

Mineaffald som delvis cementerstatning i beton.

Med fokus på optimering af betonens trykstyrke og bearbejdelighed.



Lasse Førde Thunbo, s143874

BsC Byggeteknologi -
Afgangsprojekt

Department of Civil Engineering
2017

Indhold

1	Sammenfatning	5
2	Abstract	7
3	Forord	9
4	Indledning	10
5	Teori	11
5.1	Materialer	11
5.1.1	Kemiö	11
5.1.2	Zinkgruvan	12
5.1.3	Portland Cement	12
5.1.4	Søsand (0-4 mm)	12
5.2	Hydratisering	12
5.2.1	Afbinding	13
5.2.2	Styrkeudvikling	14
5.3	Bearbejdelighed	14
5.3.1	Vandindhold	14
5.3.2	Tilslag	14
5.3.3	Filler	15
5.3.4	Puzzolan reaktion	15
5.3.5	Trykstyrke	16
6	Eksperimenter	17
6.1	Laboratorie	17
6.1.1	Kornstørrelse	17
6.1.2	Korndensitet	17
6.1.3	Porøsitet og densitet	17
6.1.4	Vandindhold	17
6.1.5	pH	17
6.1.6	Glødetab	17
6.1.7	Oplukning - ICP	18
6.1.8	Volumetrisk carbonatindhold	18
6.1.9	SEM-analyse	18
6.1.10	XRD-analyse	18
6.2	Støbning og tryktest	19
6.2.1	Blandingsrecepter	19
6.2.2	Blanding og støbning af mørtelprøver	19
6.2.3	Flydesætmål	20
6.2.4	Afbindingsforløb	20
6.2.5	Tryktest	20
7	Resultater	22
7.1	Indledende undersøgelser	22
7.1.1	Karakteristik af mineaffald	22
7.1.2	Flydesætmål	25
7.1.3	Afbindingsforløb	26
7.1.4	Tryktest	28
7.1.5	Porøsitet og densitet	30
8	Delkonklusion for indledende undersøgelser	31

9 Videre undersøgelser	32
10 Optimering af kornstørrelse	33
10.1 Kornstørrelsesfordeling for knust Kemiö	33
10.2 SEM analyse for knust Kemiö	33
10.3 Flydesætmål for knust Kemiö	35
10.4 Trykstyrke for knust Kemiö	36
10.5 Delkonklusion for videre undersøgelser	37
11 Konklusion	38
12 Farveprøver	40
13 Referencer	41
Bilag	42
A Forsøgsvejledninger	42
A.1 Vandindhold	42
A.2 pH-værdi	44
A.3 Glødetab	47
A.4 Oplukning	50
A.5 Volumetrisk carbonatindhold	54
A.6 Pyknometer	58
A.7 Porøsitet og Densitet	61
A.8 Blanding og støbning af mørtelprøver	64
A.9 Bearbejdelse	68
A.10 Afindingsforløb	70
A.11 Tryktest	74
A.12 XRD	77
B Resultater - Rådata	84
B.1 Kornstørrelsesfordeling	84
B.1.1 Kemiö - gennemsnit	84
B.1.2 Kemiö knust - gennemsnit	86
B.1.3 Zinkgruvan - gennemsnit	88
B.1.4 Sand - gennemsnit	90
B.1.5 Cement - gennemsnit	92
B.2 Vandindhold	94
B.3 Volumetrisk Carbonatindhold	95
B.4 pH	96
B.5 Pyknometer	97
B.6 Oplukning - ICP	99
B.7 Glødetab	99
B.8 XRD - Mineralogi undersøgelse	100
B.9 Flydesætmål	102
B.10 Afbinding	103
B.11 Trykstyrker	104
B.11.1 Trykstyrker - RF	104
B.11.2 Trykstyrker - Zinkgruvan	105
B.11.3 Trykstyrker - Kemiö	106
B.11.4 Trykstyrker - Kemiö knust	107
B.11.5 Trykstyrker - Sand	108
B.11.6 Trykstyrker - Forkastede prøver	109

B.12 Porøsitet og Densitet	110
B.13 Poster	111

1 Sammenfatning

Fremstilling af cement udgør ca. 5% af den samlede CO₂-udledning på verdensplan. Det er derfor efterhånden blevet mere eftertragtet at finde nye måder, hvorpå CO₂-udledningen ved cementfremstilling kan nedbringes. Da det er CO₂ indholdet i selve cementen der bidrager til den store udledning, er mulighederne for cementerstatning med andre materialer en stadig stigende nødvendighed.

En af mulighederne er benyttelse af mineaffald, der er et restprodukt fra mineindustrien. Under udvinding af de kostbare metaller og mineraler, efterlades et restprodukt af uopnåeligt og uønsket metaller, mineraler, kemikalier, organisk materiale samt spildevand, som varierer meget efter malmens mineralogi og de mekaniske og kemiske processer brugt under udvindingen. Mineaffaldet er generelt meget miljøskadeligt grundet oplagringsformen der foregår i åbne bassiner.

Formålet med projektet er at undersøge om restprodukterne fra mineindustrien vil kunne benyttes som en delvis cementerstatning i beton. Mineaffaldet der arbejdes med i dette projekt stammer fra en mine placeret i Ala-Aulis, Kemiö Island i sydvest Finland(13). Minen er en open-pit mine der hovedsageligt producere mineralerne feldspat og kvarts. I projektet sammenlignes mineaffaldet fra Kemiö med mineaffaldet Zinkgruvan fra Sverige, som er en zink-, bly og kobbermine. (5)

I den indledende del af projektet er mineaffaldets karakteristik blevet undersøgt. En SEM analyse viste at mineaffaldet fra Kemiö hovedsageligt består af kantet og pladelignende kornpartikler, og derfor ikke vil kunne bidrage positivt til mørtlens bearbejdelighed. En kornstørrelsesfordeling indikerede at mineaffaldet minder meget om søsand 0-4mm, men består af en meget mere ensartet kornfordeling, som igen ikke vil kunne bidrage positivt til mørtlens bearbejdelighed. Vandindholdet viste sig at være relativt højt for Kemiö mineaffaldet, selv efter opvarmning og tøring ved 50°. Mineaffaldets pH-værdi er fundet til at ligge i den sur ende, hvorfor det vil benyttelse i betonen vil have en negativ effekt på korrosionsmiljøet. Under et glødetab forsøg viste det sig at mineaffaldet indeholder et lavt indhold af organisk materiale samt uorganiske karbonater som kalk. Udelukkelsen af tilstedeværelsen af kalk i form af calcit, blev bekræftet af en undersøgelse af mineaffaldets volumetriske karbonat indhold, som viste sig at være meget lav i forhold til basis cementen (CEM-II) og det øvrige mineaffald Zinkgruvan, som vides at indeholde karbonater i form af calcit (5).

Ved en XRD analyse blev det bekræftet at mineaffaldet fra Kemiö indeholder mineraler som kvarts, mikroklin feldspat, albit, biotit og muskovit, som angivet i relevant litteratur (13) samt en mineralogi undersøgelse udleveret af vejleder. Der blev dog ikke bekræftet tilstedeværelsen af mineralerne almandine og chlorite som mineralogi undersøgelsen ellers indikerer. Med et indhold af mineralerne kvarts, mikroklin feldspat og biotit, er der mulighed for tilstedeværelsen af det naturlige puzzolanske mineral tuf i form af bjergarten Tuffit.

Undersøgelsen af flydesætmålet indikere, at ved tilsætning af mineaffald vil mørtelmassens bearbejdelighed generelt forværres. Ved tilsætning af mineaffaldet Kemiö forringes mørtelmassens bearbejdelighed ikke i samme grad som ved brug af mineaffaldet Zinkgruvan, selvom deres kornstruktur minder meget om hinanden. Dette kunne skyldes at det vides at mineaffaldet Zinkgruvan suger mere vand en cementen (5).

Ved en trykprøvning af mørtelprismer der har ligget til hydratisering i 7, 14 og 28 dage, blev det observeret at trykstyrken generelt formindskes ved tilsætning af mineaffald til mørtelmassen. Den største sænkning af trykstyrken blev observeret ved tilsætning af mineaffaldet Zinkgruvan. Ved tilsætning af mineaffaldet Kemiö til mørtelmassen, opstod der en langsom tidlig styrkeudvikling, men efter 28 dage var der en markant stigning i trykstyrken. Den pludselige stigning af trykstyrken i det senere forløb, indikerer at mineaffaldet Kemiö kunne besidde puzzolansk aktivitet.

Som videre undersøgelse i projektet blev der foretaget en optimering af mineaffaldets kornstørrelse. Dette blev gjort ved knusning med håndkraft ved brug af en morter. Mineaffaldet Kemiö blev knust til en størrelse i håb om at det ville kunne overholde filler-grænsen på 250 μ m. Ved en SEM analyse viste det sig at mineaffaldets kornstruktur blev optimeret, således at langt færre kantet og pladelignende kornpartikler var

tilstede. Ved kornstørrelsesfordelingen blev det observeret at den knuste Kemiö mineaffald ikke fuldstændig overholder filler-grænsen på $250\mu m$, men knusningen bidrog dog stadig til en meget finere og mere varierede kornfordeling. En flydesætmåls undersøgelse viste at optimeringen af kornstørrelsen medførte en mere bearbejdelig mørtelmasse. Der blev foretaget en 7, 14 og 28 dages trykprøvning af støbte mørtelprismer med 10% cementerstatning med knust Kemiö mineaffald. Her blev det observeret at trykstyrken faldt for 7 dage prøven, som ikke var forventet. Dog viste det sig at der opstod en meget mere jævn og stabil styrkeudvikling grundet filler-effekten, som medførte en højere 14 og 28 dages trykstyrke. Forøgelsen af 28 dages trykstyrken efter knusning af mineaffaldet, kunne indikere at mineaffaldet indeholder puzzolansk materiale i form af tuf fra bjergarten Tuffit, da en mindre kornstørrelse øger den puzzolanske aktivitet.

Dette projektet er det første der omhandler muligheden for benyttelsen af mineaffaldet fra Kemiö som cementerstatning i beton. Med en mulig tilstedeværelse af puzzolansk materiale i mineaffaldet i form af tuf, ville det være relevant at undersøge dette nærmere. Dette har ikke været fuldt ud muligt i dette projekt, da puzzolaner generelt først bidrager til styrkeudviklingen efter 28 dage.

2 Abstract

The manufacturing of cement is responsible for approximately 5% of the total CO₂-emission worldwide. It has therefore become increasingly desirable to find new ways, in which the CO₂-emission from cement production can be reduced.

One of the possibilities is the use of mining waste, which is a residual product from the mining industry. During the extraction of precious metals and minerals, a residual product of unreachable and unwanted metals, minerals, chemicals, organic matter and wastewater, which varies greatly with the minerals mineralogy and the mechanical and chemical processes which are used during extraction, is left behind. Mine wastes is generally very environmentally harmful due to the storage method that takes place in open basins.

The purpose of this project is to investigate whether the residual products from the mining industry could be used as a partial cement substitute in concrete. The mine waste which will be focused on in this project, originates from a mine located in Ala-Aulis, Kemiö Island in south-west Finland. The mine is an open-pit mine that mainly produce the minerals feldspat and quartz. In the project, mining waste from Kemiö is compared with mine waste from Zinkgruvan in Sweden, which is a zinc, lead and copper mine. (5)

In the initial part of this project, the characteristics of the mine waste in focus have been investigated. An SEM analysis showed that mining waste from Kemiö consists mainly of edged and plate-shaped grain particles, and will therefore not contribute positively to the workability of the mortar. A grain size distribution indicated that the mine waste from Kemiö resembles seasand 0-4mm, but consists of a much more even sized grain distribution, which in turn will not be able to contribute positively to the mortar's workability. The water content proved to be relatively high for Kemiö mine waste, even after it had been heated and dried at 50°. The pH-value of the mine waste was found to be acidic, so its use in concrete will have a negative effect on the corrosion environment. During a loss-on-ignition test, it was discovered that the mine waste contains a low content of organic matter and inorganic carbonates like lime. The exclusion of the presence of lime in the form of calcite was confirmed by a study of the volumetric carbonate content of the mine waste, which proved to be very low relative to the basic cement (CEM-II) and the other mine waste Zinkgruvan, which in return is known to contain carbonates in the form of calcite. (5).

With an XRD analysis, it was confirmed that the mine waste from Kemiö contains minerals such as quartz, microclin feldspat, albit, biotite and muscovite, as indicated in the relevant literature (13) and a mineralogy study handed out by the supervisor. However, the presence of the minerals almandine and chlorite as the mineralogy study otherwise indicated, was not confirmed. With a content of quartz, microclin feldspat and biotite minerals, there is a possibility the the mine waste from Kemiö could contain natural pozzolan minerals such as tuff in the form of Tuffit.

The slump-flow test indicates that, with an addition of mine waste, the workability of the mortar generally will deteriorate. By the addition of mine waste from Kemiö, the workability of the mortar was not reduced to the same extent as using the mine waste from Zinkgruvan, even though their grain structure is very similar to each other. The cause of this could be that the mine waste from Zinkgruvan is know to absorb more water than the cement. (5).

During the compressive strength test of the cast concrete, that have been hydrated for 7, 14 and 28 days, it was observed that the compressive strength is generally reduced by adding mining waste to the mortar. The greatest reduction in compressive strength was observed by the addition of the mine waste Zinkgruvan. By the addition of the mine waste Kemiö to the mortar, a slow early strength development occurred, but after 28 days there was a significant increase in compressive strength. The sudden increase in compressive strength in the later stages indicates that the mine waste from Kemiö could have pozzolanic activity.

As a further study in the project, an optimization of the grain size of the mine waste was made. This was done by crushing by hand using a mortar. The mine waste from Kemiö was broken into a size in the hope that it would be able to comply with the 250 *mum* filler-limit. Through an SEM analysis, it was found

that the grain structure of the mine waste from Kemiö was optimized, so that far fewer edged and plate-like grain particles were present. In the grain size distribution it was observed that the broken Kemiö mine waste did not fully comply with the 250 *µm* filler-limit, but the optimization of the grain size still contributed to a much finer and more fluctuating grain distribution. A slump-flow test showed that the optimization of the grain size resulted in a more workable mortar. A 7, 14 and 28 day compressive strength test of the cast mortar prisms with a 10% cement replacement with crushed Kemiö mine waste was made. Here it was observed that the compressive strength dropped for the 7 day sample which was not expected. However, it appeared that a much more even and stable strength development occurred, due to the filler effect, which resulted in a higher 14 and 28 day compressive strength. The increase of the 28 day compressive strength, after optimization of grain size for the mine waste, could indicate that the mine waste from Kemiö contains pozzolan material, since smaller grain sizes increases the pozzolanic activity.

This project is the first in it's kind, that deals with the possibility of using mine waste from Kemiö, as a partial replacement of the cement in concrete. Since there is a possible presence of natural pozzolan material in the Kemiö mine waste in the form of tuf, it would be relevant to investigate this further. This has not been fully possible in this project, since pozzolans generally only contribute to the strength development at and after 28 days.

3 Forord

Dette projekt er et afsluttende bachelorprojekt for bacheloruddannelsen i Byggeteknologi på Danmarks Tekniske Universitet for Lasse Førde Thunbo. Bachelorprojektet er blevet udarbejdet sammen med Institutet for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet. Bachelorprojektet er normeret til 15 ECTS-point og er udført i perioden 30/01/2017 - 22/06/2017.

Det eksperimentelle arbejde er blevet udført sammen med Niklas-Ørum Nielsen, s143857, og Markus Pai Sørensen, s143876. Følgende resultater er delt med s143857 og s143876: Flydesætmålene for Zinkgruvan 5% og 10% som angivet i afsnit 7.1.2. Afbindingsforløb for Zinkgruvan samt reference prøven som angivet i afsnit 7.1.3. Porøsitet og Densitet for Zinkgruvan samt reference prøven som angivet i afsnit 7.1.5. Derudover er resultater for trykprøvningen af reference støbningerne som angivet i afsnit 7.1.4 udarbejdet sammen med s143857 og s143876 samt Mai Nørgaard Fugl, s143870, og Natasja Emilie Buchholdt, s143864.

I projektet undersøges mulighederne for anvendelse af mineaffald som cementerstatning i mørtel. Mineaffaldet der behandles i projektet stammer fra Kemiö minen i Finland. Under undersøgelserne er der sat specielt fokus på bearbejdigheden og trykstyrken ved anvendelse af mineaffaldet som delvis cementsatning.

Der siges tak til Lektor Pernille Erland Jensen, Videnskabelig Assistent og Phd. studerende Nina Marie Sigvardsen og Professor Listbeth M Ottossen, for vejledning under projektets forløb.

Derudover siges der også tak til laborantkoordinator Ebba Schnell og laborant Malene Grønvold, for at stille materialer og instrumenter til rådighed.

4 Indledning

Projektets formål er at undersøge muligheden for at benytte mineaffald fra Kemiö som delvis cementerstatning i beton. Under projektet foretages der også sammenligninger til mineaffaldet fra Zinkgruvan, som tidligere er blevet undersøgt af DTU studerende Mona Randahl Nielsen, s124942, i sit afgangsprøje.

I undersøgelserne sættes der fokus på mineaffaldets indflydelse på mørtelmassens bearbejdelighed og endelige trykstyrke. De to typer af mineaffald som arbejdes med i projektet er som beskrevet nedenfor:

- Kemiö - En feldspar og kvarts mine lokaliseret i sydvest Finland.
- Zinkgruvan - En zink, bly og kobbermine lokaliseret i Sydsverige.

I den indledende del af projektet foretages der en undersøgelse af mineaffaldets karakteristisk i form af laboratorieøvelserne som vandindhold, pH-værdi, kornstørrelsesfordeling, glødetab, volumetrisk carbonat indhold og korndensitet. Derudover foretages der en ICP analyse for mineaffaldets mulige indhold af tungmetaller. Der støbes mørtelprismer med delvis cementerstattelse med henholdsvis 5% og 10% mineaffald. Mørtelmassernes afbindingsforløb bestemmes via et Vicat-instrument og dets bearbejdelighed bestemmes gennem en flydesætmåls undersøgelse. De støbte mørtelprismer hydratiseres i 7, 14 og 28 dage, hvorefter der udføres en test af trykstyrken.

5 Teori

5.1 Materialer

I dette projekt behandles mineaffald under den engelske betegnelse tailings. Tailings er et restprodukt der opstår når knust malm fra en mine undergår udvinding af et ønsket produkt via mekaniske og kemiske processer. Restproduktet opstår som en konsekvens af at processen for udvindingen af det ønsket produkt aldrig er fuldstændig effektivt samt ikke alle de benyttede tilsætningsmidler er mulige at genbruge. Dette resulterer i et restprodukt af uopnåelige og uønsket metaller, mineraler, kemikalier, organisk materiale samt spildevand, som varierer meget efter malmens mineralogi og de mekaniske og kemiske processer brugt under udvindingen. Tailingen opbevares normalt ved brug af dæmninger og store bassiner.(1)

5.1.1 Kemiö

Tailingen der fokuseres på i dette projekt stammer fra firmaet SP Minerals og deres mine placeret i Ala-Aulis, Kemiö Island i sydvest Finland. Minen producerede i 2013 cirka 300 000 tons og er hovedsageligt en kvarts og feldspar mine. Udover kvarts og feldspar er der også blevet fundet mineraler som albitt, muscovite, almandine, biotite og chlorite (3). Dog kan man betragte disse som kun værende eksisterende i meget små mængder i forhold til mængden af kvarts og feldspar. Desuden er der indikation på at typen af feldspar kan tilhører typen K-feldspar. Der refereres her til mineralogy undersøgelsen angivet i bllag B.8. Kvarts og feldspar udgør det meste af jordens skorpe. Kvarts er et meget normalt mineral der består af silicumdioxid, SiO_2 , og er derfor også kendt som et silika. K-Feldspat, også kendt som mikrokline, er en kalium aluminium silikat, $KAlSi_3O_8$, også kendt som en ortoklase feldspat. Albit er en natrium aluminium silikat, $NaAlSi_3O_8$, og er kendt som en plagioklase feldspat. Mikrokline og albit er tecto-silikater der betyder at de har en tredimensionel struktur bestående af SiO_4 -tetraeder. Mikrokline og albit betegnes også som alkali-feldspat grundet indholdet af kalium og natrium. Moskovit, biotit og klorit er en gruppe af phyllosilikater, også kendt som mica, der danner parallelle plader af SiO_4 -grupper hvorfor de har en tendens til at kunne splitte i mindre små flager. Mineralerne kvarts og feldspat er som omtalt en del af silikat familien og består derfor af et gittersystem af Si-O atomer, som resulterer i at mineralerne generelt er meget stærke. (4)



Figur 5.1: Mineaffald fra Kemiö.

5.1.2 Zinkgruvan

I projektet sammenlignes mineaffaldet fra Kemiö med mineaffaldet Zinkgruvan. Mineaffaldet stammer fra guldminen Nanulaq beliggende i Sydgrønland. Minen er hovedsageligt bestående af kvarts med urenheder i form af amfibolit og dolerit. Dolerit er en basaltbjergart der består af plagioklas feldspar, pyroxen, olivin, amfibol og kvarts. Amfibolit er en bjergart der består af mineralerne amfibole. (5)



Figur 5.2: Mineaffald fra Zinkgruvan.

5.1.3 Portland Cement

I projektet til blandingen af mørtlen, benyttes Basis cement (CEM II/A-LL) fra Aalborg Portland. Basis cementen indeholder maksimalt 20% kalkfiller og omkring 80% portlandcementklinker. De vigtigste klinkerminerale i cementen er C_3S , C_2S , C_3A og C_4AF . Derudover indeholder cementklinker også andre komponenter som fri kalk (CaO), magnesiumoxid (MgO) og alkalioxider (Na_2O og K_2O). Under formaling af cementen tilsættes klinkerne også rågips ($Ca_2SO_4 - H_2O$).

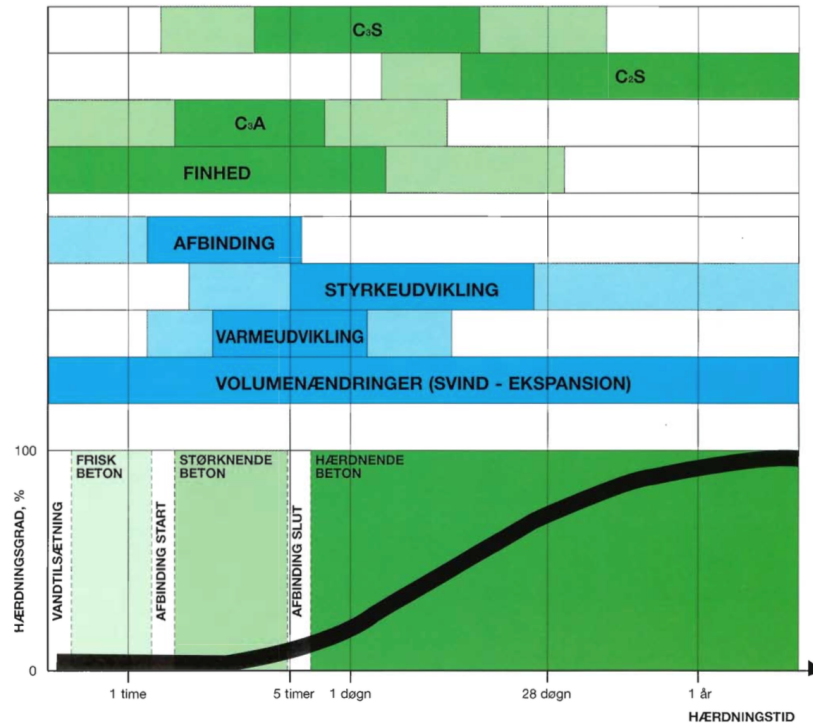
Basis cementen fra Aalborg Portland har et lavt alkaliindhold der medfører at risikoen for alkalikiselreaktioner er lavt. Alkalikiselreaktioner kan medføre dannelsen af alkalisilikagel, der i fugtigt miljø vil kunne ekspanderer og danne revner. Derudover kan alkalikiselreaktioner resulterer i en tidlig styrkeudvikling men samtidig resulterer i en lav slut styrke. (6)

5.1.4 Søsand (0-4 mm)

Som tilslag til mørtlen benyttes søsand (0-4mm). Søsand består hovedsageligt af kvarts og dets korn er naturligt glatte og afrundet, som resulterer i mindre friktion og bedre pakning. Søsand er derfor foretrukket frem for andre typer af sand der ikke er naturligt afrundet. Desuden er det et forholdsvist billigt materiale som findes i store mængder og samtidig er let tilkommeligt. (8)

5.2 Hydratisering

Mørtlen der er resultatet af sammensætningen af den benyttede cement, tilslag og vand, har en række brugsegenskaber der har betydning for betonens endelige egenskaber. Disse brugsegenskaber, som afbinding og styrkeudvikling, er afhængig af cementens hydratisering og de hydratiseringsprodukter der dannes.



Figur 5.3: Hydratiseringsproces for Aalborg Portlandcement. Nederst er illustreret betonens hærdningsgraden som funktion af tiden. Derudover illustreres hvornår klinkerminerale bidrager til hydratiseringsprocessen. Til sidst illustreres afbindingen og styrkeudviklingen. (6)

Når cementen tilsættes vand reagerer klinkerminerale C_3S og C_2S og danner reaktionsprodukterne calciumsilikathydrater (C-S-H) og calciumhydroxid. Under hydratiseringen vil reaktionsproduktet C-S-H dannes som små fibre og calciumhydroxid som store prismatiske krystaller på overfladen af hvert cementkorn. Efterhånden som reaktionsprodukterne optager rummet før besat af vandet og cementen, dannes der en faststofstruktur der opfører sig som en bindende gel mellem tilslagene. Klinkermineralet C_3S reagerer hurtigt med vandet og bidrager derfor til den tidlige styrkeudvikling, modsat klinkermineralet C_2S som reagerer langsommere med vandet og derfor kun har en betydning for den sene styrkeudvikling af betonen.

De øvrige klinkerminerale C_3A og C_4AF vil med tilstedeværelsen af vand reagerer og først danne metastabile hydrater, der kræver et højt vandforbrug, og efterfølgende et stabilt slutprodukt. Klinkemineralet C_3A reagerer meget hurtigt med vandet og har derfor en væsentlig betydning for den tidlige og hurtige styrkeudvikling. Modsat vil klinkemineralet C_4AF reagerer med vandet langsommere og ikke have en signifikant betydning for styrkeudviklingen.

