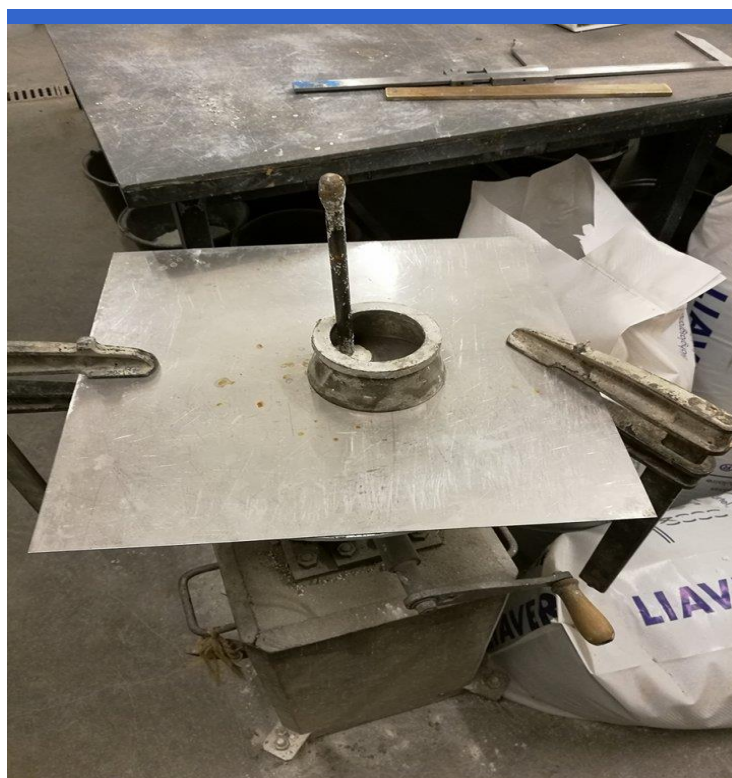


Anvendelse af mineaffald i beton

Fokus på delvis sanderstatning



Markus Pai Sørensen, s143876

CivilByg Bachelorprojekt

Department of Civil Engineering
2017

DTU Civil Engineering
Juni 2017

1 Forord

Dette bachelorprojekt afslutter bacheloruddannelsen byggeteknologi ved Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg for Markus Pai Sørensen. Projektet består af denne rapport i kombination med et mundtligt forsvar. Projektet er vægtet til 15 ECTS-point, og er udført i perioden 30/01/2017 - 22/06/2017.

Det eksperimentelle arbejde i projektet er udført i tæt samarbejde med Lasse Førde Thunbo, s143874 og Niklas Carl Ørum-Nielsen, s143857. Resultaterne angivet under REF, Z-5% og Z-10% i afsnit 7.1.6 og 7.2.1, er delt med s143874 og s143857. Foruden disse er resultaterne for Zinkgruvan i afsnit 7.2.2 delt. Endeligt er resultaterne angivet under REF i afsnit 7.2.3 udarbejdet i samarbejde med s143874, s143857, Mai Nørgaard Fugl, s143870 og Natasja Emilie Buchholdt, s143864.

Der rettes stor tak til Lektor Pernille Erland og ph.d. studerende Nina Marie Sigvarden for kyndig vejledning. Herudover takkes Professor Lisbeth M. Ottosen for supplerende vejledning.

Endeligt takkes laborant Malene Grønvold og laboratoriekoordinator Ebba Cederberg Schnell for assistance i laboratoriet, samt betontekniker Per Leth for rådgivning i støberiet.

Markus Pai Sørensen, s143876

2 Sammenfatning

Det er på baggrund af erfaring med benyttelse af forskellige restprodukter i cementindustrien, projektet mineaffald i beton er opstået. Cementindustriens interesse i benyttelse af restprodukter stiger i takt med forhøjet fokus på at nedbringe CO₂-udledningen. I 2013 stod cementindustrien for ca. 5% af verdens menneskeskabte CO₂-udledning.

Mineselskaberne ville, foruden cementindustrien, drage fordel af en potentiel anvendelse af mine tailings. Den store mængde tailings, mineindustrien producerer, forvolder primært problemer i forbindelse med opbevaring og afskaffelse. Dette skyldes en kombination af mængden af mineaffald, samt indholdet der kan have negativ indvirkning på miljøet.

Formålet med dette projekt har altså været at undersøge mulighederne for at spare cement og CO₂-udledning, ved at anvende mine tailing i beton. De benyttede mine tailings er Zingruvan og Mätäsvaara, der stammer fra hhv. Zinkgruvan minen i syd Sverige og Mätäsvaara minen i Finland. De to tailings er indledningsvis benyttet som cementerstatning i mængden 5% og 10%. Herefter blev de benyttet som sanderstatning i mængden 10% og 25%.

Det første skridt i undersøgelsen af de to mine tailings var en karakteristik i laboratoriet. Dette blev gjort for at afdække egenskaberne af mine tailings. Først blev vandindholdet og pH-værdien målt. Vandindholdet viste, at ingen af prøverne indeholdte nævneværdige mængder af vand. Samtidigt indikerede pH-værdien, at de to tailings kunne have negativ indvirkning på betonens pH-miljø, hvis de erstattede cement. Deres pH-værdi minder mere om den for søsand, end den for BASIS cement.

Forsøg med det formål at bestemme prøvernes glødetab og indhold af metaller viste, at alle prøverne havde et lavt indhold af organisk materiale. Indholdet af metaller viste, at kun Zinkgruvan tailingen overskred miljøstyrelsens krav for at ligge i styrelsens kategori 1.

Porøsiteten og densiteten af støbte mørtelprøver blev undersøgt og viste, at tailings ikke havde negativ indvirkning på mørtelprøvernes porøsitet.

Det indledende arbejde med cementerstatning blev også udført i støberiet. Dette arbejde viste, at tailing brugt som cementerstatning havde negativ indflydelse på cementmørtlens afbindingsforløb, bearbejdelighed og trykstyrke.

Efter det indledende arbejde med cementerstatning flyttede projektet fokus til sanderstatning. Forhåbningen var, at sanderstatning med tailing kunne sænke cementmørtlens vandbehov, og derigennem sparre på mængden af nødvendig cement. Egenpakningen og vandabsorptionsevnen blev derfor målt for tailing kontra søsand. Egenpakningen viste sig at være højst for søsandet, hvilket indikerer, at søsand ville give det laveste vandbehov. Analysen af vandabsorptionsevnen viste, at Zinkgruvan tailingen absorberer mindre vand end søsand, mens Mätäsvaara tailingen absorberer mere. Ingen af prøverne absorberede dog mere end 1.5% vand.

Vandbehovet blev efterfølgende målt i støberiet. Dette viste, at der kunne opnås et lavere vandbehov for cementmørtel, når der skete en delvis sand erstatning med mine tailing. Endeligt blev trykstyrken også målt for mørtelprøver med sanderstatning. Der blev ved disse trykstyrke målinger opnået den eneste styrke der på tværs af alle trykprøver matchede referenceprøven.

3 Abstract

It's based on experience with using different kinds of waste products in the cement industry, that the project mine waste in concrete has emerged. The cement industry's interest in the usage of waste products comes from an increased focus on reducing CO₂-emission. In 2013 the cement industry was responsible for about 5% of the world's total man made CO₂-emission.

The mine industry would, as well as the concrete industry, stand to gain from a possible usage of mine tailings. It's often the large quantity of waste products, produced in the processing of ore, that creates problems for the mining companies in regards to storage. This is down to a combination of the quantity, and the content of the tailings, which can be hazardous for the environment.

The purpose of this project has been to investigate the possibilities of saving cement and CO₂-emission, by using mine tailings in concrete. The tailings used throughout this project is Zinkgruvan and Mätäsvaara. These come from respectively the Zinkgruvan mine in Sweden and the Mätäsvaara mine in Finland. The two tailings were initially used as cement replacement in quantities of 5% and 10%. Afterwards they were used as sand replacement in quantities of 10% and 25%.

The first step in investigating the two tailings, was to do a characterisation of the tailings in the lab. This was done to uncover the properties of the tailings. First of all the water content and pH-value was measured. The test of water content showed that none of the samples contained any mentionable amount of water. The pH-value indicated that the tailings could have a negative influence on the pH-environment in concrete. It was simultaneously seen that the pH of the tailings resembled that of sand, in a higher degree than that of cement.

Experiments with the purpose of determining the loss on ignition and content of metals, showed that both tailings contained low amounts of organic material. The content of metals showed, that only the Zinkgruvan tailing exceeded governments demands to safety category 1.

The porosity and density of cast cement mortar samples were determined, and showed that tailings don't have a negative influence on the porosity.

Preliminary work was also done in the concrete lab. This work showed that tailings have a negative influence on the setting time, workability and strength of the cast cement mortar samples.

After the experiments with cement replacement, the project moved focus to sand replacement. The hope was, that sand replacement with tailings would lower the cement mortars demand for water, and thereby lower the demand for cement. The own packing and water absorbency were measured for tailings versus that of sand. Sand showed the smallest own packing, which indicated that the water demand would be lowest for the sand. The analysis of the water absorbency showed, that the Zinkgruvan tailing absorbed the least amount of water. While the Mätäsvaara tailing absorbed a bit more water than the sand.

The water demand were hereafter measured in the concrete lab, which showed that there could be achieved a lower water demand for cement mortar samples with sand replaced by mine tailings. Finally it was found that a sample with 10% sand replacement, could reach the same strength as the reference sample.

Indhold

1	Forord	i
2	Sammenfatning	ii
3	Abstract	iii
4	Indledning	1
4.1	Baggrund for projektet	1
4.2	Forkortelser	1
5	Teori	2
5.1	Mine tailing	2
5.1.1	Zinkgruvan	2
5.1.2	Mätäsvaara	2
5.2	Betonens vandbehov	3
5.2.1	Tilslagets vandbehov	3
5.3	Overfladekarakter	3
5.4	Popovics formel	4
5.5	Normering af vandindhold	4
6	Metoder	5
6.1	Karakteristik af mine tailings, BASIS cement og søsand i laboratoriet	5
6.1.1	Vandindhold	5
6.1.2	pH	5
6.1.3	Glødetab	6
6.1.4	Pyknometer	7
6.1.5	Carbonatindhold volumetrisk	8
6.1.6	Oplukning	9
6.1.7	Kornstørrelsesfordeling	9
6.1.8	SEM analyse	9
6.1.9	Egenpakning	9
6.1.10	Vandabsorptionsevne	10
6.2	Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver	10
6.2.1	Blanding	10
6.2.2	Støbning	11
6.3	Trykprøvning	12
6.4	Afbindingsforløb	13
6.5	Flydesætmål	14
6.6	Porøsitet og densitet	14
6.7	Farveprøve	15
6.8	Vandbehov	15

7	Resultater	16
7.1	Trin 1: Undersøgelse af mine tailing som cementerstatning (laboratoriet)	16
7.1.1	Vandindhold, pH og Carbonat volumentrisk	16
7.1.2	Glødetab	17
7.1.3	ICP-analyse	17
7.1.4	Kornstørrelsesfordeling	19
7.1.5	Pyknometer	20
7.1.6	Porøsitet og densitet	20
7.2	Trin 2: Undersøgelse af mine tailing som cementerstatning (støberi)	21
7.2.1	Afbindingsforløb	21
7.2.2	Flydesætmål	22
7.2.3	Trykprøvning del 1	22
7.2.4	Farveprøve	23
7.3	Trin 3: Undersøgelse af mine tailing som sanderstatning (laboratoriet)	24
7.3.1	Egenpakning	24
7.3.2	SEM-analyse	24
7.3.3	Vandabsorptionsevne	26
7.4	Trin 4: Undersøgelse af mine tailing som sanderstatning (støberi)	27
7.4.1	Vandbehov	27
7.4.2	Trykprøvning del 2	28
8	Diskussion	29
8.1	Indledende fase: Mine tailing som cementerstatning	29
8.2	Bestemmelse af fokus for anden del	31
8.3	Anden fase: Mine tailing som sanderstatning	31
9	Konklusion	34
10	Referencer	36
Bilag		38
A	Forsøgsvejledninger	38
A.1	Vandindhold	38
A.2	pH	41
A.3	Glødetab	44
A.4	Pyknometer	46
A.5	Carbonat volumentrisk	47
A.6	Oplukning af jordprøver (ICP-analyse)	51
A.7	Kornstørrelsesfordeling	55
A.8	Vandabsorptionsevne	58
A.9	Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver	63
A.10	Tryktest af mørtelprøver	67
A.11	Afbindingsforløb	70
A.12	Bearbejdelighed	74
A.13	Porøsitet og densitet	76

A.14 Farveprøve	79
B Resultater	84
B.1 Vandindhold, pH og carbonat volumetrisk - rådata	84
B.2 Glødetab - rådata	87
B.3 ICP - rådata	88
B.4 Kornstørrelsesfordeling - rådata	89
B.5 Pyknometer - komplette resultatark	93
B.6 Porøsitet og densitet - udfyldt resultatark	95
B.7 Afbindingsforløb - rådata	96
B.8 Egenpakning - rådata	99
B.9 Vandabsorptionsevne - rådata	100
B.10 Vandbehov - rådata	100
C Trykprøvning	101
C.1 Trykprøvning - rådata	101
D Normering af vandbehov	105
E Beregning af q i Popovic	110
F Poster fra midtvejspræsentation	114

4 Indledning

Formålet med dette projekt var indledningsvis at undersøge muligheden for at erstatte cement i beton med mine tailings. Dette blev gjort ved at lave en karakteristik af de pågældende tailings, og sammenligne disse med BASIS cement fra Aalborg Portland og søsand 0-4 mm.

Efter de indeledende eksperimenter blev det valgt at flytte fokus fra cementerstatning, og i stedet have hovedfokus på sanderstatning.

4.1 Baggrund for projektet

På baggrund af tidligere erfaringer, med anvendelse af affaldsprodukter i cementindustrien, gøres der forhåbninger om at bygge med mine tailings. Det er tidligere succes med at anvende f.eks. flyveaske og mikrosilica, der inspirer brugen af tailings (18).

Det centrale økonomisk og miljømæssige problem i arbejdet med beton, er indkøbet og produktionen af cement. Dette på trods af, at cementindustrien tager store skridt i forbedringen af deres aftryk på miljøet. Forbedringer der f.eks. illustreres ved, at Aalborg Portland i perioden 2010-2015 har sparet hvad der årligt svarer til 63000 husstandes årlige elforbrug (2). På trods af disse forbedringer udledte Aalborg Portland fabrikken i Aalborg stadigvæk 1.780.564 tons CO₂ i 2015 (2). På global skala stod cementindustrien i 2013 for ca. 5 % af den menneskeskabte CO₂-udledning (18).

Det er på baggrund af denne CO₂-udledning, at der er opstået forhåbninger om at sparre på cement, og derved CO₂-udledning, ved at lave en erstatning med mine tailings.

Mineselskaberne har samtidigt andre perspektiver i forhold til benyttelsen af tailings i byggeri. De kan se frem til en besparelse på den økonomiske og miljømæssige front. Et af problemerne for mineselskaberne er at finde, et sted hvor de kan opbevare de store mængder restprodukter, der er i forbindelse med bearbejdningen af malm. Ikke alene kan det være dyrt at anlægge opbevaring af tailings, der kan også være miljømæssige risici involveret.

I skrivende stund oplever mineselskaberne en forøgelse af udfordringerne omkring afskaffelsen af tailings. Dette grundet en højere udnyttelsesgrad og politiske stramninger ift. opbevaring (10). En mulig udnyttelse af tailings i byggeindustrien ville være med til at løse nogle af de problemstillinger, mineselskaberne møder. De ville ikke skulle betale regningen for opbevaringen af tailings, og man ville slippe for at risikere miljømæssige komplikationer.

Det er altså en forhåbning om, at mine tailings igennem cement- og/eller sanderstatning kan løse en række miljømæssige og økonomiske problemer, for såvel mineselskaber som byggebranchen, der ligger til grund for dette projekt.

4.2 Forkortelser

Der er, for at skabe overblik og simplicitet, benyttet en række forkortelser gennem rapporten. Disse er primært benyttet i forbindelse med beskrivelse af blanderecepter. Z-5% betyder f.eks. Zinkgruvan erstatning 5%, mens M-10% betyder Mätäsvaara erstatning 10%. Endelig er reference prøver, støbt uden nogen tilsætning af tailing forkortet REF.

5 Teori

5.1 Mine tailing

Der er i dette projekt arbejdet med, den form for mineaffald der på engelsk hedder tailings. Tailings er, det restprodukt der kommer ud af de mekaniske og kemiske processer, en given malm gennemgår i minedriften. Indholdet i tailings vil typisk være rester af metaller, en række mineraler og eventuelt nogle kemikalier. (10)

Der findes mange forskellige tailings, og i dette projekt er der arbejdet med to af dem. Disse to, Zinkgruvan og Mätäsvaara, er vist i figur 5.1 og 5.2.



Figur 5.1: Zinkgruvan mine tailing



Figur 5.2: Mätäsvaara mine tailing

5.1.1 Zinkgruvan

Mine tailingen Zinkgruvan stammer, fra Zinkgruvan minen der ligger i det centrale syd Sverige, ca. 250 km sydvest af Stockholm. Der er drevet uafbrudt minedrift i Zinkgruvan siden 1857. Minen behandlede i 2016 1.2 millioner tons malm, hvilket resulterede i en produktion af 78500 tons zink, 31700 tons bly, 1900 tons kobber og 69 tons sølv (22).

Zinkgruvan tailingen minder intuitivt om sand. Den er af udseende dog finere i kornene end sand. Farven indeholder mange grå nuancer, og er mørkere end en typisk sand.

5.1.2 Mätäsvaara

Mätäsvaara tailingen kommer fra minen Mätäsvaara i det sydøstlige Finland. Minen var aktiv fra 1937-1949, og var på det tidspunkt en molybdæn mine. Tailingen har gennemgået nogle mekaniske processer i dens forarbejdelse. Processerne dækker over knusning, formaling og gravimetrisk separation (23).

Ligesom Zinkgruvan tailingen minder Mätäsvaara tailingen intuitivt om sand. Udseendemæssigt er den mere finkornet end en typisk strandsand. Farven minder om en typisk sandfarve, med en del brune, grå og beige nuancer.

5.2 Betonens vandbehov

I Danmark er en betons blandeopskrift i høj grad bestemt af krav til dens v/c -forhold og dens styrke, hvor styrken igen også afhænger af bl.a. v/c -forholdet. Når først v/c -forholdet er fastlagt, er det betonens samlede vandbehov der bestemmer cementbehovet (15). Det er primært, tilslaget der styrer betonens vandbehov. Hvis det er muligt at finde, tilslag der giver et lavere samlet vandbehov end normalt, vil mængden af cement også kunne sænkes. (20) Da der i dette projekt kun er støbt cementmørtel, er det eneste tilslag til cementpastaen, søsand (og senere hen tailing). Der vil derfor blive kigget på betydning af søsands og tailings vandbehov.

5.2.1 Tilslagets vandbehov

Tilslagets vandbehov bestemmes af en række forskellige parametre. Der arbejdes i denne rapport med følgende; kornkurve, kornform, vandabsorptionsevne og egenpakning. Disse beskrives kort herunder.

Egenpakning

Egenpakningen er et udtryk for, hvor godt et materiales korn kan pakke sig, altså hvor få hulrum der kan være mellem kornene. Denne er givet som kornhobsdensiteten over den tørre korndensitet. Jo større egenpakningen er for et materiale, jo mindre bliver hulrummene. Det må altså medføre et lavere teoretisk forventet vandbehov, når der findes høje egenpaknings værdier. (21)

Kornkurve og kornform

Disse to karakteristik kan begge have indflydelse på såvel egenpakningen som vandbehovet. Kornkurven har indflydelse på egenpakningen og vandbehovet i den forstand, at et mere velgraderet tilslag vil pakke bedre end et mere velsorteret tilslag. (1)

Kornformens indflydelse på vandbehovet har igen indflydelse på tilslaget evne til at pakke sig. Afrundede korn vil pakke sig bedre i et given volumen end mere kantet korn. Da man f.eks. i Danmark benytter sømateriale i beton, der oftest er mere afrundet end bakkemateriale, er man i stand til at fremstille beton med et lavere vandbehov end mange andre steder i verden. Hvor man i Danmark arbejder med et vandindhold på omkring $140-170 \frac{l}{m^3}$, arbejder mange andre lande med vandindhold omkring $180-210 \frac{l}{m^3}$. (20)

Vandabsorptionsevne

Et tilslags vandabsorptionsevne er et udtryk for hvor meget vand, dette optager, når det blandes med vand. Et tilslag med høj vandabsorptionsevne risikerer at skade en given betons mulighed for at opnå en tilstrækkelig hydratiseringsgrad. Absorberes for meget af vandet af tilslaget, vil der ikke længere være tilstrækkeligt frit vand til at indgå i hydratiseringsprocessen, hvilket vil give en svagere beton end ønsket.

Vandabsorptionsevnen har altså en naturlig indvirkning på et tilslags vandbehov. Høj vandabsorptionsevne medfører et højere vandbehov, mens en lav vandabsorptionsevne medfører et lavere vandbehov.

5.3 Overfladekarakter

Overfladekarakteren af tilslagets korn kan have betydning for såvel bearbejdigheden som for styrken. Ru korn vil give en beton en større indre friktion, hvilket har negativ indflydelse på bearbejdigheden af betonen. Ru korn har dog ikke udelukkende negativ indflydelse på betonen. En ru overflade giver bedre adhæsion til cementpastaen, hvilket medfører en stærkere beton. Dette bidrag er dog mest tydeligt ved prøvning af betonens trækstyrke. (13)

5.4 Popovics formel

Popovics formel benyttes ofte til korrektion af flydesætmål og vandindhold. Hvis et målt flydesætmål ikke er i overensstemmelse med hvad der var forventet, kan Popovics formel benyttes. Denne er givet som 5.1.

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^q \quad (5.1)$$

Hvor y_1 = det opnåede sætmål, y_2 = det ønskede sætmål, V_1 = vandindhold ved sætmål y_1 og V_2 = vandindhold ved sætmål y_2 . Potensen q varierer normalt ikke meget, og sættes i almen praksis til 0.10. Det bemærkes, at denne faktor er baseret på beton og ikke mørtel. (15)

5.5 Normering af vandindhold

Der vil senere i rapporten indgå en normering af vandindhold fra [g] til $[\frac{l}{m^3}]$. Dette er sket på baggrund af følgende fremgangsmetode.

Under støbningen af en prøve blev det vejret hvor meget mørtel det krævede at fylde en støbeform op. Dette blev efterfølgende delt med tre, da en form rummer tre prøveelementer. Rumfanget af et prøveelement blev udregnet, hvorefter der blev opstillet en faktor for hvor mange prøveelementer der svarede til en kubikmeter. Det blev derefter udregnet, hvor stor en mængde vand der var i et prøveelement, ud fra vægten af dette og vands procentmæssige andel af blanderecepten.

Vandmængden blev derefter normeret til en kubikmeter ved at bruge vandindholdet i et prøveelement, sammen med den tidligere beskrevet rumfangsfaktor.

