

# Anvendelse af mineaffald i beton

Sammenligning af to typer mineaffald med fokus på deres filleregenskaber og kornstørrelse



Julius Nielsen, s134603

BSc Eng. Afhandling

Department of Civil Engineering  
2017

DTU Civil Engineering  
Juni 2017

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

Brovej, Building 118  
2800 Kgs. Lyngby  
Telephone 45 25 17 00

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

# Forord

---

Dette projekt er et afsluttende bachelorprojekt for BSc Eng. (Byggeteknologi) udført hos Institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet, DTU.

Projektet er en del af ZeroWaste Byg, som omhandler anvendelse af mineaffald i beton med fokus på filleregenskaber og kornstørrelse.

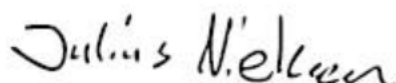
Bachelorprojektet er vurderet til 15 ECTS-point, og er udarbejdet i foråret 2017.

L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X er anvendt som program til tekstbehandling. Dokumentet er integreret med hyperref-pakken, så det gør det muligt for læseren at navigere rundt i dokumentet via hyperlinks i en PDF-editor. Layoutet følger Laursen's XeLaTeX thesis template. Programmer som Microsoft Excel og Maple er brugt til beregning af resultater.

Lektor Pernille Erland Jensen har virket som hovedvejleder under projektforsøget. Derudover har Videnskabelig assistent Nina Marie Sigvardsen og Professor Lisbeth M. Ottosen virket som supplerende vejledere. Generelt tak for vejledning gennem projektforsøget.

Derudover sendes en tak til Laboratoriekoordinator Ebba Cederberg Schnell og Laborant Malene Grønvold for hjælp til forsøgshåndtering. Endelig takkes instituttet for at stille materialer til rådighed under projektforsøget.

22. juni 2017



---

Julius Nielsen, s134603

*[Blank side]*



# Abstract

---

The emission of CO<sub>2</sub> is a global issue where the cement production is responsible for 8% of the global CO<sub>2</sub> emission. At the same time, the mining industry is struggling with containing the million tons of mine tailings that gets produced each year. This comes with a high cost. If the tailings are not contained in the right way it can pollute of the groundwater and destroy life in the water.

The purpose of the project was therefore to investigate if mine tailings could be used in concrete and thereby reduce the CO<sub>2</sub> emission from the cement productions by finding a method to reuse the mining waste in a sustainable way.

Two types of tailings from the mining areas Zinkgruvan and Raajärvi was tested. A categorization of the tailings was done where the carbonate content, loss on ignition, grain size distribution, metal content, particle density, pH, water content, and mineralogy was measured. Furthermore, mortar samples with tailing as 5% and 10% cement replacement were tested on their physical characteristics for the setting process, workability, porosity, density, and compressive strength. Since the focus was on the filler properties and grain size, tailings were sieved at mesh size of 250 µm, and the mineralogy and grain size distribution was tested. Lastly, mortar samples with sieved tailings was casted with 5% and 10% cement replacement with the purpose of testing the strength development.

Both mine tailings were characterized with large grain size, compared to the cement. Additionally, both samples contained traces of metals which is not accepted by the Danish environmental agency, to use in the building industry in relation to, housing, children's institutions, playgrounds, and private gardens.

Based on the tests made on the mortar samples, tailings as partly replacement for cement, seems to decrease the final strength. Furthermore, the samples became more porous with a lower density. Both tailing products resulted in that the mortar got a longer setting time and the tailings from the Zinkgurvan mine deteriorated the workability. The study also indicated a tendency that sieved samples from Raajärvi had an increased final strength compered to raw Raajärvi samples.

The study indicates that the use of mine tailings as partly replacement in concrete is not seen as a durable solution. From the tests made in the study, the results indicates

that the replacement does not suit the building industry with their high demand on the bearing capacity since the compressive strength gets worsened. If some of the found metals can be extracted, partly cement substitution with tailings can potentially be used in the building industry in areas where the bearing capacity is oversized such as in wall elements in housing.

# Sammenfatning

---

CO<sub>2</sub>-udledningen er et globalt problem, hvor cementproduktionen står for 8% af det samlede CO<sub>2</sub>-udslip. Samtidig har mineindustrien svært ved at opbevare de mange millioner tons mineaffald, der bliver produceret hvert år, og det koster dem dyrt. Bliver mineaffaldet ikke opbevaret ordentligt, kan det være med til at forurene grundvandet og ødelægge liv under vand.

Projektets formål er derfor, at undersøge om mineaffald kan anvendes i beton, med henblik på at nedsænke CO<sub>2</sub>-udledningen fra cementproduktionen, men også på at finde en metode hvorpå mineaffald kan blive genbrugt på en bæredygtig måde.

To slags mineaffaldsprodukter, fra mineområderne Zinkgruvan og Raajärvi, blev testet. Der blev foretaget et karakterisering af mineaffald, hvor der blev målt carbonatindhold, glødetab, kornstørrelsesfordeling, metalindhold, korndensitet, pH, vandindhold og mineralogi. Ud over det blev mørtelprøver, med hhv. 5% og 10% mineaffald som cementerstatning, testet på fysiske egenskaber som afbindingsforløb, bearbejdelighed, porøsitet, densitet og trykstyrke. Herefter har fokus været på filleregenskaber og kornstørrelse, hvor der blev målt mineralindhold og kornstørrelsesfordeling for mineaffald sigtet ved en maskevidde på 250 µm. Efterfølgende blev der støbt mørtelprøver med sigtet mineaffald som hhv. 5% og 10% cementerstatning til undersøgelse af trykstyrke.

Karakteristisk for to mineaffaldsprodukter er, at de generelt er meget mere grovkornet end cement. Derudover blev det fundet metalindhold i begge mineaffaldsprodukter, som ikke godkendes af miljøstyrelsens til byggeri ifm. bolig, børneinstitutioner, legepladser og private haver.

Det kunne konkluderes på baggrund af undersøgelser af mørtelprøver, at mineaffald, som delvis cementerstatning, forværede trykstyrken. Derudover blev der skabt et mere porøst materiale med en lavere densitet. Begge mineaffaldsprodukter gav også mørtlen en længere afbindingsperiode, og mineaffald fra Zinkgruvan forværede bearbejdeligheden. Der blev fundet en tendens til, at sigtet Raajärvi kunne forbedre den endelige trykstyrke i forhold til rå Raajärvi.

Generelt er det svært at se anvendelse af mineaffald, som delvis cementerstatning, som en holdbar løsning. Ud fra projektets undersøgelser egner det sig ikke til byggeri, hvor der sættes krav til bæreevnen pga. det forværede trykstyrken. Hvis nogle af de uøn-

skede metaller kan udvaskes, kan mineaffald, som delvis cementerstatning, potentielt anvendes til bygninger, hvor bæreevnen er overdimensioneret f.eks. som vægelementer i et boligbyggeri.

# Indhold

---

<b>Forord</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>v</b>
<b>Indhold</b>	<b>vii</b>
<b>Tabeller</b>	<b>xi</b>
<b>Figurer</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Indledning</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation for undersøgelser . . . . .	1
1.2 Projektets opbygning . . . . .	2
1.3 Forkortelser . . . . .	3
1.4 Begrænsning . . . . .	4
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Anvendt mineaffald . . . . .	5
2.2 Mørtel . . . . .	6
2.3 Hydratisering af mørtel . . . . .	7
2.4 Bearbejdelighed . . . . .	8
2.5 Porøsitet og densitet . . . . .	9
2.6 Trykstyrke . . . . .	9
2.7 Carbonater . . . . .	10
2.8 Filler . . . . .	10
2.9 Puzzonaler . . . . .	10
2.10 Korrosion af betonarmering . . . . .	11
<b>3 Metoder og materialer</b>	<b>13</b>
3.1 Oversigt over forsøg . . . . .	13
3.2 Oversigt over støbninger . . . . .	15
3.3 Karakteristik af mineaffald . . . . .	17
3.3.1 Carbonat indhold . . . . .	17
3.3.2 Glødetab . . . . .	17

3.3.3	Kornstørrelsesfordeling ved laserdiffraktometer . . . . .	18
3.3.4	Oplukning til bestemmelse af metaller . . . . .	18
3.3.5	Partiklers densitet . . . . .	18
3.3.6	pH 1 M KCl opslemning . . . . .	19
3.3.7	Vandindhold . . . . .	20
3.3.8	XRD-analyse . . . . .	20
3.4	Karakteristik af mørtelbalndinger . . . . .	20
3.4.1	Støbning af mørtelprøver . . . . .	21
3.4.2	Afbindingsforløb . . . . .	22
3.4.3	Bearbejdelighed . . . . .	23
3.4.4	Porøsitet og densitet . . . . .	24
3.4.5	Trykstyrke . . . . .	24
3.4.6	Støbning af farveprøver . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Resultater og diskussion</b>	<b>27</b>
4.1	Trin 1: Indledende forløb . . . . .	28
4.1.1	Karakteristik af mineaffald . . . . .	28
4.1.2	Afbindingstid . . . . .	34
4.1.3	Bearbejdelighed . . . . .	36
4.1.4	Porøsitet og densitet . . . . .	37
4.1.5	Trykstyrke . . . . .	39
4.1.6	Farveprøver . . . . .	40
4.2	Delkonklusion: Indledende forløb . . . . .	41
4.2.1	Trin 2: Forslag til uddybende forløb . . . . .	42
4.2.2	Trin 3: Valg af uddybende forløb . . . . .	44
4.3	Trin 4: Uddybende forløb . . . . .	44
4.3.1	Kornstørrelsesfordeling . . . . .	44
4.3.2	XRD-analyse . . . . .	45
4.3.3	Trykstyrke . . . . .	48
4.4	Delkonklusion: Uddybende forløb . . . . .	50
<b>5</b>	<b>Konklusion</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Videre forskning</b>	<b>57</b>
	<b>Litteratur</b>	<b>59</b>
	<b>Bilag</b>	<b>63</b>
<b>A</b>	<b>Forsøgsvejledninger</b>	<b>65</b>
A.1	Carbonat indhold . . . . .	66
A.2	Glødetab . . . . .	69
A.3	Kornstørrelsesfordeling ved laserdiffraktometer . . . . .	70
A.4	Oplukning til bestemmelse af metaller . . . . .	72
A.5	Partiklers densitet . . . . .	75

---

A.6	pH 1 M KCl opslemning . . . . .	77
A.7	Vandindhold . . . . .	79
A.8	XRD-analyse . . . . .	81
A.9	Støbning af mørtelprøver . . . . .	87
A.10	Afbindingsforløb . . . . .	90
A.11	Bearbejdelighed . . . . .	93
A.12	Porøsitet og densitet . . . . .	94
A.13	Trykstyrke . . . . .	96
A.14	Farveprøver . . . . .	98
<b>B</b>	<b>Data</b>	<b>103</b>
B.1	Carbonat indhold . . . . .	104
B.2	Glødetab . . . . .	105
B.3	Kornstørrelsesfordeling ved laserdiffraktometer . . . . .	106
B.4	Oplukning til bestemmelse af metaller . . . . .	114
B.5	Partiklers densitet . . . . .	115
B.6	pH 1 M KCl opslemning . . . . .	119
B.7	Vandindhold . . . . .	120
B.8	XRD-analyse . . . . .	121
B.9	Støbning af mørtelprøver . . . . .	123
B.10	Afbindingsforløb . . . . .	124
B.11	Bearbejdelighed . . . . .	125
B.12	Porøsitet og densitet . . . . .	126
B.13	Trykstyrke . . . . .	127
B.14	Trykstyrke . . . . .	131
<b>C</b>	<b>Mineralogi</b>	<b>137</b>
<b>D</b>	<b>Posterpræsentation</b>	<b>139</b>

*[Blank side]*



# Tabeller

---

1.1	Oversigt over forkortelser af mørtelblandinger. . . . .	3
3.1	Oversigt over karakteristikkere af mineaffald, cement og sand. . . . .	13
3.2	Oversigt over karakteristikkere af mørtelblandinger. . . . .	14
3.3	Støbeskema. . . . .	15
3.4	Blandingsforhold til mørtelprøver. Alle mængder er angivet i gram. Samme blandingsforhold gælder for de sigtede prøver. . . . .	21
4.1	Tabel over resultater for forsøg med carbonatindhold, glødetab, korndensitet, pH og vandindhold. . . . .	29
4.2	Tabel over teoretisk og praktisk mængde af udskilt CO <sub>2</sub> , ved afbrænding af CaCO <sub>3</sub> ved 950 °C. . . . .	30
4.3	Tabel over vandindhold ved 50 °C og 105 °C. . . . .	31
4.4	Metalindhold samt grænseværdier iht. [Miljøstyrelsen 2014]. Alle værdier er angivet i [mg/kg]. UV står for unknown value. Tal markeret med fed skrift signalerer, de værdier der ligger uden for grænseværdier. . . . .	32
4.5	Tabel over udvalgte metaller der optræder i udvalgte mineraler fra Raajärvi. . . . .	33
4.6	Indledende afbindingstider for mørtelprøver. . . . .	35
4.7	Afsluttende afbindingstider for mørtelprøver. . . . .	35
4.8	Tid mellem indledende og afsluttende afbindingstider. . . . .	35
4.9	Oversigt over flydesætmål. $\Delta D$ er forskellen i diameter før og efter forsøg. Afvigelsen er baseret på forskel i $\Delta D$ . . . . .	36
4.10	Sammenligning af porøsitet med teoretisk udregnet indhold af luft og kapillarvand iht. Powers' model. . . . .	38
4.11	Oversigt over de målte indhold af mineraler ved XRD-analyser. ”Jf. [Jensen]” angiver mineralerne i Zinkgruvan jf. [Jensen m.fl. 2016], og ”Bilag C” angiver mineralerne i Raajärvi fra producenten. . . . .	47

*[Blank side]*

# Figurer

---

2.1	Mineaffald fra Zinkgruvan. . . . .	5
2.2	Mineaffald fra Raajärvi. . . . .	5
2.3	Illustration af betons udvikling under hydratiseringsforløb jf. [Aalborg Portland 1983] . . . . .	7
2.4	Powers' model for $v/c = 0,6$ jf. bilag [Hasholt 2016]. . . . .	8
2.5	Sammensætning af fuldstændig hydratiseret cementpasta, jf. [Aalborg Portland 1983]. . . . .	8
2.6	Fasediagram fra [Wikipedia 2017]. M er masser og V er rumfang. Det brune område er mængden af tørstof, blå er mængden af vand, og hvidt er mængden af luft. . . . .	9
3.1	Principskitse af Scheibler apparat. A: reaktionsflaske, B: hane, C & D: glasrør med inddelinger, E: overløbskolbe, F: glastragt. . . . .	17
3.2	Pyknometerglas med indhold af mineaffald og destilleret vand i eksikator. . . . .	19
3.3	Forsøgsopstilling af pH-meter. . . . .	20
3.4	Mixer fra TONINDUSTRIE. . . . .	21
3.5	Vibratorbord. . . . .	22
3.6	Støbeforme. . . . .	22
3.7	Vicatronic. . . . .	23
3.8	Flydebord med hhv. kegleform, tamper og afretter. . . . .	23
3.9	Forsøgsopstilling til tryktest. . . . .	25
3.10	Form til farveprøver. . . . .	26
4.1	Diagram over projektføløbet, trin for trin. Rød farve markere valg af undersøgelser til uddybende forløb. . . . .	27
4.2	Raajärvi tørret ved $50^{\circ}\text{C}$ . . . . .	29
4.3	Raajärvi efter 1 time i $550^{\circ}\text{C}$ ovn. . . . .	29
4.4	Søjlediagram over indhold af metaller i målt ved ICP-analyse. Metalkoncentrationen er vist i en logaritmisk skala. På den horisontale akse er metaller angivet. Der henvises til Bilag B.4 for standartafvigelser. . . . .	32
4.5	Kornkurve med afmærkning af grænseværdier for flyveaske (ved $45\ \mu\text{m}$ ), Kategori N og S iht. [DS/EN 450-1 2012] og for filler (ved $250\ \mu\text{m}$ ) iht. [Munch-Petersen 2013]. . . . .	33
4.6	Afbindingsforløb af mørtelprøver målt med vicatronicudstyr. . . . .	34
4.7	Åben porøsitet af mørtelprøver. . . . .	37

---

4.8	Tørdensitet af mørtelprøver . . . . .	37
4.9	Styrkeudvikling af mørtelprøver. . . . .	39
4.10	Søjlediagram over trykstyrken af mørtelprøver, angivet med standartafvigelse. . . . .	39
4.11	Farveprøver for REF, 10% C-Z og 10% C-R. . . . .	40
4.12	Kornkurve for rå, sigtet og restprodukt af mineaffald. Derudover er fillergrænsen iht. [Munch-Petersen 2013] angivet. . . . .	45
4.13	XRD-analyse af rå mineaffaldsprodukter, hhv. Raajärvi og Zinkgruvan. Counts angiver intensiteten på grafen. Der henvises til tabel 4.11 for betydning af bogstavangivelser. . . . .	46
4.14	XRD-analyse af sigtet Zinkgruvan, hhv. <250 $\mu\text{m}$ og >250 $\mu\text{m}$ . Counts angiver intensiteten på grafen, og er skaleret forskelligt i de to grafer. Der henvises til tabel 4.11 for betydning af bogstavangivelser. . . . .	46
4.15	XRD-analyse af sigtet Raajärvi, hhv. <250 $\mu\text{m}$ og >250 $\mu\text{m}$ . Counts angiver intensiteten på grafen, og er skaleret forskelligt i de to grafer. Der henvises til tabel 4.11 for betydning af bogstavangivelser. . . . .	47
4.16	Søjlediagram over trykstyrken af sigtede mørtelprøverne, angivet med standartafvigelse. . . . .	49
4.17	Styrkeudvikling af mørtelprøverne prøverne 5% C-Zs og 10% C-Zs sammenlignet med REF, 5% C-Z og 10% C-Z. . . . .	49
4.18	Styrkeudvikling af mørtelprøverne prøverne 5% C-Rs og 10% C-Rs sammenlignet med REF, 5% C-R og 10% C-R. . . . .	50

# KAPITEL 1

## Indledning

---

Dette projekt har til formål, at undersøge om mineaffald kan bruges i beton ved at lade det erstatte en mindre del af cementen. Fokus har været at optimere mineaffaldets fylleregenskaber og kornstørrelser.

Undersøgelserne er udført på to slags mineaffaldsprodukter med henblik på viden om, at mineaffald reagerer ens eller forskelligt som tilslag i beton. De to mineaffaldsprodukter kommer fra følgende mineområder:

- Zinkgruvan, Sverige: Zink-, bly-, kobber- og sølvmine
- Raajärvi, Finland: Jernmine

Der laves karakteriserende undersøgelser af begge typer mineaffald til det formål at identificere carbonatindhold, glødetab, kornstørrelsesfordeling, korndensitet, metalindhold, mineralindhold, pH-værdi og vandindhold.

Derudover blandes mørtel med hhv. 5% og 10% mineaffald som cementerstatning. Mørtel testes for afbindingsforløb, bearbejdelighed, porøsitet, densitet og farveændring. Derudover testes mørtelprøvers trykstyrke efter at have hærdet i 7, 14 og 28 døgn.

Herefter har fokus været at undersøge, om der sker ændringer i trykstyrke ved kun at anvende kornpartikler med en diameter under fillergrænsen. Her er mineaffaldet blevet sigtet med en maskevidde på 250  $\mu\text{m}$ . Det sigtede produkt er blevet karakteriseret i forhold til kornstørrelsesfordeling og mineralogi.

### 1.1 Motivation for undersøgelser

Produktionen af cement stod i 2015 for ca. 8% af den globale  $\text{CO}_2$ -udledning, jf. [Olivier m.fl. 2016]. Som en del af den grønne omstilling, der er ved at etablere sig på verdensplan, er  $\text{CO}_2$ -udledningen fra cementproduktionen derfor et kæmpe problem.

Mineindustrien kæmper med at lagre mineaffald på en måde, så det ikke forurener i miljøet, primært grundvandet. Det er dyrt at konstruere dæmninger som mineaffaldet lagres i, og der er en stor risiko for, at de går i stykker. Hvis mineaffaldet ikke kan lagres under kontrollerede forhold, er det før set, at mineaffaldet forurener grundvandet, hvilket negativt påvirker livet under vand, jf. [MiningFacts 2017].

Motivationen for at anvende mineaffald som delvis cementerstatning i beton er et bæredygtigt initiativ med en grøn profil. Hvis det kan lade sig gøre at lave et holdbart betonmateriale på denne måde, vil det kunne sænke CO<sub>2</sub>-udslippet fra cementproduktionen, og samtidig reducere tonsvis af mineaffald fra at belaste miljøet. Derudover har det en økonomisk gevinst for betonproducenterne, der sparer omkostninger på cement og ikke mindst for mineindustrien, der betaler dyrt i at konstruere dæmninger til oplagringen af mineaffald [MiningFacts 2017].

## 1.2 Projektets opbygning

Projektet er opbygget som følgende:

### **Teori**

Teoriafsnittet inderholder en beskrivelse af den nødvendige teori, som er anvendt til behandlingen af resultater og til diskussionen

### **Metoder og materialer**

Metodeafsnittet beskriver de udførte forsøg, som ligger til grund for resultaterne i projektet. Hertil angives de vigtigste materialer, der er blevet brugt til udførelsen af forsøgene. Alle forsøg følger hver en forsøgsvejledning, som er alle vedlagt i bilag A

### **Resultater og diskussion**

Resultat- og diskussionsafsnittet gennemgår alle resultaterne, hvormed de løbende bliver diskuteret. Afsnittet er bygget op i fire trin for at få arbejdsprocessen gennem projektforløbet til at fremstå klarest muligt.

- *Trin 1: Indledende forløb.* Her foretages en række undersøgelser til at karakterisere mineaffaldsprodukterne. Dernæst karakteriseres mørtelblandinger med mineaffald som delvis cementerstatning, for afbinding, bearbejdelighed, porøsitet, densitet og trykstyrke.
- *Trin 2: Forslag til uddybende forløb.* Her opstilles forslag til relevante undersøgelser til det videre forløb, baseret på resultaterne fra det indledende forløb.
- *Trin 3: Valg er uddybende forløb.* På baggrund af trin 2 vælges ét fokusområde. I dette projekt fokuseres der på mineaffaldsprodukternes filleregenskaber og kornstørrelser ved at sigte det.
- *Trin 4: Uddybende forløb.* Her er fokus på sigtet mineaffald, og relevante undersøgelser fastlægges. Det sigtede mineaffalds mineralogi og kornstørrelsesfordeling undersøges, og mørtelprøver med sigtet mineaffald måles på trykstyrken.

### **Konklusion**

Den endelige konklusion af projektet.

### Videre forskning

På baggrund af resultater og diskussion dannes der en række nye spørgsmål, som kunne være interessante at undersøge, men som ikke er undersøgt pga. tidsbegrænsning. Disse spørgsmål og videregående overvejelser vil blive gennemgået i dette afsnit.

## 1.3 Forkortelser

Gennem rapporten vil der blive brugt en del forkortelser til at navngive bestemte mørtelprøver. Et overblik over forkortelserne og deres betydning kan ses i tabel 1.1.

Tabel 1.1: Oversigt over forkortelser af mørtelblandinger.

Forkortelse	Beskrivelse
REF	Referenceprøve uden tilsat mineaffald
5% C-Z	5% cement er erstattet med mineaffald fra Zinkgruvan
10% C-Z	10% cement er erstattet med mineaffald fra Zinkgruvan
5% C-R	5% cement er erstattet med mineaffald fra Raajärvi
10% C-R	10% cement er erstattet med mineaffald fra Raajärvi
5% C-Zs	5% cement er erstattet med sigtet mineaffald fra Zinkgruvan
10% C-Zs	10% cement er erstattet sigtet med mineaffald fra Zinkgruvan
5% C-Rs	5% cement er erstattet med sigtet mineaffald fra Raajärvi
10% C-Rs	10% cement er erstattet sigtet med mineaffald fra Raajärvi

## 1.4 Begrænsning

Da dette er et bachelorprojekt vurderet til 15 ECTS-point, har det været nødvendigt at begrænse projektets omfang.

Mineaffalds effekt under anvendelse i beton er kun blevet undersøgt for delvis cementerstatning, selvom der findes andre måder at integrere mineaffald i beton. Derudover er projektet også begrænset til kun at se på to typer af mineaffald. Det understreges derfor, at konklusionen kun omfatter de to udvalgte mineaffaldsprodukter, samt deres effekt på beton, når de integreres som delvis cementerstatning.

Der er ikke foretaget forsøg som SEM-analyse, vandabsorptionsevne, vandopløslighed og ledningsevne til at karakterisere mineaffaldsprodukterne for at begrænse omfanget af undersøgelser i projektet. Af samme årsag er valget af uddybende undersøgelser begrænset til kun ét fokusområde, netop på filleregenskaber og kornstørrelser ved sigtning af mineaffald.



# KAPITEL 2

## Teori

---

Dette afsnit udgør en opsummering af den nødvendige teori, som danner grundlag for undersøgelserne gennem projektforsløbet.

### 2.1 Anvendt mineaffald

Mineaffald er et restprodukt, der opstår af en mineindustriens udvindelse af værdifulde metaller. I dette projekt arbejdes der med mineaffaldstypen kaldet "tailings". Tailings er et restprodukt bestående af sten og mineraler. Det kan typisk være resterne efter, at malm bliver behandlet, hvilket kan ske på forskellige måder. Det kan f.eks. forgå ved ristning, knusning/maling eller kemisk udvaskning, jf. [MiningFacts 2017] Typisk ændrer mineralogien sig efter malmen er behandlet. I projektet er der anvendt mineaffaldsprodukter fra mineområderne Zinkgruvan og Raajärvi, som kan ses på figur 2.1 og 2.2.



Figur 2.1: Mineaffald fra Zinkgruvan.



Figur 2.2: Mineaffald fra Raajärvi.

### Zinkgruvan

Zinkgruvan er en aktiv zinkmine, der ligger i det sydcentrale Sverige. Minen blev grundlagt allerede tilbage i 1857. Ud over at den primære metalproduktion består af zink, udvinder minen også bly, kobber og sølv. Malmen til mineproduktionen består hovedsageligt af de zinkrige mineraler, sphalerit ((Zn, Fe)S) og blyglans (PbS) samt af det kobberindholdige mineral, chalcopyrit (CuFeS<sub>2</sub>). Til at separere mineralerne fra hinanden anvendes knusning, hvorefter det koncentrerer ved flotation. I 2016 blev der produceret 10,7 mt zinkrigt malm, hvoraf 8,0% Zn, 3,3% Pb, 72 g/t Ag kunne udvindes og 3,6 mt

kobberrigt malm, hvoraf 2,2% Cu, 0,2% Zn, 29 g/t Ag kunne udvindes iht. [lundin mining 2016]. Dette giver samlet set en årlig produktionsrate af mineaffald på 13 millioner tons pr. år. Iht. [Jensen m.fl. 2016] så består mineaffaldet fra Zinkgruvan hovedsageligt af kvarts, feldspat og calcit. Dette kan være mineraler, der er tilført eller omdannet efter ekstraktionsprocesser af malmen.

## Raajärvi

Raajärvi er en lukket jernmine som ligger i det nordcentrale Finland. Minen havde en kort levetid fra da den åbnede i 1961 til den lukkede i 1975, jf. [Niiranen, Hanski og Eilu 2008]. Malmen består hovedsageligt af mineralerne magnetit og serpentin, jf. [Somerikko 2017]. Som metode til ekstraktion af metaller, benyttes knusning/maling og gravmetrisk separation med fyringsolie jf. producenten. Iht. [Niiranen, Hanski og Eilu 2008] blev der i perioden 1961-1975 produceret 5,66 mt malm, hvoraf 47% Fe kunne udvindes. Det giver samlet set en total restproduktion, i form af mineaffald, på ca. 3 millioner tons. Selve mineaffaldsproduktet består af mineralerne angivet i bilag C, som er en mineralogi udarbejdet af producenten.

## 2.2 Mørtel

Mørtel er typisk en sammensætning af cement, vand og sand. Blander man yderligere sten fra større aggregater sammen med mørtel, bliver det kaldt beton. Typisk er mørtlen svagere en tilsætningsaggregaterne, og derfor testes en betons fysiske egenskaber typisk kun ved at teste selve mørtlen. Blandingsforholdet mellem vand og cement kaldes for et v/c-forhold. V/c-forholdet varierer typisk efter behov, hvilket har en effekt på mørtlens afbindingstid, bearbejdelighed, porøsitet, densitet og trykstyrke.

### Basis cement fra Aalborg Portland

I projektet er der blevet anvendt BASIS<sup>®</sup> CEMENT fra Aalborg Portland med mærkning CEM II/A-LL 52,5 R (IS/LA/ $\leq 2$ ). Det fremstilles af min. 80% portlandcementklinker og op til 20% kalkfiller. Basis cementen er kendt for en hurtig styrkeudvikling, hvilket gør, at den hurtigt kan afformes. Desuden kan den anvendes sammen mineralske tilsætninger efter anvisning i DS/EN 206-1. Indholdet af kalkfiller gør cementen følsom overfor udtørring, og mørtel med Basis cement skal derfor afdækkes hurtigst muligt, efter det er støbt. Der henvises til [Aalborg Portland 2010].

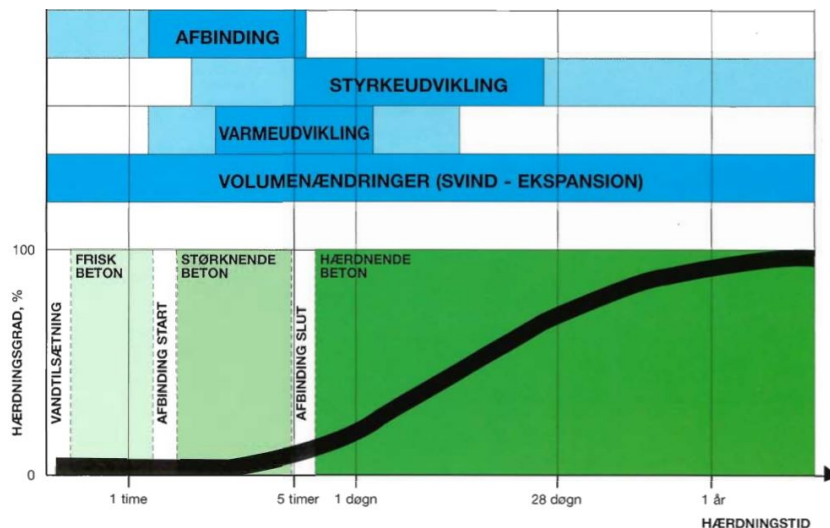
### Søsand

Som tilslag til mørtel anvendes almindeligt søsand med kornstørrelse 0-4mm. Vandindholdet i sandet må ikke overstige 0,2% ved tilsætning i mørtel jf. [DS/EN 196-1 2005].

Søsand kan på mange måder have en effekt på en mørtels v/c-forhold og bearbejdelighed, idet det kan regulere på en mørtels vandbehov. Afrundede korn vil have et lavere vandbehov end knuste og kantede korn jf. [Aalborg Portland 2010]. Derudover vil mindre korn eller en kornstørrelsesfordeling med stor rækkevidde give mere plads til vand, og dermed også øge vandbehovet jf. [Moosberg-Bustnes, Lagerblad og Forssberg 2002].

## 2.3 Hydratisering af mørtel

Hydratisering er den udviklende proces fra, når beton bliver blandet, til det har opnået fuld styrke. Processen kan deles op i tre perioder nemlig hvileperiode, afbindingsforløb og hærdningsforløb. Betons udvikling i hydratiseringsforløbet kan ses på figur 2.3.

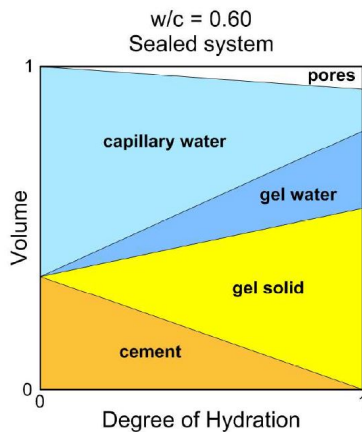


Figur 2.3: Illustration af betons udvikling under hydratiseringsforløb jf. [Aalborg Portland 1983]

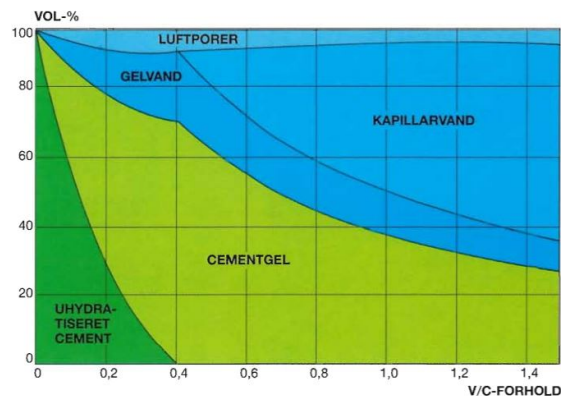
Når en betonblanding er blevet støbt, vil den efter en hvileperiode begynde at sætte sig. Dette tidspunkt kaldes for den indledende afbindingstid, og kommer typisk efter 1-2 timer. Alt efter cementens kemiske sammensætning, finhed og lagringsforhold, samt mørtelens v/c-forhold, temperatur og anvendelse af andre tilsætningsstoffer (f.eks. gips), kan den indledende afbindingstid variere mellem <10 min til 4 timer. Afbindingsforløbet stopper, når betonen opnår en mekanisk styrke. Den afsluttende afbindingstid afhænger igen af kemisk sammensætning, finhed, lagringsforhold, v/c-forhold, temperatur og tilsætningsstoffer, jf. [Aalborg Portland 1983]. Hærdningsforløbet starter umiddelbart efter afbindingsforløbet. Det er under hærdningsprocessen, at betonelementer udvikler sin styrke, og størstedelen af styrkeudviklingen sker typisk indenfor en måned. Efterfølgende kan der gå op til et år, før styrkeudviklingen er total. Der henvises til [Mehta og Monteiro 2006].

## Powers' model

Powers' model er en model, der beskriver hydratiseringsgraden af en cemenpasta, altså blanding af cement og vand. Her kan hydratiseringsgraden variere mellem 0-1, hvor 1 er når 100% af cementen er blevet omdannet til cementpasta. Powers' model kan ses på figur 2.4.



Figur 2.4: Powers' model for  $v/c = 0,6$  jf. bilag [Hasholt 2016].



Figur 2.5: Sammensætning af fuldstændig hydratiseret cemenpasta, jf. [Aalborg Portland 1983].

Afhængigt af  $v/c$ -forholdet kan cemenpastaen enten have overskydende kapillær vand eller ureageret cementspulver. På figur 2.5 ses  $v/c$ -forholdets indflydelse på en fuldstændig hydratiseret cemenpasta. Er der et overskydende indhold af kapillær vand, vil der opstå ekstra hulrum under hydratiseringsforløbet. Dette fænomen kaldes på engelsk "Interfacial transition zone". Jo højere  $v/c$ -forholdet er, jo mere overskydende kapillær vand vil der være, og endelig fås en mere porøs beton, jf. bilag [Hasholt 2016].

