sandet vejes til 2,00 gram. Prøven hældes i et 5 mL bæreglas.
- For at måle carbonat indholdet bruges et Scheibler apparat, hvor hanen (B) skal være åben, og vandet i rørene (C og D) bringes til niveau 0. En oversigt over Scheibler apparat ses herunder:



Figur 6.2: Figuren viser Scheibler apparatet.

- Der hældes 20 mL saltsyre i reaktionsflasken A, hvorefter bæreglasset med prøven sættes ned i reaktionsflasken.
- Glasset lukkes, og der tappes cirka 50 mL vand fra røret (D) til glastragten (F) ved at flytte tragten ned.
- Bæreglasset væltes i reaktionsflasken og rystes indtil vandet i glasrørene er stabilt.
- Vandsøjlerne indstilles til de i niveau med hinanden, hvorefter røret (C) aflæses.
- Ud fra standardkurven, som ses i bilag A5 bestemmes prøvens indhold af calciumcarbonat ved følgende formel:

$$CaCO_3[\%] = \frac{A \cdot 100}{B} \quad (6.3)$$

Hvor

A = g  $CaCO_3$  i jorden ifølge standardkurve

B = g jord afvejet

Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B6.

### Glødetab

Forsøget bruges til at bestemme prøvens indhold af organisk materiale, som findes efter temperaturen  $550^\circ C$ . Efter temperaturen  $950^\circ C$  fjernes kalciumkarbonater og eventuelle mineraler.

Metoden for forsøget ses herunder:

- Tre digler sættes i ovnen, som opvarmes til  $550^\circ C$  i 30 min, hvorefter de afkøles i en eksikator, som har silicat i bunden.
- Der vejes 2,5 gram af de tørre prøver, som lægges i de tre afkølede digler.
- De tre digler sættes i ovnen med  $550^\circ C$  i en time, hvorefter de afkøles i eksikatoren og efterfølgende vejes.
- Derefter sættes diglerne ind i ovnen til  $950^\circ C$  i en time, hvorefter de afkøles og vejes.
- Glødetabet kan bestemmes ud fra følgende formel efter  $550^\circ C$  og  $950^\circ C$ .

$$Glødetab[\%] = \frac{m_{før} - m_{efter}}{m_{før}} \cdot 100 \quad (6.4)$$

Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B7.

### Laserdiffratometer

Forsøget viser kornstørrelses fordelingen i prøven efter, at prøven er tørret ved  $50^\circ C$ . Forsøget er blevet udført af laboranten. Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B8.

### Knusning af mineaffald

Forsøget er blevet gennemført for Zinkgruvan og Codelco ved brug af en mortar, hvilket kan ses på figur 6.4. Herefter bliver kornstørrelsen tjekket ved brug af en si, der kan ses på figur 6.3.



Figur 6.3: Figuren viser sien, som eftertjekker kornenes størrelse, der bliver rystet af det viste apparat.



Figur 6.4: Knusningen af tailingen foregik med den viste mortar.

### XRD-analyse

XRD-analysen blev udført ved først at knuse de tørre prøver fint (ligesom mel), hvorefter de blev analyseret af laboranten. Ud fra analysen fås en graf, hvorfra udsvingene identificeres som forskellige mineraler. For at identificere mineralerne bruges videnskabelige artikler til at sammenligne resultaterne med XRD-analysen. Vejledningen for programmet Highscore, som er programmet, der bruges til analysen kan ses i bilag B9.

### SEM-analyse

SEM-analysen bliver udført ved et elektronmikroskop, hvor man kan se, hvordan kornene ser ud før og efter, at det bliver knust. Dette forsøg bliver udført af laboranten.

### Vandabsorbtionsevne

Forsøget viser, hvor stor en procentdel vand prøven kan optage. Følgende fremgangsmåde er benyttet:

- Prøverne lægges i vand natten over.
- Prøverne tørres til ssd-tilstand på en stegepande, som tjekkes ved at fylde prøven op i en tragte på hovedet, hvorefter man kan se, hvordan prøven falder sammen når tragten løftes. I bilag B16 findes forsøgsvejledningen, og hvordan det skal se ud.
- Når prøven er i ssd-tilstand vejes den, hvorefter den tørres helt på stegepanden og vejes. Vandabsorptioevnen i % kan findes ved følgende formel:

$$w_a = \frac{m_{ssd} - m_d}{m_d} * 100 \quad (6.5)$$

## 6.2 Mørtel Forsøg

I dette delafsnit vil fremgangsmetoderne til mørtel forsøgene blive gennemgået. Tabel 6.2 viser en oversigt over forsøgene, samt hvilke mørtelprøver de er udført på.

	Reference	Zi 5	Zi 10	Zi 10 k	Co 5	Co 10	Co 10 k
Bearbejdelighed	X	X	X	-	X	X	-
Afbindingsforløb	X	X	X	-	X	X	-
Trykstyrke	X	X	X	X	X	X	X
Porøsitet og densitet	X	X	X	-	X	X	-
Farveprøve	-	-	-	-	-	X	-

Tabel 6.2: Tabellen viser en oversigt over mørtelforsøgene, hvor X viser, hvilke forsøg der er lavet på mørtelprøver. K indikere mørtelprøverne med knust tailing.

### Blanding af mørtel- og støbning af mørtel prøver

Udarbejdelsen af mørtelprøverne er lavet ud fra DS/EN 196-1 2.udgave (5), hvor fremgangsmetoden kan ses i bilag B10. Først skal søsandet tørres ved  $105^{\circ}\text{C}$ , og mineaffaldet tørres ved  $50^{\circ}\text{C}$  natten over. De skal begge være kolde, når de tilsættes mørtlen. Cementen der bruges er basis cement (CEM II) til støbningen. Følgende proportionering bruges til mørtelprøverne:

	Basis Cement [g]	Mineralsk tilsætning [g]	Søsand 0-4 mm [g]	Dest. vand [g]
Reference	$450 \pm 2$	0	$1350 \pm 5$	$225 \pm 1$
5%	$427,5 \pm 2$	22,5	$1350 \pm 5$	$225 \pm 1$
10%	$405 \pm 2$	45	$1350 \pm 5$	$225 \pm 1$

Tabel 6.3: Tabellen viser en oversigt over proportioneringen for mørtelprøverne. 5- og 10 % prøverne er mørtelprøver, med tailing som 5- og 10 % cementerstatning.

Som mixer til støbningen bruges maskinen fra Toni industri, som kan ses på figur 6.5, hvor der er to niveauer af omrøring: 1 = lav hastighed og 2 = middel hastighed.





Figur 6.5: Her ses et billede af mixeren fra Toni industri.



Figur 6.6: Figuren viser støbeformen, som har målene 40 x 40 x 160 mm.

Mørtlen laves ved følgende fremgangsmåde.

- Cement, tailing og vand hældes i mixeren, som skal røres med lav hastighed i 30 sek.
- Herefter tilsættes sandet gradvist i løbet af 30 sek under svag omrøring.
- Røringen sættes på middel hastighed i 30 sek, hvorefter den slukkes, så mørtlen kan blive skrabbet ned fra kanten. Det skal gøres indenfor 30 sek.
- Mørtlen skal hvile i 1 min.
- Derefter skal mørtlen røres ved middel hastighed i 1 min, hvorefter mørtlen er klar til at blive støbt.
- Støbeformene gøres klar ved at smøre med formolie, som fordeles med papir.
- Ifølge standarden skal mørtlen rystes over 2 gange. Dog viste det sig, at mørtlen var meget tør, så de er derfor blevet rystet 3 gange. Det betyder, at formene fyldes op 1/3 ad gangen og rystes i cirka 20 sek på det store rystebord med en hastighed på cirka 50. Når det rystes tredje gang, skal der bruges en afretter for at fjerne det overskydende mørtel fra støbeformene.
- Støbeformene med mørtlen dækkes over med plastik, og de bliver afformet cirka 24 timer efter støbningen.
- Til sidst lægges prøverne i vand og hærder.

## Bearbejdelighed

Forsøget er udført ud fra EN 1015-3 1.udgave (6), og forsøgsvejledningen kan ses i bilag B11.



*Figur 6.7: Figuren viser mørtelprøven efter forsøgets udførelse.*



*Figur 6.8: Figuren viser tamperen og formen, hvis indvendige diameter er 50 mm i toppen, hvor den ifølge standarden skal være 70 mm.*

Den ønskede mørtel blandes jf. vejledningen Blanding af mørtel (5). Formen fyldes halvt op med mørtel og komprimeres med 10 slag med tamperen, som kan ses på figur 6.8. Derefter fyldes den helt op, og komprimeres med 10 slag med tamperen, hvorefter toppen afrettes. Før formen løftes tørres mørtel eller vand væk, som siver ud under formen, og derefter skal den stå i cirka 15 sekunder, før den løftes op. Når den løftes, bankes bordet 15 gange med cirka 1 sekunds interval. Mørtlens diameter måles lodret og vandret, som gøres igen med en ny mørtelblanding. Dermed får man 4 målinger, hvorfra der regnes et gennemsnit for flydesæt målet.

## Afbindingsforløb

Forsøget bestemmer prøvens afbindingstid ud fra DS/EN 196-3 + A1 3. udgave (7), hvor forsøgsvejledningen kan ses i bilag 12. Fremgangsmetoden ses beskrevet herunder:



Figur 6.9: Figuren viser apparatet vicatronic, som bruges til at bestemme afbindingstiden.

- Først placeres kalibreringsringen i bægeret, hvorfra der tegnes en ring på bægeret.
- Nålen fra vicatronic (se figur 6.9) sættes forsigtigt på kalibreringsringen, hvorefter apparatet kalibreres.
- Derefter blandes mørtlen efter den anviste fremgangsmåde (5).
- Bægeret fyldes op med mørtel til strengen og bankes så overfladen bliver jævn, hvorefter apparatet sættes igang.
- Maskinen vil stikke nålen ned hvert 10 min, til dagen efter, hvorefter afbindingstiderne printes ud. Vejledningen til apparatet kan ses i bilag B12.

De indledende- og endelige afbindingstider aflæses således:

- Den indledende afbindingstid findes, når vicatnålen når  $6 \pm 3$  mm fra bunden af. (7)
- Den endelige afbindingstid findes ved at trække 0,5 mm fra den største indtrængen. (7)

Resultaterne fra forsøget viser, at mørtlen har været ujævn, så de mål som er meget høje, i forhold til de andre mål er ikke taget i betragtning, når den endelige afbindingstid skal findes.

### Tryktest

For at bestemme trykstyrken af mørtelprøverne bruges følgende fremgangsmåde ud fra (5):

- Efter prøverne har hærdet 7, 14 eller 28 døgn duppes de tørre, hvorefter højden og bredden af prøverne måles 3 gange samt længden, der måles 2 gange. Derudover skal hver prøve vejes.
- Derefter bruges trykprøvemaskinen ”Toni 300”, hvor opstillingen til tryktesten ses på figur 6.10. Prøven trykkes i hver ende, så man får 6 resultater pr. mørtelblanding.
- Trykstyrken udregnes ved følgende formel:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (6.6)$$

- $F_c$  er svarende til den målte trykstyrke i [kN], og  $A$  er det trykpåvirkede areal, som er svarende til bredden af den øverste skive (40 mm) ganget med gennemsnittet af bredden af prøven, som cirka er (40 mm).
- Ifølge DS/EN 196-1 beregnes gennemsnittet  $\pm 10\%$ , hvor de beregnet trykstyrker, der falder udenfor intervallet udgår, som betyder, at der skal regnes et nyt gennemsnit for de ”godkendte” resultater.
- Hvis der er mere end to prøver som udgår, så udgår mørtelblandingen, og der skal laves en ny.



Figur 6.10: Figuren viser forsøgsopstillingen i maskinen ”Toni 300”.

Forsøgsvejledningen kan ses i bilag B13.

## Porøsitet og densitet

Forsøget bestemmer prøvernes porøsitet og densitet, hvor fremgangsmåden er:

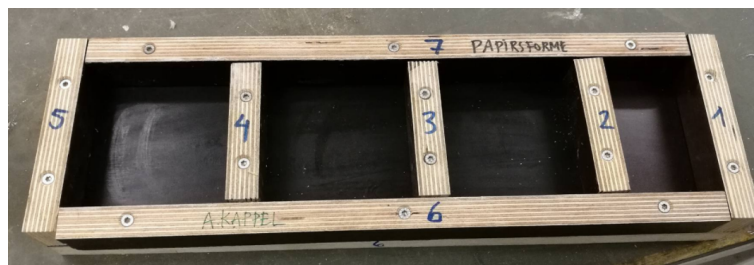
- Mørtelprøverne støbes ved samme fremgangsmetode som i afsnittet "Blanding af mørtel- og støbning af mørtelprøver".
- Prøverne hærdes i 28 døgn under vand, hvorefter de tørres ved  $50^{\circ}\text{C}$  i 21 døgn, så mørtelprøverne er helt tørre, da tørring ved høje temperature ( $105^{\circ}\text{C}$ ) vil ændre porestrukturen.
- Efter tørringen noteres vægten, som er svarende til  $m_{50}$
- Derefter placeres prøverne i en eksikator, som tilsluttes vakuumpumpen, der skal pumpe i 3 timer. Når mørtelprøverne lægges i eksikatoren, skal der være et passende mellemrum mellem dem, så overfladerne er frie.
- Herefter hældes der destilleret vand i eksikatoren ved at sætte en slange til eksikatoren, hvor den anden ende er i vandet, og grundet undertrykket vil vandet automatisk blive suget ind i eksikatoren. Det destilleret vand skal være 3 cm over prøverne.
- Derefter lukkes hanen på eksikatoren, så trykket forbliver dernede. Det skal stå i en time, hvorefter hanen åbnes, så prøverne står i atmosfærisk tryk natten over.
- Dagen efter vejes den vandmættede prøve under vand, og vægten noteres som  $m_{sw}$ .
- Prøverne duppes med en klud, hvorefter de vejes over vand, og vægten noteres som  $m_{ssd}$
- Formlerne for resultatbehandlingen samt vejledningen kan ses i Bilag 14.

## Farveprøve

Fremgangsmetoden for støbningen af farveprøven ses herunder, og forsøgsvejledningen kan ses i bilag B15.

- Grundpapiret gøres klar først, som har målene 140 x 460 mm, som skæres ud ved brug af en hoppekniv.
- Der skæres tre cirkulære huller med målene  $\text{Ø}70\text{mm}$  mellem siderne 2-3, 3-4 og 4-5, som ses på figur 6.11, der skal placeres mellem siderne.
- Formen klargøres ved at nr. 7, nr. 1, 2, 3, 4 og 5, og nr. 6 skrues af i den anviste rækkefølge. Delene smøres ind i olie, som tørres med papir.

- Mørtelprøverne laves ved samme beskrivelse som i "Blanding af mørtel- og støbning af mørtelprøver" (5).
- Når mørtlen er blandet skal grundpapiret gøres vådt, hvorefter det lægges i bunden af formen. Siderne skal skrues sammen via samme rækkefølge som før. Derefter lægges malertape på kanterne af formen, så mørtlen ikke sætter sig fast på træet.
- Mørtlen støbes ved at fylde formen halvt op, hvorefter det rystes i cirka 20 sek. Derefter hældes resten af mørtlen i, og der rystes igen i 20 sek. Formene bliver ikke fyldt op, da proportioneringen ikke er stor nok, hvilket betyder, at der ikke behøves en afretter.
- Dagen efter afformes prøverne ved at skrue siderne af i samme rækkefølge, hvor de derefter skal hærde i 14 døgn.
- Efter 14 døgn skal prøven gøres ren.



Figur 6.11: Figuren viser formen til farprøven, samt nummeringen på siderne.

## 7 Resultater

I følgende afsnit vil alle resultater blive præsenteret. Afsnittet er delt op i to dele, hvor den første del viser resultaterne for de indledende forsøg. Det inkluderer karakteristikken for tailings, samt bearbejdigheden, afbindingstiden, porøsiteten og trykstyrken. I den anden del vil de optimerede forsøgsresultater blive præsenteret, som inkluderer kornstørrelsen efter knusning og den nye trykstyrke for mørtelprøverne. Baggrunden for valget af optimeringsforsøgene kan læses under diskussionen i afsnit 8.2 "Del 2: Valg af optimerings forsøg".

### 7.1 Indledende resultater

#### 7.1.1 Karakteristik

I dette delafsnit vil karakteristikken blive præsenteret, som viser, hvilke egenskaber cement, søsand, Zinkgruvan og Codelco har i forhold til, at de skal indgå i en beton.

#### Vandindhold, carbonat indhold, pH, densitet og glødetab

Tabel 7.1 viser resultaterne for vandindholdet, carbonat indholdet, pH-værdien, korndensiteten samt resultaterne fra glødetab. Alle de målte data kan hhv. ses i Bilag A1, A5, A3, A2 og A6.

	Enhed	Søsand 0-4mm	Basis Cement	Zinkgruvan	Codelco
<b>Vandindhold 50°C</b>	[%]	-	0,040 ± 0,011	2,72 ± 0,19	0,23 ± 0,33
<b>Vandindhold 105°C</b>	[%]	0,28 ± 0,14	1,14 ± 0,030	2,85 ± 0,080	0,094 ± 0,16
<b>Carbonat indhold</b>	[%]	6,90 ± 0,53	16,09 ± 0,53	8,53 ± 0,83	5,12 ± 0,91
<b>pH-værdi</b>	-	9,74 ± 0,13	12,53 ± 0,020	8,36 ± 0,044	8,72 ± 0,12
<b>Korndensitet</b>	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,68 ± 0,017	3,68 ± 0,014	2,86 ± 0,14	3,00 ± 0,13
<b>Glødetab ved 550°C</b>	[%]	0,05 ± 0,0066	0,13 ± 0,074	0,08 ± 0,010	0,32 ± 0,23
<b>Glødetab ved 950°C</b>	[%]	0,39 ± 0,058	0,83 ± 0,40	1,14 ± 0,033	0,57 ± 0,029

Tabel 7.1: Tabellen viser en oversigt over resultaterne for vandindholdet, carbonat indhold, pH-værdi, korndensitet og glødetabet. Hver kolonne er bygget på ved gennemsnit ± standardafvigelsen.

Som tidligere nævnt er vandindholdet for basis cement, Zinkgruvan og Codelco målt efter tørring for både 50°C og 105°C. Det skyldes, at de bliver blandet i betonen efter, at de er blevet tørret ved 50°C, hvor det komplette vandindhold kendes efter tørringen på 105°C. Søsandet er kun målt ved 105°C, da det bliver tørret til den temperatur, inden det blandes i mørtelprøverne.

Carbonat indholdet i volumen % bliver målt for alle, hvor man ved, at cement indeholder meget carbonat, da hovedkemikalierne i cement bl.a. er calciumcarbonat ( $CaCO_3$ ) (15).

Derudover er pH-værdierne bestemt, da en beton er stærk basisk efter blanding, hvilket skyldes, at cement er stærkt basisk. Det har også en stor indflydelse på betonens korrosionsmiljø, som bliver diskuteret i afsnit ”8.1.1 Karakteristik”.

Derudover bestemmes korndensiteten og glødetabet efter  $550^{\circ}\text{C}$  og  $950^{\circ}\text{C}$ . Efter prøverne er opvarmet til  $550^{\circ}\text{C}$ , kan man se indholdet af organisk materiale. Ifølge standarden skal prøverne også tørres ved  $950^{\circ}\text{C}$ , hvor bl.a. calciumcarbonater og nogle mineraler vil brænde af. Man kan ikke med sikkerhed sige, hvilke mineraler der vil brænde af.

### ICP-analyse

Tabel 7.2 viser indholdet af tungmetaller ud fra forsøget ”Oplukning”. Tabellen viser de tungmetaller, som miljøstyrelsen kræver overholder visse krav, som tabel 7.3 viser (22). De resterende metaller, som er blevet identificeret ud fra ICP-analysen kan ses i bilag A4. Det skal bemærkes, at forsøget fastlægger et niveau af metalkoncentrationen. Den bestemmer ikke den fuldstændige metalkoncentration, da en fuldstændig destruktion af jordprøven kan resultere i en højere koncentration af nogle metaller.

	Søsand	Basis Cement	Zinkgruvan	Codelco
<b>Arsen</b>	$1,78 \pm 0,19$	$3,38 \pm 1,31$	<b><math>40,77 \pm 3,20</math></b>	$18,02 \pm 0,97$
<b>Cadmium</b>	$0,09 \pm 0,02$	$0,40 \pm 0,15$	<b><math>14,14 \pm 0,38</math></b>	$0,27 \pm 0,01$
<b>Chrom</b>	$1,52 \pm 0,32$	$21,60 \pm 2,75$	$3,16 \pm 0,18$	$20,01 \pm 0,31$
<b>Kobber</b>	$1,39 \pm 0,07$	$60,73 \pm 8,59$	$275,11 \pm 9,47$	$353,41 \pm 6,35$
<b>Nikkel</b>	$1,04 \pm 0,18$	$18,12 \pm 2,41$	$20,10 \pm 0,51$	<b><math>41,26 \pm 0,35</math></b>
<b>Zink</b>	$8,93 \pm 0,32$	$244,03 \pm 33,85$	<b><math>3890,44 \pm 212,50</math></b>	$59,14 \pm 2,13$
<b>Bly</b>	$1,90 \pm 0,17$	$12,66 \pm 1,50$	<b><math>8854,43 \pm 291,34</math></b>	<b><math>66,68 \pm 0,85</math></b>

Tabel 7.2: Tabellen viser en oversigt over indholdet af tungmetaller i de forskellige prøver. De røde tal betyder, at de ikke overholder kravene fra kategori 1 fra (22), som ses på tabel 7.3. Enheden er  $[\text{mg}/\text{kg}]$ , og tabellen er bygget op ved: indhold af metal  $\pm$  standard afvigelsen.

Kategorierne i tabel 7.3 stammer fra miljøstyrelsen (22), hvor grænseværdierne gælder for indholdet af metaller i restprodukter til byggematerialer. Kategoriernes grænseværdier kan ses i tabel 7.3, hvor de røde tal i tabel 7.2, viser hvilke metalkoncentrationer, som ikke overholdes for kategori 1.



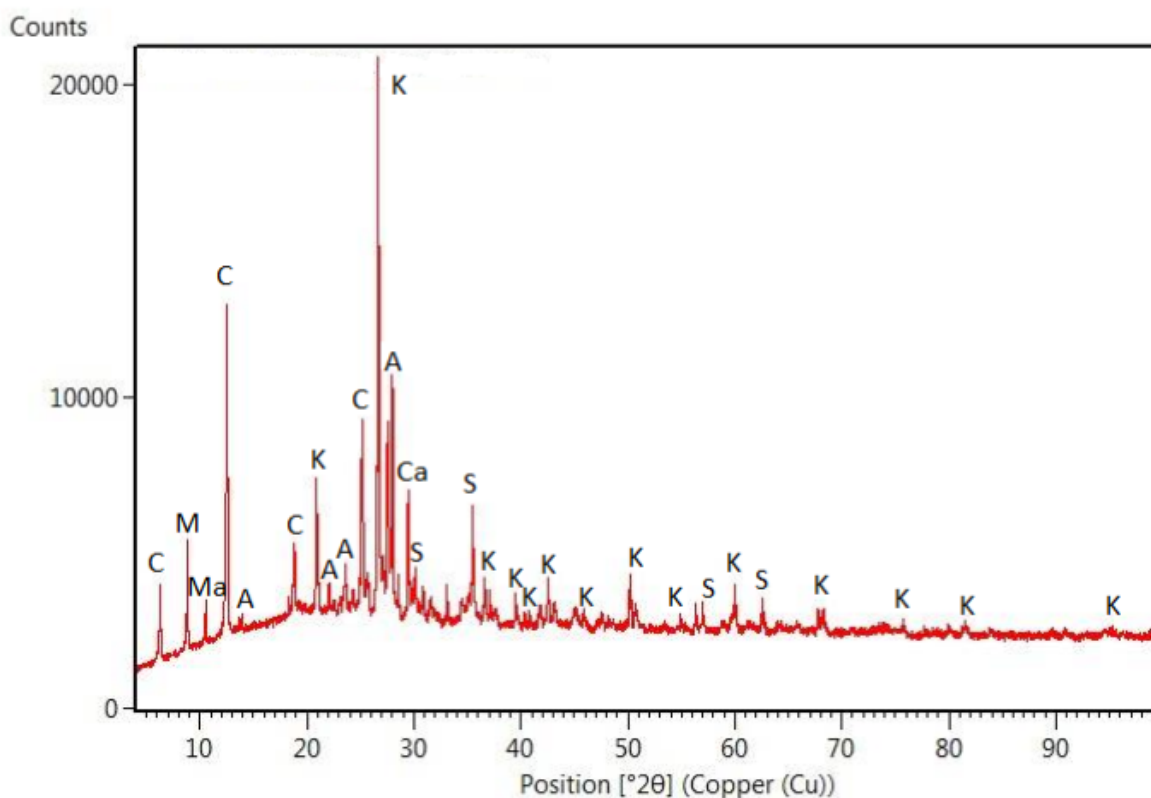
	Arsen	Cadmium	Chrom	Kobber	Nikkel	Zink	Bly
<b>Kategori 1</b>	0 – 2	0 – 0,5	0 – 500	0 – 500	0 – 300	0 – 500	0 – 40
<b>Kategori 2</b>	> 2	> 0,5	> 500	> 500	> 300	> 500	> 40

Tabel 7.3: Tabellen viser en oversigt for grænseværdierne i de to kategorier fundet fra (22).

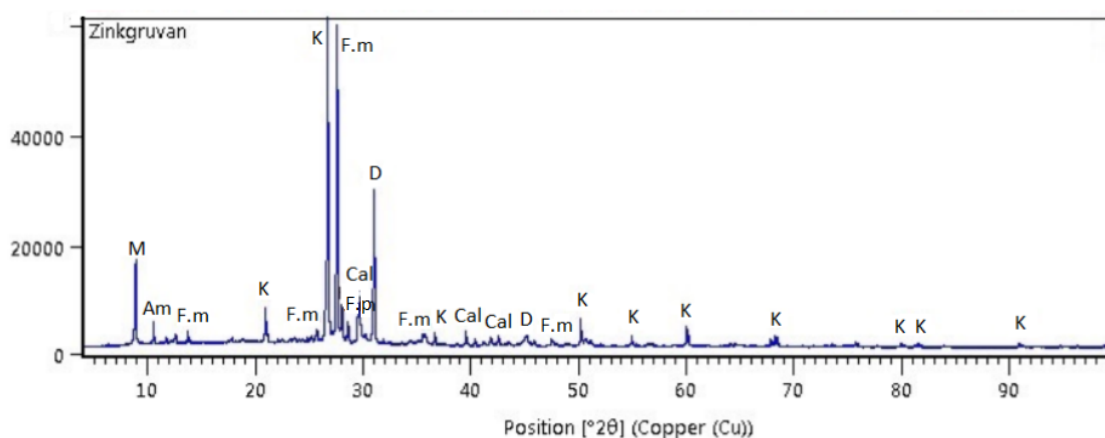
### XRD-analyse

Figur 7.1 viser resultaterne af XRD-analysen for Codelco, hvor udsvingene er identificeret som forskellige mineraler. Figur 7.2 viser en XRD-analyse for Zinkgruvan, der er taget fra en anden rapport (24). De identificerede mineraler kan ses i tabel 7.4.

Analysen giver ikke et indblik i, hvor stor en procentdel af hvert mineral der er i hver prøve, men den viser f.eks., at intensiteten for kvarts er større end de andre mineraler. Det betyder, at der er flere kvarts mineraler i både Zinkgruvan og Codelco. De små bølger i diagrammerne kaldes amorf, som ikke kan identificeres af analysen.



Figur 7.1: Figuren viser resultatet af XRD-analysen for Codelco. Betegnelserne for mineralerne kan ses i tabel 7.4.



Figur 7.2: Figuren viser resultatet for XRD-analysen for Zinkgruvan, som er taget fra rapporten (24). Mineralernes betegnelse kan ses i tabel 7.4

Den nedenstående tabel viser, hvilke forkortelser der indikerer de forskellige mineraler, som er fundet i XRD-analysen.

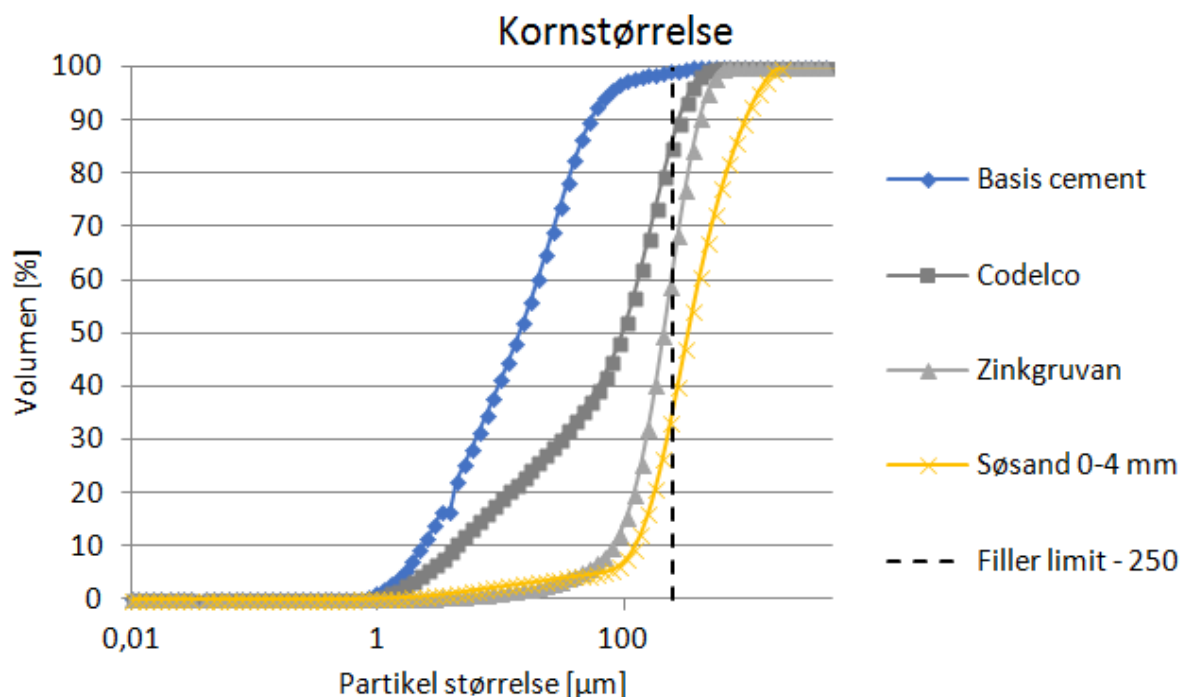
	Navn	Kemisk sammensætning	Zinkgruvan (24)	Codelco
K	Kvarts	$SiO_2$	X	X
M	Muskovite	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(F, OH)_2$	X	X
A	Albite	$Na(AlSi_3O_8)$	-	X
S	Spinel	$ZnCr_2O_4$	-	X
Ma	Magnesiohornblende	$Ca_2(Mg, Fe)_4Al(Si_7Al)O_{22}(OH, F)_2$	-	X
C	Clynocllore	$(Mg, Fe)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	-	X
Ca	Carlinit	$TI_2S$	-	X
Am	Amfibole	$Ca_2(Mg, Fe, Al)_5(Si, Al)_8O_{22}(OH)_2$	X	-
F.m	Mikroklin-Feldspar	$KAlSi_3O_8$	X	-
Cal	Calcit	$CaCO_3$	X	-
D	Dolomit	$MgCa(CO_3)_2$	X	-
F.p	Plagioklas Felspar	$CaAl_2Si_2O_8$	X	-

Tabel 7.4: Tabellen viser en oversigt over de identificerede mineraler i de to ovenstående XRD-analyser. Analysen for Zinkgruvan er taget fra (24).

### Kornstørrelses fordeling

Figur 7.3 viser kornstørrelses fordelingen for basis cement, Codelco, Zinkgruvan og søsand. Derudover er filler grænsen  $250\mu m$  indtegnet. Der ses, at Zinkgruvans kornstørrelse minder om

søsandets, hvor Codelco er finere end Zinkgruvan. Resultaterne stammer fra forsøget ”Laserdiffratometer”, hvor den gennemsnitlige kornstørrelses fordeling er brugt. Der er lavet tre målinger for hver prøve som kan ses i bilag A7.



Figur 7.3: Figuren viser kornstørrelses fordelingen for basis cement, søsand og de to tailings Zinkgruvan og Codelco. Derudover er fillergrænsen ( $250\mu\text{m}$ ) indtegnet.

### 7.1.2 Bearbejdighed og vandabsorptionsevne

På Figur 7.5 ses en oversigt over flydesætmålene for mørtelprøverne, hvor det gennemsnitlige sætmål  $\pm$  standardafvigelsen ses i kolonnen yderst til højre. Resultaterne udspringer fra forsøget ”Bearbejdighed”. Der er lavet flere flydesætmål for reference prøven samt mørtelprøven med 10 % cement erstatning af Codelco, da flydesætmålene svingede meget.

Det skal bemærkes, at prøverne er lavet på forskellige dage, hvilket kan være grunden til, at referencerne og Codelco 10 % prøverne har store standardafvigelser. Reference prøve 1 og 2 er lavet samme dag, hvor reference prøve 3 og 4 er lavet en anden dag. Reference prøve 5 er lavet en tredje dag. Zinkgruvan prøverne er alle lavet samme dag (forskellig dag i forhold til de andre prøver). Prøverne med 5 % Codelco er lavet samme dag, hvor Codelco 10 % prøve 3 og 4 er lavet samme dag og Codelco 10 % prøve 1 og 2 er lavet samme dag.

	Måling 1 [mm]	Måling 2 [mm]	Gennemsnitlige flydesætmål
Reference - Prøve 1 (1)	105	107	119,8 ± 14,88
Reference - Prøve 2 (1)	107	98	
Reference - Prøve 3 (2)	126	124	
Reference - Prøve 4 (2)	125	125	
Reference - Prøve 5 (3)	139	142	
Zinkgruvan 5 % - Prøve 1 (4)	109	106	107,5 ± 1,29
Zinkgruvan 5 % - Prøve 2 (4)	107	108	
Zinkgruvan 10 % - Prøve 1 (4)	109	110	106,5 ± 3,51
Zinkgruvan 10 % - Prøve 2 (4)	103	104	
Codelco 5 % - Prøve 1 (5)	124	128,5	124,75 ± 2,96
Codelco 5 % - Prøve 2 (5)	127	119,5	
Codelco 10 % - Prøve 1 (7)	137	135	127,13 ± 6,49
Codelco 10 % - Prøve 2 (7)	129	129	
Codelco 10 % - Prøve 3 (6)	120	120	
Codelco 10 % - Prøve 4 (6)	123	124	

Tabel 7.5: Tabellen viser flydesætmålene for alle prøver. Yderst til højre er gennemsnittet [mm] ± standardafvigelsen angivet. Derudover betyder (tal), hvilke prøver der er lavet samtidig.

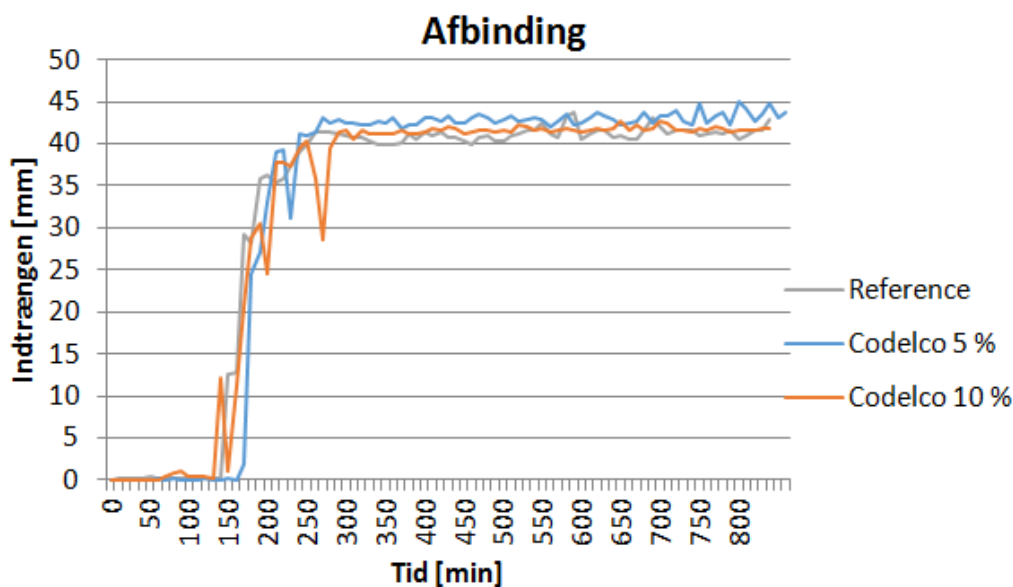
Derudover ses vandabsorbtiønsvevnen for søsand, Zinkgruvan og Codelco i tabel 7.6. Forsøget viser, at tailingen og sandet begge absorberer vand, hvilket giver mindre frit tilgængeligt vand til at reagere med cementen.

	Vægt i ssd tilstand [g]	Vægt tør [g]	Vandabsorbtiønsvevne [%]
Søsand	247,74	247,24	0,20
Zinkgruvan	163,01	162,28	0,45
Codelco	76,89	73,9	4,05

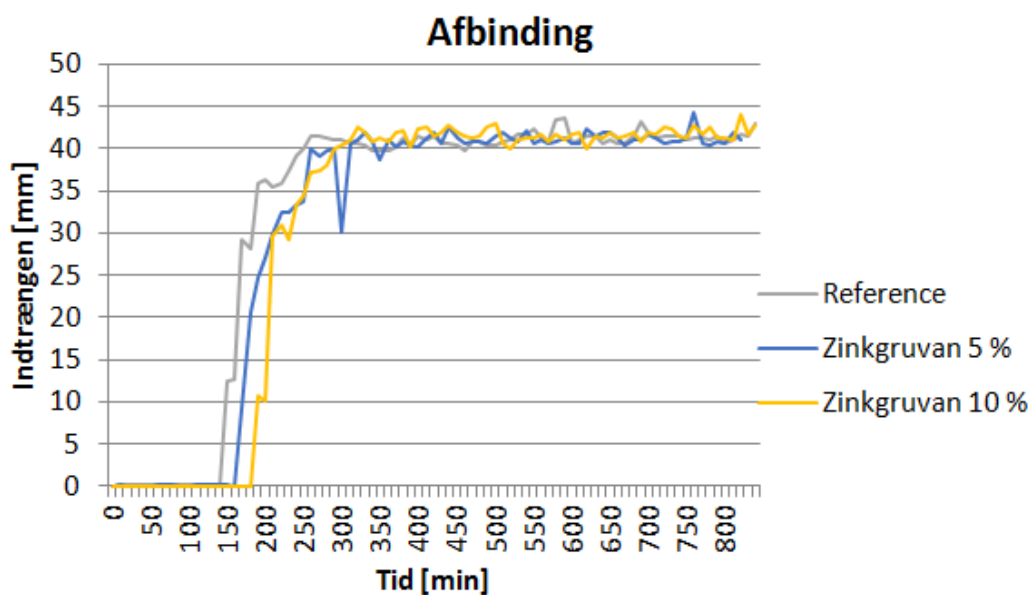
Tabel 7.6: Tabellen viser en oversigt over vandabsorbtiønsvevnen for søsand, Zinkgruvan og Codelco.

### 7.1.3 Afbindingsforløb

I tabel 7.7 ses den indledende- og endelige afbindingstid for mørtelprøverne. På figur 7.4 er afbindingsforløbet vist på en graf for mørtelprøverne med Codelco, og på figur 7.5 ses afbindingsforløbet for mørtelprøverne med Zinkgruvan. Forsøget er beskrevet under metoder i afsnittet ”Afbindingsforløb”.



Figur 7.4: Figuren viser afbindingsforløbet for reference prøven sammen med mørtelprøverne med hhv. 5- og 10 % Codelco.



Figur 7.5: Figuren viser afbindingsforløbet for reference prøven og mørtelprøverne med hhv. 5- og 10 % Zinkgruvan.