Det er i det ovenstående antaget at arealet af et prøveelement ikke varierer fra standard (4cmx4cmx16cm), og den procentmæssige andel af vand er ligeligt fordelt i hele blandingen og derfor også i formen. Det er efterfølgende antaget, at der findes en direkte sammenhæng mellem mængden af vand i [g] og $[\frac{l}{m^3}]$. Det er, denne antagelse der er benyttet til at finde vandbehov for andre vandmængder.

Den fulde udregning er vist i bilag D.

6 Metoder

Dette afsnit vil indeholde en gennemgang, af de metoder der er benyttet til at skabe det eksperimentelle grundlag for projektet. Metoderne består af en række laboratorieforsøg, der har givet en karakteristik af de benyttede mine tailings, Mätäsvaara og Zinkgruvan. Derudover er forsøgene udført på Aalborg Portland BASIS cement og søsand 0-4 mm.

Efterfølgende kommer en gennemgang, af de metoder der er benyttet i betonstøberiet, i forbindelse med støbningen og karakteriseringen af den støbte cementmørtel.

6.1 Karakteristik af mine tailings, BASIS cement og søsand i laboratoriet

6.1.1 Vandindhold

Vandindholdet måles ved først at overføre en afvejet mængde prøve til en plastvial. Denne stilles herefter i varmeskab natten over ved 105 °C. Dagen efter afvejes prøven så igen.

Vandindholdet udregnes vha. formel 6.1.

$$\% \text{vandindhold} = \frac{m(\text{vådprøve}) - m(\text{tørprøve})}{m(\text{vådprøve})} \cdot 100 \quad (6.1)$$

Forsøgsvejledningen der er benyttet til dette forsøg findes i bilag A.1. Forsøget er også udført ved 50 °C.

6.1.2 pH

pH-værdien analyseres ved først at tilføje 5.00 g prøve til en 20 mL plastvial. Denne tilsættes derefter 12.5 mL 1 M KCl med finpipette. Plastvials med prøver placeres på rystebord i en time. Prøverne fjernes fra rystebordet og sedimenteres i 10 min. pH-værdien kan nu måles. Dette gøres på maskinen sensION+ MM374, hvorpå resultatet direkte kan aflæses. Denne er vist i figur 6.1.



Figur 6.1: Billede af maskinen benyttet til pH-måling.

Forsøgsvejledningen for pH-analysen findes i bilag A.2.

6.1.3 Glødetab

Til dette forsøg skal der benyttes digler. Disse kom først 30 min. i en muffelovn ved 550 °C, for at fjerne eventuelle rester. Efter de 30 min. afkøles diglerne i en eksikator, hvorefter de vejes.

Hver digel tilføjes så 2.5 g prøve på analysevægt. Diglerne placeres igen i muffelovnen, og glødes ved 550 °C i en time. Efter en time fjernes diglerne fra muffelovnen og placeres i eksikator for at blive afkølet.

Når diglerne er afkølet, vejes disse igen. Glødetabet regnes vha. formel 6.2.

$$\%glødetab = \frac{m(førmuffelovn) - m(eftermuffelovn)}{m(førmuffelovn)} \cdot 100 \quad (6.2)$$

Denne proces gentages nu for samme prøver, men med muffelovnen indstillet til 950 °C.

Forsøgsvejledningen benyttet til dette forsøg findes i bilag A.3.

6.1.4 Pyknometer

Dette forsøg benyttes til at bestemme den tørre korndensitet, og er udført jf. DS/EN ISO 17892-3:2015 (9).

Det tomme pyknometer glas afvejes på analysevægt, og vægten noteres. Derefter afvejes 4.00 g tør prøve i vejebåde, hvorefter denne tilsættes pyknometer glasset. Den samlede vægt noteres. Pyknometer glasset fyldes halvt op med destilleret vand, og placeres derefter i vakuum natten over sammen med ekstra destilleret vand.

Dagen efter måles vandets temperatur. Pyknometer glassene fyldes næsten helt op med luftfrit vand og lukkes med prop. Pyknometer glasset afvejes igen, hvorefter korndensiteten kan beregnes.

Beregninger er udført i Excel, og beregningsmetoden kan ses i figur 6.2.

Bestemmelse af kornrumvægt				1	2	3
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer						
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g			
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g			
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C			
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm ³			
Måling						
Pykn. + prop + jord		m_2	g			
Pykn. + prop + jord + vand	W_1	m_3	g			
Temperatur	T	T_3	°C			
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm ³			
Jord - masse	W_s	m_4	g			
Jord - volumen	V_s		cm ³			
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³			
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³			
Betegnelse fra	dgf15	DS				
Dgf-bulletin 15:				DS/CEN ISO/TS 17892-3:		
$\rho_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_3 - W_0}{\frac{W_2 - W_0}{\rho_{w,k}} - \frac{W_1 - W_3}{\rho_{w,t}}}$				$\rho_s = \frac{m_4}{\frac{m_1 - m_0}{\rho_{w,1}} - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{w,3}}}$		

Figur 6.2: Beregningsmetode af korndensitet i Excel.

Vejledningen til dette forsøg kan findes i bilag A.4.

6.1.5 Carbonatindhold volumetrisk

Indholdet af carbonat i forskellige prøver kan bestemmes volumetrisk ved at skabe en reaktion med fortyndet saltsyre. I reaktionen mellem prøven og fortyndet saltsyre dannes vand, metalioner og kuldioxid. Mængden af kuldioxid kan måles vha. et Scheibler apparat, og derigennem kan mængden af carbonat bestemmes.

Scheibler apparatet er illustreret i figur 6.3.



Figur 6.3: Billede af forsøg opstilling med Schiebler apparatet.

Først afvejes 2.5000 g tør prøve i et 5 mL bægerglas. Der overføres efterfølgende 20 mL fortyndet saltsyre til bunden af en reaktionsflaske, som bægerglasset med prøven også placeres i. Rystning af reaktionsflasken får bægerglasset til at vælte, hvorefter reaktion mellem prøven og saltsyre kan begynde. Rystningen fortsættes, indtil kuldioxid udviklingen er stoppet (ca. 1 minut). Mængden af kuldioxid aflæses efterfølgende.

Beregningen af prøvens indhold af calciumcarbonat sker på baggrund af en standarddrække. Denne standarddrække er udleveret af laborant Malene Grønvold, og kan ses i bilag A.5. Formel 6.3 benyttes i udregningen af mængden af calciumcarbonat.

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

hvor $A = [\text{g}] CaCO_3$ i prøven ifølge standardkurven, og $B = [\text{g}]$ prøve afvejet.

Vejledningen til dette forsøg findes i A.5.

6.1.6 Oplukning

Dette forsøg er forstadiet til en ICP-analyse (Inductively coupled plasma), der har til formål at bestemme mængden af syreopløselige metaller i en given prøve.

Oplukningen er udført jf. DS 259:2003 (5).

Først afvejes 1.00 g tør prøve i et pyrex-glas med skruelåg (autoklaveglas) på en teknisk vægt. Herefter tilsættes dette 20 mL halvkoncentreret HNO_3 . Glassene placeres i en autoklave med 1.5 L destilleret vand, hvorefter der udføres en autoklavering på 30 min.

Efter autoklaveringen nedkøles prøverne, inden de filtreres med sug gennem et $0.45 \mu\text{m}$ filter. Filtratet og destilleret vand tilsættes en målekolbe og blandes, hvorefter væsken hældes på plastvials. Disse plastvials gemmes til ICP-analysen, der udføres af laboratoriekoordinator Ebba Cederberg Schnell med en Varian 720-ES ICP-maskine.

Udførsel og beregning er sket jf. vejledningen i bilag A.6.

6.1.7 Kornstørrelsesfordeling

Kornstørrelsesfordelingen undersøges på et laserdiffraktometer af typen Mastersizer 2000. Selve analysen på laserdiffraktometeret udføres af laborant Malene Grønvold.

Forberedelsen af prøverne sker ved at tilsætte en halv teske prøve og 0.005 M natriumpyrofosfat til en plastvial.

Forsøget er udført jf. bilag A.7.

6.1.8 SEM analyse

En SEM-(scanning electron microscope)-analyse udføres for at lave billeder af små partikler. Analysen er udført af laboratoriekoordinator Ebba Cederberg Schnell.

6.1.9 Egenpakning

Egenpakningen er defineret i formel 6.4.

$$Egenpakning = \frac{Kornhobsdensitet}{Korndensitet(tør)} \quad (6.4)$$

Den tørre korndensitet findes i forsøget pyknometer, der er beskrevet i afsnit 6.1.4. Kornhobsdensiteten er densiteten hvor prøven er komprimeret, og kornene derved er pakket.

For at finde kornhobsdensiteten er der udformet et forsøg på baggrund af (21).

Først blev volumen af en plastvial bestemt ved at fylde denne med vand. Temperaturen og vægten af vandet blev målt. Vha. vands densitet, ved den pågældende temperatur, og masse blev volumen udregnet. Derefter blev plastvialen lagvist fyldt med søsand/mine tailing. Mellem fyldningerne blev plastvialen stødt et antal gange mod bordet, for bedst muligt at pakke kornene. Slutteligt blev toppen afrettet og plastvialen vejlet, hvorefter kornhobsdensiteten kunne udregnes.

6.1.10 Vandabsorptionsevne

Vandabsorptionsevnen bestemmes ud fra sand i s.s.d-tilstand. Sandet bringes i s.s.d-tilstand, inden forsøget påbegyndes. Dette gøres ved først at lade sandprøven ligge 24 timer under vand. Det vandlagret sand spredes efterfølgende ud på en stegepande og udtørres forsigtigt ved svag varme. Udtørringen stoppes umiddelbart før det tidspunkt, hvor kornene ikke længere klæber sammen. Efter en afkøling fyldes sandet i en kegleform og der stemples let. Hvis sandkeglen netop falder sammen, når formen fjernes, er der opnået en s.s.d-tilstand.

Når der er opnået en mængde sand i s.s.d-tilstand, afvejes denne. Prøven udtørres så fuldstændigt på stegepanden. Prøven afvejes igen, og vandabsorptionsevnen udregnes vha. formel 6.5.

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

Dette forsøg er udført på baggrund af forsøgsvejledningen i bilag A.8.

6.2 Blanding af mørtel og støbning af mørtelprøver

Hele støbeprocessen er udført jf. DS/EN 196-1 2. udgave (7).

6.2.1 Blandning

Der er i løbet af projektsperioden benyttet en række forskellige blanderecepter der alle er blandet jf. (7). Blanderecepterne kan ses i tabel 6.1.

Tabel 6.1: Blanderecepter anvendt gennem projektperioden. I tabellen står CE for cementerstatning og SE for sanderstatning

	Vand [g]	Søsand 0-4mm [g]	CEM II [g]	Minetailing [g]
REF	225 ± 1	1350 ± 5	450 ± 2	[-]
5 % CE	225 ± 1	1350 ± 5	427.5 ± 2	22.5 ± 2
10 % CE	225 ± 1	1350 ± 5	405 ± 2	45 ± 2
10 % SE	225 ± 1	1215 ± 2	450 ± 2	135 ± 2
25 % SE	225 ± 1	1012.5 ± 2	450 ± 2	337.5 ± 2

Alle støbninger er udført med demineraliseret vand, BASIS cement fra Aalborg Portland, søsand 0-4 mm tørret ved 105 °C og minetailings tørret ved 50 °C.

Fremgangsmåden for blandingen af cementmørtlen har været som følger.

For cementerstatning:

1. Cement og mine tailing tilsættes blandeskålen
2. Til tiden 0 sek tilsættes vand og røremaskinen startes ved lav hastighed i 30 sek.
3. Til tiden 30 sek tilsættes sand over et tidsrum på 30 sek, til totaltiden 1 min.
4. Røremaskinen skiftes over til høj hastighed og kører i 30 sek til totaltiden 1 min og 30 sek.

5. Røremaskinen stoppes og evt. mørtel skrabes ned fra blandeskålens sider. Dette over et tidsrum på 30 sek til totaltiden 2 min.
6. Der ventes 60 sek til totaltiden 3 min.
7. Røremaskinen startes igen ved høj hastighed og kører i 60 sek til totaltiden 4 min.

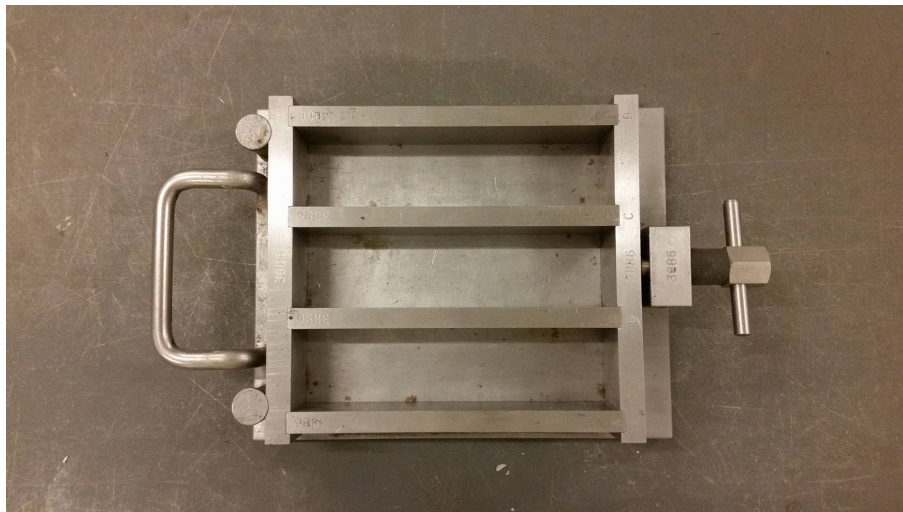
For sanderstatning:

1. Cement tilsættes blandeskålen
2. Til tiden 0 sek tilsættes vand og røremaskinen startes ved lav hastighed i 30 sek.
3. Til tiden 30 sek tilsættes sand og mine tailing over et tidsrum på 30 sek, til totaltiden 1 min.
4. Røremaskinen skiftes over til høj hastighed og kører i 30 sek til totaltiden 1 min og 30 sek.
5. Røremaskinen stoppes og evt. mørtel skrabes ned fra blandeskålens sider. Dette over et tidsrum på 30 sek til totaltiden 2 min.
6. Der ventes 60 sek til totaltiden 3 min.
7. Røremaskinen startes igen ved høj hastighed og kører i 60 sek til totaltiden 4 min.

Blandingsprocessen er udført jf. A.9.

6.2.2 Støbning

Til støbningen af mørtelprøver er benyttet forme med plads til 3 prøver á 40x40x160 mm. Formen er illustreret i figur 6.4.



Figur 6.4: Billede af en af de benyttede støbforme.

Fremgangsmetoden for støbningen af mørtelprøverne har været som følger:

1. Først smøres formen med formolie for at lette afformnings processen.
2. Støbeformen placeres på et rystebord og fyldes 1/3 del op.
3. Rystebordet indstilles til 50 Hz og kører i ca. 20 sekunder.
4. Formen fyldes yderligt 1/3 del op.
5. Rystebordet indstilles igen til 50 Hz og kører i ca. 20 sekunder.
6. Formen fyldes nu helt op.
7. Rystebordet indstilles atter til 50 Hz og kører i ca. 20 sek. I løbet af de 20 sekunder afrettes toppen af formen, for overskydende mørtel.
8. Endeligt overdækkes formen af et tyndt lag plastik og sættes til at hærde i 24 timer.

Det er i (7) og i bilag A.9 foreskrevet, at der støbes ved at fylde formen op af to omgange. I dette projekt er formene fyldt op af tre omgange, da der i starten opstod problemer med tørre blandinger der ikke fordelte sig ordentligt under rystningen. Efter rådgivning fra betontechniker Per Leth blev det besluttet at fylde formen af tre omgange. Dette for at opnå mere uniforme og bedre prøver.

Støbeprocessen er ellers udført jf. bilag A.9.

6.3 Trykprøvning

Trykprøvningen af de støbte mørtelprøver er foregået jf. DS/EN 196-1 (7).

Som det første, før selve trykprøvningen, er hver prøve blevet målt og vejlet. Hver prøve har fået målt: 3 x højde, 3 x bredde og 2 x længde.

Mørtelprøverne er blevet testet i en Toni 300 trykmaskine. Denne, og den benyttede forsøgsopstilling, kan ses i figur 6.5. Billedet stammer fra A.10.



Figur 6.5: Billede af forsøgsopstillingen i Toni 300 trykmaskine, A.10.

Mørtelprøven placeres i trykmaskinen, som vist på figur 6.5. Der opnås, når trykket er fuldført, en kraftmåling i kN. Denne måling omregnes efterfølgende til en trykstyrke for prøveelementet, vha. formel 6.6.

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

Hvor F_c er den målte kraft, og A er arealet der trykkes over. Arealet er udregnet som den gennemsnitslige bredde af mørtelprøven, gange bredden af den metalplade der ligger ovenpå mørtelprøven.

Der opnås seks trykstyrker for hver mørtelblanding. Af disse seks trykstyrer udregnes der jf. (7) et gennemsnit $\pm 10\%$. De resultater der ligger udenfor intervallet kasseres, hvorefter der beregnes et nyt gennemsnit med de accepterede prøver.

Trykprøvningen er udført, som beskrevet i forsøgsvejledningen i bilag A.10.

6.4 Afbindingsforløb

Afbindingsforløbet er bestemt jf. DS/EN 196-3 (8). Til forsøget er benyttet en Vicatronic fra MATEST. Manualen til denne findes i bilag A.11.

Der støbes først en portion frisk mørtel jf. (7), beskrevet i afsnit 6.2.1. Der hældes herefter et 40 mm lag mørtel i et plastikbæger. For at skabe en jævn overflade, bankes plastikbægeret et antal gange i bordet under opfyldningen. Når en jævn overflade er opnået, placeres bægeret i Vicatronic apparatet, og der indeledes en test af typen EN 196-3-2005.

Opstillingen med Vicatronic apparatet vises i figur 6.6.



Figur 6.6: Billede af Vicatronic apparatet i brug.

Forsøgsvejledningen til ovenstående forefindes i bilag A.11.

6.5 Flydesætmål

Flydesætmålet er målt jf. DS/EN 1015-3/A1:2004 (6).

Der laves først en mørtelblanding jf. beskrivelsen i afsnit 6.2.1. Herefter placeres formen, der kan ses i figur 6.7, på faldbordet. (6) foreskriver, at formen skal være $60 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ høj, $100 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ indvendig diameter bund og $70 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ indvendig diameter top. Den benyttede form er kun 50 mm høj og afviger derfor fra (6).

Formen fyldes op af to omgange. Efter at formen er fyldt halvt op, komprimeres mørtlen med 10 korte slag med tamperen, der også kan ses på billedet i figur 6.7. Det samme gøres, når formen er fyldt helt op. Toppen af formen afrettes, og efter 15 sekunder løftes formen af mørtlen. Der bankes herefter 15 gange med faldbordet med ca. 1 sekunds interval.

Flydesætmålet kan herefter måles lod- og vandret, og efter to udførelser med i alt fire målinger, kan resultatet udregnes som gennemsnittet af de fire.



Figur 6.7: Billede af flydebordet, med den benyttede form samt tamper. Foto af Niklas Ørum, s143857

Dette forsøg er udført jf. bilag A.12.

6.6 Porøsitet og densitet

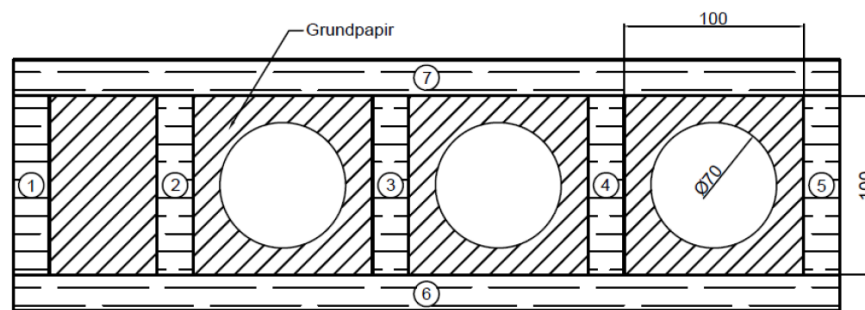
Porøsiteten og densiteten er målt på en række forskellige mørtelprøver. Disse er blandet og støbt jf. afsnit 6.2.1. Der er i dette forsøg kun kigget på cementerstatning, og der er lavet prøver af typen REF, Z-5%, Z-10%, M-5% og M-10%. Efter at prøverne var blevet støbt, hærdede de 28 døgn i vandbad, hvorefter de blev lagt til tørre i 21 døgn i varmeovn ved $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

De tørre prøver tages efter 21 døgn ud af ovnen og vejes. Herefter placeres de i en eksikator, og der pumpes med en vakuumpumpe ned i tre timer. Destilleret vand ledes ind i eksikatoren, hvorefter den står lukket i en time. Efter en time lukkes der luft ind i eksikatoren, som efterfølgende står natten over. Dagen efter kan de vandmættede prøver vejes under vand på en teknisk vægt med ophæng. Endeligt duppes prøven med en hårdt opvredet klud og vejes igen.

Der kan efter målingerne laves en række beregninger, der alle er beskrevet i bilag A.13. Forsøget er ligeledes udført jf. A.13.

6.7 Farveprøve

Til støbningen af farveprøven benyttes der en specialform, der er skitseret i figur 6.8. Skitsen stammer fra A.14.



Figur 6.8: Skitse fra A.14 af formen benyttet til støbningen af farveprøver.

I bunden er lagt et stykke grundpapir, med udskæringer efter vejledningen i bilag A.14. Der laves en blanding cementmørtel jf. beskrivelsen i afsnit 6.2.1. Denne fyldes i formen, hvorefter formen kommer på rystebord. Dagen efter støbningen af farveprøverne, afformes disse og stilles til hærkning i yderligere 14 dage.

Farveprøver er lavet jf. vejledningen i bilag A.14.

6.8 Vandbehov

Der er i dette projekt udført et forsøg med henblik på at finde søsands og mine tailings vandbehov. Forsøget er udført på baggrund af bilag A.12 og (21).

Der er først lavet en portion mørtel jf. afsnit 6.2.1. Denne mørtelblanding er der efterfølgende målt flydesætmål på, som det er beskrevet i afsnit 6.5. Dette er gjort for tre forskellige vandmængder, hhv. 210 g, 230 g og 250 g.

De tre målinger plottes herefter og bør gerne falde på en ret linje. Vandbehovet bestemmes ved interpolation, som værdien ved et flydesætmål på 12 cm.

7 Resultater

Projektperioden har været delt op i to faser. I hver fase har der været fokus på forskellige undersøgelser. Begge faser er delt op i to trin. I den første fase blev muligheden for cementerstatning med mine tailings undersøgt. Dette medførte en karakteristik af de to mine tailings, søsand og BASIS cement. Udover denne karakteristik blev der også lavet en række undersøgelser af cementmørtel i støberiet.