Cementens mineralogiske sammensætning har en betydning for hydratiseringen af cementen og derved dets styrkeudvikling. Det er blevet fundet at et højt indhold af klinkemineralet C_3S vil kunne medføre både en høj tidlig og slut styrke. Derudover vil den tilsatte rågips i cementen bidrage til at regulerer den hurtige reaktion mellem vand og C_3A , der kan resultere i en passende afbindingstid for C_3A og dermed være en fordel for den tidlige styrkeudvikling. (6)

5.2.1 Afbinding

Afbindingen af de vigtigste reaktionsprodukter er væsentlig for den endelige betons egenskaber. Hvis afbindingen af C_3A forløb for hurtigt vil der kunne opstå lynafbinding som er tilskade for betonen. Cementens afbindingstid måles ved brug af et Vicat-instrument jf. DS/EN 196-3. Beskrivelse af forsøget omtales i eksperiment afsnittet 6.2.4. Afbindingsforløbet defineres som tidsrummet hvor mørtelmassen er flydende til det størkner og antager fast form. Afbindingsforløbet kan give et indtryk om hvorvidt de kemiske reaktioner vil forløbe under normale forhold. (6)

5.2.2 Styrkeudvikling

Cementen opnår hovedsageligt sin styrke gennem klinkermineralernes reaktion med vand ved at danne det bindende reaktionsprodukt C-S-H. Selv efter at cementpastaen er størknet fortsætter hydratiseringen og dermed styrkeudviklingen. Efterhånden vil vandet dog blive opbrugt i hydratiseringsprocessen hvorfor graden af styrkeudviklingen vil være størst i begyndelsen og derefter aftage med tiden. Forholdet mellem vandindholdet og cementen, v/c -forholdet, er derfor en vigtig komponent for den endelige betons styrke. (6)

5.3 Bearbejdelighed

Mørtelmassens bearbejdelighed er defineret som dets evne til at homogent komptakter sig og flyde ud i en form. Bearbejdeligheden har betydning for afbindingsforløbet samt styrkeudvikling, og er derfor vigtig for betonens endelige egenskaber. Komponenterne der opgør mørtelmassen og forholdet imellem dem, her vandet, cementen og tilslaget, har betydning for bearbejdeligheden. (4)

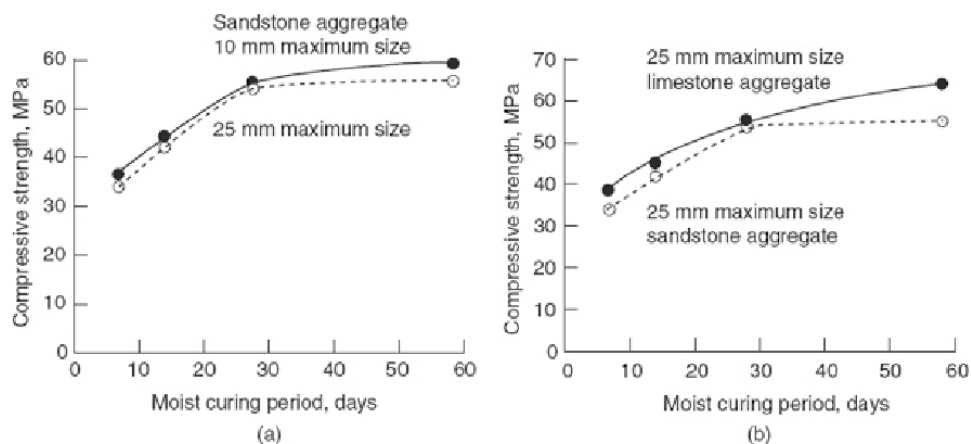
5.3.1 Vandindhold

Bearbejdeligheden af mørtelmassen kan enten øges eller sænkes ved at tilsætte mere eller mindre vand. Dog skal v/c -forholdet ikke blive for lavt eller for højt grundet dets indflydelse på afbindingen, hvorfor mængden af tilsat vand skal balanceres for at opnå en passende bearbejdelighed samtidig med at det sikres at hydratiseringsprocesserne forløber normalt.

5.3.2 Tilslag

Typen og størrelsen af tilslagsmateriale har betydning for mørtelmassens bearbejdelighed hvis der ikke benyttes plastificeringsmidler. Et tilslagsmateriale i form af afrundede korn vil have en mindre indbyrdes friktion og dermed være mere bearbejdelige for cementen end et tilslagsmateriale med mere kantede korn. For tilslagsmaterialer med afrundede korn skal der desuden bruges mindre cementpasta og dermed et mindre vandbehov, grundet den øget pakning mellem kornene. Desuden vil større tilslagsmaterialer af samme type korn medføre en reducere af tilslagets specifikke overfladeareal, som betyder at vandbehovet og dermed mængden af nødvendig cementpasta reduceres hvis samme bearbejdelighed skal opnås.

Selvom kantede og ru korn vil bidrage negativt for bearbejdeligheden, vil de derimod kunne have en positiv effekt på betonens styrkeudvikling. Tilslagsmaterialer der består af ru og kantede korn danner lettere stærke bindinger sammen med cementpastaen og vil derfor øge betonens endelige styrke.



Figur 5.4: Indflydelse af tilslags materialets størrelse samt mineralogy. (4)

Forøgelsen af styrkeudviklingen som resultat af ændringen fra benyttelsen af afrundede korn til mere ru og kantede, er dog kun en tendens under forudsætning af at cementen har nok vand til at hydratiseringsprocesserne kan forløbe normalt. (4)

For at opnå en passende bearbejdelighed er det ligeledes vigtigt at tilslagets kornfordeling ikke er for ensformigt, da varierende kornstørrelser vil medføre bedre pakning. Dette skyldes at de mindre korn vil kunne opbevares i hulrummene mellem de større korn og derfor mindske mængden af nødvendig cementpasta. (8)

5.3.3 Filler

Tilslagsmaterialer kan fungerer som en filler hvis det overholder en hvis filler-grænse. I dette projekt fokuseres der på betegnelsen filler som et tilslagsmateriale hvis variation i kornstørrelse ikke overstiger 250. Det er undersøgt at filler, et meget finkornet materiale, vil kunne bidrage til betonens trykstyrke som følge af hvad kendes som filler-effekten. Resultatet af den øget styrke grundet filler-effekten stammer ikke fra en kemisk reaktion, men istedet fra dets bidrag til betonens fysiske egenskaber på flere måder.

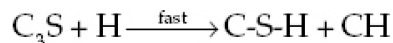
En af de fysiske bidrag ved benyttelsen af en filler, er at de meget fine korn vil have evnen til bedre at kunne pakke sig ved at opfylde hulrum. Dette betyder at der opnås en mere homogen og kompakt mørtelmasse, hvorved betonens porøsitet formindskes og dets styrke øges. (15)

Det andet positive bidrag til betonens styrke ved brugen af en filler, er et fænomen kaldet heterogen kimdannelse. Dette er en fysisk proces der viser sig at kunne fremme dannelsen af krystaller fra hydraterne under hydratiseringen af cementpastaen. Krystallisationen der opstår under hydratiseringsprocessen er nemlig relateret til fænomenet i form af at væksten af krystaller opstår under kontakt med fremmed mineralers overflader. Fordelen ved så at benytte et finere materiale i form af en filler, er at den mindre kornstørrelse vil betyde en større overfalde i forhold til rumfang, hvorfor der opnås bedre betingelser for krystallisationen af hydraterne på de fremmede mineraler. (16)

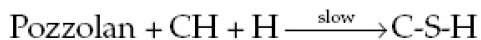
5.3.4 Puzzolan reaktion

Den kemiske reaktion mellem en puzzolan og hydratiseringsproduktet calciumhydroxid betegnes som en puzzolan reaktion. Under reaktionen reagerer puzzolan mineralet med calciumhydroxid og danner øvrige kalciomsilikathydrater som før omtalt er cementens primære bindemiddel.

Portland cement

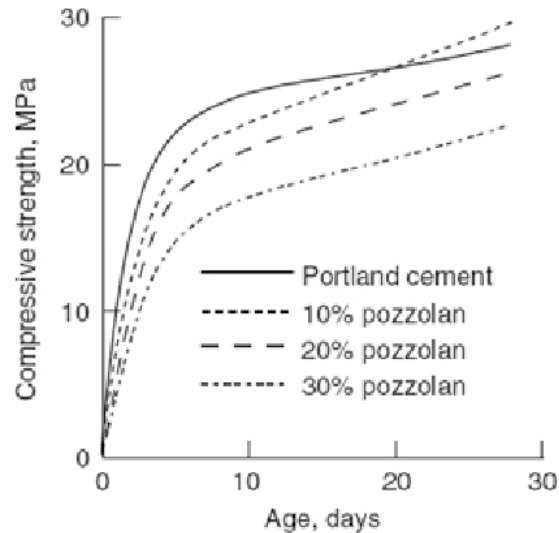


Portland-puzzolan cement



Figur 5.5: Ovenfor er illustreret Portland-puzzolan cement og dets langsomme reaktion med calciumhydroxid. Produktet er øvrige kalciomsilikathydrater. (4)

Denne proces er langsom og vil virke hæmmende på hydratiseringen af C_3A , hvorfor tilstedeværelsen af puzzolaner vil resultere i en ligeledes langsom styrkeudvikling. Det har vist sig at den hæmmende effekt for den tidlige hydratiseringsproces grundet puzzolaner, vil resultere i en svag tidlig styrke men en stærk slut styrke.



Figur 5.6: Indflydelse af cementerstatning af Aalborg Portland cement med puzzolaner. Cementens styrkeudviklingen falder med øget mængde af puzzolaner, men vil i sidste ende resultere i en stærkere slutstyrke.(4)

Puzzolaner er defineret som kiselholdige eller kisel- samt aluminiumholdige mineraler, der ved tilstedeværelsen af vand vil reagere med calciumhydroxid ved normale temperaturer og have cementerende egenskaber. Vulkanske sten er et naturligt puzzolansk materiale grundet tilstedeværelsen af amorft aluminiumsilikat som dannes under afkøling af vulkanens magma. Det amorf aluminiumsilikat er ikke stabilt og vil derfor reagere med cement i vandet forhold. Amorft aluminiumsilikat er også at finde i nogle former for flyveaske og i bjergaften tuf, som er et produkt af hærningen af vulkansk aske under hydrotermiske forhold.

Udover at have indflydelse på hydratiseringsprocessen har puzzolaner også effekt på betonens fysiske egenskaber. Ved dannelse af øvrige aluminiumsilikat hydrater omkring puzzolan partiklerne, fyldes ikke tidligere besatte kapillar hulrum med et bindemiddel med lavere densitet end aluminiumsilikat hydraterne. Dette fører til en mindre tilstedeværelse af porer i betonen og derfor en mere kompakt og stærk beton. Det er desuden værd at bemærke at en mindre kornstørrelse vil bidrage til en øget puzzolansk aktivitet. Som før omtalt opstår krystallisationen af calciumhydroxid ved heterogen kindannelse på fremmed mineralers overflader. En øget vækst af calcium hydroxid vil betyde at puzzolan partiklerne kan danne flere og stærkere bindemidler. Igen fører dette til en endnu mere kompakt og mindre porøs beton.(4)

5.3.5 Trykstyrke

Der er mange faktorer der har indflydelse på betonens endelige styrke, men dets svageste led er selve cementpastaen. Cementpastaens egen styrke er afhængig af dets porøsitet som er afhængig af v/c -forholdet og hydratiseringsprocessen. Beton har relativt lav trækstyrke hvorfor trykstyrken generelt benyttes som et mål for betonens egentlige styrke. Styrke er betegnelsen for evnen til at modstå belastning uden svigt. I hvide sammenhæng er svigt forbundet med dannelsen af revner, men idet betonen selv uden belastning kan indeholde revner, er betonens styrke istedet relateret til belastningen der skal til for at svigt opstår. Betonens styrke er derfor defineret som den maksimale belastning betonen kan modstå indtil svigt og bestemmes som kraft per. areal:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (5.1)$$

Hvor σ er trykstyrken i MPa, P er trykkraften i kN og A er tværsnitsarealet i mm^2 .

6 Eksperimenter

6.1 Laboratorie

6.1.1 Kornstørrelse

Kornstørrelserne for mineaffaldet, basis cementen, søsandet og zinkgruvan kan sammenlignes ved at foretage en bestemmelse af deres individuelle kornstørrelsesfordelinger. Det kan desuden undersøges via kornstørrelsesfordelingen om mineaffaldet overholder fillergrænserne på henholdsvis $250\mu\text{m}$ (8). Til dette forberedes en teskefuld mængde prøve som tøres i en ovn ved 50°C . Derefter bliver selve analysen af kornstørrelserne udført ved brug af lasserdiffraktometeret Mastersizer 2000. Analysens resultater afbildes til sidst i en kornstørrelsesfordeling så prøverne kan sammenlignes.

6.1.2 Korndensitet

Partiklernes densitet for henholdsvis mineaffaldet, basis cementen, søsandet og zinkgruvan bestemmes i henhold til DS/EN ISO 17892-3:2015 og forsøgsvejledningen angivet i bilag A.6. Resultaterne af prøvernes korndensitet kan desuden sammenlignes for overensstemmelse med de tilhørende kornstørrelsesfordelinger. Mineaffaldets korndensitet sammenlignes med basis cementen, søsandet og Zinkgruvan, i tør tilstand efter tørring i ovn ved 50°C .

6.1.3 Porøsitet og densitet

Betonens evne til at optage vand og dets tilhørende skrøbelighed efter tilsætning af mineaffaldet, kan undersøges gennem en bestemmelse af betonens porøsitet og densitet. Ved eksperimentet bestemmes porøsiteten som forholdet mellem porernes rumfang og prøvens totale rumfang. Porøsitet og densitet bestemmes for støbninger af mørtelprøver med ren basis cement, samt hvor der er foretaget en 5% og 10% erstatning af cementen med mineaffaldet Keimö og Zinkgruvan. Støbningerne er efter afformning blevet lagt til hydratisering i 4 uger og derefter til tørring ved 50°C i 3 uger. Eksperimentet er udført i overensstemmelse med forsøgsvejledningen angivet i bilag A.7.

6.1.4 Vandindhold

Vandindholdet af mineaffaldet, basis cementen, søsandet og Zinkgruvan bestemmes i henhold til forsøgsvejledningen angivet i bilag A.1. Til forsøget afvejes tre prøver med det specifikke materiale hvorefter det sættes til tørring i ovn i et døgn. Vandindholdet af materialet bestemmes efter at prøverne har været i ovn ved 50°C og 105°C . Dette gøres idet der under støbningen af mørtelprøverne benyttes søsand der har tørret ved 105°C og mineaffald ved 50°C . Desuden vil en tørring ved 105°C af mineaffaldet samt cementen, kunne medføre at visse mineraler bliver beskadiget og materialet mister sine egenskaber. Men for at få et korrekt udtryk for materialets vandindhold skal forsøget foregå ved 105°C , hvorfor begge forhold undersøges.

6.1.5 pH

pH-værdien for de forskellige benyttede materialer, henholdsvis mineaffaldet Keimö, basis cement, søsand og Zinkgruvan, er bestemt i henhold til forsøgsvejledningen angivet i bilag A.2. Prøvernes pH-værdi bestemmes i en opløsning med kaliumchlorid i forholdet 1:2,5. Prøverne er inden forsøget bragt i tør tilstand ved 50°C .

6.1.6 Glødetab

Ved at foretage en glødetab undersøgelse kan indholdet af organisk materialer i mineaffaldet, basis cementen, søsandet og Zinkgruvan bestemmes. Der foretages en undersøgelse af glødetabet ved tørring af prøverne i en ovn ved 550°C og derefter 950°C . Dette gøres idet største delen af de organiske materialer nedbrydes og frigøres ved 550°C , hvorefter de uorganiske karbonat materialer, som kalk og calcit, først dissociere ved omkring 950°C (12) Forsøget er udført i henhold til forsøgsvejledningen angivet i bilag A.3.

6.1.7 Oplukning - ICP

Indholdet af syreopløselige tungmetaller i materialerne kan bestemmes ved benyttelsen af en ICP analyse. Ved metoden opnås en metalkoncentration som indikation på indholdet af tungmetaller. Målingerne er ikke den fuldstændige metalkoncentration, da denne først kan bestemmes ved total destruktion af materialet, hvorfor målingerne kun er en indikation på en mulig metalkoncentration. Indholdet af tungmetaller i mineaffaldet, basis cement, søsand og Zinkgruvan bestemmes i overensstemmelse med Dansk Standard (DS-259) og forsøgsvejledningen angivet i bilag A.4.

6.1.8 Volumetrisk carbonatindhold

Carbonatindholdet i materialerne bestemmes volumetrisk, ved at danne en reaktion mellem materialernes indhold af calciumcarbonat og en tilsætning af saltsyre. Ved reaktionen mellem calciumcarbonat og saltsyre dannes der kuldioxid, hvis mængde måles ved brug af et Scheiber apparat. Dertil dannes der en standardkurve ved at benytte ren calciumcarbonat og saltsyre, hvorefter mængden af målt kuldioxid i prøverne kan omsættes til indholdet af calciumcarbonat. Bestemmelse af carbonatindholdet for mineaffaldet, basis cement, søsand og Zinkgruvan, er udført i overensstemmelse med forsøgsvejledningen angivet i bilag A.5.

6.1.9 SEM-analyse

Ved en SEM-analyse, Scanning Electron Microscope, kan prøvernes kornstruktur betragtes ved at analysere billeder af partiklerne som ved analysen forstørres mange gange. Til forberedelsen af analysen tørres prøverne først ved 50°C hvorefter det knuses til en meget fin konsistens der minder om mel. Den knuste prøve forberedes herefter på en plade således at den får en pæn og jævn overflade. Pladen med prøven analyseres så ved brug af SEM instrumentet, ved at bestråle overfladen af pladen med elektroner som sendes tilbage til instrumentet med informationer omkring partiklernes struktur. Det er derfor vigtigt at prøven er knust grundigt og den forberedte prøve er jævn og flad, for at sikre nøjagtige resultater. Der er foretaget SEM-analyse på mineaffaldet fra Kemiö og Zinkgruvan samt søsand 0-4mm.

6.1.10 XRD-analyse

Til bestemmelse af hvilke krystallinske mineraler mineaffaldet inderholder, foretages der en XRD-analyse der står for X-ray Diffraction. Ved analysen udsender XRD-instrumentet en række røntgenstråler mod prøven, som tilsvarende sender diffrakteret stråler tilbage i forskellige vinkler og intensitet. Ud fra den opsamlede intensitet af de tilbagesendte diffrakteret stråler, dannes der et diffraktogram der afbilder intensiteten som funktion af strålernes afbøjningsvinkler. Diffraktogrammet sammenlignes så med en database over andre diffraktogrammer af krystallinske mineraler der har samme afbøjningsvinkel. Analysen af diffraktogrammet udføres i programmet "X'Pert Highscore Plus" og den tilhørende vejledning som findes i bilag A.12. Ved sammenligningen er det muligt at komme med et kvalificeret gæt på hvilke mineraler prøven indeholder. Det er vigtigt at understrege at resultatet af analysen blot er et gæt på de mulige krystallinske mineraler som prøven kunne indeholde, hvorfor analysen udføres i sammenhold med journaler eller anden litteratur der kan bekræfte tilstedeværelsen af krystallinske mineraler. XRD-analysen udføres kun for mineaffaldet Keimö efter det har tørret ved 50°C.

6.2 Støbning og tryktest

6.2.1 Blandingsrecepter

I nedenstående tabel 6.1 præsenteres de benyttede blandingsrecepter.

Tabel 6.1: Blandingsrecepter for de udførte blandinger af mørtelmasserne.

	CEM II basis cement [g]	Mineaffald [g]	Vand [g]	Søsand [g]
RF	450	-	225	1350
Zinkgruvan 5%	427,5	22,5	225	1350
Zinkgruvan 10%	405	45	225	1350
Kemiö 5%	427,5	22,5	225	1350
Kemiö 10%	405	45	225	1350
Knust Kemiö 10%	405	45	225	1350
Søsand 10%	405	-	225	1395

6.2.2 Blanding og støbning af mørtelprøver

Blandingen af mørtlen og den efterfølgende støbning er udført i overensstemmelse med DS/EN 196-1. Inden blandingen af mørtlen begynder tørres søsandet ved 105°C i 24 timer og derefter afkøles til det er helt koldt. Ligeledes tørres mineaffaldet Keimö og Zinkgruvan ved 50°C i 24 timer inden brug.

Første del i støbningen af mørtelprøver er blandingen af mørtlen. Blandingen af mørtlen foregår i Toni industri røremaskinen. Følgende fremgangsmåde til blandingen benyttes:

Tid	Fremgangsmetode - blanding af mørtel
00:00	· Inden røremaskinen sættes igang, tilføjes den afvejede mængde mineaffald og cement.
00:00	· Derefter tilsættes vandet og tiden startes ligeledes med at der tændes for lav hastighed på røremaskinen. Der røres i 30 sekunder.
00:30	· Efter 30 sekunder tilsættes sandet gradvist over 30 sekunder.
01:00	· Efter sandet er blevet tilsat skiftes der hurtigt over til middel hastighed på røremaskinen. Der røres ved middel hastighed i 30 sekunder.
01:30	· Røremaskinen slukkes og forbliver slukket i 90 sekunder. I de første 30 sekunder skræbes mørtel ned fra siderne af skålen. I de resterende 60 sekunder hviler mørtlen.
03:00	· Røremaskinen tændes igen på middel hastighed og der røres i 60 sekunder.
04:00	· Mørtlen er klar til brug.

Når mørtlen er klar kan støbningen begyndes. Til dette benyttes en støbningsform der er inddelt i tre rektangulære rum. Dette medfører at der opnås støbninger der er rektangulære prismer, med en længde på 160mm og højde samt bredde på 40mm. Efter at mørtlen er fyldt i støbningsformen, benyttes et rystebord for at støbningen bliver kompakt. Ifølge DS/EN 196-1 skal støbningsformen rystes på rystebordet over 2 omgange. Dog er det under udførelsen bliver observeret at mørtlen er meget tørrer end forventet, hvorfor der istedet rystes over 3 omgange for at opnå en acceptabel kompakthed. Følgende fremgangsmåde benyttes til støbning af mørtelprøven:

Fremgangsmetode - støbning af mørtelprøve

- Støbeformen sprøjtes med tilstrækkelig formolie.
- Støbeformen placeres på vibratorbordet og der fyldes én tredjedel op med mørtel.
- Vibratorbordet tændes på ca. 50 Hz og der vibreres i 20 sekunder.
- Der slukkes for vibratorbordet og der fyldes endnu én tredjedel op med mørtel.
- Vibratorbordet tændes på ca. 50 Hz og der vibreres i 20 sekunder.
- Der slukkes for vibratorbordet og resten af mørtlen fyldes i støbningsformen.
- Vibratorbordet tændes på ca. 50 Hz og der vibreres i 20 sekunder mens overflødig mørtel fjernes med en afretter.
- Støbeformen dækkes til med plastik og tilsidesættes til afformning efter 24 timer.

6.2.3 Flydesætmål

Mørtlens bearbejdelighed måles i form af dets flydesætmål, som udføres i overensstemmelse med DS/EN 1015-3 [1999] og forsøgsvejledningen angivet i bilag A.9. Mørtlen der benyttes er som før nævnt udført i henhold til DS/EN 196-1. Til forsøget benyttes et flydebord med håndsving også kaldet en stamper, kegleform, afretter og skydelære. Selve flydesætmålet for mørtlen bestemmes ved, at foretage en måling på tværs af mørtelmassen over dets midtpunkt ved brug af skydelæret. Denne måling udføres to gange for hver enkelt mørtelmasse. Desuden skal der laves to individuelle mørtelblandinger for hver undersøgt blandingsrecept, som medfører at der i alt er fire målinger af flydesætmålet pr. undersøgt blandingsrecept, hvorfra et endeligt flydesætmål kan bestemmes som gennemsnittet af alle målingerne.

6.2.4 Afbindingsforløb

Mørtlens afbindingsforløb fastlægges i henhold til DS/EN 196-3 [2009] og forsøgsvejledningen angivet i bilag A.10. Afbindingsforløbet måles med et vicatronic instrument fra MATEST, hvis manual er angivet i det før nævnte bilag sammen med resten af forsøgsvejledningen. Mørtelmassen der benyttes ved undersøgelsen er blandet i overensstemmelse med DS/EN 196-1.

Vicatronic instrumentet måler med sin nål en ny dybde af mørtelmassen med 10 minutters mellemrum. Data fra vicatronic instrumentet kan dagen efter udførelsen af analysen benyttes til at bestemme mørtelmassens afbindingsforløb. Afbindingsforløbet er defineret ved en indledende og endelige afbindingstid, der bestemmes som det tidsrum hvor mørtelmassen stadig er flydende til det antager fast form. Bestemmelsen af afbindingsforløbet udføres i henhold til DS/EN 196-3 [2009], hvor den indledende afbindingstid er defineret som tiden fra begyndelsen af analysen indtil afstanden mellem nålen og bunden af formen er 6 ± 3 mm, og endelige afbindingstid er tiden der der er gået når nålen kun nedsynker i prøven med 0,5 mm DS/EN 196-3 [2009] fra toppen.

6.2.5 Tryktest

Test af de støbte prismers trykstyrke er udført jf. DS/EN 196-1 2.udgave og forsøgsvejledningen angivet i bilag A.11. Støbning og blanding af mørtelmassen er begge udført jf. DS/EN 196-1. Til tryktesten benyttes trykprøvningsmaskinen Toni 300.

Inden selve trykprøvningen begyndes, vejes de støbte prismen og deres længde, bredde og højde måles. Toni 300 trykprøvningsmaskinen belaster de støbte prismen indtil der er indikation på brud, og den endelige belastning samt deformation kan aflæses fra dets display. Den endelige belastning er angivet i kilonewton og

skal omregnes til en endelig trykstyrke i megapascal. Til dette benyttes arealet hvor belastningen påføres, således at der opnås en trykstyrke pr. areal af betonen.

Hver støbt prisme trykprøves to gange, én gang i hver ende, så hver undersøgt mørtelblanding ender med at have seks resultater for en endelige trykstyrke. Den endelige trykstyrke bestemmes som gennemsnittet $\pm 10\%$ jf. DS/EN 196-1. De resultater der falder uden for intervallet på $\pm 10\%$ skal undlades og et nyt gennemsnit med de resterende resultater beregnes som den endelige trykstyrke pr. areal. Jf. DS/EN 196-1 skal hele prøven udgå hvis det findes at mere end 2 resultater ligger uden for intervallet. Dog er det blevet aftalt med vejledere at resultaterne ikke vil blive undladet grundet forsøgstid og fejlkilder vedrørende blanding og støbning af mørtelmassen. Istedet vil der under databehandlingen og endelige konklusioner blive kigget kritisk på disse resultater.

7 Resultater

7.1 Indledende undersøgelser

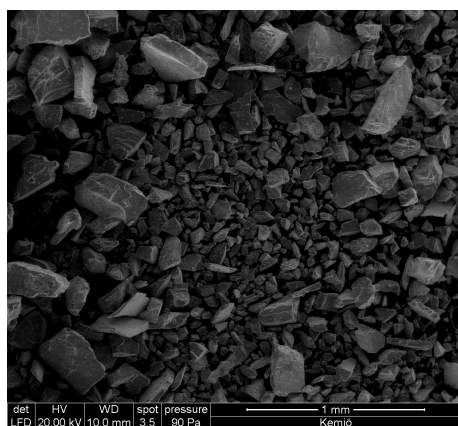
Projektet er delt op i to dele. I denne del præsenteres resultater fra de indledende undersøgelser i form af karakteristik af mineaffaldet, trykstyrkemålinger, flydesætmål og afbindingsforløb.

