

Anvendelse af mineaffald i beton

Forbedring af trykstyrken ved optimering af bearbejdeligheden



Natasja Emilie Buchholdt, s143864

Mai Nørgaard Fugl, s143870

Bachelorprojekt

Department of Civil Engineering
2017

DTU Civil Engineering
June 2017

1 Forord

Denne rapport vil, sammen med et mundtligt forsvar, udgøre et bachelorprojekt på bacheloruddannelsen Byggeteknologi på Danmarks Tekniske Universitet, DTU. Projektet er udført ved Institutet for Byggeri og Anlæg, og er en del af ZeroWaste Byg, der arbejder med at forlænge materialers livscyklus, ved at bruge dem i byggematerialer.

Projektet er vurderet til 20 ECTS-point pr. person, og er forløbet i perioden 30. januar til 22. juni 2017.

I den elektroniske version af denne rapport er det muligt at klikke på henvisninger, som gør det nemt for læseren at springe rundt i dokumentet.

Udover at være en tomandsgruppe, har vi også været del af en projektfamilie på i alt seks grupper. Vi fik i starten tildelt hvert vores mineaffald, som vi lavede de samme indledende tests på. Herefter fandt grupperne hver deres fokuspunkt og lavede forskellige forsøg.

Referencemørtelprøverne er støbt og trykprøvet i samarbejde med Niklas Ørum-Nielsen (s143857), Markus Pai Sørensen (s143876) og Lasse Førde Thunbo (s143874).

Der gives en stor tak til vejleder Pernille Erland Jensen og Videnskabelig Assistent Nina Marie Sigvardsen for god og engageret vejledning. Ligeledes gives en særlig tak til laborantkoordinator Ebba Schnell og laborant Malene Grønvold for hjælp og tålmodighed i laboratoriet. Til sidst gives også en stor tak til de øvrige studerende i projektfamilien for brugbare diskussioner og gode råd.

Natasja Emilie Buchholdt,
s143864

Dato

Mai Nørgaard Fugl,
s143870

Dato

2 Resumé

Der bliver i dag brugt mineralske tilsætninger i beton, som foreksempel flyveaske og microsilica der er kunstige former for puzzolaner. I denne rapport vil det blive undersøgt hvor vidt en del af cementen kan erstattes med mineaffald for at mindske CO₂ udledningen samt gøre omkostningerne mindre ved at udskifte noget af cementen der er det dyreste element i betonen. Der arbejdes med både 5% og 10% cementerstatning med henholdsvis mineaffaldene fra Zinkgruvan minen i syd Sverige, Baozigou reservoiret fra en mine i syd-vest Kina samt White Mountain minen i syd-vest Grønland. Rapporten fokuserer på at øge trykstyrken ved optimering af bearbejdeligheden.

Først er der blevet lavet en række indledende forsøg, for at karakterisere de tre slags mineaffald og mørtelprøverne med 5% og 10% cementerstatning ved også at undersøge cement, sand og reference mørtelprøver. De indledende undersøgelser består af forsøg der tester karbonatindholdet, pH-værdien, indhold af tungmetaller, glødetab, vandindhold, partiklernes densitet, kornkurve, tryktest, bearbejdelighed, afbindingstid, porøsiteten og densiteten. Disse undersøgelser har dannet grundlag for rapportens videre undersøgelser, der er mere dybdegående. Disse undersøgelser er en pH-test af mørtelprøven med 10% cementerstatning med Baozigou samt referencen. Herudover er der foretaget en XRD analyse på alle tre mineaffald for at finde den mineralske sammensætning. Der er også foretaget forsøg til en ny kornkurve, bearbejdelighedstest og tryktest på mineaffaldet og mørtelprøverne, efter det er blevet knust, for at optimere netop disse tre ting.

Bearbejdeligheden har vist sig under de indledende undersøgelser, at være mindre end referenceprøven, og en kornkurve har vist at de tre mineaffald ligger tættere på kornkurven for sand end for cement. Herudover viser trykstyrkerne for 7, 14 og 28 døgn, at der er meget store forskelle på trykstyrkerne for især White Mountain og Baozigou. Det er derfor i de videre forsøg undersøgt, hvad der sker med bearbejdeligheden og trykstyrkerne hvis mineaffaldene knuses, således at deres kornkurver ligner mere cement og en stor del af deres volumen-% ligger under fillergrænsen på 250 µm. Bearbejdeligheden har vist sig at stige, således at der ikke er nogen taknisk forskel på referencens bearbejdelighed og bearbejdeligheden af de tre mørtelprøver med 10% erstatning af cement med mineaffald. Tryktestene for 7, 14 og 28 døgn viser sig også næsten alle sammen at være højere med det knuste mineaffald. Trykstyrken for White Mountain 10% cementerstatning viser sig at være mere lineær i forhold til de andre prøver. Herudover er den indledende afbindingstid hurtigere end for referencen og den endelig afbindingstid er langsommere end for referencen. Dette kunne tyde på en lille puzzolanisk effekt hos White Mountain.

3 Abstract

Today, mineral supplements such as fly ash and microsilica are used in concrete. Fly ash and microsilica are artificial forms of pozzolans. This report will examine whether part of the cement can be replaced by mine tailings in order to reduce CO₂ emissions and reduce the cost of concrete production by replacing some of the cement, which is the most expensive element in the concrete. Both 5% and 10% cement replacements are being processed with tailings from the Zinkruvan mine in Southern Sweden, the Baozigou reservoir from a mine in Southwest China and the White Mountain mine in Southwest Greenland. The report focuses on increasing the compressive strength by optimizing the workability.

First, a number of preliminary tests have been made to characterize the three types of tailings as well as the mortar samples with 5% and 10% cement substitution by also examining cement, sand and reference mortar samples. The preliminary studies consist of tests that examine the carbonate content, pH-value, the content of heavy metals, loss on ignition, water content, density of particles, grading curves of aggregates, compression tests, workability, setting time, porosity and density. These studies have provided the basis for the further investigation in the report, which are more profound. These studies include a pH-test of the mortar sample with 10% cement replacement with Baozigou and the reference. In addition, an XRD analysis has been conducted on all three of the mine tailings to find the mineral composition. A new grading curve of aggregates, workability test and compression test of the mine tailings and mortar samples have been made, after the tailings have been crushed in order to optimize these three things.

During the initial studies, the workabilities have shown to be less than the reference sample and the grading curves of the aggregates have shown, that the three tailings are closer to the grading curve for sand than for cement. In addition, the compression tests for 7, 14 and 28 days show that there are very large differences in the compression strengths, especially for White Mountain and Baozigou. For that reason it has been chosen to investigate what happens to the workability and compression strengths if the tailings are crushed, so that their grading curves are more like cement and a large proportion of their volume-% are below the 250 µm limit. The workabilities have been shown to rise so that there is no difference between the workability of the reference and the workability of the three mortar samples with 10% replacement of cement. The compression strengths for 7, 14 and 28 days also appear to be higher with the crushed mine tailings. The compression strength of White Mountain 10% appears to be more linear compared to the other samples. In addition, the initial setting time is faster than for the reference and the final setting time is slower than for the reference. This could indicate a small pozzolanic effect for White Mountain.

Indhold

1	Forord	ii
2	Resumé	iii
3	Abstract	iv
4	Introduktion	1
5	Teori	2
5.1	Mineaffald/Tailings	2
5.1.1	Zinkgruvan	2
5.1.2	Baozigou	2
5.1.3	White Mountain	3
5.2	Beton	4
5.2.1	Portland Cement	5
5.2.2	Søsand (0-4 mm)	5
5.2.3	Organisk materiale	5
5.2.4	Puzzolan	5
5.3	Hydratisering	6
5.4	v/c-forhold	6
5.5	Strukturudvikling	7
5.6	Bearbejdelse	8
5.7	Trykstyrke og styrkeudvikling	8
5.8	Porøsitet og densitet	9
5.9	Filler	10
5.10	Kalcineringsproces og karbonatsering	10
5.11	pH for beton	11
5.12	Alkali-Aggregate Reaction (AAR)	11
6	Forsøgs Metoder	13
6.1	Forsøg til karakterisering af mineaffaldet	13
6.1.1	Karbonatindhold	13
6.1.2	pH-værdi	14
6.1.3	Indhold af tungmetaller	14
6.1.4	Glødetab	16
6.1.5	Vandindhold	16
6.1.6	Partiklernes densitet	17
6.1.7	Kornkurve	17
6.2	Forsøg til karakterisering af mørtelprøver	18

	6.2.1	Blanding og støbning af mørtelprøver	18
	6.2.2	Tryktest	19
	6.2.3	Bearbejdighed	19
	6.2.4	Afbindingsforløb	20
	6.2.5	Porøsitet og densitet	21
	6.2.6	Farveanalyse	21
	6.3	Forsøg til videre undersøgelser	22
	6.3.1	XRD analyse	22
	6.3.2	Ringknuseren	22
7		Indledende Resultater og diskussion	23
	7.1	Indledende resultater	23
	7.1.1	Karbonatindhold	23
	7.1.2	pH-værdi	23
	7.1.3	Indhold af tungmetaller	23
	7.1.4	Glødetab	24
	7.1.5	Vandindhold	24
	7.1.6	Partiklernes densitet	25
	7.1.7	Kornkurve	25
	7.1.8	Tryktest	26
	7.1.9	Bearbejdighed	30
	7.1.10	Afbindingsforløb	30
	7.1.11	Porøsitet og densitet	31
	7.1.12	Farveprøver	32
	7.2	Deldiskussion	33
	7.3	Delkonklusion	36
8		Resultater	37
	8.1	pH i mørtelprøver	37
	8.2	XRD analyse	37
	8.3	Kornkurve for knust mineaffald	38
	8.4	Bearbejdighed for knust mineaffald	39
	8.5	Tryktest for mørtelprøver med knust mineaffald	40
9		Diskussion	43
10		Konklusion	46
	10.1	Videre Forskning	47
A		Forsøgsvejledninger til laboratoriet	I
	A.1	Karbonat	II
	A.2	Karbonat Standartrække	V
	A.3	pH	VI
	A.4	Oplukning	VIII
	A.5	Glødetab	XI
	A.6	Vandindhold	XIII
	A.7	Pyknometer	XV
	A.8	Pyknometer Beregning	XVI

	A.8.1	Vands Densitet	XVII
	A.8.2	Pyknometerkalibrering	XVIII
	A.9	Laserdiffraktion	XIX
B		Forsøgsvejledninger til støbehallen	XXI
	B.1	Blanding og støbning af mørtelprøver	XXII
	B.2	Tryktest	XXV
	B.3	Bearbejdelighed	XXVII
	B.4	Afbindingsforløb	XXVIII
	B.5	Porøsitet og densitet	XXXI
	B.6	Farveanalyse	XXXIII
C		Resultater	XXXVII
	C.1	Karbonat	XXXVIII
	C.2	pH for mineaffaldet	XXXIX
	C.3	Indhold af tungmetaller	XL
	C.4	Glødetab	XLI
	C.5	Vandindhold	XLIII
	C.6	Pyknometer	XLIV
	C.7	Kornkurver ved laserdiffraktion	L
	C.8	Interpolation for at finde volumen der overholder fillergrænsen	LV
	C.9	Blanding af mørtelprøver	LVI
	C.10	Trykstyrker	LVII
	C.11	Bolomeys formel	LXIV
	C.12	Bearbejdelighed	LXV
	C.13	Afbindingsforløb	LXVII
	C.14	Porøsitet og densitet	LXXVI
	C.15	Farveanalyse	LXXX
	C.16	Blanding af mørtelprøver med knust mineaffald	LXXXI
	C.17	pH for mineaffaldet	LXXXII
	C.18	Kornkurver for knust mineaffald ved laserdiffraktion	LXXXIII
	C.19	Bearbejdeligheden for mørtelprøver med knust mineaffald	LXXXVI
	C.20	Trykstyrker for mørtelprøver med knust mineaffald	LXXXVII

Figurer

1	Placering af minen Zinkgruvan i Sverige	2
2	Placering af minen Tianbaoshan i Kina der producerer mineaffaldet Baozigou.	3
3	Placering af minen White Mountain på Grønland	4
4	Trykstyrke for portland cement med og uden puzzolaner [Mehta and Monteiro, 2014, s. 224]	6
5	Cementpastas strukturudvikling [Dam et al., 2008]	7
6	Bolomeys formel [Hansen, 2008]	9
7	Scheibler apparat	13
8	pH-meter til måling af pH-værdier i mineaffald	14
9	Udstyr til oplukningsforsøg	15
10	Digler i eksikkator	16
11	Pyknometerglas og et bægerglas med vand i vakuum.	17
12	Maskine til blanding af mørtelprøver	18
13	Tryktest af mørtelprøver	19
14	Bearbejdelighed af mørtelprøve	20
15	Vicat (Vicatron)	20
16	Vejning af prøve under vand	21
17	Farveprøver	22
18	Ringene til ringknuseren	22
19	Pyknometer	25
20	Kornkurve for sand, cement, Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain. Herudover ses fillergrænsen (250 μm).	26
21	Trykstyrkerne usorteret	28
22	Trykstyrker ved 7, 14 og 28 døgnshærdning for de usorterede resultater og de sortererede resultater. De usorterede resultater er de samme som på Figur 21 og de sortererede resultater er de samme som i Tabel 11.	29
23	Bearbejdelighed målt ved sætmål	30
24	Porøsitet og densitet	32
25	Farveprøverne fra venstre til højre: Reference, Zinkgruvan 10%, Zinkgruvan 20%, Zinkgruvan 30%, Baozigou 10%, White Mountain 10%	32
26	XRD analyse af Baozigou	37
27	XRD analyse af White Mountain	38

28	Kornkurve for sand, cement, knust Zinkgruvan, knust Baozigou og knust White Mountain. Herudover ses fillergrænsen (250 μm).	39
29	Bearbejdelighed målt ved sætmål for knust mineaffald. Grafisk visning af resultaterne fra Tabel 18.	40
30	Trykstyrker for referencen og mørtelprøver med knust mineaffald	41
31	Trykstyrker ved 7, 14 og 28 døgns hærkning for referencen og mørtelprøver med knust mineaffald \pm standardafvigelser. Større figurer ses i Bilag C.20	42
32	Bearbejdelighed målt ved sætmål for mineaffald før det er blevet knust (Almindelig) og efter det er blevet knust (Knust). Resultaterne under <i>Almindelig</i> er de samme som på Figur 23 og resultaterne under <i>Knust</i> er de samme som på Figur 29.	43
33	Sammenligning af trykstyrker. De fuldtoptrukne linjer viser det ubehandlede mineaffald og de stiplede linjer viser det knuste mineaffald.	44

Tabeller

1	Mineaffaldet Baozigous indhold af tungmetaller i mg/kg	3
2	Vejledende konstanter til Bolomeys formel [Aalborg Portland, 2012a]	8
3	Grænserne for jords indhold af tungmetaller i mg/kg	15
4	Karbonatindhold ($CaCO_3$) [%] \pm standardafvigelse	23
5	pH-værdier [-] \pm standardafvigelse	23
6	Tungmetal indhold [mg/kg]	24
7	Tabel over glødetab [%] \pm standardafvigelse	24
8	Vandindhold [%] \pm standardafvigelse	25
9	Partiklernes densitet ρ_s [g/cm^3] \pm standardafvigelse	25
10	Volumen-% der overholder fillergrænsen (partikelstørrelse $250\ \mu m$)	26
11	Trykstyrke [MPa] for 7, 14 og 28 døgns hærdning \pm standardafvigelse	27
12	Trykstyrkernes intervaller (gennemsnit \pm standardafvigelse) [MPa] for 7 og 28 døgns tryk sammenlignet med Bolomeys formel. Intervaller markeret med blå overholder den teoretiske størrelse.	28
13	Flydesætmål [cm] \pm standardafvigelse for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).	30
14	Den indledende og endelige afbindingstid [min] for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).	31
15	Porøsitet og densitet [kg/m^3] for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).	31
16	pH for mørtelprøver \pm standardafvigelse	37
17	Volumen-% for sand, cement og det knuste mineaffald, der overholder fillergrænsen (partikelstørrelse $250\ \mu m$)	39
18	Flydesætmål [cm] \pm standardafvigelse for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).	39
19	Trykstyrke [MPa] for 7, 14 og 28 døgns hærdning af mørtelprøverne med knust mineaffald \pm standardafvigelse	40
20	Trykstyrkernes intervaller (gennemsnit \pm standardafvigelse) [MPa] for 7 og 28 døgns tryk sammenlignet med Bolomeys formel beregnet ved det aktuelle v/c-forhold. Intervaller markeret med blå overholder den teoretiske størrelse.	41

4 Introduktion

Den dyreste komponent i beton er cement og ud over at den er dyr, udledes der også CO_2 under produktionen i form af energiforbrug ved afbrænding af klinkeren og ved den kemiske reaktion, der sker under kalcineringsprocessen. Der udledes omkring 0,8 ton CO_2 pr. ton cement ved produktionen. Omkring halvdelen af den CO_2 der bliver udledt, kommer fra kalcineringsprocessen, og cirka 90 % af den CO_2 der udledes ved kalcineringsprocessen bliver optaget i betonen igen ved karbonatisering over en periode på 100 år [Mathiesen and Kaasgaard, 2014]. Alene i Danmark bruges der omkring 8 mio. tons beton om året, svarende til 3,5 Storebæltsbroer [Teknologisk Institut].

Beton har været brugt siden Romertiden, hvor beton bestod af brændt kalk, der, blandet med vulkansk aske, dannede et hydraulisk bindemiddel, og blandet med knust teglsten og vand, dannede dette beton. Beton i dag består af en blanding af cement, vand, sand og sten. For at mindske CO_2 -udledningen og omkostninger ved produktionen af beton, er det forsøgt at erstatte noget af cementklinkeren med for eksempel kalkfiller eller forskellige industrielle restprodukter som puzzolaner. Disse puzzolaner kan være flyveaske, mikrosilica eller slagge. Udover at puzzolaner kan erstatte klinker i cement, kan de også delvist erstatte cement når det tilsættes i betonen. Der kommer i dag flere og flere projekter for at gøre beton mere ”grøn”. [Mathiesen and Kaasgaard, 2014].

I dette projekt undersøges tre slags mineaffald, Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain, for deres evne til at erstatte 5 % og 10 % af cementen. For at tjekke mineaffaldenes evne til at erstatte cementen, støbes der mørtelprøver som tryktestes og sammenlignes med en reference, hvor der ikke erstattes noget cement. Det er valgt at undersøge mørtelprøver i stedet for beton, da der ikke har været ubegrænset tilgængelighed til mineaffaldene og mørtelprøver ikke kræver lige så meget cement og derfor kræver det heller ikke lige så meget mineaffald, som beton ville gøre. Herudover laves der en række forsøg, der skal karakterisere de tre mineaffald og nogle forsøg, der skal karakterisere mørtelprøverne. Efter disse indledende forsøg vurderes det hvordan trykstyrken er i forhold til referencen, og om trykstyrken kan forbedres samt om nogle af de andre forsøg har været bemærkelsesværdige for de enkelte mineaffald. Her fokuseres der især på at øge trykstyrken ved at optimere bearbejdelsen af mørtlen med mineaffald, således den ligner bearbejdelsen for referencen.

5 Teori

5.1 Mineaffald/Tailings

Der findes mange forskellige former for mineaffald. Den type, der bliver brugt som cemensterstatning, er af den type mineaffald, som også på engelsk kaldes tailings. Tailings er den type affald, som er tilbage efter alle de økonomiske metaller, mineraler og brændstoffer er blevet udvundet fra minen. Disse tailings bliver ofte oplagret i tailingsdamme eller -søer, hvilket fører til, at der i naturen kommer store bunker tailings, som kan interferere med dyrelivet og dets levesteder eller med steder som har særlig kulturel betydning [Lottermoser, 2010]. I denne rapport, forstås ”mineaffald” som tailings.

5.1.1 Zinkgruvan

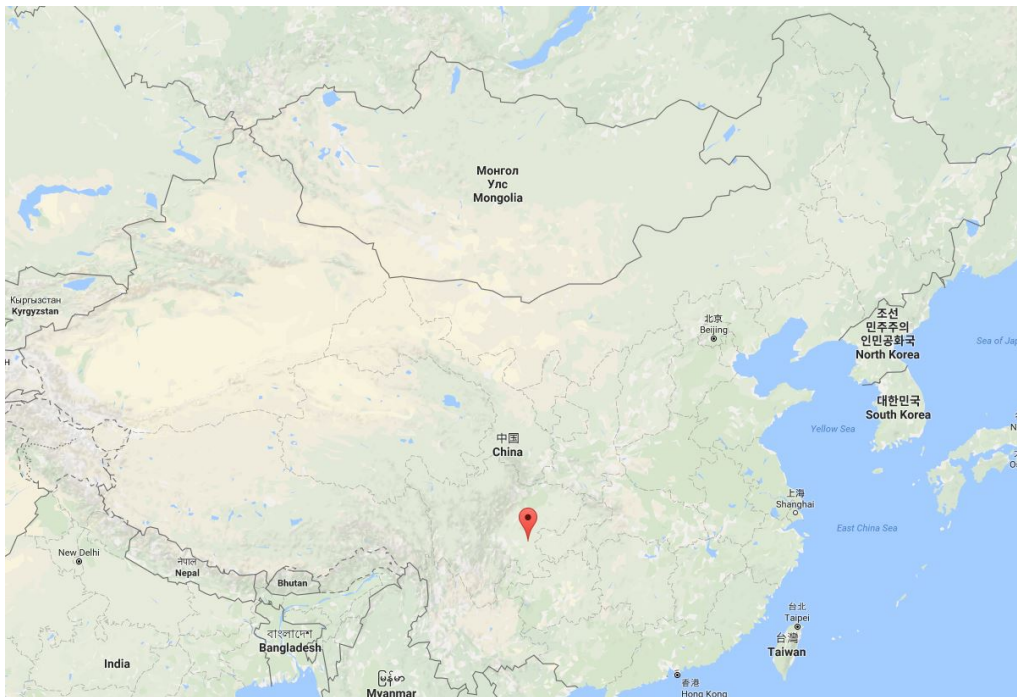
Zinkgruvan er en mine i Sverige, der ligger cirka 200km sydvest for Stockholm, se Figur 1. Minen er en dyb underjordisk mine med en lang historie. Mineaffaldet bliver pumpet ca. 4 km til en dedikeret tailingsdam [Lundin Mining, 2017]. Minen producerer hovedsageligt zink (Zn), men også kobber (Cu), bly (Pb) og sølv (Ag).



Figur 1: Placering af minen Zinkgruvan i Sverige

5.1.2 Baozigou

Mineaffaldet Baozigou kommer fra et reservoir kaldet Baozigou i provinsen Sichuan. Dette reservoir indeholder mineaffald fra en bly-zink mine der ligger 10km væk, kaldet Tianbaoshan. Reservoiret Baozigou ligger i det sydvestlige af Kina, se Figur 2.



Figur 2: Placering af minen Tianbaoshan i Kina der producerer mineaffaldet Baozigou.

Ifølge ledelsen af minen indeholder mineaffaldet følgende tungmetaller, se Tabel 1:

Tabel 1: Mineaffaldet Baozigous indhold af tungmetaller i mg/kg

Zn	Pb	Cd	Cu
21070	6023	53,5	533

Zn: Zink, Pb: Bly, Cd: Cadmium, Cu: Kobber

5.1.3 White Mountain

White Mountain er en mine beliggende i syd-vest Grønland ved koordinaterne $66^{\circ}33'N$ og $52^{\circ}10'W$, se Figur 3, og er ejet af det canadiske selskab Hudson Resources INC. [Hudson Resources INC, 2013]. Minen er endnu ikke åbnet, men forventes at åbne i slutningen af 2017 eller starten af 2018. Minen har en licens til at køre i 50 år, men har ressourcer til at køre i over 100 år. Minen er speciel fordi den indeholder store, rene og calcium-rige anorthosite sten der normalt kun findes i små depoter og plejer at være irregulære og urene. Der findes kun 3 andre små miner som indeholder depoter med samme kemiske sammensætninger. White Mountain indeholder primært 31% aluminium, 50% silikone og 15% calcium [Hudson Resources INC, 2017].

Hudson Resources INC forventer at minens produktion skal gå til tre forskellige ting.

1. En erstatning af kaolin i produktionen af E-glas fiberglas.

2. En erstatning af kaolin og nepheline syenite i filler til maling og polymere.
3. En primær ressource af aluminiumoxid der kan erstatte bauxit.



Figur 3: Placering af minen White Mountain på Grønland

5.2 Beton

Beton fremstilles som regel af cement, vand og tilslag i form af sand og sten. Tilsammen er cement og vand et bindemiddel, kaldet cementpasta, som binder tilslagspartiklerne sammen i en fast struktur [Aalborg Portland, 2012a]. Beton er et fast og stærkt materiale, der kan modstå store trykpåvirkninger. Trykstyrken er det maksimale tryk, som en beton kan optage og den afhænger af flere faktorer. Primært afhænger trykstyrken af vand/cementforholdet, men også af cementtypen, luftindholdet og tilslaget. Almindelig beton har en trykstyrke på mellem 5 og 50 MPa, hvor traditionel husbygningsbeton har en trykstyrke på ca. 25 MPa [Nielsen, 2016]. Cementpastaen er det svageste og dyreste led i betonen, og denne indeholder ikke aggregater. Mørtel indeholder ikke de større aggregater, men kun sand eller tilsvarende. Mørtel består af

Cement + sand + vand = cementmørtel

Og beton består af

Cementmørtel + sten = beton

Beton kan også fremstilles af andre tilslagsmaterialer end sten, i disse tilfælde navngives betonen efter tilslagsmaterialet [Murerfagets Lærebogsudvalg, 1996].

5.2.1 Portland Cement

Til blandingen af mørtlerne er der blevet brugt BASIS cement, som også kaldes CEM II/A-LL 52,5 R (LA). Basiscementen er en portlandskalkstenscement i styrkeklasse 52,5 R, altså forventes der en 28-døgns trykstyrke på over 52,5 MPa og R fortæller, at der sker en tidlig høj trykstyrke. Cementen er af type II og består derfor af 65 % – 94 % klinker. Navnet for BASIS cement indeholder betegnelsen (LA) hvilket fortæller, at alkaliindholdet i cementen er lav (under 0,6 %). Cementen er fremstillet ved samformaling af portlandscementklinker og op til 20 % finkornet kalkfiller [Aalborg Portland, 2012b]. Når cement, som er et pulverformigt materiale og et hydraulisk bindemiddel, blandes med vand, reagerer det kemisk med en del af vandet. Reaktionen gør, at der dannes en hård masse, som i betonen sammenholder grus og sten. Denne kemiske proces kaldes hydratisering [Jensen, 2008].

5.2.2 Søsand (0-4 mm)

Til mørtlen bruges søsand 0-4 mm, som er tørret ved 105 °C i mindst 24 timer eller indtil massen er konstant. Ved at tørre sandet, sikres det, at vandindholdet ikke overstiger 0,2 % i forhold til tørvægten [DS/EN196-1, 2005]. Sandets kornform og kornstørrelsesfordeling har betydning for mørtlens styrke, bearbejdelighed og stivhed. Sandkornene skal helst være afrundede frem for kantede, da denne kornform mindsker sandkornenes indbyrdes friktion [Dam et al., 2008].

5.2.3 Organisk materiale

Normalt er beton et uorganisk materiale, hvilket gør at den ikke bliver angrebet af råd, insekter eller svamp [Busch, 2013]. Skimmelsvamp opstår, hvis der er de passende temperaturer og fugt hvor den så vil sætte sig på materialer med en organisk overflade [Pasternak, 2009]. Der er derfor ikke interesse i at tilføje stærkt organiske tilsætningsstoffer i betonen. Et materiales indhold af organisk materiale kan testes i form af glødetab ved 550 °C, da alle organiske materialer vil blive afbrændt ved denne temperatur.

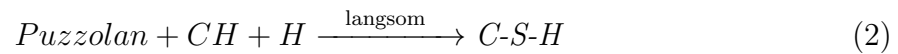
5.2.4 Puzzolan

Et Puzzolan er et materiale, der har cementriske egenskaber ved at danne bindemidler, der er ikke-vandopløselige. Dette sker når puzzolanet reagerer med calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$, som dannes når cementen reagerer med vand. [Munch-Petersen, 2013].

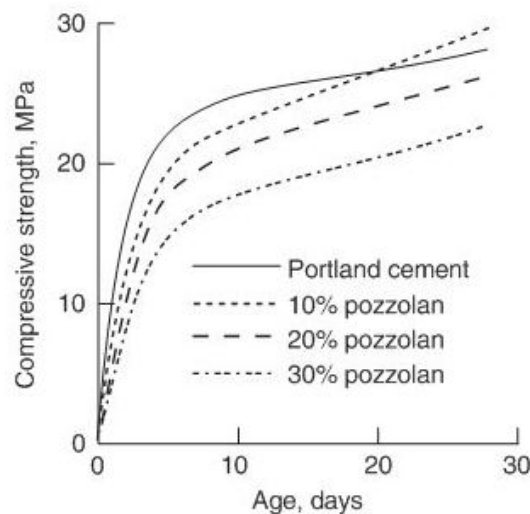
Reaktionen mellem portland cement og vand:



Reaktionen mellem puzzolaner og calciumhydroxid:



Hvis betonen indeholder puzzolaner, vil reaktionen ske langsomt. Trykstyrken for beton med puzzolaner vil derfor være lavere i starten sammenlignet med beton uden puzzolaner. Derimod vil trykstyrken være højere senere i hærdeforløbet og efter omkring 20 dage vil det kunne ses at beton med 10% puzzolaner har en højere trykstyrke end beton uden puzzolaner, se Figur 4. [Mehta and Monteiro, 2014, s. 220-224]



Figur 4: Trykstyrke for portland cement med og uden puzzolaner [Mehta and Monteiro, 2014, s. 224]

5.3 Hydratisering

Ved hydratiseringen bindes en del af vandet kemisk til cementen(, flyveasken og mikrosilicaen). I den hærdede mørtel, er der hulrum, fordi det tørre hydratiseringsprodukt fylder mindre end i våd tilstand, og i disse hulrum er der dels gelvand og dels kapillarvand. Gelvandet er bundet af de van der Waal'ske kræfter og er derfor svært fordampeligt. Kapillarvandet er frit vand, som fordampes let, og som over tid vil indstille sig i en ligevægt med omgivelserne. I princippet vil cementen blive ved med at hydratisere over hele betonens levetid, da der er nogle cementpartikler, som kun er delvist hydratiserede [Jensen, 2008]. For at få en "fuldstændig"hydratisering, skal der altid være en vis mængde cement og vis mængde vand. Forholdet mellem vand og cement kaldes v/c-forholdet [Murerfagets Lærebogsudvalg, 1996].

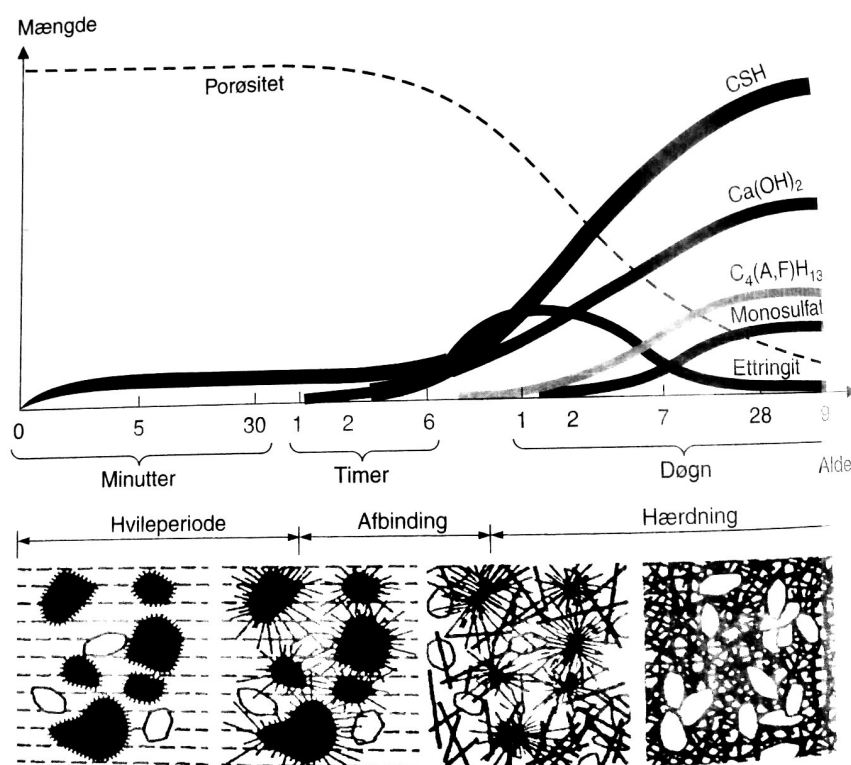
5.4 v/c-forhold

En af de vigtigste faktorer i betondeSIGN er vand/cement-forholdet. Det teoretisk optimale v/c-forhold er ca. 0,4, da det kemisk bundne vand og gelvandet udgør ca. 40% af

cementvægten. v/c -forholdet har en stor indflydelse på betonens styrke. Jo højere v/c -forhold, des lavere styrke. Det overskydende vand vil fordampe og efterlade luftporer, som vil være medvirkende til at nedsætte styrken [Jensen, 2008]. Hvis der tilsættes for meget vand i forhold til cement, vil mørtlen være tynd, og limevnen vil være nedsat. I hærdet tilstand, vil mørtlen blive meget åben og porøs. Til en vis grænse, vil styrken blive forøget med en stigende mængde cement [Murerfagets Lærebogsudvalg, 1996]. Ved erstatning af cement med mineaffald, kan der være tale om vand/pulver-forhold (v/p -forhold) i stedet for vand/cement-forhold (v/c -forhold).

5.5 Strukturudvikling

Cement er som nævnt et hydraulisk materiale, dette betyder at beton afbinder og hærdner bedst under vand. I et tidsrum efter cementpastaen er blevet blandet, har den egenskaber svarende til en væske. Efter, som regel, nogle timer begynder cementpastaen at antage en fast form. Denne proces kaldes afbinding. Afbindingen og den efterfølgende styrketilvækst er et resultat af hydratiseringen. Ved afbindingens afslutning danner de ureagerede cementpartikler og hydratiseringsprodukterne et faststofsskelet. Denne proces kan ses i Figur 5 [Dam et al., 2008]



Figur 5: Cementpastas strukturudvikling [Dam et al., 2008]

Afbindingstiden afhænger af hovedsageligt, cementens kemiske sammensætning, tempe-

raturen (høj temperatur = hurtig afbinding, altså lav afbindingstid) og betonens v/c forhold (lavt v/c forhold = hurtig afbinding, altså lav afbindingstid). [Thryssøe].

5.6 Bearbejdelighed

For en entreprenør er betonens bearbejdelighed mindst ligeså vigtig en egenskab, som styrke og holdbarhed. Bearbejdeligheden er betonens evne til at blive udstøbt, komprimeret og mere. Cementpastaens rolle kan i frisk tilstand sammenlignes med et smøremiddel, som sikrer bevægeligheden af tilslagspartiklerne, så betonen kan bearbejdes. Bearbejdeligheden afhænger primært af v/c-forholdet, men også af pakningen, der igen afhænger af partiklernes form og størrelse [Aalborg Portland, 2012a]. Mørtlens bearbejdelighed bliver målt som flydesætmål, hvor det måles hvor meget mørtlen flyder ud under komprimering.

5.7 Trykstyrke og styrkeudvikling

Trykstyrken er en af betonens vigtigste egenskaber. Trækstyrken er som regel kun 5-10% af trykstyrken, så skal der bruges beton i træk, skal betonen armeres. Af denne grund vil "styrke" blive brugt i stedet for trykstyrke og der ses bort fra trækstyrken. Styrken er betinget af det svageste led, altså cementpastaen. Styrken af mørtlen afhænger af dens porøsitet og dermed dens v/c-forhold og hærdningsgraden. Hvis styrken måles ved samme termin, vil hærdningsgraden tilnærmelsesvist også være den samme. Dette fører til den sammenhæng mellem v/c-forhold og styrke, som fremgår af Bolomeys formel:

$$F_c = K \cdot \left(\frac{1}{v/c} - \alpha \right) \quad (3)$$

Hvor

- F_c er betonens trykstyrke
- K er en konstant, som afhænger af cementtypen og terminen
- v/c er masse-forholdet mellem vand og cement
- α er en konstant, som afhænger af cementtypen og terminen

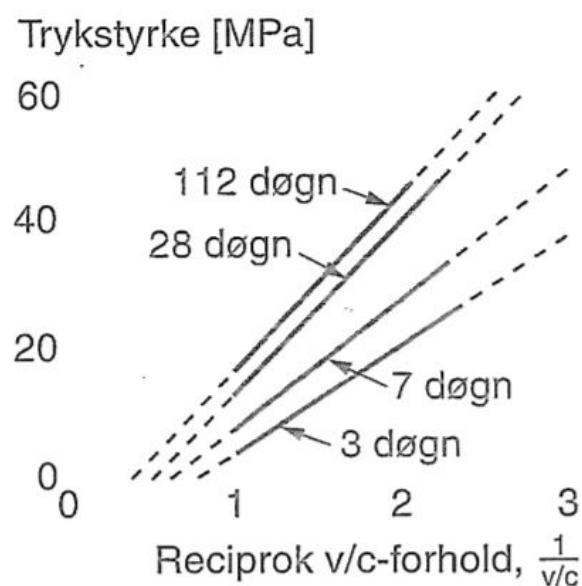
I nedenstående Tabel ses værdierne som kan bruges for Aalborg Portlands Basis cement [Aalborg Portland, 2012a].