Andet trin af projektet skiftede fokus fra cementerstatning til sanderstatning med mine tailings. Dette trin medførte en yderlig karakteristik af mineaffaldet kontra søsand, samt nye støbninger og mørtelopskrifter, og undersøgelser af disse i støberiet.

7.1 Trin 1: Undersøgelse af mine tailing som cementerstatning (laboratoriet)

Det første der blev lavet, var en karakteristik af mineaffaldets egenskaber. Denne karakteristik blev udført i laboratoriet, hvor tailings blev sammenlignet med søsand 0-4 mm og BASIS cement (CEM II) fra Aalborg Portland. Resultaterne af denne karakteristik følger herunder.

7.1.1 Vandindhold, pH og Carbonat volumetrisk

De første analyser der blev udført undersøgte vandindholdet, pH-værdien og det volumetriske carbonat indhold i de forskellige prøver. Resultaterne af disse rapporteres i tabel 7.1. Rå data er indsat i bilag B.1.

Tabel 7.1: Tabel indeholdende resultater for nogle af de indledende undersøgelser. Tallet i parentes er standard afvigelsen.

Forsøg	Enhed	Søsand 0-4 mm	BASIS Cement	Zinkgruvan	Mätäsvaara
Vandindhold 50°C	[%]	0.261 (0.216)	0.058 (0.015)	2.808 (0.255)	0.187 (0.081)
Vandindhold 105°C	[%]	0.188 (0.081)	0.577 (0.296)	2.894 (0.074)	0.465 (0.077)
pH	[-]	9.79 (0.136)	12.53 (0.024)	8.31 (0.041)	6.90 (0.260)
Carbonat indhold	[%]	6.894 (0.264)	16.081 (0.114)	8.786 (0.024)	0.249 (0.158)

Forsøget med vandindhold er udført ved både 50 °C og 105 °C. Dette skyldes, at jf. (15) er al fugt fortrængt fra de åbne porer, ved ovntørring ved 105 °C i ca. et døgn. Det er altså ved 105 °C, at det egentlige vandindhold findes. Når de to tailings har været benyttet i støbninger, er disse dog kun tørret ved 50 °C. Forsøget er derfor udført ved begge temperaturer, for at se om der er en nævneværdig forskel. Det ses af tabel 7.1, at der er ikke er fundet nogen nævneværdig forskel i vandindholdet i tailing, når temperaturen ændres fra 50 °C til 105 °C.

Det ses, at pH-værdien for Mätäsvaara er neutral, mens Zinkgruvan er lidt basisk. Zinkgruvan tailingen ligger dog ikke langt over det neutral område. Det ville være at foretrække så basisk en pH-værdi som muligt. En basisk pH-værdi hjælper med at bibeholde betonens pH-miljø på et acceptabelt niveau. Det ses altså, at hverken Zinkgruvan eller Mätäsvaara ville kunne bidrage positivt til betonens korrosionsmiljø. (11)

Tabel 7.1 viser samtidigt, at det højeste carbonat indhold er fundet for BASIS cement. Dette er helt forventeligt, da cement er 3/4 dele kalk, og kalk hovedsageligt består af calciumcarbonat. Det ses samtidigt, at indholdet af carbonat i Zinkgruvan og søsand minder om hinanden, mens der ikke er et nævneværdigt indhold af carbonat i Mätäsvaara tailingen.

7.1.2 Glødetab

Som beskrevet i afsnit 6.1.3 blev prøverne glødet ved først 550 °C og sidehen 950 °C. Den procentmæssige massereduktion for prøverne, bevirket af de to glødninger rapporteres i tabel 7.2. Herudover indsættes også tabet i masse i [g]. De i laboratoriet målte rådata indsættes i bilag B.2.

Tabel 7.2: Tabel med resultaterne for glødetabsforsøget udført på de fire prøveelementer. Tallet i parentes er standard afvigelsen.

Prøve	Glødtab [%]	Glødtab [g]	Glødtab [%]	Glødtab [g]
	550°C	550°C	950°C	950°C
Søsand 0-4 mm	0.0461 (0.0303)	0.0012 (0.0008)	0.3140 (0.1433)	0.0068 (0.0035)
BASIS Cement	0.1389 (0.0603)	0.0036 (0.0016)	0.8120 (0.3542)	0.0172 (0.0077)
Zinkgruvan	0.0481 (0.0014)	0.0012 (2.6e-5)	0.6394 (0.0194)	0.0149 (0.0005)
Mätäsvaara	0.0335 (0.0069)	0.0009 (0.0002)	0.0822 (0.0157)	0.0012 (0.0002)

Det vurderes generelt, jf. bilag A.3, at prøvernes tab ved glødning på 550 °C, svarer til indholdet af organisk materiale. Det ses, at det procentmæssige indhold af organisk materiale i både Zinkgruvan og Mätäsvaara er væsentligt under 1 %. Med henblik på anvendelse af tailings i beton er dette et positivt resultat, eftersom et højt indhold af organisk materiale er skadeligt for styrken og hærdningen af beton (4).

Efter glødningen ved 950 °C bliver det procentmæssige tab endnu større. Ved 950 °C begynder nogle mineraler samt en del af calciumcarbonaten at forsvinde. Det ses, at BASIS cement og Zinkgruvan har det største tab efter glødning ved 950 °C, hvilket stemmer godt overens med, at det er disse prøver der indeholder mest calciumcarbonat, jf. tabel 7.1.

7.1.3 ICP-analyse

Den udførte ICP-analyse giver en beskrivelse af hvilke metaller der findes i en given prøve, og i hvilken mængde de forefindes. Denne undersøgelse er nødvendig at lave, inden de undersøgte tailings kan benyttes i byggematerialer. Dette gøres for at sikre de ikke indeholder farlige mængder af tungmetaller, der kan være skadende for både mennesker og miljø. Der er fra miljøstyrelsens side opstillet grænseværdier for hvor stort indholdet af arsen, bly, cadmium, kobber, krom, nikkel og zink må være i restprodukter til benyttelse i byggematerialer (14). I skrivende stund omfatter disse restprodukter ikke mine tailings, men det er valgt at sammenligne med værdierne alligevel, da der ellers ikke foreligger nogen retningslinjer.

Miljøstyrelsens grænseværdier er indført i tabel 7.3.

Tabel 7.3: Grænseværdier for indholdet af metaller i restprodukter til anvendelse i byggematerialer jf. (14).

	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Nikkel	Zink
Kategori 1 [mg/kg]	0 - 20	0 - 40	0 - 0.5	0 - 500	0 - 500	0 - 30	0 - 500
Kategori 2 [mg/kg]	>20	>40	>0.5	>500	>500	>30	>500

I tabel 7.4 er angivet hvilke metaller, og i hvilken mængde de blev opfanget i de analyseret prøver.

Tabel 7.4: Tabel med de målte mængder af metaller i hhv. søsand 0-4 mm, BASIS cement, Zinkgruvan og Mätäsvaara. Med rød er markeret de værdier der overskrider miljøstyrelsens kategori 1 grænseværdier.

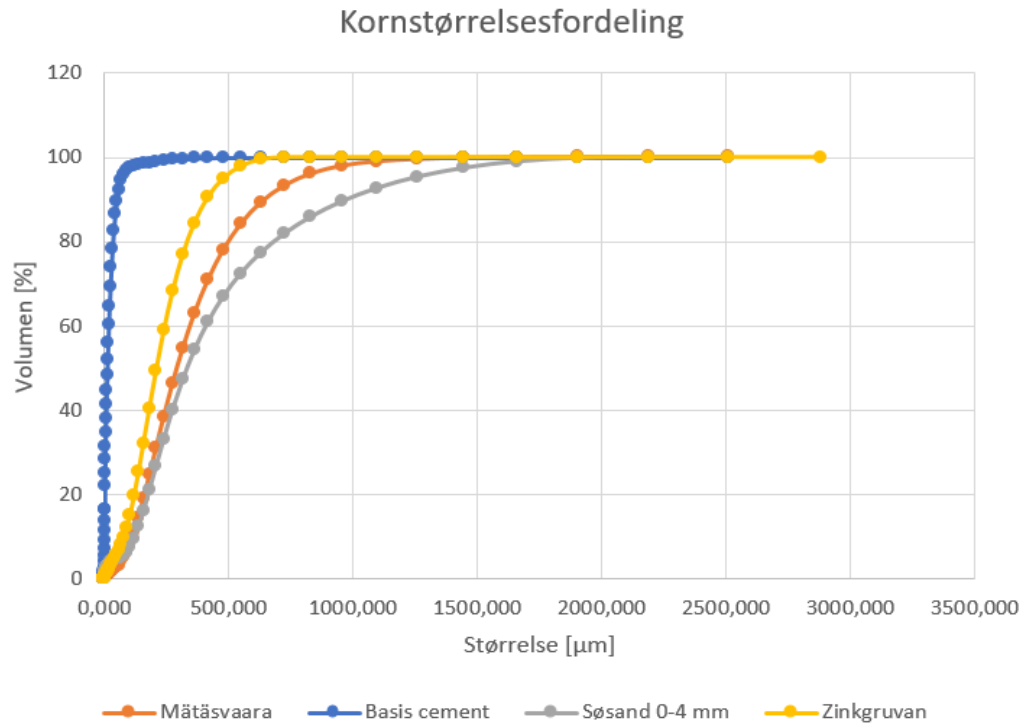
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
	Søsand	BASIS cement	Zinkgruvan	Mätäsvaara
Aluminium(Al)	1009.53	13903.98	7354.68	5758.05
Arsen(As)	1.84	5.54	59.17	<2
Barium(Ba)	3.27	211.15	251.94	37.07
Calcium(Ca)	21571.32	276114.4	38573.88	1058.59
Cadmium(Cd)	0.14	0.37	13.95	0.21
Krom(Cr)	1.59	22.47	3.1	6.19
Kobber(Cu)	1.45	73.32	284.09	114.34
Jern(Fe)	1711.91	13859.46	19632.92	10172.11
Kalium(K)	248.67	2430.69	5023.04	3676.3
Magnesium(Mg)	578.67	2876.91	21454.52	3966.14
Mangan(Mn)	58.54	140.1	1045.48	124.49
Molybdæn(Mo)	<2	<2	<2	9.65
Natrium(Na)	178.96	993.81	149.82	87.64
Nikkel(Ni)	1.26	18.69	21	2.85
Fosfor(P)	203.2	723.05	358.96	238.75
Bly(Pb)	2.01	12.79	3932.1	14.53
Svovl(S)	337.34	8765.77	5971.72	165.68
Antimon(Sb)	<2	<2	<2	<2
Selen(Se)	<2	<2	<2	0.84
Titan(Ti)	<2	<2	<2	663.43
Vanadium(V)	<2	<2	<2	20.03
Yttrium(Y)	-	-	-	103.52
Zink(Zn)	9.66	254.13	8803.86	116.76

Det ses af tabel 7.4, at Zinkgruvan må placeres i kategori 2, eftersom mængden af arsen, cadmium og zink overskrider den maksimalt tilladte mængde i kategori 1. Det ses samtidig, at søsand, BASIS cement og Mätäsvaara alle kan placeres i kategori 1, da der ikke er fundet farlige mængder metaller i nogen af dem.

Værdierne indsat i tabel 7.4 er gennemsnitsværdier, rådataen for ICP-analysen kan ses i bilag B.3.

7.1.4 Kornstørrelsesfordeling

Kornstørrelsesfordelingen måles for de to tørre tailings, og sammenlignes i figur 7.1 med tør søsand og BASIS cement. Rådataen er indsat i bilag B.4.



Figur 7.1: Kornkurve for søsand, BASIS cement, Zinkgruvan og Mätäsvaara.

Det ses af figur 7.1, at søsandet er den prøve med den mest velgraderet kornkurve af de fire, mens BASIS cementen er den mest velsorterede. Både Mätäsvaara og Zinkgruvan minder mest om søsand i deres kornfordeling. Begge tailings er dog mere finkornet end søsandet er. Det vurderes samtidigt, at begge tailings og søsandet er rimelig velgraderet. Dette tjekkes nu vha. af uensformighedstallet, der er givet som 7.1 (12). Et uensformighedstal på over 5 er lig med en velgraderet prøve, mens et tal under 2.5 er lig med en velsorteret prøve.

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (7.1)$$

hvor d_{60} og d_{10} er hhv. 60%- og 10%-fraktilen.

Uensformighedstallet er indsat i tabel 7.5.

Tabel 7.5: Tabel indeholdende uensformighedstallet for søsand, Zinkgruvan og Mätäsvaara.

	Søsand 0-4 mm	Zinkgruvan	Mätäsvaara
U	3.32	3.01	3.00

Det ses af tabel 7.5, at hverken søsand, Zinkgruvan eller Mätäsvaara kan kategoriseret som velgraderet eller velsorteret.

7.1.5 Pyknometer

Pyknometer forsøget havde til formål at bestemme den tørre korndensitet for de fire materialer. Forsøget er ikke udført for BASIS cement, da dette vil ødelægge de anvendte pyknometer glas. De udfyldte resultatark er indsat i bilag A.4.

De opnåede korndensiteter er angivet i tabel 7.6.

Tabel 7.6: Den tørre korndensitet for søsand, Zinkgruvan og Mätäsvaara

	Korndensitet (tør) [$\frac{kg}{m^3}$]	Standard afvigelse
Søsand 0-4 mm	2653	33.0
Zinkgruvan	2790.9	47.4
Mätäsvaara	2661.6	23.2

Det ses, at de tre materialer ligger indenfor 5% af hinanden. Ligesom det var tilfældet for kornstørrelsesfordelingen, jf. afsnit 7.1.4, minder søsandet og de to tailings altså en del om hinanden.

7.1.6 Porøsitet og densitet

Forsøget omkring porøsitet og densitet viser hvor porøse støbninger der opnås, når der blandes anderledes tilsag til cementpastaen kontra de "rene" referencer. Jf. forsøgsvejledningen i bilag A.13 beregnes prøvelegemets volumen, volumen af åbne porer, faststofdensiteten, tørdensiteten, densitet af prøvelegemet i vakuumvandmættet overfladetør tilstand, prøvelegemets åbne porøsitet og vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand. I tabel 7.7 er angivet volumen af de åbne porer, porøsiteten og tørdensiteten. De øvrige resultater er rapporteret i bilag B.6.

Tabel 7.7: Volumen af åbne porer, porøsitet og den tørre korndensitet for søsand, Zinkgruvan og Mätäsvaara

	REF			Zinkgruvan 5%			Zinkgruvan 10%			Mätäsvaara 5%			Mätäsvaara 10%		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
V_på m^3	0,049	0,047	0,048	0,049	0,049	0,050	0,050	0,049	0,049	0,048	0,048	0,050	0,051	0,052	0,051
Gennemsnit	0,048			0,049			0,050			0,049			0,051		
Standard afvigelse	0,00065			0,00029			0,00071			0,00138			0,00032		
P_å m^3/m^3	0,189	0,189	0,191	0,197	0,194	0,196	0,201	0,197	0,196	0,188	0,184	0,194	0,202	0,199	0,202
Gennemsnit	0,190			0,196			0,198			0,189			0,201		
Standard afvigelse	0,0013			0,0016			0,0024			0,0050			0,0018		
ρ_d kg/m^3	2058,40	2057,39	2053,20	2044,66	2053,86	2046,96	2038,18	2045,96	2052,59	2059,95	2071,52	2043,39	2030,31	2036,43	2030,43
Gennemsnit	2056,331			2048,494			2045,575			2058,286			2032,393		
Standard afvigelse	2,754			4,788			7,210			14,138			3,500		

Det ses ud af tabel 7.7, at der opnås en maks. forskel i porøsitet på 5.47 %, mens den maksimale forskel i densitet er 1.26 %. Dette er et godt tegn, for anvendelsen af mine tailings, eftersom en stor forøgelse af porøsiteten ville have været en svækkelse af en given beton.

7.2 Trin 2: Undersøgelse af mine tailing som cementerstatning (støberi)

Efter arbejdet i laboratoriet, blev der arbejdet med implementeringen af tailings i cementmørtel. Resultatet af arbejdet i støberiet følger i det kommende afsnit.

7.2.1 Afbindingsforløb

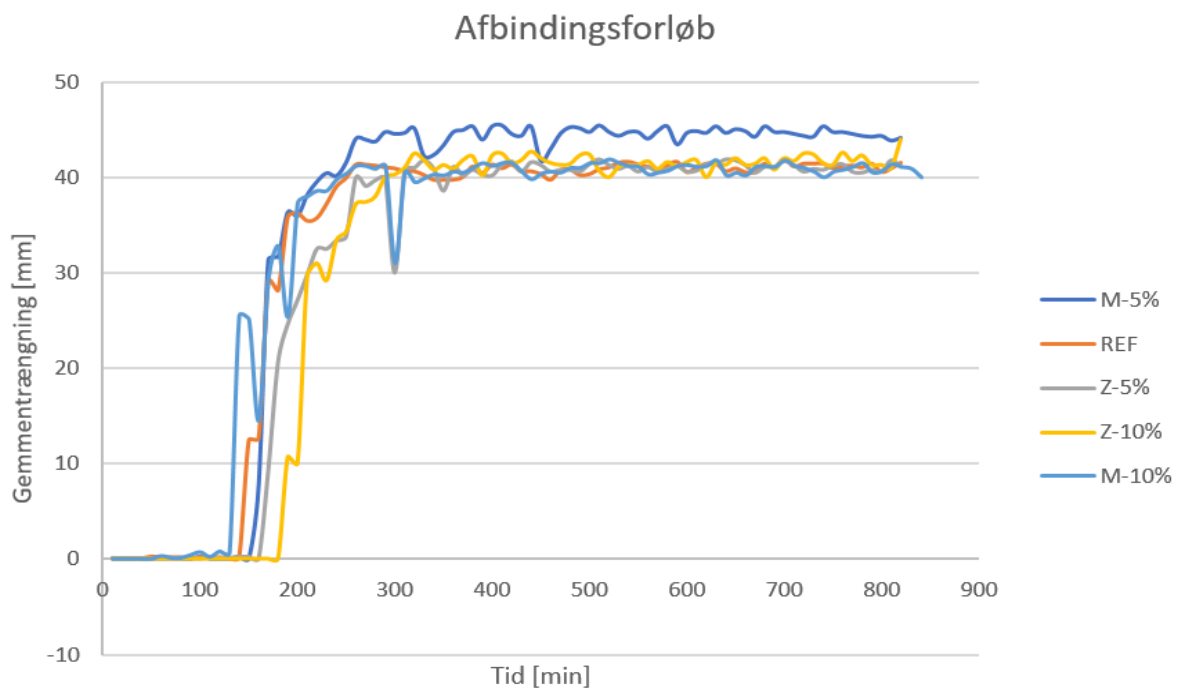
Afbindingsforløbet er et udtryk, for den tid der går mellem, at en cementpasta er i flydende form, og til den er i fast form. Cementpastaen begynder at antage fast form ved første afbindingstid, og har opnået fast form ved den endelige afbindingstid. Dette forløb er målt vha. et Vicatronic apparat, og resultatet for de forskellige blanderecepter er angivet i tabel 7.8. Afbindingstiderne er aflæst jf. (8). De fulde afbindingsforløb er rapporteret i bilag B.7.

Tabel 7.8: Tabel indeholdende indledende og endelige afbindingstid for de forskellige blanderecepter i den indledende del af projektet.

	REF	Z-5%	Z-10%	M-5%	M-10%
Indledende afbindingstid	2 t 30 min	2 t 50 min	3 t 10 min	2 t 40 min	2 t 20 min
Endelige afbindingstid	8 t 40 min	8 t 20 min	7 t 10 min	6 t	8 t 10 min

Det ses, at afbindingforløbene umiddelbart forkortes ved tilføjelsen af tailings til den originale blanderecept. Dette er umiddelbart en ulempe, eftersom det giver kortere tid at arbejde med på en byggeplads. Det ses dog samtidigt, at tilføjelsen af mine tailing forsinket den indledende afbindingstids.

Afbindingsforløbene er også visuelt illustreret i figur 7.2.



Figur 7.2: Afbindingsforløbet for blanderecepterne brugt ved cementerstatning. Det er er disse afbindingsforløb der ligger til grund for 7.8.

7.2.2 Flydesætmål

Flydesætmålet er et udtryk for hvor bearbejdelig, en pågældende cementmørtel er. Bearbejdigheden i sig selv beskriver hvor nemt cementmørtlen formes, og i hvor høj grad den flyder ud. Dette er målt på faldbord jf. beskrivelsen i afsnit 6.5.

Flydesætmålet er målt, på de fem blanderecepter der er anvendt i den indledende del af projektet. Disse rapporteres jf. (6), i tabel 7.9.

Tabel 7.9: Tabel indeholdende de opnåede flydesætmål for forsøg med cementerstatning. Tallet i parentes er standard afvigelsen.

	Måling 1 [mm]	Måling 2 [mm]	Endeligt sætmål [mm]
REF prøve 1	143.5	142	140.375 (2.52)
REF prøve 2	137	139	
Z-5% prøve 1	109	106	107.5 (1.29)
Z-5% prøve 2	107	108	
Z-10% prøve 1	109	110	106.5 (3.51)
Z-10% prøve 2	103	104	
M-5% prøve 1	119	118	118.875 (1.53)
M-5% prøve 2	117.5	121	
M-10% prøve 1	119	119.5	118.25 (1.41)
M-10% prøve 2	117.5	117	

Det ses af tabel 7.9, at cementmørtlen bliver mindre bearbejdelig, når der erstattes cement med tailing. Dette er tilfældet for begge tailings. Det ses dog, at Zinkgruvan tailingen, i højere grad end Mätäsvaara, gør cementmørtlen svær bearbejdelig.

7.2.3 Trykprøvning del 1

Der blev i den indledende del af projektet trykprøvet mørtelprøver med delvis cementerstatning. Blanderecepterne der blev trykprøvet kan ses i tabel 6.1, i afsnit 6.2.1. Rådataen for trykprøvnignen er indsat i bilag C.1.

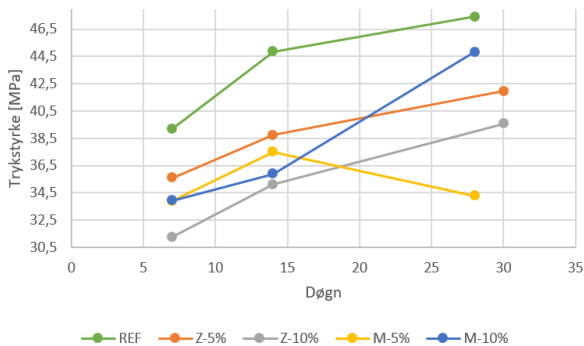
Trykprøvningen er foregået efter (7), og er beskrevet i afsnit 6.2.2. De opnåede trykstyrker rapporteres først i tabel 7.10.

Tabel 7.10: 7, 14 og 28 døgns trykstyrker for de indeledende støbninger med cementerstatning.