7.1.1 Karakteristik af mineaffald

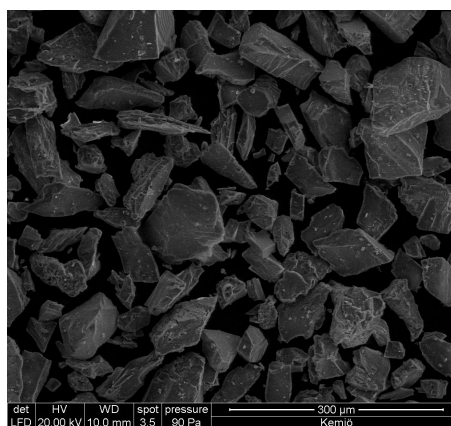
I denne del af undersøgelsen fokuseres der på mineaffaldets egenskaber og dets muligheder for benyttelse i beton. Der foretages en undersøgelse af mineaffaldets egenskaber med sammenligning til Basis Cement fra Aalborg Portland, Søsand 0-4 mm og mineaffaldet Zinkgruvan.

SEM Analyse

Der er foretaget en SEM analyse af mineaffaldet fra Kemiö samt mineaffaldet Zinkgruvan. SEM analysen er foretaget med en forstørrelsesfaktor på 50 og 200. Resultaterne er illustreret i figur 7.1 og 7.2 nedenfor.

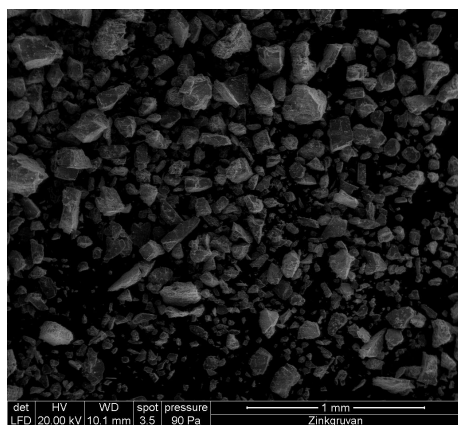


(a) Kemiö mineaffald forstørret 50 gange

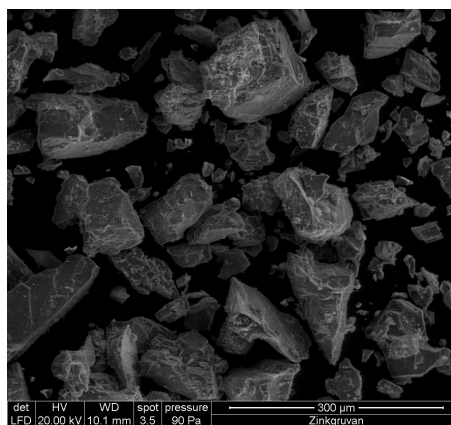


(b) Kemiö mineaffald forstørret 200 gange

Figur 7.1: SEM analyse af mineaffaldet Kemiö



(a) Zinkgruvan mineaffald forstørret 50 gange



(b) Zinkgruvan mineaffald forstørret 200 gange

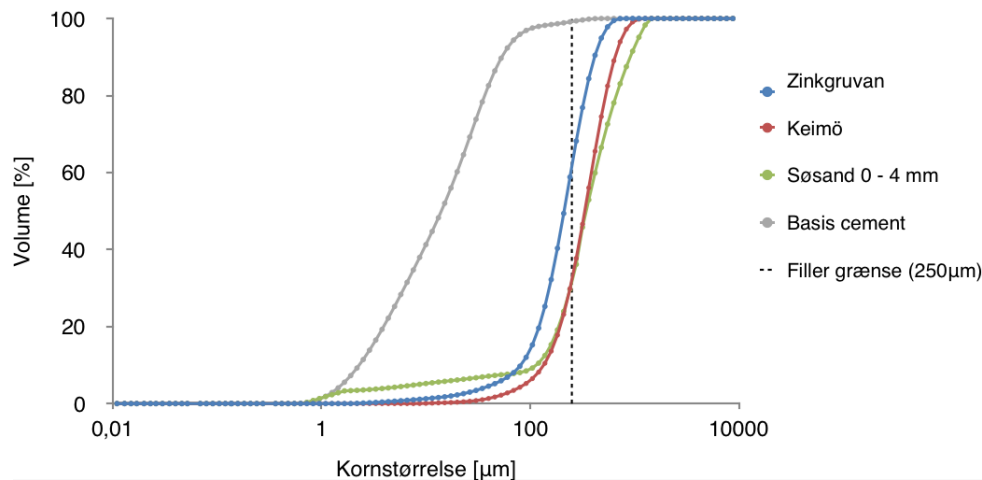
Figur 7.2: SEM analyse af mineaffaldet Zinkgruvan

Ud fra SEM analysen kan det ses at mineaffaldet fra Kemiö har en meget kantet kornstruktur. Desuden ses det at kornene, udover at være kantet, hovedsageligt er flade og aflange med en pladelignende struktur. Kornstrukturen for Zinkgruvan ses ligeledes at være meget kantet og ru med en pladelignende struktur, men

ikke i samme grad som for mineaffaldet Kemiö. Den kantede og ru struktur kan skyldes at begge materialer stammer fra bjergarter. Den pladelignede struktur for Kemiö kunne skyldes indholdet af mineraler som mica i form af moskovit og biotit, der har en tendens til at splitte sig i flager. Det kunne forventes at mineaffaldet fra Kemiö grundet sin kantet og aflange struktur vil have en negativ effekt på mørtlens bearbejdelighed, idet det større overfladeareal vil betyde at der skal benyttes mere cementpasta for samme bearbejdelighed. Derudover vil en kantede og ru struktur medføre større friktion mellem kornene og dermed en mindre pakning.

Kornstørrelse

Kornstørrelsesfordelingen er blevet bestemt for mineaffaldet fra Kemiö, mineaffaldet Zinkgruvan, Basis Cement fra Aalborg Portland og søsand 0-4 mm. Kornfordelingerne for hvert materiale er samlet i figur 7.3. Sammen med kornfordelingerne er filler-grænsen ved $250\mu\text{m}$ også illustreret. Data for kornstørrelsesfordelingerne findes i bilag B.1.



Figur 7.3: Kornstørrelsesfordeling for mineaffaldet Kemiö sammenlignet med fordelingen for Zinkgruvan, Basis cement og søsand 0-4 mm. Grænseværdien på $250\mu\text{m}$ for filler er også illustreret.

Det ses ud fra figur 7.3 at kornstørrelsen for mineaffaldet fra Kemiö minder meget om søsands og er større end kornstørrelsen for Zinkgruvan. Derudover ses det at mineaffaldet fra Kemiö er meget ensartet, som vil kunne have en negativ effekt for mørtlens bearbejdelighed idet der ikke er ligeså stor mulighed for at opnå god pakning. Dog vil den større kornstørrelse i forhold til Zinkgruvan, betyde at mindre cementpasta er nødvendig for at opnå samme bearbejdelighed (4). For at mineaffaldet skal kunne aggere som en filler skal det som sagt overholde filler-grænsen. Det ses at største delen af mineaffaldets kornfordeling ikke overholder filler-grænsen, hvorfor det ikke kan forventes at mineaffaldet kan bidrage til betonen med en filler-effekt.

Vand- og carbonatindhold, pH og pyknometer

Her præsenteres resultaterne fra undersøgelserne foretaget i laboratoriet. I tabel 7.1 kan findes resultaterne fra vandindholdet, carbonatindholdet, pH-værdier og pyknometer. Data for resultaterne kan findes i bilag A.

Tabel 7.1: Resultater for vandindholdet, carbonatindholdet, pH-værdi og pyknometer.

Forsøg	Enhed	Søsand	Basis cement	Zinkgruvan	Kemiö
Vandindhold 50°C	[%]	-	0,16	2,92	0,15
Vandindhold 105°C	[%]	1,30	-	-	4,36
Carbonat	[%]	10,08	22,01	9,77	2,90
pH	-	9,88	12,51	8,31	6,69
Pyknometer	[g/cm ³]	2,71	3,68	2,79	2,68

Det ses ud fra laboratorie undersøgelserne at mineaffaldet Kemiö har et lavt vandindhold ved 50°C , men

ved opvarmning af materialet til 105°C stiger dette drastisk. Dette vil have betydning for hydratiseringsprocessen for cementpastaen grundet v/c-forholdet, idet mineaffaldet inden brug kun opvarmes til 50°C. Det øget v/c-forhold vil medføre en mere porøs cementpasta og dermed en mindre styrke (4). For at undgå et for højt korrosionsmiljø er det vigtigt at pH-værdien af betonen forbliver forholdsvis høj og basisk. Det ses at mineaffaldet Kemiö er relativt surt grundet den lave pH-værdi, og vil derfor ikke bidrage positivt til betonens korrosionsmiljø. For mineaffaldet Zinkgruvan ses det at pH-værdien er en smule højere, men idet det stadig er forholdsvis neutralt vil det ligesom Kemiö kun bidrage negativt til korrosionsmiljøet. Ud fra pyknometer resultaterne kan det ses at mineaffaldets Kemiö korndensitet ligner den af søsands meget. Dernæst ses det at Zinkgruvan har en smule højere korndensitet, mens Basis cementen har den højeste. Dette stemmer overens med kornstørrelsesfordelingerne hvor samme tendens blev observeret.

Indhold af tungmetaller

Det er vigtigt at sikre at betonen under benyttelse ikke vil kunne være tilskade for miljøet eller mennesker. Der er derfor blevet foretaget en undersøgelse af mineaffaldets indhold af tungmetaller ved en ICP-analyse. Indholdet af tungmetaller i mineaffaldet Kemiö er blevet sammenlignet med indholdet fra Zinkgruvan, Basis cement og søsand. Derudover sammenlignes resultaterne med grænseværdierne fra indhold af tungmetaller i restprodukter til anvendelse i bygge- og anlægsarbejder jf. Miljøstyrelsen [2015].

Tabel 7.2: Indhold af tungmetaller i mg/kg.

Tungmetaller	Kvalitetskriterium: Grænse kategori 1								
	As	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Ca
Søsand	1,57	0,11	1,50	1,32	-	1,04	1,83	9,87	21472,70
Basis cement	5,22	0,57	20,61	66,19	-	18,78	13,01	231,02	34128,50
Zinkgruvan	52,29	13,51	3,03	259,98	0,37	19,82	366,72	826,30	34128,50
Keimö	-	0,17	18,55	2,39	1,52	3,34	18,83	36,90	771,64
Grænse kategori 1	0-20	0-0,5	0-500	0 - 500	0 - 5	0 - 30	0 - 40	0 - 500	-

Det ses umiddelbart at mineaffaldet Kemiö overholder det tilladte indhold af tungmetaller jf. grænseværdierne opstillet af Miljøstyrelsen [2015]. Det kan derfor forventes at benyttelsen af mineaffaldet ikke vil resultere i risiko for forurening af miljøet eller virke sundhedsskadelig overfor mennesker.

Glødetab

Glødetabet giver et indtryk af indholdet af organisk materiale. Der er udført glødetab for Basis cementen, Kemiö og Zinkgruvan mineaffaldet samt søsand. Resultaterne er angivet i nedenstående tabel 7.3.

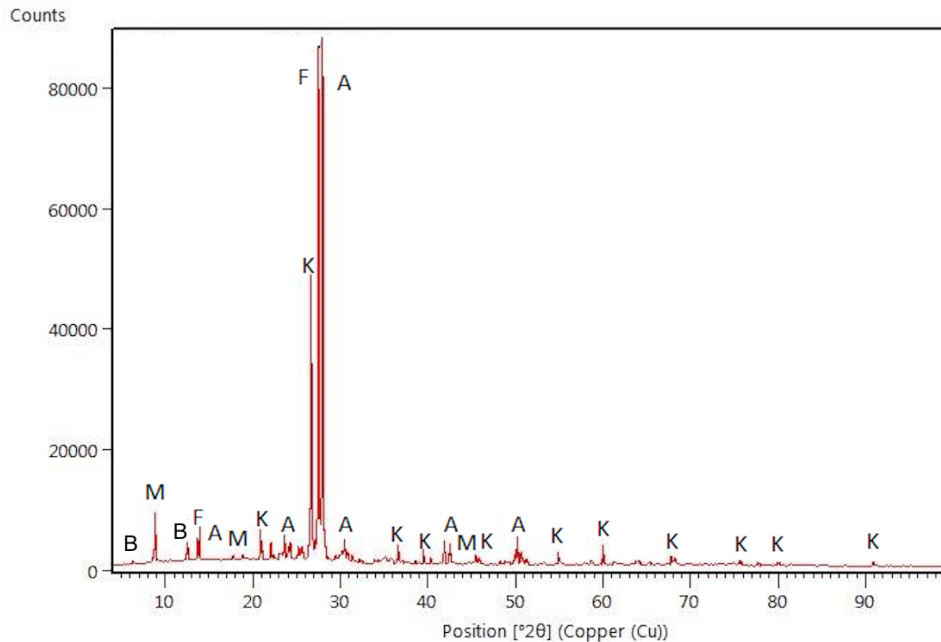
Tabel 7.3: Glødetab i form af organisk materiale og uorganisk materiale som kalk.

Glødetab [%]	Søsand	Basis cement	Zinkgruvan	Kemiö
550°C	0,08	0,18	0,05	0,05
950°C	0,41	0,70	0,10	0,10

Det ses at mineaffaldet Kemiö har et relativt lavt glødetab ved 550°C og 950°C, som indikerer at mineaffaldet har et lavt indhold af organiske materialer og der ikke er et indhold af karbonater som calcit (12). Glødetabet for basis cementen og mineaffaldet Zinkgruvan er højere end for Kemiö, specielt ved opvarmning til 950°C. For mineaffaldet Zinkgruvan kunne dette indikere at mineaffaldet indeholder karbonater som calcit. Dette stemmer overens med hvad tidligere re blevet observeret (5). For basis cementen kan det høje glødetab ved opvarmning til 950°C forklares grundet karbonat indholdet i cementens kalkfiller.

XRD analyse

Der er udført en XRD analyse af mineaffaldet for at undersøge hvilke mineraler materialet kunne indeholde. Analysen sammenholdes med relevant litteratur (13) og mineralogy analysen af mineaffaldet angivet i bilag B.8.



Figur 7.4: Resultat af XRD analyse. Følgende betegnelser gælder: K - kvarts, A - Albit, F - Mikroclin feldspat, B - Biotit og M - Muscovit.

Ved analysen identificeres indholdet af mulige mineraler ud fra intensiteten af røntgenstrålernes toppe. Det er kun muligt at identificere krystallinske mineraler, hvorfor det resterende amorf materiale der muligvis er tilstede, kan aflæses som mængden under den bølgede streg i bunden af figuren. Det ses at der ikke er meget amorf materiale tilstede i mineaffaldet Kemiö, hvorfor det kan konkluderes, at hvis der var en tilstedeværelse af puzzolanske materialer, ville mængden dog være relativ lav.

XRD analysen viser at mineaffaldet Kemiö hovedsageligt består af kvarts, albit, mikroclin feldspat, biotit og muscovit. Dette stemmer overens med den benyttede relevante litteratur samt mineralogy undersøgelsen. Tilstedeværelsen af kvarts, mikroclin feldspat og biotit, kunne give anledning til at der i mineaffaldet muligvis findes tuffit. Tuffit er en bjergart der består hovedsageligt af kvarts, mikrocline feldspat og biotit (14). Tuffit kan virke som en naturlig puzzolan idet det indeholder både pyroklastisk (vulkansk materiale) og ikke-pyroklastisk materiale. Indholdet af pyroklastisk materiale og dermed tuf, kan variere mellem 25%-75% (2).

Det kan dog ikke direkte konkluderes at der er tuffit og dermed tuf tilstede i mineaffaldet Kemiö, idet tilstedeværelsen af både biotit og amorf materiale ser ud til at være meget lav i forhold til de øvrige mineraler.

Der blev ikke fundet tilstedeværelsen af almandine og chlorite som ellers angivet i mineralogy analysen. Dog er disse også angivet som værende tilstede i meget små mængder, hvorfor dette kunne være en grund til at de ikke er blevet identificeret af XRD analysen. Derudover skal det bemærkes at udførelsen af XRD analysen blot er et gæt på mulige mineraler og derfor ikke udelukker deres tilstedeværelse i mineaffaldet.

7.1.2 Flydesætmål

I den indledende del af undersøgelsen er der blevet udført flydesætmål for en reference mørtelmasse indeholdende ren basis cement og mørtelmasse med delvis erstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan. Mørtelmasserne er blandet og støbt efter vejledninger givet i afsnit 6.2. Blandingsrecepterne for de individuelle mørtelmasser er ligeledes fundet i afsnit 6.2. Flydesætmålene er udført i overensstemmelse med DS/EN 1015-3 1999. I tabel 7.4 er resultaterne for flydesætmålene angivet sammen med en %-vise afvigelse fra reference prøven. Data for undersøgelsen af flydesætmålene er angivet i bilag B.9.

Tabel 7.4: Flydesætmål for reference mørtelmasse samt delvis 5% og 10% cement erstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan.

Prøve	Flydesætmål [mm]	Standard afvigelse [mm]	Afvigelse fra ref. [%]
RF	131	±6,9	
Zinkgruvan 5%	107,5	±1,29	- 27,79
Zinkgruvan 10%	106,5	±3,51	- 28,99
Keimö 5%	127,5	±2,08	- 7,75
Keimö 10%	122,5	±1,26	- 8,19

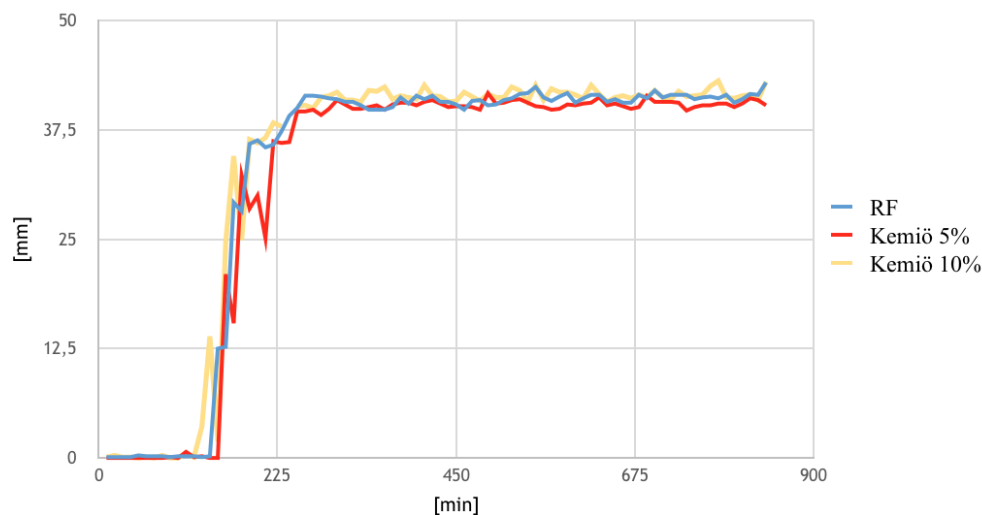
Det ses ud fra tabel.... at flydesætmålet generelt bliver lavere når cementen erstattes med mineaffald. Ud fra resultaterne ses det at der er en tendens for, at jo større cementerstatninger der udføres jo mindre bliver sætmålet. Dette er forventet idet der som sagt er et lavere indhold af cement tilstede i mørtelmassen, som dermed vil gøre den mindre bearbejdelig og medføre et lavere sætmål.

Tendensen at flydesætmålet bliver lavere ved tilsætning af mineaffald kan også forklares ud fra de benyttede mineaffalds korntyper. Både mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan består af korn der er meget kantede og ru, som giver en dårligere bearbejdelighed grundet nødvendigheden for mere cementpasta til at kunne dække det større overfladeareal. Desuden medfører kantede og ru partikler en mindre effektiv pakning, som igen betyder en forringelse af mørtelmassens bearbejdelighed (4)

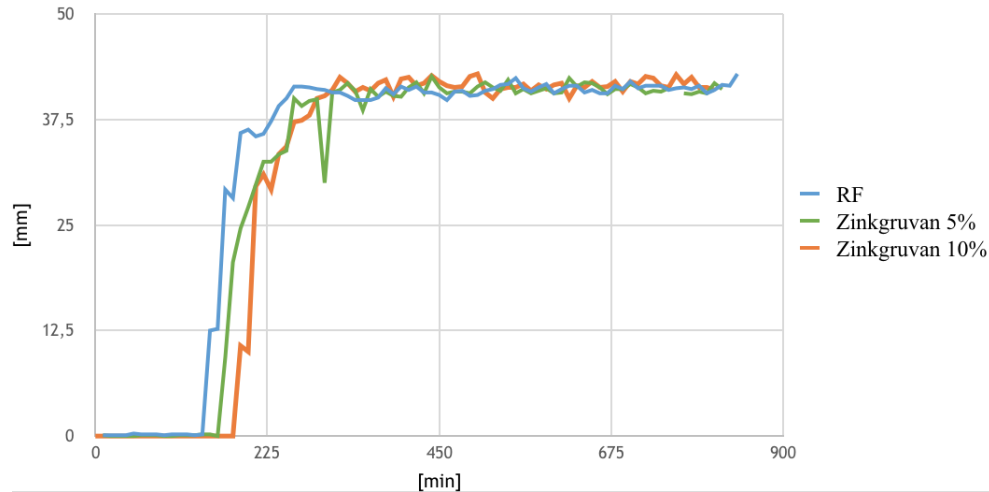
Det ses at flydesætmålet for mineaffaldet Kemiö er større end for Zinkgruvan. Det vides at Kemiö indholder en forholdsvis stor mængde vand selv efter opvarmning af materialet til 50°C. Dette kan være forklaringen på at bearbejdeligheden er bedre for mineaffaldet Kemiö end for Zinkgruvan, idet det overskydende vand som sagt vil føre til en mere bearbejdelig og flydende mørtelmasse.

7.1.3 Afbindingsforløb

Mørtelmassernes afbindingsforløb er blevet bestemt i overensstemmelse med DS/EN 196-3 [2009]. Afbindingsforløbet er målt for mørtelmasser indeholdende ren basis cement og delvis erstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan. Data for afbindingsforløbet er angivet i bilag B.10.



Figur 7.5: Afbindingsforløb for reference prøve sammenlignet med cementerstatning med henholdsvis 5% og 10% Kemiö mineaffald.



Figur 7.6: Afbindingsforløb for reference prøve sammenlignet med cementerstatning med henholdsvis 5% og 10% Zinkgruvan mineaffald.

Det ses umiddelbart ud fra figur 7.5 og 7.6, at det indeledende afbindingsforløb påvirkes mest ved cementerstatning med Zinkgruvan. I nedenstående tabel 7.5 angives den indledende og endelige afbindingstid for de undersøgte mørtelmasser. Desuden er forskellen fra referencen og den %-vise afvigelse også angivet.

Tabel 7.5: Indledende afbindingstid for reference prøven og delvis cementerstatning med mineaffaldet Kemio og Zinkgruvan.

Prøve	Indledende afbindingstid	Forskel fra reference	Afvigelse [%]
RF	2 timer 30 min	-	-
Zinkgruvan 5%	2 timer 50 min	+ 20 min	+ 13,33
Zinkgruvan 10%	3 timer 10 min	+ 40 min	+ 26,67
Keimö 5%	2 timer 40 min	+ 10 min	+ 6,67
Keimö 10%	2 timer 20 min	- 10 min	- 6,67

Tabel 7.6: Endelige afbindingstid for reference prøven og delvis cementerstatning med mineaffaldet Kemio og Zinkgruvan.

Prøve	Endelige afbindingstid	Forskel fra reference	Afvigelse [%]
RF	8 timer 50 min	-	-
Zinkgruvan 5%	7 timer 10 min	- 1 time 40 min	- 18,88
Zinkgruvan 10%	5 timer 50 min	- 3 timer	- 33,96
Keimö 5%	7 timer	- 1 time 50 min	- 20,75
Keimö 10%	6 timer 20 min	- 3 timer 30 min	- 28,30

Det ses ud fra tabel 7.5 at den indeledende afbindingstid ikke afviger signifikant fra reference prøven når der benyttes cementerstatning med mineaffaldet Kemio. Ved 5% erstatning med Kemio udskydes den indledende afbindingstid, men forkortes ved en erstatning på 10%. Ved benyttelsen af Zinkgruvan som cementerstatning opleves der istedet en modsat tendens, hvor den indledende afbindingstid bliver mere forsinket jo større mængder mineaffald der tilsættes. Dette ville stemme overens med at afbindingsforløbet forkortes idet der er mindre cement tilstede i mørtelmassen.

Den modsatte tendens for påvirkningen af afbindingsforløbet for de to mineaffald, kunne skyldes deres forskelligheder i indhold af kalcium og krom. Det vides at Zinkgruvan indeholder en større mængde kalcium end Kemio, hvorfor dette kunne medføre at afbindingstiden udskydes og forkortes. Det skal dog bemærkes at

der i litteraturen er blevet observeret modstridende tendenser når det kommer til forholdet mellem indholdet af calcium og dets indflydelse på afbindingstiden. I nogle sammenhæng med flyveaske, er det blevet observeret at et højt indhold af calcium kan udskyde afbindingen (15). Dog i andre sammenhæng er der ikke blevet observeret den samme effekt ved et forøget indhold af calcium karbonat, men snarere at der ikke kan drages en relation mellem calcium karbonat indholdet og afbindingstiden (16).

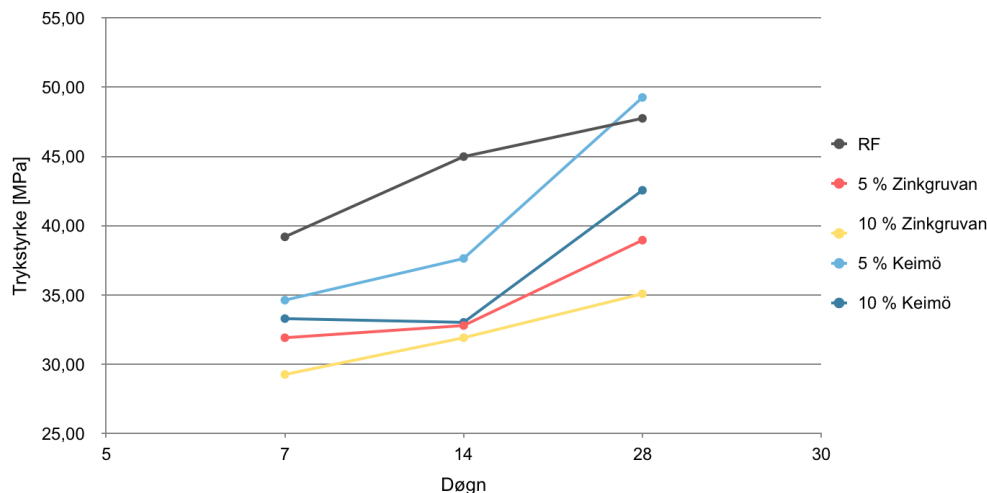
Formindskelsen af den indledende afbinding for Kemiö kunne være relateret til dets indhold af krom. Det vides fra afsnit 7.1.1 og tabel 7.2, at mineaffaldet Kemiö indeholder meget større mængder krom end Zinkgruvan, næsten i den samme mængde som findes i cementen. En øget mængde af krom ville kunne medføre en acceleration af afbindingen, idet tilstedeværelsen af krom ville bidrage til hydratiseringen af cementens C_3S klinkermineral (17).