Tabel 2: Vejledende konstanter til Bolomeys formel [Aalborg Portland, 2012a]

Cementtype	Termin [døgn]	K	α
Basis Cement	1	17	0,9
	7	26	0,6
	28	30	0,5

Udover v/c-forholdet er styrken også afhængig af bl.a. blandetid, temperatur, fugtighed i hærdeprocessen, tilslagsmaterialernes kornstørrelse og arbejdsudførelsen [Murerfagets Lærebogsudvalg, 1996]. Betonens alder afhænger af hærdningsgraden, som den ville have været ved en temperatur på 20 °C. Derfor forudsætter betonens alder, at betonen har haft en konstant temperatur lig med 20 °C i hele hærdningsperioden. Når betonen hærdner ved lavere temperaturer end 20 °C sker der en langsommere hærdningsudvikling, og ved højere temperaturer end 20 °C, bliver hærdningen hurtigere [Nielsen, 2016].

Få timer efter blandingen, begynder betonen at få en fast og sammenhængende struktur. Styrken vokser hurtigt i starten, og efter omkring 7 dage er der typisk opnået en styrke på ca. 70 % af den styrke som betonen vil have efter 28 døgn. Efter 28 døgn vokser styrken yderligere, men betydeligt langsommere, fordi en hydratisering af cementen stadig finder sted. Styrken kan i nogle tilfælde være 1,5-2 gange større efter 10 år end efter 28 dage [Nielsen, 2016; Jensen, 2008]. På nedenstående Figur 6 ses styrkeudviklingen som den forudses af Bolomeys formel.



Figur 6: Bolomeys formel [Hansen, 2008]

Det ses at betonens styrke stiger med antal hærdningsdøgn og med et faldende v/c-forhold. Det ses ligeledes at styrken stiger mest i løbet af de første 28 døgn, og derefter begynder styrkeudviklingen at gå langsommere.

5.8 Porøsitet og densitet

Beton er et porøst materiale, hvilket vil sige, at atomerne ikke ligger tæt lejret, men at der er huller i strukturen. Porøsiteten af et materiale er et mål for materialets tæthed. Hvis et materiale har en høj porøsitet har det let ved at opsuge for eksempel vand,

hvorimod et materiale der har en lav porøsitet er kompakt og har svært ved at opsuge eksempelvis vand. Mange materialeegenskaber hænger sammen med porøsitetens størrelse. Jo højere porøsiteten er, jo lavere er styrken, tilgængæld øges varmeisoleringssevnen ved højere porøsitet. Det er i mange tilfælde ikke kun porøsitetens størrelse der har indflydelse, men også fordelingen af porerne og deres form.

Porøsitet er et materiales porevolumen målt i forhold til prøvens totalvolumen. Den måles i m^3/m^3 :

$$p_a = \frac{V_{p_a}}{V} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3} \right] \quad (4)$$

Densiteten, eller massefylden, for et materiale beskriver hvor meget materialet vejer pr. volumenenhed. Densitet er et materiales masse pr. rumfangsenhed og måles i kg/m^3 :

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad (5)$$

For porøse materialer, afhænger densiteten af materialets tilstand. Er materialet tørt, kan man måle dets tilsyneladende tørdensitet, også bare kaldet tørdensitet, ρ_d . Densiteten af det faste materiale, som ligger mellem porerne, kaldes for faststoffdensiteten, hvor pore-rumfanget bestemmes ved vandopsugning, ρ_f [Nielsen, 1992]. Densitet af prøvelegeme i vakuumvandmættet overfladetør tilstand, ρ_{ssd} , er densiteten af prøven, efter overfladen er tørret af med en klud. Der vil stadig være vand i porer og sprækker. Et prøvelegemes åbne porøsitet, p_a , betegner de porer som er åbne, altså som er frit tilgængelige for foreksempel vand og luft. [Christiansen and Aarre, 2009]

5.9 Filler

En filler kan anvendes i betonen som erstatning af cementen eller som tilslag. For at et materiale kan kategoriseres som en filler, skal det have en kornstørrelse på mindre end $250 \mu\text{m}$ [Munch-Petersen, 2014]. Grundet fillerens lille kornstørrelse kan den bidrage til en bedre pakning, ved at udfylde nogle af de hulrum der ellers ville have været imellem de større korn i sand. Det er dog vigtigt at huske, at pakningen ikke må blive så tæt, at bearbejdigheden bliver for ringe. I dag bliver en del af cementklinkerne erstattet med foreksempel kalkfiller (formales sammen med klinkerne) for at mindske CO_2 udledningen under kalcineringsprocessen. [Mathiesen and Kaasgaard, 2014].

5.10 Kalcineringsproces og karbonatsering

Ved cementproduktion udledes der CO_2 , som dels skyldes det energiforbrug, der kommer ved brænding af klinkerne, og dels kalcineringsprocessen. Cirka halvdelen af den CO_2 der bliver udledt skyldes kalcineringsprocessen, (6), der sker når calciumkarbonat bliver brændt og danner calciumoxid og kuldioxid. [Mathiesen and Kaasgaard, 2014].



Der bliver udledt omkring 0,8 ton CO₂ pr. ton cement ved produktionen, og halvdelen, altså omkring 0,4 ton, skyldes kalcineringsprocessen. Det er dog blevet anslået for Danmark, at op mod 90 % af den CO₂ der udledes ved kalcineringsprocessen, bliver optaget igen i betonen i en periode over 100 år. Betonen optager CO₂ ved karbonatisering, (7), der er den modsatte reaktion af kalcineringsprocessen. Ved karbonatisering optager betonen CO₂, der reagerer med calciumoxid og danner calciumkarbonat. [Mathiesen and Kaasgaard, 2014].



Karbonatiseringsreaktionen vil få pH-værdien til at falde til omkring 7-9 [Grelk and Consult, 2014] og dermed kan karbonatiseringsdybden findes ved hjælp en pH-indikator. Karbonatisering af beton med et højt indhold af calciumhydroxid medfører normalt en lille styrkeforøgelse [Dam et al., 2008, s. 558].

5.11 pH for beton

Hvis miljøet for betonen har en lavere pH-værdi end 12,5, anses det som værende aggressivt, da en reduktion i alkaliniteten vil medføre en ustabilitet i mørtlen når cementen hydratiseres. Hvis permabiliteten er høj og pH'en for miljøet er under 6, er det skadeligt for betonen, da dette kan medføre kemiske angreb. Hvis pH'en derimod er høj, vil de kemiske angreb ske så langsomt, at det ikke har nogen stor betydning [Mehta and Monteiro, 2014, s. 144]. Ud over at en lav pH-værdi er skadeligt for betonen, kan det også være skadeligt for den eventuelle armering i betonen, da den har større risiko for at ruste.

5.12 Alkali-Aggregate Reaction (AAR)

Alkalier findes i cementpastaen, og ud fra den benyttede cementtype er det muligt at vide hvor høj en procent alkalier der er til stede. De to former for alkalier er Na⁺ og K⁺. Alkalierne udtrykkes som ækvivalent Na₂O, hvilket kan findes ved formlen: $(\text{Na}_2\text{O})_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \cdot \text{K}_2\text{O}$. En lav-alkali cement findes, hvis det ækvivalente Na₂O er lavere end 0,6 % mens en høj-alkali cement findes, hvis det ækvivalente Na₂O er højere end 0,6 %. Der er dog lavet undersøgelser som viser, at hvis betonen indeholder en høj cementandel kan et ækvivalent Na₂O indhold på mindre end 0,6 % også være skadeligt. Engelske og Tyske undersøgelser viser, at hvis det totale ækvivalente Na₂O indhold fra alle kilder er mindre end 3 kg/m³, vil der ikke forekomme skadelige ekspansioner [Mehta and Monteiro, 2014, s. 157-158].

Der findes to former for alkali-aggregat reaktioner; Alkali-Carbonate reaktionen (ACR) og Alkali-Silica reaktionen (ASR), hvor ASR er den mest almindelige form. En alkali-aggregat reaktion kan opstå hvis der er alkalier, reaktive aggregater og vand eller høj fugtighed til stede. Herudover skal betonen også have en høj pH-værdi på omkring 12-14. Der kan ikke opstå alkalireaktioner i en beton der er karbonatiseret, da pH'en her vil falde til omkring 7-9. ACR kan opstå når alkalierne fra cementen reagerer med calciumkarbonat (CaCO₃), mens ASR opstår når alkalierne reagerer med for eksempel Quarts (SiO₂) eller

Opal ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Hvis en alkali-aggregat-reaktion opstår, vil betonen udvide sig og der vil dermed opstå sprækker som kan være skadelige, da de sænker trykstyrken. [Grelk and Consult, 2014] [Mehta and Monteiro, 2014, 156-159].

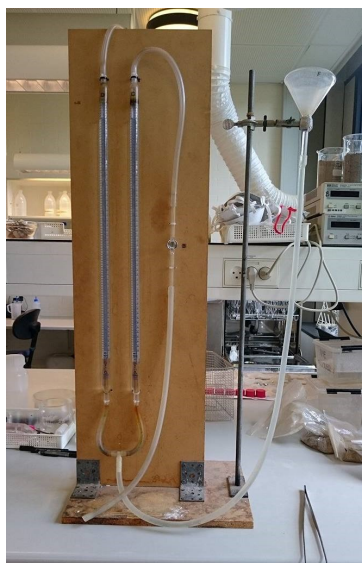
6 Forsøgs Metoder

6.1 Forsøg til karakterisering af mineaffaldet

Der udføres en række forsøg på mineaffaldet fra de tre miner, samt sand og cement. Dette gøres for at undersøge hvad de tre mineaffald består af og for at kunne sammenligne dem med cement og sand. Før materialerne bruges skal de tørres, hvilket for sandet sker i en ovn på 105 °C og for de tre mineaffald samt cement i en ovn på 50 °C. For alle forsøg gælder det, at de præcise vægte norteres til beregning.

6.1.1 Karbonatindhold

Karbonatindholdet i de tre slags mineaffald testes ved hjælp af et Scheibler apparat, se Figur 7. En bestemt mængde mineaffald afvejes. Denne mængde tilpasses efter hvor meget karbonat mineaffaldet indeholder. Der startes med at afveje 2,5 g og hvis dette giver et så højt indhold af karbonat, at det ikke kan måles, sænkes mængden. Den fundne mængde kommer i et 5 mL bægerglas der nedsænkes i en reaktionsflaske med 50 mL saltsyre (HCl). Reaktionsflasken tilsluttes Scheibler apparatet og bægerglasset med mineaffaldet tippes således, at det kommer i kontakt med saltsyren. Hvis mineaffaldet indeholder calciumkarbonat (CaCO_3) vil det reagere med syren og danne kuldioxid (CO_2), hvilket kan aflæses på Scheibler apparatet. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag A.1.



Figur 7: Scheibler apparat

Til at beregne karbonatindholdet skal der bruges en standardkurve, hvor det er CaCO_3 der testes på. Denne standardkurve er blevet givet fra laboranterne og kan ses i Bilag A.2. Jordens indhold af calciumkarbonat kan beregnes ved formel (8).

$$\text{CaCO}_3 [\%] = \frac{\text{CaCO}_3 \text{ i jord ifølge standardkurven [g]}}{\text{jord afvejet [g]}} \cdot 100 \quad (8)$$

For at finde ud af hvor mange gram calciumkarbonat (CaCO_3) der er i jorden ifølge standardkurven, skal forskriften for den rette linje af standardkurven bruges, se Bilag A.2, efter det er blevet aflæst på Scheibler apparatet hvor mange mL CO_2 mineaffaldet indeholder. For beregning af calciumkarbonat i mineaffaldet, se ligning (9).

$$\begin{aligned}
 y &= 227,72 \cdot x \\
 \Downarrow \\
 \text{aflæst CO}_2 \text{ [mL]} &= 227,72 \cdot \text{CaCO}_3 \text{ i jord ifølge standardkurven [g]} \\
 \Downarrow \\
 \text{CaCO}_3 \text{ i jord ifølge standardkurven [g]} &= \frac{\text{aflæst CO}_2 \text{ [mL]}}{227,72}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Indholdet af calciumkarbonat i mineaffaldet findes ved tre forsøg, hvor gennemsnittet og standardafvigelsen vises.

6.1.2 pH-værdi

For at måle pH-værdien afvejes 5,00 g mineaffald i en 20 mL plast vitalis, hvortil der tilsættes 12,5 mL 1 M kaliumklorid (KCl). Prøverne rystes i en time, hvorefter de stilles i ro for at sedimenterer i 10 minutter. pH'en kan nu måles ved hjælp af et pH-meter, se Figur 8. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag A.3. Forsøget gentages 5 gange for hvert materiale hvor resultatet vises som gennemsnittet af prøverne med standardafvigelser.

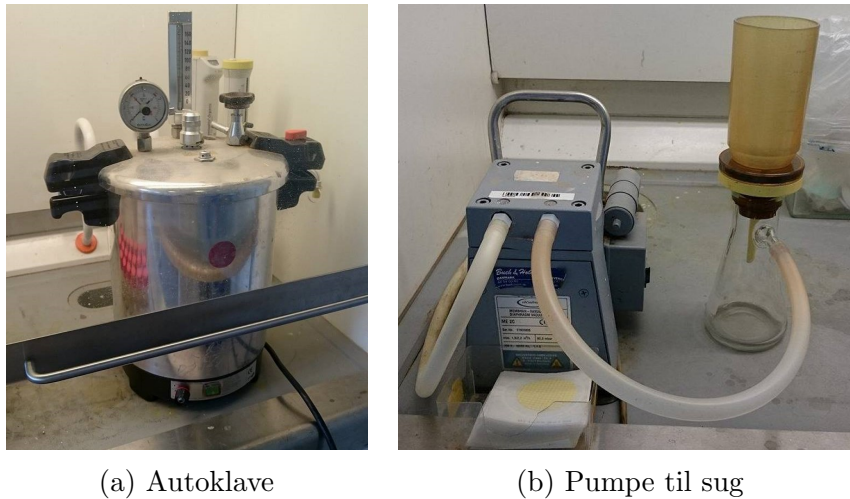


Figur 8: pH-meter til måling af pH-værdier i mineaffald

6.1.3 Indhold af tungmetaller

Ved hjælp af testen ”Oplukning af mineaffald efter DS 259”, se Bilag A.4, findes total-koncentrationen af de syreopløselige metaller i mineaffaldet. Testen udføres ved at afveje 1,00 g mineaffald i et autoklaveglas og tilsætte 20,00 mL halvkoncentreret HNO_3 , hvorefter glassene sættes i autoklaven til autoklavering, se Figur 9a. Efter 30 minutter i autoklaven afkøles autoklaveglassene til stuetemperatur og indholdet filtreres med sug gennem et $0,45 \mu\text{m}$ filter, se Figur 9b. Indholdet hældes i en 100 mL målekolbe og fortyndes med

destilleret vand. Væskens indhold af metaller måles nu ved hjælp af ICP ved benyttelse af de standarder, som hører til de enkelte metaller. Selve ICP-analysen udføres af laboranten (Ebba Schnell). Resultatet er et gennemsnit af 5 prøver hvor standardafvigelsen kan findes.



Figur 9: Udstyr til oplukningsforsøg

Der findes endnu ingen kriterier i forhold til indholdet af tungmetaller i forbindelse med byggematerialer. Dog findes der nogle kriterier fra Miljøministeriet i forhold til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand hvilket bruges som sammenligning [Miljøstyrelsen, 2014], se Tabel 3.

Tabel 3: Grænserne for jords indhold af tungmetaller i mg/kg

As	Ba	Cd	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn
20	100	0,5	500	5	30	40	500

As: Arsen, Ba: Barium, Cd: Cadmium, Cu: Kobber, Mo: Molybdæn, Ni: Nikkel, Pb: Bly, Zn: Zink

Når ICP analysen er udført er resultaterne i enheden mg/L men enheden for jordens indhold af tungmetaller i Tabel 3 er mg/kg, derfor bruges formel (10) som omregning mellem enhederne.

$$Tungmetaller [mg/kg] = \frac{Tungmetaller [mg/L] \cdot 0,1 [L]}{Vægten af prøve afvejet [mg]} \cdot 10^6 \quad (10)$$

Hvor $Tungmetaller [mg/L]$ er det opgivende indhold af tungmetaller fra ICP analysen, $0,1L$ er de 100 mL som det fortyndes med, $Vægten af prøve afvejet [mg]$ er den masse af prøven som blev vejet til start, omregnet til enheden [mg] og der ganges til sidst med 10^6 for at gå fra enheden [kg/kg] til [mg/kg].

6.1.4 Glødetab

Ved hjælp af forsøget glødetab findes indholdet af organisk materiale samt let fordampelige mineraler i jorden. Forsøget laves ved at sætte 3 digler i en muffelovn på 550 °C i 30 minutter. Herefter nedkøles diglerne i ekssikkator, se Figur 10, hvorefter de kan vejes på analysevægt. Diglerne tilsættes 2,5 g sand, cement eller mineaffald, hvorefter de sættes tilbage i muffelovnen på 550 °C i en time. Diglerne skal nu afkøle i ekssikkator i cirka en time, hvorefter de vejes og sættes i muffelovnen ved 950 °C. Til sidst tages diglerne ud af muffelovnen og nedkøles i cirka halvanden time, hvorefter de kan vejes. Når diglerne bliver flyttet rundt gøres det med tang for ikke at afsætte fedt fra fingrene. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag A.5.



Figur 10: Digler i ekssikkator

Glødetabet kan nu beregnes ved Formel (11).

$$\text{Glødetab [\%]} = \frac{\text{vægt af prøve} - \text{vægt af prøve efter ovn}}{\text{vægt af prøve}} \cdot 100 \quad (11)$$

Hvor, *vægt af prøven*, er den vægt prøven har før den sættes i ovnen, og *vægt af prøve efter ovn* er den vægt prøven har, når den har været i ovnen ved enten 550 °C eller 950 °C. Begge vægte skal være af prøven uden vægten af diglen.

6.1.5 Vandindhold

Til dette forsøg skal sand, cement og mineaffald ikke tørres forinden, da det ikke ønskes at fjerne noget af vandindholdet før testen laves. For at finde vandindholdet afvejes der, på en teknisk vægt, 3 bægerglas til hvert forsøg, hvorefter der afvejes cirka 2 g af den pågældende prøve. Bægerglassene stilles nu i varmeskab ved 105 °C natten over. Dagen efter afkøles prøverne og de vejes på teknisk vægt. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag A.6. Vandindholdet kan nu findes ved brug af formel (12).

$$\text{Vandindhold [\%]} = \frac{\text{massen af våd prøve} - \text{massen af tør prøve}}{\text{massen af våd prøve}} \cdot 100 \quad (12)$$

Hvor, *massen af våd prøve*, er vægten før prøven kommer i ovnen og, *massen af tør prøve*, er vægten efter prøven har været i ovnen natten over.

6.1.6 Partiklernes densitet

For at bestemme partiklernes densitet bruges pyknometerforsøget. Først afvejes pyknometerglasset på en analysevægt, hvorefter der afvejes 4,000 g tør prøve i vejbåde og det tilsættes i pyknometerglasset. Glasset lukkes med en prop og den samlede vægt noteres. Der fyldes destilleret vand i pyknometerglasset til det er halvt fyldt. Pyknometerglasset stilles i vakuumsug natten over sammen med et bægerglas med destilleret vand, se Figur 11. Dagen efter fyldes pyknometerglasset næsten helt op med vand og proppen sættes på, hvorved der vil være en dråbe overskydende vand på toppen af proppen, som fjernes med papir. Når glasset er helt fyldt op og der ikke er noget overskydende vand, vejes det på analysevægt. Herudover måles temperaturen på vandet fra bægerglasset. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag A.7.



Figur 11: Pyknometerglas og et bægerglas med vand i vakuum.

Beregningerne af partikeldensiteten laves ved hjælp af et udleveret ark fra laboranterne, se Bilag A.8, som følger formlerne fra forsøgsvejledningen, se Bilag A.7. I det udleverede ark indtastes det hvilket pyknometernummer, der er blevet brugt til forsøget, således at vægten af det kan blive hentet fra *pyknometerkalibreringen* i samme ark, se Bilag A.8.2. Herudover skal vægten af pyknometerglasset med prop og prøve noteres samt pyknometerglas med prop, prøve og vand. Temperaturen af vandet findes samt densiteten af vandet ved denne temperatur, hvilket kan aflæses under *vands densitet* i det udleverede ark, se Bilag A.8.1. Nu beregnes korndensiteten samt gennemsnittet af de 3 prøver, hvorefter standardafvigelsen kan findes.

6.1.7 Kornkurve

Ved hjælp af forsøget Laserdiffraktion kan der blive lavet en kornkurve, som viser materialets partikelstørrelsesfordeling. Testen udføres ved at hælde en halv teske prøve i en 20 mL vials og tilføje 0,005 M Natriumpyrofosfat. Herefter tilføres destilleret vand til

prøvekammeret og blandingen fra vials tilsættes. Laserdiffraktionsmaskinen kan nu køre og kornstørrelsesfordelingen kan findes. Alt dette gøres af laboranten (Malene Grønvold). Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag A.9.

6.2 Forsøg til karakterisering af mørtelprøver

For at karakterisere mørtelprøverne med mineaffald, laves der til hvert af forsøgene mørtelprøver med henholdsvis 5% og 10% cementerstatning samt en reference prøve til sammenligning.

6.2.1 Blanding og støbning af mørtelprøver

Til at lave mørtelblandingerne og støbe dem, skal der bruges en røremaskine, støbeforme af størrelsen 40 mm × 40 mm × 160 mm, et vibratorbord og en afretter.

Blanding - Først afvejes alle materialerne der skal bruges. Der bruges Basis cement (CEM II), sand af størrelsen 0-4 mm tørret ved 105 °C, destilleret vand og eventuelt mineaffald alt efter hvilken prøve der skal støbes. Der laves en referenceprøve, en prøve hvoraf 5% af cementen er udskiftet med et mineaffald og en prøve hvoraf 10% af cementen er udskiftet med et mineaffald. De forskellige mængder ses i Tabel 1 i Bilag B.1. Mørtlen kan nu blandes i røremaskinen, se Figur 12, efter et nøje tilrettelagt tidsskema der ses i Bilag B.1 under punkt *F Udførelse*.

Støbning - Mørtelformen sættes nu på vibratorbordet og fyldes halvt op, hvorefter bordet vibrerer i 20 sekunder. Til sidst fyldes formen helt op, bordet startes og vibrerer igen i 20 sekunder og imens der vibreres afrettes prøverne med afretteren. Prøven tildækkes nu med plastik og stilles til side til dagen efter. Dagen efter kan prøverne afformes og ligges i vandbad for at opnå optimal hydratisering. De fire forskellige typer prøver, reference, Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain lægges i hver deres vandbad. Hele forsøgsvejledningen kan ses i Bilag B.1



Figur 12: Maskine til blanding af mørtelprøver

6.2.2 Tryktest

Tryktesten udføres ved brug af maskinen Toni 300, der måler den maksimale belastning i kN, se Figur 13. Tryktesten udføres på prøver der har hærdet i 7 døgn, 14 døgn og 28 døgn. Ved hver trykprøve testes der på 3 prøver i hver ende, så det ender med 6 resultater til hver test. Før der testes på mørtelprøverne skal de vejes og måles ved 3 gange højde og 3 gange bredde samt 2 gange længden. Forsøgsvejledningen til tryktesten kan ses i Bilag B.2.



Figur 13: Tryktest af mørtelprøver

Trykstyrken kan beregnes ved at dividere den maksimale belastning i kN, F_c , fået ved Toni 300, med arealet der bliver trykket på. Dette areal er bredden af prøven, b , gange med 40 mm, da pladen som ligger oven på prøven når den trykkes, har denne bredde.

$$R_c \text{ [MPa]} = \frac{F_c \text{ [kN]}}{b \text{ [mm]} \cdot 40 \text{ [mm]}} \cdot \frac{1}{1000} \quad (13)$$

6.2.3 Bearbejdelighed

Ved hjælp af forsøget bearbejdelighed findes flydesæt målet. Forsøget udføres ved at blande den ønskede mørtel, jævnfør afsnit 6.2.1, og fylde formen halvt op hvorefter der komprimeres ved 10 korte slag med tamperen. Herefter fyldes formen helt og der komprimeres igen med 10 korte slag med tamperen. Efter 15 sekunder fjernes formen og der køres 15 omgange med håndtaget med cirka 1 sekunds inderval. Nu kan flydesæt målet findes ved det lodrette og vandrette mål. Forsøgsopstillingen, efter der er kørt med håndtaget, ses på Figur 14. Testen udføres to gange og gennemsnittet bruges som flydesæt målet. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag B.3.



Figur 14: Bearbejdelighed af mørtelprøve

6.2.4 Afbindingsforløb

Ved hjælp af maskinen Vicatronic, se Figur 15, kan afbindingsforløbet findes i de forskellige mørtelprøver. Forsøget laves ved at blande en mørtelprøve, jævnfør afsnit 6.2.1, og fylde mørtelprøven 40 mm \pm 0,2 mm op i et bæger med en diameter på 75 mm \pm 10 mm [DS/EN196-3, 2009]. Bægeret bankes et par gange for at sørge for at overfladen af mørtelprøven er så jævn som muligt. Bægeret sættes i Vicatronicmaskinen og den startes. Forsøgsvejledningen kan ses i Bilag B.4.



Figur 15: Vicat (Vicatronic)

Ud fra resultaterne fra maskinen, aflæses den indledende afbindingstid og den endelige afbindingstid. Den indledende afbindingstid er tiden der er gået når afstanden mellem nålen og grundfladen er 6 mm \pm 3 mm og der afrundes til nærmeste 5 minutter. Den endelige afbindingstid er tiden som er gået når nålen kun nedsynkes 0,5 mm i mørtelprøven og der afrundes til nærmeste 15 minutter [DS/EN196-3, 2009]. Da det ikke er sikkert mørtelprøven er fyldt præcis 40 mm op i bægeret, findes den endelige afbindingstid ved at tage gennemsnittet af de sidste målinger og fratække 0,5 mm herfra. De sidste målinger

findes som den del af kurven, der flader ud når afbindingstiden plottes. Dette er efter omkring 400 minutter.

6.2.5 Porøsitet og densitet

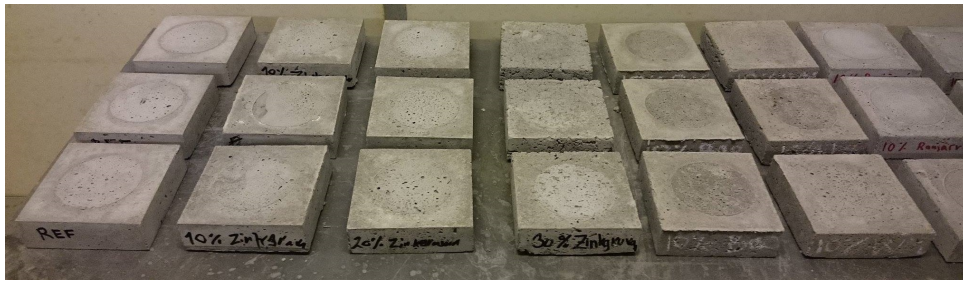
Til dette forsøg skal der først støbes de prøver der skal testes på, se afsnit 6.2.1. Når prøverne er støbt skal de ligge i vandbad i 28 dage. Efter vandbad tørres prøverne ved 50 °C i 3 uger til de er helt tørre, altså til vægten er konstant. Denne vægt noteres til beregningerne som m_{105} . Prøven sættes under vakuum i 3 timer, hvorefter der tilføres destilleret vand til prøverne. Prøverne skal stå under vand i vakuum i en time. Luften lukkes nu ind og prøverne står til dagen efter. Prøven er nu vandmættet og vægten findes ved afvejning under vand m_{sw} , se Figur 16. Prøven duppes med en opvredet klud og vejes herefter over vand, m_{ssd} . Porøsitet og densitet kan nu findes ud fra de 3 vægte. Formlerne til beregningerne kan ses i forsøgsvejledningen i Bilag B.5.



Figur 16: Vejning af prøve under vand

6.2.6 Farveanalyse

Farveprøverne laves i specielle forme, hvor der laves tre prøver på 100 × 100 mm. Der laves mørtel med 10 % cementerstatning, og den blandes på samme måde som beskrevet i afsnittet 6.2.1. I bunden af formen lægges et grundpapir, hvor der i midten af hver prøve er et cirkulært hul med en diameter på 70 mm. Grundpapiret skal være vådt når mørtlen hældes i, og eventuelle lufthuller og folder skal være børstet væk med en tapetbørste. Når formen er klar fyldes den og vibreres som beskrevet i afsnittet 6.2.1. Farveprøverne står natten over, med plastik over formen, indtil de afstøbes. Efter afstøbningen skal prøverne hærde i 14 dage. Hele fremgangsmåden kan ses i Bilag B.6.



Figur 17: Farveprøver

6.3 Forsøg til videre undersøgelser

6.3.1 XRD analyse

Til XRD analysen skal materialet være så småt, at det kan pakkes så tæt som muligt uden at der er luft imellem. Den ønskede størrelse på materialet skal ligne mel. For at opnå denne størrelse knuses materialet, hvilket i dette tilfælde er mineaffaldet, i en morter. Herefter udfører laboranten (Ebba Schnell) selve XRD analysen på en maskine til dette. Når XRD analysen er udført fås et difraktogram, der viser forskellige spring og disse spring skal nu identificeres som forskellige mineraler. Det der ligger under den bølgede streg er amorf materiale. Identificeringen gøres ved at lede efter de mineraler, som der er sandsynlighed for findes i materialet og sammenligne dem med difraktogrammet. Det er derfor ikke sikkert at alle mineralerne som mineaffaldet indeholder bliver fundet.

6.3.2 Ringknuseren

Ringknuseren er en maskine der kan knuse materialer. Disse materialer skal have en sådan størrelse at de passer imellem ringene, se Figur 18. Ringknuseren fyldes maksimalt 3/4 op. Når ringene er fyldt op sættes de ind i maskinen og låget lukkes. Herefter startes ringknuseren, hvor standard-timeren står til 30 sekunder. Når tiden er gået, åbnes maskinen og det knuste materiale kan lægges i en pose. Ringene skal rengøres med en stålborste. Hvis materialet der skal knuses er for stort til at ligge i ringknuseren, skal det ført knuses ved håndkræft. Hvis det er tilfældet, at en mørtelprøve skal knuses, kan dette gøres med en mejsel og en hammer.



Figur 18: Ringe til ringknuseren

7 Indledende Resultater og diskussion

7.1 Indledende resultater

7.1.1 Karbonatindhold

Som det ses i Tabel 4 er karbonatindholdet i de tre salgs mineaffald vidt forskellige. White Mountain indeholder mindst og har kun omkring 1 %, Zinkgruvan indeholder omkring 9 % mens Baozigou indeholder mest og har omkring 44 %. (En graf over karbonatindholdet samt resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.1).

Tabel 4: Karbonatindhold (CaCO_3) [%] \pm standardafvigelse

Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
7,68	15,06	9,07	44,22	1,10
$\pm 0,36$	$\pm 0,27$	$\pm 0,27$	$\pm 4,08$	$\pm 0,05$

7.1.2 pH-værdi

pH-værdien for de tre slags mineaffald er alle lavere end pH-værdien for cement og sand, se Tabel 5. White Mountain har den højeste pH-værdi af mineaffaldene, herefter kommer Baozigou og til sidst Zinkgruvan. (En graf over pH værdierne samt resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.2).

Tabel 5: pH-værdier [-] \pm standardafvigelse

Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
10,24	12,64	8,38	8,64	9,38
$\pm 0,09$	$\pm 0,00$	$\pm 0,03$	$\pm 0,05$	$\pm 0,01$

7.1.3 Indhold af tungmetaller

Indholdet af tungmetaller i sand, cement, Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain kan ses i Tabel 6. Herudover er det også listet hvilket kriterium der stilles til jordens maksimale indhold af forskellige tungmetaller fra Miljøministeriets liste over jords kvalitetskriterium [Miljøstyrelsen, 2014]. Det ses at indholdet af tungmetaller i sand ikke overstiger kriteriet, mens cement har et for højt indhold af cadmium. I både Zinkgruvan og Baozigou er der for højt indhold af de fleste tungmetaller. I White Mountain er det derimod kun indholdet af cadmium der gennemsnitligt er for højt, mens indholdet af Arsen overstiger grænsen grundet standardafvigelsen. (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.3).

Tabel 6: Tungmetal indhold [mg/kg]

	As	Ba	Cd	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn
<i>Jords kvalitets kriterium</i>	20	100	0,5	500	5	30	40	500
Sand	2 ±0,2	2 ±0,3	0,3 ±0,1	1 ±0,2		1 ±0,03	2 ±0,3	7 ±0,4
Cement	7 ±1	241 ±7	0,4 ±0,02	83 ±3		22 ±1	15 ±0,4	290 ±8
Zinkgruvan	54 ±10	241 ±23	14,4 ±0,7	280 ±8		21 ±0,7	4019 ±121	9179 ±333
Baozigou	160 ±17	51 ±6	100,8 ±2,1	404 ±53	14 ±2	32 ±1	4390 ±267	20075 ±702
White Mountain	9 ±12	22 ±1	0,6 ±0,41	4 ±1		3 ±0,3	3 ±3	5 ±0,4

As: Arsen, Ba: Barium, Cd: Cadmium, Cu: Kobber, Mo: Molybdæn, Ni: Nikkel, Pb: Bly, Zn: Zink

7.1.4 Glødetab

Som det ses i Tabel 7 er glødetabet ved 550 °C for Zinkgruvan og White Mountain lavere end for cement. Det er svært at sige noget omkring sand da standardafvigelsen er stor. Der er størst glødetab i Baozigou både ved 550 °C og 950 °C. Ved 950 °C er glødetabet af Baozigou omkring 3,5 gange større end for cement. (En graf over glødetabene samt resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.4).

Tabel 7: Tabel over glødetab [%] ± standardafvigelse

	Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
Glødetab	0,56	0,96	0,51	1,93	0,11
550 °C	±0,52	±0,03	±0,04	±0,08	±0,01
Glødetab	3,30	6,60	6,18	22,72	0,74
950 °C	±0,55	±0,04	±0,04	±0,02	±0,01

7.1.5 Vandindhold

Vandindholdet i Zinkgruvan og Baozigou er henholdsvis 46 gange og 91 gange højere end i cement, se Tabel 8. Det er derfor forventet at når vi tørrer mineaffaldene og bruger dem til at støbe med, vil de optage meget af vandet som cementen skal bruge til at reagere med. Vandindholdet af White Mountain fremstår som negativt, altså som om det optager vand ved tørring. Vandindholdet i White Mountain anses derfor som 0 %. For cement anses det også at være 0 % da standardafvigelsen går under 0. (En graf over vandindholdet samt resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.5).