	Indledende afbindingstid	Endelige afbindingstid
<b>Reference</b>	2 timer og 30 min.	9 timer og 10 min
<b>Zinkgruvan 5 %</b>	2 timer og 50 min.	7 timer og 10 min.
<b>Zinkgruvan 10 %</b>	3 timer og 10 min.	7 timer og 10 min.
<b>Codelco 5 %</b>	2 timer og 50 min.	10 timer og 10 min.
<b>Codelco 10 %</b>	2 timer og 20 min	10 timer og 40 min.

Tabel 7.7: Afbindingstiderne er bestemt ud fra metoden i (7), hvor de indledende- og endelige afbindingstider kan ses i denne tabel.

Afbindingstiderne kan også ses i bilag A8, hvor det ses, at der er enkelte høje værdier (som er lidt højere end de stabile tal) for alle prøver. De værdier skyldes, at mørtlen har været ujævn, og der ses derfor bort fra disse, når afbindingstiderne aflæses.

#### 7.1.4 Porøsitet og densitet

På figur 7.8 ses resultaterne fra forsøget ”Porøsitet og densitet” for reference- og Zinkgruvan prøverne. Figur 7.9 viser resultaterne for Codelco prøverne. Det skal bemærkes, at reference- og Zinkgruvan prøverne har tørret i et varmeskab i 22 døgn, hvor Codelco prøverne har tørret i et varmeskab i 21 døgn. Det skyldes, at der ikke var plads til alle i eksikatoren. Derudover er resultaterne for reference- og Zinkgruvan prøverne delt med Lasse Thunbo og Markus Pai Sørensen, som også er nævnt i forordet.

	Enhed	Reference	Zinkgruvan 5 %	Zinkgruvan 10 %
$m_{50}$	[Kg]	521,85 ± 6,49	516,30 ± 7,02	513,60 ± 3,88
$m_{sw}$	[Kg]	316,75 ± 4,04	314,14 ± 4,30	312,68 ± 2,61
$m_{ssd}$	[Kg]	569,89 ± 7,03	565,55 ± 7,22	563,13 ± 3,99
$V$	[m <sup>3</sup> ]	0,25 ± 0,0030	0,25 ± 0,0030	0,25 ± 0,0015
$V_{p\grave{a}}$	[ $\frac{m^3}{m^3}$ ]	0,048 ± 0,00064	0,049 ± 0,0003	0,049 ± 0,00070
$P_{\grave{a}}$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	0,19 ± 0,0013	0,19 ± 0,0016	0,20 ± 0,0024
$\rho_d$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	2061,49 ± 2,76	2053,63 ± 4,80	2050,70 ± 7,23
$\rho_f$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	2544,43 ± 1,69	2553,93 ± 1,29	2556,23 ± 3,11
$\rho_{ssd}$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	2251,29 ± 1,66	2249,52 ± 3,21	2248,47 ± 5,00
$u_{ssd}$	[ $\frac{Kg}{Kg}$ ]	0,092 ± 0,00075	0,095 ± 0,0010	0,096 ± 0,0015

Tabel 7.8: Figuren viser resultaterne fra forsøget ”Porøsitet og densitet” for reference prøverne og Zinkgruvan. Resultaterne er givet ved gennemsnit ± standardafvigelsen.

	Enhed	Codelco 5 %	Codelco 10 %
$m_{105}$	[Kg]	531,37 ± 8,25	522,92 ± 10,47
$m_{sw}$	[Kg]	322,65 ± 4,71	318,05 ± 6,52
$m_{ssd}$	[Kg]	578,32 ± 8,83	571,66 ± 10,67
$V$	[m <sup>3</sup> ]	0,26 ± 0,0041	0,25 ± 0,0041
$V_{p\grave{a}}$	[m <sup>3</sup> ]	0,047 ± 0,00068	0,048 ± 0,00051
$P_{\grave{a}}$	[ $\frac{m^3}{m^3}$ ]	0,18 ± 0,0013	0,19 ± 0,0029
$\rho_d$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	2078,32 ± 7,71	2061,84 ± 8,54
$\rho_f$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	2545,92 ± 4,38	2552,40 ± 1,91
$\rho_{ssd}$	[ $\frac{Kg}{m^3}$ ]	2261,99 ± 3,99	2254,03 ± 5,71
$u_{ssd}$	[ $\frac{Kg}{Kg}$ ]	0,088 ± 0,00077	0,093 ± 0,0018

Tabel 7.9: Figuren viser resultaterne for mørtelprøverne med Codelco, og resultaterne er angivet som gennemsnit ± standardafvigelsen.

Figur 7.8- og figur 7.9 resultater er baseret ud fra formlerne, der er givet i bilag B14. Herunder ses hvad resultaterne indikerer:

- $V$  er prøvelegemets volumen.
- $V_{p\grave{a}}$  er volumen af åbne pore.
- $\rho_f$  er faststoffdensiteten.
- $\rho_d$  er tørdensiteten.
- $\rho_{ssd}$  er densiteten i vakuummættet overfladetør tilstand.
- $p_{\grave{a}}$  er prøvens åbne porøsitet.
- $u_{ssd}$  er vandtørstofforholdet i vakuummættet overfladetør tilstand.

De målte dataer fra forsøget kan ses i bilag A10.

### 7.1.5 Trykstyrke

Tabel 7.10 viser de beregnede trykstyrker for mørtelprøverne, som er beregnet efter standarden (5). Den første kolonne med trykstyrker viser den gennemsnitlige trykstyrke, hvor alle tryk indgår. Den anden kolonne med trykstyrker viser gennemsnittet af de trykstyrker, som ligger indenfor ±10% af det første gennemsnit af trykstyrken (5).

Det skal bemærkes, at reference prøverne (7-, 14-, og 28 døg) i den nedenstående tabel er delt mellem 3 andre rapporter fra Lasse Thunbo, Markus Pai Sørensen og Natasja Buchholdt/Mai Nørgaard Fugl, som blev støbt til sidst i projektet. Det skyldes, at de første reference prøvers trykstyrke udvikling ikke passede, hvilket skyldes, at det var de første prøver, der blev støbt

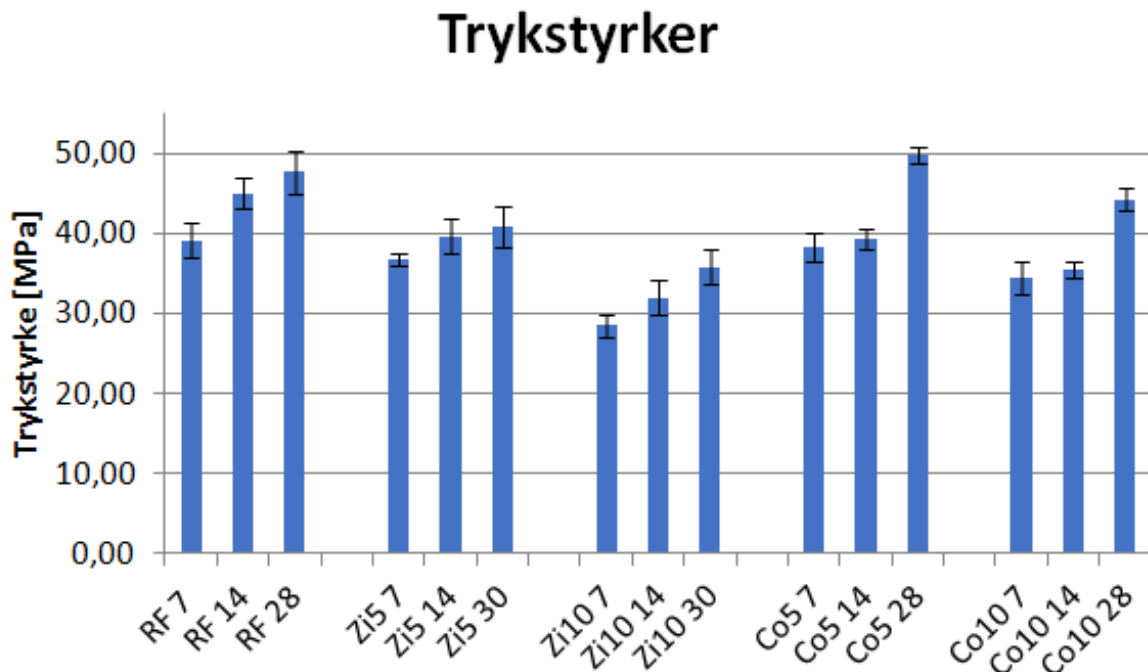
(de blev kun rystet 2 gange på rystebordet). De første tre reference prøver kan ses i Bilag A9, hvor det skal tilføjes, at 7 døgns prøven blev rystet 3 gange ligesom dem i tabel 7.10. 14- og 28 døgns prøverne blev rystet 2 gange, som er efter standarden DS/EN 196-1 2. udgave (5). Alle trykdataerne kan ses i bilag A9.

	Erstatning [%]	Trykstyrke [MPa]	Forkastet	Trykstyrke [MPa]
Reference - 7 døgn	-	39,19 ± 2,13	0	39,19 ± 2,13
Reference - 14 døgn	-	44,99 ± 1,93	0	44,99 ± 1,93
Reference - 28 døgn	-	46,72 ± 3,43	1	47,73 ± 2,67
Zinkgruvan - 7 døgn	5	35,73 ± 2,89	1	36,88 ± 0,77
Zinkgruvan - 14 døgn	5	39,69 ± 2,25	0	39,69 ± 2,25
Zinkgruvan - 30 døgn	5	41,67 ± 3,53	1	40,65 ± 2,78
Zinkgruvan - 7 døgn	10	27,92 ± 1,92	1	28,50 ± 1,44
Zinkgruvan - 14 døgn	10	31,36 ± 2,49	1	32,02 ± 1,44
Zinkgruvan - 30 døgn	10	33,93 ± 5,16	3	Udgået
Codelco - 7 døgn	5	37,81 ± 1,76	0	37,81 ± 1,76
Codelco - 14 døgn	5	39,26 ± 1,24	0	39,26 ± 1,24
Codelco - 28 døgn	5	49,77 ± 0,99	0	49,77 ± 0,99
Codelco - 7 døgn	10	34,56 ± 2,06	0	34,56 ± 2,06
Codelco - 14 døgn	10	33,69 ± 4,36	1	35,43 ± 1,03
Codelco - 28 døgn	10	44,29 ± 1,32	0	44,29 ± 1,32

Tabel 7.10: Tabellen viser trykstyrkerne for mørtelprøver efter 7-, 14-, og 28 døgn. Resultaterne er skrevet op ved gennemsnit ± standardafvigelsen. Der er to kolonner som viser trykstyrken. Den første kolonne tager alle tryktest med, hvor den anden kolonne tager de tryk, som holder sig indenfor ±10% af den gennemsnitlige trykstyrke.

Figur 7.6 viser udviklingen af trykstyrken for de forskellige mørtelprøver. De viste trykstyrker er baseret på dem i tabel 7.10 yderst til højre. Det skal bemærkes, at mørtelprøverne med Zinkgruvan har hærdet i 30 døgn i stedet for 28, da støberiet var lukket.





Figur 7.6: Figuren viser trykprøvernes udvikling over tid, hvor standardafvigelse er indtegnet.

Herunder betydningen for forkortelserne på figur 7.6.

- RF er referencen.
- Zi5 er mørtelprøven med 5 % Zinkgruvan erstatning.
- Zi10 er mørtelprøven med 10 % Zinkgruvan erstatning.
- CO5 er mørtelprøven med 5 % Codelco erstatning.
- CO10 er mørtelprøven med 10 % Codelco erstatning.

Derudover angiver 7, 14 og 28 antal døgn prøverne har hærdet under vand.

Da cementen bliver erstattet af hhv. 5- og 10 % tailing betyder det, at v/c-forholdet er forskelligt for prøverne, som man kan se herunder:

	v/c-forhold [-]
Reference	0,5
5 % tailing	0,53
10 % tailing	0,56

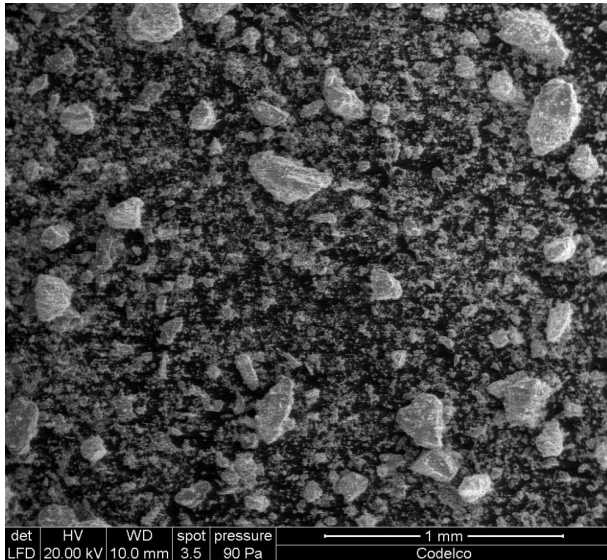
Tabel 7.11: Tabellen viser en oversigt over v/c-forholdene for mørtelprøverne.

## 7.2 Optimeret resultater

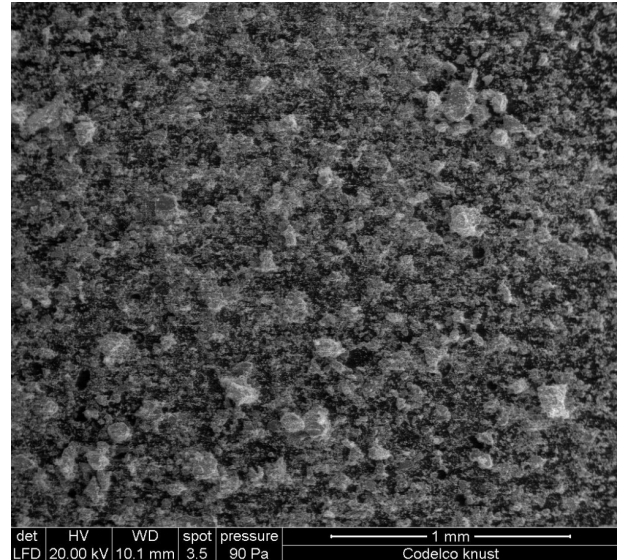
I dette afsnit vil resultaterne fra de optimerede forsøg blive præsenteret. Diskussionen for valget af de optimerede forsøg kan ses under afsnit 8.2 "Valg af opstimerings forsøg".

### 7.2.1 SEM-analyse

Figur 7.7 og 7.8 viser resultatet for knusningen af Codelco. Man kan se, at Codelco før knusningen er fint. Der er dog enkelte større korn, som også kornstørrelses fordelingen viser på figur 7.3.

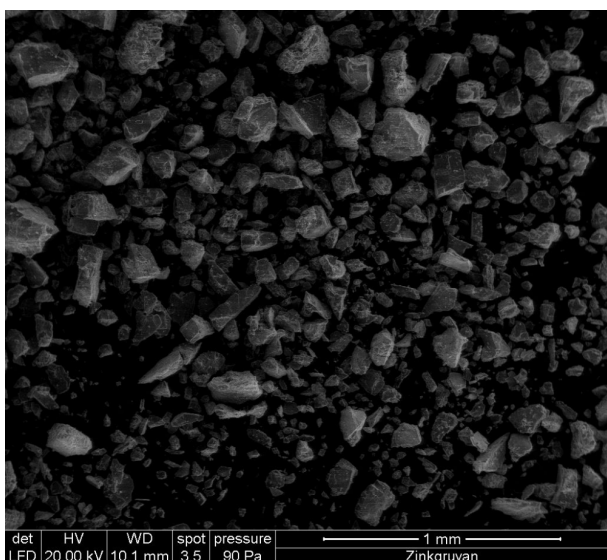


Figur 7.7: Codelco inden knusningen.

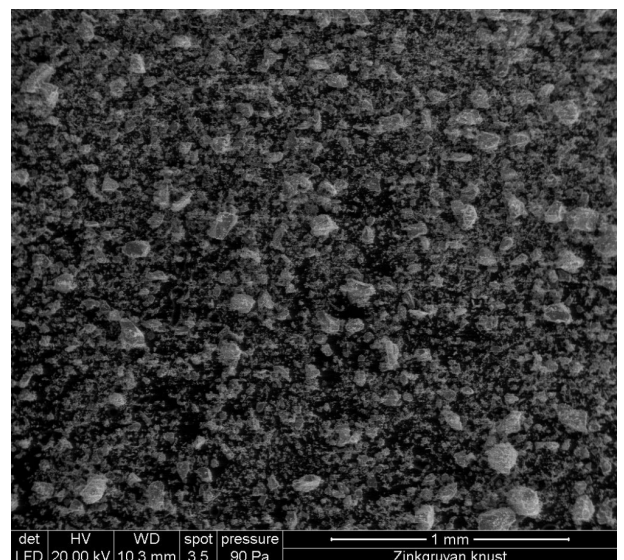


Figur 7.8: Codelco efter knusningen.

Figur 7.9 og figur 7.10 viser resultatet af knusningen af Zinkgruvan. Af de to figurer fremgår det, at Zinkgruvan består af mange store korn, hvilket kornstørrelses fordelingen også indikerer på figur 7.3, da kurven er stejl, og den samtidig begynder at stige sent.



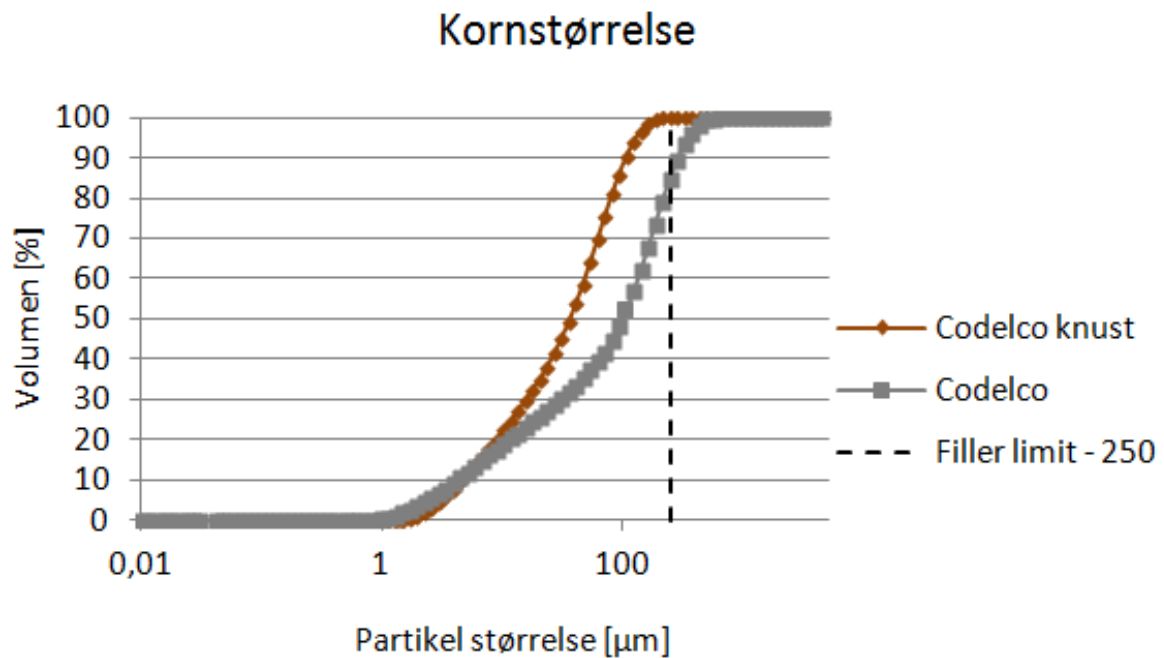
Figur 7.9: Zinkgruvan før knusningen.



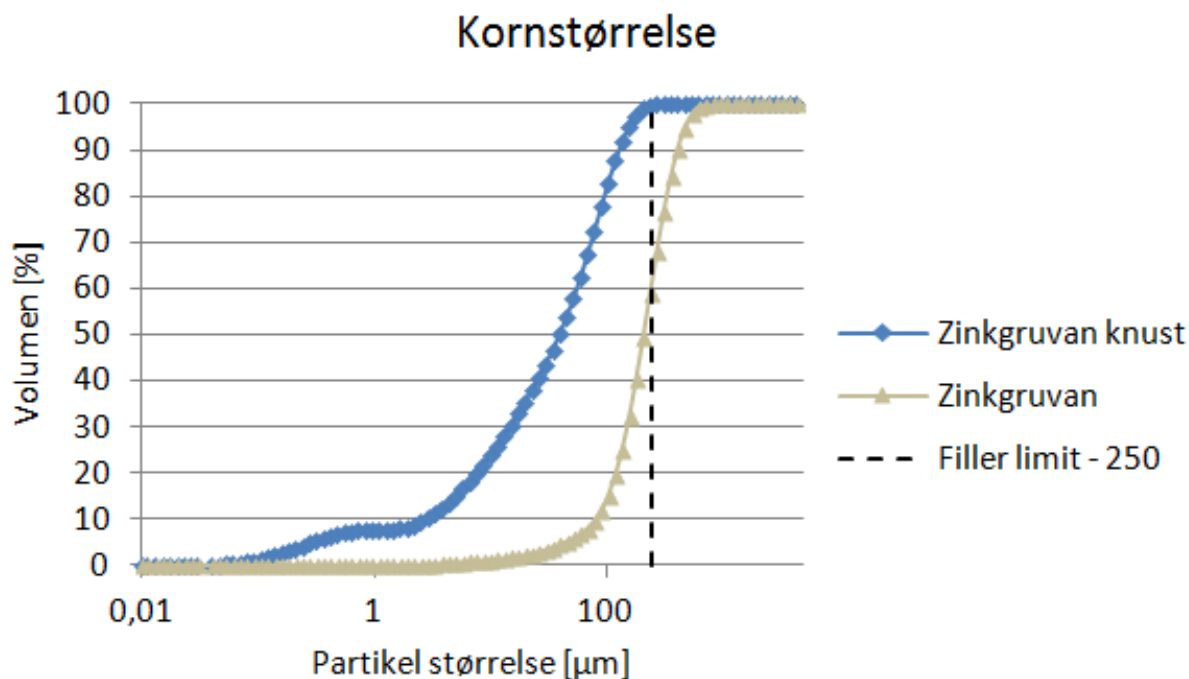
Figur 7.10: Zinkgruvan efter knusning.

### 7.2.2 Kornstørrelses fordeling

Efter knusningen af de to tailings er forsøget laserdiffratometer udført igen, så man kan se om begge prøver overholder fillergrænsen  $250\mu\text{m}$ . Figur 7.11 og figur 7.12 viser, at både Zinkgruvan og Codelco overholder fillergrænsen.



Figur 7.11: Figuren viser kornstørrelses fordelingen for Codelco før og efter knusningen samt fillergrænsen  $250\mu\text{m}$ .



Figur 7.12: Figuren viser kornstørrelses fordelingen for Zinkgruvan før og efter knusningen, samt fillergrænsen 250µm

### 7.2.3 Trykstyrke

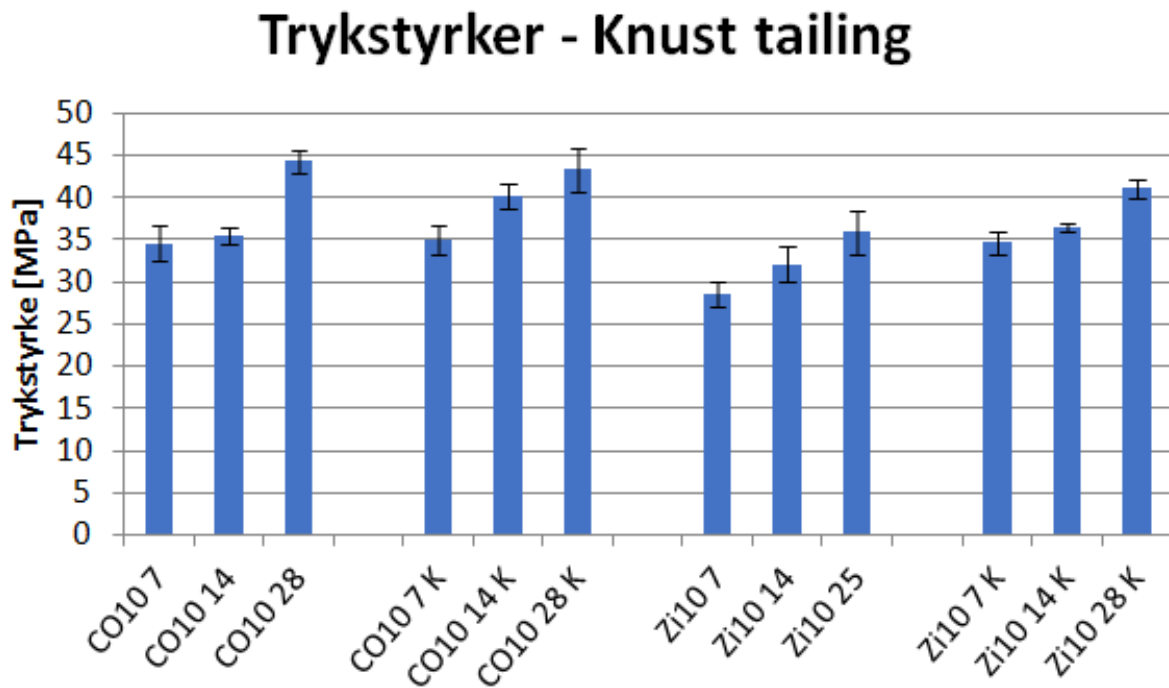
Tabel 7.12 og figur 7.13 viser trykstyrken for mørtelprøverne med 10% cementerstatning efter, at tailingen er blevet knust for 7, 14 og 28 døgn. Proportioneringen er den samme som de forrige 10 % prøver, og de er blandet og støbt på samme måde (5). De målte data kan ses i bilag A9.

	Erstatning [%]	Trykstyrke [MPa]	Forkastet	Trykstyrke [MPa]
Codelco 7 døgn k	10	35,01 ± 1,80	0	35,01 ± 1,80
Codelco 14 døgn k	10	40,20 ± 1,43	0	40,20 ± 1,43
Codelco 28 døgn k	10	43,31 ± 2,56	0	43,31 ± 2,56
Zinkgruvan 7 døgn k	10	34,70 ± 1,37	0	34,70 ± 1,37
Zinkgruvan 14 døgn k	10	36,41 ± 0,52	0	36,41 ± 0,52
Zinkgruvan 28 døgn k	10	41,09 ± 1,16	0	41,09 ± 1,16

Tabel 7.12: Tabellen viser trykstyrken for 7, 14 og 28 døgnets mørtelprøver med knust 10 % Zinkgruvan og Codelco. Metoden for de beregnede trykstyrker er den samme som i afsnit 7.1.5 "Trykstyrke". De er skrevet op ved gennemsnit ± standardafvigelse. k står for de prøver, der indeholder knuste tailings.

Det nedenstående søjlediagram viser trykstyrke udviklingen for mørtlerne, som indeholder de

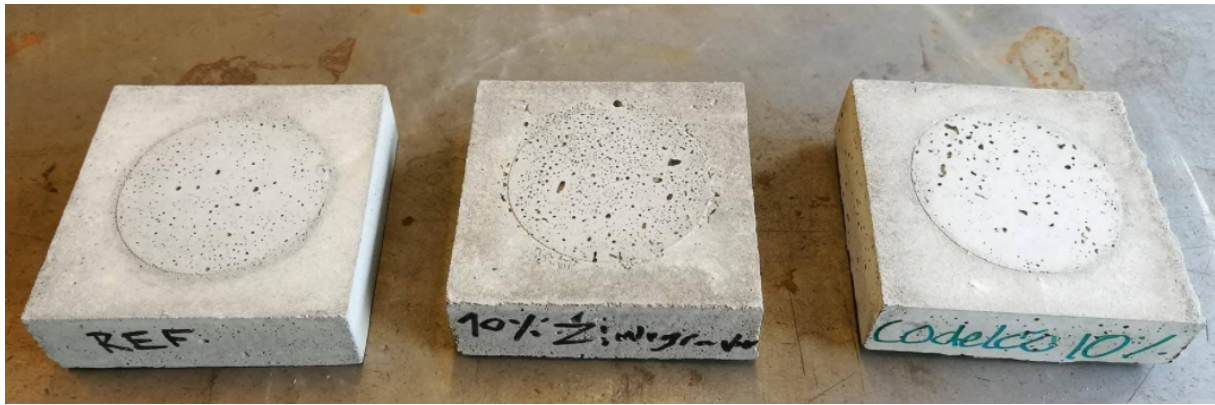
knuste tailings. Derudover sammenlignes de med de originale trykstyrker (inden knusningen), hvilket kan ses i søjlediagrammet.



Figur 7.13: Søjlediagrammet viser en oversigt over trykstyrkeudviklingen samt standardafvigelserne for hver prøve. CO er Codelco prøverne, og Zi er Zinkgruvan prøverne. 7, 14 og 28 er antal døgn, hvor prøverne har hærnet under vand. K henviser til de prøver, som er blevet knust, hvor de andre er de samme trykstyrker, som blev bestemt i afsnit 7.1.5 "Trykstyrke".

#### 7.2.4 Farveprøve

Resultatet af farveprøven kan ses på figur 7.14, hvor det skal bemærkes, at farveprøven for referencen og 10 % Zinkgruvan er udarbejdet af ph.D-studerende Nina Marie Sigvardsen. Det kan ses, at mørtelprøven for Codelco 10% er blevet lysere end de to andre prøver, hvilket inkluderer referencen og Zinkgruvan.



Figur 7.14: Figuren viser resultatet af farveprøverne.

## 8 Diskussion

Diskussionen er delt op i tre dele. I den første del bliver de indledende forsøgsresultater diskuteret. I den anden del bliver der diskuteret, hvilke forsøg der vil blive lavet for at optimere mørtelprøverne med tailing, og i den tredje del bliver de optimerede forsøgsresultater diskuteret.

### 8.1 Del 1: Diskussion for de indledende forsøgsresultater

#### 8.1.1 Karakteristik

Her vil de karakteristiske egenskaber for søsand, cement, Zinkgruvan og Codelco blive præsenteret, da det er disse materialer, som bruges i mørtlen.

#### Vandindhold, carbonat indhold, pH, densitet og glødetab

Ud fra proportioneringen ses det, at der tilføjes 1350 gram søsand i mørtelprøverne, og tabel 7.1 viser, at vandindholdet er 0,28 % for søsandet. Det tørres dog ved 105°C, før det blandes i mørtelprøverne, som betyder, at søsandet ikke vil påvirke mørtelprøvernes v/c-forhold.

Der ses dog i tabel 7.1, at basis cement efter 50°C indholder 1,1 % vand, og når der tilføjes 450 gram i reference mørtelprøven, vil der blive tilført 4,95 gram vand i mørtlen. For mørtelprøverne med 5- og 10 % tailing tilføjer cementen hhv. 4,70 gram og 4,45 gram vand til mørtelprøverne. Zinkgruvan indeholder 0,13 % vand efter en tørring ved 50°C, hvilket betyder, at vandindholdet i mørtelprøverne for hhv. 5- og 10 % blandingerne stiger med 0,029 gram og 0,056 gram.

Ud fra vandindholdet i Codelco, er det svært konkludere, hvor meget vand der er i efter 50°C. Det skyldes, at resultaterne i tabel 7.1 viser, at vandindholdet er mindre efter tørring ved 105°C end ved tørringen på 50°C. Det hænger sammen med, at nogle af resultaterne efter en tørring

ved  $105^{\circ}\text{C}$  er blevet negative, hvilket må betyde, at der må være blevet vejlet en forkert værdi. Resultaterne kan ses i bilag A1.

Tabel 8.1 viser hvor mange gram vand, der bliver tilføjet til hver mørtelprøve, ud fra vandindholdet. Vandindholdet for Codelco tages ikke med i beregningerne, da de som nævnt tidligere ikke kan passe.

	Enhed	RF	Zi 5 %	Zi 10 %	Co 5 %	Co 10 %
Vand fra cement	[g]	4,95	4,70	4,45	4,70	4,45
Vand fra Zinkgruvan	[g]	-	0,036	0,058	-	-
Vand fra Codelco	[g]	-	-	-	-	-
Samlet	[g]	4,95	4,73	4,51	4,70	4,45

Tabel 8.1: Tabellen viser en oversigt over vandindholdet, som bliver tilføjet til mørtelprøverne fra cement, Zinkgruvan og Codelco.

Tabel 8.1 viser, at der bliver tilført lidt vand til mørtelblandingerne, som ikke vil påvirke  $v/c$ -forholdet meget. Det skal dog bemærkes, at et højere vandindhold vil give et større  $v/c$ -forhold, og dermed vil mørtlens trykstyrke mindskes.

Der ses i tabel 7.1, at karbonatindholdet er højest for cement, hvilket hænger sammen med, at et af hovedelementerne i cement er kalciumkarbonat. Det er svarende til mineralet calcit, der udspringer fra kalksten. Derudover er indholdet af karbonat højere for Zinkgruvan end for Codelco, som hænger sammen med, at der er blevet identificeret calcit i Zinkgruvan, som kan ses i XRD-analysen (24).

Ud fra pH-værdierne i tabel 7.1 ses det, at cement har en høj pH-værdi. Zinkgruvan og Codelco har en pH-værdi på hhv. 8,36 og 8,72, som er svarende til neutral. Det er ikke optimalt, da en høj pH-værdi er modstandsdygtigt overfor korrosion af amering. Det skyldes, at der i et basiske miljø dannes et tyndt lag grå rust på ameringen, som er stabilt, og derved vil det beskytte ameringen imod yderligere korrosion (25).

Derudover viser tabel 7.1, at korndensiteten er størst for basis cement. Basis cement har cirka en densitet på  $3,10\text{g}/\text{cm}^3$ , hvilket betyder, at der er målt en større korndensitet i tabel 7.1 (30). Codelco har en mindre korndensitet end cement, men den er større end Zinkgruvans korn, hvor søsand har den mindste korndensitet. Sand har en densitet på cirka  $2,61\text{g}/\text{cm}^3$ , som ofte blive brugt i beton (30), hvor der i projektet bruges søsand, som er målt til nogenlunde den samme korndensitet ( $2,68\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Ud fra glødetabet i tabel 7.1 ses det, at der er mest organisk materiale i Codelco. Glødetabet er lavt for cement, når det sammenlignes med glødetabet i rapporten (24), som får det til 7%. Ulempen ved højt indhold af organisk materiale er, at det kan forsinke afbindingen, og dermed hærdeningen af betonen (26). Glødetabet for cement stiger efter  $950^{\circ}\text{C}$ , hvilket skyldes indholdet af calciumkarbonater. Zinkgruvan har det højeste glødetab efter  $950^{\circ}\text{C}$ , og det kan skyldes calciumkarbonaterne i mineralet calcit, som er identificeret i XRD-analysen.

### ICP- og XRD-analyse

På figur 7.2 ses indholdet af tungmetaller i søsand, basis cement, Zinkgruvan og Codelco. De fremviste tungmetaller er giftige, som kan skade miljøet og mennesker (23). Nikkel og krom er f.eks. allergifremkaldende, hvor bly og cadmium er stærkt miljøgiftige, da de ikke opløses i naturen. Indholdet af tungmetallerne er sammenlignet med figur 7.3, som viser grænseværdierne for indholdet af tungmetaller i restprodukter til byggematerialer (22). Søsand og basis cement overholder alle krav indenfor kategori 1. Derimod overskrider Zinkgruvan indholdet af arsen, cadmium, zink og bly, og Codelco overskrider indholdet af nikkel og zink. Det høje indhold af zink og bly i Zinkgruvan skyldes, at Zinkgruvan producerer zink og bly. Indholdet af tungmetaller fundet i ICP-analysen passer godt med resultaterne af ICP-analysen fra (24). I Codelco ses det, at indholdet af kobber er lavt i forhold til, at der blev fundet til  $997 \pm 17\text{mg/kg}$  i artiklen (10). Der vides dog ikke om, at prøven stammer fra El Teniente ligesom prøven i artiklen (10). Der forskes i, hvordan man kan fjerne tungmetaller, hvor metoden EDR har vist sig effektiv med at fjerne kobber. Derudover har det vist sig, at metoden kan fjerne bly i Zinkgruvan, hvilket betyder, at det er muligt at fjerne de tungmetaller, der overskrider grænseværdierne. Ud fra ICP-analysen blev indholdet af andre metaller også bestemt, som kan ses i bilag A4.

XRD-analysen for Codelco ses på figur 7.1, hvor de identificerede mineraler ses i tabel 7.4. Her ses det, at der er en høj intensitet af kvarts, clynchlore og albite. Albite udspringer fra Plagioclase, som er en gruppe af feldspar, hvor også Anorthite udspringer fra, som er nævnt i afsnit 5.1.1 (27). Derudover er der identificeret muskovite, spinel carlinit og magnesiophonit.

Ifølge artiklen (10), består Codelco af følgende mineraler: kvarts, muskovite ferric clinochlore, calcic albite, anorthite og hydratiseret calciumsulfat med kobber, som er i mineralerne: chalcocite, brochantite, chalcopyrite, ramsbeckite, wroewolfeite, and guildite. De sidst nævnte mineraler fra artiklen indeholdende hydratiseret calciumsulfat med kobber er ikke identificeret i XRD-analysen. Det kan hænge sammen med, at indholdet af kobber er lavere i ICP-analysen i forhold til artiklen. I ICP-analysen (bilag A4) ses det, at der er et højt indhold af magnesium og jern i Codelco, hvilket kan hænge sammen med de to identificerede mineraler magnesiophonit-



nblende og clynocllore.

XRD-analysen for Zinkgruvan ses på figur 7.2 og indholder ligesom Codelco, kvarts og muskovite. Derudover indeholder det Plagiosklas feldspar i form af anorthite. Et andet mineral som skal bemærkes i Zinkgruvan er amfibole, som kan være under kategorien asbest. Det er forbudt at importere, fremstille eller arbejde med asbest, hvilket betyder, at disse mineraler skal undersøges nærmere (Det er ikke gjort i denne rapport) (24). Ifølge artiklen (10) består Zinkgruvan hovedsageligt af kvarts, feldspar og calcit, hvilket passer med de resultater, som er fundet i XRD-analysen (24).

Derudover ses det på XRD-analysen for Codelco, at der er mange små bølger, som er svarende til amorf materiale, hvor der i XRD-analysen for Zinkgruvan er færre små bølger. I amorf materialet kan puzzolansk materiale ligge, hvilket betyder, at Codelco kan indeholde en større mængde puzzolan. Derimod indikerer XRD-analysen for Zinkgruvan, at der ikke er meget puzzolan i. Kvarts- og feldspar mineraler kan dog indholde puzzolan, så det kan ikke afvises, at der er et indhold af disse i Zinkgruvan.

### **Kornstørrelse fordeling**

Ud fra kornstørrelsen på figur 7.3 ses det, at cement har den mindste partikel størrelse efterfulgt af Codelco, Zinkgruvan og søsand. Det kan hænge sammen med korndensiteten, jf. 7.1, som følger samme størrelsesorden. Hverken Zinkgruvan eller Codelco kan fungere som filler, da begge ikke overholder filler-grænsen på  $250\mu m$ . Kornkurven for Codelco indikerer, at der er forskellige størrelser korn i prøven, hvor den er tæt på at overholde fillergrænsen. Zinkgruvan er derimod grovere. Begge tailings kan derfor optimeres ved at knuse dem, hvorved de vil fungere som filler, og optimere trykstyrken for mørtelprøverne.