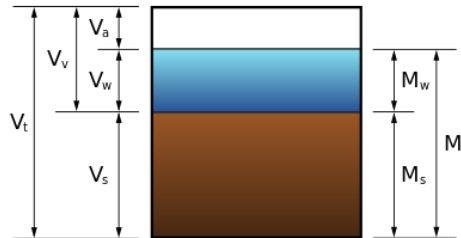
## 2.4 Bearbejdelighed

Bearbejdelighed er et fænomen, der beskriver en betons evne til at flyde i den indledende hvileperiode af hydratiseringsforløbet. Denne evne kan styres af forskellige parametre i betonen, så som forholdet mellem vand og tørstof i mørtelmix, herunder  $v/c$ -forhold, aggregaters størrelse, aggregaters form og aggregaters absorptionsevne. Typisk måles en mørtels bearbejdelighed ved et flydesætmål, som måles som diameteren af mørtel, når den flyder ud. Der findes også tilsætningsstoffer, der kan øge flydesætmålet af en beton, som f.eks. plastificeringsstoffer. De danner, i forbindelse med vand, høje negative ladninger, som dermed nedsætter overfladespændingerne mellem vand og cementen. Fordelen ved at øge bearbejdeligheden er at betonen nemmere at arbejde med, når den f.eks. skal støbes. Det gør også, at eventuelle luftrum i betonen kan vibreres ud under støbepro-

cessen. Bliver bearbejdigheden for høj, kan det omvendt føre til en inhomogen mørtel, hvor segregation og ”bleeding” kan opstå. Der henvises til [Mehta og Monteiro 2006].

## 2.5 Porøsitet og densitet

Porøsitet er andelen af små hulrum, som dannes af luft eller overskydende kapillarvand under betonens hærdningsforløb. Udviklingen af porøsiteten kan beskrives med Powers’ model. Tørdensiteten af en hærdebetonprøve er betonens densitet i total tør tilstand, og dette afhænger i høj grad af porøsiteten. En betons faseinddeling kan ses på figur 2.6



Figur 2.6: Fasediagram fra [Wikipedia 2017]. M er masser og V er rumfang. Det brune område er mængden af tørstof, blå er mængden af vand, og hvidt er mængden af luft.

Tørdensiteten svarer til vægt af beton i tør tilstand pr. prøvens totale volumen:

$$\rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad (2.1)$$

## 2.6 Trykstyrke

Et af betonens vigtigste egenskaber er trykstyrken. Da beton har en næsten ikke-eksisterende trækstyrke, bruges beton oftest kun i trykbelastede tilfælde. Trykstyrken af betonen vil altid afhænge af den svageste komponent af tilslag eller cementpasta. Typisk er cementpastaen det svageste led. Derfor spiller porøsiteten, og dermed  $v/c$ -forholdet og hærdningsforløbet, en stor rolle for en betons trykstyrke. Disse faktorerers rolle på trykstyrken kan beskrives med Bolomeys formel:

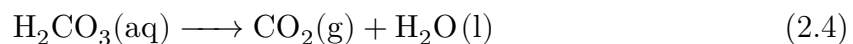
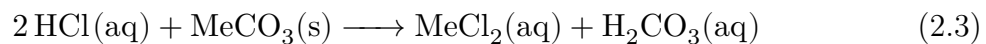
$$F_c = K \cdot \left( \frac{1}{v/c} - \alpha \right) \quad (2.2)$$

hvor  $K$  og  $\alpha$  afhænger af cementtype, tilslagskvalitet og hærdningstidspunkt, jf. [Aalborg Portland 2010].

## 2.7 Carbonater

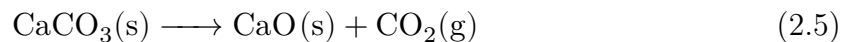
Carbonater indgår i mange jordarter, og er typisk en kemisk egenskab, der skal undersøges til karakterisering af jordarter og tilslagsmaterialer.

Carbonater reagerer med saltsyre, så der produceres kuldioxid, ved følgende kemiske reaktion (Me er en forkortelse for metal):



Denne reaktion bruges ofte til at bestemme carbonatindholdet i et materiale, jf [DS/EN ISO 10693 2014], hvor mængden af kuldioxid kan måles med et Scheibler apparat.

Når calciumcarbonat varmes op til temperaturer over 800 °C udskildes CO<sub>2</sub>, og der dannes calciumoxid iht. [Aalborg Portland 2010] ved følgende reaktion:



Denne reaktion opstår f.eks. ved glødetab (950 °C) af mineraler, der indeholder CaCO<sub>3</sub>.

## 2.8 Filler

Filler er defineret som meget små partikler med kornstørrelser på maksimum 250 µm jf. [Munch-Petersen 2013]. Andre kilder siger, at grænsen for filler Kornstørrelsen er 125 µm jf [Moosberg-Bustnes, Lagerblad og Forssberg 2002], men i dette projekt tages udgangspunkt i 250 µm. De små kornstørrelser gør, at fillerpartikler kan give en tættere beton, hvilket nedbringer porøsiteten, og dermed øger styrken. Denne effekt kaldes for fillereffekten, og kan bidrage til den tidlige styrkeudvikling. Derudover har mange filler også den kemiske effekt, at de under hydratiseringen kan krystallisere ved heterogen kimdannelse. Kimdannelse kan godt forekomme uafhængigt af kornstørrelsen, men pga. det store overfladeareal hos fillerpartikler, vil kimdannelsen her være meget mere effektiv. Denne process bidrager til en hurtigere hydratisering og dermed til den tidlige styrkeudvikling.

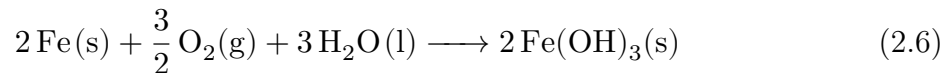
## 2.9 Puzzonaler

Puzzolaner har den egenskab, at de under basiske forhold reagere med calciumhydroxid, Ca(OH)<sub>2</sub>. Dette sker sent i hærdningsforløbet, da Ca(OH)<sub>2</sub> først skal produceres af en reaktion mellem cement og vand. Derfor bidrager puzzolaner til den sene styrkeudvikling, typisk efter 14-28 døgn. Herudover øges tætheden også af denne puzzolaneffekt, som

fænomenet kaldes. Typiske puzzolaner, som betontilsætningsmiddel, er flyveaske og mikrosilica. Netop mikrosilica består af småt, amorf, uorganiseret kvartsminerale med kornstørrelser på maksimalt 0,1  $\mu\text{m}$ . Almindelig organiseret kvarts vil også have puzzolanegenskaber, hvis det har et højt nok overfladeareal, hvilket først er når partiklerne mindre end 5  $\mu\text{m}$ , jf. [Moosberg-Bustnes, Lagerblad og Forssberg 2002].

## 2.10 Korrosion af betonarmering

I mange betonkonstruktioner anvendes armering til at styrke beton, når den udsættes for trækspændinger. I miljøer hvor armeret beton er udsat for vand og fugt, vil armeringsstålet udsættes for korrosion. Korrosion er en elektrokemisk proces, som får et metal til at oxidere ifm. vand og ilt. Typisk bruges stål som betonarmering, altså jern, Fe. Den kemiske reaktion, når jern korroderer, består af flere delprocesser, men kan kort beskrives som:



Denne proces tager på jernet, og omdanner det til et restprodukt, rust  $\text{Fe(OH)}_3$ . Den første delproces i korrosion kan opdeles i to selvstændige processer, hhv. anode- og katodeproces.

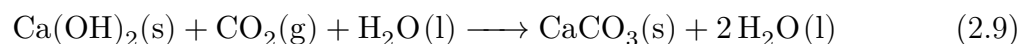
Anode:



Katode:



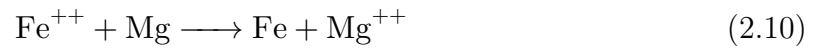
Armeringsjernet i en beton kan enten være i en aktiv eller passiv tilstand. Dette afhænger af pH-miljøet og metallens termodynamiske potentiale. Denne sammenhæng angives ofte i et Pourbaix-diagram. Da jern har et normalpotentiale på ca. -0,44V, vil en pH-værdi på ca 9 være grænsen mellem aktiv og passiv tilstand for stål. Er pH-værdien under 9, vil jern være i aktiv tilstand og dermed kraftigt korroderer. Omvendt vil jernet i passiv tilstand danne et beskyttende lag, som får korrosionen til at forløbe meget langsomt, jf. [Hansen 2015]. Dette lag kan dog blive nedbrudt ved karbonatisering. Dette sker, når calciumhydroxid reagerer med kuldioxid under fugtige forhold, og danner calciumcarbonat og vand:



Når der tages på  $\text{Ca(OH)}_2$ -indholdet, falder pH-miljøet i betonen indtil, det er ca. 7, hvorefter armeringsjernet beskyttende lag nedbrydes, og korrosionen tiltager, jf. [A. Nielsen 1978]. Risikoen for karbonatisering kan nedsættes med en tæt beton, og dermed med et lavere v/c-forhold, jf. [Aalborg Portland 2010].

Til at udskyde korrosion af jern findes der et fænomen kaldet katodisk beskyttelse. Dette foregår ved at erstatte Fe-metallet i anodeprocessen, ligning 2.7, med et andet

metal. Disse metaller kaldes for offeranoder, og gælder de metaller, der ligger højere i spændingsrækken end jern, dvs. magnesium, aluminium, zink og krom, jf. [Hansen 2015]. En offeranodereaktion med f.eks. magnesium forløber således:





# KAPITEL 3

## Metoder og materialer

Dette afsnit gennemgår kort de metoder og materialer, der er blevet brugt til udarbejdelsen af projektets resultater. Der er lavet laboratorieforsøg til at beskrive de karakteristiske egenskaber af to slags mineaffald, nemlig Zinkgruvan og Raajärvi. Forsøgene er ligeledes foretaget på cement og sand. Derudover er der udført undersøgelser af forskellige mørtelprøvers egenskaber i støberiet i bygning 119 på DTU. Mørtelprøverne består af referenceprøver, samt prøver med hhv. 5 % og 10 % cementerstatning af hver mineaffaldsprodukt i både sigtet og usigtet tilstand. Der henvises til forsøgsvejledningerne i bilag A for en mere detaljeret beskrivelse.

### 3.1 Oversigt over forsøg

De eksperimentelle metoder deles op i karakteristik af mineaffald og karakteristik af mørtel. Oversigten over udførte forsøg kan ses i tabel 3.1 og tabel 3.2.

Tabel 3.1: Oversigt over karakteristikker af mineaffald, cement og sand.

	Zinkgruvan	Raajärvi	Basis cement	Søsand 0-4mm
Carbonat indhold	x	x	x	x
Glødetab	x	x	x	x
Kornstørrelsesfordeling	x	x	x	x
Oplukning	x	x	x	x
Partiklers densitet	x	x	x	x
pH	x	x	x	x
Vandindhold	x	x	x	x
XRD-analyse	x	x		
	Zinkgruvan (<250µm)	Raajärvi (<250µm)	Zinkgruvan (>250µm)	Raajärvi (>250µm)
XRD-analyse	x	x	x	x
Kornstørrelsesfordeling	x	x	x	x

Tabel 3.2: Oversigt over karakteristikkere af mørtelblandinger.

	<b>REF</b>	<b>5 % C-Z</b>	<b>10 % C-Z</b>	<b>5 % C-R</b>	<b>10 % C-R</b>
Afbindingsforløb	x	x	x	x	x
Bearbejdelighed	x	x	x	x	x
Porøsitet og densitet	x	x	x	x	x
Trykstyrke (7-døgn)	x	x	x	x	x
Trykstyrke (14-døgn)	x	x	x	x	x
Trykstyrke (28-døgn)	x	x	x	x	x
	<b>5 % C-Zs</b>	<b>10 % C-Zs</b>	<b>5 % C-Rs</b>	<b>10 % C-Rs</b>	
Afbindingsforløb					
Bearbejdelighed					
Porøsitet og densitet					
Trykstyrke (7-døgn)	x	x	x	x	
Trykstyrke (14-døgn)	x	x	x	x	
Trykstyrke (28-døgn)	x	x	x	x	

## 3.2 Oversigt over støbninger

I tabel 3.3 ses et støbeskema, som skal danne et overblik over de støbninger, der er udført under projektføreløbet. Heraf fremgår bl.a. tidsplanen for støbningerne. I skemaet er kun medtaget de støbninger, der er blevet brugt til resultatbehandlingen. Nogle støbninger er blevet kasseret, og er ikke medtaget i projektets resultatbehandling, men er vedlagt i bilag B.14 med en begrundelse af, hvorfor de er blevet kasseret.

Tabel 3.3: Støbeskema.

#	Støbedato	Blanding	Hærdningstid [døgn]	Mixer	Vibratorbord	Forsøg
1	9. mar	REF	28	Toni	Stort	Porøsitet og densitet
2	9. mar	5 % C-Z	28	Toni	Stort	Porøsitet og densitet
3	9. mar	10 % C-Z	28	Toni	Stort	Porøsitet og densitet
4	9. mar	5 % C-R	28	Toni	Stort	Porøsitet og densitet
5	9. mar	10 % C-R	28	Toni	Stort	Porøsitet og densitet
6	16. mar	5 % C-Z	7	Toni	Stort	Trykstyrke
7	16. mar	5 % C-Z	14	Toni	Stort	Trykstyrke
8	21. mar	10 % C-Z	28	Toni	Stort	Trykstyrke
9	21. mar	5 % C-R	28	Toni	Stort	Trykstyrke
10	28. mar	10 % C-Z	7	Toni	Stort	Trykstyrke
11	28. mar	5 % C-R	7	Toni	Stort	Trykstyrke
12	28. mar	10 % C-R	7	Toni	Stort	Trykstyrke
13	30. mar	REF	7	Toni	Stort	Trykstyrke
14	30. mar	REF	14	Toni	Stort	Trykstyrke
15	30. mar	REF	28	Toni	Stort	Trykstyrke
16	11. apr	10 % C-Z	14	Toni	Stort	Trykstyrke
17	11. apr	5 % C-R	14	Toni	Stort	Trykstyrke
18	11. apr	10 % C-R	14	Toni	Stort	Trykstyrke
19	27. apr	5 % C-Z	28	Toni	Stort	Trykstyrke
20	27. apr	10 % C-R	28	Toni	Stort	Trykstyrke

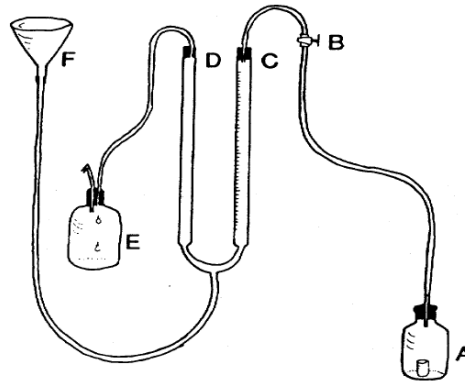
#	Støbedato	Blanding	Hærdningstid [døgn]	Mixer	Vibrator- bord	Forsøg
21	27. apr	5 % C-Zs	28	Toni	Stort	Trykstyrke
22	27. apr	10 % C-Zs	28	Toni	Stort	Trykstyrke
23	27. apr	5 % C-Rs	28	Toni	Stort	Trykstyrke
24	27. apr	10 % C-Rs	28	Toni	Stort	Trykstyrke
25	4. maj	5 % C-Zs	7	Toni	Stort	Trykstyrke
26	4. maj	10 % C-Zs	7	Toni	Stort	Trykstyrke
27	4. maj	5 % C-Rs	7	Toni	Stort	Trykstyrke
28	4. maj	10 % C-Rs	7	Toni	Stort	Trykstyrke
29	11. maj	5 % C-Zs	14	Toni	Stort	Trykstyrke
30	11. maj	10 % C-Zs	14	Toni	Stort	Trykstyrke
31	11. maj	5 % C-Rs	14	Toni	Stort	Trykstyrke
32	11. maj	10 % C-Rs	14	Toni	Stort	Trykstyrke

## 3.3 Karakteristik af mineaffald

I dette afsnit beskrives fremgangsmetoderne til de laboratorieforsøg, der er udført for at bestemme mineaffaldets karakteristiske egenskaber. Her er der lavet forsøg til at bestemme carbonatindhold, glødetab, kornstørrelsesfordeling, metalindhold, korndensitet, pH-værdi, vandindhold og mineralogi.

### 3.3.1 Carbonat indhold

Carbonatindholdet i både mineaffald, cement og sand bestemmes ved at lade prøvematerialerne reagere med fortyndet saltsyre 10%. Hermed sker en reaktion, se ligning 2.3 og 2.4, og et Scheibler apparat, vist på figur 3.1, kan måle mængden af omdannet  $\text{CO}_2$ .



Figur 3.1: Principskitse af Scheibler apparat. A: reaktionsflaske, B: hane, C & D: glasrør med inddelinger, E: overløbskolbe, F: glasstragt.

På baggrund af en standardkurve lavet på reaktionen mellem saltsyre og ren  $\text{CaCO}_3$ , sammenholdes mængderne af omdannet  $\text{CO}_2$ . Hermed kan mængden af calciumcarbonat bestemmes ved:

$$\text{CaCO}_3\% = \frac{A \cdot 100}{B} \quad (3.1)$$

hvor

- $A$  er masse af  $\text{CaCO}_3$  aflæst på standardkurve [g]
- $B$  er masse afvejet mineaffald [g]

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.1.

### 3.3.2 Glødetab

Ved at måle glødetabet kan indholdet af organisk materiale og  $\text{CO}_2$ -fordampning bestemmes ved at det varmes ved hhv.  $550^\circ\text{C}$  og  $950^\circ\text{C}$ , jf. [DS/EN 196-2 2013]. Glødetabet

bestemmes ved:

$$GT = \frac{m_b - m_a}{m_b} \quad (3.2)$$

hvor

- $GT$  er glødetabet [%]
- $m_b$  er masse før ovn [g]
- $m_a$  er masse efter ovn [g]

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.2.

### 3.3.3 Kornstørrelsesfordeling ved laserdiffraktometer

Kornstørrelsesfordelingen ved en laserdiffraktion udføres af en laborant, da det kræver en hvis viden at anvende et Laserdiffraktometer. Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.3.

### 3.3.4 Oplukning til bestemmelse af metaller

Indholdet af tungmetaller bestemmes ved et oplukningsforsøg. Her blander man tørt prøvemateriale med (1:1)  $\text{HNO}_3$ , som opvarmes. Efter nedkøling filtreres prøverne og fortyndes med destilleret vand. Væsken sendes til ICP-måling, som foretages af en laborant. Rådata sendes retur efter måling, hvor fortyndingsfaktor er inkorporeret. Prøvernes metal koncentration er givet i mg/L og omregnes til mg/kg:

$$mg/kg = \frac{A \cdot 0,100L}{B \cdot 10^{-3}kg/gjord} \quad (3.3)$$

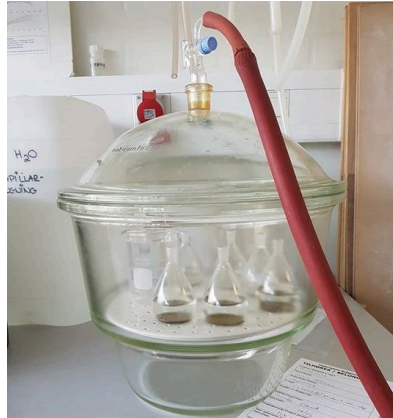
hvor

- $A$  er prøvernes metal koncentration [mL/L = ppm]
- $B$  er masse af jord afvejet [g]

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.4.

### 3.3.5 Partiklers densitet

Korndensiteten bestemmes ved et pyknometerforsøg. Tørt prøvemateriale kommer i tørre pyknometerglas sammen med destilleret vand. Glassene kommer i eksikator med vakuumsug i 30 min, hvor trykket ikke må komme under 31 bar (ellers koger vandet). Forsøgsopstilling ses på figur 3.2.



Figur 3.2: Pyknometerglas med indhold af mineaffald og destilleret vand i eksikator.

Dette udføres en gang til senere på dagen og endnu engang dagen efter. Efter sidste vakuumsug fyldes pyknometerne helt op med vand, og pyknometer vejes. Data om masse og volumen af pyknometer samt pyknometer + vand fås af laborant. Mineaffaldets korndensitet findes som:

$$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w,1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w,3}}} \quad (3.4)$$

hvor

- $\rho_s$  Korndensitet af jord [ $g/cm^3$ ]
- $\rho_{w,1}$  Densitet af vand ved  $m_1$  [ $g/cm^3$ ]
- $\rho_{w,3}$  Densitet af vand ved  $m_3$  [ $g/cm^3$ ]
- $m_0$  er masse af pyknometer med prop [g]
- $m_1$  er masse af vandfyldt pyknometer med prop [g]
- $m_2$  er masse af jord og pyknometer med prop [g]
- $m_3$  er masse af jord, pyknometer med prop og vand [g]
- $m_4$  er jordens masse [g]

Udregningerne udføres i excelark "korndensitet ARTEK.xlsx" modtaget fra laborant. Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.5.

### 3.3.6 pH 1 M KCl opslemning

pH værdien bestemmes ved at tilsætte 12,5 mL 1 M KCl i vials med 5 g tør mineaffald. Prøverne rystes ved 150 omdrejninger i minuttet i en time. Herefter sedimenteres de i 10 minutter, og pH'en måles på pH-meter, se figur 3.3.



Figur 3.3: Forsøgsopstilling af pH-meter.

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.6.

### 3.3.7 Vandindhold

Vandindholdet bestemmes ved, at materialeprøver kommes i varmeskab på 105 °C i min. ét døgn. Vandindholdet bestemmes således:

$$w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \cdot 100\% \quad (3.5)$$

hvor

- $w$  er vandindholdet [%]
- $m_w$  er masse af våd prøve [g]
- $m_d$  er masse af tør prøve [g]

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.7.

### 3.3.8 XRD-analyse

En XRD-analyse kan bruges til at identificere mineraler i et materiale. Mineaffald knuses med en morder til, det er helt fint. Herefter sendes prøverne til XRD-scanning, udført af en laborant. Databehandlingen foretages i et program kaldet HighScore. Fremgangsmetoden for databehandlingen i programmet følger forsøgsvejledningen i bilag A.8. Notation af mineraler i XRD-graf er udført ved brug af paint-program.

## 3.4 Karakteristik af mørtelblandinger

I dette afsnit beskrives de forsøg, der er udført til at karakterisere mørtelblandinger med delvis cementerstatning. Udover blanding og støbning af mørtel er mørtelblandingerne blevet testet for afbindingstid, bearbejdelighed, porøsitet, densitet og trykstyrke.



## 3.4.1 Støbning af mørtelprøver

### 3.4.1.1 Blanding af mørtel

Til blanding af mørtelprøver er der brugt basis cement (se sektion 2.2), tørret søsand (0-4 mm), destilleret vand og mineaffald fra minerne Zinkgruvan eller Raajärvi. Sandet og mineaffald er tørret ved hhv. 105 °C og 50 °C i minimum 24 timer. Til blanding anvendes mixer fra TONINDUSTRIE (se figur 3.4) til at blande med.



Figur 3.4: Mixer fra TONINDUSTRIE.

Blandingsforholdene til referenceprøver er bestemt jf. [DS/EN 196-1 2005]. Derefter er der lavet prøver med 5% og 10% cementerstatning. Blandingsforholdene ses i tabel 3.4.

Tabel 3.4: Blandingsforhold til mørtelprøver. Alle mængder er angivet i gram. Samme blandingsforhold gælder for de sigtede prøver.

	REF	5% C-Z	10% C-Z	5% C-R	10% C-R
<b>Cement</b>	450	427,5	405	427,5	405
<b>Sand</b>	1350	1350	1350	1350	1350
<b>Vand</b>	225	225	225	225	225
<b>Mineaffald</b>	0	22,5	45	22,5	45

### Fremgangsmetode for blandingsproces

- Vand tilsættes cement (og mineaffald) til tiden 0 sek og der røres ved lav hastighed i 30 sek (00:30).
- Sand tilsættes lidt efter lidt over 30 sek (01:00).

- Der skiftes til høj hastighed i 30 sek (01:30).
- Mixeren slukkes i 90 sek, hvor de første 30 sek bruges til at skrabe mørtel ned fra siderne (03:00).
- Mixeren startes igen på høj hastighed i 60 sek (04:00).
- Herefter er mørtlen færdigblandet.

### 3.4.1.2 Støbning

Til støbning af mørtelprøver bruges støbeforme af mål 40mm x 40mm x 160mm, se figur 3.6. Disse smøres med formolie inden blanding. Støbningensprocessen startes umiddelbart direkte efter blanding af mørtel. Formene fyldes halvt med mørtel, og vibreres på stort vibratorbord (figur 3.5) ved ca. 50 Hz i 20 sek.



Figur 3.5: Vibratorbord.



Figur 3.6: Støbeforme.

Herefter fyldes formene helt op og vibreres yderligere 20 sek, mens der afrettes med afretteren. Formene dækkes med plastik og tørres natten over. Efter ca. 24 timer afformes mørtelprøverne og opbevares i kasser med vand. Prøverne skal være totalt afdækket med vand indtil, de skal testes. Dette er for at give mørtelprøverne ens og optimale hærdeforhold. Vandbeholder med mørtelprøver stilles i klimarum ved konstant temperatur, så temperaturen ikke spiller en faktor til hærtningsprocessen.

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.9.

### 3.4.2 Afbindingsforløb

Til at måle afbindingsforløbet af mørtel anvendes en Vicatonic (se figur 3.7). Inden maskinen benyttes skal den kalibreres i forhold til den plastikbeholder mørtlen ”støbes” i. Efter kalibrering blandes en portion mørtel jf. sektion 3.4.1.1, som fyldes i plastikbeholderen, op til 40 mm afmærkning. Mørtlen skal have en så jævn overflade som muligt. Herefter sættes mørtlen til måling på Vicatonicmaskine. Resultatet hentes næste dag og printes ud på kvitteringspapir.



Figur 3.7: Vicatronic.

Databehandlingen foregår ved at lave en punktdiagram med tiden [min] hen ad x-aksen og penetrationen [mm] hen ad y-aksen. Den indledende afbindingstid findes ved det første punkt, hvor afstanden mellem nål og bund er  $\geq 6 \pm 3$  mm. Den endelige afbindingstid findes ved det første punkt, hvor nålen stopper 0,5 mm fra den højst målte afstand til bunden. Denne metode anvendes jf. [DS/EN 196-3 2009].

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.10.

### 3.4.3 Bearbejdelighed

En portion mørtel blandes jf. sektion 3.4.1.1. Mørtelblandingen fyldes halvt op i en kegleformet form, se figur 3.8, placeret på et flydebord. Formen har en højde på 40 mm og en indvendig diameter på 100 mm. Herefter komprimeres mørtelen med 10 slag med en tamper. Igen fyldes formen, denne gang helt op med top på, og komprimeres igen med 10 slag med tamperen. Toppen afrettes til med afretter, så der er en jævn overflade.



Figur 3.8: Flydebord med hhv. kegleform, tamper og afretter.

Flydebordets håndtag trækkes rundt 15 gange, og herefter måles flydesæt målet, altså mørtelens diameter, to steder. Dette gentages med en helt ny mørtelblandingen. Flydesæt målet bestemmes som gennemsnittet af de i alt 4 målinger.

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.11.

### 3.4.4 Porøsitet og densitet

Der støbes fem typer mørtelblandinger i form af af tre prismer, angivet i tabel 3.4, iht. section 3.4.1.2. Prøverne hærdes i 28 døgn. Herefter sættes de i varmeskab ved 50 °C i yderligere 21 døgn, så prøverne er helt tørre.

De tørre prøver vejes, og kommer herefter i vakuumsug i eksikator. Efter nogle timer ledes destilleret vand ind i eksikatoren vha. undertryk. Når prøverne er dækket med vand, lukkes eksikatoren og efterlades i en times tid. Herefter åbnes for eksikator og lades stå natten over.

Dagen efter vejes prøverne først under vand og derefter over vand. Ved sidstnævnte duppes prøverne af med en hårdt, opvredet klud. Porøsiteten og tørdensiteten af mørtelprøverne kan bestemmes ved hhv.:

$$P_a = \frac{m_{ssd} - m_{50}}{m_{ssd} - m_{sw}} \quad (3.6)$$

$$\rho_d = \frac{m_{50} \cdot \rho_w}{m_{ssd} - m_{sw}} \quad (3.7)$$

hvor

- $P_a$  porøsiteten [ $m^3/m^3$ ]
- $\rho_d$  er tørdensiteten [ $kg/m^3$ ]
- $\rho_w$  er vands densitet ved stuetemperatur [ $kg/m^3$ ]
- $m_{50}$  er masse af tørret prøve ved 50 °C [g]
- $m_{ssd}$  er masse af våd prøve over vand [g]
- $m_{sw}$  er masse af våd prøve under vand [g]

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.12.

### 3.4.5 Trykstyrke

Der støbes fem typer mørtelblandinger i form af af tre prismer, angivet i tabel 3.4, iht. section 3.4.1.2. Prøverne hærdes i enten 7, 14 eller 28 døgn, alt efter hvor i hærdningsforløbet man ønsker at teste styrken.

Før tryktesten måles alle mørtelprøver med en skydelære, 3 x højde, 3 x bredde og 2 x længde. Derudover vejes prøverne også, således at man sikrer, at densiteten for de tre ens mørtelprøver ikke afviger for meget fra hinanden. Hver mørtelprøve indeholder tre glatte overflader samt en ujævn overflade, altså den afrettede overflade under støbningsprocessen. For at få de bedst mulige trykstyrkeresultater trykkes prøverne på

de to glatte overflader. Bredden af mørtelprøverne skal derfor være afstanden fra den ujævne overflade til den modstående overflade. Tryktesten foretages med Toni 3000, og brudstyrken aflæses i [kN]. Forsøgsopstillingen kan ses på figur 3.9.



Figur 3.9: Forsøgsopstilling til tryktest.

Alle mørtelprøver testes i hver ende. Trykstyrken beregnes som kraften ved brud divideret med kontaktfladen mellem stålplade og mørtelprøve. Stålpladens bredde er 40 mm.

$$f_c = \frac{P_{max}}{B_{plade} \cdot B_{prøve}} \quad (3.8)$$

hvor

- $f_c$  er trykstyrken ved brud [MPa]
- $P_{max}$  er brudstyrken [N]
- $B_{plade}$  er bredden af stålpladerne [mm]
- $B_{prøve}$  er bredden af mørtelprøve [mm]

Den endelige trykstyrke findes jf. [DS/EN 196-1 2005]. For hver mørtelblanding fås seks resultater, og de resultater der falder uden for intervallet af gennemsnittet af seks prøver  $\pm 10\%$  skal kasseres. Den endelige trykstyrke findes ved gennemsnit af de resterende resultater. Hvis mere end to resultater kasseres laves hele mørtelblanding om.

Der henvises til forsøgsvejledningen i bilag A.13.

### 3.4.6 Støbning af farveprøver

Der støbes en prøve med 10% mineaffald som cementerstatning. Prøverne støbes i specielle træforme beregnet til farveprøver, se figur 3.10.



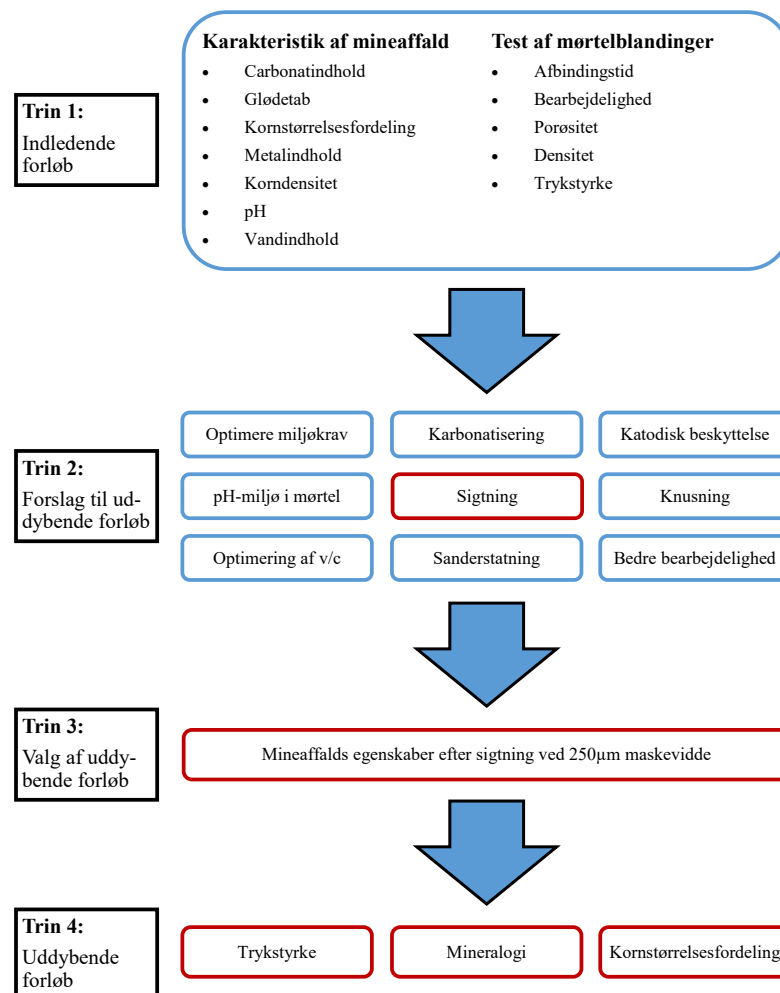
Figur 3.10: Form til farveprøver.

For at illustrere mørtelprøvernes ru og glatte overflade, indlægges en skabelon af grundpapir i bunden af formen, efter at formedelene er skruet fra hinanden. Herefter samles formen igen og er klar til støbning. Støbeprocessen foregår som beskrevet i sektion 3.4.1.2, og prøverne afformes dagen efter.

# KAPITEL 4

## Resultater og diskussion

Dette afsnit gennemgår resultater, der er fundet via de tidligere nævnte metoder. Indledende resultaterne bliver præsenteret og diskuteret, hvorefter uddybende undersøgelser foretages og diskuteres på ny. Afsnittet er bygget op, således at resultater og diskussion behandles i samme undersektion. Figur 4.1 skal illustrere projektføreløbet, og de valg der er taget i projektet. Processen er delt ind i 4 trin.



Figur 4.1: Diagram over projektføreløbet, trin for trin. Rød farve markerer valg af undersøgelser til uddybende forløb.

Det er antaget, at betons fysiske egenskaber kan testes på mørtelprøver, altså uden tilsætning af større aggregater. Dette er gjort, fordi det er mørteldelen i en beton, der styrer hydratiseringsforløbet, bearbejdelighed og styrkeegenskaberne.

Resultater af mørtelprøver skal dog tages lidt med forbehold, da det ikke har været muligt at støbe mørtelprøver under total kontrollerede forhold. Temperaturforhold, fugtighedsforhold og hærdeforhold har ikke været muligt at kontrollere. F.eks. har nogle mørtelprøver været flyttet fra arbejdsrum til et klimarum under hydratiseringsforløbet, hvor de kom i nye kasser, og nogle med nyt vand. Derudover kan støbningsudførelsen meget vel have ændret sig gennem projektforløbet i takt med, at en mere rutineret støbeerfaring etableres.

## 4.1 Trin 1: Indledende forløb

Den indledende fase består af forsøg, som har været interessante at lave ift. at karakterisere de fysiske og kemiske egenskaber hos de to mineaffaldsprodukter, samt deres influens på mørtelblandinger, når de anvendes til cementerstatning. De fleste forsøg i denne fase er blevet udvalgt på baggrund af standartundersøgelser til karakterisering af flyveaske, beskrevet i [DS/EN 450-1 2012].