Det ses at der generelt er meget stor variation i den endelige afbinding for mørtelmasserne indeholdende mineaffald. Den store variation kan skyldes at mørtelmassen bliver mindre bearbejdelig ved cementerstatning med mineaffaldet som observeret i afsnit 7.1.2. Den dårligere bearbejdelighed vil betyde en mere ujævn overflade, som vil have en negativ effekt på analysens udførelse, idet aflæsning af endelig afbindingstid i form af en nedsynkningsdybde på 0,5mm fra toppen af prøven vil blive mere upræcist.

Som omtalt i afsnit 5.2 vil betonens styrkeudvikling være mest effektiv efter mørtelmassen har afbundet. Idet der ved cementerstatning med mineaffald opnås en acceleration af den endelige afbindingstid, vil det kunne forventes at disse mørtelmasser vil have en tidligere styrkeudvikling.

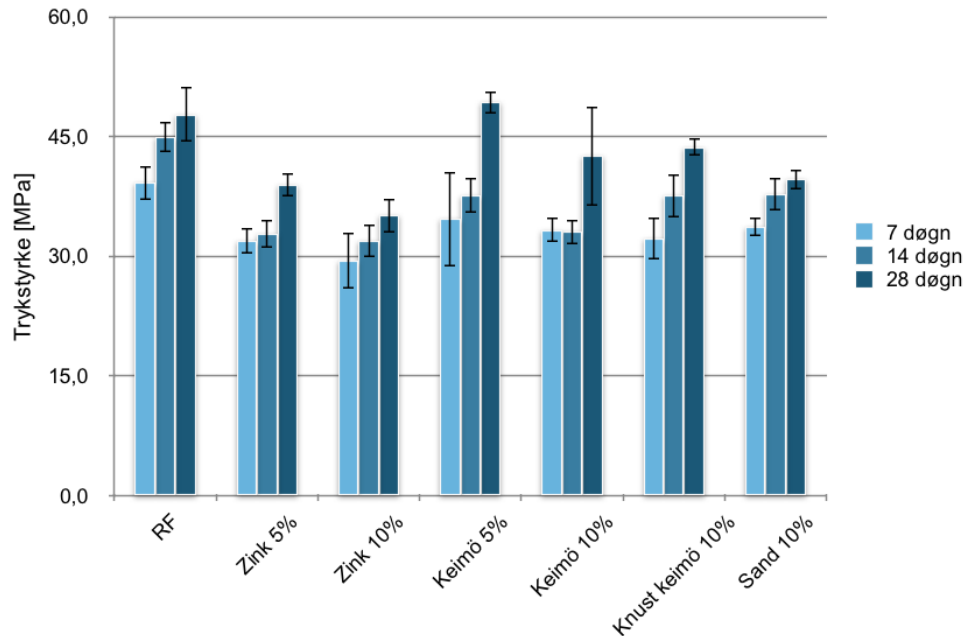
7.1.4 Tryktest

Der udføres trykprøvning for de støbte prismer med erstatning af cementen med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan. Derudover trykprøves der også en reference støbning til sammenligning. Der udføres trykprøvning på prismer der har ligget i hydratisering i henholdsvis 7, 14 og 28 dage. I overensstemmelse med [DS/EN 196-1, 2005], er den endelige trykstyrke af mørtelprismerne blevet beregnet efter udelukkelse af data ved et $\pm 10\%$ interval. Det blev fundet at det kun var ved 7 dage trykprøvningerne at det var nødvendigt at udelukke en måling. Rådata for trykprøvningerne og antallet af forkastede prøver ud fra $\pm 10\%$ marginen er angivet i bilag B.11. I nedenstående figur er styrkeudviklingen illustreret for reference prøven samt delvis cementerstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan.



Figur 7.7: Styrkeudvikling for mørtelprismer med ren Basis cement samt henholdsvis 5% og 10% cementerstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan.

I nedenstående figur illustreres igen styrkeudviklingen for de støbte prismer. Her inkluderes dog også standardafvigelsen beregnet efter benyttelsen af $\pm 10\%$ marginen jf. [DS/EN 196-1, 2005].



Figur 7.8: Styrkeudvikling for mørtelprismer med ren Basis cement samt henholdsvis 5% og 10% cementserstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan. Standardafvigelse efter udelukkelse af prøver jf. [DS/EN 196-1, 2005] er også angivet.

Ud fra figur 7.7 ses det at den tidlige styrke for 7 og 14 dage prøverne generelt bliver lavere når der tilsættes mineaffald. Dette skyldes nok at mineaffaldet forringer mørtelmassens bearbejdelighed, som vist i afsnit.... ud fra flydesætmålene. En forringelse af bearbejdeligheden og pakning af mørtelmassen vil komme til udtryk i den tidlige styrkeudvikling for betonen. Dette stemmer også overens med at styrkeudviklingen fra 7 til 14 dage for prøverne med mineaffald, ses at være forholdsvis lav i forhold til prøven med ren basis cement.

Det ses ud fra figur 7.8 at styrkeudviklingen fra 14 til 28 dage, sammenlignet med styrkeudviklingen fra 7 til 14 dage, er høj for prøverne der indeholder mineaffaldet Kemiö. Denne tendens kan skyldes tilstedeværelsen af puzzolaner som, omtalt i afsnit 5.3.4, kun har en indflydelse på den sene styrkeudvikling. Under XRD-analysen blev tilstedeværelsen af kvarts, mikroklin feldspat og biotit observeret, som omtalt tidligere er disse mineraler hovedbestanddelene i bjergarten tuffit, som indeholder det naturlige puzzolan tuf. Den høje styrkeudvikling fra 14 til 28 dage indikerer ligesom XRD-analysen at der er mulighed for tilstedeværelsen af bjergarten tuffit i mineaffaldet Kemiö. Ved sammenligning af prøverne for mineaffaldet Kemiö, ses det at den tidlige styrke samt styrkeudviklingen bliver lavere ved en cementserstatning på 10% end for 5%. Dette kan skyldes som før omtalt at mørtelmassen bliver mindre bearbejdelig og pakningen bliver dårligere når der tilsættes mineaffald.

Ved sammenligning af mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan, ses det at der generelt opnås en lavere styrke samt styrkeudvikling ved benyttelsen af Zinkgruvan istedet for Kemiö. Dette kan igen skyldes som omtalt den forringede bearbejdelighed af mørtelmassen, hvor mørtelmasserne indeholdende Zinkgruvan har en ringere bearbejdelighed end dem der indeholder Kemiö. Det ses at der ved benyttelse af en 10% cementserstatning med Zinkgruvan opnås en mere jævn styrkeudvikling end ved en erstatning på 5%. Dette var dog ikke forventet da som sagt en mindre bearbejdelighed ville resultere i en mere ujævn styrkeudvikling. Ifølge Mona Randahl Nielsen (5), blev der observeret en høj styrkeudvikling fra 14 til 28 dage ved både en 5% og 10% cementserstatning med Zinkgruvan, som kunne indikerer et indhold af puzzolaner. Dette blev dog senere i projektet modbevist, men kan i dette projekt allerede udelukkes, idet styrkeudviklingen for 10% erstatning med Zinkgruvan ikke viser tegn på puzzolan aktivitet.

7.1.5 Porøsitet og densitet

Porøsitet og densitet er blevet bestemt for de støbte mørtelprismer efter vejledningen angivet i bilag A.7. I nedenstående tabel er de vigtigste resultater fra undersøgelsen angivet. Rådata fra undersøgelsen er angivet i bilag B.12.

Tabel 7.7: I tabellen er angivet tørstofdensitet og den åbne porøsitet for støbte prismes med ren basis cement og delvis cementerstatning med mineaffaldet Zinkgruvan og Kemiö

	Enhed	RF	Zinkgruvan 5%	Zinkgruvan 10%	Kemiö 5%	Kemiö 10%
Tørstofdensitet	[kg/m ³]	2056,48	2048,64	2045,72	2059,20	2060,54
Åben porøsitet	[m ³ /m ³]	0,1898	0,1959	0,1978	0,1874	0,1886

I tabel 7.7 kan det observeres at tørstofdensiteten, der er massen af faststof inklusiv de lukkede og åbne porer pr. volumenhed, stiger med faldende åben porøsitet. Når der sammenlignes med referencen, ses det at når der tilsættes mineaffaldet Zinkgruvan opstår der større porøsitet og derved en lavere tørstofdensitet. Dette skyldes umiddelbart at, ved tilsætning af mineaffaldet til mørtelmassen forringe bearbejdigheden og pakningen, hvorfor muligheden for dannelse af porer øges. Denne tendens kunne også forventes at opstå for mineaffaldet Kemiö, der ligeledes har en kantede og ru kornstruktur, som når det tilsættes i mørtelmassen vil forringe bearbejdigheden. Dog ses det istedet i tabel 7.7, at ved tilsætning af mineaffaldet Kemiö falder den åbne porøsitet og tørstofdensiteten stiger. Dette kunne skyldes et muligt indhold af puzzolaner i form af tuf som før omtalt. Udover at puzzolaner bidrager til den sene styrkeudvikling, vil dannelsen af ekstra kalci-umsilikathydrater under puzzolan reaktionen, kunne fylde kapillar hulrum op og dermed nedsætte betonens porøsitet. (4)

8 Delkonklusion for indledende undersøgelser

Ved brug af en SEM analyse blev mineaffaldets kornstruktur fastlagt. SEM analysen viste at mineaffaldet fra Kemiö og Zinkgruvan begge hovedsageligt består af kantede og ru partikler. Mineaffaldet fra Kemiö har dog en mere pladelignende struktur end Zinkgruvan, som skyldes indholdet af mineralerne moskovit og biotit. Den kantede og ru struktur for begge mineaffald vil betyde at bearbejdigheden af mørtelmassen forværres.

Kornstørrelsesfordelingen viste at mineaffaldet Kemiö minder meget om søsand i dets partikel størrelse. Derudover viste det sig at mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan ikke vil kunne benyttes som en filler i deres nuværende tilstand, idet de begge overstiger filler-grænsen defineret ved $250\mu m$.

Under laboratorie undersøgelserne blev det for mineaffaldet fra Kemiö fundet, at det har et højt vandindhold selv efter at det har været opvarmet til $50^{\circ}C$. Det overskydende vand vil kunne have en indflydelse på mørtelmassens bearbejdighed i form af flydesæt målet. Dernæst blev det fundet at mineaffaldet fra Kemiö har et meget lavt indhold af karbonat, hvorfor tilstedeværelsen af calcit kan udelukkes. Den målte pH-værdi af mineaffaldet viste sig at være mere sur end basisk, som kun vil kunne bidrage negativt til korrosionsmiljøet i betonen. Ved en ICP analyse blev det observeret at mineaffaldet Kemiö overholder alle grænseværdier for indholdet af restprodukter til anvendelse i bygge- og anlægsarbejder jf. Miljøstyrelsen 2015. Ved en glødetab undersøgelse blev det observeret at mineaffaldet Kemiö ikke indeholder store mængder af organisk materiale eller uorganisk materiale som karbonater i form af kalk eller calcit. Derimod havde mineaffaldet et stort glødetab efter opvarmning til $950^{\circ}C$, som indikerer at mineaffaldet kunne indeholde calcit. Indholdet af calcit i mineaffaldet Zinkgruvan bekræftes i tidligere undersøgelse foretaget af mineaffaldet (5).

For at få et indtryk af mineral indholdet i mineaffaldet Kemiö blev der udført en XRD analyse. Analysen viste at mineaffaldet hovedsageligt består af kvarts, albit, mikroklin feldspat, biotit og muskovit. Dette stemmer overens med relevant litteratur og mineralogy undersøgelsen foretaget af mineaffaldet. Tilstedeværelsen af kvarts, mikroklin feldspat og bitotit kunne tyde på at mineaffaldet indeholder bjergarten Tuffit. Tuffit indeholder som omtalt en hvis mængde tuf som besidder puzzolanske egenskaber.

Flydesæt målene viste at ved cementerstatning med mineaffald sænkes bearbejdigheden af mørtelmassen. Flydesæt målet blev forringet mest ved cementerstatning med Zinkgruvan end med Kemiö. Begge mineaffald består af kantede og ru partikler som medføre formindskelse af bearbejdigheden. Det overskydende vand fra mineaffaldet Kemiö kunne have bidraget til en forøgelse af mørtelmassens bearbejdighed, hvorfor flydesæt målet for Kemiö er større end for Zinkgruvan. Forskellen kunne også skyldes at Kemiö og Zinkgruvan har nogenlunde den samme kornstruktur, men kornstørrelsen for Kemiö er en smule større, som betyder at mindre cementpasta er nødvendig for at opnå samme bearbejdighed (4)

Afbindingsforløbene indikerede at ved tilsætning af mineaffald til mørtelmassen sænkes den endelige afbindingstid. Ligeledes blev det observeret at den indledende afbinding ved cementerstatning med Zinkgruvan blev udskydt, formentlig på grund af den forringede bearbejdighed og muligvis grundet dets indhold af calcit. Dette kan dog ikke direkte bekræftes ifølge litteraturen.

Trykprøvningen af mørtelprismene viste at ved tilsætning af mineaffald til mørtelmassen forringes trykstyrken generelt, formentlig på grund af mørtelmassernes mindre bearbejdighed. Der blev observeret størst forringelse af trykstyrken ved benyttelse af mineaffaldet Zinkgruvan. Ved benyttelse af mineaffaldet Kemiö blev der observeret en stor styrkeudvikling fra 14 til 28 dage prøverne, som indikere at der kunne være puzzolanske materiale tilstede. Ifølge Mona Randahl Nielsen (5), blev samme tendens observeret for mineaffaldet Zinkgruvan. Dette kan dog ikke bekræftes i dette projekt, da ved 10% cementerstatning med Zinkgruvan blev der observeret en meget mere jævn styrkeudvikling.

De støbte mørtelprismers porøsitet og densitet er blevet bestemt. Det viste sig at ved cementerstatning med mineaffaldet Kemiö fås en mindre porøs og mere kompakt beton, sammenlignet med cementerstatningen med Zinkgruvan som viste sig at have modsat effekt. Den mindre porøse og mere kompakt beton som resultatet af anvendelsen af mineaffaldet Kemiö kan igen skyldes tilstedeværelsen af puzzolanske materiale.

9 Videre undersøgelser

I den indledende del af undersøgelsen, blev det observeret at mineaffaldet har potentiale for at indholde puzzolansk materiale i form af tuf fra bjergarten Tuffit. Derudover blev det observeret at bearbejdigheden af mørtelmassen forringes ved cementerstatning med mineaffaldet Kemiö, idet mineaffaldet består af kantet og ru kornpartikler. Det vil derfor være relevant at undersøge tilstedeværelsen af puzzolansk materiale nærmere, samt foretage en optimering af mørtelmassens bearbejdighed for muligheden at opnå en højere trykstyrke. Ud fra disse betragtninger er det valgt at gå videre med følgende undersøgelse:

Optimering af kornstørrelse

For at undersøge tilstedeværelsen af puzzolansk materiale og muligheden for optimering af mørtelmassens bearbejdighed, er det i den videre undersøgelse valgt at fokusere på en optimering af mineaffaldets kornstørrelse.

Idet puzzolan aktiviteten generelt øges ved mindre kornstørrelser, ville det være relevant at undersøge tilstedeværelsen af puzzolansk materiale i mineaffaldet som følge af denne tendens. Ved at foretage en knusning af mineaffaldet til en finere størrelse, ville aktiviteten af puzzolansk materiale kunne observeres som en forøgelse af mineaffaldets 28 dages trykstyrke.

Da betonens styrke er afhængig af mørtelmassens bearbejdighed vil det også være relevant at undersøge om dette kunne forbedres og dermed resultere i en højere tidlig trykstyrke og mere jævn styrkeudvikling. Ved at foretage en optimering af kornstørrelsen af mineaffaldet, vil optimeringen af bearbejdigheden af mørtelmassen komme til udtryk som følge af filler-effekten. Filler-effekten muliggør en mere bearbejdelig mørtelmasse og bedre pakning, grundet de finere og mere varierende kornstørrelser.

Udover en mere bearbejdelig mørtelmasse vil filler-effekten som følge af knusning af mineaffaldet, også bidrage til heterogen kimdannelse som omtalt i afsnit 5.3.3. Dette vil betyde at sammen med puzzolan aktiviten, vil en optimering af kornstørrelsen kunne bidrage til en forøgelse af den tidlige samt sene styrke og en generelt mere jævn styrkeudvikling.

For at mineaffaldet skal kunne agere som en filler og opnå en filler-effekt, skal det overholde fillergrænseværdien på $250\mu m$. Til knusningen af mineaffaldet benyttes håndkræft i form af en morter, hvorefter det knuste materiale er sigtet i en 0,250mm sigt. Inden mineaffaldet knuses er det blevet opvarmet og tørret i en ovn ved $50^{\circ}C$.

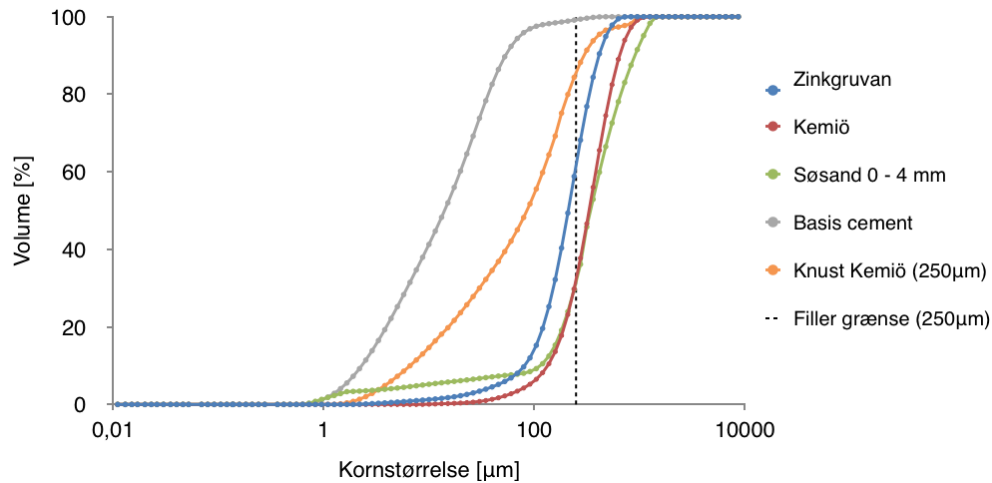
Sammenligning med søsand 0-4mm

Udover at foretage en optimering af kornstørrelsen af mineaffaldet Kemiö, vil der i den videre undersøgelse også blive sammenlignet med en 10% cementerstatning med søsand 0-4mm. Dette gøres da det i den indledende undersøgelse blev observeret, at mineaffaldet Kemiö minder meget om søsand i dets kornstørrelse og korndensitet. Derudover vil der ved denne sammenligning igen kunne identificeres det mulige indhold af puzzolaner i mineaffaldet Kemiö, da det vides at søsand der hovedsageligt består af kvarts ikke besidder puzzolan aktivitet. I den videre undersøgelse benyttes sammenligningen med en 10% cementerstatning med søsand 0-4mm, kun ved en SEM analyse af kornstrukturen og trykprøvningen af støbte mørtelprismer.

10 Optimering af kornstørrelse

10.1 Kornstørrelsesfordeling for knust Kemiö

Det blev i forrige afsnit valgt at fokusere på en optimering af mineaffaldets kornstørrelse. For at mineaffaldet efter knusning skal kunne agere som en filler skal det overholde filler-grænsen ved $250\mu\text{m}$. For at undersøge om det knuste mineaffald vil kunne overholde denne grænse, er der foretaget en undersøgelse af det knuste mineaffalds kornstørrelsesfordeling. Data fra undersøgelsen kan findes i bilag B.1.

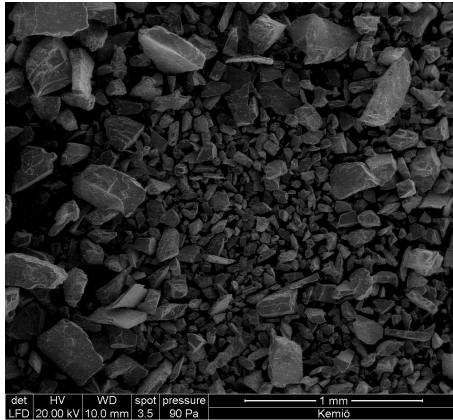


Figur 10.1: Kornstørrelsesfordeling for det knuste Kemiö mineaffald. Grænseværdien på $250\mu\text{m}$ for filler er også illustreret.

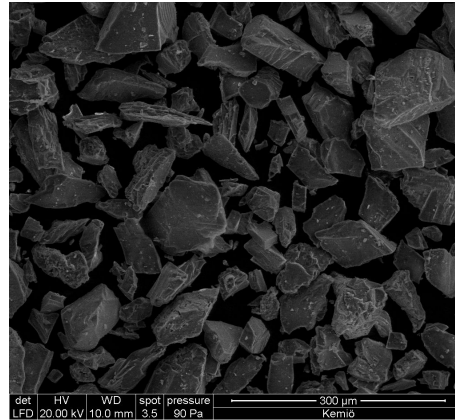
Det ses ud fra figur 10.1 at det knuste mineaffald nogenlunde overholder filler-grænsen ved $250\mu\text{m}$. Grunden til at kornfordelingen for det knuste Kemiö ikke fuldstændig overholder grænseværdien, kunne være at der under sigtningen af det knuste materiale har været nogle huller tilstede i sigten der var større end $0,250\text{mm}$. Samtidig ses det at der efter knusning af mineaffaldet opnås en langt mere varierende kornfordeling, som vil virke positivt for mørtelmassens bearbejdighed grundet en bedre pakning. Selvom hele kornfordelingen for det knuste mineaffald ikke ligger inde for filler-grænseværdien, kan muligheden for filler-effekt stadig accepteres grundet den øget variation i finere partikler.

10.2 SEM analyse for knust Kemiö

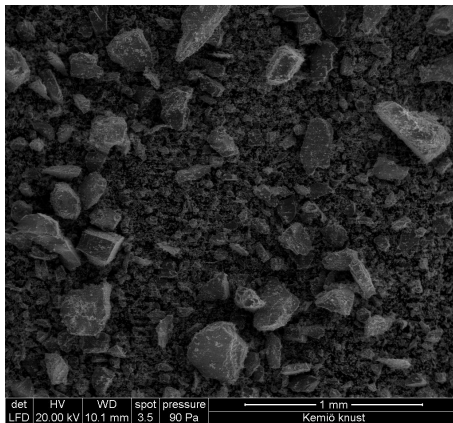
Udover kornstørrelsesfordelingen undersøges det knuste mineaffalds karakteristisk gennem en SEM analyse. I nedenstående figur 10.2 og 10.3 er SEM analyser af knust og ikke knust Kemiö mineaffald illustreret, henholdsvis med en forstørrelsesfaktor på 50 og 200 gange.



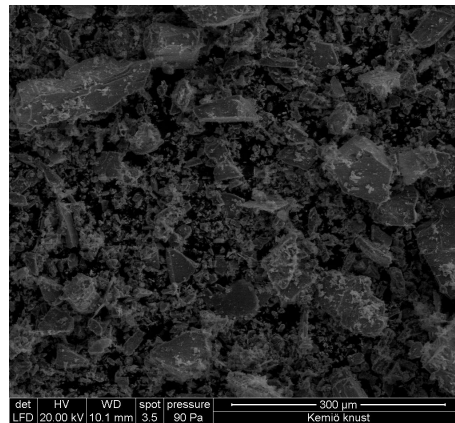
(a) Kemiö mineaffald forstørret 50 gange



(b) Kemiö mineaffald forstørret 200 gange

Figur 10.2: SEM analyse af mineaffaldet Kemiö

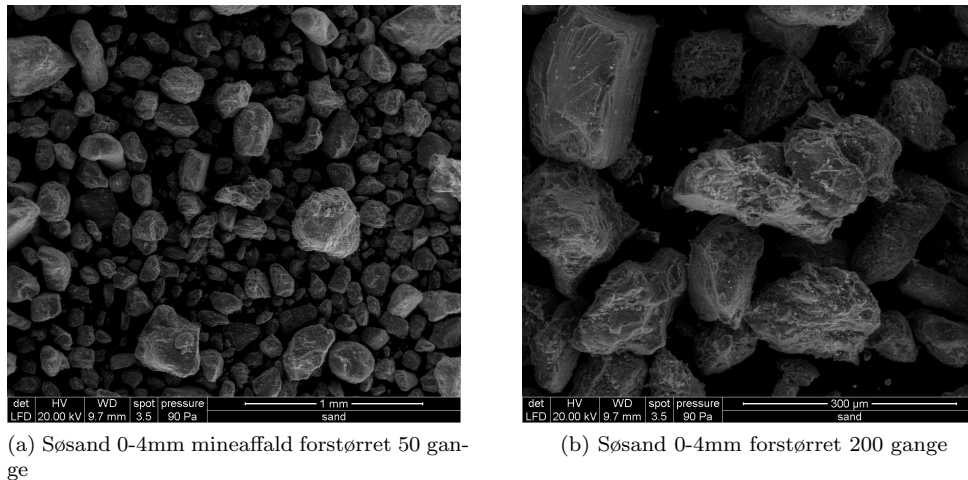
(a) Knust Kemiö mineaffald forstørret 50 gange



(b) Knust Kemiö mineaffald forstørret 200 gange

Figur 10.3: SEM analyse af knust Kemiö mineaffald

Det ses ud fra SEM analysen at ved knusning af mineaffaldet Kemiö, opnås en kornstruktur der ikke er ligeså kantet og pladelignende som inden knusning. Efter knusning omdannes de kantet og pladelignende kornpartikler, til en mere afrundede og mindre pladelignende struktur. Derudover ses der at være en større fordeling af varierende kornstørrelser, som stemmer overens med kornstørrelsesfordelingen for det knuste mineaffald Kemiö. Den mere afrundede og mindre pladelignende kornstruktur vil bidrage positivt til bearbejdigheden, i form af øget pakning og mindre friktion mellem de individuelle partikler. I nedenstående figur 10.4 er SEM analysen for søsand 0-4mm illustreret.:



(a) Søsand 0-4mm mineaffald forstørret 50 gange

(b) Søsand 0-4mm forstørret 200 gange

Figur 10.4: SEM analyse af søsand 0-4mm

Søsandet har som forventet en meget mere afrundede kornstruktur og er mindre pladelignende end mineaffaldet Kemiö. De afrundede korn vil som før omtalt bidrage positivt til bearbejdeligheden grundet mindre friktion og bedre muligheder for pakning. Sammenlignes SEM analyserne for knust mineaffald og søsand, ses det at det knuste mineaffald består af mere varierende kornstørrelse. Så selvom søsandets afrundede kornstruktur vil kunne bidrage med en mindre friktion end det knuste mineaffald ville kunne bidrage med, vil de meget små og fine kornpartikler i det knuste mineaffald opveje denne forskel i form af bedre pakning. Det kunne derfor forventes at disse to mørtelmasser, henholdsvis indeholdende søsand og knust mineaffald, begge ville have en passende bearbejdelighed og en mere jævn styrkeudvikling.