#### **8.1.2 Flydesætmål, vandabsorbtiøsevne og afbindingsforløb**

Ud fra figur 7.5 ses det, at flydesætmålet for referencerne varierer meget afhængigt af, hvilke dage forsøgene er udført. Flydesætmålene for reference prøve 1 og 2 var de første flydesætmål, som blev lavet, hvilket kan være grunden til, at de blev så små. Det medfører, at standardafvigelsen er stor, og det betyder, at der er en stor usikkerhed omkring, hvilket sætmål de andre prøver med 5- og 10 % cementerstatning skal opnå. Der ses dog, at det gennemsnitlige flydesætmålet for referencen passer godt med dét, der findes i rapporten (24). Det samme er gældende for mørtelprøverne med Zinkgruvan. Deres flydesætmål er generelt lavere end referencens. Det kan skyldes vandabsorbtiøsevnen, selvom den kun er målt til 0,45 %, som er svarende til 0.20 gram vand i 10 % Zinkgruvan og 0,10 gram vand i 5 % Zinkgruvan. Vandab-

sorbtiønsøvnø for de to tailings kan skyldes, materialets porøsitet. Kornformen har også en betydning for bearbejdølighed, hvilket også er nævnt i teorien. Kornkurven viser at, Zinkgruvan er grovere, og måske kantede, som derfor kræver en større mængde cementpasta for at opnå en optimal bearbejdølighed. Samtidig ses det ud fra figur 7.8, at faststofdensiteten er større for mørtelprøverne indeholdende Zinkgruvan, hvilket kan indikere, at der fås en højere viskositet, som dermed reducerer mørtlens flydeevne, når der tilsættes Zinkgruvan (16).

Flydesætmaalene for Codelco 5- og 10 % er begge større end Zinkgruvan prøverne og referencerne. Det kan bekræftes visuelt, da det ses, at prøverne er mere flydende end de andre mørtelprøver. Det passer dog ikke med den målte vandabsorbtiønsøvnø, da Codelcos vandsabsorbtiønsøvnø er målt til 4,05 %, og den er derfor større end Zinkgruvans. En af grundene til at vandabsorbtiønsøvnøen er blevet målt så højt for Codelco kan skyldes, at det klumper sammen, og det er derfor svært at se, når prøven er i ssd-tilstand. Det er dog interessant, at Codelco mørtelprøverne har et større sætmål, da det betyder, at vandbehøvet er mindre, og derved kan v/c-forholdet forbedres, hvor bearbejdøligheden stadig vil være god. Det større flydesætmaal kan også hænge sammen med, at kornene er finere, hvilket er nævnt under teori afsnittet. Derudover er faststofdensiteten for mørtelprøverne for Codelco (figur 7.9), mindre end mørtelprøverne indeholdende Zinkgruvan, som dermed vil have en mindre viskositet, der vil give et større flydesætmaal. Det store flydesætmaal for Codelco kan også skyldes pakningen. Hvis pakningen er god vil hulrummene mellem tilslagene reducere den nødvendige pastamængde, hvilket vil give en større bearbejdølighed. Pakningen er dog ikke undersøgt i projektet, men visuelt kan det ligne, at pakningen er bedre for Codelco end for Zinkgruvan (16).

Flydesætmaalene stemmer overens med afbindingstiderne, som kan ses på figur 7.7. Den indledende afbindingstid viser, hvornår cementpastaen bliver uarbejdølig, og den endelige afbindingstid viser, når cemenpastaen begynder at udvikle en mekanisk styrke (15). Codelcos endelige afbindingstid er den højeste, som er lidt over 10 timer for både 5- og 10% blandingerne, hvilket hænger sammen med, at det er den mest flydende prøve. Samtidig indeholder Codelco den største procentdel organisk materiale, og det betyder, at det kan forsinke afbindingstiden, hvilket indikerer hydratiseringsprocessen er langsommere. Det skyldes, at der er mindre cement i mørtlen. Derudover er den endelige afbindingstid for Zinkgruvan den laveste, hvilket hænger sammen med, at den har de laveste flydesætmaal, som indikerer, at hydratiseringen stopper, da der ikke er nok frit tilgængeligt vand i mørtlen. Ud fra rapporten (24) ses det, at den indledende afbindingstider for referencen, og Zinkgruvan passer nogenlunde. De endelige afbindingstider for Zinkgruvan er lidt mindre end dem fra (24). Det kan hænge sammen med, at flydesætmaalene er større i rapporten (24) end dem, som er bestemt i dette projekt. Det samme er gældende for

referencen. Afbindingstiderne hænger også sammen med kornstørrelsen. Jf figur 7.3 er Codelco finere end Zinkgruvan, som vil give en højere afbindingstid. Da der er mindre cement i betonen, burde de indledende afbindingstider for mørtelprøverne med tailing være højere end referencen, da mængden af cement mindskes. Det er gældende for Zinkgruvans mørtelprøver, hvor Codelcos mørtelprøvers afbindingstid er nogenlunde samme tid som referencens.

Ud fra vandindholdet og vandabsorptionsevnen for søsand og tailingen kan et korrigerede  $v/c$ -forhold bestemmes, og det kan ses i den nedenstående tabel. Som tidligere nævnt er resultaterne for Codelco angående vandabsorptionsevnen og vandindholdet usikre, da de ikke stemmer overens med den observerede påvirkning samt flydesætmålet og afbindingstiderne. Det betyder, at det korrigerede  $v/c$ -forhold for Codelco er usikkert. Dog viser tabellen, at  $v/c$ -forholdet bliver højere, når der blandes tailing i betonen. Tabel 8.2 viser samtidig, at vandabsorptionsevnen og vandindholdet i søsandet og tailingen ikke vil ændre på  $v/c$ -forholdet i forhold det først antaget, som ses i tabel 7.11. Dog ses det, at der er mere frit tilgængeligt vandt i mørtelprøverne indeholdende tailings, som passer med Codelcos mørtelprøver, men det passer ikke med Zinkgruvans. Derfor kan der konkluderes, at vandabsorptionsevnen og vandindholdet ikke har den store indvirkning på Zinkgruvans mørtelprøves bearbejdelighed. Det må derfor antages, at det er kornstørrelserne, pakningen og mørtlens viskositet, som giver Zinkgruvns mørtelprøver en dårligere bearbejdelighed.

	Vandindhold [g]	Vandabsorptionsevne [g]	Tilføjet vand	Korrigeret $v/c$ -forhold
Reference	4,95	2,70	2,25	0,505
Zinkgruvan 5 %	4,73	2,82	1,91	0,53
Zinkgruvan 10 %	4,51	2,90	1,61	0,56
Codelco 5 %	4,70	3,80	0,9	0,53
Codelco 10 %	4,45	4,5	-0,05	0,56

Tabel 8.2: Tabellen viser en oversigt over det korrigeret  $v/c$ -forhold for mørtelprøverne.

### 8.1.3 Porøsitet og densitet

Ud fra tabel 7.9 og 7.8 ses det, at referencen, Codelco prøverne samt Zinkgruvan prøverne ligner hinanden i porøsitet og densitet. Den åbne porevolumen er lidt større for Zinkgruvan, hvilket kan hænge sammen med at Zinkgruvans kornstørrelse er lidt større end Codelcos. Derudover er tørdensiteten for Codelcos mørtelprøver større end Zinkgruvans mørtelprøver. Det kan hænge sammen med, at kornene er mindre i Codelco, som vil gøre prøven mere kompakt. Samtidig er densiteten i vakuummættet overflade tør tilstand lidt større for Codelcos mørtelprøver i forhold

til Zinkgruvans mørtelprøver.

Referencen har en lavere faststofdensitet og tørdensitet i forhold til værdierne, som er angivet i (28), der hhv. er  $2650\text{kg}/\text{m}^3$  og  $2100\text{kg}/\text{m}^3$ . Derudover angives porøsiteten til 20 % for referencen(28), som er svarende til den totale porøsitet. Den kan findes ved formelen.

$$p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_f} \quad (8.1)$$

Når den ovenstående formel bruges fås den totale porøsitet til 19 % for referencen, hvilket passer godt med de 20 %, som er angivet i (28). For Zinkgruvan 5- og 10 % mørtelprøverne er den totale porøsitet hhv. 20 % og 20 %. For Codelco 5- og 10 % prøverne fås porøsiteten til hhv. 18 % og 19 %. Dermed ændres porøsiteten ikke i mørtlen, når der tilsættes tailing.

#### 8.1.4 Trykstyrke

Ud fra tabel 7.10 og figur 7.6, ses det, at hvis der er mindre cement i mørtelprøverne, så vil trykstyrken falde. Generelt er trykstyrken for Zinkgruvans mørtelprøver lavere end trykstyrken for Codelcos mørtelprøver. Det kan skyldes, at Codelco har mindre korn, og derfor har de bedre filleregenskaber.

Codelcos mørtelprøvers trykstyrkeudvikling indikerer, at der kan være et indhold af puzzolaner, da trykstyrken stiger meget fra 14- til 28 døgn. Det kan hænge sammen med, at puzzolanernes indvirkning på styrken først virker sent i trykstyrke udviklingen, ligesom tilfældet med flyveaske. XRD-analysen for Codelco indikerer også, at der kan være et højt indhold af puzzolaner, da der var meget amorf materiale. Dog kan den sene udvikling også skyldes, at den endelige afbindingstid er højere for Codelcos mørtelprøver end de andres. Derudover er flydesæt målet større end referencen og Zinkgruvans mørtelprøver, og derfor kan Codelcos mørtelprøver være længere tid om at hærde. Samtidig viser Codelcos mørtelprøver med 5 % erstatning, at der fås en højere trykstyrke end referencen efter 28 døgn, hvor trykstyrken er lige så stærk efter 7 døgn. Det kan betyde, at Codelco virker som 5% cement erstatning.

I rapporten (24) ses det, at de målte trykstyrker efter 28 døgn for Zinkgruvans mørtelprøver er højere end de målte data i denne rapport, som indikerede et indhold af puzzolaner i Zinkgruvan. Det kan også skyldes, at den personlig evne for at støbe gør en stor forskel, som også kan ses for referencerne. De blev som nævnt tidligere støbt 2 gange, da de første gang ikke gav mening, hvilket kan ses bilag A9.

## 8.2 Del 2: Valg af optimerings forsøg

Ud fra de indledende forsøgsresultater bliver der arbejdet videre med at optimere trykstyrken ved at knuse tailingen. Dermed kan man se, hvor stor forskel fillereffekten har for mørtelprøverne. Derudover vil man få en indikation på indholdet af puzzolaner i tailingen, da 28 døgns trykstyrken burde blive større. Dog vil en fuldstændig indikation på det ikke blive bekræftet, da puzzolaner påvirker trykstyrken efter 28 døgn. Optimeringen vil foregå for 10 % cementerstatning, da Codelcos 5 % mørtelprøver får en høj trykstyrke. Samtidig er det mere idealt, at se om man kan erstatte mere cement, da det vil mindske  $CO_2$  udslippet mere.

Der er dog andre muligheder angående valg af optimeringsforsøg. Man kan f.eks. lave mørtelprøver, som hærdet i længere tid, hvorved man vil få en bedre indikation på indholdet af puzzolaner. Derudover vil bearbejdeligheden også være interessant at arbejde videre med i forhold til Codelcos mørtelprøver, da flydesætmålene indikerer, at man kan reducere vandet i proportioneringen, hvorved man vil opnå et bedre  $v/c$ -forhold. Det skal dog ikke reduceres så meget, at der er ikke vil være vand nok til fuld hydratisering. Mørtelprøverne med 10 % erstatning har et  $v/c$ -forhold på cirka 0,50, som betyder, at der godt kan fjernes vand. Zinkgruvans bearbejdelighed indikerer, at der skal tilføjes mere vand, hvilket vil forværre  $v/c$ -forholdet i forhold til trykstyrken. Det kan dog medføre en bedre hydratiseringsevne for Zinkgruvans mørtelprøver, da Zinkgruvan har vist sig at få et lavt flydesætmål. Som nævnt i teorien skal der være tilstrækkeligt vand til at opnå fuld hydratisering, som vil give mørtelprøverne en højere trykstyrke. Der er ikke valgt at arbejde videre med det, da flydesætmålene for referencen varierer meget, hvilket ses på standardafvigelsen, og samtidig har mængden af tailing været begrænset. En tredje mulighed for optimering vil være at mindske indholdet af tungmetaller i tailingen, da hverken Zinkgruvan eller Codelco overholder kravene fra Miljøstyrelsen for kategori 1 (22). Derudover er pH-værdien for Zinkgruvan og Codelco svarende til neutral, hvilket ikke er hensigtsmæssigt i forhold til korrosionsmiljøet i betonen. Det kan derfor være relevant, at undersøge tailingens indflydelse på dette.

## 8.3 Del 3: Diskussion af optimerting

### 8.3.1 SEM-analyse

Ud fra SEM-analysen viser figur 7.7, at der er mange små korn i Codelco og enkelte store korn. De store korn er efter knusningen på figur 7.8 blevet væsentligt mindre. Samtidig er kornene nu også mere afrundede, og det vil medføre en større bearbejdelighed i mørtelprøverne, da friktionen mellem kornene er mindre og derfor vil kræve mindre cementpasta.

Det samme er tilfældet for Zinkgruvan som figur 7.9 og 7.10 viser. Man kan se, at kornene har

fået en afrundede form, da de ikke længere er kantede.

Ud fra de pågældende SEM-analyser kan flydesætmålene for Zinkgruvan og Codelco sammenlignes, da Codelco har et større flydesætmål, hvilket hænger sammen med at kornene er finere end Zinkgruvan.

### 8.3.2 Kornstørrelse

Kornstørrelses fordelingen viser, at de knuste tailings nu opfylder kravet for fillergrænsen  $250\mu m$ , som kan ses på figur 7.11 og figur 7.12. Der blev forsøgt, at knuse tailingen til fillergrænsen  $125\mu m$ , men hverken Codelco eller Zinkgruvan overholder denne grænse. Codelco klæber sig sammen til klumper, hvilket kan skyldes, at det ikke overholder den oprindelige fillergrænse, som kan indikere, at Codelco indholder ler. Det burde undersøges, da ler gør bindingerne mellem kornene og cementpastaen dårlig. Et højt lerindhold kan dog også øge vandbehovet i mørtlen, hvilket ikke er tilfældet for Codelco prøverne (26). Indholdet af lerpartikler i Zinkgruvan er blevet undersøgt i rapporten (24), hvor det konkluderes, at der ikke er lerpartikler i. Det kan betyde, at grunden til den oprindelige filler grænse ikke opfyldes er, at sien har større huller, end de burde.

### 8.3.3 Trykstyrke

I tabel 7.12 og figur 7.13 fremgår de nye trykstyrker for mørtelprøverne med de knuste tailings. Man kan se, at 7 og 14 døgns trykstyrken for det knuste tailing er blevet større, som skyldes fillereffekten, da det vil øge den tidlige styrkeudvikling. Trykstyrken er lidt lavere efter 28 døgn for Codelco, men den har også en stor standardafvigelse. Det er en indikation på, at der alligevel ikke er puzzolaner i Codelco, da trykstyrken burde blive større. Som tidligere nævnt, kan man dog oftest først se puzzolaners virkning efter 28 døgn. Derfor kan man ikke endeligt konkludere noget omkring indholdet af puzzolaner. Trykstyrke udviklingen for Zinkgruvan kan dog imidlertid godt indikere indhold af puzzolan, selvom der ikke er observeret meget amorf materiale i dette. Dog kan puzzolaner også findes i kvarts mineraler, hvilket er blevet identificeret i XRD-analysen. I rapporten (24) blev der dog fundet frem til, at der ikke er puzzolaner i Zinkgruvan, da trykstyrken ikke steg betydeligt fra 14 døgn til 28 døgn.

Bearbejdigheden for mørtelprøverne med de knuste tailings burde undersøges, idet flydesætmålene burde blive større. Derved vil man kunne forbedre v/c-forholdet mere, hvor det stadig er indenfor grænsen for fuld hydratisering. Dog kan det også have modsat effekt, da et mindre overfladeareal vil betyde, at tailingen vil absorbere mere vand, og derved mindskes det frit tilgængelige vand, som forværre for v/c-forholdet.

Man kan se på standardafvigelsen for Zinkgruvans knuste mørtelprøver, at de er blevet mindre. Det kan hænge sammen med, at prøven er blevet mere bearbejdelig, og dermed blevet støbt bedre. Det kan også medføre, at mørtelprøverne får en højere hydratiseringsgrad, hvilket vil give en større trykstyrke. Derimod ligner standardafvigelsen for Codelcos mørtelprøver den samme, hvilket hænger sammen med, at de i forvejen var meget bearbejdelige.

Ud fra de angivne trykstyrker ses det, at der er størst potentiale i brugen af Codelcos mørtelprøver, selvom de knuste 10% mørtelprøver stadig er svagere end referencerne.

## 9 Konklusion

Ud fra de karakteristiske forsøgsresultater for Codelco og Zinkgruvan ses det, at pH-værdierne for begge tailings er neutrale, der kan have en negativ effekt på betonens korrosionsmiljø. Derudover er glødetabene generelt lave, hvor Codelco indeholder den største procentdel af organisk materiale (0,32%), hvilket kan forsinke afbindingstiden af betonen.

ICP-analysens resultater viser, at hverken Zinkgruvan eller Codelco overholder miljøministeriets krav i forhold til kategori 1 af anvendelse af restprodukter i byggematerialer. Det betyder, at indholdet af tungmetaller skal mindskes i tailingen, hvis de skal bruges i betonen. Derudover viser XRD-analysen, at mineralerne i prøven fra Codelco afviger i forhold til artiklen (10), hvilket kan skyldes, at indholdet af kobber er væsentligt mindre. Samtidig indikerer analysen, at der kan være et indhold af puzzolaner i Codelco, da der er fundet meget amorf materiale, hvor Zinkgruvans analyse indikerer, at der er et lavt indhold af puzzolaner. I Zinkgruvan er amfibole mineralet blevet identificeret, og det kan indikere et indhold af asbest, som ikke må være i byggematerialer. Det betyder, at det burde undersøges nærmere, men det er ikke gjort i dette projekt.

Kornstørrelsen for Codelco er fordelt ved forskellige størrelser, da kornkurven stiger langsomt, hvorimod Zinkgruvans kornkurve er stejl, som betyder, at der er mange grove korn i prøven. Zinkgruvans kornkurve ligner søsandets, hvor Codelcos kornkurve ligger imellem cement og søsand. Derudover viser SEM-analysen, at kornformene for Zinkgruvan er kantede, hvilket kræver et større indhold af cementpasta, hvorimod størstedelen af Codelcos korn er afrundede, og det giver en bedre bearbejdelighed.

Ud fra flydesætmålene ses det, at Zinkgruvans mørtelprøver har et lavere flydesætmål end referencen, hvilket skyldes kornstrukturen, pakningen og mørtlens viskositet. Codelcos mørtelprøver opnår et højere sætmål end referencerne, som ikke hænger sammen med den målte vandabsorbtionsevne for Codelco, da den er 4,05%, og derfor er større end Zinkgruvans. Det kan derimod hænge sammen med pakningen, kornstrukturen samt, at der er mere frit tilgængeligt vand

i mørtlen. Flydesætmålene for mørtelprøverne passer dog med afbindingstiderne, da Codelco er længere tid om at opnå den endelige afbindingstid. Det kan hænge sammen med, at flydesætmålet er større samtidig med, at der er mindre cement i mørtelprøverne, hvilket vil give en langsommere afbinding. Derudover ses det at porøsiteten i mørtlen ikke ændres synderligt, når den tilsættes tailing.

Det ses, at trykstyrken generelt bliver lavere ved et højere indhold af tailing. Trykstyrke udviklingen for Zinkgruvans mørtelprøver viser, at de ikke har et nævneværdigt indhold af puzzolan, da trykstyrken ikke stiger synderligt ved 28 døgn.

Codelcos trykstyrke resultater indikerer derimod, at der kan være et indhold af puzzolaner, da trykstyrken stiger meget ved 28 døgn, som der også blev indikeret i XRD-analysen. Derudover har 5 % Codelco næsten samme trykstyrke som referencen efter 7 døgn, hvor der efterfølgende ikke sker en stor ændring ved 14 døgn. Dog er 28 døgn trykstyrken større end referencens, hvilket betyder, at 5 % cementerstatning med Codelco kan indgå i en beton.

Efter knusningen af de to tailings viser SEM-analysen og kornstørrelses fordelingen, at kornene er blevet mindre, og de overholder fillergrænsen  $250\mu m$ . Knusningen af tailingen resulterer i, at de er blevet afrundede, som burde give en bedre bearbejdelighed. Det er dog ikke tjekket i dette projekt. Den bedre bearbejdelighed bliver dog modarbejdet af, at mindre korn har et større overfladeareal, som derfor kræver en større mængde cementpasta. Man kan se ud fra de knuste Zinkgruvans mørtelprøvers trykstyrke, at 7- og 14 døgn trykstyrken næsten er lige store. Det kan indikere, at der fås en dårlig bearbejdelighed, så mørtlen derfor bliver dårligere blandet. Der ses en tydelig fillereffekt for begge prøver, da de tidlige trykstyrker (7- og 14 døgn) stiger. Dog falder 28 døgn trykstyrken for Codelco, hvilket går imod teorien angående, at det indholder puzzolaner, da et mindre overfladeareal burde give bedre reaktionsmuligheder for puzzolanerne. Ud fra resultaterne ses det generelt, at Codelco er en bedre løsning end Zinkgruvan til delvis at erstatte cement, da mørtelprøverne indeholdende Codelco opnår en større trykstyrke. Samtidig overholder Codelco flere krav fra miljøministeriet angående indholdet af tungmetaller end Zinkgruvan. Derudover viser resultaterne af flydesætmålet, at mængden af vand kan reduceres for Codelcos mørtelprøver, hvorved der kan opnås et bedre  $v/c$ -forhold ved at mindske vandindholdet. Som tidligere nævnt virker 5 % mørtelprøverne indeholdende Codelco, da trykstyrken er nogenlunde den samme som referencens. Trykstyrken for 10 % mørtelprøverne indeholdende Codelco er dog lidt mindre end referencen, efter at den er blevet optimeret. Dog kunne det være interessant at se flydesætmålet for den optimerede mørtelprøve, så man kan se om vandbehovet er blevet mindre. Derved vil  $v/c$ -forholdet kunne forbedres, da der kan tilsættes mindre vand, som vil forbedre trykstyrken.



## 10 Referencer

### Litteratur

- [1] Jakob Thyrring - biolog, ph.d studerende ved Arktisk Forskningscenter Aarhus Universitet *Kulde og tungmetaller - en farlig cocktail i Arktis*. Hentet: 04/06-2017 <http://aktuelnaturvidenskab.dk/fileadmin/AktuelNaturvidenskab/nr - 2/AN2 - 2016musling - miljo.pdf>
- [2] Aalborg Portland *Mineralske tilsætninger* Hentet: 04/06-2017 <http://www.aalborgportland.dk/default.aspx? m=4i=109pi=22pr=5>
- [3] DS/EN ISO 17892-3:2015 *Geoteknisk undersøgelse og prøvning - Laboratorieprøvning af jord - Del 3: Bestemmelse af partikeldensitet* Hentet: 12/06-2017
- [4] DS 259 *Vandundersøgelser - Bestemmelse af metaller i vand, jord, slam og sedimenter - Almene principper og retningslinjer for bestemmelse ved atomabsorptionsspektrofotometri i flamme* Hentet: 12/06-2017
- [5] DS/EN 196-1 2. udgave *Metoder til prøvning af cement - Del 1: Styrkebestemmelse* Hentet: 12/06-2017
- [6] EN 1015-3 1.udgave *Prøvningsmetoder til undersøgelse af mørtel til murværk Del 3- Bestemmelse af frisk mørtels konsistens* Hentet: 12/06-2017
- [7] DS/EN 196-3 + A1 3. udgave fra 2009-01-20 *Metoder til prøvning af cement - Del 3: Bestemmelse af afbindingstid og volumenbestandighed*. Hentet: 12/06-2017
- [8] miningfacts.org *What is acid rock drainage* Hentet: 12/06-2017 <http://www.miningfacts.org/Environment/What-is-acid-rock-drainage/>
- [9] miningfacts.org *How are waste materials managed at mine sites* Hentet: 12/06-2017 <http://www.miningfacts.org/Environment/How-are-waste-materials-managed-at-mine-sites/>
- [10] P.E. Jensen, L.M. Ottosen, H.K. Hansen, S. Bollwerk, L.J. Belmonte G.M. Kirkelund (2016) *Suspended electrodialytic extraction og toxic elements for detoxification of three different mine tailings* Hentet: 12/06-2017
- [11] Codelco *Division El Teniente - Codelco* Hentet: 12/06-2017 <https://www.codelco.com/elteniente>

- [12] Geocenter Danmark (2007) *Kvarts* Hentet: 12/06-2017 [http://geocenter.dk/publikationer/md\\_mineral/99\\_kvarts.html](http://geocenter.dk/publikationer/md_mineral/99_kvarts.html)
- [13] Geoscience News and Information *Calcite* Hentet: 12/06-2017 <http://geology.com/minerals/calcite.shtml>
- [14] Geoscience News and Information *Felspar* Hentet: 12/06-2017 <http://geology.com/minerals/feldspar.shtml>
- [15] P. Kumar Mehta og Paulo J. M. Monteiro (2014) *Concrete - Microstructure, properties and materials (Fourth Edition* Mc Graw Hill Education Hentet: 12/06-2017
- [16] Dansk Betonforening (2013) *Betonhåndbogen, 6 Proportionering* Hentet: 12/06-2017
- [17] Janus Loke Høybye og Niklas O. Lauersen (Juni 2011) (DTU Bachelor projekt) *Hydratisering og udtørring af nystøbt cementpasta med forskellige v/c-forhold* Hentet: 12/06-2017
- [18] Aalborg Portland *Cement og Beton - Håndbogen om cement, beton og mørtel (18 udgave - September 2007)* Hentet: 13/06-2017
- [19] Den Store Danske *Puzzolan* Hentet: 13/06-2017 [http://denstoredanske.dk/It\\_teknologi\\_og\\_naturvidenskab/Kem/Keramisk\\_industri\\_-\\_Glas\\_m%C3%B8rtel\\_gips\\_m.v./puzzolan](http://denstoredanske.dk/It_teknologi_og_naturvidenskab/Kem/Keramisk_industri_-_Glas_m%C3%B8rtel_gips_m.v./puzzolan)
- [20] Esben Østergaard Hansen (Januar 2015) (DTU Bachelor Projekt) *Trykstyrke og densitet for beton - ved samtidig og delvis erstatning af cement og sand med træaske* Hentet: 13/06-2017
- [21] Alexander Frederik Forsberg og Anders Bøwig Rasmussen (Juni 2011) (DTU Bachelor Projekt) *Transportegenskaber for beton med superabsorberende polymerer* Hentet: 13/06-2017
- [22] Miljø- og fødevarerministeriet (2015) *Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter og jord til bygge- og anlægsarbejder og om anvendelse af sorteret, uforurenede bygge- og anlægsaffald* Hentet: 14/06-2017
- [23] Hanne Koplev (2007) *Metal* Hentet: 14/06-2017 <https://www.alun.dk/helse/tungmetaller.html>
- [24] Mona Randahl Nielsen (2017) (DiplomByg afgangprojekt) *Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton - Sammenligning af to slags mineaffald med fokus på optimering af trykstyrke og bearbejdelighed* Hentet: 14/06-2017
- [25] Christian Munch-Petersen - i Den Store Danske, Gyldendal *Beton (Betonskader)* Hentet: 14/06-2017 <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=46512>

- [26] CCANZ (concrete answers) *Impurities and Other Harmful Materials* Hentet: 14/06-2017  
<http://www.ccanz.org.nz/page/Impurities-and-Other-Harmful-Materials.aspx>
- [27] Minerals.net *THE PLAGIOCLASE MINERAL SERIES* Hentet: 15/06-2017  
<http://www.minerals.net/mineral/plagioclase.aspx>
- [28] Anders Nielsen - Labortoriet for bygningsmaterialer - Danmarks Tekniske højskole (1992) *Bygningsmaterialers egenskaber* Hentet: 16/06-2017  
<http://www.danskbyggeskik.dk/pdf/get.action;jsessionid=7B6A6C447887F93EEBE33A3975D545CE?pdf.id=>
- [29] Marianne Tange Hasholt (DTU-lektor) *Kurset betonteknologi (11563)* Hentet: 14/06-2017  
Figuren stammer fra opgaveregningen i kurset.
- [30] Aalborg Portland A/S 20. udgave 2012 *Cement og Beton* Hentet: 18/06-2017  
[http://www.aalborgportland.dk/media/pdf\\_filer/cement\\_og\\_beton\\_2012\\_w eb.pdf](http://www.aalborgportland.dk/media/pdf_filer/cement_og_beton_2012_w eb.pdf)

## 11 Bilag

### 11.1 Bilag A - Forsøgsresultater

#### 11.1.1 Bilag A1 - Vandindhold

Vandindhold i zingruvan 50 grader								
	Vægt af beholder	Vægt før	Vægt efter	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse	
A	5,02	2,12	6,95	0,19	2,66	2,720743309	0,193509785	
B	5,04	2,11	6,94	0,21	2,94	-	-	
C	5,02	2,00	6,84	0,18	2,56	-	-	
Vandindhold i Sand ved 105 grader								
	Vægt af beholder	Vægt før	Vægt efter	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse	
A	5,05	2,01	7,03	0,03	0,42	0,283019371	0,141643813	
B	5,06	2,00	7,05	0,01	0,14	-	-	
C	5,04	2,04	7,06	0,02	0,28	-	-	
Vandindhold i Cement ved 50 grader								
	Vægt af beholder	Vægt før	Vægt efter	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse	
A	5,0534	2,0384	7,0896	0,0022	0,03	0,039142744	0,009462887	
B	5,0636	2,0022	7,0623	0,0035	0,05	-	-	
C	5,0401	2,0113	7,0488	0,0026	0,04	-	-	
Vandindhold i Codelco ved 50 grader								
	Vægt af beholder	Vægt før	Vægt efter	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse	
A	5,09	2,03	7,06	0,06	0,84	0,234148243	0,328394786	
B	5,05	2,01	7,08	-0,02	0,00	-	-	
C	5,06	2,05	7,09	0,02	0,28	-	-	
D	5,03	2,01	7,07	-0,03	0,00	-	-	
E	5,06	2,06	7,1	0,02	0,28	-	-	
F	5,05	2,02	7,08	-0,01	0,00	-	-	
Vandindhold zinkgruvan 105 grader								
	Vægt af beholder	Vægt før	Vægt efter	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse	
A	5,06	2,06	6,92	0,2	2,81	2,849122677	0,079938432	
B	5,06	2,08	6,93	0,21	2,94	-	-	
C	5,05	2,10	6,95	0,2	2,80	-	-	
Vandindhold i Codelco ved 105 grader								
	Vægt af beholder	Vægt før	Vægt efter	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse	
A	5,06	2,07	7,13	0	0,00	0,093632959	0,162177042	
B	5,05	2,07	7,12	0	0,00	-	-	
C	5,05	2,07	7,1	0,0200	0,28	-	-	
Vandindhold i Cement ved 105 grader								
	Vægt beholder	Vægt før jord	Vægt total	Vægt total	Vægt vand	Vand indhold i %	Gennemsnit	Standard afvigelse
A	5,0600	5,8400	10,9000	10,7800	0,1200	1,1009	1,138078485	0,032761341
B	5,0600	5,3700	10,4300	10,3100	0,1200	1,1505	-	-
C	5,0600	5,2600	10,3200	10,2000	0,1200	1,1628	-	-

## 11.1.2 Bilag A2 - Pyknometer

## Korndensitet for cement

Dato	04-04-2017							
Navn	Niklas Ørum-Nielsen							
Projekt	Mineaffald i beton							
Prøvemateriale	Cement							
Metode: Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15) Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					<table border="1"> <tr> <td>Resultat</td> </tr> <tr> <td>Beregning</td> </tr> <tr> <td>Input</td> </tr> </table>	Resultat	Beregning	Input
Resultat								
Beregning								
Input								
Bestemmelse af kornrumvægt								
Sand								
				1	2	3		
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>								
Pyknometer nummer				19	72	74		
Pykn. + prop (tomt)		$m_0$	g	42,8721	42,3379	43,215		
Pykn. + prop (vandfyldt)	$W_2$	$m_1$	g	140,7496	140,5695	139,2265		
Temperatur ved kalibrering	$T_k$	$T_1$	°C	22	22	22		
Densitet af vand ved $T_k$ *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9978	0,9978	0,9978		
<b>Måling</b>								
Pykn.+ prop + jord		$m_2$	g	46,8652	46,3394	47,2109		
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	143,6252	143,4595	142,109		
Temperatur	$T$	$T_3$	°C	23	23	23		
Densitet af vand ved $T$ *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9975	0,9975	0,9975		
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	3,9931	4,0015	3,9959		
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1,09079901	1,08467724	1,08725117		
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	3,66071107	3,68911586	3,67523173		
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	3,6750				
Betegnelse fra	dgf15	DS						

## Korndensitet for søsand

Dato	06-06-2017					
Navn	Niklas C. Ørum-Nielsen					
Projekt	Mineaffald i beton					
Prøvemateriale	Søsand					
Metode: Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15) Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					Resultat	
					Beregning	
					Input	
<b>Bestemmelse af kornrumvægt</b>						
Sand						
				1	2	3
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>						
Pyknometer nummer				87	93	117
Pykn. + prop (tomt)		$m_0$	g	31,772	30,9959	32,7693
Pykn. + prop (vandfyldt)	$W_2$	$m_1$	g	81,6133	80,5873	82,0193
Temperatur ved kalibrering	$T_k$	$T_1$	°C	22	22	22
Densitet af vand ved $T_k$ *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9978	0,9978	0,9978
<b>Måling</b>						
Pykn.+ prop + jord		$m_2$	g	35,7818	35,0359	36,7753
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	84,1215	83,1265	84,5429
Temperatur	T	$T_3$	°C	22	22	22
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9978	0,9978	0,9978
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	4,0098	4,04	4,006
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1,5049108	1,50410904	1,48566847
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2,66447685	2,68597548	2,6964293
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2,6823		
Betegnelser fra	dgf15	DS				

## Korndensitet for Zinkgruvan

Dato	04/04-2017					
Navn	Niklas Ørum-Nielsen					
Projekt	Mineaffald i beton					
Prøvemateriale	Zinkgruvan					
Metode:					Resultat	
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)					Beregning	
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					Input	
Bestemmelse af kornrumvægt						
Sand						
				1	2	3
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer				176	173	139
Pykn. + prop (tomt)		$m_0$	g	31,3964	32,5943	31,4882
Pykn. + prop (vandfyldt)	$W_2$	$m_1$	g	81,6107	81,7491	80,938
Temperatur ved kalibrering	$T_k$	$T_1$	°C	22	22	22
Densitet af vand ved $T_k$ *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn. + prop + jord		$m_2$	g	35,3903	36,5873	35,4802
Pykn. + prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	84,372	84,372	83,6041
Temperatur	$T$	$T_3$	°C	11	11	11
Densitet af vand ved $T$ *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9996	0,9996	0,9996
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	3,9939	3,993	3,992
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1,32371451	1,45935747	1,41567216
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	3,01719137	2,73613566	2,81986191
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2,8577		
Betegnelse fra	dgf15	DS				

## Korndensitet for Codelco

Dato	06-06-2017						
Navn	Niklas Ørum-Nielsen						
Projekt	Mineaffald i beton						
Prøvemateriale	Codelco						
Metode: Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15) Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					<b>Resultat</b> <b>Beregning</b> <b>Input</b>		
<b>Bestemmelse af kornrumvægt</b>							
<b>Sand</b>							
					<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>							
Pyknometer nummer				16	5	8	
Pykn. + prop (tomt)		$m_0$	g	47,02	47,9524	48,9791	
Pykn. + prop (vandfyldt)	$W_2$	$m_1$	g	147,2786	147,8348	150,7888	
Temperatur ved kalibrering	$T_k$	$T_1$	°C	22	22	22	
Densitet af vand ved $T_k$ *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9978	0,9978	0,9978	
<b>Måling</b>							
Pykn.+ prop + jord		$m_2$	g	51,0251	51,9561	52,9894	
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	149,9661	150,4777	153,4014	
Temperatur	$T$	$T_3$	°C	22	22	22	
Densitet af vand ved $T$ *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0,9978	0,997	0,9978	
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	4,0051	4,0037	4,0103	
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1,32050511	1,28457161	1,40078172	
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	3,03300606	3,11675889	2,86290144	
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	<b>3,0042</b>			
Betegnelser fra	dgf15	DS					



## 11.1.3 Bilag A3 - pH-værdi

<b>pH med Cement</b>					
	<b>Vægt beholder</b>	<b>Vægt prøve</b>	<b>pH</b>	<b>Gennemsnit</b>	<b>Standard afvigelse</b>
<b>A</b>	5,05	5,00	12,53	12,528	0,017888544
<b>B</b>	5,04	5,00	12,51	-	-
<b>C</b>	5,05	5,00	12,55	-	-
<b>D</b>	5,05	5,00	12,51	-	-
<b>E</b>	5,04	5,01	12,54	-	-
<b>pH med Sand</b>					
	<b>Vægt beholder</b>	<b>Vægt prøve</b>	<b>pH</b>	<b>Gennemsnit</b>	<b>Standard afvigelse</b>
<b>A</b>	5,05	5,00	9,66	9,74	0,130575649
<b>B</b>	5,04	5,00	9,76	-	-
<b>C</b>	5,04	5,00	9,85	-	-
<b>D</b>	5,04	5,00	9,87	-	-
<b>E</b>	5,04	5,00	9,56	-	-
<b>pH med zinkgruvan</b>					
	<b>Vægt beholder</b>	<b>Vægt prøve</b>	<b>pH</b>	<b>Gennemsnit</b>	<b>Standard afvigelse</b>
<b>A</b>	5,02	5,00	8,33	8,358	0,043243497
<b>B</b>	5,01	5,00	8,35	-	-
<b>C</b>	5,02	5,00	8,36	-	-
<b>D</b>	5,02	5,00	8,32	-	-
<b>E</b>	5,09	5,00	8,43	-	-
<b>pH med Codelco</b>					
	<b>Vægt beholder</b>	<b>Vægt prøve</b>	<b>pH</b>	<b>Gennemsnit</b>	<b>Standard afvigelse</b>
<b>A</b>	5,04	5,00	8,85	8,718	0,121326007
<b>B</b>	5,03	5,00	8,58	-	-
<b>C</b>	5,05	5,00	8,68	-	-
<b>D</b>	5,02	5,00	8,64	-	-
<b>E</b>	5,04	5,00	8,84	-	-

## 11.1.4 Bilag A4 - ICP-resultater

## ICP-resultater for cement

Sample Labels	Al 308.215	As 193.696	Ba 233.527	Ca 317.933	Cd 228.802	Cr 206.550	Cu 327.395	Fe 238.204
gr 2 opl cement a	107,266	0,058786	2,18845	#NAVN?	0,004258	0,230907	0,742793	#NAVN?
gr 2 opl cement b	101,946	0,066117	2,08702	#NAVN?	0,004123	0,217771	0,70456	107,941
gr 2 opl cement c	78,6302	0,031591	1,62507	#NAVN?	0,002311	0,168387	0,549213	82,3603
gr 2 opl cement d	104,4	0,056211	2,16522	#NAVN?	0,005567	0,226432	0,723983	#NAVN?
gr 2 opl cement e	#NAVN?	0,056328	2,24401	#NAVN?	0,003782	0,236559	0,766084	#NAVN?
gr 2 opl cement a_10	139,016	0,17441	2,70726	#NAVN?	-0.013202 uv	0,247203	0,927291	140,917
gr 2 opl cement b_10	138,255	0,175724	2,67789	#NAVN?	-0.005259 uv	0,219385	0,914957	139,814
gr 2 opl cement c_10	103,787	0,171217	1,99968	#NAVN?	0.000598 uv	0,158518	0,696911	103,68
gr 2 opl cement d_10	139,455	0,188368	2,73799	#NAVN?	0.010941 uv	0,239552	0,922976	140,753
gr 2 opl cement e_10	144,252	0,204133	2,7902	#NAVN?	0,024287	0,211075	0,960328	144,497
gr 2 opl cement a_100	151,743	1.02727 uv	2,81405	2843,91	0,035189	0,241775	1,5164	147,145
gr 2 opl cement b_100	148,517	0.201899 uv	2,75055	2788,01	0,034359	0,224262	1,26983	145,673
gr 2 opl cement c_100	112,457	2,21149	2,09066	2143,39	0,037545	0,170497	1,00621	107,886
gr 2 opl cement d_100	151,834	1,49578	2,82193	2860,56	0,030077	0,240796	1,42407	146,952
gr 2 opl cement e_100	154,984	2,97795	2,86052	2899,1	0,025715	0,31995	1,2713	150,816
<b>Gennemsnit</b>	98,06055	0,0538066	2,061954	2706,994	0,0040082	0,2160112	0,6973266	133,9322
Metaller [mg/kg]	9806,055	5,38066	206,1954	270699,4	0,40082	21,60112	69,73266	13393,22