Tabel 8: Vandindhold [%] \pm standardafvigelse

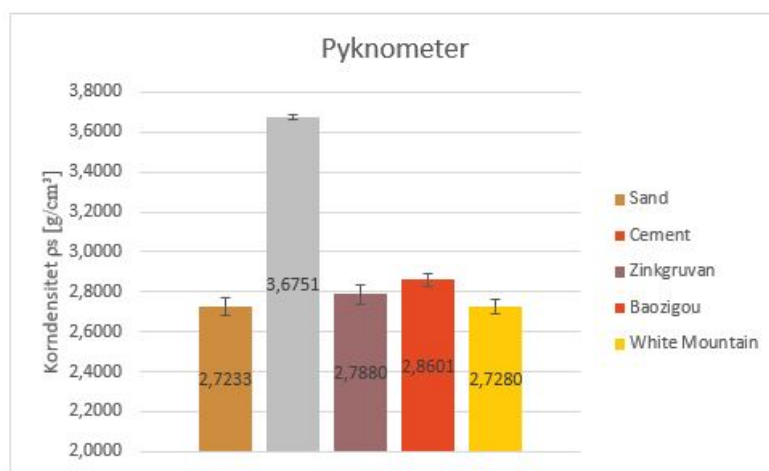
Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
3,00	0,16	7,36	14,57	-0,33
$\pm 0,00$	$\pm 0,28$	$\pm 0,56$	$\pm 1,04$	$\pm 0,28$

7.1.6 Partiklernes densitet

Partiklernes densitet er bestemt ud fra pyknometerforsøget. Dette forsøg kræver at materialet tilsættes vand, hvilket vil sige at cementen vil hydratisere og hærde i pyknometerglasset. Nogle fra projektfamilien, men ikke os, nåede at lave forsøget før vi fik forbud mod at lave det på cement, da det ødelagde pyknometerglassene. Resultatet for cement er derfor fra Lasse Thunbo (s143874). Partiklernes densitet er bestemt og kan ses i Tabel 9 samt på Figur 19.

Tabel 9: Partiklernes densitet ρ_s [g/cm³] \pm standardafvigelse

Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
2,7233	3,6751	2,7880	2,8601	2,7280
$\pm 0,0432$	$\pm 0,0141$	$\pm 0,0474$	$\pm 0,0343$	$\pm 0,0371$



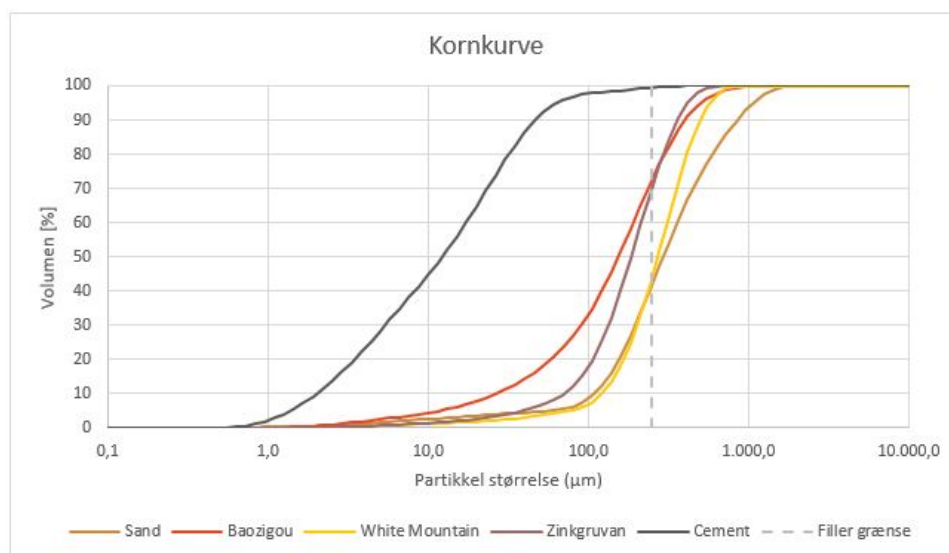
Figur 19: Pyknometer

Det ses på Figur 19 at standardafvigelse ligger over hinanden undtagen for Baozigou og sand samt Baozigou og White Mountain. Der er derfor ingen forskel på sand, Zinkgruvan og White Mountain samt Zinkgruvan og Baozigou. (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.6).

7.1.7 Kornkurve

Det ses på Figur 20 at kornkurven for de tre mineaffald, ligger tættere på kornkurven for sand end kornkurven for cement. Det kan ligeledes ses, hvor stor en procentdel af

mineaffaldet der overholder fillergrænsen på 250 μm . (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.7).



Figur 20: Kornkurve for sand, cement, Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain. Herudover ses fillergrænsen (250 μm).

Ved hjælp af interpolation mellem de målte partikelstørrelser, se Bilag C.8, er det fundet hvor stor en procentdel af de 5 materialer der overholder fillergrænsen, se Tabel 10. Her ses det at 99,46 % af cements volumen overholder fillergrænsens partikelstørrelse, mens sand kun har 42,46 % volumen der ligger under fillergrænsens partikelstørrelse. Af mineaffaldene er White Mountain den som har mindst volumen der ligger inden for fillergrænsen, med kun 44,47 % og ligner derfor mest sand. Zinkgruvan og Baozigou ligger tæt på hinanden og ligger lige mellem sand og cement.

Tabel 10: Volumen-% der overholder fillergrænsen (partikelstørrelse 250 μm)

Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
42,15	99,46	70,65	72,75	44,47

7.1.8 Tryktest

Der er lavet tryktest på referenceprøver og henholdsvis 5 % og 10 % erstatning af cement med de tre mineaffald Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain. Resultaterne for disse trykprøver kan ses i Tabel 11. Referenceprøven er støbt og tryktestet i samarbejde med N. Ørum-Nielsen (s143857), M. Sørensen (s143876) og L. Thunbo (s143874). (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.10).

Tryktesten er lavet ud fra standarden DS/EN 196-1 2. udgave. Ifølge denne standard skal der findes en 10 % afvigelse fra prøveresultaternes gennemsnit, og de prøver som ligger

uden for de 10 %, sorteres fra og et nyt gennemsnit beregnes. Hvis mere end 2 resultater ligger udenfor 10 %, skal testen kasseret og en ny laves. I Tabel 11 er de prøver som skulle være kasseret markeret med rød. For disse gælder også at de resultater der ligger udenfor 10 % er sorteret fra og gennemsnittet er derfor lavet på 3 eller færre prøver. For White Mountain 10 % ved 7 døgns tryk lå ingen af de 6 trykprøver indenfor 10 % af gennemsnittet, og der er derfor intet resultat herfra. For 14 døgns tryk lå kun 1 resultat indenfor 10 % og der er derfor ingen standardafvigelse herpå. Nogle af prøverne er blevet lavet om, når det er opdaget, at to eller flere resultater ligger uden for 10 %. Nogle af disse nye prøver har stadig flere end 2 resultater der ligger udenfor 10 %, mens andre har 2 eller færre. For Zinkgruvan 5 % har 14 døgns trykprøven 3 resultater der falder uden for 10 % men den ene falder kun fra med 0,15 MPa. Det er derfor valgt ikke at lave denne om da det også er et resultat.

Tabel 11: Trykstyrke [MPa] for 7, 14 og 28 døgns hærdning \pm standardafvigelse

	7 døgn	14 døgn	28 døgn
Reference	39,19 \pm 2,13	44,99 \pm 1,93	47,73 \pm 2,67
Zinkgruvan 5%	30,64 \pm 1,02	35,55 \pm 1,07	37,09 \pm 1,93
Zinkgruvan 10%	32,89 \pm 1,48	28,57 \pm 2,15	37,47 \pm 2,65
Baozigou 5%	25,35 \pm 1,58	31,67 \pm 1,89	36,69 \pm 0,99
Baozigou 10%	30,82 \pm 0,71	35,22 \pm 1,82	41,09 \pm 1,66
White Mountain 5%	31,58 \pm 1,79	36,50 \pm 1,24	32,28 \pm 0,38
White Mountain 10%	-	33,28 \pm -	39,13 \pm 1,96

Den teoretiske styrkeudvikling for mørtelprøverne kan bestemmes ud fra Bolomeys formel (3). Til denne formel skal konstanterne K og α bruges, som er givet i Tabel 2 for 1, 7 og 28 døgns trykstyrker. Herudover skal vand/cement-forholdet bruges. Dette kendes fra støbningerne, hvor mængden af vand var 225 g og mængden af cement (pulver) var 450 g. Hvis mineaffaldene antages at være cement så er v/c-forholdet (eller v/p-forholdet) konstant.

$$v/p = \frac{225 \text{ g}}{450 \text{ g}} = 0,5 \quad (14)$$

Nu kan den teoretiske styrke ved 7 og 28 døgn beregnes:

$$F_c (7\text{døgn}) = 26 \cdot \left(\frac{1}{0,5} - 0,6 \right) = 36,4 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$F_c (28\text{døgn}) = 30 \cdot \left(\frac{1}{0,5} - 0,5 \right) = 45 \text{ MPa} \quad (16)$$

Ved at sammenligne den teoretiske trykstyrke med trykstyrkerne i Tabel 11 ses det at kun referencen opnår den teoretiske trykstyrke ved både 7 døgns og 28 døgns trykstyrke. Hvis man i stedet sammenligner med det aktuelle v/c-forhold, fås (Se Bilag C.11):

$$v/c_{5\%} = 0,53 \quad (17)$$

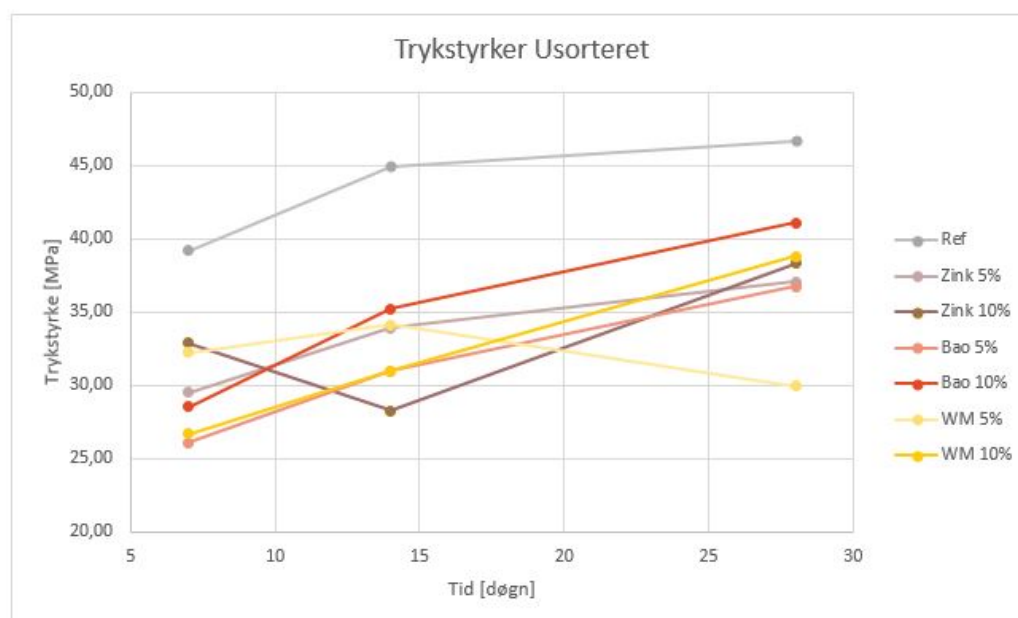
$$v/c_{10\%} = 0,56 \quad (18)$$

Sammenhængen mellem de målte trykstyrker og trykstyrkerne som de er forventet ud fra Bolomeys formel beregnet med det aktuelle v/c forhold, kan ses i nedenstående Tabel 12. (Beregningerne ses i Bilag C.11). I tabellen er de trykstyrker, som lever op til Bolomeys formel, markeret med blå. De målte trykstyrker er angivet som et interval, der er baseret på den gennemsnitlige trykstyrke \pm standardafvigelsen.

Tabel 12: Trykstyrkernes intervaller (gennemsnit \pm standardafvigelse) [MPa] for 7 og 28 døgns tryk sammenlignet med Bolomeys formel. Intervaller markeret med blå overholder den teoretiske størrelse.

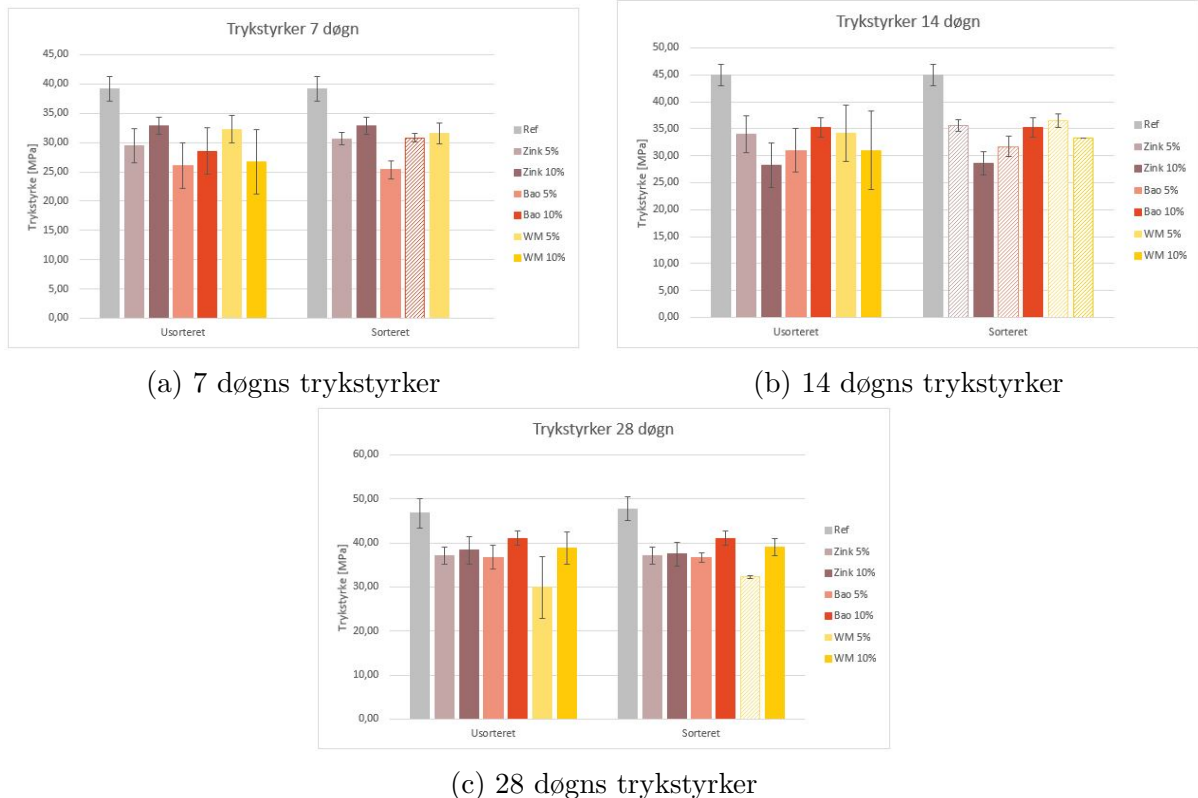
	7 døgn teoretisk	7 døgn faktisk	28 døgn teoretisk	28 døgn faktisk
Reference	36,4	[37,06 - 41,32]	45	[45,06 - 50,40]
Zinkgruvan 5%	33,46	[29,62 - 31,66]	41,60	[35,16 - 39,02]
Zinkgruvan 10%	30,83	[31,41 - 34,37]	38,57	[34,82 - 40,12]
Baozigou 5%	33,46	[23,77 - 26,93]	41,60	[35,70 - 37,68]
Baozigou 10%	30,83	[30,11 - 31,53]	38,57	[39,43 - 42,75]
White Mountain 5%	33,46	[29,79 - 33,37]	41,60	[31,90 - 32,66]
White Mountain 10%	30,83	-	38,57	[37,17 - 41,09]

Trykstyrkerne kan også ses på Figur 21. Her vises gennemsnittet af prøvernes trykstyrke uden at nogen er sorteret fra. Det ses her at Zinkgruvan 10% har en lavere trykstyrke ved 14 døgns end ved 7 og 28 døgns. Det ses også at White Mountain 5% har en lavere trykstyrke for 28 døgns end for 7 og 14 døgns.



Figur 21: Trykstyrkerne usorteret

For at sammenligne de sortererede trykstyrker, hvor alle resultater uden for 10% sorteres fra, med de usorterede trykstyrker, hvor alle resultaterne tages med, er der lavet tre figurer, henholdsvis 7, 14 og 28 døgns trykstyrker, se Figur 22. De usorterede trykstyrker er de samme trykstyrker som vist på Figur 21, mens at de sortererede trykstyrker er de samme som vist i Tabel 11. I Tabel 11 er de resultater som skulle være blevet sorteret fra, vist med rød og på Figur 22 vises disse resultater ved en skraveret søjle.



Figur 22: Trykstyrker ved 7, 14 og 28 døgns hærdning for de usorterede resultater og de sortererede resultater. De usorterede resultater er de samme som på Figur 21 og de sortererede resultater er de samme som i Tabel 11.

Det kan ses på Figur 22, for hver af Figurene 22a, 22b og 22c, at der ikke er stor forskel mellem de usorterede trykstyrker og de sortererede trykstyrker. Det der varierer mest, er standardafvigelse, som er store ved de usorterede trykstyrker, da alle prøverne tages med.

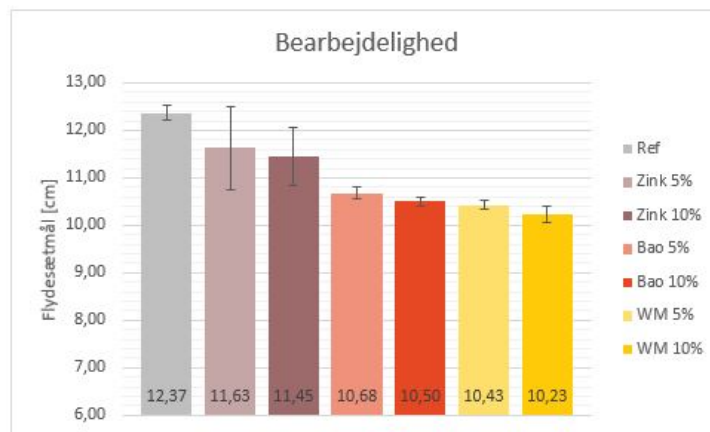
7.1.9 Bearbejdelighed

Bearbejdeligheden fortæller noget om hvor god mørtelprøven, eller betonen, er at arbejde med. Bearbejdeligheden af mørtelprøverne er testet ved flydesætmål og resultaterne kan ses i Tabel 13.

Tabel 13: Flydesætmål [cm] \pm standardafvigelse for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).

Ref	Zink 5%	Zink 10%	Bao 5%	Bao 10%	WM 5%	WM 10%
12,37	11,63	11,45	10,68	10,50	10,43	10,23
$\pm 0,15$	$\pm 0,87$	$\pm 0,60$	$\pm 0,13$	$\pm 0,08$	$\pm 0,10$	$\pm 0,17$

Der er ikke stor forskel på flydesætmålene mellem 5 % eller 10 % cementerstatning og da standardafvigelserne ligger over hinanden, kan der ikke tales om forskel overhovedet, se også Figur 23. Grundet den store standardafvigelse på Zinkgruvan 5 % er der heller ingen forskel på denne og Baozigou 5% bearbejdelighed. Der er heller ingen teknisk forskel på Baozigou 10 % og White Mountain 5 % da deres standardafvigelser ligger over hinanden. Selvom der teknisk set er en forskel på de andre mineaffald, er den lille. På figur 23 ses de gennemsnitlige flydesætmål med standardafvigelser som er beskrevet i Tabel 13. Figurens y-akse der viser flydesætmålene starter ved 8 cm for bedre at gøre forskellen på flydesætmålene tydeligere. For at se data og hele grafen for bearbejdelighed, se Bilag C.12.



Figur 23: Bearbejdelighed målt ved sætmål

7.1.10 Afbindingsforløb

Som beskrevet under afsnittet 6.2.4 er den indledende afbindingstid, den tid der er gået når afstanden mellem nålen og grundfladen er $6 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ og den endelige afbindingstid, er tiden som er gået når nålen kun nedsynkes $0,5 \text{ mm}$ i mørtelprøven [DS/EN196-3, 2009]. Resultaterne kan ses i Tabel 14 og hele afbindingsforløbet kan ses i Bilag C.13.

Tabel 14: Den indledende og endelige afbindingstid [min] for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).

	Ref	Zink 5%	Zink 10%	Bao 5%	Bao 10%	WM 5%	WM 10%
Ind.	145	155	165	145	170	165	135
End.	260	290	310	275	340	300	295

Det ses i Tabel 14, at den indledende afbindingstid stiger for Zinkgruvan og Baozigou når der kommer mere mineaffald i, hvor den for White Mountain falder. Den indledende afbindingstid for Baozigou 5% er den samme som for referencen, for Zinkgruvan 5% er den over og for White Mountain 5% er den under. Den endelige afbindingstid for mørtelprøverne med mineaffald er alle over referencen. For Zinkgruvan og Baozigou stiger den endelige afbindingstid når mere af cementen erstattes med mineaffald. For White Mountain er den endelige afbindingstid meget ens men falder dog lidt når cementerstatningen øges.

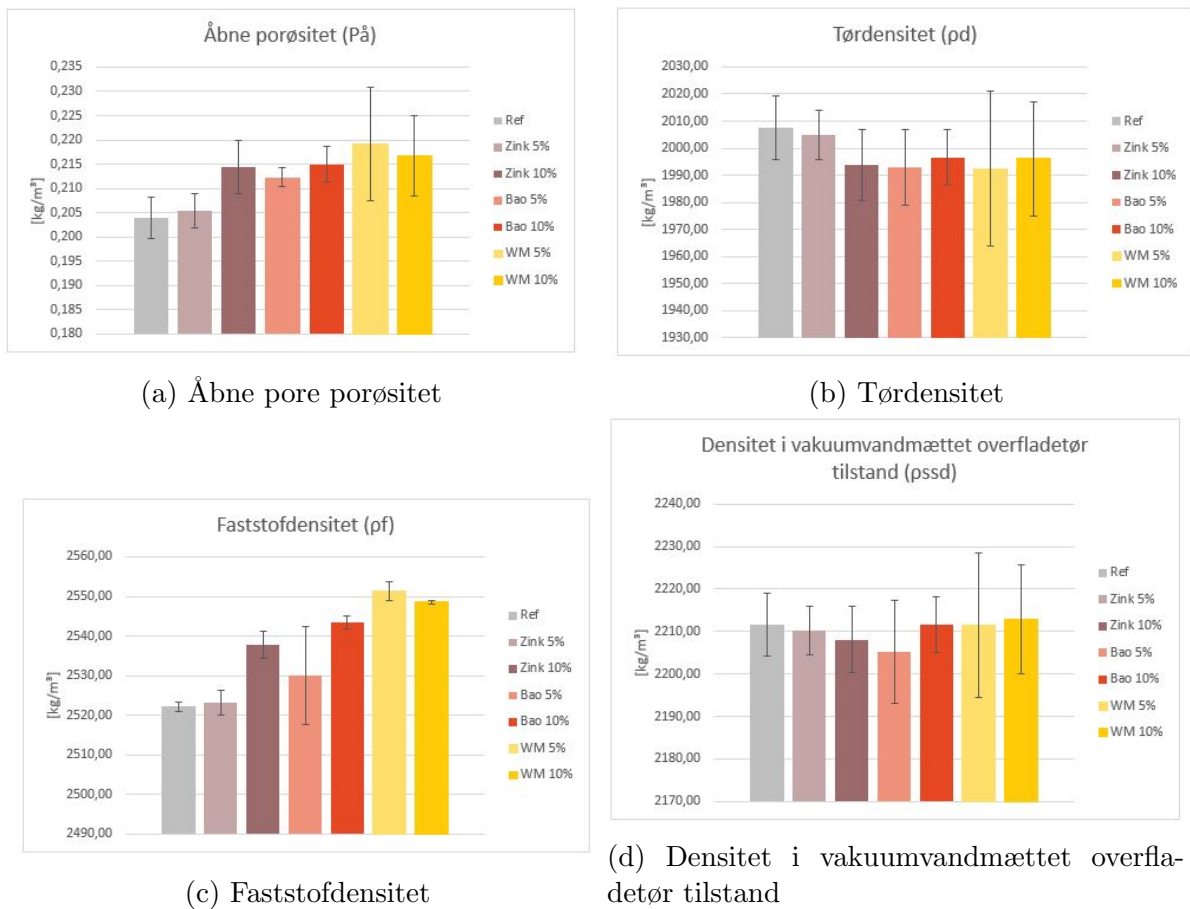
7.1.11 Porøsitet og densitet

Porøsiteten og tre forskellige densiteter; faststoffdensiteten, tørdensiteten og densiteten af prøvelegemet i vakuumvandmættet overfladetør tilstand, er fundet for en referenceprøve og for de 3 mineaffald ved 5% og 10% cementerstatning. Resultaterne for porøsiteten og densiteterne kan ses i Tabel 15. (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.14).

Tabel 15: Porøsitet og densitet [kg/m^3] for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).

	Ref	Zink 5%	Zink 10%	Bao 5%	Bao 10%	WM 5%	WM 10%
P_{pa}	0,204	0,212	0,215	0,205	0,214	0,219	0,217
ρ_d	2008	2005	1994	1993	1997	1992	1996
ρ_f	2522	2523	2538	2530	2544	2551	2549
ρ_{ssd}	2212	2210	2208	2205	2212	2211	2213

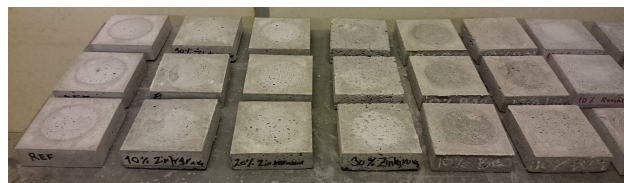
I Tabel 15 ses det, at porøsiteten og de tre densiteter er meget ens internt mellem prøverne. Porøsiteten og densiteterne ses også på Figur 24 med standardafvigelser. Her ses det ved den åbne porøsitet, Figur 24a, tørdensiteten, Figur 24b og densiteten i vakuumvandmættet overfladetør tilstand, Figur 24d, for White Mountain, at standardafvigelserne er meget store og lapper over standardafvigelsen for referenceprøven. Der kan derfor ikke dokumenteres nogen forskel på disse. Generelt er standardafvigelserne store for tørdensiteten og densiteten i vakuumvandmættet overfladetør tilstand. Alle standardafvigelserne går ind over hinanden og der kan derfor ikke argumenteres for en forskel. Ved faststoffdensiteten på Figur 24c er det kun Baozigou 5% der har en stor standardafvigelse. Herudover ligger Zinkgruvan 5% tæt på referencen og deres standardafvigelser overlapper hinanden. De fire resterende, Zinkgruvan 10%, Baozigou 10%, White Mountain 5% samt White Mountain 10% har en faststoffdensitet der er forskellig fra og større end referencen. Den åbne porøsitet er forskellig mellem referencen og Baozigou 5% og 10% hvor den er større og ellers er standardafvigelserne så store at der ikke kan tales om en forskel i porøsiteten.



Figur 24: Porøsitet og densitet

7.1.12 Farveprøver

På Figur 25 ses farverne på mørtelprøverne, som er blevet tilføjet hver af de forskellige mineaffald, efter de har hærdet i mindst 14 dage. Det ses at mørtelprøverne med tilsat mineaffald er mere gullige end referenceprøven.



Figur 25: Farveprøverne fra venstre til højre: Reference, Zinkgruvan 10%, Zinkgruvan 20%, Zinkgruvan 30%, Baozigou 10%, White Mountain 10%

7.2 Deldiskussion

Det mineaffald hvor karbonatindholdet skiller sig mest ud er Baozigou med $44,22\% \pm 4,08\%$ hvilket er omkring 3 gange højere end for cement. Dette betyder at der vil være et højere indhold af calciumkarbonat (CaCO_3) ved støbning af prøver med Baozigou i forhold til referencen. Normalt dannes der først calciumkarbonat efter betonen er støbt, når der sker karbonatisering som sænker pH-værdien i betonen, se teoriafsnit 5.10. Det er ikke vist, at tilstedeværelsen af calciumkarbonat ved støbning har nogen indflydelse på betonens pH-værdi. For at tjekke, at det ikke har en negativ indflydelse, ønskes der lavet der en pH-test, se metode afsnit 6.1.2, i de videre undersøgelser, på én af de støbte referenceprøver og én af de støbte prøver med 10 % erstatning af cement med Baozigou. pH-værdien for Baozigou, $8,64 \pm 0,05$, er i forvejen lavere end for cement, $12,64 \pm 0,00$, hvilket også kan have en indflydelse på pH-værdien i den støbte beton.

pH'en for White Mountain er den højeste af mineaffaldene med $9,38 \pm 0,01$, men den er stadig ikke lige så høj som for cement, mens Zinkgruvan har den laveste pH af mineaffaldene med $8,38 \pm 0,03$. Karbonatindholdet i White Mountain er mindre end både sand, cement og de to andre mineaffald med kun $1,10\% \pm 0,05\%$ mens Zinkgruvan ligger mellem sand og cement. For at undersøge hvilke mineraler de forskellige mineaffald indeholder ud over calciumkarbonat ønskes en XRD analyse lavet i de videre undersøgelser.

Glødetabet for Baozigou ved 550°C er $1,93\% \pm 0,08\%$, hvilket er cirka dobbelt så højt som for cement, der har et glødetab på $0,96\% \pm 0,03\%$. Dette fortæller at det organiske indhold i Baozigou er højere end det er i cement, men stadig relativt lavt, og da det ønskes at have et lavt organisk indhold, så det ikke bliver angrebet af svamp, er Baozigou ikke optimal men stadig acceptabel. Glødetabet ved 950°C er omkring 3,5 gange højere for Baozigou med $22,72\% \pm 0,02\%$ i forhold til cement som har et glødetab på $6,60\% \pm 0,04\%$. Dette kunne tyde på et højt indhold af letfordampelige mineraler som calciumkarbonat (CaCO_2), hvilket stemmer overens med det høje karbonatindhold som er blevet målt, (se Tabel 4).

Glødetabet ved både 550°C og 950°C er lavest for White Mountain både i forhold til sand og cement samt de to andre mineaffald. Det lave glødetab ved 950°C stemmer overens med det lave indhold af karbonat og det kan derfor tyde på at White Mountain ikke indeholder mange former for letfordampelige mineraler. Herudover viser det lave glødetab ved 550°C at der heller ikke er mange organiske materialer i mineaffaldet.

Zinkgruvans glødetab ligger omkring glødetabet for sand ved 550°C og er lavere end cements glødetab. Dette tyder på, at der er mindre organisk materiale i Zinkgruvan end der er i cement. Ved glødetabet på 950°C ligger Zinkruvan derimod tættere på cement, med et glødetab på $6,18\% \pm 0,04\%$, og derfor er indholdet af letfordampelige mineraler i Zinkgruvan omtrent det samme som i cement.

Cementens forholdvist høje glødetab skyldes, at der som nævnt i teorien kan være op til 20% finkornet kalkfiller i den anvendte cement. Karbonaterne i dette kalkfiller, fordamper når prøven opvarmes.

Indholdet af tungmetaller i Baozigou er højt i forhold til kriteriet for jords kvalitet og i

forhold til de andre to mineaffald. Udover indholdet af barium, hvor kriteriet er overholdt, har Baozigou de højeste indhold af de ellers nævnte tungmetaller. Det ses også, at alle mineaffaldene overholder kriteriet til indholdet af kobber, men Baozigou har alligevel det højeste indhold. Som beskrevet i afsnittet 5.1.2 forventes det at mineaffaldet indeholder omkring 21 040 mg/kg Zink, 6023 mg/kg Bly, 53,5 mg/kg Cadmium og 533 mg/kg Kobber og hvis dette er rigtigt, vil indholdet af kobber overstige kriteriummet til jordens kvalitet. Indholdet af de tungmetaller som der er blevet opgivet fra minen er i samme størrelsesorden som målt i denne rapport, undtagen for cadmium hvor indholdet er fundet dobbelt så stort i denne rapport.

Zinkgruvan har ligesom Baozigou kun 2 af tungmetallerne som overholder kvalitetsgrænsen for jord, dog er indholdet af dem, som ikke overholder grænsen, ikke lige så højt som for Baozigou, se Tabel 6.

White Mountain er det mineaffald som overholder flest af kriterierne til jordkvalitet i forhold til tungmetaller. Det er kun indholdet af cadmium der er for højt, se Tabel 6. Det ses også her, at cement har et for højt indhold af barium i forhold til jords kvalitetskriterium og det er derfor vigtigt at huske, at dette kun er vejledende grænser for byggematerialer, da der ikke findes nogen kriterier endnu.

Før der støbes med mineaffaldet bliver det tørret ved 50 °C og noget af vandindholdet forsvinder derfor. Støbningerne kan derfor godt blive tørrere hvis mineaffaldet optager noget af det vand, som det er tiltænkt at cementen skal reagere med. Det er dog svært at sige hvor stor en betydning det har, da vandindholdet er målt ved 105 °C, når mineaffaldet til støbningerne kun er varmet ved 50 °C. Bearbejdigheden af mørtelprøverne forventes ikke at være lige så høj ved en prøve med mineaffald, hvor vandindholdet er stort. Der er dog ikke den store forskel på bearbejdigheden af Baozigou og White Mountain, se Figur 23, selvom vandindholdet af Baozigou på 14,57 % ± 1,04 % er større end White Mountain som antages at være 0. Faktisk blev vandindholdet negativt, hvilket skyldes, at de tre prøver der blev lavet havde en vægt på 2,04 g da de blev sat i ovnen og dagen efter havde en af dem samme vægt på 2,04 g og to af dem havde en vægt på 2,05 g. Den ekstra vægt kan være kommet fra noget andet der har stået i ovnen, som også har været fugtigt. Vandindholdet af cement er så lille, at det også antages at være 0, og derfor er White Mountain det mineaffald der ligner cement mest i forhold til vandindhold. Forskellen på den gennemsnitlige bearbejdelse mellem referencen og Baozigou samt White Mountain er dog cirka 2 centimeter, hvilket tyder på at bearbejdigheden af disse to er ringe. Vandindholdet af Zinkgruvan er også højere end både sand og cement, men bearbejdigheden er den samme som for referencen.

Bearbejdigheden afhænger både af vandindholdet og tilslagmaterialernes pakning. Pakningen af tilslagmaterialerne skal gerne være tæt, men hvis pakningen bliver for tæt vil bearbejdigheden være mindre. Det ses på kornkurven, Figur 20, at alle tre mineaffald ligger tættere på kornkurven for sand end for cement, men at det er Baozigou der, af de tre mineaffald, ligger tættest på cement lige efterfulgt af Zinkgruvan. Det aflæses i Tabel 10 at Baozigou har 72,75 % volumen der ligger under fillergrænsen, hvilket er den største

volumen-% af mineaffaldene, mens Zinkgruvan har 70,65 % volumen sammenlignet med cement der har 99,46 % volumen som ligger under fillergrænsen. White Mountain har den kornkurve som ligner sand mest og derfor ligger længst væk fra cement. Det er også White Mountain som har den laveste volumen-% der ligger under fillergrænsen med 44,47 % ud over sand med 42,15 %. For at få den samme pakning som i referencen, ønskes kornkurverne for mineaffaldene at ligne kornkurven for cement. Derfor vil det blive forsøgt i de videre undersøgelser at knuse mineaffaldet så det overholder fillergrænsen med en kornstørrelse på 250 μm og således at kornkurverne ligner cement mere.

Tryktesten af mørtelprøverne med 5 % og 10 % erstatning af cement med Baozigou viser at trykstyrken med 10 % Baozigou ligger højere end ved 5 %. Der har dog været problemer med støbningerne og flere af prøverne er blevet lavet om. På trods af dette overholder to af prøverne, Baozigou 5 % ved 14 døgns tryk og 10 % ved 7 døgns tryk, stadig ikke en 10 % afvigelse, hvor maksimalt to af prøverne må ligge uden for. Det er observeret, at når prøverne er blevet blandet og skal rystes i formene, har der været problemer med at få prøven til at flyde ud i formene både ved Baozigou og White Mountain. Det vurderes derfor også ud fra tryktesten, at bearbejdigheden for de to mineaffald Baozigou og White Mountain er mindre end for referencen.

Som det ses i forsøget porøsitet og densitet har støbningerne med White Mountain været svære at lave, hvilket også fremgår af de mange forsøg som burde kaseres i Tabel 11. Det er kun 7 døgns trykstyrken ved 5 % White Mountain og 28 døgns styrken ved 10 % White Mountain som overholder kravet, om kun 2 prøver må ligge uden for 10 % afvigelse fra gennemsnittet. Det ses også på Figur 21 at resultatet for 28 døgns trykstyrken for White Mountain 5 % ligger lavere end 7 og 14 døgns trykstyrkerne. Over halvdelen af prøverne fra White Mountain har haft 3 eller flere resultater der har ligget uden for en 10 % afvigelse, hvilket kan tyde på at prøverne generelt har været dårlige og derfor kommer den lave trykstyrke for 28 døgns tryk for White Mountain 5 %.

Zinkgruvan har været det mineaffald der har været nemmest at arbejde med, hvilket også kommer til udtryk i Tabel 11, hvor kun 14 døgns trykket ved Zinkgruvan 10 % har 3 prøver som har mere end 10 % afvigelse fra gennemsnittet, dog er den ene tæt på.