### 4.1.1 Karakteristik af mineaffald

I den indledende fase er Zinggruvan og Raajärvi karakteriseret på baggrund af undersøgelser af carbonatindhold, glødetab (ved 550 °C og 950 °C), korndensitet, pH-værdi, vandindhold, metalindhold og kornstørrelsesfordeling. Disse egenskaber er gode at kende ift. analyse af mineaffalds påvirkning af mørtelprøver. Desuden skal mineaffald leve op til nogle miljømæssige krav for at blive godkendt som bygningsmateriale. Til sammenligning er tilsvarende forsøg lavet på Basis cement fra Aalborg portland og almindeligt søsand 0-4mm.

#### Carbonatindhold, glødetab, korndensitet, pH og vandindhold

I tabel 4.1 ses resultater for carbonatindhold, glødetab, korndensitet, pH og vandindhold for hhv. Zinkgruvan, Raajärvi, Basis cement og søsand.



Tabel 4.1: Tabel over resultater for forsøg med carbonatindhold, glødetab, korndensitet, pH og vandindhold.

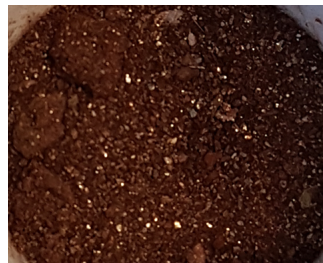
Forsøg	Zinkgruvan	Raajärvi	Basis cement	Søsand
<b>Carbonatindhold [%]</b>	12,7 ± 0,1	1,5 ± 0,6	17,5 ± 0,9	7,2 ± 0,3
<b>Glødetab ved 550 °C [%]</b>	0,5 ± 0,0	2,9 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,4 ± 0,1
<b>Glødetab ved 950 °C [%]</b>	6,1 ± 0,2	6,1 ± 0,1	6,2 ± 0,0	3,4 ± 0,5
<b>Korndensitet [kg/m<sup>3</sup>]</b>	2788,1 ± 47,3	2788,3 ± 28,3	3527,1 ± 22,1	2598,9 ± 24,5
<b>pH [-]</b>	8,4 ± 0,0	3,0 ± 0,0	12,5 ± 0,0	9,7 ± 0,1
<b>Vandindhold [%]</b>	9,9 ± 0,2	25,5 ± 0,8	0,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2

Det ses, at carbonatindholdet, i form af calciumcarbonat, er højt i Zinkgruvan ift. Raajärvi. Dette stemmer overens med, at et af hovedminerallerne i Zinkgruvan er calciumcarbonat eller calcit,  $\text{CaCO}_3$ , som beskrevet i sektion 2.1. Raajärvis lave indhold af calciumcarbonat stemmer overens med den udleverede mineralogi, se bilag C, hvor indholdet af "calcite" er oplyst til 1,95%. Nogle studier mener, at calciumcarbonat kan forbedre nogle egenskaber ved beton, heriblandt styrkeudviklingen. Dette er dog på nuværende tidspunkt ikke anerkendt i de danske betonnormer, som beskrevet i [Jørgensen 2017].

Glødetabet ved 550 °C angiver mængden af organisk materiale, hvoraf det ses, at mængden af organisk materiale i Raajärvi er relativt højt i forhold til de andre materialer. Det ses tydeligt på den visuelle farveændring, se figur 4.2 og figur 4.3, at grøn-/gulligt materiale nedbrydes under høj varme i 550 °C ovn.



Figur 4.2: Raajärvi tørret ved 50 °C.



Figur 4.3: Raajärvi efter 1 time i 550 °C ovn.

Ved afbrænding af materiale ved en temperatur på 950 °C udskilles  $\text{CO}_2$ , se reaktionsligning 2.5. Forskellen i glødetabet ved 550 °C og 950 °C må derfor angive mængden af

udskilt  $\text{CO}_2$ . Ud fra reaktionsligning 2.5 kan den teoretiske mængde af udskilt  $\text{CO}_2$  bestemmes. Dette er gjort i tabel 4.2, hvor den teoretiske værdi er beregnet på baggrund af calciumcarbonatindholdet, fundet ved carbonatindholdsforsøg i tabel 4.1.

Tabel 4.2: Tabel over teoretisk og praktisk mængde af udskilt  $\text{CO}_2$ , ved afbrænding af  $\text{CaCO}_3$  ved  $950^\circ\text{C}$ .

	Zinkgruvan	Raajärvi	Basis cement	Søsand
Udskilt $\text{CO}_2$ teoretisk værdi [%]	5,58	0,66	7,70	3,17
Udskilt $\text{CO}_2$ ved glødetab [%]	5,6	3,1	5,2	3,0
Afvigelse ift. teoretisk værdi [%]	+0,3	+372,9	-32,2	-5,3

For Zinkgruvan og søsand ses en tydelig sammenhæng mellem resultaterne fra glødetabet og carbonatindholdet, idet resultaterne stemmer overens med de teoretiske værdier. Grunden til, at det ikke stemmer overens for basis cement kan skyldes, at der dannes  $\text{CO}_2$  under carbonatforsøget, se reaktionsligning 2.3 og 2.4. Det kan derfor ske, at noget af det brændte kalkprodukt i cementen,  $\text{CaO}$ , reagerer med  $\text{CO}_2$  og producere ekstra  $\text{CaCO}_3$ . Derfor kan den teoretiske værdi for udskilt  $\text{CO}_2$  i tabel 4.2 muligvis være baseret på et forkert  $\text{CaCO}_3$ -indhold. For Raajärvi ses, at udskillelsen af  $\text{CO}_2$  ved glødetab afviger meget fra den teoretiske værdi. Det kan bl.a. skyldes, at Raajärvi også indeholder andre mineraler end calcit, som f.eks. dolomit, der muligvis også udskiller  $\text{CO}_2$  ved høje temperature. Iht. [DS/EN 450-1 2012] kan glødetabet for søsand kategoriseres som Kategori A, mens det for Zinkgruvan, Raajärvi og basis cement skal kategoriseres som Kategori B.

Korndensiteten for Zinkgruvan og Raajärvi er meget tæt på identiske. Jf. [Malmström, Hedström og Syme 2008] er korndensiteten for Zinkgruvan bestemt til  $2860 \text{ kg/m}^3$ , hvilket næsten stemmer overens med resultatet i tabel 4.1. Korndensiteten for sand stemmer også overens med tabelværdi jf. [A. Nielsen 1992]. Derimod afviger den fundne korndensiteten for basis cement i forhold til dén, angivet i [Aalborg Portland 2010] på  $3100 \text{ kg/m}^3$ . Dette kan muligvis skyldes nogle ukontrollerede forhold af trykket og temperaturen i vandet under forsøget, hvilket har en effekt på vandets densitet. Med udgangspunkt i de  $3100 \text{ kg/m}^3$  medfører forskellen i korndensitet mellem mineaffald og cement, at mørtelprøvers densitet burde falde, når mineaffald bruges som cementerstatning.

pH-værdien for mineaffaldsprodukterne er generelt lavere end pHen for cement (og sand), og bidrager derfor ikke positivt til korrosionsmiljøet i en mørtelblanding. Især Raajävi har en lav pH.

Begge mineaffaldsprodukter har et højt vandindhold, især Raajärvi. Det er derfor vigtigt at tørre mineaffaldet, inden det bruges som cementerstatning i mørtelblanding for

nemmere at kontrollere v/c-forholdet. For ikke at ødelægge strukturen af mineaffaldsprodukterne tørres de kun ved 50 °C inden brug. Derfor er vandindholdet også undersøgt i varmeskab ved 50 °C. I tabel 4.3 sammenlignes vandindholdet ved 50 °C og 105 °C.

Tabel 4.3: Tabel over vandindhold ved 50 °C og 105 °C.

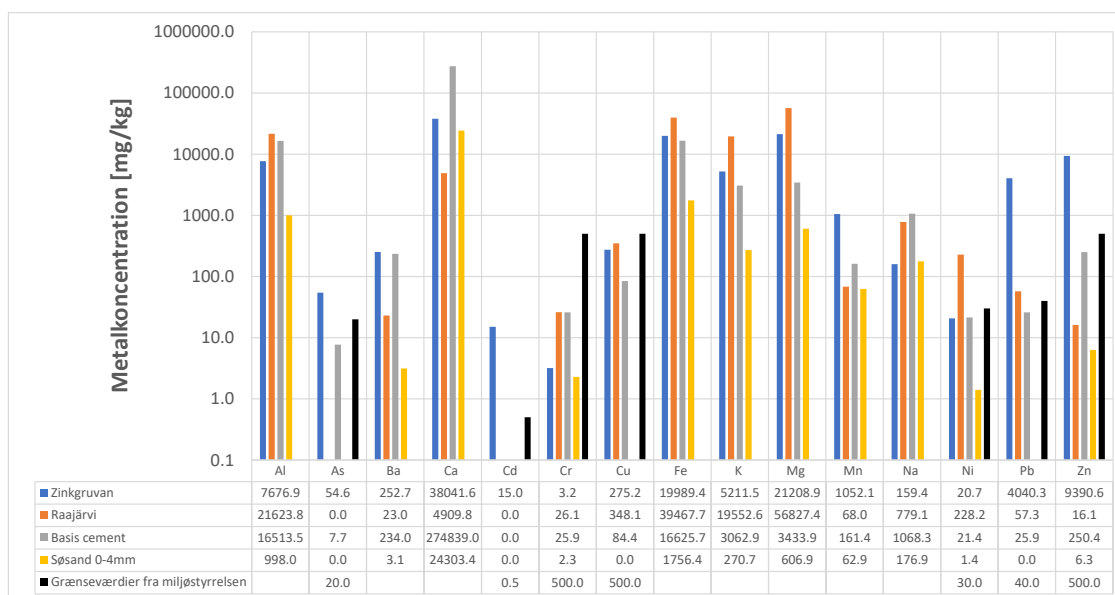
	Zinkgruvan	Raajärvi
<b>Vandindhold ved 50 °C [%]</b>	9,3 ± 0,4	26,4 ± 1,3
<b>Vandindhold ved 105 °C [%]</b>	9,9 ± 0,2	25,5 ± 0,8
<b>Forskel (<math>w_{105} - w_{50}</math>) [%]</b>	+ 0,6	- 0,9

Ud fra tabellen ses, at Zinkgruvan har en forskel på 0,6%, som altså er vand, der er tilbage efter det tørres ved 50 °C. Dette giver et vandoverskud på 0,14 g pr. 22,5 g mineaffald, hvilket er negligerbart. For Raajärvi findes et højere vandindhold ved 50 °C end for 105 °C, hvilket ikke var forventet, og skyldes sandsynligvis at vandindholdet kan variere fra prøve til prøve. Ud fra disse undersøgelser viser det sig at være OK at tørre mineaffaldsprodukterne ved 50 °C uden at tage højde for ekstra vandindhold.

Selvom vandindholdet i søsand ikke ser ud af meget, så er det også vigtigt at tørre sandet, inden det bruges i mørtel. Et vandindhold på 1,2% vil medføre 16 g for meget vand pr. mørtelblanding tilsat 1350 g sand. Det svarer til 7% vandoverskud, hvilket vil ændre på v/c-forholdet. Da vandindholdet i sand nemt kan variere, er det derfor vigtigt at bruge tørret sand til blanding af mørtel, for at få lige vilkår blandt mørtelblandingerne.

## Indhold af tungmetaller

Indholdet af metaller er blevet målt ved en ICP-analyse. Resultaterne fra ICP-analysen kan ses på figur 4.4. Der henvises til Bilag B.4 for rådata fra ICP-analyse. Metalindholdet er særdeles relevant ift. Miljøstyrelsens krav til tungmetaller i byggematerialer. De uønskede metaller er angivet i tabel 4.4. Tabellen giver desuden et overblik over metal-koncentrationerne for de relevante metaller sammenlignet med Miljøstyrelsens grænseværdier.



Figur 4.4: Søjlediagram over indhold af metaller i målt ved ICP-analyse. Metalkoncentrationen er vist i en logaritmisk skala. På den horisontale akse er metaller angivet. Der henvises til Bilag B.4 for standartafvigelses.

Tabel 4.4: Metalindhold samt grænseværdier iht. [Miljøstyrelsen 2014]. Alle værdier er angivet i  $[mg/kg]$ . UV står for unknown value. Tal markeret med fed skrift signalerer, de værdier der ligger uden for grænseværdier.

	Arsen	Bly	Cadium	Chrom	Kobber	Nikkel	Zink
Zinkgruvan	<b>54,6±8</b>	<b>4040±62</b>	<b>15±0</b>	3,2±0	275,2±3	20,7±1	<b>9390±93</b>
Raajärvi	UV	<b>2971±87</b>	UV	26,1±1	348,1±18	<b>228,2±7</b>	16,1±4
Basis cement	7,7±1	25,6±1	UV	25,9±2	84,4±5	21,4±1	250,4±17
Søsand	UV	UV	UV	2,3±1	UV	1,4±1	6,3±1
Jordkvalitetskriteriet*	0-20	0-40	0-0,5	0-500	0-500	0-30	0-500
Rådgivningsintervallet*	-	40-400	0,5-5	500-1000	500-1000	-	500-1000

\* Grænseværdier jf. [Miljøstyrelsen 2014].

Koncentrationen af arsen, bly, cadium og zink i Zinkgruvan, samt koncentrationen af bly og nikkel i Raajärvi, ligger uden for Jordkvalitetskriteriet og rådgivningsintervallet. Det betyder, at ingen af de to mineaffaldsprodukter må anvendes til byggeri ifm. bolig, børneinstitution, legepladser og private haver.

Ud fra figur 4.4 ses også en relation mellem koncentrationen af calcium i Zinkgruvan og Raajärvi og resultaterne fra forsøg med carbonatindhold, hvilket er forventet, da calcium optræder i calciumcarbonat.

Ser man på mineralogien af Raajärvi, se Bilag C, giver det god mening at metalkoncentrationen af magnesium, jern og aluminium er høje. I tabel 4.5 ses, hvilke metaller der optræder i de forskellige mineraler tilknyttet Raajärvi.

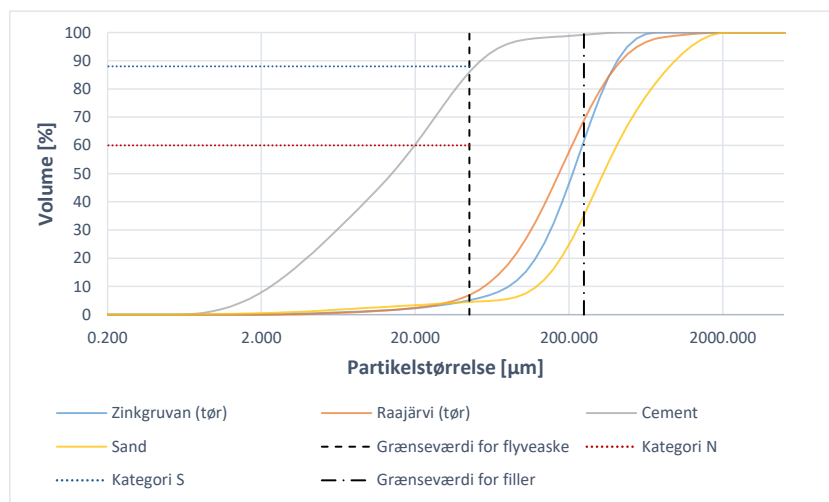
Tabel 4.5: Tabel over udvalgte metaller der optræder i udvalgte mineraler fra Raajärvi.

	% af Raajärvi	Mg	Fe	Al
<b>Sepertine</b>	18,3	x	x	x
<b>Tremolite</b>	12,6	x	x	
<b>Talc</b>	6,3	x		
<b>Dolomite</b>	4,6	x		
<b>Albite</b>	4,0			x
<b>Phlogopite</b>	3,5	x		x

Det høje indhold af magnesium og aluminium (og jern) i Raajärvi, og til dels Zinkgruvan, er interessant, da det er metaller, der ligger højt i spændingsrækken, og dermed umiddelbart kunne agere som katodisk beskyttelse. Det vil dog kræve, at mineralerne er i stand til at afgive metallerne i en offeranodeprocess uden at optage jernmetallet. Det kunne derfor undersøges, om mineaffaldsprodukterne kunne have en katodisk beskyttende effekt på betonarmering.

## Kornstørrelsesfordeling

Kornstørrelsesfordelingen af Zinkgruvan, Raajärvi, basis cement og sand er blevet målt ved laserdiffraktometer, og fordelingen kan ses på figur 4.5.

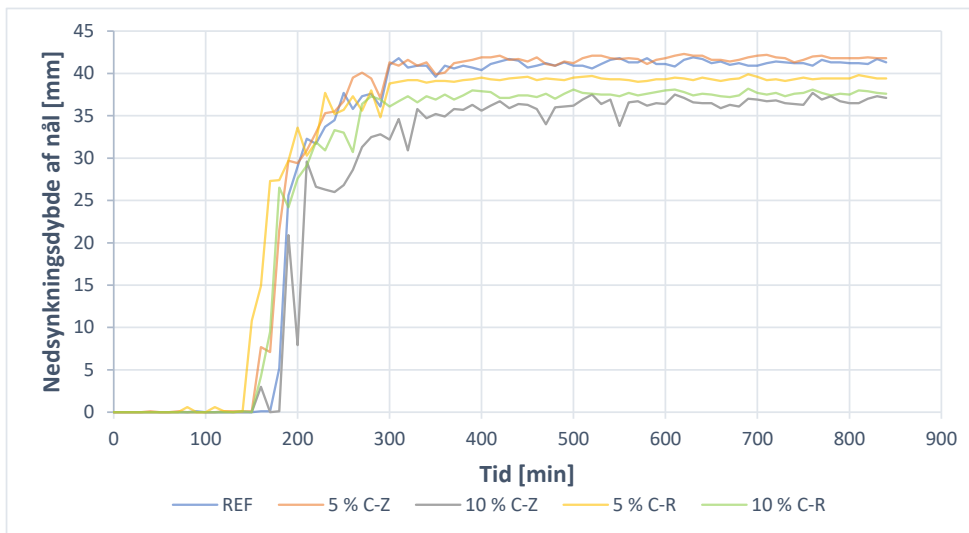


Figur 4.5: Kornkurve med afmærkning af grænseværdier for flyveaske (ved 45 µm), Kategori N og S iht. [DS/EN 450-1 2012] og for filler (ved 250 µm) iht. [Munch-Petersen 2013].

Det ses ud fra kornkurven, at både Zinkgruvan og Raajärvi er finere end søsand (0-4 mm), men har til gengæld meget store kornstørrelser ift. cement. Dette er ikke fordelagtigt for et cementerstattende materiale med henblik på trykstyrken af mørtel. Dette kan bl.a. resultere i en dårligere pakning, og dermed øge porøsiteten. Det ses også, at under 10% af kornstørrelserne for begge mineaffaldsprodukter ligger inderfor flyveaske grænseværdi, og kan derfor ikke klassificeres som en flyveaske. Dette er relevant at sammenligne, da netop flyveaske ofte bruges til delvis cementerstatning i beton. Altså er mineaffaldsprodukterne et mere grovkornet materiale, end hvad man typisk anvender til delvis erstatning af cement, hvilket også burde have en negativ effekt på trykstyrken. Det fremgår også af kornkurven, at Raajärvi har en breddere kornstørrelsesfordelingen end Zinkgruvan, hvilket kan resultere i en bedre pakning af Raajärvi, når det bruges i mørtel. Til sidst viser fordelingen, at 40% og 30% af kornstørrelserne for hhv. Zinkgruvan og Raajärvi ligger uden for fillergrænsen.

## 4.1.2 Afbindingstid

Afbindingsforløbet, målt med vicatronicudstyr, for REF, 5 % C-Z, 10 % C-Z, 5 % C-R og 10 % C-R, ses på figur 4.6.



Figur 4.6: Afbindingsforløb af mørtelprøver målt med vicatronicudstyr.

Jf. sektion 3.4.2, er den indledende afbindingstid bestemt for hver mørtelblanding, og angivet i tabel 4.6. Ligeledes er den endelige afbindingstid bestemt, og angivet i tabel 4.7. Den samme data er brugt som ved figur 4.6.

Tabel 4.6: Indledende afbindingstider for mørtelprøver.

Prøve	Indledende afbindingstid [min]	Afvigelse ift. REF [%]
<b>REF</b>	180	-
<b>5 % C-Z</b>	160	- 11,1
<b>10 % C-Z</b>	190	+ 5,6
<b>5 % C-R</b>	150	- 16,7
<b>10 % C-R</b>	160	- 11,1

Tabel 4.7: Afsluttende afbindingstider for mørtelprøver.

Prøve	Afsluttende afbindingstid [min]	Afvigelse ift. REF [%]
<b>REF</b>	310	-
<b>5 % C-Z</b>	400	+ 29,0
<b>10 % C-Z</b>	520	+ 67,7
<b>5 % C-R</b>	400	+ 29,0
<b>10 % C-R</b>	390	+ 25,8

Det ses ud fra figur 4.6, at 5% C-Z, 5% R-Z og 10% R-Z opnår en indledende afbindingstid før referenceprøven. Det kan altså tyde på, at der er tale om heterogen kimdannelse, ved tilsætning af Raajärvi og muligvis Zinkgruvan i en begrænset mængde. Dette er beskrevet i sektion 2.8, og kan medføre en højere styrke tidligt i styrkeudviklingen af mørtel.

Den afsluttende afbindingstid, for alle mørtelblandinger tilsat mineaffald, er noget længerevarende ift. REF. Dette skyldes højst sandsynligt, at v/c-forholdet øges, når cement erstattes med mineaffald, hvilket medfører en længerevarende afbinding, jf. [Thrysoe 2015].

Jf. [Aalborg Portland 2010] er afbindingstiden 2 timer og 45 minutter for en mørtelblanding med Basis cementen, hvor de samme standarter er brugt som i sektion 3.4.1.1 og 3.4.2 ([DS/EN 196-1 2005] og [DS/EN 196-3 2009]). Tabel 4.8 viser afbindingstiden fra indledende til afsluttende afbindingstid for de testede mørtelblandinger.

Tabel 4.8: Tid mellem indledende og afsluttende afbindingstider.

Prøve	Afbindingstid [time:min]	Afvigelse ift. REF [%]
<b>Basis cement*</b>	2:45	+ 26,9
<b>REF</b>	2:10	-
<b>5 % C-Z</b>	4:00	+ 84,6
<b>10 % C-Z</b>	5:30	+ 153,8
<b>5 % C-R</b>	4:10	+ 92,3
<b>10 % C-R</b>	3:50	+ 76,9

\* Afbindingstid jf. [Aalborg Portland 2010].

Det fremgår, at afbindingstiden for REF er noget kortere end forventet, hvilket kan skyldes kvaliteten af søsand, der er brugt til REF, 5 % C-Z, 10% C-Z, 5% C-R og 10% C-R. Hvis det brugte sand har en evne til at absorbere vand, vil det reelle v/c-forhold falde og dermed forkorte afbindingstiden. Det ses også, at afbindingstiden for 5 % C-Z, 10% C-Z og 5% C-R stiger med tilsætning af mineaffald. Tendensen følger dog ikke helt 10% C-R, hvilket kan indikere, at der ikke var den tilstrækkelige mængde mørtel i bægeret under vicatforsøget, hvilket kan have fremskudt den afsluttende afbindingstid. Dette fremgår af figur 4.6.

Det skal dog bemærkes, at der er en vis usikkerhed ved bestemmelsen af den afsluttende afbindingstid. Grundet en udartet overflade på mørtel ses u hensigtsmæssige udsving omkring de horisontale asymptoter på figur 4.6. Bliver disse udsving store sidst i testforløbet, kan det resultere i, at den afsluttende afbindingstid bliver aflæst "for sent" i forløbet. Det samme kan også være sket med REF, bare hvor et toppunkt er kommet meget tidligt i forløbet. Det er dog valgt at tage udgangspunkt i resultaterne, som følger retningslinjerne i [DS/EN 196-3 2009].

### 4.1.3 Bearbejdelighed

Bearbejdeligheden af mørtelblandingerne REF, 5% C-Z, 10% C-Z, 5% C-R og 10% C-R er angivet i form af et flydesætmål, som ses i tabel 4.9.

Tabel 4.9: Oversigt over flydesætmål.  $\Delta D$  er forskellen i diameter før og efter forsøg. Afvigelsen er baseret på forskel i  $\Delta D$ .

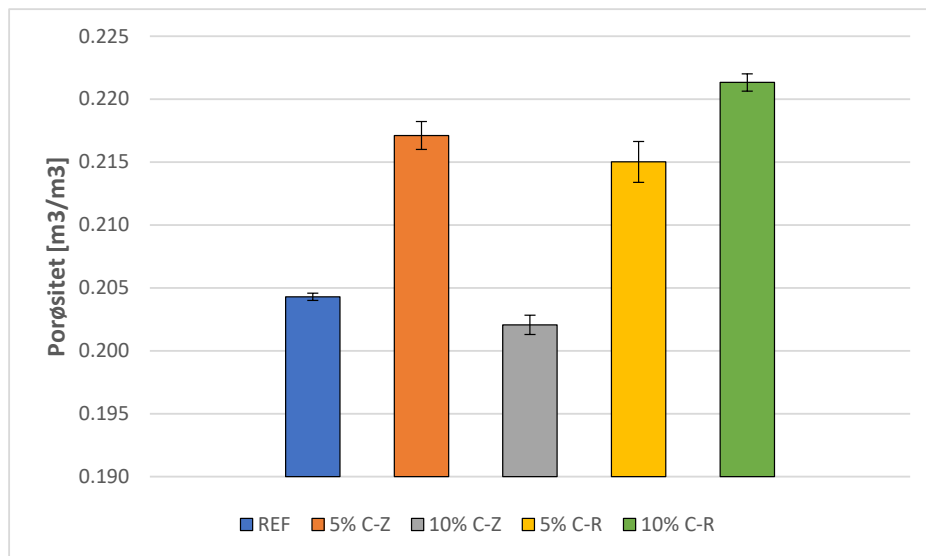
Prøve	Flydesætmål [mm]	$\Delta D$ [mm]	Afvigelse ift. REF [%]
<b>REF</b>	115,3 ± 2,1	15,3 ± 2,1	-
<b>5 % C-Z</b>	114,8 ± 3,8	14,8 ± 3,8	- 3,3
<b>10 % C-Z</b>	114,4 ± 1,8	14,4 ± 1,8	- 5,7
<b>5 % C-R</b>	116,9 ± 4,5	16,9 ± 4,5	+ 10,7
<b>10 % C-R</b>	116,5 ± 1,7	16,5 ± 1,7	+ 8,2

Det fremgår heraf, at bearbejdeligheden falder ved tilsætning af Zinkgruvan, hvorimod den stiger ved tilsætning af Raajärvi. Når dette er tilfældet, er det dog lidt bemærkelsesværdigt, at bearbejdeligheden for 5% C-R er større end 10% C-R. Men spredningen for 5% C-R er også meget stor, hvilket tyder på en stor usikkerhed ved netop det resultat. Betragtes v/c-forholdet burde bearbejdeligheden stige, når v/c-forholdet stiger. Dvs. at Zinkgruvan må have en effekt, hvorpå bearbejdeligheden forringes. Dette kan måske forklares ved, at Zinkgruvan har en kantet partikelstruktur jf. [M. R. Nielsen 2017], hvilket forringer bearbejdeligheden. Dog kendes partikelstrukturen ikke for Raajärvi til sammenligning. Den forringede bearbejdelighed kan også skyldes, at Zinkgruvan måske har en høj vandabsorptionsevne.

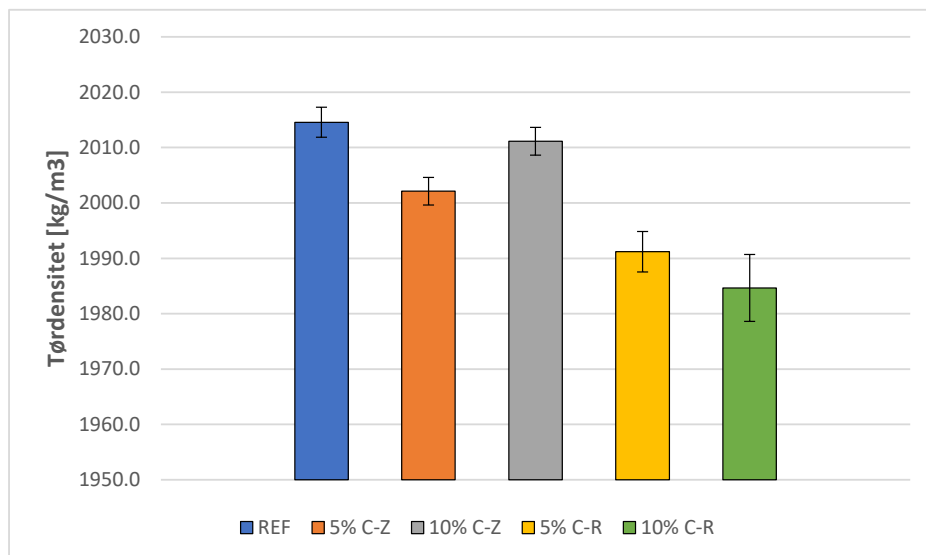


### 4.1.4 Porøsitet og densitet

Støbte mørtelprøver af blandingerne REF, 5% C-Z, 10% C-Z, 5% C-R og 10% C-R er blevet undersøgt for porøsitet- og densitetforhold som beskrevet i sektion 3.4.4. Resultaterne for porøsiteten og densiteten af mørtelprøverne er vist på figur 4.7 og 4.8.



Figur 4.7: Åben porøsitet af mørtelprøver.



Figur 4.8: Tørdensitet af mørtelprøver

Det ses, at den åbne porøsitet er højere for 5% C-Z, 5% C-R og 10% C-R end for REF. Det tyder altså på, at mineaffald som cementerstatning øger porøsiteten. Det gi-

ver god mening, da et stigende  $v/c$ -forhold vil medføre en højere porøsitet, se Powers' model i sektion 2.3. En høj porøsitet er ikke en god egenskab hos mørtel, da det sænker trykstyrken, men også øger muligheden for karbonatisering. Til gengæld er porøsiteten for 10% C-Z usædvanlig lav. Dette kan enten skyldes, at prøven er blevet rystet for længe eller hårdt under støbningsprocessen, se sektion 3.4.1.2, eller at der er opstået flere lukkede pore end ved de andre mørtelprøver, som ikke blev målt. Sidstnævnte er nok ikke en holdbar hypotese, da tørdensiteten for 10% C-Z er højere end de tre andre mørtelprøver med mineaffald. Dette bekræfter derimod, at støbningsprocessen ikke har været hensigtsmæssig, og at prøverne er blevet rystet for hårdt. Derudover ses en lidt højere porøsitet for 5% C-Z ift. 5% C-R, hvilket kan hænge sammen med, at bearbejdigheden er ringere for 5% C-Z.

Der ses en tydelig sammenhæng mellem tørdensitet og porøsitet. Densiteten falder når porøsiteten stiger, hvilket giver mening, idet der er mindre tørstof, jo højere porøsiteten er. Desuden tyder noget på, at tørdensiteten for Zinkgruvanprøverne er højere end Raajärvi. Sammenligner man 5%-prøverne, så er densiteten højere for Zinkgruvan, samtidigt med at porøsiteten også er højere. Dette skulle betyde, at korndensiteten er højere for Zinkgruvan. Dette stemmer ikke overens med tabel 4.1, men kan måske forklares ved, at der er flere lukkede pore i Raajärvi-prøverne, som ikke bliver registreret ved metoden. Dette var dog ikke forventet, da Raajärvi-prøverne har en bedre bearbejdelig, og at Raajärvi har bredere kornstørrelsesfordeling end Zinkgruvan. Det burde resultere i, at det er lettere at "ryste" luft ud af mørtelen under støbning, og at den bredde kornstørrelsesfordeling skulle give en bedre pakket mørtel, som nedbringer porøsiteten. Denne usammenhængende tendens kan skyldes mindre støbeerfaring, da støbningerne ligger som de første i projektperioden.

I tabel 4.10 er resultater for porøsiteten sammenlignet med Powers' model.

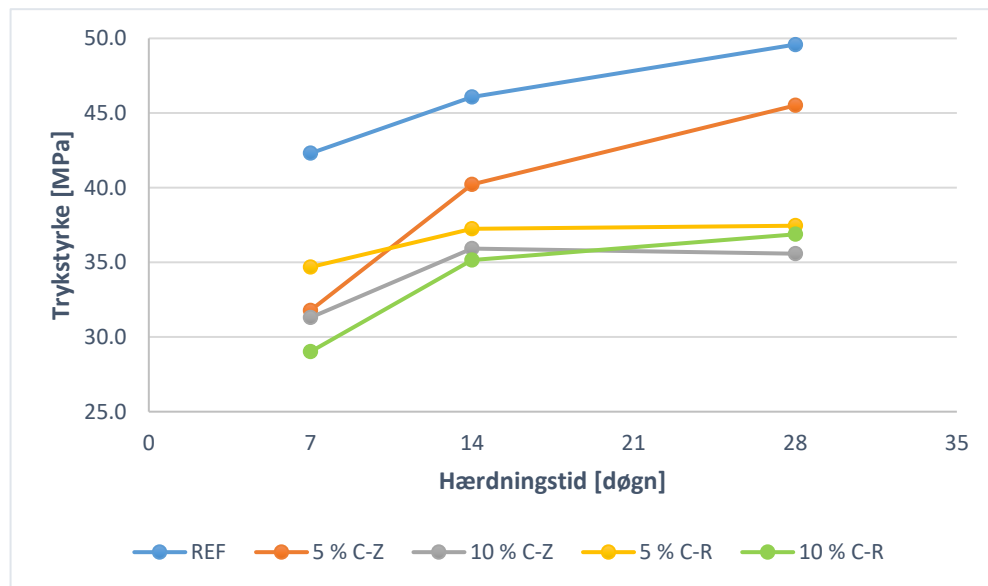
Tabel 4.10: Sammenligning af porøsitet med teoretisk udregnet indhold af luft og kapillarvand iht. Powers' model.

Prøve	$v/c$	Målt porøsitet [%]	Powers' model [%]	Afvigelse ift. Powers- [%]
<b>REF</b>	0,50	20,4 ± 0,0	17,5	+ 16,7
<b>5 % C-Z</b>	0,53	21,7 ± 0,1	20,1	+ 8,2
<b>10 % C-Z</b>	0,56	20,2 ± 0,1	22,7	- 11,1
<b>5 % C-R</b>	0,53	21,5 ± 0,2	20,1	+ 7,1
<b>10 % C-R</b>	0,56	22,1 ± 0,1	22,7	- 2,6

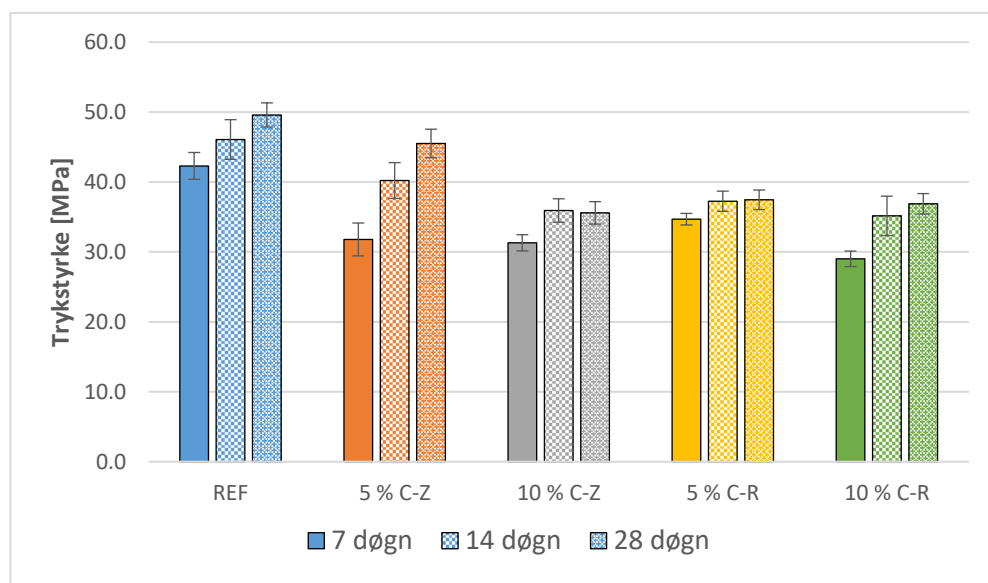
Det fremgår heraf, at udviklingen af porøsiteten ikke følger Powers' model. Dette kan blandt andet skyldes, at mineaffaldsprodukterne og søsandet absorberer vand, som derfor resulterer i en ringere bearbejdighed, som der ikke tages højde for i Powers' model. En ringe bearbejdighed kan, som tidligere nævnt, øge porøsiteten.