K 766.491	Mg 280.27	Mn 260.56	Na 589.592	Ni 231.604	P 214.914	Pb 220.353	S 182.562	Zn 213.857
25,3934	29,3323	1,43675	10,2768	0,195162	7,58246	0,135721	86,2939	2,61828
24,2016	27,9436	1,36669	9,81525	0,186091	7,21503	0,127131	91,5481	2,50436
18,1701	22,3944	1,05141	7,81067	0,1392	5,41582	0,100463	66,1457	1,84691
24,9399	28,4119	1,40541	10,1685	0,186804	7,50178	0,134575	95,707	2,54965
26,6559	29,8938	1,47923	10,7518	0,198984	7,89686	0,135121	88,4823	2,68215
29,8134	36,9487	1,67332	14,6742	0,15457	7,5492	0,156469	90,7272	3,14156
29,8783	35,909	1,64553	14,7052	0,226658	7,41195	0,17593	100,665	3,09139
22,4976	27,3387	1,20914	11,1101	0,117387	4,80736	0,106809	73,9741	2,35301
30,2324	36,4163	1,67094	15,0351	0,149933	7,41718	0,186017	103,63	3,12761
31,4683	38,0675	1,72132	15,4085	0,222165	7,78554	0,172402	94,5723	3,26082
49,5203	36,0979	1,85336	28,6395	0,531709	1,84026	1,501	105,784	3,31955
48,6983	35,7676	1,79321	27,3323	0,667578	3,25209	1,51663	110,888	3,25759
45,8777	25,4086	1,34857	25,0545	1,02009	0,893529	1,55278	80,9032	2,49501
51,7019	36,5084	1,87236	29,3378	1,03686	2,41866	2,76906	111,459	3,37117
51,7779	37,3914	1,91818	29,0223	1,24969	2,49931	2,16924	104,726	3,56839
23,87218	27,5952	1,347898	9,764604	0,181248	7,12239	0,1266022	85,6354	2,44027
2387,218	2759,52	134,7898	976,4604	18,12482	712,239	12,66022	8563,54	244,027

## ICP-resultater for søsand

Sample Labels	Al 308.215	As 193.696	Ba 233.527	Ca 317.933	Cd 228.802	Cr 206.550	Cu 327.395	Fe 238.204
gr 2 opl sand a	9,98917	0,018576	0,027533	#NAVN?	0,001141	0,013153	0,014287	16,9709
gr 2 opl sand b	10,6033	0,019002	0,027023	#NAVN?	-0.000399 uv	0,015678	0,014545	17,8394
gr 2 opl sand c	9,16463	0,016224	0,062521	#NAVN?	0,000963	0,013449	0,013051	14,8213
gr 2 opl sand d	10,8949	0,019837	0,030764	#NAVN?	0,000786	0,013396	0,013419	16,2691
gr 2 opl sand e	10,2504	0,015296	0,02653	#NAVN?	-0.000286 uv	0,020594	0,014394	17,2509
gr 2 opl sand a_10	11,3488	0,159165	0,036456	240,852	0,01719	0,018502	0,02481	18,8376
gr 2 opl sand b_10	12,0876	0,155466	0,033297	215,368	0.004919 uv	0,020829	0,025025	19,5835
gr 2 opl sand c_10	10,1627	0,156142	0,065846	224,407	0,015828	0,022731	0,02413	16,242
gr 2 opl sand d_10	12,315	0,147069	0,037358	217,216	-0.018902 uv	0,020537	0,013713	17,7718
gr 2 opl sand e_10	11,5315	0,183061	0,032354	235,272	0.011367 uv	0,019165	0,026815	18,7912
<b>Gennemsnit</b>	10,18048	0,017787	0,0348742	226,623	0,000963333	0,015254	0,0139392	16,63032
Metaller [mg/kg]	1018,048	1,7787	3,48742	22662,3	0,096333333	1,5254	1,39392	1663,032

K 766.491	Mg 280.270	Mn 260.568	Na 589.592	Ni 231.604	P 214.914	Pb 220.353	S 182.562	Zn 213.857
2,72523	6,10725	0,719671	1,75174	0,009837	2,59232	0,019944	2,4425	0,086789
2,44177	6,42628	0,571802	1,75801	0,008544	2,55559	0,017158	2,57509	0,088602
2,64336	5,47594	0,615235	1,76678	0,00916	2,50007	0,017294	2,71037	0,086267
2,61188	5,84238	0,552586	1,77543	0,012794	2,01128	0,021189	2,40457	0,091641
2,69604	5,98401	0,754673	1,82062	0,011737	2,60114	0,019487	2,90055	0,093652
3,45915	6,51848	0,711691	2,08817	0,045202	1,58868	0.043933 uv	3,49397	0,08322
3,2251	6,85219	0,555057	2,10845	0,042099	1,27415	-0.012508 uv	2,11803	0,07984
3,30514	5,94317	0,612301	2,05004	0,037945	1,12256	0.007747 uv	2,07218	0,080711
3,32819	6,26268	0,543874	2,10379	0,03275	0,939773	-0.021406 uv	2,35163	0,084712
3,347	6,35964	0,758512	2,30383	0,017996	1,29455	0.004952 uv	2,9478	0,086111
2,623656	5,967172	0,6427934	1,774516	0,0104144	2,45208	0,0190144	2,606616	0,0893902
262,3656	596,7172	64,27934	177,4516	1,04144	245,208	1,90144	260,6616	8,93902

## ICP-resultater for Zinkgruvan

Sample Labels	Al 396.152	As 193.696	Ba 493.408	Ca 317.933	Cd 228.802	Cr 267.716	Cu 324.754	Fe 239.563
gr 2 opl zink a	78,7904	0,381857	2,2226	#NAVN?	0,138347	0,03157	2,87504	#NAVN?
gr 2 opl zink b	73,3851	0,398191	2,01203	#NAVN?	0,137702	0,02882	2,65274	#NAVN?
gr 2 opl zink c	79,7983	0,430189	2,18642	#NAVN?	0,140965	0,031781	2,69602	#NAVN?
gr 2 opl zink d	77,196	0,377196	2,40817	#NAVN?	0,147208	0,03394	2,70508	#NAVN?
gr 2 opl zink e	78,3203	0,451277	2,66189	#NAVN?	0,142598	0,032016	2,82667	#NAVN?
gr 2 opl zink a_10	104,301	0,450296	2,9504	366,133	0,138178	0,077868	3,84483	185,512
gr 2 opl zink b_10	95,6404	0,484675	2,66156	337,061	0,088715	0,074942	3,50785	172,504
gr 2 opl zink c_10	107,038	0,454727	2,96757	369,874	0,121723	0,065241	3,65188	190,469
gr 2 opl zink d_10	102,951	0,416273	3,23786	357,49	0,11557	0,079057	3,65013	185,682
gr 2 opl zink e_10	105,683	0,552444	3,60971	374,956	0,124497	0,075561	3,89354	193,385
<b>Gennemsnit</b>	77,49802	0,407742	2,298222	361,1028	0,141364	0,0316254	2,75111	185,5104
Metaller [mg/kg]	7749,802	40,7742	229,8222	36110,28	14,1364	3,16254	275,111	18551,04

K 769.897	Mg 279.800	Mn 294.921	Na 589.592	Ni 221.648	P 213.618	Pb 217.000	S 182.562	Zn 213.857
55,4085	#NAVN?	9,68377	1,58211	0,196113	3,20246	#NAVN?	61,1595	#NAVN?
51,5992	#NAVN?	9,41854	1,56349	0,197939	3,07421	#NAVN?	55,0085	#NAVN?
55,3508	#NAVN?	10,28	1,60594	0,201354	3,18071	#NAVN?	58,5376	#NAVN?
53,5493	#NAVN?	9,84258	3,4611	0,200297	3,18895	#NAVN?	59,7562	#NAVN?
53,5711	#NAVN?	10,0842	1,62888	0,209369	3,3912	#NAVN?	60,0426	#NAVN?
69,3353	203,034	13,002	2,21375	0,360929	2,95318	38,6827	67,5511	84,8241
63,0966	188,083	12,492	2,07259	0,366423	2,85636	35,9549	57,3775	86,5861
69,0573	203,017	13,8376	2,2426	0,38168	3,14333	41,9544	62,2497	89,7911
68,2556	200,057	13,4068	4,64072	0,378029	3,0793	38,8643	65,306	92,3258
67,8113	207,735	13,879	2,34956	0,379054	3,24692	39,0659	63,9443	89,1944
53,89578	200,3852	9,861818	1,968304	0,2010144	3,207506	38,90444	58,90088	88,5443
5389,578	20038,52	986,1818	196,8304	20,10144	320,7506	3890,444	5890,088	8854,43

## ICP-resultater for Codelco

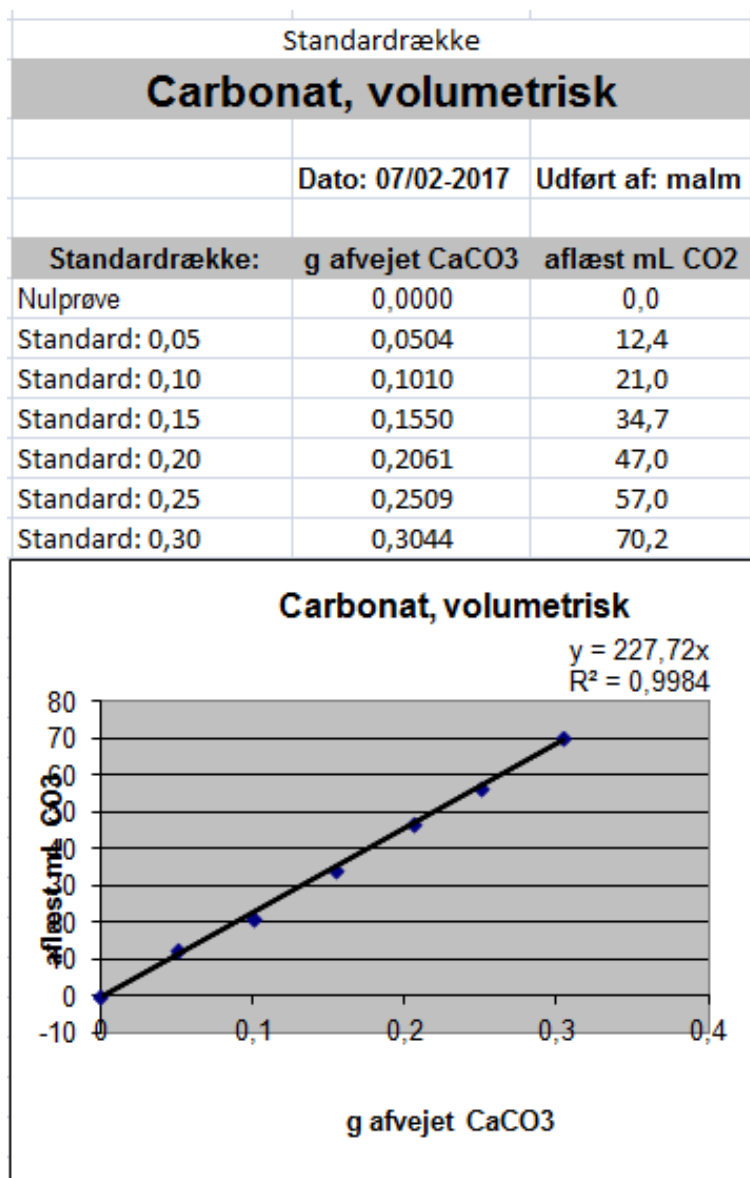
Sample Labels	Al 308.215	As 197.198	Ba 493.408	Ca 422.673	Cd 228.802	Cr 206.550	Cu 324.754	Fe 239.563	K 766.491	Mg 285.213	Mn 260.568
gr 2 opl Codelco A	#NAVN?	0,172568	0,18659	#NAVN?	0,002625	0,203733	3,58468	#NAVN?	19,7045	#NAVN?	7,48239
gr 2 opl Codelco B	#NAVN?	0,186782	0,175262	#NAVN?	0,002834	0,202311	3,58395	#NAVN?	19,7751	#NAVN?	7,41613
gr 2 opl Codelco C	#NAVN?	0,193255	0,173077	#NAVN?	0,002525	0,197375	3,42982	#NAVN?	19,3633	#NAVN?	7,42301
gr 2 opl Codelco D	#NAVN?	0,178067	0,184012	#NAVN?	0,002788	0,200408	3,54568	#NAVN?	19,7091	#NAVN?	7,41938
gr 2 opl Codelco E	#NAVN?	0,170133	0,202279	#NAVN?	0,002553	0,196598	3,52629	#NAVN?	19,4435	#NAVN?	7,38556
gr 2 opl Codelco A_10	202,27	0.052055 u	0,206271	185,5	0.007009 uv	0,214119	4,07179	855,507	22,1665	189,966	8,64986
gr 2 opl Codelco B_10	201,854	0.011906 u	0,193801	182,178	0,022835	0,215498	4,08527	865,196	21,9931	189,697	8,69365
gr 2 opl Codelco C_10	200,627	0,130437	0,191244	181,843	0,016729	0,219346	3,87279	831,282	21,5895	186,993	8,5687
gr 2 opl Codelco D_10	201,466	0,210465	0,205059	181,628	0,02089	0,232372	4,02152	851,738	21,8034	189,23	8,63117
gr 2 opl Codelco E_10	199,934	0.061120 u	0,222744	182,565	0.005431 uv	0,22607	3,988	841,835	21,5114	187,468	8,52999
<b>Gennemsnit</b>	201,2302	0,180161	0,184244	182,7428	0,002665	0,200085	3,534084	849,1116	19,5991	188,6708	7,425294
Metaller [mg/kg]	20123,02	18,0161	18,4244	18274,28	0,2665	20,0085	353,4084	84911,16	1959,91	18867,08	742,5294

Mo 202.032	Na 588.995	Ni 221.648	P 213.618	Pb 217.000	S 181.972	Sb 217.582	Se 196.026	Ti 334.941	V 311.070	Y 377.433	Zn 334.502
0,002309	2,39757	0,418097	8,85955	0,658141	#NAVN?	0,021911	-0.010950 uv	5,11559	0,635268	1,00902	0,625587
0,000539	2,32692	0,408739	8,78423	0,675438	#NAVN?	0,018016	0.006334 uv	5,10108	0,641738	1,00823	0,592919
0,000693	2,29867	0,410848	8,76121	0,657628	#NAVN?	0,011741	0.001626 uv	4,87577	0,618084	1,01383	0,57188
0.000804 uv	2,3712	0,412189	8,78275	0,66805	#NAVN?	0,014142	0,0099	5,04041	0,633588	1,00636	0,591365
0,001128	2,32086	0,413342	8,62308	0,674093	#NAVN?	0,011055	-0.003379 uv	4,96672	0,624861	1,00813	0,575171
-0.017202 uv	3,76069	0,511005	8,94513	0,788449	169,665	0.085365 uv	0.005479 uv	5,85809	0,707431	0,95294	0,924387
-0.015801 uv	3,49249	0,5072	9,16216	0.030653	168,42	-0.018154 uv	0,141587	5,90741	0,722217	0,956741	0,681994
-0.014689 uv	3,49071	0,513058	8,98192	0,568336	166,804	-0.012664 uv	-0.027909 uv	5,61033	0,684155	0,951559	0,764301
-0.013329 uv	3,37584	0,502957	8,77623	1,0859	166,464	0,057261	0,093584	5,82464	0,700957	0,953911	0,545077
-0.010884 uv	3,3737	0,496973	8,7144	1,38218	169,964	-0.010303 uv	0.009588 uv	5,7567	0,693788	0,960505	0,621058
0,00116725	2,343044	0,412643	8,762164	0,66667	168,2634	0,015373	0,1175855	5,019914	0,630708	1,009114	0,5913844
0,116725	234,3044	41,2643	876,2164	66,667	16826,34	1,5373	11,75855	501,9914	63,07078	100,9114	59,13844

## 11.1.5 Bilag A5 - Carbonat indhold

<b>Zinkgruvan</b>				
	<b>Vægt af prøve</b>	<b>Aflæsning fra glasrør</b>	<b>Prøvens indhold af calciumcarbonat i %</b>	<b>Gennemsnit</b>
<b>A</b>	2,51	48,8	8,97	8,53099556
<b>B</b>	2,50	47,2	8,24	-
<b>C</b>	2,50	47,5	8,39	-
<b>SAND</b>				
	<b>Vægt af prøve</b>	<b>Aflæsning af glasrør</b>	<b>Prøvens indhold af calciumcarbonat i %</b>	<b>Gennemsnit</b>
<b>A</b>	2,0734	31,4	6,752194463	6,90055186
<b>B</b>	2,0022	33,0	7,491759065	-
<b>C</b>	2,0131	29,2	6,457702052	-
<b>Cement</b>				
	<b>Vægt af prøve</b>	<b>Aflæsning af glasrør</b>	<b>Prøvens indhold af calciumcarbonat i %</b>	<b>Gennemsnit</b>
<b>A</b>	1,0182	38,8	16,69613043	16,0926724
<b>B</b>	1,0511	37,2	15,69784036	-
<b>C</b>	1,0073	36,0	15,88404646	-
<b>Codelco</b>				
	<b>Vægt af prøve</b>	<b>Aflæsning af glasrør</b>	<b>Prøvens indhold af calciumcarbonat i %</b>	<b>Gennemsnit</b>
<b>A</b>	1,0165	20,8	6,886374816	5,12546925
<b>B</b>	1,0252	12,2	4,916113929	-
<b>C</b>	1,0170	12,8	5,014749263	-
<b>D</b>	1,0100	13,0	5,445544554	-

Til beregning af karbonat indhold



### 11.1.6 Bilag A6 - Glødetab

Glødetab af Zinkgruvan								
	Vægt af digel	Samlet vægt (før)	Samlet vægt (efter 550)	Samlet vægt (efter 950)	Glødetab i % (efter 550)	Glødetab i % (efter 950)	Gennemsnit for 550	Gennemsnit for 950
3	10,89	2,51	13,39	13,26	0,08	1,11	0,077905648	1,143753699
4	10,37	2,50	12,86	12,73	0,08	1,15		
23	10,06	2,54	12,59	12,45	0,07	1,17		
Glødetab af Cement								
	Vægt af digel	Samlet vægt (før)	Samlet vægt (efter 550)	Samlet vægt (efter 950)	Glødetab i % (efter 550)	Glødetab i % (efter 950)	Gennemsnit for 550	Gennemsnit for 950
3	10,3693	2,5091	12,8559	12,7280	0,1747	1,1678	0,126158674	0,830149462
4	13,7527	2,5555	16,2816	16,1551	0,1631	0,9388		
23	36,5808	2,5271	39,0920	38,9578	0,0407	0,3838		
Glødetab af Sand								
	Vægt af digel	Samlet vægt (før)	Samlet vægt (efter 550)	Samlet vægt (efter 950)	Glødetab i % (efter 550)	Glødetab i % (efter 950)	Gennemsnit for 550	Gennemsnit for 950
3	15,6122	2,5417	18,1443	18,0837	0,0530	0,3869	0,046090555	0,39105898
4	21,0367	2,5568	23,5841	23,5145	0,0398	0,3348		
23	14,3985	2,5679	16,9587	16,8898	0,0454	0,4515		
Glødetab af Codelco								
	Vægt af digel	Samlet vægt (før)	Samlet vægt (efter 550)	Samlet vægt (efter 950)	Glødetab i % (efter 550)	Glødetab i % (efter 950)	Gennemsnit for 550	Gennemsnit for 950
3	12,3916	2,5121	14,8749	14,8171	0,19	0,58	0,324093874	0,570317916
4	13,6514	2,5094	16,1307	16,0740	0,19	0,54		
23	12,2716	2,5229	14,7068	14,7068	0,59	0,59		

### 11.1.7 Bilag A7 - Kornstørrelses fordeling

Kornstørrelses fordeling for cement



# MASTERSIZER



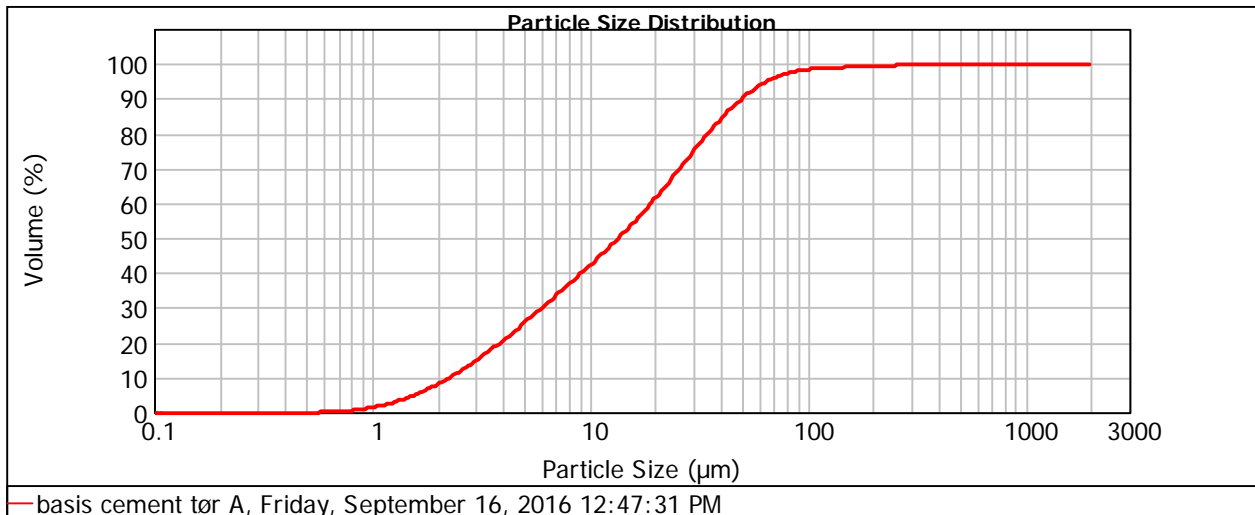
## Result Analysis Report

**Sample Name:** basis cement tør A  
**Sample Source & type:** Paris  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**SOP Name:** Cement tør  
**Measured by:** malm  
**Result Source:** Measurement  
**Measured:** Friday, September 16, 2016 12:47:31 PM  
**Analysed:** Friday, September 16, 2016 12:47:33 PM

**Particle Name:** Cement  
**Particle RI:** 1.500  
**Dispersant Name:**  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Absorption:** 0  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Analysis model:** General purpose  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Weighted Residual:** 0.476 %  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Obscuration:** 1.37 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0002 %Vol  
**Specific Surface Area:** 0.999 m<sup>2</sup>/g  
**Span :** 3.502  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 6.004 um  
**Uniformity:** 1.25  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 22.607 um  
**Result units:** Volume

**d(0.1): 2.278 um**                      **d(0.5): 13.570 um**                      **d(0.9): 49.792 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.98	11.482	3.62	120.226	0.16	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.23	13.183	3.81	138.038	0.11	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	1.49	15.136	4.04	158.489	0.11	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.75	17.378	4.29	181.970	0.13	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	2.00	19.953	4.51	208.930	0.15	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	2.25	22.909	4.67	239.883	0.16	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	2.47	26.303	4.70	275.423	0.16	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	2.67	30.200	4.57	316.228	0.12	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	2.85	34.674	4.28	363.078	0.08	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	2.99	39.811	3.82	416.869	0.02	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	3.10	45.709	3.25	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	3.18	52.481	2.61	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.09	5.754	3.24	60.256	1.96	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.19	6.607	3.29	69.183	1.38	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.36	7.586	3.33	79.433	0.89	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.53	8.710	3.39	91.201	0.52	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.75	10.000	3.48	104.713	0.28	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:





# MASTERSIZER



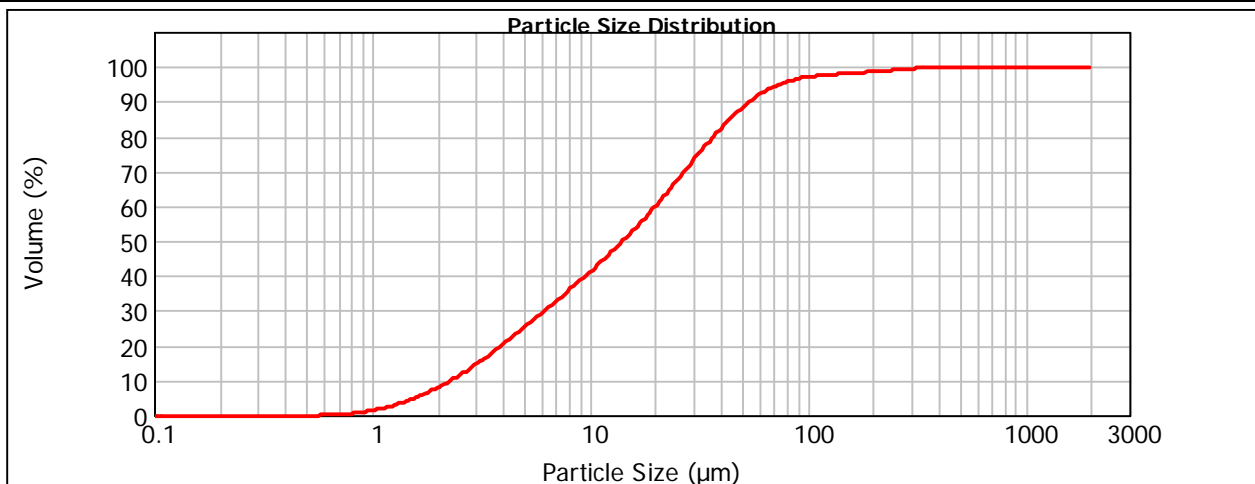
## Result Analysis Report

**Sample Name:** basis cement tør B  
**Sample Source & type:** Paris  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**SOP Name:** Cement tør  
**Measured by:** malm  
**Result Source:** Measurement  
**Measured:** Friday, September 16, 2016 12:55:28 PM  
**Analysed:** Friday, September 16, 2016 12:55:29 PM

**Particle Name:** Cement  
**Particle RI:** 1.500  
**Dispersant Name:**  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Absorption:** 0  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Analysis model:** General purpose  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Weighted Residual:** 0.418 %  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Obscuration:** 1.17 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0002 %Vol  
**Specific Surface Area:** 0.981 m<sup>2</sup>/g  
**Span :** 3.642  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 6.115 um  
**Uniformity:** 1.4  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 25.625 um  
**Result units:** Volume

**d(0.1): 2.297 um**                      **d(0.5): 14.177 um**                      **d(0.9): 53.924 um**



— basis cement tør B, Friday, September 16, 2016 12:55:28 PM

Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.97	11.482	3.55	120.226	0.28	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.22	13.183	3.74	138.038	0.23	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	1.47	15.136	3.96	158.489	0.24	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.72	17.378	4.20	181.970	0.26	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	1.97	19.953	4.42	208.930	0.29	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	2.21	22.909	4.57	239.883	0.30	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	2.42	26.303	4.61	275.423	0.29	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	2.61	30.200	4.51	316.228	0.25	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	2.77	34.674	4.24	363.078	0.16	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	2.90	39.811	3.83	416.869	0.04	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	3.01	45.709	3.29	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	3.18	52.481	2.68	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.08	5.754	3.14	60.256	2.05	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.19	6.607	3.18	69.183	1.48	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.35	7.586	3.23	79.433	1.00	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.53	8.710	3.30	91.201	0.64	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.74	10.000	3.41	104.713	0.40	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



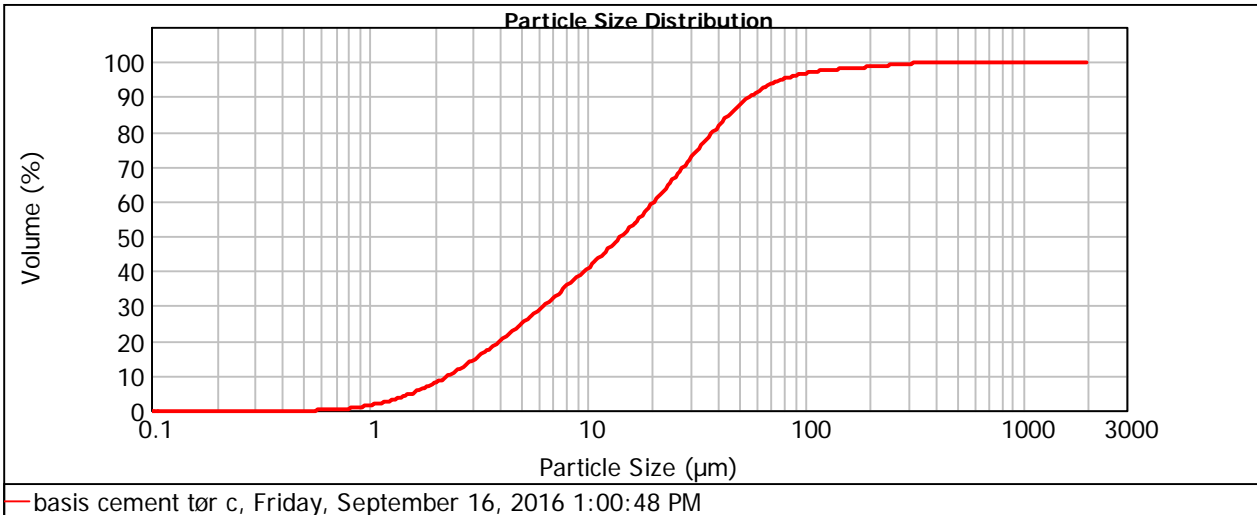
## Result Analysis Report

**Sample Name:** basis cement tør c  
**Sample Source & type:** Paris  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**SOP Name:** Cement tør  
**Measured by:** malm  
**Result Source:** Measurement  
**Measured:** Friday, September 16, 2016 1:00:48 PM  
**Analysed:** Friday, September 16, 2016 1:00:50 PM

**Particle Name:** Cement  
**Particle RI:** 1.500  
**Dispersant Name:**  
**Accessory Name:** Scirocco 2000  
**Absorption:** 0  
**Dispersant RI:** 1.000  
**Analysis model:** General purpose  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Weighted Residual:** 0.288 %  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Obscuration:** 1.08 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0002 %Vol  
**Specific Surface Area:** 0.968 m<sup>2</sup>/g  
**Span :** 3.730  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 6.196 um  
**Uniformity:** 1.41  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 26.428 um  
**Result units:** Volume

**d(0.1): 2.323 um**                      **d(0.5): 14.491 um**                      **d(0.9): 56.379 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.95	11.482	3.51	120.226	0.37	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.19	13.183	3.70	138.038	0.29	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	1.44	15.136	3.92	158.489	0.27	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.69	17.378	4.16	181.970	0.29	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	1.94	19.953	4.37	208.930	0.31	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	2.17	22.909	4.52	239.883	0.31	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	2.38	26.303	4.56	275.423	0.29	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	2.57	30.200	4.46	316.228	0.25	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	2.74	34.674	4.21	363.078	0.15	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	2.87	39.811	3.82	416.869	0.04	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	2.98	45.709	3.31	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	3.05	52.481	2.74	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.08	5.754	3.11	60.256	2.15	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.19	6.607	3.16	69.183	1.61	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.35	7.586	3.21	79.433	1.14	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.52	8.710	3.27	91.201	0.78	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.73	10.000	3.37	104.713	0.52	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
basis cement tør - Averaged Result

**SOP Name:**  
Cement tør

**Measured:**  
Friday, September 16, 2016 12:47:31 PM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Friday, September 16, 2016 12:47:33 PM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Averaged

**Particle Name:**  
Cement

**Accessory Name:**  
Scirocco 2000

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
1.21 %

**Dispersant Name:**

**Dispersant RI:**  
1.000

**Weighted Residual:**  
0.394 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0002 %Vol

**Span :**  
3.619

**Uniformity:**  
1.36

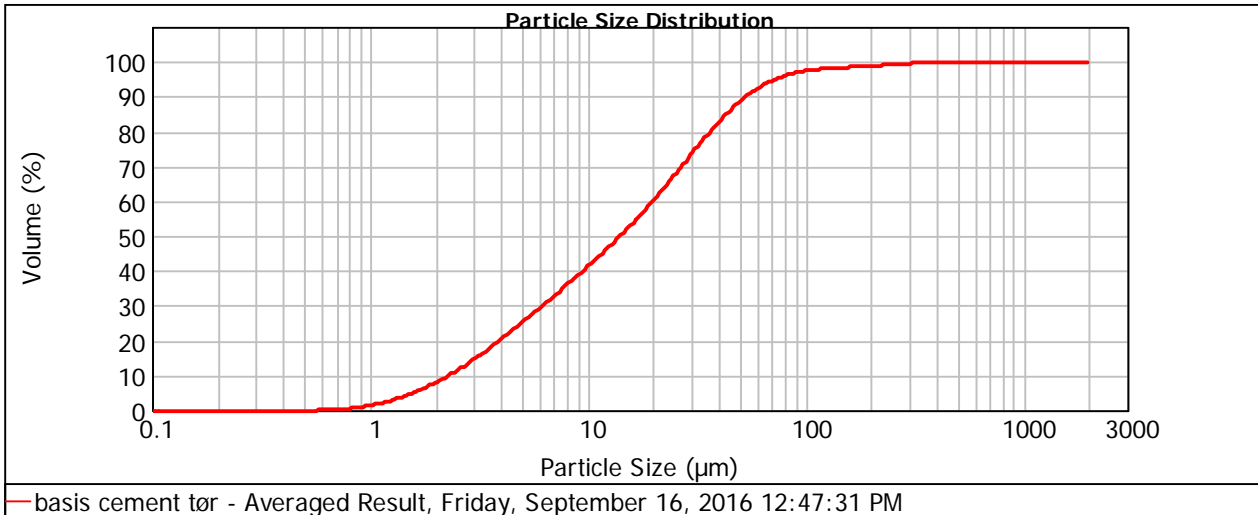
**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.983 m<sup>2</sup>/g

**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
6.104 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
24.887 um

**d(0.1): 2.299 um                      d(0.5): 14.071 um                      d(0.9): 53.226 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.97	11.482	3.56	120.226	0.27	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.21	13.183	3.75	138.038	0.21	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	1.47	15.136	3.98	158.489	0.21	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.72	17.378	4.22	181.970	0.23	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	1.97	19.953	4.43	208.930	0.25	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	2.21	22.909	4.58	239.883	0.26	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	2.42	26.303	4.62	275.423	0.24	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	2.62	30.200	4.51	316.228	0.21	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	2.79	34.674	4.24	363.078	0.13	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	2.92	39.811	3.82	416.869	0.03	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	3.03	45.709	3.28	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	3.16	52.481	2.67	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.08	5.754	3.16	60.256	2.05	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.19	6.607	3.21	69.183	1.49	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.35	7.586	3.26	79.433	1.01	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.53	8.710	3.32	91.201	0.65	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.74	10.000	3.42	104.713	0.40	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

**Operator notes:** Average of 3 measurements from 160810nateg

**Kornstørrelses fordeling for søsand**



# MASTERSIZER



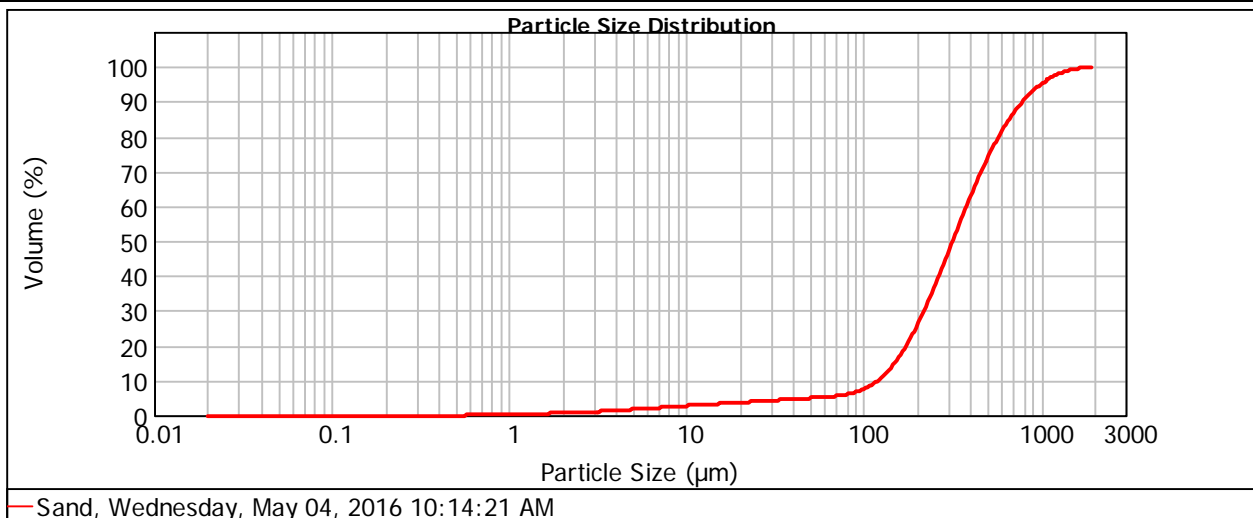
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Sand	<b>SOP Name:</b> Sten	<b>Measured:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:14:21 AM
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> malm	<b>Analysed:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:14:22 AM
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<b>Particle Name:</b> Sten	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0.1	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 14.71 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.443 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.1510 %Vol	<b>Span :</b> 2.095	<b>Uniformity:</b> 0.662	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.0934 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 64.241 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 392.914 um	

**d(0.1): 119.248 um                      d(0.5): 314.555 um                      d(0.9): 778.259 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.07	11.482	0.19	120.226	2.94	1258.925	1.02
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.07	13.183	0.19	138.038	3.97	1445.440	0.65
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.08	15.136	0.18	158.489	5.03	1659.587	0.33
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.09	17.378	0.19	181.970	6.05	1905.461	0.07
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.10	19.953	0.20	208.930	7.49	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.12	22.909	0.20	239.883	7.78	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.14	26.303	0.21	275.423	7.74	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.15	30.200	0.21	316.228	7.41	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.17	34.674	0.19	363.078	6.84	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.18	39.811	0.18	416.869	6.10	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.20	45.709	0.17	478.630	5.26	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.21	52.481	0.19	549.541	4.39	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.04	5.754	0.21	60.256	0.19	630.957	3.55	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.06	6.607	0.21	69.183	0.47	724.436	2.76	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.07	7.586	0.21	79.433	0.81	831.764	2.07	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.07	8.710	0.20	91.201	1.33	954.993	1.49	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.07	10.000	0.20	104.713	2.05	1096.478			
0.105	0.00	1.096	0.07	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



# MASTERSIZER



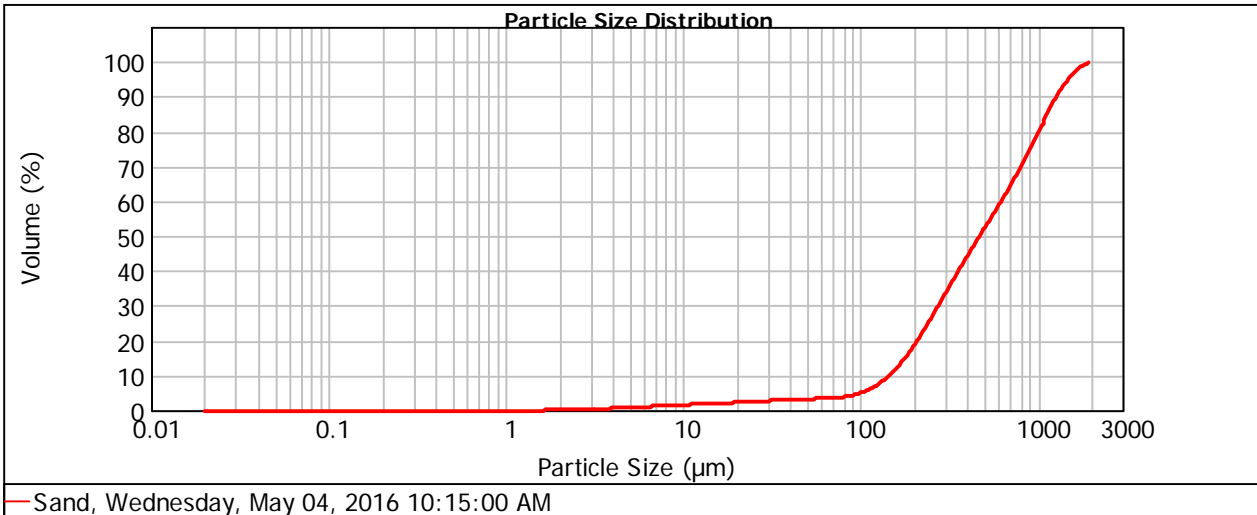
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Sand	<b>SOP Name:</b> Sten	<b>Measured:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:15:00 AM
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> malm	<b>Analysed:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:15:01 AM
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<b>Particle Name:</b> Sten	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0.1	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 15.15 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.858 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.2957 %Vol	<b>Span :</b> 2.464	<b>Uniformity:</b> 0.776	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.0446 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 134.542 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 602.024 um	