Det ses på Figur 21, at Zinkgruvan 10 % har en lavere trykstyrke ved 14 døgn end ved 7 og 28 døgn. Alle prøverne for Zinkgruvan 10 % er støbt samme dag og gennemsnitsvægten på 14 døgns prøverne ligger imellem vægten for 7 og 28 døgns prøverne. Herudover er der ingen store afvigelser på størrelsen af 14 døgns prøverne i forhold til de to andre, da gennemsnits bredden af 14 døgnsprøven ligger mellem de to andre gennemsnitsbredder. Det vurderes derfor at fejlen er opstået, enten når prøven er blevet blandet i maskinen, eller når den er blevet rystet på rystebordet, da dette er de eneste forskelle der kan være foretaget mellem prøverne.

Tabel 12 viser den teoretiske trykstyrke af beton efter 7 og 28 døgns hærdning, sammenlignet med mørtelprøvernes aktuelle trykstyrker. Ud af alle mørtelprøverne, er det kun referenceprøven der overholder den teoretiske trykstyrke regnet ud fra v/p-forholdet. Kigger man derimod på det aktuelle v/c-forhold og regner den teoretiske trykstyrke her-

udfra, ses det, at samtlige af prøverne med 10 % cementerstatning overholder den teoretiske trykstyrke for både 7 og 28 døgn. Ligeledes ses det, at ingen af mørtelprøverne med 5 % cementerstatning overholder de teoretiske trykstyrker. Dette kan skyldes, at Bolomeys formel er lavet til udregning af betonstyrker og ikke mørtelstyrker.

Afbindingstiden afhænger blandt andet af v/c forholdet. Hvis betonen har et højt v/c forhold, vil afbindingstiden være langsom. Når noget af cementen erstattes med mineaffald, vil v/c forhold derfor stige, men v/p forholdet er det samme. Det høje v/c forhold kan derfor forklare den langsomme afbinding, altså den høje afbindingstid, af mørtelprøverne med Zinkgruvan, Baozigou 10% og White Mountain 5%, se Tabel 14. For White Mountain 10% er den indledende afbindingstid hurtigere end for referencen og derfor kunne det tyde på et lavt v/c forhold. Da White Mountain har et lavt vandindhold, bliver det ikke påvirket af at blive tørret og optager derfor ikke vandet som cementen skal reagere med. En forklaring på det lave v/c-forhold kunne være, at White Mountain er en smule puzzolanisk og derfor bruger noget af vandet, til at reagere med calciumhydroxiden i mørtlen. Herudover er den endelige afbindingstid også en smule langsommere, hvilket kan tyde på et længere hærdeforløb.

Farverne på mørtelprøverne med mineaffald er mere gullige end referenceprøven. Den gullige farve vil nok sjældent være at foretrække over referencens grå farve. Den mørtelprøve med mineaffald der har den pæneste grå farve, er den som indeholder 10% White Mountain.

7.3 Delkonklusion

En mørtelprøve med Baozigou 10 % og en referenceprøve ønskes testet for pH, for at se om det høje indhold af calciumkarbonat i Baozigou har nogen indflydelse på pH'en, samt om den lavere pH af Baozigou end cement, har en indflydelse på pH'en af mørtelprøven.

En XRD analyse ønskes lavet på alle tre mineaffald for at finde ud af hvilke mineraler de består af.

For at forbedre bearbejdigheden af mørtelprøverne med mineaffaldene, ønskes kornkurverne for de tre mineaffald at ligne kornkurven for cement ved at knuse mineaffaldet, således at mineaffaldenes kornstørrelse overholder fillergrænsen med kornstørrelsen 250 μm for at kornkurverne ligner cement mere end sand. Dette tiltag ønskes for også at gøre det nemmere at støbe og ryste prøverne i formene, ved at opnå en bedre bearbejdighed og derved opnå mere ensartede resultater, hvor færre end 2 afviger 10 % fra gennemsnittet. For at tjekke om kornstørrelsen er blevet mindre, laves der en kornkuve via en laserprøve for det knuste mineaffald. Bearbejdigheden af mørtel med det knuste mineaffald laves også igen, men kun for 10 % cementerstatning, da disse er de mest kritiske bearbejdigheder. Alle de trykprøver der er blevet støbt ønskes derfor også støbt igen med det knuste mineaffald, for at se en ændring.

8 Resultater

8.1 pH i mørtelprøver

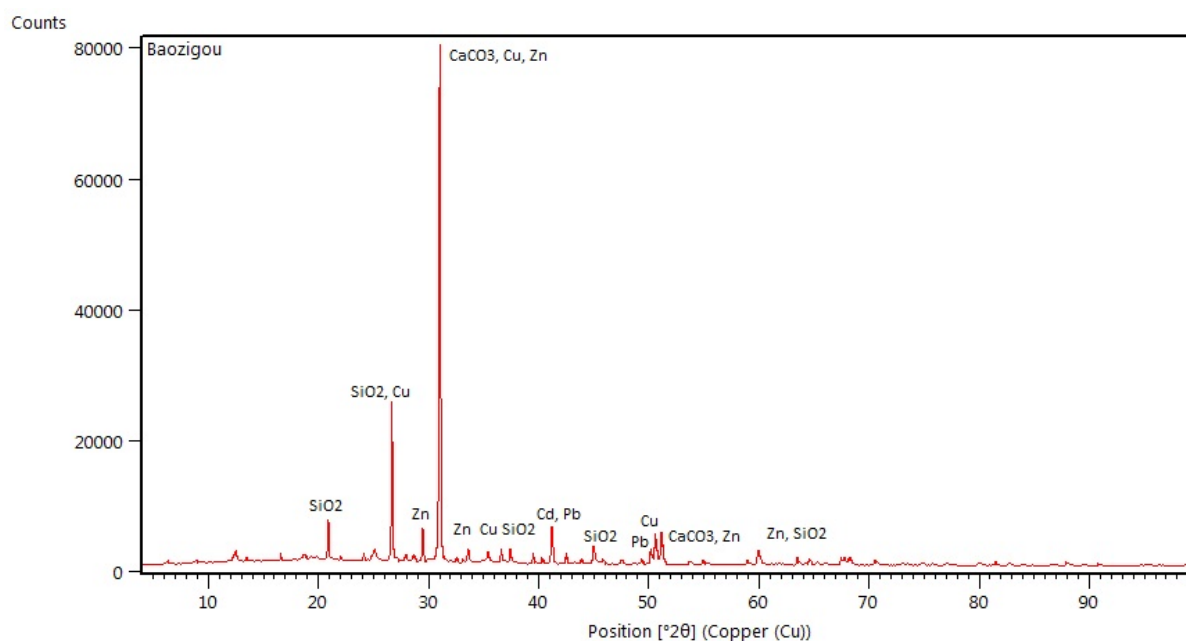
En mørtelprøve med 10% cementerstatning med Baozigou og en referencemørtelprøve er blevet knust og pH-testet efter metoden i afsnittet 6.1.2. Resultatet kan ses i Tabel 16. Her ses det at der er meget lille forskel på de to pH-værdier, og da standardafvigelserne overlapper er der ikke tale om nogen teknisk forskel. (En graf over pH'en samt resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.17).

Tabel 16: pH for mørtelprøver \pm standardafvigelse

Reference	Baozigou 10%
12,71 \pm 0,04	12,66 \pm 0,04

8.2 XRD analyse

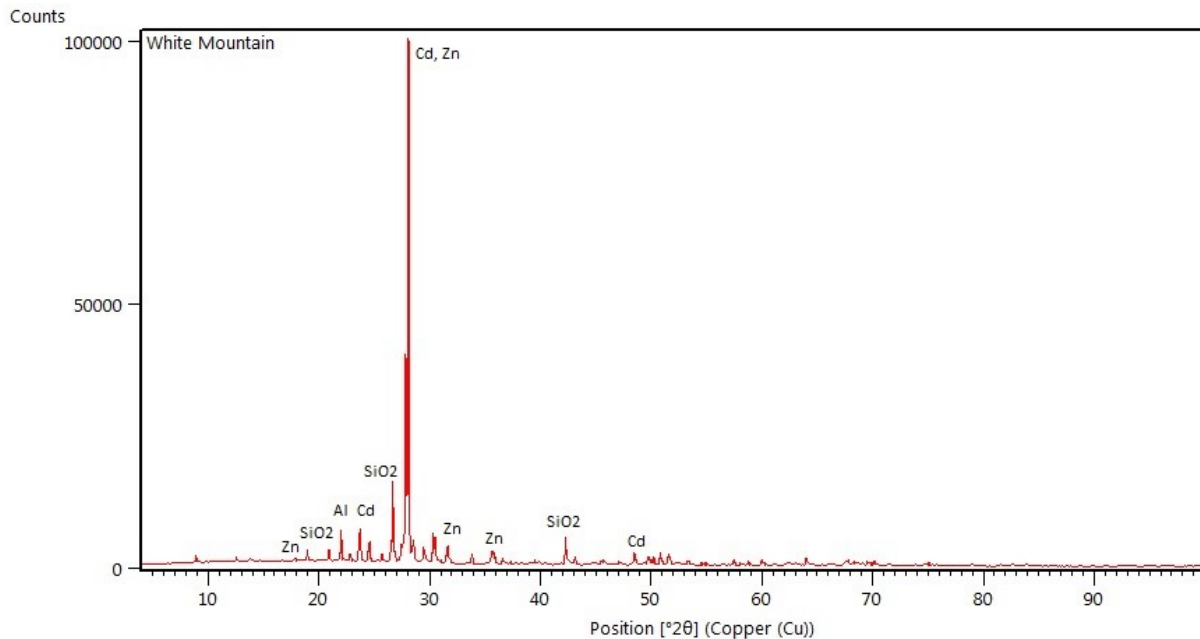
XRD analysen er i dette projekt blevet lavet på Baozigou og White Mountain, mens Zinkgruvan er blevet lavet i et tidligere projekt *Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton - Sammenligning af to slags mineaffald med fokus på optimering af trykstyrke og bearbejdelighed* af Mona Nielsen.



Figur 26: XRD analyse af Baozigou

Det ses på Figur 26 at Baozigou indeholder mest calciumkarbonat (CaCO_3), også kaldet calcit samt kobber og zink. Herudover indeholder Baozigou også kvarts (SiO_2), som ikke

har været defineret før, samt cadmium og bly hvilket var forventet, efter forsøget til bestemmelse af tungmetaller



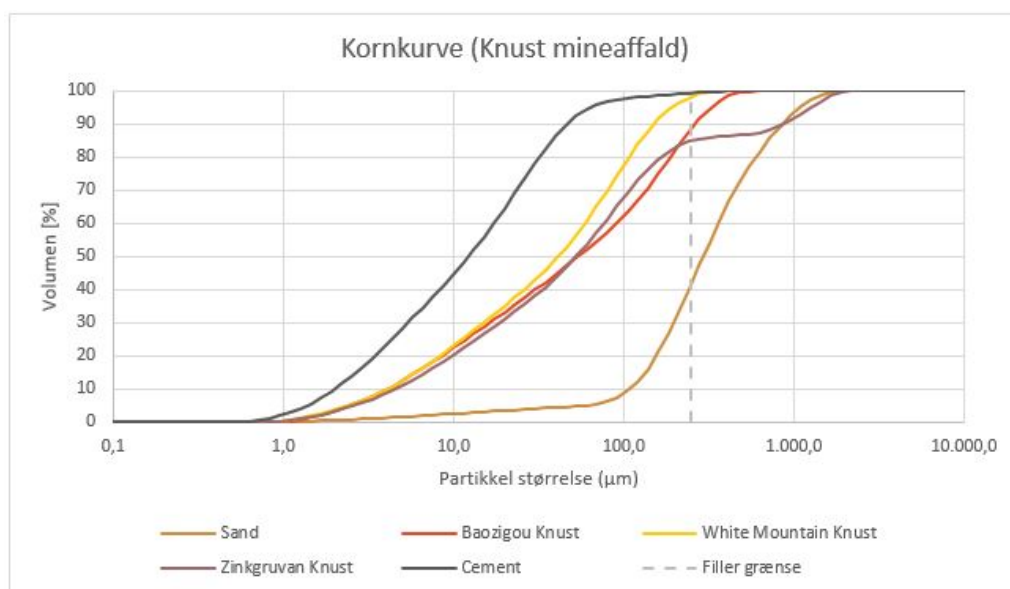
Figur 27: XRD analyse af White Mountain

Det ses på Figur 27 at White Mountain indeholder mest cadmium og zink, herudover er der også kvarts og aluminium tilstede.

Ifølge Mona Nielsens rapport indeholder Zinkgruvan mest kvarts (SiO_2) samt mikroklin feldspat (KAlSi_3O_8). Herudover indeholder Zinkgruvan også dolomit ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$), muscovit ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$), calcit (CaCO_3), plagioklas feldspat ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) og amfibole ($\text{CA}_2(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$).

8.3 Kornkurve for knust mineaffald

En ny kornkurve er lavet for det knuste mineaffald Zinkgruvan, Baozigou og White Mountain og sammenlignes med sand og cement (ikke knust) se Figur 28. Det kan igen aflæses hvor stor en volumenprocent der ligger under fillergrænsen, ved at aflæse volumen-% når kornkurven skærer linjen for fillergrænsen, se Beregninger i Bilag C.8. Resultatet ses i Tabel 17. Volumenprocenten for sand og cement som ses i Tabel 17 er den samme som i Tabel 10. (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.18).



Figur 28: Kornkurve for sand, cement, knust Zinkgruvan, knust Baozigou og knust White Mountain. Herudover ses fillergrænsen (250 µm).

Det ses i Tabel 17 at Zinkgruvan og Baozigou nu ligger tættere på at have samme procentdel under fillergrænsen som cement end som sand. Det er dog White Mountain som ligger tættest på cement og har 98,35% volumen der ligger under fillergrænsen, hvor cement har 99,46% under fillergrænsen. Dette giver en forskel på 1,11%.

Tabel 17: Volumen-% for sand, cement og det knuste mineaffald, der overholder fillergrænsen (partikelstørrelse 250 µm)

Sand	Cement	Zinkgruvan	Baozigou	White Mountain
42,15	99,46	85,04	88,83	98,35

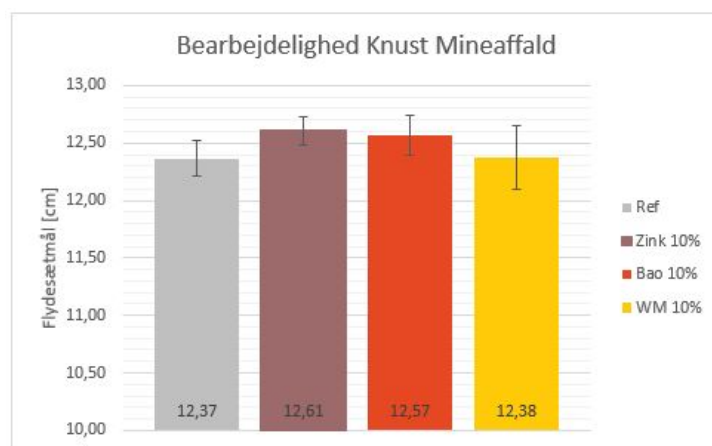
8.4 Bearbejdighed for knust mineaffald

Efter mineaffaldet er blevet knust, er bearbejdigheden testet igen med 10% erstatning af cement med mineaffald ved flydesætmål. Resultaterne ses i Tabel 18 hvor referencen er den samme som i Tabel 13. (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.19).

Tabel 18: Flydesætmål [cm] ± standardafvigelse for Reference, Zinkgruvan (5% og 10%), Baozigou (5% og 10%) og White Mountain (5% og 10%).

Ref	Zink 5%	Zink 10%	Bao 5%	Bao 10%	WM 5%	WM 10%
12,37	11,63	11,45	10,68	10,50	10,43	10,23
±0,15	±0,87	±0,60	±0,13	±0,08	±0,10	±0,17

Teknisk er der ingen forskel i bearbejdeligheden for mørtelprøverne med det knuste mineaffald sammenlignet med referencen, da forskellen er så lille at standardafvigelserne lapper over hinanden, se også Figur 29. På denne figur starter y-aksen ved 10 cm for bedre at kunne se forskel på resultaterne. Hele grafen kan ses i Bilag C.19



Figur 29: Bearbejdelighed målt ved sætmål for knust mineaffald. Grafisk visning af resultaterne fra Tabel 18.

8.5 Tryktest for mørtelprøver med knust mineaffald

Tryktestene af mørtelprøverne med det knuste mineaffald ses i Tabel 19. Referencen er dog den samme som i Tabel 11. (Alle resultaterne fra forsøget kan ses i Bilag C.20).

Tabel 19: Trykstyrke [MPa] for 7, 14 og 28 døgns hærdning af mørtelprøverne med knust mineaffald \pm standardafvigelse

	7 døgn	14 døgn	28 døgn
Reference	39,19 \pm 2,13	44,99 \pm 1,93	47,73 \pm 2,67
Zinkgruvan 5%	37,46 \pm 1,55	40,37 \pm 1,60	45,77 \pm 1,31
Zinkgruvan 10%	33,52 \pm 1,00	37,55 \pm 1,78	40,76 \pm 2,54
Baozigou 5%	34,38 \pm 1,44	37,86 \pm 1,05	41,49 \pm 2,67
Baozigou 10%	26,14 \pm 1,36	31,79 \pm 1,86	37,65 \pm 2,46
White Mountain 5%	37,48 \pm 1,19	40,52 \pm 1,60	43,87 \pm 1,84
White Mountain 10%	32,55 \pm 0,72	36,44 \pm 1,28	43,64 \pm 1,29

Det ses at ingen af tallene er røde i Tabel 19, hvilket vil sige, at der ikke har været mere end 2 prøver som har ligget uden for en 10 %'s afvigelse fra gennemsnittet. Alle på nær én for 14 døgns tryk af Baozigou 5 % og et af 7 døgns tryk og 28 døgns tryk af Zinkgruvan 5 % har ligget inden for en 10 %'s afvigelse fra gennemsnittet, se Bilag C.20.

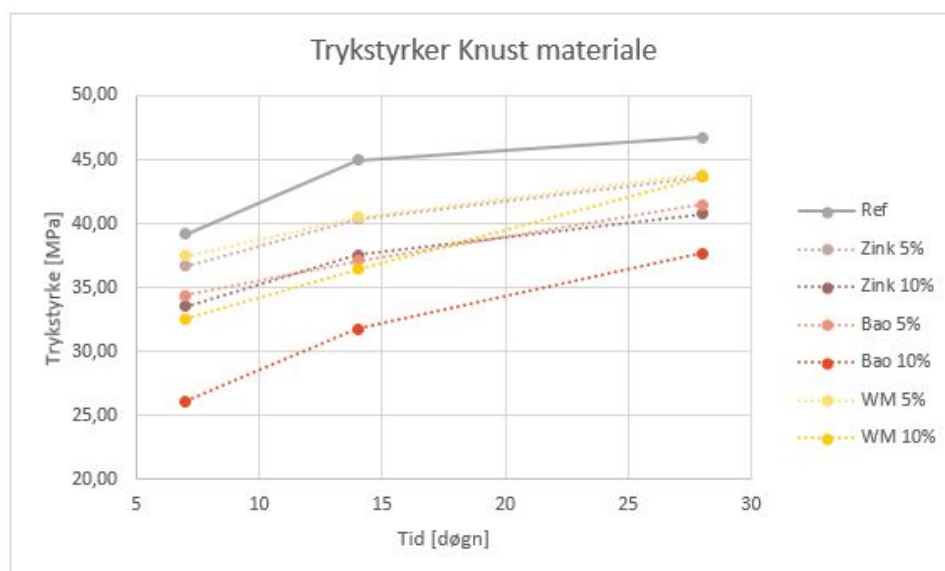
Den teoretiske trykstyrke for 7 og 28 døgn beregnet ved Bolomeys formel for v/p forholdet, er den samme som beregnet i afsnit 7.1.8; 36,4 MPa for 7 døgn og 45 MPa for 28 døgn.

Det vides allerede, at referencen opnår de ønskede trykstyrker og ved at sammenligne de teoretiske trykstyrker med trykstyrkerne fundet i Tabel 19, ses det at Zinkgruvan 5 % også opnår den teoretiske trykstyrke for 7 og 28 døgn. Herudover opnår White Mountain 5 % den teoretiske trykstyrke ved 7 døgn, men ved 28 døgn ligger gennemsnittet lidt for lavt, dog kan den komme op på den teoretiske trykstyrke, ved at addere standardafvigelsen. Ligeledes ses det, at hvis man kigger på de teoretiske trykstyrker regnet ved de aktuelle v/c -forhold, så overholder alle mørtelprøver, bortset fra Baozigou 10 %, de teoretisk udregnede trykstyrker, se Tabel 20.

Tabel 20: Trykstyrkernes intervaller (gennemsnit \pm standardafvigelse) [MPa] for 7 og 28 døgn tryk sammenlignet med Bolomeys formel beregnet ved det aktuelle v/c -forhold. Intervaller markeret med blå overholder den teoretiske størrelse.

	7 døgn teoretisk	7 døgn faktisk	28 døgn teoretisk	28 døgn faktisk
Reference	36,4	[37,06 - 41,32]	45	[45,06 - 50,40]
Zinkgruvan 5%	33,46	[35,91 - 39,01]	41,60	[44,46 - 47,08]
Zinkgruvan 10%	30,83	[32,52 - 34,52]	38,57	[38,22 - 43,30]
Baozigou 5%	33,46	[32,94 - 35,82]	41,60	[38,82 - 44,16]
Baozigou 10%	30,83	[24,78 - 27,50]	38,57	[35,19 - 40,11]
White Mountain 5%	33,46	[36,29 - 38,67]	41,60	[42,03 - 45,71]
White Mountain 10%	30,83	[31,83 - 33,27]	38,57	[42,35 - 44,93]

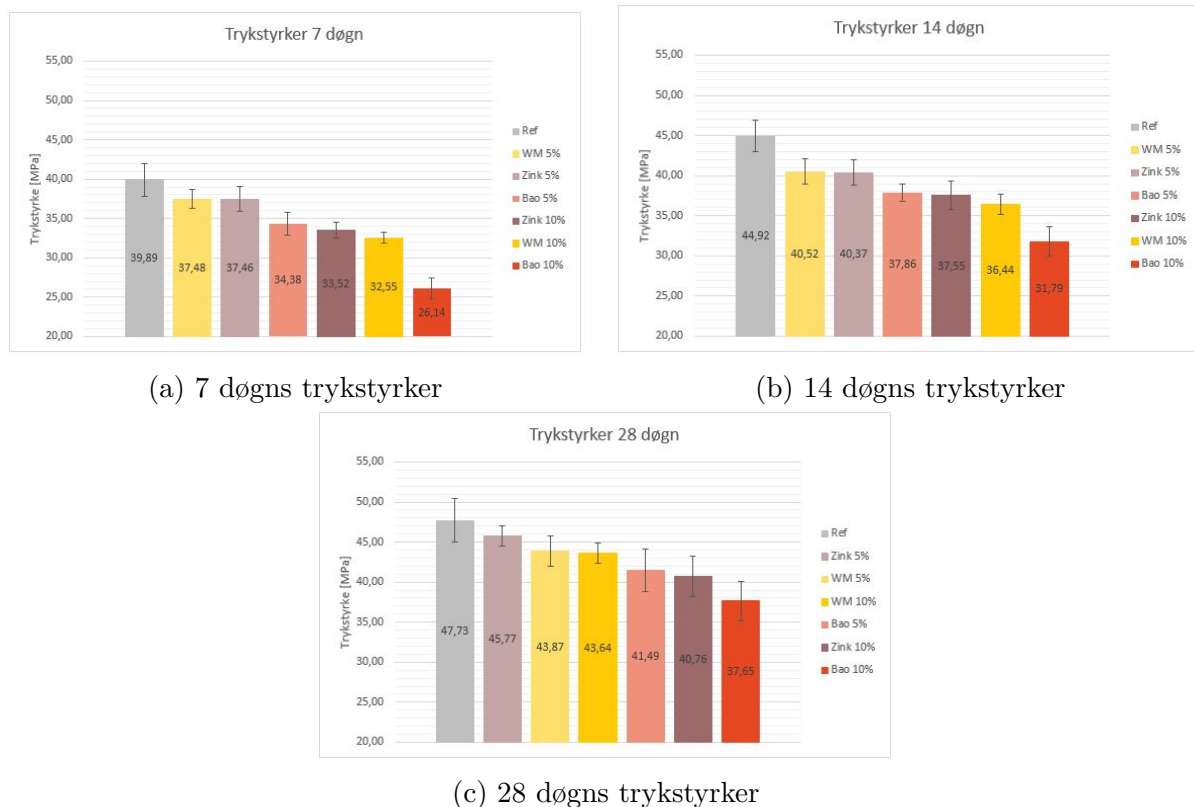
Trykstyrkerne vist i tabel 19 kan også ses på Figur 30 uden standardafvigelser.



Figur 30: Trykstyrker for referencen og mørtelprøver med knust mineaffald

Her ses det hurtigt at trykstyrken for Baozigou 10 % ligger lavere end referencen og de andre mineaffald. Baozigou 5 % og Zinkgruvan 10 % følger nogenlunde hinanden i styrkeudvikling, mens White Mountain 5 % og Zinkgruvan 5 % følger hinandens styrkeudvikling. White Mountain 10 % starter med at have de laveste trykstyrker efter Baozigou 10 %, men ender med at have en trykstyrke ved 28 døgns hærdning som en af de højeste.

Trykstyrkerne er også vist grafisk med standardafvigelser i tre grafer henholdsvis for tryk ved 7, 14 og 28 døgns hærdning, se Figurene 31a, 31b og 31c. De tre figurer indeholder referencen og trykstyrkerne for de forskellige mineaffald. Rækkefølgen på mineaffaldene er efter trykstyrke, hvor den højeste står forrest. Det ses at rækkefølgen er den samme for 7 døgns og 14 døgns trykstyrker, men at Zinkgruvan 5 % ligger som den første efter referencen på 28 døgn og White Mountain 10 % rykket foran Zinkgruvan 10 % og Baozigou 5 %. For bedre at kunne se forskel på trykstyrkerne og kunne se standardafvigelserne, er kun toppen af graferne vist, herudover er der samme interval på y-aksen for at give et bedre indtryk af forskellem på 7, 14 og 28 døgns trykstyrker. Skalaen for trykstyrken på y-aksen starter derfor ved 20 MPa og ender ved 55 MPa. De hele grafer kan ses i Bilag C.20.

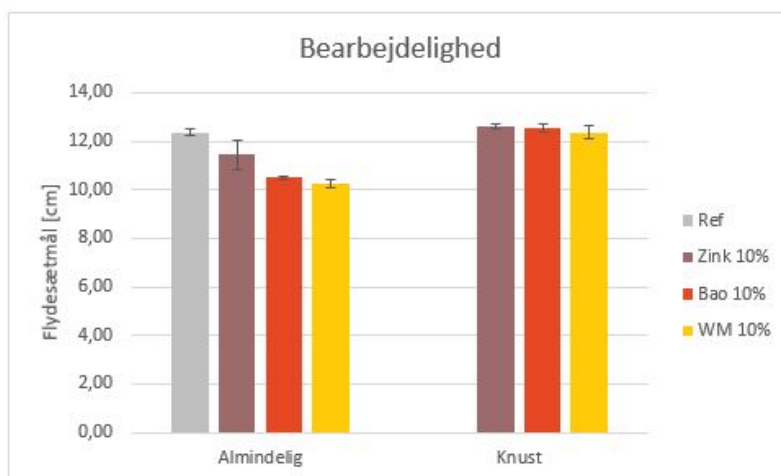


Figur 31: Trykstyrker ved 7, 14 og 28 døgns hærdning for referencen og mørtelprøver med knust mineaffald \pm standardafvigelser. Større figurer ses i Bilag C.20

9 Diskussion

En pH-test af mørtelprøverne reference og Baozigou 10% viser omtrænt samme pH. Calciumkarbonatet som findes i Baozigou og derfor i mørtelprøven før støbning, har ingen viselig effekt på pH'en. Herudover ses det at pH'en er så høj, at der ikke er risiko for forhøjet korrosion, hvis betonen skulle tilføres armeringsjern. Den høje pH er dog også en ideel betingelse for Alkali-aggregat-reaktioner. Da XRD analysen viser at der både er kvarts (SiO_2) og calcit (CaCO_3) tilstede i Baozigou, kan både ACR og ASR finde sted. Dog forventeligt ikke i så stor en grad, at det vil forvolde skade på betonen, da cementen der bliver brugt til støbninger er lav-alkali cement ($\leq 0,6\%$). Herudover udskiftes noget af cementen i denne rapport med mineaffald og derfor er der ikke en ekstra høj cementandel. Dog er det værd at undersøge videre, hvis en anden cement med højt alkaliindhold benyttes. XRD analysen for White Mountain indeholder også kvarts, dog er intensiteten på diffraktogrammet lille, se Figur 27. Zinkgruvan har den største intensitet af kvarts og indeholder herudover også calcit og derfor har Zinkgruvan også mulighed for at danne Alkali-aggregat-reaktioner. Der gælder dog det samme for Zinkgruvan som for Baozigou. Indholdet af alkalier i cementen der bliver brugt i denne rapport er lille og derfor er det kun interessant at undersøge videre, hvis der vælges at benytte en anden type cement.

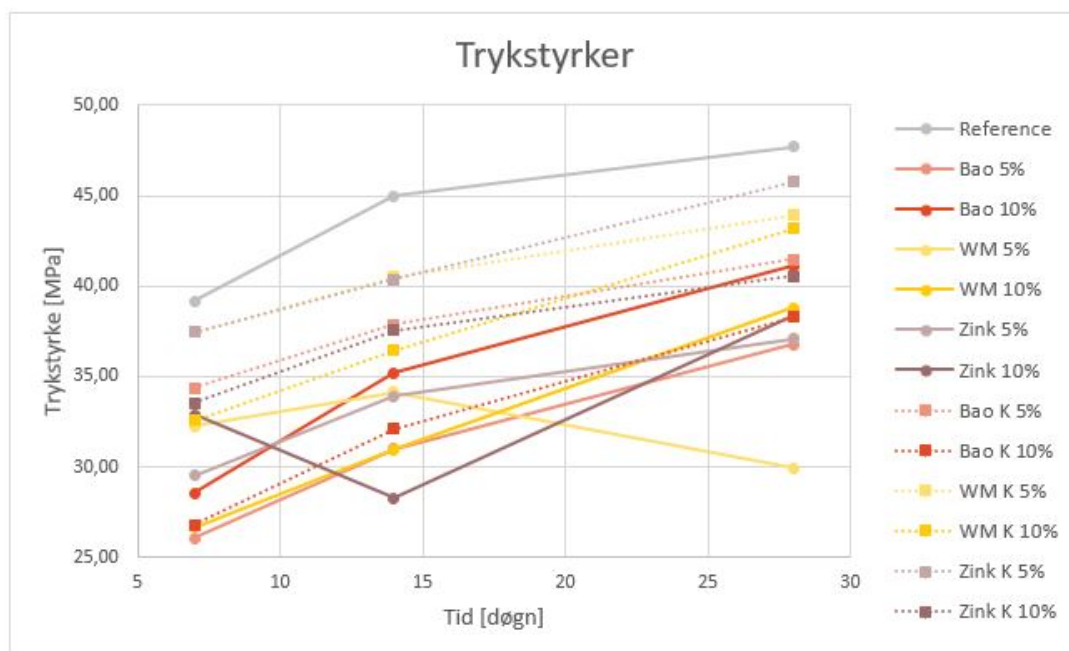
Efter mineaffaldene er blevet knust, er der lavet en ny kornkurve for at se hvor meget volumen der nu overholder fillergrænsen. Det er nu White Mountain der ligger tættest på kornkurven for cement, se Figur 28 og herudover er det også dette mineaffald der, ud over cement, har den største volumen som overholder fillergrænsen, med 98,35%. Herefter kommer Baozigou med 88,83% og til sidst Zinkgruvan med 85,04%. For at teste om den mindre kornstørrelse, der minder mere om cement, har gjort en forskel på bearbejdeligheden, er flydesætmålene blevet målt igen, se Figur 32.



Figur 32: Bearbejdelighed målt ved sætmål for mineaffald før det er blevet knust (Almindelig) og efter det er blevet knust (Knust). Resultaterne under *Almindelig* er de samme som på Figur 23 og resultaterne under *Knust* er de samme som på Figur 29.

Det ses på Figur 32, at bearbejdigheden har ændret sig for mørtelprøverne med mineaffald efter det er blevet knust. Før var der ingen af prøverne som lignede referencens bearbejdighed og efter mineaffaldet er blevet knust har alle tre prøver samme bearbejdighed som referencen. Kornstørrelsen har derfor en stor indflydelse på bearbejdigheden, ligesom det var først antaget. Det var dog forventet at bearbejdigheden for mineaffaldene uden puzzolanisk effekt skulle være højere end mineaffald med puzzolanisk effekt, da v/c -forholdet er højere hvis materialet ikke er puzzolanisk. Hvis der kun kigges på gennemsnittet af flydesætmålene er White Mountain tættere på referencen end Zinkgruvan og Baozigou. Dette kunne tyde på en puzzolanisk effekt af White Mountain, men kan ikke bekræftes grundet standardafvigelse.

De nye kornstørrelser gjorde det betydeligt nemmere at støbe mørtelprøverne i formene, hvilket også fremgår af Tabel 19, der ikke viser nogen røde tal og derfor ingen forkastede prøver. Både de nye trykstyrker og de første trykstyrker kan ses på Figur 33. Her er de fuldtoptrukne linjer de første trykstyrker, altså de samme resultater som i Tabel 11, mens de stiplede linjer er trykstyrkerne med det knuste mineaffald, altså de samme resultater som vist på Figur 19.



Figur 33: Sammenligning af trykstyrker. De fuldtoptrukne linjer viser det ubehandlede mineaffald og de stiplede linjer viser det knuste mineaffald.

Det ses på Figur 33 at trykstyrkerne generelt er højere for prøverne med det knuste mineaffald. Det er kun Baozigou 10% knust der falder ned som en af de laveste. Den knuste Baozigou 10% 7 og 14 døgns prøver er støbt efter de andre prøver, og kunne derfor forklare hvorfor disse prøver ligger så langt fra de andre knuste prøver, da der har

været større sandsynlighed for forskel, når de støbes over flere dage. Dog er 28 døgns tryk for knust Baozigou 10 % støbt på samme tid som de andre og dette kan derfor ikke være en forklaring på, at den ligger lidt lavere end de andre. Det er sandsynligvis ikke en fejl da Zinkgruvan 10 % falder cirka 5 MPa i trykstyrke ved 28 døgn i forhold til 5 % og Baozigou 10 % falder cirka 4 MPa i trykstyrken ved 28 døgn i forhold til 5 %. Styrkeudviklingen for White Mountain 10 % er meget lineær, hvor der for de andre prøver gælder, at trykstyrken stiger hurtigere mellem 7 og 14 døgns hærkning end 14 og 28 døgns hærkning. Det kunne derfor tyde på at White Mountain har en lille puzzolanisk effekt.

10 Konklusion

Det er blevet vist at trykstyrken generelt stiger, når bearbejdigheden for mørtelprøverne med mineaffald optimeres, således bearbejdigheden ligner cement mere end sand. Ved at knuse mineaffaldet i en ringknuser i 30 sekunder, ligger mineaffaldenes kornkurver tættere på kornkurven for cement end for sand. Herudover overholder 98,35 % af White Mountains volumen fillergrænsen (250 μm) mens det for Baozigou er 88,83 % og for Zinkgruvan er det 85,04 %. Sammenlignet med cements 99,46 % er det White Mountain der ligger tættest på, at have samme fillergrænse og det er også denne der har kornkurven som ligger tættest på cement. For bearbejdigheden af mørtelprøverne efter mineaffaldet er blevet knust gælder det, at der ikke er nogen forskel mellem referencen og prøverne med 10% cementerstatning. For 10% cementerstatning med Baozigou er det dog tilfældet, at trykstyrken er faldet efter mineaffaldet er blevet knust.

Da mineaffaldet Baozigou indeholder meget calciumkarbonat CaCO_3 og pH'en er lavere end for cement, er en mørtelprøve med 10% cementerstatning blevet knust, pH-testet og sammenlignet med en referenceprøve. Der er ingen viselig forskel på disse to pH'er og det konkluderes derfor, at et højt karbonatindhold og en lavere pH for mineaffaldet ikke har en betydning for mørtelprøvens pH. pH'en for mørtelprøverne ligger omkring 12,6, hvilket er en ideel pH for en alkali-aggregat-reaktion. For at denne kan finde sted, skal der også være vand eller fugt samt et reaktivt aggregat tilstede og dette undersøges ved en XRD analyse.