## 4.1.5 Trykstyrke

Trykstyrken for REF, 5% C-Z, 10% C-Z, 5% C-R og 10% C-R er blevet målt som beskrevet i sektion 3.4.5 efter at have hærdet i 7, 14 og 28 døgn. Udviklingen af trykstyrken for mørtelprøverne er illustreret på figur 4.9. Figur 4.10 viser den samme data, men er medtaget for at vise spredningerne på resultaterne.



Figur 4.9: Styrkeudvikling af mørtelprøver.



Figur 4.10: Søjlediagram over trykstyrken af mørtelprøver, angivet med standartafvigelse.

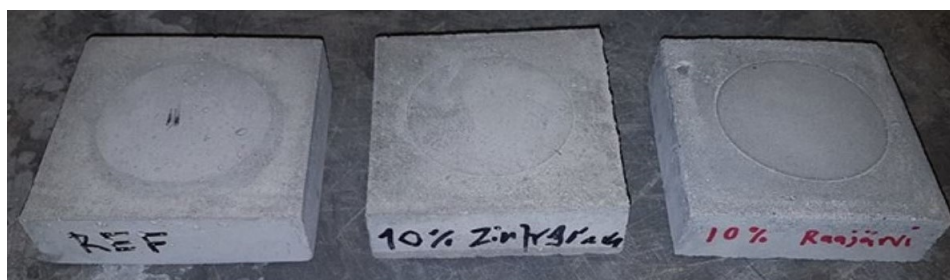
Det fremgår tydeligt på de to figurer, at trykstyrken reduceres en del, når mineaffald anvendes som cementerstatning. Der ses også, tydeligst på figur 4.9, en tendens til, at 5%-prøverne har en højere trykstyrke end 10%-prøverne. Dog ses dette ikke hos 28 døgnsstyrken mellem de to Raajärviprøver, hvilket der vendes tilbage til. Betragtningerne omkring at styrken falder i takt med en større cementerstatning, giver god mening, idet trykstyrken vil falde, når v/c-forholdet stiger, jf. Bolomeys formel. Denne sammenhæng afspejler sig også ved porøsiteten på figur 4.8, dog ikke for 10% C-Z. Dette bekræfter dog igen usikkerheden omkring porøsiteten for 10% C-Z, beskrevet i sektion 4.1.4. Derudover ses at 10%-prøvernes styrkeudvikling ligner hinanden, hvorimod der er en tendens til, at 5% C-Z udvikler en højere trykstyrke end 5% C-R. Disse betragtninger virker lidt i modstrid med hinanden, og kan tyde på, at ukontrollerede forhold under støbeprocessen kan have påvirket styrkeforløbet. I støbeskemaet, tabel 3.3, ses at 28-døgnsprøveenerne for 5% C-Z og 10% blev støbt senere i forløbet ift. de to andre 28-døgnsprøver. En øget støbeerfaring kan muligvis have spillet en rolle, som ikke giver trykstyrkerne ved 28-døgnsprøverne lige forudsætninger. Dette forklarer muligvis også, hvorfor trykstyrken efter 28 dogn næsten er ens for 5% C-R og 10% C-R.

Det generelle billede virker til at vise, at den største udvikling i trykstyrke for 5% C-Z, 10% C-Z, 5% C-R og 10% C-R sker mellem 7- og 14-døgns hærdeningstid. Det kan skyldes et større indhold af partikler under 250  $\mu\text{m}$ , som bidrager mest til en fillereffekt, hvilket igen bidrager til en tidligere styrkeudvikling. Dette kunne undersøges yderligere, ved at sigte eller knus mineaffaldsprodukterne, for at se om det bidrager yderligere til den tidlige udviklingen.

Da sandkvaliteten og mineaffaldets absorptionsevne ikke kendes, giver det ikke mening at regne en teoretisk trykstyrke med Bolomeys formel. De anvendte tilslagsmaterialer giver nemlig ikke anledning til at benytte  $K$ - og  $\alpha$ -værdierne angivet i [Aalborg Portland 2010].

### 4.1.6 Farveprøver

Resultatet af farveprøverne er vist på figur 4.11. Farveprøverne blev lavet for REF, 10% C-Z og 10% C-R.



Figur 4.11: Farveprøver for REF, 10% C-Z og 10% C-R.

Det ses på figuren, at der ikke ses nogen tydelig farveændring. Det kunne måske have været forventet, at Raajärvi havde givet nogle grøn-/gullige skær, men dette fremgår ikke af farveprøverne.

Til støbningen af farveprøven med Raajärvi viste det sig, at mørtlen havde svært ved at sætte sig under vibreringen. Prøven blev derfor vibreret over en længere periode end 20 sekunder, og betyder derfor at porestrukturen af farveprøven nok ikke er særlig repræsentativ.

## 4.2 Delkonklusion: Indledende forløb

Indholdet af calciumcarbonat er fundet til 12,7% hos Zinkgruvan og 1,5% for Raajärvi. Dette giver en indikation om, at der er en del calcit tilstede i mineralogien hos Zinkgruvan.

Glødetabet ved 550 °C viste et indhold af organisk materiale på 0,5% for Zinkgruvan og 2,9% for Raajärvi. Ved 950 °C blev et glødetab fundet til 6,1% for både Zinkgruvan og Raajärvi, hvilket falder ind under Kategori B iht. [DS/EN 450-1 2012]. Mængden af udskilt CO<sub>2</sub> for Zinkgruvan (forskel i glødetab ved 550 °C og 950 °C) tyder på at komme af afbrænding af CaCO<sub>3</sub>, mens det for Raajärvi tyder på, at andre stoffer også udskiller CO<sub>2</sub> ved 950 °C.

Korndensiteten for Zinkgruvan og Raajärvi er stort set ens, og fundet til ca. 2788 kg/m<sup>3</sup>. Dette er lavere end korndensiteten for cement, hvilket vil bidrage til en mindre densitet af mørtelprøver med mineaffald som cementerstatning.

pH-værdien for Zinkgruvan er 8,4 og 3,0 for Raajärvi. Dette er lavt i forhold til cement, og vil bidrage til et lavere pH-miljø i mørtel ved delvis cementerstatning.

Vandindholdet er fundet til 9,9% for Zinkgruvan og 25,5% for Raajärvi, hvilket er meget højt. Det høje vandindhold gør det svært at styre v/c-forholdet i mørtel, og derfor skal mineaffaldet tørres inden det tilsættes i mørtel. Vandindholdet i sand blev fundet til 1,2%, hvilket også er nødvendigt at tørre, for at det ikke skal influere på v/c-forholdet.

Ved ICP-analysen blev der målt et for højt indhold af arsen, bly, cadium og zink i Zinkgruvan iht. [Miljøstyrelsen 2014]. For Raajärvi var indholdet af bly og nikkel for højt. Dette betyder at ingen af de to mineaffaldsprodukter må anvendes til byggeri af bolig, børneinstitution, legeplads eller private haver. Derudover blev et højt indhold af magnesium og aluminium målt for Raajärvi og til dels Zinkgruvan, hvilket muligvis kan agere som katodisk beskyttelse i armeret beton.

Kornstørrelsesfordelingen viser, at kornstørrelserne af Zinkgruvan og Raajärvi er meget

store ift. cement. Derudover ligger 40% af Zinkgruvans kornstørrelser over fillergrænsen på 250  $\mu\text{m}$ , og 30% for Raajärvi. Raajärvi har en breddere kornstørrelsesfordeling end Zinkgruvan. Ingen af mineaffaldsprodukterne overholder grænseværdierne for flyveaske jf. [DS/EN 450-1 2012].

Der er en tendens til, at den indledende afbindingstid er mindre for alle prøverne med mineaffald ift. REF. Til gengæld er den afsluttende afbindingstid også meget længere for alle prøver med mineaffald ift. REF. Der var derfor en tendens til, at afbindingstiden mellem indledende og afsluttende blev meget større med mineaffald indblandet.

Mørtelprøver med Zinkgruvan som cementerstatning resulterede i en dårligere bearbejdelighed sammenlignet med REF. Omvendt blev bearbejdeligheden bedre for prøverne med Raajärvi. Udfaldet hos Raajärvi var forventeligt, da et større v/c-forhold vil medføre en bedre bearbejdelighed.

Det viser sig, at porøsiteten stiger, når mineaffald tilsættes som delvis cementerstatning. Dette medfører også en lavere densitet. Resultaterne for tør densiteten viser en tendens til, at densiteten er højere for Zinkgruvan end for Raajärvi. Dette var ikke forventet, da korndensiteterne blev fundet ens, hvilket tyder på, at der må være en del lukkede pore i Raajärviprøverne, som ikke blev målt. Dette var dog heller ikke forventet, da bearbejdeligheden og kornstørrelsesfordelingen for Raajärvi burde resultere i en mindre porøsitet.

Generelt falder trykstyrken gradvist når cement erstattes med mineaffald. Dette skyldes bl.a., at porøsiteten stiger ved tilsætning af mineaffald. Grundet svingende støbeforhold har det ikke været muligt at afgøre, om Zinkgruvan giver en højere styrkeudvikling end Raajärvi, men en tendens viser, at 5% C-Z udvikler en højere trykstyrke end 5% C-R. Derudover virker størstedelen af styrkeudvikling for Zinkgruvan- og Raajärviprøver til at ske tidligt, hvilket kunne tyde på nogle filleregenskaber ved de to mineaffaldsprodukter.

Der blev ikke registreret nogle karakteristiske farveændringer af mørtelprøver med tilsat Zinkgruvan eller Raajärvi.

## 4.2.1 Trin 2: Forslag til uddybende forløb

Denne fase af projektforslaget bygger på en brainstorm over emner, der kan gås i dybden med på baggrund af resultaterne fra det indledende forløb. Forslagene til uddybende forløb med begrundelse:

- **Miljømæssig optimering:** Det kunne være interessant at undersøge om metalindholdet i mineaffaldsprodukterne kan optimeres ift. miljøstyrelsens krav til jordarter i byggeri. Her kunne det undersøges, om nogle af de skadelige metaller kan udvaskes. Ydermere kan det undersøges, om der er andre miljøskadelige aspekter ved anvendelse af Zinkgruvan eller Raajärvi, som f.eks asbestindhold ved en XRD-analyse.

- **Karbonatisering:** På grund af den høje porøsitet i mørtelprøverne med Zinkgruvan og Raajärvi er mørtlen mere udsat for karbonatisering. Til gengæld er mængden af calciumhydroxid sandsynligvis også mindre ved cementerstatning af mørtel. Det kunne derfor være interessant at sammenligne karbonatiseringen af mørtel med og uden mineaffald som cementerstatning, og om der var en forskel på Zinkgruvan og Raajärvi.
- **Katodisk beskyttelse:** Med det høje indhold af magnesium og aluminium i Raajärvi, og til en vis grad også i Zinkgruvan, kunne det være interessant at se, om mineaffaldsprodukterne har en effekt som katodisk beskyttelse for armeret beton.
- **pH-miljø:** På grund af de lave pH-værdier for Zinkgruvan og især Raajärvi kan det undersøges, om dette vil have en betydelig effekt på pH-miljøet i mørtelprøverne. Her kan de brudte prøver fra tryktest f.eks. knuses, og herefter benyttes til pH-forsøget beskrevet i sektion 3.3.6.
- **Sigtning:** Ved at sigte mineaffaldsprodukterne ved en maskevidde på 250  $\mu\text{m}$  kan det undersøges, om materialerne opnår en større fillereffekt på mørtelprøver. Effekten kan undersøges ved at se på styrkeudviklingen, afbindingsforløbet, porøsiteten og tørdensiteten. Det kunne også være interessant, at se om mineralogien ændres efter sigtning ved en XRD-analyse.
- **Knusning:** En optimering af fillereffekten kan også undersøges ved at knuse mineaffaldsprodukterne. Igen kan det undersøges, om knusning har en effekt på styrkeudviklingen, afbindingsforløbet, porøsiteten og tørdensiteten.
- **Optimering af v/c-forhold:** Når mineaffald benyttes som delvis cementerstatning, stiger v/c-forholdet i mørtelprøverne. Det kunne være interessant at se, hvilken effekt et konstant v/c-forhold vil have på trykstyrken, afbindingsforløbet, bearbejdéligheden, porøsiteten og tørdensiteten. Det kunne gøres ved at erstatte sand i stedet for cement, hvilket dog ikke opfylder målet om et mindre cementbehov. Det kunne også gøres ved at sænke vandindholdet gradvist, i takt med at cement bliver erstattet, hvilket dog også svarer til at øge mængden af tilslagsmaterialer i cementpasta.
- **Delvist erstatte cement med sand:** Det kunne være interessant at erstatte 5% og 10% cement med sand, og herefter sammenligne de fysiske egenskaber i forhold til mørtelprøverne med mineaffald. Dette kunne gøres ved, at se om mineaffaldsprodukternes egenskaber adskiller sig fra sands egenskaber som et cementerstatningsprodukt.
- **Optimering af bearbejdélighed:** Da de to mineaffaldsprodukter reagerede forskelligt på bearbejdéligheden hos mørtelblandingerne, kunne det være interessant at bekræfte/afkræfte om dette skyldes partikelstrukturen og/eller vandabsorptionsevnen for Zinkgruvan og Raajärvi. Partikelstrukturen kunne undersøges med SEM-analyse, og vandabsorptionsevnen kunne måles ved et stegepandeforsøg, hvor sand og mineaffald tørres til SSD-tilstand.

## 4.2.2 Trin 3: Valg af uddybende forløb

Det vælges at undersøge effekten ved at sigte mineaffaldsprodukterne med en maskevidde på 250  $\mu\text{m}$ , som netop er fillergrænsen. Dette vælges på baggrund af resultaterne fra tre indledende undersøgelser. For det første ses en tendens til, at størstedelen af styrkeudvikling for Zinkgruvan- og Raajärvi-prøverne sker tidligt, hvilket kunne tyde på nogle filleregenskaber ved de to mineaffaldsprodukter. For det andet er der en tendens til, at den indledende afbindingstid er kortere for prøverne med mineaffald ift. REF, hvilket også kan skyldes en fillereffekt i form af heterogen kimdannelse. For det tredje viste en kornstørrelsesfordeling, at begge mineaffaldsprodukter var meget grove sammenlignet med flyveaske, som normalt benyttes som materiale til delvis cementerstatning.

Derudover vælges det at sigte mineaffaldsprodukterne i stedet for at knuse dem, for at undersøge om dette ændrer mineralogien. Dette kunne være interessant at undersøge, da indholdet af kvarts og amorft materiale, muligvis kan have en indflydelse som puzzonaler.

De videre undersøgelser af mørtelprøvernes fysiske egenskaber begrænses til kun at se på effekten af sigtning ved trykstyrke. Dette gøres for både 5% og 10% cementerstatning med sigtet Zinkgruvan og sigtet Raajärvi. Derudover laves en kornstørrelsesfordeling af de sigtede mineaffaldsprodukter, for at undersøge om partiklerne forbliver som fillere, altså under 250  $\mu\text{m}$ , eller om der er lerpartikler, som går sammen via kemiske ladninger og danner større partikler. Til sidst undersøges ændringer i mineralogien via en XRD-analyse.

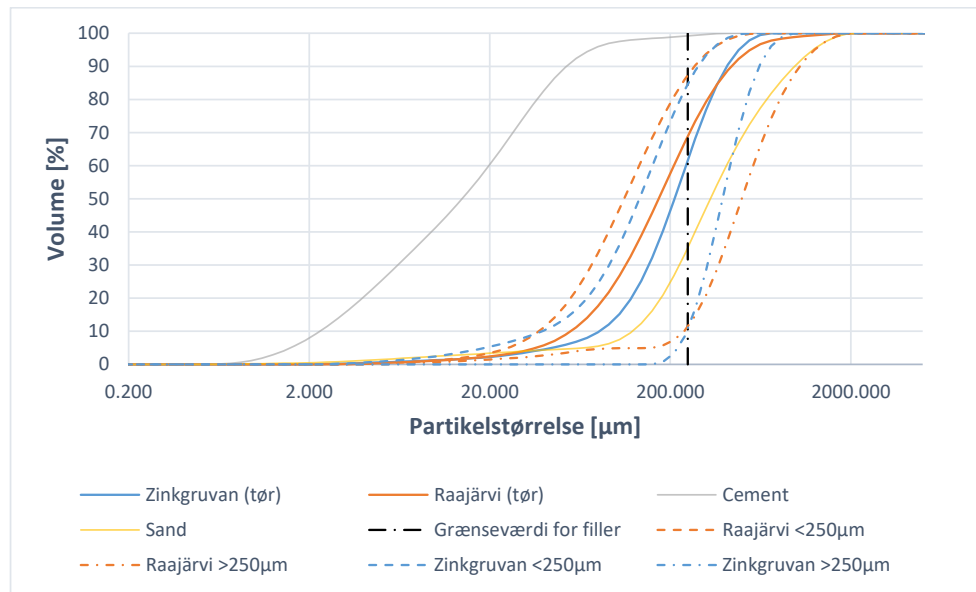
## 4.3 Trin 4: Uddybende forløb

I den uddybende fase gennemgås resultater for kornstørrelsesfordeling og XRD-analyse af sigtet Zinkgruvan og sigtet Raajärvi, samt styrkeudviklingen af de cementerstatte mørtelprøver med sigtet Zinkgruvan og sigtet Raajärvi. De sigtede mørtelprøver navngives 5% C-Zs, 10% C-Zs, 5% C-Rs og 10% C-Rs.

### 4.3.1 Kornstørrelsesfordeling

Kornstørrelsesfordelingen for sigtet mineaffald er blevet målt ved laserdiffraktometer og sammenlignet med restproduktet af de sigtede prøver samt med det rå mineaffaldsprodukt, cement og sand. Fordelingen ses på figur 4.12.





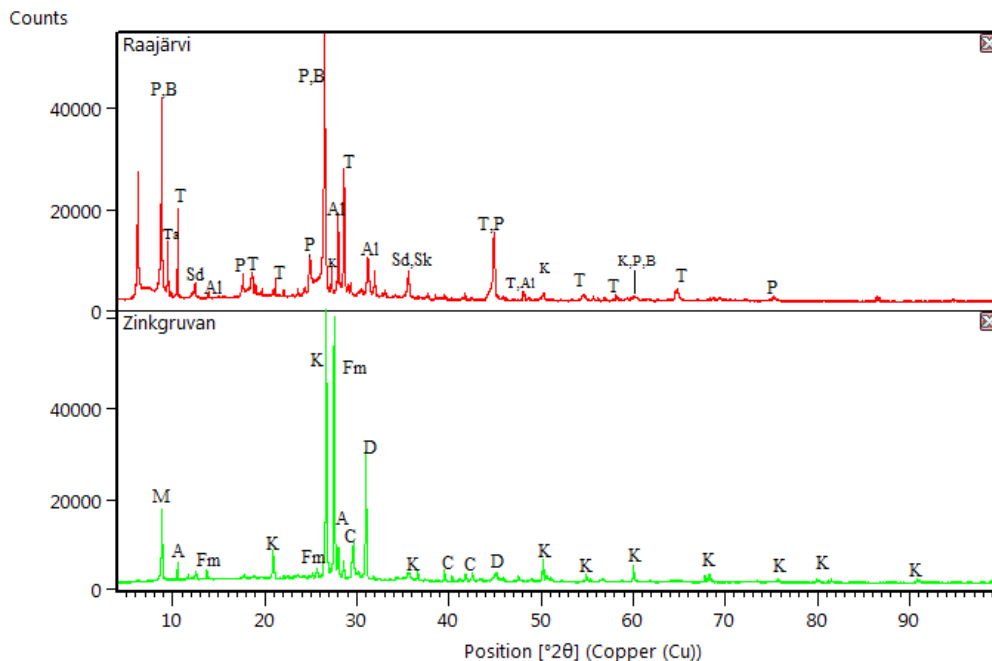
Figur 4.12: Kornkurve for rå, sigtet og restprodukt af mineaffald. Derudover er fillergrænsen iht. [Munch-Petersen 2013] angivet.

Resultatet af laserdiffraktionen viser, at der er opnået et finere produkt af mineaffald efter sigtning. Det var dog forventet at 100% af kornene lå under fillergrænsen ved 250 µm, hvilket ikke helt er tilfældet. Ca. 14% og 11% af kornstørrelserne for hhv. Zinkgruvan og Raajärvi ligger over fillergrænsen, hvilket rent fysisk ikke burde kunne lade sig gøre. Det kunne derfor tyde på, at mineaffaldsprodukterne indeholder nogle lerpartikler, som går sammen via ladninger efter sigtning, og danner større partikler. For Raajärvi var dette også forventeligt, da mineraler som serpentin-kaolin, talk og chlorit er lerminerale jf. [Vestergård 2017], og er at finde i mineralogien hos Raajärvi, se bilag C.

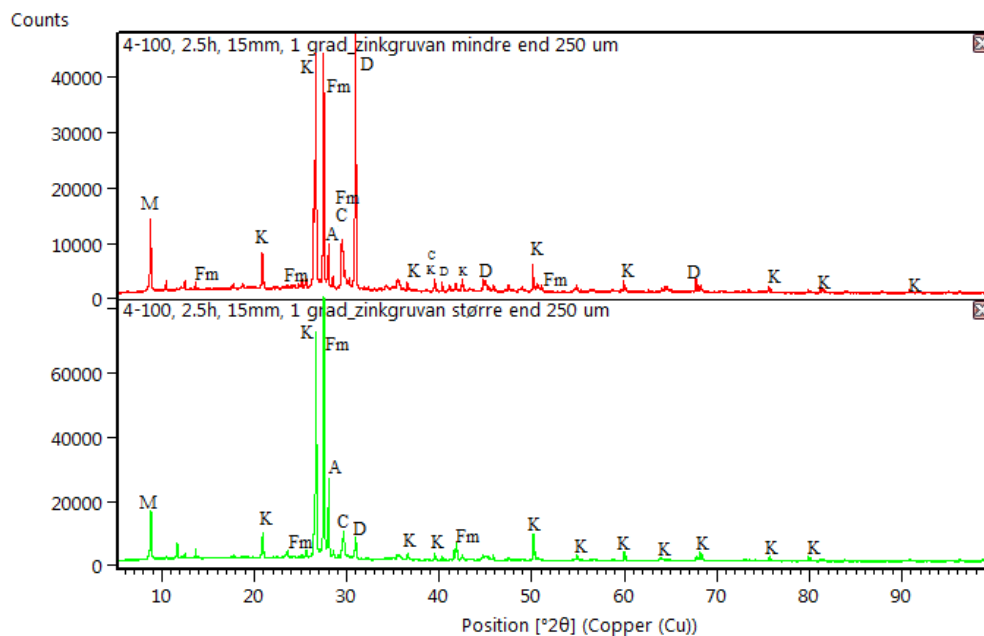
Det bemærkes også at ca. 10% af restproduktet efter sigtning ligger under fillergrænsen. Dette er en større usikkerhed i undersøgelser omkring ændringer i mineralogien ved XRD-analysen, da alle fillerpartiklerne derfor ikke er blevet sorteret fra restproduktet, og dermed heller ikke alle mineraler.

### 4.3.2 XRD-analyse

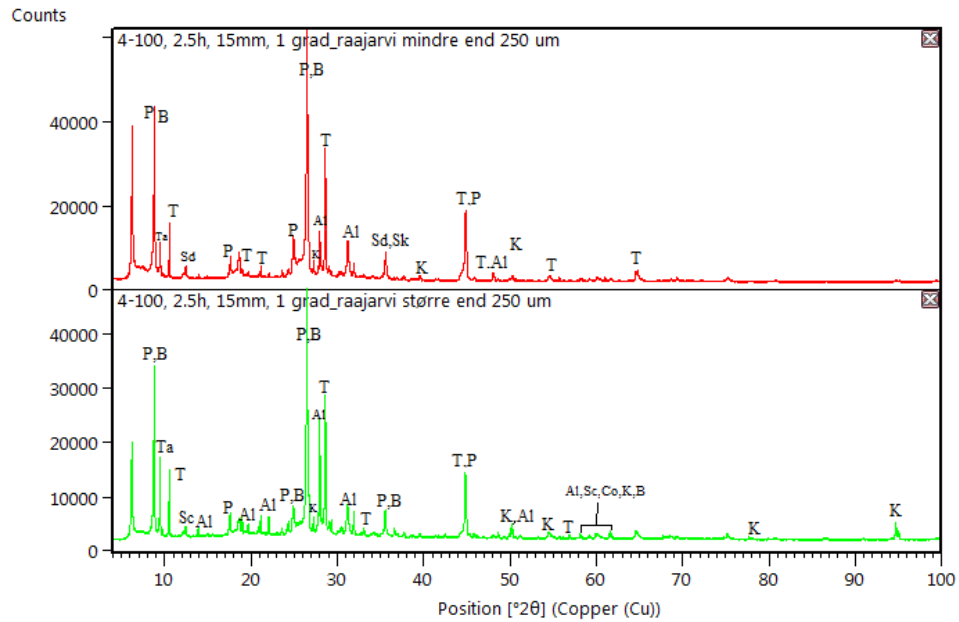
Der er blevet foretaget en XRD-analyse af de to mineaffaldsprodukter både af det rå, sigtede og resterende mineaffaldsprodukt. Resultaterne for de i alt seks analyser kan ses på figur 4.13, figur 4.14 og figur 4.15. Alle resultaterne fra XRD-analyserne er sammenholdt mod hinanden i tabel 4.11.



Figur 4.13: XRD-analyse af rå mineaffaldsprodukter, hhv. Raajärvi og Zinkgruvan. Counts angiver intensiteten på grafen. Der henvises til tabel 4.11 for betydning af bogstavangivelser.



Figur 4.14: XRD-analyse af sigtet Zinkgruvan, hhv. <250 μm og >250 μm. Counts angiver intensiteten på grafen, og er skaleret forskelligt i de to grafer. Der henvises til tabel 4.11 for betydning af bogstavangivelser.



Figur 4.15: XRD-analyse af sigtet Raajärvi, hhv.  $<250 \mu\text{m}$  og  $>250 \mu\text{m}$ . Counts angiver intensiteten på grafen, og er skaleret forskelligt i de to grafer. Der henvises til tabel 4.11 for betydning af bogstavangivelser.

Tabel 4.11: Oversigt over de målte indhold af mineraler ved XRD-analyser. ”Jf. [Jensen]” angiver mineralerne i Zinkgruvan jf. [Jensen m.fl. 2016], og ”Bilag C” angiver mineralerne i Raajärvi fra producenten.

Mineral	Fork.	Zinkgruvan			Raajärvi			Jf. [Jensen]	Bilag C
		Rå	$<250 \mu\text{m}$	$>250 \mu\text{m}$	Rå	$<250 \mu\text{m}$	$>250 \mu\text{m}$		
Kvarts	K	X	X	X	X	X	X	X	
Calcit	C	X	X	X			X	X	
Dolomit	D	X	X	X				X	
Feldspat, Mikroklin	Fm	X	X	X			X		
Muskovit	M	X	X	X					
Amfibole	A	X	X	X					
Tremolit	T				X	X	X	X	
Talk	Ta				X	X	X	X	
Albit	Al				X	X	X	X	
Phlogopit	P				X	X	X	X	
Cordierit	Co						X	X	
Biotit	B				X	X	X	X	
Apatit	Ap							X	
Serpentin, Cronstedtit	Sc						X	X	
Serpentin, Dickit	Sd				X	X		X	
Serpentin, Kaolinit	Sk				X	X		X	
Chlorit	Ch							X	

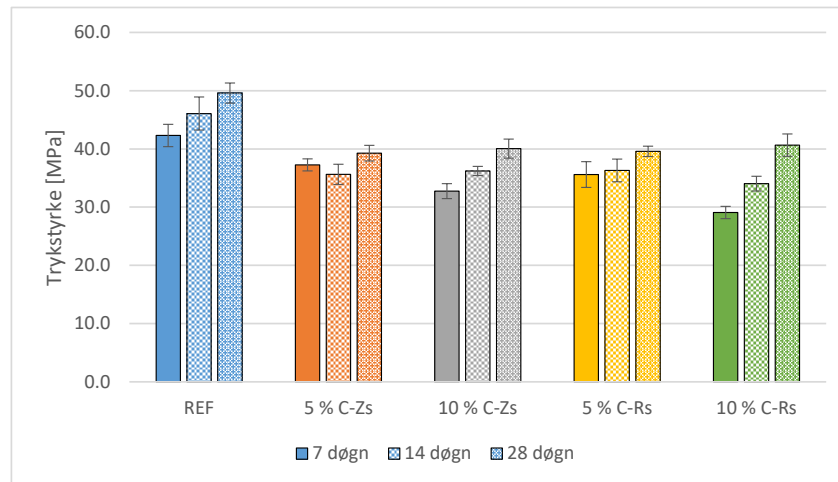
Det fremgår af resultaterne for Zinkgruvan, at der er andre mineraler tilstede end forventet. Udover at Zinkgruvan består af kvarts, calcit og feldspat (mikroklin), blev der også fundet indhold af dolomit, muskovit og amfibole. Dette blev også fundet i [M. R. Nielsen 2017]. Alle nævnte mineraler var tilstede i det rå, sigtede og resterende produkt af Zinkgruvan. Den klare forskel i mineralindholdet hos det sigtede produkt og restproduktet, ses ved en meget større koncentration af dolomit i det sigtede produkt. Omvendt ser koncentrationerne af kvarts og feldspat ud til at falde i det sigtede produkt. En mindre koncentration af kvarts kan muligvis forværre puzzolanegenskaberne.

Af Raajärvi fremgår det, at der kun er et lidt højere indhold af phlogopit, biotit og tremolit, og et lidt lavere indhold af albit og talk i det sigtede Raajärvi i forhold til restproduktet. Derudover spottes et indhold af cordierit og sepetine (cronstedtit), men i et meget lille omfang. Der regnes derfor ikke med, at der sker nogen betydelig ændring i mineralogien. Til gengæld danner XRD-scanningerne lidt et andet billede end den mineralogi, der er angivet i bilag C. Scanningerne viser en overraskende høj koncentration af phlogopit og biotit, hvorimod mange af de dominerende mineraler, iht. bilaget, ikke spiller en stor rolle i scanningerne. Et mineral som chlorit blev slet ikke målt, hvilket er det mest indholdsrige mineral i Raajärvi ifølge producenten. Derudover skelnes der også til kvarts- og sepetinindholdet, der optræder få gange og i små koncentrationer i XRD-scanningerne.

Det skal dog bemærkes, at en XRD-analyse ikke kan identificere amorf materiale. Det ses derfor kun som en slags baggrundsstøj på XRD-grafen, der afspejler sig ved de letbølgende områder, hvor der ikke rigtig registreres nogle toppe på grafen. Koncentrationen af amorf materiale ser ikke ud til at ændre sig ved sigtning for hverken Zinkgruvan eller Raajärvi. Det amorf materiale er dog lidt højere hos Raajärvi end hos Zinkgruvan. Amorf materiale er et stof med en uordnet struktur, jf. [Johnson 2017]. Chlorit og sepetin kunne derfor sagtens anses for at være amorf materiale, hvilket kan skyldes, at de ikke rigtig er tilstede i XRD-scanningerne. Ser man på deres kemiske formler, har de mange forskellige sammensætninger, hvilket netop kan give en uordnet struktur. Også tremolite kan have en uordnet struktur, hvilket også kan skyldes, at det ikke er så fremtrædende i XRD-analysen.

### 4.3.3 Trykstyrke

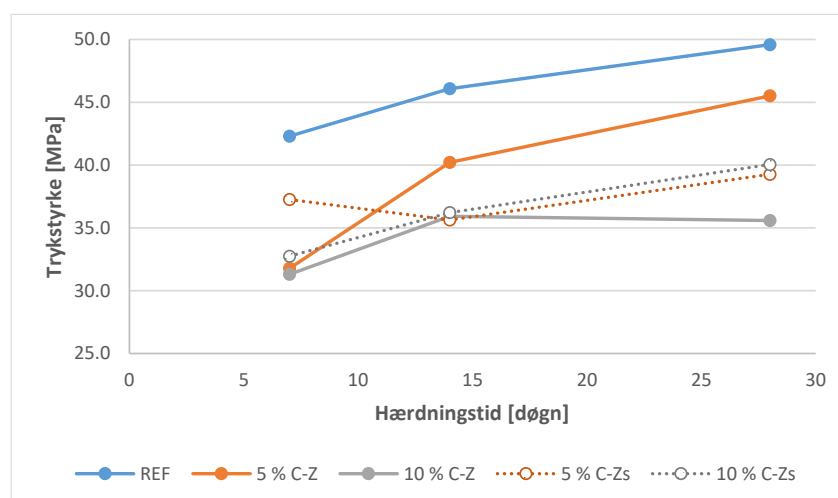
Trykstyrken for 5% C-Zs, 10% C-Zs, 5% C-Rs og 10% C-Rs er blevet målt efter at have hærdet i 7, 14 og 28 døgn. Trykstyrkerne er sammenlignet med REF og angivet på figur 4.16.



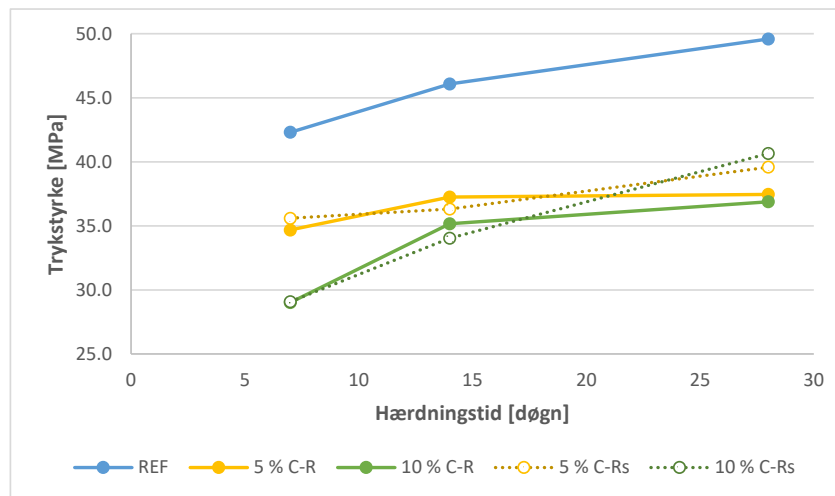
Figur 4.16: Søjlediagram over trykstyrken af sigtede mørtelprøverne, angivet med standardafvigelse.