10.3 Flydesætmål for knust Kemiö

Der er udført et flydesætmåls eksperiment for at undersøge bearbejdeligheden for det knuste mineaffald Kemiö. Flydesætmålene er udført i overensstemmelse med DS/EN 1015-3 1999 og blandingsrecepterne angivet i afsnit 6.2.1 Rådata findes i bilag B.9.

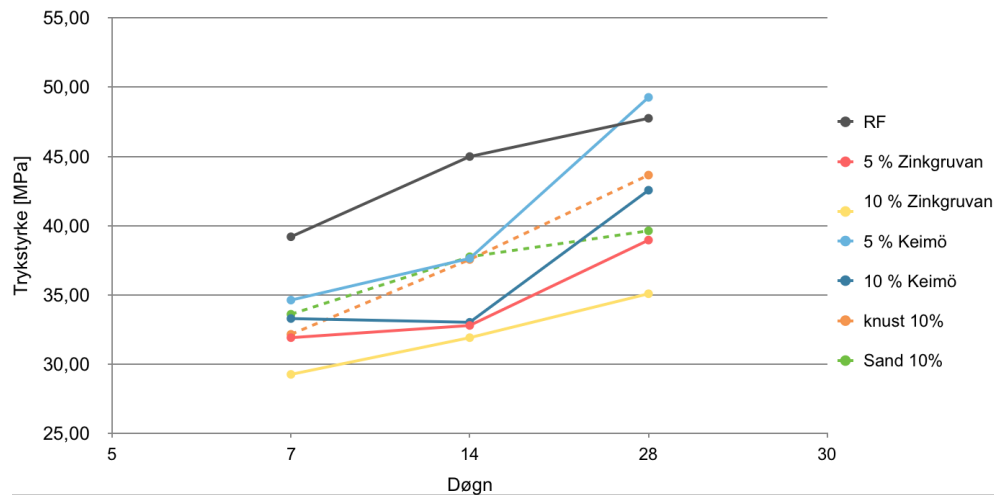
Tabel 10.1: Flydesætmål for reference mørtelmasse samt delvis 5% og 10% cement erstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan. Derudover er flydesætmålet for knust Kemiö også angivet.

Prøve	Flydesætmål [mm]	Standard afvigelse [mm]	Afvigelse fra ref. [%]
RF	131	±6,9	
Zinkgruvan 5%	107,5	±1,29	- 27,79
Zinkgruvan 10%	106,5	±3,51	- 28,99
Keimö 5%	126,6	±1,25	- 4,5
Keimö 10%	122,5	±1,26	- 8,19
Knust Keimö 10%	128,9	±0,63	- 2,25

Ud fra tabel 10.1 ses det at ved benyttelsen af knust Kemiö, vil mørtelmassens bearbejdelighed blive bedre i forhold til benyttelsen af ikke knust Kemiö mineaffald. Dette var forventet da der ved SEM analysen blev observeret, at det knuste Kemiö mineaffald indeholdte langt færre kantet og pladelignende kornpartikler. Derudover blev det i kornstørrelsesfordelingen observeret, at der er en stor variation i forskellige kornstørrelser, som bidrager til en bedre pakning. Der er ikke blevet lavet flydesætmål for cementerstatning med 10% sand, selvom dette kunne have været relevant for at sammenligne bearbejdelighederne og senere styrkeudviklingen.

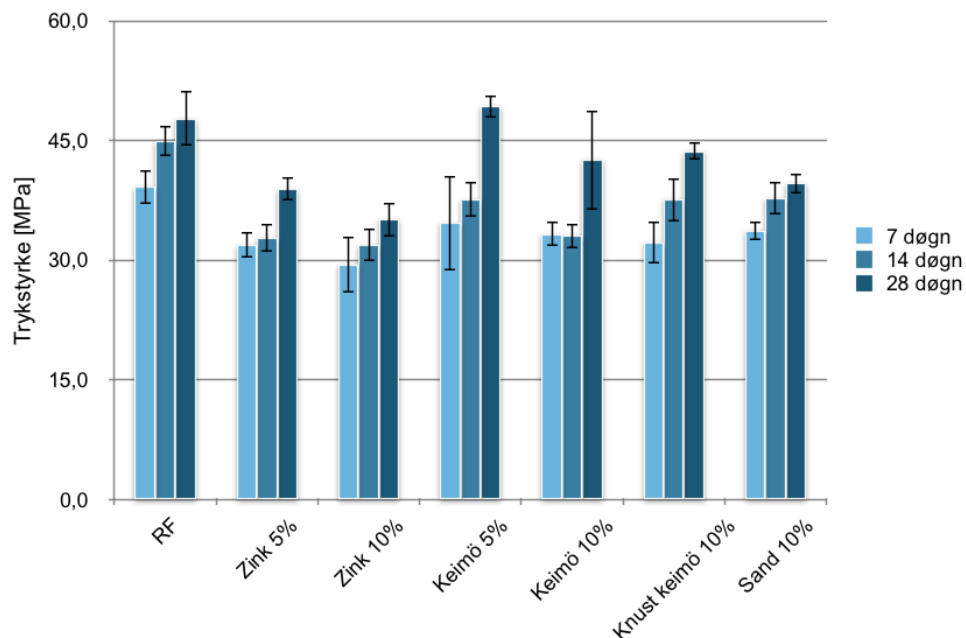
10.4 Trykstyrke for knust Kemiö

Der udføres trykprøvning af det knuste mineaffald Kemiö i en cementerstatning på 10%. De støbte mørtelprismer der benyttes i trykprøvningen har ligget i hydratiseringen i 7, 14 og 28 dage. Blandingsrecepterne for mørtelprismerne er angivet i afsnit 6.2.1. Den endelige trykstyrke bestemmes efter $\pm 10\%$ marginen jf. [DS/EN 196-1, 2005]. Rådata fra trykprøvningen findes i bilag B.11.4.



Figur 10.5: Funderingsform for multihallen. Der benyttes en kombination af pælefundering, punktfundering og stribefundering.

I nedenstående figur 10.6 illustreres igen styrkeudviklingen for de støbte prismen. Her inkluderes dog også standardafvigelsen bestemt efter benyttelsen af $\pm 10\%$ marginen jf. [DS/EN 196-1, 2005].



Figur 10.6: Styrkeudvikling for mørtelprismer med ren Basis cement samt henholdsvis 5% og 10% cementerstatning med mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan. En cementerstatning med 10% knust Kemiö (250 μ m) og søsand ses også angivet. Standardafvigelse er bestemt efter udelukkelse af prøver jf. [DS/EN 196-1, 2005].

Ud fra figur 10.5 ses det at der efter knusning af mineaffald Kemiö er opnået en langt mere stabil styrkeudvikling. Trykstyrken for det knuste Kemiö ved 7 dages prøverne er dog lavere i forhold til det ikke knuste Kemiö mineaffald ved en cementerstatning på 10%. Dette var ikke forventet, idet det knuste mineaffald burde være mere bearbejdeligt som observeret ved flydesætmål undersøgelsen, og vil derfor have en tidligere styrkeudvikling.

Det ses dog at der opnås en langt større styrke efter 14 dage for det knuste Kemiö end for det ikke knuste. Dette vil stemme overens med filler-effekten der bidrager til styrkeudviklingen i betonens tidlige alder. Fra 14 til 28 dage prøverne opstår der ikke det samme drastiske spring i betonens styrke, som det er blevet observeret for det ikke knuste Kemiö. Dog er der stadig opstået en forøgelse af den 28 dages trykstyrke efter knusning af mineaffaldet, men det kan ikke direkte konkluderes om dette er grundet den øget puzzolan aktivitet fra de finere partikler eller om det er grundet filler-effekten i form af optimeret pakning og bearbejdelighed.

Sammenlignes trykstyrkeudviklingen for Kemiö med den for søsandet 0-4mm, ses det at den tidlige trykstyrke for 7 dage prøverne for det knust Kemiö er lavere, men ved 14 dage prøverne opnår de stort set samme trykstyrke. At det knuste mineaffald i begyndelsen er lavere end søsandets, kunne være grundet i at bearbejdeligheden muligvis er bedre for søsandet end det er for det knuste Kemiö. Søsandet består som sagt af mere afrundede kornpartikler end det knuste mineaffald, og besidder desuden også en hvis variation i kornstørrelser som observeret i kornstørrelsesfordelingen figur 10.1 Det knuste mineaffald Kemiö er også meget varierende i kornstørrelser, men er tilgængelig stadig mere kantet og pladelignende end søsandet.

Efter 28 dages trykprøvningen ses det at styrken for knust Kemiö bliver højere end for søsandet. Søsandets styrkeudvikling minder meget om cementens, ved at være faldende efter 14 dage, men dette er forståeligt siden der er mindre cement og mere søsand. Som før nævnt ses det i figur 10.5 at søsandet og det knuste Kemiö krydser hinanden præcis ved 14 dage prøverne, men derefter stiger det knuste Kemiö og søsandet falder. Dette indikere igen muligheden for at mineaffaldet Kemiö kan besidde puzzolansk aktivitet i form af tuf fra Tuffit, da det vides at søsand, der hovedsageligt er kvarts, ikke er et naturligt puzzolansk materiale.

10.5 Delkonklusion for videre undersøgelser

Det blev observeret ved en SEM analyse at ved knusning af mineaffaldet Kemiö, opnås en kornstruktur der er mindre kantet og pladelignende. Derudover har knusning af mineaffaldet bidraget til, at der er opnået en langt mere varierende kornstørrelsesfordeling.

Den mindre kantet partikelstruktur og mere varierende kornfordeling har vist sig som forventet, at øge bearbejdeligheden af mørtelmassen som observeret ud fra flydesætmålet. Knusning af mineaffaldet har derfor haft en positiv effekt på bearbejdeligheden, ved at mindske friktionen mellem kornpartiklerne og øge pakningen gennem en mere varierende kornfordeling.

Ud fra trykprøvningen af mørtelprismerne med et indhold af 10% cementerstatning med knust Kemiö, har det vist sig at der er opnået en mere jævn og stabil styrkeudvikling. Dog har det vist sig at 7 dage trykstyrken er blevet mindre end ved benyttelsen af ikke knust 10% cementerstatning med Kemiö, som ikke var forventet. Dog opnår det knuste Kemiö end højere 14 og 28 dage trykstyrke.

Sammenlignet med en 10% cementerstatning med søsand 0-4mm, viste det sig at det knuste Kemiö får en 7 dage trykstyrke der er en smule lavere end søsandets. Dette kunne skyldes at søsandet har en bedre bearbejdelighed end det knuste Kemiö, grundet de mere afrundede kornpartikler observeret ved SEM analysen. Dog kan dette ikke direkte bekræftes, da der ikke er blevet udført flydesætmål for 10% cementerstatning med søsand 0-4mm.

Ud fra observationerne fra trykprøvningen af det knuste Kemiö mineaffald, kan det konkluderes at knusning af mineaffaldet har bidraget til en filler-effekt i form af en mere jævn styrkeudvikling fra 7 til 14 dage prøverne. Dernæst opnås en højere 28 dages trykstyrke, som kunne indikere puzzolan aktivitet og tilstedeværelsen af bjergarten Tuffit i mineaffaldet. Dog er styrkeudviklingen fra 14 til 28 dage prøverne for knust Kemiö 10% cementerstatning ikke lige så markant som ved det ikke knust Kemiö 10%. Det kan derfor ikke direkte bekræftes at styrkeudviklingen er på grund af puzzolan aktiviteten fra tuf i bjergarten Tuffit, da det også er muligt at filler-effekten gennem heterogen kimdannelse har bidraget til forøgelsen af trykstyrken.

11 Konklusion

Projektets formål er at undersøge mulighederne for at benytte mineaffald som en delvis erstatning af cement i beton. I projektet er der blevet fokuseret på mineaffaldet fra Kemiö, Finland, der stammer fra en open-pit mine med stort indhold af feldspar og kvarts. Under projektet er mineaffaldet Kemiö blevet sammenlignet med mineaffaldet fra Zinkgruvan, Sverige, der hovedsageligt er en zink-, bly- og kobbermine (5). Til sidst er det i projektet valgt at fokusere på mineaffaldets indflydelse på bearbejdigheden og trykstyrken specielt.

I den indledende del af undersøgelsen blev der foretaget en karakteristik af mineaffaldet Kemiö. Under undersøgelsen blev mineaffaldet sammenlignet med basis cement (CEM-II), søsand 0-4mm og mineaffaldet Zinkgruvan. Det viste sig ved en SEM analyse at mineaffaldet Kemiö har en meget kantet og pladelignende kornstruktur. Dette har også vist sig at gælde for mineaffaldet Zinkgruvan men ikke i samme grad. Den pladelignende og kantet struktur skyldes at mineaffaldet Kemiö og Zinkgruvan stammer fra bjergarter. Kornstørrelsesfordelingen indikerede at mineaffaldet Kemiö minder meget om søsandets, dog med ikke lige så stor varierende kornstørrelser. Mineaffaldet Kemiö viste sig at være præet af en meget ensartet kornstørrelse, og i dets naturlige tilstand ikke kan benyttes som en filler da det ikke overholder filler-grænsen på $250\mu\text{m}$.

Under laboratorie undersøgelserne viste det sig at mineaffaldet Kemiö har et forholdsvis højt vandindhold selv efter opvarmning til 50°C . Dernæst blev det observeret at mineaffaldet Kemiö har det lavt indhold af karbonat, som indikere at der ikke er tilstedeværelsen af calcit. Derudover viste pH-værdien sig at være i den sure ende og mere syrlig end Zinkgruvan, hvorfor mineaffaldet vil have en negativ effekt på korrosionsmiljøet. ICP analysen indikerede at mineaffaldet Kemiö overholder grænseværdierne for indholdet af restprodukter til anvendelse i bygge- og anlægsarbejder jf. Miljøstyrelsen 2015. Det blev ligeledes observeret at mineaffaldet har et højt langt større indhold af krom i forhold til Zinkgruvan.

XRD analysen af mineaffaldet Kemiö bekræfter tilstedeværelsen af kvarts, mikroklin feldspat, albit, biotit og muskovit, som stemmer overens med den relevante litteratur (13) samt mineralogy undersøgelsen angivet i bilag B.8. Der blev dog ikke fundet almadine og chlorite som ellers angivet i litteraturen og mineralogy undersøgelsen, men da XRD analysen blot er et gæt ud fra en stor database af mulige mineraler, kan deres tilstedeværelse i mineaffaldet ikke udelukkes. Indholdet af kvarts, mikroklin feldspat og muskovit indikerede at der var mulighed for tilstedeværelsen af tuf i form af bjergarten Tuffit (2).

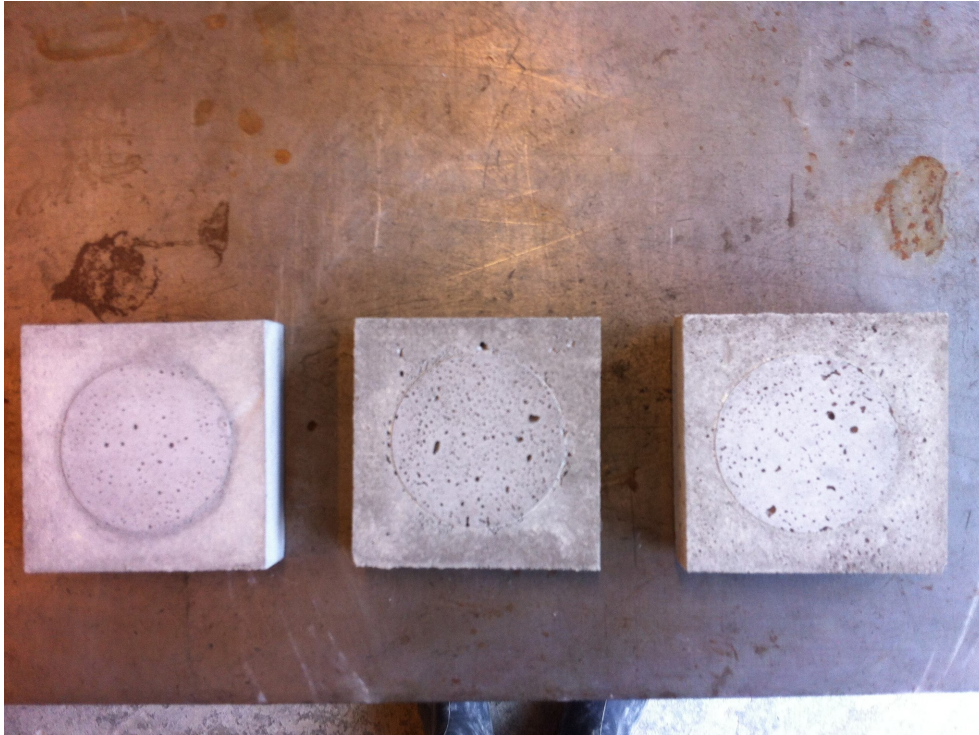
Ved undersøgelsen af flydesætmålene blev det observeret at mørtelmassens bearbejdighed generelt forringes ved tilstedeværelsen af mineaffald. Dette var forventet grundet de to mineaffalds kantet og pladelignende kornstruktur. Ved cementerstatning med Zinkgruvan opnås den største forringelse af bearbejdigheden. Forskellen kunne skyldes at mineaffaldet Kemiö indholder en større mængde overskydende vand selv efter tørring. Det kunne også skyldes at Kemiö og Zinkgruvan har stort set samme konstruktion, men Kemiö har en smule større kornstørrelse, som medfører at mindre cementpasta er nødvendig for at opnå samme bearbejdighed (4). Ved afbindingsforløbet blev det observeret at ved tilstedeværelsen af mineaffald, både Kemiö og Zinkgruvan, vil den endelige afbindingstid opstå hurtigere. Dette var forventet siden der er et mindre indhold af cement i mørtelmassen. Den indledende afbindingstid for Zinkgruvan blev udskydt, som også var forventet grundet forringelsen af bearbejdigheden. Dog blev det observeret at den indledende afbindingstid for Kemiö var nogenlunde det samme som referencens, som kunne tyde på at indholdet af krom i mineaffaldet har accelereret afbindingstiden (17).

Trykprøvningen viste sig at ved et indhold af mineaffald forværres trykstyrken generelt. Den forringet bearbejdighed viser sig i form af en ujævn og svag tidlig styrke for begge mineaffald. Ved benyttelsen af mineaffaldet Kemiö som cementerstatning blev det observeret at der opstår en stor styrkeudvikling fra 14 til 28 dage, som indikere at der kunne være et indhold af naturligt puzzolansk materiale i form af tuf fra bjergarten Tuffit. Tilstedeværelsen af tuf i mineaffaldet Kemiö kan også indikeres ud fra dem bestemte porøsiteten og densitet for de støbte mørtelprismer. Her viste det sig at porøsiteten er lavest og densiteten højest ved anvendelse af mineaffaldet Kemiö som cementerstatning, som kunne skyldes dannelsen af øvrige kalciumsilikathydrater i kapillar hulrum under puzzolan reaktionen (4).

Som videre undersøgelse og optimering af trykstyren, blev mineaffaldet knust til filler-grænsen på $250\mu m$. Det viste sig at dette medførte langt flere ikke kantet og pladelignende kornpartikler og en mere varierende kornstørrelse. Dette resulteret i en bedre bearbejdelighed i form af flydesætmålet og en mere jævn og stabil styrkeudvikling. Dog blev det observeret at styrkeudviklingen for 7 dage prøven blev lavere end ved det ikke knuste Kemiö mineaffald, som ikke var forventet. Dog opnås en langt større 14 dage trykstyrke, som indikere at det knuste mineaffald alligevel kunne agere som en filler med filler-effekt. Tilstedeværelsen af puzzolansk materiale i form af tuf blev delvis bekræftet ved 28 dage trykprøvningen, som viste sig at være højere end for det ikke knuste Kemiö mineaffald. Men idet der ikke var den samme markante ændring fra 14 til 28 dage prøverne, kan det ikke direkte bekræftes at denne forøgelse er på grund af puzzolan aktivitet, da heterogen kimdannelse fra filler-effekten også kunne være årsagen.

12 Farveprøver

Der er blevet støbt en farveprøve af en mørtelklods med et indhold af mineaffaldet Kemiö. Farveprøverne er illustreret i figuren nedenfor:



Figur 12.1: Her afbildes farveprøver med henholdsvis ren basi cement, mineaffaldet Zinkgruvan og mineaffaldet Kemiö.

13 Referencer

Herunder fremgår benyttede kilder i bachelorprojektet.

Litteratur

- [1] <http://www.tailings.info>. Besøgt d. 6/6/2017.
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tuffite>. Sidst opdateret d. 24 august 2016. Besøgt d. 6/6/2017.
- [3] Hudson Institute of Mineralogy - SP Minerals feldspar quarry, Ala-Aulis, Kemiö Island (Kimito Island), Southwestern Finland Region, Finland. <https://www.mindat.org>. Besøgt d. 6/6/2017.
- [4] P. Kumar Mehta og Paulo J. M. Monteiro (2014). Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Education.
- [5] Mona Randahl Nielsen (2017). Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton. DTU: Department og Civil Engineering.
- [6] Aalborg Portland (1999). Portlandcementer.
- [7] Aalborg Portland (2015). Jacob Thrysoe Teknisk Konsulent, M.Sc. Sammenhæng mellem cementegenskaber og betonegenskaber.
- [8] Dansk Betonforening (2013). Betonhåndbogen. <http://betonhaandbogen.dk>. Besøgt d. 12/6/2017.
- [9] Erik V. Meyer, C. S. Forum og H. Krenchel. Cementfabrikkernes tekniske Oplysningskontor. Beton bogen: Fra Cement til Beton.
- [10] Chai Jaturapitakkul, Jatuphon Tangpagasit, Sawang Songmue og Kraiwood Kiattikomol (2011). Filler effect of fine particle sand on the compressive strength of mortar.
- [11] Philippe Lawrence, Martin Cyr an Erick Ringot (2005). Mineral admixtures in mortars effect of type, amount and fineness of fine constituents on compressive strength.
- [12] Peter Stockmarr. Bestemmelse af plasticitetsindeks ud fra glødetab på uorganisk materialer. Hentet fr <http://www.danskegeoteknikforening.dk>. den 8/6/2017
- [13] Central European Countries: Mining and Mineral Industry Handbook (2015). Volume 1, Strategic Information and Contacts.
- [14] Owen, M. L. og Meyer, L. H. (2013). Technical report for the Zinkgruvan mine, Central Sweden. Wardell Armstrong International.
- [15] Michael Thomas, Ph.D., P.Eng., Professor of Civil Engineering, University of New Bru (2007). Portland Cement Association.
- [16] Peter Hawkins, Paul Tennis and Rachel Detwiler (2003). The Use of Limestone in Portland Cement: A State-of-the-Art Review. Portland Cement Association.
- [17] Satish Chandra (1997). Waste Materials used in Concrete Manufacturing. Division of Concrete Structures - Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- [18] DS/EN 1015-3 (1999). Prøvningsmetoder til undersøgelse af mørtel til murværk - del 3: Bestemmelse af frisk mørtels konsistens. Dansk Standard.
- [19] DS/EN 196-1 (2005). Metoder til prøvning af cement - del 1: Styrkebestemmelse. Dansk Standard.
- [20] DS/EN 196-3 (2009). Metoder til prøvning af cement - del 3: Bestemmelse af afbindingstid og volumenbestandighed. Dansk Standard.

Bilag

A Forsøgsvejledninger

A.1 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.

A.2 pH-værdi

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

A **Princip**

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

B **Specielt apparatur**

Til målingen benyttes pH-meter

C **Kemikalie sikkerhed**

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D **Reagenser**

1) **Kaliumchlorid 1 M KCl:**

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

2) **Bufferopløsning, pH 4,00:**

Radiometer pH 4.

3) **Bufferopløsning, pH 7,00:**

Radiometer pH 7

E **Analysens udførelse**

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

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

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

F Beregning af resultat

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

G Affaldshåndtering

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

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

A.3 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 eksikkator 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 eksikkator 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.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 1/2 omgang tilbage. Autoklaven tændes og der går ca. 10-15 min indtil den er varmet op. Efter 3 min med damp ud at ventilen lukkes denne og trykket begynder at sige. Når trykket er kommet op i det blå felt på manometeret tages der tid på autoklaveringen (30min). Derefter slukkes autoklaven.

Flaskerne afkøles derefter til stuetemperatur.

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

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

F Bestemmelse af metaller

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

G Beregning af resultat

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

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

hvor

A = ekstraktens metal koncentration, mg/L = ppm

B = g jord afvejet

C = fortyndingsfaktor

H **Affaldshåndtering**

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

Filterpapiret bortkastes i skraldespanden i stinkskalet.

Jorden og asken skal opsamles i beholder til jordaffald.

A.5 Volumetrisk carbonatindhold

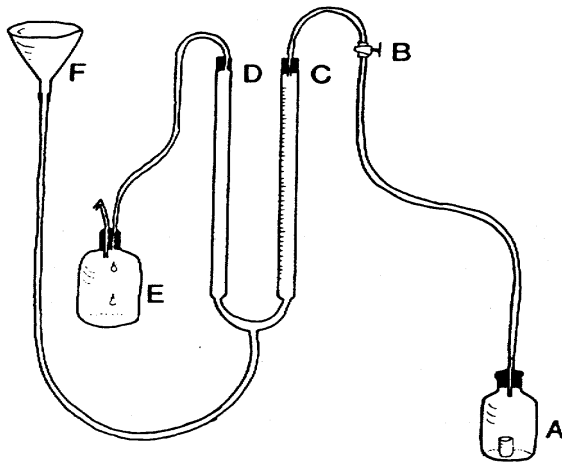
Carbonat, volumetrisk

A Princip

Jordens indhold af carbonat bestemmes volumetrisk efter reaktion med saltsyre.

B Specielt apparatur

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



Figur 1: Principskitse af Scheibler apparat.