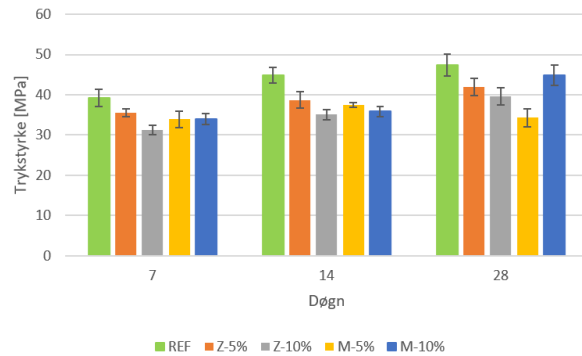
Prøve	REF	Z-5%	Z-10%	M-5%	M-10%
7 d ± stdafv [MPa]	39.19 ± 2.13	35.60 ± 1.00	31.26 ± 1.20	33.92 ± 2.01	33.93 ± 1.40
14 d ± stdafv [MPa]	44.85 ± 2.01	38.74 ± 1.95	35.12 ± 1.27	37.50 ± 0.60	35.89 ± 1.28
28(30) d ± stdafv [MPa]	47.41 ± 2.69	41.96 ± 2.10	39.58 ± 2.13	34.28 ± 2.22	44.82 ± 2.54

Det noteres omkring tabel 7.10 at Z-5% og Z-10% er tryktestet efter 30 døgn og ikke 28 døgn som de andre prøver. Dette skyldes, at strømmen i støberiet var slukket da prøverne skulle testes.

Det ses af tabel 7.10, at cementerstatning med mine tailings medfører en lavere trykstyrke end opnået for referenceprøven. Styrkeudviklingen illustreres i figur 7.3 og 7.4, der begge indeholder samme data som tabel 7.10.



Figur 7.3: Graf med styrkeudvikling for cementerstatning.



Figur 7.4: Søjlediagram med trykstyrker og standardafvigelser.

Igen bemærkes det at Z-5% og Z-10% er tryktestet efter 30 døgn og ikke 28 døgn. Det kan i ovenstående figurer ses, at styrken af M-5% uventet går i en negativ retning, ved 28 døgn trykprøvningen. Dette resultat diskuteres senere.

7.2.4 Farveprøve

Der er jf. afsnit 6.7 udformet en farveprøve af mine tailingen Mätäsvaara, som sammenlignes med foreliggende farveprøver af tailingen Zinkgruvan og en ren reference prøve. Billeder af disse indsættes og sammenlignes herunder i figur 7.5.



Figur 7.5: Figur med sammenligning af de tre farveprøver. Fra venstre REF, Z-10% og M-10%. REF og Z-10% er støbt af Nina Marie Sigvardsen.

Det ses, at prøverne der er tilsat tailing har opnået en smule mørkere farve, end den for referencen.

7.3 Trin 3: Undersøgelse af mine tailing som sanderstatning (laboratoriet)

På baggrund af de indledende forsøg blev det valgt at arbejde videre med tailing som sanderstatning. Grundlaget for denne beslutning uddybes i afsnittet *Diskussion*.

7.3.1 Egenpakning

Egenpakningen udregnes, som beskrevet i afsnit 6.1.9, vha. formel 6.4. For at benytte denne formel skal kornhobsdensiteten og den tørre korndensitet være bekendte. Kornhobsdensiteten findes ud fra fremgangsmåden beskrevet i afsnit 6.1.9. Den tørre korndensitet er fundet tidligere, og rapporteret i afsnit 7.1.5.

I tabel 7.11 er vist en oversigt over kornhobsdensiteten, korndensiteten (tør) og egenpakningen.

Tabel 7.11: Tabel med oversigt over kornhobsdensitet, korndensitet (tør) og egenpakningen, for hhv. søsand 0-4 mm, Zinkgruvan og Mätäsvaara.

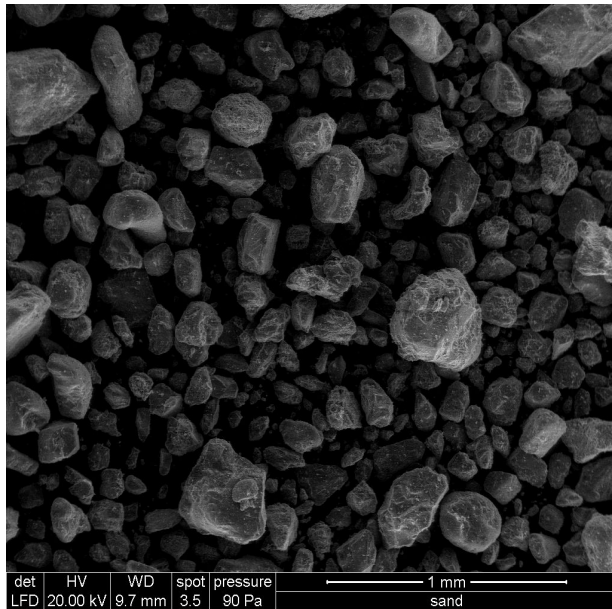
	Kornhobsdensitet [$\frac{kg}{m^3}$]	Korndensitet (tør) [$\frac{kg}{m^3}$]	Egenpakning
Søsand 0-4 mm	1718.96	2653	0,65
Zinkgruvan	1658.03	2790.90	0,59
Mätäsvaara	1640.20	2661.60	0,62

Det ses af tabel 7.11, at der er opnået den højeste egenpakning for det almindelige søsand. Det ses samtidigt også, at Mätäsvaara ligger indenfor ca. 5 % af denne værdi, mens Zinkgruvan ligger indenfor ca. 10 %. Jf. (21), er den højeste mulige egenpakning af sit tilslag ønsket, eftersom det teoretisk burde medføre et lavere vandbehov.

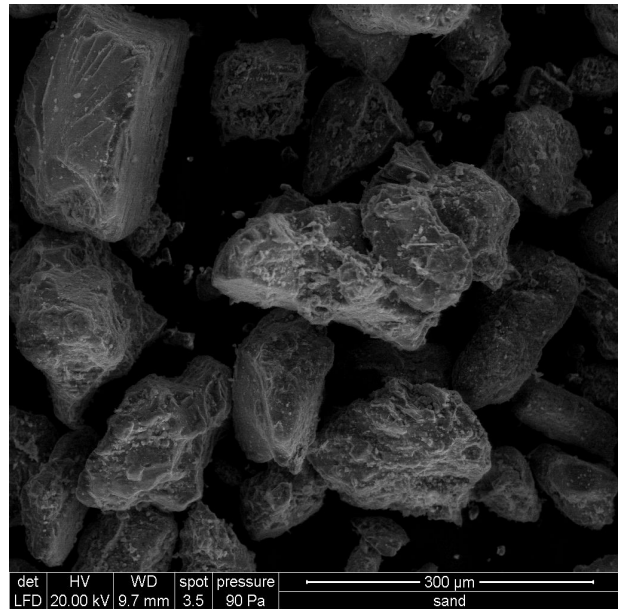
En oversigt over rådataen er indsat i bilag B.9.

7.3.2 SEM-analyse

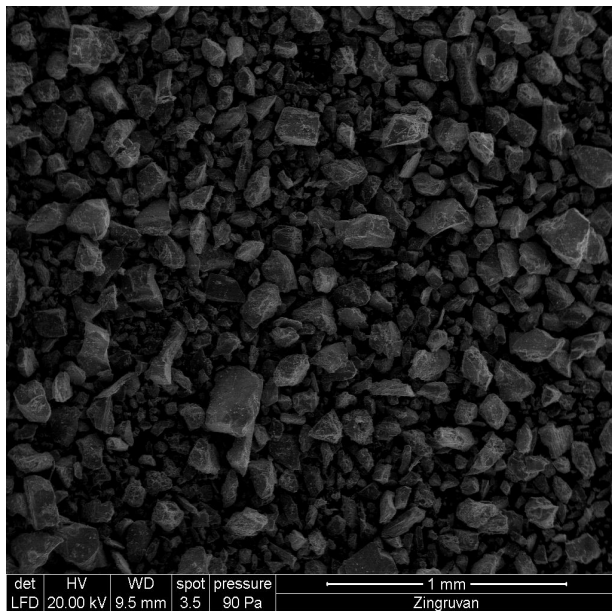
Som beskrevet i afsnit 5.2.1 kan formen og overfladestrukturen på tilslag påvirker en betons samlede vandbehov. Derfor er formen og overfladestrukturen på de benyttede tailings undersøgt, vha. af en SEM-analyse. Parametrene er også undersøgt for søsand 0-4 mm for at skabe et sammenligningsgrundlag. Billederne fra SEM-analysen indsættes i figur 7.6 - 7.11.



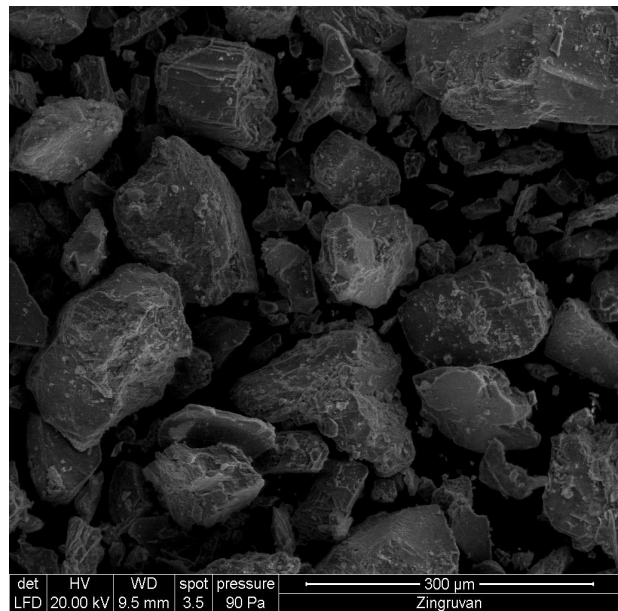
Figur 7.6: Søsand 0-4 mm forstørret 50 gange.



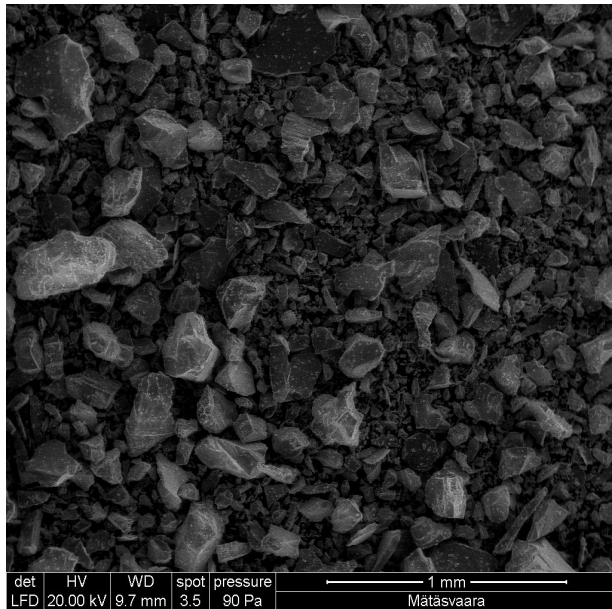
Figur 7.7: Søsand 0-4 mm forstørret 200 gange.



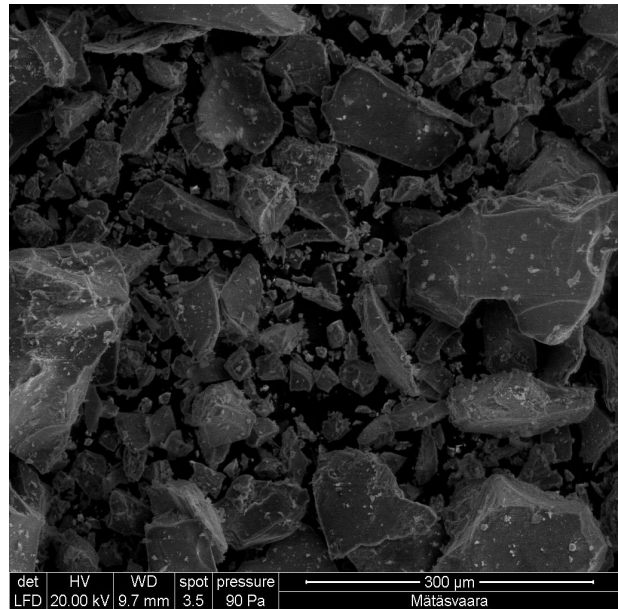
Figur 7.8: Zinkgruvan forstørret 50 gange.



Figur 7.9: Zinkgruvan forstørret 200 gange.



Figur 7.10: Mätäsvaara forstørret 50 gange.



Figur 7.11: Mätäsvaara forstørret 200 gange.

Af figurerne 7.6 - 7.11 vurderes det, at søsandet, som teoretisk forventet, er mere afrundet end de to mine tailings. Det vurderes dog samtidigt, at kornene i Mätäsvaara tailingen har en glattere overflade, end søsandet såvel som Zinkgruvan tailingen.

7.3.3 Vandabsorptionsevne

En egenskab der potentielt har indflydelse på en betons vandbehov, og derfor mængden af nødvendig cement, er tilslagets vandabsorptionsevne. Denne egenskab er derfor målt, for det til cementpastaen benyttede tilslag. Resultatet af dette er indført i tabel 7.12.

Tabel 7.12: Tabel indholdende vandabsorptionsevnen for de to mine tailings, samt søsand.

	Vægt s.s.d [g]	Vægt tør [g]	Vandabsorptionsevne [%]
Mätäsvaara	127.88	126.49	1.10
Søsand 0-4 mm	248.63	246.27	0.96
Zinkgruvan	162.41	161.62	0.49

Det ses af tabel 7.12, at den højeste vandabsorptionsevne er opnået for tailingen Mätäsvaara.

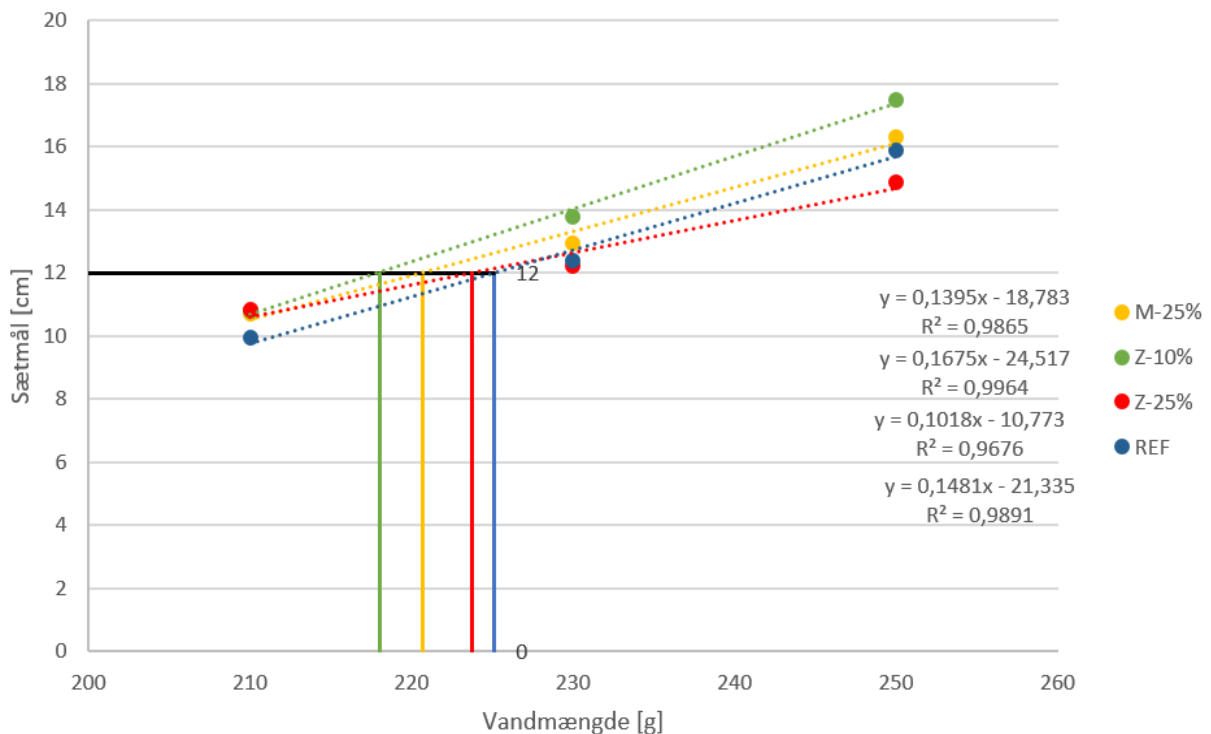
7.4 Trin 4: Undersøgelse af mine tailing som sanderstatning (støberi)

Som det var tilfældet i den indledende del af projektet, fortsatte arbejdet i støberiet, efter der var foretaget analyser i laboratoriet, også i anden del af projektet. Udkommet af arbejdet i støberiet præsenteres herunder.

7.4.1 Vandbehov

Det har været ønsket at finde frem til forskellen i en cementmørtels samlede vandbehov, når der blev ændret på tilslaget. Fremgangsmåden der er benyttet er beskrevet i afsnit 6.8.

Udmålingen af flydesætmålet ved forskellige vandmængder, for forskellige blanderecepter, har resulteret i figur 7.12.



Figur 7.12: Vandbehov for varierende tilslag. Ligning og tilhørende R^2 -værdi matcher med rækkefølgen i legenden.

Det kan i figur 7.12 ses, at tilsætningen af tailing sænker vandbehovet. Det laveste vandbehov er opnået for Z-10%.

Den præcise værdi for vandbehovet, ved et opnået flydesætmål på 12 cm, kan ses i tabel 7.13. Disse værdier er udregnet vha. regressionslinjerne der kan ses i figur 7.12. Beregningen kan ses i bilag F.

Tabel 7.13: Tabel indeholdende det opnåede vandbehov for sanderstatning med tailing.

	REF	Z-10%	Z-25%	M-25%
Vandbehov [g]	225.08	218.01	223.70	220.67

De rå data for målingen af sætmålet kan ses i bilag B.10.

7.4.2 Trykprøvning del 2

Der blev i anden del af projektet støbt mørtelprøver med delvis sanderstatning. Blanderecepterne der er arbejdet med, kan ses i tabel 6.1 i afsnit 6.2.1. Rådataen for trykprøvnigen er indsat i bilag C.1.

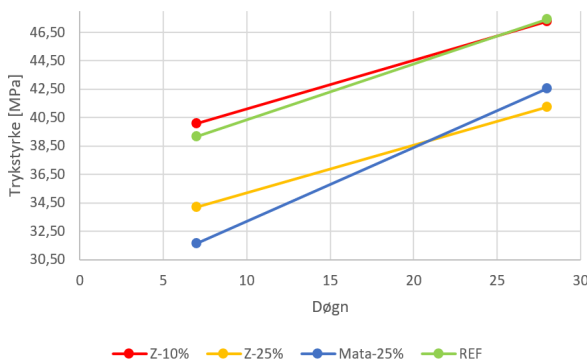
De støbte mørtelprøver er igen trykprøvet jf. (7). De opnåede trykstyrker, for delvis sanderstatning med mine tailing, er indsat i tabel 7.14.

Tabel 7.14: 7 og 28 døgns trykstyrker for støbningerne med sanderstatning. Reference prøverne er de samme som angivet i 7.10.

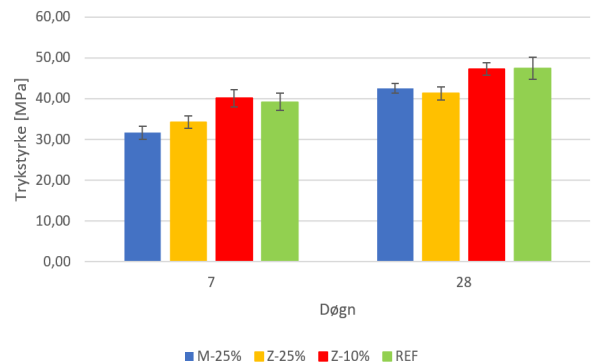
Prøve	REF	Z-10%	Z-25%	M-25%
7 d ± std.afv. [MPa]	39.19 ± 2.13	40.09 ± 2.11	34.19 ± 1.54	31.63 ± 1.62
28 d ± std.afv. [MPa]	47.41 ± 2.01	47.28 ± 1.55	41.27 ± 1.57	42.53 ± 1.10

Det ses, at ved 10% sanderstatning med tailingen Zinkgruvan opnås der trykstyrker, der er meget lig dem der opnås for reference prøven. Det fremgår samtidigt af tabel 7.14, at 25% sanderstatning medfører et fald i trykstyrke på ca. 13-20%.

Styrkeudviklingen ved sanderstatning illustreres i figur 7.13 og 7.14.



Figur 7.13: Graf med styrkeudvikling for sanderstatning. Resultaterne er de samme, som er indført i tabel 7.14.



Figur 7.14: Søjlediagram med trykstyrker og standardafvigelser. Resultaterne er de samme, som er indført i tabel 7.14.

Af figur 7.13 og 7.14 ses det igen, at 10% sanderstatning med Zinkgruvan, ligger meget tæt på referenceprøven. Det illustreres samtidigt, at styrkeudviklingen i M-25% er højere end i Z-25%.

8 Diskussion

8.1 Indledende fase: Mine tailing som cementerstatning

Projektet er som tidligere nævnt delt op i to faser. Den første fase bestod af trin 1 og trin 2, og undersøgte muligheden for at benytte tailings som cementerstatning.

Det er på baggrund af resultaterne i afsnit trin 1 og 2, det skal afgøres hvorvidt de to tailings egner sig til at agere cementerstatning. Muligheden for cementerstatning bliver diskuteret i det følgende afsnit.

pH-værdi

Et af de første forsøg der blev udført var en analyse af pH-værdien for elementerne i blanderecepterne. Disse er opstillet i 7.1. Det ses af tabellen, at pH-værdien for Zinkgruvan og Mätäsvaara ligger hhv. ca. 34% og 45% under BASIS cements pH-værdi. Ved cementerstatning, med mine tailing, risikeres det altså, at der opnås en lavere pH-værdi i den nystøbte beton. Dette kan være et problem, hvis der arbejdes med armeret beton. Det er betonens normalt høje pH-værdi, der bevirker, at stålarmingen vil passivere, og derfor ikke korrodere (19). Betonen vil igennem dens levetid gennemgå en carbonatiserings proces, der sænker pH-værdien og bevirker, at armeringen kan begynde at korrodere (16). Et udgangspunkt med en lavere pH-værdi kan altså betyde, at levetiden af betonen bliver forkortet.

Sammenlignes de to mine tailings med søsand ses det, at de afviger med hhv. 15% og 29%. Dels er forskellen her mindre, dels er det cementen der spiller den primære rolle i udviklingen af betonens høje pH-værdi. En erstatning af søsand med mine tailing vil derfor ikke have lige så stor indflydelse på betonens pH-miljø, som erstatning af cement.