Det fremgår også denne gang, at trykstyrken hos mørtelprøverne reduceres meget ift. REF, når sigtet mineaffald anvendes som cementerstatning. Der ses også en tendens til, at styrken af 5%-prøverne ikke udvikler sig så meget fra syv til 28 døgner, som den gør ved 10%-prøverne. Både for Zinkgruvan og Raajärvi ses, at styrken efter syv døgner er størst for 5%-prøverne, mens at styrken efter 28 døgner faktisk er en lille smule større hos 10% prøverne. Det kunne skyldes en form for puzzolaneffekt hos de sigtede mineaffaldsprodukter, der i højere grad bidrager til den afsluttende styrkeudvikling for 10%-prøverne.

På figur 4.17 sammenlignes styrkeudviklingen for de rå og sigtede Zinkgruvan-prøver. På figur 4.18 sammenlignes styrkeudviklingen for de rå og sigtede Raajärvi-prøver.



Figur 4.17: Styrkeudvikling af mørtelprøverne prøverne 5% C-Zs og 10% C-Zs sammenlignet med REF, 5% C-Z og 10% C-Z.



Figur 4.18: Styrkeudvikling af mørtelprøverne prøverne 5% C-Rs og 10% C-Rs sammenlignet med REF, 5% C-R og 10% C-R.

For 5% C-Zs ses det tydeligt, at der er sket en forbedring af trykstyrken efter syv døgn, ved at bruge det sigtede mineaffald ift. det rå. Det kunne altså tyde på, at der er en form for øget fillereffekt hos 5% C-Zs i form af heterogen kindannelse, der får en større effekt, jo mindre partiklerne er. Derfra virker det næsten som at styrkeudviklingen stopper for 5% C-Zs, hvilket gør, at den rå prøve, 5% C-Z, ender med at blive noget stærkere i den sene styrkeudvikling. Derudover ses en forbedret, sen styrkeudvikling hos 10% C-Zs ift. 10% C-Z, hvilket måske kan være et tegn på en lille puzzolaneffekt. Til gengæld ses der ikke en stor forandring i den tidlige styrkeudvikling.

For Raajärvi-prøverne skal forskellen på styrkeudviklingen af det sigtede og rå mineaffald findes i det sene styrkeudviklingsforløb. Der ses altså ikke rigtig tegn på en forbedret fillereffekt, da den tidlige styrkeudviklingen næsten er den samme. Faktisk er styrkeudviklingen mellem 7 og 14 døgn blevet mindre for 5% C-Rs ift. 5% C-R. Til gengæld tyder ændringen i det sene styrkeudviklingsforløb på, at der opnås en større puzzolaneffekt end før. Dette virker ikke helt usandsynligt, da puzzolaner, som f.eks. mikrosilica, består af små amorfe partikler. I sektion 4.3.2 blev det netop forklaret, hvordan Raajärvi sandsynligvis består af mange amorfe mineraler.

## 4.4 Delkonklusion: Uddybende forløb

Kornstørrelsesfordelingen af de sigtede prøver viser, at ca. 14% og 11% af kornstørrelserne for hhv. Zinkgruvan og Raajärvi ligger over fillergrænsen på 250  $\mu\text{m}$ . Det betyder muligvis, at der er tegn på lerindhold i begge mineaffaldsprodukter.

XRD-analysen viser, at der ud over kvarts, calcit og feldspat også findes dolomit, muskovit og amfibole i Zinkgruvan. Ved sigtning af Zinkgruvan stiger koncentrationen af dolomit,

hvorimod den falder for kvarts og feldspat. Der blev ikke fundet nogen betydelig ændring af mineralogien hos Raajärvi. Derudover blev der registreret indhold af amorf materiale, som var størst ved Raajärvi.

Trykstyrken falder ift. REF ved tilsætning af det sigtede mineaffald som cementerstatning. Til gengæld ses en forskel i styrkeudviklingen fra prøverne med det rå mineaffald til prøverne med sigtet mineaffald. For 5% C-Zs er der tegn på en øget fillereffekt i form af en større, tidlig udvikling i styrken, men derfra er prøven svagere end 5% C-Z. Derudover viser 10% C-Zs tegn på en lille puzzolaeffekt i form af en øget, sen styrkeudvikling ift. 10% C-Z. Der registreres ikke nogen forbedret fillereffekt ved at sigte Raajärvi. Derimod er der en tendens til en øget puzzonaleffekt hos både 5% C-Rs og 10% C-Rs. Størst er den for 10% C-Rs.

*[Blank side]*



# KAPITEL 5

## Konklusion

---

Zinkgruvan karakteriseres som et mineaffald med et calciumcarbonatindhold på 12,7%. Det inderholder 0,5% organisk materiale, og har et glødetab på 6,1% ved 950 °C, hvilket kategoriserer det som Kategori B iht. [DS/EN 450-1 2012]. Det tyder på, at glødetabet ved 950 °C primært skyldes udskildt CO<sub>2</sub> af calciumcarbonatindholdet. Korndensiteten for Zinkgruvan findes til ca. 2788 kg/m<sup>3</sup>, hvilket gør materialet lettere end det anvendte basis cement. Zinkgruvans pH-værdi er 8,4, hvilket bidrager til et lidt lavere pH-miljø i mørtel, når Zinkgruvan integreres som delvis cementerstatning. Vandindholdet i Zinkgruvan er 9,9%, og skal derfor tørres inden brug i mørtel. Der er registreret et for højt indhold af arsen, bly, cadmium og zink i Zinkgruvan iht. [Miljøstyrelsen 2014]. Mineaffaldet fra Zinkgruvan er dermed ikke godkendt til byggeri af bolig, børneinstitution, legeplads eller private haver. Kornstørrelserne er generelt grovere en basis cements. Ca. 60% af kornstørrelserne ligger indenfor fillergrænsen på 250 µm. Der kan muligvis findes spor af lerpartikler i Zinkgruvan, da kun 86% af det sigtede mineaffald ligger under fillergrænsen. Ud over mineraler som kvarts, feldspat og calcit kan der også registreres et indhold af dolomit, muskovit og amfibole i mineaffaldet fra Zinkgruvan. Koncentrationen af dolomit bliver desuden højere ved at sigte mineaffaldet fra Zinkgruvan, hvorimod koncentrationen af kvarts og feldspat falder. Der findes også et mindre indhold af amorf materiale i mineaffaldet.

Raajärvi karakteriseres som et mineaffald med et carbonatindhold på 1,5%. Det indeholder 2,9% organisk materiale, og har også et glødetab på 6,1% ved 950 °C. Det tyder på, at der, udover calciumcarbonat, er andre stoffer der udskiller CO<sub>2</sub> ved 950 °C. Korndensiteten for Raajärvi er den samme som for Zinkgruvan, altså ca. 2788 kg/m<sup>3</sup>. Til gengæld er pH-værdien 3,0 for Raajärvi, hvilket i højere grad bidrager til et lavere pH-miljø i en mørtelblanding. Vandindholdet er 25,5%, og skal også tørres, inden det bruges i mørtel. Der er registreret et for højt indhold af bly og nikkel i Raajärvi iht. [Miljøstyrelsen 2014]. Det kan derfor heller ikke godkendes som materiale til byggeri af bolig, børneinstitution, legeplads eller private haver. Raajärvis kornstørrelser er generelt grovere en basis cement. Ca. 70% af kornstørrelserne ligger indenfor fillergrænsen. Der kan muligvis også findes spor af lerpartikler i Raajärvi, da kun 89% af det sigtede mineaffald ligger under fillergrænsen. Der ses ikke nogen betydelig ændring i mineralogien hos Raajärvi, når det sigtes, men til gengæld så mineralogien anderledes ud ved XRD-analyser ift. den udleverede mineralogi fra producenten. Det fremgår også af XRD-analyserne, at der er en større andel af amorf materiale i Raajärvi ift. Zinkgruvan.

Ved at erstatte 10% cement med mineaffald fra Zinkgruvan eller Raajärvi, ses der ikke nogen farveændring hos mørtelprøverne ift. REF.

Det ses, at den indledende afbindingstid indtræffer hurtigere for prøverne med mineaffald ift. referenceprøven. Derudover fremgår det også, at den afsluttende afbindingstid udskydes for prøverne med mineaffald ift. referenceprøven. Det kan derfor konstateres, at mineaffald fra Zinkgruvan og Raajärvi forlænger afbindingstiden i hydratiseringsforløbet, når det anvendes som cementerstatning.

Bearbejdigheden forringes med ca. 3-6%, når cement erstattes med mineaffald fra Zinkgruvan. Dette kan være med til at gøre mørtelprøver med Zinkgruvan mere porøse. Til gengæld øges bearbejdigheden med ca. 8-11% i tilfældet med Raajärvi.

Der er en tendens til, at porøsiteten stiger for prøverne med mineaffald som delvis cementerstatning. Dette var forventet, da porøsiteten burde stige, når v/c-forholdet stiger. Dog følger 10% C-Z ikke denne tendens, hvilket kan skyldes, at prøven har været rystet for hårdt under støbning. Det fremgår også, at tørdensiteten falder, når porøsiteten stiger. Dog falder den mere for Raajärvi-prøverne, hvilket må skyldes et større indhold af lukkede pore, som ikke registreres ved den anvendte metode. Dette var dog ikke forventet, da indhold af Raajärvi giver en bedre bearbejdelse ift. Zinkgruvan.

Trykstyrken falder gradvist, når cement erstattes med mineaffald. Både i tilfældene hvor der er brugt råt og sigtet mineaffald. Det var også forventet at trykstyrken burde falde, når v/c-forholdet stiger. Det har ikke været muligt direkte at konkludere, om tilsætning af rå Zinkgruvan giver en højere styrkeudvikling end rå Raajärvi, men en tendens viser, at 5% C-Z udvikler en højere trykstyrke end 5% C-R, dog under forskellige støbeforhold. Sammenlignes de sigtede prøver med de rå, ses tydeligt en forbedring i den tidlige styrkeudvikling hos 5% C-Zs. Det kan være et tegn på en forbedret fillereffekt ved at sigte mineaffaldet fra Zinkgruvan. Der ses ikke nogen tydelig ændring i den tidlige styrkeudvikling hos Raajärvi-prøverne. Der ses også en forbedring i den sene styrkeudvikling hos 10% C-Zs, hvilken kan tyde på en mulig puzzolaneffekt. Denne tendens fremgår dog ikke for 5% C-Zs. Det er derfor usikkert at konstatere, at sigtet Zinkgruvan har en forbedret puzzolaneffekt. Derimod er der en tendens til forbedring i den sene styrkeudvikling hos både 5% C-Rs og 10% C-Rs, hvilket tyder på, at der opnås en lidt større puzzolaneffekt for mineaffald Raajärvi, ved at sigte det.

I motivationen var målet at sammensætte en beton, der både kunne nedsætte cementbehovet i betonindustrien, og dermed CO<sub>2</sub>-udslippet, og samtidig aflaste mineindustrien og miljøet for store mængder mineaffald. På baggrund af undersøgelserne der er gennemgået i projektet, kan det konkluderes, at tilsætning af mineaffald fra Zinkgruvan og Raajärvi, som delvis cementerstatning, ikke umiddelbart giver et brugbart betonprodukt. Det kan ikke rigtig anvendes til bærende betonkonstruktioner, da trykstyrken er en del svagere end almindelig beton. Også selvom der anvendes sigtet mineaffald fra Raajärvi, som tyder på at øge den endelige trykstyrke, vurderes det stadigvæk ikke, at være

brugbart til bærende betonkonstruktioner. Det er heller ikke optimalt at anvende som armeret beton på grund af et negativt pH-bidrag og en øget porøsitet, som ikke er en god kombination, hvis korrosion skal undgås. Rent styrkemæssigt vil mineaffald, som delvis cementerstatning, kunne anvendes i bygninger, hvor der ikke stilles krav til bæreevnen. Det ses typisk i boligbyggeri, hvor bæreevnen for vægelementer af beton, som regel er overdimensioneret i forhold til de laster, de udsættes for. Men som sagt kan metalindholdet i mineaffaldet fra Zinkgruvan eller Raajärvi ikke godkendes af Miljøstyrelsen, så det vil kræve, at der findes en metode, hvorpå de uønskede metaller kan udvaskes, hvis det skal bruges til byggeri i forbindelse med bolig, børneinstitution, legeplads eller private haver.

*[Blank side]*

# KAPITEL 6

## Videre forskning

---

Dette afsnit indeholder forslag til videre forskning inden for emnet mineaffald i beton.

I første omgang vil det være relevant at lave undersøgelser, hvor trykstyrken på typiske cementerstattende materialer testes i sammenhold med mineaffald, for at se om mineaffald rent faktisk giver et dårligere produkt end umiddelbart antaget. Det kunne være materialer som flyveaske og microsilica.

På baggrund af den endelige konklusion hvor beton med mineaffald som delvis cementerstatning ikke vurderes som et holdbart produkt, er der to forslag fra ”trin 2”, som kunne være oplagte at arbejde videre med. Det ene er at arbejde med et konstant v/c-forhold, og det andet er at undersøge, om metalindholdet kan optimeres af miljømæssige hensyn.

Da det, ud fra projektets undersøgelser, ikke var muligt at sammensætte et betonprodukt med en god trykstyrke, der samtidig skulle opfylde de to hovedmål i motivationen, kunne det være relevant, at undersøge om mineaffald kan integreres i beton på en anden måde end ved cementerstatning. Et forslag til videre forskning med mineaffald i beton, kunne derfor være at erstatte sand. Her undgås det f.eks. at øge v/c-forholdet, hvilket burde resultere i en lavere porøsitet og en højere trykstyrke. Desuden viste udarbejdede kornkurver at mineaffald umiddelbart mere ligner sand end mineaffald.

Da det kan konkluderes, at bæreevnen af et betonprodukt med mineaffald, som delvis cementerstatning, muligvis er tilstrækkelig i husbyggeri, vil det være relevant at lave videre undersøgelser, hvor der fokuseres på at nedbringe indholdet af uønskede metaller i mineaffaldsprodukterne.

I forbindelse med det valgte fokusområde af filleregenskaber og kornstørrelser kunne det være interessant, at undersøge om porøsiteten ændrer sig i mørtel, når mineaffaldet sigtes. Umiddelbart vil en mindre kornstørrelse give anledning til en lavere porøsitet, hvilket muligvis kan optimere korrosionsforholdene i beton. Det kunne også være interessant at undersøge metalindholdet af det sigtede mineaffald i en forhåbning, om at det overholder grænseværdier fra miljøstyrelsen. Med fokus rettet på filleregenskaber og kornstørrelser kunne det også være relevant at anvende knust mineaffald i stedet for sigtet mineaffald for at se, om det kan give den samme eller måske en bedre effekt. Ulempen ved at sigte mineaffald er nemlig, at det efterlader et restprodukt som stadigvæk er til belastning for miljøet og mineindustrien.

*[Blank side]*

# Litteratur

---

- DS/EN 196-1 (2005). *Metoder til prøvning af cement - Del 1: Styrkebestemmelse*. Dansk standart.
- DS/EN 196-2 (2013). *Metode til prøvning af cement - Del 2: Kemisk analyse af cement*. Dansk standart.
- DS/EN 196-3 (2009). *Metoder til prøvning af cement - Del 3: Bestemmelse af afbindings-tid og volumenbestandighed*. Dansk standart.
- DS/EN 450-1 (2012). *Flyveaske til beton - Del 1: Definition, specifikationer og overens-stemmelseskriterier*. Dansk standart.
- DS/EN ISO 10693 (2014). *Jordundersøgelse – Bestemmelse af carbonatindhold – Volu-metrisk metode*. Dansk standart.
- Hansen, K. K. (2015). „Øvelser i byggematerialer“. I: DTU Byg. Kap. E Ståløvelse.
- Hasholt, M. T. (2016). *Lecture 5: Pore structure development (Powers' diagram)*. Course 11563: Concrete technology. DTU.
- Jensen, P. E. m.fl. (2016). „Suspended Electrolytic Extraction of Toxic Elements for Detoxification of Three Different Mine Tailings“. I: *Int. J. Sus. Dev. Plann. Vol. 11, No. 2*.
- Johnson, E. (2017). *amorfe stoffer i Den Store Danske*. Gyldendal. URL: <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=37137> (sidst set 15.06.2017).
- Jørgensen, K. (2017). „Ny norm giver nye muligheder for dansk beton“. I: *Bygge anlægssavisen 1. sektion, Annonce 35*. URL: [https://issuu.com/mediapress/docs/bygge-anl\\_gsavisen\\_sek1\\_20170515](https://issuu.com/mediapress/docs/bygge-anl_gsavisen_sek1_20170515) (sidst set 07.06.2017).
- lundin mining (2016). *Zinkgruvan mine, Sweden*. URL: [http://www.lundinmining.com/i/pdf/Summary\\_Report\\_Zinkgruvan.pdf](http://www.lundinmining.com/i/pdf/Summary_Report_Zinkgruvan.pdf) (sidst set 13.06.2017).

- Malmström, L., Per Hedström og Doug Syme (2008). „Mineral Reserves and Mineral Resources of the Zinkgruvan Mine in South-central Sweden“. I:
- Mehta, P. K. og P. J. M. Monteiro (2006). *Concrete Microstructure, Properties, and Materials*. Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley. McGraw-Hill.
- Miljøstyrelsen (2014). *Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord og kvalitetskriterier for drikkevand*. Miljøministeriet.
- MiningFacts (2017). *How are waste materials managed at mine sites?* URL: <http://www.miningfacts.org/Environment/How-are-waste-materials-managed-at-mine-sites/> (sidst set 16.06.2017).
- Moosberg-Bustnes, H., B. Lagerblad og E. Forssberg (2002). „The function of fillers in concrete“. I: *Materials and Structures, Vol. 37*.
- Munch-Petersen, G. N. (2013). „6 Proportionering“. I: *Betonhåndbogen*.
- Nielsen, A. (1978). *Betons holdbarhed. En oversigt*. Publikation 1:1997 2. reviderede udgave. Dansk Betonforening.
- (1992). *Bygningsmaterialers Egenskaber*. Definitioner og tabeller. Danmarks Tekniske Højskole.
- Nielsen, M. R. (2017). „Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton - Sammenligning af to slags mineaffald med fokus på optimering af trykstyrke og bearbejdelighed“. Speciale. DTU Civil Engineering.
- Niiranen, T., E. Hanski og P. Eilu (2008). „General geology, alteration, and iron deposits in the Palaeoproterozoic Masi region, northern Finland“. I: *Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol. 75 (1-2)*.
- Olivier, J. G. J. m.fl. (2016). *Trends in global CO2 emissions: 2016 Report*. Tek. rap. Sektion A2.2. ©PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Somerikko (2017). *Raajärvi mine, Kemijärvi*. URL: <http://www.somerikko.net/collection/minerals.php?loc=256> (sidst set 14.06.2017).
- Thrysoe, J. (2015). *Sammenhæng mellem cementegenskaber og betonegenskaber*. aalborg-portland CEMENTIR HOLDING. URL: [http://www.aalborgportland.dk/media/pdf\\_filer/2015-06-10\\_b\\_-\\_sammenhaeng\\_mellem\\_cement-\\_egenskaber\\_og\\_betonegenskaber\\_-\\_jacob\\_thrysoee.pdf](http://www.aalborgportland.dk/media/pdf_filer/2015-06-10_b_-_sammenhaeng_mellem_cement-_egenskaber_og_betonegenskaber_-_jacob_thrysoee.pdf) (sidst set 21.06.2017).



Vestergård, Å. M. (2017). *lerminerale i Den Store Danske*. Gyldendal. URL: <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=116038> (sidst set 19.06.2017).

Wikipedia, den frie encyklopædi (2017). *Geoteknik*. URL: <https://da.wikipedia.org/wiki/Geoteknik> (sidst set 12.06.2017).

Aalborg Portland (2010). *Cement og Beton*. Håndbogen om cement, beton og mørtel. aalborgportland CEMENTIR HOLDING.

— (1983). *Portlandcementer*. Beton-Teknik. CtO.

*[Blank side]*

Bilag

---

*[Blank side]*

BILAG A

# Forsøgsvejledninger

---

## A.1 Carbonat indhold

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

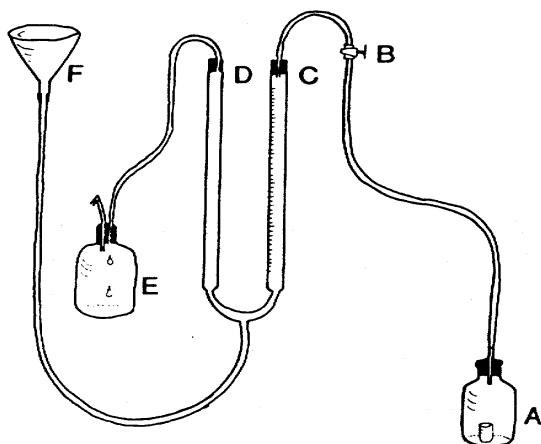
### Carbonat, volumetrisk

#### 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 stinkskaab 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



## A.2 Glødetab

Electrochemistry in Civil Engineering, Metode 16, 24/11/08

### Glødetab i jord

#### A Princip

Jordens indhold af organisk materiale svarer stort set til det opnåede glødetab ved 550°C. I en tungmetalforurennet 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.

Forsøget gentages herefter på samme måde i en time i 950°C ovn<sup>1</sup>.

#### 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.

<sup>1</sup> Dette trin er tilføjet til den originale version af eksaminanden.

## A.3 Kornstørrelsesfordeling ved laserdiffraktometer



### Laserdiffraktion, våde prøver

#### Prøve forberelse:

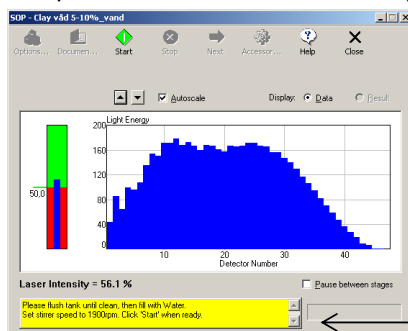
- Halv teske skal hældes på 20 ml vials og tilføje 0.005M Natriumpyrofosfat.
- Tilføj destilleret vand til den prøve kammeret.

#### 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.

## A.4 Oplukning til bestemmelse af metaller

---

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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 stinkskaab ved afmåling.

**Salpetersyre halv konc. (1:1)** - Lokalirriterende; Irriterer øjnene og huden. Brug engangshandsker, sikkerhedsbriller og stinkskaab 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 ½ 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.

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

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.

## A.5 Partiklers densitet

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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 halvfylde. 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

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w;k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w;t}}}$$

$$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w;3}}}$$

Se excel arket for mere information.

#### F Affaldshåndtering

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

## **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



## A.6 pH 1 M KCl opslemning

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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.

## A.7 Vandindhold

---

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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.

## A.8 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-XPRT)

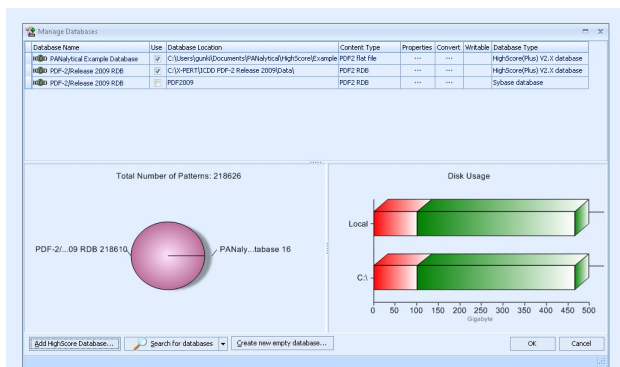
2. Start the programme *HighScore*



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

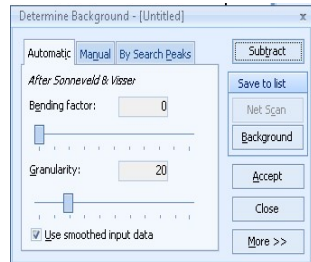


If not, find the database under *Customize* → *Manage databases*. Check that there is > 20,000 patterns available (if there is only about 20, only the example database is on).



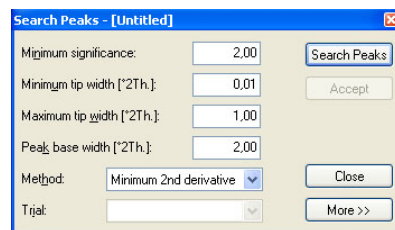
The folder for the converted database is: C:\Program Files\ICDD PDF-2 Release and the box should be checked off.

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



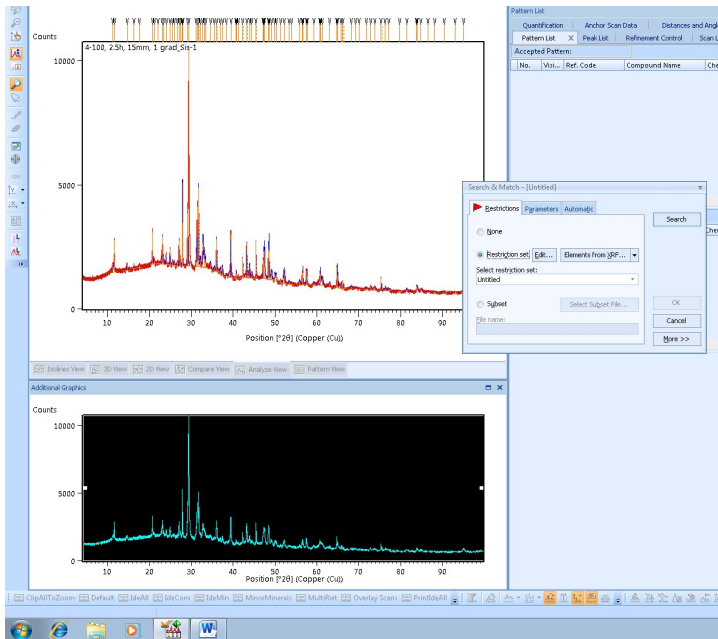
There are 3 different methods for determining the background: Automatic, Manual and by search peak. (read more about the different methods in the full manual). **Choose Automatic.**

7. 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.
8. Choose *treatment* → *search peaks*. The following window will appear:

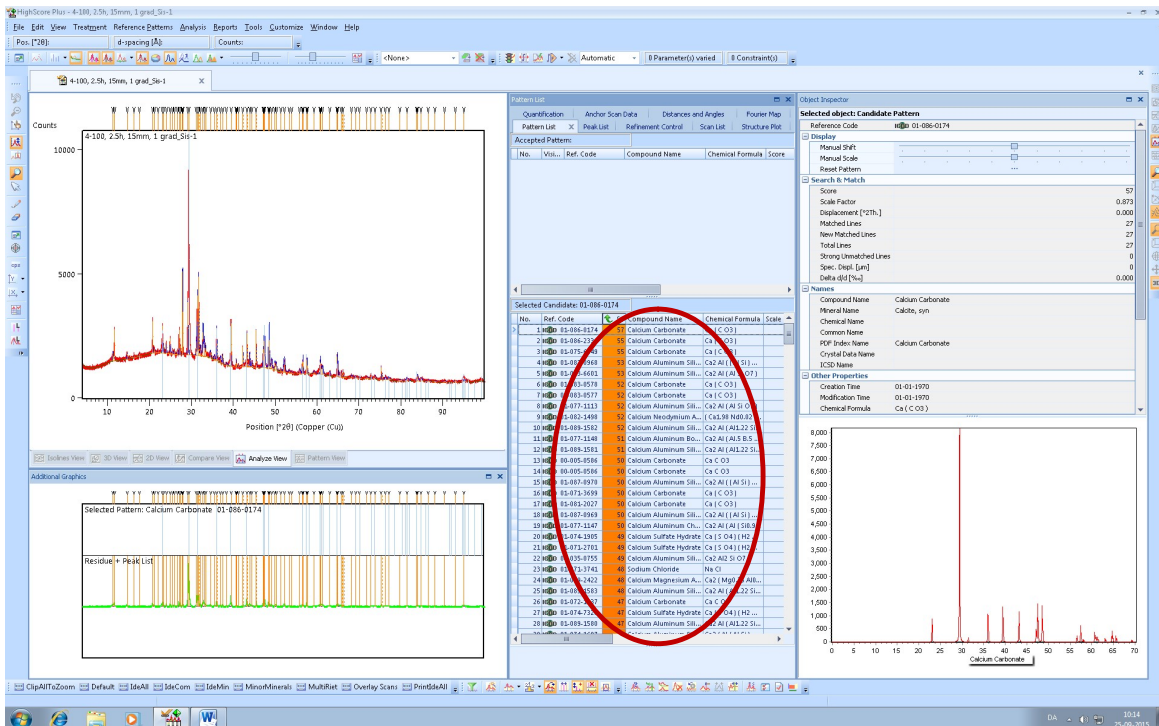


The “Search peak”-function uses 5 parameters to define what parts of the profile that are peaks and what parts that are not. The 5 parameters are: minimum significance, minimum and maximum tip widths, Peak base width and method. (read more about the 5 parameters in the full manual). Press **search peaks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

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

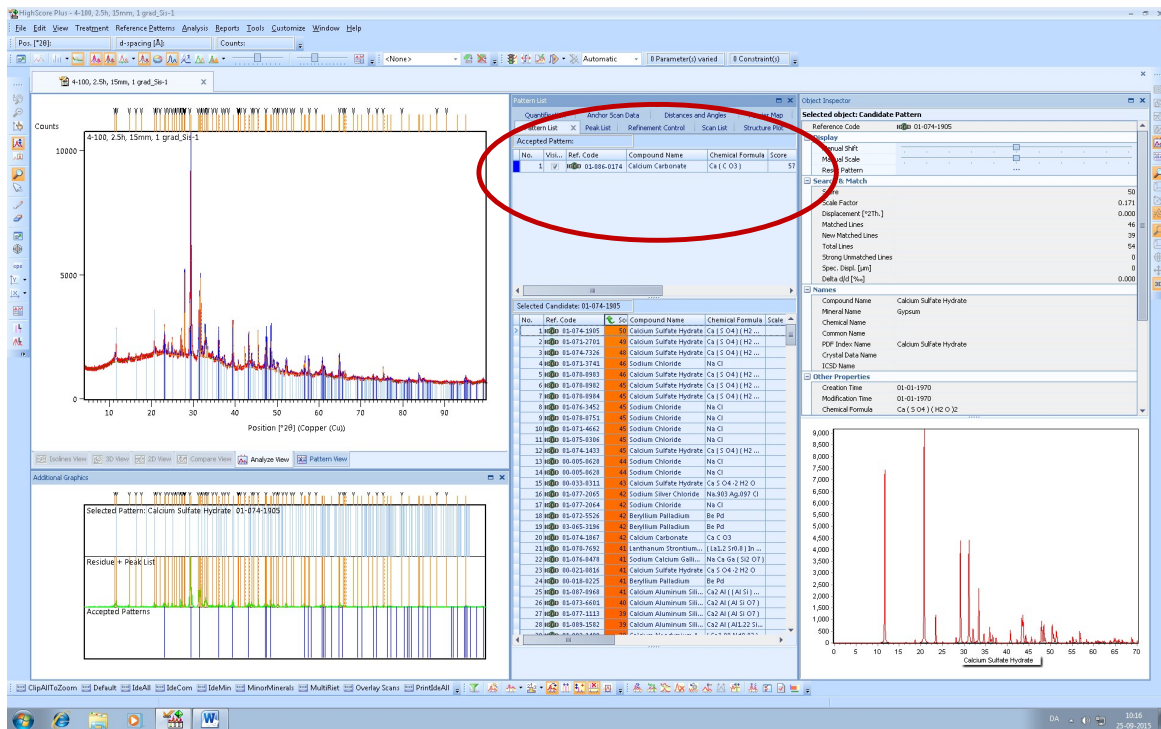


10. Press **search** (then the program compares your diffractogram to the > 20,000 patterns in the database, so it take a few minutes).



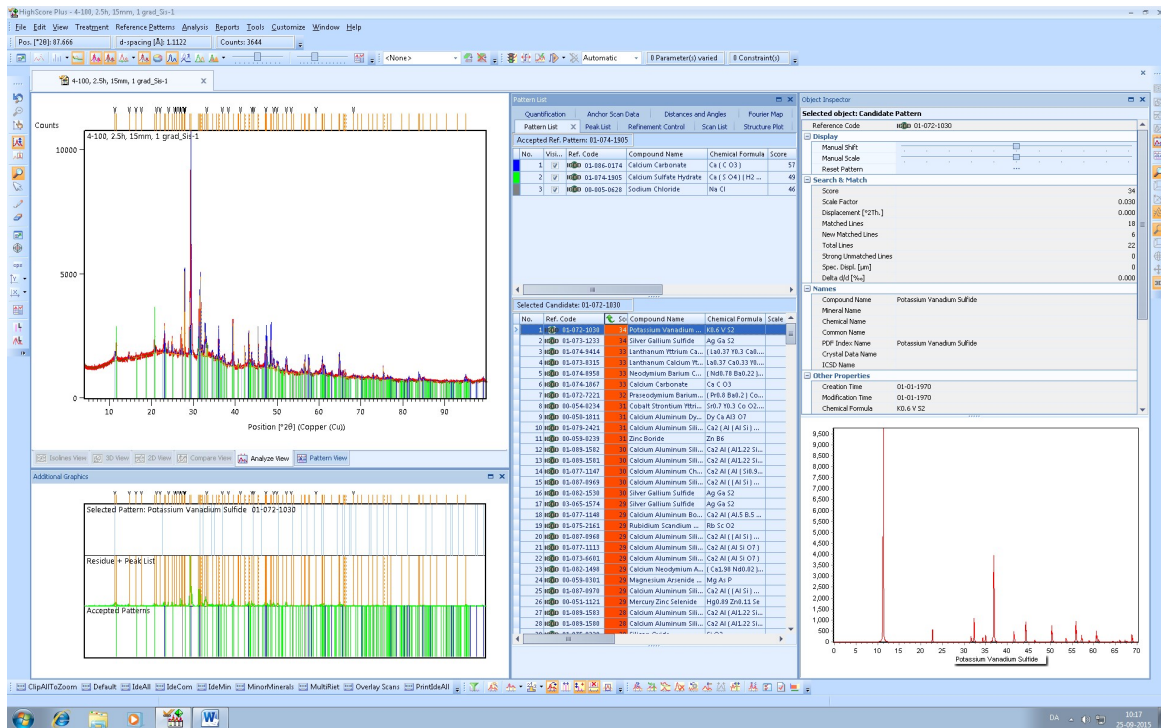
You will have a list of all possible minerals. Score can be used to evaluate the possibility of the presence of the mineral, **but be critical! If you know what you are looking for, this step is much easier! Look in published literature for similar materials.**

- 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.