**d(0.1): 143.903 um                      d(0.5): 463.835 um                      d(0.9): 1286.819 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.14	120.226	2.22	1258.925	4.69
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.13	138.038	2.98	1445.440	3.57
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.01	15.136	0.14	158.489	3.74	1659.587	2.05
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.06	17.378	0.14	181.970	4.43	1905.461	0.49
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.07	19.953	0.15	208.930	4.94	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.08	22.909	0.16	239.883	5.25	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.09	26.303	0.16	275.423	5.34	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.11	30.200	0.16	316.228	5.34	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.12	34.674	0.15	363.078	5.07	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.13	39.811	0.13	416.869	4.92	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.14	45.709	0.11	478.630	4.88	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.15	52.481	0.11	549.541	5.02	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.15	60.256	0.11	630.957	5.31	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.15	69.183	0.31	724.436	5.65	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.15	79.433	0.58	831.764	5.89	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.15	91.201	0.98	954.993	5.87	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.14	104.713	1.54	1096.478	5.48		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



# MASTERSIZER



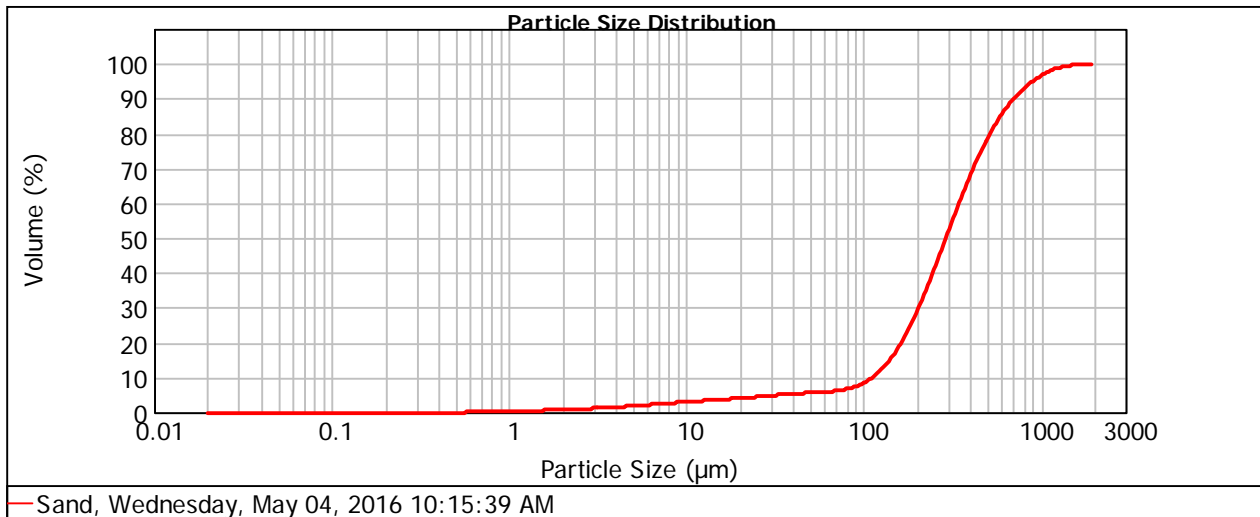
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Sand	<b>SOP Name:</b> Sten	<b>Measured:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:15:39 AM
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> malm	<b>Analysed:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:15:41 AM
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<b>Particle Name:</b> Sten	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0.1	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 14.32 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.479 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.1346 %Vol	<b>Span :</b> 2.022	<b>Uniformity:</b> 0.641	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.102 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 58.804 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 355.798 um	

**d(0.1): 111.462 um                      d(0.5): 288.197 um                      d(0.9): 694.282 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.08	11.482	0.22	120.226	3.34	1258.925	0.67
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.08	13.183	0.22	138.038	4.49	1445.440	0.39
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.08	15.136	0.22	158.489	5.66	1659.587	0.17
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.10	17.378	0.23	181.970	6.74	1905.461	0.04
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.10	19.953	0.23	208.930	7.58	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.13	22.909	0.24	239.883	8.09	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.15	26.303	0.25	275.423	8.21	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.17	30.200	0.25	316.228	8.21	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.18	34.674	0.25	363.078	7.93	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.20	39.811	0.20	416.869	6.49	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.21	45.709	0.18	478.630	5.53	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.23	52.481	0.18	549.541	4.57	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.05	5.754	0.23	60.256	0.20	630.957	3.67	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.07	6.607	0.23	69.183	0.51	724.436	2.87	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.08	7.586	0.23	79.433	0.90	831.764	2.18	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.07	8.710	0.23	91.201	1.50	954.993	1.58	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.08	10.000	0.22	104.713	2.33	1096.478	1.07		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



# MASTERSIZER



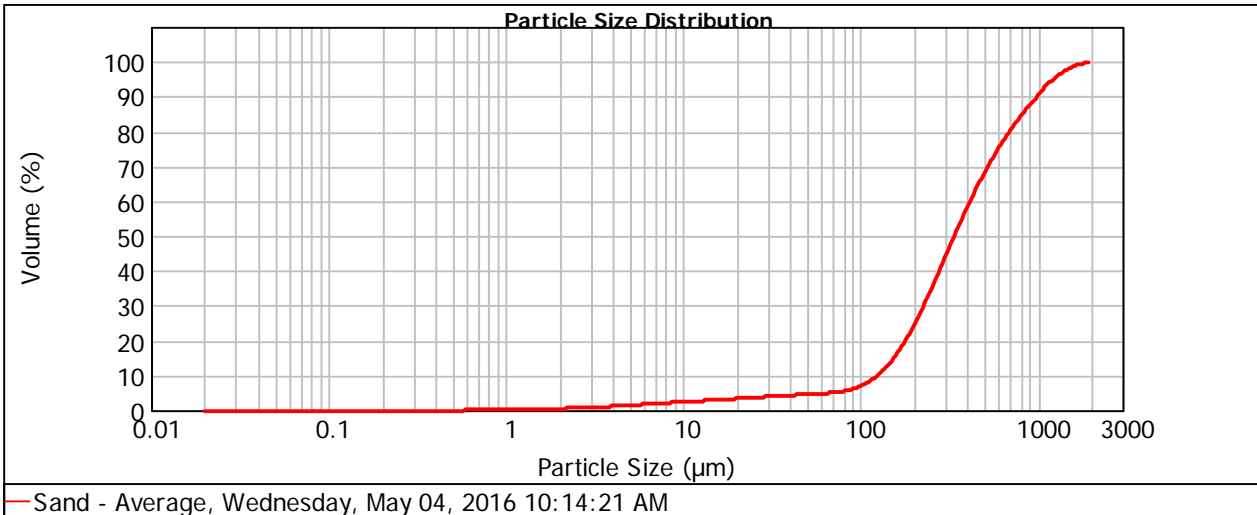
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Sand - Average	<b>SOP Name:</b> Sten	<b>Measured:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:14:21 AM
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> malm	<b>Analysed:</b> Wednesday, May 04, 2016 10:14:22 AM
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Averaged	

<b>Particle Name:</b> Sten	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0.1	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 14.73 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.594 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.1938 %Vol	<b>Span :</b> 2.557	<b>Uniformity:</b> 0.771	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.08 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 74.991 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 450.245 um	

**d(0.1): 123.651 um                      d(0.5): 333.877 um                      d(0.9): 977.484 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.05	11.482	0.18	120.226	2.83	1258.925	2.13
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.05	13.183	0.18	138.038	3.82	1445.440	1.53
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.06	15.136	0.18	158.489	4.81	1659.587	0.85
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.08	17.378	0.19	181.970	5.74	1905.461	0.20
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.09	19.953	0.20	208.930	6.47	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.11	22.909	0.20	239.883	6.95	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.13	26.303	0.21	275.423	7.11	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.14	30.200	0.20	316.228	6.98	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.16	34.674	0.19	363.078	6.61	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.17	39.811	0.17	416.869	6.08	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.18	45.709	0.15	478.630	5.51	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.19	52.481	0.17	549.541	4.95	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.03	5.754	0.20	60.256	0.25	630.957	4.46	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.05	6.607	0.20	69.183	0.43	724.436	4.02	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.05	7.586	0.20	79.433	0.76	831.764	3.61	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.05	8.710	0.19	91.201	1.27	954.993	3.17	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.05	10.000	0.19	104.713	1.97	1096.478	2.68		
0.105	0.00	1.096	0.05	11.482	0.19	120.226		1258.925			

Operator notes:



**Kornstørrelses fordeling for Zinkgruvan**



# MASTERSIZER



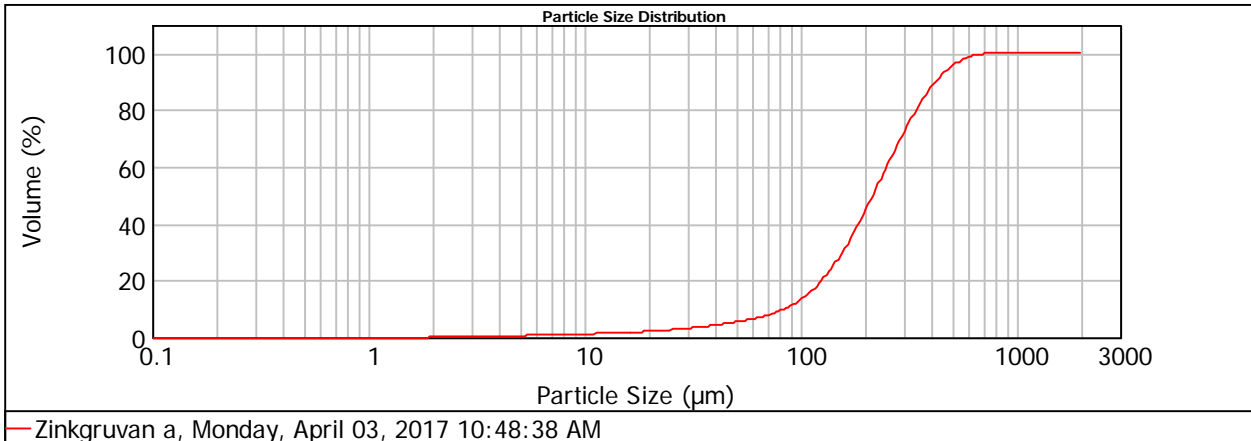
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Zinkgruvan a	<b>SOP Name:</b> Mine tailing Tør	<b>Measured:</b> Monday, April 03, 2017 10:48:38 AM
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> malm	<b>Analysed:</b> Monday, April 03, 2017 10:48:40 AM
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<b>Particle Name:</b> Mine tailing Tør	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 1.60 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.444 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0053 %Vol	<b>Span :</b> 1.562	<b>Uniformity:</b> 0.483	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.0571 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 105.100 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 236.141 um	

**d(0.1): 83.680 um                      d(0.5): 215.426 um                      d(0.9): 420.120 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.15	120.226	5.45	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.18	138.038	6.79	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.21	158.489	8.01	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.25	181.970	8.96	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.30	208.930	9.47	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.06	22.909	0.37	239.883	9.43	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.08	26.303	0.43	275.423	8.84	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.09	30.200	0.50	316.228	7.73	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.10	34.674	0.56	363.078	6.29	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.11	39.811	0.63	416.869	4.69	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.72	478.630	3.11	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.12	52.481	0.88	549.541	1.81	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	1.14	630.957	0.61	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.13	69.183	1.56	724.436	0.08	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.13	79.433	2.20	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.13	91.201	3.07	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.14	104.713	4.18	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Zinkgruvan b

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 10:51:11 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 10:51:13 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Measurement

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**Accessory Name:**  
Scirocco 2000

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
1.68 %

**Dispersant Name:**

**Dispersant RI:**  
1.000

**Weighted Residual:**  
0.412 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0053 %Vol

**Span :**  
1.573

**Uniformity:**  
0.487

**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.06 m<sup>2</sup>/g

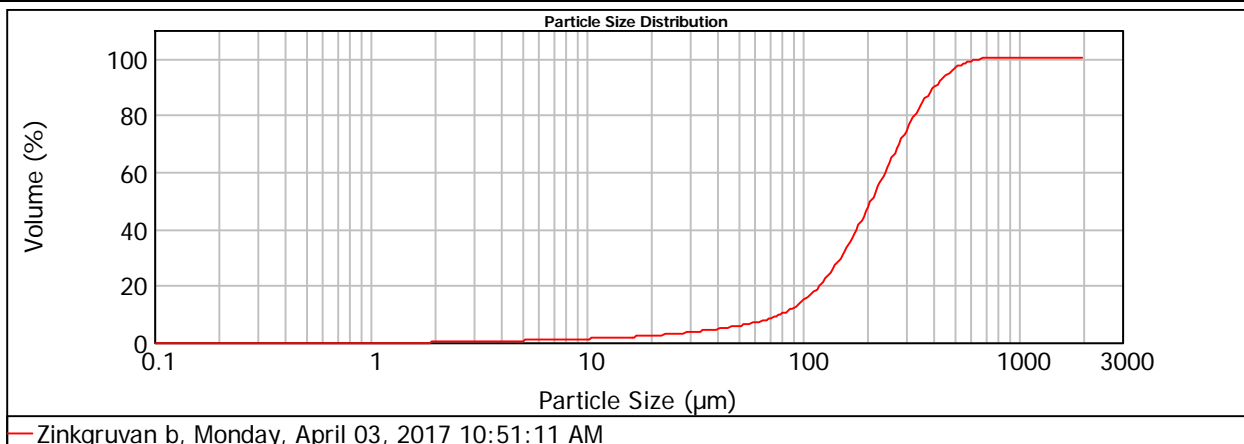
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
100.039 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
227.839 um

**d(0.1): 79.596 um**

**d(0.5): 207.939 um**

**d(0.9): 406.664 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.17	120.226	5.76	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.20	138.038	7.08	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.24	158.489	8.23	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.28	181.970	9.07	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.34	208.930	9.28	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.07	22.909	0.40	239.883	9.45	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.08	26.303	0.47	275.423	9.28	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.09	30.200	0.53	316.228	8.57	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.09	34.674	0.59	363.078	7.40	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.10	39.811	0.66	416.869	5.92	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.76	478.630	4.33	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.12	52.481	0.83	549.541	2.79	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	0.93	630.957	1.55	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.13	69.183	1.03	724.436	0.39	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.13	79.433	1.17	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.14	91.201	1.33	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.14	104.713	1.48	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.16	120.226	1.66	1258.925	0.00		

**Operator notes:**



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Zinkgruvan c

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 10:53:29 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 10:53:30 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Measurement

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**Accessory Name:**  
Scirocco 2000

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
1.74 %

**Dispersant Name:**

**Dispersant RI:**  
1.000

**Weighted Residual:**  
0.356 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0057 %Vol

**Span :**  
1.568

**Uniformity:**  
0.485

**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.0587 m<sup>2</sup>/g

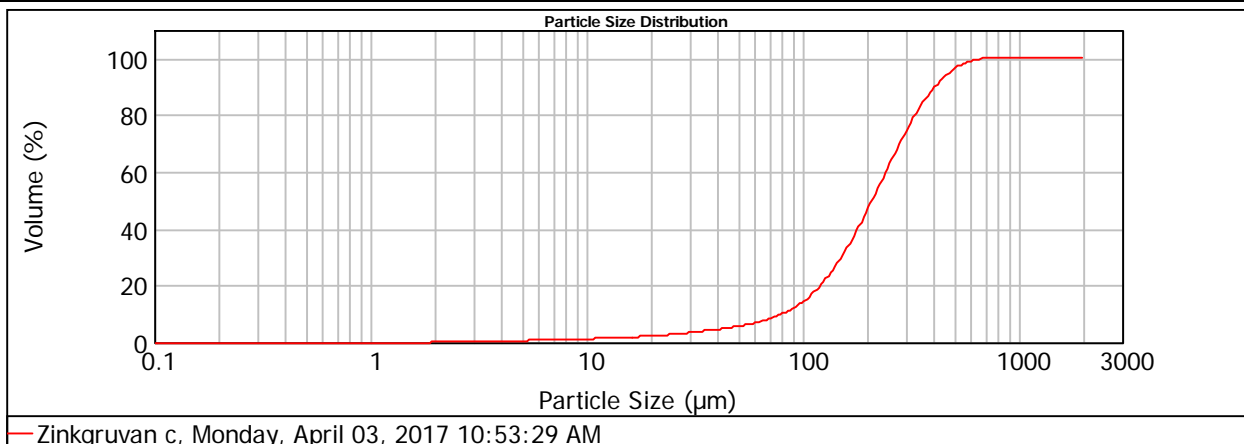
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
102.233 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
229.084 um

**d(0.1): 80.211 um**

**d(0.5): 209.235 um**

**d(0.9): 408.210 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.16	120.226	5.70	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.19	138.038	7.02	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.23	158.489	8.19	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.28	181.970	9.07	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.33	208.930	9.47	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.06	22.909	0.40	239.883	9.33	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.07	26.303	0.46	275.423	9.33	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.08	30.200	0.53	316.228	8.64	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.09	34.674	0.59	363.078	7.47	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.10	39.811	0.66	416.869	5.98	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.77	478.630	4.38	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.11	52.481	0.84	549.541	2.82	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	0.94	630.957	1.59	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.12	69.183	1.23	724.436	0.41	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.12	79.433	1.69	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.13	91.201	2.37	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.14	104.713	3.28	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.15	120.226	4.42	1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Zinkgruvan - Averaged Result

**Sample Source & type:**  
Paris

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured by:**  
malm

**Result Source:**  
Averaged

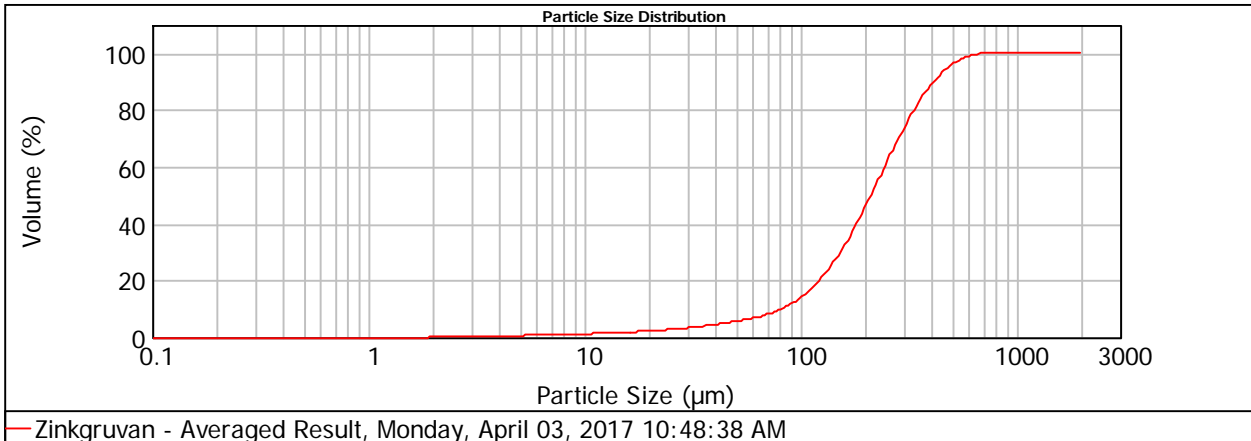
**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 10:48:38 AM

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 10:48:40 AM

<b>Particle Name:</b> Mine tailing Tør	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 1.67 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.404 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0054 %Vol	<b>Span :</b> 1.568	<b>Uniformity:</b> 0.485	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.0586 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 102.416 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 231.021 um	

**d(0.1): 81.133 um                      d(0.5): 210.845 um                      d(0.9): 411.747 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.16	120.226	5.64	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.19	138.038	6.96	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.22	158.489	8.14	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.27	181.970	9.03	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.33	208.930	9.46	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.06	22.909	0.39	239.883	9.35	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.08	26.303	0.45	275.423	8.68	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.09	30.200	0.52	316.228	7.53	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.10	34.674	0.58	363.078	6.07	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.11	39.811	0.65	416.869	4.46	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.75	478.630	2.91	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.12	52.481	0.92	549.541	1.64	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	1.20	630.957	0.49	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.13	69.183	1.65	724.436	0.02	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.13	79.433	2.32	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.14	91.201	3.23	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.15	104.713	4.36	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925	0.00		

**Operator notes:** Average of 3 measurements from 170403 minetailings

**Kornstørrelses fordeling for Codelco**



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Cedelco a

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 11:27:46 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 11:27:48 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Measurement

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**Accessory Name:**  
Scirocco 2000

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
2.61 %

**Dispersant Name:**

**Dispersant RI:**  
1.000

**Weighted Residual:**  
0.949 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0009 %Vol

**Span :**  
2.826

**Uniformity:**  
0.919

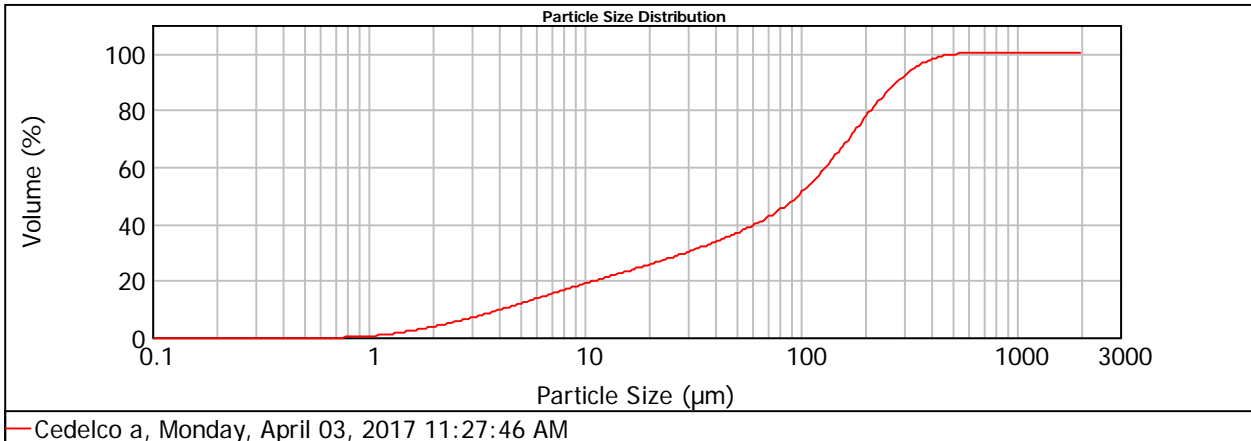
**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.46 m<sup>2</sup>/g

**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
13.033 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
120.120 um

**d(0.1): 4.155 um                      d(0.5): 97.328 um                      d(0.9): 279.196 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.51	11.482	1.35	120.226	5.27	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.64	13.183	1.34	138.038	5.71	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.75	15.136	1.35	158.489	5.89	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.87	17.378	1.38	181.970	5.77	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.97	19.953	1.43	208.930	5.36	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.06	22.909	1.49	239.883	4.69	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.15	26.303	1.56	275.423	3.85	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.22	30.200	1.64	316.228	2.93	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.29	34.674	1.72	363.078	2.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.34	39.811	1.82	416.869	1.20	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.38	45.709	1.96	478.630	0.38	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.41	52.481	2.16	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.42	60.256	2.45	630.957	0.07	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.42	69.183	2.86	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	1.41	79.433	3.40	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.22	8.710	1.39	91.201	4.02	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.39	10.000	1.37	104.713	4.68	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

**Operator notes:**



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Cedelco b

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 11:36:12 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 11:36:14 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Measurement

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**Accessory Name:**  
Scirocco 2000

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
3.32 %

**Dispersant Name:**

**Dispersant RI:**  
1.000

**Weighted Residual:**  
0.980 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0012 %Vol

**Span :**  
2.842

**Uniformity:**  
0.926

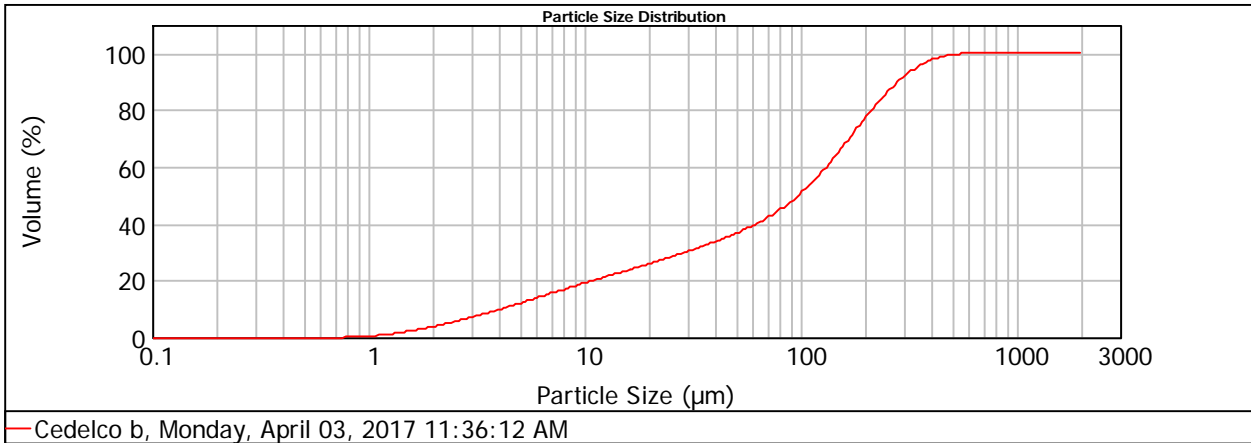
**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.465 m<sup>2</sup>/g

**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
12.899 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
120.778 um

**d(0.1): 4.090 um                      d(0.5): 97.459 um                      d(0.9): 281.095 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.51	11.482	1.35	120.226	5.24	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.65	13.183	1.35	138.038	5.67	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.77	15.136	1.35	158.489	5.86	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.88	17.378	1.38	181.970	5.75	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.98	19.953	1.42	208.930	5.35	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.08	22.909	1.48	239.883	4.68	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.17	26.303	1.53	275.423	3.85	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.24	30.200	1.60	316.228	2.93	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.31	34.674	1.67	363.078	2.02	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.36	39.811	1.77	416.869	1.20	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.40	45.709	1.91	478.630	0.55	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.43	52.481	2.12	549.541	0.09	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.44	60.256	2.43	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.43	69.183	2.86	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	1.42	79.433	3.40	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.23	8.710	1.39	91.201	4.02	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.39	10.000	1.37	104.713	4.66	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:





# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Cedelco c

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 11:39:55 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 11:39:57 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Measurement

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**Accessory Name:**  
Scirocco 2000

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
2.82 %

**Dispersant Name:**

**Dispersant RI:**  
1.000

**Weighted Residual:**  
0.978 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0010 %Vol

**Span :**  
2.816

**Uniformity:**  
0.914

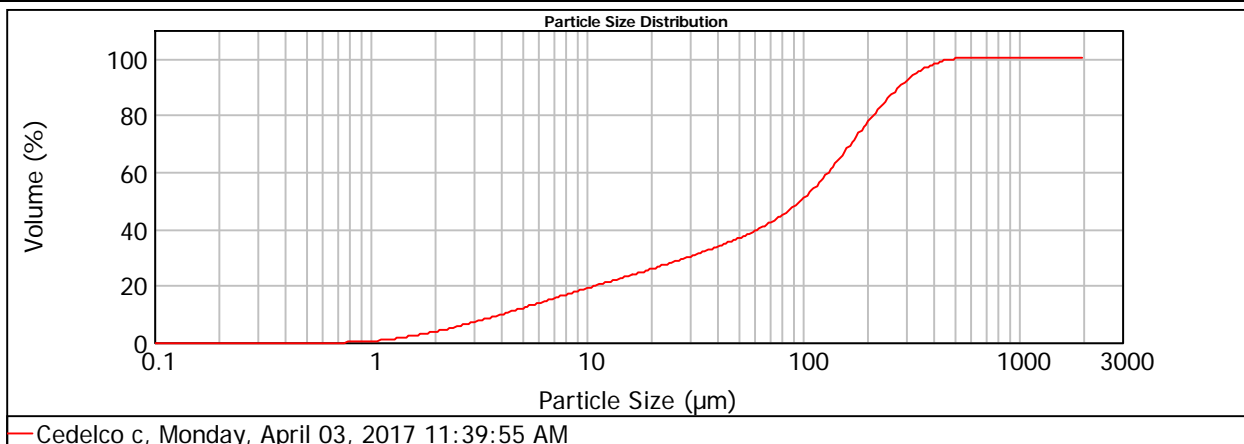
**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.463 m<sup>2</sup>/g

**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
12.950 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
120.342 um

**d(0.1): 4.109 um                      d(0.5): 97.988 um                      d(0.9): 280.016 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.51	11.482	1.35	120.226	5.28	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.64	13.183	1.35	138.038	5.71	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.76	15.136	1.36	158.489	5.90	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.88	17.378	1.39	181.970	5.79	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.98	19.953	1.43	208.930	5.38	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.08	22.909	1.48	239.883	4.73	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.16	26.303	1.54	275.423	3.91	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.23	30.200	1.60	316.228	2.99	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.30	34.674	1.67	363.078	2.05	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.35	39.811	1.76	416.869	1.23	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.39	45.709	1.90	478.630	0.32	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.41	52.481	2.11	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.42	60.256	2.42	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.42	69.183	2.85	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	1.40	79.433	3.39	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.23	8.710	1.38	91.201	4.03	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.39	10.000	1.36	104.713	4.69	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
cedelco - Averaged Result

**Sample Source & type:**  
Paris

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured by:**  
malm

**Result Source:**  
Averaged

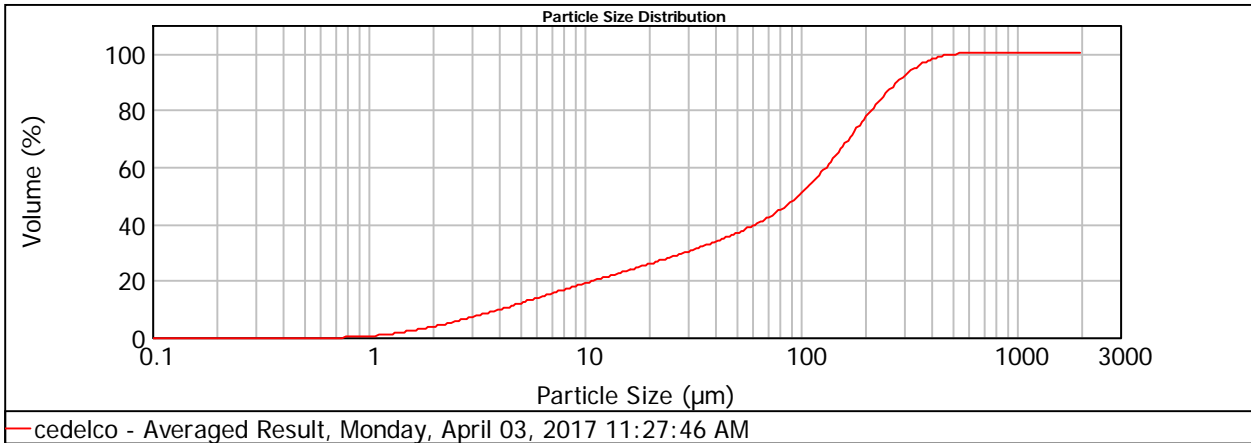
**Measured:**  
Monday, April 03, 2017 11:27:46 AM

**Analysed:**  
Monday, April 03, 2017 11:27:48 AM

<b>Particle Name:</b> Mine tailing Tør	<b>Accessory Name:</b> Scirocco 2000	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 2.92 %
<b>Dispersant Name:</b>	<b>Dispersant RI:</b> 1.000	<b>Weighted Residual:</b> 0.969 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0010 %Vol	<b>Span :</b> 2.828	<b>Uniformity:</b> 0.92	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.463 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 12.960 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 120.413 um	

**d(0.1): 4.118 um                      d(0.5): 97.591 um                      d(0.9): 280.097 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.51	11.482	1.35	120.226	5.26	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.64	13.183	1.34	138.038	5.70	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.76	15.136	1.36	158.489	5.88	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.87	17.378	1.38	181.970	5.77	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.98	19.953	1.43	208.930	5.36	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.07	22.909	1.48	239.883	4.70	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.16	26.303	1.54	275.423	3.87	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.23	30.200	1.61	316.228	2.95	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.30	34.674	1.69	363.078	2.02	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.35	39.811	1.79	416.869	1.22	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.39	45.709	1.92	478.630	0.39	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.41	52.481	2.13	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.43	60.256	2.44	630.957	0.08	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.42	69.183	2.86	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	1.41	79.433	3.40	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.23	8.710	1.39	91.201	4.02	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.39	10.000	1.37	104.713	4.68	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.39	11.482		120.226		1258.925	0.00		

**Operator notes:** Average of 3 measurements from 170403 minetailings

## Kornstørrelses fordeling for knust Zinkgruvan



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Zinkgruvan knust 125mym

**Sample Source & type:**  
Paris

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**SOP Name:**  
Mine tailing Våd

**Measured by:**  
malm

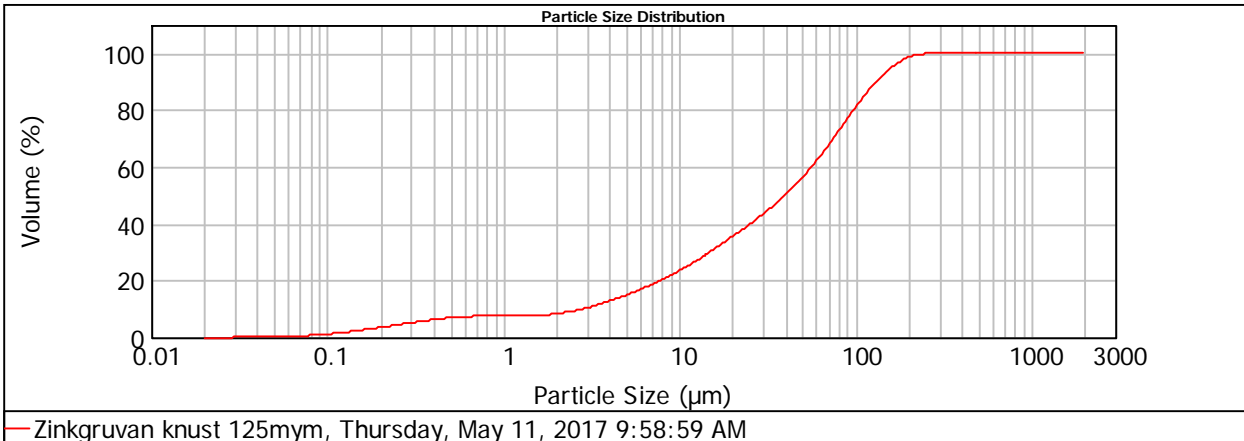
**Result Source:**  
Measurement

**Measured:**  
Thursday, May 11, 2017 9:58:59 AM

**Analysed:**  
Thursday, May 11, 2017 9:59:00 AM

<b>Particle Name:</b> Mine tailing V[d]	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 37.27 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.387 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0855 %Vol	<b>Span :</b> 3.190	<b>Uniformity:</b> 1.02	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 3.19 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 1.879 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 54.729 um	

**d(0.1): 2.810 um                      d(0.5): 39.943 um                      d(0.9): 130.240 um**



Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.39	1.096	0.01	11.482	2.23	120.226	4.10	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.44	1.259	0.08	13.183	2.34	138.038	3.29	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.49	1.445	0.18	15.136	2.44	158.489	2.42	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.53	1.660	0.33	17.378	2.53	181.970	1.56	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.56	1.905	0.49	19.953	2.62	208.930	0.83	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.57	2.188	0.67	22.909	2.73	239.883	0.26	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.57	2.512	0.84	26.303	2.87	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.56	2.884	1.00	30.200	3.08	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.01	0.316	0.52	3.311	1.14	34.674	3.35	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.02	0.363	0.47	3.802	1.26	39.811	3.70	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.03	0.417	0.41	4.365	1.38	45.709	4.10	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.06	0.479	0.33	5.012	1.49	52.481	4.53	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.08	0.550	0.24	5.754	1.61	60.256	4.92	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.15	0.631	0.16	6.607	1.73	69.183	5.19	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.21	0.724	0.03	7.586	1.86	79.433	5.29	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.27	0.832	0.00	8.710	1.99	91.201	5.14	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.33	0.955	0.00	10.000	2.11	104.713	4.74	1096.478	0.00		
0.105		1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Zinkgruvan knust 125mym

**Sample Source & type:**  
Paris

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**SOP Name:**  
Mine tailing Våd

**Measured by:**  
malm

**Result Source:**  
Measurement

**Measured:**  
Thursday, May 11, 2017 9:59:38 AM

**Analysed:**  
Thursday, May 11, 2017 9:59:39 AM

**Particle Name:**  
Mine tailing V[d]

**Particle RI:**  
1.500

**Dispersant Name:**  
Water

**Accessory Name:**  
Hydro 2000SM (A)

**Absorption:**  
0

**Dispersant RI:**  
1.330

**Analysis model:**  
General purpose

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Weighted Residual:**  
0.404 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
37.23 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0847 %Vol

**Specific Surface Area:**  
3.19 m<sup>2</sup>/g

**Span :**  
3.200

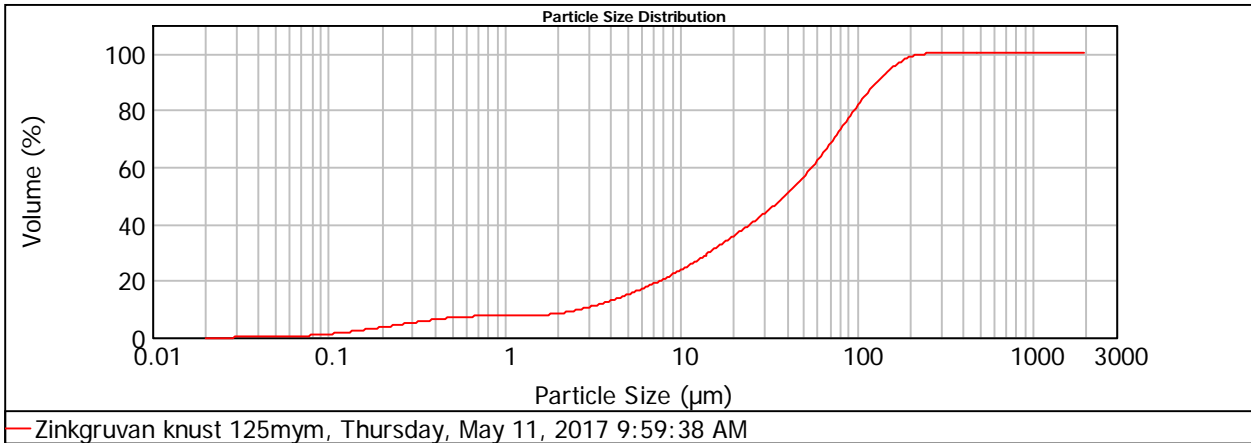
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
1.879 um