ICP-analyse

Indholdet af metaller analyseres med det formål, at bedømme hvorvidt brugen af tailing kan have skadelig effekt på enten mennesker eller miljø. Af tabel 7.3 og 7.4 ses det, at søsandet, BASIS cementen og Mätäsvaara tailingen kan placeres i kategori 1. Disse vurderes derfor ikke for farlige til brug i byggematerialer. Zinkgruvan tailingen overholder ikke kravene for kategori 1, og placeres derfor i kategori 2. Dette betyder, at der kan være betydelige risiko involveret i forbindelse med brug af denne i byggematerialer. Det beskrives i et tidligere afgangprojekt (17), hvorledes kylflyveaske fra Avedøreværket, er godkendt til brug i beton på trods af, at dette heller ikke overholder kategori 1 kravene, mht. arsen og cadium. Dette kan indikere, at Zinkgruvan ikke nødvendigvis ville blive afskrevet som tilslag i beton, på trods af overskridelsen af kravene til kategori 1.

Kornstørrelsesfordeling

Det ses af figur 7.1, at de to tailings i kornfordelingen minder om søsand 0-4 mm. Begge tailings kornkurver ligger højere end kurven for søsand, hvilket indikerer, at begge tailings er lidt finere i kornene end søsandet. Ligheden mellem de to tailings og søsandet indikerer, at tailing muligvis kunne agere sanderstatning i beton. Jf. (1) vides det, at et velgraderet materiale med afrundede korn er at foretrække frem for et velsorteret materiale med kantede korn. Dette eftersom et velgraderet materiale vil kunne pakkes bedre end et velsorteret. Ud fra tabel 7.5 ses det, at de to tailings og søsand er forholdsvis velgraderet. Det ses samtidigt, at graderingen af materialerne minder om hinanden. Dette indikerer igen, at tailing muligvis kunne agere sanderstatning i beton.

Porøsitet og densitet

Et af de forsøg der taler for anvendelsen af mine tailing som cementerstatning i beton, er porøsitet og densitets forsøget. Der er opnået en maksimal forskel mellem reference blanderecepten, og mine tailings recepterne på

5.47 %. M-5% blandingen har sågar, opnået en porøsitet der ligger lavere end referencen. Det ønskes at opnå så lav porøsitet som muligt, da porøsiteten også kan siges at være et udtryk for hvor skrøbelig betonen er.

Afbinding og bearbejdelighed

Af tabel 7.8 ses det, at afbindingsforløbet generelt bliver forkortet, ved tilsætning af mine tailings til cementpastaen. De totale afbindingstider opsummeres i tabel 8.1.

Tabel 8.1: Tabellen indeholder de totale afbindingstider for de forskellige blanderecepter benyttet i den indledende del af projektet.

	REF	Z-5%	Z-10%	M-5%	M-10%
Afbindingstid	6 t 10 min	5 t 30 min	4 t	3 t 20 min	5 t 50 min

Det ses, at såvel tilføjjningen, som mængden af tailing har negativ indvirkning på afbindingstiden. Dette kan skyldes formindskelsen af cement. Mindre mængde af cement kan medføre kortere tid hvori denne indledende reagerer, og giver derfor en kortere afbindingstid. En kortere afbindingstid er en ulempe på en given byggeplads, da dette bevirker, at konstruktionsarbejderne skal være meget præcise i deres tidstyring, og har kortere tid til at reagere på uventede hændelser.

Af tabel 7.9 ses det, at cementerstatning med tailing også har medført en reduktion i bearbejdeligheden af cementmørtlen. Denne reduktion ligger på omkring 24% og 16% for hhv. Zinkgruvan og Mätäsvaara. Igen har denne formindskelse negativ indvirkning på arbejdet, på en given byggeplads.

Trykprøvning - cementerstatning

Det ses af tabel 7.10, at den højeste trykstyrke er opnået for referenceprøverne, for alle tre tidspunkter i hærtningsforløbet. Dette indikerer altså, at hverken Zinkgruvan eller Mätäsvaara tailingen har egenskaber der kan gøre op for den ”manglende” cement mængde i tailing-blanderecepterne.

Der arbejdes i reference prøverne med et v/c-forhold på 0.5. Når cementen erstattes med 5% og 10% tailing, bliver v/c-forholdet forøget til hhv. 0.53 og 0.56. Hvis der benyttes stærke tilslagsmaterialer, som der bliver i Danmark, vil et forhøjet v/c-forhold give en svagere beton (15). Grunden til at v/c-forholdet er så afgørende i forhold til betonens styrke er, at et brud ved tryk vil ske i cementpastaen, og ikke i tilslaget. Sand og stenpartikler er kun begrænset involveret i et brud, da deres styrke generelt er væsentligt højere end den for cementpastaen. (13)

Skulle der været opnået ligeså stor trykstyrke for mørtelprøverne med tailing, skulle tailingen have udvist egenskaber der kunne danne bindemiddel, ligesom cement gør.

Som nævnt i afsnit 7.2.3, har M-5% uventet negativ styrkeudvikling fra 14 døgn til 28 døgn. Dette kan skyldes, at blandingen er lavet en anden dag end de øvrige, og der er gået noget galt under støbeprocessen.

Der har været en mistanke om, at prøven muligvis ikke har været rystet ordenligt, og derfor er blevet mere porøs. Densiteten af M-5% prøverne er derfor udregnet og indsat herunder i tabel 8.2.

Tabel 8.2: Tabel med densiteten af M-5% prøverne.

	7 døgn	14 døgn	28 døgn
$\rho_d \left[\frac{kg}{m^3} \right]$	2240	2200	2230

Det ses, at de tre prøver ligger indenfor 2% af hinanden. Der er altså ingen umiddelbar indikation på, at 28 døgns prøven skulle være mere porøs end de andre. Der ligger altså noget andet til grund for faldet i trykstyrke.

Endeligt bemærkes det, at den maksimale trykstyrke målt, efter 28 døgns hærdning, ligger på 47.14 MPa. Denne er målt for referenceprøven. Aalborg Portland angiver selv trykstyrken efter 28 døgn til 60 MPa, jf. (3). Dette kan bl.a. skyldes, at Aalborg Portland benytter en anden sandtype, samt har mere kontrollerede forhold under støbning og hærdning

8.2 Bestemmelse af fokus for anden del

På baggrund af resultaterne præsenteret i trin 1 og 2, og den ovenstående diskussion, blev det besluttet ikke længere at eftersøge muligheden for at benytte mine tailing som cementerstatning. De to tailings har igennem karakteristikken i laboratoriet, ikke udvist tegn på at besidde nogle cementerende egenskaber. Der er heller ikke i støberiet opnået forbedring af reference resultaterne. Der er opnået mindre bearbejdelighed, lavere trykstyrke og en kortere afbindingstid.

Det er efter det indledende arbejde valgt at undersøge muligheden for sanderstatning med mine tailing. Denne beslutning er truffet på baggrund af følgende observationer. De to mine tailings minder intuitivt mere om søsand end cement. Kornstørrelsesfordelingen for de to tailings, ligner den der er opnået for søsand 0-4mm. pH-værdien ligger for såvel Zinkgruvan som Mätäsvaara tættere på søsands pH-værdi end de gør på cements. Korndensiteten for de tre materialer ligger indenfor 5% af hinanden. Endeligt burde risikoen for at influere v/c-forholdet også være mindre, ved sanderstatning end ved cementerstatning. Dette burde medføre, at de nye blanderecepter ikke bliver svagere end referencen.

Valget af fokus på, og arbejdet med, sanderstatning er til dels kommet på baggrund af (21). I denne artikel beskrives hvorledes valget af sand, kan have indflydelse på vandbehovet, og derfor på mængden af nødvendig cement. En formindskelse af den nødvendige cementmængde har positiv indflydelse på såvel økonomiske, som miljømæssige perspektiver.

Det er altså på baggrund af de miljømæssige og økonomiske perspektiver omkring udnyttelsen af mine tailings, kombineret med den potentielle mulighed for cementbesparelse, at fokusområdet er blevet ændret.

8.3 Anden fase: Mine tailing som sanderstatning

Efter det blev valgt at arbejde med de to tailings som sanderstatning, blev der foretaget en uddybende karakteristik i laboratoriet. Denne karakteristik havde til formål at undersøge vandbehovet, hvis mine tailings blev benyttet som sand.

Egenpakning

Jf. (20) vides det, at når der findes en højere grad af egenpakning, er dette lig med mindre hulrum, hvilket giver et lavere forventet vandbehov. Bestemmelsen af egenpakningen er altså en god indledende indikation på hvorvidt, der kan opnås et lavere vandbehov, ved erstatning af sand med mine tailing. Resultatet af egenpkningsforsøget kan ses i tabel 7.11. Af tabellen ses det, at den største egenpakning er opnået for søsandet. Umiddelbart giver egenpkningsforsøget altså ikke indtryk af, at der burde opnås et lavere vandbehov ved

erstatning af søsand med mine tailing. Af tabel 7.11 ses det dog samtidigt, at forskellen mellem Zinkgruvan og søsand er 9.23 %, mens Mätäsvaara kun afviger fra søsand med 5 %.

Vandabsorptionsevne

Vandabsorptionsevnen er en relevant egenskab at tjekke for mine tailings, inden disse benyttes til at erstatte søsandet i cementmørtlen. Relevansen skyldes, at sand generelt har en lav vandabsorptionsevne, og derfor ikke influerer v/c -forholdet. Af tabel 7.12 ses det, at begge tailings og søsandet opnåede en rimelig lav vandabsorptionsevne. Mätäsvaara tailingen ligger ca. 13 % over søsandet, mens Zinkgruvan tailingen ligger ca. 49 % under søsandet. Der er altså ikke noget ved vandabsorptionsevnen der indikerer, at de to tailings skulle influere v/c -forholdet drastisk.

Vandbehov

Det ses jf. figur 7.12, at det laveste vandbehov er opnået for Z-10% blanderecepten. Faktisk er der opnået lavere vandbehov for alle sanderstatningsrecepterne, end der er for referenceprøven. Dette er et lidt uventet resultat i forhold til, at den højeste egenpakning blev opnået for søsandet. En mulig forklaring er, at de alternative blanderecepter opnår bedre pakning af kornene. Den mulige forbedring af pakning kan skyldes, at de to tailings, jf. figur 7.1, indeholder finere korn der kan udfylde nogle af hulrummene i søsandet. Dette stemmer samtidigt fint overens med, at det er en Zinkgruvan blanderecept, der opnår det laveste vandbehov. Det ses igen jf. figur 7.1, at Zinkgruvan tailingen er det tilslag, med det største indhold af små korn.

En anden forklaring kan også være, at søsandet har opnået et "dårligere" vandbehov, fordi det er bestemt ud fra sætmålet. Det vides jf. (13), at korn med mere ru overfladestruktur sænker bearbejdeligheden. Det er jf. SEM-analysen, repræsenteret ved figur 7.6 - 7.11, vurderet, at teksturen af søsandet er grovere end den observerede for de to tailings. Dette kan medføre, at bearbejdeligheden fremstår værre, ved samme vandindhold. Det blev dog samtidigt observeret i SEM-analysen, at søsandet var et mere afrundet materiale, hvor de to tailings fremstod kantet. Det vides igen jf. (13), at afrundede korn forbedrer bearbejdeligheden, hvor kantet korn har tendes til at gribe fat i hinanden og sænke bearbejdeligheden.

Der er målt lavere vandbehov for Z-10% end der for blanderecepterne med 25% sanderstatning. Dette kan skyldes, at pakningen er blevet for tæt i -25%, hvilket medfører en lavere bearbejdelighed i mørtlen (15). Samtidigt kan det også betyde at andelen af kantet korn er blevet for stor.

Der er kigget på de opnåede sætmål i forbindelse med vandbehovs målingen, vha. Popovics formel, jf. afsnit 5.4. Potensen q i Popovics formel er udregnet for de fire prøver ud fra formel 5.1, og de ligninger der er opnået for tendenslinjerne i figur 7.12. Selve udregningerne kan ses i bilag F, mens q -værdierne er indsat i tabel 8.3.

Tabel 8.3: Tabel med de udregnede q -værdier, for sanderstatning, vha. af regressionslinjerne i figur 7.12.

	REF	Z-10%	Z-25%	M-25%
q [-]	0.368	0.357	0.537	0.409

Det ses, ved at sammenholde tabel 8.3 med figur 7.12, at q -værdien er afhængig af hældningen på tendenslinjen. En større hældning vil medføre en lavere q -værdi, mens en lavere hældning vil resultere i en større q -værdi. Da det vides, at der normalt, for beton, benyttes en q -værdi på omkring 0.1, kan det samtidigt ses, at REF og Z-10% opfører sig mere som beton, i forhold til sætmålet, end blanderecepterne med 25% sanderstatning.

Det ses af tabel 8.3, at q-værdierne for REF og Z-10% ligger ca. 3 % fra hinanden. Dette betyder altså, at de to prøver opfører sig relativt ens, når vandmængden ændres. Dette kan indikerer, at hvis der blev skaleret op i blanderecepterne, ville reference blandingen og Z-10% fortsat opføre sig ens.

Det er jf. afsnit 5.5 forsøgt at normere vandbehovet, fra [g] til $[\frac{l}{m^3}]$. Udregningerne kan ses i bilag D, og resultatet af normeringen indsættes i tabel 8.4.

Tabel 8.4: Tabel indeholdende de normerede vandbehov for blanderecepterne ved sanderstatning. Vandbehovene er udregnet for vandmængden, ved et opnået sætmål på 12 cm.

	REF	Z-10%	Z-25%	M-25%
Vandbehov $[\frac{l}{m^3}]$	249.60	236.23	246.22	244.95

Den største besparelse i vandbehov er som nævnt opnået ved Z-10% prøven. Besparelsen er på ca. 13 l pr. kubikmeter cementmørtel. I (21) angives en tommelfingerregel, der siger, at en besparelse på $1 \frac{l}{m^3}$ i cementmørtel, svarer til $0.5 \frac{l}{m^3}$ i beton. Dette betyder altså i beton støbning med Z-10% sanderstatning, ville der være et $6.5 \frac{l}{m^3}$ lavere vandbehov. Blev der fortsat arbejdet med et v/c-forhold på 0.5, ville dette medføre en besparelse i cement på $13 \frac{kg}{m^3}$. Dette er en mærkbar besparelse i mængden af cement, der derved kan have positiv indflydelse på såvel økonomi og miljø.

Trykprøvning - sanderstatning

I tabel 7.14 er mørtelprøverne med sanderstatning sammenlignet med de oprindelige reference prøver. Det ses tydeligt, at prøverne med 25% sanderstatning ikke opnår den samme styrke som reference prøven. Den eneste prøve der opnår styrker ligesom reference prøven, på tværs af cement- og sanderstatning, er Z-10%.

Jf. (15) vides det, at afrundede tilslag kræver mindre cementepasta, end kantede tilslag. Det blev jf. figur 7.6 - 7.11 fastlagt, at de to mine tailings var mere kantede end søsandet. Det vurderes derfor, at andelen af mine tailing er blevet for stor, ved 25 % sanderstatning, og har nået et punkt hvor tailingens form har haft negativ indvirkning på styrken.

Det vurderes samlet set, at der er mulige perspektiver i arbejdet med delvis sanderstatning med mine tailings. Der er muligt at opnå en cementmørtel der har samme styrke som reference prøven, med noget af sandet erstattet med Zinkgruvan tailing. Samtidig har denne blanding et lavere vandbehov, end referencen.

9 Konklusion

Det indledende formål med projektet var at undersøge muligheden for at lave delvis cementerstatning med mine tailings. De to tailings var Zinkgruvan og Mätäsvaara. Disse stammer fra hhv. en zinkmine i Sverige og en molybdænmine i Finland.

Der blev indledende udført en karakterisering af de to tailings i laboratoriet. Af denne karakterisering kunne det konkluderes, at Mätäsvaara tailingen var kendetegnet ved et lavt indhold af vand, carbonat og organisk materiale. Zinkgruvan tailingen kunne ligeledes kendetegnes ved et lavt indhold af vand og organisk materiale. Det blev dog også opdaget, at Zinkgruvan tailingen havde et noget højere indhold af carbonat.

Det kan konkluderes efter en analyse af de to tailings indhold af metaller, at Zinkgruvan tailingen ikke overholder de krav miljøstyrelsen har, for restprodukter der skal anvendes i byggeri. Denne måtte derfor placeres i kategori 2, hvor Mätäsvaara tailingen blev placeret i kategori 1 (14).

Det kan konkluderes, ift. cementerstatning, at de to tailings har en pH-værdi, der kan være skadelig for pH-miljøet i ny beton.

Kornstørrelsesfordelingen af de to tailings blev også analyseret, og sammenlignet med den for søsand 0-4 mm og BASIS cement. Af denne analyse kan det konkluderes, at Zinkgruvan såvel som Mätäsvaara, minder mere om søsand end BASIS cement.

De to tailings indflydelse på porøsiteten af støbte mørtel prøver blev også undersøgt. Dette førte til konklusionen, at tilsætning af mine tailings til cementmørtel ikke har negativ indflydelse på porøsiteten.

Efter det indledende laboratoriarbejde blev der støbt en række mørtelblandinger, der blev analyseret i betonstøberiet. Dette arbejde viste, at tilsætning af mine tailing til cementmørtel har hæmmende effekt på bearbejdéligheden, mens det også giver et kortere afbindingsforløb. Endeligt blev trykstyrken også testet i det indledende forløb. Af denne undersøgelse konkluderes det, at tilsætning af mine tailings til cement mørtel også svækker styrken.

Det må altså efter den indledende del af projektet konkluderes, at de to testede mine tailings umiddelbart ikke egner sig som cementerstatning.

Fokus er derfor som tidligere beskrevet flyttet til delvis sanderstatning med mine tailing. Dette med en forhåbning om at opnå et lavere vandbehov, og derved reducere den nødvendige mængde cement.

Som en del af at undersøge hvorvidt mine tailing egnede sig til delvist at erstatte søsand i beton, blev der udført forsøg der undersøgte vandbehovet. Derudover blev trykstyrken målt.

Det første der blev undersøgt var egenpakningen. Dette indikerede umiddelbart, at det laveste vandbehov burde opnås for det almindelige søsand, da dette havde den højeste grad af pakning. Efterfølgende blev vandabsorptionsevnen testet. Denne viste, at der ikke var den store forskel mellem søsandet og de to mine tailings. Alle tre prøver havde en vandabsorption på under 1.5%.

Vandbehovet blev så målt for de pågældende blanderecepter med delvis sanderstatning. Dette forsøg viste, at de laveste vandbehov blev opnået, for mørtelprøverne der var tilsat mine tailing. Dette resultat var en smule uventet på baggrund af egenpakningen. Resultatet kan dog muligvis forklares på baggrund af vandabsorptionsevnen, kornstørrelsesfordelingen og den analyse der har været af kornformen og overfladebeskaffenheden. Hvor de to sidst nævnte er fastlagt på baggrund af en SEM-analyse.

Endeligt blev trykstyrken målt for mørtelprøver støbt med delvis sanderstatning. Disse viste, at 25% sanderstatning gav en betydelig svækkelse af styrken, mens 10% sanderstatning gav en styrke der lå side om side med reference støbningerne.

Det konkluderes altså om anden del af projektet, at der er visse perspektiver, i forbindelse med delvis sanderstatning, der er interessante. Der er opnået resultater der indikerer, at det er muligt at sparre på cementen i disse blandinger, og derved nedbringe de økonomiske og miljømæssige omkostninger. Denne erstatning kan samtidig ske uden at skade styrken.

10 Referencer

Litteratur

- [1] Aalborg Portland (2012): "*Cement og beton*", side 51, Aalborg Portland, Aalborg
- [2] Aalborg Portland (2015): "*Miljøredegørelse 2015*", Aalborg Portland, Aalborg
- [3] Aalborg Portland: "BASIS Aalborg cement", www.aalborgportland.dk, www.aalborgportland.dk/default.aspx?m=2i=92 (hentet d. 16/06/2017)
- [4] Cement concrete association of New Zealand: "Impurities and Other Harmful Materials", www.ccanz.org.nz, <http://www.ccanz.org.nz/page/Impurities-and-Other-Harmful-Materials.aspx> (hentet d. 13/06/2017)
- [5] DS 259 (2003). Vandundersøgelse - Bestemmelse af metaller i vand, jord, slam og sedimenter - Almindelige principper og retningslinjer for bestemmelse ved atomabsorptionsspektrofotometri i flamme *Dansk Standard*.
- [6] DS/EN 1015-3/A1 (2004). Prøvningsmetoder til undersøgelse af mørtel til murværk - Del 3: Bestemmelse af frisk mørtels konsistens (rystebord). *Dansk Standard*.
- [7] DS/EN 196-1 2.udgave (2005). Metoder til prøvning af cement - Del 1: Styrkebestemmelse. *Dansk Standard*.
- [8] DS/EN 196-3 (2005). Metoder til prøvning af cement - Del 3: Bestemmelse af afbindingstid og volumenbestandighed. *Dansk Standard*.
- [9] DS/EN ISO 17892-3 (2015). Geoteknisk undersøgelse og prøvning - Laboratorieprøvning af jord - Del 3: Bestemmelse af partikeldensitet. *Dansk Standard*.
- [10] Engels, J. (2012): "What are tailings? - Their nature and production", www.tailings.info, <http://www.tailings.info/basics/tailings.htm> (hentet d. 12/06/2017)
- [11] Gemite (2005): "*Corrosion of Steel in Concrete due to Carbonation*", April 2005
- [12] Harremöes, P.; Ovesen, N. K.; Jacobsen, H. M.; Fuglsang, L.; Bagge, G.; Krogsbøll, A. (2014): "*Lærebog i geoteknik*", kapitel 1, 2. udgave, Polyteknisk forlag, Lyngby
- [13] Herholdt, A. D.; Justesen, C. F. P.; Nepper-Christensen, P.; Nielsen, A. (1985): "*Beton-bogen*", kapitel 3+4, 2. udgave, Aalborg Portland, Aalborg
- [14] Miljø- og Fødevareministeriet (2016): "*Bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, jord og sorteret bygge- og anlægsaffald*", www.retsinformation.dk, www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=184757id15159328-9719-4c76-bca4-8bdec41159f8m, (hentet d.13/06/2017)
- [15] Munch-Petersen, G. N. (2013): "*Betonhåndbogen.*", kapitel 6 - Proportionering, Dansk betonforening, København V
- [16] Nielsen, A. (1978): *Betons holdbarhed*, side 13-16, 2. udgave, Dansk Betonforening, København

- [17] Nielsen, M. (1978): *Anvendelse af mineaffald som delvis cementerstatning i beton*, side 25, Afgangspjekt, DTU civil engineering
- [18] Ottosen, L.; Jensen, P. E.; Kirkelund, G. M. (2013): "Affald er fremtidens byggemateriale", www.videnskab.dk, [videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/affald-er-fremtidens-byggemateriale](http://www.videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/affald-er-fremtidens-byggemateriale), (hentet d.17/06/2017)
- [19] Pagh, M.; Møller, J., Nielsen, E.; Yding, F. (1981): *Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner*, side 39-42, Dyva bogtryk, København
- [20] Rasmussen, T. (2003): "Sands pakningsgrad og vandbehov - vigtige egenskaber, når det rigtige betonsand skal vælges.", Dansk Beton, Maj 2003, Nummer 2, Samvirke, side 36-38
- [21] Thrysoe, J. (2017): "Valg af sand til betonfremstilling", Beton, Februar 2017, Nummer 1, Samvirke, side 45-46
- [22] Zinkgruvan Mining (2017): "Om oss", www.zinkgruvanmining.com, <http://www.zinkgruvanmining.com/index.php/om-oss/> (hentet d. 12/06/2017)
- [23] Tolvanen, J. (2017): "Mätäsvaaran kaivos 1939-1947", www.matasvaarankaivos.fi, <http://www.matasvaarankaivos.fi/> (hentet d. 12/06/2017)

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.