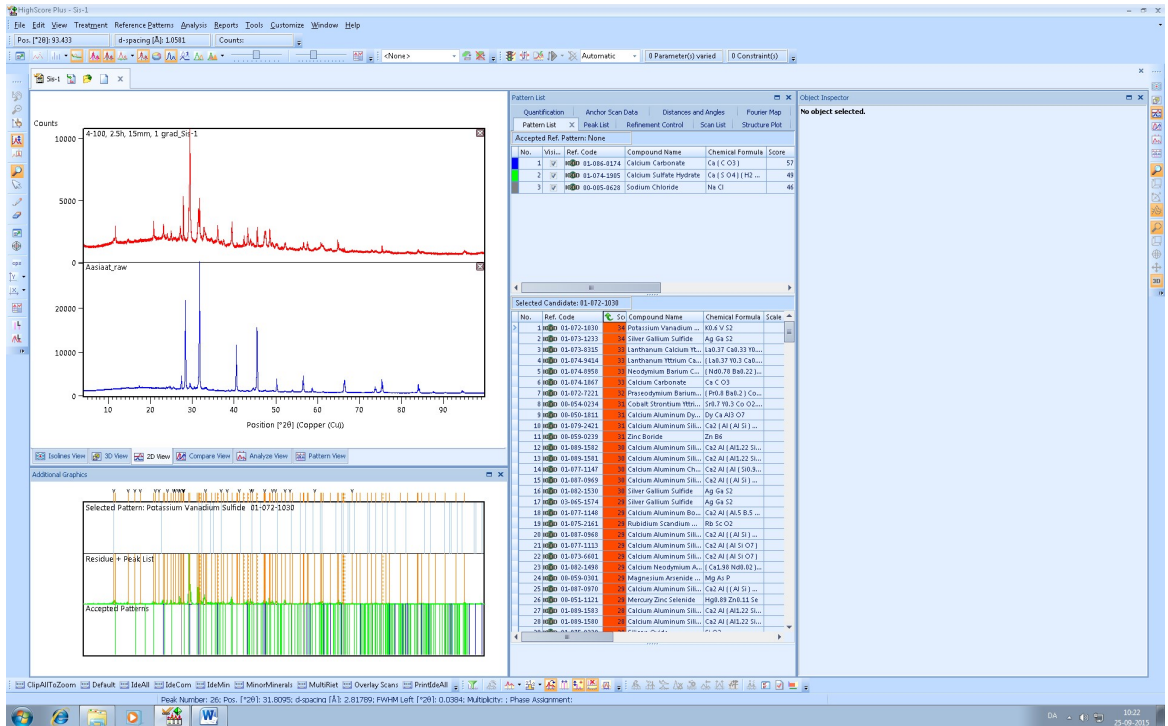


## Making graphs

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 electrodiagnostically 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.

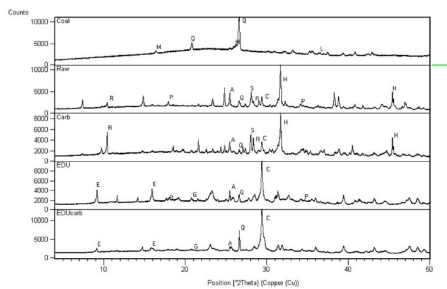


Figure 3 – XRD diffractograms with main minerals: M-mullite, Q-quartz, L-lime, R-richterite, P-perianthine, A-anhydrite, S-sylvite, C-calcite, H-haillite, E-entreggie, G-gypsum

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 1901. The main mineral compounds

## A.9 Støbning af mørtelprøver

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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 % cementerstatning, 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.

## A.10 Afbindingsforløb

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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 sættes 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] ([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.



# A.11 Bearbejdelighed

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

## 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

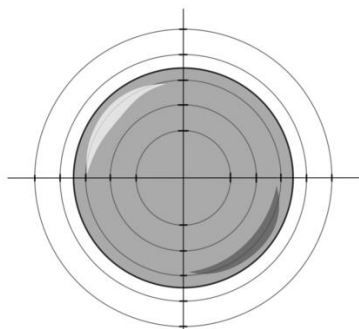
Afretter

### 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.

## A.12 Porøsitet og densitet

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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>		
$V_{på} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>		
$P_{\bar{a}} = V_{på} / V$	Kg/m <sup>3</sup>		
$\rho_d = m_{105} / V$	Kg/m <sup>3</sup>		
$\rho_f = m_{105} / (V - V_{på})$	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>)
- $V_{på}$  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>)
- $p_{\bar{a}}$  Prøvelegemets åbne porøsitet (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)
- $u_{ssd}$  Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)

## A.13 Trykstyrke

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

### 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.

## A.14 Farveprøver

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2017

### 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.

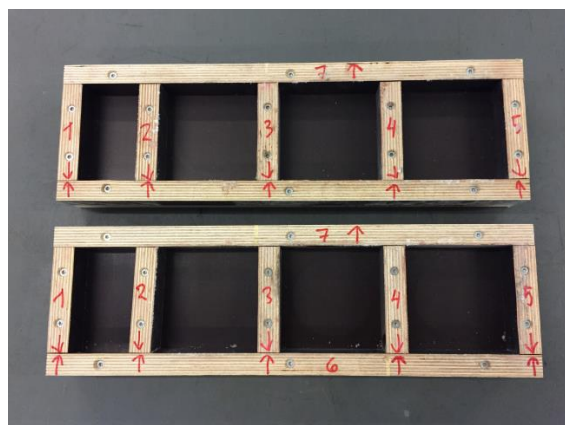
#### D Udførelse

*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.

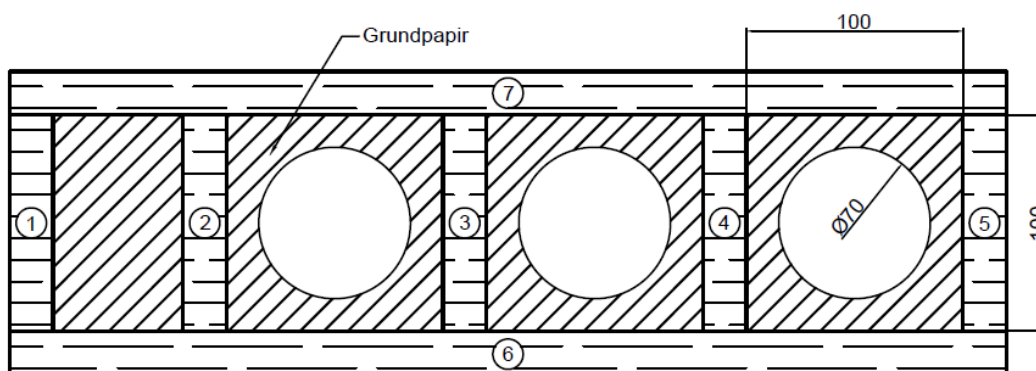


Figur 1: 2 stk. forme til farveprøver

### 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.

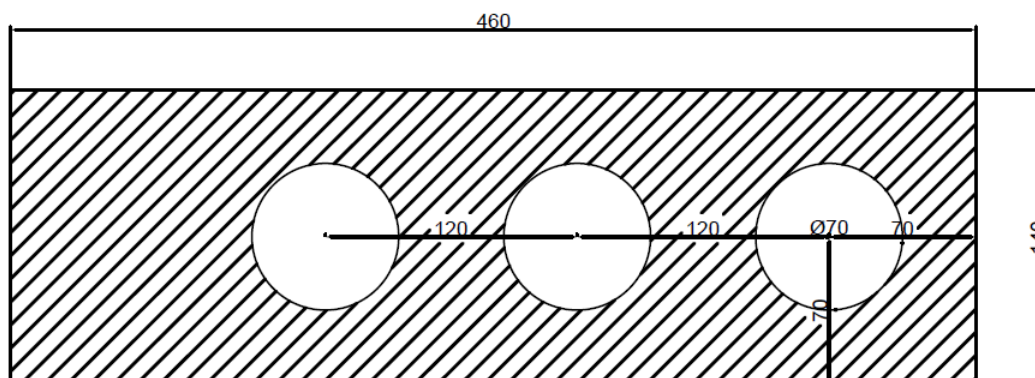
Der måles op til tre huller i hver firkant (mellem side nr. 2 og 3, nr. 3 og 4, nr. 4 og 5). Hullerne skal have en diameter på 70mm og skal så vidt muligt placeres centreret i firkanterne, se figur 2. Hullerne tegnes med blyant og skæres ud med en cirkelskære på skærepladen.



**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 from 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.

*[Blank side]*

# BILAG B

Data

---

## B.1 Carbonat indhold

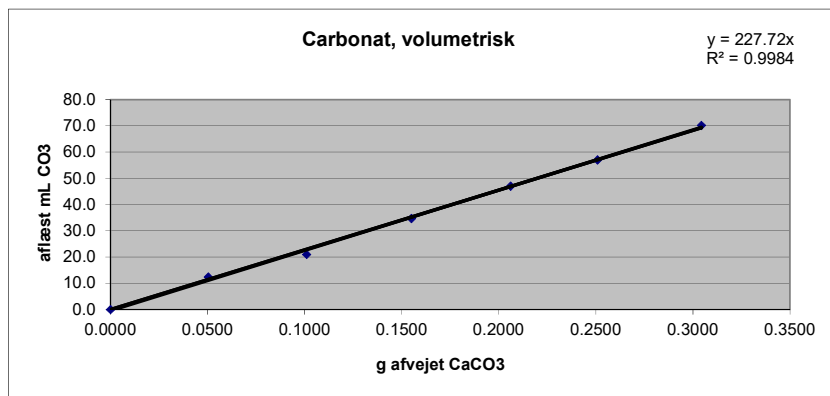
Carbonatindhold i tailings (data)											
Målte data ved forsøg											
Forsøg med zinkgruvan			Forsøg med Raajärvi			Forsøg med cement			Forsøg med sand		
Vægt af zinkgruvan			Vægt af Raajärvi			Vægt af cement			Vægt af sand		
Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed
A	2.5001	g	A	2.5019	g	A	0.5063	g	A	2.5024	g
B	2.4508	g	B	2.5015	g	B	0.5074	g	B	2.5015	g
C	2.5156	g	C	2.5017	g	C	0.5002	g	C	2.5015	g
Vandmængde i niveau			Vandmængde i niveau			Vandmængde i niveau			Vandmængde i niveau		
A	72.0	mL	A	5.6	mL	A	19.2	mL	A	41	mL
B	71.4	mL	B	7.4	mL	B	20.0	mL	B	39.2	mL
C	72.6	mL	C	12	mL	C	21.0	mL	C	42.2	mL
Resultater											
Vægt af calciumcarbonat iht. standartrække			Vægt af calciumcarbonat iht. standartrække			Vægt af calciumcarbonat iht. standartrække			Vægt af calciumcarbonat iht. standartrække		
Prøve	Vægt	enhed	Prøve	Vægt	enhed	Prøve	Vægt	enhed	Prøve	Vægt	enhed
A	0.31618	g	A	0.024591604	g	A	0.084314	g	A	0.180046	g
B	0.31354	g	B	0.032496048	g	B	0.087827	g	B	0.172141	g
C	0.31881	g	C	0.052696294	g	C	0.092219	g	C	0.185315	g
Indhold af calciumcarbonat			Indhold af calciumcarbonat			Indhold af calciumcarbonat			Indhold af calciumcarbonat		
A	12.6	%	A	0.982917132	%	A	16.65299	%	A	7.19492	%
B	12.8	%	B	1.299062474	%	B	17.30925	%	B	6.88152	%
C	12.7	%	C	2.106419383	%	C	18.43633	%	C	7.408167	%
Middel	12.7	%	Middel	1.462799663	%	Middel	17.46619	%	Middel	7.161536	%
Carbonatindhold			Carbonatindhold			Carbonatindhold			Carbonatindhold		
Parameter	Værdi	Enhed	Parameter	Værdi	Enhed	Parameter	Værdi	Enhed	Parameter	Værdi	Enhed
Indhold	12.7	%	Indhold	1.5	%	Indhold	17.5	%	Indhold	7.2	%
STDAFV	0.1	%	STDAFV	0.6	%	STDAFV	0.9	%	STDAFV	0.3	%

### Noter

Hver rystning tog minimum 40 min for Zinkgruvan, og blev nødt til at stoppes pga. tidsmangel.

Derfor kunne carbonindholdet nok godt måles til en højere værdi. Jeg tror det skyldes de store kornstørrelser, der medfører at frigivningen af carbon tager længere tid.

Standardkurve			Dato: 07/02-2017	Udført af: malm
Standardrække:	g afvejede CaCO <sub>3</sub>	aflest mL CO <sub>2</sub>		
Nulprøve	0.0000	0.0		
Standard: 0,05	0.0504	12.4		
Standard: 0,10	0.1010	21.0		
Standard: 0,15	0.1550	34.7		
Standard: 0,20	0.2061	47.0		
Standard: 0,25	0.2509	57.0		
Standard: 0,30	0.3044	70.2		



## B.2 Glødetab

Glødetab (data)															
Målte data ved forsøg															
Forsøg med zinkgruvan				Forsøg med Raajärvi				Forsøg med cement				Forsøg med sand			
Vægt af digler efter 30 min i 550 °C				Vægt af digler efter 30 min i 550 °C				Vægt af digler efter 30 min i 550 °C				Vægt af digler efter 30 min i 550 °C			
Prøve	vægt	enhed		Prøve	vægt	enhed		Prøve	vægt	enhed		Prøve	vægt	enhed	
A	15.6086	g		A	14.3954	g		A	14.3517	g		A	13.5489	g	
B	13.6395	g		B	10.8776	g		B	14.2702	g		B	12.2775	g	
C	12.4062	g		C	14.0734	g		C	15.5934	g		C	13.6525	g	
Vægt af prøver inden 550 °C				Vægt af prøver inden 550 °C				Vægt af prøver inden 550 °C				Vægt af prøver inden 550 °C			
A	2.5019	g		A	2.5011	g		A	2.5053	g		A	2.4999	g	
B	2.5002	g		B	2.5	g		B	2.5058	g		B	2.5009	g	
C	2.4992	g		C	2.506	g		C	2.504	g		C	2.4995	g	
Vægt af digler+prøver efter 550 °C				Vægt af digler+prøver efter 550 °C				Vægt af digler+prøver efter 550 °C				Vægt af digler+prøver efter 550 °C			
A	18.0988	g		A	16.8268	g		A	16.8319	g		A	16.034	g	
B	16.1286	g		B	13.3041	g		B	16.7543	g		B	14.7703	g	
C	14.8942	g		C	16.5017	g		C	18.0683	g		C	16.1432	g	
Vægt af digler+prøver efter 950 °C				Vægt af digler+prøver efter 950 °C				Vægt af digler+prøver efter 950 °C				Vægt af digler+prøver efter 950 °C			
A	17.9587	g		A	16.7481	g		A	16.7019	g		A	15.9532	g	
B	15.9926	g		B	13.2244	g		B	16.6196	g		B	14.6899	g	
C	14.7503	g		C	16.4258	g		C	17.9406	g		C	16.0793	g	
Resultater															
% glødetab efter 550°C				% glødetab efter 550°C				% glødetab efter 550°C				% glødetab efter 550°C			
A	0.5	%		A	2.8	%		A	1.0	%		A	0.6	%	
B	0.4	%		B	2.9	%		B	0.9	%		B	0.3	%	
C	0.4	%		C	3.1	%		C	1.2	%		C	0.4	%	
Middel	0.5	%		Middel	2.9	%		Middel	1.0	%		Middel	0.4	%	
STDAFV	0.0	%		STDAFV	0.2	%		STDAFV	0.1	%		STDAFV	0.1	%	
% glødetab efter 950°C				% glødetab efter 950°C				% glødetab efter 950°C				% glødetab efter 950°C			
A	6.1	%		A	5.9	%		A	6.2	%		A	3.8	%	
B	5.9	%		B	6.1	%		B	6.2	%		B	3.5	%	
C	6.2	%		C	6.1	%		C	6.3	%		C	2.9	%	
Middel	6.1	%		Middel	6.1	%		Middel	6.2	%		Middel	3.4	%	
STDAFV	0.2	%		STDAFV	0.1	%		STDAFV	0.0	%		STDAFV	0.5	%	





# MASTERSIZER



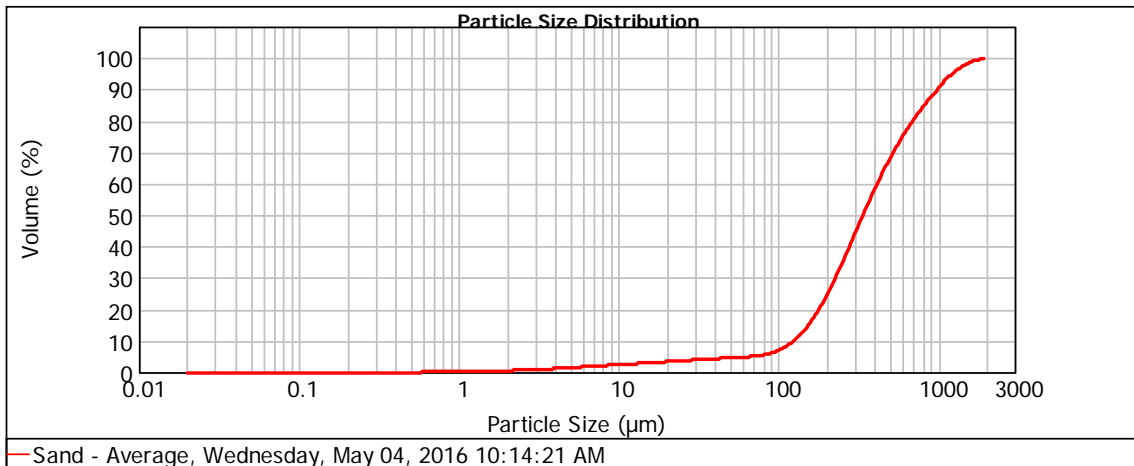
## Result Analysis Report

<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	0.05	15.136	0.18	158.489	5.74	1659.587	0.85
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.06	17.378	0.18	181.970	6.47	1905.461	0.20
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.08	19.953	0.19	208.930	6.95	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.09	22.909	0.19	239.883	7.11	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.11	26.303	0.20	275.423	7.11	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.13	30.200	0.21	316.228	6.98	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.14	34.674	0.20	363.078	6.61	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.16	39.811	0.19	416.869	6.08	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.17	45.709	0.17	478.630	5.51	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.18	52.481	0.15	549.541	4.95	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.19	60.256	0.17	630.957	4.46	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.03	6.607	0.20	69.183	0.25	724.436	4.02	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.05	7.586	0.20	79.433	0.43	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	1.97				

Operator notes:



# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Raajarvi - Averaged Result

**Sample Source & type:**  
Paris

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

**SOP Name:**  
Mine tailing Tør

**Measured by:**  
malm

**Result Source:**  
Averaged

**Measured:**  
Tuesday, April 04, 2017 10:01:53 AM

**Analysed:**  
Tuesday, April 04, 2017 10:01:55 AM

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**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:**  
0.488 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
0.46 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0014 %Vol

**Span :**  
2.204

**Uniformity:**  
0.726

**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.0639 m<sup>2</sup>/g

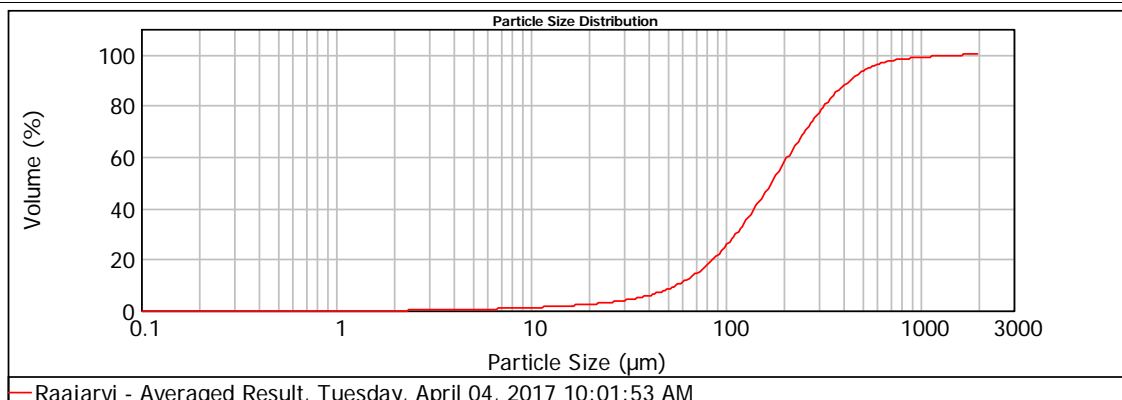
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
93.893 um

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

**d(0.1):** 56.301 um

**d(0.5):** 172.118 um

**d(0.9):** 435.648 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	0.22	120.226	6.35	1258.925	0.25
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.25	138.038	6.84	1445.440	0.19
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.29	158.489	7.11	1659.587	0.19
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.33	181.970	7.15	1905.461	0.10
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.40	208.930	6.94	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.00	22.909	0.49	239.883	6.51	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.02	26.303	0.62	275.423	5.89	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.05	30.200	0.80	316.228	5.13	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.07	34.674	1.04	363.078	4.31	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.10	39.811	1.36	416.869	3.45	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.10	45.709	1.77	478.630	2.61	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.12	52.481	2.27	549.541	1.81	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.13	60.256	2.86	630.957	1.10	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.15	69.183	3.53	724.436	0.59	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.16	79.433	4.26	831.764	0.41	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.18	91.201	5.01	954.993	0.36	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.20	104.713	5.73	1096.478	0.30		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.20	120.226	5.73	1258.925	0.30		

**Operator notes:** Average of 3 measurements from 170404 minetailings







# MASTERSIZER



## Result Analysis Report

**Sample Name:**  
Raajärvi >250mym - 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 9:37:18 AM

**Analysed:**  
Thursday, May 11, 2017 9:37:19 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  $\mu\text{m}$

**Weighted Residual:**  
1.622 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
13.54 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.4619 %Vol

**Span :**  
1.612

**Uniformity:**  
0.508

**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.0263  $\text{m}^2/\text{g}$

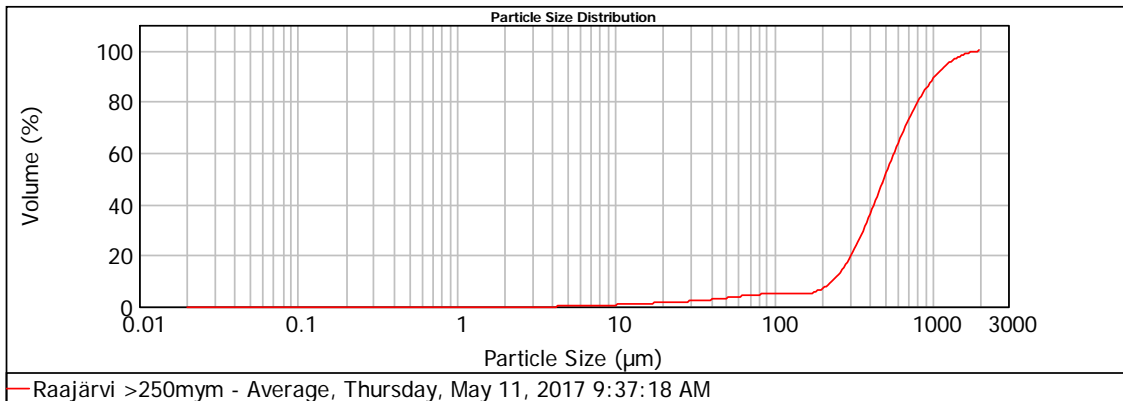
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
227.817  $\mu\text{m}$

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
573.590  $\mu\text{m}$

**d(0.1):** 238.112  $\mu\text{m}$

**d(0.5):** 497.798  $\mu\text{m}$

**d(0.9):** 1040.428  $\mu\text{m}$



Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %	Size ( $\mu\text{m}$ )	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.17	120.226	0.00	1258.925	2.42
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.17	138.038	0.14	1445.440	1.58
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.17	158.489	0.14	1659.587	1.58
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.17	181.970	0.68	1905.461	0.82
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.17	208.930	1.60	2187.762	0.18
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.00	22.909	0.17	239.883	2.90	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.00	26.303	0.19	275.423	4.50	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.00	30.200	0.22	316.228	6.20	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.00	34.674	0.27	363.078	7.77	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.00	39.811	0.33	416.869	8.96	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.01	45.709	0.39	478.630	9.61	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.05	52.481	0.44	549.541	9.65	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.08	60.256	0.45	630.957	9.14	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.10	69.183	0.41	724.436	8.21	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.12	79.433	0.32	831.764	7.04	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.14	91.201	0.16	954.993	5.77	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.15	104.713	0.03	1096.478	4.54		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.17	120.226	0.00	1258.925	3.41		

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

**Particle Name:**  
Mine tailing Tør

**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:**  
0.404 %

**Sensitivity:**  
Enhanced

**Obscuration:**  
1.67 %

**Result Emulation:**  
Off

**Concentration:**  
0.0054 %Vol

**Span :**  
1.568

**Uniformity:**  
0.485

**Result units:**  
Volume

**Specific Surface Area:**  
0.0586 m<sup>2</sup>/g

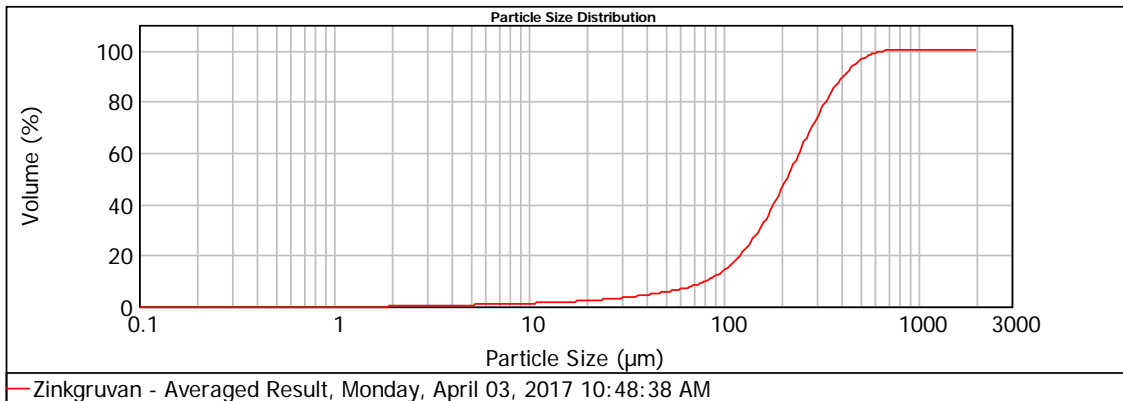
**Surface Weighted Mean D[3,2]:**  
102.416 um

**Vol. Weighted Mean D[4,3]:**  
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	0.06	19.953	0.33	208.930	9.46	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.07	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	0.14	104.713	4.36	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.15	120.226		1258.925	0.00		

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





# B.4 Oplukning til bestemmelse af metaller

Oplukningsforsøg til bestemmelse af metaller i tailings (data)																															
Målte data ved forsøg																															
Forsøg med zinkgruvan				Forsøg med raarjvri				Forsøg med cement				Forsøg med sand																			
Prøve	Vægt af zinkgruvan			Prøve	Vægt af WM			Prøve	Vægt af CE			Prøve	Vægt af sand																		
	vægt	enhed		vægt	enhed		vægt	enhed		vægt	enhed		vægt	enhed																	
A	1.0200	g		A	1.0019	g		A	1.0065	g		A	1.0024	g																	
B	1.0200	g		B	1.0009	g		B	1.0104	g		B	0.9990	g																	
C	1.0000	g		C	1.0012	g		C	1.0052	g		C	1.0046	g																	
D	1.0100	g		D	1.0010	g		D	1.0002	g		D	1.0082	g																	
E	1.0000	g		E	1.0010	g		E	1.0026	g		E	1.0044	g																	
Resultater for zinkgruvan																															
Fortyndingsfaktor, C																															
Metalkoncentration (mg/L = ppm)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn														
Atomnr.	13	33	56	20	48	24	29	26	19	12	25	11	28	15	82	16	30														
A	79.2425	0.5008	2.7852	380.8000	0.1524	0.0346	2.9087	204.9520	53.6241	209.7140	10.7244	1.6464	0.2108	3.4188	41.7924	64.0836	94.8379														
B	76.9177	0.5491	2.3135	400.8090	0.1534	0.0319	2.7567	204.6460	52.0557	224.0890	15.6269	1.5945	0.2066	3.7713	41.0955	63.1003	94.8379														
C	79.3597	0.4526	2.6716	367.0270	0.1536	0.0332	2.7936	196.8480	53.9370	204.8560	10.3586	1.6481	0.1985	3.2709	39.9458	63.0781	94.8379														
D	78.1938	0.6176	2.4374	395.6760	0.1473	0.0314	2.7974	203.4330	54.0018	219.2200	10.7077	1.6021	0.2242	3.7116	41.5189	62.4451	94.8379														
E	73.9653	0.6357	2.5505	377.0110	0.1526	0.0301	2.7414	199.6370	49.5610	213.2410	10.6101	1.5607	0.2072	3.6162	39.7010	61.5130	94.8379														
Metalindhold i zinkgruvan (mg/kg tailing)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn	I alt													
A	7768.9	49.1	273.1	37333.3	14.9	3.4	275.4	20093.3	5257.3	20560.2	1051.4	161.4	20.7	335.2	4097.3	6287.0	9297.8	112873.4													
B	7541.0	53.8	226.8	39295.0	15.0	3.1	270.3	20063.3	5103.5	21969.5	1532.0	156.3	20.3	369.7	4029.0	6186.3	9297.8	116132.0													
C	7936.0	45.3	267.2	36702.7	15.4	3.3	279.4	19684.8	5393.7	20485.6	1035.9	164.8	19.9	327.1	3994.6	6307.8	9483.8	112147.0													
D	7742.0	61.1	241.3	39175.8	14.6	3.1	274.0	20141.9	5346.7	21705.0	1060.2	158.6	22.2	367.5	4110.8	6182.7	9389.9	116000.3													
E	7396.5	63.6	255.0	37701.1	15.3	3.0	274.1	19963.7	4956.1	21324.1	1061.0	156.1	20.7	361.6	3970.1	6151.3	9483.8	113157.2													
Gennemsnit	7676.9	54.6	252.7	38041.6	15.0	3.2	275.2	19989.4	5211.5	21208.9	1052.1	159.4	20.7	352.2	4040.3	6221.8	9390.6	113966.2													
STDAFV	210	8	19	1148	0	0	3	182	181	667	12	4	1	20	62	68	93	1867.1													
Resultater for Raarjvri																															
Fortyndingsfaktor, C																															
Metalkoncentration (mg/L = ppm)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn														
Atomnr.	13	33	56	20	48	24	29	26	19	12	25	11	28	15	82	16	30														
A	211.34	UV	0.225746	49.4368	UV	0.25423	3.51216	384.628	192.754	556.672	0.675943	7.71472	2.28646	29.9794	0.557507	62.7578	0.216881														
B	216.147	UV	0.233616	51.2664	UV	0.251287	3.42301	388.753	193.877	569.223	0.675922	7.66802	2.27765	30.9878	0.551535	61.4967	0.12567														
C	215.921	UV	0.235405	48.0324	UV	0.261589	3.7191	421.462	198.372	569.744	0.690442	7.83763	2.25688	29.2013	0.594556	76.9854	0.179375														
D	216.619	UV	0.224904	47.2914	UV	0.278972	3.2885	380.714	195.302	558.653	0.663112	7.73322	2.21268	28.68	0.572582	54.5571	0.146261														
E	222.455	UV	0.234069	49.7578	UV	0.258888	3.54149	400.19	198.494	580.478	0.699393	8.05025	2.39153	29.898	0.587782	61.4396	0.138577														
Metalindhold i Raarjvri (mg/kg tailing)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn	I alt													
A	21093.9	UV	22.5	4934.3	UV	25.4	350.5	38389.9	19238.8	55561.6	67.5	770.0	228.2	2992.3	55.6	6263.9	21.6	150016.1													
B	21595.3	UV	23.3	5122.0	UV	25.1	342.0	38840.3	19370.3	56871.1	67.5	766.1	227.6	3096.0	55.5	6144.1	12.6	152558.8													
C	21566.2	UV	23.5	4797.5	UV	26.1	371.5	42095.7	19813.4	56906.1	69.0	782.8	225.4	2916.6	59.4	7689.3	17.9	157360.5													
D	21640.3	UV	22.5	4724.4	UV	27.9	322.6	38033.4	19510.7	56808.5	66.2	772.5	221.0	2865.1	57.2	5450.3	14.6	150537.2													
E	22223.3	UV	23.4	4970.8	UV	25.9	353.8	39970.0	19829.6	57989.8	69.9	804.2	238.9	2986.8	58.7	6137.8	13.8	155705.7													
Gennemsnit	21623.8	UV	23.0	4909.8	UV	26.1	348.1	39467.7	19552.6	56827.4	68.0	779.1	228.2	2971.4	57.3	6337.1	16.1	153235.7													
STDAFV	401.4	UV	0.5	155.2	UV	1.1	17.8	1641.7	263.7	860.5	1.4	15.3	6.6	87.3	1.8	821.2	3.7	3210.2													
Resultater for cement																															
Fortyndingsfaktor, C																															
Metalkoncentration (mg/L = ppm)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn														
Atomnr.	13	33	56	20	48	24	29	26	19	12	25	11	28	15	82	16	30														
A	144.99	0.077551	2.14593	2233.82	UV	0.233077	0.762774	146.372	27.4411	31.1305	1.476	10.0047	0.194101	7.2474	0.248104	92.0496	2.24593														
B	162.505	0.069476	2.35199	2540.38	UV	0.255299	0.842315	163.593	30.5598	34.3645	1.60968	10.8007	0.21206	8.06176	0.250912	102.606	2.40572														
C	170.695	0.080437	2.38567	2784.74	UV	0.266599	0.875767	171.984	31.6202	35.2384	1.65238	10.9469	0.216091	8.30529	0.266158	101.394	2.56534														
D	179.222	0.076248	2.47797	3096.84	UV	0.279868	0.893533	180.123	32.7689	36.5942	1.70924	10.9244	0.230744	8.56004	0.273799	105.656	2.6896														
E	172.239	0.084282	2.39787	3149.94	UV	0.268918	0.866667	173.216	31.4988	35.2029	1.6628	10.9941	0.222765	8.16786	0.264402	99.3257	2.58506														
Metalindhold i cement (mg/kg tailing)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn	I alt													
A	14405.4	7.7	213.2	221939.4	UV	23.2	75.8	14542.7	2736.4	3092.9	146.6	994.0	19.3	720.1	24.7	9145.5	223.1	268299.9													
B	16082.2	6.9	232.8	251423.2	UV	25.3	83.4	16190.9	3024.5	3401.1	159.3	1069.6	21.0	797.9	24.8	10155.0	247.0	302945.8													
C	16981.2	8.0	237.3	277033.4	UV	26.5	87.1	17109.4	3145.7	3505.6	164.4	1089.0	21.5	826.2	26.5	10086.9	255.2	330604.1													
D	17918.6	7.6	247.7	309622.1	UV	28.0	89.3	18008.7	3276.2	3658.7	170.9	1092.2	23.1	855.8	27.4	10563.5	268.9	365858.8													
E	17179.2	8.4	239.2	314177.1	UV	26.8	86.4	17276.7	3141.7	3511.2	165.8	1096.6	22.2	814.7	26.4	9906.8	257.8	367937.1													
Gennemsnit	16513.5	7.7	234.0	274839.0	UV	25.9	84.4	16625.7	3062.9	3433.9	161.4	1068.3	21.4	802.9	25.9	9971.5	250.4	327129.1													
STDAFV	1347.7	0.6	12.9	39079.5	UV	1.8	5.3	1332.2	208.1	211.5	9.2	42.8	1.4	50.9	1.2	520.5	17.1	42494.3													
Resultater for sand																															
Fortyndingsfaktor, C																															
Metalkoncentration (mg/L = ppm)																															
Prøver	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn														
Atomnr.	13	33	56	20	48	24	29	26	19	12	25	11	28	15	82	16	30														
A	9.94026	UV	0.027756	232.737	UV	0.02036	UV	16.9442	2.91023	5.52393	0.563504	1.75998	0.008874	2.92625	UV	3.07391	0.081673														
B	10.7091	UV	0.025547	244.319	UV	0.018294	UV	18.5833	2.67493	6.1759	0.695888	1.77694	0.016318	2.70523	UV	2.75151	0.051007														
C	9.48246	UV	0.026029	212.389	UV	0.016933	UV	16.986	2.64154	5.77645	0.556248	1.81359	0.014609	1.78511	UV	3.16469	0.057784														
D	10.617	UV	0.027541	295.757	UV	0.03882	UV	19.8104	2.83135	7.31107	0.774292	1.72502	0.02082	2.19322	UV	4.05315	0.062797														
E	9.33348	UV	0.050943	234.685	UV	0.020197	UV	15.828	2.52909	5.67314																					

## B.5 Partiklers densitet

Dato	21-02-2017
Navn	Julius Nielsen
Projekt	Mineaffald i beton
Prøvemateriale	Zinkgruvan

Metode:  
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)  
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3

Resultat
Beregning
Input

### Bestemmelse af kornrumvægt Sand

				1	2	3
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>						
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
<b>Måling</b>						
Pykn.+ prop + jord		$m_2$	g	35.3903	36.5873	35.4802
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	84.2778	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>	0.99963	0.99963	0.99963
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	3.9939	3.993	3.992
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1.41942	1.460792	1.417117
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.813755	2.733448	2.816987
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.7881</b>		
Betegnelser fra	dgf15	DS		STD AFV	0.047326	

\* Se faneblad med vands densitet

Dgf-bulletin 15:

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w,t}}}$$

DS/CEN ISO/TS 17892-3:

$$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w;3}}}$$

Der bør ikke være stor forskel på temperaturen ved kalibrering og måling.