**Uniformity:**  
1.03

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
54.523 um

**Result units:**  
Volume

**d(0.1): 2.772 um                      d(0.5): 39.718 um                      d(0.9): 129.885 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.39	1.096	0.01	11.482	2.24	120.226	4.10	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.44	1.259	0.09	13.183	2.35	138.038	3.29	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.49	1.445	0.19	15.136	2.45	158.489	2.41	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.53	1.660	0.33	17.378	2.53	181.970	1.54	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.56	1.905	0.50	19.953	2.62	208.930	0.81	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.57	2.188	0.67	22.909	2.72	239.883	0.24	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.57	2.512	0.85	26.303	2.86	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.56	2.884	1.00	30.200	3.06	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.01	0.316	0.53	3.311	1.14	34.674	3.33	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.02	0.363	0.47	3.802	1.26	39.811	3.68	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.03	0.417	0.41	4.365	1.38	45.709	4.09	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.05	0.479	0.33	5.012	1.50	52.481	4.52	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.08	0.550	0.24	5.754	1.61	60.256	4.91	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.11	0.631	0.16	6.607	1.74	69.183	5.19	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.15	0.724	0.09	7.586	1.87	79.433	5.29	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.21	0.832	0.02	8.710	2.00	91.201	5.15	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.27	0.955	0.00	10.000	2.12	104.713	4.74	1096.478	0.00		
0.105	0.33	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

**Operator notes:**



# MASTERSIZER



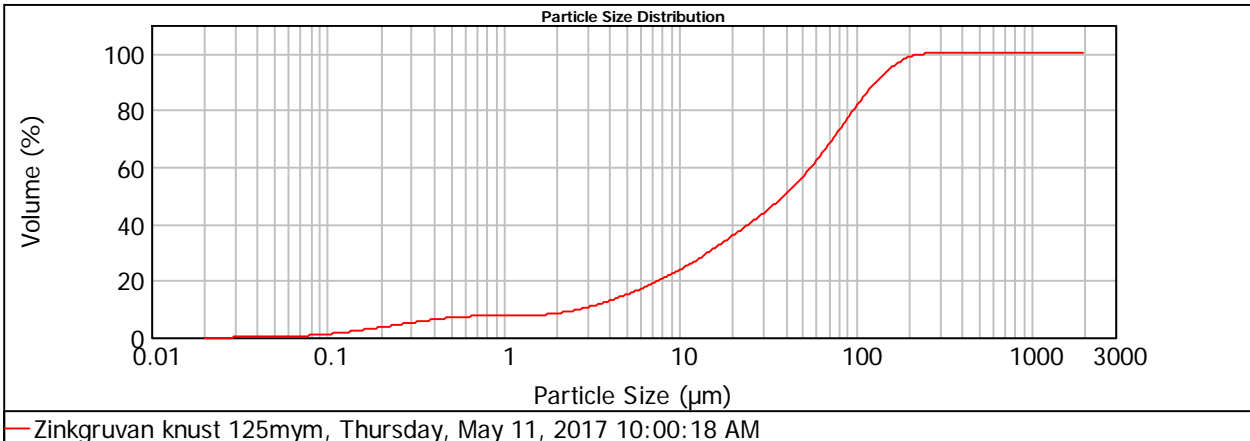
## Result Analysis Report

**Sample Name:** Zinkgruvan knust 125mym  
**SOP Name:** Mine tailing Våd  
**Measured:** Thursday, May 11, 2017 10:00:18 AM  
**Sample Source & type:** Paris  
**Measured by:** malm  
**Analysed:** Thursday, May 11, 2017 10:00:19 AM  
**Sample bulk lot ref:** 123-ABC  
**Result Source:** Measurement

**Particle Name:** Mine tailing V[d]  
**Accessory Name:** Hydro 2000SM (A)  
**Analysis model:** General purpose  
**Sensitivity:** Enhanced  
**Particle RI:** 1.500  
**Absorption:** 0  
**Size range:** 0.020 to 2000.000 um  
**Obscuration:** 37.14 %  
**Dispersant Name:** Water  
**Dispersant RI:** 1.330  
**Weighted Residual:** 0.397 %  
**Result Emulation:** Off

**Concentration:** 0.0842 %Vol  
**Span :** 3.218  
**Uniformity:** 1.03  
**Result units:** Volume  
**Specific Surface Area:** 3.2 m<sup>2</sup>/g  
**Surface Weighted Mean D[3,2]:** 1.873 um  
**Vol. Weighted Mean D[4,3]:** 54.572 um

**d(0.1): 2.752 um**                      **d(0.5): 39.613 um**                      **d(0.9): 130.218 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.39	1.096	0.01	11.482	2.24	120.226	4.10	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.44	1.259	0.09	13.183	2.35	138.038	3.29	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.49	1.445	0.19	15.136	2.45	158.489	2.42	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.53	1.660	0.33	17.378	2.53	181.970	1.56	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.56	1.905	0.50	19.953	2.62	208.930	0.83	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.58	2.188	0.68	22.909	2.72	239.883	0.25	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.58	2.512	0.85	26.303	2.87	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.56	2.884	1.00	30.200	3.06	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.01	0.316	0.53	3.311	1.14	34.674	3.33	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.02	0.363	0.48	3.802	1.27	39.811	3.67	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.03	0.417	0.41	4.365	1.38	45.709	4.08	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.06	0.479	0.33	5.012	1.50	52.481	4.50	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.08	0.550	0.25	5.754	1.62	60.256	4.89	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.11	0.631	0.16	6.607	1.74	69.183	5.16	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.15	0.724	0.09	7.586	1.87	79.433	5.26	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.21	0.832	0.02	8.710	2.00	91.201	5.13	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.27	0.955	0.00	10.000	2.13	104.713	4.73	1096.478	0.00		
0.105	0.33	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Zinkgruvan knust 125mym - Average

**SOP Name:**  
Mine tailing Våd

**Measured:**  
Thursday, May 11, 2017 9:58:59 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Thursday, May 11, 2017 9:59:00 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Averaged

**Particle Name:**  
Mine tailing V[d]

**Accessory Name:**  
Hydro 2000SM (A)

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
37.21 %

**Dispersant Name:**  
Water

**Dispersant RI:**  
1.330

**Weighted Residual:**  
0.396 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0848 %Vol

**Span :**  
3.203

**Uniformity:**  
1.03

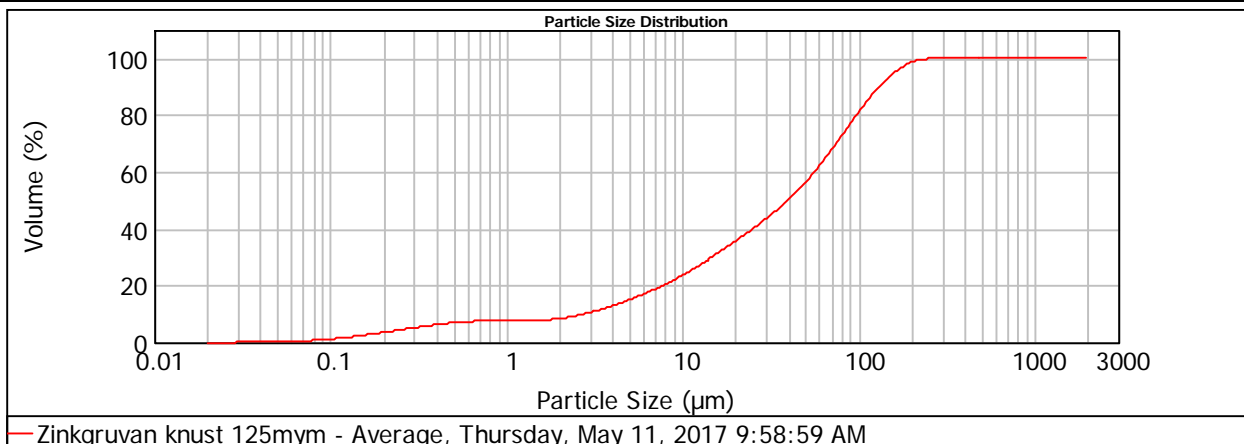
**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
3.2 m<sup>2</sup>/g

**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
1.877 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
54.608 um

**d(0.1): 2.778 um                      d(0.5): 39.758 um                      d(0.9): 130.114 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.39	1.096	0.01	11.482	2.24	120.226	4.10	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.44	1.259	0.08	13.183	2.35	138.038	3.29	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.49	1.445	0.19	15.136	2.44	158.489	2.42	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.53	1.660	0.33	17.378	2.53	181.970	1.56	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.56	1.905	0.50	19.953	2.62	208.930	0.82	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.57	2.188	0.67	22.909	2.72	239.883	0.25	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.58	2.512	0.85	26.303	2.87	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.56	2.884	1.00	30.200	3.07	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.01	0.316	0.53	3.311	1.14	34.674	3.34	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.02	0.363	0.48	3.802	1.26	39.811	3.68	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.03	0.417	0.41	4.365	1.38	45.709	4.09	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.06	0.479	0.33	5.012	1.49	52.481	4.52	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.08	0.550	0.24	5.754	1.61	60.256	4.90	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.11	0.631	0.16	6.607	1.74	69.183	5.18	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.15	0.724	0.07	7.586	1.87	79.433	5.28	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.21	0.832	0.01	8.710	1.99	91.201	5.14	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.27	0.955	0.00	10.000	2.12	104.713	4.74	1096.478	0.00		
0.105	0.33	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:

**Kornstørrelses fordeling for knust Codelco**





# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

Sample Name:  
Codelco knust

SOP Name:  
Mine tailing Våd

Measured:  
Thursday, May 11, 2017 9:53:36 AM

Sample Source & type:  
Paris

Measured by:  
malm

Analysed:  
Thursday, May 11, 2017 9:53:38 AM

Sample bulk lot ref:  
123-ABC

Result Source:  
Measurement

Particle Name:  
Mine tailing V[d]

Accessory Name:  
Hydro 2000SM (A)

Analysis model:  
General purpose

Sensitivity:  
Enhanced

Particle RI:  
1.500

Absorption:  
0

Size range:  
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:  
12.21 %

Dispersant Name:  
Water

Dispersant RI:  
1.330

Weighted Residual:  
0.289 %

Result Emulation:  
Off

Concentration:  
0.0230 %Vol

Span :  
2.741

Uniformity:  
0.87

Result units:  
Volume

Specific Surface Area:  
0.401 m<sup>2</sup>/g

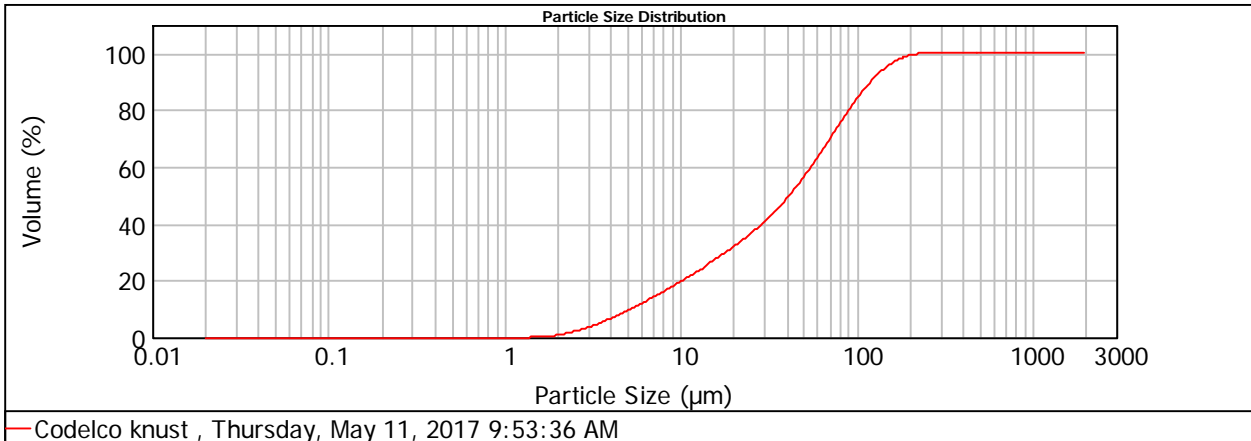
Surface Weighted Mean D[3,2]:  
14.971 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:  
53.125 um

d(0.1): 5.218 um

d(0.5): 41.726 um

d(0.9): 119.608 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	2.30	120.226	3.68	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.03	13.183	2.37	138.038	2.76	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.18	15.136	2.47	158.489	1.87	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.39	17.378	2.60	181.970	1.08	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.62	19.953	2.77	208.930	0.45	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.86	22.909	3.00	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.10	26.303	3.30	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.32	30.200	3.66	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.51	34.674	4.08	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.66	39.811	4.54	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.80	45.709	5.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.90	52.481	5.40	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.99	60.256	5.67	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	2.06	69.183	5.75	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	2.12	79.433	5.59	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	2.18	91.201	5.17	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	2.23	104.713	4.51	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



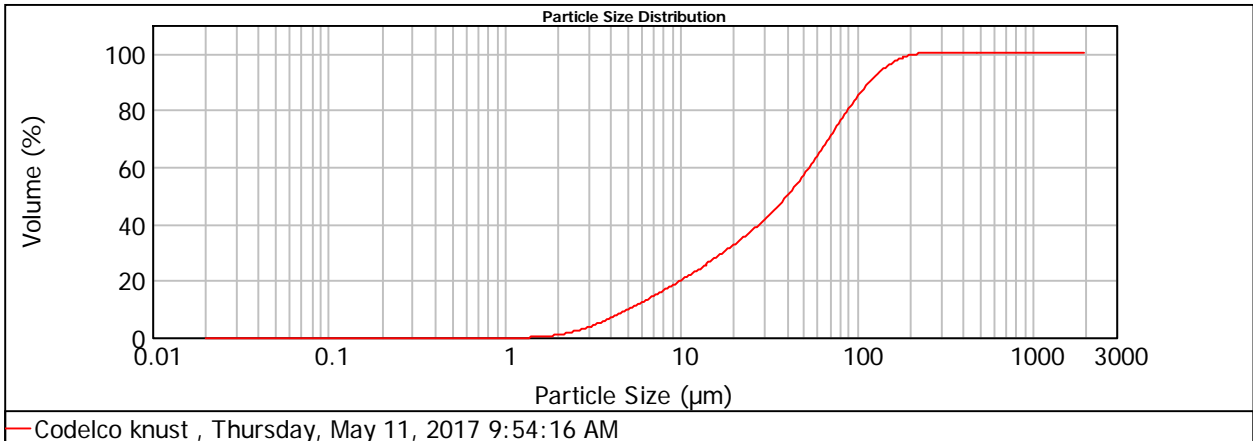
## Result Analysis Report

<b>Sample Name:</b> Codelco knust	<b>SOP Name:</b> Mine tailing Våd	<b>Measured:</b> Thursday, May 11, 2017 9:54:16 AM
<b>Sample Source &amp; type:</b> Paris	<b>Measured by:</b> malm	<b>Analysed:</b> Thursday, May 11, 2017 9:54:17 AM
<b>Sample bulk lot ref:</b> 123-ABC	<b>Result Source:</b> Measurement	

<b>Particle Name:</b> Mine tailing V[d]	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 12.18 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.278 %	<b>Result Emulation:</b> Off

<b>Concentration:</b> 0.0225 %Vol	<b>Span :</b> 2.780	<b>Uniformity:</b> 0.884	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.407 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 14.737 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 52.436 um	

**d(0.1): 5.135 um    d(0.5): 40.812 um    d(0.9): 118.583 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	2.33	120.226	3.59	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.03	13.183	2.41	138.038	2.69	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.18	15.136	2.50	158.489	1.81	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.40	17.378	2.64	181.970	1.06	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.63	19.953	2.81	208.930	3.04	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.88	22.909	3.04	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.13	26.303	3.33	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.35	30.200	3.69	316.228	4.10	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.54	34.674	4.55	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.70	39.811	4.99	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.83	45.709	5.37	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.94	52.481	5.62	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	2.03	60.256	5.62	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	2.10	69.183	5.68	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	2.16	79.433	5.50	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	2.21	91.201	5.07	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	2.27	104.713	4.41	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	2.27	120.226	4.41	1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Codelco knust

**SOP Name:**  
Mine tailing Våd

**Measured:**  
Thursday, May 11, 2017 9:54:55 AM

**Sample Source & type:**  
Paris

**Measured by:**  
malm

**Analysed:**  
Thursday, May 11, 2017 9:54:56 AM

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**Result Source:**  
Measurement

**Particle Name:**  
Mine tailing V[d]

**Accessory Name:**  
Hydro 2000SM (A)

**Analysis model:**  
General purpose

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Particle RI:**  
1.500

**Absorption:**  
0

**Size range:**  
0.020 to 2000.000 um

**Obscuration:**  
12.13 %

**Dispersant Name:**  
Water

**Dispersant RI:**  
1.330

**Weighted Residual:**  
0.291 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0221 %Vol

**Span :**  
2.803

**Uniformity:**  
0.893

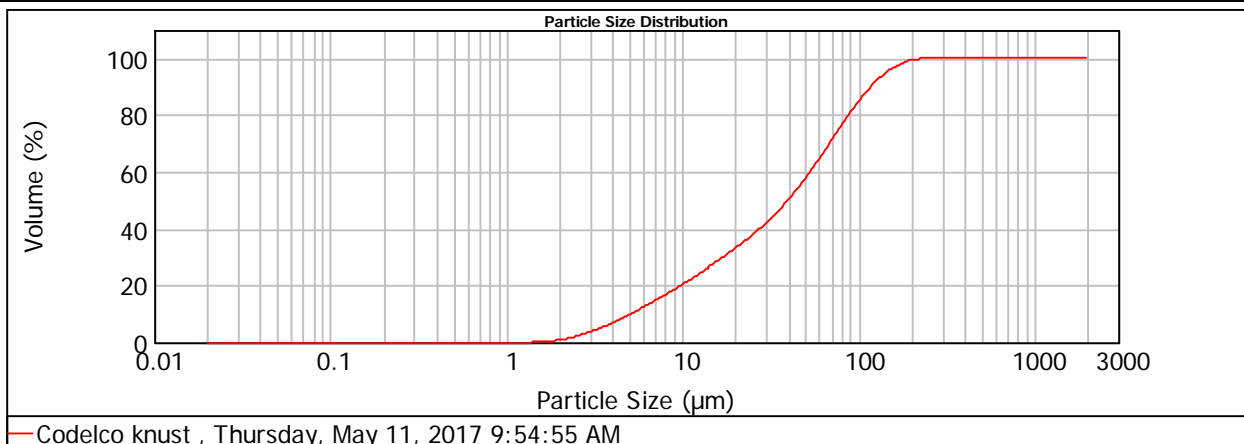
**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.414 m<sup>2</sup>/g

**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
14.489 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
51.398 um

**d(0.1): 5.060 um                      d(0.5): 39.766 um                      d(0.9): 116.545 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	2.38	120.226	3.47	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.03	13.183	2.46	138.038	2.57	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.19	15.136	2.55	158.489	1.70	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.41	17.378	2.68	181.970	0.96	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.64	19.953	2.85	208.930	0.39	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.90	22.909	3.07	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.15	26.303	3.36	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.38	30.200	3.71	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.57	34.674	4.11	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.74	39.811	4.56	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.87	45.709	4.99	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.98	52.481	5.36	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	2.07	60.256	5.60	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	2.15	69.183	5.64	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	2.21	79.433	5.44	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	2.26	91.201	4.99	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	2.32	104.713	4.31	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Codelco knust - Average

**Sample Source & type:**  
Paris

**Sample bulk lot ref:**  
123-ABC

**SOP Name:**  
Mine tailing Våd

**Measured by:**  
malm

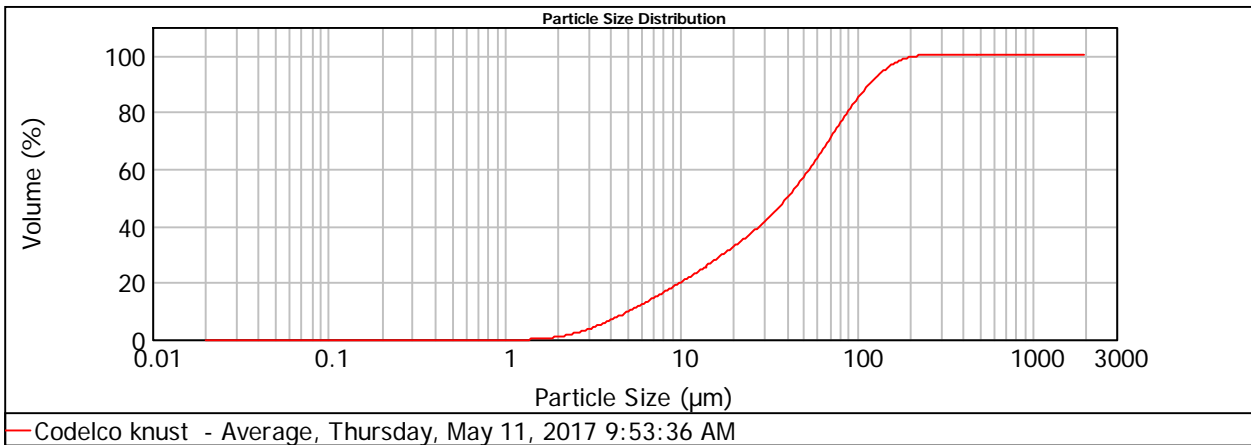
**Result Source:**  
Averaged

**Measured:**  
Thursday, May 11, 2017 9:53:36 AM

**Analysed:**  
Thursday, May 11, 2017 9:53:38 AM

<b>Particle Name:</b> Mine tailing V[d]	<b>Accessory Name:</b> Hydro 2000SM (A)	<b>Analysis model:</b> General purpose	<b>Sensitivity:</b> Enhanced
<b>Particle RI:</b> 1.500	<b>Absorption:</b> 0	<b>Size range:</b> 0.020 to 2000.000 um	<b>Obscuration:</b> 12.17 %
<b>Dispersant Name:</b> Water	<b>Dispersant RI:</b> 1.330	<b>Weighted Residual:</b> 0.286 %	<b>Result Emulation:</b> Off
<b>Concentration:</b> 0.0225 %Vol	<b>Span :</b> 2.775	<b>Uniformity:</b> 0.883	<b>Result units:</b> Volume
<b>Specific Surface Area:</b> 0.407 m <sup>2</sup> /g	<b>Surface Weighted Mean D[3,2]:</b> 14.730 um	<b>Vol. Weighted Mean D[4,3]:</b> 52.320 um	

**d(0.1): 5.136 um                      d(0.5): 40.765 um                      d(0.9): 118.250 um**



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	2.34	120.226	3.58	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.03	13.183	2.41	138.038	2.67	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.18	15.136	2.51	158.489	1.79	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.40	17.378	2.64	181.970	1.03	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.63	19.953	2.81	208.930	0.43	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.88	22.909	3.04	239.883	0.00	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.13	26.303	3.33	275.423	0.00	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.35	30.200	3.69	316.228	0.00	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.54	34.674	4.10	363.078	0.00	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.70	39.811	4.55	416.869	0.00	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.83	45.709	5.00	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.94	52.481	5.38	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	2.03	60.256	5.63	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	2.10	69.183	5.69	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	2.16	79.433	5.51	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	2.22	91.201	5.08	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	2.27	104.713	4.41	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	2.27	120.226	4.41	1258.925	0.00		

Operator notes:

### 11.1.8 Bilag A8 - Vicat-forsøg

Zinkgruvan 10 %		Zinkgruvan 5 %		Ren beton		Codelco 5 %		Codelco 10 %	
[min]	[mm]	[min]	[mm]	[min]	[mm]	[min]	[mm]	[min]	[mm]
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	10	0,1	10	0,1	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0,1	20	0	20	0
30	0	30	0	30	0,1	30	0	30	0
40	0	40	0	40	0,1	40	0	40	0
50	0	50	0	50	0,3	50	0	50	0
60	0	60	0,1	60	0,2	60	0,1	60	0
70	0	70	0,1	70	0,2	70	0	70	0,3
80	0	80	0,1	80	0,2	80	0,1	80	0,9
90	0	90	0	90	0,1	90	0	90	1
100	0	100	0	100	0,2	100	0	100	0,5
110	0	110	0,1	110	0,2	110	0	110	0,4
120	0	120	0,1	120	0,2	120	0,1	120	0,3
130	0	130	0,1	130	0,1	130	0	130	0,2
140	0	140	0,2	140	0,2	140	0	140	12,1
150	0	150	0,2	150	12,5	150	0,2	150	1,1
160	0	160	0	160	12,7	160	0	160	11,2
170	0	170	9,3	170	29,2	170	2	170	20,6
180	0	180	20,6	180	28,2	180	24,5	180	28,9
190	10,7	190	24,6	190	35,9	190	27,1	190	30,6
200	10	200	27,1	200	36,3	200	33,1	200	24,5
210	29,6	210	29,8	210	35,5	210	39	210	37,7
220	31	220	32,5	220	35,8	220	39,3	220	37,8
230	29,2	230	32,5	230	37,3	230	31,2	230	37,3
240	33,4	240	33,37	240	39,1	240	41,1	240	39,5
250	34,3	250	33,8	250	40	250	41	250	40,4
260	37,2	260	40	260	41,4	260	41,3	260	35,8
270	37,4	270	39,1	270	41,4	270	43	270	28,5
280	38	280	39,7	280	41,3	280	42,4	280	39,5
290	40	290	39,9	290	41,1	290	42,8	290	41,3
300	40,3	300	30	300	41	300	42,4	300	41,5
310	41	310	40,7	310	40,7	310	42,5	310	40,5
320	42,5	320	41	320	40,7	320	42,2	320	41,7
330	41,8	330	41,8	330	40,3	330	42,3	330	41,1
340	40,8	340	40,9	340	39,8	340	42,6	340	41,1
350	41,3	350	38,6	350	39,8	350	42,4	350	41,2
360	40,9	360	41,1	360	39,8	360	43,1	360	41,2
370	41,8	370	40,2	370	40,1	370	41,8	370	41,5
380	42,2	380	40,8	380	41,2	380	42,2	380	41,1
390	40,2	390	40,3	390	40,5	390	42,3	390	41,2
400	42,3	400	40,2	400	41,4	400	43	400	41,3
410	42,5	410	41,3	410	41	410	43,1	410	41,9
420	41,5	420	41,9	420	41,4	420	42,6	420	41,5
430	41,8	430	40,6	430	40,7	430	43,3	430	42
440	42,7	440	42,6	440	40,7	440	42,5	440	41,8
450	42	450	41,3	450	40,4	450	42,4	450	41,2
460	41,5	460	40,6	460	39,8	460	43,1	460	41,4

470	41,3
480	41,4
490	42,6
500	42,9
510	40,7
520	40
530	41,1
540	41,3
550	41,3
560	41,7
570	40,9
580	41,6
590	41,1
600	41,6
610	41,8
620	40
630	41,5
640	41,3
650	42
660	41,3
670	41,4
680	42
690	40,8
700	42
710	41,7
720	42,6
730	42,4
740	41,5
750	41,3
760	42,8
770	41,7
780	42,5
790	41,3
800	41,3
810	41
820	44
830	41,6
840	42,7

470	40,8
480	40,8
490	40,6
500	41,4
510	41,9
520	41,3
530	40,9
540	42,2
550	40,6
560	41,1
570	40,6
580	40,9
590	41,2
600	40,6
610	40,7
620	42,4
630	41,4
640	41,9
650	41,8
660	41,3
670	40,5
680	41,1
690	41,1
700	41,7
710	41,3
720	40,6
730	40,9
740	40,8
750	41,2
760	44,2
770	40,6
780	40,5
790	40,8
800	40,6
810	41,8
820	41,1

470	40,8
480	40,9
490	40,3
500	40,4
510	40,9
520	41,1
530	41,6
540	41,7
550	42,4
560	41,2
570	40,8
580	43,3
590	43,7
600	40,6
610	41,1
620	41,5
630	41,5
640	40,7
650	41
660	40,6
670	40,6
680	41,5
690	43,1
700	42
710	41,2
720	41,5
730	41,5
740	41,5
750	41
760	41,2
770	41,3
780	41,1
790	41,5
800	40,6
810	41
820	41,6
830	41,5
840	42,9

470	43,6
480	43,1
490	42,4
500	42,8
510	43,4
520	42,6
530	42,8
540	43
550	42,9
560	42
570	42,7
580	43,6
590	42,2
600	42,4
610	43,1
620	43,8
630	43,4
640	42,9
650	42,2
660	42,4
670	42,7
680	43,7
690	42,5
700	43,3
710	43,3
720	43,9
730	42,7
740	42,2
750	44,8
760	42,4
770	43,3
780	43,7
790	42,3
800	45
810	44,1
820	42,6
830	43,5
840	44,9
850	43,2
860	43,8

470	41,5
480	41,6
490	41,4
500	41,7
510	41,3
520	42,3
530	42
540	41,6
550	41,8
560	41,4
570	41,7
580	41,8
590	41,6
600	41,3
610	41,5
620	41,9
630	41,7
640	41,9
650	42,6
660	41,7
670	42,2
680	41,7
690	41,9
700	42,6
710	42,5
720	41,6
730	41,6
740	41,4
750	41,8
760	41,6
770	42,1
780	41,8
790	41,4
800	41,5
810	41,5
820	41,5
830	41,9
840	41,8

### 11.1.9 Bilag A9 - Trykstyrker

Trykstyrke for mørtel indeholdende tailing



## Zinkgruvan 5% - 7 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	563,1	4	4	4	4,00	4	4	4	4	4	4	16	16,00	16,00	1600,00	48	57	30,00	35,63	30,00	35,73	39,30	32,16	36,88	0,3	0,3
B	561,82	4	4	4	4,00	4	4	4	4	4	4	16	16,00	16,00	1600,00	59	60	36,88	37,50	36,88	37,50	39,30	32,16	36,88	0,3	0,3
C	560,08	4,1	4,1	4,1	4,10	4	4	4	4	4	4	16	16,00	16,40	1600,00	59	60	36,88	37,50	36,88	37,50	39,30	32,16	36,88	0,3	0,3

## Zinkgruvan 5% - 14 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	577,05	4	4	4	4,00	4,1	4,1	4,1	4,1	4	4	16,1	16,10	16,00	1600,00	66	69	41,25	43,13	41,25	43,13	43,65	35,72	39,69	0,3	0,4
B	556,8	4	4	4	4,00	3,9	3,9	3,9	3,9	16,1	16	16	16,05	15,73	1573,33	59	62	37,50	39,41	37,50	39,41	43,65	35,72	39,69	0,4	0,3
C	567,77	567,21	4	4	4,1	4,03	4,1	4,1	4,1	4,10	16	16	16,00	16,54	1640,00	61	65	37,20	39,63	37,20	39,63	43,65	35,72	39,69	0,3	0,3

## Zinkgruvan 5% - 30 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	558,7	4	4	4	4,00	3,95	3,95	3	3,63	16	16,05	16,03	14,53	1453,33	66	68	45,41	46,789	45,41	46,789	46,84	37,51	40,65	0,3	0,3	
B	553,03	4	4	4	4,00	4	3,95	4	3,98	16,05	16	16,03	15,93	1593,33	65	62	40,79	38,91	40,79	38,91	46,84	37,51	40,65	0,3	0,3	
C	546,33	552,69	3,95	3,95	3,95	4	4	4	4	16	16,05	16,03	15,80	1600,00	63	62	39,38	38,75	39,38	38,75	46,84	37,51	40,65	0,3	0,4	

## Zinkgruvan 10% - 7 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	561,2	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4	4	4	16	16,05	16,03	16,00	1600,00	42	48	26,25	30,00	26,25	30,00	30,71	25,13	28,50	0,3	0,3
B	553,35	4	4,05	4	4,02	4	4	4	4	4	16	16	16,00	16,07	1600,00	46	40	28,75	25	28,75	25	30,71	25,13	28,50	0,3	0,4
C	547,54	554,03	4	4	4,00	4	4	4	4	16	16	16	16,00	16,00	1600,00	47	45	29,38	28,13	29,38	28,13	30,71	25,13	28,50	0,3	0,3

## Zinkgruvan 10% - 14 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	564,09	4,1	4,1	4,1	4,10	4	4	4	4	16,05	16,1	16,08	16,40	1600,00	50	53	31,25	33,13	31,25	33,13	34,50	28,23	32,02	0,3	0,3	
B	568,28	4	4	4	4,00	3,95	3,95	3,95	3,95	16,1	16,1	16,10	15,80	1580,00	53	53	33,54	33,54	33,54	33,54	34,50	28,23	32,02	0,3	0,3	
C	572,96	568,44	4	4	4,00	4,1	4,1	4,1	4,1	16,1	16,1	16,10	16,40	1640,00	47	46	28,66	28,049	28,66	28,049	34,50	28,23	32,02	0,3	0,4	

## Zinkgruvan 10% - 30 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	548,65	4,05	4	4	4,02	4	4,05	4,05	4,03	16	16	16,00	16,20	1613,33	39	57	24,17	35,33	24,17	35,33	37,32	30,54	34,36	0,5	0,3	
B	532,28	4	4	4	4,00	4,1	3,9	3,95	3,8	16,05	16,1	16,08	15,20	1520,00	52	51	34,21	33,55	34,21	33,55	37,32	30,54	34,36	0,3	0,3	
C	531,75	537,56	4	4	4,05	4,02	3,8	3,8	3,9	16,05	16,05	16,03	15,40	1533,33	58	59	37,826	38,478	37,826	38,478	37,32	30,54	34,36	0,3	0,4	

## Codelco 5% - 7 døgn

[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Snit Tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endeligt	Def.	Def.	
A	573	4	4	4	4,00	4	4	4	4	16	16	16,00	16,00	1600,00	64	58	40,00	36,25	40,00	36,25	41,59	34,03	37,81	0,3	0,3	
B	576,91	4	4	4	4,00	4,15	4,1	4,13	4,1	16,1	16,1	16,10	16,53	1653,33	59	64	35,69	38,71	35,69	38,71	41,59	34,03	37,81	0,4	0,3	
C	581,91	577,27	4	4	4,00	4,1	4,05	4,05	4,07	16	16	16,00	16,27	1626,67	60	64	36,89	39,34	36,89	39,34	41,59	34,03	37,81	0,3	0,3	



**Knust Codeico 10 % - 28 d0gn**

[g] V	Knust Codeico 10 % - 28 d0gn																							
	[g] Vs	[cm] H	[cm] H	[cm] Hs	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] Bs	[cm] L	[cm] L	[cm] Ls	[cm] Ls	[cm <sup>2</sup> ] A	[cm <sup>2</sup> ] As	[kN] Tryk 1	[kN] Tryk 2	[MPa] Tryk 1	[MPa] Tryk 2	[MPa] Snit tryk + 10	[MPa] Snit tryk - 10	[MPa] Endeligt : Def.	[mm] Def.	
A	547,84	4	4	4	4,00	3,9	3,95	3,95	4,05	4,05	4,05	16	16,03	15,73	1573,33	64	68	40,68	43,22	47,64	38,98	43,31	0,4	0,3
B	552,86	4	4	4	4,00	3,95	3,95	4	4,05	4,05	4,05	16	16,03	15,87	1586,67	74	72	46,64	45,38			43,31	0,3	0,3
C	568,34	4	4	4	4,05	4,05	4,05	4,05	4,05	4,05	4,05	16	16,03	16,2	1620,00	65	71	40,12	43,83			43,31	0,4	0,3
<b>Knust Zinkgruvan 10 % - 7 d0gn</b>																								
[g] V	Knust Zinkgruvan 10 % - 7 d0gn																							
	[g] Vs	[cm] H	[cm] H	[cm] Hs	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] Bs	[cm] L	[cm] L	[cm] Ls	[cm] Ls	[cm <sup>2</sup> ] Areal	[cm <sup>2</sup> ] Areal snit	[kN] Tryk 1	[kN] Tryk 2	[MPa] Tryk 1	[MPa] Tryk 2	[MPa] Snit tryk + 10	[MPa] Snit tryk - 10	[MPa] Endeligt : Def.	[mm] Def.	
A	571,17	4	4	4	4,05	4,05	4,05	4,1	4,07	4,1	4,1	16	16	16,267	1626,667	56	55	34,43	33,81	38,17	31,23	34,70	0,3	0,3
B	580,54	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	16	16	16,4	1640	61	56	37,20	34,15			34,70	0,3	0,2
C	579,41	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,12	4,12	4,12	16	16	16,467	1646,667	58	55	35,22	33,40			34,70	0,3	0,3
<b>Knust Zinkgruvan 10 % - 14 d0gn</b>																								
[g] V	Knust Zinkgruvan 10 % - 14 d0gn																							
	[g] Vs	[cm] H	[cm] H	[cm] Hs	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] Bs	[cm] L	[cm] L	[cm] Ls	[cm] Ls	[cm <sup>2</sup> ] Areal	[cm <sup>2</sup> ] Areal snit	[kN] Tryk 1	[kN] Tryk 2	[MPa] Tryk 1	[MPa] Tryk 2	[MPa] Snit tryk + 10	[MPa] Snit tryk - 10	[MPa] Endeligt : Def.	[mm] Def.	
A	576,79	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,12	4,12	4,12	16	16	16,467	1646,667	61	60	37,04	36,44	40,06	32,77	36,41	0,3	0,3
B	562,99	4	4	4	4	4	4	4	4,05	4,02	4,02	16	16	16,067	1606,667	59	57	36,72	35,48			36,41	0,2	0,3
C	558,28	4	4	4	3,95	4	4	4	3,98	4	4	16	16	15,933	1593,333	58	58	36,40	36,40			36,41	0,3	0,3
<b>Knust Zinkgruvan 10 % - 28 d0gn</b>																								
[g] V	Knust Zinkgruvan 10 % - 28 d0gn																							
	[g] Vs	[cm] H	[cm] H	[cm] Hs	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] B	[cm] Bs	[cm] L	[cm] L	[cm] Ls	[cm] Ls	[cm <sup>2</sup> ] A	[cm <sup>2</sup> ] As	[kN] Tryk 1	[kN] Tryk 2	[MPa] Tryk 1	[MPa] Tryk 2	[MPa] Snit tryk + 10	[MPa] Snit tryk - 10	[MPa] Endeligt : Def.	[mm] Def.	
A	590,73	4	4	4	4,00	4,15	4,15	4,2	4,17	4,17	4,17	16	16	16,67	1666,67	65	68	39,00	40,80	45,20	36,98	41,09	0,4	0,3
B	580,39	4	4	4	4,00	4,10	4,15	4,15	4,13	4,13	4,13	16	16,03	16,53	1653,33	70	69	42,34	41,73			41,09	0,3	0,4
C	572,14	4	4	4	4,05	4,1	4,1	4,1	4,08	4,08	4,08	16	16,05	16,333	1633,33	68	67	41,63	41,02	45,20	36,98	41,09	0,2	0,3

**Trykstyrke af reference**

Reference	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke		
							Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Trykstyrke 2 gennemsnit [MPa]
Ref #1 - 7d	4,00	16,00	4,00	66,00	58,00	560,63	41,21	36,21	39,19
Ref #2 - 7d	4,00	16,01	4,01	62,00	61,00	556,01	38,69	38,06	
Ref #3 - 7d	4,00	16,00	4,04	63,00	68,00	570,01	38,95	42,04	
Ref #4 - 14d	4,00	16,02	4,03	76,00	74,00	571,70	47,20	45,96	44,99
Ref #5 - 14d	4,00	16,02	3,97	67,00	73,00	560,35	42,21	45,99	
Ref #6 - 14d	4,00	16,01	4,01	69,00	73,00	562,25	43,05	45,54	
Ref #7 - 28d	4,00	16,00	4,02	77	67	566,85	47,91	41,69	47,73
Ref #8 - 28d	4,00	15,99	3,95	73	78	556,20	46,19	49,35	
Ref #9 - 28d	4,00	15,99	4,02	71	82	570,92	44,17	51,01	

Gennemsn	39,19
-10%	35,28
+10%	43,11
Gennemsn	44,99
-10%	40,49
+10%	49,49
Gennemsn	46,72
-10%	42,05
+10%	51,39

**Trykstyrke af reference som ikke ikke er inkluderet i rapporten**

Reference - 7 døgn																										
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]						
V	Vs	H	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1							
A	554,97	4	4	3,9	3,97	4	4	4	4	4	16,1	16,1	16,1	15,87	16000,00	63	64	39,375	40							
B	569	4,1	4,05	4,1	4,08	4	4	4	4	4	16,1	16,1	16,1	16,33	16000,00	61	65	38,125	40,63							
C	553,15	559,04	3,95	3,95	3,95	4	4	4	4	4	16,05	16,1	16,08	15,80	16000,00	64	63	40	39,38	39,58	43,54	35,63	39,58	0,4	0,4	0,4
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]						
V	V	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 2							
A	541,79	4	4	4	4,00	4	4	4	4	16	16	16,00	16,00	16,00	16000,00	41	50	25,63	31,25							
B	545,8	4	4	4	4,00	4,05	4,1	4,05	4,07	16	16	16,00	16,27	1626,67	57	55	35,04	33,81								
C	549,2	545,597	4,05	4,05	4,05	4	4,05	4	4,02	16	16	16,00	16,27	1606,67	60	55	37,34	34,23	32,88	36,17	29,60	39,58	0,4	0,4	0,3	0,2
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]						
V	V	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	L	Ls	Areal	Areal	Areal	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 2							
A	553,77	4	4	4	4,00	3,95	3,95	3,95	4	16	16	16,00	16,00	16000,00	63	58	39,38	36,25								
B	540,93	4	4	4	4,00	4	4	4	4	16	16,1	16,05	16,00	16000,00	60	58	37,50	36,25								
C	522,22	538,97	4	4	4	4,00	3,8	3,85	3,8	3,82	16,1	16,1	15,27	1526,67	57	50	37,34	32,75	36,58	40,23	32,92	39,58	0,3	0,2	0,3	0,2

**11.1.10 Bilag A10 - Porøsitet og densitet**



	Reference			Zinkgruvan 5%			Zinkgruvan 10%			Codelco 5%			Codelco 10%		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Vægt-før (m105)	529,24	517,04	519,26	508,45	522	518,46	512,58	510,33	517,89	539,44	522,95	531,71	518,3	515,56	534,91
Vægt-våd (msw)	321,34	313,68	315,24	309,37	317,71	315,35	312,03	310,46	315,55	327,36	317,95	322,64	315,15	313,48	325,52
Vægt-tørret (mssd)	577,81	564,36	567,51	557,42	571,23	568	562,89	559,27	567,23	586,72	569,12	579,13	566,44	564,61	583,93

## 11.2 Bilag B - Forsøgsvejledninger

### 11.2.1 Bilag B1 - Vandindhold

## Vandindhold

### A Princip

I forbindelse med den elektrodialytiske jordrensning har jordens vandindhold stor betydning, da den elektriske strøm ledes gennem jorden via jordvæsken. Er vandindholdet i jorden mindre end ca. 15 %, er det nødvendigt for forsøgets gennemførelse at tilføre jorden ekstra væske.