En XRD analyse er blevet foretaget på Baozigou og White Mountain og herudover er en XRD analyse for Zinkgruvan blevet lavet i en tidligere rapport *Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton - Sammenligning af to slags mineaffald med fokus på optimering af trykstyrke og bearbejdighed* af Mona Nielsen. Baozigou har en stor intensitet af calcit (CaCO_3) og kan derfor lave reaktionen ACR mens Zinkgruvan indeholder en stor intensitet af kvarts (SiO_2) og kan derfor lave reaktionen ASR. Det forventes dog ikke at reagere i så stor en grad, at det vil forvolde skade på betonen, da cementen der bliver brugt til støbninger er lav-alkali cement ($\leq 0,6\%$). Noget af cementen i dette projekt er blevet udskiftet med mineaffald og derfor er der ikke en ekstra høj cementandel. Dog er det værd at undersøge videre hvis en anden cement med højt alkaliindhold benyttes.

Under de indledende forsøg viste det sig at både Baozigou og Zinkgruvan indeholdte store mængder af tungmetaller. Hvis disse mineaffald skal benyttes til betonproduktion i fremtiden, vil det være en ide at undersøge om nogle af disse tungmetaller kan fjernes. For White Mountain er det ikke et lige så stort problem. Det viste sig også under de indledende forsøg at Baozigou havde et dobbelt så højt organisk indhold som for cement, hvilket derfor ikke er optimalt, mens Zinkgruvan og White Mountain havde et lavere indhold af organisk materiale.

White Mountain viser tegn på at have en lille puzzolanisk effekt. Tryktesten ved 10% cementerstatning viser en lineær udvikling. Det kunne derfor tyde på at styrkeudviklin-

gen sker langsomt. Herudover er den indledende afbindingstid for White Mountain 10% hurtigere end for referencen, hvilket kunne tyde på et lavt v/c-forhold og da White Mountain har et lavt vandindhold, der antages at være 0, forventes det ikke, at det optager noget af det vand som cementen skal reagere med, og dette kan derfor ikke være skyld i det lave v/c-forhold. Men for at være sikker anbefales det til videre forskning, at der laves et forsøg med vandabsorption på mineaffaldet White Mountain.

De udførte forsøg viser, at hvis man knuser mineaffaldene og dermed øger bearbejdigheden, vil det være muligt, at lave delvis erstatning af cement i beton. Dette gælder især for en erstatning med enten 5% Zinkgruvan eller White Mountain.

10.1 Videre Forskning

Ud over vandabsorption kunne det til videre forskning undersøges følgende

- SEM Analyse
- v/c-indhold
- ledningsevne

En SEM analyse kan vise kornstrukturen af mineaffaldet. Dette kan gøres for både det ikke-knuste og det knuste mineaffald. Billederne af kornstrukturene kan sammenlignes med cement, og kan yderligere bekræfte eller afkræfte bearbejdigheden af mørtlen, når mineaffaldet iblandes. Kornene bør gerne være små og afrundede til fordel for store og kantede.

Ved at undersøge om v/c-forholdet kan optimeres i forhold til bearbejdigheden, kunne det måske være muligt at opnå samme bearbejdighed med det ubehandlede mineaffald som ved det knuste mineaffald. Det vil være mindre omstændeligt hvis det ikke var nødvendigt at knuse mineaffaldet før det skal bruges. Ulempen er, hvis v/c-forholdet stiger er der stor risiko for at trykstyrken falder.

Ledningsevnen kan findes på cirka samme måde som pH-værdien. Det kan være nyttigt at kende til ledningsevnen af mineaffaldene, fordi det giver en indikation om hvor let det vil reagere med andre stoffer. En høj ledningsevne kan være et tegn på at mineaffaldet indeholder puzzolaner.

Litteratur

- Aalborg Portland. *Cement og Beton*. Aalborg Portland A/S, 2012a.
- Aalborg Portland. BASIS AALBORG CEMENT, 2012b. <http://www.aalborgportland.dk/default.aspx?m=2&i=88>, Opdateret 19.11.2012, Tilgået 07.06.2017.
- E. Busch. *Betonhåndbogen kapitel 3.7 - Letklinker*. Dansk Betonforening, 2013.
- C. Christiansen and T. Aarre. *Natursten i det danske byggeri*. Teknologisk Institut, 2009.
- H. Dam, L. Gerward, O. Leistiko, T. Lindemark, A. Nielsen, and O. T. Sørensen. *Materialebogen*. Nyt Teknisk Forlag, 1 edition, 2008.
- DS/EN196-1. *Metoder til prøvning af cement - Del 1: Styrkebestemmelse*. Dansk Standard, 2005.
- DS/EN196-3. *Metoder til prøvning af cement - Del 3: Bestemmelse af afbindingstid og volumenbestandighed*. Dansk Standard, 2009.
- B. Grell and G. Consult. *Betonhåndbogen kapitel 19.1 - Alkalireaktioner*. Dansk Betonforening, 2014.
- K. K. Hansen. *Bygningsingeniørernes materialer - Uddrag af materialebogen*. Nyt Teknisk Forlag, 2008.
- Hudson Resources INC. Technical report on the white mountain project west greenland, Februar 2013. http://www.hudsonresources.ca/files/Hudson_43-101_17Mar13.pdf Opdateret 30.01.2013, Tilgået 15.06.2017.
- Hudson Resources INC. Project update, Februar 2017. http://www.hudsonresources.ca/files/Hudson_February_2017.pdf Opdateret 02.02.2017, Tilgået 16.05.2017.
- B. C. Jensen. *Betonkonstruktioner efter DS/EN 1992-1-1*. Nyt Teknisk Forlag, 2008.
- B. G. Lottermoser. *Mine Wastes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 3 edition, 2010.
- Lundin Mining. Operations & Development - Zinkgruvan, Sweden, 2017. <http://www.lundinmining.com/s/Zinkgruvan.asp>, Tilgået 12.06.2017.

- D. Mathiesen and M. Kaasgaard. *Betonhåndbogen kapitel 21.1 - Grøn Beton*. Dansk Betonforening, 2014.
- K. Mehta and P. J. M. Monteiro. *Concrete - Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education, 2014.
- Miljøstyrelsen. *Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand*. Miljøministeriet, 2014.
- C. Munch-Petersen. *Betonhåndbogen kapitel 3.5 - Tilsætninger*. Dansk Betonforening, 2013.
- G. N. Munch-Petersen. *Betonhåndbogen kapitel 6 - Proportionering*. Dansk Betonforening, 2014.
- Murerfagets Lærebogsudvalg. *Materialelære*. Erhvervsskolernes Forlag, 1996.
- A. Nielsen. *Bygningsmaterialers egenskaber*. Danmarks Tekniske Højskole, 1992.
- C. V. Nielsen. *Betonhåndbogen kapitel 10.1 - Betons trykstyrke*. Dansk Betonforening, 2016.
- M. R. Nielsen. *Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton - Sammenligning af to slags mineaffald med fokus på optimering af trykstyrke og bearbejdelse*, 2017.
- J. Pasternak. *Undgå fugtproblemer, når du bygger*, 2009. <https://www.bolius.dk/undgaa-fugtproblemer-naar-du-bygger-16851/>, Opdateret 05.05.2009, Tilgået 03.06.2017.
- Teknologisk Institut. *Grøn beton ii*. <http://www.gronbeton.dk/>, Tilgået 24.05.2017.
- J. Thrysoe. *Sammenhæng mellem cementegenskaber og betonegenskaber*. http://www.aalborgportland.dk/media/pdf_filer/2015-06-10_b_-_sammenhaeng_mellem_cement_egenskaber_og_betonegenskaber_-_jacob_thrysoee.pdf Tilgået 15.06.2017.

A Forsøgsvejledninger til laboratoriet

A.1 Karbonat

Arktisk Teknologi og Bæredygtige Løsninger, F 2016

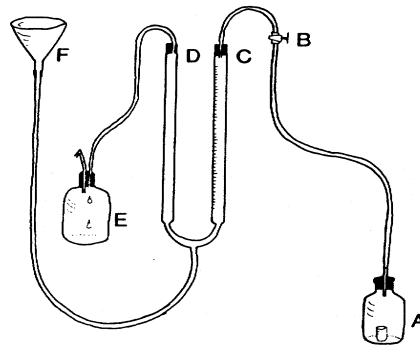
Carbonat, volumetrisk

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 - glastrør med inddelinger
- D - glastrør med inddelinger
- E - overløbskolbe
- F - glastragt

C Kemikalie sikkerhed

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

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

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

1) **Calciumcarbonat, CaCO₃**

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 CaCO₃ på analysevægt i små præparatglas. Målingerne af de afvejede CaCO₃ 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 CO₂. Rystningen af reaktionsflasken fortsættes indtil CO₂-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 CaCO₃ 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

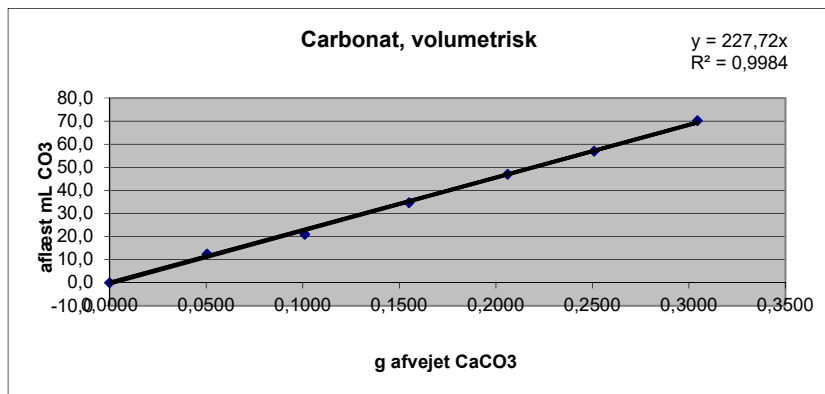
A.2 Karbonat Standartrække

Carbonat, volumetrisk

Dato: 07/02-2017

Udført af: malm

Standardrække:	g afvejet CaCO ₃	af læst mL CO ₂
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



A.3 pH

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.4 Oplukning

Oplukning af jord- og askeprøve efter DS 259

A Princip

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

B Specielt apparatur

Til målingen benyttes ICP
Autoklave

C Kemikalie sikkerhed

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

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

- 1) **Salpetersyre halvkonc, (1:1) HNO₃:**
500 mL koncentreret HNO₃ 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 HNO₃ med fuld pipette (skal foregå i stinkskab).

Autoklavflaskerne lukkes helt, da HNO₃ 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 Glødetab

Glødetab i jord

A **Princip**

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

B **Specielt apparatur**

Til analysen benyttes et muffelovn.

C **Analysens udførelse**

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

D **Beregning af resultat**

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

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

E **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

A.6 Vandindhold

Vandindhold

A **Princip**

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

B **Specielt apparatur**

Til analysen benyttes et varmeskab.

C **Analysens udførelse**

Ved meget præcis måling:

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

Dette gøres vha. en tang, fingrene afsætter fugt.

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

Ved mindre præcis måling (mest anvendt):

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

D **Beregning af resultat**

Vandindholdet angives i procent af vægten af den fugtige jord.

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

E **Affaldshåndtering**

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

A.7 Pyknometer

Pyknometer-partiklernes densitet

A **Princip**

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

B **Specielt apparatur**

Pyknometer glas
Termometer
Luftfrit vand

C **Analysens udførelse**

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

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

E **Beregning af resultat**

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

Se excel arket for mere information.

F **Affaldshåndtering**

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

A.8 Pyknometer Beregning

Dato	
Navn	
Projekt	
Prøvemateriale	

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

Resultat
Beregning
Input

Bestemmelse af kornrumvægt
Sand

	1	2	3
Fra kalibrering af pyknometer			
Pyknometer nummer			
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm ³
Måling			
Pykn.+ prop + jord		m_2	g
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g
Temperatur	T	T_3	°C
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm ³
Jord - masse	W_s	m_4	g
Jord - volumen	V_s		cm ³
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³
Betegnelse 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:

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

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

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

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

A.8.1 Vands Densitet

Temp	Density
°C	g/cm ³
T	ρ_w
10	0,9997
11	0,9996
12	0,9995
13	0,9994
14	0,9993
15	0,9991
16	0,9989
17	0,9988
18	0,9986
19	0,9984
20	0,9982
21	0,9980
22	0,9978
23	0,9975
24	0,9973
25	0,9971
26	0,9968
27	0,9965
28	0,9962
29	0,9959
30	0,9957

[Tilbage](#)

A.8.2 Pyknometerkalibrering

Dato:	
Navn:	Malene

Pyknometer	Temperatur T_k	Vands densitet	Pykn.+prop	Pykn.+prop+vand	Rumindhold (ved T_k)
Nummer	grader	g/cm^3	g	g	ml
1	22	0,99780	47,5231	149,2449	101,9461
2	22	0,99780	43,4429	142,5256	99,3012
3	22	0,99780	45,9373	145,1964	99,4780
4	22	0,99780	43,1983	142,4600	99,4806
5	22	0,99780	47,9524	147,8348	100,1026
6	22	0,99780	49,2286	149,1165	100,1081
7	22	0,99780	42,8230	142,2225	99,6187
8	22	0,99780	48,9791	150,7888	102,0342
9	22	0,99780	43,2262	142,4497	99,4423
10	22	0,99780	49,7693	148,7228	99,1717
11	22	0,99780	48,0464	150,3130	102,4921
12	22	0,99780	47,6881	149,6691	102,2059
13	22	0,99780	47,0958	147,9354	101,0619
14	22	0,99780	47,3907	149,4482	102,2825
15	22	0,99780	43,4434	143,5019	100,2791
16	22	0,99780	47,0200	147,2786	100,4797
17	22	0,99780	46,7798	146,8215	100,2623
18	22	0,99780	43,0329	143,2569	100,4450
19	22	0,99780	42,8721	140,7496	98,0933
50	22	0,99780	42,6295	143,7442	101,3376
58	22	0,99780	31,5536	81,1743	49,7301
72	22	0,99780	42,3379	140,5695	98,4482
74	22	0,99780	43,2150	139,2265	96,2232
78	22	0,99780	31,6435	81,2088	49,6746
87	22	0,99780	31,772	81,6133	49,9512
92	22	0,99780	31,0848	80,6186	49,6430
93	22	0,99780	30,9959	80,5873	49,7007
117	22	0,99780	32,7693	82,0193	49,3586
139	22	0,99780	31,4882	80,9380	49,5588
173	22	0,99780	32,5943	81,7491	49,2632
176	22	0,99780	31,3964	81,6107	50,3250

A.9 Laserdiffraktion

Center for
ARKTISK TEKNOLOGI



Laserdiffraktion, våde prøver

Prøve forberelse:

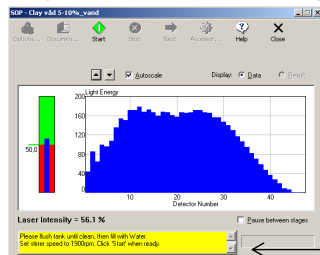
- Halv teske skal hældes på 20 ml vials og tilføj 0.005M Natriumpyrofosfat.
- Tilføj destilleret vand til den prøve kammeret.

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.

B Forsøgsvejledninger til støbehallen

B.1 Blanding og 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 ovnen 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)
Støbingsforme (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

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

Prøvetid
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.

B.2 Tryktest

Tryktest af mørtelprøver

A Princip

DS/EN 196-1 2.udgave.

Denne metode bestemmer trykstyrken af mørtelprøver.

B Specielt apparatur

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

HUSK: Reserver Toni 300 i hallen.

C Sikkerhed

Brug altid sikkerhedssko og kittel. Brug sikkerhedsbriller ved tryk.

E Udførelse

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

Forsøgsopstillingen for Toni 300 kan ses på figur 1.



Figur 1: Forsøgsopstilling

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

G Beregning af resultat

Trykstyrken beregnes:

Calculate the compressive strength R_c in megapascals from:

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

where

R_c is the compressive strength, in megapascals;

F_c is the maximum load at fracture, in newtons;

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

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

H Affaldshåndtering

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

B.3 Bearbejdelighed

Bearbejdelighed

A Princip

EN 1015-3 1.udgave

B Specielt apparatur

Tamper

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

Flydebord med håndsving

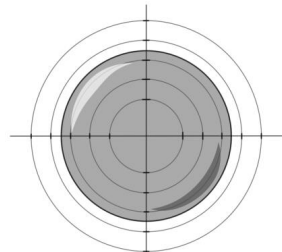
Afretter

C Sikkerhed

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet

D Udførelse

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



Figur 1: Måling af flydesætmål

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

E Affaldshåndtering

Mørtlen smides i containeren til frisk beton.

B.4 Afbindingsforløb

Afbindingsforløb for mørtel

A Princip

DS/EN 196-3+A1 3.udgave

B Specielt apparatur

Vicatronic
Bæger i plastik
Kalibreringsring 40 mm.

C Sikkerhed

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet.

D Udførelse

1. Kalibrering af vicatronic

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

2. Mørtelprøve

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

3. Print af resultater

Print direkte fra Vicatronic til papir:

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

Dataoverførelse til computer i mørtellab:

1. Både computer (log på med dit eget ID/Studiekonto) og VICAT skal være tændt.
2. Programmet Realterm tændes på computeren
 - a. I fanen Display sættes flueben ved Hex CSV
 - b. I fanen Port sættes Baud til 38400 og der trykkes på knappen \sqrt 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] (I[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.

B.5 Porøsitet og densitet

Porøsitet og densitet (LBM-standard)

A Princip

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

B Specielt apparatur

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

C Analysens udførelse

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

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

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

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

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

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

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

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

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

D Beregning af resultat

Rumtemp:	°C	Vandtemp:	°C	Vanddensitet ρ_w =	kg/m ³
Kontrollod:					
Før:	kg				
Efter:	kg				
Prøvelegement nr:					
m_{105}	Kg				
m_{ssd}	Kg				
m_{sw}	Kg				
$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$	m ³				
$V_{p\grave{a}} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$	m ³ /m ³				
$\rho_{\grave{a}} = V_{p\grave{a}} / V$	Kg/m ³				
$\rho_d = m_{105} / V$	Kg/m ³				
$\rho_f = m_{105} / (V - V_{p\grave{a}})$	Kg/m ³				
$\rho_{ssd} = m_{ssd} / V$	Kg/m ³				
$u_{ssd} = (m_{ssd} - m_{105}) / m_{105}$	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 (m³)
- $V_{p\grave{a}}$ Volumen af åbne porer (m³)
- ρ_f Faststoffdensitet (kg/m³)
- ρ_d Tørdensitet (kg/m³)
- ρ_{ssd} Densitet af prøvelegeme i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/m³)
- $\rho_{\grave{a}}$ Prøvelegemets åbne porøsitet (m³/m³)
- u_{ssd} Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)

B.6 Farveanalyse

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

Skæreprade

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.

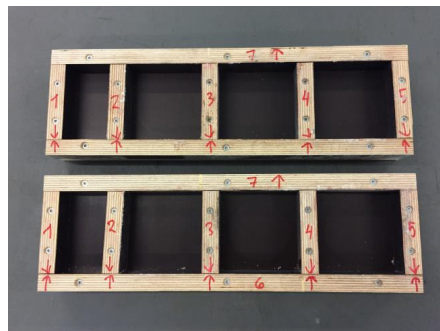
D Udførelse

*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.

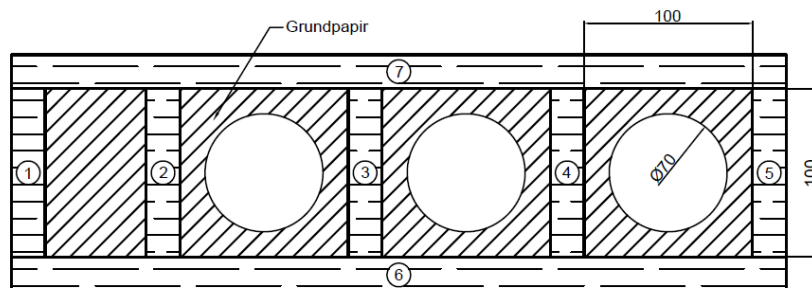


Figur 1: 2 stk. forme til farveprøver

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.

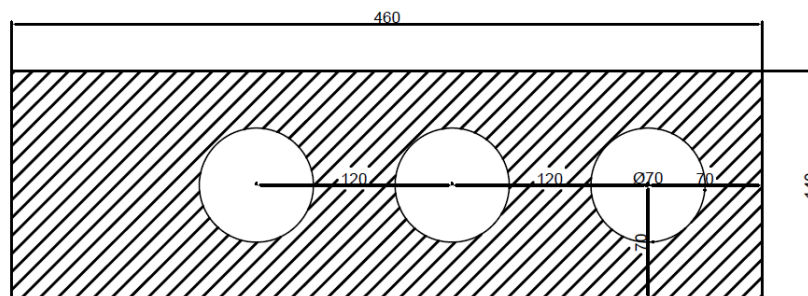
Der måles op til tre huller i hver firkant (mellem side nr. 2 og 3, nr. 3 og 4, nr. 4 og 5). Hullerne skal have en diameter på 70mm og skal så vidt muligt placeres centrert i firkanterne, se figur 2. Hullerne tegnes med blyant og skæres ud med en cirkelskære på skærepladen.



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. Skruhullerne til toppen (nr. 7), siderne (nr. 1, 2, 3, 4 og 5) og bunden (nr. 6) vil være synlige i form af lufthuller.

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

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

Formen er nu klar til støbning.

Støbning af farveprøver

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

Der ligges plastic over formen og afformes dagen efter.

Afformning af farveprøver

Dagen efter støbning kan farveprøverne afformes.

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

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

Der kan sidde papir og fruller 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 fruller 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.

C Resultater

C.1 Karbonat

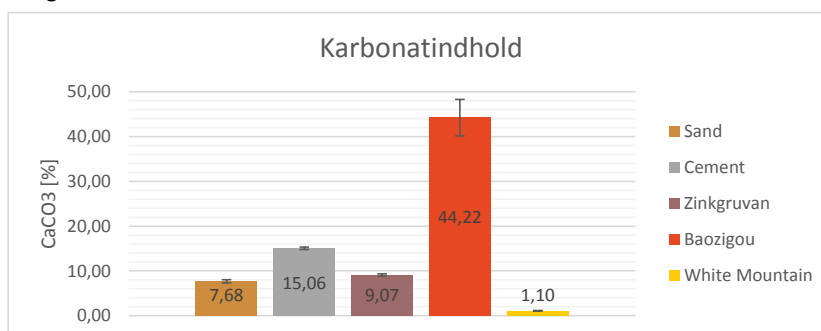
Carbonat Sand	Vægt [g]	Aflæsning [ml]	g CaCO ₃ ifølge standart kurven	CaCO ₃ [%]
A	2,51	44,00	0,19	7,69
B	2,51	46,00	0,20	8,03
C	2,50	41,60	0,18	7,31
Gennemsnit				7,68
Standartafvigelse				0,36

Carbonat Cement	Vægt [g]	Aflæsning [ml]	g CaCO ₃ ifølge standart kurven	CaCO ₃ [%]
A	2,50	87,60	0,38	15,37
B	2,50	84,80	0,37	14,88
C	2,51	85,20	0,37	14,92
Gennemsnit				15,06
Standartafvigelse				0,27

Carbonat Zingruvan	Vægt [g]	Aflæsning [ml]	g CaCO ₃ ifølge standart kurven	CaCO ₃ [%]
A	2,50	53,40	0,23	9,37
B	2,55	51,40	0,23	8,86
C	2,50	51,20	0,22	8,99
Gennemsnit				9,07
Standartafvigelse				0,27

Carbonat Baozigou	Vægt [g]	Aflæsning [ml]	g CaCO ₃ ifølge standart kurven	CaCO ₃ [%]
A	0,50	46,20	0,20	40,50
B	0,50	50,00	0,22	43,58
C	0,50	55,60	0,24	48,58
Gennemsnit				44,22
Standartafvigelse				4,08

Carbonat White Mount	Vægt [g]	Aflæsning [ml]	g CaCO ₃ ifølge standart kurven	CaCO ₃ [%]
A	2,51	6,60	0,03	1,16
B	2,50	6,00	0,03	1,05
C	2,51	6,20	0,03	1,09
Gennemsnit				1,10
Standartafvigelse				0,05



C.2 pH for mineaffaldet

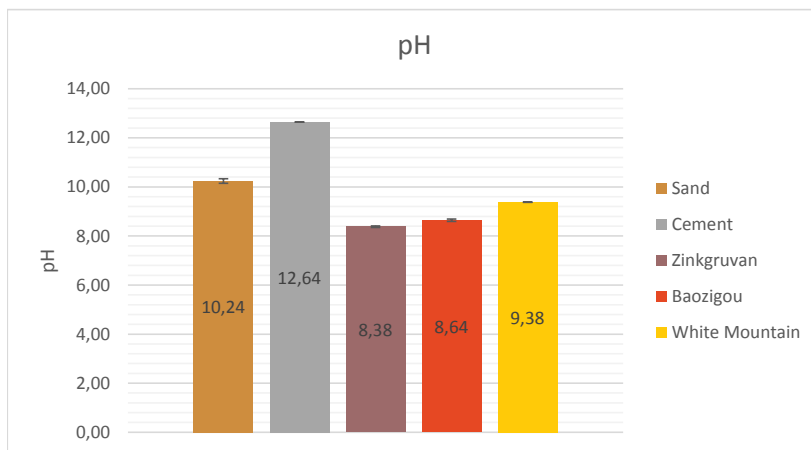
pH Sand	Før prøve	Efter prøve	pH
A	5,04	5,02	10,20
B	5,03	5,01	10,31
C	5,03	5,01	10,36
D	5,05	5,00	10,13
E	5,03	5,00	10,20
Gennemsnit			10,24
Standartafvigelse			0,09

pH			
Cement	Før prøve	Efter prøve	pH
A	5,05	5,00	12,64
B	5,05	5,00	12,64
C	5,04	4,99	12,64
D	5,05	5,00	12,64
E	5,04	5,01	12,64
Gennemsnit			12,64
Standartafvigelse			0,00

pH			
Zingruvan	Før prøve	Efter prøve	pH
A	5,07	5,00	8,33
B	5,00	5,00	8,38
C	5,02	5,00	8,37
D	5,03	5,00	8,41
E	5,02	4,99	8,40
Gennemsnit:			8,38
Standartafvigelse			0,03

pH			
Baozigou	Før prøve	Efter prøve	pH
A	5,05	5,01	8,58
B	5,05	5,00	8,70
C	5,05	5,00	8,62
D	5,05	5,00	8,63
E	5,05	5,00	8,68
Gennemsnit			8,64
Standartafvigelse			0,05

pH White			
Mountain	Før prøve	Efter prøve	pH
A	5,05	5,00	9,38
B	5,05	5,00	9,38
C	5,05	5,00	9,37
D	5,05	5,00	9,37
E	5,04	5,00	9,38
Gennemsnit			9,38
Standartafvigelse			0,01



C.3 Indhold af tungmetaller

	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	Pb	S	Zn
Oplukning Sand																	
Vægt [g]	1.0022	836	1.66	2.58	19748	0.05	1.19	1.35	1593	237	532	53	179	0.72	396	2.48	293
A	1.0019	761	2.11	2.29	17650	0.26	1.13	1.16	1387	213	458	51	162	0.76	242	1.99	321
B	1.0016	882	1.49	2.88	20173	0.37	1.32	1.23	1483	228	544	49	183	0.71	395	1.92	282
C	1.0066	800	1.56	2.18	23596	0.35	1.34	1.50	1462	225	530	51	172	0.77	344	1.67	244
D	1.0001	900	1.74	2.44	20769	0.27	1.47	1.09	1620	240	579	57	169	0.68	232	1.83	246
Gennemsnit	836	1.71	2.47	20387	0.26	1.29	1.27	1501	228	529	52	173	0.73	322	1.98	277	7.16
Gennemsnit [%]	0.0836	0.0002	0.0002	0.20387	0.0000	0.0001	0.0001	0.1501	0.0228	0.0529	0.0052	0.0173	0.0001	0.0322	0.0002	0.0277	0.0007
Standardafvigelse	57,07	0.24	0.27	2144,16	0.13	0.13	0.13	84,59	10,58	43,84	3,10	8,27	0,03	80,01	0,31	32,64	0,44
Oplukning Cement																	
Vægt [g]	1.0088	15141	7.10	242	323373	0.37	25.49	83	15362	2855	3211	160	1124	21.36	845	14.70	9383
A	1.0036	14409	5.13	230	299426	0.40	24.67	78	14465	2696	3048	152	1064	20.15	800	13.94	9214
B	1.0057	16164	7.56	248	333293	0.37	26.35	85	16380	2907	3310	164	1154	22.39	876	15.02	10711
C	1.0019	15293	6.40	238	319176	0.35	25.55	82	15435	2823	3167	157	1119	22.80	836	14.25	9284
D	1.0013	15962	6.56	244	327203	0.40	26.11	84	16006	2893	3237	161	1133	21.62	862	14.82	9682
E	15394	6.55	241	320494	0.38	25.63	83	15550	2843	3194	159	1119	21.66	844	14.54	9775	290
Gennemsnit [mg/kg]	15394	0.0007	0.0241	32.0494	0.0000	0.0026	0.0083	1.5550	0.2843	0.3194	0.0159	0.1119	0.0022	0.0844	0.0015	0.9775	0.0290
Gennemsnit [%]	0.7595	0.0054	0.0241	3.9170	0.0014	0.0003	0.0280	1.9856	0.5152	2.1765	0.1144	0.0153	0.0021	0.0347	0.0409	0.6175	0.9179
Standardafvigelse	699,80	0.92	7,06	#####	0.02	0.65	2,56	745,39	94,19	96,74	4,75	33,18	1,03	28,92	0,44	609,12	7,55
Oplukning Zingruvan																	
Vægt [g]	1.0009	7522	5770	255	39783	13.95	3.41	288	20954	5005	22430	1551	158	21.54	398	4086	6207
A	1.0009	7686	5080	203	40853	13.42	3.51	289	19481	5251	22317	1046	150	19.63	318	3837	6124
B	1.0076	7637	4420	234	38250	14.95	3.24	277	19710	5213	21510	1024	149	20.72	339	3953	6089
C	1.0047	7681	4917	257	37785	14.74	3.14	273	19335	5223	20940	1047	159	20.68	333	4106	6146
D	1.0032	7447	6899	256	39182	14.79	2.82	273	19800	5069	21626	1053	149	21.24	346	4115	6310
E	7595	5417	241	39170	14.37	3.22	280	19856	5152	21765	1144	153	20.76	347	4019	6175	9179
Gennemsnit [mg/kg]	7595	0.0054	0.0241	3.9170	0.0014	0.0003	0.0280	1.9856	0.5152	2.1765	0.1144	0.0153	0.0021	0.0347	0.0409	0.6175	0.9179
Gennemsnit [%]	0.7595	0.0054	0.0241	3.9170	0.0014	0.0003	0.0280	1.9856	0.5152	2.1765	0.1144	0.0153	0.0021	0.0347	0.0409	0.6175	0.9179
Standardafvigelse	105,79	9,59	23,41	1221,85	0,66	0,27	8,20	640,57	108,35	614,66	227,76	4,96	0,73	30,66	121,20	86,80	392,61
Oplukning Baozipo																	
Vægt [g]	1.0008	14818	148	50,79	103382	99	56,66	391	26161	1112	71788	367	210	30,68	745	4252	5892
A	1.0008	14818	148	50,79	103382	99	56,66	391	26161	1112	71788	367	210	30,68	745	4252	5892
B	1.0006	14885	156	50,47	100103	102	55,35	358	25938	869	69997	367	183	32,73	738	4339	5981
C	1.0028	15215	143	59,37	103986	98	58,61	353	26957	911	72887	364	172	33,00	730	4296	5385
D	1.0063	14627	169	48,65	100079	101	56,93	449	26380	801	71503	366	175	32,19	716	4844	5995
E	14866	160	50,58	101719	101	56,73	404	26321	0.903	7.1379	0.0365	1.86	32.15	730	4390	5819	20075
Gennemsnit [mg/kg]	14866	0.0160	0.0051	10.1719	0.0101	0.0057	0.0404	2.6321	0.903	7.1379	0.0365	1.86	32.15	730	4390	5819	20075
Gennemsnit [%]	1.4866	0.0160	0.0051	10.1719	0.0101	0.0057	0.0404	2.6321	0.903	7.1379	0.0365	1.86	32.15	730	4390	5819	20075
Standardafvigelse	217,06	16,94	5,70	1847,93	2,10	1,32	52,60	388,45	124,55	1096,10	2,66	13,69	0,90	11,79	267,35	251,45	701,63
Oplukning White Mountain																	
Vægt [g]	1.0008	80316	1.29	21,55	55146	0.00	0.95	467	845	233	579	1910	7065	2.23	199	6,66	121
A	1.0008	80316	1.29	21,55	55146	0.00	0.95	467	845	233	579	1910	7065	2.23	199	6,66	121
B	1.0006	87774	22,29	23,11	59926	0.22	0.52	462	837	247	574	1856	8483	2.84	35	0.42	181
C	1.0028	81454	0.63	21,92	53969	0.96	0.37	267	757	222	550	1717	6767	2.27	21	2.16	137
D	1.0063	81454	0.63	21,92	53969	0.00	0.41	313	794	235	570	1800	7202	2.68	26	1.32	152
E	1.0012	85394	22,20	23,47	58037	0.00	0.35	292	865	240	594	1876	7998	2.84	35	0.00	205
Gennemsnit	82424	9.35	22,20	56494	0.59	0.52	3.60	820	235	573	1832	7503	2.57	63	2.64	159	5.12
Gennemsnit [%]	8.2424	0.0009	0.0222	5.6494	0.0001	0.0001	0.0004	0.0820	0.0335	0.0573	0.0018	0.7503	0.0003	0.0063	0.0008	0.0159	0.0091
Standardafvigelse	4193,41	11,77	1,06	2427,05	0,41	0,25	0,96	43,71	8,98	16,01	0,76	712,48	0,30	76,18	2,68	33,83	2,94

C.4 Glødetab

Glødetab Zingruvan	Vægt uden prøve	Vægt med prøve	Vægt med prøve efter 550	Vægt med prøve efter 950	Glødetab 550 [%]	Glødetab 950 [%]
A	13,7348	2,506	2,4942	2,3507	0,47086991	6,1971269
G	14,072	2,5588	2,5447	2,4	0,55103955	6,20603408
85	15,5114	2,5426	2,5297	2,3866	0,50735468	6,1354519
Gennemsnit					0,51	6,18
Standartafvigelse					0,04	0,04

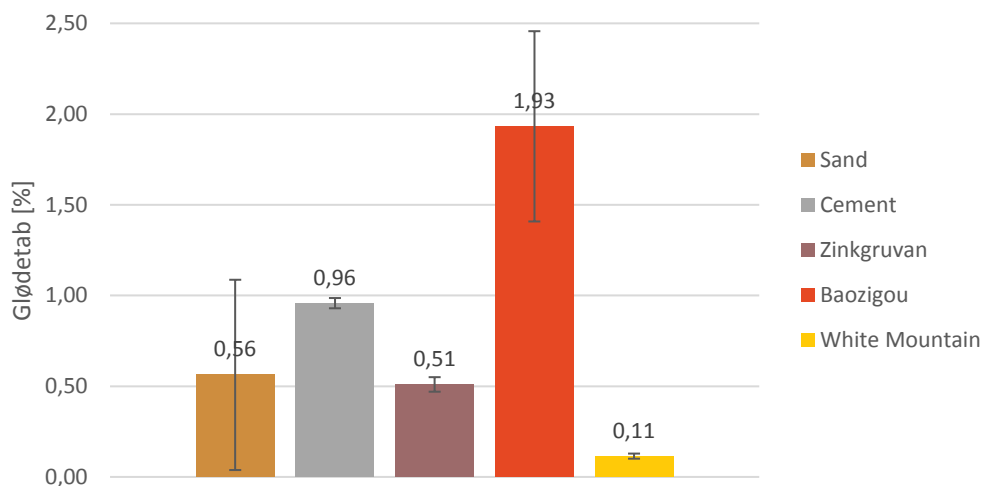
Glødetab Cement	Vægt uden prøve	Vægt med prøve	Vægt med prøve efter 550	Vægt med prøve efter 950	Glødetab55 0 [%]	Glødetab950 [%]
C	13,6509	2,5045	2,4813	2,3389	0,9263326	6,61209822
E	14,5581	2,5048	2,4806	2,3405	0,966145	6,55940594
F	14,2715	2,5078	2,4832	2,3414	0,98093947	6,63529787
Gennemsnit					0,96	6,60
Standartafvigelse					0,03	0,04