A - reaktionsflaske

B - hane

C - glasrør med inddelinger

D - glasrør med inddelinger

E - overløbskolbe

F - glastragt

C Kemikalie sikkerhed

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

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

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

1) **Calciumcarbonat, 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 glastrørene (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 glastrøret (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 glastrørene i niveau, og glastrøret (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.6 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

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

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

Se excel arket for mere information.

F Affaldshåndtering

Ekstrakterne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

A.7 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. Hæbet lukkes lige så snart vandstanden er 3 cm over prøvelegemet. Derefter skal den stå lukket i 1 time.

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

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

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

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

D Beregning af resultat

Rumtemp: °C	Vandtemp: °C	Vanddensitet $\rho_w =$	kg/m ³
Kontrolld: Før: kg Efter: kg			
Prøvelegemet 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		
$P_{\grave{a}} = V_{p\grave{a}} / V$	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)
- $p_{\grave{a}}$ Prøvelegemets åbne porøsitet (m³/m³)
- u_{ssd} Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)

A.8 Blanding og støbning af mørtelprøver

Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver

A Princip

DS/EN 196-1 2.udgave.

Denne metode beskriver blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver.

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

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

Der bruges basis cement (CEM II) til støbning.

B Specielt apparatur

Røremaskine (Toni industrie eller Hobart mixer)

Støbningsforme (40mm x 40mm x 160mm)

Formolie

Afretter

Vibratorbord

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

C Sikkerhed

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

D Reagenser

Aske eller anden mineralsk tilsætning

Basis cement (CEM II)

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

Destilleret vand (orange vandhane).

E Støbeskema

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

Tabel 1: Mængder

	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: Udførelse 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.

A.9 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

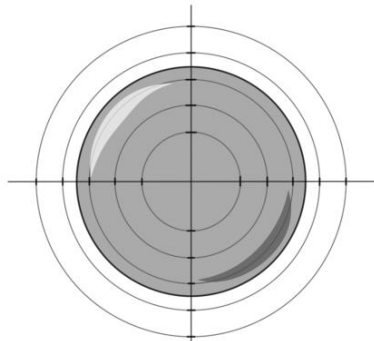
Afretter

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.

A.10 Afindingsforløb

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 strengen (40mm). Sørg for at overfalden er så jævn som muligt.
- Placer bægeret med mørtelblandingen på pladen ved forsigtigt at trække nålen op. PAS PÅ NÅLEN – den knækker let.
- Indstillinger på Vicatronic
 - o Execution
 - o Kind of test: EN 196-3-2005
 - o Strat test
 - o Testen kører til dagen efter

3. Print af resultater

Print direkte fra Vicatronic til papir:

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

Dataoverførelse til computer i mørtellab:

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

E Databehandling

Udprint fra Vicatronic til papir

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

Dataoverførelse til computer

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

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

F Affaldshåndtering

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

A.11 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.

A.12 XRD

Quick guide – XRD data treatment

Data treatment in X'Pert HighScore Plus

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

Starting the program:

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

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

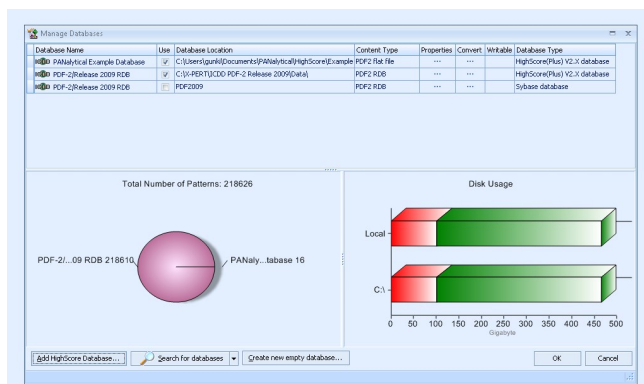
2. Start the programme *HighScore*



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

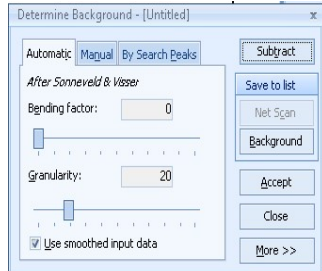


If not, find the database under *Customize* → *Manage databases*. Check that there is > 20,000 patterns available (if there is only about 20, only the example database is on).



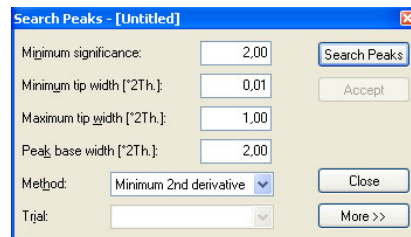
The folder for the converted database is: C:\Program Files\ICDD PDF-2 Release and the box should be checked off.

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



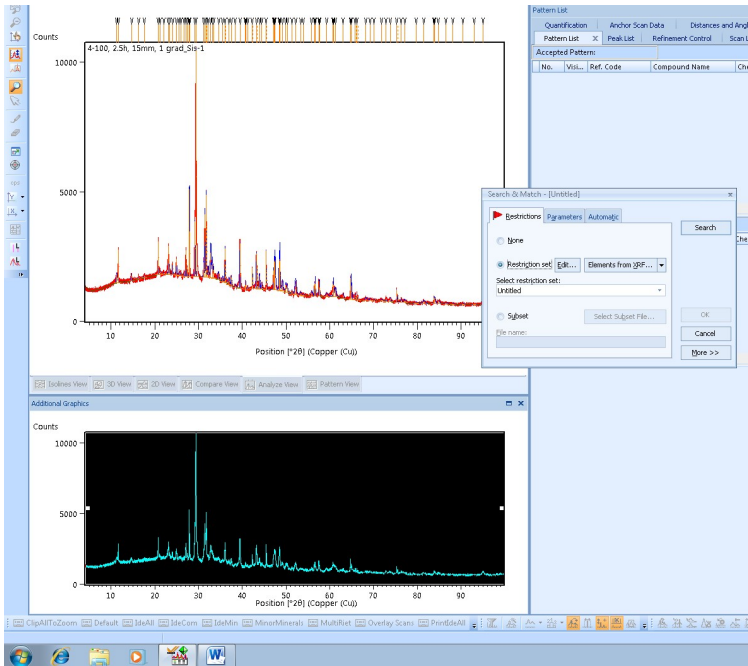
There are 3 different methods for determining the background: Automatic, Manual and by search peak. (read more about the different methods in the full manual). **Choose Automatic.**

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

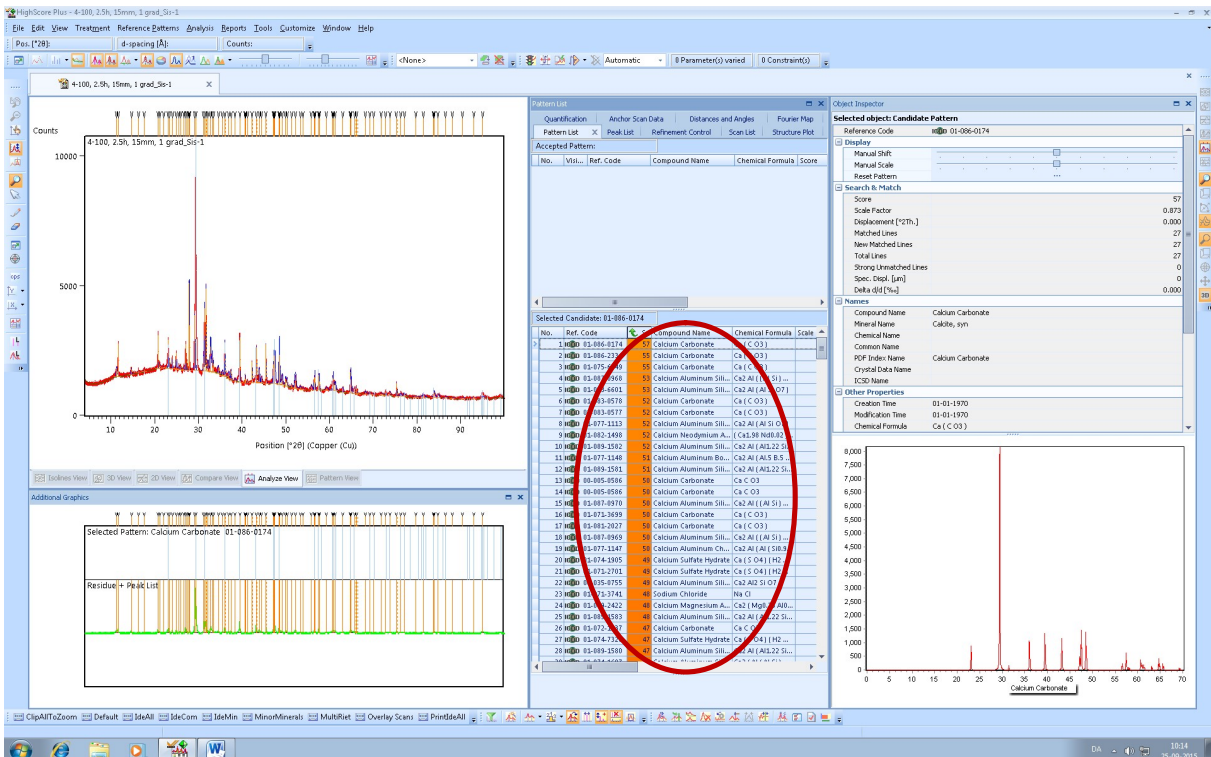


The “Search peak”-function uses 5 parameters to define what parts of the profile that are peaks and what parts that are not. The 5 parameters are: minimum significance, minimum and maximum tip widths, Peak base width and method. (read more about the 5 parameters in the full manual). Press **search peaks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

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

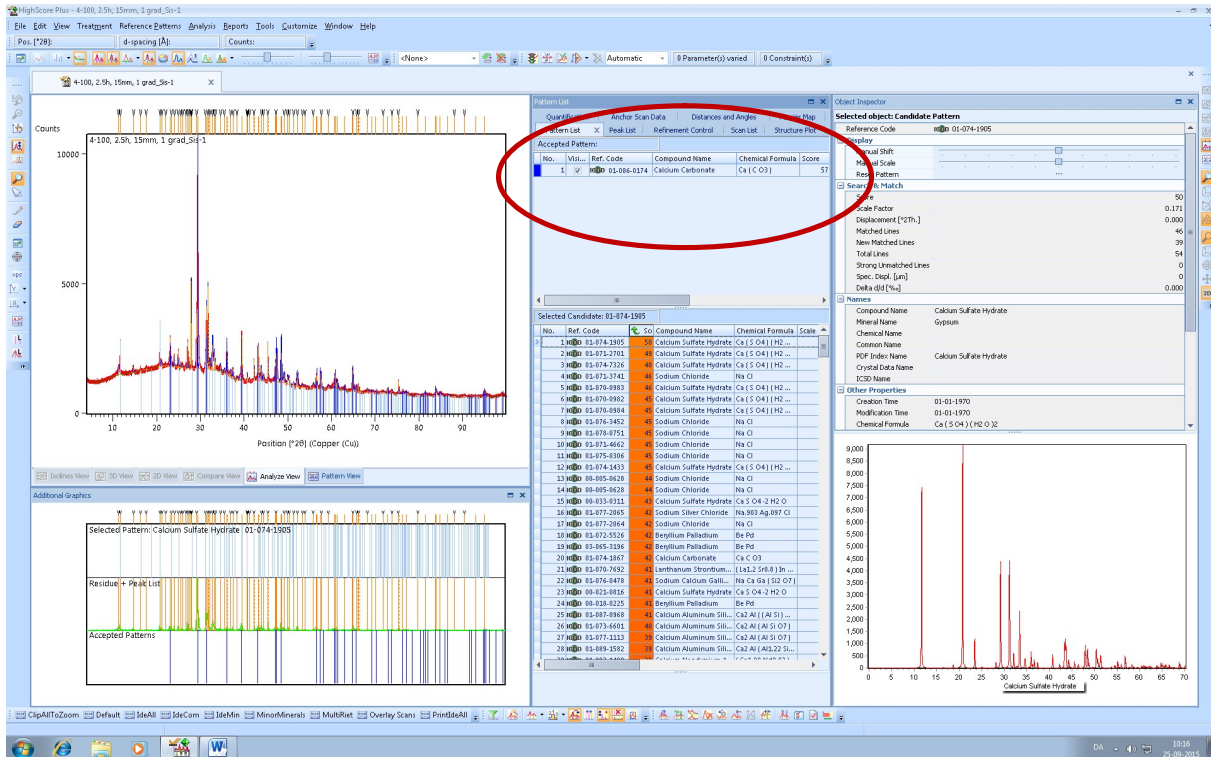


10. Press search (then the program compares your diffractogram to the > 20,000 patterns in the database, so it take a few minutes).

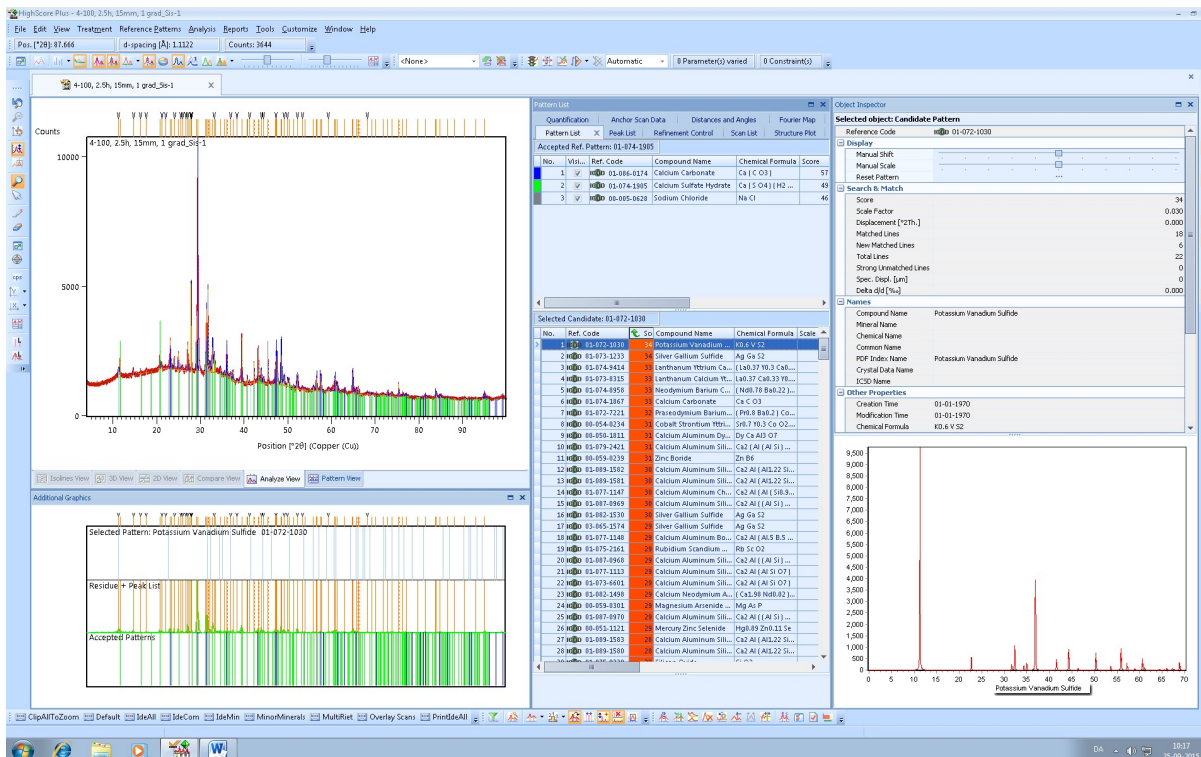


You will have a list of all possible minerals. Score can be used to evaluate the possibility of the presence of the mineral, **but be critical! If you know what you are looking for, this step is much easier! Look in published literature for similar materials.**

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



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

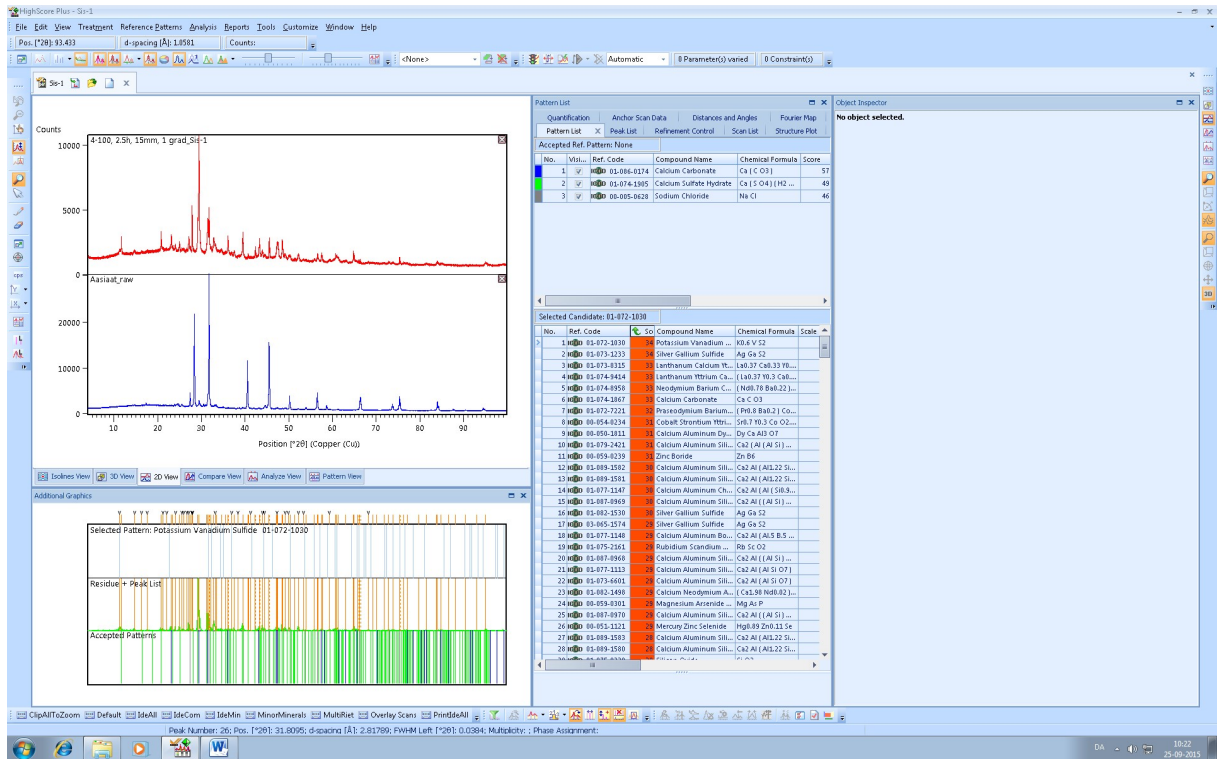


Making graphs

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

Method 1 – using HighScore Plus

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



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

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

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

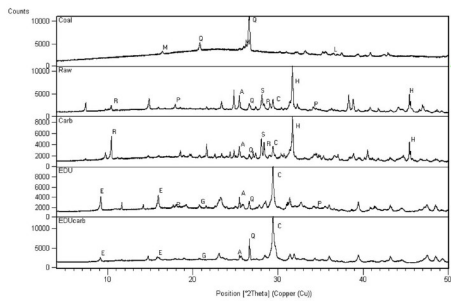


Figure 3 – XRD diffractograms with main minerals. M-mullite, Q-quartz, L-lime, R-richterite, P-portlandite, A-anhydrite, S-sylvite, C-calcite, H-hallite, E-ettingite, G-gypsum

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

B Resultater - Rådata

B.1 Kornstørrelsesfordeling

B.1.1 Kemiö - gennemsnit

Result Analysis Report

Sample Name:
Kemiö - Averaged Result

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured:
Tuesday, April 04, 2017 10:17:18 AM

Sample Source & type:
Paris

Measured by:
malm

Analysed:
Tuesday, April 04, 2017 10:17:20 AM

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

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:
0.40 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
0.384 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0030 %Vol

Span :
1.539

Uniformity:
0.477

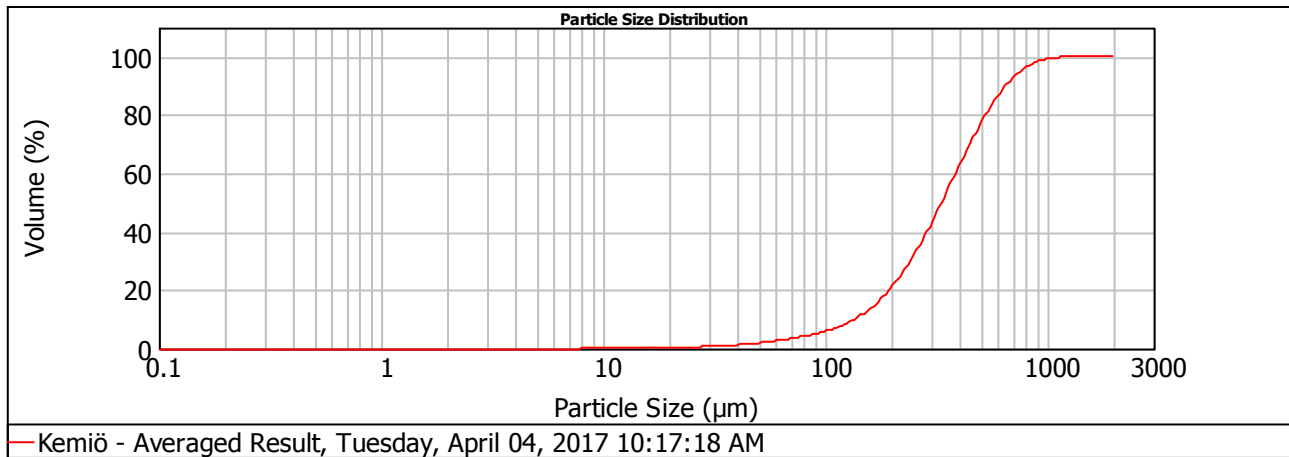
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0268 m²/g

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

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

d(0.1): 134.538 um d(0.5): 332.581 um d(0.9): 646.434 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	0.06	120.226	2.30	1258.925	0.01
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.05	138.038	3.13	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.06	158.489	4.17	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.08	181.970	5.39	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.10	208.930	6.67	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.00	22.909	0.13	239.883	7.89	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.00	26.303	0.18	275.423	8.86	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.00	30.200	0.23	316.228	9.44	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.00	34.674	0.31	363.078	9.50	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.00	39.811	0.39	416.869	8.99	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.00	45.709	0.48	478.630	7.96	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.00	52.481	0.57	549.541	6.54	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.00	60.256	0.67	630.957	4.92	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.00	69.183	0.80	724.436	3.30	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.02	79.433	0.99	831.764	1.86	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.04	91.201	1.27	954.993	0.72	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.06	104.713	1.69	1096.478	0.18		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.06	120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170404 minetailings

B.1.2 Kemiö knust - gennemsnit

Result Analysis Report

Sample Name:
Kemiö - Averaged Result

SOP Name:
Mine tailing Tør

Measured:
Tuesday, April 04, 2017 10:17:18 AM

Sample Source & type:
Paris

Measured by:
malm

Analysed:
Tuesday, April 04, 2017 10:17:20 AM

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

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:
0.40 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
0.384 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0030 %Vol

Span :
1.539

Uniformity:
0.477

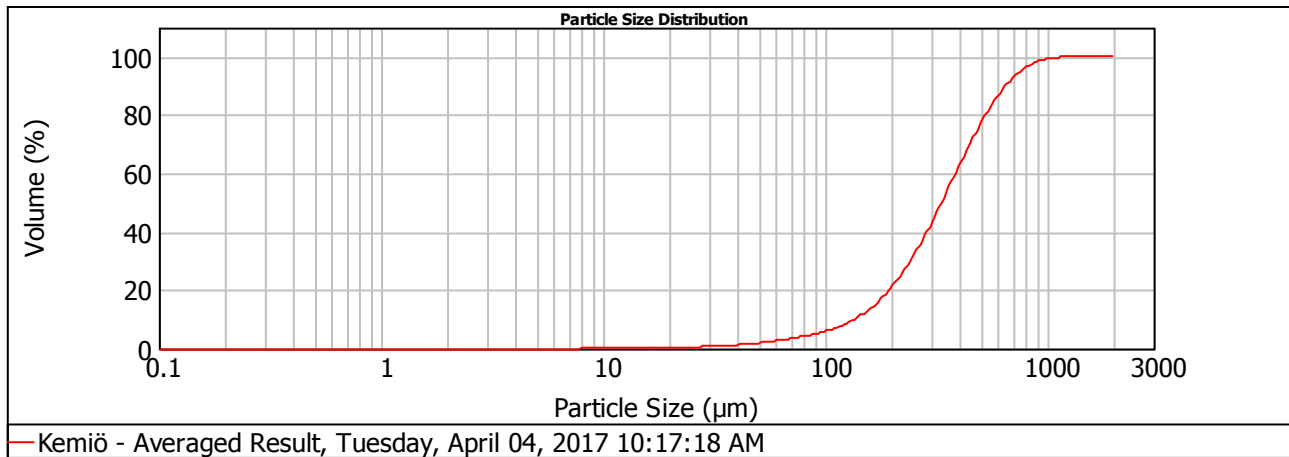
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0268 m²/g

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

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

d(0.1): 134.538 um d(0.5): 332.581 um d(0.9): 646.434 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	0.06	120.226	2.30	1258.925	0.01
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.05	138.038	3.13	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.06	158.489	4.17	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.08	181.970	5.39	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.00	19.953	0.10	208.930	6.67	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.00	22.909	0.13	239.883	7.89	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.00	26.303	0.18	275.423	8.86	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.00	30.200	0.23	316.228	9.44	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.00	34.674	0.31	363.078	9.50	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.00	39.811	0.39	416.869	8.99	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.00	45.709	0.48	478.630	7.96	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.00	52.481	0.57	549.541	6.54	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.00	60.256	0.67	630.957	4.92	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.00	69.183	0.80	724.436	3.30	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.02	79.433	0.99	831.764	1.86	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.04	91.201	1.27	954.993	0.72	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.06	104.713	1.69	1096.478	0.18		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.06	120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170404 minetailings