### B Specielt apparatur

Til analysen benyttes et varmeskab.

### C Analysens udførelse

#### ***Ved meget præcis måling:***

3 bægerglas stilles i varmeskab ved 105°C natten over. Bægerglassene stilles til afkøling i eksikator og vejes på analysevægt.

#### **Dette gøres vha. en tang, fingrene afsætter fugt.**

Der afvejes 5 g jord i hvert bægerglas og prøverne tørres ved 105°C i varmeskab. Bægerglassene med den tørrede jord vejes på analyse vægt efter afkøling i eksikator.

#### ***Ved mindre præcis måling (mest anvendt):***

3 bægerglas afvejes på teknisk vægt. Der overføres en vis mængde til hvert bægerglas som igen vejes på teknisk vægt. Bægerglassene stilles i varmeskab natten over ved 105°C. Bægerglassene med den tørrede jord vejes efter afkøling på teknisk vægt.

**D**    **Beregning af resultat**

Vandindholdet angives i procent af vægten af den fugtige jord.

$$\% \text{ vandindhold} = \frac{m(\text{våd prøve}) - m(\text{tør prøve})}{m(\text{våd prøve})} \cdot 100$$

**E**    **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

### 11.2.2 Bilag B2 - Pyknometer

## Pyknometer-partiklernes densitet

### A Princip

Denne metode bruges til at bestemme Partiklernes densitet.  
DS/EN ISO 17892-3:2015

### B Specielt apparatur

Pyknometer glas  
Termometer  
Luftfrit vand

### C Analysens udførelse

Afvej tom tør pyknometer på analysevægt og noter vægten.  
Afvej 4,000 g tør prøve på analyse vægt i vejebåde.  
Tilsæt prøven i pyknometer og luk den med prop og vej og noter vægten.  
Tilsæt destilleret vand og fyld op til den halvfylt. Sæt pyknometer og den mængde destilleret vand i vakuum sug og lad den stå natten over.

Tjek på vandets temperatur og noter  
Fyld pyknometeret næsten helt op med luftfrit vand og luk med prop.  
Fjern de overskyende vand udvendigt og fjern den dråbe vand der er oven på proppen.  
Afvej pyknometer og noter

### E Beregning af resultat

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w;k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w;t}}} \quad \rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w;3}}}$$

Se excel arket for mere information.

### F Affaldshåndtering

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

### 11.2.3 Bilag B3 - Pyknometer brug af vakuumpumpe

## Pyknometer – brug af vakuum pumpe

### Start

1. Tænd for vakuumpumpen og lad den varme op i 20 min. Tjek at der er prop i slangen og at den suger
2. Sæt slangen på eksikatoren
3. Pump ned til 31-35 bar i 30 min (PAS PÅ – trykket må ikke komme under 31 bar, da vandet ikke må koge)
4. Luk hanen på eksikatoren og tag slangen af
5. Sæt prop i slangen og pump ned i 20 min for at fjerne vand fra olien
6. Sluk for pumpen

### Sidst på dagen:

1. Sæt slangen på eksikator
2. Pump ned til 31-35 bar i 15 min (PAS PÅ – trykket må ikke komme under 31 bar, da vandet ikke må koge)
3. Luk hanen på eksikatoren og tag slangen af
4. Sæt prop i slangen og pump ned i 20 min for at fjerne vand fra olien
5. Sluk for pumpen

### Næste morgen:

1. Sæt slangen på eksikator
2. Pump ned til 31-35 bar i 15 min (PAS PÅ – trykket må ikke komme under 31 bar, da vandet ikke må koge)
3. Luk hanen på eksikatoren og tag slangen af
4. Sæt prop i slangen og pump ned i 20 min for at fjerne vand fra olien
5. Sluk for pumpen



#### 11.2.4 Bilag B4 - pH-værdi

## pH i 1 M KCl opslemning. L/S: 2,5

### A Princip

Jordens pH måles potentiometrisk i en opslemning af jord og kaliumchlorid i forholdet 1:2,5

### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes pH-meter

### C Kemikalie sikkerhed

**Kaliumchlorid** - Der foreligger ikke information, der gør det muligt at klassificere stoffet. Bruges med omtanke.

**Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.**

### D Reagenser

#### 1) **Kaliumchlorid 1 M KCl:**

74,56 g KCl afvejes på teknisk vægt og opløses i destilleret vand i en 1000,00 mL målekolbe.

#### 2) **Bufferopløsning, pH 4,00:**

Radiometer pH 4.

#### 3) **Bufferopløsning, pH 7,00:**

Radiometer pH 7

### E Analysens udførelse

5,00 g tør, knust jord afvejes på teknisk vægt i en 20 mL plast-vials.

Der tilsættes 12,5 mL 1 M KCl med finpipette. Prøverne stilles på rystebord i 1 time.

Prøverne tages af og sedimenteres i 10 min. Der måles pH på prøverne.

**F**    **Beregning af resultat**

Resultatet aflæses direkte på apparatet og angives som pH (KCl) med en decimal. Aflæsningen anses for stabil når der står "STAB" på displayet.

**G**    **Affaldshåndtering**

Kaliumchlorid og Metrohm pH 4 og pH 7 hældes i vasken.

Plast-vials med jordopslemningen skal opsamles i beholder til jordaffald.

### 11.2.5 Bilag B5 - Oplukning

## Oplukning af jord- og askeprøve efter DS 259

### A Princip

Denne oplukningsmetode er en Dansk Standard (DS 259) til bestemmelse af syreopløselige metaller i jorden. Metalkoncentrationen fundet ved denne metode svarer til en "total-koncentration" af det pågældende metal i jorden. Ved en fuldstændig destruktion af jorden, vil man dog have mulighed for at finde en højere værdi af de forskellige metaller, så DS 259 giver derfor snarere et fastlagt niveau for en metalkoncentration, end en fuldstændig bestemmelse af metalkoncentrationen i jorden.

### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes ICP  
Autoklave

### C Kemikalie sikkerhed

**Salpetersyre** - Brandnærende; Ætsende; Brandfarlig ved kontakt med brandbare stoffer. Alvorlig ætsningfare. Undgå indånding af dampe. Brug syrehandsker, plastikforklæder, sikkerhedsbriller og stinkskab ved afmåling.

**Salpetersyre halv konc. (1:1)** - Lokalirriterende; Irriterer øjnene og huden. Brug engangshandsker, sikkerhedsbriller og stinkskab ved afmåling.

**Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.**

### D Reagenser

#### 1) **Salpetersyre halvkonc, (1:1) HNO<sub>3</sub>:**

500 mL koncentreret HNO<sub>3</sub> overføres med måleglas til en 1000,00 mL målekolbe som er 1/2 fyldt med destilleret vand. Der blandes godt og tilsættes vand til mærket. Efter blanding overføres opløsningen til en plastikflaske og mærkes.

**E**     **Analysens udførelse**

1,00 g tør, knust jord afvejes på teknisk vægt i et pyrex-glas med skruelåg (autoklaveglas) og der tilsættes 20,00 mL halvkoncentreret HNO<sub>3</sub> med fuld pipette (skal foregå i stinkskab).

Autoklavflaskerne lukkes helt, da HNO<sub>3</sub> ellers ville fordampe. Flaskerne stilles i autoklaven.

Der hældes 1,5L destilleret vand i autoklaven og låget lukket helt og den orange låseknop lukkes. Den sorte ventil midt på låget åbnes helt og drejes derefter en ½ omgang tilbage. Autoklaven tændes og der går ca. 10-15 min indtil den er varmet op. Efter 3 min med damp ud at ventilen lukkes denne og trykket begynder at sige. Når trykket er kommet op i det blå felt på manometeret tages der tid på autoklaveringen (30min). Derefter slukkes autoklaven.

Flaskerne afkøles derefter til stuetemperatur.

Prøverne filtreres med sug gennem et 0,45 µm filter i stinkskab. **Brug engangshandsker.** Autoklaveflasken skylles med 3 gange destilleret vand. Filtreret skal suge tør mellem hvert skyl.

Filtratet hældes i en 100,00 mL målekolbe og der tilsættes destilleret vand til mærket og blandes. Væsken hældes på en 20 mL plast-vials og gemmes til ICP.

**F**     **Bestemmelse af metaller**

Ekstraktens indhold af metaller måles på ICP under benyttelse af de standarder som hører til de enkelte metaller.

**G**     **Beregning af resultat**

På baggrund af standardkurverne beregnes jordens indhold af metaller angivet i mg/kg.

$$mg / kg = \frac{A \cdot 0,100L \cdot C}{B \cdot 10^{-3} kg / g jord}$$

hvor

A = ekstraktens metal koncentration, mg/L = ppm

B = g jord afvejet

C = fortyndingsfaktor

## H **Affaldshåndtering**

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinkskalet.

Jorden og asken skal opsamles i beholder til jordaffald.

### 11.2.6 Bilag B6 - Carbonat indhold



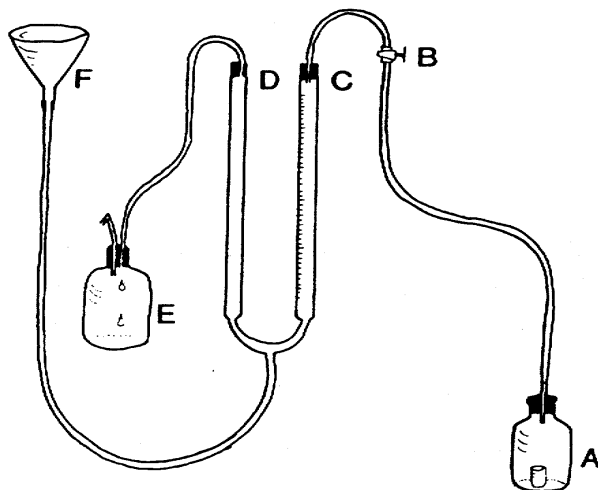
## Carbonat, volumetrisk

### A Princip

Jordens indhold af carbonat bestemmes volumetrisk efter reaktion med saltsyre.

### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes et Scheibler apparat. Opbygning og virkemåde fremgår af figur 1, samt punkt F (analysens udførelse).



Figur 1: Principskitse af Scheibler apparat.

- A - reaktionsflaske
- B - hane
- C - glasrør med inddelinger
- D - glasrør med inddelinger
- E - overløbskolbe
- F - glastragt

## C Kemikalie sikkerhed

**Calciumcarbonat** - Der foreligger ikke information, der gør det muligt at klassificere stoffet. Bruges med omtanke, overvej brug af engangs-handsker og vejekabinet ved afvejning.

**Saltsyre** - Ætsende; Ætsningsfare. Irriterer åndedrætsorganerne. Brug syrehandsker og stinkskab ved afmåling.

**Saltsyre 10 %** - Lokalirriterende; Irritere øjnene, åndedrætsorganerne og huden. Brug engangshandsker.

**Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.**

## D Reagenser

1) **Calciumcarbonat, CaCO<sub>3</sub>**

2) **Saltsyre, 10 % HCl :**

Et rumfang koncentreret 37 % HCl overføres forsigtigt til måleglas indeholdende 2 rumfang destilleret vand. Efter blandingen overføres opløsningen til en plastikflaske og mærkes.

## E Standardkurve

Der fremstilles en standardkurve, ved at afveje henholdsvis 0,05 - 0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,25 og 0,30 g CaCO<sub>3</sub> på analysevægt i små præparatglas. Målingerne af de afvejede CaCO<sub>3</sub> mængder foretages på samme måde som ved målingerne af jordprøven - se 'analysens udførelse' nedenfor.

## F Analysens udførelse

2,5000 g tør, knust jord afvejes på analysevægt i et lille 5mL bægerglas.

Hanen (B) skal være åben og vandet i glasrørene (C og D) bringes i niveau ved 0 (nulstilles).

Med måleglas overføres 20 mL saltsyre til bunden af reaktionsflaske (A). Bægerglasset sættes forsigtigt ned i reaktionsflasken, således at glassets indhold ikke kommer i kontakt med syren.

Glasset lukkes godt og der aftappes ca. 50 mL vand fra glasrøret (D) til glastragten (F), ved at flytte tragten nedad.

Ved rystning af reaktionsflasken, væltes bægerglasset og bringer indholdet af calciumcarbonat i kontakt med syren, hvorved der udvikles CO<sub>2</sub>. Rystningen af reaktionsflasken fortsættes indtil CO<sub>2</sub>-udviklingen er ophørt (ca. 1 minutter).

Ved hjælp af vandet i glastragten (F) stilles vandsøjlerne i glasrørene i niveau, og glasrøret (C) aflæses.

### G **Beregning af resultat**

På baggrund af standardkurven beregnes jordens indhold af calciumcarbonat og angives i % med 1 decimal.

$$CaCO_3 \% = \frac{A \cdot 100}{B}$$

hvor

A = g CaCO<sub>3</sub> i jorden ifølge standardkurven

B = g jord afvejet

Resultatet angives med 1 decimal.

### H **Affaldshåndtering**

Reagenser og jord opsamles i affaldsdunk tungmetal mærket X 4.41

**11.2.7 Bilag B7 - Glødetab**

## Glødetab i jord

### A Princip

Jordens indhold af organisk materiale svarer stort set til det opnåede glødetab ved 550°C. I en tungmetalforurenede jord vil tungmetallerne i høj grad reagere med det organiske materiale i jorden og sidder bundet i denne fraktion.

### B Specielt apparatur

Til analysen benyttes et muffelovn.

### C Analysens udførelse

3 digler sættes i muffelovn, som er opvarmet til 550°C, hvor de står i 30 minutter (1time hvis ovnen er kold). Diglerne afkøles i ekssikkator og vejes på analyse vægt.

**NB: Diglerne transporteres med tang, da fingrene afsætter fugt og derved ændrer vægten.**

Derefter afvejes 2,5 g tør, knust jord på analysevægt til hver digel. Diglerne med den tørre jord stilles i en opvarmet muffelovn og glødes ved 550°C i 1 time.

Diglerne med den glødede jord afkøles i ekssikkator og vejes på analyse vægt.

### D Beregning af resultat

Glødetabet, som nogenlunde svarer til prøvens indhold af organisk stof, angives i procent af tørstofindholdet.

$$\% \text{ glødetab} = \frac{m(\text{muffelovn}) - m(\text{efter muffelovn})}{m(\text{før muffelovn})} \cdot 100$$

**E**    **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

### 11.2.8 Bilag B8 - Laserdiffratometer



## Laserdiffraktion, våde prøver

### Prøve forberelse:

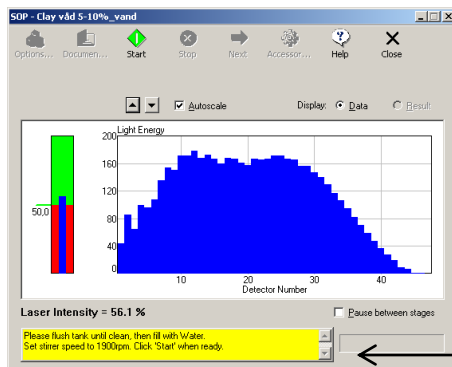
- Halv teske skal hældes på 20 ml vials og tilføje 0.005M Natriumpyrofosfat.
- Tilføj destilleret vand til den prøve kammeret.

### Software:

- Klik på Mastersizer på skrivebordet og klik ok når den spørger om username.
- Klik på: *file* i hovedmenu → *new*: enter; fil navngivning skal være: YYDDMM
- Klik på *configure* → existing SOP: Der burde allerede være en SOP med det materiale du skal bruge.
- Klik på det materiale du arbejder med. (Hvis det materiale du skal bruge ikke er der skal der laves en ny SOP, se nederst eller kald på en laborant).

### Måling:

- Klik på *measure* → start SOP → Klik på den SOP du skal bruge, og du vil få dette billede:



Det er vigtigt at læse hvad der står på den gule fane; der står nemlig hvad man skal gøre.





**New SOP:** tryk *next*

Sampler handling units: Hydro 2000SM(A)

Materiale: Find det materiale du har. Dispensant er altid vand

Labels: Generel prøvenavn

Report savings: ✓ ved always print results

✓Export template

Target file: 080310

Measurement: Measurement time: 12 sec. Measurement snaps: 12000

Background time: 12 sec. Background snaps: 12000

Sampler settings: 1600 rpm

Measurement cycles: 3 + ✓ ved create average results

Quantities: ingen ændringer her

finish

**Edit results:**

-Højre klik på de resultater du vil rette; *toppe du vil fjerne eller ændre navnet.*

-Edit results

-Pick up settings-OK

-Specify new results-calculation

-advanced

-New ranged og vælg så hvilket størrelse det skal starte fra eller slutte.

### 11.2.9 Bilag B9 - XRD-analyse

# Quick guide – XRD data treatment

## Data treatment in X'Pert HighScore Plus

A Basic phase identification procedure will involve at least a background determination, a peak search and matching the peaks with the ICDD database. This is the simple guide for data treatment. For more in-depth, use the manual or play around with the HighScore Plus programme. It is time consuming.

### Starting the program:

1. Log on using your own DTU password. Check if there are any system updates and install them before proceeding.

If you are using the remote desktop (byg-f0127) make sure no one is running samples on the XRD or doing data treatment (can be seen in the Outlook calendar BYG-z-Equipment-XPERT)

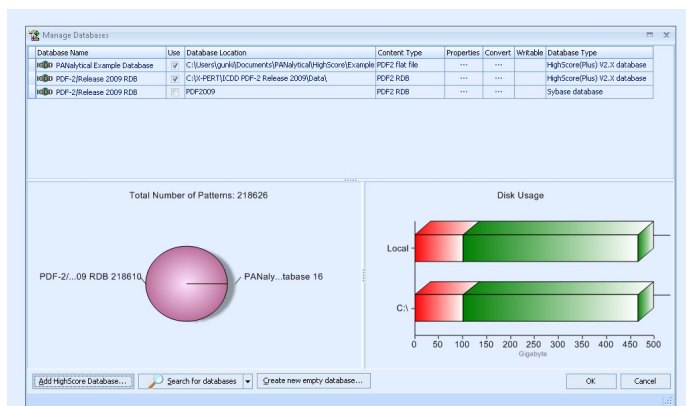
2. Start the programme *HighScore*



3. Firstly, check if the database is loaded properly. The following ICDD logo must show when opening the programme.

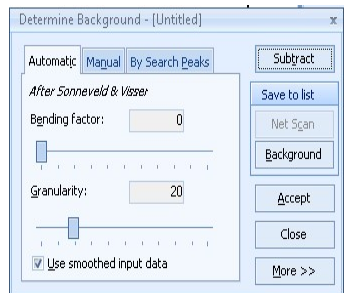


If not, find the database under *Customize* → *Manage databases*. Check that there is > 20,000 patterns available (if there is only about 20, only the example database is on).



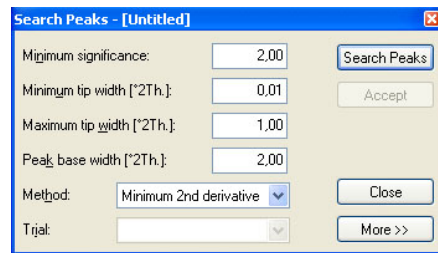
The folder for the converted database is: C:\Program Files\ICDD PDF-2 Release and the box should be checked off.

- If there are some problems with getting into the database, try to restart the computer
- Choose *file* → *open* → *find the file you want to work on*. The file format for diffractograms are called .XRDML.
- Choose *treatment* → *determine background*. The following pop-up window will now appear:



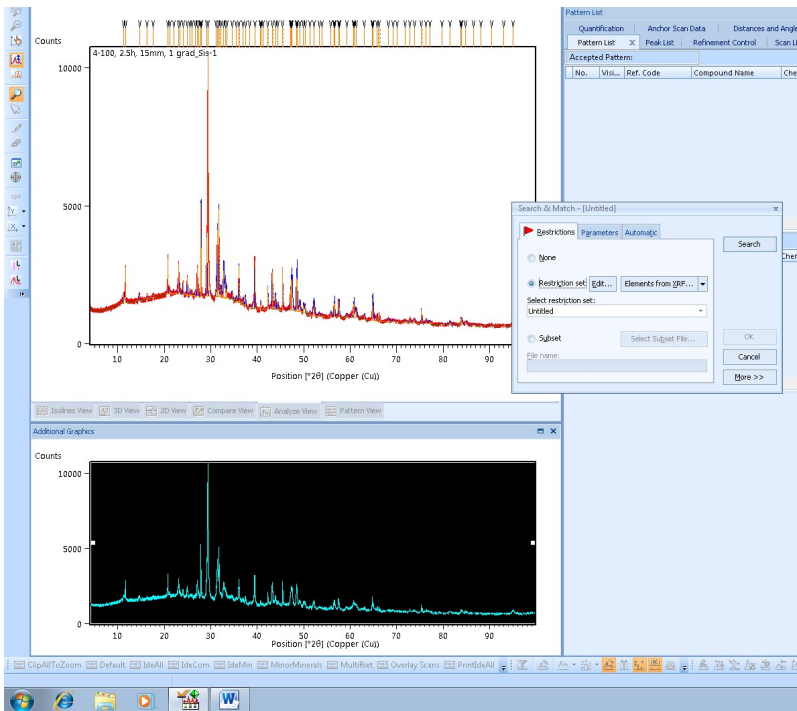
There are 3 different methods for determining the background: Automatic, Manual and by search peak. (read more about the different methods in the full manual). **Choose Automatic.**

- When a satisfying background has been fitted to the profile, press “accept”. The background will now appear as a black line in the profile window.
- Choose *treatment* → *search peaks*. The following window will appear:

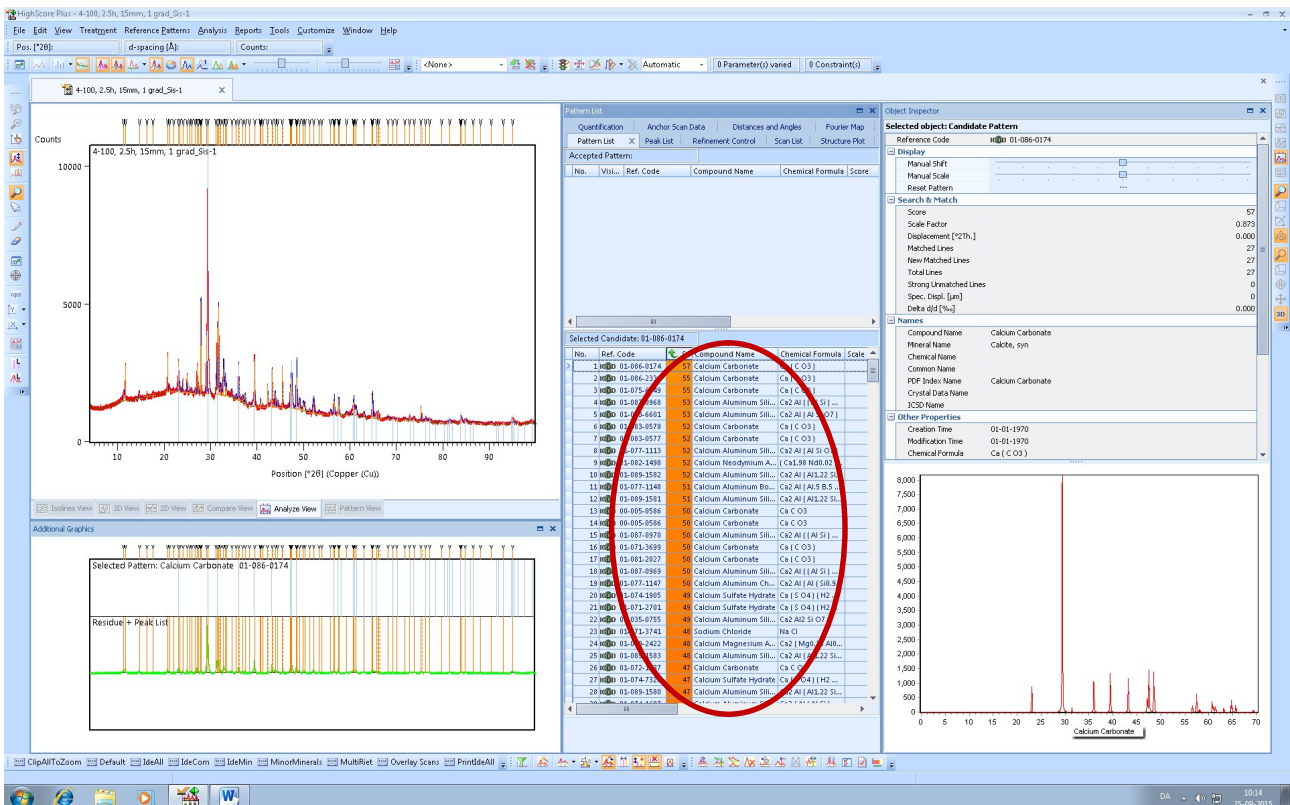


The “Search peak”-function uses 5 parameters to define what parts of the profile that are peaks and what parts that are not. The 5 parameters are: minimum significance, minimum and maximum tip widths, Peak base width and method. (read more about the 5 parameters in the full manual). Press **search peaks and then accept.**

- Choose *analyse* → *Search & Match* → *Execute Search & Match....* The Following window will appear:

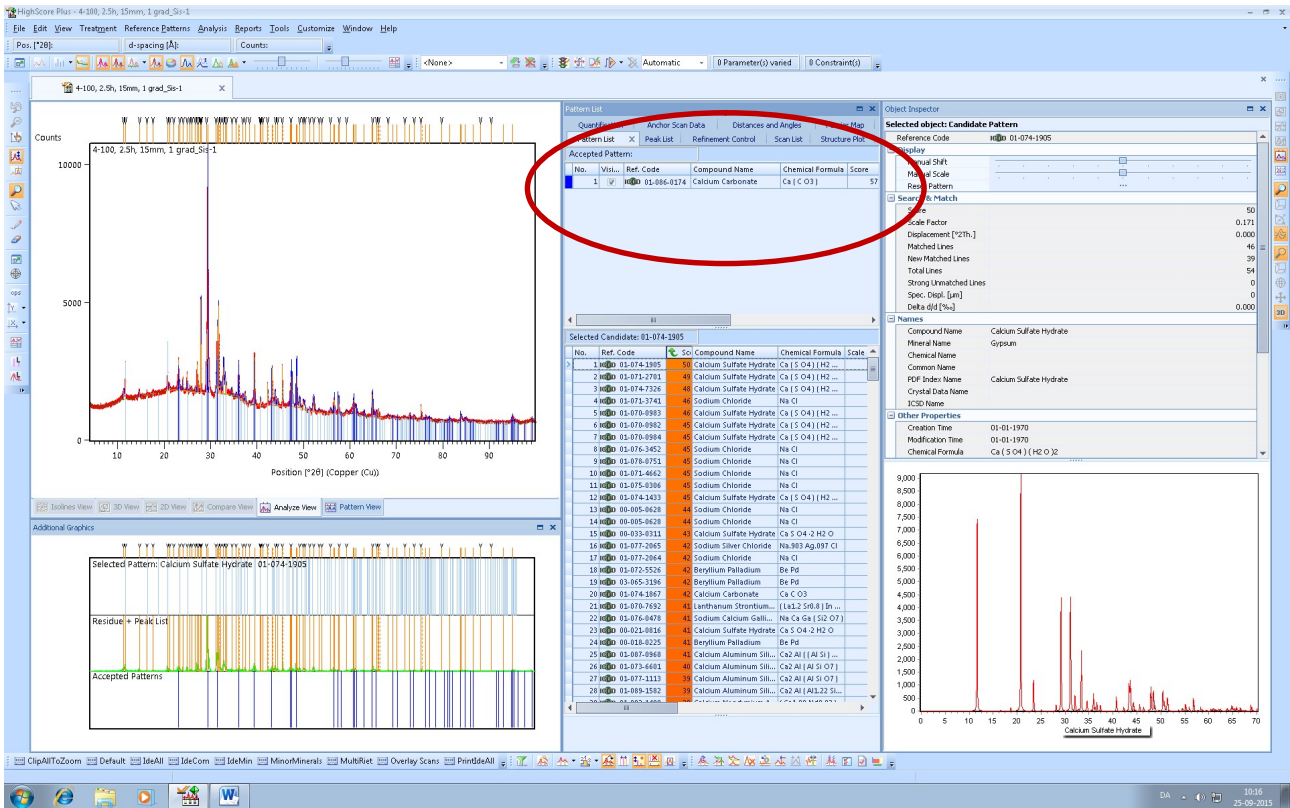


10. Press **search** (then the program compares your diffractogram to the > 20,000 patterns in the database, so it take a few minutes).

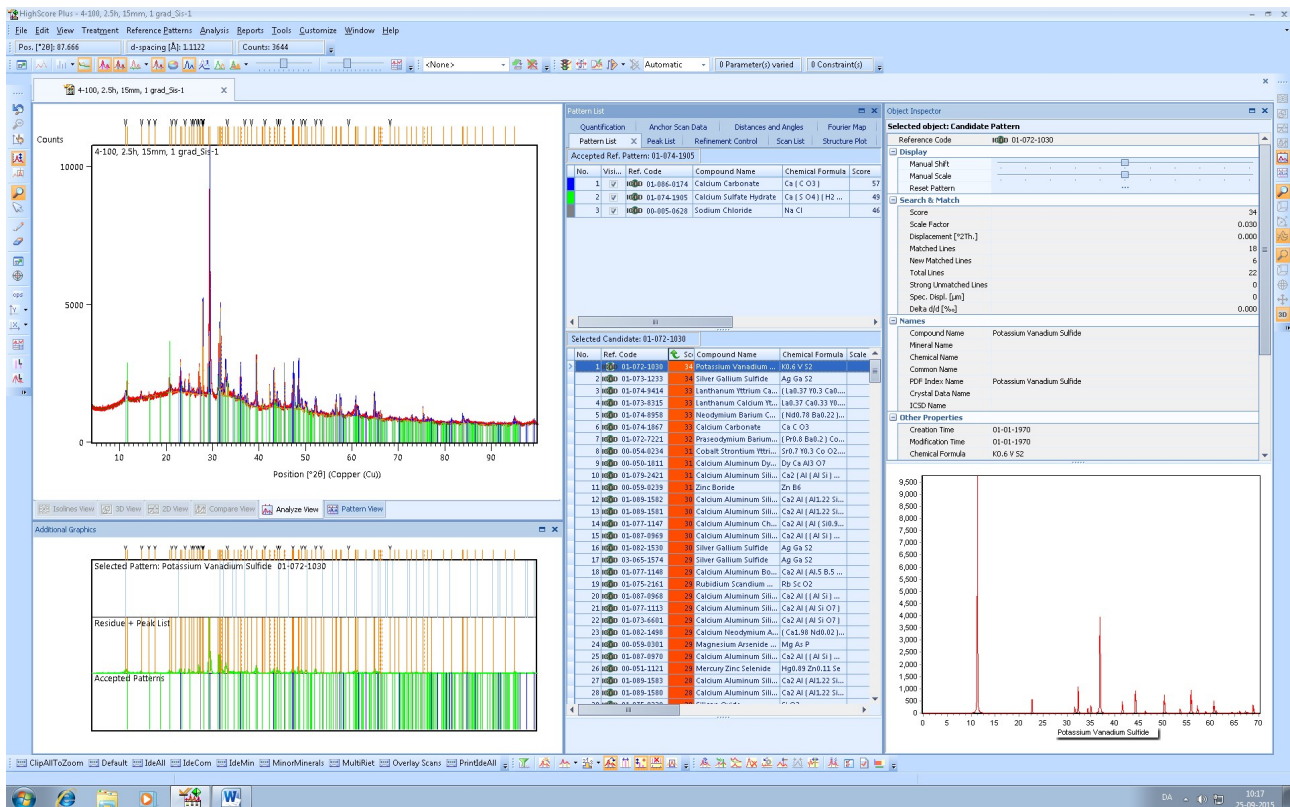


You will have a list of all possible minerals. Score can be used to evaluate the possibility of the presence of the mineral, **but be critical! If you know what you are looking for, this step is much easier! Look in published literature for similar materials.**

- Click on the mineral candidate you want to accept and drag it into the Accepted patterns box. (or rightclick and accept).
- Repeat this step until you have identified the main peaks. (for most environmental samples it will not be possible to identify all peaks.)



- When you have identified the main minerals save the file as a HPF-file.

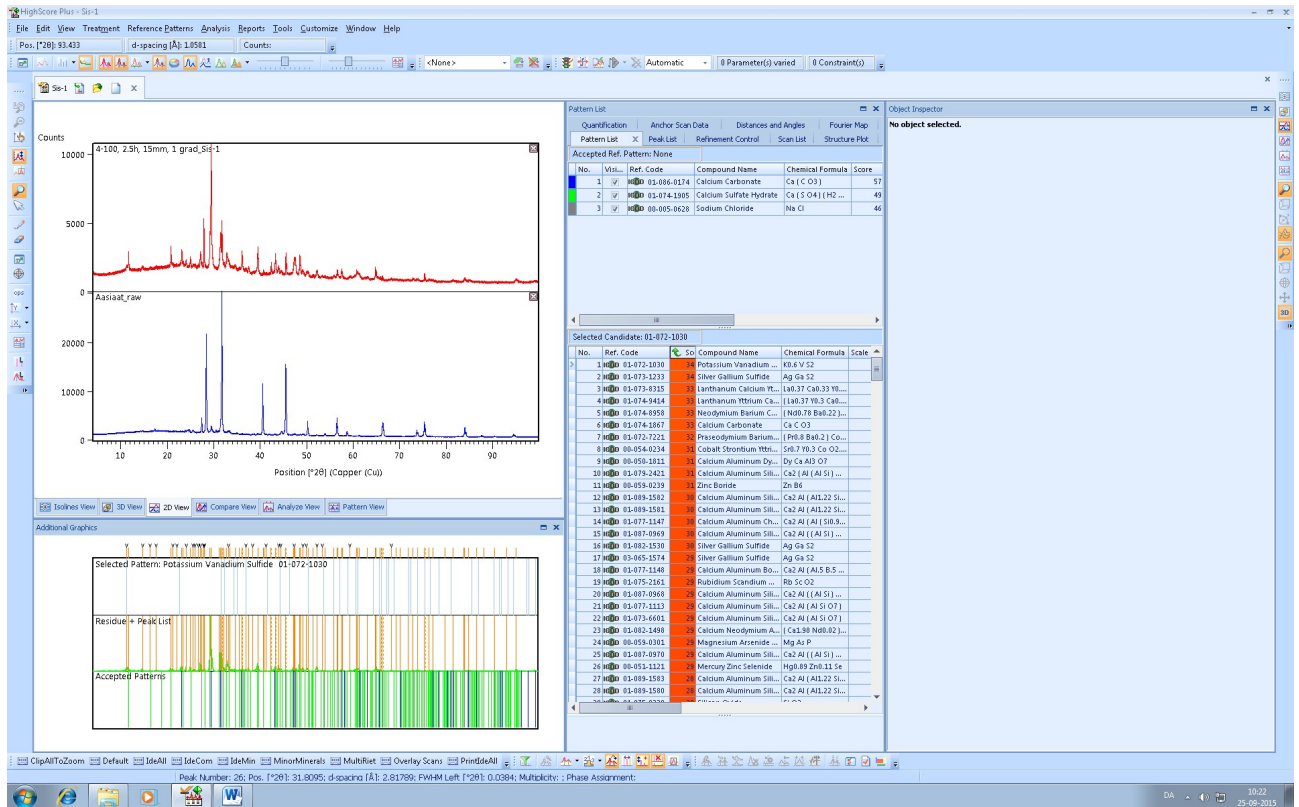


## Making graphs

The method you choose depends on what you want to display and the visual result, this is individual. There are many features in these programmes, you can play with it to fit your need.

### Method 1 – using HighScore Plus

1. Save the XRDML file with the name you want to have shown for your sample.
2. Open the XRDML file in HighScore Plus
3. For the next sample choose *Insert* → *then the other XRDML file*
4. Choose 2 D view to have the patterns above each other instead of on top of each other.



- Continue with as many patterns you want in one graph.
- You can rightclick and zoom.
- Save as a photo: JPEG or BMP.
- Export to Word or other programme to add mineral names or notation in graphs.

between the grains, which changed to a more crystalline and less porous surface of the carbonated sample (Fig. 2 c). A similar change was also observed by Jiang et al. [29], where the crystallinity was caused by reaction products from the carbonization reaction. Both the raw and carbonized APC residue changed when electrochemically upgraded. The EDU residues lost some of the granularity and crystalline appearances, which could be due to the removal of soluble salts.

The XRD diffractograms are seen in Fig. 3, from where the major crystalline phases in the different APC residues are specified based on interpretation.

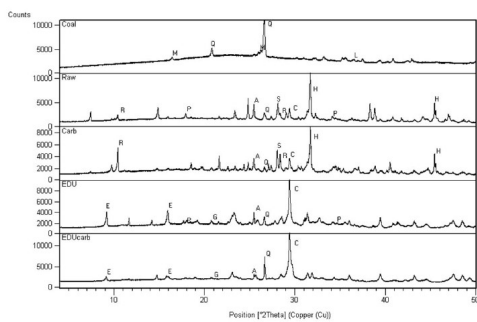


Figure 3 – XRD diffractograms with main minerals: M-mullite, Q-quartz, L-lime, R-richterite, P-portlandite, A-anhydrite, S-sylvite, C-calcite, H-hallite, E-ettringite, G-gypsum

The diffractograms for the MSWI residues were noisy due to the complex mineralogy and heterogeneity of the samples. The main minerals in the coal residue were identified as quartz, lime and mullite, which are typical minerals in coal. The other [30]. The main mineral compounds



**11.2.10 Bilag B10 - Blanding af mørtel**

## Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver

### **A**    **Princip**

DS/EN 196-1 2.udgave.