Glødetab Sand	Vægt uden prøve	Vægt med prøve	Vægt med prøve efter 550	Vægt med prøve efter 950	Glødetab55 0 [%]	Glødetab950 [%]
I	14,3518	2,501	2,4718	2,4063	1,16753299	3,78648541
K	12,2698	2,503	2,4961	2,4176	0,2756692	3,41190571
M	10,8779	2,502	2,4959	2,4345	0,24380496	2,69784173
Gennemsnit					0,56	3,30
Standartafvigelse					0,52	0,55

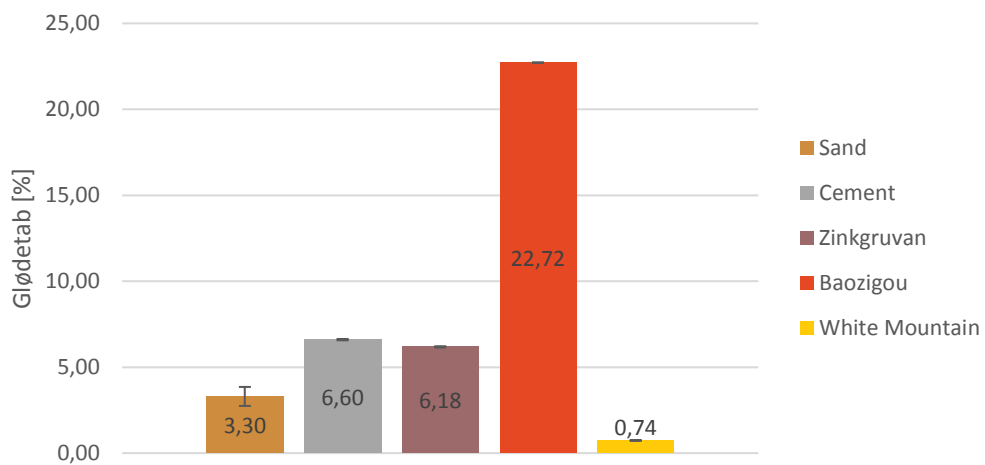
Glødetab Bao	Vægt uden prøve	Vægt med prøve	Vægt med prøve efter 550	Vægt med prøve efter 950	Glødetab55 0 [%]	Glødetab950 [%]
P	11,2645	2,5024	2,4519	1,9338	2,01806266	22,7221867
4	10,3725	2,5066	2,4596	1,9368	1,87504987	22,7319876
153	15,5954	2,5001	2,4525	1,9327	1,90392384	22,6950922
Gennemsnit					1,93	22,72
Standartafvigelse					0,08	0,02

Glødetab White Mountain	Vægt uden prøve	Vægt med prøve	Vægt med prøve efter 550	Vægt med prøve efter 950	Glødetab55 0 [%]	Glødetab950 [%]
B	13,6351	2,5009	2,498	2,4822	0,11595826	0,74773082
F	14,2679	2,5018	2,4993	2,4836	0,09992805	0,72747622
J	13,5437	2,5013	2,4981	2,483	0,12793347	0,73161956
Gennemsnit					0,11	0,74
Standartafvigelse					0,01	0,01

Glødetab i % ved 550 deg C



Glødetab i % ved 950 deg C



C.5 Vandindhold

Vandindhold Sand	Vægt bægerglas	Vægt af fyld	Vægt efter varmeskab	Vægt uden bægerglas	Vandindhold [%]
A	19,34	2,00	21,28	1,94	3,00
B	19,37	2,00	21,31	1,94	3,00
C	18,79	2,00	20,73	1,94	3,00

Gennemsnit 3,00
Standartafvigelse 0,00

Vandindhold Cement	Vægt bægerglas	Vægt af fyld	Vægt efter varmeskab	Vægt uden bægerglas	Vandindhold [%]
A	18,73	2,07	20,8	2,07	0,00
B	18,59	2,03	20,61	2,02	0,49
C	19,05	2,02	21,07	2,02	0,00

Gennemsnit 0,16
Standartafvigelse 0,28

Vandindhold Zingruvan	Vægt bægerglas	Vægt af fyld	Vægt efter varmeskab	Vægt uden bægerglas	Vandindhold [%]
A	19,19	1,99	21,04	1,85	7,04
B	19,34	2,00	21,18	1,84	8,00
C	19,14	1,99	20,99	1,85	7,04

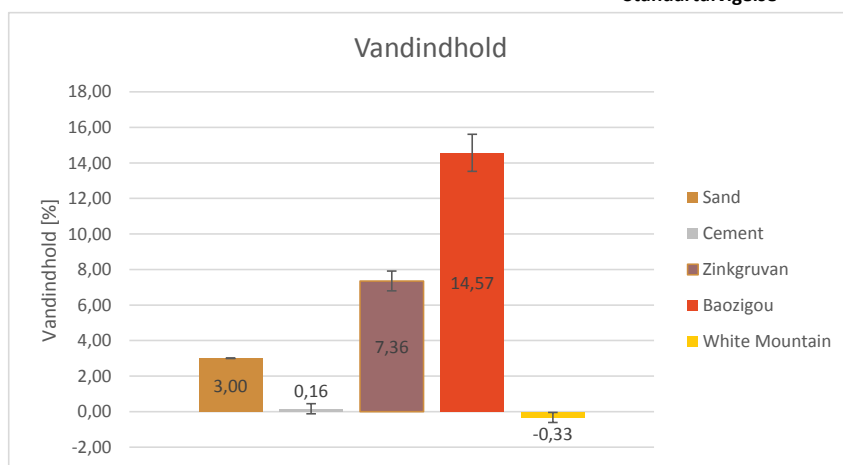
Gennemsnit 7,36
Standartafvigelse 0,56

Vandindhold Baozigou	Vægt bægerglas	Vægt af fyld	Vægt efter varmeskab	Vægt uden bægerglas	Vandindhold [%]
A	19,29	2,06	21,03	1,74	15,53
B	19,51	2,04	21,25	1,74	14,71
C	19,64	2,08	21,44	1,80	13,46

Gennemsnit 14,57
Standartafvigelse 1,04

Vandindhold White Mountain	Vægt bægerglas	Vægt af fyld	Vægt efter varmeskab	Vægt uden bægerglas	Vandindhold [%]
A	22,51	2,04	24,56	2,05	-0,49
B	18,53	2,04	20,57	2,04	0,00
C	19,70	2,04	21,75	2,05	-0,49

Gennemsnit -0,33
Standartafvigelse 0,28



C.6 Pyknometer

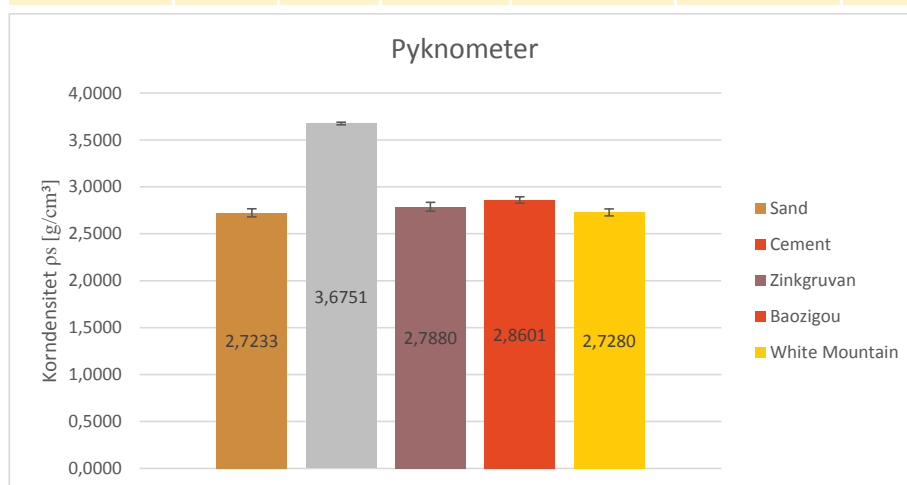
Pyknometer Cen	Før prøve	Efter prøv	Efter vakum	Temperatur	Korndensitet ρ_s [g/cm ³]	Standartafvigelse
19		46,8651	143,6252	23		
72		46,3394	143,4595			
74		47,2109	142,1090			
Gennemsnit					3,6751	0,0141

Pyknometer Sand	Før prøve	Efter prøve	Efter vakum [g]	Temperatur	Korndensitet ρ_s [g/cm ³]	Standartafvigelse
18	43,0338	47,0348	145,7496	25		
72	42,3400	46,3404	143,0240			
74	43,2157	47,2191	141,6836			
Gennemsnit					2,7233	0,0432

Pyknometer Zink	Før prøve	Efter prøve	Efter vakum [g]	Temperatur	Korndensitet ρ_s [g/cm ³]	Standartafvigelse
176	31,3969	35,3903	84,2777	11		
173	32,5935	36,5873	84,3720			
139	31,4884	35,4802	83,6041			
Gennemsnit					2,7880	0,0474

Pyknometer Bao	Før prøve	Efter prøve	Efter vakum [g]	Temperatur	Korndensitet ρ_s [g/cm ³]	Standartafvigelse
92	31,0847	35,0787	83,1879	24		
58	31,5532	35,5472	83,7693			
78	31,6435	35,6318	83,7695			
Gennemsnit					2,8601	0,0343

Pyknometer WM	Før prøve	Efter prøve	Efter vakum [g]	Temperatur	Korndensitet ρ_s [g/cm ³]	Standartafvigelse
87	31,7717	35,7732	84,1411	24		
117	32,7694	36,7663	84,5074			
93	30,9958	34,9950	83,1077			
Gennemsnit					2,7280	0,0371



Dato	
Navn	
Projekt	
Prøvemateriale	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			
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer	19	72	74			
Pykn. + prop (tomt)	m_0	g	42,8721	42,3379	43,215	
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	140,7496	140,5695	139,2265
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C	22	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w;1}$	g/cm ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord	m_2	g	46,8651	46,3394	47,2109	
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	143,6252	143,4595	142,109
Temperatur	T	T_3	°C	23	23	23
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w;3}$	g/cm ³	0,9975	0,9975	0,9975
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,993	4,0015	3,9959
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,09069876	1,08467724	1,08725117
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	3,66095586	3,68911586	3,67523173
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	3,6751		
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:

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

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

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

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

Dato	
Navn	
Projekt	
Prøvemateriale	Sand 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			
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer	18	72	74			
Pykn. + prop (tomt)	m_0	g	43,0329	42,3379	43,215	
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	143,2569	140,5695	139,2265
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C	22	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w;1}$	g/cm ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord	m_2	g	47,0348	46,3403	47,2191	
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	145,7496	143,024	141,6836
Temperatur	T	T_3	°C	25	25	25
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w;3}$	g/cm ³	0,9971	0,9971	0,9971
Jord - masse	W_s	m_4	g	4,0019	4,0024	4,0041
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,44307343	1,4832878	1,48394721
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,77317836	2,69833001	2,69827657
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,7233		
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:

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

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

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

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

Dato	
Navn	
Projekt	
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
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer				176	173	139
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,3964	32,5943	31,4882
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	81,6107	81,7491	80,938
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C	22	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w;1}$	g/cm ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	35,3903	36,5873	35,4802
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	84,2777	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 ³	0,9996	0,9996	0,9996
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9939	3,993	3,992
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,41805225	1,45935747	1,41567216
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,81646886	2,73613566	2,81986191
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,7908		
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:

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

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

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

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

Dato	
Navn	
Projekt	
Prøvemateriale	Baozigou

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

Resultat
Beregning
Input

Bestemmelse af kornrumvægt Sand

				1	2	3
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer				92	58	78
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,0848	31,5536	31,6435
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	80,6186	81,1743	81,2088
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 ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	35,0787	35,5472	35,6318
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	83,1879	83,7693	83,7695
Temperatur	T	T_3	°C	24	24	24
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w;3}$	g/cm ³	0,9973	0,9973	0,9973
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9939	3,9936	3,9883
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,40356813	1,37745407	1,40656042
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,84553341	2,89926182	2,83549853
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,8601		
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:

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

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

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

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

Dato	
Navn	
Projekt	
Prøvemateriale	White Mountain

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

Resultat
Beregning
Input

Bestemmelse af kornrumvægt Sand

				1	2	3
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer				87	117	93
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,772	32,7693	30,9959
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	81,6133	82,0193	80,5873
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 ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	35,7732	36,7663	34,995
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	84,1411	84,5074	83,1077
Temperatur	T	T_3	°C	24	24	24
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w;3}$	g/cm ³	0,9973	0,9973	0,9973
Jord - masse	W_s	m_4	g	4,0012	3,997	3,9991
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,45234574	1,48823895	1,45778565
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,75499139	2,68572463	2,74327025
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,7280		
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:

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

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

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

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

C.7 Kornkurver ved laserdiffraktion



MASTERSIZER



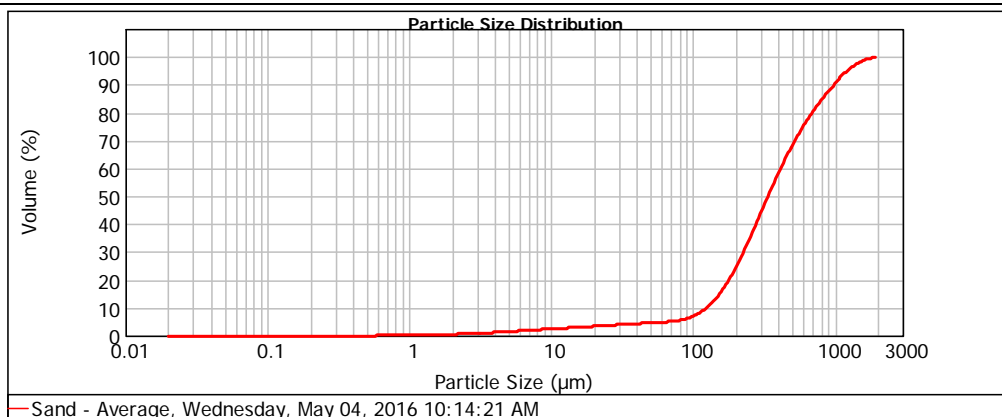
Result Analysis Report

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

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

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

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



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.05	11.482	0.18	120.226	2.83	1258.925	2.13
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.05	13.183	0.18	138.038	3.82	1445.440	1.53
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.06	15.136	0.18	158.489	4.81	1659.587	0.85
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.06	17.378	0.18	181.970	5.74	1905.461	0.20
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.08	19.953	0.19	208.930	6.47	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.09	22.909	0.20	239.883	6.95	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.11	26.303	0.21	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	0.03	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	0.20	91.201	0.76	954.993	3.17	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.05	10.000	0.19	104.713	1.27	1096.478	2.68		
0.105	0.00	1.096	0.05	11.482	0.19	120.226	1.97	1258.925			

Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
basis cement tør - Averaged Result

SOP Name:
Cement tør

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

Sample Source & type:
Paris

Measured by:
malm

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

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

Particle Name:
Cement

Accessory Name:
Scirocco 2000

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.500

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
1.21 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
0.394 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0002 %Vol

Span :
3.619

Uniformity:
1.36

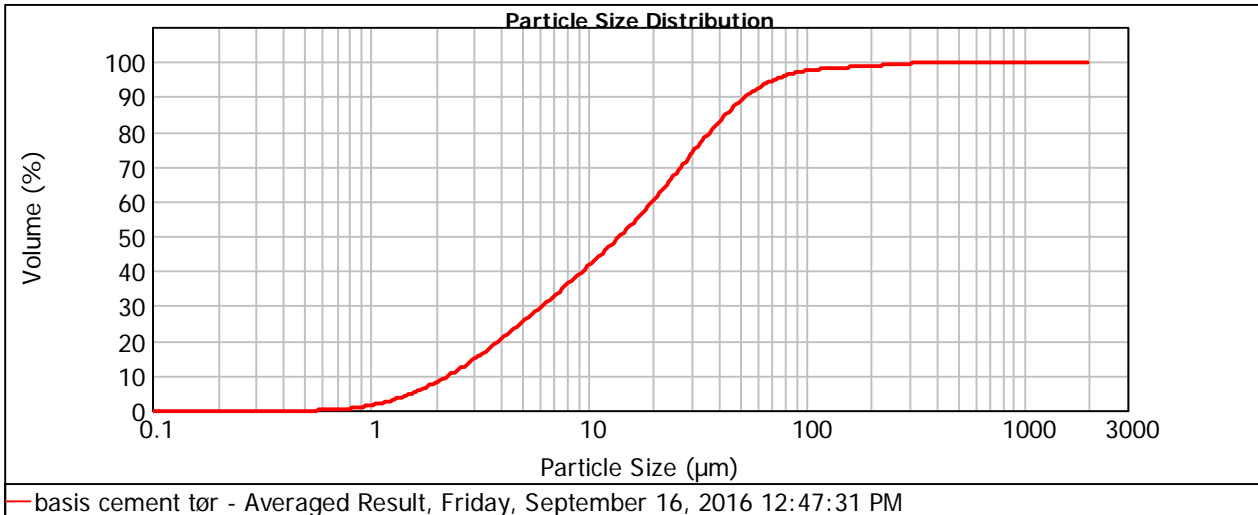
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.983 m²/g

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

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

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



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.97	11.482	3.56	120.226	0.27	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	1.21	13.183	3.75	138.038	0.21	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	1.47	15.136	3.98	158.489	0.21	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.72	17.378	4.22	181.970	0.23	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	1.97	19.953	4.43	208.930	0.25	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	2.21	22.909	4.58	239.883	0.26	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	2.42	26.303	4.62	275.423	0.24	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	2.62	30.200	4.51	316.228	0.21	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	2.79	34.674	4.24	363.078	0.13	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	2.92	39.811	3.82	416.869	0.03	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	3.03	45.709	3.28	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	3.11	52.481	2.67	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.08	5.754	3.16	60.256	2.05	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.19	6.607	3.21	69.183	1.49	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.35	7.586	3.26	79.433	1.01	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.53	8.710	3.32	91.201	0.65	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.74	10.000	3.42	104.713	0.40	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes: Average of 3 measurements from 160810nateg



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

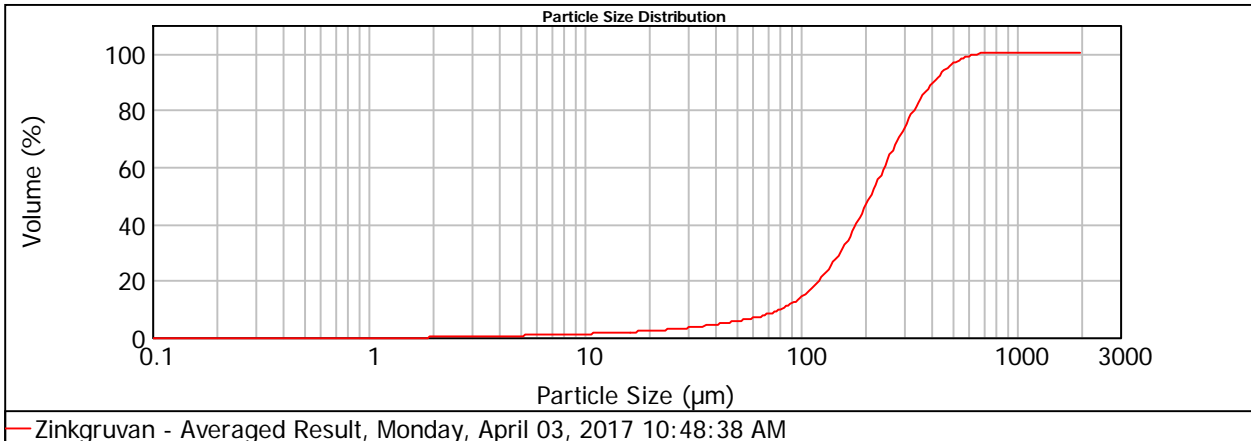
Measured:
Monday, April 03, 2017 10:48:38 AM

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

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

Concentration: 0.0054 %Vol	Span : 1.568	Uniformity: 0.485	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.0586 m ² /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	0.00	19.953	0.33	208.930	9.46	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.06	22.909	0.39	239.883	9.35	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.08	26.303	0.45	275.423	8.68	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.08	30.200	0.45	316.228	7.53	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.09	34.674	0.52	363.078	6.07	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.10	39.811	0.58	416.869	4.46	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.65	478.630	2.91	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.11	52.481	0.75	549.541	1.64	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	0.92	630.957	0.49	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.12	69.183	1.20	724.436	0.02	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.13	79.433	1.65	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.13	91.201	2.32	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.14	104.713	3.23	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.15	120.226	4.36	1258.925	0.00		

Operator notes: Average of 3 measurements from 170403 minetailings



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
baozigou - Averaged Result

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured by:
malm

Result Source:
Averaged

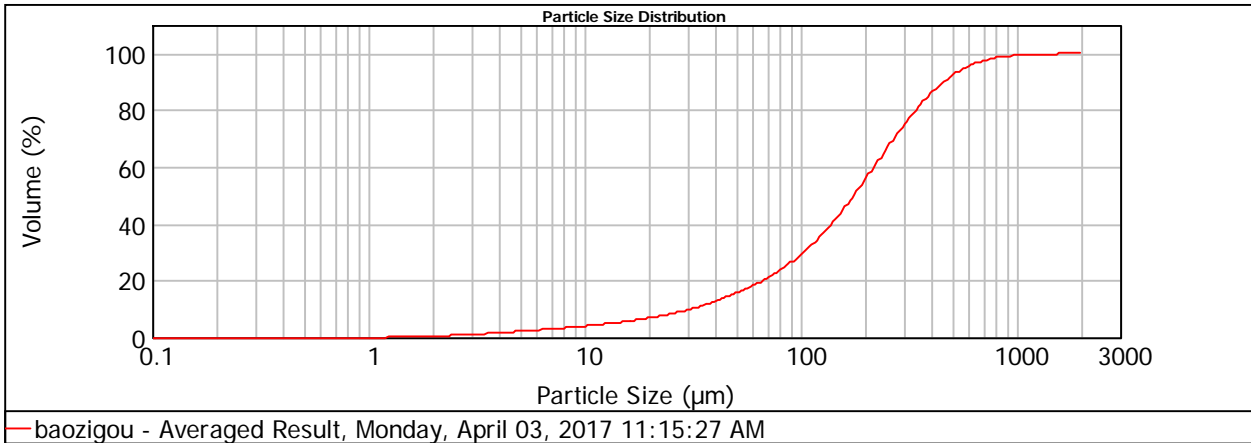
Measured:
Monday, April 03, 2017 11:15:27 AM

Analysed:
Monday, April 03, 2017 11:15:28 AM

Particle Name: Mine tailing Tør	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 2.66 %
Dispersant Name:	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.207 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0040 %Vol	Span : 2.428	Uniformity: 0.772	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.123 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 48.975 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 220.840 um	

d(0.1): 30.859 um d(0.5): 176.108 um d(0.9): 458.408 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	0.02	11.482	0.49	120.226	4.98	1258.925	0.12
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.09	13.183	0.55	138.038	5.60	1445.440	0.09
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.12	15.136	0.63	158.489	6.11	1659.587	0.05
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.15	17.378	0.73	181.970	6.47	1905.461	0.01
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.18	19.953	0.85	208.930	6.59	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.21	22.909	0.99	239.883	6.46	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.23	26.303	1.14	275.423	6.08	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.26	30.200	1.31	316.228	5.47	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.28	34.674	1.49	363.078	4.71	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.30	39.811	1.68	416.869	3.85	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.32	45.709	1.89	478.630	2.99	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.33	52.481	2.13	549.541	2.41	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.35	60.256	2.41	630.957	1.49	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.37	69.183	2.77	724.436	0.94	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.39	79.433	3.21	831.764	0.54	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.41	91.201	3.74	954.993	0.29	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.45	104.713	4.34	1096.478	0.18		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170403 minetailings



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
white mountain - Averaged Result

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured by:
malm

Result Source:
Averaged

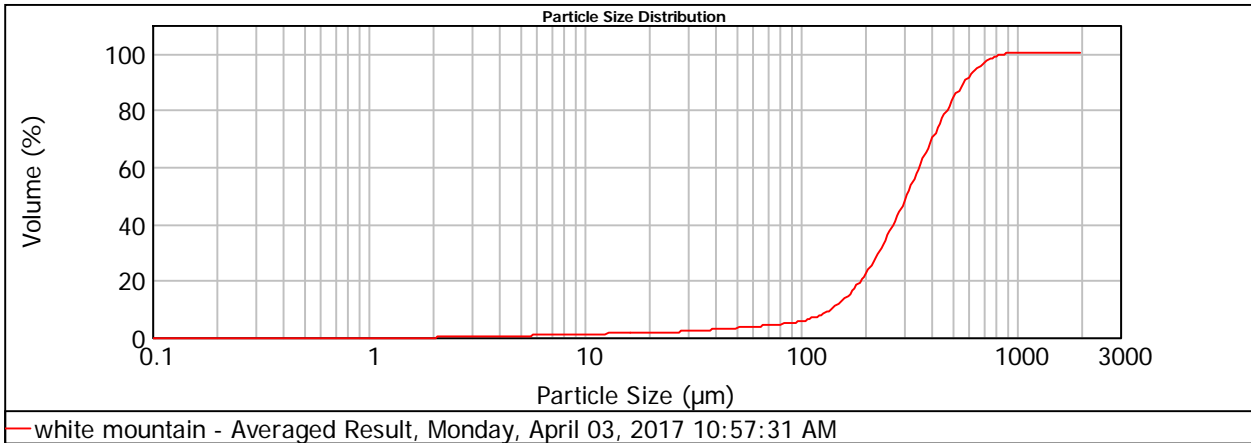
Measured:
Monday, April 03, 2017 10:57:31 AM

Analysed:
Monday, April 03, 2017 10:57:32 AM

Particle Name: Mine tailing Tør	Accessory Name: Scirocco 2000	Analysis model: General purpose	Sensitivity: Enhanced
Particle RI: 1.500	Absorption: 0	Size range: 0.020 to 2000.000 um	Obscuration: 2.61 %
Dispersant Name:	Dispersant RI: 1.000	Weighted Residual: 0.490 %	Result Emulation: Off

Concentration: 0.0117 %Vol	Span : 1.408	Uniformity: 0.439	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.0426 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 140.873 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 334.239 um	

d(0.1): 138.829 um d(0.5): 309.347 um d(0.9): 574.247 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	0.10	120.226	2.32	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.09	138.038	3.48	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.10	158.489	4.87	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.11	181.970	6.40	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.13	208.930	7.88	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.02	22.909	0.16	239.883	9.14	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.08	26.303	0.21	275.423	10.25	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.09	30.200	0.26	316.228	9.87	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.10	34.674	0.31	363.078	8.88	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.11	39.811	0.36	416.869	7.39	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.36	478.630	5.60	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.12	52.481	0.37	549.541	3.73	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	0.42	630.957	2.04	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.12	69.183	0.57	724.436	0.61	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.12	79.433	0.90	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.11	91.201	1.47	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.11	104.713		1096.478			
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170403 minetailings

C.8 Interpolation for at finde volumen der overholder filler-grænsen

Interpolation for ubehandlede materialer

$$\text{Sand} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (47.24 - 40.13) + 40.13 = 42.15$$

$$\text{Bao} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (77.10 - 71.02) + 71.02 = 72.75$$

$$\text{WM} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (51.60 - 41.63) + 41.63 = 44.47$$

$$\text{Zink} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (76.86 - 68.18) + 68.18 = 70.65$$

$$\text{Cement} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (99.63 - 99.39) + 99.39 = 99.46$$

Interpolation for knust mineaffald

$$\text{BaoK} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (91.50 - 87.77) + 87.77 = 88.83$$

$$\text{WMK} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (99.05 - 98.07) + 98.07 = 98.35$$

$$\text{ZinkK} := \frac{(250 - 239.883)}{(275.423 - 239.883)} \cdot (85.63 - 84.80) + 84.80 = 85.04$$

C.9 Blanding af mørtelprøver

Referenceprøver	Cement [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	450,28	1350,19	225,2
# 4-6	450,2	1350,05	225,26
# 7-9	450,06	1350	225,09

Zinkgruvan 5%	Cement [g]	Zinkgruvan [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	427,5	22,51	1350,01	225,01
# 4-6	427,52	22,52	1350	225,04
# 7-9	427,53	22,53	1350,02	225,04

Zinkgruvan 10%	Cement [g]	Zinkgruvan [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	405	45,02	1350,04	225,01
# 4-6	405	45,02	1350,05	225,02
# 7-9	405,03	45,03	1350,04	225,04

Baozigou 5%	Cement [g]	Baozigou [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	427,55	22,55	1350,19	225,2
# 4-6	427,51	22,52	1350,02	224,99
# 7-9	427,52	22,51	1350,19	225,12

Baozigou 10%	Cement [g]	Baozigou [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	405,15	45,01	1350,36	225,11
# 4-6	405,01	45,01	1350,06	225,17
# 7-9	405,06	45,01	1350,02	225,15

Baozigou 10%	Cement [g]	Baozigou [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3 Ny	405,02	45,03	1350,02	225,02
# 4-6 Ny	405,01	45,02	1350,01	225,00
# 7-9 Ny	405,01	45,02	1350,01	225,03

White Mountain 5%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	427,53	22,53	1350,03	225,06
# 4-6	427,53	22,54	1350,02	225,03
# 7-9	427,52	22,54	1350,04	225,03

White Mountain 5%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
Ny WM 1-3	427,51	22,52	1350	225,01

White Mountain 10%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
#1-3	405,02	45	1350,01	225
# 4-6	405,03	45,02	1350	225,01
# 7-9	405,05	45,04	1350	225,04

C.10 Trykstyrker

Reference	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]	
#1 - 7d	4,05	16,18	4,17	64,00	41,00		38,42	24,61		Gsnit 32,68
#2 - 7d	4,05	16,29	4,05	51,00	59,00		31,51	36,45		-10% 29,41
#3 - 7d	4,04	16,23	4,11	54,00	53,00		32,85	32,25		+10% 35,95
										32,20
#4 - 14d	4,00	16,02	4,01	54,00	62,00		33,64	38,62		Gsnit 39,65
#5 - 14d	3,99	16,02	4,03	65,00	69,00		40,32	42,80		-10% 35,68
#6 - 14d	4,00	16,02	4,03	71,00	62,00		44,04	38,46		+10% 43,61
										40,05
#7 - 28d	4,01	16,01	4,08	62	66		37,95	40,39		Gsnit 42,02
#8 - 28d	4,00	16,02	4,00	69	70		43,11	43,74		-10% 37,82
#9 - 28d	4,00	16,01	4,03	69	71		42,84	44,08		+10% 46,22
										42,02

Reference	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]	
#1 - 7d Ny	4,00	16,00	4,00	66,00	58,00	560,63	41,21	36,21		Gsnit 39,19
#2 - 7d Ny	4,00	16,01	4,01	62,00	61,00	556,01	38,69	38,06		-10% 35,28
#3 - 7d Ny	4,00	16,00	4,04	63,00	68,00	570,01	38,95	42,04		+10% 43,11
										39,19
#4 - 14d Ny	4,00	16,02	4,03	76,00	74,00	571,70	47,20	45,96		Gsnit 44,99
#5 - 14d Ny	4,00	16,02	3,97	67,00	73,00	560,35	42,21	45,99		-10% 40,49
#6 - 14d Ny	4,00	16,01	4,01	69,00	73,00	562,25	43,05	45,54		+10% 49,49
										44,99
#7 - 28d Ny	4,00	16,00	4,02	77	67	566,85	47,91	41,69		Gsnit 46,72
#8 - 28d Ny	4,00	15,99	3,95	73	78	556,20	46,19	49,35		-10% 42,05
#9 - 28d Ny	4,00	15,99	4,02	71	82	570,92	44,17	51,01		+10% 51,39
										47,73

STDAFV

Usorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Sorteret

Baozigou 5%	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]
#1 - 7d	4,00	16,00	3,99	35,00	53,00		21,91	33,18	
									Gsnit 26,08
#2 - 7d	4,00	16,03	3,93	37,00	43,00		23,52	27,33	-10% 23,47
									+10% 28,69
#3 - 7d	4,00	16,01	4,01	41,00	40,00		25,58	24,96	
									25,35
#4 - 14d	4,02	16,05	4,09	54,00	57,00	565,12	33,01	34,84	Gsnit 31,01
#5 - 14d	4,00	16,01	3,91	39,00	55,00	540,70	24,94	35,17	-10% 27,91
#6 - 14d	4,01	16,01	3,96	48,00	44,00	550,04	30,33	27,80	+10% 34,11
									31,67
#7 - 28d	4,00	16,04	3,98	58,00	59,00	557,48	36,40	37,03	Gsnit 36,78
#8 - 28d	4,00	16,04	3,90	64,00	59,00	541,76	41,04	37,83	-10% 33,10
#9 - 28d	4,00	16,04	3,88	51,00	55,00	531,95	32,90	35,48	+10% 40,46
									36,69

Baozigou 10%	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]
#1 - 7d	4,00	16,00	4,00	48,00	50,00		30,00	31,25	
									Gsnit 28,56
#2 - 7d	4,00	16,00	4,01	51,00	50,00		31,82	31,20	-10% 25,70
#3 - 7d	4,00	16,00	3,98	36,00	39,00		22,59	24,48	+10% 31,41
									30,82
#4 - 14d	4,01	16,11	3,80	39,00	25,00	516,09	25,66	16,45	Gsnit 25,68
#5 - 14d	4,01	16,07	3,96	47,00	42,00	535,66	29,65	26,49	-10% 23,12
#6 - 14d	4,01	16,07	3,98	45,00	44,00	549,68	28,24	27,62	+10% 28,25
									27,00
#7 - 28d	4,01	16,02	3,89	56,00	46,00	542,17	35,99	29,56	Gsnit 32,11
#8 - 28d	4,01	16,01	3,95	49,00	52,00	543,82	31,03	32,93	-10% 28,90
#9 - 28d	4,01	16,00	4,00	49,00	52,00	556,93	30,64	32,52	+10% 35,32
									31,34

STDAFV
Usorteret 3,935
Sorteret 1,580

STDAFV
Usorteret 4,089
Sorteret 1,894

STDAFV
Usorteret 2,688
Sorteret 0,992

STDAFV
Usorteret 3,979
Sorteret 0,707

STDAFV
Usorteret 4,732
Sorteret 1,152

STDAFV
Usorteret 2,267
Sorteret 1,384

Baozigou 10%	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]
#1 - 7d NY	3,89	16,01	3,91	51,00	39,00	533,64	32,64	24,96	
#2 - 7d NY	4,00	16,01	3,90	28,00	25,00	511,26	17,93	16,01	
#3 - 7d NY	4,03	16,02	4,31	34,00	46,00	532,06	19,71	26,66	
									24,96
#4 - 14d NY	3,99	16,00	3,82	51,00	50,00	521,38	33,37	32,71	
#5 - 14d NY	4,00	16,00	4,02	57,00	58,00	555,45	35,49	36,11	
#6 - 14d NY	4,00	16,00	4,01	60,00	58,00	559,70	37,45	36,20	
									35,22
#7 - 28d NY	4,00	16,01	4,00	65,00	64,00	560,71	40,67	40,04	
#8 - 28d NY	4,00	16,00	3,99	62,00	66,00	555,60	38,89	41,40	
#9 - 28d NY	4,00	16,00	4,00	70,00	67,00	564,20	43,72	41,85	
									41,09

Gsnit 22,98
-10% 20,69
+10% 25,28

STDAFV
Usorteret 6,252
Sorteret -

Gsnit 35,22
-10% 31,70
+10% 38,75

STDAFV
Usorteret 1,818
Sorteret 1,818

Gsnit 41,09
-10% 36,98
+10% 45,20

STDAFV
Usorteret 1,656
Sorteret 1,656

White Mtn 5%	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]
#1 - 7d	3,988	15,983	3,841	51,00	18,00	517,67	33,20	11,72	
#2 - 7d	3,986	15,985	3,764	37,00	24,00	507,56	24,57	15,94	
#3 - 7d	4,00	15,94	3,93	19,00	22,00	501,83	12,08	13,99	
									=
#4 - 14d	4,00	16,01	4,01	63,00	60,00	564,54	39,30	37,43	
#5 - 14d	4,00	16,00	3,99	59,00	56,00	553,26	36,98	35,10	
#6 - 14d	4,00	16,00	3,92	48,00	40,00	527,39	30,60	25,50	
									36,50
#7 - 28d	4,00	16,01	3,99	52,00	59,00	551,95	32,55	36,93	
#8 - 28d	3,98	16,01	3,90	33,00	33,00	511,34	21,17	21,17	
#9 - 28d	4,00	16,01	3,90	56,00	50,00	533,56	35,86	32,02	
									32,28