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

E Affaldshåndtering

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald og bægerglassene rengøres.

A.2 pH

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

A Princip

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

B Specielt apparatur

Til målingen benyttes pH-meter

C Kemikalie sikkerhed

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

1) **Kaliumchlorid 1 M KCl:**

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

2) **Bufferopløsning, pH 4,00:**

Radiometer pH 4.

3) **Bufferopløsning, pH 7,00:**

Radiometer pH 7

E Analysens udførelse

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

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

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

F **Beregning af resultat**

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

G **Affaldshåndtering**

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

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

A.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 eksikator og vejes på analyse vægt.

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

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

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

D Beregning af resultat

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

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

E Affaldshåndtering

Jorden skal opsamles i beholder til jordaffald.

A.4 Pyknometer

Pyknometer-partiklernes densitet**A Princip**

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

B Specielt apparatur

Pyknometer glas
Termometer
Luftfrit vand

C Analysens udførelse

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

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

E Beregning af resultat

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

Se excel arket for mere information.

F Affaldshåndtering

Ekstrakerne hældes i affaldsdunk mærket X 4.41 (tungmetaller).

A.5 Carbonat volumetrisk

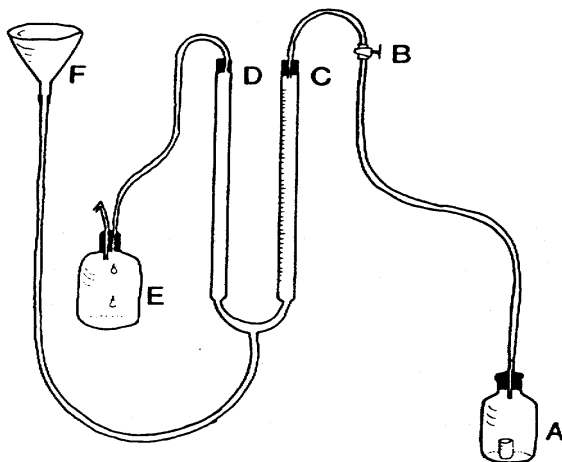
Carbonat, volumetrisk

A Princip

Jordens indhold af carbonat bestemmes volumetrisk efter reaktion med saltsyre.

B Specielt apparatur

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



Figur 1: Principskitse af Scheibler apparat.

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

C Kemikalie sikkerhed

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

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

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

1) **Calciumcarbonat, CaCO_3**

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

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

E Standardkurve

Der fremstilles en standardkurve, ved at afveje henholdsvis 0,05 - 0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,25 og 0,30 g CaCO_3 på analysevægt i små præparatglas. Målingerne af de afvejede CaCO_3 mængder foretages på samme måde som ved målingerne af jordprøven - se 'analysens udførelse' nedenfor.

F Analysens udførelse

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

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

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

Glasset lukkes godt og der aftappes ca. 50 mL vand fra 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

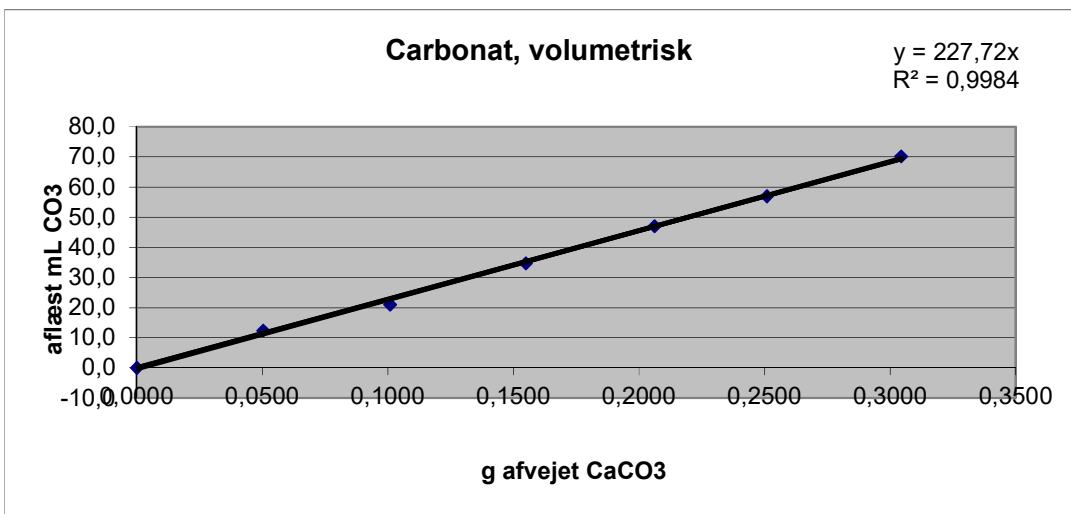
Reagenser og jord opsamles i affaldsdunk tungmetal mærket X 4.41

Carbonat, volumetrisk

Dato: 07/02-2017

Udført af: malm

Standarddrække:	g afvejet CaCO ₃	aflæst mL CO ₂
Nulprøve	0,0000	0,0
Standard: 0,05	0,0504	12,4
Standard: 0,10	0,1010	21,0
Standard: 0,15	0,1550	34,7
Standard: 0,20	0,2061	47,0
Standard: 0,25	0,2509	57,0
Standard: 0,30	0,3044	70,2



A.6 Oplukning af jordprøver (ICP-analyse)

Oplukning af jord- og askeprøve efter DS 259

A Princip

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

B Specielt apparatur

Til målingen benyttes ICP
Autoklave

C Kemikalie sikkerhed

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

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

Læs kemikaliebrugsanvisningen før arbejdet begynder.

D Reagenser

1) **Salpetersyre halvkonc, (1:1) HNO₃:**

500 mL koncentreret HNO₃ overføres med måleglas til en 1000,00 mL målekolbe som er ½ fyldt med destilleret vand. Der blandes godt og tilsættes vand til mærket. Efter blanding overføres opløsningen til en plastikflaske og mærkes.

E Analysens udførelse

1,00 g tør, knust jord afvejes på teknisk vægt i et pyrex-glas med skruelåg (autoklaveglas) og der tilsættes 20,00 mL halvkoncentreret HNO₃ med fuld pipette (skal foregå i stinkskab).

Autoklavflaskerne lukkes helt, da HNO₃ ellers ville fordampe. Flaskerne stilles i autoklaven.

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

Flaskerne afkøles derefter til stuetemperatur.

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

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

F Bestemmelse af metaller

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

G Beregning af resultat

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

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

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.7 Kornstørrelsesfordeling



Laserdiffraktion, våde prøver

Prøve forberelse:

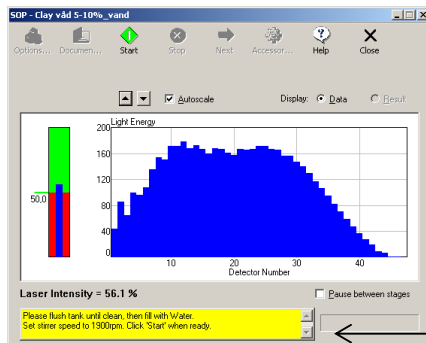
- Halv teske skal hældes på 20 ml vials og tilføj 0.005M Natriumpyrofosfat.
- Tilføj destilleret vand til den prøve kammeret.

Software:

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

Måling:

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



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



New SOP: tryk *next*

Sampler handling units: Hydro 2000SM(A)

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

Labels: Generel prøvenavn

Report savings: ✓ ved always print results

✓Export template

Target file: 080310

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

Background time: 12 sec. Background snaps: 12000

Sampler settings: 1600 rpm

Measurement cycles: 3 + ✓ ved create average results

Quantities: ingen ændringer her

finish

Edit results:

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

-Edit results

-Pick up settings-OK

-Specify new results-calculation

-advanced

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

A.8 Vandabsorptionsevne

3.6 Vandabsorptionsevne

(4) des ved føl-

Samtidig med densitetsbestemmelsen er det bekvemt at bestemme værdien for sandets vandabsorptionsevne. Denne må kendes fx til kontrol og styring af en løbende betonproduktion.

(5) masserne af af sandprø- endigt ligele-assen af den s.

Absorptionen findes som den mængde vand en helt tør sandprøve kan optage før den er i s.s.d.-tilstand. Det er derfor muligt at bestemme absorptionsevnen ved udtørring af en vandmættet, overfladetør sandprøve. Sandets vandabsorptionsevne kan herefter beregnes på grundlag af nedenstående formel.

$$w_a = \frac{m_{s.s.d.} - m_d}{m_d} \cdot 100 \quad (7)$$

hvor

- w_a er sands vandabsorptionsevne [%]
- $m_{s.s.d.}$ er masse af sandprøve i s.s.d.-tilstand [g]
- m_d er masse af sandprøven i tør tilstand [g]

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

4.3.1 *Apparatur og materialer*

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

4.3.2 Fremgangsmåde

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

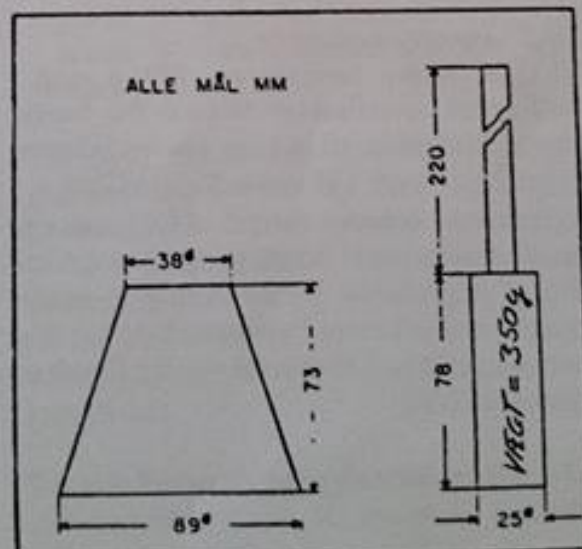


Fig. 6. Kegleform og stamper.

Grusprøvning og betonproportionering

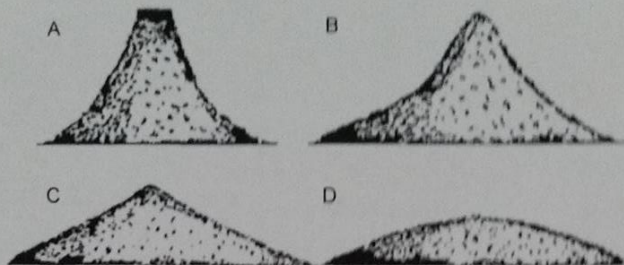


Fig. 7. Sandkegle i fire forskellige tilstande: (A) meget fugtig tilstand hvor sandkeglen næsten har bevaret metalkeglens form, (B) fugtig tilstand hvor et markant sammenfald ses, (C) vandmættet, overfladetør tilstand hvor der er et næsten komplet sammenfald men hvor en spids top er synlig, (D) næsten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

4.4 Bestemmelse af vandabsorptions- evne

4.4.1 Apparatur og materialer

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

4.4.2 Fremgangsmåde

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

A.9 Blanding af mørtel 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.10 Tryktest af mørtelprøver

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.11 Afbindingsforløb

Afbindingsforløb for mørtel

A **Princip**

DS/EN 196-3+A1 3.udgave

B **Specielt apparatur**

Vicatronic
Bæger i plastik
Kalibreringsring 40 mm.

C **Sikkerhed**

Brug altid sikkerhedssko og kittel i støberiet.

D **Udførelse**

1. Kalibrering af vicatronic

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

2. Mørtelprøve

- Bland den ønskede mørtelblanding blandes jf. vejledningen Blanding af mørtel.
- Fyld mørtel i bægeret op til 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 koloner (I excel: marker kolonnen, vælg fanen Data og derefter Tekst til kolonner).
2. Hvis nødvendigt konverteres tekst til tal.
3. Hvis nødvendigt laves punktum til komma.
4. Tomme rækker imellem datamålingerne slettet (ellers kan der ikke laves en linje mellem punkterne i diagrammet).

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

F Affaldshåndtering

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

A.12 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

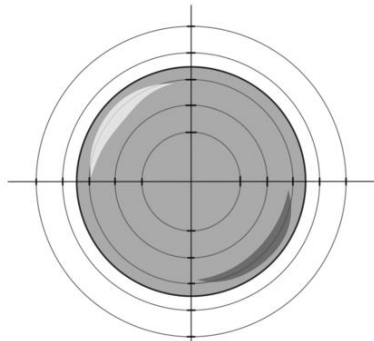
Afretter

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 flydesæt

Flydesætmetoden 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.13 Porøsitet og densitet

Porøsitet og densitet (LBM-standard)

A Princip

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

B Specielt apparatur

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

C Analysens udførelse

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

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

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

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

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

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

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

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

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

D Beregning af resultat

Rumtemp: °C	Vandtemp: °C	Vanddensitet $\rho_w =$	kg/m ³
Kontrolod:			
Før: kg	Efter: kg		
Prøvelegemet nr:			
m_{105}	Kg		
m_{ssd}	Kg		
m_{sw}	Kg		
$V = (m_{ssd} - m_{sw}) / \rho_w$	m ³		
$V_{på} = (m_{ssd} - m_{105}) / \rho_w$	m ³ /m ³		
$P_{\hat{a}} = V_{på} / V$	Kg/m ³		
$\rho_d = m_{105} / V$	Kg/m ³		
$\rho_f = m_{105} / (V - V_{på})$	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)
- $V_{på}$ 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)
- $p_{\hat{a}}$ Prøvelegemets åbne porøsitet (m³/m³)
- u_{ssd} Vandtørstofforhold i vakuumvandmættet overfladetør tilstand (kg/kg)

A.14 Farveprøve

Støbning af farveprøver

A Princip

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

B Specielt apparatur

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

Grundpapir

Cirkelskærer

Hobbykniv

Skæreplade

Tapetbørste

Malertape

Spand

Skruemaskine

Blyant

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

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

C Sikkerhed

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

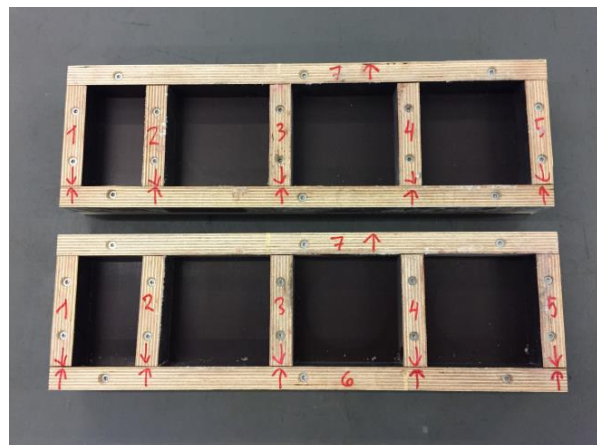
D Udførelse

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

Forme til farveprøver

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

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

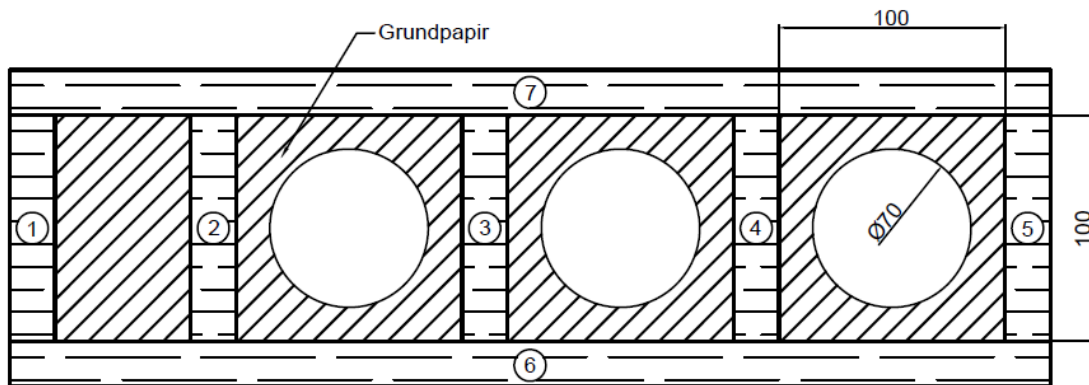


Figur 1: 2 stk. forme til farveprøver

Klargøring af skabelon i grundpapir

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

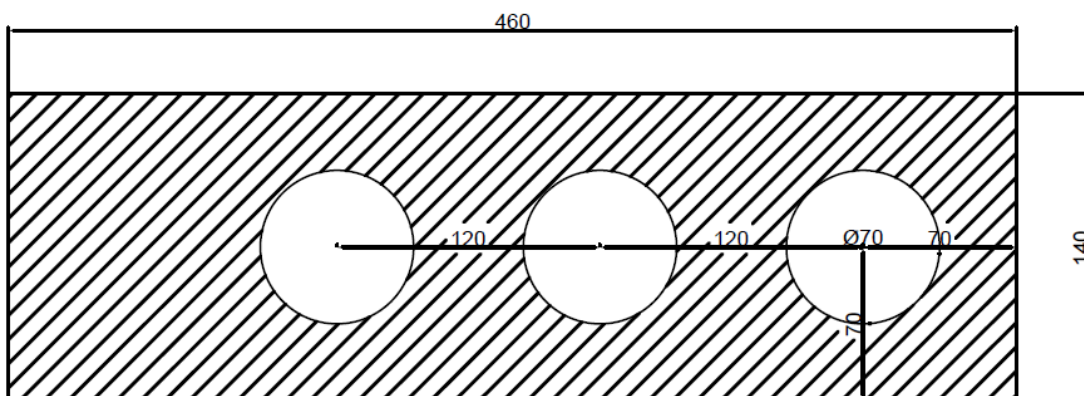
Der måles op til tre huller i hver firkant (mellem side nr. 2 og 3, nr. 3 og 4, nr. 4 og 5). Hullerne skal have en diameter på 70mm og skal så vidt muligt placeres centreret i firkanterne, se figur 2. Hullerne tegnes med blyant og skæres ud med en cirkelskære på skærepladen.



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

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

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



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

Klargøring af formen

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

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

Blanding af mørtel

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

Samling af form

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

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

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

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

Formen er nu klar til støbning.

Støbning af farveprøver

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

Der ligges plastic over formen og afformes dagen efter.

Afformning af farveprøver

Dagen efter støbning kan farveprøverne afformes.

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

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

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

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

Rengøring af forme

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

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

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

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

E Affaldshåndtering

Evt. overskydende mørtel smides i containeren til frisk beton.

B Resultater

B.1 Vandindhold, pH og carbonat volumetrisk - rådata

Vandindhold

Zinkgruvan		[g]		50 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,03	2,10	7,13	6,92	0,21	2,945302			
B	5,03	2,05	7,08	6,87	0,21	2,966102			
C	5,00	2,16	7,16	6,98	0,18	2,513966	2,808457	0,255248	

Sand		[g]		50 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,03	2,37	7,40	7,39	0,01	0,135135			
B	5,04	2,81	7,85	7,81	0,04	0,509554			
C	5,04	2,27	7,31	7,30	0,01	0,136799	0,260496	0,215692	

Cement		[g]		50 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,0386	2,0110	7,0496	7,0443	0,0053	0,0752			
B	5,0525	2,0057	7,0582	7,0547	0,0035	0,0496			
C	5,0402	2,0072	7,0474	7,0439	0,0035	0,0497	0,058144	0,014755	

Mätäsvaara		[g]		50 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,0500	2,0600	7,1100	7,0900	0,0200	0,2813			
B	5,0500	2,1200	7,1700	7,1600	0,0100	0,1395			
C	5,0500	2,1100	7,1600	7,1500	0,0100	0,1397	0,18681	0,081826	

Mätäsvaara		[g]		105 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,0400	2,1800	7,2200	7,1800	0,0400	0,5540			
B	5,0600	2,0000	7,0600	7,0300	0,0300	0,4249			
C	5,0600	2,1500	7,2100	7,1800	0,0300	0,4161	0,465012	0,077207	

Zinkgruvan		[g]		105 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,0600	2,0600	7,1200	6,9200	0,2000	2,8090			
B	5,0600	2,0800	7,1400	6,9300	0,2100	2,9412			
C	5,0600	2,1000	7,1600	6,9500	0,2100	2,9330	2,894375	0,074061	

Cement		[g]		105 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,0600	5,7600	10,8200	10,7900	0,0300	0,2773			
B	5,0600	5,2900	10,3500	10,2600	0,0900	0,8696			
C	5,0600	5,2000	10,2600	10,2000	0,0600	0,5848	0,577208	0,296223	

Sand		[g]		105 C					
	Vægt beholder	Vægt våd jord	Vægt total våd	Vægt total tør	Vægt vand	%	Snit	Std.afv	
A	5,05	2,01	7,06	7,05	0,01	0,141643			
B	5,05	2,04	7,09	7,07	0,02	0,282087			
C	5,05	2,01	7,06	7,05	0,01	0,141643	0,188458	0,081086	

pH						
Zinkgruvan			Cement			
	Prøve vægt	pH af prøve		Prøve vægt	pH af prøve	
A	5,00	8,32	A	5,0008	12,53	
B	5,00	8,30	B	5,0094	12,56	
C	5,00	8,27	C	5,0007	12,55	
D	5,00	8,38	D	5,0003	12,52	
E	5,00	8,30	E	5,0002	12,50	
	Snit	8,31		Snit	12,53	
	STDAFV	0,0409878		STDAFV	0,0238747	
Mätäsvaara			Sand			
	Prøve vægt	pH af prøve		Prøve vægt	pH af prøve	
A	5,00	6,83	A	5,00	9,94	
B	5,00	7,25	B	5,00	9,66	
C	5,00	7,08	C	5,00	9,65	
D	5,00	6,67	D	5,00	9,91	
E	5,00	6,66	E	5,00	9,78	
	Snit	6,90		Snit	9,79	
	STDAFV	0,2599423		STDAFV	0,135536	