B.1.3 Zinkgruvan - gennemsnit

Result Analysis Report

Sample Name:
Zinkgruvan - Averaged Result

SOP Name:
Mine tailing Tør

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

Sample Source & type:
Paris

Measured by:
malm

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

Sample bulk lot ref:
123-ABC

Result Source:
Averaged

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

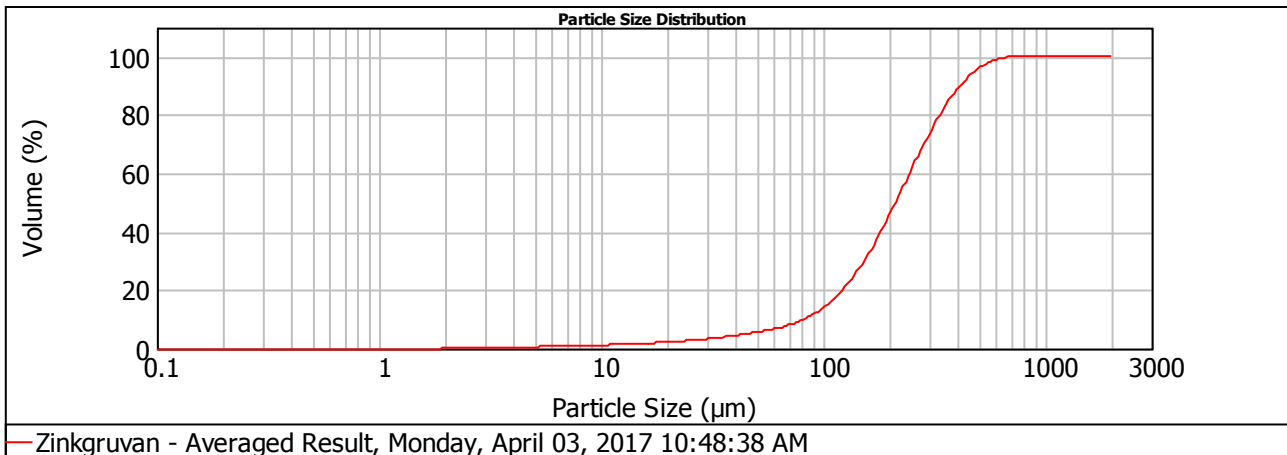
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0586 m²/g

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

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

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



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.16	120.226	5.64	1258.925	0.00
0.011	0.00	0.120	0.00	1.259	0.00	13.183	0.19	138.038	6.96	1445.440	0.00
0.013	0.00	0.138	0.00	1.445	0.00	15.136	0.22	158.489	8.14	1659.587	0.00
0.015	0.00	0.158	0.00	1.660	0.00	17.378	0.27	181.970	9.03	1905.461	0.00
0.017	0.00	0.182	0.00	1.905	0.06	19.953	0.33	208.930	9.46	2187.762	0.00
0.020	0.00	0.209	0.00	2.188	0.07	22.909	0.39	239.883	9.35	2511.886	0.00
0.023	0.00	0.240	0.00	2.512	0.08	26.303	0.45	275.423	8.68	2884.032	0.00
0.026	0.00	0.275	0.00	2.884	0.09	30.200	0.52	316.228	7.53	3311.311	0.00
0.030	0.00	0.316	0.00	3.311	0.10	34.674	0.58	363.078	6.07	3801.894	0.00
0.035	0.00	0.363	0.00	3.802	0.11	39.811	0.65	416.869	4.46	4365.158	0.00
0.040	0.00	0.417	0.00	4.365	0.11	45.709	0.75	478.630	2.91	5011.872	0.00
0.046	0.00	0.479	0.00	5.012	0.12	52.481	0.92	549.541	1.64	5754.399	0.00
0.052	0.00	0.550	0.00	5.754	0.12	60.256	1.20	630.957	0.49	6606.934	0.00
0.060	0.00	0.631	0.00	6.607	0.13	69.183	1.65	724.436	0.02	7585.776	0.00
0.069	0.00	0.724	0.00	7.586	0.13	79.433	2.32	831.764	0.00	8709.636	0.00
0.079	0.00	0.832	0.00	8.710	0.14	91.201	3.23	954.993	0.00	10000.000	0.00
0.091	0.00	0.955	0.00	10.000	0.15	104.713	4.36	1096.478	0.00		
0.105	0.00	1.096	0.00	11.482	0.16	120.226		1258.925			

Operator notes: Average of 3 measurements from 170403 minetailings

B.1.4 Sand - gennemsnit

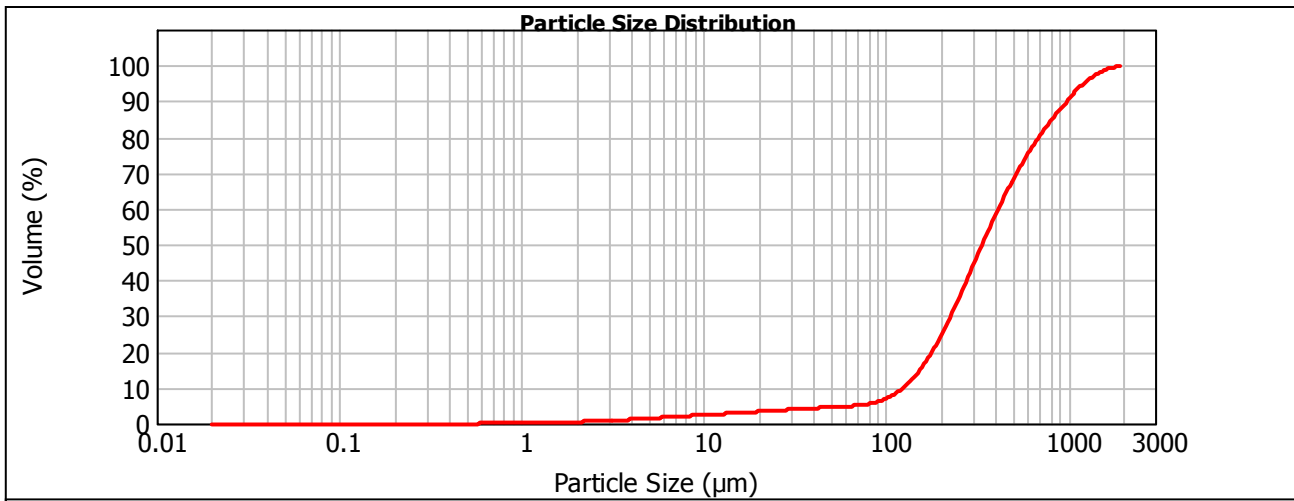
Result Analysis Report

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



Sand - Average, Wednesday, May 04, 2016 10:14:21 AM

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

Operator notes:

B.1.5 Cement - gennemsnit

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 μm

Obscuration:
1.21 %

Dispersant Name:

Dispersant RI:
1.000

Weighted Residual:
0.394 %

Result Emulation:
Off

Concentration:
0.0002 %Vol

Span :
3.619

Uniformity:
1.36

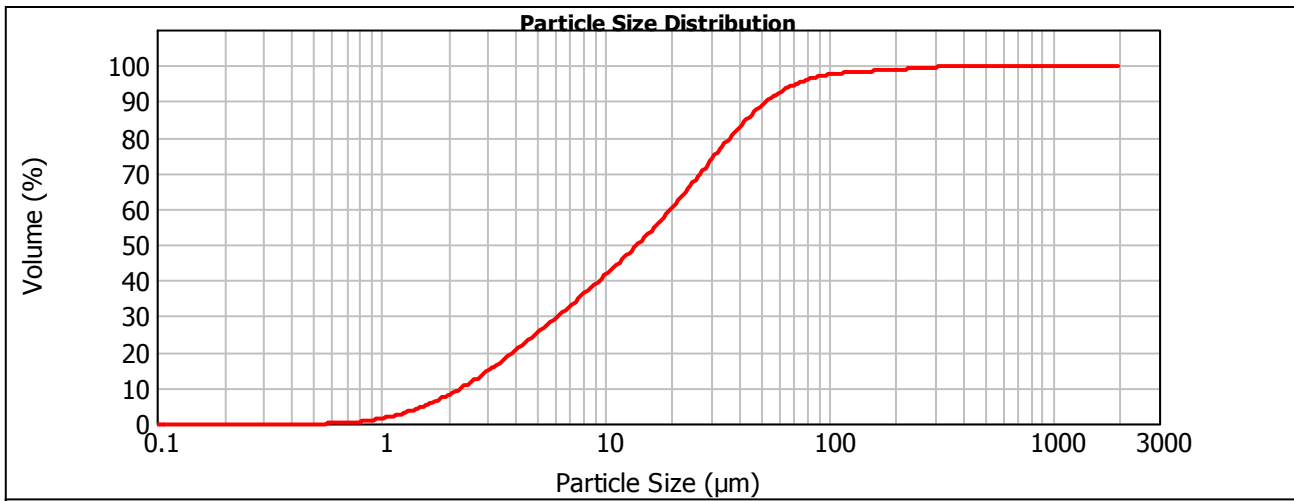
Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.983 m^2/g

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

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
24.887 μm

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



— basis cement tør - Averaged Result, Friday, September 16, 2016 12:47:31 PM

Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %	Size (μm)	Volume In %
0.010	0.00	0.105	0.00	1.096	0.97	11.482	3.56	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			

Operator notes: Average of 3 measurements from 160810nateg

B.2 Vandindhold

Prøve 50grader	Vægt af beholder [g]	Vægt af våd prøve [g]	Vægt efter opvarmning [g]	Vægt af tør prøve [g]	Vandindhold [%]
Cement A	5,0381	2,0031	7,0372	1,9991	0,20
Cement B	5,0378	2,0534	7,0885	2,0507	0,13
Cement C	5,0401	2,0295	7,0666	2,0265	0,15
Gennemsnit					0,16
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af våd prøve [g]	Vægt efter opvarmning [g]	Vægt af tør prøve [g]	Vandindhold [%]
Zinkgruvan A	5,042	2,0078	7,036	1,994	0,69
Zinkgruvan B	5,035	2,0567	7,012	1,977	3,88
Zinkgruvan C	5,045	2,0892	7,067	2,022	3,22
Gennemsnit					2,59
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af våd prøve [g]	Vægt efter opvarmning [g]	Vægt af tør prøve [g]	Vandindhold [%]
Tailings A	5,0478	2,0008	7,046	1,9982	0,13
Tailings B	5,0446	2,0064	7,0482	2,0036	0,14
Tailings C	5,0474	2,0016	7,0453	1,9979	0,18
Gennemsnit					0,15

Prøve 105grader	Vægt af beholder [g]	Vægt af våd prøve [g]	Vægt efter opvarmning [g]	Vægt af tør prøve [g]	Vandindhold [%]
Sand A	5,04	2,06	7,05	2,01	2,43
Sand B	5,04	2,04	7,05	2,01	1,47
Sand C	5,05	2,01	7,06	2,01	0,00
Gennemsnit					1,30
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af våd prøve [g]	Vægt efter opvarmning [g]	Vægt af tør prøve [g]	Vandindhold [%]
Cement A	5,0600	5,0300	10,4400	5,3800	-6,96
Cement B	5,0600	5,5600	10,3000	5,2400	5,76
Cement C	5,0600	5,1600	10,0600	5,0000	3,10
Gennemsnit					0,63
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af våd prøve [g]	Vægt efter opvarmning [g]	Vægt af tør prøve [g]	Vandindhold [%]
Tailings A	5,04	2,08	7,05	2,01	3,37
Tailings B	5,06	2,06	7,00	1,94	5,83
Tailings C	5,03	2,05	7,00	1,97	3,90
Gennemsnit					4,36

B.3 Volumetrisk Carbonatindhold

Carbonat, volumetrisk			
	Dato: 07/02-2017	Udført af: malm	
Standardrække:	g afvejet CaCO3	af læst mL CO2	
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	

Prøve	afvejet prøve [g]	af læst mL CO2	CaCO3 i %
Zinkgruvan A	2,0029	46	10,0924667726678
Zinkgruvan B	2,0131	43	9,39212999116298
Zinkgruvan C	2,0103	45	9,8386145157709
Gennemsnit			9,77440375986721
Prøve	afvejet prøve [g]	af læst mL CO2	CaCO3 i %
Cement A	1,0021	57	24,953783071668
Cement B	1,0053	51,2	22,3609901284898
Cement C	1,0793	46	18,7289925868399
Gennemsnit			22,0145885956659
Prøve	afvejet prøve [g]	af læst mL CO2	CaCO3 i %
Tailing A	2,0179	16	3,5408858522799
Tailing B	2,008	12	2,69054472591013
Tailing C	2,005	11	2,47729619536434
Gennemsnit			2,90290892451812
Prøve	afvejet prøve [g]	af læst mL CO2	CaCO3 i %
Sand A	2,5139	62	10,8136205520222
Sand B	2,5094	57	9,96500598394775
Sand C	2,5055	54	9,45890289457291
Gennemsnit			10,0791764768476

B.4 pH

Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af prøve [g]	pH
Sand A	5,04	5,00	9,94
Sand B	5,04	5,00	9,96
Sand C	5,06	5,00	10
Sand D	5,05	5,00	9,76
Sand E	5,04	5,00	9,76
Gennemsnit			9,884
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af prøve [g]	pH
Cement A	5,0582	5,0018	12,52
Cement B	5,0510	5,0018	12,48
Cement C	5,0595	5,0046	12,51
Cement D	5,0520	5,0043	12,54
Cement E	5,0529	5,0015	12,50
Gennemsnit			12,51
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af prøve [g]	pH
Zinkgruvan A		5,00	8,32
Zinkgruvan B		5,00	8,30
Zinkgruvan C		5,00	8,27
Zinkgruvan D		5,00	8,38
Zinkgruvan E		5,00	8,30
Gennemsnit			8,31
Prøve	Vægt af beholder [g]	Vægt af prøve [g]	pH
Tailing A	5,0414	5,005	6,66
Tailing B	5,0427	5,0085	6,75
Tailing C	5,0434	5,0023	6,66
Tailing D	5,0508	5,0026	6,72
Tailing E	5,0487	5,0071	6,68
Gennemsnit			6,694

B.5 Pyknometer

Metode:					Resultat
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)					Beregning
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					Input
Bestemmelse af kornrumvægt					
Kemiö					
				1	2
Fra kalibrering af pyknometer					3
Pyknometer nummer				78	92
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,6435	31,0848
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	81,2088	80,6186
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	$^{\circ}\text{X}$	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{\omega,k}$	$\rho_{\omega,1}$	g/cm^3	0,99780	0,99780
Måling					
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	35,5638	35,0711
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	83,657	83,112
Temperatur	T	T_3	$^{\circ}\text{X}$	22	22
Densitet af vand ved T *	$\rho_{\omega,T}$	$\rho_{\omega,3}$	g/cm^3	0,9978	0,9978
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9203	3,9863
Jord - volumen	V_s		cm^3	1,475345760	1,4962
Korndensitet	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	2,657207621	2,6643
Resultat - middel	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	2,6802	
Betegnelse fra	dgf15	DS			

Metode:					Resultat
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)					Beregning
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					Input
Bestemmelse af kornrumvægt					
Zinkgruvan					
				1	2
Fra kalibrering af pyknometer					3
Pyknometer nummer				176	173
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,3964	32,5943
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	81,6107	81,7491
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	$^{\circ}\text{X}$	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{\omega,k}$	$\rho_{\omega,1}$	g/cm^3	0,9978	0,9978
Måling					
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	35,3903	36,5873
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	84,2778	84,3720
Temperatur	T	T_3	$^{\circ}\text{X}$	11	11
Densitet af vand ved T *	$\rho_{\omega,T}$	$\rho_{\omega,3}$	g/cm^3	0,9996	0,9996
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9939	3,9930
Jord - volumen	V_s		cm^3	1,417952207	1,4594
Korndensitet	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	2,816667570	2,7361
Resultat - middel	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	2,7909	
Betegnelse fra	dgf15	DS			

Metode:					Resultat
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)					Beregning
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					Input
Bestemmelse af kornrumvægt					
Cement					
				1	2
Fra kalibrering af pyknometer					
Pyknometer nummer				19	72
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	42,8721	42,3379
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	140,7496	140,5695
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	$^{\circ}\text{X}$	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm^3	0,9978	0,9978
Måling					
Pykn. + prop + jord		m_2	g	46,8651	46,3394
Pykn. + prop + jord + vand	W_1	m_3	g	143,6252	143,4595
Temperatur	T	T_3	$^{\circ}\text{X}$	23	23
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm^3	0,9975	0,9975
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,992999999	4,0015
Jord - volumen	V_s		cm^3	1,090698755	1,0847
Korndensitet	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	3,660955860	3,6891
Resultat - middel	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	3,6751	
Betegnelse fra	dgf15	DS			

Metode:					Resultat
Efter Laboratoriehåndbogen, dgf-bulletin 15 (dgf15)					Beregning
Efter DS/CEN ISO/TS 17892-3					Input
Bestemmelse af kornrumvægt					
Sand					
				1	2
Fra kalibrering af pyknometer					
Pyknometer nummer				87	93
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,772	30,9959
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	81,6133	80,5873
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	$^{\circ}\text{X}$	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm^3	0,99780	0,99780
Måling					
Pykn. + prop + jord		m_2	g	35,7178	35,0359
Pykn. + prop + jord + vand	W_1	m_3	g	84,1215	83,1265
Temperatur	T	T_3	$^{\circ}\text{X}$	22	22
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm^3	0,9978	0,9978
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9458	4,0400
Jord - volumen	V_s		cm^3	1,440769693	1,5041
Korndensitet	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	2,738675041	2,6860
Resultat - middel	ρ_{σ}	ρ_{σ}	g/cm^3	2,7079	
Betegnelse fra	dgf15	DS			

B.6 Oplukning - ICP

Indhold af tungmetaller i mg/kg					Kvalitetskriterium: Grænsekategori 1
	Sand	Cement	Zinkgruvan	Kemiö	
Al	1003,07	9957,18	7196,47	3953,23	
As	1,57	5,22	52,29	-	0 - 20
Ba	3,19	215,71	221,07	5,15	
Ca	21472,70	273321,50	34128,50	771,64	
Cd	0,11	0,57	13,51	0,17	0 - 0,5
Cr	1,50	20,61	3,03	18,55	0 - 500
Cu	1,32	66,19	259,58	2,39	0 - 500
Fe	1801,61	13531,91		8949,47	
K	253,92	2401,51	4913,45	1536,09	
Mg	549,67	2697,64	1904,81	1118,61	
Mn	61,56	124,09	954,03	64,82	
Mo	-	-	0,37	1,52	0 - 5
Na	163,89	986,33	142,87	92,53	
Ni	1,04	18,78	19,82	3,34	0 - 30
P	226,79	732,67	309,99	80,87	
Pb	1,83	13,01	366,72	18,83	0 - 40
S	304,21	8614,55	5549,01	223,82	
Sb	-	-	12,27	0,24	
Se	-	-	-	0,80	
Ti	-	-	-	159,07	
V	-	-	13,45	7,93	
Y	-	-	98,29	111,43	
Zn	9,87	231,02	826,30	36,90	0 - 500

B.7 Glødetab

Prøve	Vægt af beholder	Vægt af prøve	Vægt total	Vægt efter 550 grader	Glødetab i % 550 grader	Vægt efter 950 grader	Glødetab i % 950 grader
Zinkgruvan nr. 42	14,1968	2,5049	16,7017	16,8981	0,02	16,5518	0,90
Zinkgruvan nr. 41	14,9635	2,5043	17,4678	17,3278	0,80	17,3278	0,80
Zinkgruvan nr. 5	23,6325	2,5413	26,1738	26,0182	0,59	26,0182	0,59
Gennemsnit					0,47		0,76
Prøve	Vægt af beholder	Vægt af prøve	Vægt total	Vægt efter 550 grader	Glødetab i % 550 grader	Vægt efter 950 grader	Glødetab i % 950 grader
Sand 389	22,7041	2,5861	25,2902	25,2589	0,12	25,2456	0,18
Sand K	12,2868	2,5177	14,8045	14,7951	0,06	14,7401	0,44
Sand F	14,2724	2,5547	16,8271	16,8186	0,05	16,7241	0,61
Gennemsnit					0,08		0,41
Prøve	Vægt af beholder	Vægt af prøve	Vægt total	Vægt efter 550 grader	Glødetab i % 550 grader	Vægt efter 950 grader	Glødetab i % 950 grader
Tailing M	10,8784	2,5055	13,3839	13,3758	0,06	13,3676	0,12
Tailing E	14,5573	2,5052	17,0625	17,0553	0,04	17,0468	0,09
Tailing D	13,8246	2,5093	16,3339	16,3253	0,05	16,3177	0,10
Gennemsnit					0,05		0,10
Prøve	Vægt af beholder	Vægt af prøve	Vægt total	Vægt efter 550 grader	Glødetab i % 550 grader	Vægt efter 950 grader	Glødetab i % 950 grader
Cement A	21,3032	2,5255	23,8287	23,7728	0,23	23,5676	1,10
Cement B	23,633	2,5152	26,1482	26,1053	0,16	26,0268	0,46
Cement C	21,30124	2,5393	23,84054	23,8053	0,15	23,7142	0,53
Gennemsnit					0,18		0,70

B.8 XRD - Mineralogi undersøgelse

Class	% total area			
101_Albite	29,97			
103_K-feldspar	32,13			
100_Quartz	19,47			
105_Biotite	5,35			
102_Plagioclase (other than albite)	2,04			
107_Muscovite	1,82			
119_Chlorite (chamosite)	1,81			
218_Almandine	0,81			
115_Fe-Hornblende	0,30			
224_Kaolinite	0,29			
201_Calcite	0,14			
104_Feldspar, mixed	0,12			
300_Fe-oxide (magnetite/hematite)	0,10			
223_Feruvite	0,09			
118_Chlorite (clinocllore)	0,06			
200_Apatite	0,05			
211_Al-silicate	0,04			
301_Fe-oxide (göthite/limonite)	0,04			
606_Metallic Fe	0,02			
207_Clinozoisite	0,03			
401_Monazite	0,02			
116_Mg-Hornblende	0,02			
305_Fe-Ti oxide	0,01			
307_Fe-Cr oxide	0,01			
303_Ilmenite	0,01			
114_Mg-cummingtonite_Enstatite	0,01			
313_Siderite	0,01			
110_Augite	0,01			
Unclassified	5,22			
Total	100,00			

Class	% total area			
100_Quartz	21,71			
103_K-feldspar	28,34			
101_Albite	19,98			
107_Muscovite	11,83			
105_Biotite	8,16			
119_Chlorite (chamosite)	2,03			
102_Plagioclase (other than alb)	1,15			
224_Kaolinite	0,64			
223_Feruvite	0,35			
115_Fe-Hornblende	0,30			
201_Calcite	0,21			
118_Chlorite (clinocllore)	0,12			
606_Metallic Fe	0,10			
104_Feldspar, mixed	0,10			
218_Almandine	0,08			
605_Cr-steel	0,07			
602_Brass	0,05			
300_Fe-oxide (magnetite/hema)	0,04			
213_Olivine_Fa	0,03			
116_Mg-Hornblende	0,02			
301_Fe-oxide (göthite/limonite)	0,02			
217_Cordierite	0,02			
307_Fe-Cr oxide	0,02			
200_Apatite	0,02			
404_Fluorite	0,02			
305_Fe-Ti oxide	0,01			
400_Zircon	0,01			
600_NaCl	0,01			
501_Pyrrhotite	0,01			
114_Mg-cummingtonite_Enstati	0,01			
Unclassified	4,56			
Total	100,00			

B.9 Flydesætmål

[mm]	Måling 1	Måling 2	Endeligt sætmål	standardvigelse
Cement Prøve 1 - 1	136	137,5		
Cement Prøve 1 - 2	137	139		
Cement prøve 2 - 1	122	124		
Cement prøve 2 - 2	126,5	127	131,125	6,90
Zinkgruvan 5% Prøve 1	109	106		
Zinkgruvan 5% Prøve 2	107	108	107,5	1,29
Zinkgruvan 10% Prøve 1	109	110		
Zinkgruvan 10% Prøve 2	103	104	106,5	3,51
Kemiö 5% Prøve 1	126,5	128		
Kemiö 5% Prøve 2	125	127	126,625	1,25
Kemiö 10% Prøve 1	122	121		
Kemiö 10% Prøve 2	122	124	122,25	1,26
Knust Kemiö 10% Prøve 1	129	129,5		
Knust Kemiö 10% Prøve 2	128	129	128,875	0,63

B.10 Afbinding

Zink 10%		Zink 5%		Ref		Keimö 5%		Keimö 10 %	
0	0	10	0,1	10	0,1	10	0	10	0,1
10	0	20	0	20	0,1	20	0	20	0,3
20	0	30	0	30	0,1	30	0	30	0,1
30	0	40	0	40	0,1	40	0	40	0,1
40	0	50	0	50	0,3	50	0	50	0,0
50	0	60	0,1	60	0,2	60	0	60	0,1
60	0	70	0,1	70	0,2	70	0	70	0,0
70	0	80	0,1	80	0,2	80	0	80	0,3
80	0	90	0	90	0,1	90	0,1	90	0,0
90	0	100	0	100	0,2	100	0	100	0,0
100	0	110	0,1	110	0,2	110	0,7	110	0,5
110	0	120	0,1	120	0,2	120	0,1	120	0,1
120	0	130	0,1	130	0,1	130	0,2	130	3,6
130	0	140	0,2	140	0,2	140	0,0	140	13,9
140	0	150	0,2	150	12,5	150	0,0	150	1,9
150	0	160	0	160	12,7	160	21	160	24,7
160	0	170	9,3	170	29,2	170	15,4	170	34,5
170	0	180	20,6	180	28,2	180	32,3	180	24,9
180	0	190	24,6	190	35,9	190	28,5	190	36,4
190	10,7	200	27,1	200	36,3	200	30	200	36,0
200	10	210	29,8	210	35,5	210	25,1	210	36,6
210	29,6	220	32,5	220	35,8	220	36,2	220	38,3
220	31	230	32,5	230	37,3	230	36	230	37,9
230	29,2	240	33,37	240	39,1	240	36,1	240	40,8
240	33,4	250	33,8	250	40	250	39,6	250	40,2
250	34,3	260	40	260	41,4	260	39,6	260	40,3
260	37,2	270	39,1	270	41,4	270	39,8	270	40,0
270	37,4	280	39,7	280	41,3	280	39,2	280	41,2
280	38	290	39,9	290	41,1	290	39,9	290	41,4
290	40	300	30	300	41	300	40,9	300	41,8
300	40,3	310	40,7	310	40,7	310	40,4	310	40,9
310	41	320	41	320	40,7	320	39,9	320	40,9
320	42,5	330	41,8	330	40,3	330	39,9	330	40,7
330	41,8	340	40,9	340	39,8	340	40,1	340	42,0
340	40,8	350	38,6	350	39,8	350	40,3	350	41,9
350	41,3	360	41,1	360	39,8	360	39,8	360	42,4
360	40,9	370	40,2	370	40,1	370	40,4	370	41,0
370	41,8	380	40,8	380	41,2	380	40,6	380	41,4
380	42,2	390	40,3	390	40,5	390	40,6	390	41,2
390	40,2	400	40,2	400	41,4	400	40,3	400	41,0
400	42,3	410	41,3	410	41	410	40,7	410	42,6
410	42,5	420	41,9	420	41,4	420	40,9	420	41,4
420	41,5	430	40,6	430	40,7	430	40,5	430	41,3
430	41,8	440	42,6	440	40,7	440	40,1	440	40,7
440	42,7	450	41,3	450	40,4	450	40,2	450	40,8
450	42	460	40,6	460	39,8	460	40,2	460	41,8
460	41,5	470	40,8	470	40,8	470	40,1	470	41,3
470	41,3	480	40,8	480	40,9	480	39,8	480	40,8
480	41,4	490	40,6	490	40,3	490	41,7	490	41,6
490	42,6	500	41,4	500	40,4	500	40,5	500	41,2
500	42,9	510	41,9	510	40,9	510	40,6	510	41,2
510	40,7	520	41,3	520	41,1	520	40,9	520	42,4
520	40	530	40,9	530	41,6	530	41	530	42,0
530	41,1	540	42,2	540	41,7	540	40,6	540	40,7
540	41,3	550	40,6	550	42,4	550	40,2	550	42,6
550	41,3	560	41,1	560	41,2	560	40,1	560	40,9
560	41,7	570	40,6	570	40,8	570	39,8	570	42,2
570	40,9	580	40,9	580	41,3	580	39,9	580	41,8
580	41,6	590	41,2	590	41,7	590	40,4	590	41,8
590	41,1	600	40,6	600	40,6	600	40,3	600	41,5
600	41,6	610	40,7	610	41,1	610	40,5	610	41,1
610	41,8	620	42,4	620	41,5	620	40,6	620	42,6
620	40	630	41,4	630	41,5	630	41,2	630	41,6
630	41,5	640	41,9	640	40,7	640	40,3	640	40,7
640	41,3	650	41,8	650	41	650	40,5	650	41,2
650	42	660	41,3	660	40,6	660	40,2	660	41,4
660	41,3	670	40,5	670	40,6	670	39,9	670	41,1
670	41,4	680	41,1	680	41,5	680	40,1	680	41,5
680	42	690	41,1	690	41,1	690	41,4	690	41,2
690	40,8	700	41,7	700	42	700	40,7	700	42,0
700	42	710	41,3	710	41,2	710	40,7	710	41,2
710	41,7	720	40,6	720	41,5	720	40,7	720	41,0
720	42,6	730	40,9	730	41,5	730	40,6	730	41,9
730	42,4	740	40,8	740	41,5	740	39,7	740	41,3
740	41,5	750	41,2	750	41	750	40,1	750	41,4
750	41,3	760	41,3	760	41,2	760	40,3	760	41,5
760	42,8	770	40,6	770	41,3	770	40,3	770	42,5
770	41,7	780	40,5	780	41,1	780	40,5	780	43,1
780	42,5	790	40,8	790	41,5	790	40,5	790	41,2
790	41,3	800	40,6	800	40,6	800	40,1	800	41,1
800	41,3	810	41,8	810	41	810	40,5	810	41,4
810	41	820	41,1	820	41,6	820	41,1	820	41,5
820	41,9			830	41,5	830	40,9	830	40,9
830	41,6			840	42,9	840	40,3	840	43,0
840	42,7								