Gsnit 18,58
-10% 16,73
+10% 20,44

STDAFV
Usorteret 8,566
Sorteret -

Gsnit 34,15
-10% 30,74
+10% 37,57

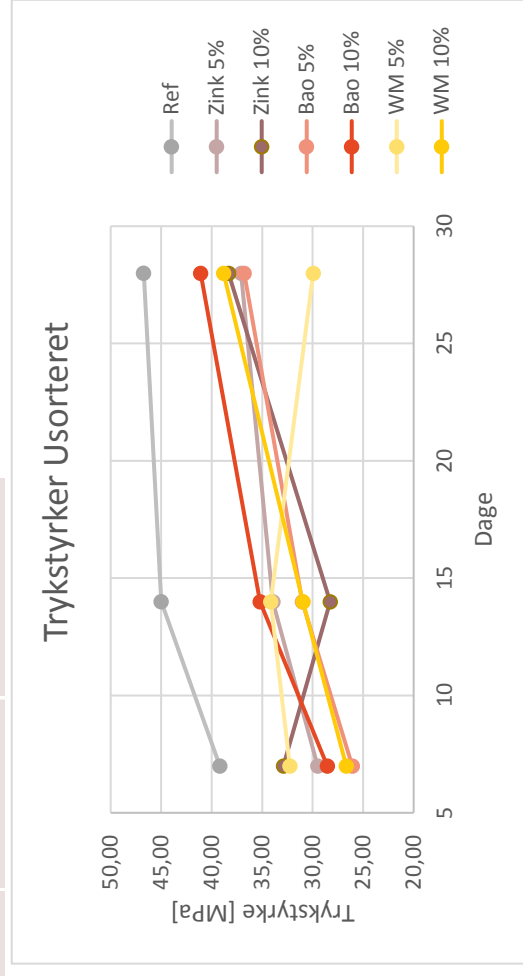
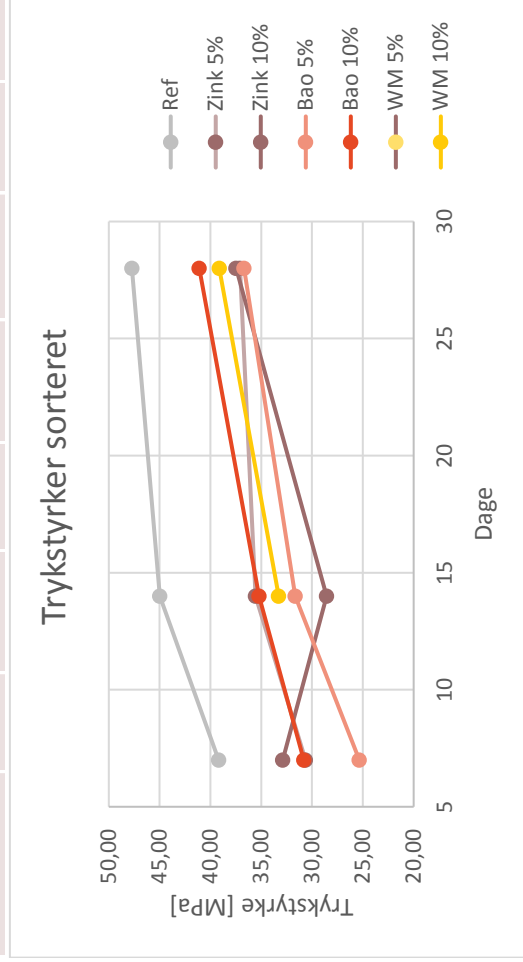
STDAFV
Usorteret 5,170
Sorteret 1,238

Gsnit 29,95
-10% 26,96
+10% 32,95

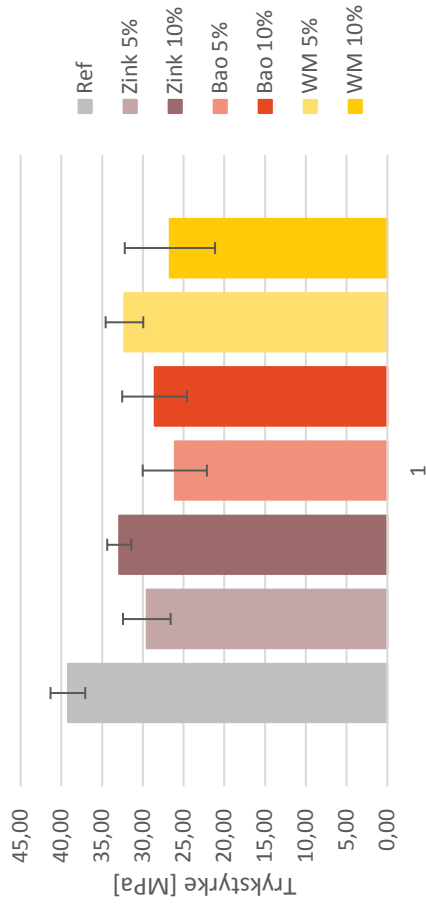
STDAFV
Usorteret 7,053
Sorteret 0,379

#7 - 28d	4,00	16,00	4,04	57,00	64,00	561,05	35,26	39,59	Gsnit	37,09	STDAFV
#8 - 28d	4,00	16,00	4,04	63,00	61,00	563,30	38,97	37,73	-10%	33,38	Usorteret 1,931
#9 - 28d	4,00	16,00	4,01	57,00	57,00	551,80	35,49	35,49	+10%	40,80	Sorteret 1,931
										37,09	

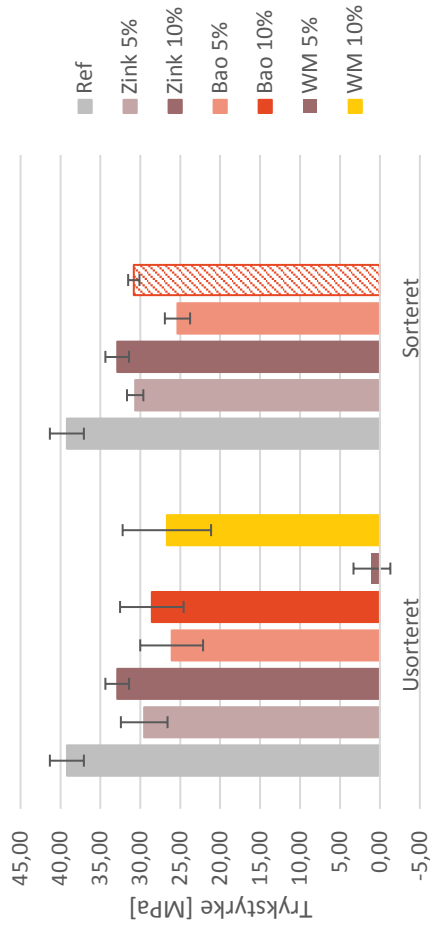
Zinkgruvan	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]
Zinkstyrke 10%									
#1 - 7d	4,07	16,04	4,05	53,00	53,00	562,99	32,73	32,73	Gsnit 32,89
#2 - 7d	4,00	16,03	4,02	56,00	55,00	562,09	34,86	34,24	-10% 29,60
#3 - 7d	4,00	16,02	4,06	52,00	50,00	562,28	32,02	30,79	+10% 36,18
									32,89
#4 - 14d	4,03	16,00	4,02	49,00	35,00	564,66	30,46	21,76	Gsnit 28,27
#5 - 14d	4,00	16,01	3,99	47,00	46,00	547,10	29,46	28,83	-10% 25,44
#6 - 14d	4,00	16,01	4,02	41,00	54,00	558,48	25,51	33,59	+10% 31,10
									28,57
#7 - 28d	4,00	16,01	3,99	66,00	58,00	550,36	41,41	36,39	Gsnit 38,33
#8 - 28d	4,00	16,01	4,00	57,00	56,00	554,99	35,63	35,01	-10% 34,50
#9 - 28d	4,00	16,01	3,98	62,00	68,00	564,10	38,90	42,67	+10% 42,17
									37,47



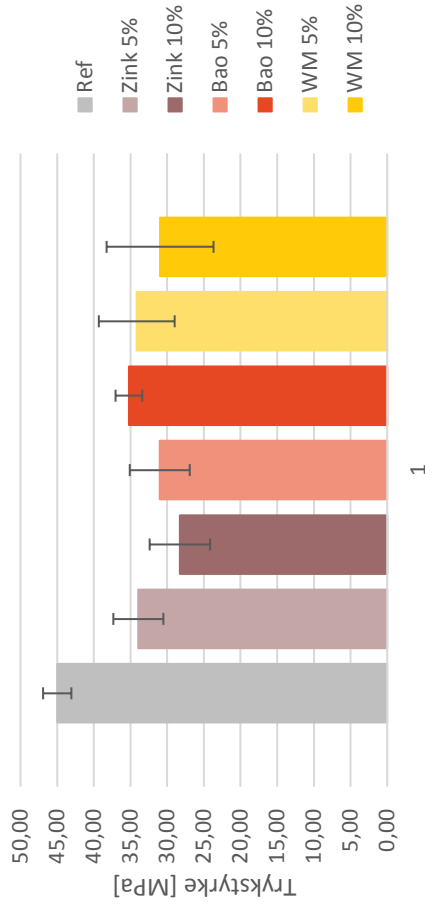
Trykstyrker 7 døgn



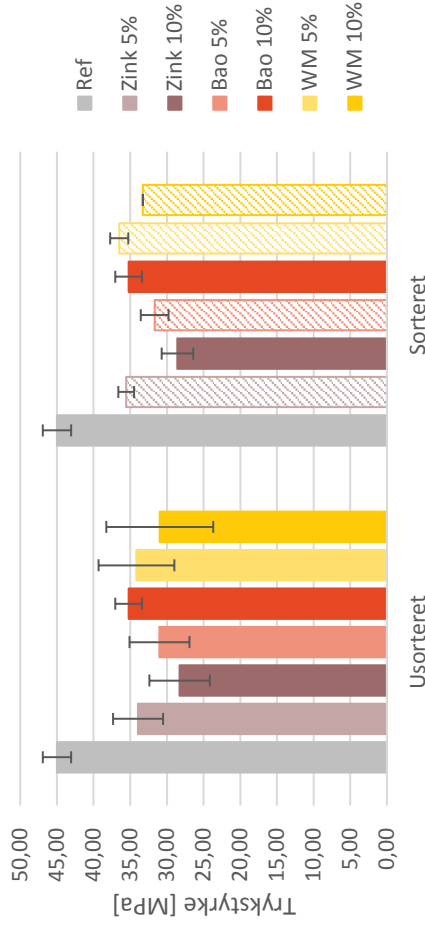
Trykstyrker 7 døgn



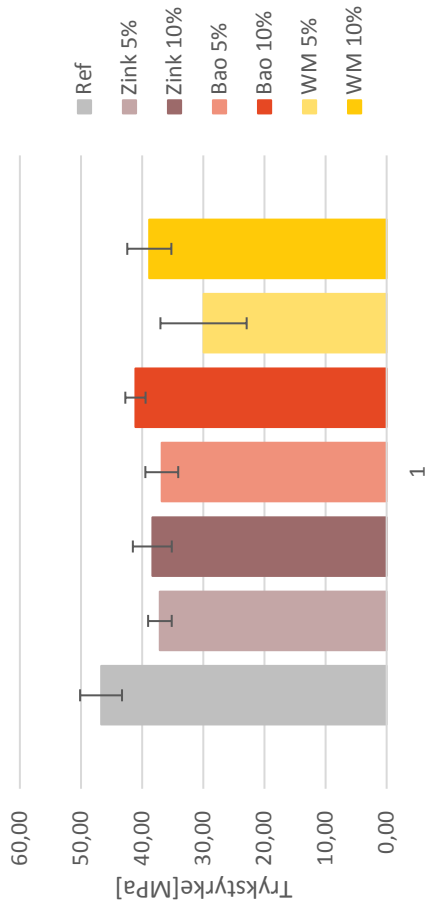
Trykstyrker 14 døgn



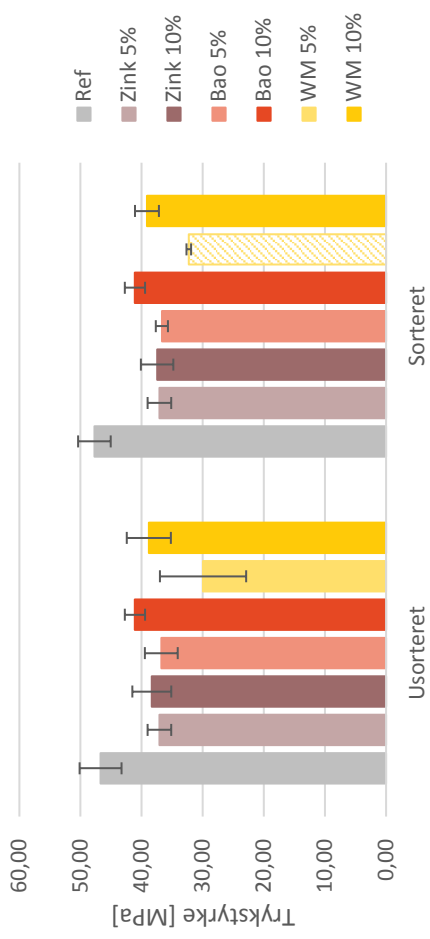
Trykstyrker 14 døgn



Trykstyrker 28 døgñ



Trykstyrker 28 døgñ



C.11 Bolomeys formel

Bolomeys formel:

$$\begin{aligned} > \frac{v}{p} &= \frac{225 \cdot g}{450 \cdot g} \\ & \frac{v}{p} = 0.5000000000 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} > \left(\frac{v}{c} \right)_{5\%} &= \frac{225 \cdot g}{427.5 \cdot g} \\ & \left(\frac{v}{c} \right)_{5\%} = 0.5263157895 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} > \left(\frac{v}{c} \right)_{10\%} &= \frac{225 \cdot g}{405 \cdot g} \\ & \left(\frac{v}{c} \right)_{10\%} = 0.5555555556 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} > F_{c,7} &:= 26 \cdot \left(\frac{1}{0.5} - 0.6 \right) \\ & F_{c,7} := 36.40000000 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} > F_{c,28} &:= 30 \cdot \left(\frac{1}{0.5} - 0.5 \right) \\ & F_{c,28} := 45.00000000 \end{aligned} \tag{5}$$

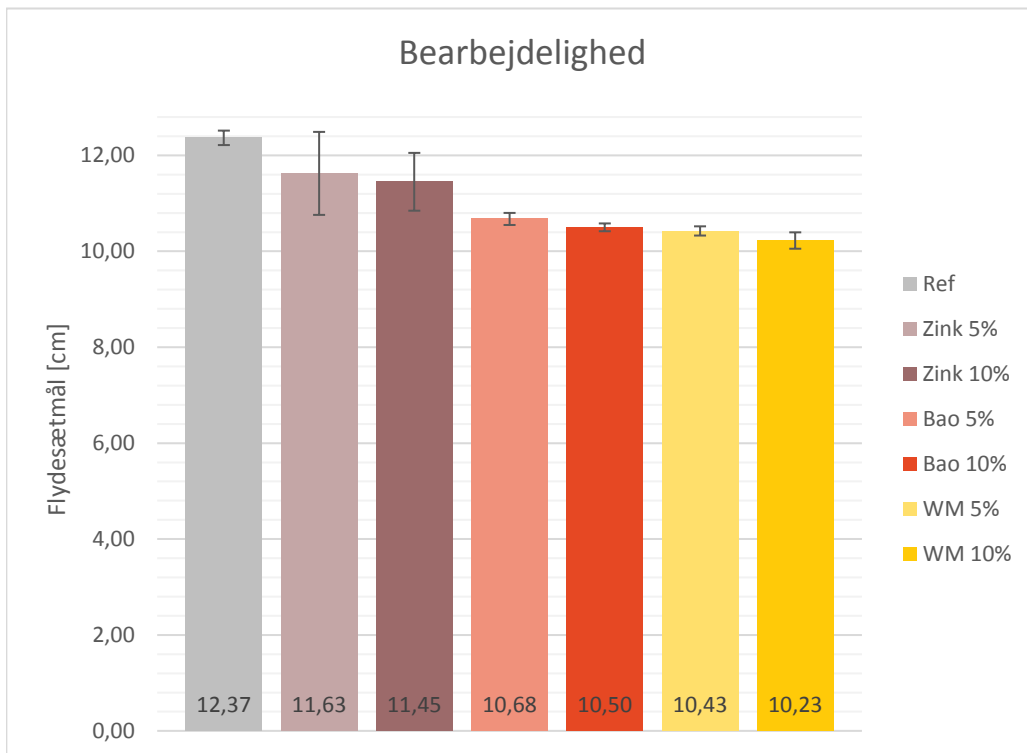
$$\begin{aligned} > F_{c,7,5\%} &:= 26 \cdot \left(\frac{1}{0.53} - 0.6 \right) \\ & F_{c,7,5\%} := 33.45660378 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} > F_{c,28,5\%} &:= 30 \cdot \left(\frac{1}{0.53} - 0.5 \right) \\ & F_{c,28,5\%} := 41.60377359 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} > F_{c,7,10\%} &:= 26 \cdot \left(\frac{1}{0.56} - 0.6 \right) \\ & F_{c,7,10\%} := 30.82857144 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} > F_{c,7,10\%} &:= 30 \cdot \left(\frac{1}{0.56} - 0.5 \right) \\ & F_{c,7,10\%} := 38.57142858 \end{aligned} \tag{9}$$

Ref2	Cement [g]	Sand [g]	Vand [g]	Lodret mål [cm]	Vandret mål [cm]	Kolonne1
Ref #1	450,04	1350,04	225,01	12,29	12,20	
Ref #2	450,04	1350,01	225	12,54	12,44	
Gennemsnit						12,37
Standartafvigels						0,15



C.13 Afbindingsforløb

Reference

Tid [min]	Pennetration [mm]
10,0	0,0
20,0	0,2
30,0	0,0
40,0	0,1
50,0	0,2
60,0	0,0
70,0	0,1
80,0	0,0
90,0	0,2
100,0	0,1
110,0	0,2
120,0	0,2
130,0	0,2
140,0	10,5
150,0	0,4
160,0	0,3
170,0	14,5
180,0	29,4
190,0	32,6
200,0	30,4
210,0	35,9
220,0	39,1
230,0	38,9
240,0	40,4
250,0	40,4
260,0	41,8
270,0	39,5
280,0	41,7
290,0	41,7
300,0	42,1
310,0	42,1
320,0	0,9
330,0	40,9
340,0	41,6
350,0	41,8
360,0	42,1
370,0	41,9
380,0	42,0
390,0	42,5
400,0	2,6
410,0	2,9
420,0	42,8
430,0	41,9
440,0	41,1
450,0	41,4
460,0	1,9
470,0	42,4

Reference 2.0

Tid [min]	Pennetration [mm]
10	0,0
20,0	0,0
30,0	0,0
40,0	0,0
50,0	0,0
60,0	0,0
70,0	0,0
80,0	0,0
90,0	0,0
100,0	0,1
110,0	0,2
120,0	0,0
130,0	3,1
140,0	2,5
150,0	9,5
160,0	21,8
170,0	27,1
180,0	16,9
190,0	29,6
200,0	32,5
210,0	34,4
220,0	35,4
230,0	36,8
240,0	37,1
250,0	37,6
260,0	36,9
270,0	37,6
280,0	39,4
290,0	39,8
300,0	40,4
310,0	40,9
320,0	40,5
330,0	39,6
340,0	40,2
350,0	39,6
360,0	40,1
370,0	39,6
380,0	39,7
390,0	40,5
400,0	40,4
410,0	40,3
420,0	40,5
430,0	40,3
440,0	39,7
450,0	40,2
460,0	39,6
470,0	39,8

480,0	2,3
490,0	41,9
500,0	42,2
510,0	43,1
520,0	42,6
530,0	42,8
540,0	42,6
550,0	42,5
560,0	42,0
570,0	42,2
580,0	42,5
590,0	42,3
600,0	42,0
610,0	42,8
620,0	43,2
630,0	41,9
640,0	41,7
650,0	41,9
660,0	42,4
670,0	42,5
680,0	2,5
690,0	42,6
700,0	42,9
710,0	43,0
720,0	41,8
730,0	42,0
740,0	42,2
750,0	2,8
760,0	42,2
770,0	42,5
780,0	41,6
790,0	42,0
800,0	42,8
810,0	41,6
820,0	42,4
830,0	2,3
840,0	41,3

Gsnit

42,3

480,0	40,0
490,0	39,5
500,0	40,5
510,0	39,5
520,0	40,0
530,0	40,6
540,0	41,2
550,0	40,8
560,0	39,9
570,0	39,7
580,0	39,7
590,0	40,0
600,0	41,2
610,0	39,6
620,0	40,2
630,0	39,7
640,0	40,1
650,0	40,2
660,0	39,9
670,0	40,2
680,0	39,9
690,0	40,1
700,0	40,2
710,0	40,1
720,0	40,3
730,0	39,9
740,0	40,0
750,0	40,2
760,0	40,1
770,0	40,6
780,0	40,4
790,0	39,8
800,0	40,3
810,0	40,0
820,0	40,6
830,0	40,5
840,0	40,3

Gsnit

40,1

Baozigou 5%

Tid [min]	Pennetration [mm]
10,0	0,0
20,0	0,0
30,0	0,0
40,0	0,0
50,0	0,0
60,0	0,0
70,0	0,0
80,0	0,0
90,0	0,0
100,0	0,0
110,0	0,0
120,0	0,0
130,0	0,0
140,0	0,0
150,0	16,9
160,0	20,3
170,0	28,8
180,0	25,4
190,0	32,7
200,0	35,2
210,0	35,2
220,0	34,7
230,0	36,7
240,0	37,7
250,0	39,3
260,0	39,5
270,0	39,8
280,0	40,8
290,0	39,8
300,0	40,8
310,0	40,6
320,0	40,9
330,0	40,8
340,0	40,4
350,0	40,5
360,0	40,8
370,0	40,7
380,0	40,8
390,0	41,0
400,0	41,0
410,0	41,2
420,0	41,2
430,0	41,2
440,0	41,1
450,0	40,9
460,0	40,7
470,0	40,6

Baozigou 10%

Tid [min]	Pennetration [mm]
10	0,1
20	0,0
30	0,1
40	0,0
50	0,0
60	0,0
70	0,0
80	0,0
90	0,0
100	0,0
110	0,0
120	0,0
130	0,0
140	0,0
150	0,0
160	0,0
170	0,1
180	25,6
190	34,3
200	34,4
210	33,6
220	37,5
230	38,7
240	39,0
250	39,4
260	39,8
270	39,8
280	40,3
290	40,7
300	40,1
310	40,2
320	40,4
330	40,6
340	41,3
350	41,4
360	41,7
370	41,3
380	41,8
390	41,2
400	41,4
410	41,2
420	41,3
430	41,1
440	41,2
450	41,5
460	41,5
470	41,7

480,0	40,8
490,0	40,8
500,0	41,0
510,0	41,0
520,0	41,2
530,0	41,2
540,0	41,1
550,0	41,1
560,0	41,2
570,0	40,9
580,0	40,7
590,0	40,8
600,0	41,0
610,0	41,1
620,0	41,1
630,0	41,2
640,0	41,1
650,0	40,9
660,0	40,8
670,0	40,8
680,0	40,9
690,0	40,9
700,0	41,2
710,0	41,4
720,0	41,4
730,0	40,9
740,0	41,0
750,0	40,6
760,0	40,9
770,0	41,2
780,0	41,1
790,0	41,1
800,0	40,8
810,0	41,0
820,0	41,0
830,0	41,3
840,0	41,1
850,0	40,8
860,0	41,0

Gsnit

41,0

480	41,6
490	41,6
500	41,7
510	41,3
520	41,6
530	41,6
540	41,0
550	41,7
560	41,4
570	41,6
580	41,8
590	41,9
600	41,7
610	41,7
620	41,5
630	41,5
640	41,4
650	41,8
660	41,8
670	42,4
680	41,6
690	42,1
700	41,5
710	41,6
720	41,5
730	41,7
740	41,9
750	42,0
760	42,0
770	42,0
780	41,7
790	41,9
800	42,0
810	42,0
820	42,0
830	42,1
840	41,6
850	41,8

Gsnit

41,7

Zinkgruvan 5%

Tid [min]	Pennetration [mm]
10	0,0
20	0,0
30	0,0
40	0,0
50	0,0
60	0,0
70	0,0
80	0,0
90	0,0
100	0,0
110	0,0
120	0,1
130	0,9
140	0,4
150	0,6
160	11,8
170	24,8
180	30,2
190	33,7
200	33,3
210	35,5
220	30,0
230	36,2
240	36,4
250	37,8
260	37,6
270	38,6
280	37,9
290	40,2
300	40,1
310	40,1
320	40,1
330	40,1
340	39,9
350	39,8
360	39,5
370	39,6
380	39,8
390	39,9
400	40,1
410	40,1
420	40,7
430	40,2
440	40,2
450	39,9
460	39,9
470	39,5

Zinkgruvan 10%

Tid [min]	Pennetration [mm]
10	0,0
20	0,0
30	0,0
40	0,0
50	0,0
60	0,0
70	0,0
80	0,0
90	0,0
100	0,0
110	0,0
120	0,0
130	0,0
140	0,0
150	0,3
160	0,0
170	19,4
180	12,9
190	10,0
200	7,4
210	17,9
220	33,0
230	26,1
240	32,9
250	33,5
260	35,0
270	36,6
280	36,9
290	38,6
300	38,4
310	40,5
320	41,9
330	40,7
340	40,3
350	39,9
360	40,2
370	40,7
380	40,4
390	40,7
400	41,0
410	41,0
420	40,6
430	40,6
440	41,0
450	41,0
460	40,7
470	40,7

480	39,8
490	39,9
500	39,8
510	39,8
520	40,3
530	40,4
540	40,2
550	40,3
560	40,2
570	40,0
580	40,0
590	39,9
600	40,5
610	40,3
620	40,3
630	40,3
640	40,2
650	40,3
660	39,9
670	39,9
680	40,3
690	40,3
700	40,2
720	40,3
730	40,5
740	40,2
750	40,0
770	40,2
780	40,4
790	40,4
810	40,3
830	40,5
840	40,5
850	40,2
860	39,9

Gsnit

40,2

480	40,8
490	40,9
500	40,7
510	40,8
520	41,1
530	40,6
540	40,9
550	41,2
560	41,2
570	40,9
580	40,8
590	40,9
600	41,0
610	41,0
620	41,5
630	41,8
640	41,3
650	41,1
660	40,7
670	40,8
680	41,3
690	40,9
700	41,2
710	41,0
720	41,3
730	41,1
740	40,9
750	41,1
760	41,2
770	41,1
780	41,5
790	41,3
800	40,9
810	41,1
820	41,2
830	41,4
840	41,5
850	41,1
860	41,1

Gsnit

41,0

White Mountain 5%

Tid [min]	Pennetration [mm]
10	0
20	0,0
30	0,0
40	0,0
50	0,0
60	0,0
70	0,0
80	0,0
90	0,0
100	0,0
110	0,0
120	0,0
130	0,0
140	0,0
150	0,0
160	0,0
170	10,7
180	30,4
190	32,4
200	25,0
210	32,6
220	36,2
230	36,6
240	36,4
250	37,6
260	38,7
270	39,5
280	40,8
290	40,7
300	40,8
310	41,5
320	40,6
330	41,0
340	41,3
350	40,2
360	40,3
370	40,0
380	40,5
390	40,8
400	41,2
410	41,7
420	41,1
430	41,2
440	41,7
450	42,2
460	41,9
470	40,6

White Mountain 10%

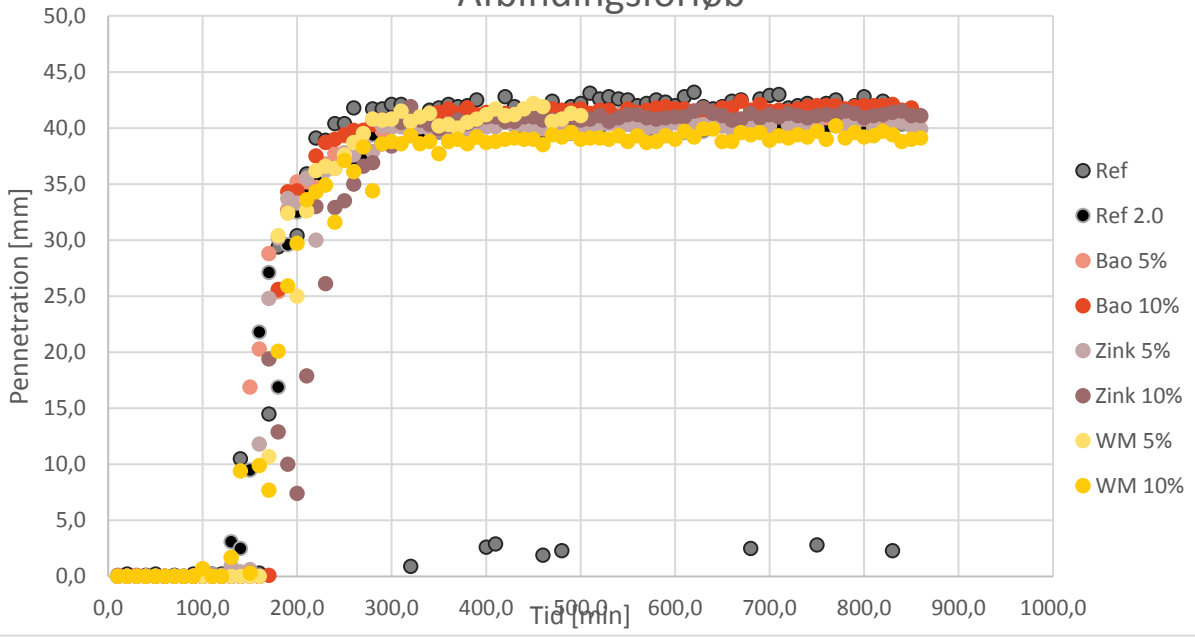
Tid [min]	Pennetration [mm]
10	0,0
20	0,0
30	0,0
40	0,0
50	0,0
60	0,0
70	0,0
80	0,0
90	0,0
100	0,7
110	0,0
120	0,0
130	1,7
140	9,4
150	0,3
160	9,9
170	7,7
180	20,1
190	25,9
200	29,7
210	33,6
220	34,3
230	34,9
240	31,6
250	37,1
260	36,1
270	38,3
280	34,4
290	38,6
300	38,8
310	38,6
320	39,3
330	38,6
340	38,8
350	37,7
360	38,8
370	39,0
380	38,6
390	39,2
400	38,7
410	38,8
420	39,0
430	39,1
440	39,0
450	39,0
460	38,5
470	39,4

480	40,8
490	41,3
500	41,1
Gsnit	41,4

480	39,2
490	39,6
500	39,0
510	39,1
520	39,1
530	39,0
540	39,3
550	38,8
560	39,3
570	38,7
580	38,8
590	39,3
600	39,0
610	39,7
620	39,2
630	39,9
640	39,9
650	38,8
660	38,8
670	39,6
680	39,4
690	39,6
700	38,9
710	39,3
720	39,1
730	39,4
740	39,2
750	39,7
760	39,0
770	40,2
780	39,1
790	39,6
800	39,2
810	39,3
820	39,7
830	39,4
840	38,8
850	39,0
860	39,1

Gsnit 39,2

Afbindingsforløb



C.14 Porøsitet og densitet

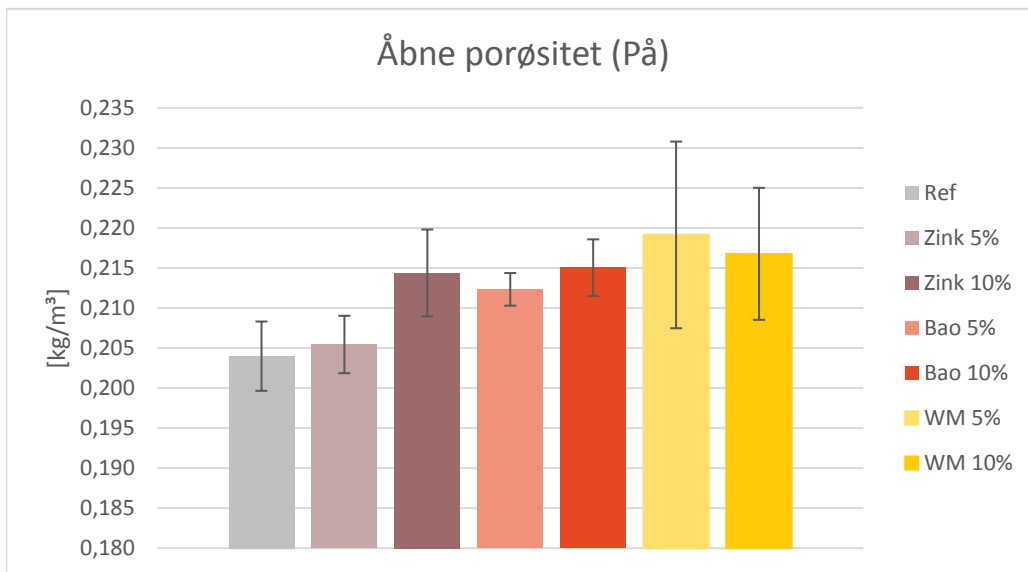
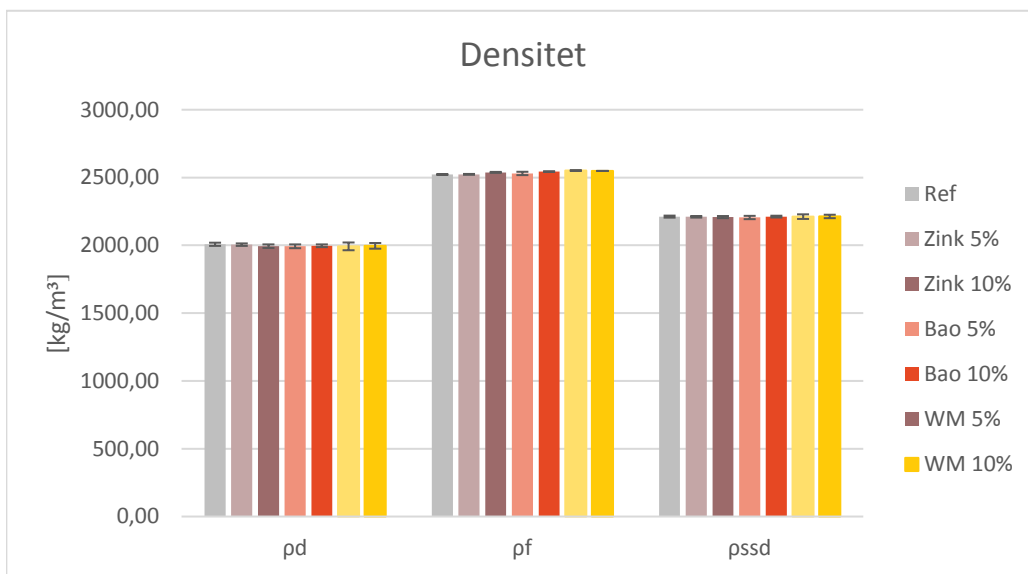
	Vand [g]	Sand [g]	Cement [g]	Tailing [g]
Ref	225,03	1350,04	450,04	
Zink 5%	225,10	1350,01	427,50	22,52
Zink 10%	224,99	1350,03	405,03	45,02
Baozigou 5%	225,06	1350,02	427,50	22,53
Baozigou 10%	225,04	1350,08	405,03	45,02
WM 5%	225,01	1350,05	427,51	22,52
WM 10%	225,02	1350,02	405,04	45,01