Carbonat indhold							
Zinkgruvan							
	Vægt	Aflæsning [mL]	gram carbonat vha kurve	carbonat indhold i %		carbonat indhold i [g]	STDAFV
A	2,5056	50,00	0,2196	8,76		0,2196	
B	2,5022	50,20	0,2204	8,81		0,2204	
C	2,5094	50,20	0,2204	8,78	8,786	0,2204	0,024
Sand							
	Vægt	Aflæsning [mL]	gram carbonat vha kurve	carbonat indhold i %		carbonat indhold i [g]	STDAFV
A	2,0145	32,20	0,1414	7,02		0,1414	
B	2,0786	31,20	0,1370	6,59		0,1370	
C	2,0118	32,40	0,1423	7,07	6,894	0,1423	0,264
Cement							
	Vægt	Aflæsning [mL]	gram carbonat vha kurve	carbonat indhold i %		carbonat indhold i [g]	STDAFV
A	1,0018	36,80	0,1616	16,13		0,1616	
B	1,0163	37,40	0,1642	16,16		0,1642	
C	1,0214	37,10	0,1629	15,95	16,081	0,1629	0,114
Mätäsvaara							
	Vægt	Aflæsning [mL]	gram carbonat vha kurve	carbonat indhold i %		carbonat indhold i [g]	STDAFV
A	1,0286	1,00	0,0044	0,43		0,0044	
B	2,7718	0,80	0,0035	0,13		0,0035	
C	2,2747	1,00	0,0044	0,19	0,249	0,0044	0,158

B.2 Glødetab - rådata

Glødetab											
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]			[g]	[g]	
Zinkgruvan	Digel	Vægt digel	Vægt zinkgruvan før	Total før	Total efter 550	Total efter 950	% glødetab 550	% glødetab 950	Tab i masse 550	Tab i masse 950	
		1	22,7017	2,5322	25,2339	25,2219	25,0777	0,0476	0,6190	0,0012	0,0145
		2	21,0351	2,5033	23,5384	23,5267	23,3874	0,0497	0,6415	0,0012	0,0148
		6	21,3012	2,5424	23,8436	23,8324	23,6868	0,0470	0,6576	0,0012	0,0155
								Snit	0,0481	0,6394	0,0012
							STD.AFV	0,0014	0,0194	0,000026	0,0005
Sand	Digel	Vægt digel	Vægt sand før	Total før	Total efter 550	Total efter 950	% glødetab 550	% glødetab 950	Tab i masse 550	Tab i masse 950	
		4	33,7437	2,5098	36,2535	36,2475	36,1892	0,0166	0,177362186	0,0004	0,0040
		58	26,6646	2,5245	29,1891	29,1666	29,1011	0,0771	0,301482403	0,0019	0,0057
		42	14,1965	2,5561	16,7526	16,7451	16,675	0,0448	0,463211681	0,0011	0,0107
								Snit	0,0461	0,3140	0,0012
							STD.AFV	0,0303	0,1433	0,0008	0,0035
Cement	Digel	Vægt digel	Vægt cement før	Total før	Total efter 550	Total efter 950	% glødetab 550	% glødetab 950	Tab i masse 550	Tab i masse 950	
		10	9,9961	2,5761	12,5722	12,5462	12,4190	0,2068	1,218561588	0,0053	0,0261
		6	21,3034	2,5578	23,8612	23,8330	23,7067	0,1182	0,647494678	0,0030	0,0135
		5	23,6329	2,5287	26,1616	26,1376	26,0125	0,0917	0,569919271	0,0023	0,0121
								Snit	0,1389	0,8120	0,0036
							STD.AFV	0,0603	0,3542	0,0016	0,0077
Måtsvaara	Digel	Vægt digel	Vægt måtsvaara før	Total før	Total efter 550	Total efter 950	% glødetab 550	% glødetab 950	Tab i masse 550	Tab i masse 950	
		1	10,3722	2,5042	12,8764	12,8711	12,8635	0,0412	0,100183281	0,0010	0,0015
		2	14,3516	2,5665	16,9181	16,9128	16,9054	0,0313	0,075067531	0,0008	0,0011
		6	14,2716	2,5626	16,8342	16,8295	16,8222	0,0279	0,071283459	0,0007	0,0011
								Snit	0,0335	0,0822	0,0009
							STD.AFV	0,0069	0,0157	0,0002	0,0002

B.3 ICP - radata

Tube	Sample labels	AI 308.215 As 193.694 Br 233.52 Cd 317.933 Cd 228.80 Cr 206.55 Cu 327.39 Fe 238.20 K 766.491 Mg 280.27 Mn 260.56 Na 589.59 Ni 231.60 P 214.914 Pb 220.35 S 182.562 Zn 213.857
2:11	br 1 opl sand a	10.1555 0.018596 0.051981 #NAME? 0.000229 0.016296 0.020357 17.0693 2.73039 5.29268 0.486596 1.70523 0.012172 2.00059 0.02178 4.89186 0.11136
2:12	br 1 opl sand b	9.36885 0.017968 0.003123 #NAME? 0.001322 0.012173 0.013168 15.9202 2.26361 5.75176 0.574388 1.85094 0.009802 1.92267 0.020736 2.91652 0.093777
2:13	br 1 opl sand c	10.7428 0.017845 0.026795 #NAME? 0.000573 0.019144 0.012898 18.6031 2.91651 6.40191 0.566041 1.75477 0.018091 1.61468 0.019774 2.88238 0.104841
2:14	br 1 opl sand d	9.42303 0.019315 0.024015 #NAME? 0.001448 0.01425 0.012136 15.9126 2.21882 5.44348 0.63951 1.94859 0.010436 2.14889 0.0117685 2.94356 0.082048
2:15	br 1 opl sand e	10.7865 0.018428 0.03066 #NAME? 0.001376 0.016925 0.013392 18.0906 2.51384 6.0379 0.660662 1.6886 0.012328 2.4732 0.020471 3.23263 0.091
2:16	br 1 opl cement a	86.4982 0.041069 1.74981 #NAME? 0.002676 0.185259 0.610274 90.5043 19.6922 25.1985 1.15457 8.39251 0.154584 5.91857 0.016673 74.0825 2.11161
2:17	br 1 opl cement b	96.4514 0.054908 1.95569 #NAME? 0.002886 0.208766 0.679149 101.26 22.1573 26.8109 1.29682 9.21243 0.172453 6.6171 0.120411 81.5363 2.35456
2:18	br 1 opl cement c	106.377 0.059444 2.15103 #NAME? 0.006446 0.274877 0.748077 24.5945 28.7012 1.4226 10.0664 0.193345 7.33852 0.129537 88.7421 2.5659
2:19	br 1 opl cement d	#NAME? 0.057838 2.20297 #NAME? 0.00328 0.24873 0.811363 #NAME? 27.277 31.3548 1.55051 10.9559 0.205477 8.01829 0.143998 91.8417 2.8028
2:22	br 1 opl cement e	#NAME? 0.064293 2.38 #NAME? 0.009331 0.25343 0.816738 #NAME? 27.3135 31.7802 1.5737 11.0614 0.211145 8.26026 0.138877 102.086 2.87144
2:57	br 1 opl sand a_10	11.6888 0.175148 0.054777 217.905 0.005724 0.022902 0.036686 20.2198 3.64743 5.75159 0.476683 2.07812 0.007766 0.97621 0.310974 5.61384 0.146739
2:58	br 1 opl sand b_10	10.574 0.184472 0.039640 225.878 -0.010524 0.022346 0.021938 17.9219 3.08791 6.09083 0.564994 2.2417 0.022353 0.601518 0.059929 2.93465 0.094558
2:59	br 1 opl sand c_10	12.1401 0.189248 0.030404 195.833 0.007555 0.023236 0.022254 20.561 3.38454 6.84145 0.555287 2.10645 0.014368 0.597414 0.018275 1.292895 0.105123
3:2	br 1 opl sand d_10	10.6901 0.206771 0.03131 232.998 -0.012132 0.021154 0.027123 17.6 3.05395 5.74543 0.630409 2.25275 0.034799 2.72742 0.001928 1.34683 0.079668
3:3	br 1 opl sand e_10	12.3729 0.1895 0.039148 205.952 -0.007416 0.022976 0.017401 19.5671 3.1889 6.51086 0.669842 2.07942 0.006947 1.20048 -0.000527 3.32572 0.088426
3:4	br 1 opl cement a_10	111.451 0.168471 2.15451 #NAME? 0.003278 0.183161 0.74601 111.781 24.0552 29.1702 1.31748 11.9982 0.146628 6.32062 0.091172 76.0324 2.5293
3:5	br 1 opl cement b_10	129.968 0.191493 2.51738 #NAME? -0.010616 0.027892 0.086999 130.432 28.1319 34.0491 1.54783 13.9515 0.137684 6.90467 0.127251 88.8846 2.92669
3:6	br 1 opl cement c_10	140.809 0.173939 2.72385 #NAME? 0.000804 0.239446 0.934348 141.46 30.4248 36.8687 1.68077 14.9546 0.156577 7.67019 0.148257 92.7243 3.17438
3:7	br 1 opl cement d_10	154.119 0.160072 2.97953 #NAME? 0.000875 0.249201 1.02822 151.679 33.5611 40.7773 1.861 16.4613 0.171336 8.09643 0.143152 98.5106 3.4674
3:8	br 1 opl cement e_10	158.852 0.187606 3.07788 #NAME? 0.011789 0.274305 1.04662 157.621 34.1066 42.0288 1.90461 16.6941 0.228628 8.54864 0.167507 109.763 3.57275
1:46	br 1 opl cement a_100	116.847 1.73912 2.17585 223.82 0.031825 0.166814 0.991525 115.969 41.5781 27.5587 1.43768 21.6968 0.941548 1.41443 3.32386 88.3071 2.69737
1:47	br 1 opl cement b_100	136.514 1.81497 2.52007 254.038 0.0277 0.186873 1.6125 132.098 46.0084 32.3783 1.64541 24.2271 0.745208 1.78886 1.51832 96.7069 2.96315
1:48	br 1 opl cement c_100	148.526 2.26885 2.75196 278.474 0.045259 0.343667 1.26247 144.807 47.8272 35.8843 1.83251 25.7023 1.07703 2.28018 1.99335 109.207 3.2897
1:49	br 1 opl cement d_100	164.117 2.11618 3.04335 309.684 0.038688 0.076660 1.57201 162.317 50.2152 39.8582 2.0706 26.8045 0.791861 3.0324 3.10824 109.992 3.69156
1:50	br 1 opl cement e_100	168.155 1.89645 3.11311 314.994 0.035295 0.202523 1.40827 164.608 51.7514 41.2993 2.04427 27.6318 0.641875 2.13915 2.94626 118.177 3.72322
Tube	Sample labels	AI 386.152 As 193.694 Br 493.400 Ca 317.933 Cd 228.80 Cr 267.716 Cu 324.75 Fe 239.526 K 769.897 Mg 279.80 Mn 294.92 Na 589.59 Ni 221.64 P 213.618 Pb 217.00 S 182.562 Zn 213.857
1:54	Gruppe 1 opl Zinkgruvan A	72.4719 0.5738 2.7564 #NAME? 0.1379 0.0308 2.7231 #NAME? 48.6080 #NAME? 10.3438 1.4218 0.1926 3.4134 #NAME? 61.3863 #NAME?
1:55	Gruppe 1 opl Zinkgruvan B	74.6983 0.5463 2.4091 #NAME? 0.1389 0.0304 2.8915 #NAME? 51.4274 #NAME? 10.4378 1.4437 0.2077 3.3918 #NAME? 60.4839 #NAME?
1:56	Gruppe 1 opl Zinkgruvan C	75.8355 0.5248 2.4765 #NAME? 0.1446 0.0320 2.8646 #NAME? 51.5429 #NAME? 10.4529 #NAME? 10.4529 #NAME? 58.7843 #NAME?
1:57	Gruppe 1 opl Zinkgruvan D	70.8470 0.6842 2.2050 #NAME? 0.1439 0.0290 2.7959 #NAME? 48.8822 #NAME? 10.4786 1.5242 0.2113 3.6598 #NAME? 60.9947 #NAME?
1:58	Gruppe 1 opl Zinkgruvan E	73.8804 0.6292 2.7502 #NAME? 0.1323 0.0328 2.9658 #NAME? 50.6914 #NAME? 10.5590 1.5567 0.2341 3.7231 #NAME? 56.9368 #NAME?
2:48	Gruppe 1 opl Zinkgruvan A_1	103.5750 0.7519 3.7973 386.6140 0.0978 0.0790 4.2093 197.9770 68.1499 215.0100 14.6986 2.3343 4.2051 38.9809 61.7869 85.7236
2:49	Gruppe 1 opl Zinkgruvan B_1	104.3170 0.6745 3.3205 380.3610 0.1223 0.0750 4.0501 197.0540 69.4290 213.5000 14.5758 2.1725 0.4362 3.5059 39.1619 65.9224 88.9344
2:50	Gruppe 1 opl Zinkgruvan C_1	104.5610 0.5816 3.4196 394.3320 0.1206 0.0804 4.3821 197.7050 66.3809 214.2260 15.0430 2.2851 0.3921 3.8300 41.3561 66.3626 90.7376
2:51	Gruppe 1 opl Zinkgruvan D_1	98.7571 0.7712 3.0645 392.5350 0.1071 0.1101 4.3856 194.0930 64.3224 217.6590 14.7192 2.3676 0.3950 3.7526 38.4834 66.3505 89.6848
2:52	Gruppe 1 opl Zinkgruvan E_1	102.1800 0.8002 3.7643 384.8520 0.1184 0.0810 4.1706 194.8170 66.2022 212.3330 14.6683 2.2852 0.4184 3.6973 38.6226 62.0829 85.1126
Tube	Sample labels	AI 308.215 As 197.191 Br 493.400 Ca 427.62 Cd 228.80 Cr 206.55 Cu 324.75 Fe 239.526 K 766.491 Mg 285.21 Mn 260.56 Mo 202.02 Ni 588.99 Ni 221.64 P 213.618 Pb 217.00 S 181.972 Sb 217.58 Se 196.021 Tl 334.941 V 311.070 Y 377.433 Zn 334.502
1:59	br 1 opl Matsvaran A	55.7386 -0.020405 0.353573 9.81778 0.00302 0.060968 1.09443 97.8075 35.4552 37.7887 1.2086 0.080303 0.839526 0.029467 2.18364 0.10753 1.719 0.002961 0.003878 6.35536 0.192905 1.03582 1.08873
2:2	br 1 opl Matsvaran B	58.0106 -0.022332 0.374524 10.4031 0.001299 0.058063 1.06203 101.302 37.0797 39.645 1.2432 0.102883 0.878056 0.029431 2.24983 0.130537 1.45682 0.003727 0.005217 6.61958 0.198827 1.0273 1.11242
2:3	br 1 opl Matsvaran C	58.9399 -0.011161 0.376698 12.1457 0.002517 0.073822 1.20444 103.958 40.2024 40.2024 1.27675 0.094983 0.864264 0.028236 2.75513 0.206276 1.83933 -0.000469 0.01657 6.73222 0.20373 1.04713 1.30358
2:4	br 1 opl Matsvaran D	59.2446 -0.016161 0.382128 10.4721 0.001429 0.06133 1.33066 104.119 37.5902 40.213 1.26266 0.123122 0.923445 0.030837 2.38598 0.218124 1.85959 -0.006410 0.002679 6.7967 0.206025 1.03257 1.20669
2:5	br 1 opl Matsvaran E	57.2988 -0.025022 0.366747 10.0911 0.002112 0.055811 1.02712 101.419 36.1715 40.458 1.23346 0.081088 0.877009 0.030962 2.36311 0.064253 1.40937 -0.005898 0.009253 6.6677 0.19896 1.03329 1.12662
3:3	br 1 opl Matsvaran A_10	61.3457 0.021507 0.385743 11.5744 0.004736 0.077666 1.22054 112.825 40.3423 39.6157 1.33256 0.070359 1.5846 0.051546 1.67331 -0.004989 1.47722 -0.029530 0.160578 7.19582 0.204271 0.94847 1.13922
3:4	br 1 opl Matsvaran B_10	62.7389 -0.001327 0.405114 13.8274 0.003876 0.073157 1.53992 114.094 44.8166 40.8316 1.34669 0.097988 1.64448 0.060612 1.60857 -0.090051 1.17905 0.021933 0.144204 7.34035 0.203979 0.953346 1.23518
3:5	br 1 opl Matsvaran C_10	65.0185 -0.114756 0.41234 11.9406 0.013418 0.086307 1.35343 117.551 42.9944 42.8821 1.40282 0.093979 1.5629 0.051204 2.49571 0.116915 1.8029 -0.006435 -0.000523 7.57674 0.207812 0.954771 1.62687
3:6	br 1 opl Matsvaran D_10	64.3954 -0.142863 0.419821 11.5691 0.004657 0.077038 1.47922 122.662 44.6984 41.6019 1.37693 0.114751 1.62455 0.05733 2.06664 -0.112171 1.55703 -0.019551 0.083473 7.59858 0.209806 0.946655 1.41793
3:7	br 1 opl Matsvaran E_10	62.1577 0.043349 0.398909 11.0994 -0.002643 0.073246 1.16848 112.859 40.8393 40.1988 1.33659 0.055864 1.5485 0.047256 1.83549 -0.089605 1.19984 -0.031062 0.038244 7.22476 0.214982 0.949565 1.21145

B.4 Kornstørrelsesfordeling - rådata

	Mätäsvaara	BASIS cement	Zinkgruvan	Søsand
Størrelse [μm]	Volumen [%]	Volumen [%]	Volumen [%]	Volumen [%]
0,010	0	0	0	0
0,011	0	0	0	0
0,013	0	0	0	0
0,015	0	0	0	0
0,017	0	0	0	0
0,020	0	0	0	0
0,023	0	0	0	0
0,026	0	0	0	0
0,030	0	0	0	0
0,040	0	0	0	0
0,046	0	0	0	0
0,052	0	0	0	0
0,060	0	0	0	0
0,069	0	0	0	0
0,790	0	0	0	0
0,091	0	0	0	0
0,105	0	0	0	0
0,120	0	0	0	0
0,138	0	0	0	0
0,158	0	0	0	0
0,182	0	0	0	0
0,209	0	0	0	0
0,240	0	0	0	0
0,275	0	0	0	0
0,032	0	0	0	0
0,363	0	0	0	0
0,417	0	0	0	0
0,479	0	0	0	0
0,550	0	0	0	0
0,631	0	0,08	0	0,03
0,724	0	0,19	0	0,05
0,832	0	0,35	0	0,05
0,955	0	0,53	0	0,05
1,096	0	0,74	0	0,05
1,259	0	0,97	0	0,05
1,445	0	1,21	0	0,05
1,660	0	1,47	0	0,06
1,905	0	1,72	0	0,08
2,188	0	1,97	0,06	0,09
2,512	0	2,21	0,07	0,11
2,884	0	2,42	0,08	0,13
3,311	0,02	2,62	0,09	0,14
3,802	0,06	2,79	0,1	0,16
4,365	0,07	2,92	0,11	0,17
5,012	0,07	3,03	0,11	0,18

5,754	0,07	3,11	0,12	0,19
6,607	0,07	3,16	0,12	0,2
7,586	0,07	3,21	0,13	0,2
8,710	0,07	3,26	0,13	0,2
10,000	0,07	3,32	0,14	0,19
11,482	0,07	3,42	0,15	0,19
13,183	0,08	3,56	0,16	0,18
15,136	0,08	3,75	0,19	0,18
17,378	0,1	3,98	0,22	0,18
19,953	0,11	4,22	0,27	0,19
22,909	0,14	4,43	0,33	0,19
26,303	0,17	4,58	0,39	0,2
30,200	0,2	4,62	0,45	0,21
34,674	0,23	4,51	0,52	0,2
39,811	0,28	4,24	0,58	0,19
45,709	0,33	3,82	0,65	0,17
52,481	0,41	3,28	0,75	0,15
60,256	0,5	2,67	0,92	0,17
69,183	0,71	2,05	1,2	0,25
79,433	0,99	1,49	1,65	0,43
91,201	1,4	1,01	2,32	0,76
104,713	1,95	0,65	3,23	1,27
120,226	2,68	0,4	4,36	1,97
138,038	3,54	0,27	5,64	2,83
158,489	4,52	0,21	6,96	3,82
181,970	5,54	0,21	8,14	4,81
208,930	6,52	0,23	9,03	5,74
239,883	7,35	0,25	9,46	6,47
275,423	7,97	0,26	9,35	6,95
316,228	8,28	0,24	8,68	7,11
363,078	8,24	0,21	7,53	6,98
416,869	7,86	0,13	6,07	6,61
478,630	7,16	0,03	4,46	6,08
549,541	6,21	0	2,91	5,51
630,957	5,11	0	1,64	4,95
724,436	3,95	0	0,49	4,46
831,764	2,84	0	0,02	4,02
954,993	1,85	0	0	3,61
1096,478	1,05	0	0	3,17
1258,925	0,55	0	0	2,68
1445,440	0,31	0	0	2,13
1659,587	0,14	0	0	1,53
1905,461	0,06	0	0	0,85
2187,762	0,01	0	0	0,2
2511,886	0	0	0	0
2884,032	0	0	0	0
3311,311	0	0	0	0

3801,894	0	0	0	0
4365,158	0	0	0	0
5011,872	0	0	0	0
5754,399	0	0	0	0
6606,934	0	0	0	0
7585,776	0	0	0	0
8709,636	0	0	0	0
10000,000	0	0	0	0

B.5 Pyknometer - komplette resultatark

Bestemmelse af kornrumvægt				1	2	3
Sand						
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer				93	87	58
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	30,9959	31,772	31,5536
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	80,5873	81,6133	81,1743
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C	22	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	34,993	35,7646	35,5538
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	83,0587	84,0761	83,6766
Temperatur	T	T_3	°C	23	23	23
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm ³	0,9975	0,9975	0,9975
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9971	3,9926	4,0002
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,5145762	1,5186112	1,4866977
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,6390881	2,6291128	2,6906613
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,6530		
Betegnelser fra	dgf15	DS				

Bestemmelse af kornrumvægt				1	2	3
Zinkgruvan						
Fra kalibrering af pyknometer						
Pyknometer nummer				176	173	139
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	31,3964	32,5943	31,4882
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	81,6107	81,7491	80,938
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C	22	22	22
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm ³	0,9978	0,9978	0,9978
Måling						
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	35,3903	36,5873	35,4802
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	84,2778	84,372	83,6041
Temperatur	T	T_3	°C	11	11	11
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm ³	0,9996	0,9996	0,9996
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9939	3,993	3,992
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,4179522	1,4593575	1,4156722
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,8166676	2,7361357	2,8198619
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,7909		
Betegnelser fra	dgf15	DS				

Bestemmelse af kornrumvægt							
Mätäsvaara							
				1	2	3	
Fra kalibrering af pyknometer							
Pyknometer nummer				117	92	78	
Pykn. + prop (tomt)		m_0	g	32,7693	31,0848	31,6435	
Pykn. + prop (vandfyldt)	W_2	m_1	g	82,0193	80,6186	81,2088	
Temperatur ved kalibrering	T_k	T_1	°C	22	22	22	
Densitet af vand ved T_k *	$\rho_{w,k}$	$\rho_{w,1}$	g/cm ³	0,9978	0,9978	0,9978	
Måling							
Pykn.+ prop + jord		m_2	g	36,749	35,0492	35,6377	
Pykn.+ prop + jord + vand	W_1	m_3	g	84,5066	83,08	83,6794	
Temperatur	T	T_3	°C	23	23	23	
Densitet af vand ved T *	$\rho_{w,t}$	$\rho_{w,3}$	g/cm ³	0,9975	0,9975	0,9975	
Jord - masse	W_s	m_4	g	3,9797	3,9644	3,9942	
Jord - volumen	V_s		cm ³	1,4812957	1,4918367	1,5124788	
Korndensitet	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,6866345	2,6573954	2,6408304	
Resultat - middel	ρ_s	ρ_s	g/cm ³	2,6616			
Betegnelser fra	dgf15	DS					