B.11 Trykstyrker

B.11.1 Trykstyrker - RF

7 Dage cement																														
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Ls	Blade	Areal	[cm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
537,02	3,95	3,95	3,95	4,05	4,05	4,1	4,1	4,0	16,1	16,15	16,02	4	16,12	66	58	41,25	36,29	62	61	38,65	38,03	39,21	43,13	35,29	39,21	Standardafvigelse	Deformation	Deformation	Deformation	
553,96	4	4	4	4	4	4	4	4,04	16,1	16,05	16,00	4	16,04	63	68	38,99	42,08	63	68	38,99	42,08	39,21	43,13	35,29	39,21	2,14	0,5	0,3	0,3	
557,93	549,64	4,05	4	4	4,00	4,1	4	4	4,04	16,1	16,05	16,00	4	16,16	1606,67	63	68	38,99	42,08	39,21	43,13	35,29	39,21	43,13	35,29	39,21	2,14	0,5	0,3	0,3
14 Dage cement																														
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Ls	Blade	Areal	[cm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
560,66	4,05	4,05	4,05	4,1	4,1	4,1	4,1	4,0	16,1	16,15	16,02	4	16,12	76	74	47,15	45,91	67	73	42,19	45,97	44,96	49,45	40,46	44,96	Standardafvigelse	Deformation	Deformation	Deformation	
540,87	4	4	4	4	4	4	4	4,05	16,1	16,1	16,02	4	15,88	67	73	42,19	45,97	67	73	42,19	45,97	44,96	49,45	40,46	44,96	1,92	0,3	0,4	0,3	
556,8	552,78	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4,05	16,1	16,1	16,01	4	16,04	1601,33	69	73	43,02	43,51	69	73	43,02	43,51	44,96	49,45	40,46	44,96	1,92	0,5	0,5	0,3
28 Dage cement																														
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Ls	Blade	Areal	[cm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
533,99	4	4	4	4	3,8	3,8	3,8	4,0	16,1	16,1	16,10	4	16,08	77	67	47,89	41,67	77	67	47,89	41,67	46,71	51,38	42,04	47,72	Standardafvigelse	Deformation	Deformation	Deformation	
553,96	4,05	4	4	4	3,9	3,95	3,95	16,1	16,15	16,125	4	15,80	73	78	46,50	49,37	73	78	46,50	49,37	46,71	51,38	42,04	47,72	3,44	0,3	0,3	0,3	0,3	
561,04	549,66	4,05	4,05	4,05	4,00	3,95	3,95	4	16,1	16,1	16,10	4	16,08	1598,67	71	82	44,15	51,00	71	82	44,15	51,00	46,71	51,38	42,04	47,72	3,44	0,5	0,5	0,3

B.11.2 Trykstyrker - Zinkgruvan

7 Dage 5% Zinkgruvan																					
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	Vs	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Bp	Areal	[mm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
564,43	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,73	53	51	33,69	32,42	31,92	28,73	31,92	Standardvirig	Deformation
554,21	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,40	45	50	29,22	32,47	31,92	28,73	31,92	Standardvirig	Deformation
543,08	3,95	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,00	53	49	33,13	30,63	31,92	28,73	31,92	1,68	0,3
14 Dage 5% Zinkgruvan																					
V	Vs	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Bp	Areal	[mm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
572,72	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,13	54	53	33,47	32,85	32,80	29,52	32,80	Standardvirig	Deformation
554,65	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,13	51	49	31,61	30,37	32,80	29,52	32,80	Standardvirig	Deformation
577,55	568,31	4,1	4,1	4,1	4,05	4	4	4	4,02	16,1	16,10	16,11,11	53	57	32,99	35,48	32,80	29,52	32,80	1,73	0,4
28 Dage 5% Zinkgruvan																					
V	Vs	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Bp	Areal	[mm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
546,59	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,93	62	61	38,91	38,28	38,96	42,86	38,96	Standardvirig	Deformation
547,03	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,67	60	58	38,30	37,02	38,96	42,86	38,96	1,43	0,3
557,28	550,30	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,00	65	65	40,63	40,63	38,96	42,86	38,96	0,3	0,3
7 Dage 10% Zinkgruvan																					
V	Vs	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Bp	Areal	[mm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
548,66	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,40	36	50	21,95	30,49	28,64	25,77	29,41	Standardvirig	Deformation
539,81	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,13	52	48	32,23	29,75	28,64	25,77	29,41	0,91	0,3
563,07	550,51	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,20	47	46	29,01	28,40	28,64	25,77	29,41	0,3	0,3
14 Dage 10% Zinkgruvan																					
V	Vs	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Bp	Areal	[mm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
554,74	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,07	51	54	31,74	33,61	31,91	28,72	31,91	Standardvirig	Deformation
536,40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,67	49	46	31,28	29,36	31,91	28,72	31,91	0,2	0,3
550,73	547,29	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,73	48	55	30,51	34,96	31,91	28,72	31,91	2,05	0,2
28 Dage 10% Zinkgruvan																					
V	Vs	H	H	Hs	B	B	Bs	L	Ls	Bp	Areal	[mm ²]	[KN]	[KN]	[KN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]
554,38	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,00	54	57	33,75	35,63	35,09	38,60	35,09	Standardvirig	Deformation
542,39	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	15,73	51	59	32,42	37,50	35,09	38,60	35,09	0,3	0,3
559,96	552,24	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	16,00	54	60	33,75	37,50	35,09	38,60	35,09	2,13	0,3

B.11.3 Trykstyrker - Kemiö

7 Dage Kemiö 5%											
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	577.21	H	H	H	HS	B	B	Bs	L	Ls	Bplade
Prøve A	577.21	4	4	4	4	4.05	4.1	4.1	4.1	16	16.05
Prøve B	580.30	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	16	16.03
Prøve C	569.95	4	4	4	4	4.00	4.05	4.05	4.1	16.05	16.03
14 Dage Kemiö 5%											
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	574.77	H	H	H	HS	B	B	Bs	L	Ls	Bplade
Prøve A	574.77	4	4	4	4	3.9	3.95	3.95	3.9	16	16.00
Prøve B	573.62	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	16	16.00
Prøve C	569.09	4	4	4	4	4.00	4.05	4.05	4.1	16.05	16.03
28 Dage Kemiö 5%											
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	586.80	H	H	H	HS	B	B	Bs	L	Ls	Bplade
Prøve A	586.80	4	4	4	4	4.1	4.1	4.15	4.1	16	16.00
Prøve B	583.82	4	4	4	4	4.1	4.15	4.1	4.12	16	16.00
Prøve C	584.80	4	4	4	4	4.00	4.1	4.1	4.1	16	16.00
7 Dage Kemiö 10%											
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	576.28	H	H	H	HS	B	B	Bs	L	Ls	Bplade
Prøve A	576.28	4	4	4	4	4.05	4.1	4.1	4.1	16	16.00
Prøve B	577.68	4	4	4	4	4.05	4.05	4.1	4.066	16	16.00
Prøve C	578.28	4	4	4	4	4.00	4.1	4.05	4	16	16.00
14 Dage Kemiö 10%											
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	563.06	H	H	H	HS	B	B	Bs	L	Ls	Bplade
Prøve A	563.06	4	4	4	4	4.05	4.05	4	4.0	16	16.00
Prøve B	555.23	4	4	4	4	4	4	4	4	16	16.00
Prøve C	564.36	4	4	4	4	4.00	4	4	4.0	16	16.00
28 Dage Kemiö 10%											
[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	588.25	H	H	H	HS	B	B	Bs	L	Ls	Bplade
Prøve A	588.25	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	16	16.00
Prøve B	585.27	4	4	4	4	4.1	4.1	4.1	4.1	16	16.00
Prøve C	583.11	4	4	4	4	4.00	4.1	4.1	4.1	16	16.00

B.11.4 Trykstyrker - Kemiö knust

7 Dage 10% knust Lasse																														
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]			
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	Ls	Bplade	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal			
563,35		4	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	16	16	16,00	4	16,40	43	53	26,72	32,32												
Prøve A																														
572,64		4	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	16	16	16	4	16,40	51	52	31,10	31,71												
Prøve B																														
552,20		4	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4,0	16	16	16,00	4	16,13	51	55	31,61	34,09												
Prøve C																														
14 Dage 10% knust Lasse																														
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	Ls	Bplade	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal		
573,52		4	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	16	16	16,00	4	16,40	62	61	37,80	37,20												
Prøve A																														
556,31		4	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	16	16	16	4	16,00	57	62	35,63	38,75												
Prøve B																														
571,43		4	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4,0	16	16	16,00	4	16,13	51	62	31,61	38,43												
Prøve C																														
14 Dage 10% knust Lasse																														
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]		
V	Vs	H	H	H	Hs	B	B	B	Bs	L	Ls	Bplade	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal	Areal		
566,73		4	4	4	4	4,00	4,1	4,05	4	16	16	16,00	4	16,20	70	71	43,21	43,83												
Prøve A																														
576,59		4	4	4	4	4,00	4,1	4,1	4,10	16,05	16,05	16,05	4	16,40	71	73	43,29	44,51												
Prøve B																														
563,24		4	4	4	4	4,05	4,05	4,05	4,05	16	16,05	16,03	4	16,20	73	68	45,06	41,98												
Prøve C																														

B.11.5 Trykstyrker - Sand

7 Dage 10% Sand Lasse																														
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	
V	VS	H	H	H	HS	B	B	B	B	Bs	L	Ls	Bblade	Areal	[cm ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	
Prøve A	561,61	4	4	4	4	4,1	4,05	4	4,1	4,05	4	4,1	16	16,00	4	16,20	Areal snit	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Tryk 1	Snit tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endelig snit	Standardafvigelse	Deformation	Deformation	
Prøve B	573,26	4	4	4	4	4,1	4,1	4,1	4,1	4,10	16	16	16	16,40	4	16,40	57	52	34,76	31,71	33,61	36,97	30,25	33,61	1,17	0,3	0,3	0,2		
Prøve C	567,04	567,30	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4,1	4,1	16	16,00	4	16,20	1626,67	53	56	32,72	34,57	33,61	36,97	30,25	33,61	1,17	0,3	0,3	0,3	0,3		
14 Dage 10% Sand Lasse																														
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	VS	H	H	H	HS	B	B	B	B	Bs	L	Ls	Bblade	Areal	[cm ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Prøve A	561,93	4	4	4	4	4	4	4	4	3,9	4,0	16	16	16,00	4	15,87	Areal snit	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Tryk 1	Snit tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endelig snit	Standardafvigelse	Deformation	Deformation	
Prøve B	568,72	4	4	4	4	4	4	4	4	4,05	4,02	16	16	16	16,07	58	56	36,10	34,83	37,82	40,29	37,76	41,54	33,98	37,76	1,99	0,3	0,3	0,4	
Prøve C	570,19	566,95	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4,0	4,0	16	16,00	4	16,13	1602,22	62	65	38,43	40,29	37,76	41,54	33,98	37,76	1,99	0,2	0,3	0,3	0,3		
14 Dage 10% Sand Lasse																														
[g]	[g]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
V	VS	H	H	H	HS	B	B	B	B	Bs	L	Ls	Bblade	Areal	[cm ²]	[kN]	[kN]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Prøve A	561,77	4	4	4	4,00	4,05	4,05	4,05	4,05	4,05	16	16	16,00	4	16,20	Areal snit	Tryk 1	Tryk 2	Tryk 1	Tryk 1	Tryk 1	Snit tryk	Snit tryk + 10	Snit tryk - 10	Endelig snit	Standardafvigelse	Deformation	Deformation		
Prøve B	573,48	4	4	4	4,00	4,1	4,15	4,13	16,05	16,05	16,05	16,05	4	16,53	1640,00	63	62	38,89	38,27	39,92	38,71	39,63	43,59	35,67	39,63	1,20	0,3	0,3	0,3	
Prøve C	569,02	568,09	4	4	4	4,15	4,1	4,116	16	16,05	16,03	4	16,47	1640,00	67	68	40,69	41,30	39,63	43,59	35,67	39,63	1,20	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	

B.11.6 Trykstyrker - Forkastede prøver

7 Dage

Prøve	Trykstyrke 1	Forkastede prøver	Endelige trykstyrke
RF [MPa]	39,21	0	39,21
5 % Zinkgruvan [MPa]	31,92	0	31,92
10 % Zinkgruvan [MPa]	28,64	2	29,41
5 % Keimö [MPa]	34,52	3	34,63
10 % Keimö [MPa]	33,30	0	33,30
10 % Knust Keimö [MPa]	31,17	1	32,16
10 % Sand [MPa]	33,61	0	33,61

14 Dage

Prøve	Trykstyrke 1	Forkastede prøver	Trykstyrke 2
RF [MPa]	44,96	0	44,96
5 % Zinkgruvan [MPa]	31,80	0	32,80
10 % Zinkgruvan [MPa]	31,91	0	31,91
5 % Keimö [MPa]	37,64	0	37,64
10 % Keimö [MPa]	33,03	0	33,03
10 % Knust Keimö [MPa]	36,57	1	37,56
10 % Sand [MPa]	37,76	0	37,76

28 Dage

Prøve	Trykstyrke 1	Forkastede prøver	Endelige trykstyrke
RF [MPa]	46,71	1	47,72
5 % Zinkgruvan [MPa]	38,96	0	38,96
10 % Zinkgruvan [MPa]	35,09	0	35,09
5 % Keimö [MPa]	49,26	0	49,26
10 % Keimö [MPa]	40,04	1	42,56
10 % Knust Keimö [MPa]	43,65	0	43,65
10 % Sand [MPa]	39,63	0	39,63

B.12 Porøsitet og Densitet

	RF			gennemsnit
m105	529,24	517,04	519,26	521,85
mss	577,81	564,36	567,51	569,89
msw	321,34	313,68	315,24	316,75
V	0,000257094740218	0,000251290636246	0,000252884509357	0,0002537566286075
Vp	0,000048688312599	0,000047435267700	0,0000483675331054	0,0000481637044685
Pp	0,1894	0,1888	0,1913	0,1898
pd	2058,5408	2057,5379	2053,3484	2056,4757
pf	2539,4610	2536,3080	2538,9579	2538,2423
pssd	2247,4594	2245,8457	2244,1469	2245,8174
ussd	0,0918	0,0915	0,0929	0,0921

	Kemiö 5%			
m105	541,49	531,28	523,71	532,16
mss	590,68	579,11	571,64	580,48
msw	328,48	322,05	317,5	322,68
V	0,000262838698036	0,0002576861774111	0,000254759064526	0,0002584279799913
Vp	0,000049309822869	0,000047946510019	0,0000480467536112	0,0000484343621667
Pp	0,1876	0,1861	0,1886	0,1874
pd	2060,1609	2061,7326	2055,7070	2059,2002
pf	2535,9100	2533,0449	2533,5211	2534,1587
pssd	2247,3099	2247,3460	2243,8456	2246,1671
ussd	0,0908	0,0900	0,0915	0,0908

	Kemiö 10%			
m105	534,06	519,32	533,75	529,04
mss	582,25	567,34	582,46	577,35
msw	324,33	315,22	324,14	321,23
V	0,000258548272301	0,000252734143969	0,0002589492466694	0,0002567438876465
Vp	0,000048307386950	0,000048136972844	0,000048828653628	0,0000484243378075
Pp	0,1868	0,1905	0,1886	0,1886
pd	2065,6104	2054,8074	2061,2147	2060,5442
pf	2540,2290	2538,2560	2540,2079	2539,5643
pssd	2251,9973	2244,8095	2249,3211	2248,7093
ussd	0,0902	0,0925	0,0913	0,0913

	Zinkgruvan 5%			
m105	508,45	522	518,46	516,30
mss	557,42	571,23	568	565,55
msw	309,37	317,71	315,35	314,14
V	0,000248654229778	0,000254137554256	0,000253265435007	0,000252019073014
Vp	0,000049089286967	0,000049349920306	0,000049660675441	0,000049366627571
Pp	0,1974	0,1942	0,1961	0,1959
pd	2044,8074	2054,0058	2047,1013	2048,6381
pf	2547,7922	2548,9820	2546,4041	2547,7261
pssd	2241,7475	2247,7198	2242,7064	2244,0579
ussd	0,0963	0,0943	0,0956	0,0954

	Zinkgruvan 10%			
m105	512,58	510,33	517,89	513,6
mss	562,89	559,27	567,23	563,13
msw	312,03	310,46	315,55	312,68
V	0,000251471074711	0,000249416081077	0,000252293072165	0,000251060075984
Vp	0,000050432551099	0,000049059213889	0,000049460188257	0,0000496506510821
Pp	0,2006	0,1967	0,1960	0,1978
pd	2038,3259	2046,0990	2052,7318	2045,7189
pf	2549,6606	2547,1051	2553,2842	2550,0166
pssd	2238,3887	2242,3173	2248,2980	2243,0013
ussd	0,0982	0,0959	0,0953	0,0964

B.13 Poster

Poster - Bachelor projekt Mineaffald i beton Lasse Thunbo - s143874

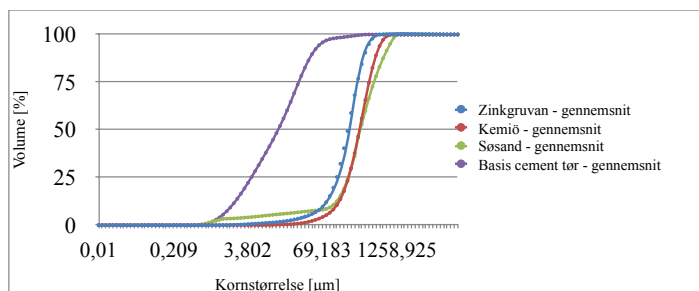
Posteren er udarbejdet i sammenhæng med Bachelor projektet Mineaffald i Beton. I projektet undersøges mineaffald som erstatning for cement i beton, og til dette sammenlignes den finske tailing Keimö med tailingen Zinkgruvan, søsand og cement. Tailingen der fokuseres på, Keimö, stammer fra et feldspat stenbrud i Finland. Posteren præsenterer de nuværende resultater fra laboratorieøvelserne, støbningen og trykprøvningen.

Karakteristik af mineaffald og referencer

I nedenstående tabel præsenteres forsøgsresultaterne for vandindhold, glødetab, pH-værdier, carbonat og pyknometer.

Forsøg	Enhed	Søsand	Cement	Zinkgruvan	Keimö
Vandindhold	[%]	1,30	0,16	2,92	0,15
Glødetab 550	[%]	0,08	-	0,47	0,05
Glødetab 950	[%]	0,41	-	0,76	0,10
pH	-	9,88	12,51	8,31	6,69
Carbonat	[%]	6,90	16,09	9,20	7,68
Pyknometer	[g/cm ³]	1,364	3,68	2,791	-

Tailingen fra Keimö er ikke blevet undersøgt for dets korndensitet med et pyknometerforsøg endnu. Dette kan også tydes fra nedenstående figur der er en illustrationen af kornfordelingen for referencerne og tailingerne.



Det ses at tailingen minder meget om søsand når det kommer til kornstørrelse. Der er også blevet undersøgt mængden af tungmetaller tilstede i tailingerne sammenlignet med søsand og cement. Disse undersøgelser er blevet udført ved en ICP analyse. Mængden af tungmetaller sammenlignes med grænseværdierne for deres benyttelse i byggematerialer ifølge Miljøstyrelsen [2015].

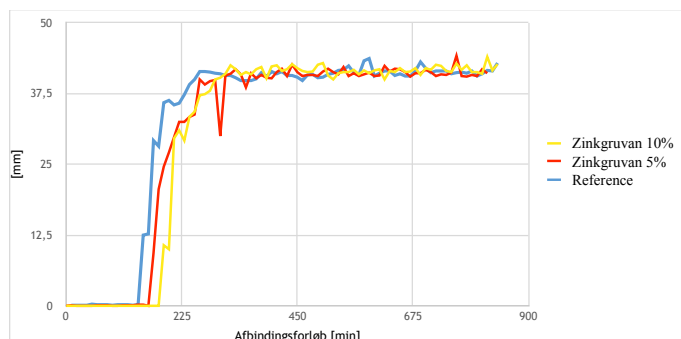
	Indhold af tungmetaller i mg/kg				Kvalitetskriterium: Grænsekategori 1
	Sand	Cement	Zinkgruvan	Keimö	
Al	1018,05	9806,06	7196,47	3953,23	
As	1,79	5,38	52,29	-	0 - 20
Ba	3,49	206,20	221,07	5,15	
Ca	22662,30	270699,40	34128,50	771,64	
Cd	0,10	0,40	13,51	0,17	0 - 0,5
Cr	1,53	21,60	3,03	18,55	0 - 500
Cu	1,39	69,73	259,58	2,39	0 - 500
Fe	1663,03	13393,22	17561,28	8949,47	
K	262,37	2387,22	4913,45	1536,09	
Mg	596,72	2759,52	1904,81	1118,61	
Mn	64,28	134,79	954,03	64,82	
Mo	-	-	0,37	1,52	0 - 5
Na	177,45	976,46	142,87	92,53	
Ni	1,04	18,12	19,82	3,34	0 - 30
P	245,21	712,24	309,99	80,87	
Pb	1,90	12,66	366,72	18,83	0 - 40
S	260,66	8563,54	5549,01	223,82	
Sb	-	-	12,27	0,24	
Se	-	-	-	0,80	
Ti	-	-	-	159,07	
V	-	-	13,45	7,93	
Y	-	-	98,29	111,43	
Zn	8,94	244,03	826,30	36,90	0 - 500

Støbning

Ved støbning benyttes en opskrift for reference betonen på: 1350 gram søsand, 450 gram cement og 225 gram vand.

Ved erstatning med mineaffald, henholdsvis tailingerne fra Zinkgruvan og Keimö, støbes der med en 5% og 10% erstatning af cementen. Nedenfor ses sætmål og afbindingsforløbene for de forskellige blandinger:

[mm]	Måling 1	Måling 2	Endeligt sætmål
Cement Prøve 1	136	137,5	
Cement Prøve 2	137	139	137,375
Zinkgruvan 5% Prøve 1	109	106	
Zinkgruvan 5% Prøve 2	107	108	107,5
Zinkgruvan 10% Prøve 1	109	110	
Zinkgruvan 10% Prøve 2	103	104	106,5
Keimö 5% Prøve 1	12,8	13	
Keimö 5% Prøve 2	12,5	12,7	12,75
Keimö 10% Prøve 1	12,2	12,1	
Keimö 10% Prøve 2	12,2	12,4	12,225

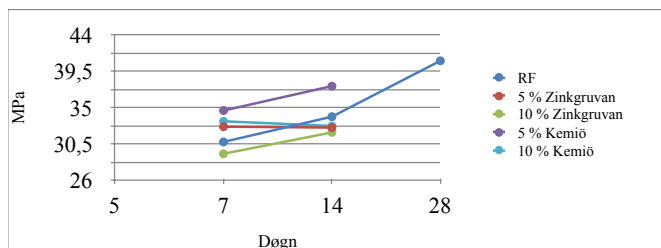


Nedenfor ses afbindingsforløbene for mørtelblandingerne med reference og tailingerne.

Det ses at reference mørtelblandingen med cement opnår sin indledende afbindingstid før blandingen med Zinkgruvan 5% og 10%. Der er ikke resultater for Keimö endnu.

Trykprøvning

For hver mørtelblanding er der støbt 3 kvadratiske prismers. Der er udført tryktest i begge ender af hver støbning. Der er her benyttet metoden fra



DS/EN 196-1 [2005] til bestemmelse af endelige trykstyrker.

7 Dage trykprøver

Prøve	Trykstyrke 1	Forkastede prøver	Trykstyrke 2
RF [MPa]	30,79	2	30,74
5 % Zinkgruvan [MPa]	31,98	1	32,63
10 % Zinkgruvan [MPa]	28,51	2	29,27
5 % Keimö [MPa]	34,53	3	34,63
10 % Keimö [MPa]	33,30	0	33,30

14 Dage trykprøver

Prøve	Trykstyrke 1	Forkastede prøver	Trykstyrke 2
RF [MPa]	33,41	2	33,87
5 % Zinkgruvan [MPa]	32,52	0	32,52
10 % Zinkgruvan [MPa]	31,92	0	31,92
5 % Keimö [MPa]	37,66	0	37,66
10 % Keimö [MPa]	33,03	2	32,72

DTU Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Technical University of Denmark (Arial Bold 11 pkt.)

Brovej, Building 118

2800 Kgs. Lyngby

Telephone 45 25 17 00 (Arial Regular 11 pkt.)