Rumtemp	24,00 °C	Vandtemp	21,00°C	Vanddensitet ρ_w	1000 kg/m ³
Kontrollod:					
Før:	999,89 kg				
Efter:	999,89 kg				
Prøvelegeme nr:	ref 1	ref 2	ref 3	Standart-afvigelse	
m_{105}	kg	0,493	0,512	0,499	Gennem-snit
m_{ssd}	kg	0,542	0,563	0,552	
m_{sw}	kg	0,297	0,309	0,301	
V	m ³	0,000	0,000	0,000	0,00
$V_{på}$	m ³ /m ³	0,000	0,000	0,000	0,00
$P_{\dot{a}}$	kg/m ³	0,202	0,201	0,209	0,204
ρ_d	kg/m ³	2013,3	2015,6	1994,2	2007,71
ρ_f	kg/m ³	2522,1	2523,4	2521,0	2522,18
ρ_{ssd}	kg/m ³	2215,1	2216,8	2203,2	2211,69
u_{ssd}	kg/kg	0,100	0,100	0,105	0,10
					0,00
Prøvelegeme nr:	Bao5 1	Bao5 2	Bao5 3	Standart-afvigelse	
m_{105}	kg	0,483	0,494	0,495	Gennem-snit
m_{ssd}	kg	0,536	0,545	0,548	
m_{sw}	kg	0,291	0,299	0,300	
V	m ³	0,000	0,000	0,000	0,00
$V_{på}$	m ³ /m ³	0,000	0,000	0,000	0,00
$P_{\dot{a}}$	kg/m ³	0,214	0,210	0,213	0,212
ρ_d	kg/m ³	1977,0	2003,4	1998,1	1992,83
ρ_f	kg/m ³	2515,8	2536,4	2537,8	2530,00
ρ_{ssd}	kg/m ³	2191,2	2213,5	2210,8	2205,15
u_{ssd}	kg/kg	0,108	0,105	0,106	0,11
					0,00
Prøvelegeme nr:	Bao10 1	Bao10 2	Bao10 3	Standart-afvigelse	
m_{105}	kg	0,483	0,485	0,505	Gennem-snit
m_{ssd}	kg	0,537	0,537	0,558	
m_{sw}	kg	0,293	0,295	0,306	
V	m ³	0,000	0,000	0,000	0,00
$V_{på}$	m ³ /m ³	0,000	0,000	0,000	0,00
$P_{\dot{a}}$	kg/m ³	0,219	0,214	0,212	0,215
ρ_d	kg/m ³	1985,7	1998,7	2005,5	1996,62
					10,08

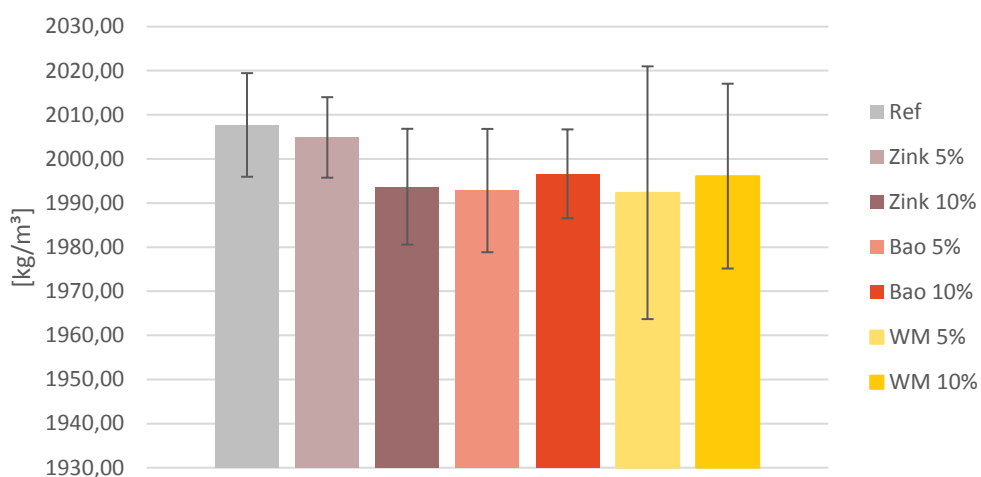
ρ_f	kg/m ³	2542,4	2542,8	2545,4	2543,53	1,65
ρ_{ssd}	kg/m ³	2204,6	2212,7	2217,6	2211,64	6,54
u_{ssd}	kg/kg	0,110	0,107	0,106	0,11	0,00
Prøvelegement nr:		Z5 1	Z5 2	Z5 3		
m_{105}	kg	0,489	0,504	0,507	Gennem-snit	Standart-afvigelse
m_{ssd}	kg	0,541	0,555	0,558		
m_{sw}	kg	0,295	0,304	0,306		
V	m ³	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$V_{på}$	m ³ /m ³	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$P_{\dot{a}}$	kg/m ³	0,209	0,202	0,204	0,205	0,004
ρ_d	kg/m ³	1994,3	2010,2	2010,0	2004,87	9,13
ρ_f	kg/m ³	2522,6	2520,5	2526,7	2523,24	3,19
ρ_{ssd}	kg/m ³	2203,7	2212,7	2214,5	2210,31	5,77
u_{ssd}	kg/kg	0,105	0,101	0,102	0,10	0,00
Prøvelegement nr:		Z10 1	Z10 2	Z10 3		
m_{105}	kg	0,478	0,498	0,481	Gennem-snit	Standart-afvigelse
m_{ssd}	kg	0,531	0,551	0,532		
m_{sw}	kg	0,290	0,302	0,291		
V	m ³	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$V_{på}$	m ³ /m ³	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$P_{\dot{a}}$	kg/m ³	0,2	0,2	0,2	0,214	0,005
ρ_d	kg/m ³	1978,7	2003,2	1999,2	1993,70	13,13
ρ_f	kg/m ³	2538,9	2540,5	2533,9	2537,76	3,46
ρ_{ssd}	kg/m ³	2199,4	2214,7	2210,2	2208,09	7,88
u_{ssd}	kg/kg	0,112	0,106	0,106	0,11	0,00

Rumtemp	26,00 °C	Vandtemp	23,20 °C	Vanddensitet ρ_w	1000 kg/m ³	
Kontrollod:						
Før:	999,89 kg					
Efter:	999,89 kg					
Prøvelegement nr:		WM5 1	WM5 2	WM5 3		
m_{105}	kg	0,476	0,480	0,503	Gennem-snit	Standart-afvigelse
m_{ssd}	kg	0,532	0,531	0,556		
m_{sw}	kg	0,289	0,292	0,306		
V	m ³	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$V_{på}$	m ³ /m ³	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$P_{\dot{a}}$	kg/m ³	0,232	0,215	0,210	0,219	0,012
ρ_d	kg/m ³	1959,6	2004,4	2013,0	1992,34	28,65
ρ_f	kg/m ³	2552,6	2553,0	2548,7	2551,44	2,41
ρ_{ssd}	kg/m ³	2191,9	2219,3	2223,2	2211,46	17,02
u_{ssd}	kg/kg	0,119	0,107	0,104	0,11	0,01

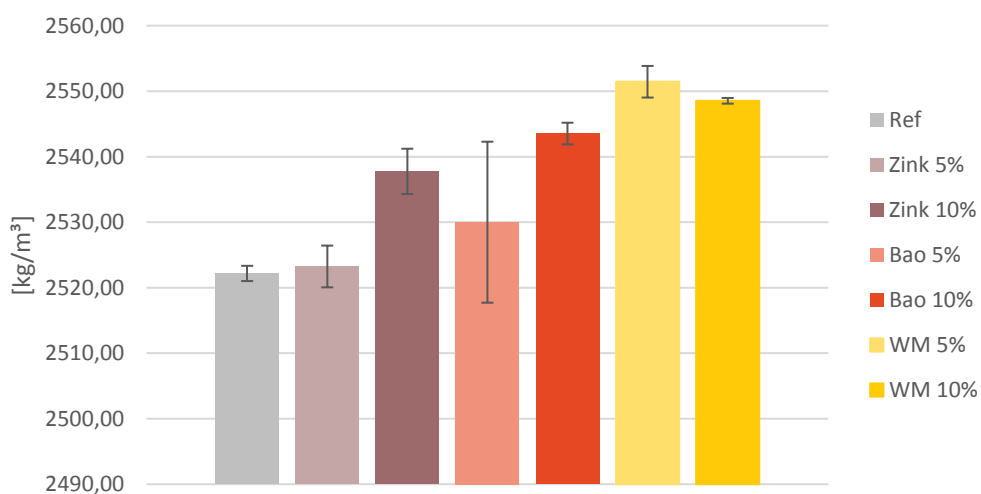
Prøvelegement nr:		WM10 1	WM10 2	WM10 3	Gennem-snit	Standart-afvigelse
m_{105}	kg	0,504	0,478	0,511		
m_{ssd}	kg	0,557	0,533	0,564		
m_{sw}	kg	0,306	0,290	0,310		
V	m^3	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$V_{p\grave{a}}$	m^3/m^3	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
$P_{\grave{a}}$	kg/m^3	0,213	0,226	0,211	0,217	0,008
ρ_d	kg/m^3	2006,1	1972,0	2010,2	1996,10	20,95
ρ_f	kg/m^3	2548,0	2548,7	2548,9	2548,53	0,43
ρ_{ssd}	kg/m^3	2218,8	2198,3	2221,5	2212,87	12,71
u_{ssd}	kg/kg	0,106	0,115	0,105	0,11	0,01



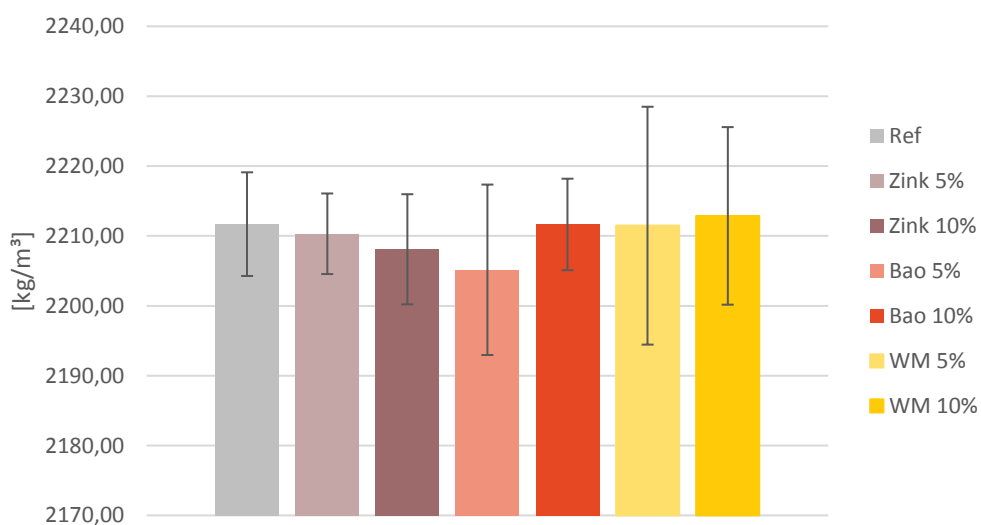
Tørdensitet (ρ_d)



Faststoffdensitet (ρ_f)



Densitet i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (ρ_{ssd})



C.15 Farveanalyse

Baozigou 10%	Cement [g]	Baozigou [g]	Sand [g]	Vand [g]
Bao	405,17	45,01	1350,06	225,05

White Mountain 10%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
WM	405,24	45,02	1350,12	225

C.16 Blanding af mørtelprøver med knust mineaffald

Zinkgruvan 5%	Cement [g]	Zinkgruvan [g]	Sand [g]	Vand [g]
Z 1-3	427,50	22,50	1350,00	225,00
Z 4-6	427,50	22,51	1350,05	225,01
Z 7-9	427,52	22,50	1350,04	225,00

Zinkgruvan 10%	Cement [g]	Zinkgruvan [g]	Sand [g]	Vand [g]
Z 1-3	405,01	45,00	1350,02	225,00
Z 4-6	405,01	45,00	1350,03	225,01
Z 7-9	405,02	45,02	1350,00	225,01

Baozigou 5%	Cement [g]	Baozigou [g]	Sand [g]	Vand [g]
Bao 1-3	427,53	22,50	1350,01	225,02
Bao 4-6	427,50	22,50	1350,04	225,02
Bao 7-9	427,52	22,50	1350,03	225,01

Baozigou 10%	Cement [g]	Baozigou [g]	Sand [g]	Vand [g]
Bao 1-3	405,00	45,01	1350,01	225,00
Bao 4-6	405,00	45,03	1350,01	225,02
Bao 7-9	405,02	45,00	1350,06	225,02

White Mountain 5%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
WM 1-3	427,53	22,51	1350,05	225,00
WM 4-6	427,50	22,52	1350,03	225,01
WM 7-9	427,52	22,50	1350,05	225,02

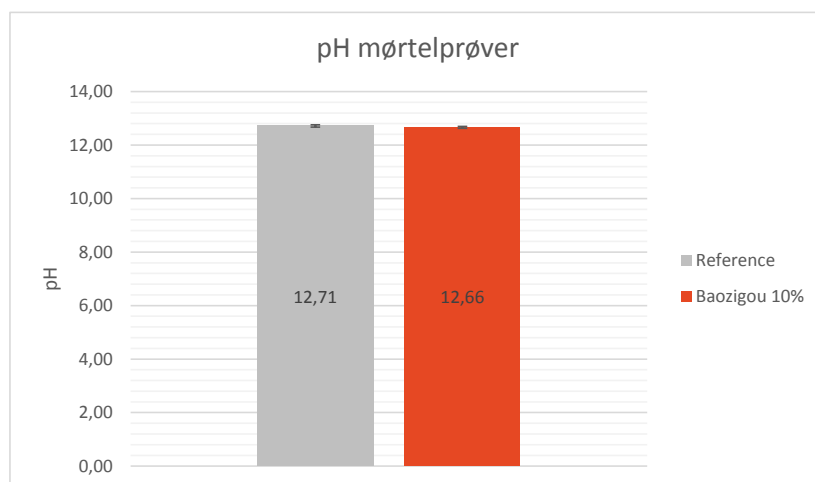
White Mountain 5%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
Ny WM 4-6	427,53	22,5	1350,01	225,00

White Mountain 10%	Cement [g]	White Mountain [g]	Sand [g]	Vand [g]
WM 1-3	405,02	45,01	1350,03	225,01
WM 4-6	405,01	45,01	1350,00	225,00
WM 7-9	405,03	45,03	1350,01	225,00

C.17 pH for mineaffaldet

pH Ref	Efter prøve	pH
A	5,01	12,68
B	5,01	12,70
C	5,00	12,79
D	5,00	12,70
E	5,01	12,70
Gennemsnit		12,71
Standartafvigelse		0,04

pH Bao 10%	Efter prøve	pH
A	5,00	12,69
B	5,01	12,68
C	5,00	12,60
D	5,00	12,67
E	5,00	12,67
Gennemsnit		12,66
Standartafvigelse		0,04



C.18 Kornkurver for knust mineaffald ved laserdiffraktion



Result Analysis Report

Sample Name:
White mpointain knust 30 sec a

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured:
Thursday, May 18, 2017 2:07:14 PM

Sample Source & type:
Paris

Measured by:
malm

Analysed:
Thursday, May 18, 2017 2:07:16 PM

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Measurement

Particle Name:
Mine tailing Tør

Accessory Name:
Scirocco 2000

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.500

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
10.81 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
1.172 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0040 %Vol

Span :
16.427

Uniformity:
3.57

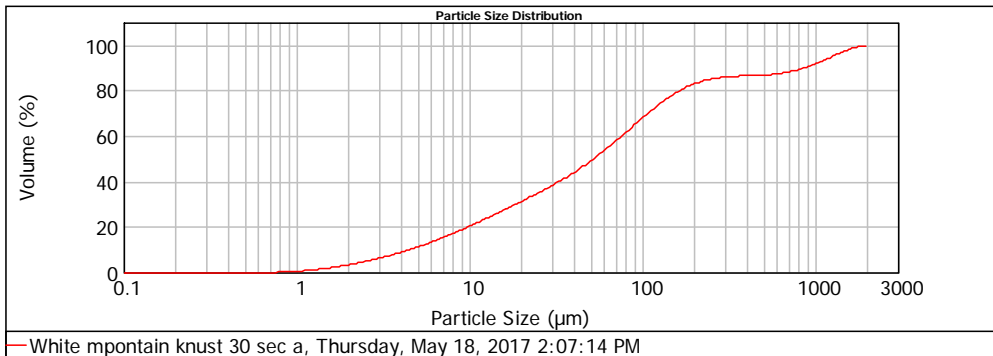
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.479 m²/g

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

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

d(0.1): 4.519 um d(0.5): 52.433 um d(0.9): 865.823 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	0.46	11.482	2.14	120.226	3.41	1258.925	1.98
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.57	13.183	2.17	138.038	2.94	1445.440	1.66
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.66	15.136	2.21	158.489	2.39	1659.587	1.02
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.75	17.378	2.25	181.970	1.82	1905.461	0.25
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.84	19.953	2.30	208.930	1.28	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.93	22.909	2.37	239.883	0.82	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.02	26.303	2.48	275.423	0.49	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.13	30.200	2.62	316.228	0.27	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.25	34.674	2.80	363.078	0.17	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.37	39.811	3.02	416.869	0.10	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.50	45.709	3.27	478.630	0.30	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.62	52.481	3.53	549.541	0.52	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.74	60.256	3.76	630.957	0.83	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	1.85	69.183	3.93	724.436	1.19	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.08	7.586	1.95	79.433	4.01	831.764	1.57	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.22	8.710	2.02	91.201	3.96	954.993	1.88	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.36	10.000	2.09	104.713	3.76	1096.478	2.05		
0.105	0.00	1.096		11.482		120.226		1258.925			

Operator notes:



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
baozigou knust 30 sec-Averaged Result

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured:
Thursday, May 18, 2017 1:52:53 PM

Sample Source & type:
Paris

Measured by:
malm

Analysed:
Thursday, May 18, 2017 1:52:55 PM

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Edited

Particle Name:
Mine tailing Tør

Accessory Name:
Scirocco 2000

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.500

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
6.10 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
1.675 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0018 %Vol

Span :
4.815

Uniformity:
1.53

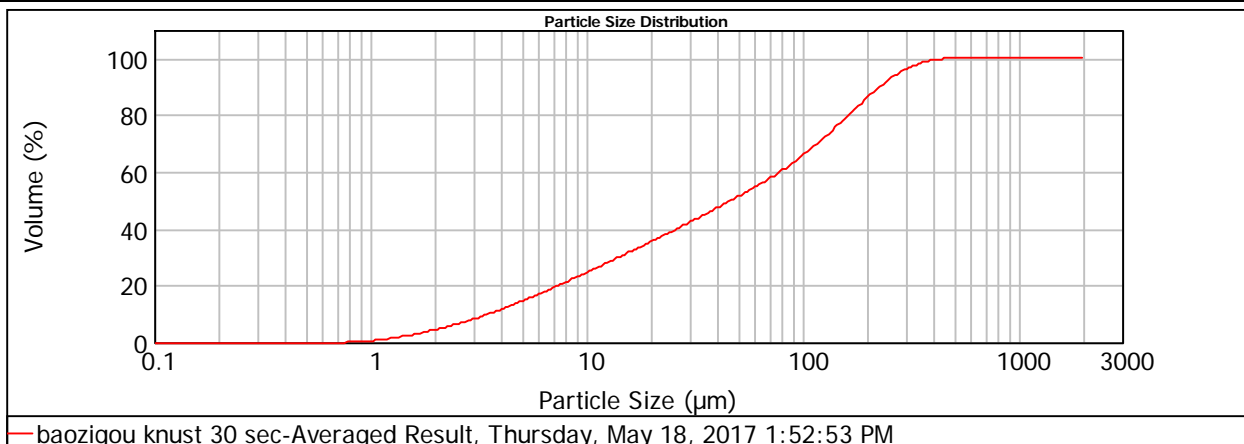
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.577 m²/g

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

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

d(0.1): 3.514 um d(0.5): 46.395 um d(0.9): 226.904 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	0.62	11.482	2.15	120.226	4.12	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.76	13.183	2.17	138.038	4.31	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.89	15.136	2.19	158.489	4.33	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	1.01	17.378	2.23	181.970	4.14	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	1.12	19.953	2.27	208.930	3.74	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.24	22.909	2.32	239.883	3.15	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.36	26.303	2.36	275.423	2.44	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.48	30.200	2.40	316.228	1.66	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.59	34.674	2.42	363.078	0.99	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.71	39.811	2.45	416.869	0.27	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.82	45.709	2.49	478.630	0.05	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.91	52.481	2.56	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.99	60.256	2.69	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	2.06	69.183	2.88	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	2.10	79.433	3.15	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.32	8.710	2.12	91.201	3.48	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.46	10.000	2.14	104.713	3.82	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.46	11.482		120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170518 minetailings



MASTERSIZER



Result Analysis Report

Sample Name:
white mountain knust 30 sec-Averaged

Sample Source & type:
Paris

Sample bulk lot ref:
123-ABC

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured by:
malm

Result Source:
Averaged

Measured:
Thursday, May 18, 2017 2:11:07 PM

Analysed:
Thursday, May 18, 2017 2:11:09 PM

Particle Name:
Mine tailing Tør

Accessory Name:
Scirocco 2000

Analysis model:
General purpose

Sensitivity:
Enhanced

Particle RI:
1.500

Absorption:
0

Size range:
0.020 to 2000.000 um

Obscuration:
7.75 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
1.095 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0025 %Vol

Span :
3.536

Uniformity:
1.14

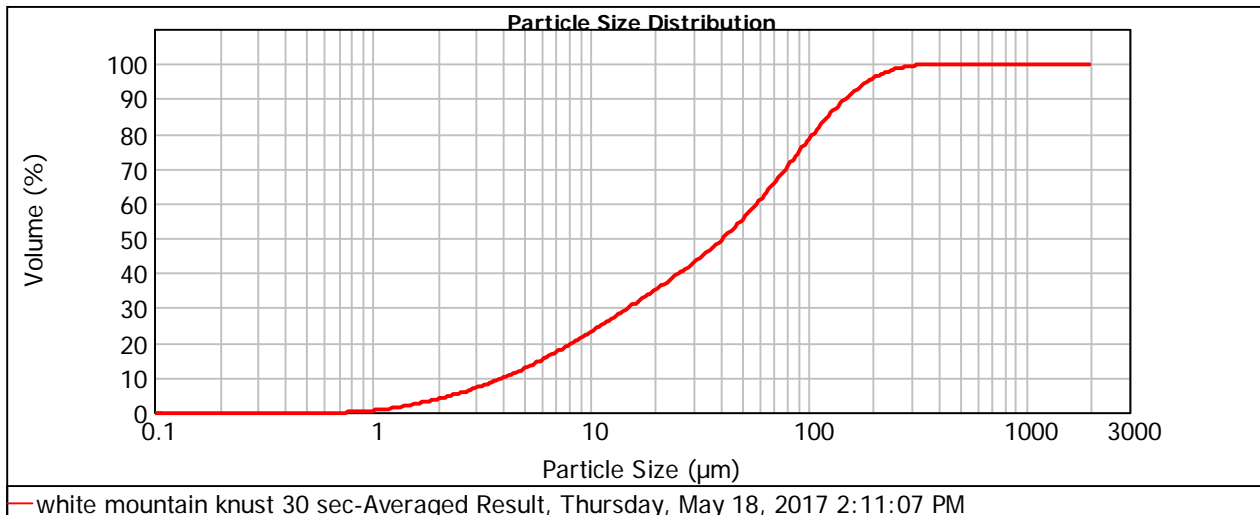
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.54 m²/g

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

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

d(0.1): 4.043 um d(0.5): 40.924 um d(0.9): 148.753 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	0.52	11.482	2.40	120.226	4.08	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.64	13.183	2.44	138.038	3.51	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.74	15.136	2.48	158.489	2.85	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.84	17.378	2.52	181.970	2.16	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.94	19.953	2.58	208.930	1.53	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	1.05	22.909	2.66	239.883	0.98	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	1.16	26.303	2.79	275.423	0.56	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	1.28	30.200	2.97	316.228	0.28	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	1.41	34.674	3.20	363.078	0.09	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	1.55	39.811	3.49	416.869	0.02	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	1.69	45.709	3.81	478.630	0.00	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	1.83	52.481	4.15	549.541	0.00	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	1.97	60.256	4.46	630.957	0.00	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	2.09	69.183	4.68	724.436	0.00	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.09	7.586	2.19	79.433	4.79	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.24	8.710	2.28	91.201	4.73	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.41	10.000	2.35	104.713	4.49	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.41	11.482		120.226		1258.925	0.00		

Operator notes: Average of 3 measurements from 170518 minetailings

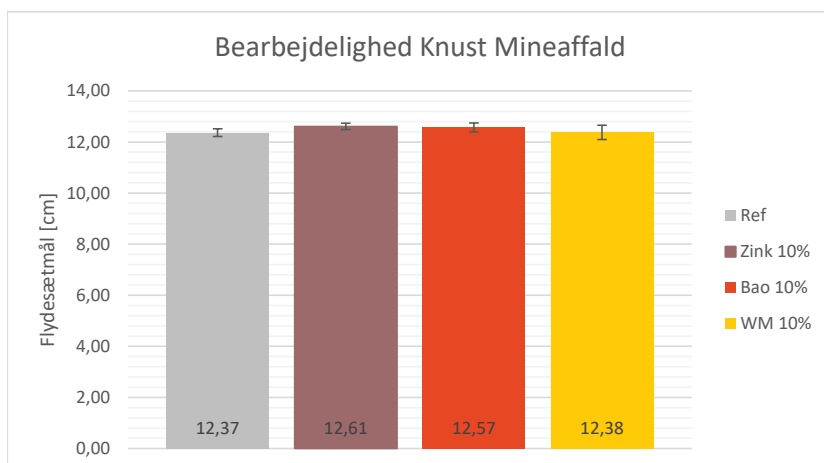
C.19 Bearbejdigheden for mørtelprøver med knust mineaffald

Ref2	Cement [g]	Sand [g]	Vand [g]	Lodret mål [cm]	Vandret mål [cm]	Kolonne1
Ref #1	450,04	1350,04	225,01	12,29	12,20	
Ref #2	450,04	1350,01	225	12,54	12,44	
Gennemsnit						12,37
Standartafvigels						0,15

Zink 10%	Cement [g]	Sand [g]	Vand [g]	Zinkgruvan [g]	Lodret mål [cm]	Vandret mål [cm]	Kolonne1
#1	405,02	1350	225	45,04	12,73	12,63	
#2	405,01	1350,01	225,03	45,02	12,64	12,44	
Gennemsnit							12,61
Standartafvigels							0,12

Bao 10%	Cement [g]	Sand [g]	Vand [g]	Baozigou [g]	Lodret mål [cm]	Vandret mål [cm]	Kolonne1
#1	405,01	1350,01	225	45,02	12,76	12,68	
#2	405,02	1350,05	225,01	45,01	12,44	12,40	
Gennemsnit							12,57
Standartafvigels							0,18

WM 10%	Cement [g]	Sand [g]	Vand [g]	WM [g]	Lodret mål [cm]	Vandret mål [cm]	Kolonne1
#1	405,02	1350,01	225,01	45,02	12,65	12,51	
#2	405,01	1350,04	225,02	45,02	12,00	12,34	
Gennemsnit							12,38
Standartafvigels							0,28

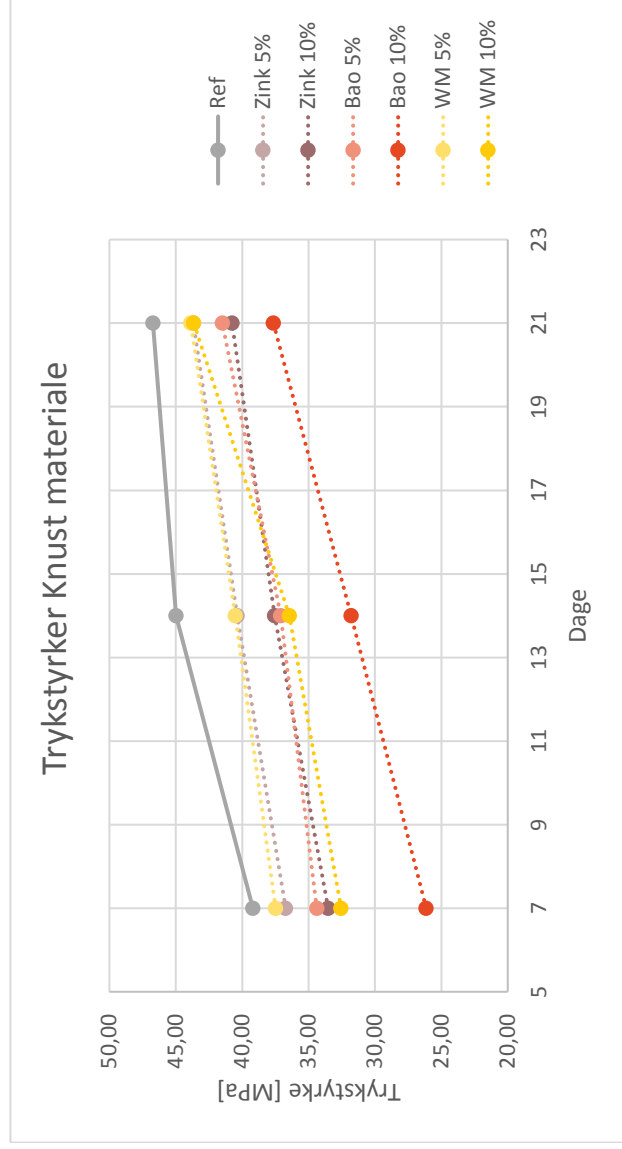


#1 - 7d	4,00	16,01	3,94	45,00	40,00	552,29	28,52	25,35	Gsnit	26,14	STDAFV
#2 - 7d	4,00	16,01	3,97	42,00	42,00	548,39	26,47	26,47	-10%	23,53	Usorteret 1,359
#3 - 7d	4,00	16,01	3,95	40,00	39,00	544,92	25,33	24,70	+10%	28,75	Sorteret 1,359
								26,14			
#4 - 14d	4,00	16,01	3,96	55,00	50,00	547,84	34,68	31,53	Gsnit	31,79	STDAFV
#5 - 14d	4,00	15,99	4,05	50,00	54,00	563,54	30,88	33,35	-10%	28,61	Usorteret 1,857
#6 - 14d	3,99	16,00	4,02	48,00	49,00	550,99	29,85	30,47	+10%	34,97	Sorteret 1,857
								31,79			
#7 - 28d	4,00	15,99	4,02	55,00	62,00	560,79	34,20	38,55	Gsnit	37,65	STDAFV
#8 - 28d	4,00	16,00	3,99	61,00	65,00	555,61	38,21	40,72	-10%	33,88	Usorteret 2,456
#9 - 28d	3,99	15,99	3,98	56,00	62,00	559,44	35,22	38,99	+10%	41,41	Sorteret 2,456
								37,65			

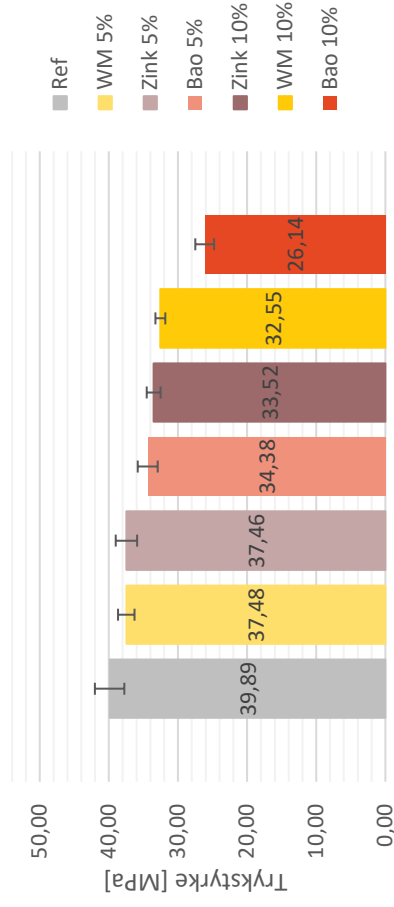
White Mtn 5%	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]		
#1 - 7d	3,999	15,996	3,987	63,00	58,00	568,53	39,50	36,37	Gsnit	37,48	STDAFV
#2 - 7d	3,998	15,996	4,037	59,00	61,00	572,88	36,53	37,77	-10%	33,73	Usorteret 1,192
#3 - 7d	4,00	16,00	4,01	61,00	59,00	568,15	37,99	36,74	+10%	41,23	Sorteret 1,192
								37,48			
#4 - 14d	4,00	16,00	4,00	66,00	61,00	567,83	41,24	38,12	Gsnit	40,52	STDAFV
#5 - 14d	4,00	16,00	3,99	66,00	66,00	566,50	41,36	41,36	-10%	36,47	Usorteret 1,603
#6 - 14d									+10%	44,57	Sorteret 1,603
								40,52			
#7 - 28d	3,98	15,99	3,99	66,00	69,00	565,29	41,38	43,26	Gsnit	43,87	STDAFV
#8 - 28d	3,98	15,99	3,94	67,00	71,00	560,02	42,53	45,07	-10%	39,48	Usorteret 1,835
#9 - 28d	3,99	15,99	3,98	71,00	74,00	568,90	44,55	46,43	+10%	48,26	Sorteret 1,835
								43,87			

White Mtn 5% NY	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]		
#4 - 14d NY	4,00	16,00	4,01	61,00	61,00	562,72	38,00	38,00	Gsnit	37,00	STDAFV
#5 - 14d NY	4,00	16,00	4,03	54,00	60,00	554,20	33,47	37,18	-10%	33,30	Usorteret 1,854

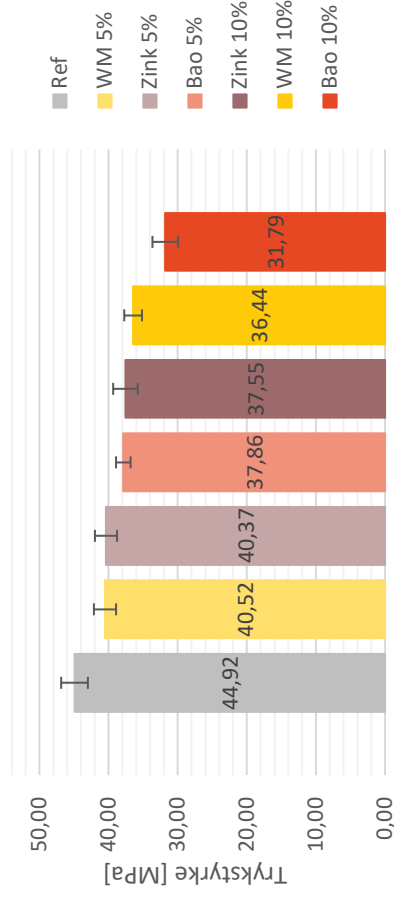
Zinkgruvan	Højde [cm]	Længde [cm]	Bredde [cm]	Styrke 1 [kN]	Styrke 2 [kN]	Vægt [g]	Trykstyrke 1 [MPa]	Trykstyrke 2 [MPa]	Gennemsnit sorteret [MPa]
10%									
#1 - 7d	4,00	16,00	4,01	55,00	55,00	563,85	34,28	34,28	Gsnit 33,52
#2 - 7d	4,00	16,00	3,95	53,00	52,00	557,91	33,54	32,91	-10% Usorteret 1,004
#3 - 7d	3,99	16,00	4,01	51,00	55,00	564,01	31,82	34,31	+10% Sorteret 1,004
									33,52
#4 - 14d	3,99	15,99	4,03	55,00	62,00	570,21	34,15	38,49	Gsnit 37,55
#5 - 14d	3,99	15,98	4,02	60,00	62,00	569,20	37,30	38,55	-10% Usorteret 1,777
#6 - 14d	4,00	16,00	4,03	63,00	61,00	573,34	39,04	37,80	+10% Sorteret 1,777
									37,55
#7 - 28d	3,99	16,00	4,01	67,00	67,00	572,53	41,80	41,80	Gsnit 40,76
#8 - 28d	3,99	16,01	4,01	60,00	61,00	568,70	37,40	38,02	-10% Usorteret 2,540
#9 - 28d	3,99	16,00	3,97	70,00	66,00	563,38	44,04	41,52	+10% Sorteret 2,540
									40,76



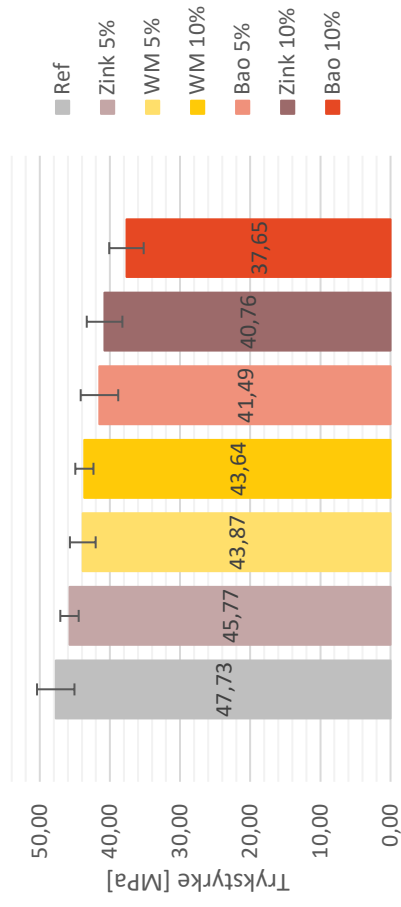
Trykstyrker 7 døgn



Trykstyrker 14 døgn



Trykstyrker 28 døgn



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