B.6 Porøsitet og densitet - udfyldt resultatark

	REF			Zinkgruwan 5%			Zinkgruwan 10%			Måtasvaara 5%			Måtasvaara 10%		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
m 105	529,24	517,04	519,26	508,45	522,00	518,46	512,58	510,33	517,89	529,00	534,96	528,70	516,30	529,33	513,46
Gennemsnit	521,85			516,30			513,60			530,89			519,70		
Standard afvigelse	6,50			7,03			3,88			3,53			8,46		
m sw	321,34	313,68	315,24	309,37	317,71	315,35	312,03	310,46	315,55	320,98	324,78	320,69	313,89	321,61	312,13
Gennemsnit	316,75			314,14			312,68			322,15			315,88		
Standard afvigelse	4,05			4,30			2,61			2,28			5,04		
m ssd	577,81	564,36	567,51	557,42	571,23	568,00	562,89	559,27	567,23	577,14	582,38	578,78	567,55	580,89	564,38
Gennemsnit	569,89			565,55			563,13			579,43			570,94		
Standard afvigelse	7,03			7,22			3,99			2,68			8,76		
V	0,257	0,251	0,253	0,249	0,254	0,253	0,251	0,249	0,252	0,257	0,258	0,259	0,254	0,260	0,253
Gennemsnit	0,254			0,252			0,251			0,258			0,256		
Standard afvigelse	0,003			0,003			0,001			0,001			0,004		
V på	0,049	0,047	0,048	0,049	0,049	0,050	0,050	0,049	0,049	0,048	0,048	0,050	0,051	0,052	0,051
Gennemsnit	0,048			0,049			0,050			0,049			0,051		
Standard afvigelse	0,00065			0,00029			0,00071			0,00138			0,00032		
P å	0,189	0,189	0,191	0,197	0,194	0,196	0,201	0,197	0,196	0,188	0,184	0,194	0,202	0,199	0,202
Gennemsnit	0,190			0,196			0,198			0,189			0,201		
Standard afvigelse	0,0013			0,0016			0,0024			0,0050			0,0018		
p d	2058,40	2057,39	2053,20	2044,66	2053,86	2046,96	2038,18	2045,96	2052,59	2059,95	2071,52	2043,39	2030,31	2036,43	2030,43
Gennemsnit	2056,331			2048,494			2045,575			2058,286			2032,393		
Standard afvigelse	2,754			4,788			7,210			14,138			3,500		
p f	2539,28	2536,13	2538,78	2547,61	2548,80	2546,23	2549,48	2546,93	2553,11	2536,67	2538,88	2535,35	2544,39	2541,92	2543,96
Gennemsnit	2538,064			2547,547			2549,838			2536,967			2543,422		
Standard afvigelse	1,694			1,290			3,105			1,786			1,322		
p ssd	2247,30	2245,69	2243,99	2241,59	2247,56	2242,55	2238,23	2242,16	2248,14	2247,41	2255,14	2236,94	2231,85	2234,80	2231,79
Gennemsnit	2245,660			2243,900			2242,844			2246,499			2232,812		
Standard afvigelse	1,656			3,207			4,990			9,132			1,718		
u ssd	0,092	0,092	0,093	0,096	0,094	0,096	0,098	0,096	0,095	0,091	0,089	0,095	0,099	0,097	0,099
Gennemsnit	0,092			0,095			0,096			0,091			0,099		
Standard afvigelse	0,00075			0,00101			0,00151			0,00307			0,00105		

B.7 Afbindingsforløb - rådata

Tid	REF	z5	z10	m5	m10
10	0,1	0,1	0	0	0
20	0,1	0	0	0	0
30	0,1	0	0	0	0
40	0,1	0	0	0	0
50	0,3	0	0	0	0
60	0,2	0,1	0	0	0,3
70	0,2	0,1	0	0	0,1
80	0,2	0,1	0	0	0,1
90	0,1	0	0	0	0,4
100	0,2	0	0	0,2	0,7
110	0,2	0,1	0	0	0,2
120	0,2	0,1	0	0	0,8
130	0,1	0,1	0	0	0,6
140	0,2	0,2	0	0,2	25,5
150	12,5	0,2	0	0	25,1
160	12,7	0	0	7,5	14,5
170	29,2	9,3	0	31,3	29,4
180	28,2	20,6	0	31,6	32,8
190	35,9	24,6	10,7	36,3	25,4
200	36,3	27,1	10	35,9	37,3
210	35,5	29,8	29,6	38,1	38
220	35,8	32,5	31	39,5	38,6
230	37,3	32,5	29,2	40,4	38,6
240	39,1	33,37	33,4	40,1	39,8
250	40	33,8	34,3	41,5	40,4
260	41,4	40	37,2	44	41,2
270	41,4	39,1	37,4	43,9	41,2
280	41,3	39,7	38	43,7	40,9
290	41,1	39,9	40	44,7	41,2
300	41	30	40,3	44,5	31
310	40,7	40,7	41	44,6	40,5
320	40,7	41	42,5	45,1	39,5
330	40,3	41,8	41,8	42,2	39,9
340	39,8	40,9	40,8	42,3	40,3
350	39,8	38,6	41,3	43,3	40,2
360	39,8	41,1	40,9	44,7	40,6
370	40,1	40,2	41,8	44,9	40,5
380	41,2	40,8	42,2	45,3	41
390	40,5	40,3	40,2	43,9	41,5
400	41,4	40,2	42,3	45,3	41,2
410	41	41,3	42,5	45,4	41,5
420	41,4	41,7	41,5	44,5	41,5
430	40,7	40,6	41,8	44,3	40,6
440	40,7	41,6	42,7	45,3	39,8
450	40,4	41,3	42	41,7	40,4
460	39,8	40,6	41,5	42,9	40,6

470	40,8	40,8	41,3	44,5	40,5
480	40,9	40,8	41,4	45,2	41
490	40,3	40,6	42,3	45,1	41
500	40,4	41,4	42,4	44,7	41,5
510	40,9	41,9	40,7	45,4	41,5
520	41,1	41,3	40	44,7	41,9
530	41,6	40,9	41,1	44,3	41,5
540	41,7	41,2	41,3	44,7	41,2
550	41,4	40,6	41,3	44,7	41,1
560	41,2	41,1	41,7	44	40,3
570	40,8	40,6	40,9	44,8	40,5
580	41,3	40,9	41,6	45,3	40,7
590	41,7	41,2	41,1	43,4	41,2
600	40,6	40,6	41,6	44,6	41,3
610	41,1	40,7	41,8	44,8	41,1
620	41,5	41,4	40	44,6	41,2
630	41,5	41,4	41,5	45,3	41,8
640	40,7	41,9	41,3	44,6	40,2
650	41	41,8	42	45	40,5
660	40,6	41,3	41,3	44,8	40,2
670	40,6	40,5	41,4	44,2	41,1
680	41,5	41,1	42	45,3	41,2
690	41,1	41,1	40,8	44,7	41,1
700	42	41,7	42	44,7	41,8
710	41,2	41,3	41,7	44,5	41,2
720	41,5	40,6	42,5	44,3	41
730	41,5	40,9	42,4	44,2	40,6
740	41,5	40,8	41,5	45,3	40
750	41	41,2	41,3	44,7	40,6
760	41,2	41,4	42,6	44,7	40,8
770	41,3	40,6	41,7	44,5	41,1
780	41,1	40,5	42,3	44,3	41,5
790	41,5	40,8	41,3	44,2	40,5
800	40,6	40,6	41,3	44,3	40,7
810	41	41,8	41	43,8	41,4
820	41,6	41,1	44	44,1	41,1
830	41,5		41,6	44,9	40,9
840	41,6		42,5	45	40

B.8 Egenpakning - rådata

Vand				Vial			
	Temp	22 C	Densitet	0,9978 g/cm ³		Rumfang	24,5519 cm ³
	Vægt vial	Vægt tot	Vægt prøve	Kornhobsdensitet	Tør densitet		
Vand	4,9478	29,4457	24,4979				
Zinkgruvan	4,9607	45,6686	40,7079	1658,03 kg/m ³	2790,9 kg/m ³		
Måtsvaara	4,9604	45,2305	40,2701	1640,20 kg/m ³	2661,6 kg/m ³		
Søsand 0-4mm	4,958	47,1618	42,2038	1718,96 kg/m ³	2653 kg/m ³		
Egenpakning							
Zinkgruvan	0,59						
Matasvaara	0,62						
Søsand 0-4 mm	0,65						

B.9 Vandabsorptionsevne - rådata

Vand				Vial				
Temp	22 C			Densitet	0,9978 g/cm ³		Rumfang	24,5519 cm ³
	Vægt vial	Vægt tot	Vægt prøve	Kornhobsdensitet	Tør densitet			
Vand	4,9478	29,4457	24,4979					
Zinkgruvan	4,9607	45,6686	40,7079	1658,03 kg/m ³	2790,9 kg/m ³			
Måtsvaara	4,9604	45,2305	40,2701	1640,20 kg/m ³	2661,6 kg/m ³			
Søsand 0-4mm	4,958	47,1618	42,2038	1718,96 kg/m ³	2653 kg/m ³			
Egenpakning								
Zinkgruvan	0,59							
Matasvaara	0,62							
Søsand 0-4 mm	0,65							

B.10 Vandbehov - rådata

REF	210 g		230 g		250 g	
	10	9,8	12,3	12,5	15,8	15,8
	9,9	10,1	12,2	12,3	16	15,9
	Snit	9,95	Snit	12,325	Snit	15,875
M-25%	210 g		230 g		250 g	
	10,4	10,5	12,6	13,1	16	16,4
	10,7	11,2	13,2	12,8	16,2	16,5
	Snit	10,7		12,925		16,275
Z-10%	210 g		230 g		250 g	
	10,7	10,6	14	13,8	17,6	17,1
	11	10,8	13,6	13,7	17,4	17,8
	Snit	10,775	Snit	13,775	Snit	17,475
Z-25%	210 g		230 g		250 g	
	11,15	10,5	12,6	11,9	14,6	15,1
	10,9	10,7	11,8	12,5	14,8	15
	Snit	10,8125	Snit	12,2	Snit	14,875

C Trykprøvning

C.1 Trykprøvning - rådata

D Normering af vandbehov

Vægt af tom skål $vst := 1630.05 \cdot 10^{-3}$	1.630050000	(1)
Rumfang af prøveelement $rum := evalf(4 \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 16 \cdot 10^{-2})$	0.0002560000000	(2)
Faktor til 1 m^3 $\gamma_{rum} := \frac{1}{rum}$	3906.250000	(3)
Total vægt af blanding $tv := 225 + 450 + 1350$	2025	(4)
Procentdel der er vand $vpro := evalf\left(\frac{225}{2025} \cdot 100\right)$	11.11111111	(5)

▼ Mätäsvaraa 25 %

Vægt af skål før $vfm := 3639.84 \cdot 10^{-3}$	3.639840000	(1.1)
Vægt af skål efter $vem := 1913.53 \cdot 10^{-3}$	1.913530000	(1.2)
Total vægt af mørtel i formen $blm := (vfm - vst) - (vem - vst)$	1.726310000	(1.3)
Vægt af et prøveelement $vpm := \frac{blm}{3}$	0.5754366667	(1.4)
Vandmængde i et prøveelement $vandm1 := \frac{vpm \cdot vpro}{100}$	0.06393740740	(1.5)
Vandmængde i 1 m^3 $vandm1 \cdot \gamma_{rum}$	249.7554977	(1.6)
Densitet af blanding		

$$\rho_m := \frac{blm}{3 \cdot rum} \quad 2247.799479 \quad (1.7)$$

Omregning af det opnåede vandbehov

$$\text{solve}\left(\frac{225}{220.667} = \frac{249.755}{x}, x\right) \quad 244.9452737 \quad (1.8)$$

Zinkgruvan 25 %

Vægt af skål før

$$vfz25 := 3631.65 \cdot 10^{-3} \quad 3.631650000 \quad (2.1)$$

Vægt af skål efter

$$vez25 := 1919.86 \cdot 10^{-3} \quad 1.919860000 \quad (2.2)$$

Total vægt af mørtel i formen

$$blz25 := (vfz25 - vst) - (vez25 - vst) \quad 1.711790000 \quad (2.3)$$

Vægt af et prøveelement

$$vpz25 := \frac{blz25}{3} \quad 0.5705966667 \quad (2.4)$$

Vandmængde i et prøveelement

$$vanz251 := \frac{vpz25 \cdot vpro}{100} \quad 0.06339962963 \quad (2.5)$$

Vandmængde i 1 m³

$$vanz251 \cdot \gamma_{rum} \quad 247.6548032 \quad (2.6)$$

Densitet af blanding

$$\rho_z25 := \frac{vpz25}{rum} \quad 2228.893229 \quad (2.7)$$

Omregning af det opnåede vandbehov

$$\text{solve}\left(\frac{225}{223.703} = \frac{247.65}{x}, x\right) \quad 246.2224353 \quad (2.8)$$

Zinkgruvan 10 %

Vægt af skål før

$$vfz10 := 3638.87 \cdot 10^{-3}$$

$$3.638870000 \quad (3.1)$$

Vægt af skål efter

$$vez10 := 1953.73 \cdot 10^{-3}$$

$$1.953730000 \quad (3.2)$$

Total vægt af mørtel i formen

$$blz10 := (vfz10 - vst) - (vez10 - vst)$$

$$1.685140000 \quad (3.3)$$

Vægt af et prøveelement

$$vpz10 := \frac{blz10}{3}$$

$$0.5617133333 \quad (3.4)$$

Vandmængde i et prøveelement

$$vanz101 := \frac{vpz10 \cdot vpro}{100}$$

$$0.06241259258 \quad (3.5)$$

Vandmængde i 1 m³

$$vanz101 \cdot rum$$

$$243.7991898 \quad (3.6)$$

Densitet af blanding

$$\rho z10 := \frac{vpz10}{rum}$$

$$2194.192708 \quad (3.7)$$

Omregning af det opnåede vandbehov

$$\text{solve}\left(\frac{225}{218.012} = \frac{243.799}{x}, x\right)$$

$$236.2271449 \quad (3.8)$$

REF

$$vpro := \frac{225.084}{225.084 + 1350 + 450} \cdot 100$$

$$11.11479820 \quad (4.1)$$

$$Dens := 2245.66$$

$$2245.66 \quad (4.2)$$

$$rum$$

$$0.0002560000000 \quad (4.3)$$

$$vand := Dens \cdot rum$$

$$vandpr := \frac{vand \cdot vpro}{100}$$

$$0.5748889600 \quad (4.4)$$

$$vandpr \cdot \gamma_{um}$$

$$0.06389774778 \quad (4.5)$$

$$249.6005773 \quad (4.6)$$

E Beregning af q i Popovic

REF

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$
$$\frac{\ln\left(\frac{V2}{V1}\right)}{\ln\left(\frac{y2}{y1}\right)} \quad (1.1)$$

$$V1 := 210 \quad 210 \quad (1.2)$$

$$V2 := 250 \quad 250 \quad (1.3)$$

$$y1 := 0.1481 \cdot V1 - 21.335 \quad 9.7660 \quad (1.4)$$

$$y2 := 0.1481 \cdot V2 - 21.335 \quad 15.6900 \quad (1.5)$$

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$
$$0.3677436873 \quad (1.6)$$

$$\text{solve}(12 = 0.1481 \cdot V - 21.335, V)$$
$$225.0844024 \quad (1.7)$$

M-25%

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$
$$0.3677436873 \quad (2.1)$$

$$V1 := 210 \quad 210 \quad (2.2)$$

$$V2 := 250 \quad 250 \quad (2.3)$$

$$y1 := 0.1395 \cdot V1 - 18.783 \quad 10.5120 \quad (2.4)$$

$$y2 := 0.1395 \cdot V2 - 18.783 \quad 16.0920 \quad (2.5)$$

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$
$$0.4094678835 \quad (2.6)$$

$$\text{solve}(12 = 0.1395 \cdot V - 18.783, V)$$

220.6666667

(2.7)

Z-10%

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$

0.4094678835

(3.1)

$$V1 := 210$$

210

(3.2)

$$V2 := 250$$

250

(3.3)

$$y1 := 0.1675 \cdot V1 - 24.517$$

10.6580

(3.4)

$$y2 := 0.1675 \cdot V2 - 24.517$$

17.3580

(3.5)

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$

0.3574700000

(3.6)

$$\text{solve}(12 = 0.1675 \cdot V - 24.517, V)$$

218.0119403

(3.7)

Z-25%

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$

0.3574700000

(4.1)

$$V1 := 210$$

210

(4.2)

$$V2 := 250$$

250

(4.3)

$$y1 := 0.1018 \cdot V1 - 10.773$$

10.6050

(4.4)

$$y2 := 0.1018 \cdot V2 - 10.773$$

14.6770

(4.5)

$$\text{solve}\left(\frac{V2}{V1} = \left(\frac{y2}{y1}\right)^q, q\right)$$

0.5365445096

(4.6)

$$\text{solve}(12 = 0.1018 \cdot V - 10.773, V)$$

223.7033399

(4.7)

F Poster fra midtvejspræsentation

Mineafflad i beton

Af Markus Pai Sørensen

S143876

Mineaffaldet

Navn: Mätäsvaara

Oprindelse: Mätäsvaara, Finland

Bearbejdelse: Knusning, formaling og gravimetrisk separation.

Type af mine: Molybdæn mine

Udseende: Grov kornet, sandfarvet

Laboratoriet

De i laboratoriet opnået resultater for mineaffaldet, samt cement og sand, indsættes i følgende tabel.

Forsøg	Cement	Sand	Zinkgruwan	Mätäsvaara
Vandindhold [%]	0.058	0.188	2.808	0.187
pH	12.53	9.79	8.31	6.90
Carbonat [%]	16.08	6.89	8.79	0.25
Glødetab 550/950 °C [%]	0.139/0.812	0.046/0.314	0.048/0.639	0.0334/0.082
Pyknometer [kg/m^3]	1186.8	1460.9	2790.9	-

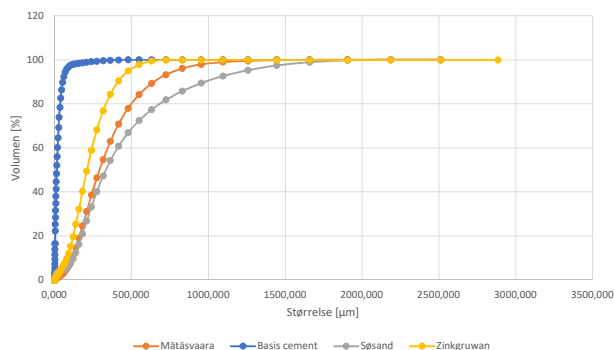
Mätäsvaara karakteriseres ved et lavt indhold af vand, carbonat og organisk materiale.

ICP-analyse

	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
	Søssand	Cement	Zinkgruwan	Mätäsvaara
Aluminium(Al)	1009.53	13903.98	7354.68	5758.05
Arsen(As)	1.84	5.54	59.17	<2
Barium(Ba)	3.27	211.15	251.94	37.07
Calcium(Ca)	21571.32	276114.4	38573.88	1058.59
Cadmium(Cd)	0.14	0.37	13.95	0.21
Krom(Cr)	1.59	22.47	3.1	6.19
Kobber(Cu)	1.45	73.32	284.09	114.34
Jern(Fe)	1711.91	13859.46	19632.92	10172.11
Kalium(K)	248.67	2430.69	5023.04	3676.3
Magnesium(Mg)	578.67	2876.91	21454.52	3966.14
Mangan(Mn)	58.54	140.1	1045.48	124.49
Molybdæn(Mo)	<2	<2	<2	9.65
Natrium(Na)	178.96	993.81	149.82	87.64
Nikkel(Ni)	1.26	18.69	21	2.85
Fosfor(P)	203.2	723.05	358.96	238.75
Bly(Pb)	2.01	12.79	3932.1	14.53
Svovl(S)	337.34	8765.77	5971.72	165.68
Antimon(Sb)	<2	<2	<2	<2
Selen(Se)	<2	<2	<2	0.84
Titan(Ti)	<2	<2	<2	663.43
Vanadium(V)	<2	<2	<2	20.03
Yttrium(Y)	-	-	-	103.52
Zink(Zn)	9.66	254.13	8803.86	116.76

Værdier der overskrider grænse kategori 1, jvf. miljøstyrelsens bekendtgørelse om anvendelse af restprodukter, er markeret med rød. Mineaffaldet fra Mätäsvaara overskrider ikke de fra miljøstyrelsen relevante grænser.

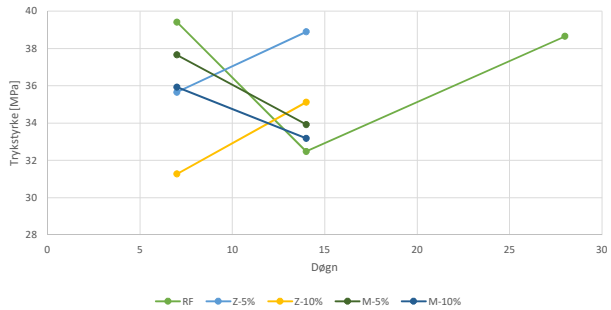
Kornstørrelsesfordelinger



Støberiet

Resultaterne opnået i støberiet sammenlignes for referencer prøver, samt prøver indeholdende mineaffald.

Trykstyrke



Sætmål

Sætmålet angiver hvilken konsistens betonen har. Alle de opnåede sætmål vil karakteriseres som en tyktflydende konsistens.

[mm]	Måling 1	Måling 2	Endeligt sætmål
Cement Prøve 1	105	107	104.25
Cement Prøve 2	107	98	
Zinkgruwan 5% Prøve 1	109	106	107.5
Zinkgruwan 5% Prøve 2	107	108	
Zinkgruwan 10% Prøve 1	109	110	106.5
Zinkgruwan 10% Prøve 2	103	104	
Mätäsv 5% Prøve 1	119	118	118.88
Mätäsv 5% Prøve 2	117.5	121	

Vicat – afbindingstid

	RF	Zinkgruwan - 5 %	Zinkgruwan - 10%	Mätäsvaara - 5%
Første afbindingstid	2 t 30 min	2 t 50 min	3 t 10 min	2 t 40 min
Sidste afbindingstid	8 t 40 min	8 t 20 min	7 t 10 min	6 t

Videre arbejde

Udskiftning af sand (jf. Aalborg Portland artikel)

Kigge på vandbehovet

Besparelse på cement (miljø og økonomi)

Knusning af mineaffaldet

Kan det anvendes som filler

Øge styrken i stedet for at svække

Ændre vandindhold

DTU Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Technical University of Denmark

Brovej, Building 118
2800 Kgs. Lyngby
Telephone 45 25 17 00
www.byg.dtu.dk