Der kan evt. foretages kalibrering ved flere temperaturer, eller udføres en teoretisk korrektion af volumen af pyknometer:

$$V_{pyk;test} = \frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T - T_k)$$

$$V_{pyk;3} = \frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T_1 - T_3)$$

Dato	13-03-2017
Navn	Julius Nielsen
Projekt	Mineaffald i beton
Prøvemateriale	Raajärvi

Metode:  
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)  
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3

Resultat  
Beregning  
Input

**Bestemmelse af kornrumvægt  
Sand**

				1	2	3
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>						
Pyknometer nummer				15	50	18
Pykn. + prop (tomt)		$m_0$	g	43.4436	42.6314	43.0337
Pykn. + prop (vandfyldt)	$W_2$	$m_1$	g	143.5719	143.7742	146.6039
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	47.4667	46.6108	47.0273
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	146.1163	146.3188	149.1485
Temperatur	$T$	$T_3$	°C	23	23	23
Densitet af vand ved $T$ *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0.99757	0.99757	0.99757
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	4.0231	3.9794	3.9936
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1.459165	1.41492413	1.428598
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.757124	2.81244762	2.795468
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.7883</b>		
Betegnelse fra	dgf15	DS		STD AFV	0.02834111	

\* [Se faneblad med vands densitet](#)

Dgf-bulletin 15:

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w,t}}}$$

DS/CEN ISO/TS 17892-3:

$$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w;3}}}$$

Der bør ikke være stor forskel på temperaturen ved kalibrering og måling.  
Der kan evt. foretages kalibrering ved flere temperaturer, eller udføres en teoretisk korrektion af volumen af pyknometer:

$$V_{pyk;test} = \frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T - T_k)$$

$$V_{pyk;3} = \frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T_1 - T_3)$$



Dato	24-02-2017
Navn	Julius Nielsen
Projekt	Mineaffald i beton
Prøvemateriale	Basis Cement

Metode:  
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)  
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3

Resultat  
Beregning  
Input

### Bestemmelse af kornrumvægt Sand

				1	2	3
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>						
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
<b>Måling</b>						
Pykn.+ prop + jord		$m_2$	g	35.1487	36.5879	35.4876
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	84.2736	84.5749	83.7663
Temperatur	$T$	$T_3$	°C	25	25	25
Densitet af vand ved $T$ *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0.99708	0.99708	0.99708
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	3.7523	3.9936	3.9994
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1.05625	1.135647	1.138743
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	3.552473	3.516587	3.512119
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	<b>3.5271</b>		
Betegnelse fra	dgf15	DS		STD AFV 0.022121		

\* [Se faneblad med vands densitet](#)

Dgf-bulletin 15:

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w,t}}}$$

DS/CEN ISO/TS 17892-3:

$$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w,1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w,3}}}$$

Der bør ikke være stor forskel på temperaturen ved kalibrering og måling.  
Der kan evt. foretages kalibrering ved flere temperaturer, eller udføres en teoretisk korrektion af volumen af pyknometer:

$$V_{pyk;test} = \frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T - T_k)$$

$$V_{pyk;3} = \frac{m_1 - m_0}{\rho_{w,1}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T_1 - T_3)$$

Dato	22-02-2017
Navn	Julius Nielsen
Projekt	Mineaffald i beton
Prøvemateriale	Søsand (0-4mm)

Metode:  
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)  
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3

Resultat
Beregning
Input

### Bestemmelse af kornrumvægt Sand

				1	2	3
<b>Fra kalibrering af pyknometer</b>						
Pyknometer nummer				4	11	14
Pykn. + prop (tomt)		$m_0$	g	43.1983	48.0464	47.3907
Pykn. + prop (vandfyldt)	$W_2$	$m_1$	g	142.46	150.313	149.4482
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	47.1997	52.0504	51.3918
Pykn.+ prop + jord + vand	$W_1$	$m_3$	g	145.0055	152.8768	151.9811
Temperatur	$T$	$T_3$	°C	18	18	18
Densitet af vand ved $T$ *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm <sup>3</sup>	0.99862	0.99862	0.99862
Jord - masse	$W_s$	$m_4$	g	4.0014	4.004	4.0011
Jord - volumen	$V_s$		cm <sup>3</sup>	1.5395987	1.52634987	1.55421649
Korndensitet	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.59898894	2.62325177	2.57435179
Resultat - middel	$\rho_s$	$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.5989</b>		
Betegnelser fra	dgf15	DS				

\* Se faneblad med vands densitet

Dgf-bulletin 15:

$$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w,t}}}$$

DS/CEN ISO/TS 17892-3:

$$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w;3}}}$$

Der bør ikke være stor forskel på temperaturen ved kalibrering og måling.  
Der kan evt. foretages kalibrering ved flere temperaturer, eller udføres en teoretisk korrektion af volumen af pyknometer:

$$V_{pyk;test} = \frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T - T_k)$$

$$V_{pyk;3} = \frac{m_1 - m_0}{\rho_{w;1}} \alpha$$

$$\alpha = 1 + 3 \cdot 0.000003 (T_1 - T_3)$$

## B.6 pH 1 M KCl opslemning

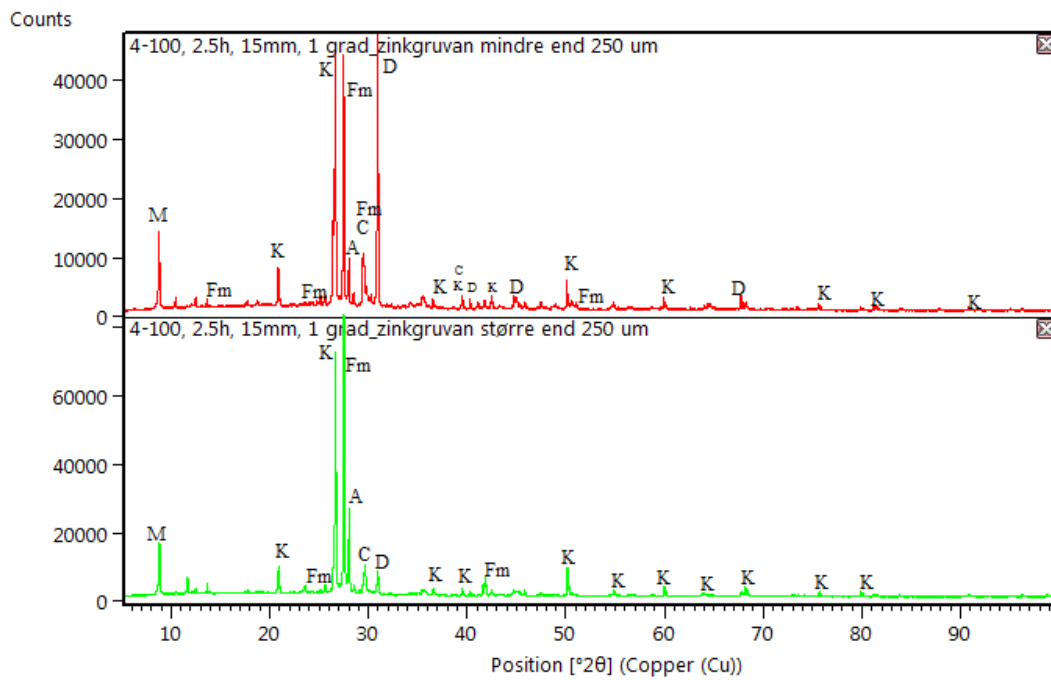
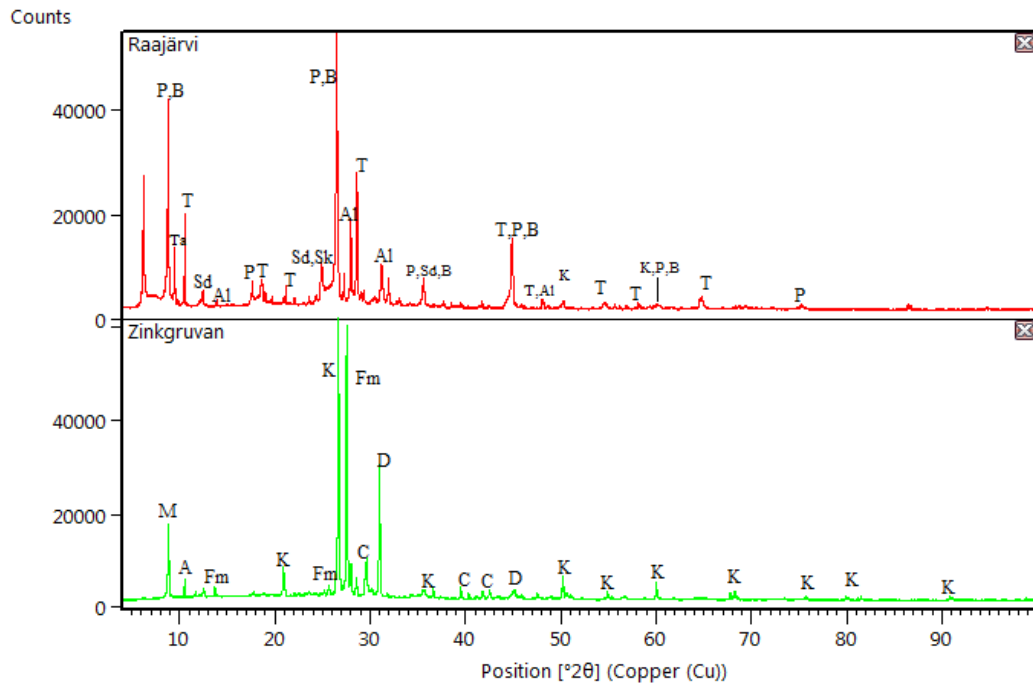
<b>pH-forsøg i 1 M KCl opslemning (data)</b>											
Målte data ved forsøg											
<b>Forsøg med zinkgruvan</b>			<b>Forsøg med Raajärvi</b>			<b>Forsøg med cement</b>			<b>Forsøg med sand</b>		
Vægt af zinkgruvan			Vægt af Raajärvi			Vægt af CE			Vægt af WM		
Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed
A	5.0030	g	A	5	g	A	5.0036	g	A	5.0007	g
B	5.0003	g	B	5.0005	g	B	5.0017	g	B	4.9995	g
C	5.0020	g	C	5.0001	g	C	5.0001	g	C	5.0013	g
D	5.0041	g	D	5.0029	g	D	5	g	D	5.0006	g
E	5.0020	g	E	4.9995	g	E	5.001	g	E	5.0012	g
pH-værdi for zinkgruvan			pH-værdi for Raajärvi			pH-værdi for CE			pH-værdi for sand		
A	8.4	pH	A	2.99	pH	A	12.5	pH	A	9.9	pH
B	8.4	pH	B	2.98	pH	B	12.4	pH	B	9.7	pH
C	8.4	pH	C	2.95	pH	C	12.4	pH	C	9.7	pH
D	8.4	pH	D	3.01	pH	D	12.5	pH	D	9.7	pH
E	8.4	pH	E	2.99	pH	E	12.5	pH	E	9.7	pH
Gennemsnit	8.4	pH	Gennemsnit	3.0	pH	Gennemsnit	12.5	pH	Gennemsnit	9.7	pH
Spredning	0.0		Spredning	0.0		Spredning	0.0		Spredning	0.1	

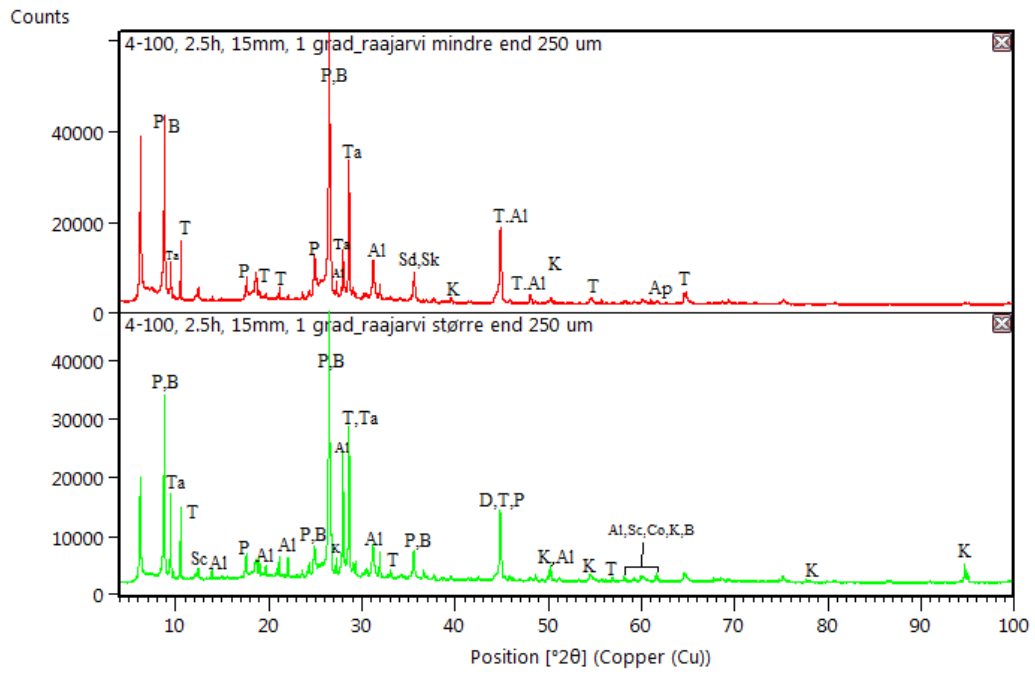
## B.7 Vandindhold

Vandindhold (data)												
Målte data ved forsøg i varmeskab på 105°C												
Forsøg med sand			Forsøg med zinkgruvan			Forsøg med Raajärvi			Forsøg med cement			
Vægt af plast-vials			Vægt af plast-vials			Vægt af plast-vials			Vægt af plast-vials			
Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed	
A	5.05	g	A	19.13	g	A	19.7	g	A	19.19	g	
B	5.04	g	B	21.33	g	B	19.19	g	B	19.51	g	
C	5.05	g	C	22.51	g	C	19.34	g	C	19.04	g	
Før opvarmning			Før opvarmning			Før opvarmning			Før opvarmning			
Vægt af plast-vials + sand			Vægt af plast-vials + zinkgruvan			Vægt af plast-vials + R			Vægt af plast-vials + CE			
A	7.34	g	A	24.62	g	A	24.58	g	A	23.94	g	
B	7.09	g	B	26.37	g	B	24.02	g	B	24.34	g	
C	7.3	g	C	27.68	g	C	24.62	g	C	23.76	g	
Efter opvarmning			Efter opvarmning			Efter opvarmning			Efter opvarmning			
Vægt af plast-vials + sand			Vægt af plast-vials + zinkgruvan			Vægt af plast-vials + R			Vægt af plast-vials + CE			
A	7.31	g	A	24.06	g	A	23.3	g	A	23.93	g	
B	7.07	g	B	25.88	g	B	22.78	g	B	24.31	g	
C	7.27	g	C	27.17	g	C	23.32	g	C	23.74	g	
Vandindhold												
Søsand 0-4mm			Zinkgruvan			Raajärvi			Basis cement			
A	0.013	-	A	0.102	-	A	0.262	-	A	0.002	-	
B	0.010	-	B	0.097	-	B	0.257	-	B	0.006	-	
C	0.013	-	C	0.099	-	C	0.246	-	C	0.004	-	
Middel	0.012	-	Middel	0.099	-	Middel	0.255	-	Middel	0.004	-	
i %	1.2	%	i %	9.9	%	i %	25.5	%	i %	0.4	%	
STDAFV	0.2	%	STDAFV	0.2	%	STDAFV	0.8	%	STDAFV	0.2	%	

Målte data ved forsøg i varmeskab på 50°C					
Forsøg med zinkgruvan			Forsøg med Raajärvi		
Vægt af plast-vials			Vægt af plast-vials		
Prøve	vægt	enhed	Prøve	vægt	enhed
A	5.03	g	A	5.06	g
B	5.03	g	B	5.05	g
C	5.03	g	C	5.04	g
Før opvarmning			Før opvarmning		
Vægt af plast-vials + zinkgruvan			Vægt af plast-vials + R		
A	7.5	g	A	10.2297	g
B	7.04	g	B	10.04	g
C	7.32	g	C	10.0599	g
Efter opvarmning			Efter opvarmning		
Vægt af plast-vials + zinkgruvan			Vægt af plast-vials + R		
A	7.26	g	A	8.93	g
B	6.86	g	B	8.71	g
C	7.11	g	C	8.68	g
Vandindhold					
Zinkgruvan			Raajärvi		
A	0.097	-	A	0.25051696	-
B	0.090	-	B	0.26751222	-
C	0.092	-	C	0.27492423	-
Middel	0.093	-	Middel	0.2643178	-
i %	9.3	%	i %	26.4	%
STDAFV	0.4	%	STDAFV	1.3	%

## B.8 XRD-analyse





## B.9 Støbning af mørtelprøver

### Eksakt blandingsforhold af mørtel

Trykprøvestøbninger										
	Materiale	Vægt [g]								
		REF	5 % C-Z	10 % C-Z	5 % C-R	10 % C-R	5 % C-Zs	10 % C-Zs	5 % C-Rs	10 % C-Rs
7 døgn	Cement	450.02	427.63	405.04	427.43	405.10	427.52	405.40	427.52	405.06
	Sand	1350.01	1350.02	1350.12	1350.04	1350.09	1350.01	1350.01	1350.00	1350.04
	Vand	224.98	224.94	225.28	225.16	225.10	225.12	224.99	225.05	225.06
	Tailing	0.00	22.50	45.03	22.51	45.01	22.51	45.00	22.50	45.00
14 døgn	Cement	449.95	427.53	405.16	427.61	405.09	427.48	405.03	427.51	405.00
	Sand	1350.05	1350.00	1350.14	1350.10	1350.04	1350.00	1350.01	1350.03	1350.02
	Vand	225.04	225.30	225.02	224.99	225.13	224.98	225.00	225.01	225.04
	Tailing	0.00	22.53	45.00	22.50	45.00	22.50	45.01	22.50	45.00
28 døgn	Cement	450.00	427.60	405.31	427.50	405.05	427.53	405.18	427.51	404.98
	Sand	1350.13	1350.07	1350.04	1350.04	1350.04	1350.20	1350.04	1350.04	1350.05
	Vand	225.09	225.18	225.24	225.01	225.10	225.12	224.96	225.01	225.03
	Tailing	0.00	22.50	45.02	22.52	45.02	22.50	45.00	22.50	45.01

### Porøsitet og densitet

	Materiale	Vægt [g]				
		REF	5 % C-Z	10 % C-Z	5 % C-R	10 % C-R
	Cement	450.06	427.47	404.96	427.47	405.07
	Sand	1350.08	1350.17	1350.02	1350.31	1350.4
	Vand	225.48	224.94	225.16	225.16	225.58
	Tailing	0	22.5	45.01	22.52	45.07

### Vicat-forsøg

	Materiale	Vægt [g]				
		REF	5 % C-Z	10 % C-Z	5 % C-R	10 % C-R
	Cement	450.14	427.41	405.12	427.55	405.02
	Sand	1350.35	1350.11	1350.02	1350.17	1350.10
	Vand	225.18	225.27	225.04	225.05	225.05
	Tailing	0.00	22.54	45.00	22.50	45.01

### Flydesætmål

	Materiale	Vægt [g]				
		REF	5 % C-Z	10 % C-Z	5 % C-R	10 % C-R
F1	Cement	450.02	427.41	405.05	427.58	405.01
	Sand	1350.07	1350.11	1350.19	1350.05	1350.07
	Vand	225.17	225.27	225.14	225.01	225.14
	Tailing	0	22.54	44.99	22.52	45
F2	Cement	450	427.5	404.97	427.5	405.02
	Sand	1349.96	1350.15	1350.02	1350.02	1350.1
	Vand	225.36	224.89	225.01	225.06	225.05
	Tailing	0	22.55	45.02	22.5	45.01

## B.10 Afbindingsforløb

Vicatforsøg (data)					
Måling nr.	Mål				
	REF [mm]	5% C-Z [mm]	10% C-Z [mm]	5% C-R [mm]	10% C-R [mm]
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0.1	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0.1	0	0	0
9	0	0	0	0.6	0
10	0.1	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0.6	0
13	0	0.1	0	0.1	0
14	0	0.1	0	0	0
15	0	0.1	0	0.1	0.1
16	0	0.1	0	10.8	0
17	0.1	7.7	3	14.9	4.2
18	0.1	7.1	0	27.3	9.5
19	5.2	21.5	0.1	27.4	26.5
20	25.6	29.7	20.9	29.7	24.2
21	29	29.4	7.9	33.6	27.6
22	32.3	30.9	29.6	30.3	29.1
23	31.7	33	26.6	31.9	31.9
24	33.7	35.3	26.3	37.7	30.9
25	34.5	35.5	26	35.2	33.3
26	37.7	36.7	26.8	35.7	33
27	35.8	39.5	28.6	37.3	30.7
28	37.3	40.1	31.3	35.6	36.4
29	37.6	39.4	32.5	38	37.3
30	36.1	37.1	32.8	34.8	36.9
31	41	41.3	32.2	38.8	36.1
32	41.8	40.9	34.6	39	36.7
33	40.7	41.6	30.9	39.2	37.3
34	40.9	40.9	35.8	39.2	36.6
35	40.9	41.3	34.7	38.9	37.3
36	39.6	39.9	35.2	39.1	36.9
37	40.9	40.1	34.9	39.1	37.5
38	40.6	41.2	35.8	39	36.9
39	40.9	41.4	35.7	39.2	37.4
40	40.7	41.6	36.3	39.3	38
41	40.4	41.9	35.6	39.5	37.9
42	41.1	41.9	36.2	39.3	37.8
43	41.4	42.1	36.7	39.2	37.1
44	41.7	41.6	35.9	39.4	37.1
45	41.5	41.7	36.4	39.5	37.4
46	40.7	41.4	36.3	39.6	37.4
47	40.9	41.9	35.8	39.2	37.2
48	41.2	41.1	34	39.4	37.6
49	40.9	40.9	36	39.3	37
50	41.3	41.4	36.1	39.2	37.6
51	40.9	41.2	36.2	39.5	38.1
52	40.9	41.8	36.9	39.6	37.7
53	40.6	42.1	37.5	39.7	37.6
54	41.1	42.1	36.4	39.4	37.5
55	41.6	41.8	36.9	39.3	37.5
56	41.8	41.7	33.8	39.3	37.3
57	41.3	41.8	36.6	39.2	37.7
58	41.3	41.7	36.7	39	37.4
59	41.8	41.1	36.2	39.1	37.6
60	41.1	41.6	36.5	39.3	37.8
61	41.1	41.8	36.4	39.3	38
62	40.8	42.1	37.5	39.5	38.1

Måling nr.	Mål				
	REF [mm]	5% C-Z [mm]	10% C-Z [mm]	5% C-R [mm]	10% C-R [mm]
63	41.6	42.3	37.1	39.4	37.8
64	41.9	42.1	36.6	39.2	37.4
65	41.7	42.1	36.5	39.5	37.6
66	41.2	41.6	36.5	39.3	37.5
67	41.4	41.6	35.9	39.1	37.3
68	41	41.4	36.3	39.3	37.2
69	41.2	41.6	36.1	39.4	37.4
70	40.9	41.9	37	39.9	38.2
71	40.9	42.1	36.9	39.6	37.7
72	41.2	42.2	36.7	39.2	37.5
73	41.4	41.9	36.8	39.3	37.7
74	41.3	41.8	36.5	39.1	37.3
75	41.2	41.3	36.4	39.3	37.6
76	41.2	41.6	36.3	39.5	37.7
77	40.9	42	37.7	39.3	38.1
78	41.6	42.1	36.9	39.4	37.7
79	41.3	41.8	37.3	39.4	37.4
80	41.3	41.8	36.7	39.4	37.6
81	41.2	41.8	36.5	39.4	37.5
82	41.2	41.8	36.5	39.8	38
83	41.1	41.9	37	39.6	37.9
84	41.7	41.8	37.3	39.4	37.7
85	41.3	41.8	37.1	39.4	37.6
86	-	41.7	37.1	39.5	-



## B.11 Bearbejdelighed

<b>Bearbejdelighed (data)</b>						
		Mål [mm]				
		REF	5% C-Z	10% C-Z	5% C-R	10% C-R
F1	Mål 1	118	110	113.5	113	118
	Mål 2	115	114	114	113	117
F2	Mål 1	115	119	117	120.5	117
	Mål 2	113	116	113	121	114
Gennemsnit		115.3	114.8	114.4	116.9	116.5
Spredning		2.1	3.8	1.8	4.5	1.7

## B.12 Porøsitet og densitet

Porøsitet og densitet (data)													
<b>Rumtemp.</b>	<b>23 °C</b>					Prøve: REF	Enhed	A	B	C	Middel	STD AFV	
<b>Vandtemp.</b>	<b>23 °C</b>					m <sub>50</sub>	g	524.03	519.13	524.37	522.5	2.9	
<b>Vanddensitet</b>	<b>997.57 kg/m<sup>3</sup></b>					m <sub>ssd</sub>	g	577.0	571.8	577.3	575.4	3.1	
						m <sub>sw</sub>	g	317.5	314.4	318.0	316.6	2.0	
						V	m <sup>3</sup>	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	1.16E-06	
						V <sub>på</sub>	m <sup>3</sup>	5.3E-05	5.3E-05	5.3E-05	5.3E-05	1.63E-07	
Prøve: 5% C-Z	Enhed	A	B	C	Middel	STD AFV	P <sub>a</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.204	0.205	0.204	<b>0.204</b>	0.000
m <sub>50</sub>	g	515.52	511.1	510.14	512.3	2.9	ρ <sub>d</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2014.5	2011.9	2017.3	<b>2014.6</b>	2.7
m <sub>ssd</sub>	g	570.9	566.5	565.6	567.7	2.8	ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2531.1	2529.5	2534.7	2531.8	2.7
m <sub>sw</sub>	g	314.4	311.6	311.3	312.4	1.7	ρ <sub>ssd</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2218.1	2216.0	2221.0	2218.4	2.5
V	m <sup>3</sup>	2.6E-04	2.6E-04	2.5E-04	2.6E-04	1.14E-06	U <sub>ssd</sub>	kg/kg	0.1011	0.1015	0.1009	0.1012	0.0003
V <sub>på</sub>	m <sup>3</sup>	5.6E-05	5.6E-05	5.6E-05	5.6E-05	4.17E-08	Prøve: 5% C-R	Enhed	A	B	C	Middel	STD AFV
P <sub>a</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.216	0.217	0.218	<b>0.217</b>	0.001	m <sub>50</sub>	g	507.62	508.64	512.11	509.5	2.4
ρ <sub>d</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2004.9	2000.2	2001.2	<b>2002.1</b>	2.5	m <sub>ssd</sub>	g	562.6	563.7	566.7	564.3	2.1
ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2557.0	2555.7	2559.3	2557.3	1.9	m <sub>sw</sub>	g	308.3	308.4	310.6	309.1	1.3
ρ <sub>ssd</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2220.3	2217.0	2218.7	2218.7	1.6	V	m <sup>3</sup>	2.5E-04	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	9.04E-07
U <sub>ssd</sub>	kg/kg	0.1074	0.1084	0.1087	0.1082	0.0007	V <sub>på</sub>	m <sup>3</sup>	5.5E-05	5.5E-05	5.5E-05	5.5E-05	2.52E-07
Prøve: 10% C-Z	Enhed	A	B	C	Middel	STD AFV	P <sub>a</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.216	0.216	0.213	<b>0.215</b>	0.002
m <sub>50</sub>	g	518.22	513.73	513.55	515.2	2.6	ρ <sub>d</sub>	kg/m <sup>3</sup>	1991.3	1987.5	1994.8	<b>1991.2</b>	3.7
m <sub>ssd</sub>	g	570.0	565.5	564.9	566.8	2.8	ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2540.6	2534.0	2535.2	2536.6	3.5
m <sub>sw</sub>	g	313.3	310.4	310.1	311.3	1.8	ρ <sub>ssd</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2207.0	2202.6	2207.4	2205.7	2.7
V	m <sup>3</sup>	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	1.02E-06	U <sub>ssd</sub>	kg/kg	0.1083	0.1082	0.1066	0.1077	0.0010
V <sub>på</sub>	m <sup>3</sup>	5.2E-05	5.2E-05	5.1E-05	5.2E-05	2.46E-07	Prøve: 10% C-R	Enhed	A	B	C	Middel	STD AFV
P <sub>a</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.202	0.203	0.202	<b>0.202</b>	0.001	m <sub>50</sub>	g	515.25	514.17	515.6	515.0	0.7
ρ <sub>d</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2013.9	2008.9	2010.6	<b>2011.1</b>	2.5	m <sub>ssd</sub>	g	572.9	571.0	573.0	572.3	1.1
ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2522.7	2520.4	2518.1	2520.4	2.3	m <sub>sw</sub>	g	313.2	313.4	313.7	313.4	0.3
ρ <sub>ssd</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2215.1	2211.4	2211.6	2212.7	2.1	V	m <sup>3</sup>	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	2.6E-04	1.12E-06
U <sub>ssd</sub>	kg/kg	0.0999	0.1008	0.1000	0.1002	0.0005	V <sub>på</sub>	m <sup>3</sup>	5.8E-05	5.7E-05	5.8E-05	5.7E-05	4.21E-07
<b>Note:</b>							P <sub>a</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.222	0.221	0.221	<b>0.221</b>	0.001
Vands densitet er fundet ved temperatur på 23 grader. Her er brugt værdier for vands densitet givet i excelark til pyknometerberegninger.							ρ <sub>d</sub>	kg/m <sup>3</sup>	1979.2	1991.2	1983.6	<b>1984.6</b>	6.0
							ρ <sub>f</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2543.9	2554.8	2547.5	2548.7	5.5
							ρ <sub>ssd</sub>	kg/m <sup>3</sup>	2200.6	2211.2	2204.4	2205.4	5.4
							U <sub>ssd</sub>	kg/kg	0.1119	0.1105	0.1113	0.1112	0.0007

# B.13 Trykstyrke

## Tryktest (data)

**Mørtelblanding: REF**

PRØVEDATA				GEOMETRI						TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbingsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]			
A	7	30. mar 2017	6. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	583.14	2231.4	64	39.2	73	44.7	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				40.5		40		160										160.25	580.09	2225.4
				40.5		40		160										160	579.4	2217.1
B	7	30. mar 2017	6. apr 2017	41	40.7	40	40	160	160	579.4	2217.1	71	43.5	70	42.9	Middel 1 42.3	Middel 2 38.1			
				41		40		160										160	579.4	2217.1
				40.5		40		160										160	579.4	2217.1
C	7	30. mar 2017	6. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	579.4	2217.1	71	43.5	70	42.9	Middel 1 42.3	Middel 2 38.1			
				41		40		160										160	579.4	2217.1
				40.5		40		160										160	579.4	2217.1
A	14	30. mar 2017	13. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	577.09	2199.3	72	43.9	77	47.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				40.5		40		160										160	577.85	2193.3
				41.5		40		160										160	578.7	2205.4
B	14	30. mar 2017	13. apr 2017	41	41.2	40	40	160	160	577.85	2193.3	69	41.9	80	48.6	Middel 1 46.1	Middel 2 41.5			
				41		40		160										160	577.85	2193.3
				40.5		40		160										160	578.7	2205.4
C	14	30. mar 2017	13. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	578.7	2205.4	75	45.7	81	49.4	Middel 1 46.1	Middel 2 41.5			
				41		40		160										160	578.7	2205.4
				40.5		40		160										160	578.7	2205.4
A	28	30. mar 2017	27. apr 2017	39	39.3	40	40	160	160	552.81	2196.0	79	50.2	82	52.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				40		40		160										160	559.33	2194.0
				39.5		40		160										160	562.06	2204.7
B	28	30. mar 2017	27. apr 2017	40	39.8	40	40	160	160	559.33	2194.0	76	47.7	77	48.3	Middel 1 48.5	Middel 2 43.7			
				40		40		160										160	559.33	2194.0
				39.5		40		160										160	562.06	2204.7
C	28	30. mar 2017	27. apr 2017	40	39.8	40	40	160	160	562.06	2204.7	79	49.6	69	43.3	Middel 1 48.5	Middel 2 43.7			
				40		40		160										160	562.06	2204.7
				40		40		160										160	562.06	2204.7

**Mørtelblanding: 5 % C-Z**

PRØVEDATA				GEOMETRI						TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbingsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]			
A	7	16. mar 2017	23. mar 2017	40.5	40.8	40	40	160	160	562	2150.5	46	28.2	54	33.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				41		40		160										160	561.66	2149.2
				40.5		40		160										160	565.56	2144.9
B	7	16. mar 2017	23. mar 2017	41	40.8	40	40	160	160	565.56	2144.9	51	30.9	46	27.9	Middel 1 31.1	Middel 2 28.0			
				41		40		160										160	565.56	2144.9
				41.4		40		160										160	565.56	2144.9
C	7	16. mar 2017	23. mar 2017	41	41.2	40	40	160	160	565.56	2144.9	51	30.9	46	27.9	Middel 1 31.1	Middel 2 28.0			
				41		40		160										160	565.56	2144.9
				40.5		40		160										160	565.56	2144.9
A	14	16. mar 2017	30. mar 2017	40.5	40.5	40	40	160	160.5	561.32	2162.2	59	36.4	69	42.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				40.5		40		160.5										160.25	562.02	2147.2
				41		40		160.5										160.5	564.5	2153.3
B	14	16. mar 2017	30. mar 2017	40.5	40.8	40	40	160	160.5	564.5	2153.3	70	42.9	63	38.6	Middel 1 40.2	Middel 2 35.2			
				41		40		160.5										160.5	564.5	2153.3
				40.5		40		160.5										160.5	564.5	2153.3
C	14	16. mar 2017	30. mar 2017	41	40.8	40	40	160	160.5	564.5	2153.3	70	42.9	63	38.6	Middel 1 40.2	Middel 2 35.2			
				41		40		160.5										160.5	564.5	2153.3
				40.5		40		160.5										160.5	564.5	2153.3
A	27	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	553.51	2162.1	73	45.6	75	46.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				40		40		160										160	561.71	2149.4
				41		40		160										160	559.18	2166.2
B	27	27. apr 2017	25. maj 2017	41	40.8	40	40	160	160	561.71	2149.4	68	41.6	72	44.1	Middel 1 45.5	Middel 2 41.0			
				40.5		40		160										160	559.18	2166.2
				40.5		40		160										160	559.18	2166.2
C	27	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.3	40	40	160	160	559.18	2166.2	79	49.0	74	45.9	Middel 1 45.5	Middel 2 41.0			
				40		40		160										160	559.18	2166.2
				40.5		40		160										160	559.18	2166.2

**Mørtelblanding: 10 % C-Z**

PRØVEDATA				GEOMETRI						TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbingsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]			
A	7	28. mar 2017	4. apr 2017	40.5	40.3	40	40	160	160.25	553.33	2140.2	50	31.0	51	31.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				41		40		160										160	555.41	2151.6
				40		40		160										160	557.91	2161.3
B	7	28. mar 2017	4. apr 2017	40	40.3	40	40	160	160	555.41	2151.6	50	31.0	49	30.4	Middel 1 31.3	Middel 2 28.2			
				40		40		160										160	557.91	2161.3
				40		40		160										160	557.91	2161.3
C	7	28. mar 2017	4. apr 2017	40	40.3	40	40	160	160	557.91	2161.3	49	30.4	54	33.5	Middel 1 31.3	Middel 2 28.2			
				41		40		160										160	557.91	2161.3
				40		40		160										160	557.91	2161.3
A	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	567.15	2161.4	62	37.8	55	33.5	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				41		40		160										160	558.29	2136.3
				40.5		40		160										160	565.22	2154.0
B	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	558.29	2136.3	56	34.3	59	36.1	Middel 1 35.9	Middel 2 32.3			
				41		40		160										160	558.29	2136.3
				40.5		40		160										160	565.22	2154.0
C	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	565.22	2154.0	61	37.2	60	36.6	Middel 1 35.9	Middel 2 32.3			
				41		40		160										160	565.22	2154.0
				40.5		40		160										160	565.22	2154.0
A	28	21. mar 2017	18. apr 2017	40.5	40.7	40	40	160	160	557.65	2142.6	57	35.0	56	34.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4).			
				41		40		160										160	552.7	2114.0
				40.5		40		160										160	561.5	2148.6
B	28	21. mar 2017	18. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	552.7	2114.0	50	30.6	53	32.4	Middel 1 35.6	Middel 2 32.0			
				41		40		160										160	561.5	2148.6
				40.5		40		160										160	561.5	2148.6
C	28	21. mar 2017	18. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	561.5	2148.6	57	34.9	62	38.0	Middel 1 35.6	Middel 2 32.0			
				41		40		160										160	561.5	2148.6
				40		40		160										160	561.5	2148.6

Note: Prøve B ved 28 døgnsprøven bliver sorteret fra, da den ikke regnes for særlig god når man ser på densiteten af prøven.