Denne metode beskriver blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver.

**HUSK:** Før arbejdet udføres skal der tørres sand (0,4mm) i 105 °C. Dette gøres i den store ovn i betonstøberiet i min 24 timer, hvorefter oven slukkes og sandet køler ned natten over før det tages ud. Dette gøres for at sikre, at vandindholdet ikke overstiger 0,2% i forhold til tørvægten jf. DS/EN 196-1. Sandet skal være helt koldt ved brug.

**HUSK:** Hvis der tilsættes aske (eller andre mineralske tilsætninger) skal der også tages højde for vandindholdet af dette, enten ved at regne vandmængden ud og trække fra den tilsatte mængde vand eller ved at tørre asken.

Der bruges basis cement (CEM II) til støbning.

### **B**    **Specielt apparatur**

Røremaskine (Toni industrie eller Hobart mixer)

Støbningsforme (40mm x 40mm x 160mm)

Formolie

Afretter

Vibratorbord

**HUSK:** At reservere røremaskine og vibratorbord, som reserveres i betonstøberiet ved indgangen til mørtelstøberiet.

### **C**    **Sikkerhed**

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet. Hav maske på når der afvejes cement (og aske), og når cement (og aske) blandes med vand i røremaskinen. HUSK at sætte sug til (tændes til venstre for døren til mørtelstøberiet).

### **D**    **Reagenser**

Aske eller anden mineralsk tilsætning

Basis cement (CEM II)

Sand str 0-4mm tørret ved 105 °C og efterfølgende afkølet

Destilleret vand (orange vandhane).

**E Støbeskema**

Opskriften til referenceprøverne er jf. 196-1. Herfra regnes mængderne for fx 5 og 10 % cementsubstitutt, se tabel 1.

**Tabel 1: Mængder**

	<b>Cement (g)</b>	<b>Mineralsk tilsætning (g)</b>	<b>Sand (g)</b>	<b>Dest.vand (g)</b>
<b>REF</b>	450 ± 2	0	1350 ± 5	225 ± 1
<b>5%</b>	427,5 ± 2	22,5	1350 ± 5	225 ± 1
<b>10%</b>	405 ± 2	45	1350 ± 5	225 ± 1

HUSK: Ved afvejning af materialer skriv de præcise mængder ned.

**F Udførelse**

Afvej de forskellige ting der skal bruges. Cement og aske kan evt. komme i den samme skål.

Herefter blandes mørtlen på røremaskinen som beskrevet herunder:

- Hvis der skal tilsættes aske eller anden mineralsk tilsætning skal begge være i skålen tilhørende røremaskinen.
- Der tilsættes vand til cementen (og aske) til tiden 0 sek og der røres på lav hastighed i 30 sek (husk maske og sug). (00:30)
- Efter 30 sek tilsættes sandet gradvist over 30 sek, til totaltiden er 1 min. (01:00)
- Røremaskinen slukkes hurtigt, mens der skiftes til middel hastighed og der røres yderligere 30 sek ved middel hastighed (01:30).
- Røremaskinen stoppes i 90 sek. De første 30 sek bruges på, at skrabe evt. mørtel ned fra siderne af skålen. (03:00).
- Røremaskinen startes på middel hastighed og køre 60 sek. (04:00)
- Herefter er mørtlen klar til brug.

**Indstilling for røremaskiner:**

Toni industri: lav=1

Middel=2

Hobart mixer: Lav= 1

Middel=2

Høj=3

## **G**    **Støbning af mørtelprøver**

Når mørtlen er blandet kan den bruges til at støbe mørtelprøver. Støbeformen sprøjtes med formolie og placeres på vibratorbordet. Støbeformen fyldes halvt og der vibreres i 20 sek (ved hastighed ca. 50 på det store vibratorbord – det lille vibratorbord har inden indstilling). Herefter fyldes formen helt og der vibreres igen i 20 sek imens der afrettes med afretteren.

Sæt formen på et sikkert sted og dækkes med plastik, lad det tørre natten over.

Dagen efter (så vidt muligt 24 timer efter) afformes prøverne. Støbeformene rengøres, samles og sættes på plads, så de er klar til de næste brugere. Mørtelprøverne nedsænkes i vand og opbevares her indtil der skal udføres test.

**HUSK:** Tjek jævnligt, at prøverne stadig befinder sig under vandet – ellers skal der straks tilføres mere vand.

Prøverne skal testes inden for bestemte tidsintervaller jf. DS/EN 196-1, se tabel 2.

**Tabel 2: Udføring af tests**

<b>Prøvetid</b>
24 t ± 15 min
48 t ± 30 min
72 t ± 45 min
7 d ± 2 t
≥ 28 d ± 8 t

## **H**    **Affaldshåndtering**

Evt. overskydende mørtel smides i containeren til frisk beton.

**11.2.11 Bilag B11 - Bearbejdelighed**

## Bearbejdelighed

### A Princip

EN 1015-3 1.udgave

### B Specielt apparatur

Tamper

Form (60 mm  $\pm$  0,5mm høj, 100 mm  $\pm$  0,5mm indvendig diameter i bund, 70 mm  $\pm$  0,5mm indvendig diameter i top. NB: den tilgængelige form i støberier er kun 50 mm.)

Flydebord med håndsving

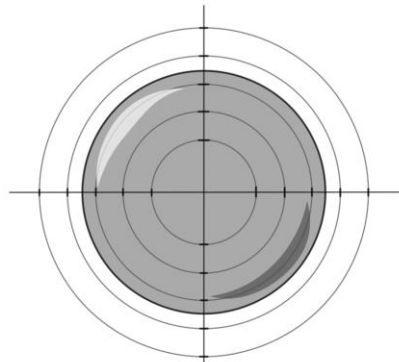
Afretter

### C Sikkerhed

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet

### D Udførelse

Den ønskede mørtelblanding blandes jf. vejledningen Blanding af mørtel. Formen fyldes halvt op med den friske mørtel og komprimeres med 10 korte slag med tamperen. Formen fyldes helt op og komprimeres med 10 korte slag med tamperen. Toppen afrettes med afretteren og evt. mørtel eller vand som siver ud under formen tørres af. Efter ca. 15 sekunder løftes formen og der køres med håndtaget 15 gange med ca. 1 sek. interval.



Figur 1: Måling af flydesætmål

Flydesætmålet måles lod-og vandret, jf. figur 1, i cm. Testen udføres to gange og resultatet er gennemsnit af de 4 målinger. Der skal laves en ny mørtel mellem de to tests.

### E Affaldshåndtering

Mørtlen smides i containeren til frisk beton.

**11.2.12 Bilag B12 - Afbindingsforløb**

## Afbindingsforløb for mørtel

### **A**    **Princip**

DS/EN 196-3+A1 3.udgave

### **B**    **Specielt apparatur**

Vicatronic

Bæger i plastik

Kalibreringsring 40 mm.

### **C**    **Sikkerhed**

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet.

### **D**    **Udførelse**

#### 1. Kalibrering af vicatronic

- Placer kalibreringsringen i bægeret og tegn langs kanten.
- Bægeret med kalibreringsringen placeres på pladen ved forsigtigt at trække nålen op. PAS PÅ NÅLEN – den knækker let.
- Indstillinger på Vicatronic
  - o Instrument
  - o Needle kalibration
  - o Kalibrer til 0 mm (nålen på bunden af bægeret)
  - o Confirm
  - o Kalibrer til 40mm (tag forsigtigt nålen op på toppen af kalibreringsringen).
  - o Confirm

#### 2. Mørtelprøve

- Bland den ønskede mørtelblanding blandes jf. vejledningen Blanding af mørtel.
- Fyld mørtel i bægeret op til stregen (40mm). Sørg for at overfalden er så jævn som muligt.
- Placer bægeret med mørtelblandingen på pladen ved forsigtigt at trække nålen op. PAS PÅ NÅLEN – den knækker let.
- Indstillinger på Vicatronic
  - o Execution
  - o Kind of test: EN 196-3-2005
  - o Strat test
  - o Testen kører til dagen efter



### 3. Print af resultater

Print direkte fra Vicatronic til papir:

- Indstillinger på Vicatronic
  - o File test
  - o S for print
  - o Partial
  - o >> på siden for at få det hele papiret ud efter print

Dataoverførelse til computer i mørtellab:

1. Både computer (log på med dit eget ID/Studiekonto) og VICAT skal være tændt.
2. Programmet Realterm tændes på computeren
  - a. I fanen Display sættes flueben ved Hex CSV
  - b. I fanen Port sætte Baud til 38400 og der trykkes på knappen  $\checkmark$  Change
  - c. Gå til fanen Capture
3. Gå ind i File Test på VICAT'en (hvis VICAT'en ikke reagerer kan den genstartes (kontakt på bagsiden af VICAT'en))
  - a. Tryk på c for computer
  - b. Tryk igen for complete
4. Nu vil alle data komme fra VICAT'en til Realterm, hvorfra de kan kopieres til excel.
  - a. Marker alle data i vinduet i Realterm.
  - b. Tryk ctrl + c
  - c. Gå til excel og tryk ctrl + v
5. Excel-arket kan gemmes på U-drevet. Studerende kan evt. bruge USB.

## **E Databehandling**

Udprint fra Vicatronic til papir

1. Lav et punktdiagram med tiden [min] (I[m.s]) på x-aksen og penetrationen [mm] (PEN.[mm]) på y-aksen.
2. Indledende og endelig afbindingstid kan aflæses jf. DS/EN 196-3.

Dataoverførelse til computer

1. ID, PEN [mm], P[m.s] og I[m.s] opdeles i separate koloner (I excel: marker kolonnen, vælg fanen Data og derefter Tekst til kolonner).
2. Hvis nødvendigt konverteres tekst til tal.
3. Hvis nødvendigt laves punktum til komma.
4. Tomme rækker imellem datamålingerne slettet (ellers kan der ikke laves en linje mellem punkterne i diagrammet).

5. Lav et punktdiagram med tiden [min] ( $t$ [m.s]) på x-aksen og penetrationen [mm] (PEN.[mm]) på y-aksen.
6. Indledende og endelig afbindingstid kan aflæses jf. DS/EN 196-3.

## **F Affaldshåndtering**

Prøven tages ud af plastik bægeret og smides i containeren for hærdet beton.

**11.2.13 Bilag B13 - Tryktest**

## Tryktest af mørtelprøver

### **A** Princip

DS/EN 196-1 2.udgave.

Denne metode bestemmer trykstyrken af mørtelprøver.

### **B** Specielt apparatur

Trykprøvemaskinen 'Toni 300' bagerst i betonstøberiet (gennem porten).

HUSK: Reserver Toni 300 i hallen.

### **C** Sikkerhed

Brug altid sikkerhedssko og kittel. Brug sikkerhedsbriller ved tryk.

### **E** Udførelse

Før tryk skal alle prøver måles: 3 x højde, 3 x bredde og 2 gange længde. Alle prøver skal desuden vejes.

Forsøgsopstillingen for Toni 300 kan ses på figur 1.



**Figur 1: Forsøgsopstilling**

Trykkraften noteres fra Toni 300 (angives i kN). Alle prøver tests i hver ende.

## **G**    **Beregning af resultat**

Trykstyrken beregnes:

Calculate the compressive strength  $R_c$  in megapascals from:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

where

$R_c$     is the compressive strength, in megapascals;

$F_c$     is the maximum load at fracture, in newtons;

1 600 is the area of the platens or auxiliary plates (40 mm × 40 mm), in square millimetres.

For hver mørtelblanding fås 6 resultater. Jf. DS/EN 196-1 beregnes gennemsnittet  $\pm$  10%. Resultater som falder uden for dette interval skal kasseres og der beregnes et nyt gennemsnit med de resterende resultater. Hvis mere end to resultater skal kasseres skal hele prøven jf. DS/EN 196-1 laves om. Inden dette gøres – tag en snak med din vejleder om hvad vedkommende anbefaler og om hvorvidt vedkommende er interesseret i denne form for statistik.

## **H**    **Affaldshåndtering**

Hvis de afprøve mørtelbarer ikke skal gemmes smides de i containeren for hærdet beton.

**11.2.14 Bilag B14 - Porøsitet og densitet**

## Porøsitet og densitet (LBM-standard)

### A Princip

Porøsiteten i et materiale fortæller hvor porøst materialet er, dvs. hvor skrøbeligt det er. Jo højere porøsiteten er, des større evne har materialet til at optage vand. Det betyder også at en god evne til at optage vand. Densiteten er materialets masse pr. volumenenhed. Massen af et porøst materiale kan være en tør masse eller en masse med vand i de åbne porer, dvs. ved at finde densiteten kan man udregne massen ved forskellige forhold.

### B Specielt apparatur

Til målingen benyttes vakuumpumpe, teknisk vægt med mulighed for at veje under vand.

### C Analysens udførelse

Prøven tørres ved 105°C til prøven er hel tør dvs. ved kontant vægt.

Hvis der er tale om en betonprøve skal denne tørres ved 50°C i min 3 uger, da en tørring ved høj temperatur vil medføre ændring i porestrukturen.

Prøven vejes på teknisk vægt og vægten noteres som ( $m_{105}$ )

Prøven placeres i en eksikator med låg og hane. Eksikatorens tilsluttes vakuumpumpen og pumpes ned i minimum 3 timer.

Destilleret vand med rumtemperatur ledes ind i eksikatorens vha en slange og undertrykket i eksikatorens. Hane lukkes lige så snart vandstanden er 3 cm over prøvelegemet. Derefter skal den stå lukket i 1 time.

Herefter lukkes luften ind og prøven skal stå under vand natten over ved atmosfæretryk.

Den vandmættede prøve vejes først under vand på en teknisk vægt med ophæng under. Vandet i karret skal have rumtemperatur. Vægten noteres som ( $m_{sw}$ ).

Prøven duppes med en hårdt opvredet klud inden den vejes over vand. Vægten noteres som ( $m_{ssd}$ ).

For at kontrollere om der er sket en udvaskning af prøven ved vandmætning tørres prøven ved 105°C og kontrolvejes.

## D Beregning af resultat

Rumtemp: °C	Vandtemp: °C	Vanddensitet $\rho_w =$	kg/m <sup>3</sup>
Kontrollod:			
Før: kg			
Efter: kg			
Prøvelegement nr:			
$m_{105}$	Kg		
$m_{ssd}$	Kg		
$m_{sw}$	Kg		
$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$	m <sup>3</sup>		
$V_{p\grave{a}} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		
$P_{\grave{a}} = V_{p\grave{a}} / V$	Kg/m <sup>3</sup>		
$\rho_d = m_{105} / V$	Kg/m <sup>3</sup>		
$\rho_f = m_{105} / (V - V_{p\grave{a}})$	Kg/m <sup>3</sup>		
$\rho_{ssd} = m_{ssd} / V$	Kg/m <sup>3</sup>		
$u_{ssd} = (m_{ssd} - m_{105}) / m_{105}$	Kg/kg		

Definitioner, begreber og symboler

- $m_{105}$  Masse af prøvelegemet efter tørring ved 105°C (kg)
- $m_{ssd}$  Masse af prøvelegemet over vand efter vakuumvandmætning (kg)
- $m_{sw}$  Masse af vakuumvandmættet prøvelegeme vejet i vand (kg)
- $V$  Prøvelegemets volumen (m<sup>3</sup>)
- $V_{p\grave{a}}$  Volumen af åbne porer (m<sup>3</sup>)
- $\rho_f$  Faststoffdensitet (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_d$  Tørdensitet (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{ssd}$  Densitet af prøvelegeme i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/m<sup>3</sup>)
- $p_{\grave{a}}$  Prøvelegemets åbne porøsitet (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)
- $u_{ssd}$  Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)



**11.2.15 Bilag B15 - Farveprøve**

## Støbning af farveprøver

### A Princip

Farveprøver til visuel analyse af mørtel med og uden cement/sanderstatninger.

### B Specielt apparatur

From til farveprøver, se beskrivelse under udførelse. Findes i betonstøberiet.

Grundpapir

Cirkelskærer

Hobbykniv

Skæreplade

Tapetbørste

Malertape

Spand

Skruemaskine

Blyant

Materialer til blanding af mørtel jf. "Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver jf. 196-1"

HUSK: At reservere røremaskine og vibratorbord, som reserveres i betonstøberiet ved indgangen til mørtelstøberiet.

### C Sikkerhed

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet. Maske og sug bruges ved blanding af mørtel.

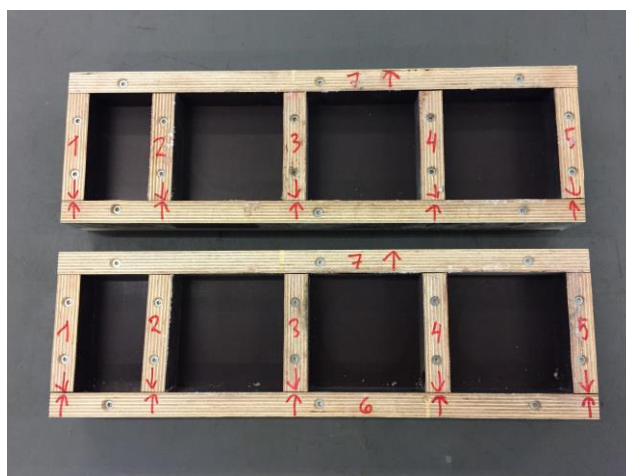
### D Udførelse

*FORMENE TIL FARVEPRØVER ER  
MEGET SKRØBELIGE – PAS PÅ DEM!*

#### Forme til farveprøver

Forme til farveprøver, se figur 1, findes i betonstøberiet.

Formene opbevares 2 og 2, tapet sammen med oversiderne (med tal og pile) mod hinanden for at undgå støv i formene. De holdes sammen af malertape.

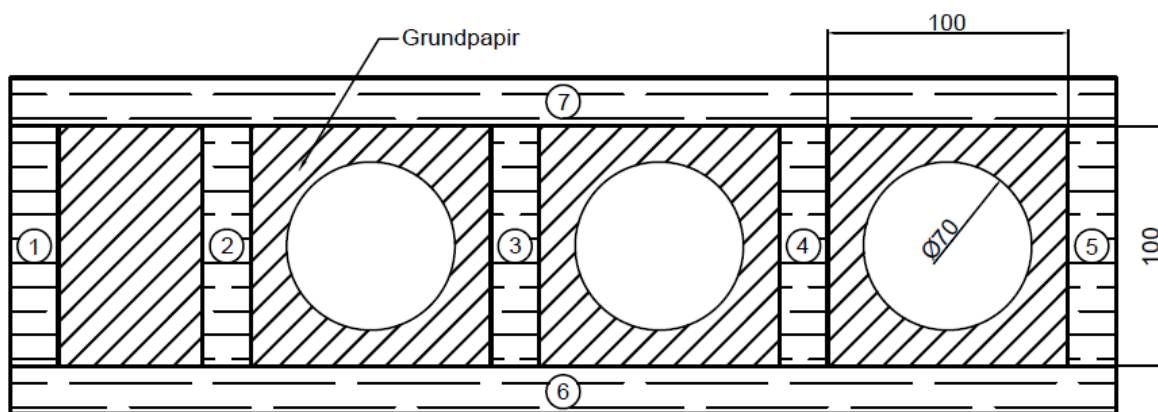


Figur 1: 2 stk. forme til farveprøver

### Klargøring af skabelon i grundpapir

Formen ligges på grundpapiret og der tegnes med blyant langs formens yderkant (rektangel ca. 140 x 460mm). Rektanglet skæres ud med hobbykniven på skærepladen eller klippes med saks.

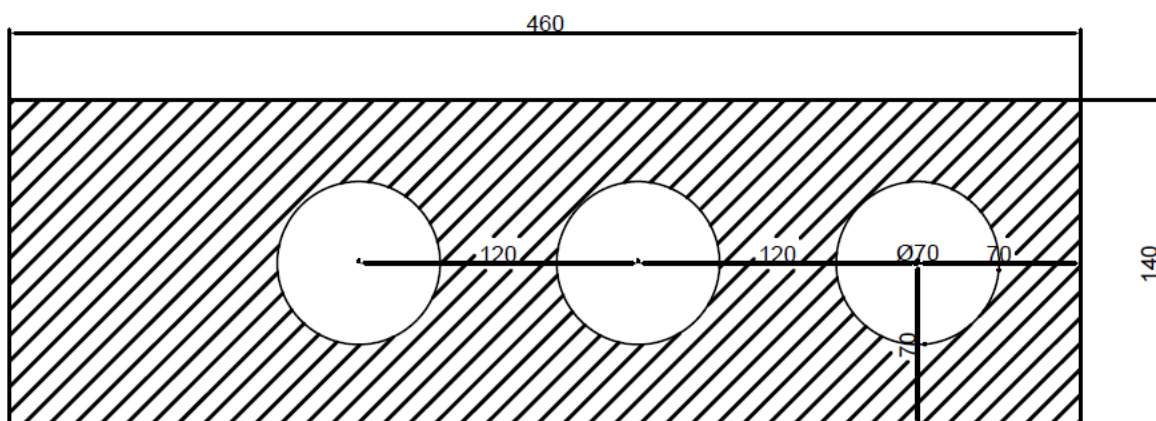
Der måles op til tre huller i hver firkant (mellem side nr. 2 og 3, nr. 3 og 4, nr. 4 og 5). Hullerne skal have en diameter på 70mm og skal så vidt muligt placeres centreret i firkanterne, se figur 2. Hullerne tegnes med blyant og skæres ud med en cirkelskære på skærepladen.



**Figur 2: Skitse over form til farveprøver med skabelon i grundpapir (alle mål er vejledende og i mm)**

Lav altid ekstra skabeloner – det går ofte galt, når skabelonen i efterfølgende skal placeres på formens bund.

Vejledende skitse af skabelon i grundpapir kan ses på figur 3.



**Figur 3: Vejledende skitse af skabelon i grundpapir (alle mål i mm)**

### Klargøring af formen

Toppen (nr. 7), siderne (nr. 1, 2, 3, 4 og 5) og til sidst bunden (nr. 6) skrues forsigtigt af i nævnte rækkefølge.

Formen smøres med olie med en klud eller papir (ved vaskene i betonlaboratoriet). Olien sprøjtes på bundpladen og klud evt. Det er vigtigt, at formene smøres grundigt, men forsigtigt. Formene skal ikke glinse af olie, men eftertørres så der kun er et fint lag olie på bundpladen og siderne. Oversiden skal ikke have olie.

### Blanding af mørtel

Når skabelonen af lavet og formen er smurt (men endnu ikke samlet) blandes mørtlen jf. "Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver jf. 196-1".

### Samling af form

Da det er vigtigt at skabelonen er våd når der støbes, derfor gøres dette trin først **efter** mørtlen er blandet og klar til brug.

Der hældes vand i en spand og hele skabelonen dyppes i. Herefter placeres på formens bundplade og lufthuller og folder børstes væk med tapetbørsten. Skruehullerne til toppen (nr. 7), siderne (nr. 1, 2, 3, 4 og 5) og bunden (nr. 6) vil være synlige i form af lufthuller.

Formen skrues sammen igen i rækkefølgen toppen (nr. 7), siderne (nr. 1, 2, 3, 4 og 5) og til sidst bunden (nr. 6). Formen skrues forsigtigt sammen, da skabelonen let krøller. Når alle dele af skruet fast kan skrueerne strammes efter.

Oversiden (med tal og pile) af formens top, sider og bund skal dækkes til med malertape.

Formen er nu klar til støbning.

### Støbning af farveprøver

Formen fyldes og vibreres jf. "Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver jf. 196-1".

Der ligges plastic over formen og afformes dagen efter.

### Afformning af farveprøver

Dagen efter støbning kan farveprøverne afformes.

Toppen (nr. 7), bunden (nr. 6) og til sidst siderne (nr. 1, 2, 3, 4 og 5) skrues forsigtigt af i nævnte rækkefølge.

Skabelonen bør slippe af sig selv – vær forsigtig, når farveprøverne løftes ud af formen.

Der kan sidde papir og fnuller fra skabelonen på farveprøverne. Dette lades i første omgang være.

Farveprøverne stilles et godt sted og hærder i 14 dage yderligere. Herefter kan de vaskes og evt. papir og fnuller fra skabelonen kan vaskes af.

### Rengøring af forme

Når formen er skilt ad og farveprøverne af fjernet skal den forsigtigt rengøres og skrues sammen.

Formen rengøres vha. olie og klud/papir (ved vaskene i betonlaboratoriet). **Der må ikke bruges værktøj, som spartel eller skruetrækker eller vand, da formene ellers bliver ridset og/eller ødelagt hvis de bliver våde.** Gøres dette forsigtigt kan de anvendes mange gange. Kommer der ridser i formene kan det ses på de næste prøver der støbes.

Når formen er **helt** rengjort, skrues den forsigtigt sammen i rækkefølgen top (nr. 7), sider (nr. 1, 2, 3, 4 og 5) og til sidst bund (nr. 6).

Herefter tapes de sammen igen 2 og 2, med oversiderne mod hindanden, og ligges på plads.

### **E** Affaldshåndtering

Evt. overskydende mørtel smides i containeren til frisk beton.

**11.2.16 Bilag B16 - Vandabsorbtiionsevne**

#### 4.1 Udtagning og neddeling af repræsentativ prøve af sand

##### 4.1.1 Apparatur og materialer

- Sanddeler
- Tør sandprøve

##### 4.1.2 Fremgangsmåde

I udsugningskabinen udtages en repræsentativ sandprøve på ca. 500 g fra spanden med tør sand ved at fylde målebægeret op til randen. Prøven neddeles til to prøver á ca. 250 g ved hjælp af sanddeler. Den ene prøve hældes over i gruppens keramikskål og anvendes efterfølgende til bestemmelse af kornstørrelsesfordeling ved sigteanalyse. Den anden prøve smides væk.

#### 4.2 Bestemmelse af kornstørrelsesfordeling ved sigteanalyse

##### 4.2.1 Apparatur og materialer

- Sigtesøjle
- Rystemaskine
- Vægt
- Tør sandprøve, ca. 250 g
- Keramikskål

##### 4.2.2 Fremgangsmåde

Den neddelte sandprøve på ca. 250 g vejes. Det undersøges omhyggeligt om alle sigter er rene og tørre. Hver sigte vejes og sigterne sættes sammen til en sigtesøjle hvor sigten med den største maskevidde placeres øverst. Sandprøven hældes i toppen af sigtesøjlen, låget sættes på og der rystes i ca. 2 min i rystemaskinen. Hver sigte med tilbageholdt sand vejes, og sigteresten findes ved subtraktion af den tomme sigtes vægt. Resultatet indføres i et sigtediagram hvor punkterne forbindes med rette linjer. Resultater anføres i skema G1 i bilag 1. Det undersøges om kurven ligger indenfor grænsekurverne.

#### 4.3 Fastlæggelse af vandmættet, overfladetør (s.s.d.) tilstand

##### 4.3.1 Apparatur og materialer

- Kogeplade
- Stegepande
- Tragt
- Metalbakke
- Ske til omrøring
- Kegleform med stamper
- Vandlagret sand, ca. 1 kg
- Keramikskål

##### 4.3.2 Fremgangsmåde

Der udtages en prøve på ca. 1 kg sand fra spanden med vandlagret sand ved at fylde målebægeret op til randen. Sandprøven hældes derefter over i gruppens keramikskål. Sandet spredes ud på stegepanden og udtørres forsigtigt ved svag varme under omrøring for at sikre en jævn udtørring. Tørringen afbrydes før det tidspunkt hvor sandkornene tilsyneladende ikke længere klæber til hinanden. Sandet skal afkøles i metalbakken under omrøring før det ifyldes den kegleform, der er vist i fig. 6. Efter at sandet er løst ifyldt formen stryges langs overkanten og der stemples let 25 gange med stamperen. Der efterfyldes ikke. Formen løftes af, og såfremt sandkeglen ikke falder sammen, er der stadig overfladevand tilstede hvorfor udtørringen skal fortsættes som ovenfor beskrevet indtil sandkeglen netop falder sammen når formen fjernes, jf. fig. 7. Sandet siges nu at være i vandmættet, overfladetør (s.s.d.) tilstand. Metalbakken med sand i s.s.d.-tilstand dækkes med bakkens låg eller plastfolie for at undgå yderligere udtørring indtil de øvrige forsøg er udført.

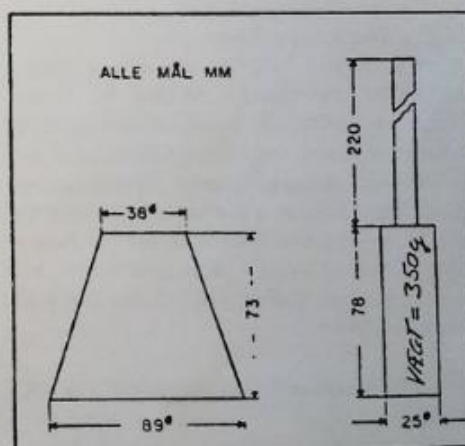


Fig. 6. Kegleform og stamper.

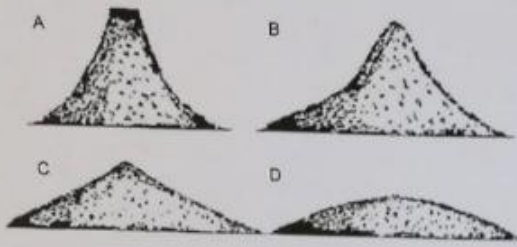


Fig. 7. Sandkegle i fire forskellige tilstande: (A) meget fugtig tilstand hvor sandkeglen næsten har bevaret metalkeglens form, (B) fugtig tilstand hvor et markant sammenfald ses, (C) vandmættet, overfladetør tilstand hvor der er et næsten komplet sammenfald men hvor en spids top er synlig, (D) næsten ovtør tilstand med komplet sammenfald og uden spids top.

#### 4.4 Bestemmelse af vandabsorptions-evne

##### 4.4.1 Apparatur og materialer

- Keramikskål
- Ske til omrøring
- Stegepande
- Kogeplade
- Vægt
- Sand i s.s.d.-tilstand

##### 4.4.2 Fremgangsmåde

Til dette forsøg benyttes ca. 250 g sand i vandmættet, overfladetør tilstand fra forrige forsøg. Mængden afvejes og prøven udtørres til konstant masse i et varmeskab ved  $105 \pm 5$  °C. Prøvens tørmasse noteres. Af tidsmæssige grunde fremskyndes udtørringen af sandet ved brug af stegepanden. Denne metode er mindre nøjagtig end udtørring i varmeskab og bør ikke bruges i praksis. I skema G2 i bilag 2 anføres forsøgsresultater.

#### 4.5 Bestemmelse af densitet i s.s.d.-tilstand

##### 4.5.1 Apparatur og materialer

- Metalbakke
- Konisk kolbe
- Målenedstik
- Glasspatel til omrøring
- Vægt
- Sprøjteflaske
- Sand i s.s.d.-tilstand

##### 4.5.2 Fremgangsmåde

Kolben stilles på et vandret underlag og fyldes med vand til målenedstikkets spids. Massen af kolbe + målenedstik + vand ( $m_0$ ) bestemmes. Ca. 2/3 af vandet hældes fra og en afvejet mængde sand på ca. 600 g i vandmættet, overfladetør tilstand hældes i kolben under samti-

dig omrøring. Kolben rystes og rulles indtil al luft er drevet ud af materialet. Der fyldes efter med vand til målenedstikkets spids. Massen af kolbe + målenedstik + sand + vand ( $m_1$ ) bestemmes. Resultater anføres i skema G3 i bilag 2.

#### 4.6 Bestemmelse af vandindhold

##### 4.6.1 Apparatur og materialer

- Keramikskål
- Ske til omrøring
- Stegepande
- Kogeplade
- Vægt
- Fugtigt sand, ca. 0,25 kg

##### 4.6.2 Fremgangsmåde

Der udtages en prøve på ca. 0,25 kg sand fra spanden med fugtigt sand ved at fylde målebægeret halvt op. Sandprøven hældes over i gruppens keramikskål. Afvej den udtagne sandmængde. Prøven udtørres til konstant vægt i et varmeskab ved  $105 \pm 5$  °C. Prøvens tørmasse noteres. Af tidsmæssige grunde fremskyndes udtørringen af sandet ved brug af stegepande. Denne metode er mindre nøjagtig end udtørring i varmeskab og bør ikke bruges i praksis.

Når målearbejdet er færdigt, indtastes måleresultater i et resultatskema der ligger under fildeling på Campusnet. Husk at gemme det indtastede regneark på egen PC og 'uplade' det indtastede regneark på CampusNet.



### 11.3 Bilag C - Poster fra midtvejsfremlæggelse

# Mineaffald i beton

Udarbejdet af

Niklas Carl Ørum-Nielsen – s143857

Denne poster er udarbejdet i forbindelse med et bachelor projekt i foråret 2017.

Projektet handler om mulighederne for at erstatte cement i beton, da produktionen af dette udgør 5 % af verdens CO<sub>2</sub> udslip. Der er derfor blevet undersøgt en reference tailing, Zinkgruvan, og en tailing fra Chile, som er udviklet fra en Kobbermine igennem firmaet Codelco. De to tailings er blevet sammenlignet med hhv. søsand (0-4mm) og cement, som resultaterne herunder illustrer.

## Karakteristikker for tailings og referencer

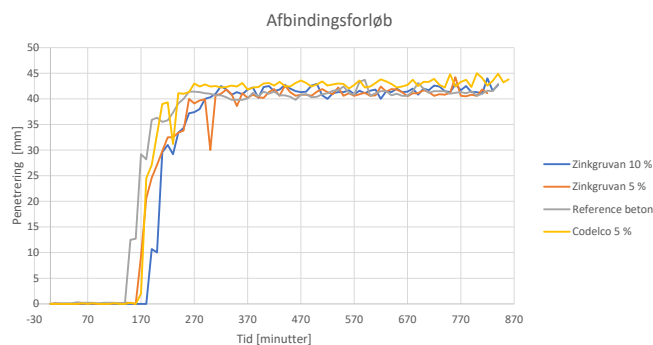
I den nedenstående tabel ses en oversigt over bestemte karakteristika for Cement, søsand (0-4 mm), Zinkgruvan og Codelco.

Forsøg	Enhed	SAND	Basis Cement	Zinkgruvan	Codelco
Vandindhold	[%]	0,28	0,04	2,72	0,28
Carbonat	[%]	6,90	16,09	8,53	5,12
pH	-	9,74	12,53	8,36	8,72
Pyknometer	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,66	3,68	2,86	-
Glødetab ved 550	[%]	0,05	0,13	0,08	0,32
Glødetab ved 950	[%]	0,39	0,83	1,14	0,57

Herunder ses en oversigt over flydesætmålene, hvor der skal bemærkes, at Codelcos flydesætmål er større end de andre prøvers.

[mm]	Måling 1	Måling 2	Endeligt sætmål
Cement Prøve 1	105	107	104,25
Cement Prøve 2	107	98	
Zinkgruvan 5% Prøve 1	109	106	107,5
Zinkgruvan 5% Prøve 2	107	108	
Zinkgruvan 10% Prøve 1	109	110	106,5
Zinkgruvan 10% Prøve 2	103	104	
Codelco 5% Prøve 1	124	128,5	124,75
Codelco 5% Prøve 2	127	119,5	

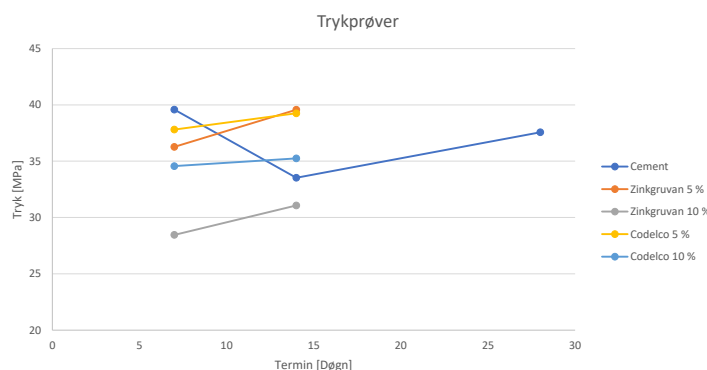
Herunder ses afbindingsforløbene, for de fire prøver, hvor de 3 prøver med tailings størkner langsommere end referenceprøven.



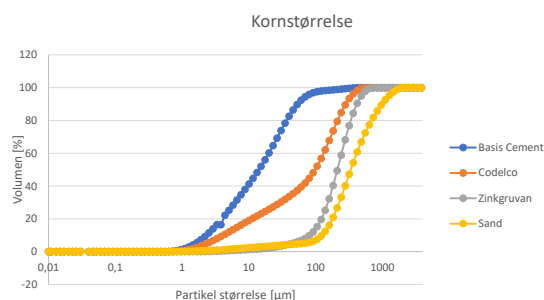
Derudover er der udført en ICP-analyse, hvor der indgår, hvor mange metaller samt mængden af dem, som indgår i hver prøver. I tabellen nedenunder er der markeret med grønt for dem, der er krav for og som overholder disse krav. Søsand og cement overholder dem alle, hvorimod Zinkgruvan overholder 3, og Codelco overholder 5 i kategori 1.

	Søsand	Cement	Zinkgruvan	Codelco	Kategori 1
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Aluminium (Al)	1018,048	9806,0550	7749,8020	20123,020	-
Arsen (As)	1,779	5,38066	40,7742	18,0161	0-20
Barium (Ba)	3,487	206,1954	229,8222	18,4244	-
Calcium (Ca)	22662,300	270699,4	36110,28	18274,28	-
Cadmium (Cd)	0,096	0,40082	14,1364	0,2665	0-0,5
Krom (Cr)	1,525	21,60112	3,16254	20,0085	0-500
Kobber (Cu)	1,394	69,73266	275,111	353,4084	0-500
Jern (Fe)	1663,032	13393,22	18551,04	84911,16	-
Kalium (K)	262,366	2387,218	5389,578	1959,91	-
Magnesium (Mg)	596,717	2759,52	20038,52	18867,08	-
Mangan (Mn)	64,279	134,7898	986,1818	742,5294	-
Natrium (Na)	177,452	976,4604	196,8304	234,3044	-
Nikkel (Ni)	1,041	18,12482	20,10144	41,2643	0-30
Fosfor (P)	245,208	712,239	320,7506	876,2164	-
Bly (Pb)	1,901	12,66022	3890,444	66,667	0-40
Svovl (S)	260,662	8563,54	5890,088	16826,34	-
Zink (Zn)	8,939	244,027	8854,43	59,13844	0-500
Molybden (Mo)	-	-	-	0,116725	-
Antimon (Sb)	-	-	-	1,5373	-
Selen (Se)	-	-	-	11,75855	-
Titan (Ti)	-	-	-	501,9914	-
Vanadium (V)	-	-	-	63,07078	-
Yttrium (Y)	-	-	-	100,9114	-

Trykstyrken er blevet testet for 5 forskellige prøver. Ren beton, 5- og 10% Codelco samt 5- og 10% Zinkgruvand. Her ses det, at Cementen er den stærkest (7 døgn), hvor 14 og 28 døgn prøven skal laves igen.



Herunder ses kornstørrelses fordelingen for de fire prøver



## Konklusion

Der ses ud fra trykprøvningen, at Codelco 5 % har en høj tryk styrke, der ligger relativt tæt på reference betonen. Derudover ses det, at afbindingsforløbet er langsommere end cementen, samt at sætmålet er større for Codelco med 5 %.

For videre undersøgelser vil der blive arbejdet videre med sætmålet med fokus på betonens styrke for at se, om styrken vil blive forbedret, hvis sætmålet blev ligesom referencens. Derudover vil der blive forsøgt at knuse tailingen, for at se om det kan forbedre betonens tryk styrke.

Derudover vil porøsiteten for de tre prøver blive testet, som angiver optagelsen af vand.

**DTU Civil Engineering**  
**Department of Civil Engineering**  
**Technical University of Denmark**

Brovej, Building 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Telephone 45 25 17 00 (Arial Regular 11 pkt.)

[www.byg.dtu.dk](http://www.byg.dtu.dk)