**Mørtelblanding: 5 % C-R**

PRØVEDATA				GEOMETRI						TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbningsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m³]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]			
A	7	28. mar 2017	4. apr 2017	41.5	40.8	40	40	160	160	160.25	564.9	2161.6	55	33.7	56	34.3	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				41				160												
				40.5				160												
B	7	28. mar 2017	4. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	160.25	565.7	2161.3	57	34.9	56	34.3	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				39.5				160												
C	7	28. mar 2017	4. apr 2017	41	40.2	40	40	160	160	160	561.17	2183.0	56	34.9	58	36.1	Middel 1	34.7	Middel 2	34.7
				-10 %				31.2									Spreddning	0.8		
				10 %				38.2												
A	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	160	567.88	2173.0	60	36.7	62	38.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				41				160												
B	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	160	569.22	2169.3	60	36.6	58	35.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				41				160												
C	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	160	572.28	2180.9	65	39.6	61	37.2	Middel 1	37.2	Middel 2	37.2
				-10 %				33.5									Spreddning	1.4		
				10 %				41.0												
A	28	21. mar 2017	18. apr 2017	40.5	40.5	40	40	160	160	160	558.67	2155.4	63	38.9	63	38.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				41				160												
B	28	21. mar 2017	18. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	160	554.35	2121.2	58	35.5	59	36.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				40.5				160												
C	28	21. mar 2017	18. apr 2017	40.5	40.5	40	40	160	160	160	556.46	2146.8	61	37.7	61	37.7	Middel 1	37.5	Middel 2	37.5
				-10 %				33.7									Spreddning	1.4		
				10 %				41.2												

**Mørtelblanding: 10 % C-R**

PRØVEDATA				GEOMETRI						TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbningsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m³]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]			
A	7	28. mar 2017	4. apr 2017	40	40.0	40	40	160	160	160.25	554.48	2162.6	47	29.4	47	29.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40				160												
				40				160												
B	7	28. mar 2017	4. apr 2017	41	40.5	40	40	160	160	160	554.63	2139.8	41	25.3	45	27.8	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				40.5				160												
C	7	28. mar 2017	4. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	160	564.06	2149.6	50	30.5	46	28.0	Middel 1	28.4	Middel 2	29.0
				-10 %				25.6									Spreddning	1.1		
				10 %				31.2												
A	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	41.0	40	40	160	160	160	572.46	2181.6	62	37.8	52	31.7	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				41				160												
B	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	160	568.16	2174.1	59	36.1	53	32.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				41				160												
C	14	11. apr 2017	25. apr 2017	41	40.8	40	40	160	160	160	565.88	2165.4	63	38.6	56	34.3	Middel 1	35.2	Middel 2	35.2
				-10 %				31.6									Spreddning	2.8		
				10 %				38.7												
A	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	160	552.15	2147.9	61	38.0	59	36.7	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				40.5				160												
B	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	160	550.04	2139.7	58	36.1	56	34.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40				160												
				40.5				160												
C	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	160	555.42	2151.7	59	36.6	63	39.0	Middel 1	36.9	Middel 2	36.9
				-10 %				33.2									Spreddning	1.5		
				10 %				40.6												

**Mørtelblanding: 5 % C-Zs**

PRØVEDATA				GEOMETRI						TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbningsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m³]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]			
A	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	160	555.33	2160.3	59	36.7	60	37.3	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				40				160												
B	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	160	554.57	2148.4	58	36.0	51	31.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5				160												
				40				160												
C	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	160	551.88	2155.8	62	38.8	60	37.5	Middel 1	36.3	Middel 2	37.3
				-10 %				32.7									Spreddning	1.0		
				10 %				39.9												
A	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40.5	40.2	40	40	160	160	160	559.81	2177.7	58	36.1	57	35.5	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40				160												
				40				160												
B	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	160	551.7	2155.1	53	33.1	49	30.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40				160												
				40.5				160												
C	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40.5	40.2	40	40	160	160	160	556.74	2165.7	57	35.5	61	38.0	Middel 1	34.8	Middel 2	35.6
				-10 %				31.3									Spreddning	1.7		
				10 %				38.3												
A	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40.5	40.2	40	40	160	160	160	555.85	2162.3	62	38.6	64	39.8	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40				160												
				40				160												
B	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	160	555.85	2162.3	64	39.8	60	37.3	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøve stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40				160												
				40				160												
C	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	160	553.25	2161.1	62	38.8	66	41.3	Middel 1	39.3	Middel 2	39.3
				-10 %				35.3									Spreddning	1.3		
				10 %				43.2												

**Mørtelblanding: 10 % C-Zs**

PRØVEDATA				GEOMETRI							TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE				
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbingsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m³]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]		
A	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	552.94	2151.0	53	33.0	55	34.2	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
B	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	548.83	2126.1	53	32.9	49	30.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
C	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40.5	40.5	40	40	160	160	555.63	2143.6	54	33.3	53	32.7	Middel 1	32.7	Middel 2	32.7
				-10 %		29.5		Spredning								1.3			
				10 %		36.0													
A	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	562.29	2178.3	59	36.6	59	36.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				41		40		160											
B	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.3	40	40	160	160	560.32	2170.7	57	35.3	57	35.3	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40.5		40		160											
C	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40.5	40.2	40	40	160	160	557.84	2170.0	60	37.3	58	36.1	Middel 1	36.2	Middel 2	36.2
				-10 %		32.6		Spredning								0.8			
				10 %		39.8													
A	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	554.81	2167.2	62	38.8	66	41.3	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
B	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	553.37	2161.6	60	37.5	64	40.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
C	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	555.3	2160.1	67	41.7	66	41.1	Middel 1	40.0	Middel 2	40.0
				-10 %		36.0		Spredning								1.6			
				10 %		44.1													

**Mørtelblanding: 5 % C-Rs**

PRØVEDATA				GEOMETRI							TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE				
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbingsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m³]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]		
A	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	550	2148.4	58	36.3	51	31.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
B	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	552.54	2149.4	49	30.5	58	36.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
C	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	553.23	2143.2	58	36.0	61	37.8	Middel 1	34.7	Middel 2	35.6
				-10 %		31.3		Spredning								2.2			
				10 %		38.2													
A	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	550.84	2151.7	60	37.5	59	36.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
B	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	551.25	2153.3	56	35.0	53	33.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
C	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	557.67	2169.4	59	36.7	62	38.6	Middel 1	36.3	Middel 2	36.3
				-10 %		32.7		Spredning								1.9			
				10 %		39.9													
A	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.0	40	40	160	160	554.48	2165.9	65	40.6	63	39.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
B	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	549.78	2138.7	62	38.6	62	38.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
C	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	550.52	2141.5	65	40.5	64	39.8	Middel 1	39.6	Middel 2	39.6
				-10 %		35.6		Spredning								0.9			
				10 %		43.5													

**Mørtelblanding: 10 % C-Rs**

PRØVEDATA				GEOMETRI							TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE				
Prøvenr.	Alder [dage]	Støbingsdato	Testdato	Bredde [mm]	Middel [mm]	Højde [mm]	Middel [mm]	Længde [mm]	Middel [mm]	Vægt [g]	Densitet [kg/m³]	Brudstyrke 1 [kN]	Brudstyrke 1 [MPa]	Brudstyrke 2 [kN]	Brudstyrke 2 [MPa]	Statistik før 10 % grænse [MPa]	Statistik efter 10 % grænse [MPa]		
A	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	547.63	2130.3	47	29.3	45	28.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
B	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40.5	40.2	40	40	160	160	544.09	2116.5	40	24.9	45	28.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
C	7	4. maj 2017	11. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	547.92	2122.6	48	29.8	49	30.4	Middel 1	28.4	Middel 2	29.1
				-10 %		25.5		Spredning								1.1			
				10 %		31.2													
A	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.3	40	40	160	160	556.09	2154.3	57	35.3	56	34.7	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
B	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40	40.2	40	40	160	160	554.68	2157.7	52	32.4	53	33.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
C	14	11. maj 2017	25. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	556.67	2156.5	57	35.3	54	33.5	Middel 1	34.0	Middel 2	34.0
				-10 %		30.6		Spredning								1.3			
				10 %		37.4													
A	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	559.01	2165.6	69	42.8	60	37.2	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40		160											
				40		40		160											
B	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	557.53	2159.9	65	40.3	66	40.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne stæbes på ny og testes forfra. DETTE GØRES MANUELT!	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
C	28	27. apr 2017	25. maj 2017	40	40.5	40	40	160	160	560.76	2163.4	68	42.0	66	40.7	Middel 1	40.6	Middel 2	40.6
				-10 %		36.6		Spredning								1.9			
				10 %		44.7													

## Kaserede prøver

### Mørtelblanding: REF (kaseret)

PRØVEDATA		GEOMETRI							TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder (dage)	Støbingsdato	Testdato	Bredde (mm)	Middel (mm)	Højde (mm)	Middel (mm)	Længde (mm)	Middel (mm)	Vægt (g)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brudstyrke 1 (kN)	Brudstyrke 1 (MPa)	Brudstyrke 2 (kN)	Brudstyrke 2 (MPa)	Statistik før 10 % grænse (MPa)	Statistik efter 10 % grænse (MPa)		
A	7	23.02.2017	02.03.2017	41	41.5	40	40.3333	160	160	571.12	2150.3	55	33.1	48	28.9	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				41.5		40		160											
				42		40		160											
B	7	23.02.2017	02.03.2017	40	40.8	40	40.6667	160	160	561.73	2149.5	55	33.7	59	36.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				41		40		160											
				41		40		160											
C	7	23.02.2017	02.03.2017	40	40.2	40	40.3333	160	160	552.57	2149.5	57	35.5	63	39.2	Middel 1	34.4	Middel 2	34.6
				40.5		40		160								-10 %	31.0	Spredning	1.4
				40		40		160								10 %	37.9		
A	14	23.02.2017	09.03.2017	40.5	40.7	40.5	40.3333	161	161	567.75	2150.0	56	34.4	70	43.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40.5		161											
				41		40		161											
B	14	23.02.2017	09.03.2018	40	40.2	40.5	40.6667	161	161	564.71	2147.3	41	25.5	62	38.6	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		41.5		161											
				40.5		40.5		161											
C	14	23.02.2017	09.03.2019	41	40.8	40.5	40.3333	161.5	161.25	568.61	2141.1	65	39.8	64	39.2	Middel 1	36.8	Middel 2	38.0
				41		40		161.5								-10 %	33.1	Spredning	2.4
				41		40		161.5								10 %	40.4		
A	28	23.02.2017	23.03.2017	40.5	40.6	40.5	40.3333	161	161	563.43	2135.3	41	25.2	36	22.1	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				41.4		40		160.8											
				40		40.5		160.8											
B	28	23.02.2017	23.03.2018	40.2	40.8	40.5	40.2667	161	160.9	556.83	2104.8	37	22.7	35	21.4	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		40.3		160.6											
				41.8		40		160.6											
C	28	23.02.2017	23.03.2019	41	40.9	40.1	40.1667	161	160.8	553.7	2096.0	38	23.2	39	23.8	Middel 1	23.1	Middel 2	23.1
				40		20.8		Spredning								1.3			
				41.7		40		25.4								10 %			

### Mørtelblanding: 5 % C-Z (kaseret)

PRØVEDATA		GEOMETRI							TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder (dage)	Støbingsdato	Testdato	Bredde (mm)	Middel (mm)	Højde (mm)	Middel (mm)	Længde (mm)	Middel (mm)	Vægt (g)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brudstyrke 1 (kN)	Brudstyrke 1 (MPa)	Brudstyrke 2 (kN)	Brudstyrke 2 (MPa)	Statistik før 10 % grænse (MPa)	Statistik efter 10 % grænse (MPa)		
A	27	16. mar 2017	12. apr 2017	39.5	39.8	40	40	160.5	160.25	551.55	2160.1	65	40.8	65	40.8	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		160.5													
				39.5		40		160.5											
B	27	16. mar 2017	12. apr 2017	39.5	39.7	40	40	160.5	160.5	552.02	2167.7	57	35.9	54	34.0	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40		160													
				40.5		40		160											
C	27	16. mar 2017	12. apr 2017	40	40.2	40	40	160	160	555.92	2162.6	48	29.9	57	35.5	Middel 1	37.4	Middel 2	37.4
				40		33.7		Spredning								3.2			
				40		41.1		10 %											

Note: Der var nødt til at trykprøve 1 døgn før pga. strømafbrydning i støberiet

### Mørtelblanding: 10 % C-R (kaseret)

PRØVEDATA		GEOMETRI							TEST RESULTATER				ENDELIG TRYKSTYRKE						
Prøvenr.	Alder (dage)	Støbingsdato	Testdato	Bredde (mm)	Middel (mm)	Højde (mm)	Middel (mm)	Længde (mm)	Middel (mm)	Vægt (g)	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Brudstyrke 1 (kN)	Brudstyrke 1 (MPa)	Brudstyrke 2 (kN)	Brudstyrke 2 (MPa)	Statistik før 10 % grænse (MPa)	Statistik efter 10 % grænse (MPa)		
A	28	21. mar 2017	18. apr 2017	40.5	40.7	40	40	160	160	547.7	2104.4	41	25.2	45	27.7	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				41		160													
				40		160													
B	28	21. mar 2017	18. apr 2017	40.5	40.3	40	40	160	160	542.33	2101.0	40	24.8	40	24.8	Hvis 3 eller flere resultater ligger uden for 10% grænseintervallet skal mørtelprøverne støbes på ny og testes forfra.	Middel 2 er gennemsnittet af de brydstyrker der ligger inden for 10% grænseintervallet (min 4). DETTE GØRES MANUELT!		
				40.5		40		160											
				40		40		160											
C	28	21. mar 2017	18. apr 2017	40.5	40.0	40	40	160	160	546.44	2134.5	36	22.5	46	28.8	Middel 1	25.6	Middel 2	25.6
				40.5		23.1		Spredning								1.4			
				39.5		28.2		10 %											

REF-prøverne blev kaseret pga. en lav trykstyrke for 28 døgnprøve. Grunden til at alle blev kaseret, skyldes at det var de første støbte prøver i projektførløbet. Det blev vurderet, at der kunne støbes nogle bedre prøver med større støbeefaring.

28 døgnprøverne for 5 % C-Z og 10 % C-R blev kaseret, da trykstyrken blev utilstrækkeligt lavere end ved 14-døgnprøverne.

## B.14 Trykstyrke

### Porøsitet udregnet ved Powers model.

#### ▼ $v/c = 0.5$

*restart*

$v := 225 : c := 450 : \rho_w := 1000 : \rho_c := 3100 :$

Indledende porøsitet

$$p := \text{evalf} \left( \frac{\frac{v}{c}}{\frac{v}{c} + \frac{\rho_w}{\rho_c}} \right) :$$

Kemisk krympning

$V_{cs} := 6.4 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_c \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$

Kappilarvand

$V_{cv} := p - (0.19 + 0.23) \cdot \left( \frac{\rho_c}{\rho_w} \right) \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$

Gelvand

$V_{gv} := 0.19 \cdot \left( \frac{\rho_c}{\rho_w} \right) \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$

Fast gelstof

$V_{gs} := \left( 1 - 6.4 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_c + 0.23 \cdot \left( \frac{\rho_c}{\rho_w} \right) \right) \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$

Ikke-hydreret cement

$V_{uc} := (1 - p) \cdot (1 - \alpha) :$

Ligninger

$\text{lign1} := V_{uc} :$

$\text{lign2} := V_{uc} + V_{gs} :$

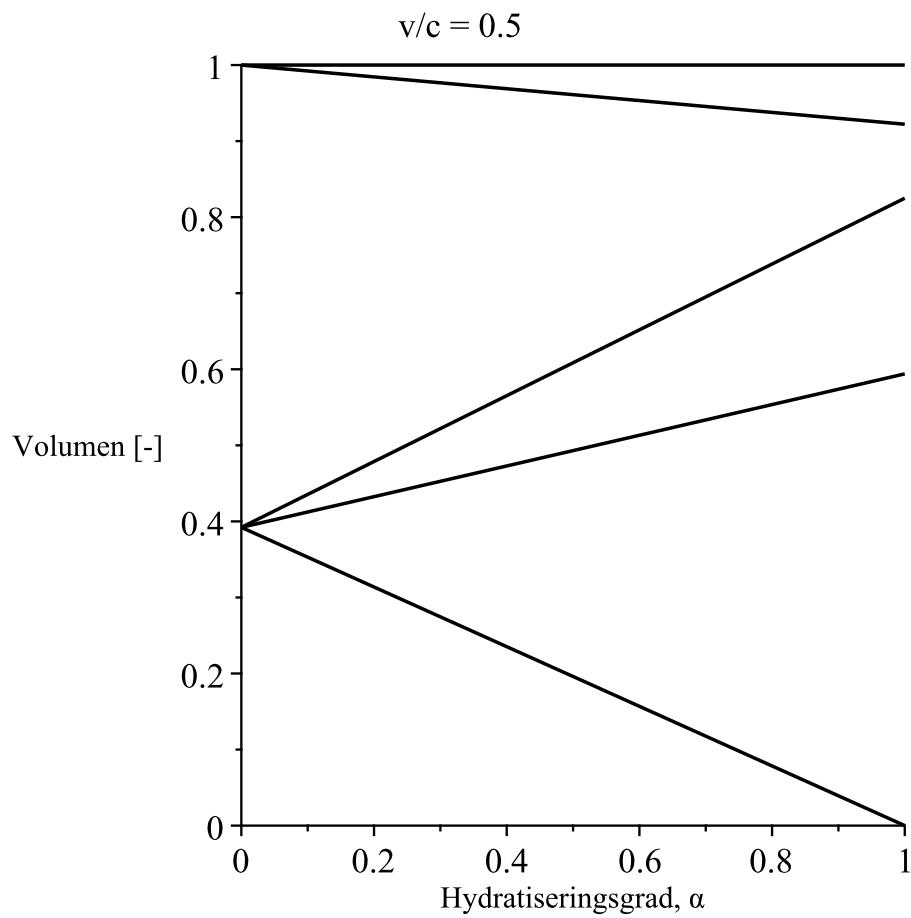
$\text{lign3} := V_{uc} + V_{gs} + V_{gv} :$

$\text{lign4} := V_{uc} + V_{gs} + V_{gv} + V_{cv} :$

$\text{lign5} := V_{cs} + V_{cv} + V_{gv} + V_{gs} + V_{uc} :$

Plot

$\text{plot}([\text{lign1}, \text{lign2}, \text{lign3}, \text{lign4}, \text{lign5}], \alpha = 0 .. 1, \text{title} = "v/c = 0.5", \text{labels} = ["Hydratiseringsgrad, \alpha", "Volumen [-]"], \text{color} = [\text{black}, \text{black}, \text{black}, \text{black}, \text{black}])$



(1.1)

### ▼ $v/c = 0.53$

restart

$v := 225 : c := 450 - 450 \cdot 0.05 : \rho_w := 1000 : \rho_c := 3100 :$

Indledende porøsitet

$$p := \frac{\frac{v}{c}}{\frac{v}{c} + \frac{\rho_w}{\rho_c}} :$$

Kemisk krympning

$V_{cs} := 6.4 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_c \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$

Kappilarvand

$V_{cv} := p - (0.19 + 0.23) \cdot \left( \frac{\rho_c}{\rho_w} \right) \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$

Gelvand



$$V_{gv} := 0.19 \cdot \left( \frac{\rho_c}{\rho_w} \right) \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$$

Fast gelstof

$$V_{gs} := \left( 1 - 6.4 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_c + 0.23 \cdot \left( \frac{\rho_c}{\rho_w} \right) \right) \cdot (1 - p) \cdot \alpha :$$

Ikke-hydreret cement

$$V_{uc} := (1 - p) \cdot (1 - \alpha) :$$

Ligninger

$$lign1 := V_{uc} :$$

$$lign2 := V_{uc} + V_{gs} :$$

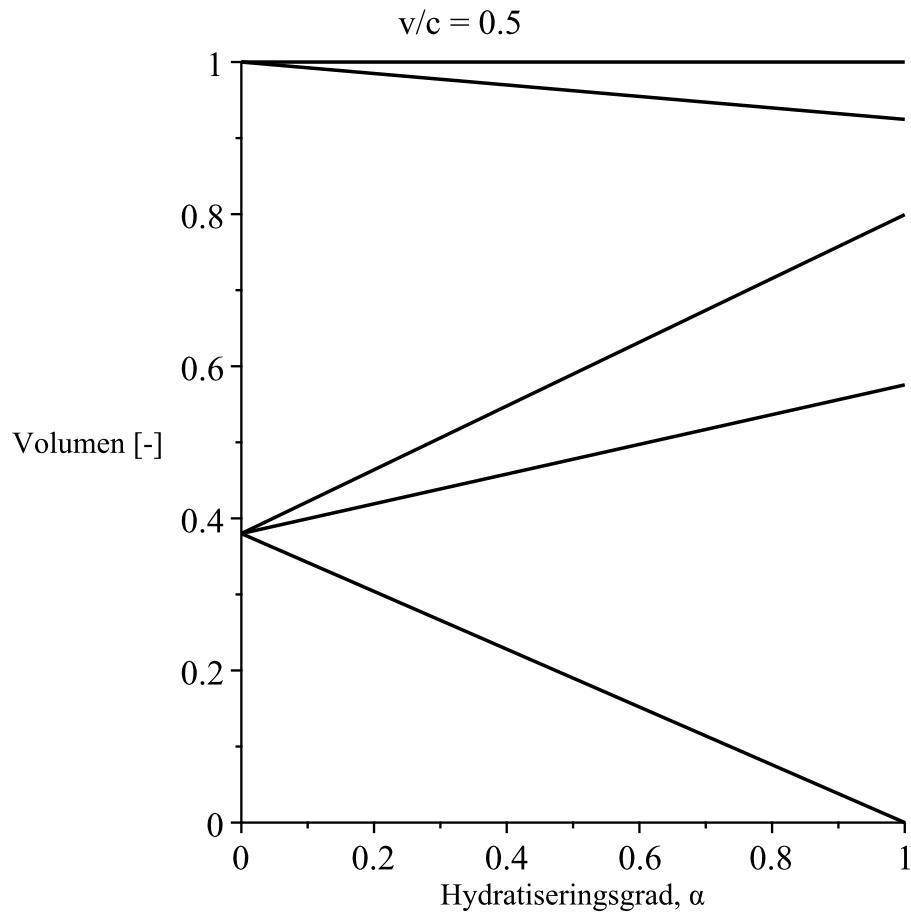
$$lign3 := V_{uc} + V_{gs} + V_{gv} :$$

$$lign4 := V_{uc} + V_{gs} + V_{gv} + V_{cv} :$$

$$lign5 := V_{cs} + V_{cv} + V_{gv} + V_{gs} + V_{uc} :$$

Plot

`plot([lign1, lign2, lign3, lign4, lign5],  $\alpha = 0..1$ , title = "v/c = 0.5", labels = ["Hydratiseringsgrad,  $\alpha$ ", "Volumen [-]"], color = [black, black, black, black, black])`



Samlet volumen af pore og kappillarvand

$$subs(\alpha = 1, V_{cs} + V_{cv})$$

0.2006320000

(2.1)

## v/c = 0.56

restart

v := 225 : c := 450 - 450·0.1 : ρw := 1000 : ρc := 3100 :

Indledende porøsitet

$$p := \frac{\frac{v}{c}}{\frac{v}{c} + \frac{\rho_w}{\rho_c}} :$$

Kemisk krympning

Vcs := 6.4·10<sup>-5</sup>·ρc·(1-p)·α :

Kappilarvand

Vcv := p - (0.19 + 0.23)· $\left(\frac{\rho_c}{\rho_w}\right)$ ·(1-p)·α :

Gelvand

Vgv := 0.19· $\left(\frac{\rho_c}{\rho_w}\right)$ ·(1-p)·α :

Fast gelstof

Vgs :=  $\left(1 - 6.4 \cdot 10^{-5} \cdot \rho_c + 0.23 \cdot \left(\frac{\rho_c}{\rho_w}\right)\right) \cdot (1-p) \cdot \alpha :$

Ikke-hydreret cement

Vuc := (1-p)·(1-α) :

Ligninger

lign1 := Vuc :

lign2 := Vuc + Vgs :

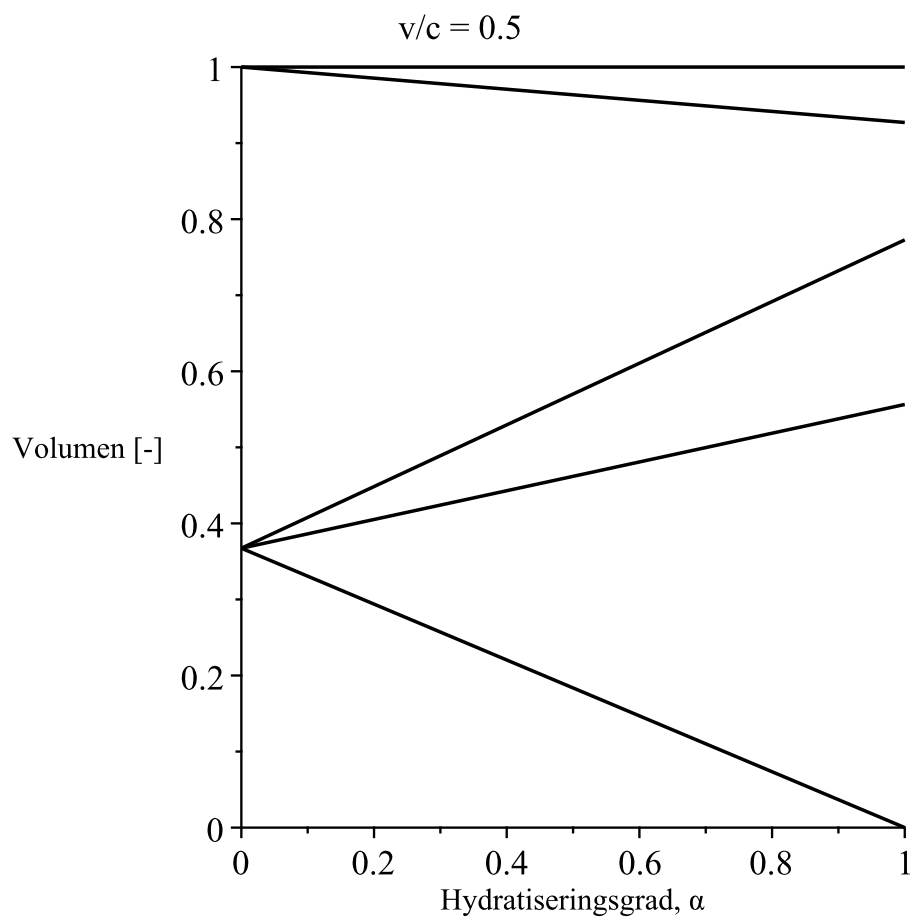
lign3 := Vuc + Vgs + Vgv :

lign4 := Vuc + Vgs + Vgv + Vcv :

lign5 := Vcs + Vcv + Vgv + Vgs + Vuc :

Plot

plot([lign1, lign2, lign3, lign4, lign5], α=0..1, title="v/c = 0.5", labels=["Hydratiseringsgrad, α", "Volumen [-]"], color=[black, black, black, black, black])



Samlet volumen af pore og kappillarvand  
 $subs(\alpha = 1, V_{cs} + V_{cv})$

0.2272489796

(3.1)

*[Blank side]*

## Mineralogy of Raajärvi

Class	Chemical formula	% total area
Chlorite	$(Mg, Al)_6(Si, Al)_4O_{10}(OH)_8$	24.32
Serpentine	$(Mg, Fe, Ni, Al, Zn, Mn)_{2-3}(Si, Al, Fe)_2O_5(OH)_4$	18.26
Tremolite	$Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	12.59
Quartz	$SiO_2$	11.38
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	6.32
Dolomite	$CaMg(CO_3)_2$	4.63
Albite	$NaAlSi_3O_8$	4.02
Phlogopite	$KMg_3AlSi_3O_{10}(F, OH)_2$	3.54
Cordierite	$(Mg, Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$	2.38
Biotite	$K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(F, OH)_2$	2.03
Calcite	$CaCO_3$	1.95
Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$	1.34
Fe-oxide (magnetite/hematite)	$Fe_3O_4$ & $Fe_2O_3$	1.24
Other		6
Total		100

Mineralogien er udleveret fra producenten.

*[Blank side]*

## Anvendelse af mineaffald i beton – tailings fra Zinkgruvan og Raajärvi

Udarbejdet af:  
Julius Nielsen  
s134603

Denne poster er udarbejdet i forbindelse med Civil Byggeteknologi bachelorafhandling. Posterens formål er at præsentere en midtvejsevaluering af projektføreløbet. Selve projektet går ud på at sammenligne 2 typer af mineaffalds effekt på betonmørtels egenskaber.

### Motivation

Idéen med at anvende mineaffald i beton er først og fremmest et miljøvenligt initiativ og dernæst kan det muligvis have økonomiske fordele inden for betonproduktionen. Miljømæssigt ser man at inden for mineproduktionen, at affaldet er svært at komme af med og forurener naturen. Inden for betonproduktionen kan anvendelse af mineaffald i beton være med til at nedbringe CO<sub>2</sub>-udslippet der kommer af cementproduktionen. Økonomisk set kan der potentielt spares penge ved at erstatte noget af cementen med et rest-produkt som eksempelvis mineaffald.

### Udførelse

For at teste mineaffalds effekt på betonmørtels egenskaber, er der udført laboratorieforsøg til at karakterisere to mineaffaldsprodukters egenskaber, nemlig affald fra minerne Zinkgruvan (Sverige) og Raajärvi (Finland). I den forbindelse er følgende egenskaber indtil videre blevet testet; carbonat indhold, glødetab, korntørrelsesfordeling, metalindhold, komdensitet, pH og vandindhold. Ydermere er mørtelprøver med hhv. 5% og 10% cementerstatning blevet testet på trykstyrke, afbindingsforløb og bearbejdelighed. De forskellige cementerstatningsprøver er benævnt med:

- 5% C-Z: Zinkgruvan 5%
- 10% C-Z: Zinkgruvan 10%
- 5% C-R: Raajärvi 5%
- 10% C-R: Raajärvi 10%

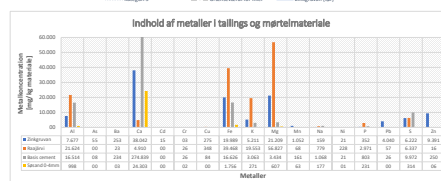
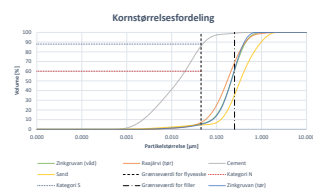
### Resultater

#### Karakteristik af mineaffald

Alle undersøgelser af de to mineaffalds egenskaber er også undersøgt for cement og sand til sammenligning. Resultater for carbonat indhold, glødetab, komdensitet, pH og vandindhold er givet i følgende tabel

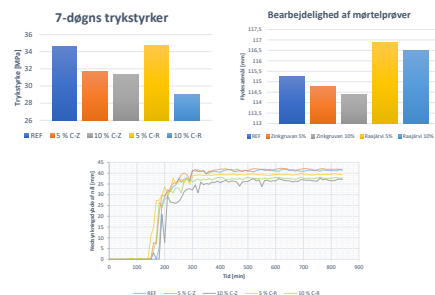
Forsøg	Zinkgruvan	Raajärvi	Basis cement	Søsand
Carbonat indhold [%]	12,7	1,5	17,5	7,2
Glødetab 550 °C [%]	0,5	2,9	1,0	0,4
Glødetab 950 °C [%]	6,1	6,1	6,2	3,4
Komdensitet [kg/m <sup>3</sup> ]	2788,1	2788,3	3527,1	2598,9
pH [-]	8,4	3,0	12,5	9,7
Vandindhold [%]	9,3	26,4	0,6	1,2

mens resultaterne for korntørrelsesfordelingen og indhold af metaller kan ses på de næste to figure.



#### Karakteristik af mørtelprøver

Resultater for test af trykstyrke, afbindingsforløb og bearbejdelighed kan ses på de næste tre figure.



Der har kun været tid til at trykteste 7-døgn mørtelprøver.

#### Konklusion og videre arbejde

Ud fra karakteristikken af mineaffald ses at der er et stort indhold af Mg og Al i Raajärvi og et mellemstort indhold af Mg, Al og Zn i Zinkgruvan. Det kunne være spændende at undersøge om metalindholdet kan udnyttes som offeranode til korrosionsbeskyttelse i armeret beton. Da pH værdierne er lavere end for sand og cement, vil det være smart at undersøge pH-miljøet i mørtelprøver. Dette kan udføres ved knusning af mørtelprøver, og herefter pH-forsøg. For at undgå at sænke pH'en i mørtel, kunne man prøve at erstatte sand med mineaffald i stedet. Det ses også at der er en tendens til at trykstyrken falder når cement erstattes med mineaffald, og det kunne derfor være spændende at undersøge hvordan dette kan optimeres. Dette kunne f.eks. gøres ved knusning af mineaffald, så de opnår filler-egenskaber. Det ses ud fra korntørrelsesfordelingen, at 30% for Raajärvis og 40% af Zinkgruvans korntørrelser ligger uden for fillergrænsen. Det kan også undersøges om knusning har en effekt på bearbejdeligheden.